

**BİNA TASARIM PARAMETRELERİ DİKKATE  
ALINARAK PERDE KESME KUVVET  
TASARIMINA FARKLI BİR YAKLAŞIM**

**Yük. Müh. Hümeýra ŞAHİN**

**Doktora Tezi**  
**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**  
**Danışman: Prof. Dr. Ali Sayıl ERDOĞAN**  
**İkinci Danışman: Yrd. Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ**

**Kasım-2015**

T.C  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİNA TASARIM PARAMETRELERİ DİKKATE ALINARAK PERDE  
KESME KUVVET TASARIMINA FARKLI BİR YAKLAŞIM

DOKTORA TEZİ

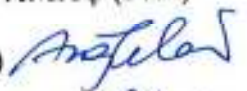
Yük. Müh. Hümeysra ŞAHİN

(091115201)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 10 Kasım 2015  
Tezin Savunulduğu Tarih: 03 Aralık 2015

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ali Sayıl ERDOĞAN (F.Ü.) 

İkinci Danışman: Yrd. Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ (F.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Zekai CELEP (İ.T.Ü.) 

Prof. Dr. İbrahim TÜRKMEN (İ.Ü.) 

Prof. Dr. Servet YILDIZ (F.Ü.) 

Prof. Dr. Zülfü Çınar ULUCAN (F.Ü.) 

Aralık-2015

## ÖNSÖZ

Betonarme perdelerdeki kesme kuvvet kapasitesinin incelendiği bu tez çalışmasında, bilgisi ile bana yol gösteren, inşaat mühendisliği mesleğini ve özellikle betonarmeyi sevdiren tez danışmanım sayın Prof. Dr. Ali Sayıl ERDOĞAN'a teşekkür ederim. Tezin her aşamasında öğrencisi olmanın ayrıcalığını yaşadığım için kendisine minnettarım.

Bu çalışmanın şekillenmesinde ve ortaya çıkmasında büyük bir emeği olan, en sıkışık zamanında bile yardım taleplerimi ertelemeyen, akademik hayatımın yol haritasını çizen, sadece hocalık değil aynı zamanda abilik yapan ikinci danışmanım Yrd. Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ'a ve eşi Damla ALYAMAÇ'a koşulsuz destekleri için minnettarım.

Çalışma sırasında sık sık kapılarını çaldığım ve bilgileri ile bana yol gösteren hocalarım Prof. Dr. Zülfü Çınar ULUCAN'a ve Doç. Dr. Muhammet KARATON'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmaları sabır gerektiren, sıkıntılı ve uzun bir süreçtir. Bu süreçte desteklerini her daim hissettiğim arkadaşlarım Yrd. Doç. Dr. Mehtap DEMİREL, İnş. Yük. Müh. Şule VAROL, İnş. Yük. Müh. Nida BAŞGÜN, İnş. Yük. Müh. Zehra DANDİN, İnş. Yük. Müh. Mücella ÖZDEM, Yrd. Doç. Dr. Merve AÇIKGENÇ, İnş. Yük. Müh. Mesut GÖR ve Dr. Zehra URAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatta aldığım her kararda arkamda olan, büyük bir özveri ile bugünlere gelmemi sağlayan, her daim maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme, annem Saime ve babam Resul ŞAHİN'e, kardeşlerim Mustafa ve Ömer Faruk ŞAHİN'e ve eşleri Gül ve Sacide ŞAHİN'e sonsuz teşekkür ederim. Bu tez çalışması varlıkları ile ailemize neşe katan yeğenlerim Elif Sude, Selim Aliya ve Zehra Sümeyye'ye ithaf olunur.

**Hümeyra ŞAHİN**  
**Elazığ-2015**

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

|                                                     |     |
|-----------------------------------------------------|-----|
| ÖNSÖZ .....                                         | I   |
| İÇİNDEKİLER.....                                    | II  |
| ÖZET .....                                          | IV  |
| SUMMARY .....                                       | V   |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                              | VI  |
| TABLolar LİSTESİ .....                              | X   |
| SEMBOLLER LİSTESİ .....                             | XI  |
| KISALTMALAR.....                                    | XIV |
| 1. GİRİŞ.....                                       | 1   |
| 1.1 Betonarme Perdelerin Deprem Performansı .....   | 2   |
| 1.2 Betonarme Perdelerin Kapasite Tasarımı.....     | 3   |
| 1.3 Tezin Kapsamı ve Amacı .....                    | 6   |
| 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI .....                        | 8   |
| 3. PERDE DAVRANIŞ MODELLERİ .....                   | 25  |
| 3.1 Lif Kesitli Kiriş-Kolon Perde Hesap Modeli..... | 34  |
| 4. MALZEME DAVRANIŞ MODELLERİ.....                  | 39  |
| 4.1 Donatı Davranış Modeli .....                    | 39  |
| 4.2 Beton Davranış Modelleri .....                  | 45  |
| 4.2.1 Geliştirilmiş Kent ve Park Modeli .....       | 45  |
| 4.2.2 Mander Modeli .....                           | 49  |
| 4.2.3 Saatcioglu ve Razvi Modeli .....              | 54  |

|                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>5. SAYISAL ÇALIŞMA.....</b>                                   | <b>63</b>  |
| <b>5.1 Çalışmada Kullanılan Perde Davranış Modeli .....</b>      | <b>67</b>  |
| <b>5.2 Çalışmada Kullanılan Malzeme Davranış Modeli.....</b>     | <b>71</b>  |
| <b>5.3 Çalışmada Kullanılan Deprem İvme Kaydı.....</b>           | <b>73</b>  |
| <b>5.4 Analiz ve Bulgular .....</b>                              | <b>76</b>  |
| 5.4.1 Moment ve Kesme Kuvvet Talebi .....                        | 78         |
| 5.4.2 Kesme Kuvvet Artışı .....                                  | 93         |
| 5.4.3 Kesme Kuvvet Dinamik Büyütme Katsayısı .....               | 101        |
| <b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>                                 | <b>109</b> |
| <b>7. KAYNAKLAR.....</b>                                         | <b>112</b> |
| <b>EKLER .....</b>                                               | <b>117</b> |
| <b>EK A: Lif Kesitli Kiriş-Kolon Eleman İçin Denklemler.....</b> | <b>117</b> |
| <b>EK B : Ölçeklenmiş Deprem İvme Kayıtları .....</b>            | <b>124</b> |
| <b>EK C: Sistemlerin moment ve kesme kuvvet grafikleri.....</b>  | <b>128</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                            | <b>142</b> |

## ÖZET

Betonarme perdeler depreme dayanıklı yapı tasarımında yaygın olarak kullanılan taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Ancak betonarme perdelerin etkili olabilmesi deprem enerjisini sünek bir güç tükenmesi ile tüketmesine bağlıdır. Sünek bir güç tükenmesi için kesme kapasitesinin eğilme kapasitesinden yüksek olması gerekir. Yapılan çalışmalar kesme kuvvet talebinin, perde taban kesitinde elastik ötesi şekil değiştirmeler meydana geldikten sonra, eğilme kapasitesine ek olarak yüksek modların etkisi ile arttığını göstermiştir. Orta ve büyük şiddetli deprem yüklemeleri altında elastik ötesi şekil değiştirmelerin meydana geldiği perdelerde, kesme kuvvetinde momente oranla daha büyük artışlar meydana gelmektedir. Yüksek modların etkisini dikkate mod birleştirme yöntemi ile sadece birinci modun etkisini dikkate alan eşdeğer deprem yükü yöntemi, elastik ötesi davranışı dikkate almadığı için, kesme kuvvet tahmininde yetersiz kalmaktadır. Perde kesme kuvvetinde meydana gelen artışın, gevrek kırılmalara neden olacağı birçok çalışma ile gösterilmiştir. Elastik ötesi durumda perdelerde meydana gelen kesme kuvvet artışı, dinamik büyütme kat sayısı ( $\beta_v$ ) ile Türk Deprem Yönetmeliği'nde (2007) dikkate alınmıştır. Bu tez çalışmasında, Türk Deprem Yönetmeliği'nde sabit kat sayılar 1.0 ve 1.5 ile ifade edilen dinamik büyütme katsayısı ( $\beta_v$ ), periyod (T), davranış katsayısı (R) ve perde boy/en oranı ( $H_w/L_w$ ) değişkenleri dikkate alınarak sayısal olarak incelenmiştir. Elastik ötesi analizler neticesinde  $\beta_v$ 'yi sabit tek bir sayı ile tanımlamanın yetersiz olduğu görülmüştür. Çalışmada  $\beta_v$  için, biri grafik tabanlı bir yaklaşım sunulmuştur. Ayrıca Türk Deprem Yönetmeliği tarafından önerilen kesme kuvvet dağılımının yetersiz olduğu görülmüş ve kesme kuvvet dağılımı için bir eğri önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme perde, Kesme kuvvet kapasitesi, Dinamik büyütme katsayısı, Dayanım fazlalığı katsayısı, OpenSees, Sap2000.

## SUMMARY

### **An Unusual Approach to Determine Shear Force While Shear Wall Design by Using Different Design Parameters**

Reinforced shear walls, which are structural elements, are widely used in earthquake resistance structural design. Effectiveness of reinforced shear walls significantly depends on the energy consumed in its inelastic behavior. For a ductile the behavior shear force capacity should be higher than moment capacity. Shear and moment demand is large at a ductile behavior. When in the design of the shear walls, the equivalent static seismic load is used, only the first mode is considered and the effects of the higher modes are not taken into account. However, this efficiency can be avoided, when the modal superposition method is employed. All the method reflects the elastic behavior shear wall. Since inelastic deformation is allowed in the moderate and higher seismic events, the shear and bending moment variation along the shear wall should be modified. When a plastic hinge develops at the base section of the shear wall, then inelastic ductile deformations occurs. However, the shear force variation displays an increase more than the moment due to inelastic behavior. Consequently a brittle failure will be unavoidable, when design is carried out by taking elastic analysis results, even if higher modes are considered, because the shear demand is large than moment demand in the inelastic behavior. The higher mode effect and inelastic behavior has been considered in the Turkish Seismic Design Code (2007) using dynamic shear amplification factor ( $\beta_v$ ) which is given 1.0 and 1.5 depending on the contribution of the shear walls in resisting seismic shear wall. In this thesis, dynamic shear amplification factor ( $\beta_v$ ) is investigated numerically with parameters like as first mode period ( $T$ ), strength reduction factor ( $R$ ) and shear wall length/width ratio ( $H_w/L_w$ ) by considering higher modes and inelastic deformation. The analysis yields that this parameters is not constant, as expected, depends on various properties of system. The results for the dynamic shear amplification are presented graphical as well as a relationship. Additionally, a story shear force profile curve, which more realistic than the given the Turkish Seismic Design Code (2007) has been proposed.

**Keywords:** Shear wall, Shear load capacity, Dynamic shear amplification factor, Strength reduction factor, OpenSees, Sap2000.

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 2.1</b> Kesme kuvvet dağılımı; (a) Birinci mod şeklinin esas alındığı yük dağılımı, (b) Birinci mod şekli ve dayanım fazlalığı katsayısını dikkate alan yük dağılımı, (c) Perde tabanında elastik ötesi şekil değiştirmeler meydana geldikten sonra, yüksek modların etkisi ile oluşan yük dağılımı..... | 9  |
| <b>Şekil 2.2</b> Drecho ve Corley (1984) tarafından önerilen kesme kuvvet büyütme katsayısı.....                                                                                                                                                                                                                  | 12 |
| <b>Şekil 2.3</b> Perde ve çerçevenin maksimum kesme kuvvet artışının, kesme kuvvet talebine göre değişimi .....                                                                                                                                                                                                   | 15 |
| <b>Şekil 2.4</b> Perdenin kesme kuvvet artışının kesme kuvveti talebine göre değişimi.....                                                                                                                                                                                                                        | 16 |
| <b>Şekil 2.5</b> Sayısal çalışma ve EC8 göre kesme kuvvet artışının $T$ ve $q$ ya göre değişimi.....                                                                                                                                                                                                              | 19 |
| <b>Şekil 2.6</b> Sayısal çalışma ve önerilen formüle göre kesme kuvvet artışının $T$ ve $q$ ya göre değişimi.....                                                                                                                                                                                                 | 19 |
| <b>Şekil 2.7</b> Rutenberg ve Nsieri (2006) tarafından önerilen.....                                                                                                                                                                                                                                              | 20 |
| <b>Şekil 2.8</b> Celep (2008) tarafından önerilen kesme kuvveti tasarım zarf eğrisi. ....                                                                                                                                                                                                                         | 21 |
| <b>Şekil 2.9</b> Yılmaz (2014) tarafından önerilen kesme kuvvet tasarım zarf eğrisi. ....                                                                                                                                                                                                                         | 24 |
| <b>Şekil 3.1</b> Kiriş-kolon eleman modeli.....                                                                                                                                                                                                                                                                   | 27 |
| <b>Şekil 3.2</b> Perdenin dönmesi ve tarafsız eksen değişiminin düşey yer değiştirme üzerindeki etkisi .....                                                                                                                                                                                                      | 27 |
| <b>Şekil 3.3</b> Üçlü düşey yay eleman modeli .....                                                                                                                                                                                                                                                               | 29 |
| <b>Şekil 3.4</b> Eksenel rijit çevrimsel model.....                                                                                                                                                                                                                                                               | 29 |
| <b>Şekil 3.5</b> Merkeze dönük çevrimsel model .....                                                                                                                                                                                                                                                              | 29 |
| <b>Şekil 3.6</b> Seri bağlı iki eleman modeli .....                                                                                                                                                                                                                                                               | 30 |
| <b>Şekil 3.7</b> Çoklu düşey yay modeli.....                                                                                                                                                                                                                                                                      | 31 |
| <b>Şekil 3.8</b> Geliştirilmiş seri bağlı iki eleman modeli .....                                                                                                                                                                                                                                                 | 32 |
| <b>Şekil 3.9</b> Makro panel duvar eleman modeli.....                                                                                                                                                                                                                                                             | 33 |
| <b>Şekil 3.10</b> Lif kesitli kiriş-kolon eleman modeli.....                                                                                                                                                                                                                                                      | 34 |
| <b>Şekil 3.11</b> Eleman ve kesit için kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi.....                                                                                                                                                                                                                                      | 35 |
| <b>Şekil 4.1</b> Donatı çeliği davranış modeli (Menegotto ve Pinto, 1973). ....                                                                                                                                                                                                                                   | 41 |
| <b>Şekil 4.2</b> Çevrimsel döngünün bozulması.....                                                                                                                                                                                                                                                                | 42 |

|                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.3</b> Donatı çeliği gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi.....                                                                                | 43 |
| <b>Şekil 4.4</b> İzotropik pekleşme etkisi ile gerilmenin ötelenmesi.....                                                                                  | 43 |
| <b>Şekil 4.5</b> İzotropik pekleşmenin gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisine etkisi .....                                                              | 44 |
| <b>Şekil 4.6</b> Kent ve Park tarafından önerilen beton davranış modeli .....                                                                              | 46 |
| <b>Şekil 4.7</b> Gelişmiş Kent ve Park beton davranış modeli .....                                                                                         | 47 |
| <b>Şekil 4.8</b> Mander tarafından önerilen beton davranış modeli .....                                                                                    | 51 |
| <b>Şekil 4.9</b> Dikdörtgen enine donatı için etkin kuşatılmış çekirdek beton alanı .....                                                                  | 51 |
| <b>Şekil 4.10</b> Dikdörtgen kesitlerde yatay sargı gerilmelerinden, sargılanmış beton<br>gerilmesinin elde edilmesi.....                                  | 53 |
| <b>Şekil 4.11</b> $k_1$ 'in yatay basınca göre değişimi.....                                                                                               | 55 |
| <b>Şekil 4.12</b> Dairesel kesit için yatay gerilme: a) Düzgün yayılı basınç.....                                                                          | 56 |
| <b>Şekil 4.13</b> Kare kolonlarda sargı gerilmesi: a) Sargı gerilemesinin oluşumu; b) Sargı<br>gerilmesinin farklı enine donatı düzeni için dağılımı ..... | 57 |
| <b>Şekil 4.14</b> Sargı gerilmesinin dağılımı: a) Gerilmenin eleman yüksekliği boyunca<br>dağılımı; b) Gerçek ortalama ve eşdeğer sargı gerilmesi .....    | 58 |
| <b>Şekil 4.15</b> Dikdörtgen kesitlerde sargı gerilmesinin dağılımı.....                                                                                   | 59 |
| <b>Şekil 4.16</b> Saatcioglu ve Razvi tarafından önerilen beton davranış modeli .....                                                                      | 62 |
| <b>Şekil 5.1</b> Perde davranış modeli .....                                                                                                               | 72 |
| <b>Şekil 5.2</b> Ölçeklenmiş deprem ivme kayıtlarının ivme spektrumu .....                                                                                 | 75 |
| <b>Şekil 5.3</b> Ölçeklenmiş deprem ivme kayıtlarının hız spektrumu .....                                                                                  | 75 |
| <b>Şekil 5.4</b> Ölçeklenmiş deprem ivme kayıtlarının yer değiştirme spektrumu .....                                                                       | 76 |
| <b>Şekil 5.5</b> 4 katlı perdeler için eğilme momenti ve kesme kuvveti dağılımı ( $R=6$ ) .....                                                            | 81 |
| <b>Şekil 5.6</b> 8 katlı perdeler için eğilme momenti ve kesme kuvveti dağılımı ( $R=6$ ) .....                                                            | 83 |
| <b>Şekil 5.7</b> 12 katlı perdeler için eğilme momenti ve kesme kuvveti dağılımı ( $R=6$ ) .....                                                           | 85 |
| <b>Şekil 5.8</b> 16 katlı perdeler için eğilme momenti ve kesme kuvveti dağılımı ( $R=6$ ) .....                                                           | 87 |
| <b>Şekil 5.9</b> 20 katlı perdeler için eğilme momenti ve kesme kuvveti dağılımı ( $R=6$ ) .....                                                           | 89 |
| <b>Şekil 5.10</b> 24 katlı perdeler için eğilme momenti ve kesme kuvveti dağılımı ( $R=6$ ) .....                                                          | 91 |
| <b>Şekil 5.11</b> 28 katlı perdeler için eğilme momenti ve kesme kuvveti dağılımı ( $R=6$ ) .....                                                          | 93 |
| <b>Şekil 5.12</b> 4 katlı, farklı davranış katsayısına ( $R$ ) sahip perdeler için kesme kuvvet<br>talep artışının katlara göre değişimi.....              | 94 |
| <b>Şekil 5.13</b> 8 katlı, farklı davranış katsayısına ( $R$ ) sahip perdeler için kesme kuvvet<br>talep artışının katlara göre değişimi.....              | 95 |

|                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 5.14</b> 12 katlı, farklı davranış katsayısına ( $R$ ) sahip perdeler için kesme kuvvet talep artışının katlara göre değişimi..... | 96  |
| <b>Şekil 5.15</b> 16 katlı, farklı davranış katsayısına ( $R$ ) sahip perdeler için kesme kuvvet talep artışının katlara göre değişimi..... | 97  |
| <b>Şekil 5.16</b> 20 katlı, farklı davranış katsayısına ( $R$ ) sahip perdeler için kesme kuvvet talep artışının katlara göre değişimi..... | 98  |
| <b>Şekil 5.17</b> 24 katlı, farklı davranış katsayısına ( $R$ ) sahip perdeler için kesme kuvvet talep artışının katlara göre değişimi..... | 99  |
| <b>Şekil 5.18</b> 28 katlı, farklı davranış katsayısına ( $R$ ) sahip perdeler için kesme kuvvet talep artışının katlara göre değişimi..... | 100 |
| <b>Şekil 5.19</b> 4 katlı perde için dinamik büyütme katsayısının, $H_W/L_W$ oranı ve katlara göre değişimi ( $R=6$ ).....                  | 102 |
| <b>Şekil 5.20</b> 8 katlı perde için dinamik büyütme katsayısının, $H_W/L_W$ oranı ve katlara göre değişimi ( $R=6$ ).....                  | 102 |
| <b>Şekil 5.21</b> 12 katlı perde için dinamik büyütme katsayısının, $H_W/L_W$ oranı ve katlara göre değişimi ( $R=6$ ).....                 | 103 |
| <b>Şekil 5.22</b> 16 katlı perde için dinamik büyütme katsayısının, $H_W/L_W$ oranı ve katlara göre değişimi ( $R=6$ ).....                 | 104 |
| <b>Şekil 5.23</b> 20 katlı perde için dinamik büyütme katsayısının, $H_W/L_W$ oranı ve katlara göre değişimi ( $R=6$ ).....                 | 104 |
| <b>Şekil 5.24</b> 24 katlı perde için dinamik büyütme katsayısının, $H_W/L_W$ oranı ve katlara göre değişimi ( $R=6$ ).....                 | 105 |
| <b>Şekil 5.25</b> 28 katlı perde için dinamik büyütme katsayısının, $H_W/L_W$ oranı ve katlara göre değişimi ( $R=6$ ).....                 | 105 |
| <b>Şekil 5.26</b> Önerilen grafiksel yaklaşım .....                                                                                         | 107 |
| <b>Şekil 5.27</b> EC8’de perdeler için kabul edilen kesme kuvvet dağılımı .....                                                             | 108 |
| <b>Şekil 5.28</b> Konsol perdeler için önerilen kesme kuvvet dağılımı .....                                                                 | 108 |
| <b>Şekil A.1</b> Eleman ve kesit seviyesinde kuvve-deformasyon ilişkisi .....                                                               | 119 |
| <b>Şekil B.1</b> EQ1 deprem kaydı için ölçeklenmiş $\ddot{u}_g(t)$ ve $\dot{u}_g(t)$ değişimi .....                                         | 124 |
| <b>Şekil B.2</b> EQ2 deprem kaydı için ölçeklenmiş $\ddot{u}_g(t)$ ve $\dot{u}_g(t)$ değişimi .....                                         | 124 |
| <b>Şekil B.3</b> EQ3 deprem kaydı için ölçeklenmiş $\ddot{u}_g(t)$ ve $\dot{u}_g(t)$ değişimi.....                                          | 124 |
| <b>Şekil B.4</b> EQ4 deprem kaydı için ölçeklenmiş $\ddot{u}_g(t)$ ve $\dot{u}_g(t)$ değişimi .....                                         | 125 |
| <b>Şekil B.5</b> EQ5 deprem kaydı için ölçeklenmiş $\ddot{u}_g(t)$ ve $\dot{u}_g(t)$ değişimi .....                                         | 125 |

|                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil B.6</b> EQ6 deprem kaydı için ölçeklenmiş $\ddot{u}_g(t)$ ve $\dot{u}_g(t)$ değişimi.....    | 125 |
| <b>Şekil B.7</b> EQ7 deprem kaydı için ölçeklenmiş $\ddot{u}_g(t)$ ve $\dot{u}_g(t)$ değişimi.....    | 126 |
| <b>Şekil B.8</b> EQ8 deprem kaydı için ölçeklenmiş $\ddot{u}_g(t)$ ve $\dot{u}_g(t)$ değişimi .....   | 126 |
| <b>Şekil B.9</b> EQ9 deprem kaydı için ölçeklenmiş $\ddot{u}_g(t)$ ve $\dot{u}_g(t)$ değişimi .....   | 126 |
| <b>Şekil B.10</b> EQ10 deprem kaydı için ölçeklenmiş $\ddot{u}_g(t)$ ve $\dot{u}_g(t)$ değişimi.....  | 127 |
| <b>Şekil B.11</b> EQ11 deprem kaydı için ölçeklenmiş $\ddot{u}_g(t)$ ve $\dot{u}_g(t)$ değişimi ..... | 127 |
| <b>Şekil C.1</b> 4 katlı perdeler için moment ve kesme kuvvet dağılımı ( $R=6$ ) .....                | 129 |
| <b>Şekil C.2</b> 8 katlı perdeler için moment ve kesme kuvvet dağılımı ( $R=6$ ) .....                | 131 |
| <b>Şekil C.3</b> 12 katlı perdeler için moment ve kesme kuvvet dağılımı ( $R=6$ ) .....               | 133 |
| <b>Şekil C.4</b> 16 katlı perdeler için moment ve kesme kuvvet dağılımı ( $R=6$ ) .....               | 135 |
| <b>Şekil C.5</b> 20 katlı perdeler için moment ve kesme kuvvet dağılımı ( $R=6$ ) .....               | 137 |
| <b>Şekil C.6</b> 24 katlı perdeler için moment ve kesme kuvvet dağılımı ( $R=6$ ) .....               | 139 |
| <b>Şekil C.7</b> 28 katlı perdeler için moment ve kesme kuvvet dağılımı ( $R=6$ ) .....               | 141 |

## TABLÖLAR LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 5.1</b> Analizde kullanılan perdelerin boyları ve uç bölgesi donatıları.....                                                                       | 66 |
| <b>Tablo 5.2</b> Perde uç bölgesi donatı planı.....                                                                                                         | 69 |
| <b>Tablo 5.3</b> Perde uç bölgeleri için sargılı beton maksimum basınç gerilmesi ve<br>maksimum basınç gerilmesine karşı gelen birim şekil değiştirme ..... | 73 |
| <b>Tablo 5.4</b> Zhu vd. (1988a) göre A/V oranı sınırları.....                                                                                              | 74 |
| <b>Tablo 5.5</b> Analizde kullanılan deprem ivme kayıtları ve dinamik özellikleri .....                                                                     | 77 |

## SEMBOLLER LİSTESİ

|           |                                                                              |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------|
| $A_o$     | :Sargı donatısı kesit alanı                                                  |
| $A_{cc}$  | : Etkin kuşatılmış beton alanı                                               |
| $A_{cw}$  | : Perdenin plan alanı                                                        |
| $c$       | : Denklem 2.4’de yüksek mod etkisini gösteren katsayı                        |
| $b$       | : Pekleşme modülü                                                            |
| $bk$      | : Etriye dışından etriye dışına ölçülen çekirdek beton alanının küçük boyutu |
| $b_w$     | : Perde kalınlığı                                                            |
| $D_m$     | : Sabit katsayı                                                              |
| $D_{(x)}$ | : Kesit kuvvet vektörü                                                       |
| $d_{(x)}$ | : Kesit deformasyon vektörü                                                  |
| $e_{(x)}$ | : Fiber birim şekil değiştirme vektörü                                       |
| $E_c$     | : Betonun elastisite modülü                                                  |
| $E_a$     | : Donatı elastisite modülü                                                   |
| $E_l$     | : Donatı pekleşme modülü                                                     |
| $E_{(x)}$ | :Fiber gerilme vektörü                                                       |
| $E_t$     | : Tanjant modülü                                                             |
| $f_c$     | : Sargısız betonun silindirik basınç dayanımı                                |
| $f_{cc}$  | : Sargılı betonun silindirik basınç dayanımı                                 |
| $f_{ck}$  | : Betonun karakteristik basınç dayanımı                                      |
| $f_y$     | : Donatının akma gerilmesi                                                   |
| $f_{ywk}$ | : Sargı donatısının akma dayanımı                                            |
| $h_k$     | : Etriye dışından etriye dışına ölçülen çekirdek beton alanının büyük boyutu |
| $H_{cr}$  | : Perde kritik yüksekliği                                                    |
| $H_w$     | : Perde toplam yüksekliği                                                    |
| $g$       | : Yer çekim ivmesi                                                           |
| $I$       | : Bina önem katsayısı                                                        |
| $I_{(x)}$ | : Lineer geometrik matris                                                    |
| $k_e$     | : Mander beton modeli için etkin kuşatma katsayısı                           |
| $k_1,k_2$ | : Beton karışımına ve yanıl basınca bağılı katsayılar                        |
| $K$       | : Sargı etkisi                                                               |
| $l_u$     | : Perde uç bölgesi uzunluğu                                                  |
| $l_s$     | : Kesitteki sargı donatısı ve çirozların toplam uzunluğu                     |

|                  |                                                                                                                                   |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $L_w$            | : Perdenin plan uzunluğu                                                                                                          |
| $m_i$            | : Sismik kütle                                                                                                                    |
| $M_1, M_2,$      | : Modal moment                                                                                                                    |
| $M_{Ed}$         | : Tasarım eğilme momenti                                                                                                          |
| $M_{dt}$         | : Perdenin taban kesitinde yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan moment |
| $M_i$            | : i. kattaki momenti                                                                                                              |
| $M_{pt}$         | : Perdenin taban kesitinde $f_{ck}$ , $f_{yk}$ ve donatının pekleşmesi göz önüne alınarak hesaplanan moment kapasitesi            |
| $M_{Rd}$         | : Kapasite eğilme momenti                                                                                                         |
| $n$              | : Kat sayısı                                                                                                                      |
| $PGA$            | : Maksimum yer ivmesi                                                                                                             |
| $R$              | : Deprem yükü azaltma katsayısı                                                                                                   |
| $s$              | : Sargı donatısı aralığı                                                                                                          |
| $S_e(T)$         | : Elastik spektrumun ordinatı                                                                                                     |
| $q$              | : Deprem yükü azaltma kat sayısını                                                                                                |
| $Q$              | : Eleman kuvvet vektörü                                                                                                           |
| $V_1, V_2,$      | : Modal kesme kuvvetini                                                                                                           |
| $V_a$            | : Tasarım kesme kuvveti                                                                                                           |
| $V_d$            | : Hesap kesme kuvveti                                                                                                             |
| $V_i$            | : i. kattaki kesme kuvveti                                                                                                        |
| $V_{max}$        | : Deprem yüklemesi altında perdede oluşan maksimum taban kesme kuvveti                                                            |
| $V_{1max}$       | : Birinci mod etkisinde oluşan maksimum taban kesme kuvveti                                                                       |
| $V_{Fmax}$       | : Yüksek mod etkisinde oluşan kesme kuvveti                                                                                       |
| $V_n$            | : Statik limit analizden elde edilen perde taban kesme kuvveti                                                                    |
| $\omega_v$       | : Dinamik artım katsayısı                                                                                                         |
| $\epsilon$       | : Kesme kuvvet büyütme faktörünü                                                                                                  |
| $\epsilon_{co}$  | : Betonda maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalma                                                                         |
| $\epsilon_{coc}$ | : Sargılı betonun maksimum gerilmesine karşılık gelen birim kısalma                                                               |
| $\epsilon_{cu}$  | : Betondaki maksimum kısalma                                                                                                      |
| $\epsilon_o$     | : Denklem 4.1’de iki asimptotun kesiştiğı noktadaki birim şekil değıştirme                                                        |
| $\epsilon_r$     | : Denklem 4.1’de yükün yön değıştirdiğı noktadaki birim şekil değıştirme                                                          |
| $\epsilon_y$     | : Donatının akma birim uzaması                                                                                                    |
| $\gamma_{RD}$    | : Denklem 2.5 için dayanım artım faktörü                                                                                          |
| $T$              | : Doğal titreşim periyodunu                                                                                                       |

|                  |                                                                                                        |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $T_C$            | : İvme spektrumunun sabit olarak uzadığı son periyodu                                                  |
| $T_{1-cr}$       | : Çatlamış kesit hakim periyodu                                                                        |
| $\alpha_s$       | : Perdelerin tabanından elde edilen kesme kuvvetinin tüm sistemden elde edilen kesme kuvvetine oranını |
| $\beta_v$        | : Dinamik büyütme katsayısı                                                                            |
| $\beta^b$        | : Denklem 2.8 için dinamik büyütme katsayısı                                                           |
| $\sigma_c$       | : Betondaki gerilme                                                                                    |
| $\sigma_0$       | : Denklem 4.1’de iki asimptotun kesiştiği noktadaki gerilme                                            |
| $\sigma_r$       | : Denklem 4.1’de yükün yön değiştirdiği noktadaki gerilme                                              |
| $\sigma_{2e}$    | : Betona uygulanan eşdeğer yanal sargı basıncı                                                         |
| $\sigma_2$       | : Betona uygulanan ortalama yanal basınç                                                               |
| $\emptyset$      | : Dayanım fazlalığı katsayısı                                                                          |
| $\rho_s$         | : Sargı donatısı hacimsel oranı                                                                        |
| $\rho_x, \rho_y$ | : x ve y doğrultusundaki donatı oranı                                                                  |
| $\mu$            | : Yer değiştirme sünekliliği                                                                           |
| $Z_c$            | : Sargılı betonun $\sigma$ - $\varepsilon$ eğrisinin doğrusal bölümünün boyutsuz eğimi                 |
| $Z_u$            | : Sargısız betonun $\sigma$ - $\varepsilon$ eğrisinin doğrusal bölümünün boyutsuz eğimi                |

## KISALTMALAR

**ACI:** Amerika Beton Enstitüsü (*American Concrete Institute* )

**UBC:** Amerika Yapım Yönetmeliği (*Uniform Building Code*)

**TDY:** Türk Deprem Yönetmeliği

## 1. GİRİŞ

Betonarme perdeler, depreme dayanıklı yapı tasarımında yaygın olarak kullanılan taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Büyük miktarda yatay rijitliğe ve yatay yük taşıma kapasitesine sahip olan perdeler, deprem yükleri altında yapının yatay ötelenmesini sınırlayarak, hasar oluşumunu azaltırlar. Dünya genelinde hasar yapıcı depremler sonrası yapılan incelemelerde, perdeli yapıların çok iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Tasarım özelliklerine göre gelen deprem yüklerinin tamamını veya büyük bir kısmını karşılayan perdelerin, sismik tehlikenin yüksek olduğu bölgelerde, yapı tasarımında kullanılması ekonomik ve güvenilir bir çözüm sunmaktadır.

Deprem riskinin yoğun olduğu bölgelerde yaygın olarak kullanılan betonarme perdeler, çeşitli şekillerde sınıflandırılırlar. Sınıflandırmalardan biri, perde yüksekliği/perde uzunluğu ( $H_w/L_w$ ) şeklinde ifade edilen boy/en oranıdır.  $H_w/L_w$  oranı, 1'den küçük ve eşit olanlar “*bodur perde*” olarak adlandırılır ve bu perdelerin tasarımında ve hasar mekanizmasında kesme kuvveti etkilidir.  $H_w/L_w$  oranı, 3'den büyük ve eşit olanlar ise “*uzun perde*” olarak adlandırılır ve bu perdelerin tasarımında ve hasar mekanizmasında ise eğilme momenti etkilidir. Bu oranların arasında olan perdeler ise orta yükseklikteki perdelerdir ve bu perdelerin tasarımında ve hasar mekanizmasında kesme kuvveti ve eğilme momenti birlikte etkilidir (Thomsen ve Wallace, 1995).

Perdelerin sınıflandırılmasında dikkate alınan diğer bir husus ise, perdelerin geometrik şekilleridir. Simetrik donatı düzenine sahip dikdörtgen perdeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Simetrik perdeler birçok araştırmacı tarafından deneysel ve analitik yöntemler ile incelenmiştir. Ancak yapının geometrik şekli ve mimari gereksinimler T, L, C şeklinde başlıklı perdelerin kullanılmasını gerekli kılabilir. Başlıklı perdelerin dayanım, rijitlik ve sünekliliği simetrik perdelerle göre oldukça farklıdır (Thomsen ve Wallace, 1995; Wallace, 1992; Wallace, 1995). Simetrik perdelerin aksine asimetrik perdeler üzerine yapılan deneysel ve analitik çalışmalar oldukça sınırlı sayıdadır.

Yapının deprem karşısındaki davranışını belirleyen perdelerin, tasarımdaki yatay yük etkinliği, perdelerin sınıflandırılmasında etkili olan diğer bir husustur. Yapıya etki eden deprem yüklerinin tamamının perdeler tarafından karşılandığı, perdelerin birbirine

çoğunlukla döşeme ile bağlandığı sistemler *perdeli* veya ülkemizde yaygın kullanımı ile tünel kalıp sistemler olarak adlandırılır. Deprem yükünün perde ve kolon etkileşimi ile taşındığı sistemler ise *perde+çerçeve* sistemler olarak adlandırılır ve bu sistemler yaşanan yıkıcı depremlerden sonra yurdumuzda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

### 1.1 Betonarme Perdelerin Deprem Performansı

Perdeli sistemler, küçük şiddetli depremlerde elastik davranış göstererek taşıyıcı olmayan elemanlarda hasar oluşumunu önlerler. Büyük şiddetli depremlerde ise; büyük yatay rijitliğe sahip olan perdeler, yatay ötelenmeyi sınırlayarak, yapıların toptan göçmesini önlerler ve yapısal olmayan elemanlardaki hasar oluşumunu sınırlandırır. Yüksek dayanım ve rijitliğe sahip olan betonarme perdeler, depreme karşı çok iyi performans sergileyerek adeta binanın sigortası görevini üstlenirler.

Perdelerin depreme karşı etkili performansı, dünyadaki birçok hasar yapıcı depremden sonra araştırmacılar tarafından yerinde gözlemlenmiştir. Özellikle 3 Mart 1985 tarihinde Şili’de meydana gelen büyüklüğü 7.8 olan depremde, perdeler çok iyi bir performans sergilemişlerdir. Araştırmacılar tarafından yerinde yapılan incelemelerde, perde alanının/ bina alanına oranı % 5-6 seviyesinde perde kullanılan yapılarda, hasarın oluşmadığı yada çok küçük düzeyde kaldığı tespit edilmiştir (Wood vd.,1987; Wallace ve Moehle, 1989). 1985 Şili depreminde perdelerin gösterdiği performans, birçok araştırmacıyı perdeler üzerine sayısal ve deneysel çalışma yapmaya yöneltmiştir. Şili’de 27 Şubat 2010 tarihinde meydana gelen 8.8 büyüklüğündeki depremde de perdeler, 1985 yılındaki depremdeki kadar olmasa da iyi bir performans sergilemişlerdir (Wallace, 2011). Aynı şekilde 1967 Karakas, Venezuela depreminde de çerçeveli yapılarda belirgin hasarlar meydana gelirken, aynı bölgedeki perdeli yapılarda ise hasar seviyesi minimum düzeyde kalmıştır (Fintel, 1995).

Türkiye’de yapılarda perde kullanımının tarihi eski olmadığından, perdelerin performansı ile ilgili ülkemizden örnekler bulmak oldukça güçtür. Hatta deprem sonrası hazırlanan teknik raporlara, betonarme perde kullanımı ile ilgili tavsiyeler damgasını vurmaktadır. 1992 Erzincan Depreminden sonra *Uğur Ersoy* tarafından hazırlanan raporda, binanın her bir yönünde bina alanının 0.0015’i kadar perde bulundurulması tavsiye edilmiştir (Ersay, 1992). Örneğin, çok geniş bir alanı etkileyen, 17 Ağustos 1999 tarihinde

meydana gelen 7.4 büyüklüğündeki Körfez Depremi'nde, bölgede çok az sayıda bulunan perdeli yapılarda, çerçeveli yapıların aksine çok küçük hasarlar meydana geldiği deprem sonrası hazırlanan raporlarda belirtilmiştir. Yakın tarihte yaşadığımız, büyük can ve mal kayıplarına neden olan 23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen 7.2 büyüklüğündeki Van Erciş Depremi sonrası hazırlanan raporlarda, birçok yapıda görülen duvar hasarlarının perde kullanılması durumunda meydana gelmeyeceği belirtilmiştir. Ayrıca tamamen göçerek can kayıplarına sebep olan yapılarda perde kullanılması durumunda, yatay ötelenmenin sınırlandırılarak, ikinci mertebe etkileri azaltılacağı için tamamen göçmenin gerçekleşmeyeceği de belirtilmiştir. Nitekim tasarım ve yapım aşamasında birçok eksikliğe rağmen bölgedeki perdeli yapılar iyi bir performans sergilemişlerdir. Özellikle çerçeve içine perde eklenmek suretiyle güçlendirilen binalar, bu depremi hasarsız atlattırlardır. Ancak, yaşadığımız yıkıcı depremlere, uzmanların raporlarına rağmen, mimari kaygılar başta olmak üzere birçok nedenlerden dolayı, tasarımda perde kullanımı son 10 -15 yıla kadar pek yaygınlaşmamıştır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımda tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaya başlanan perdelerin, etkin ve ekonomik bir şekilde tasarlanması gerekir. Perdelerin yıkıcı depremler altında gösterdiği davranışlar, yönetmeliklerde dikkate alınan tasarım parametrelerinin geçerliliği ve önceliği hakkında önemli bir deneysel alt yapı sunmuştur. Örneğin, 1985 Şili depreminden sonra *UBC-94* (Uniform Building Code) ve *ACI318-99* ( American Concrete Institute) yönetmeliklerinde perde tasarımı ile ilgili değişikliğe gidilerek, dayanım tabanlı tasarım yaklaşımı yerine performans tabanlı yaklaşım esas alınmıştır. Perdelerin modellenmesi en az tasarım parametreleri kadar önemlidir. Perde modellerinin perdenin elastik ötesi davranışını, etkili ve doğru bir şekilde yansıtmaları gerekmektedir. Bu konuda araştırmacılar deneysel ve analitik karşılaştırma yapmak suretiyle yoğun çaba sarf etmektedirler.

## **1.2 Betonarme Perdelerin Kapasite Tasarımı**

Deprem yönetmelikleri, deprem etkisinin meydana gelme ihtimali ve yapının önemini dikkate alarak bir tasarım depremi belirler. Yapıya etki eden deprem kuvveti, tasarım depreminden küçük olabileceği gibi büyük olma ihtimalide vardır. Yapının ekonomik ömrü içinde etkiye olasılığı az olan büyük depremlerin, elastik şekil değiştirmeler ile karşılanması hantal ve ekonomik olmayan tasarımlara neden olur. Bu nedenle, Türk

Deprem Yönetmeliği'nde ve dünya genelinde ki deprem yönetmeliklerinde, depreme dayanıklı yapı performansı ilkesi ortaya konulmuştur. Bu ana ilke; *“hafif şiddetteki depremlerde binadaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasarın oluşumunun sınırlandırılması”* olarak benimsenmiştir. Bu ilkeden hareketle kapasite tasarımı geliştirilmiştir (Celep Z., 2014).

Kapasite tasarımının amacı, şiddetli depremlerde oluşan yapısal hasarların sünek güç tükenmesi ile sönümlenmesi ve toptan göçmenin meydana gelmemesidir. Taşıyıcı sistemlerin boyut ve donatı detayları, sünek güç tükenmesini sağlayacak ve gevrek güç tükenmesini önleyecek şekilde belirlenir. Wallace (1994), ACI 318'de perde tasarımında dikkate alınan kuvvet esaslı yaklaşımın ekonomik olmayan tasarımlara neden olduğunu tespit etmiş ve performansa dayalı tasarımı önermiştir.

Betonarme perdelerde, küçük şiddetli depremlerde elastik şekil değiştirmeler meydana gelirken, orta ve büyük şiddetli depremlerde genellikle perdenin temele birleştiği noktada elastik ötesi şekil değiştirmeler gözlenir (Thomsen ve Wallace, 1995). Perdeler eksenel yükü ve deprem kuvvetini, dayanımında büyük bir kayıp meydana gelmeden taşıyacak şekilde tasarlanmalıdır. Özellikle ince perdeler, konsol kolonlar gibi davrandığı için hasar, momentin fazla olduğu perde tabanında yoğunlaşır ve yönetmelikler tarafından bu bölge kritik perde yüksekliği olarak adlandırılır. Kritik perde yüksekliği boyunca, perde uçları depremin tersinir etkisinden ötürü, tekrarlı çekme ve basınç şekil değiştirmelerine maruz kalırlar. Bununla beraber, perdelerin deprem enerjisini sünek bir davranış göstererek sönümleyebilmesi için, deprem etriyeleri ile sargılanmış perde uç bölgeleri oluşturulur. Enine sargı donatısı perde uç bölgelerinde, beton basınç dayanımını, birim şekil değiştirme kapasitesini artırmak ve boyuna donatıların burkulmasını önlemek suretiyle şekil değiştirme kapasitesini artırır (Thomsen ve Wallace, 1995).

Perdelerde sünek güç tükenmesini sağlayabilmek için bir diğer husus ise, eğilme güç tükenmesinin kesme güç tükenmesinden önce meydana gelmesinin sağlanmasıdır. Çünkü eğilme güç tükenmesi deprem enerjisini sünek bir şekilde sönümlerken, kesme güç tükenmesi ani göçmelere yol açan gevrek bir güç tükenmesi ile sönümler. Kesme güç tükenmesini önlemek için, kesme kuvvet kapasitesinin eğilme kapasitesinden büyük olması

gerekir. Ancak perdelerdeki kesme kuvvet kapasitesi kolon ve kirişlerdeki gibi eğilme kapasitesinden kolayca hesaplanamamaktadır. Çünkü perdelerdeki kesme kuvveti, kesitin eğilme kapasitesine ek olarak yapıya etki eden yatay deprem kuvvetlerin uygulama noktasına da bağlıdır (Keintzel, 1992).

Betonarme perdelerin kesme kuvvet tasarımında, eşdeğer deprem yükü yöntemi veya mod birleştirme yöntemi kullanılır. Dinamik esaslara ve elastik davranışa dayanan bu yöntemlerde, deprem kuvvetleri birinci doğal titreşim modu esas alınarak, birinci mod şekline benzeyen yaklaşık ters üçgen şeklinde yapı yüksekliği boyunca etki ettirilir. Perde kesme kuvveti, kesitin eğilme dayanımı ve yaklaşık üçgen şeklindeki yük dağılımı dikkate alınarak belirlenir. Ancak perdeler üzerinde yapılan deneysel ve elastik ötesi davranışı göz önüne alan sayısal çalışmalar, deprem yüklemesi altında betonarme perdelerde oluşan kesme kuvvetinin, eşdeğer deprem yükü veya mod birleştirme yöntemine göre hesaplanan kesme kuvvetinden oldukça büyük olduğunu göstermiştir (Blakeley vd. 1975; Kabeyasawa, 1987, Eberhard ve Sözen, 1993). Ayrıca perde eğilme moment kapasitesi, minimum donatı veya başka sebeplerle aşıldığında, kesme kuvvet kapasitesi aynı oranda artırılarak gevrek güç tükenmesi önlenmelidir. Kesme kuvvetindeki bu artış, dayanım fazlalığı katsayısından ve elastik olmayan durumlarda yüksek modların ilave etkilerinden kaynaklanmaktadır. Perde tabanında plastik şekil değiştirmeler meydana geldikten sonra, yüksek modların kesme kuvveti üzerindeki etkisinin arttığı tespit edilmiştir. Yüksek modların etkisi ile deprem yüklemesinin uygulama merkezinin, tasarımda dikkate alınan uygulama merkezinin altına düştüğü ve bu durumda kesme kuvvetini artırıcı yönde etki gösterdiği deneysel çalışmalar ile karşılaştırılarak ortaya konulmuştur (Eberhard ve Sözen, 1993). Depremin büyüklüğü arttıkça, kuvvet dağılımı yüksek modların etkisi ile birinci mod biçiminden ve yaklaşık ters üçgen kabulünden uzaklaşmaktadır. Ayrıca perdelerin yüksekliği arttıkça, yüksek modların etkinliği de artmaktadır. Kesme kuvvetinde meydana gelen bu artış, erken çatlamalara yol açabilmektedir (Blakely vd.,1975).

Perdelerde gevrek güç tükenmelerine neden olabilecek kesme kuvvet artışını dikkate alabilmek için; ilk defa Blakely ve arkadaşları (1975) tarafından dinamik büyütme katsayısı önerilmiştir. Elastik analiz sonucu hesaplanan kesme kuvveti, dinamik büyütme katsayısı ile artırılarak tasarıma esas kesme kuvveti elde edilmiştir. Daha sonra yapılan çalışmalarda, kesme kuvvet artışında yüksek modlara ek olarak, deprem büyüklüğünün ve

yapı sünekliliğinin de etkili olduğu gösterilmiştir (Keintzel,1990; Rutenberg ve Nsieri, 2006; Priestly vd.,2007).

Perdelerin kesme kuvveti ve dinamik büyütme etkisi üzerindeki sayısal ve deneysel çalışmalar devam etmektedir. Dinamik büyütme etkisi üzerinde ortak bir karar oluşmadığı için, deprem yönetmelikleri farklı çalışmalardan esinlenerek tasarım kesme kuvvetini belirler. Türk Deprem Yönetmeliği (2007), perdelerin tasarımında Paulay ve Priestley (1992) tarafından yapılan çalışmaları dikkate almıştır. Paulay vd. (1992) perde tabanında oluşacak en büyük kesme kuvvetinin, çözümlmeden elde edilen kesme kuvvetinin dayanım fazlalığı katsayısı olarak tanımlanan, perde tabanındaki moment kapasitesinin çözümlmeden elde edilen perde taban momentine oranı ile artırılmasını önermiştir. Buna ek olarak, perdelerde elastik ötesi şekil değiştirmeler meydana geldikten sonra yüksek modların kesme kuvveti üzerindeki etkisini dikkate alabilmek için, artırılmış kesme kuvvetinin sabit bir katsayı ile büyütülmesini önermiştir.

### **1.3 Tezin Kapsamı ve Amacı**

Bu tez kapsamında deprem perdelerindeki kesme kuvvet artışı sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada perdelerin kesme kuvvet artışı üzerinde, perde yüksekliğinin, perde boy/en ( $H_w/L_w$ ) oranının ve perde sünekliliğinin etkisi araştırılmıştır. Türk Deprem Yönetmeliği'nde (2007) sabit katsayılar ile ifade edilen dinamik büyütme kat sayısının etkinliği elastik ötesi analiz yapılarak irdelenmiştir. Çalışma kapsamında, mod birleştirme yöntemi ve Türk Deprem Yönetmeliği (2007) dikkate alınarak çalışmada kullanılacak deprem perdeleri tasarlanmıştır. Tasarlanan perdelerin zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak, gerçek ivme kayıtları altında elastik ötesi analizi yapılmıştır. Perdelerin modellenmesinde malzemenin ve elemanın elastik ötesi davranışı dikkate alınmıştır. Elastik ve elastik ötesi analiz neticesinde elde edilen kesme kuvvetleri karşılaştırılarak, kesme kuvvetindeki artış belirlenmiştir. Kesme kuvvet artışları üzerinde, ele alınan parametrelerin etkinliği verilmiştir. Çalışmanın sonunda perdelerin kesme kuvvet tasarımı ile ilgili, Türk Deprem Yönetmeliği (2007) esas alınarak, daha etkin ve daha verimli bir tasarım önerisi ortaya konulması amaçlanmıştır.

Çalışma altı bölümden oluşmaktadır. Tez kapsamında yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

- *Bölüm 1*, tez çalışmasının giriş bölümüdür. Konu, amaç, içerik, çalışmalar ve sonuçlar hakkında genel bir bilgilendirme yapılmıştır.
- *Bölüm 2*'de, betonarme perdelerin kesme kuvvet talep artışları üzerinde yapılan deneysel ve sayısal çalışmalar özetlenmiştir.
- *Bölüm 3*'de, perdelerin elastik ötesi analizlerinde, sonuçlar üzerinde önemli etkiye sahip olan perde modelleri ile ilgili literatür çalışmaları hakkında bilgi verilmiştir. Perdelerin modellenmesinde dikkate alınan makro ölçekli ve mikro ölçekli modeller hakkında genel bir bilgi verildikten sonra, çalışmada kullanılan lif kesitli kiriş-kolon eleman model hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir.
- *Bölüm 4*'de, çalışmada kullanılan lif kesitli kiriş-kolon eleman modelin sonuçları üzerinde önemli etkiye sahip olan malzeme davranış modelleri hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Malzeme davranış modelleri ile ilgili literatürde çok yaygın olarak kullanılan modeller ile ilgili özet bilgi verildikten sonra, çalışmada kullanılan beton ve donatı davranış modelleri ayrıntılı olarak tanıtılmıştır.
- *Bölüm 5*'de, sayısal çalışma için veri girişleri ve analiz sonuçları verilmiştir. Perdelerin boyutlandırılması ve tasarlanmasında dikkate alınan parametreler belirtilmiştir. Ayrıca, zaman tanım alanında hesap yönteminde kullanılan deprem ivme kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi ile ilgili yapılan çalışmalar ve ölçeklendirmede dikkat edilen hususlar belirtilmiştir. Elastik ve elastik ötesi analizler neticesinde elde edilen kat kesme kuvvetlerinin ve momentlerinin dağılımı, kesme kuvvet talep artışları ve dinamik büyütme katsayısının değişimi verilmiştir. Analizler neticesinde dinamik büyütme katsayısı için, biri grafik tabanlı diğeri de formüle dayanan iki yaklaşım önerilmiştir. Ayrıca kat kesme kuvvetlerinin dağılımı dikkate alınarak, kesme kuvvet dağılımı için bir eğri önerilmiştir.
- *Bölüm 6*'da ise, analizler neticesinde elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve öneriler belirtilmiştir. Ayrıca çalışmanın sınırları belirtilerek, gelecek çalışmalarda dikkate alınması gereken hususlar için önerilerde bulunulmuştur.

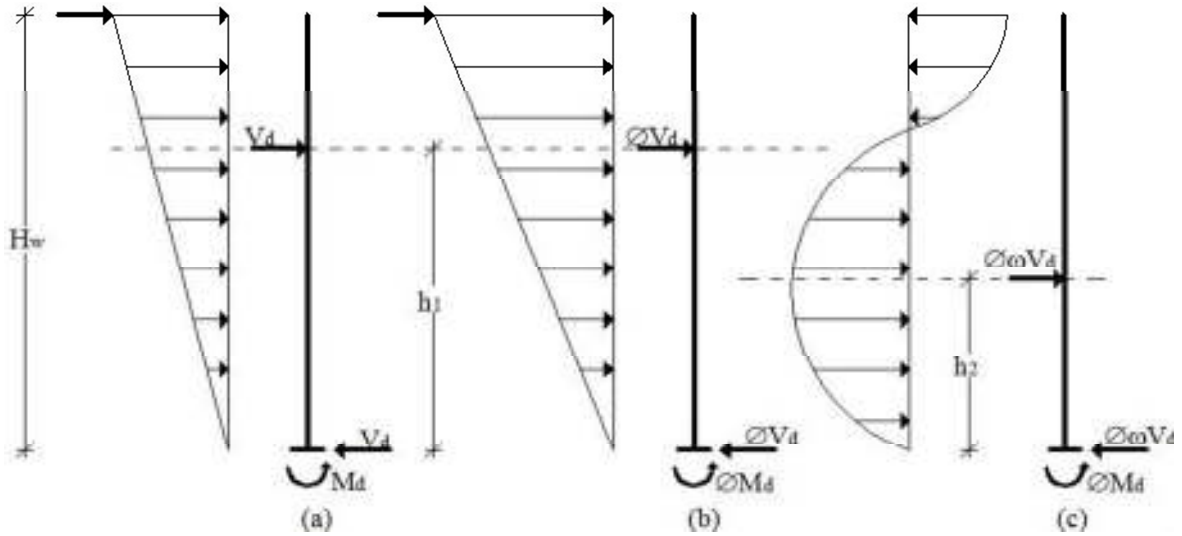
## 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Türkiye; yüz ölçümünün büyük bir bölümü, sismik hareketliliğin yoğun olduğu bir bölgede konumlanan bir ülkedir. Ayrıca son yüzyılda yaşanan şehirleşme eğilimi ile nüfusunun büyük bir bölümü, deprem tehlikesinin yoğun olduğu bölgelerde çok katlı binalarda yaşamaktadır. Bu sebeple yurdumuzda, betonarme binaların tasarımında dikkate alınması gereken en önemli husus, deprem enerjisinin uygun bir şekilde sönmülmesidir.

Binaların taşıyıcı sistemlerinin depreme karşı dayanıklı olarak tasarımında, genel olarak iki farklı husus dikkate alınır. Bunlardan birincisi, taşıyıcı sistemin tasarım depremi altında doğrusal-elastik olarak davranacak şekilde boyutlandırılmasıdır. Yani tasarım depremi ile oluşacak iç kuvvetlerin yapının elastik kapasitesini aşmasına, plastik şekil değiştirme oluşturmaya izin verilmez. Bir diğer deyişle binada hasar oluşmasına müsaade edilmez. Ancak bu tasarım yaklaşımı ekonomik değildir ve önemli yapılar dışında tercih edilmez. Depreme dayanıklı yapı tasarımında dikkate alınan ikinci yaklaşım ise; tasarım depremi altında taşıyıcı sistemin doğrusal-elastik ötesi davranışını dikkate alır. Bu yaklaşımda, sistemde deprem enerjisini sünek bir şekilde sönmüleyecek mekanizma noktaları belirlenir ve belirli elemanlarda elastik-ötesi şekil değiştirmelere izin verilir. Bina öngörülen davranış modeline uygun olarak tasarlanır. Bu yaklaşım ile ekonomik ve güvenilir yapılar tasarlamak mümkündür. Ancak bu yaklaşımın etkin olabilmesi için, boyutlandırmanın *kapasite tasarım ilkeleri* dikkate alınarak yapılması gerekir (Özer, 2007).

Depreme dayanıklı yapı tasarımında etkin olarak kullanılan betonarme perdelerin, kapasite tasarımı ilkesi çerçevesinde, deprem enerjisini sünek bir güç tükenmesi ile sönmüleyecek şekilde tasarlanması gerekir. Betonarme perdelerde sünek güç tükenmesi, eğilme şekil değiştirmesi ile mümkündür. Bu durumda betonarme perdelerin, gevrek bir güç tükenmesine yol açan kesme güç tükenmesinin, eğilme güç tükenmesinden önce meydana gelmesini önleyecek şekilde tasarlanması gerekir. Buda ancak kesme kapasitesinin eğilme kapasitesinden yüksek olması ile mümkündür (Paulay ve Priestley, 1992). Kesme kuvvet kapasitesinin belirlenmesi için ise kesme kuvvet talebinin belirlenmesi gerekir.

Kesme kuvvetindeki artış deprem gibi dinamik etkilerden kaynaklanmaktadır (Paulay ve Priestley, 1992). Deprem yüklemesi altında, etkin olan birinci mod için kesme kuvvet dağılımı Şekil 2.1(a) ve dayanım fazlalığı katsayısı ile artırılmış durum için ise Şekil 2.1(b) de gösterilmiştir. Ters üçgen şeklindeki bu dağılım, deprem yönetmelikleri tarafından statik hesaplarda da benimsenmiştir. Bu dağılımda, bileşke kuvvet perde tabanından itibaren  $h_1 \cong 0.70H_w$  etki eder. Ancak perde tabanında elastik ötesi şekil değiştirmeler meydana geldikten sonra ikinci ve üçüncü modun etkinliği artar ve kesme kuvvet dağılımı Şekil 2.1(c)'de gösterildiği gibi olur. Çünkü ankastre veya mafsallı durumda konsollarda ikinci ve üçüncü mod şekilleri aynıdır (Paulay ve Priestley, 1992). Yani perde tabanında mafsal oluşumu ikinci ve üçüncü modun etkinliğini değiştirmezken birinci modun etkinliğini önemli ölçüde azaltır. Bu durumda, bileşke kuvvetin etki noktası bir önceki dağılıma göre perde tabanına yaklaşır ve perdenin kesme kuvvetinde ikinci ve üçüncü modun etkisi birinci modun etkisinden daha fazla olur (Paulay ve Priestley, 1992).



**Şekil 2.1** Kesme kuvvet dağılımı; (a) Birinci mod şeklinin esas alındığı yük dağılımı, (b) Birinci mod şekli ve dayanım fazlalığı katsayısını dikkate alan yük dağılımı, (c) Perde tabanında elastik ötesi şekil değiştirmeler meydana geldikten sonra, yüksek modların etkisi ile oluşan yük dağılımı (Paulay ve Priestley, 1992).

Yüksek modların, perdelerin taban kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi ilk defa Blakeley vd.(1975) tarafından incelenmiştir. Blakeley vd. (1975); deprem yönetmeliklerine göre betonarme perdelerde hesaplanan kesme kuvvetinin, perdelerde oluşan kesme kuvvetinden daha düşük olduğunu sayısal çalışma ile ortaya koymuşlardır. Blakeley vd., çalışmalarında Yeni Zelanda Deprem Yönetmeliği'ni incelemişlerdir. Bu yönetmelikte

perdelerin kesme kuvvet tasarımı, perde tabanındaki moment kapasitesi belirlenir ve yaklaşık ters üçgen şeklindeki yatay yük dağılımı dikkate alınarak kapasite momentini oluşturan kesme kuvveti hesaplanır (Şekil 2.1 (a-b)). Yönetmelik kesme kuvvet tasarımı büyük oranda birinci modu dikkate almak ile beraber, yüksek perdelerde yüksek modların etkisini dikkate almak için taban kesme kuvvetinin 0.10'nu kadar ek bir yükü perdenin en üst noktasına etki ettirmektedir. Ancak Blakeley vd. (1975), yaptıkları elastik ve elastik ötesi analizler ile bu tasarımın yetersiz olduğunu ve kesme güç tükenmesini önleyemediğini göstermişlerdir. Blakeley vd. çalışmanın ilk kısmında, deprem yükü perdeler tarafından karşılanan 10 katlı bir yapıyı, modal analiz ile incelemişlerdir. Analizde, dayanım fazlalığı katsayısı, periyot ve sönüm oranı değişkenleri ve yapının ilk üç modu dikkate alınarak kesme kuvvetindeki artış incelenmiştir. Analiz neticesinde eğilme kapasitesine ulaşan betonarme perdede, birinci modun kesme kuvvet üzerindeki etkisinin azaldığı yüksek modların etkisinin arttığı gözlenmiştir. Yüksek modların etkisi ile yatay yük uygulama noktasının, yönetmeliklere göre belirlenen noktanın çok altına düştüğü ve bunun neticesinde kesme kuvvetinde artış meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 2.1(c)). Betonarme perdelerdeki kesme kuvvetinin, periyotun artması, dayanım fazlalığı katsayısının azalması ve süneklilik talebinin artması ile arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca perdelerin yönetmelikteki esaslara göre tasarlanması durumunda, elastik ötesi şekil değiştirmelerin sadece perde tabanında değil perdenin üst kısımlarında da meydana gelebileceğini belirtmişlerdir.

Blakeley vd., çalışmalarının ikinci bölümünde plastik mafsallı oluşumunun kesme kuvvet üzerindeki etkisini, elastik ötesi analiz ile incelemişlerdir. Bu analizde 6, 15 ve 20 katlı perdeli yapılar beş ivme kaydı altında, zaman tanım alanında hesap yöntemi ile incelenmiştir. Analiz neticesinde perdelerdeki kesme kuvvetinin, deprem büyüklüğü arttıkça arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca dinamik analiz ile perdelerdeki elastik ötesi şekil değiştirmelerin perde yarı yüksekliğine kadar uzadığı ancak elastik ötesi dönmelerin perde tabanında büyük değerlere ulaştığı tespit edilmiştir. Blakeley vd. çalışmalarının sonucunda, kapasite momenti dikkate alınarak yönetmelikteki esaslara göre hesaplanan perde kesme kuvvetinin, kat sayısı ve taşıyıcı sistem türüne göre değişen büyütme faktörü ile çarpılarak artırılmasını önermişlerdir.

Blakeley vd. tarafından yapılan öneriler, ilk defa Yeni Zelanda Deprem Yönetmeliği (1982) tarafından dikkate alınmıştır. Yönetmelikte hesap kesme kuvveti

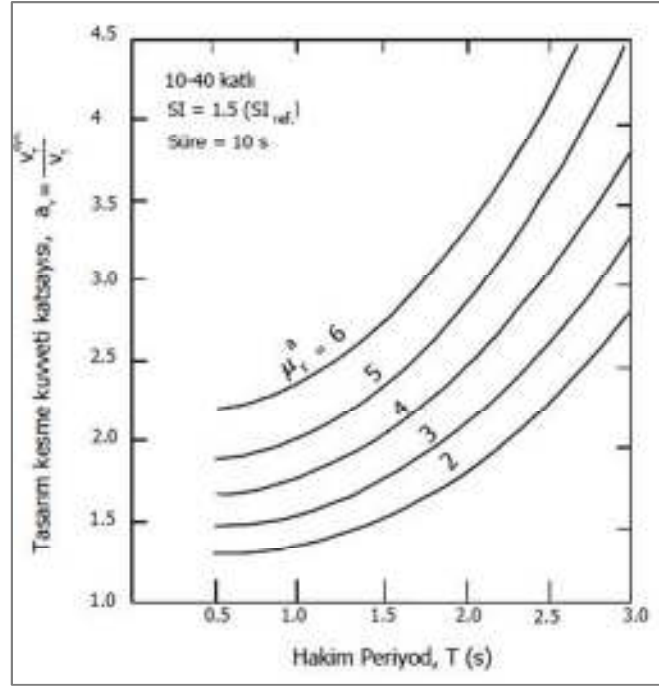
Denklem 2.1’de de gösterildiği gibi dinamik artım kat sayısı ( $\omega_v$ ) ile artırılarak tasarım kesme kuvveti hesaplanır.

$$V_a = \omega_v V_d$$

$$\omega_v = \begin{cases} 0.9 + \frac{n}{10} & n \leq 6 \\ 1.3 + \frac{n}{30} \leq 1.8 & n > 6 \end{cases} \quad (2.1)$$

Burada,  $V_a$  tasarım kesme kuvvetini,  $V_d$  hesap kesme kuvvetini,  $\omega_v$  büyütme faktörünü ve “ $n$ ” ise kat adedini temsil eder. Bu durumda Yeni Zelanda Yönetmeliği’ndeki büyütme faktörü dolaylı olarak doğal titreşim periyodunun bir fonksiyonudur.

Derecho ve Corley (1984) yaptıkları parametrik çalışma ile kesme kuvvetinde meydana gelen artışta, doğal titreşim periyodunun yanı sıra perdenin sünekliliğinin de etkili olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında kesme kuvveti büyütme faktörü, doğal titreşim periyodu ve perde sünekliliği arasındaki ilişkiyi şematik olarak ifade etmişlerdir (Şekil 2.2). Sayısal analiz sonuçlarını deneysel veriler ile de doğrulayan Derecho ve Corley, kesme kuvvet artım faktörü ile deprem büyüklüğü arasında doğrusal bir ilişki olduğunu ifade etmişlerdir.



**Şekil 2.2** Drecho ve Corley (1984) tarafından önerilen kesme kuvvet büyütme katsayısı.

Aoyama (1987); Amerika ve Japonya Deprem Mühendisliği Programı iş birliği ile gerçekleştirilen, yedi katlı gerçek ölçülerdeki perde+çerçeve sistemden oluşan deneysel çalışma için geliştirdiği analitik çalışmada; perdelerin yüksek modlara karşı hassas olduğunu iddia etmiştir. Aoyama (1987); birinci moddaki etkilerin perde+çerçeve tarafından, yüksek moda etkilerinin ise sadece perdeler tarafından taşındığını belirtmiştir. Dinamik yükleme altında perdelerde oluşan kesme kuvvetini, birinci modun etkisini ifade eden ters üçgen dağılımı ile yüksek modların etkisini gösterecek şekilde iki kısımdan oluşan formülle ifade etmiştir:

$$V_{\max} \leq V_{1\max} + V_{F\max} \quad (2.2)$$

Burada,  $V_{\max}$  deprem yüklemesi altında perdede oluşan maksimum taban kesme kuvvetini,  $V_{1\max}$  birinci mod etkisinde oluşan maksimum taban kesme kuvvetini ve  $V_{F\max}$  ise yüksek mod etkisinde oluşan kesme kuvvetini temsil eder. Aoyama (1987), yüksek mod etkisinde oluşan kesme kuvvetini, Denklem 2.3’de gösterildiği gibi yer ivmesinin bir fonksiyonu olarak ifade etmiştir.

$$V_{Fmax} = D_m W PGA/g \quad (2.3)$$

Burada,  $D_m = 0.27, 0.29, 0.30$  ve  $0.34$  sırasıyla beş, yedi, dokuz ve çok katlı yapı için sabit katsayıyı,  $W$  perdenin toplam ağırlığını,  $PGA$  maksimum yer ivmesini ve  $g$  yer çekimi ivmesini temsil eder.

Kabeyasawa (1987); 7 katlı gerçek ölçekli perde+çerçeve sistem üzerinde yaptığı deneysel çalışma neticesinde, eşdeğer statik analizlerden elde edilen kesme kuvvetinin yetersiz olduğunu belirtmiştir. Perde tabanındaki kesme kuvvetinin elastik ötesi bölgede, yüksek modların ve yer ivmesinin etkisi ile arttığını iddia etmiş ve bu etkileri dikkate aldığı kesme kuvvet bağıntısını önermiştir:

$$V_{max} = V_n + c.W.PGA \quad (2.4)$$

Burada,  $V_{max}$  perde tabanındaki maksimum kesme kuvvetini,  $V_n$ , birinci moddaki kuvvet dağılımı dikkate alınarak statik limit analize göre hesaplanan kesme kuvvetini,  $c$  yüksek mod etkisini ifade eden değeri  $0.25$  ile  $0.30$  arasında değişen kat sayısını,  $W$  perdenin sismik ağırlığını,  $PGA$  ise tasarım maksimum yer ivmesini temsil eder.

Eibl ve Keintzel (1988), konsol perdeler üzerine yaptıkları parametrik çalışmada, zaman tanım alanında hesap yönteminden ve eşdeğer deprem yükü yönteminden elde ettikleri sonuçları karşılaştırmışlardır. Analizler neticesinde, perdeler eğilme kapasitesine ulaştıktan sonra, kesme kuvvet üzerinde yüksek modların etkili olduğu belirtilmiş, ilk iki modun etkisi dikkate alınmıştır. Ayrıca Eibl ve Keintzel, kesme kuvvet artışında yüksek modlara ek olarak sünekliliğinde etkili olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıntılı analizler sonucunda, *Eurocode 8 EN 1998-1 (CEN, 2004)* perde kesme kuvvet tasarımında da esas alınan, aşağıdaki kesme kuvvet büyütme faktörü önerilmiştir:

$$\varepsilon = q \sqrt{\left(\frac{\gamma_{Rd} M_{Rd}}{q M_{Ed}}\right)^2 + \left(\sqrt{0.1} \frac{S_e(T_C)}{S_e(T_1)}\right)^2} \leq q \quad (2.5)$$

Burada,  $\varepsilon$  kesme kuvvet büyütme faktörünü,  $q$  deprem yükü azaltma kat sayısını,  $M_{Ed}$  perde tabanındaki tasarım eğilme momentini,  $M_{Rd}$  perde tabanındaki kapasite eğilme momentini,  $\gamma_{Rd}$  dayanım artım faktörünü,  $T_1$  doğal titreşim periyodunu,  $T_C$  ivme

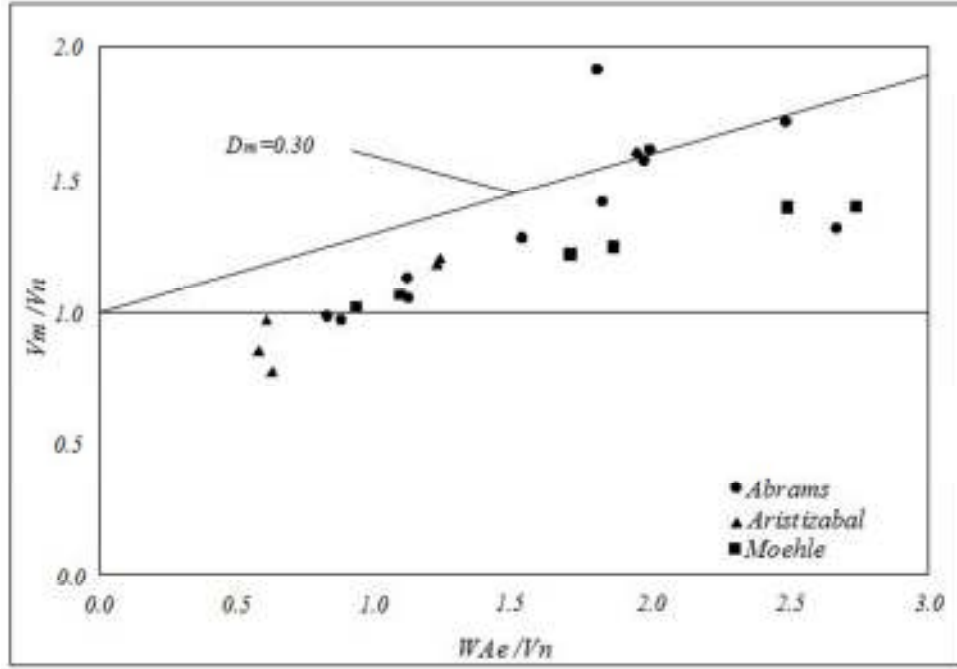
spektrumunun sabit olarak uzadığı son periyodu,  $S_e(T)$  elastik spektrumun ordinatını temsil eder.

Ghosh ve Maikievicius (1990), konsol perde üzerine yaptıkları analitik çalışma ile kesme kuvvetindeki artışın, yer ivmesinin bir fonksiyonu olduğunu ve yapı periyodundan bağımsız olduğunu iddia etmişlerdir. 10, 20, 30 ve 40 katlı konsol perde üzerine yaptıkları üç yüzden fazla analiz sonucunda, perdelerin kapasite kesme kuvvetleri ile ilgili aşağıdaki formülü önermişlerdir:

$$V_{\max} = 0.25 \cdot W \cdot \frac{PGA}{g} \cdot \frac{M_y}{0.67H} \quad (2.6)$$

Burada,  $W$  perdenin sismik ağırlığını,  $PGA$  maksimum yer ivmesini,  $M_y$  perde tabanındaki akma momentini ve  $H$  toplam perde yüksekliğini ifade eder.

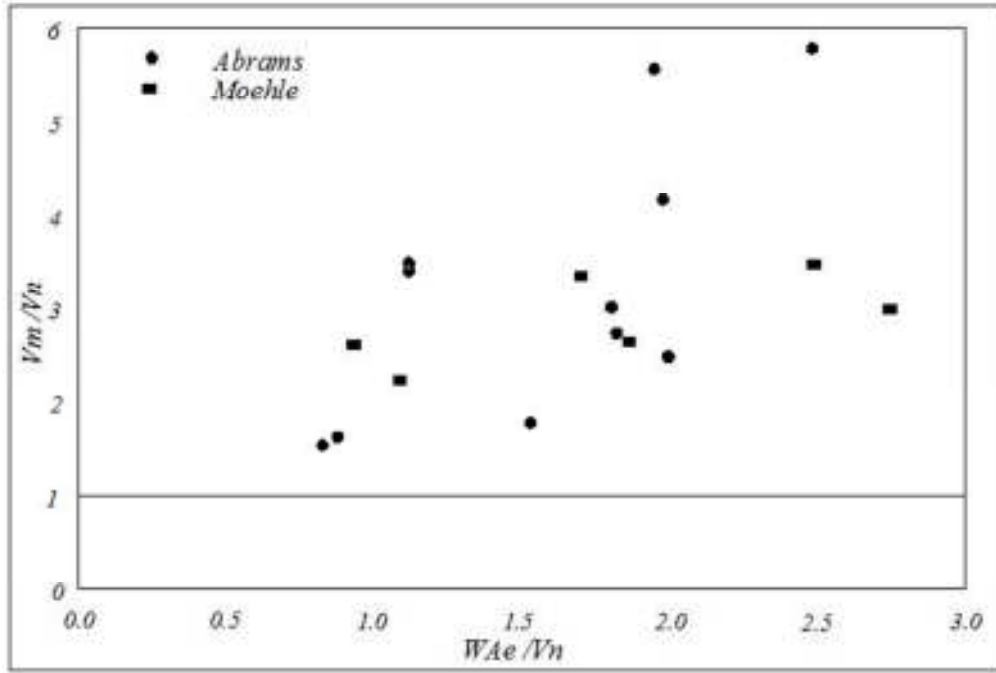
Eberhard ve Sözen (1993), perdelerdeki kesme kuvvet artışını deneysel verilere dayanarak incelemişlerdir. Çalışmalarında, Aristizabal (1976), Abrams (1979) ve Moehle (1980) tarafından, perde+çerçeve sistem üzerinde yapılan, 9 adet küçük ölçekli deneysel çalışma sonuçlarını dikkate almışlardır. Sistemlerin mevcut geometrik özellikleri dikkate alınarak, eşdeğer statik analiz ile kesme kuvvetleri hesaplanmıştır. Statik limit analizin temelini, kritik kesitteki eğilme dayanımının hesabı ile sistemde olası mafsall oluşumunun belirlenmesi oluşturur. Çalışmada, statik limit analizde bütün eleman uçlarında mafsall oluştuğu, her kattaki ivmenin kat yüksekliği ile orantılı olduğu ve kütlelerin düzgün yayılı olarak dağıldığı kabul edilmiştir. Bu kabuller ile kuvvet, ters üçgen şeklindeki kuvvet dağılımına eşdeğer bir dağılım göstermiştir. Yazarlar, hesaplanan eğilme dayanımı ile ölçülen eğilme dayanımını karşılaştırmış ve eşdeğer statik analizde dikkate aldıkları hesap yönteminin geçerliliğini göstermişlerdir. Kesme kuvvetindeki değişim, dinamik yüklemelere tabi tutulan deneylerden elde edilen maksimum kesme kuvveti ile statik limit analizden elde edilen maksimum kesme kuvveti karşılaştırılarak, grafik ortamında gösterilmiştir. Grafikte, ölçülen kesme kuvveti ( $V_m$ ) ile hesaplanan kesme kuvveti ( $V_n$ ) oranının, kesme kuvvet talebi ( $WA_e$ ) ile hesaplanan kesme kuvveti ( $V_n$ ) oranına göre değişimi verilir (Şekil 2.3). Eberhard ve Sözen, ölçülen kesme kuvvetinin hesaplanan kesme kuvvetinden fazla olduğunu, aradaki farkın kesme kuvvet talebi arttıkça arttığını göstermişlerdir (Şekil 2.3).



**Şekil 2.3** Perde ve çerçevenin maksimum kesme kuvvet artışının, kesme kuvvet talebine göre değişimi

Eberhard ve Sözen, perdelerde ölçülen kesme kuvveti ( $V_{wm}$ ) ile hesaplan kesme kuvveti ( $V_{wn}$ ) arasındaki farkın, tüm sisteme oranla daha fazla olduğunu göstermişlerdir (Şekil 2.4). Eberhard ve Sözen, kesme kuvvetindeki artışın, büyük oranda yük dağılımındaki değişimden kaynaklandığını ve bu artışın tasarım açısından kabul edilemez olduğunu belirtmişlerdir. Kesme kuvvet artışında etkili olabilecek birim şekil değiştirme oranı, deney elemanındaki hataların etkisi de incelenmiş, ancak artışın büyük oranda kuvvet dağılımındaki değişimden kaynaklandığı gösterilmiştir.

Eberhard ve Sözen, perde tabanında elastik ötesi şekil değiştirmeler meydana geldikten sonra, yüksek modların kesme kuvveti üzerindeki etkisini modal analiz ve deneysel veriler ile ortaya koymuşlardır. Yüksek modların etkisi ile hesaplarda kabul edilen yaklaşık ters üçgen şeklindeki yük dağılımından uzaklaşıldığı ve kuvvetin etkiye noktasının düştüğü belirtilmiştir. Eberhard ve Sözen, aynı çalışmada perdesiz sistemlerdeki kesme kuvvet artışını da incelemişlerdir. Yumuşak kat düzensizliğine sahip olmayan çerçeve sistemlerindeki kesme kuvvet artışının, perdeli sistemlerdeki gibi ani olmadığını ve artışın modal analiz ile uyumlu olduğunu tespit etmişlerdir.



**Şekil 2.4** Perdenin kesme kuvvet artışının kesme kuvveti talebine göre değişimi

Ayrıca Eberhard ve Sözen (1993), kesme kuvvetindeki artışı sayısal çalışmaya dayandırarak da incelemişlerdir. Sayısal çalışmada, Kabeyasawa (1987) tarafından, deprem ivmeleri altında, lineer ötesi analizi yapılan, 5, 7 ve 9 katlı üç sistem incelenmiştir. Kesme kuvveti artışında deneysel çalışmalara benzer bir eğilim görülmüştür. Çalışmanın neticesinde yazarlar, orta yükseklikteki perdeli yapılardaki kesme kuvvet tasarımı için, Kabeyasawa (1987) tarafından önerilen ve kesme kuvvetindeki artışı dikkate alan formülün uygun olacağını belirtmişlerdir.

Seneviratne ve Krawinkler (1994), yaptıkları parametrik çalışma ile kesme kuvvetindeki dinamik artışın, dayanım düzeyine ve hakim periyoda bağlı olarak değiştiğini ifade etmişlerdir. Yazarlar hakim periyod uzadıkça ve dayanım seviyesi düştükçe, yüksek modların etkisi ile dinamik büyümenin arttığını, bu artışta özellikle ikinci modun etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Filiatrault vd. (1994), Kanada Deprem Yönetmeliğine göre tasarlanmış 3, 6, 10, 15 ve 25 katlı perde üzerinde yaptıkları sayısal incelemede, yönetmeliğe göre elde edilen kesme kuvvetinin yetersiz olduğunu ve bu yetersizliğin gevrek güç tükenmesine sebebiyet verebileceği ifade etmişlerdir. Yazarlar kesme kuvvetindeki büyümeyi dikkate almak için,

kesme kuvvet tasarımımda deprem bölgesine bağılı olarak, dayanım azaltma kat sayısını 1.0 ile 1.5 alınmasını önermişlerdir.

Priestley (2003); Yeni Zelanda Deprem Yönetmeliğı esas alınarak tasarlanmış, kat yüksekliğı iki ile yirmi arasında değışen altı adet konsol perde üzerinde yaptığı parametrik çalışmada; kesme kuvvet ve moment üzerindeki dinamik büyütmenin periyoda ve yer değıştirme sünekliliğıne bağılı olarak değıştirini tespit etmiştir. Priestly çalışmada; eşdeğer deprem yükü, mod birleştirme ve yer değıştirme esaslı yaklaşım yöntemlerini kullanarak elde ettiğı kat kesme kuvvet ve moment dağılımlarını, zaman tanım alanında hesap yöntemi ile elde ettiğı kesme kuvveti ve moment dağılımı ile karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda dinamik büyütme için yönetmeliğın önerdiği değıerin yetersiz olduğı tespit edilmiş ve iki öneri sunulmuştur. Priestley ilk önerisinde; mod birleştirme yönteminde aşağıda verilen değışiklikler yapılarak, zaman tanım alanında hesap yöntemi ile elde edilen zarf eğırilerine oldukça yakın eğıriler elde edildiğini göstermiştir.

$$V_i = \sqrt{V_1^2 + \mu^2(V_2^2 + V_3^2 + \dots)} \quad (2.7)$$

$$M_i = \sqrt{M_1^2 + \mu^2(M_2^2 + M_3^2 + \dots)} \quad (2.8)$$

Yukarıdaki denklemlerdeki  $V_i$  ve  $M_i$ ,  $i$ . kattaki kesme kuvveti ve momenti;  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $vd.$  ile  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $vd.$  ise elastik ötesi spektrumdan elde edilen modal kesme kuvvetlerini ve modal momentleri gösterir.  $\mu$  ise yer değıştirme sünekliliğini göstermektedir.

Priestley ikinci önerisinde ise; eşdeğer deprem yükü yöntemi veya yer değıştirme tabanlı yöntem ile elde edilen taban kesme kuvvetine uygulanabilen ve aşağıda verilen dinamik büyütme kat sayısı formülünü önermiştir. Dinamik büyütme katsayısı ( $\omega_v$ ); doğıal titreşim periyoduna ( $T$ ) ve yer değıştirme sünekliliğıne ( $\mu$ ) bağılı olarak ifade edilmiştir.

$$\omega_v = 1 + \mu \cdot B_{(T)} \quad (2.9)$$

$$0.067 \leq B_{(T)} = 0.067 + 0.4(T - 0.5) \leq 1.15$$

Priestley; perde yüksekliğı boyunca dinamik büyütme için tek bir katsayının kullanılmasının gerçekçi olmayacağını, modal analizde yapılan küçük bir değışiklik ile elde edilen ilk önerinin yapının davranışına daha yakın sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

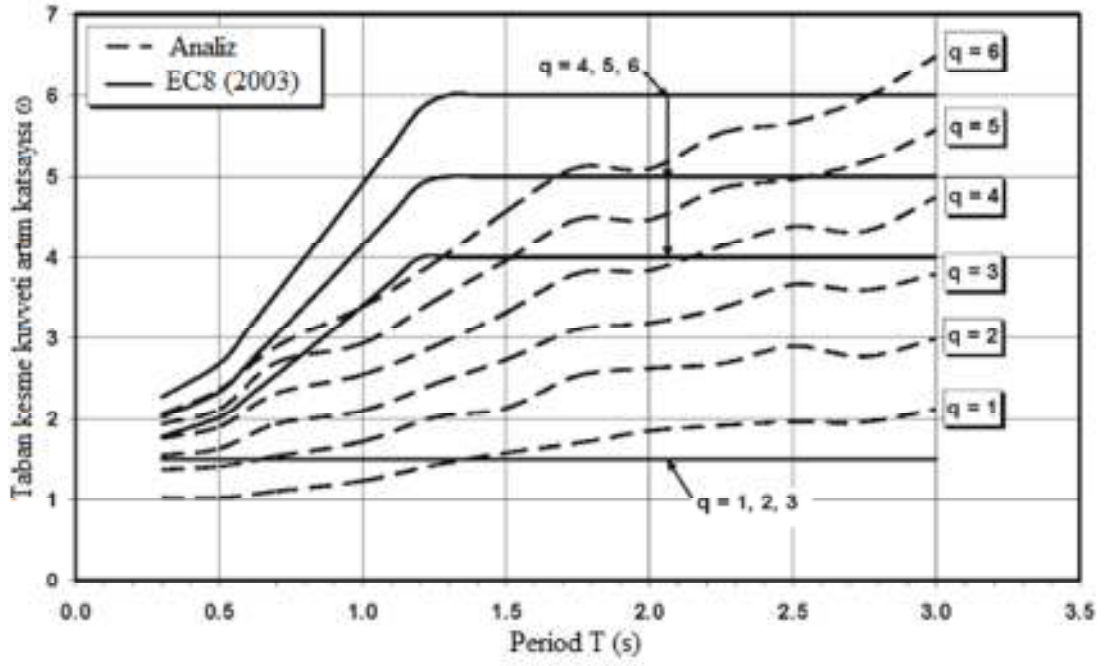
Rutenberg ve Nsieri (2006), çalışmalarında EC8'in (CEN, 2004) önerdiği, perdelerdeki kesme kuvvet artım faktörünü, konsol perdeler için incelemiştir. Çalışmalarında, Nsieri (2004) tarafından yapılan parametrik çalışmayı dikkate almışlardır. Parametrik çalışmaya dayanarak, konsol perdelerdeki kesme kuvvet artışını, doğal titreşim periyodu ( $T$ ) ve sünekliliği ( $q$ ) dikkate alarak, grafik ortamında göstermişlerdir (Şekil 2.5). Ayrıca grafikte EC8'e göre hesaplanmış kesme kuvvet artışı da verilmiştir. Yazarlar, EC8 deki kesme kuvvet artım yaklaşımının, süneklilik düzeyi yüksek perdeler için ( $DCH$ ) çok güvenli tarafta kaldığını, süneklilik düzeyi normal ( $DCM$ ) perdeler için ise büyük oranda yetersiz olduğunu belirtmişlerdir. Yazarlar EC8 deki kesme kuvvet tasarımı revizyona gidilmesi gerektiğini belirtmiş ve konsol perdeler veya aynı uzunluktaki perdelerden oluşan sistemlerin kesme kuvvet tasarımı için, sünekliliği ( $q$ ) ve periyodu ( $T$ ) dikkate alan aşağıdaki formülü önermişlerdir. Sonuçların yakınsaklığını da grafik ortamında göstermişlerdir (Şekil 2.6).

$$V_a = [0,75 + 0,22(T + q + Tq)]V_d \quad (2.10)$$

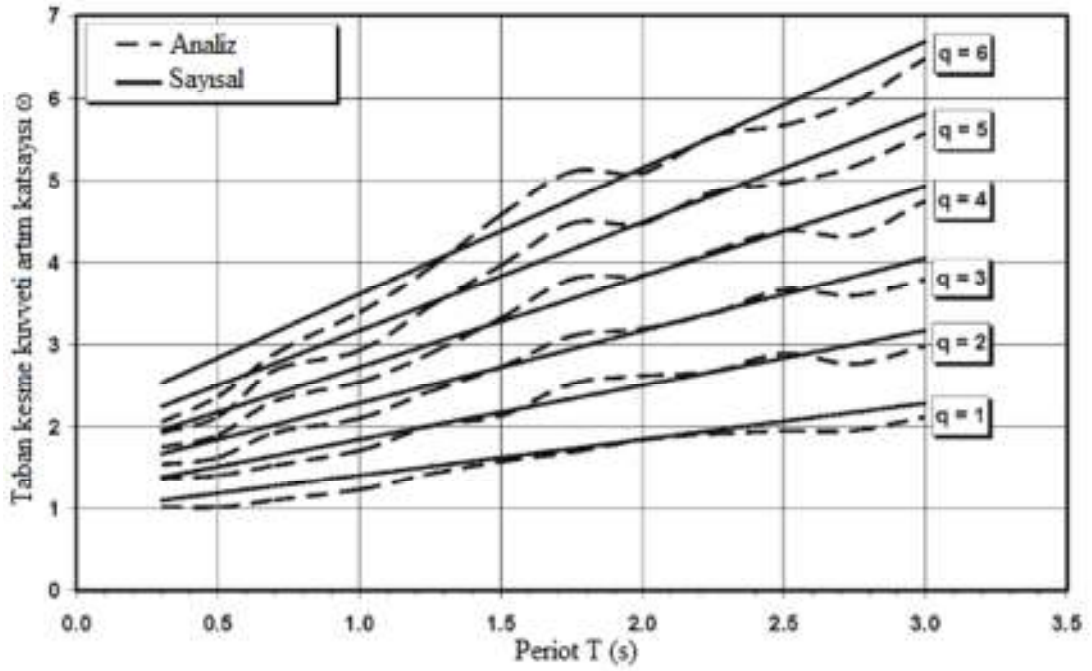
Burada;  $V_a$  perdenin kesme kuvvet talebini,  $V_d$  eşdeğer statik deprem yükü analizinden hesaplanan kesme kuvvetini,  $T$  perdenin doğal titreşim periyodunu,  $q$  ise yapının sünekliliğini gösterir.

Rutenberg ve Nsieri (2006), taban kesme kuvvetinin perde yüksekliği boyunca dağılımını da incelemiştir. Mafsalların perde tabanında meydana geleceğini kabulü ile konsol perdeler için kesme kuvvet zarf eğrisi önermişlerdir. Kesme kuvvetlerinin, perde yüksekliği boyunca dağılımının, perdenin periyodunun bir fonksiyonu olduğunu ve üçgen şeklindeki yük dağılımını takip etmeyeceğini belirtmişlerdir. Yazarlar tarafından önerilen, kesme kuvvet zarf eğrisinin şematik gösterimi (Şekil 2.7) ve formülü aşağıda verilmiştir (Denklem 2.11).

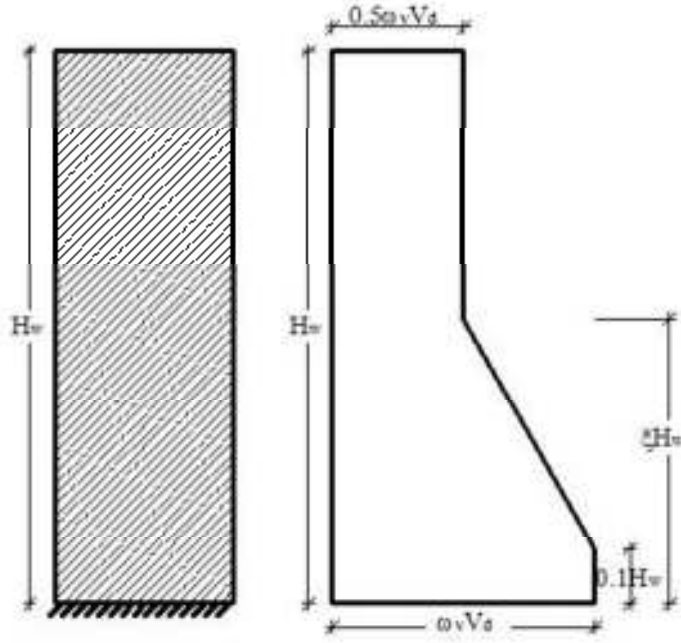
$$\xi = 1.0 - 0.3T \geq 0.5 \quad (2.11)$$



Şekil 2.5 Sayısal çalışma ve EC8 göre kesme kuvvet artışının  $T$  ve  $q$  ya göre değişimi



Şekil 2.6 Sayısal çalışma ve önerilen formüle göre kesme kuvvet artışının  $T$  ve  $q$  ya göre değişimi



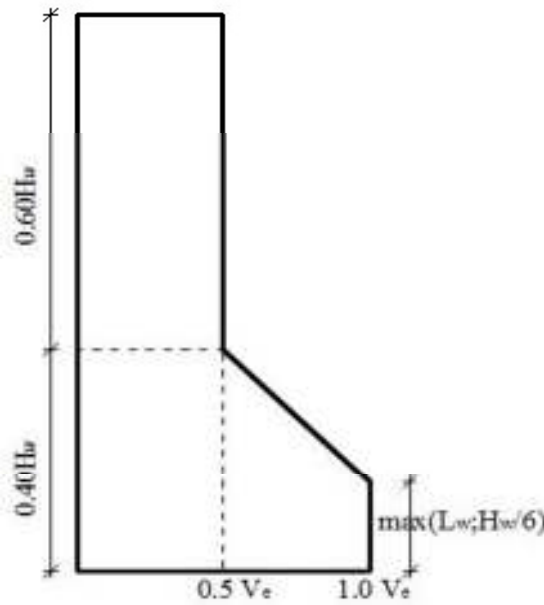
**Şekil 2.7** Rutenberg ve Nsieri (2006) tarafından önerilen kesme kuvvet tasarım zarf eğrisi.

Celep (2008) konsol perdeler üzerinde yaptığı elastik ötesi analizler neticesinde, kesme kuvvetindeki dinamik büyümenin deprem yükü azaltma katsayısı ve hakim periyot ile orantılı bir şekilde arttığını tespit etmiştir. Celep, plastik mafsallın konumunun ve özelliklerinin dinamik büyütme kat sayısı üzerindeki etkisini de araştırmıştır. Perde tabanında toplanmış plastik mafsall durumunun, perde yüksekliği boyunca yayılı plastik mafsala göre daha büyük dinamik büyütme değerleri verdiği tespit edilmiştir. Yazar dinamik büyütmenin plastik mafsall özelliğinde çok fazla etkilenmediğini, ancak Takeda (1970) çevrimsel mafsall modelinin ve perde yüksekliği boyunca yayılı mafsall kabulünün perdenin gerçek davranışına nispeten yakın sonuçlar verdiğini iddia etmiştir. Elastik ötesi zaman tanım alanı analizlerinden elde edilen sonuçları üzerinde yapılan regresyon analizi neticesinde, plastik mafsallın perde tabanında toplandığı sistemler için, deprem yükü azaltma katsayısı ( $R$ ) ve çatlamış kesit hakim periyodunun ( $T_{1-cr}$ ) fonksiyonu olan aşağıdaki dinamik büyütme katsayısı ( $\beta^b$ ) önerilmiştir.

$$\beta^b = 1.0 + (0.281 \times T_{1-cr} + 0.394) \times (R - 1.5)^{0.553} \quad (2.12)$$

$$1.0 \leq \beta^b \leq R$$

Celep (2008); kesme kuvvetinin perde yüksekliği boyunca dağılımı için zarf eğrisi önermiştir ve zarf eğrisinin hakim periyot ile deprem yükü azaltma kat sayısından bağımsız olduğunu iddia etmiştir (Şekil 2.8). Celep, elastik ötesi analizler neticesinde kesme kuvvetinin, perde yüksekliğinin %40'na kadar doğrusal bir azalma ile taban kesme kuvvetinin %50'ne kadar düştüğü, bu noktadan sonra ise yaklaşık durağan bir değişim izlediğini grafiksel olarak göstermiştir. Ayrıca analizlerde modal ayrıştırma yöntemi kullanılarak, dinamik büyütme kat sayısı üzerinde yüksek modların etkisi ayrı ayrı incelenmiştir. Bu analizler neticesinde ikinci modun dinamik büyütme üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu, ikinci mod dışındaki yüksek modların etkisinin ise ihmal edilebilecek düzeyde olduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 2.8** Celep (2008) tarafından önerilen kesme kuvveti tasarım zarf eğrisi.

Luu vd.(2011); sarsma tablasında deprem ivme kaydı altında deneye tabi tuttıkları 8 katlı konsol perde ile mevcut 10 katlı yapıdaki perdeyi modelledikleri çalışmalarında, yüksek modların kesme kuvveti üzerindeki etkisini deneysel ve sayısal olarak incelemiştirlerdir. Orta süneklilikte inşa edilen 8 katlı perdede meydana gelen kesme kuvvet artışının, çalışmada dikkate alınan Kanada Deprem Yönetmeliği, Yeni Zelanda Deprem

Yönetmeliği ve EC8 tarafından düşük tahmin edildiği görülmüştür. Yüksek süneklilikte inşa edilen 10 katlı perdede oluşan kesme kuvvet artışının ise sadece EC8 tarafından yeterli yakınsaklık ile tahmin edildiği belirtilmiştir. Yazarlar EC8’de orta süneklilikteki perdeler için kullanılan sabit kesme kuvvet büyütme kat sayısının yetersiz olduğunu, süneklilik düzeyi yüksek perdeler için önerilen büyütme kat sayısı formülünün kullanılması gerektiğini, bu durumda EC8’de önerilen kesme kuvvet büyütme katsayısının perdeler için yeterli olacağını belirtmişlerdir. Ayrıca yazarlar; deneysel çalışmada perdenin üst katlarında ikinci bir mafsalın oluştuğunu gözlemlemişleridir. Bu durumda deprem yönetmelikleri tarafından kabul edilen; elastik ötesi şekil değiştirmelerin perde tabanında oluştuğu, üst katlar perdenin elastik davrandığı ilkesinin yeniden gözden geçirilmesi gerektiğini savunmuşlardır.

Rejec vd. (2012) sayısal çalışmalarında; EC8’deki kesme kuvveti dinamik büyütme kat sayısını, dikdörtgen konsol perdeler için irdelenmiştir. Keintzel (1990) tarafından önerilen formülün esas alındığı EC8’deki dinamik büyütme kat sayısının, orta yükseklikteki perdeler için yüksek değerler verdiği görülmüştür. Bunun dinamik büyütme kat sayısının formülünün orijinalindeki gibi, hakim moddan elde edilen kesme kuvveti yerine önemli modların dikkate alındığı modal analizden elde edilen kesme kuvvetine uygulanmasından kaynaklandığı tespit edilmiş ve dinamik büyütme kat sayısı için aşağıdaki değişiklik önerilmiştir. Ayrıca yazarlar dinamik büyütme kat sayısı için Keintzel (1990) tarafından önerilen üst sınırı, uzun periyoda sahip esnek perdeler için uygun olmayan sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir ve dinamik büyütme için önerdikleri değişiklikte üst sınırı kaldırmışlardır.

$$\varepsilon_a = q \cdot \sqrt{\left(\min\left[\frac{\gamma_{Rd}}{q} \cdot \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}; 1\right]\right)^2 + 0.1\left(\frac{S_e(T_C)}{S_e(T_1)}\right)^2} \geq 1.5 \quad (2.13)$$

Burada,  $\varepsilon_a$  kesme kuvvet dinamik büyütme faktörünü,  $q$  deprem yükü azaltma kat sayısını,  $M_{Ed}$  perde tabanındaki tasarım eğilme momentini,  $M_{Rd}$  perde tabanındaki kapasite eğilme momentini,  $\gamma_{Rd}$  dayanım artım faktörünü,  $T_1$  doğal titreşim periyodunu,  $T_C$  ivme spektrumunun sabit olarak uzadığı son periyodu,  $S_e(T)$  elastik spektrumun ordinatını temsil eder.

Kazaz ve Gülkan (2013), perde+çerçeve sistemlerde dinamik yüklemeler altında taban kesme kuvvetindeki artışı, parametrik çalışma ile incelemişlerdir. Parametrik çalışmada toplam perde alanının bina alanına oranına bağlı olarak perde+çerçeve sistemler TDY-2007'e göre tasarlanmış ve elastik ötesi zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Regresyon analizi neticesinde dinamik büyütme kat sayısının ( $\beta_v$ ), kat sayısı ( $N$ ) ve deprem yükü azaltma katsayısına ( $R$ ) bağlı olarak değişimini veren aşağıdaki bağıntı önerilmiştir. Dinamik büyütme kat sayısı, bina kat sayısı diğer bir ifade ile periyodu ve deprem yükü azaltma katsayısı arttıkça artmaktadır. Ancak yazarlar aşağıda verilen bağıntının 12 katlı ve periyodu 1.5 saniyeden küçük yapılar için geçerli olduğunu, bu limitler dışında dikkate alınan parametrelerin etkisinin değişebileceğini belirtmişlerdir.

$$\beta_v = 0.95 + 0.01N + 0.1R \quad R > 2 \quad (2.14 \text{ a})$$

$$\beta_v = 1 + (R - 1)(0.15 + 0.01N) \quad R \leq 2 \quad (2.14 \text{ b})$$

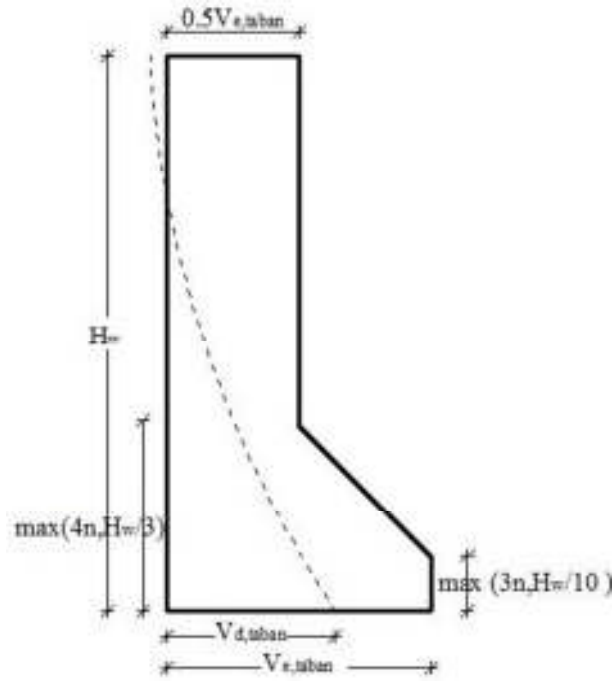
Kazaz ve Gülkan (2013), perde oranı arttıkça, yani deprem yükleri tamamen perdeler tarafından taşınıp, perde+çerçeve etkileşimi azaldıkça, dinamik büyütme kat sayısının 1.5'dan yaklaşık 1'e doğru azaldığını tespit etmişlerdir. Dinamik yüklemeler altında perde+çerçeve sistemlerin taban kesme kuvvetlerindeki büyümenin lineer ötesi davranışın derecesi ile yakından ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Yılmaz (2014), perde+çerçeve sistemler, perdeli sistemler ve bağ kirişli perdeli sistemleri dikkate aldığı parametrik çalışmasında, Türk Deprem Yönetmeliğinin (2007) kesme kuvvetindeki dinamik büyütme katsayısı için önerdiği 1.5 değerinin yetersiz olduğu görülmüştür. Perde+çerçeve sistemlerde, perdeli sistemlere oranla daha küçük kesme kuvveti dinamik büyütme değerleri elde edilmiştir. Yılmaz, kesme kuvvetindeki dinamik büyütme kat sayısı için; taşıyıcı sistem davranış kat sayısı ( $R$ ), yapının hakim periyodu ( $T$ ), bina önem katsayısı ( $I$ ) ve spektrum karakteristik periyodunu ( $T_B$ , *Türk Deprem Yönetmeliği esas alınarak*) dikkate alan aşağıdaki formülü önermiştir.

$$\beta_v = 1 + \frac{(R/2)\Psi}{(M_{pt}/M_{dt})^2 I} (1 - 0.1(T - 4T_B\psi)^2) \quad (2.15)$$

$$\psi = \begin{cases} \alpha_s & \text{perde ve perde + çerçeve sistemler} \\ 1 - BKKO & \text{bağ kirişli perdeler için} \end{cases}$$

Denklemdede;  $\alpha_s$  perdelerin tabanından elde edilen kesme kuvvetinin tüm sistemden elde edilen kesme kuvvetine oranını,  $BKKO$  bağ kirişi katkı oranını,  $M_{pt}$  perde tabanındaki kapasite momentini ve  $M_{dt}$  perde tabanındaki tasarım momentini gösterir. Ayrıca Yılmaz perde+çerçeve sistemlerde, perdelerin kesme kuvvet dağılımı için Şekil 2.9’da verilen tasarım eğrisini önermiştir.



**Şekil 2.9** Yılmaz (2014) tarafından önerilen kesme kuvvet tasarım zarf eğrisi.

### 3. PERDE DAVRANIŞ MODELLERİ

Yapı sistemlerinde deprem gibi çevrimsel yüklemeler altında oluşan elastik ötesi davranışların doğru olarak tahmin edilmesi, taşıyıcı elemanların gerçeğe yakın olarak modellenmesi ile doğrudan ilişkilidir. Perdeli sistemler ile perde+çerçeve sistemlerde, özellikle perdelerin elastik ötesi hesap modeli sonuçlar üzerinde oldukça etkilidir (Vulcano, 1992). Perdelerin elastik ötesi davranışı için araştırmacılar tarafından, farklı yaklaşımlara dayanan birçok hesap modeli önerilmiştir. Bu hesap modelleri, *makro ölçekli hesap modelleri* ve *mikro ölçekli hesap modelleri* olmak üzere iki ana başlık altında toplanabilir.

*Makro ölçekli hesap modellerinde*, perdeler katı cisim mekanik kurallarının uygulandığı sonlu elemanlara bölünür. Malzemenin her noktası için gerilme ve birim şekil değiştirme değerleri hesaplanır. Araştırmacılar tarafından, farklı sonlu eleman formüllerinin uygulandığı çok sayıda kabuk ve katı eleman modelleri önerilmiştir. Betonarme elemanların sonlu eleman modeli, eleman bünye denklemlerini, güç tükenmesi mekanizmasını, çok eksenli gerilme teorisini, donatı modelini, beton ile donatı arasındaki etkileşimi, çatlak oluşumunu, kesme kuvvet etkisini, çevrimsel ve dinamik yükleme etkisi ile zamana bağlı olarak sünme, büzülme ve sıcaklık değişimini yansıtmalıdır (Kazaz, 2010). Bu durumda bu modellerde, analiz süreleri uzamakta ve karmaşık bir hal almaktadır. Özellikle büyük ve düzenli olmayan yapılarda mikro modellerin kullanılması pratik değildir.

Perdelerin sonlu eleman yöntemleri kullanılarak modellenmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. İlk olarak Cervenka ve Gerstle (1972) , Cervenka (1970) tarafından deneysel olarak incelenen panelleri sonlu eleman yöntemini kullanarak modellemişlerdir. Malzeme seviyesinde deney sonuçları ile örtüşen çok sayıda özel yapısal model geliştirmişlerdir. Ayoub ve Filippou (1998) ve Kwak ve Kim (2004), ortotropik beton hesap modelinin perdelerin sonlu eleman modelinde kullanılması üzerinde çalışmışlardır. Bu modelin perdelerin, tek eksenli yükleme-yer değiştirme ilişkilerini modellemede başarılı olmasına karşın aynı başarıyı çevrimsel yükleme altında göstermediğini tespit etmişlerdir. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, çevrimsel yükleme altında taşıyıcı sistemleri

deneysel sonuçlara yakın olarak modelleyen çok sayıda model geliştirilmiştir (Schnobric vd., 1991; Steven vd., 1991; Rose vd.,1999; Palermo ve Vecchio, 2004 ).

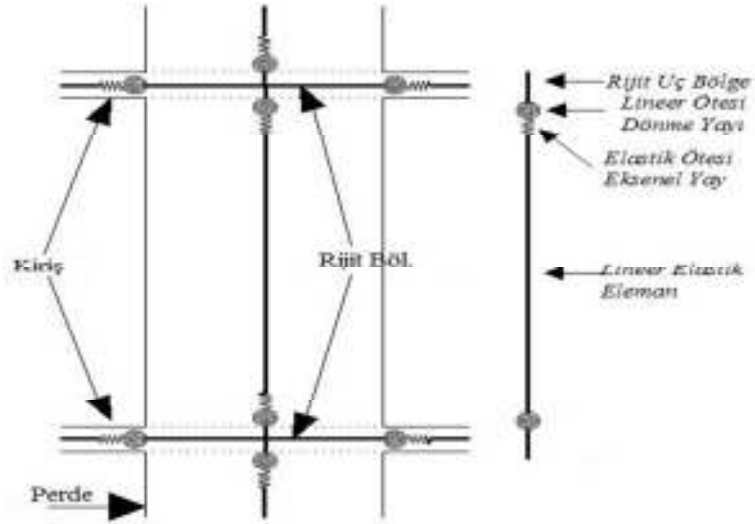
Collins ve Mitchell (1980) tarafından geliştirilen *basınç alanı teorisi* (compression field theory), sonlu eleman yöntemi ile modelleme önemli bir yere sahiptir (Kazaz, 2010). Bu hesap modelinde kesme ve burulma etkisi dikkate alınır ve çatlamadan sonra betonda çekme gerilmesinin karşılanmadığı kabulü yapılır. Ancak daha sonra yapılan çalışmalar, çatlak genişliğinin büyük olduğu durumlarda bile çatlamış betonda çekme gerilmesinin mevcut olduğu, kesme gerilmelerine karşı etki gösterdiği tespit edilmiş ve çekme gerilmesini dikkate alan *geliştirilmiş basınç alanı teorisi* (*modified compression field theory*) önerilmiştir (Vecchio ve Collins, 1986). Jiang ve Kurama (2010), sınırlı sayıdaki perde üzerinde yaptıkları analizlerde, bu modelin elastik ötesi kesme tepkisini ve kesme-eğilme etkileşimini kabul edilebilir yakınsaklık ile tahmin ettiğini tespit etmişlerdir.

*Makro ölçekli hesap modellerinde* ise perdelerin global davranışları seçilen eşdeğer doğrusal olmayan elemanlar ile modellenir (Colotti,1993). Çalışmalarda yaygın olarak kullanılan makro ölçekli modeller; *kiriş-kolon eleman modeli* (beam-column element model), *kafes kiriş modeli* (truss element model) ve çoklu yay modelidir (*multi vertical line element model*) (Vulcano, 1992). Makro modeller ile çeşitli davranışları tek bir elemanda toplanmak suretiyle basit ve sayısal olarak etkili analizler elde edilir.

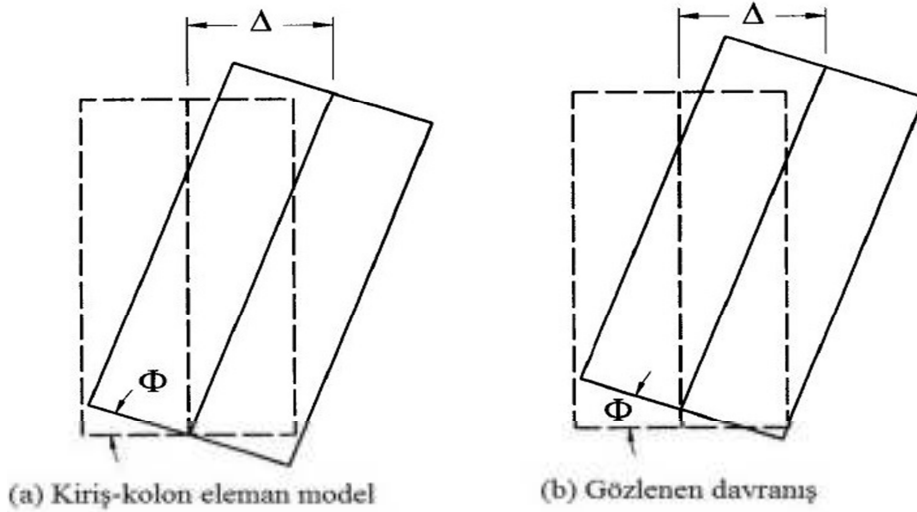
Perdenin çevrimsel davranışı için geliştirilen makro modellerden en yaygın olarak kullanılanı *kiriş-kolon eleman modelidir*. Bu modelde perde, tam ortasından geçen bir çubuk eleman ve kat seviyesindeki rijit kiriş bağlantıları ile temsil edilir. Şekil 3.1’de gösterildiği gibi, bu model, elastik eğilme elemanı ile uç noktalara yerleştirilen ve kritik bölgelerdeki elastik ötesi davranışı temsil eden elastik ötesi dönme yaylarından oluşur (Orakçal, 2004).

Kiriş-kolon eleman modelinin esas sınırlayıcısı, dönmenin perde merkezinde olduğu kabulüdür (Şekil 3.2-a). Bu durumda perde kesitinde tarafsız eksen derinliğinin değişimi ve dönme ihmal edilmiştir. Ancak deneysel çalışmalar, elastik ötesi şekil değiştiren perdelerde çekme şekil değiştirmesinin baskın olması ve perdenin temele birleştiği noktada aderans kayması etkisi (*bond slip effect*) nedeni ile tarafsız eksen derinliğinin değiştiğini göstermiştir (Şekil 3.2-b). Ayrıca tarafsız eksen derinliğinin değişiminin ve dönmenin

ihmalı, perde+çerçeve sistemlerde, perdenin komşu çerçeveler ile olan etkileşiminin yansıtılamamasına neden olur (Vulcano, 1992).



Şekil 3.1 Kiriş-kolon eleman modeli



Şekil 3.2 Perdenin dönmesi ve tarafsız eksen değişiminin düşey yer değiştirme üzerindeki etkisi

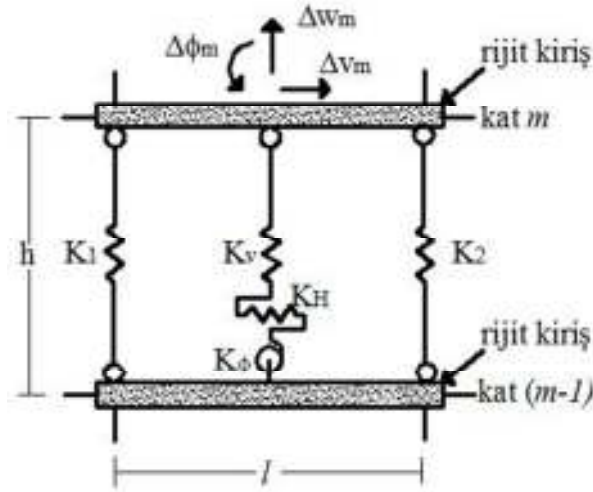
Taucer vd. (1991), kiriş-kolon eleman modele lif kesit formüllerini ekleyerek daha esnek ve uygulanması kolay bir model elde etmişlerdir. Lif kesitli kiriş-kolon eleman model birçok araştırmacı tarafından perdeleri modellemek için kullanılmıştır (Martinelli ve

Filippou, 2006; Waugh vd., 2008; Ghorbanirenani 2010). Bu model kullanıcıya sargılı ve sargısız betonun gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisini tanımlamanın yanı sıra, donatanında gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisini tanımla imkânı verir. Bu model kesitteki lif elemanların tek eksenli gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisine dayandığı için uygulanması ve tahkiki kolaydır. Bu modelin olumsuz tarafı kesit seviyesinde şekil değiştirme dağılımının önceden belirlenmesidir. Ayrıca elemanın eğilme ve eksenel şekil değiştirme içerip kesme şekil değiştirmesini içermemesi bir diğer olumsuz tarafıdır (Waugh vd.,2008). Tez çalışmasında da kullanılan model ayrı bir başlık altında tanıtılmış ve teorisi Ek-A'da verilmiştir.

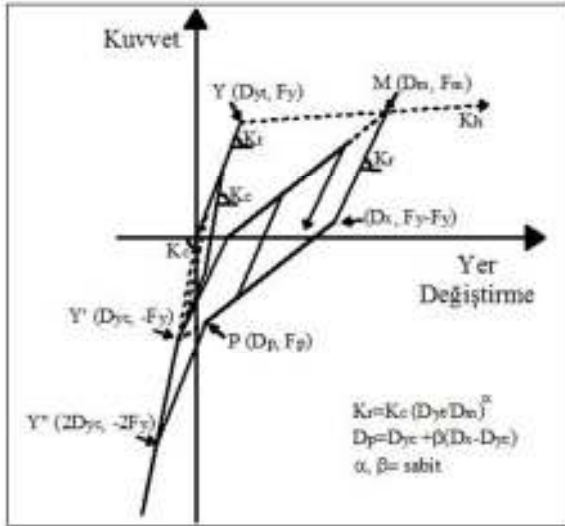
*Kafes kiriş eleman model*, bu modelde dış yükleri dengeleyen, basınç elemanları beton olan ve çekme elemanları donatı olan bir kafes sistem oluşturulur. Bu model monotonik yükleme altında deney sonuçlarına yakın sonuçlar verirken, çevrimsel yükleme altında ise başarısız olur. Çünkü çevrimsel yükleme altında kafes elemanların özelliklerini belirlemek oldukça zordur (Vulcano, 1992).

Kabeyasawa vd. (1984), kiriş-kolon eleman modelin, gerçek ölçekli 7 katlı perde+çerçeve sistem üzerinde yaptıkları deneyin sonuçlarını yeterli yakınsaklık ile tahmin edememesi nedeniyle, üçlü yay eleman modelini (*three-vertical-line-element model*) önermişlerdir. Bu modelde perde, kat seviyesinde rijit kiriş ile sonlanan düşey çubuk eleman ile temsil edilir (Şekil 3.3). Modelin kenarındaki iki çubuk eleman, perde uç bölgelerinin eksenel rijitliği  $K_1$  ve  $K_2$ 'yi temsil eder. Modelin merkezindeki çubuk ise, tek bileşenli, rijitlikleri sırası ile  $K_V$ ,  $K_H$  ve  $K_\phi$  olan, perde tabanında toplanan düşey, yatay ve dönme yaylarından oluşur (Vulcano, 1992).

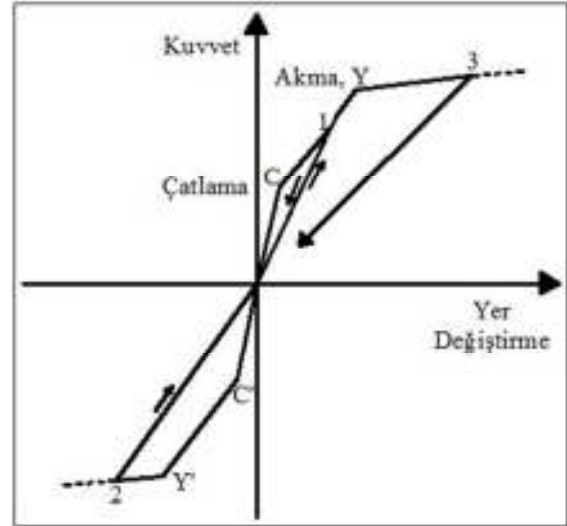
*Üçlü düşey yay eleman modelin* eksenel yük-birim şekil değiştirme ilişkisi, Şekil 3.4'de değişimi gösterilen eksenel rijit çevrimsel model (*Axial-Stiffness-Hysteresis-Model*) ile tanımlanır. Perde merkezindeki dönme ve yatay yay için ise Şekil 3.5'de verilen merkezden geçen çevrimsel model (*origin oriented hysteresis model*) kullanılır. Modelde kesme rijitliğindeki azalma dikkate alınmıştır ancak eksenel kuvvet ve eğilme momentinden bağımsız olduğu kabul edilmiştir (Orakçal, 2004).



Şekil 3.3 Üçlü düşey yay eleman modeli



Şekil 3.4 Eksenel rijit çevrimsel model

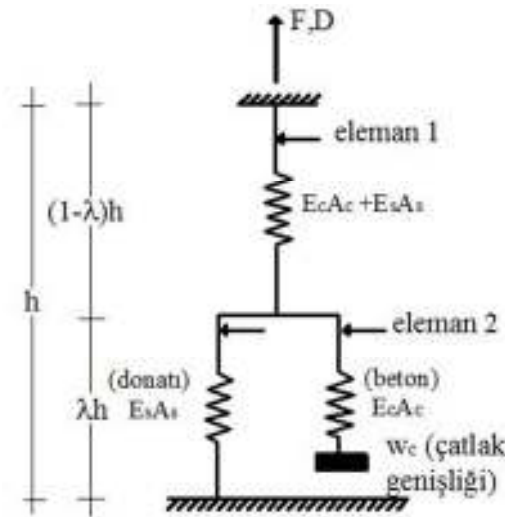


Şekil 3.5 Merkeze dönük çevrimsel model

Tarafsız eksen derinliğindeki değişimi ve perde ile komşu çerçeveler arasındaki etkileşimi dikkate alan bu model; son kat yer değiştirmesi, taban kesme kuvveti, eksenel şekil değiştirme gibi perdenin genel tepkilerini deney verilerine yakın bir şekilde tahmin edebilmektedir. Bu modelin sınırlayıcısı ise, perdeyi temsil eden yayların özelliklerinin tanımlanmasındaki zorluk ve perde uç bölgesi ile perde gövdesi arasındaki yer değiştirme bakımından uyumsuzluktur (Orakçal, 2004).

Vulcano ve Bertero (1986,1987), deneye dayanan kabulleri mümkün olduğu ölçüde azaltabilmek için, *eksenel rijit çevrimsel model* yerine *seri bağlı iki eleman model* (two axial element in series model) kullanarak, *üçlü yay eleman modeli* geliştirmişlerdir. Şekil 3.6’da görüleceği gibi, *Eleman 1*, beton ve donatı arasındaki bağı aktif olduğu bölgede kolonun eksenel rijitliğini temsil eden tek bileşenli modeldir. *Eleman 2* ise beton ile donatı arasındaki bağı tamamen yok olduğu bölgede donatının ve çatlama betonun eksenel rijitliğini temsil eden çift bileşenli modeldir.

Seri bağlı iki eleman modelin amacı, malzemelerin gerçek çevrimsel davranışlarını ve bir birleri ile olan etkileşimini idealleştirmektir. Malzemenin çevrimsel davranışını yansıtabilmek için ayrık bünye denklemleri önermesine rağmen bu model oldukça basit kabuller içermektedir. Bu modelde *Eleman 1* için doğrusal elastik davranış kabulü yapılırken, *Eleman 2* de ise, donatı için pekileşmeyi dikkate alan çift eğrilikli model, beton için çekme gerilmesini ihmal edildiği doğrusal elastik basınç modeli dikkate alınmıştır. Vulcano ve Bertero (1986,1987), geliştirdikleri bu modelde dönme ve kesme yayları için, *merkezden dönük çevrimsel model* kullanmaya devam etmişleridir. Vulcano ve Bertero, modelin geçerliliğini göstermek için deneysel veriler ile yaptıkları karşılaştırmada, modelin eğilme davranışını büyük bir yakınsaklık ile tahmin etmesine karşın, kesme davranışının tahmininde aynı başarıyı gösteremediğini tespit etmişlerdir.

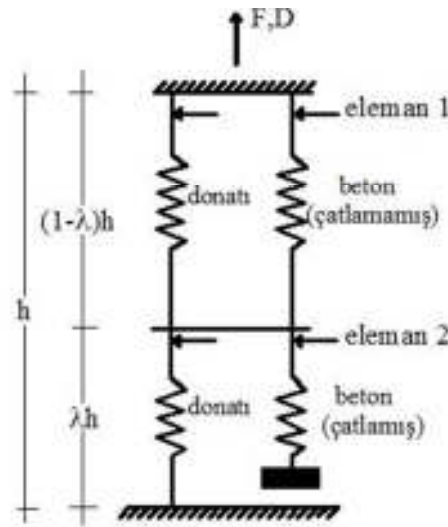


Şekil 3.6 Seri bağlı iki eleman modeli

Vulcano, Bertero ve Colotti (1988) perdenin eğilme davranışını ayrıntılı yansıtabilmek için *eksenel rijit çevrimsel modeli* geliştirerek, *çoklu yay modelini* (*Multiple-Vertical-Line-Element-Model*) önermişlerdir. Bu modelde, modelin geometrisi donatıdaki akma ilerleyişini kademeli yansıtacak şekilde geliştirilmiştir (Şekil 3.7). Ayrıca modelde, malzemelerin elastik ötesi davranışları ve malzemelerin birbirleri ile olan etkileşimini daha iyi yansıtabilmek için ayrıntılı çevrimsel modeller kullanılmıştır. Geometrisi Şekil 3.7’de verilen modelde, rijitlikleri  $K_1$  ve  $K_2$  olan en dıştaki iki düşey yay, perde uç bölgesinin eksenel rijitliğini, rijitlikleri  $K_3$  ile  $K_n$  arasında değişen iç kısımdaki düşey yaylar ise perde gövdesinin eksenel ve eğilme davranışını temsil etmektedirler. Perdenin merkez ekseninde bulunan ve rijitliği  $K_H$  olan yatay yay ise perdenin kesme davranışını temsil eder. Bu modelde de, yatay yayın çevrimsel davranışı için *merkeze dönük çevrimsel model* kullanılmıştır. Bu modelde perdedeki görece dönmenin, perde merkez ekseninde, perde tabanından perde yüksekliğinin “ $c$ ” katı kadar bir mesafedeki nokta etrafında meydana geleceği kabul edilmiştir. Perde yüksekliği boyunca eğriliğin değişimine bağlı olan “ $c$ ” kat sayısı, 1 ile 0 arasında değerler alır.

**Şekil 3.7** Çoklu düşey yay modeli

görülebileceği gibi, *eksenel rijit çevrimsel modelden* farklı olarak *Eleman 1*, çatlama ve çatlama sonrası beton ile donatının mekanik davranışını dikkate almak için paralel iki bileşenli olarak tanımlanmıştır. İki elemanın birbirine göre uzunluğunu gösteren  $\lambda$  katsayısı ise, tek eksenli yükleme altında çekme pekleşmesini yansıtır. Bu modelde donatının gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi için *Menegotto ve Pinto Modeli* (1973), çatlama sonrası beton gerilme-birim şekil değiştirme davranışı için ise *Colotti ve Vulcano* (1987) tarafından önerilen beton davranış modeli dikkate alınmıştır. Çatlama sonrası betonda ise çatlak genişlemesinin ve kapanmasının gerilme üzerindeki etkisini dikkate almak için, Bolong vd. (1980) tarafından önerilen davranış modeli kullanılmıştır (Orakçal, 2004).

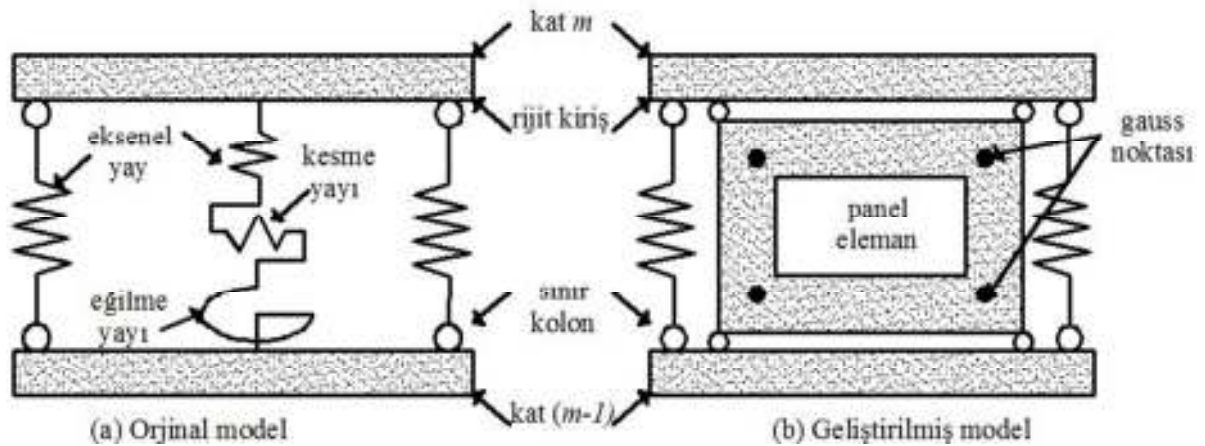


**Şekil 3.8** Geliştirilmiş seri bağlı iki eleman modeli

*Çoklu düşey yay modeli* doğrulamak için deney verileri ile yapılan karşılaştırmalarda, modelin az sayıda düşey çubuk ( $n=4$ ) kullanılması durumunda bile eğilme davranışını çok iyi yansıttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, eleman sayısını artırmak yerine  $c$  kat sayısının kalibre edilmesi durumunda, deney sonuçlarına daha yakın sonuçlar elde edilmiştir. Vulcano vd. (1988), çekme pekleşme etkisini içeren daha basit malzeme modelleri kullanılması durumunda, bu modelin çok katlı *perde+çerçeve* sistemlerin doğrusal olmayan davranışı için pratik bir çözüm sunacağını iddia etmişlerdir. Bu modelde eğilme ve kesme yer değiştirmelerinin etkileşimi dikkate alınmamıştır. Kesmenin elastik ötesi davranışı için ise önceki modellerde olduğu gibi *merkeze dönük çevrimsel model* kullanılmıştır.

Fischinger vd.(1990), düşey ve yatay yayların çevrimsel davranışı için daha basit bünye denklemleri önererek *çoklu düşey yay modelini* geliştirmişlerdir. Bu model perdelerin çevrimsel davranışını tahminde etkili olmasına karşın, çok sayıda parametre içermektedir.

Kabeyasawa (1997) geliştirdiği *üçlü düşey yay modelini*, monotonik ve çevrimsel yükleme altında perdenin kesme ve eğilme davranışını tahmin edecek şekilde geliştirmiştir. Bunun için *üçlü düşey yay modelindeki* düşey, yatay ve dönme yayı yerine elastik ötesi düzlemsel panel eleman tanımlamıştır (Şekil 3.9). Geliştirilen model *makro panel duvar eleman model* (Panel-Wall-Macro-Element) olarak adlandırılmıştır. Deney sonuçları ile karşılaştırıldığında, her iki modelin monotonik ve çevrimsel yatay yükleme ile eksenel yükleme altındaki perdeleri yeterli doğrulukta modellediği görülmüştür. Ancak yüksek eksenel yük ve belirgin elastik ötesi kesme yer değiştirmelerinin meydana gelmesi durumunda yetersiz kaldığı görülmüştür (Orakçal, 2004).



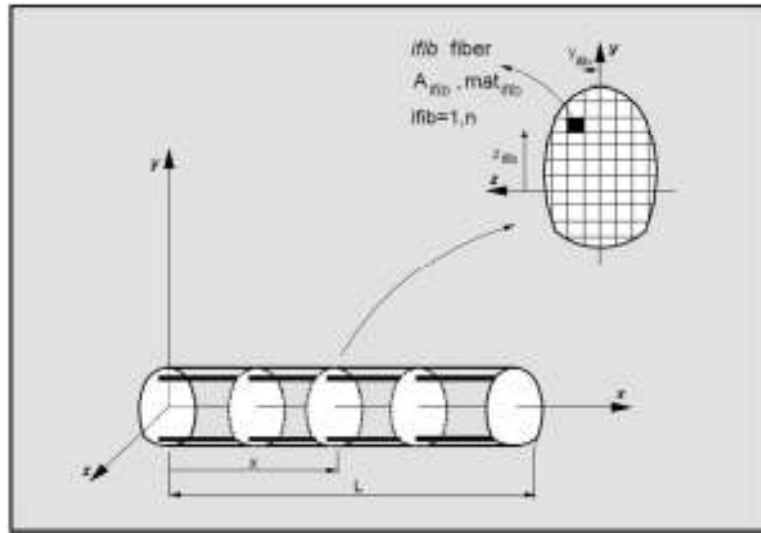
Şekil 3.9 Makro panel duvar eleman modeli

Betonarme perdelerin kesme kuvveti üzerinde, yüksek modların, boy/en oranının ve sünekliliğin etkisinin araştırıldığı bu tez çalışmasında, perdeleri modellemek için lif kesitli kiriş-kolon eleman model kullanılmıştır. Çünkü çalışmada yüksek modların etkisini araştırmak için, kat sayısı 4 ile 28 arasında değişen çok sayıda perde dikkate alınmıştır. Bu perdelerin birçok değişkene bağlı çoklu düşey yay eleman model yerine daha az değişken

ile tanımlanabilen lif kesitli kiriş-kolon eleman ile modellenmesinin analiz açısından daha basit ve sonuçlar açısından ise tutarlı olacağı düşünülmüştür.

### 3.1 Lif Kesitli Kiriş-Kolon Perde Hesap Modeli

Taucer vd. (1991) kiriş-kolon eleman modeli, lif kesit denklemlerini ekleyerek geliştirmişlerdir. Bu modelde kesit, Şekil 3.10'da gösterildiği gibi çok sayıda alt elemana (lif eleman) bölünür ve kesitin kuvvet-yer değiştirme ilişkisi lif elemanların tek eksenli gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisinden elde edilir.



Şekil 3.10 Lif kesitli kiriş-kolon eleman modeli

Şekil 3.10'da lif kesitli kiriş-kolon eleman model, yerel referans sisteminde gösterilmiştir. Eleman kesiti çok sayıda life ayrılır ve bu kesitler eleman sayısal integrasyon yani kontrol noktalarında konumlanır. Bu modelde Gauss integrasyon şeması kullanılmıştır. Çünkü bu integrasyon şeması, elastik ötesi şekil değiştirmelerin meydana geldiği eleman uç noktalarında, birbirine denk iki noktaya izin verir (Taucer vd., 1991). Şekil 3.10'da da görüldüğü gibi kesit,  $n(x)$  life bölünür. Elemanın boyuna doğrultudaki donatı değişimini dikkate almak için modelde lif sayısı ( $n$ ), elemanın asal eksenin ( $x$ ) bir fonksiyonu olarak dikkate alınır.

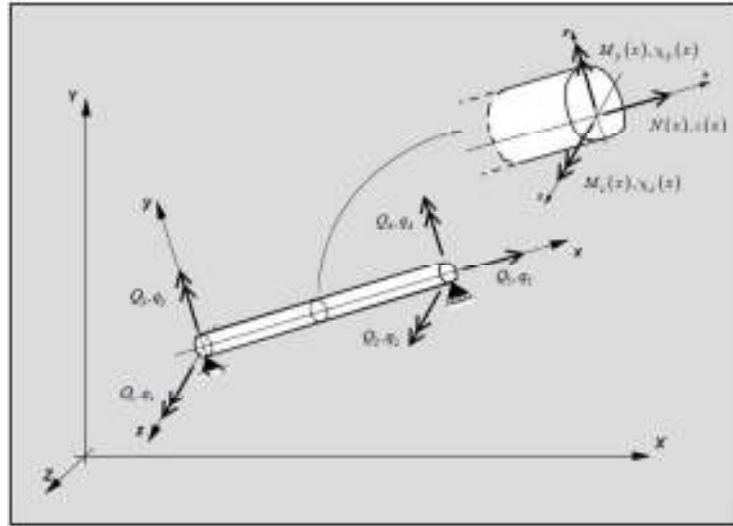
Eleman ve kesit seviyesinde genel kuvvet-yer değiştirme ilişkisi kiriş-kolon eleman model ile aynıdır (şekil 3.11). Bu ilişkinin vektör ifadesi aşağıdaki gibi özetlenebilir.

$$\text{Eleman kuvvet vektörü} \quad \mathbf{Q} = \{ Q_1 \ Q_2 \ Q_3 \ Q_4 \ Q_5 \}^T \quad (3.1)$$

$$\text{Eleman deformasyon vektörü} \quad \mathbf{q} = \{ q_1 \ q_2 \ q_3 \ q_4 \ q_5 \}^T \quad (3.2)$$

$$\text{Kesit kuvvet vektörü} \quad \mathbf{D}_{(x)} = \begin{Bmatrix} M_x(x) \\ M_y(x) \\ N(x) \end{Bmatrix} \quad (3.3)$$

$$\text{Kesit deformasyon vektörü} \quad \mathbf{d}_{(x)} = \begin{Bmatrix} X_x(x) \\ X_y(x) \\ \varepsilon(x) \end{Bmatrix} \quad (3.4)$$



**şekil 3.11** Eleman ve kesit için kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi

Bu modelde kiriş-kolon eleman formüllerine ek olarak, her kesitte lif elemanın gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisini veren aşağıdaki vektörler eklenir.

$$\text{Lif birim şekil değiştirme vektörü} \quad \mathbf{e}(x) = \begin{Bmatrix} \varepsilon_1(x, y_1, z_1) \\ \vdots \\ \varepsilon_{ifib}(x, y_{ifib}, z_{ifib}) \\ \vdots \\ \varepsilon_n(x, y_n, z_n) \end{Bmatrix} \quad (3.5)$$

$$\text{Lif gerilme vektörü} \quad E(x) = \left\{ \begin{array}{c} \sigma_1(x, y_1, z_1) \\ \vdots \\ \sigma_{ifib}(x, y_{ifib}, z_{ifib}) \\ \vdots \\ \sigma_n(x, y_n, z_n) \end{array} \right\} \quad (3.6)$$

Denklem 3.5 ve 3.6’da ki  $x$  kesitin eleman üzerindeki yerini,  $y_{ifib}$  ile  $z_{ifib}$  ise liflerin kesit üzerindeki konumunu,  $n$  ise lif sayısını gösterir.

Lif kesitli kiriş-kolon eleman formülleri, lineer geometri esaslarına dayanır. Yani plan kesitin yüklemekten sonrada plan ve asal eksene dik kaldığı kabul edilir. Bernoulli-Navier Hipotezine dayanan bu kabul, kesit şekil değiştirme vektörü ile lif elemanların birim şekil değiştirme vektörünü basit bir matris ile bir birine bağlanmasını sağlar.

$$e(x) = I(x) \cdot d(x) \quad (3.7)$$

$$I(x) = \begin{bmatrix} -y_1 & z_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -y_{ifib} & z_{ifib} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -y_n & z_n & 1 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

$I(x)$  : Lineer geometrik matris

Elemanın elastik ötesi davranışı tamamen lif elemanların elastik ötesi gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisinden elde edilir. Bu durumda analiz sonuçlarının geçerliliği, lifler için seçilen malzeme davranış modellerinin doğruluğuna bağlıdır. Bu modelde beton ve donatı için malzeme davranış modelleri tanımlanır. Malzemelerin tek eksenli gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi dikkate alınarak model basitleştirilir. Enine ve boyuna donatıların betonun dayanım ve gerilmesi üzerindeki üç boyutlu sargı etkisi uygun dönüşümler ile tek eksenli olarak ifade edilebilir.

Çalışmada enine donatılar ile sargılanmış beton ile sargısız beton için, literatürde çok yaygın olarak kullanılan ve Saatcioglu ile Razvi (1992) tarafından önerilen beton davranış modeli kullanılmıştır. Çalışmada betonun çekme dayanımı ihmal edilmiştir. Çünkü betonun çekme dayanımı, betonarme yapının akmadan önceki çekme davranışı üzerinde etkilidir (Taucer vd., 1991). Çok katlı perdelerin, gerçek ivme kayıtları altında incelendiği ve yatay ötelenmenin fazla olduğu bu çalışmada, bu etki ihmal edilmiştir.

Çalışmada donatı davranış modeli için ise çalışmalarda yaygın olarak kullanılan, deney sonuçları ile oldukça uyumlu sonuçlar veren ve Menegotto ve Pinto (1973) tarafından önerilen donatı davranış modeli kullanılmıştır. Lif kesitli kiriş-kolon eleman modelde, betonarme elemanın temel ile birleştiği noktada boyuna donatılarda meydana gelen aderans kaymasının (*bond slip effect*), yer değiştirme üzerindeki etkisi ihmal edilmiştir. Çevrimsel yüklemenin şiddeti ve süresi ile yer değiştirme üzerindeki etkinliği artan bu etkinin modelde dikkate alınmaması, bu modelin olumsuz yanlarından biridir (Taucer vd., 1991). Tez çalışmasında bu etki çeşitli yaklaşımlar ile dikkate alınmaya çalışılmış ancak yakınsama problemleri ile karşılaşılınca vazgeçilmiştir. Çalışmada ve literatürde yaygın olarak kullanılan beton davranış modelleri ile donatı davranış modeli, tezin bir sonraki bölümünde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Lif kesitli kiriş-kolon eleman modelde sonuçların doğruluğunu etkileyen diğer değişkenler ise eleman boyunca dikkate alınan integrasyon noktası ve kesitteki lif eleman sayısıdır. Lif eleman sayısı ve integrasyon sayısı arttıkça sonuçların doğruluğu artar ancak analiz süresi uzar. Bu durumda optimum bir yol izlenmelidir (Taucer vd., 1991). Çalışmada perdeler, her katta bir eleman olarak tanımlanmış ve her elemanda literatür çalışmaları dikkate alınarak 5 integrasyon noktası belirlenmiştir. Perde kesitleri ise yaklaşık  $50mm \times 50mm$  boyutlarında fiber elemanlara bölünmüştür.

Lif kesitli kiriş-kolon eleman modeli, *SAP2000* (<http://www.csi.berkeley.edu>), *Perform3D* (<http://www.csi.berkeley.edu>) ve *OpenSees* (Mazzoni vd., 2006) (<http://opensees.berkeley.edu>) gibi sonlu eleman programları tarafından kullanılmaktadır. Bu çalışmada elastik ötesi analiz için *OpenSees* programı kullanılmıştır. *OpenSees* programında üç tip lif kesitli kiriş-kolon eleman modeli bulunmaktadır. Bunlar yer değiştirme esaslı yayılı plastikleşmeli kiriş-kolon eleman modeli (displacement-based beam-column element), kuvvet esaslı yayılı plastikleşmeli kiriş-kolon eleman modeli (force-based beam-column element) ile kuvvet esaslı plastik mafsallı kiriş-kolon eleman modelidir (beam element with hinges). Scott (2001) tarafından geliştirilen, lif kesitli yer değiştirme esaslı yayılı plastikleşmeli kiriş-kolon eleman modeli, eleman boyunca doğrusal eğrilik alanı ile sabit eksenel yer değiştirme alanı kabulüne dayanır. Spacone vd. (1992) tarafından önerilen, lif kesitli kuvvet esaslı yayılı plastikleşmeli kiriş-kolon eleman modeli ise eleman boyunca doğrusal eğilme momenti ve sabit eksenel yük dağılımını kabul eder. Elastik ötesi hasar görmüş perdelerde, doğrusal eğrilik kabulü perde davranışını doğru bir

şekilde yansıtamaz. Bu nedenle, yer değiştirme esaslı kiriş-kolon eleman model kullanılması durumunda yakınsaklığı sağlayabilmek için elemanın çok sayıda alt elemanlara bölünmesi gerekir. Kat hizasında toplanmış yatay yükler ile yüklenen perdelerde, kuvvet esaslı kiriş-kolon eleman yaklaşımındaki kuvvet dağılımı yeterli olur ve az sayıda alt eleman ile yakınsaklık sağlanır (Pugh,2012). Ayrıca kuvvet esaslı kiriş-kolon eleman model, eleman üzerindeki plastik mafsallık bölgesini ve eleman boyunca yayılı plastisiteyi, yer değiştirme esaslı yaklaşıma göre daha iyi tahmin ettiği (Waugh vd., 2008) için tez çalışmasında, lif kesitli kuvvet esaslı yayılı plastikleşmeli kiriş-kolon eleman modeli kullanılmıştır.

Lif kesitli kiriş-kolon eleman model, perdelerin elastik ötesi eğilme davranışlarını modellemede sayısal olarak etkili ve güçlü bir modeldir. Özellikle perdelerin eğilme davranışı üzerinde, eksenel yükün etkisi ile çevrimsel malzeme modellerinin kullanılması durumunda perdelerin çevrimsel davranışını modellemede çok etkilidir. Ancak, düzlem kesitin yüklemenden sonrada düzlem kalacağı kabulü, kesme kuvvetinin eğilme üzerindeki etkisini modellemeye izin vermez (Pugh,2012).

Çalışmada dikkate alınan ince perdeler, öncelikle eğilme altında hasar görmelerine karşın, kesme şekil değiştirmesi de önemli bir etkiye sahiptir (Lowes vd.,2012). Çünkü kesme rijitliği, eğilme ve kesme kuvveti etkisinin artması ile azalır (Lowes vd.,2012) ve yüksek kesme talebi görelî ötelenme kapasitesini azaltır (Birely, 2012). Bu nedenle çalışmada kesme etkisi, eğilmeden bağımsız olarak tek boyutlu kesme modeli ile analize dahil edilmiştir. Bunun için *OpenSees* programındaki “*Section Aggregator*” komutu kullanılmıştır. Ancak bu durum modellemede hedeflenen kesme-eğilme etkileşimini yansıtmaz sadece kesme ve eğilme etkisinin süper pozisyonudur (Pugh,2012).

#### 4. MALZEME DAVRANIŞ MODELLERİ

Yapısal analiz problemlerinde kuvvet veya gerilme ile ifade edilen *denge denklemleri* ile şekil değiştirme ile ifade edilen *uygunluk denklemleri* arasındaki bağıntı ancak kullanılan malzemenin gerilme-şekil değiştirme ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) bağıntısı ile elde edilir. Uygunluk denklemleri, büyük oranda malzemenin gerilme-şekil değiştirme eğrisine bağlıdır. Malzeme deneyinden elde edilen  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrisi, çözüm kolaylığı için idealize edilip, basitleştirilerek kullanılır. İdealize edilip basitleştirilen  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrileri “*matematiksel model*” olarak adlandırılır (Ersoy, 1998). Bu nedenle bu bölümde, literatürde yaygın olarak kullanılan donatı davranış modeli ve beton davranış modelleri hakkında genel bir bilgi verilmiştir.

##### 4.1 Donatı Davranış Modeli

Sünek davranış sergileyecek şekilde tasarlanmış betonarme elemanların davranışı üzerinde, donatının davranışı önemli bir etkiye sahiptir. Gerçekçi bir betonarme davranışı elde etmek için, donatı çeliğinin davranışının yeterli derecede belirli olması gerekir. Basit çelik çekme deneyleri ile monoton artan gerilmeler altında, malzeme gerilme-şekil değiştirme ilişkisi, elastisite modülü, pekleşme modülü, akma ve kopma dayanımı ile bunlara karşılık gelen şekil değiştirmeler kolaylıkla belirlenebilir. Ancak monoton artan gerilmeler altında donatı çeliği oldukça basit bir davranış sergilerken, deprem gibi tekrarlı ve yön değiştiren gerilmeler söz konusu olduğunda pekleşme ve *Bauschinger* etkileri nedeniyle davranış karmaşık bir durum sergiler.

Çalışmada donatı çeliğinin gerilme şekil değiştirme bağıntısı için, Filippou vd.(1983) tarafından izotropik pekleşme etkisi eklenerek güncellenen Menegotto ve Pinto (1973) tarafından önerilen davranış modeli kullanılmıştır. Menegotto ve Pinto modeli, deneysel çalışma sonuçları ile iyi bir uyum gösteren, yaygın olarak kullanılan, basit ve etkili bir davranış modelidir (Orakcal,2004).

Model Şekil 4.1’de gösterildiği gibi, genel anlamda  $E_o$  (*elastisite modülü*) eğimli doğru ile  $E_1$  (*pekleşme modülü*) eğimli doğruya asimptot olan eğrisel bir geçiş olarak tanımlanabilir. Pekleşme modülü  $E_1=bE_o$  eşitliği ile tanımlanır, eşitlikteki  $b$  pekleşme

etkisini gösteren bir parametredir. İki asimptot arasındaki eğrisel geçişin şekli, Bauschinger etkisini yansıtan ve her çevrim sonrasında yenilenen  $R$  parametresi ile belirlenir.

$$\sigma^* = b\varepsilon^* + \frac{(1-b)\varepsilon^*}{(1+\varepsilon^{*R})^{1/R}} \quad (4.1)$$

$$\varepsilon^* = \frac{\varepsilon - \varepsilon_r}{\varepsilon_0 - \varepsilon_r} \quad (4.2)$$

$$\sigma^* = \frac{\sigma - \sigma_r}{\sigma_0 - \sigma_r} \quad (4.3)$$

Denklem 4.1 elastik asimptottan pekleşme asimptotuna eğrisel geçişi gösterir.  $\sigma_r$  ve  $\varepsilon_r$ , yükün yön değiştirdiği noktadaki gerilme ve birim şekil değiştirmeyi gösterir.  $\sigma_0$  ve  $\varepsilon_0$  ise iki asimptotun kesiştiği noktadaki gerilme ve birim şekil değiştirmeyi gösterir. Pekleşme etkisini gösteren  $b$  ise pekleşme modülü  $E_I$ 'in elastisite modülü  $E_0$ 'a oranıdır. Şekil 4.1'de gösterildiği gibi gerilme ve şekil değiştirmeler  $(\sigma_r, \varepsilon_r, \sigma_0, \varepsilon_0)$  her çevrim adımıyla güncellenir.

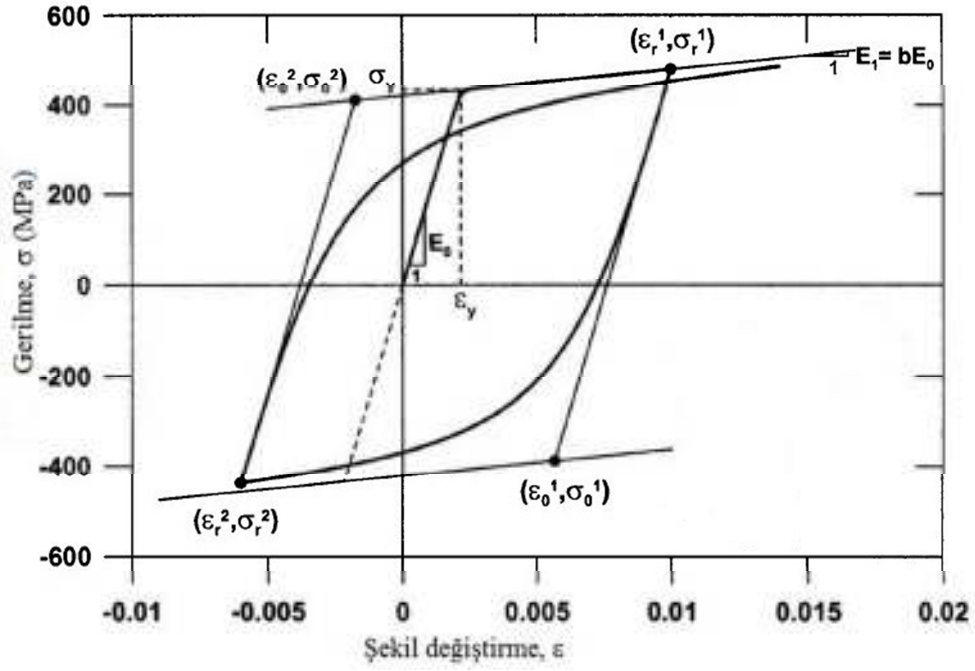
Gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin Tanjant Modülü ( $E_t$ ), yukarıdaki denklemlerin farkından aşağıdaki gibi bulunur:

$$E_t = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \left( \frac{\sigma_0 - \sigma_r}{\varepsilon_0 - \varepsilon_r} \right) \frac{d\sigma^*}{d\varepsilon^*} \quad (4.4)$$

$$\frac{d\sigma^*}{d\varepsilon^*} = b + \left[ \frac{1-b}{(1+\varepsilon^{*R})^{1/R}} \right] \left[ 1 - \frac{\varepsilon^{*R}}{1+\varepsilon^{*R}} \right] \quad (4.5)$$

İki asimptot arasındaki eğrinin şeklini tanımlayan  $R$  parametresi, güncel çevrim adımıyla iki asimptotun kesiştiği noktadaki birim şekil değiştirme ile bir önceki çevrimin yön değiştirdiği noktadaki maksimum veya minimum şekil değiştirmeler arasındaki farkın toplamına bağlıdır. Menegotto ve Pinto tarafından önerilen  $R$  parametresi, Denklem 4.6'da verilmiştir:

$$R = R_0 - \frac{a_1 \xi}{a_2 + \xi} \quad (4.6)$$

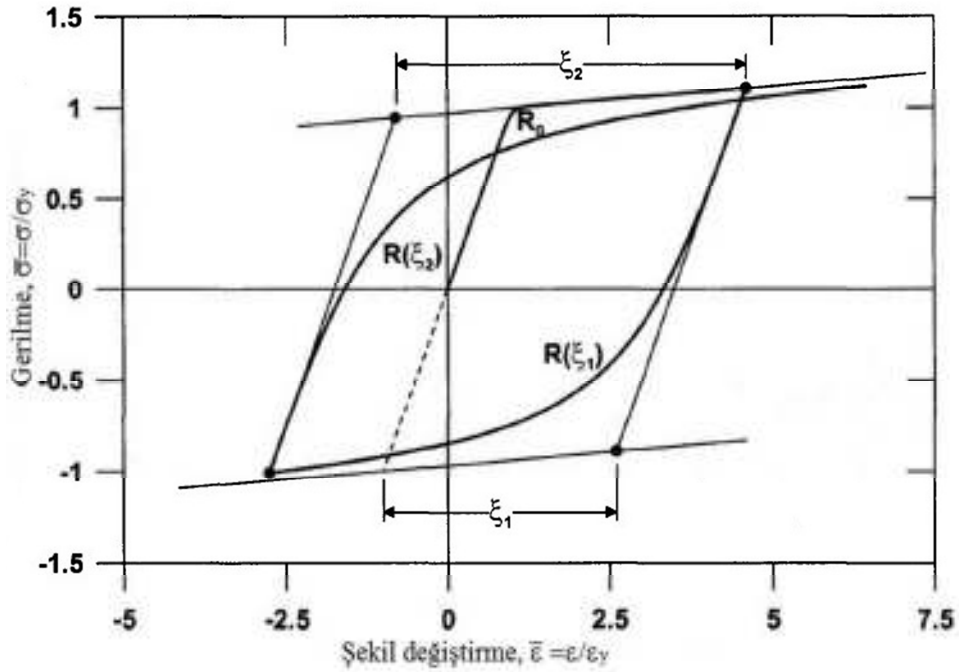


Şekil 4.1 Donatı çeliği davranış modeli (Menegotto ve Pinto, 1973).

Burada,  $R_0$  monotonik yüklemeden veya başlangıç yüklemesinden elde edilen değer iken,  $a_1$  ve  $a_2$  ise ilerleyen çevrim adımlarında eğrideki bozulmayı yansıtan deneysel olarak elde edilen değerlerdir. Mevcut çevrim adımındaki iki asimptotun kesişim noktasındaki şekil değiştirme ile çevrimin azalıp ya da artmasına bağlı olarak bir önceki adımda çevrimin yön değiştirdiği noktadaki birim şekil değiştirmeler arasındaki farkın toplamı,  $\xi$  parametresi ile yansıtılır.  $\xi$  parametresinin elde edilişi Denklem 4.7’de verilmiştir.

$$\xi = \left| \frac{\varepsilon_m - \varepsilon_o}{\varepsilon_y} \right| \quad (4.7)$$

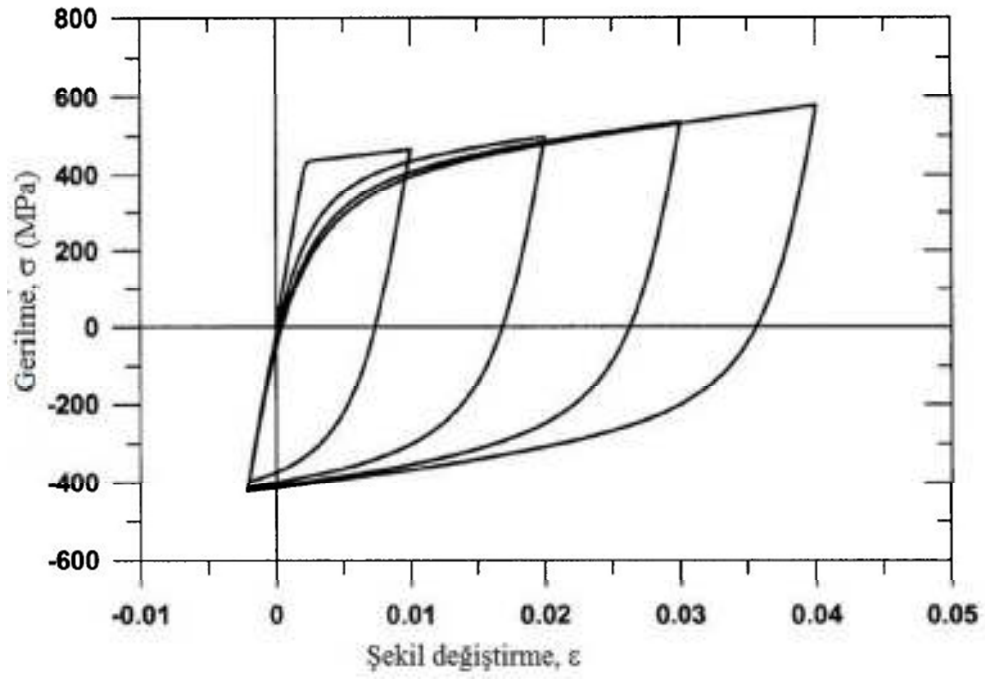
Burada,  $\varepsilon_m$  çevrimin yön değiştirdiği noktadaki maksimum veya minimum birim şekil değiştirmeyi,  $\varepsilon_o$  mevcut çevrim adımındaki iki asimptotun kesiştiği noktadaki birim şekil değiştirmeyi,  $\varepsilon_y$  ise akma noktasındaki birim şekil değiştirmeyi temsil eder. Şekil 4.2’de görüleceği gibi  $\xi$  parametresi her çevrim adımı güncellenir. Menegotto ve Pinto,  $R_0$ ,  $a_1$  ve  $a_2$  için sırası ile 20, 18.5 ve 0.15 değerlerini önermişlerdir.



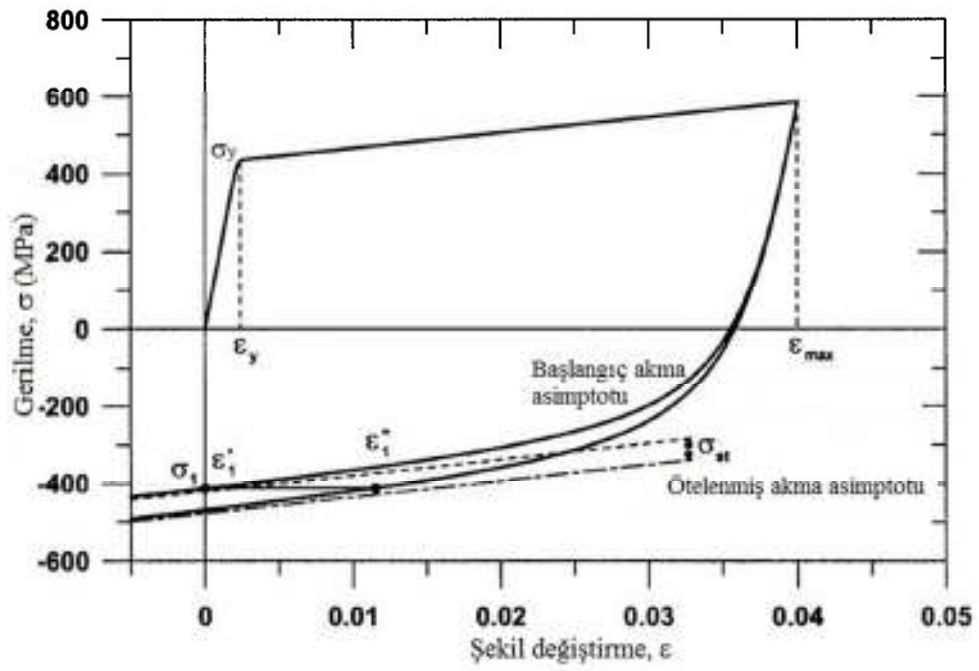
Şekil 4.2 Çevrimsel döngünün bozulması

Elastik ötesi şekil değiştirme gösteren betonarme bir elemandaki donatı çeliğinin, Menegotto ve Pinto tarafından önerilen histeretik gerilme-şekil değiştirme ilişkisi Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Bu modelde  $E_0$  Elastisite Modülünün tüm yüklemeler boyunca sabit kaldığı kabul edilmektedir.

Menegotto ve Pinto modeli basit denklemler içermesine karşın, deneysel sonuçlar ile çok iyi bir yakınsaklık göstermiştir. Hesap modelinin en büyük kusuru izotropik pekleşmeyi yansıtamamasıdır (Orakçal, 2004). Fillippou vd. (1983), izotropik pekleşmenin betonarme elemanlarda donatı çeliğinin çevrimsel davranışının modellenmesinde, dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir. Pekleşme Şekil 4.4’de gösterildiği gibi, çatlağın kapandığı durumda donatının birim şekil değiştirmesini önemli ölçüde etkilemektedir. Şekil 4.4’de iki modelde,  $\sigma_l$ ’e karşılık gelen birim şekil değiştirmeler bir birlerinden oldukça farklıdır. Fillippou vd. (1983), çatlak kapanması durumunda pekleşme etkisi ile oluşan birim şekil değiştirmeyi tahmin etmek için Menegotto ve Pinto modelindeki akma asimptotunu,  $\sigma_{st}$  gerilmesi kadar paralel ötelemeyi önermişlerdir. Bu durumda, Menegotto ve Pinto Modelinin (1973) basitliği korunarak birim şekil değiştirme tahmininde daha etkili bir model elde edilmiştir.



Şekil 4.3 Donatı çeliği gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi

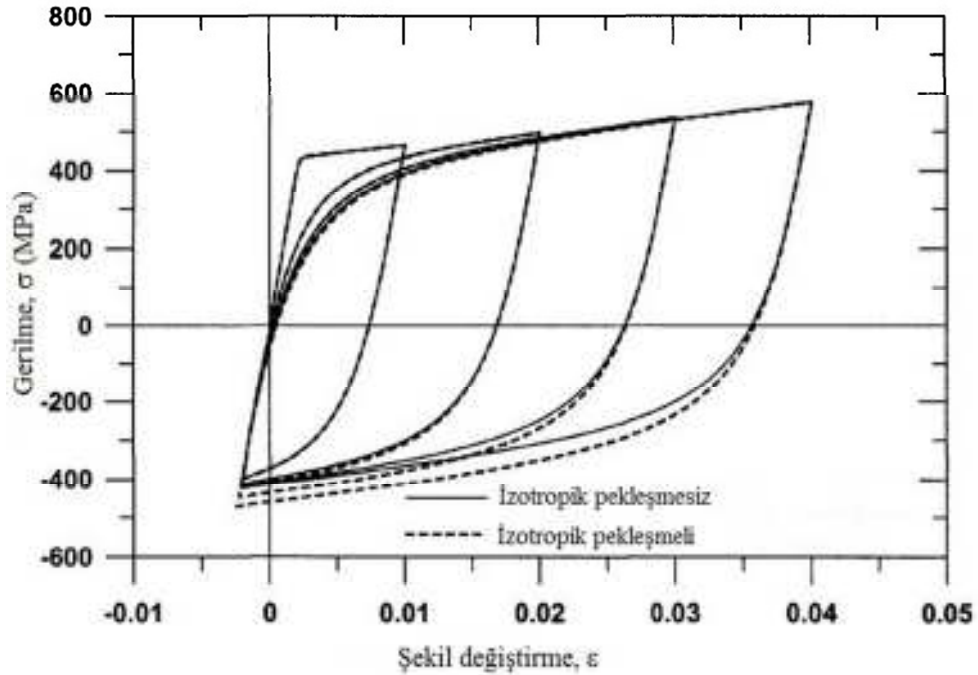


Şekil 4.4 İzotropik pekleşme etkisi ile gerilmenin ötelenmesi

Fillippou vd. (1983), akma asimptotunu ötelemek için gerekli olan  $\sigma_{st}$  gerilmesini, maksimum plastik birim şekil değiştirmeye bağlı olarak Denklem 4.8’de ki gibi ifade etmişlerdir. Denklemdaki  $\varepsilon_{max}$  birim şekil değiştirmenin yön değiştirdiği andaki toplam maksimum birim şekil değiştirmeyi,  $\sigma_y$  ve  $\varepsilon_y$  sırasıyla akma anındaki gerilme ve birim şekil değiştirmeyi,  $a_3$  ve  $a_4$  deneysel olarak elde edilen kat sayıları gösterir. Deney sonuçlarına dayanarak Fillippou vd.,  $R_0=20$ ,  $a_1=18.5$ ,  $a_2=0.15$ ,  $a_3=0.01$  ve  $a_4=7$  alarak modelin uyumu sağlanmıştır. İlk üç değer Menegotto ve Pinto tarafından önerilen değer ile aynıdır.

$$\frac{\sigma_{st}}{\sigma_y} = a_3 \left( \frac{\varepsilon_{max}}{\varepsilon_y} - a_4 \right) \quad (4.8)$$

Şekil 4.5’de donatının çevrimsel gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi pekleşmeli ve pekleşmesiz durum için verilmiştir (Orakçal, 2004).



Şekil 4.5 İzotropik pekleşmenin gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisine etkisi

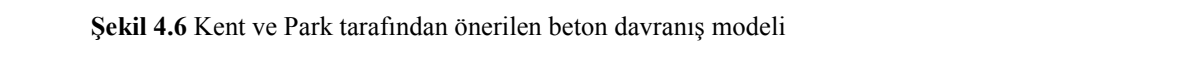
## 4.2 Beton Davranış Modelleri

Enine donatılar ile sargılamış betonun gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi sargısız betonlara göre oldukça farklıdır. Betonun  $\sigma$ - $\varepsilon$  eğrisi birçok değişkene bağlı olduğu için tek bir eğri ile ifade edilmesi olanaksızdır (Ersoy, 1998). Ancak problemlerin çözümü ve davranışların modellenmesi için beton modeline gereksinim vardır. Bu konu birçok araştırmacı tarafından incelenmiş ve çok sayıda beton modeli önerilmiştir. Önerilen beton modellerinden Geliştirilmiş Kent ve Park Modeli (1982) ile Mander Modeli (1984, 1988a-b) hakkında genel bir bilgi verildikten sonra, çalışmada kullanılan Saatcioğlu ve Razvi Modeli (1992) ayrıntılı olarak verilmiştir.

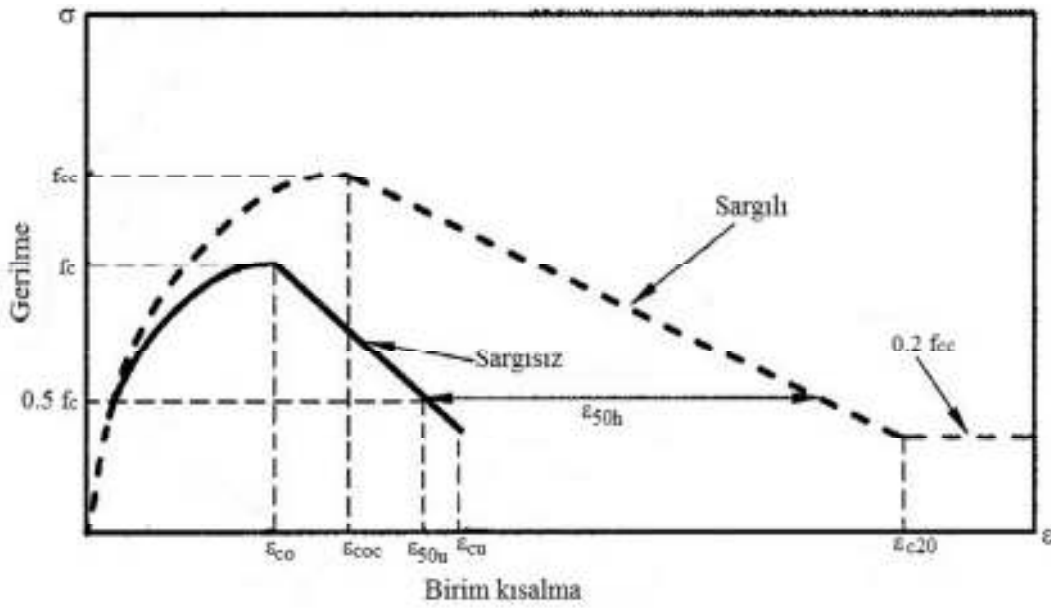
### 4.2.1 Geliştirilmiş Kent ve Park Modeli

*Kent ve Park (1971)* sargılı ve sargısız beton için iki ayrı davranış modeli önermişlerdir. Şekil 4.6'da görüleceği üzere, iki model tepe noktasına kadar özdeş ikinci dereceden bir parabolüdür (Şekil 4.6, *eğrinin A-B parçası*). Eğrinin tepe noktasındaki gerilmeye ( $f_c$ ) karşılık gelen birim şekil değiştirme  $\varepsilon_{co}$  (genelde  $\varepsilon_{co}=0.002$ ) geçildikten sonra gerilme düşer ve bu bölümde sargılı ve sargısız beton, eğimleri farklı olan iki doğru şeklinde tanımlanır. Kent ve Park (1971) sargısız beton modeli için Hognestad (1951) tarafından önerilen ve ekzantrik yüklenmiş kısa kolon deney sonuçlarına dayanan gerilme-şekil değiştirme bağıntısını kullanmışlardır. Aradaki tek fark, Hognestad (1951) modeli maksimum gerilmeyi silindirik basınç dayanımının 0.85'i olarak dikkate alırken, Kent ve Park maksimum gerilmeyi silindirik basınç dayanımına eşit kabul etmişlerdir.

Kent ve Park beton hesap modelinde, eksenel gerilmenin küçük değerlerinde sargı donatısındaki gerilme küçük olacağı için; sargılı betonun sargısız beton gibi davrandığı kabul edilmiştir. Ancak gerilmeler betonun basınç dayanımına yaklaştıkça, kesit içinde meydana gelen boyuna çatlaklar artarak, enine donatıda gerilme artışlarına neden olacak şekilde hacim artışları meydana gelir. Bu durumda enine donatı betonda sargı etkisi meydana getirerek gerilme-şekil değiştirme davranışında önemli bir gelişmeye neden olur (Kent ve Park,1971). Dikdörtgen veya kare enine donatılar, dairesel kesitlerdeki fretler kadar etkin bir sargı etkisi meydana getiremez. Çünkü köşeler arasında kalan etriye kolları



dayanımının  $f_c$ 'den  $f_{cc}$ 'ye, maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalmanın  $\varepsilon_{co}$ 'dan  $\varepsilon_{coc}$ 'a yükseldiği kabul edilmiştir. Gerek sargılı, gerekse sargısız beton için gerilme-şekil değiştirme eğrisinin ilk kısmı, Hognestad (1951) modelindeki gibi ikinci derece bir parabol şeklinde ifade edilmiştir. Gerilmenin azalma gösterdiği ikinci bölüm ise eğimi eksi olan düz çizgiler ile gösterilmiştir. Sargılı betonun eğimi sargısız betona oranla küçüktür. Sargısız betonda en büyük kısalma  $\varepsilon_{cu}$  iken sargılı betonda böyle bir sınır yoktur. Sargısız beton için,  $\varepsilon_{cu} = \varepsilon_{50u}$  veya daha basit olarak  $\varepsilon_{cu} = 0.004$  alınabilir (Ersoy U., 2004).



Şekil 4.7 Gelişmiş Kent ve Park beton davranış modeli

Betonarme kesitlerde sargılı beton modeli, etriyeler veya fretler ile sarılmış çekirdek için, sargısız beton modeli ise enine donatı dışında kalan kabuk için kullanılır. Kent ve Park modelinde çekirdek etriye dışından etriye dışına ölçülen uzaklıktır.

Geliştirilmiş Kent ve Park modelindeki  $\sigma$ - $\varepsilon$  eğrilerini tanımlayan denklemler aşağıda verilmiştir.

### Sargısız Beton

*Parabolik eğri*

$$\sigma_c = f_c \left[ \frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} - \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad (a)$$

$$\varepsilon_{co} \cong 0.002$$

(normal dayanımlı betonlar için)

### Sargılı Beton

$$\sigma_c = f_{cc} \left[ \frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{coc}} - \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{coc}} \right)^2 \right] \quad (b) \quad (4.10)$$

$$\varepsilon_{coc} = K \varepsilon_{co} \quad (4.11)$$

$$K = 1 + \frac{\rho_s f_{ywk}}{f_c} \quad (4.12)$$

*Gerilmenin azaldığı doğrusal kısım*

$$\sigma_c = f_c [1 - Z_u (\varepsilon_c - \varepsilon_{co})] \quad (a) \quad \sigma_c = f_{cc} [1 - Z_c (\varepsilon_c - \varepsilon_{coc})] \geq 0.2 f_{cc} \quad (b) \quad (4.13)$$

$$Z_u = \frac{0.5}{\varepsilon_{50u} - \varepsilon_{co}} \quad (a) \quad Z_c = \frac{0.5}{\varepsilon_{50u} + \varepsilon_{50h} - \varepsilon_{coc}} \quad (b) \quad (4.14)$$

$$\varepsilon_{50u} = \frac{3 + 0.285 f_c}{142 f_c - 1000} \geq \varepsilon_{co} \quad (a) \quad \varepsilon_{50h} = 0.75 \rho_s \left( \frac{b_k}{s} \right)^{1/2} \quad (b) \quad (4.15)$$

$f_c$  : Sargısız beton basınç dayanımı. Genelde  $f_c = f_{ck}$  alınır (MPa)

$f_{cc}$  : Sargılı beton basınç dayanımı  $f_{cc} = K f_c$ . (MPa)

$\varepsilon_{co}$  : Sargısız betonun maksimum gerilme altındaki birim kısalması

$\varepsilon_{coc}$  : Sargılı betonun maksimum gerilme altındaki birim kısalması

$Z_u, Z_c$  : Sırasıyla sargısız ve sargılı betonun  $\sigma_c - \varepsilon_c$  eğrilerinin doğrusal bölümünün boyutsuz eğimi

$b_k$  : Etriye dışından etriye dışına ölçülen çekirdek beton alanının küçük boyutu (mm)

$h_k$  : Etriye dışından etriye dışına ölçülen çekirdek beton alanının büyük boyutu (mm)

$\rho_s$  : Sargı donatısının hacimsel oranı

$$\rho_s = \frac{A_o \times l_s}{s \times b_k \times h_k} \quad (4.16)$$

$A_o$  : Sargı donatısı kesit alanı (mm<sup>2</sup>)

$l_s$  : Kesitteki sargı donatısı ve çirozların toplam uzunluğu (mm)

$f_{ywk}$  : Sargı donatısının akma dayanımı (MPa)

$s$  : Sargı donatısı aralığı (mm)

#### 4.2.2 Mander Modeli

Mander beton hesap modeli, yuvarlak, kare ve dikdörtgen kesitlerin, monotonik ve çevrimsel, statik ve dinamik yüklemeler altındaki sargılı beton gerilme-birim kısalma davranışını modellemek için önerilmiştir. Modelde dairesel sargı donatısı, dikdörtgen çevresel ve iç etriye ile çiroz gibi çeşitli enine donatı düzenleme koşulları dikkate alınmıştır (Mander vd. 1984). Mander vd. önerdikleri hesap modelinin etkinliğini, yuvarlak, kare ve dikdörtgen şeklindeki, gerçek boyutlara yakın 40 adet kolon deney numunesi ile karşılaştırarak göstermişlerdir (Mander vd., 1988 a-b).

Sargılı beton için geliştirilecek gerilme-birim şekil değiştirme bağıntısının kuşatma elemanları tarafından oluşturulan iki eksenli basınç etkisini de dikkate alması gerekmektedir. Bu etkiyi dikkate almak için Mander vd., (1988 a-b), birçok araştırmacı gibi, Richart vd., (1928) tarafından, sabit hidrostatik basınç altında silindir beton numuneler üzerinde yapılan, üç eksenli basınç deneylerinin sonucunu esas almışlardır. Çünkü Richart vd. (1929) küçük aralıklı sargı donatısı ile kuşatılmış betonların, sabit hidrostatik basınç altındaki betonlar ile benzer sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Hidrostatik basınç ile kuşatılmış betonun gerilme ve birim şekil değiştirmesi aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi basitçe ifade edilebilir (Mander vd., 1988-a).

$$f'_{cc} = f'_{co} + k_1 f_l \quad (4.17)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left( 1 + k_2 \frac{f_l}{f_{co}^2} \right) \quad (4.18)$$

Denklemlerdeki  $f'_{cc}$  (MPa) ve  $\varepsilon_{cc}$  sırası ile  $f_l$  (MPa) yatay hidrostatik basınç altındaki gerilme ile bu gerilmeye karşılık gelen birim kısalmadır.  $f_{co}$  (MPa) ve  $\varepsilon_{co}$  sargısız betonun gerilme ve bu gerilmeye karşılık gelen birim kısalmasıdır.  $k_1$  ve  $k_2$  ise beton karışımına ve yanal basınca bağlı kat sayıdır. Richart vd. (1928), deneylerden elde ettikleri verilere dayanarak  $k_1=4.1$  ve  $k_2=5k_1$  ortalama değerlerini önermişlerdir.

Mander vd. (1984) tarafından sargılı ve sargısız betonlar için önerilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi Şekil 4.8'de verilmiştir. Popovics (1973) tarafından önerilen bağıntıları esas alan eğrinin denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$f_c = \frac{f'_{cc} x r}{r - 1 + x^r} \quad (MPa) \quad (4.19)$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad (4.20)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[ 1 + 5 \left( \frac{f'_{cc}}{f'_{co}} - 1 \right) \right] \quad (4.21)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (4.22)$$

$$E_c = 5000 \sqrt{f'_{co}} \quad (MPa) \quad (4.23)$$

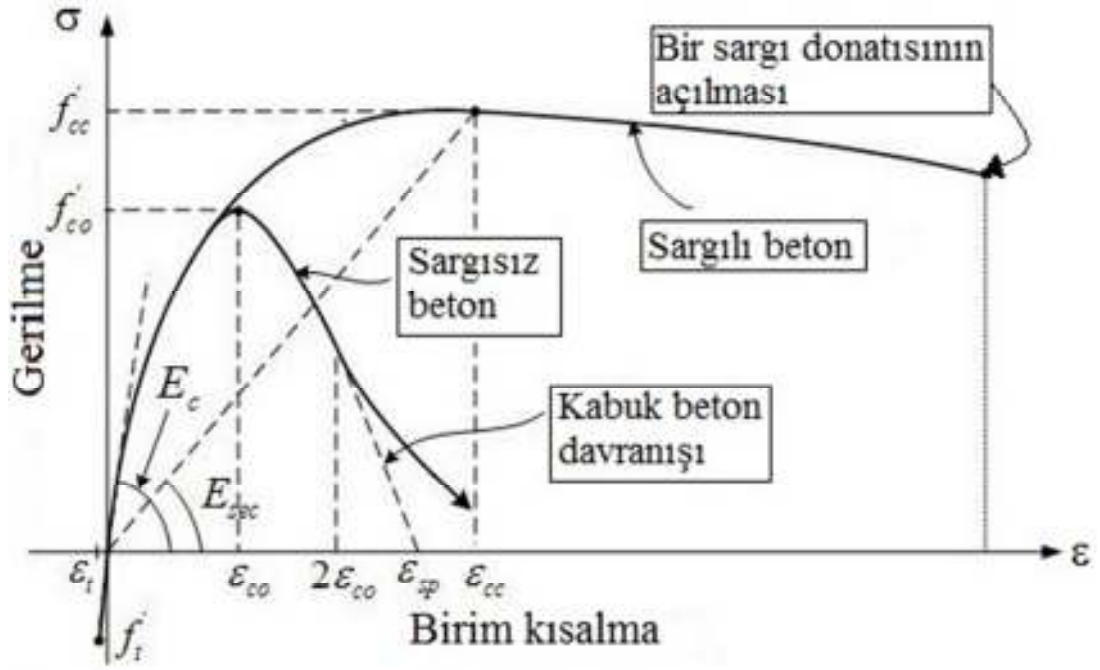
$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (4.24)$$

Denklemlerdeki  $f'_{cc}$  ve  $\varepsilon_{cc}$  sırası ile  $f_l$  sargılı betonun maksimum gerilmesi ile bu gerilmeye karşılık gelen birim şekil değiştirmedir.  $f_{co}$  ve  $\varepsilon_{co}$  ise sırası ile sargısız betonun maksimum gerilmesi ve bu gerilmeye karşılık gelen birim şekil değiştirmesidir. Genellikle  $\varepsilon_{co} = 0.002$  kabulü yapılır.  $E_c$  betonun tanjant elastik modülüdür. Kabuk beton için gerilmeye birim şekil değiştirme eğrisi için, eğrideki düşüşün  $\varepsilon_c > 2\varepsilon_{co}$  oluncaya kadar devam ettiğini bu noktadan sonra ise doğrusal bir şekilde, kabuk betonun döküldüğü  $\varepsilon_{sp}$  birim kısılmasında gerilmenin sıfıra ulaştığı kabul edilmiştir.

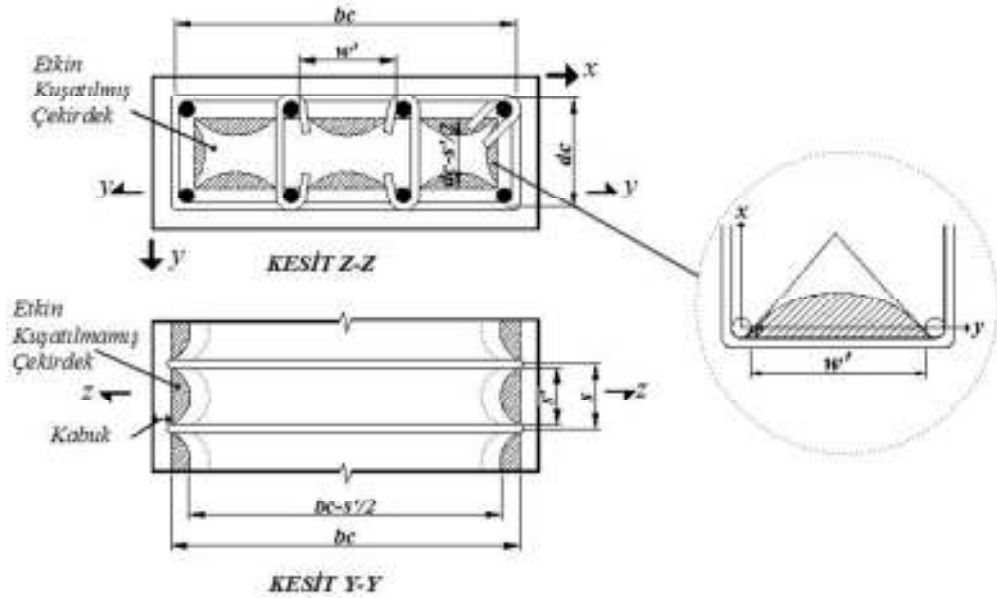
Mander vd. (1988-a) önerdikleri sargılı beton modelinde, Sheikh ve Uzumeri (1980) tarafından önerilen bağıntıya benzer şekilde, etkin sarılmış beton kesitini dikkate almışlardır. Beton çekirdek en etkin olarak enine donatı seviyesinde kuşatılırken, bu etkinlik enine donatıdan uzaklaştıkça azalır ve iki enine donatı arasında ki orta bölgede en küçük değerini alır. Özellikle dikdörtgen etriyelerin kullanıldığı durumlarda, çekirdek betona uygulanan sargı etkisi düzgün olarak yayılamaz ve kabuk beton çatladıktan sonra, enine donatının eğilme rijitliğinin düşük olması nedeni ile kesitin etkin taşıma alanı azalır. Dikdörtgen ve kare olan kesitlerde, çiroz ve iç etriye kullanımı sargı etkinliğini artırır.

Mander modelinde, etkin ve etkin olmayan kesit sınırları boyuna ve enine donatılardan çizilen teğet ve eğriler ile belirlenir (Şekil 4.9 ). Şekil 4.9'da ki taralı alanlar kolon düşey kesiti boyunca etkin olarak kuşatılmamış beton kesitlerini gösterir. Mander beton davranış modelinde dikdörtgen ve kare kolon elemanlarda hem yatay hem de düşey doğrultuda etkin olarak kuşatılmış ve kuşatılmamış beton alanlarının birbirlerinden,

başlangıç eğimi  $45^\circ$  olan ikinci derece paraboller ile ayrıldığı kabul edilmiştir (Mander vd.,1988-a).



Şekil 4.8 Mander tarafından önerilen beton davranış modeli



Şekil 4.9 Dikdörtgen enine donatı için etkin kuşatılmış çekirdek beton alanı

Bir kolonun taşıma gücünü komşu iki enine donatı arasındaki en küçük etkin olarak kuşatılmış beton alanı belirler. Denklem 4.19'a göre sargılı betonun gerilme hesabında, çevre enine donatı merkezleri arasında kalan alan beton kesiti  $A_{cc}$  olarak alınmış ve kuşatma gerilmesinin düzgün yayıldığı kabul edilmiştir. Etkin kuşatma alanı  $A_e < A_{cc}$  durumunu dikkate almak için, Denklem 4.19'a göre hesaplanan gerilme, kuşatma kat sayısı  $k_e$  ile çarpılarak azaltılır.

$$f'_l = f_l k_e \quad (4.25)$$

$$k_e = \frac{A_e}{A_{cc}} \quad (4.26)$$

$$A_{cc} = A_c(1 - \rho_{cc}) \quad (4.27)$$

Mander beton hesap modelinde, dikdörtgen kesitler için etkin kuşatma kat sayısı  $k_e$ , aşağıda verilen denklemler yardımı ile belirlenir:

$$A_i = \sum_{i=1}^n \frac{(w'_i)^2}{6} \quad (4.27)$$

$$A_e = \left( b_c d_c - \sum_{i=1}^n \frac{(w'_i)^2}{6} \right) \left( 1 - \frac{s'}{2b_c} \right) \left( 1 - \frac{s'}{2d_c} \right) \quad (4.28)$$

$$k_e = \frac{\left( 1 - \sum_{i=1}^n \frac{(w'_i)^2}{6} \right) \left( 1 - \frac{s'}{2b_c} \right) \left( 1 - \frac{s'}{2d_c} \right)}{(1 - \rho_{cc})} \quad (4.29)$$

Dikdörtgen kesitler, iki asal doğrultuda farklı enine donatı oranına sahip olabilirler. Bu farklılıktan kaynaklanan kuşatma gerilmesi farklılıkları, aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanır:

$$\rho_x = \frac{A_{sx}}{s d_c} \quad (4.30)$$

$$\rho_y = \frac{A_{sy}}{s b_c} \quad (4.31)$$

$$f_{lx} = \frac{A_{sx}}{s d_c} f_{yh} = \rho_x f_{yh} \quad (4.32)$$

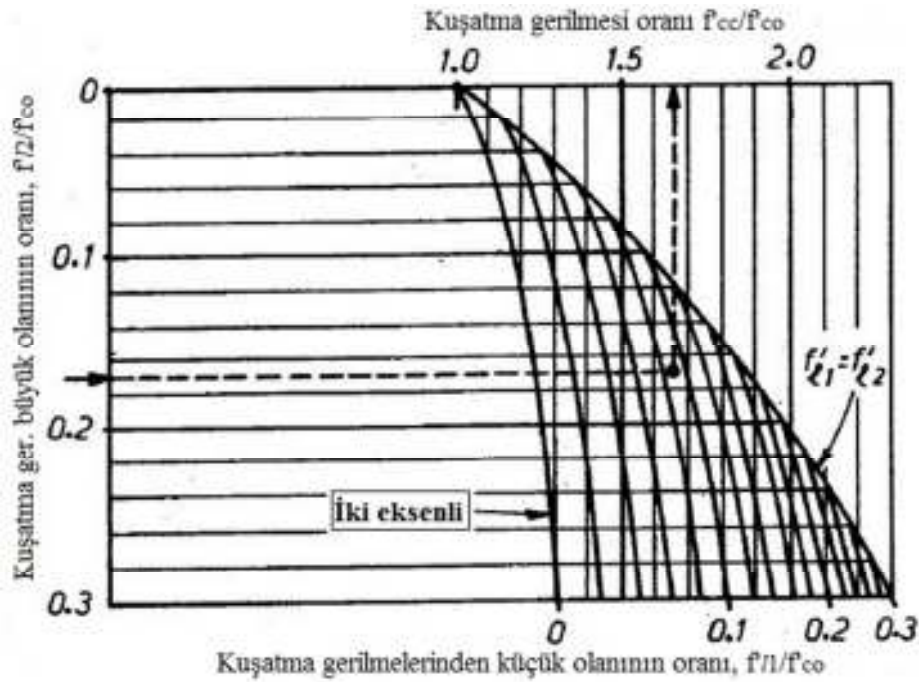
$$f_{ly} = \frac{A_{sy}}{s b_c} f_{yh} = \rho_y f_{yh} \quad (4.33)$$

$$f'_{lx} = k_e \rho_x f_{hy} \quad (4.34)$$

$$f'_{ly} = k_e \rho_y f_{hx} \quad (4.35)$$

Denklemlerdeki  $A_{sx}$  ve  $A_{sy}$  sırası ile  $x$  ve  $y$  doğrultusundaki toplam enine donatı alanlarını,  $s$  enine donatı merkezleri arasındaki uzaklığı,  $b_c$  ve  $d_c$  kesitin çevre enine donatısının merkezleri arasındaki boyutunu,  $\rho_x$  ve  $\rho_y$  sırası ile  $x$  ve  $y$  doğrultusundaki enine donatı oranını temsil eder.

Mander vd. (1988a) sargılı betonun basınç gerilmesini bulmak için, çok eksenli yükleme altında bir güç tükenmesi yüzeyi seçmişlerdir. Bunun için William ve Warnke (1975) tarafından önerilen ve deney sonuçları ile iyi bir uyum gösteren çok eksenli güç tükenmesi yüzeyi modelini kullanmışlardır. İki sargı gerilmesi için çok eksenli güç tükenmesi yüzeyi Şekil 4.10'da verilmiştir.



**Şekil 4.10** Dikdörtgen kesitlerde yatay sargı gerilmelerinden, sargılanmış beton gerilmesinin elde edilmesi

### 4.2.3 Saatcioglu ve Razvi Modeli

Saatcioglu ve Razvi (1992), pratikte kullanılan farklı kesit şekillerini ve enine donatı düzenleme koşullarını dikkate alan sargılı beton modeli önermişlerdir. Önerdikleri modeli çok sayıda yuvarlak, kare ve dikdörtgen şeklinde, dairesel sargı donatısı, etriye, çiroz veya kaynaklı hasır donatı gibi çeşitli enine donatı düzenlemeleri içeren deney sonuçları ile karşılaştırmış ve büyük bir yakınsaklık elde etmişlerdir. Model aynı zamanda eksenel ve ekzantrik yükleme durumu ile hızlı ve yavaş yükleme durumu için de deney sonuçları ile çok iyi bir uyum göstermiştir.

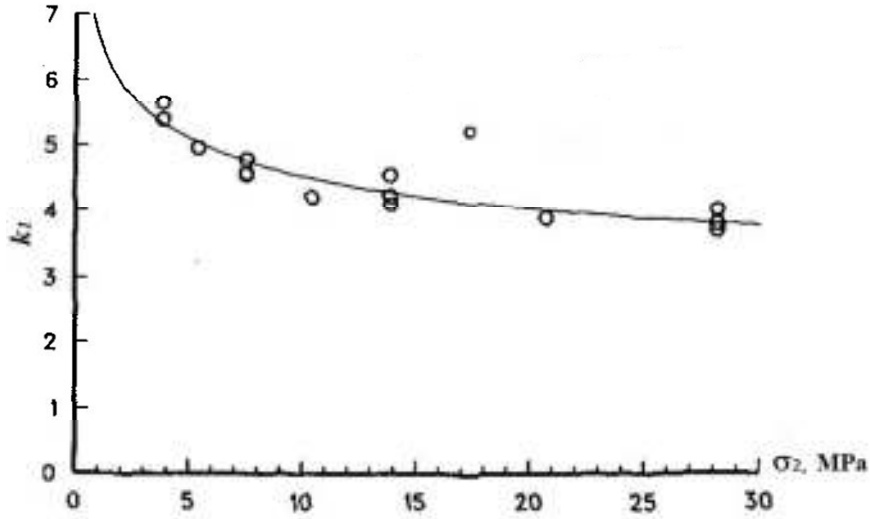
Saatcioglu ve Razvi, önerdikleri hesap modelinde, aynı anda eksenel basınç ile enine donatılar tarafından uygulanan yanal basınç altında olan beton için üç eksenli gerilme durumunu dikkate almışlardır. Eksenel basınç altında ezilen beton, enine doğrultuda genişlemeye çalışır, ancak enine donatılar betonun bu genişleme eğilimine karşı koyarak, betonun dayanımında artışa neden olur. Saatcioglu ve Razvi (1992), enine donatı etkisi ile gerilmede meydana gelen artışı için, Richart vd. (1928) tarafından önerilen bağıntıya benzer şekilde aşağıdaki denklemi önermişleridir.

$$f_{cc} = k_3 f_c + k_1 \sigma_2 \quad (4.36)$$

Denklemden  $f_{cc}$  ve  $f_c$  sırası ile sargılı ve sargısız betonun dayanımıdır.  $k_3$  ise standart silindir deneyinden elde edilen basınç dayanımı ile gerçek elemandaki basınç dayanımının farkını yansıtan bir kat sayıdır ve 0.85 ile 1.0 arasında değişir. Normal dayanımlı betonlar için genelde  $k_3=0.85$  kabul edilir (Ersoy ve Özcebe, 2004).  $k_1$  kat sayısı ise Possion Oranının bir fonksiyondur ve bu kat sayı için Richart (1928) tarafından önerilen 4.0 ve 4.1 değerleri literatürde yaygın bir kabul görmüştür. Ancak Saatcioglu ve Razvi (1992)  $k_1$  katsayısını deneysel verilere dayanarak yeniden gözden geçirmişleridir. Saatcioglu ve Razvi, Richart (1928) tarafından farklı hidrostatik basınç altında denen numunelerden elde ettikleri verilere göre,  $k_1$ 'in  $\sigma_2$ 'ye (yanal basınç) göre değişimini elde etmişlerdir (Şekil 4.11). Deney sonuçlarına göre  $k_1=4.0$  kabulünün yanal basıncın yaklaşık 15MPa'dan büyük olduğu durumlarda geçerli olduğunu, enine donatılar tarafından uygulanan yatay basıncın bu değerden daha küçük olması nedeni ile  $k_1$  için sabit bir kat sayı kabulünün doğru olamayacağını tespit etmişlerdir. Saatcioglu ve Razvi deney verilerinin regresyon

analizini yaparak,  $k_1$ 'i yanal basınca ( $\sigma_2$ ) bağılı olarak ifade eden aşağıdaki denklemi önermişlerdir.

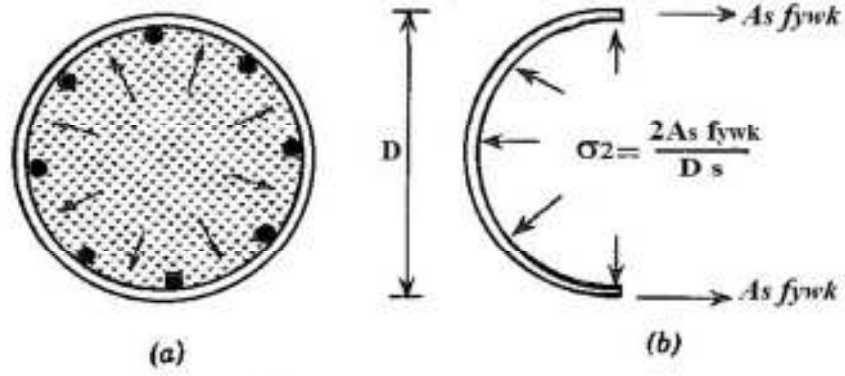
$$k_1 = 6.7(\sigma_2)^{-0.17} \quad (4.37)$$



Şekil 4.11  $k_1$ 'in yatay basınca göre değişimi

#### Dairesel Kesitler

Sargılı betonun gerilmesinin hesabında kullanılan Denklem 4.36, enine donatılar tarafından uygulanan yatay basıncın düzgün doğrusal olması durumu için geçerlidir. Düzgün yayılı yatay gerilme ise ancak adım aralığı küçük sargı donatıları ile sarılmış dairesel kesitler için mümkündür. Bu yatay gerilmenin denge denklemlerinden elde edilişi Şekil 4.12'de verilmiştir. Dairesel sargı donatısı için akma gerilmesi dikkate alınarak,  $\sigma_2$  yatay gerilmesi hesaplandıktan sonra dairesel kolonun  $f_{cc}$  gerilmesi hesaplanır (Saatcioglu ve Razvi, 1992).



**Şekil 4.12** Dairesel kesit için yatay gerilme: a) Düzgün yayılı basınç  
b) Sargı donatısı akma gerilmesini kullanarak yatay gerilmenin hesabı

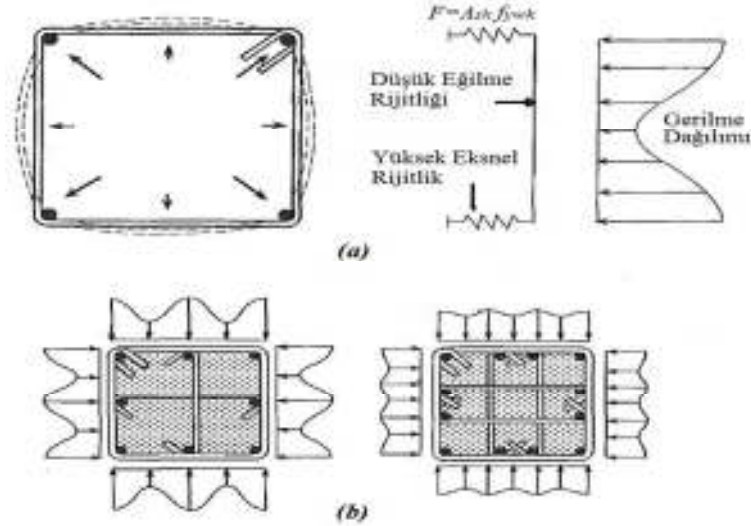
### Kare Kesitler

Kare veya dikdörtgen enine donatılar ile kuşatılan kesitlerde, fretler ile kuşatılan kesitlerdeki gibi düzgün yayılı basınç gerilmesi oluşmaz. Ancak, Saatcioglu ve Razvi, eşdeğer basınç gerilmesini dikkate alarak, yuvarlak kolonlarda kullanılan denklemleri kullanmışlardır.

Kare kesitlerde sargı gerilmesi, enine donatılar tarafından uygulanan sargı etkisine bağlıdır. Kare enine donatılarda köşelerde sargı etkisi belirginken, bu etki sargı ortasına gittikçe azalır. Çünkü basınç altında kare etriyeler kapalı bir çerçeve gibi şekil değiştirirler. Bu durumda davranışa eğilme hakim olduğundan, şekil değiştirme enine doğrultuda desteklenen köşelerde sıfır iken ortalarda maksimum değerini alacaktır. Enine donatının deformasyonu, etriye köşelerinde enine donatının eksenel rijitliğine bağlı iken, orta kısımlarda enine donatının eğilme rijitliğine bağlı olacaktır. Donatının eğilme rijitliği, eksenel rijitliğinden küçük olduğu için, deformasyon en büyük değerini sargı ortasında alacaktır (Ersoy ve Özcebe, 2004). Çekirdek betona uygulanan sargı etkisi deformasyonun bir fonksiyonu olduğu için, köşedeki etkinliği sargı ortasına gittikçe azalacaktır. Enine donatının eğilme rijitliği, donatı çapına ve mesnet uzunluğuna bağlıdır. Şekil 4.13’de gösterildiği gibi, kesitte enine donatının mesnet uzunluğu, çiroz ve iç etriye kullanmak suretiyle azaltılarak, sargı etkinliği artırılabilir (Saatcioglu ve Razvi, 1992).

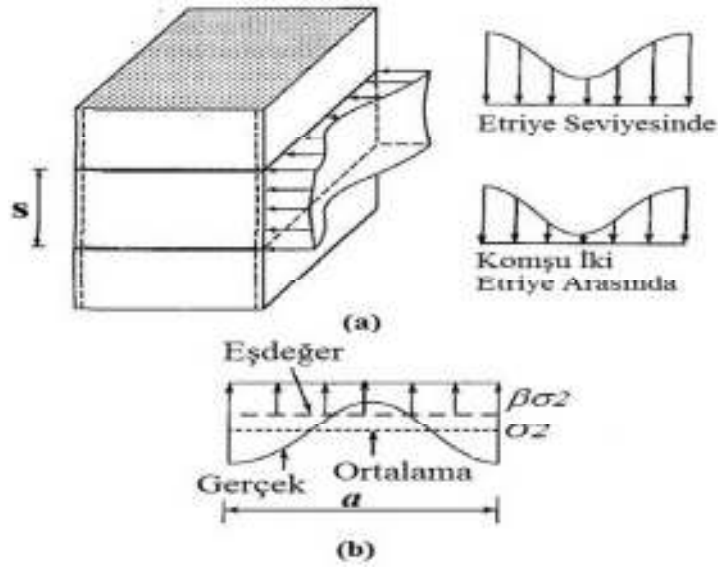
Sargı etkisi kolonlarda üç boyutta gerçekleşen bir olay olduğu için sadece kesit seviyesinde inceleme tam gerçekçi olmayabilir. Bu nedenle sargı etkisinin elemanın yüksekliği boyunca değişiminin de dikkate alınması gerekir. Sargı gerilmesinin yükseklik

boyunca değişimi Şekil 4.14’de gösterilmiştir. Sık enine donatılar ile kuşatılmış kesitlerde, boyuna doğrultuda sargı gerilmesinin dağılımı yaklaşık düzgün doğrusal kabul edilebilir. Çünkü boyuna donatılar basınç etkisi altındadır ve enine donatı aralıkları burkulmayı önleyecek şekilde belirlenmiştir (Saatcioglu ve Razvi, 1992).



**Şekil 4.13** Kare kolonlarda sargı gerilmesi: a) Sargı gerilemesinin oluşumu; b) Sargı gerilmesinin farklı enine donatı düzeni için dağılımı

Kare bir kolonda 4 adet boyuna donatının bulunması ve bu donatıların sadece geniş aralıklı etriye ile kuşatılması durumunda, sargı basıncının yayılışını eleman boyunca düzgün doğrusal kabul etmek gerçekçi değildir. Çünkü bu durumda sargı basıncındaki azalma belirgin olmaktadır, düzgün doğrusal kabulü gerçek sargı etkisinden daha büyük değerler vermektedir. Ayrıca ortalama basınç kabulü de gerçek sargı etkisini yansıtamamaktadır (Şekil 4.14-b). Bu nedenle Saatcioglu ve Razvi, eşdeğer düzgün yayılı basıncı esas almışlardır. Eşdeğer basınç ( $\sigma_{2e}$ ), ortalama basıncın ( $\sigma_2$ ) “ $\beta$ ” kat sayısı ile azaltılması ile elde edilir.



**Şekil 4.14** Sargı gerilmesinin dağılımı: a) Gerilmenin eleman yüksekliği boyunca dağılımı; b) Gerçek ortalama ve eşdeğer sargı gerilmesi

$$f_{cc} = k_3 f_c + k_1 \sigma_{2e} \quad (4.38)$$

$$k_1 = \frac{6.7}{(\sigma_{2e})^{0.17}} \quad (4.39)$$

$$\sigma_{2e} = \beta \sigma_2 \quad (4.40)$$

$$\sigma_2 = \frac{\sum A_o f_{yw} (\sin \alpha)}{(s \times b_k)} \quad (4.41)$$

Denklemlerdeki “s” enine donatılar arasındaki uzaklığı, “b<sub>k</sub>” çevre sargı donatısının merkezinde ölçülen çekirdek betonun boyutunu,  $f_{yw}$  enine donatı akma dayanımını (MPa),  $\sigma_2$  ortalama basınç gerilmesini (MPa) gösterir.

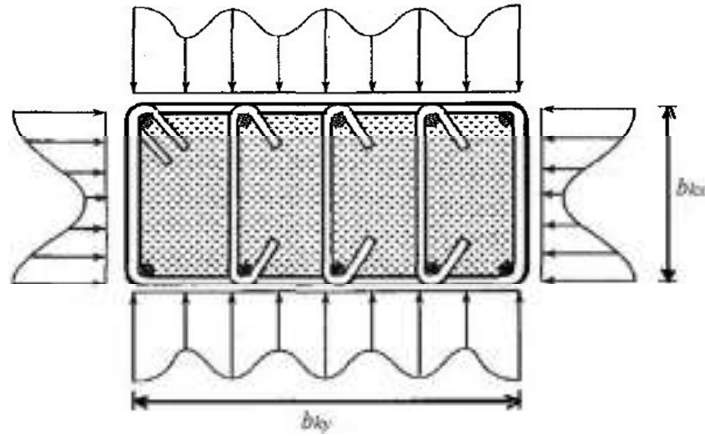
Saatcioglu ve Razvi (1992),  $\beta$  katsayısı için birçok deneysel veriyi incelemişlerdir. İnceleme neticesinde  $\beta$  katsayısının, enine donatı ile desteklenmiş boyuna donatılar arasındaki uzaklığın (a), enine donatılar arasındaki uzaklığın (s) ve ortalama basıncın ( $\sigma_2$ ) bir fonksiyonu olduğu tespit edilmiştir ve Denklem 4.42’de verilmiştir.

$$\beta = 0.26 \sqrt{\left(\frac{b_k}{a}\right) \left(\frac{b_k}{s}\right) \left(\frac{1.0}{\sigma_2}\right)} \leq 1.0 \quad (4.42)$$

Denklemden “a”, sargı donatısına mesnet oluşturan iki boyuna donatı merkezi arasındaki uzaklıktır. Boyuna donatının mesnet olabilmesi için etriye veya çirozlar ile tutulmuş olması gerekir. Denklem 4.42, boyuna donatıların burkulmasının önlemiş olduğu durumlar için geçerlidir (Saatcioglu ve Razvi, 1992).

#### *Dikdörtgen Kesitler*

Dikdörtgen kesitler bir birine dik kenarları boyunca farklı enine donatı oranına sahip olabilirler. Buda iki doğrultuda farklı sargı etkisi meydana getirir. Her iki kenardaki sargı etkisi, yuvarlak ve kare kolonlarda kullanılan hesap yöntemleri kullanılarak hesaplanabilir. Dikdörtgen kesitin kısa ve uzun kenarında sargı basıncının dağılımı, Şekil 4.15’de gösterilmiştir. Kesitin uzun kenarı boyunca etki eden basınç gerilmesi kısa kenardakine göre, sargı basıncı üzerinde daha etkilidir (Saatcioglu ve Razvi, 1992).



Şekil 4.15 Dikdörtgen kesitlerde sargı gerilmesinin dağılımı

Saatcioglu ve Razvi (1992), deneysel veriler üzerinde yaptıkları incelemeler neticesinde, kesitin kısa ve uzun kenarındaki sargı etkisinin, kenar uzunlukları ile orantılı olduğunu tespit etmişlerdir. Dikdörtgen kesitlerde sargı gerilmesinin hesabı için Denklem 4.43’ü önermişlerdir.

$$\sigma_{2e} = \frac{(\sigma_{2ex} b_{kx} + \sigma_{2ey} b_{ky})}{(b_{kx} + b_{ky})} \quad (4.43)$$

$$\sigma_{2x} = \frac{\sum A_{ox} f_{ywk} \sin \alpha}{(s \times b_{kx})} \quad (4.44)$$

$$\sigma_{2y} = \frac{\sum A_{oy} f_{ywk} \sin \alpha}{(s \times b_{ky})} \quad (4.45)$$

$$\beta_x = 0.26 \sqrt{\left(\frac{b_{kx}}{a_x}\right) \left(\frac{b_{kx}}{s}\right) \left(\frac{1.0}{\sigma_{2x}}\right)} \leq 1.0 \quad (4.46)$$

$$\beta_y = 0.26 \sqrt{\left(\frac{b_{ky}}{a_y}\right) \left(\frac{b_{ky}}{s}\right) \left(\frac{1.0}{\sigma_{2y}}\right)} \leq 1.0 \quad (4.47)$$

$$\sigma_{2ex} = \beta_x \sigma_{2x} \quad (4.48)$$

$$\sigma_{2ey} = \beta_y \sigma_{2y} \quad (4.49)$$

Denklemlerde;

$\Sigma A_{ox}$ : x doğrultusunda alınan kesitteki sargı donatısının toplam kesit alanı

$\Sigma A_{oy}$ : y doğrultusunda alınan kesitteki sargı donatısının toplam kesit alanı

$a_x, a_y$ : Sargı donatısına mesnet oluşturan iki boyuna donatı arasındaki uzaklık. Boyuna donatının mesnet olabilmesi için, ya etriye köşesinde olması lazım ya da çiroz ile tutulmuş olması gerekir

$b_{kx}, b_{ky}$ : Etriye merkezinden ölçülen çekirdek alanı boyutları (Şekil 4.15).

$\alpha$ : Sargı donatısının çekirdek beton ile yaptığı açı

$f_{ywk}$ : Sargı donatısının akma dayanımı

$s$ : Komşu sargı donatıları arasındaki uzaklık

Sargısız beton basınç altında gevrek bir davranış gösterirken, sargılı beton enine donatıların etkisi ile göreceli olarak sünek bir davranış gösterir. Şekil 4.16'da da görüleceği gibi sargı betonun hem maksimum gerilmesini ( $f_{cc}$ ) hem de bu gerilmeye karşılık gelen birim şekil değiştirmeyi ( $\varepsilon_{coc}$ ) artırır. Saatcioglu ve Razvi (1992),  $\varepsilon_{coc}$  için önceden diğer araştırmacılar (Balmer 1949; Mander vd. 1988) tarafından da kullanılan ve deneysel veriler ile iyi bir uyum gösteren Denklem 4.50'yi kullanmışlardır.  $\varepsilon_{co}$ , sargısız betonun maksimum

gerilmesine karşılık gelen birim şekil değiştirmesidir ve yavaş yüklenmiş betonlar için 0.002 kabul edilir:

$$\varepsilon_{coc} = \varepsilon_{co}[1 + 5\lambda] \quad (4.50)$$

$$\lambda = \frac{k_1 \sigma_{2e}}{k_3 f_c} \quad (4.51)$$

$$\varepsilon_{c85} = 260\rho\varepsilon_{coc} + \varepsilon_{u85} \quad (4.52)$$

$$\rho = \frac{\sum A_{oxy} \sin \alpha}{s(b_{kx} + b_{ky})} \quad (4.53)$$

Saatcioglu ve Razvi (1992), sargılı betonun gerilme-birim şekil değiştirme ( $\sigma_c$ - $\varepsilon_c$ ) ilişkisi için maksimum gerilmeye kadar parabolik bir şekilde artan, maksimum eğilmeden sonra doğrusal olarak azalan çift eğrilikli bir model önermişlerdir. Sargılı beton dayanımının %20'sine düştükten sonra gerilmenin sabit kaldığı kabul edilmiştir (Şekil 4.16). Değerler değişik olsa bile önerilen model, biçimsel olarak Geliştirilmiş Kent ve Park modeline benzemektedir (Ersoy ve Özcebe, 2004). Model için bağıntılar aşağıda verilmiştir.

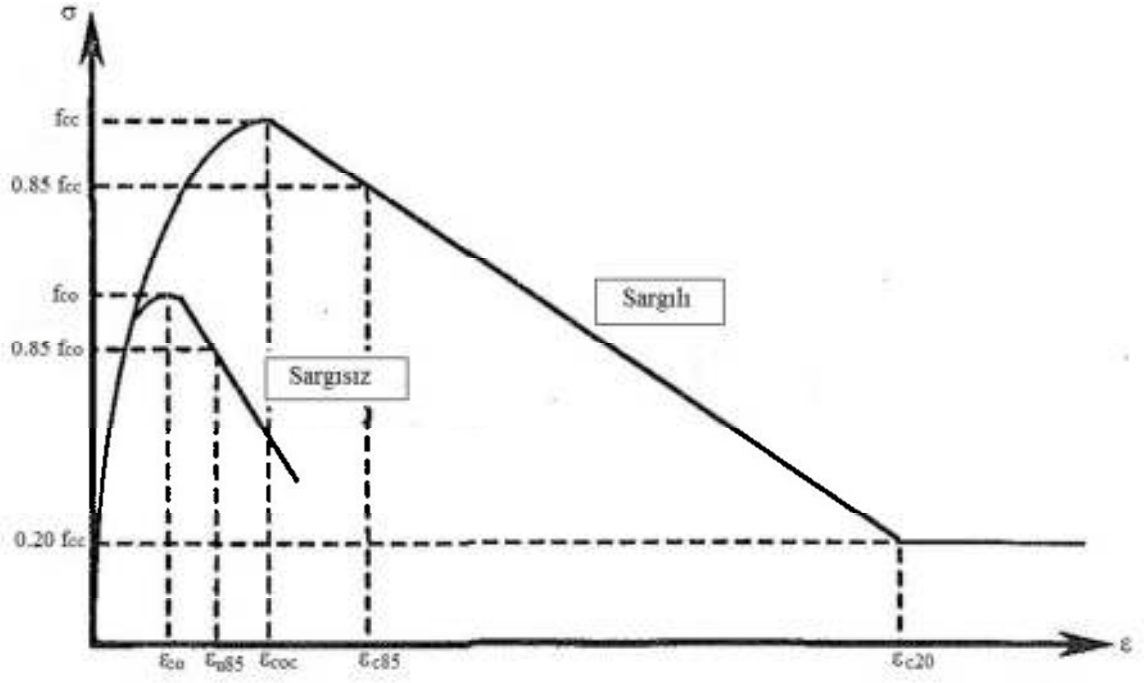
*Parabolik kısım:*

$$\sigma_c = f_{cc} \left[ \left( \frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{coc}} \right) - \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{coc}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{1+2\lambda}} \leq f_{cc} \quad (4.54)$$

*Doğrusal kısım:*

$$\text{Doğrunun eğimi} = \frac{f_{cc} - f_{c85}}{\varepsilon_{coc} - \varepsilon_{c85}} \quad (4.55)$$

$$\sigma_c = f_{cc} + \left( \frac{f_{cc} - f_{c85}}{\varepsilon_{coc} - \varepsilon_{c85}} \right) (\varepsilon_c - \varepsilon_{coc}) \quad (4.56)$$



Şekil 4.16 Saatcioglu ve Razvi tarafından önerilen beton davranış modeli

## 5. SAYISAL ÇALIŞMA

Depreme dayanıklı yapı tasarımında yaygın olarak kullanılan betonarme perdelerin etkinliği, deprem enerjisini sünek bir güç tüketmesine bağlıdır. Betonarme perdelerde sünek bir güç tükenmesi için boyuna ve enine donatı oranının artırıldığı perde uç bölgesi ile kritik perde yüksekliği gibi konstrüktif kurallara ek olarak, kesme kapasitesinin eğilme kapasitesinden yüksek olması gerekir. Böylece güç tükenmesi sünek bir güç tüketmesi gösteren eğilme kırılması ile sağlanır. Ancak betonarme perdelerin taban kesitindeki kesme kuvvet talebi kiriş ve kolonlardaki gibi eğilme talebinden kolaylıkla elde edilemez. Çünkü perdelerde kesme kuvvet talebi eğilme talebinin yanı sıra, yatay deprem kuvvetlerinin bileşkesinin uygulama noktasına da bağlıdır. Yetmişli yılların ortalarından günümüze kadar birçok araştırmacı, bileşke kuvvetin uygulama noktasının elastik ötesi durumda, yüksek modların etkisi ile değiştiğini göstermişlerdir. Araştırmacılar özellikle betonarme perdelerin eğilme kapasitesine ulaştıktan sonra, yüksek modların kuvvetin uygulama noktasını düşürerek kesme kuvvetini artırıcı yönde etki gösterdiğini ve kesme kuvvetindeki bu artışın gevrek güç tükenmelerine neden olabileceğini belirtmişlerdir. Bu güç tükenmesinin önlenmesi için elastik analiz kullanılarak elde edilen kesme kuvvetinin, artırılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Doğrusal olmayan davranışın betonarme perdelerin kesme kuvveti üzerindeki artırıcı etkisi, günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından incelenmesine karşın, bu etkiyi yansıtacak, ilgili parametreleri içeren bir formül geliştirilememiştir. Bazı araştırmacılar bu etkiyi periyoda bağlı tek bir katsayı ile ifade ederken, bazıları periyoda ek olarak yapının süneklilik talebini ve/veya yer ivmesi büyüklüğünü de içeren bir formül önermişlerdir. Farklı araştırmacıların çalışmalarını esas alan deprem yönetmeliklerinde de bu dinamik etki çeşitli şekillerde, betonarme perdelerin kesme kuvvet tasarımına yansıtılmıştır.

Tez kapsamında perdelerin tasarımında esas alınan Türk Deprem Yönetmeliği, 2007 yılında yapılan değişikliklerle, elastik ötesi durumda perde taban kesme kuvvetinde meydana gelen talep artışını dikkate almıştır. Türk Deprem Yönetmeliği'nde perdelerin kesme kuvvet talebi ( $V_e$ ) aşağıda verilen Denklem 5.1'de gösterildiği gibi, elastik analizden elde edilen kesme kuvvetinin ( $V_d$ ), perde taban kesiti için dayanım fazlalığı kat sayısı

$[(M_p)_t/(M_d)_t]$  ve elastik ötesi durumda meydana gelen talep artışını yansıtan dinamik büyütme kat sayısı ( $\beta_v$ ) ile artırılması ile elde edilir. Yönetmelik deprem yüklerinin perde+çerçeve ile taşındığı sistemler için  $\beta_v$ 'nin 1.5, deprem yüklerinin sadece perdeler ile taşındığı sistemler için ise  $\beta_v$ 'nin 1.0 alınmasını önermiştir. Araştırmacılar tarafından periyot, süneklilik, yer ivmesi vb. parametrelere bağlı olarak ifade edilen dinamik büyütme kat sayısı ( $\beta_v$ ); Türk Deprem Yönetmeliğinde sabit bir katsayı olarak dikkate alınmıştır.

$$V_e = \beta_v \frac{(M_p)_t}{(M_d)_t} V_d \quad (5.1)$$

Denklem 5.1'de  $(M_p)_t$ , perdenin taban kesitinde  $f_{ck}$ ,  $f_{yk}$  ve donatının pekleşmesi göz önüne alınarak hesaplanan moment kapasitesini ve  $(M_d)_t$  ise perdenin taban kesitinde yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan momenti gösterir. Çalışmada  $(M_p)_t/(M_d)_t$  oranı *dayanım fazlalığı katsayısı* olarak adlandırılmış literatürde yaygın olarak kullanılan “Ø” sembolü ile gösterilmiştir.

Bu tez çalışmasında, betonarme perdelerin kesme kuvvet talebi, Türk Deprem Yönetmeliği (2007) tasarım esasları dikkate alınarak, sayısal olarak incelenmiştir. Kuvvet esaslı tasarım yöntemi esas alınarak tasarlanan betonarme perdelerin, zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak elastik ötesi analizleri yapılmış ve elastik ötesi durumda perde taban kesme kuvvetinde meydana gelen artış araştırılmıştır. Çalışmada, dayanım fazlalığı ve elastik ötesi durumda yüksek modların etkisi ile taban kesme kuvvetinde meydana gelen artış araştırılmıştır. Bir çok araştırmacı tarafından, elastik ötesi durumda yüksek modun etkinliği üzerinde artırıcı bir etkiye sahip olduğu belirtilen periyot ve süneklilik parametrelerine ek olarak bu çalışmada betonarme perdelerin narinlik oranı da ( $H_w/L_w$ ; boy/en) değişken olarak göz önüne alınmıştır. Çünkü narin perdelerde elastik durumda bile yüksek modlar etkilidir (Rejec vd., 2012). Çalışma kapsamında Türk Deprem Yönetmeliğinde (2007) elastik ötesi durumda, perde taban kesme kuvvetindeki artış üzerinde yüksek modların etkisini gösteren ve sabit bir katsayı ile tanımlanan  $\beta_v$  (*dinamik büyütme katsayısı*) için biri grafik tabanlı diğeri de formüle dayanan iki yaklaşım önerilmiştir. Grafik tabanlı yaklaşım için; perdelerin taban kesitinin dayanım fazlalığı (Ø)-periyot (T) değişim grafiği ile  $\beta_v$ -T değişim grafiği çizilmiş, bu değişim grafikleri T ortak değişken ekseninde birleştirilerek Ø değeri bilinen bir perdenin,  $\beta_v$  değeri elde edilmiştir. Formüle dayanan yaklaşımda ise, sonuçlar üzerinde regresyon analizi yapılarak, Türk

Deprem Yönetmeliğinde (2007) sabit bir katsayı ile ifade edilen  $\beta_v$ , periyodun, dayanım fazlalığı katsayısının ve  $H_w/L_w$  oranının fonksiyonu olan bir formülle ifade edilmiştir. Ayrıca çalışmada perde kat kesme kuvvetleri ve moment dağılımları da incelenmiş, analizler neticesinde konsol betonarme perdeler için kesme kuvvet dağılımı önerilmiştir.

Sayısal çalışmada hesap kolaylığı için, simetrik donatı düzenine sahip dikdörtgen kesitli, düzlem konsol perdeler ele alınmıştır. Düzlem konsol perdeler aşağıda verilen parametreler dikkate alınarak üretilmiştir.

- $H_w/L_w$  oranı; 3, 5, 7, 10 ve 12
- Kat adedi; 4, 8, 12, 16, 20, 24 ve 28

Çalışmada kat sayıları ve  $H_w/L_w$  oranları, uygulamadaki yaygın kullanım dikkate alınarak belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada betonarme perdelerdeki kesme kuvvet artışı üzerinde süreklilik talebinin etkisi de araştırılmıştır. Bunun için analizlerde davranış kat sayısı ( $R$ ) 4, 6 ve 7 alınarak tasarım kuvvetleri belirlenmiştir. Yukarıdaki parametrelere göre üretilen dikdörtgen kesitli, düzlem konsol perdelerin boyutları, aşağıda Tablo 5.1’de verilmiştir. 4 katlı perdelerin bir kaçı dışında bütün perdelerin kalınlığı sabit 300mm alındığı için perde kalınlığına Tablo 5.1’de yer verilmemiştir. 4 katlı perdelerden,  $H_w/L_w$  oranı 7 olan perdenin kalınlığı 250mm,  $H_w/L_w$  oranı 10 ve 12 olan perdelerin kalınlığı ise 200mm seçilmiştir. Kat yüksekliği ise bütün perdelerde 3.00m alınmıştır.

Yukarıdaki parametreler dikkate alınarak üretilen düzlem konsol perdelerin donatı tasarımları; mod birleştirme yöntemi kullanılarak ve Türk Deprem Yönetmeliğinde (2007) betonarme perdeler için önerilen minimum konstrüktif tasarım esasları dikkate alınarak yapılmıştır. Tasarımda yönetmeliğin zorunlu kıldığı perde uç bölgesi; kritik perde yüksekliği ve kritik yüksekliğin üzerindeki yükseklikler için, yönetmeliğe uygun şekilde dikkate alınmıştır. Modal birleştirme yönteminde tasarım kuvvetleri, 1. derece deprem bölgesi ve Z3 zemin sınıfı için geçerli olan ivme spektrumu dikkate alınarak belirlenmiştir. Mod birleştirme yöntemi ile analiz için, *SAP 2000 (V16)* yapı analiz programı kullanılmıştır. Analizler neticesinde perdelerin uç bölgeleri için belirlenen donatılar, Tablo 5.1’de verilmiştir.

| <b>Tablo 5.1</b> Analizde kullanılan perdelerin boyları ve uç bölgesi donatıları |           |          |           |        |                         |                      |                              |                      |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------|-----------|--------|-------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|
| <i>Kat Sayısı</i>                                                                | $H_w/L_w$ | $L_w(m)$ | $F_i(kN)$ | $m(t)$ | <i>Perde Uç Bölgesi</i> |                      |                              |                      |
|                                                                                  |           |          |           |        | <i>Kritik Yükseklik</i> |                      | <i>Kritik Yükseklik Üstü</i> |                      |
|                                                                                  |           |          |           |        | $l_u (mm)$              | <i>Boyuna Donatı</i> | $l_u(mm)$                    | <i>Boyuna Donatı</i> |
| 4                                                                                | 3         | 4.00     | 1875      | 191    | 800                     | 10Ø18                | 400                          | 6Ø16                 |
|                                                                                  | 5         | 2.40     | 1125      | 115    | 480                     | 9Ø20                 | 240                          | 5Ø20                 |
|                                                                                  | 7         | 1.75     | 684       | 70     | 500                     | 6Ø20                 | 250                          | 4Ø18                 |
|                                                                                  | 10        | 1.20     | 375       | 38     | 400                     | 6Ø18                 | 200                          | 4Ø16                 |
|                                                                                  | 12        | 1.00     | 313       | 32     | 400                     | 6Ø16                 | 200                          | 4Ø14                 |
| 8                                                                                | 3         | 8.00     | 1875      | 191    | 1600                    | 15Ø20                | 800                          | 10Ø18                |
|                                                                                  | 5         | 4.80     | 1125      | 115    | 960                     | 11Ø18                | 480                          | 6Ø18                 |
|                                                                                  | 7         | 3.40     | 797       | 81     | 680                     | 8Ø18                 | 340                          | 7Ø14                 |
|                                                                                  | 10        | 2.40     | 563       | 57     | 480                     | 6Ø18                 | 240                          | 4Ø16                 |
|                                                                                  | 12        | 2.10     | 492       | 50     | 420                     | 6Ø16                 | 210                          | 4Ø14                 |
| 12                                                                               | 3         | 12.00    | 1875      | 191    | 2400                    | 23Ø20                | 1200                         | 12Ø20                |
|                                                                                  | 5         | 7.20     | 1125      | 115    | 1440                    | 14Ø20                | 720                          | 8Ø20                 |
|                                                                                  | 7         | 5.20     | 813       | 83     | 1040                    | 10Ø20                | 520                          | 6Ø20                 |
|                                                                                  | 10        | 3.60     | 563       | 57     | 720                     | 9Ø18                 | 360                          | 6Ø16                 |
|                                                                                  | 12        | 3.00     | 469       | 48     | 600                     | 9Ø16                 | 300                          | 5Ø16                 |
| 16                                                                               | 3         | 16.00    | 1875      | 191    | 3200                    | 31Ø20                | 1600                         | 15Ø20                |
|                                                                                  | 5         | 9.60     | 1125      | 115    | 1920                    | 18Ø20                | 960                          | 11Ø18                |
|                                                                                  | 7         | 6.90     | 809       | 83     | 1380                    | 16Ø18                | 690                          | 8Ø18                 |
|                                                                                  | 10        | 4.80     | 563       | 57     | 960                     | 11Ø18                | 480                          | 6Ø18                 |
|                                                                                  | 12        | 4.00     | 469       | 48     | 800                     | 10Ø18                | 400                          | 6Ø16                 |
| 20                                                                               | 3         | 20.00    | 1875      | 191    | 4000                    | 34Ø22                | 2000                         | 19Ø20                |
|                                                                                  | 5         | 12.00    | 1125      | 115    | 2400                    | 23Ø20                | 1200                         | 12Ø20                |
|                                                                                  | 7         | 8.60     | 809       | 83     | 1720                    | 16Ø20                | 860                          | 8Ø20                 |
|                                                                                  | 10        | 6.00     | 563       | 57     | 1200                    | 12Ø20                | 600                          | 6Ø20                 |
|                                                                                  | 12        | 5.00     | 469       | 48     | 1000                    | 10Ø20                | 500                          | 6Ø18                 |
| 24                                                                               | 3         | 24.00    | 1875      | 191    | 4800                    | 40Ø22                | 2400                         | 23Ø20                |
|                                                                                  | 5         | 14.40    | 1125      | 115    | 2880                    | 28Ø20                | 1440                         | 14Ø20                |
|                                                                                  | 7         | 10.30    | 805       | 83     | 2060                    | 20Ø20                | 1030                         | 10Ø20                |
|                                                                                  | 10        | 7.20     | 563       | 57     | 1440                    | 14Ø20                | 720                          | 9Ø18                 |
|                                                                                  | 12        | 6.00     | 469       | 48     | 1200                    | 12Ø20                | 600                          | 6Ø20                 |
| 28                                                                               | 3         | 28.00    | 1875      | 191    | 5600                    | 46Ø22                | 2800                         | 27Ø20                |
|                                                                                  | 5         | 16.80    | 1125      | 115    | 3360                    | 28Ø22                | 1680                         | 16Ø20                |
|                                                                                  | 7         | 12.00    | 804       | 82     | 2400                    | 23Ø20                | 1200                         | 12Ø20                |
|                                                                                  | 10        | 8.40     | 563       | 57     | 1680                    | 16Ø20                | 840                          | 10Ø18                |
|                                                                                  | 12        | 7.00     | 469       | 48     | 1400                    | 14Ø20                | 700                          | 8Ø18                 |

Tablo 5.1’de,  $L_w$  perdenin plandaki uzunluğunu,  $F_i$  i. Katta perdeye etki eden düşey yükü,  $m_i$  i. Katta perdeye etki eden sismik kütleyi ve  $l_u$  perde uç bölgesinin plandaki uzunluğunu gösterir. Perdelere toplamda, Denklem 5.2’de gösterildiği gibi, eksenel yük taşıma kapasitesinin %25’i kadar bir düşey yük etki ettirilmiştir.

$$F = n \cdot F_i = 0.25 \cdot f_{ck} \cdot A_{cw} \quad (5.2)$$

Denklem 5.21’de  $F$  perde taban kesitine etki eden toplam düşey yükü,  $n$  kat sayısını,  $f_{ck}$  betonun karakteristik basınç dayanımını,  $A_{cw}$  ise perdenin enkesit alanını gösterir. Modal birleştirme yöntemi kullanılarak tasarlanan perdelerden  $H_w/L_w$  oranı 7 olan perdelerin boyuna ve enine donatılarının yerleşimi, Tablo 5.2’de verilen perde uç bölgesi enkesit açılımında gösterilmiştir.

Mod birleştirme yöntemi esas alınarak tasarlanan düzlem konsol perdelerde, deprem yüklemesi altında elastik ötesi davranışta ortaya çıkan kesme kuvvet zorlamalarını elde etmek için, zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak elastik ötesi analizleri yapılmıştır. Zaman tanım alanında hesap yönteminde, *1.derece deprem bölgesi* ve *Z3* zemin sınıfı için esas olan ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş 11 adet gerçek yer ivme kaydı kullanılmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz, *OpenSEES* (Ver. 2.4.5) programı kullanılarak yapılmıştır. Elastik ötesi analizden elde edilen kat kesme kuvvetleri ve momentleri, elastik analizden elde edilen kat kesme kuvvetleri ve momentlerine oranlanarak, katlara göre kuvvet talep değişimi elde edilmiştir.

Elastik ötesi analiz, elastik analize oranla daha karmaşık ve veri girişinde daha fazla özen gerektiren bir analizdir. Bu nedenle çalışmada, elastik ötesi analizde esas alınan ve analizin sonuçları üzerinde etkili olan, perde hesap modeli, malzeme modeli ve yer ivme kayıtları, ayrı başlıklar altında ayrıntılı bir şekilde aşağıda verilmiştir.

### 5.1 Çalışmada Kullanılan Perde Davranış Modeli

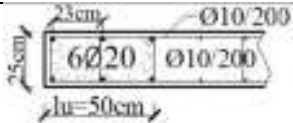
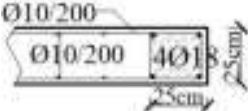
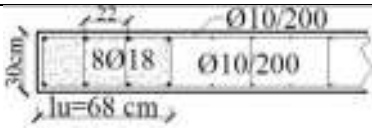
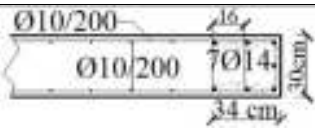
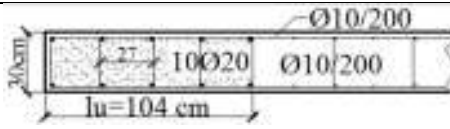
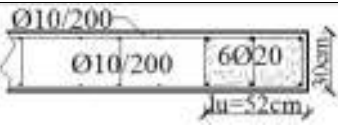
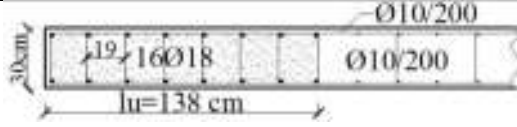
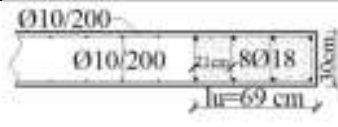
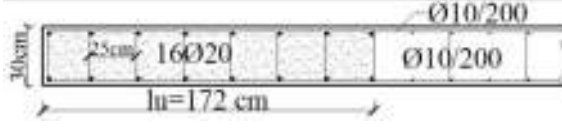
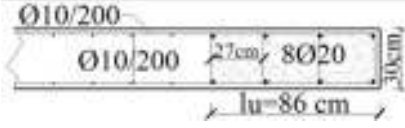
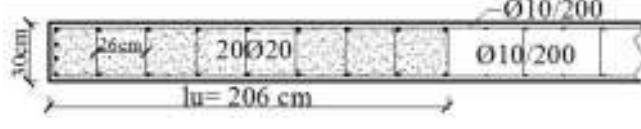
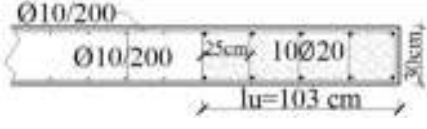
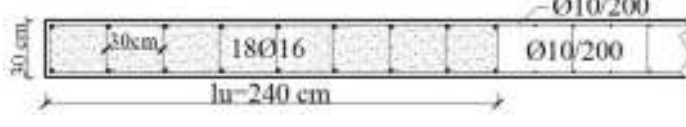
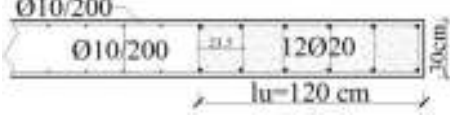
Deprem etkisi altında oluşan elastik ötesi tepkilerin doğru olarak tahmin edilmesi, taşıyıcı sistemin gereceğe yakın modellenmesi ile yakından ilişkilidir. Özellikle perdelerin dahil olduğu sistemlerde, perde davranış modeli sonuçlar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Vulcano, 1992). Perdeler için uygun davranış modeli birçok araştırmacı

tarafından araştırılmış ve araştırılmaya devam etmektedir. Geliştirilen davranış modelleri, tezin başında ayrı bir başlık altında ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çalışmada perdeleri modellemek için Taucer vd. (1991) tarafından geliştirilen *lif kesitli kiriş-kolon eleman* davranış modeli kullanılmıştır. Bir çok araştırmacı tarafından kullanılan bu davranış modelinin (Martinelli ve Filippou, 2006; Waugh vd., 2008; Ghorbanirenani 2010), kat adedi 4 ile 28 arasında değişen 105 adet düzlem konsol perdenin incelendiği bu tez çalışmasında kullanılmasının analiz süresi ve sonuçların değerlendirilmesi açısından uygun olacağı kabul edilmiştir. Kiriş-kolon eleman model, eleman üzerindeki yayılı plastisiteyi ve plastik mafsallık bölgelerini, deplasman esaslı yaklaşıma göre daha iyi tahmin ettiği için kuvvet esaslı olarak dikkate alınmıştır (Waugh vd., 2008). Çalışmada kullanılan lif kesitli kiriş-kolon eleman davranış modeli şematik olarak Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

Kiriş-kolon eleman olarak modellenen konsol perdelerde, Şekil 5.1’de de görüldüğü gibi, her katın kütlelerinin kat seviyesinde toplandığı yaklaşımı benimsenmiştir. Çalışmada, konsol perdeler her katta tek bir kiriş-kolon eleman olarak modellenmiş ve her eleman Şekil 5.1’de görüldüğü gibi, literatürdeki kullanım göz önüne alınarak 5 integrasyon noktasına ayrılmıştır (Ghorbanirenani 2010). Belirlenen integrasyon noktalarında, Gauss integrasyonu kullanılmıştır. Hesaplarda konsol perdelerin temele tam ankastre bağlandığı kabul edilerek temeldeki dönme ihmal edilmiştir (Rutenberg ve Nsieri, 2006). Buna ek olarak, perdelerin temele birleştiği kesitte, deprem gibi çevrimsel yüklemelerin etkisi meydana gelen aderans kayması, modelin teorisi nedeni ile ihmal edilmiştir. Deprem yüklemesinin şiddeti ve süresi ile yer değiştirme üzerinde etkinliği artan bu uzamanın modelde dikkate alınmaması, lif kesitli kiriş-kolon eleman modelin olumsuz taraflarından biridir (Taucer vd., 1991).

**Tablo 5.2** Perde uç bölgesi donatı planı

| Kat | L <sub>w</sub> (m) | Kritik yükseklik                                                                     | Kritik yükseklik üstü                                                                 |
|-----|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 4   | 1.75               |     |    |
| 8   | 3.40               |     |    |
| 12  | 5.20               |     |    |
| 16  | 6.90               |     |    |
| 20  | 8.60               |   |   |
| 24  | 10.30              |  |  |
| 28  | 12.00              |  |  |

Çubuk eleman olarak modellenen düzlem konsol perdelerin kesitleri, Şekil 5.1’de de görüldüğü gibi lif elemanlara ayrılmıştır. Lif kesit tasarımında, perde uç bölgesi, perde gövdesi ve kabuk bölgesi ayrı ayrı dikkate alınmıştır. Perde uç bölgesi alanının ve donatı oranının perde yüksekliği boyunca değişimi, iki tip kesit kullanılarak modele dahil edilmiştir. Şekil 5.1’de de görüleceği gibi, kritik perde yüksekliği ( $H_{cr}$ ) boyunca “*Kesit I*” olarak adlandırılan lif kesit, bu yüksekliğin üzerinde ise “*Kesit II*” olarak adlandırılan lif kesit kullanılmıştır. Perde uç bölgesinin boyu ( $l_u$ ), 4 katlı perdeler dışında, *Kesit I*’de perdenin plandaki uzunluğunun ( $L_w$ ) %20’si, *Kesit II*’de ise perde uzunluğunun %10’u olarak dikkate alınmıştır. Şahin vd. (2015) perde uç bölgesi uzunluğunun, perde sünekliliğine olan etkisini inceledikleri çalışmalarında,  $H_w/L_w$  oranı arttıkça perde uç bölgesi uzunluğunun, süneklik üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Şahin vd. (2015) perde uç bölgesi uzunluğunun, perde uzunluğunun %20’si olarak ele alındığı sistemlerde, perde uç bölgesi uzunluğunun perde uzunluğunun %10’u kadar olduğu ya da perde uç bölgesinin tanımlanmadığı sistemlere oranla süneklikte önemli oranda bir artış olduğunu tespit etmişlerdir. Bu nedenle tez çalışmasında ele alınan bütün sistemlerde kritik perde yüksekliği boyunca, perde uç bölgesi uzunluğu perde uzunluğunun %20’si olarak dikkate alınmıştır.

Lif kesitlerin tasarımında, enine donatılar ile sargılı perde uç bölgesi için sargılı beton gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi, perde gövdesi ve enine donatılar dışında kalan kabuk bölgesi için ise sargısız beton gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi kullanılmıştır. Boyuna donatılar için ise donatının çevrimsel yükleme altındaki davranışını dikkate alan donatı davranış modeli kullanılmıştır. Enine donatının oranı ve dayanımı, sadece sargılı betonda sargı etkisini belirlemede kullanılmıştır. Lif kesitlerin tasarımında kullanılan malzeme davranış modelleri bir sonraki başlık altında ayrıntılı olarak verilmiştir.

Kiriş-kolon elemanlar, *OpenSees* programına “*Force-Based Beam-Column Element*” komutu kullanılarak girilmiştir. Lif kesitleri tanımlamak için ise “*Fiber Section*” komutu kullanılmıştır. Perde kesitleri yaklaşık  $50mm \times 50mm$  boyutlarındaki lif elemanlara ayrılmıştır.

Lif kesitli kiriş-kolon elemanlar, kesme kuvveti ve eğilme momenti etkileşimini içermez (Taucer vd.,1991). Bu nedenle çalışmada, kesme rijitliği doğrusal kabul edilerek, kesme şekil değiştirmesi eğilme şekil değiştirmesinden bağımsız olarak sisteme dahil

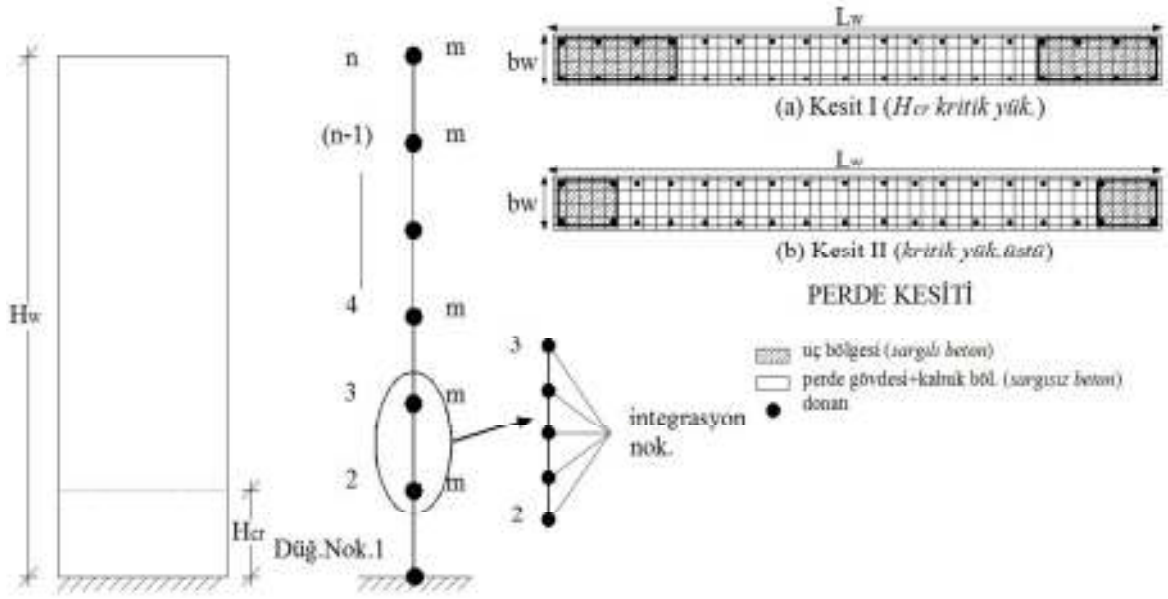
edilmiştir (Ghorbanirenani 2010, Lowes 2014). Yani bu yöntem ile eğilme ve kesme şekil değiştirmesinin süperpozisyonu elde edilmiştir. Bunun için *OpenSees* programındaki “*Section Aggregator*” komutu kullanılmıştır. Çalışmada elastik ötesi davranış sadece eğilme şekil değiştirmesi için dikkate alınmıştır. Analizlerde P-Δ etkileri dikkate alınmamıştır (Ghorbanirenani 2010;Yılmaz 2014). Bunun için *OpenSees* programında, “*Geometric Transformation*” komutu “*Linear*” seçilmiştir.

## 5.2 Çalışmada Kullanılan Malzeme Davranış Modeli

Lif kesitli kiriş-kolon eleman modelde kesitlerin kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi lif elemanların gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisinden elde edilir. Bu durumda analiz sonuçlarının doğruluğu, lif elemanlar için seçilen malzeme gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi ile yakından ilgilidir. Lif kesitli kiriş-kolon eleman modelde, malzemelerin tek eksenli gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi dikkate alınarak model basitleştirilmiştir (Taucer vd.,1991).

Çalışmada boyuna donatılar için, birçok araştırmacı tarafından yaygın olarak kullanılan, Menegotto ve Pinto (1973) tarafından önerilen donatı davranış modeli kullanılmıştır. Bu model çevrimsel yükleme altında donatının davranışını modelleyen, deney sonuçları ile iyi uyum gösteren, etkili ve basit bir modeldir. Donatı davranış modeli, *OpenSees* programında “*Steel02*” malzeme komutu girilerek tanımlanmıştır. Çalışmada boyuna ve enine donatılar için akma dayanımı 420MPa olan S420 çeliği dikkate alınmıştır.

Lif elemanlara ayrılmış perde kesitlerinde, enine donatılar ile sarılı perde uç bölgesi için sargılı beton gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi, perde gövdesi ve kabuk bölgesi için sargısız beton gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi dikkate alınmıştır. Çalışmada sargılı ve sargısız beton gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi için Saatcioglu ve Razvi (1992) tarafından önerilen, farklı kesit şekillerini ve enine donatı düzenlemelerini dikkate alan hesap modeli kullanılmıştır. Perde uç bölgelerinde, sargılı beton gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisini belirlerken, etriyelerin yanı sıra Türk Deprem Yönetmeliği (2007) esaslarına göre yerleştirilen çiroz donatılarının da sargı etkisi dikkate alınmıştır.



Şekil 5.1 Perde davranış modeli

Çalışmada analiz edilen sistemlerin kritik yükseklik ve kritik yüksekliğin üstündeki yükseklikteki perde uç bölgesi için, beton hesap modelinden (Saatcioglu ve Razvi, 1992) elde edilen sargılı beton maksimum basınç gerilmesi ( $f_{cc}$ ) ile maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalma ( $\epsilon_{cc}$ ) değerleri Tablo 5.3’de verilmiştir. Tablo 5.3’de perdelerin numaralandırılmasında; “K” kat sayısını, “HWLW” ise perde yükseklik/plandaki boy oranını ( $H_w/L_w$ ) gösterir. Perde gövdesi ve kabuk bölgesinde kullanılan sargısız betonda ise maksimum basınç gerilmesi  $25MPa$ , maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalma ( $\epsilon_c$ ) ise 0.004 alınmıştır. Çalışmada betonun sadece basınç dayanımı göz önüne alınmış, çekme dayanımı ihmal edilmiştir.

Sargılı ve sargısız beton modelleri, *OpenSees* programına “Concrete01” malzeme komutu kullanılarak girilmiştir. *Concrete01*, Kent ve Park (1982) ve Saatcioglu ve Razvi (1992) tarafından önerilen sargılı beton modellerinin esas aldığı gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisini kullanan, betonun çekme dayanımını sıfır kabul eden malzeme komutudur.

**Tablo 5.3** Perde uç bölgeleri için sargılı beton maksimum basınç gerilmesi ve maksimum basınç gerilmesine karşı gelen birim şekil değiştirme

| Perde<br>No | Kritik Yük.       |                 | Kritik Üstü<br>Yük. |                 | Perde<br>No | Kritik Yük.       |                 | Kritik Üstü<br>Yük. |                 |
|-------------|-------------------|-----------------|---------------------|-----------------|-------------|-------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
|             | $f_{cc}$<br>(MPa) | $\epsilon_{cc}$ | $f_{cc}$<br>(MPa)   | $\epsilon_{cc}$ |             | $f_{cc}$<br>(MPa) | $\epsilon_{cc}$ | $f_{cc}$<br>(MPa)   | $\epsilon_{cc}$ |
| K4HWLW3     | 32                | 0.007           | 30                  | 0.006           | K16HWLW10   | 31                | 0.006           | 25                  | 0.004           |
| K4HWLW5     | 30                | 0.006           | 25                  | 0.004           | K16HWLW12   | 32                | 0.007           | 25                  | 0.004           |
| K4HWLW7     | 28                | 0.005           | 25                  | 0.004           | K20HWLW3    | 30                | 0.006           | 26                  | 0.004           |
| K4HWLW10    | 28                | 0.005           | 25                  | 0.004           | K20HWLW5    | 30                | 0.006           | 27                  | 0.005           |
| K4HWLW12    | 28                | 0.005           | 25                  | 0.004           | K20HWLW7    | 30                | 0.006           | 26                  | 0.004           |
| K8HWLW3     | 30                | 0.006           | 27                  | 0.005           | K20HWLW10   | 31                | 0.006           | 25                  | 0.004           |
| K8HWLW5     | 31                | 0.007           | 25                  | 0.004           | K20HWLW12   | 31                | 0.006           | 25                  | 0.004           |
| K8HWLW7     | 30                | 0.006           | 25                  | 0.004           | K24HWLW3    | 30                | 0.006           | 26                  | 0.004           |
| K8HWLW10    | 28                | 0.005           | 25                  | 0.004           | K24HWLW5    | 30                | 0.006           | 27                  | 0.004           |
| K8HWLW12    | 28                | 0.005           | 25                  | 0.004           | K24HWLW7    | 30                | 0.006           | 26                  | 0.004           |
| K12HWLW3    | 30                | 0.006           | 27                  | 0.005           | K24HWLW10   | 31                | 0.006           | 25                  | 0.004           |
| K12HWLW5    | 31                | 0.007           | 25                  | 0.004           | K24HWLW12   | 31                | 0.006           | 25                  | 0.004           |
| K12HWLW7    | 30                | 0.006           | 25                  | 0.004           | K28HWLW3    | 30                | 0.006           | 26                  | 0.004           |
| K12HWLW10   | 30                | 0.006           | 25                  | 0.004           | K28HWLW5    | 30                | 0.006           | 26                  | 0.004           |
| K12HWLW12   | 30                | 0.006           | 25                  | 0.004           | K28HWLW7    | 30                | 0.006           | 27                  | 0.005           |
| K16HWLW3    | 31                | 0.006           | 26                  | 0.004           | K28HWLW10   | 31                | 0.006           | 27                  | 0.005           |
| K16HWLW5    | 30                | 0.006           | 27                  | 0.005           | K28HWLW12   | 31                | 0.006           | 26                  | 0.004           |
| K16HWLW7    | 32                | 0.007           | 26                  | 0.004           |             |                   |                 |                     |                 |

### 5.3 Çalışmada Kullanılan Deprem İvme Kaydı

Elastik ötesi zaman tanım alanında hesap yönteminde gerçek ya da üretilmiş ivme kayıtları kullanılmalıdır. Yapının enerji sönümleme kapasitesi ile yer hareketinin dinamik özellikleri arasında karmaşık bir ilişki olması nedeni ile güvenilir bir elastik ötesi dinamik analiz için eleman ve malzeme modelleri kadar yer ivme kayıtlarının da uygun seçilmesi gerekir (Kazaz, 2010). İvme kayıtlarının seçilmesinde iki husus ile karşılaşılmaktadır. Bunların ilki benzer özellikte yeteri kadar kayıt seçilmesidir. Çünkü yer ivme kayıtlarının özellikleri faya olan mesafeye, depremin büyüklüğüne ve yerel zemin koşullarına bağlı olarak değişir (Celep, 2008). Bu değişkenlerin etkisini benzeştirmek için çalışmada, PEER (2015) yer hareketi veri bankasından alınan, büyüklüğü M6.0 ile M7.3 arasında değişen,

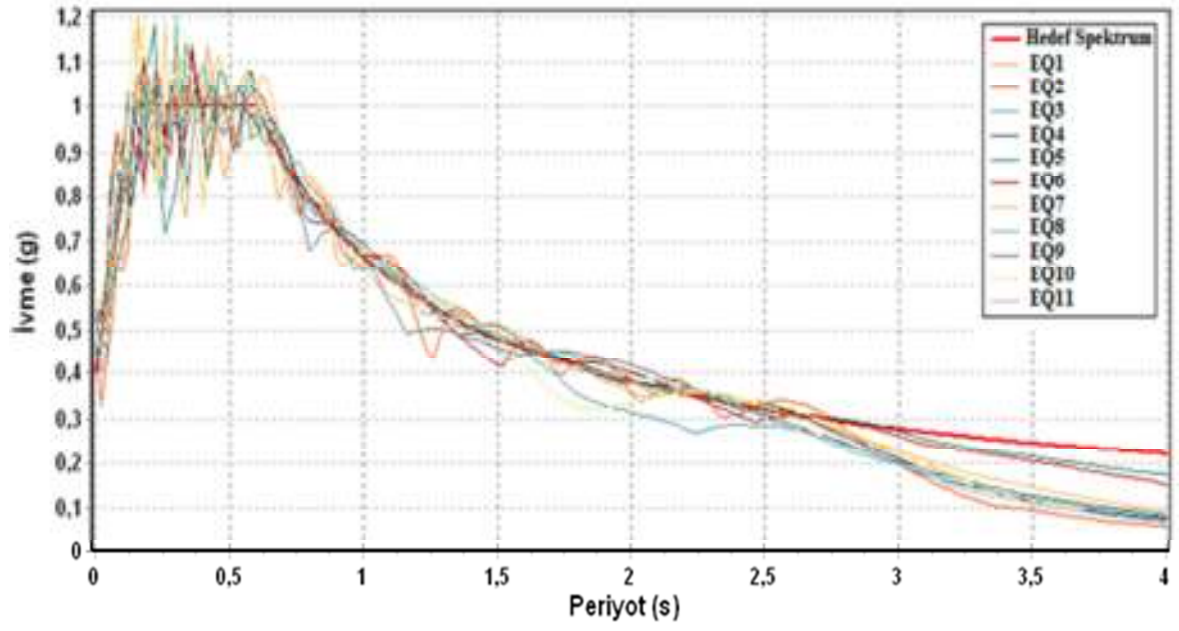
faya uzaklığı yaklaşık 10 km ile 50 km arasında, zaman adım aralığı 0.005 s olan 55 adet gerçek ivme kaydı dikkate alınmıştır.

Bu kayıtlarda, yerel zemin şartları ivmenin hıza oranı ( $A/V$ ) dikkate alınarak irdelenmiştir.  $A/V$  oranı araştırmacılar tarafından yerel zemin koşullarının deprem hareketi üzerindeki etkisini göstermek için kullanılmıştır (Mohraz vd.,1972; Zhu vd.,1988a). Zhu vd. tarafından, yer ivme kayıtları  $A/V$  oranına göre Tablo 5.4’de gösterildiği gibi 3 guruba ayrılmıştır.

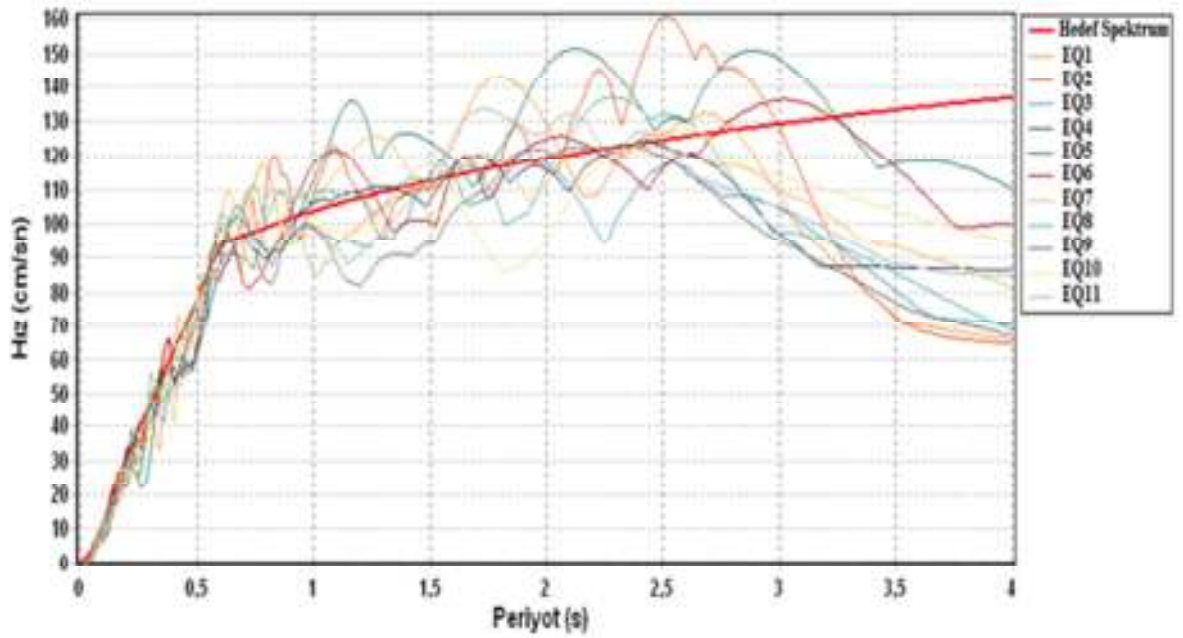
| <b>Tablo 5.4</b> Zhu vd. (1988a) göre $A/V$ oranı sınırları |                                                         |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>Gurup</b>                                                | <b><math>A/V</math> Oranı</b>                           |
| Normal $A/V$ Oranı                                          | $0.8 \text{ g/(m/s)} \leq A/V \leq 1.2 \text{ g/(m/s)}$ |
| Yüksek $A/V$ Oranı                                          | $>1.2 \text{ g/(m/s)}$                                  |
| Düşük $A/V$ Oranı                                           | $<0.8 \text{ g/(m/s)}$                                  |

Geniş frekans aralığında önemli bir enerji içeriğine sahip olan ve oldukça düzensiz ivmeye sahip olan ivme kayıtları “*normal  $A/V$  oranı*”, büyük genliğe sahip ve hareketin güçlü fazında önemli frekans salınımları gösteren ivme kayıtları “*yüksek  $A/V$  oranı*”, şiddeti düşük olan ivme kayıtları ise “*düşük  $A/V$  oranı*” ile temsil edilir. Çalışmada genellikle  $A/V$  oranı  $10 \text{ s}^{-1}$ ’den küçük olan ivme kayıtları dikkate alınmıştır.

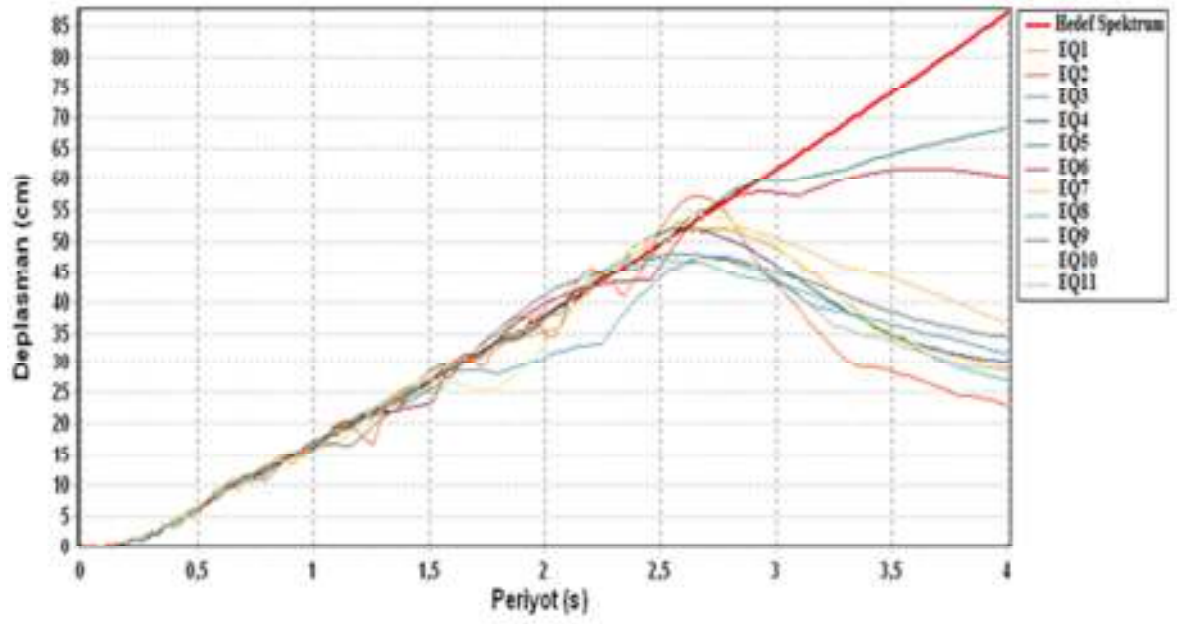
İvme kayıtlarının seçilmesinde ikinci husus ise kayıtların spektrumlarının, tasarım spektrumuna uygunluğudur. Yapının tepkisi üzerinde önemli bir etkiye sahip olan ivme kayıtlarının spektrum içeriği kayıttan kayıta değişmektedir ve bu durum yapı tepkisinde farklılıklar oluşmasına sebep olmaktadır. Bu etki ivme kayıtlarının, deprem yönetmeliklerine göre belirlenen tasarım spektruma göre ölçeklenmesi ile minimize edilir (Celep, 2008). Çalışmada, Türk Deprem Yönetmeliğindeki (2007) 1.derece deprem bölgesi ve Z3 zemin sınıfı için verilen elastik ivme spektrumu dikkate alınarak ivme kayıtları *SeismoMatch* (ver.2.1.0) programı kullanılarak ölçeklenmiştir. 55 adet yer ivme kaydından ivme spektrumunu yakınsayan ve özellikleri Tablo 5.3’de verilen 11 adet ivme kaydı, elastik ötesi analizde kullanılmıştır. Ayrıca ivme kayıtlarının ölçeklenmesinde, %5 sönüm oranı, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım depremi dikkate alınmıştır. Ölçeklendirilmiş ivme kayıtlarının ivme, hız ve yer değiştirme spektrumları sırası ile Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’de verilmiştir. İvme kayıtlarının ölçeklenmiş ivme-zaman ve hız- zaman grafikleri, çalışma **Eki B**’de sunulmuştur.



Şekil 5.2 Ölçeklenmiş deprem ivme kayıtlarının ivme spektrumu



Şekil 5.3 Ölçeklenmiş deprem ivme kayıtlarının hız spektrumu



Şekil 5.4 Ölçeklenmiş deprem ivme kayıtlarının yer değıştirme spektrumu

#### 5.4 Analiz ve Bulgula

Düzlem konsol betonarme perdelerin kesme kuvvet talebinin incelendiğı bu tez çalışmasında öncelikle, kat adedi ve  $H_w/L_w$  oranı dikkate alınarak perde boyutları belirlenmiştir. Mod birleştirme yöntemi kullanılarak, üretilen perdelerin donatı tasarımına esas moment ve kesme kuvvetleri elde edilmiştir. Davranış kat sayısı donatı tasarımında dikkate alınmamıştır, ancak sonuçların değerlendirilmesi aşamasında dikkate alınmıştır. Ayrıca üretilen perdeler, birinci modun etkisini araştırmak için eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak da analiz edilmiştir. Ancak eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen kat kesme kuvvetleri ve momentler donatıların tasarımında kullanılmamıştır, sadece sonuçların değerlendirilmesi aşamasında dikkate alınmıştır.

Mod birleştirme yöntemi dikkate alınarak tasarlanan perdelerin, zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. *OpenSees* programı kullanılarak yapılan zaman tanım alanında analizde, perdeler öncelikle her kata sabit olarak etki ettirilen düşey yükler altında çözülmüştür. Bölümün başında da belirtildiğı gibi perdeler, taban kesitinin eksenel yük taşıma kapasitesinin %25'i kadar toplamda düşey yük etki ettirilmiştir. Düşey yük altında analiz edilen perdelerin, yatay doğrultuda etki ettirilen ölçeklenmiş gerçek deprem ivme kayıtları altında elastik ötesi analizleri yapılmıştır.

| <b>Tablo 5.5</b> Analizde kullanılan deprem ivme kayıtları ve dinamik özellikleri |                        |            |                 |                                    |                        |              |                    |                       |                     |                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------|-----------------|------------------------------------|------------------------|--------------|--------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------------|
| <b>No</b>                                                                         | <b>Deprem</b>          | <b>Açı</b> | <b>Büyüklik</b> | <b>İstasyon</b>                    | <b>Mesafe<br/>(km)</b> | <b>Zemin</b> | <b>PGA<br/>(g)</b> | <b>PGV<br/>(cm/s)</b> | <b>PGD<br/>(cm)</b> | <b>A/V<br/>(s<sup>-1</sup>)</b> |
| EQ1                                                                               | Chalfant Valley (1986) | 360        | 6.2             | 54428 Zack Brothers Ranch          | 18.7                   | D            | 0.4                | 44.5                  | 8.56                | 8.82                            |
| EQ2                                                                               | Imperial Valley (1979) | 147        | 6.5             | 6604 Cerro Prieto                  | 26.5                   | A            | 0.169              | 11.6                  | 4.25                | 14.29                           |
| EQ3                                                                               | Landers (1992)         | TR         | 7.3             | 23 Coolwater                       | 21.2                   | D            | 0.417              | 42.3                  | 13.76               | 9.67                            |
| EQ4                                                                               | Loma Prieta (1989)     | 0          | 6.9             | 47379 Gilroy Array #1              | 11.2                   | A            | 0.411              | 31.6                  | 6.38                | 12.76                           |
| EQ5                                                                               | Loma Prieta (1989)     | 90         | 6.9             | 58065 Saratoga - Aloha Ave         | 13                     | D            | 0.324              | 42.6                  | 27.53               | 7.46                            |
| EQ6                                                                               | Northridge (1994)      | 360        | 6.7             | 24278 Castaic - Old Ridge Route    | 22.6                   | B            | 0.514              | 52.2                  | 2.41                | 9.66                            |
| EQ7                                                                               | Northridge (1994)      | 9          | 6.7             | 90013 Beverly Hills - 14145 Mulhol | 19.6                   | B            | 0.416              | 59                    | 13.14               | 6.92                            |
| EQ8                                                                               | Northridge (1994)      | 196        | 6.7             | 90053 Canoga Park - Topanga Can    | 15.8                   | D            | 0.420              | 60.8                  | 20.17               | 6.78                            |
| EQ9                                                                               | Northridge (1994)      | 0          | 6.7             | 90057 Canyon Country - W Lost Cany | 13                     | D            | 0.410              | 43                    | 11.75               | 9.35                            |
| EQ10                                                                              | Northridge (1994)      | 0          | 6.7             | 78 Stone Canyon                    | 22.2                   | B            | 0.252              | 28                    | 3.14                | 8.83                            |
| EQ11                                                                              | N. Palm Springs (1986) | 210        | 6.0             | 5070 North Palm Springs            | 8.2                    | D            | 0.594              | 73.3                  | 11.46               | 7.95                            |

Doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap yönteminde, adım adım integrasyon yöntemi kullanılmıştır. Analizlerde, *Newmark* çözüm algoritması,  $\beta=1/4$  ve  $\gamma=1/2$  alınmak suretiyle kullanılmıştır. Analizlerde sönüm matrisi olarak, *Rayleigh* yöntemi kullanılmıştır. Rayleigh sönüm matrisi kütle ve rijitlik matrisleri ile orantılı olarak göz önüne alınmıştır. Rayleigh sönüm oranı katsayısı, %5 sönüm oranı ile 1. mod ile 3. mod aralığı esas alınarak belirlenmiştir.

Elastik ve elastik ötesi analizlerden elde edilen kat kesme kuvvetleri ve momentler karşılaştırılmış ve grafik şeklinde bir sonraki başlık altında verilmiştir. Ayrıca elastik ötesi analizden elde edilen kat kesme kuvvetleri, elastik analizden elde edilen kat kesme kuvvetlerine oranlanarak, elastik ötesi durumda kesme kuvvetinde meydana gelen talep artışı incelenmiştir. Kesme kuvvetinde meydana gelen artışlar, moment-eğrilik ilişkisinden elde edilen dayanım fazlalığı katsayısına ( $\phi$ ) oranlanarak, elastik ötesi durumda yüksek modların etkisi elde edilmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlar üzerinde regresyon analizi yapılarak, kesme kuvvetindeki artış üzerinde elastik ötesi durumda yüksek modların etkisini gösteren  $\beta_v$  kat sayısı için bir formül önerilmiştir. Ayrıca  $\phi$  ve  $\beta_v$  katsayılarının T'ye göre değişimi, T ortak değişim ekseninde birleştirilerek;  $\phi$ 'den  $\beta_v$  katsayısının elde edilmesini sağlayan, grafik tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir. Analiz sonuçları aşağıda ayrı başlıklar altında ayrıntılı olarak verilmiştir.

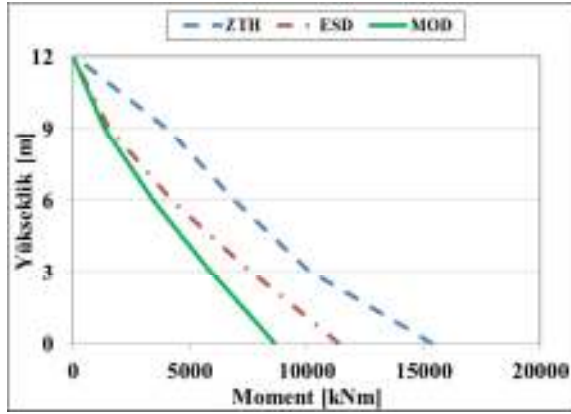
#### 5.4.1 Moment ve Kesme Kuvvet Talebi

Bu bölümde mod birleştirme yöntemi, eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen kat kesme kuvvetleri ve momentleri grafik şeklinde karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Grafikler, kat adedi 4, 8, 12, 16, 20, 24 ve 28,  $H_w/L_w$  oranı 3, 5, 7, 10 ve 12 ile davranış katsayısı  $R=6$  için çizilmiş ve aşağıda Şekil 5.5 ile Şekil 5.11 arasında verilmiştir. Şekil 5.5-11'de **MOD** mod birleştirme yöntemini, **ESD** eşdeğer deprem yükü yöntemini ve **ZTH** zaman tanım alanında hesap yöntemini gösterir. Zaman tanım alanında analizde, 11 adet ivme kaydının ortalamasından elde edilen kat kesme kuvvetleri ve momentleri dikkate alınmıştır. Her bir ivme kaydı için elde edilen kat kesme kuvvetleri ve momentleri **EK-C**'de grafik ortamında verilmiştir.

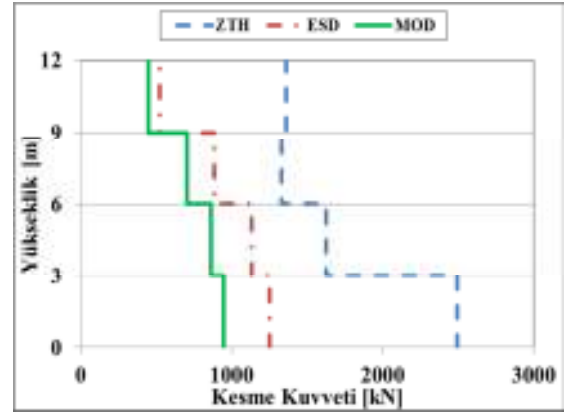
Şekil 5.5-5.11 arasında verilen grafikler incelendiğinde, eğilme kapasitesinden kaynaklanan dayanım fazlalığı ve yüksek modların etkisi ile elastik ötesi analizden (*ZTH*) elde edilen kat kesme kuvvetlerinin ve momentlerin, elastik analizlerden (*MOD* ve *ESD*) elde edilen kat kesme kuvvetleri ve momentlerden büyük olduğu görülmektedir.  $H_w/L_w$  oranının 10 ve 12 olması durumunda, yüksek modların kat kesme kuvvetlerini ve momentlerini artırıcı yönde etki gösterdiği (Şekil 5.5 (g)-(j) ile Şekil 5.11 (g)-(j) arasında), bu etkinin kat adedi arttıkça üst katlarda belirgin hale geldiği görülmektedir (Şekil 5.8 (g)-(j) ile Şekil 5.11 (g)-(j) arasında). Hatta 24 ve 28 katlı perdelerde  $H_w/L_w$  oranı 7 olması durumunda bile yüksek modların etkisi görülmektedir (Şekil 5.10 (e)-(f) ile Şekil 5.11 (e)-(f) arasında).

Moment grafikleri incelendiğinde,  $H_w/L_w$  oranı arttıkça, elastik analizlerden elde edilen taban momentlerinin, elastik ötesi analizden elde edilen eğilme momentlerine yaklaştığı ve bu durumda momentlerde ve kesme kuvvetlerinde üst katlarda belirgin artışların olduğu gözlenmiştir (Şekil 5.7 (g)-(j) ile Şekil 5.11 (g)-(j) arasında).

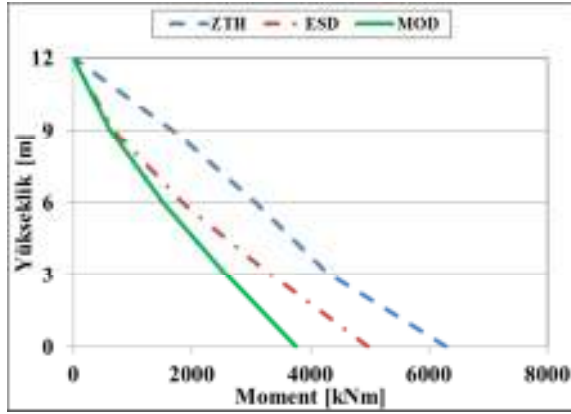
$H_w/L_w$  oranının küçük değerleri (3,5) için eşdeğer deprem yükü yöntemi (*ESD*) kullanılarak elde edilen taban kesme kuvveti ve eğilme momenti, mod birleştirme yöntemi (*MOD*) kullanılarak elde edilen taban kesme kuvveti ve eğilme momentinden büyüktür. Bu iki yöntem kullanılarak elde edilen kesme kuvveti ve moment arasındaki fark üst katlara gittikçe azalır (Şekil 5.7 (a)-(d) ile Şekil 5.11 (a)-(d) arasında). Ancak  $H_w/L_w$  oranının büyük değerleri için (10,12) mod birleştirme yöntemi kullanılarak (*MOD*) elde edilen kat kesme kuvvetleri, eşdeğer deprem yükü yöntemi (*ESD*) kullanılarak elde edilen kat kesme kuvvetlerine yaklaşıyor. Hatta 24 ve 28 katlı yapılarda mod birleştirme yöntemi daha büyük değerler verir (Şekil 5.10 (g)-(j) ile Şekil 5.11 (g)-(j) arasında). Bu durum mod birleştirme yönteminin, yüksek modların etkisi ile kat kesme kuvvetlerinde meydana gelen değişimi şematik olarak verdiğini gösterir. Priestly (2003), mod birleştirme yönteminde önerdiği ufak çaptaki değişikliklerin yapılması durumunda, elastik ötesi durumda perdelerdeki kesme kuvvet artışının kolaylıkla tahmin edilebileceğini savunmuştur.



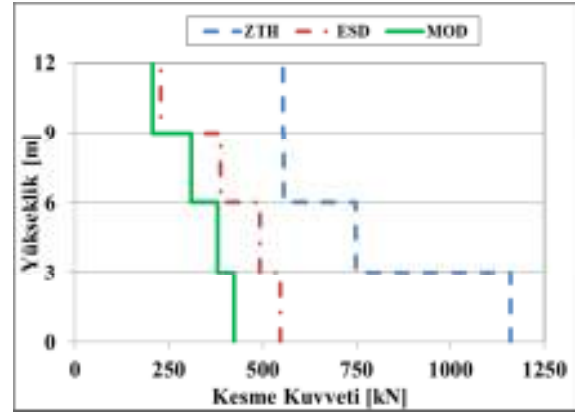
(a) moment dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



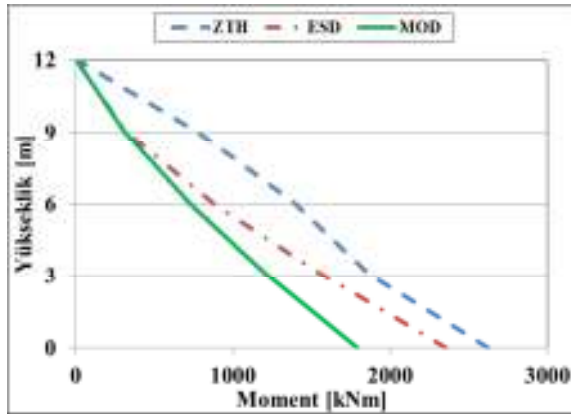
(b) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



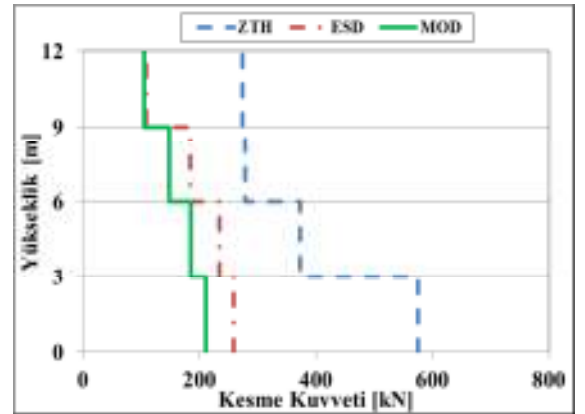
(c) moment dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



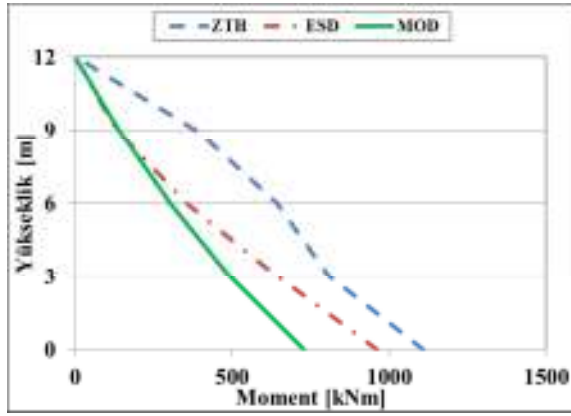
(d) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



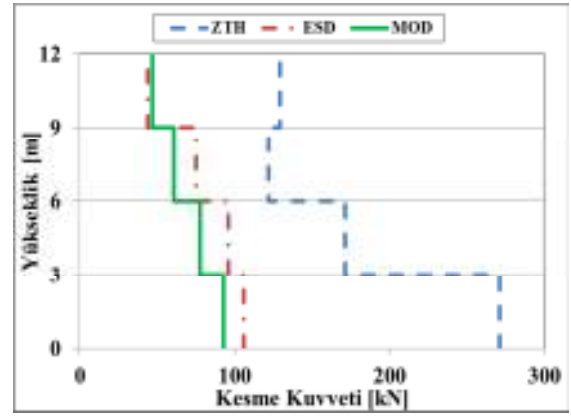
(e) moment dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



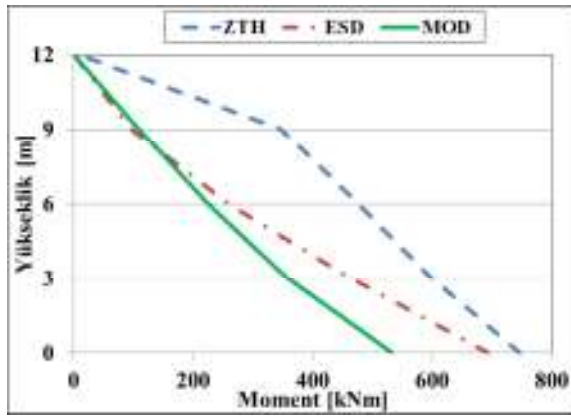
(f) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



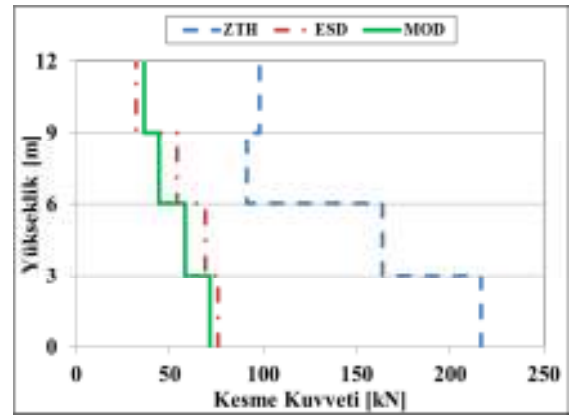
(g) moment dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )



(h) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )

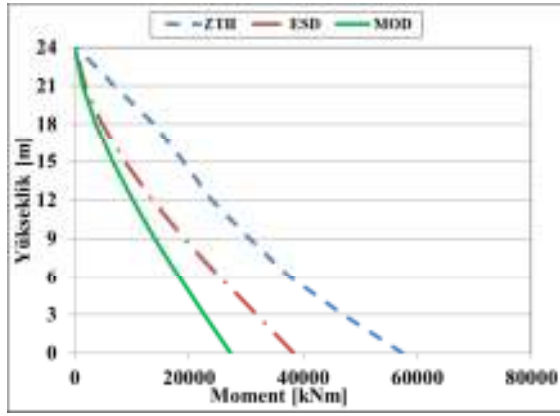


(i) moment dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

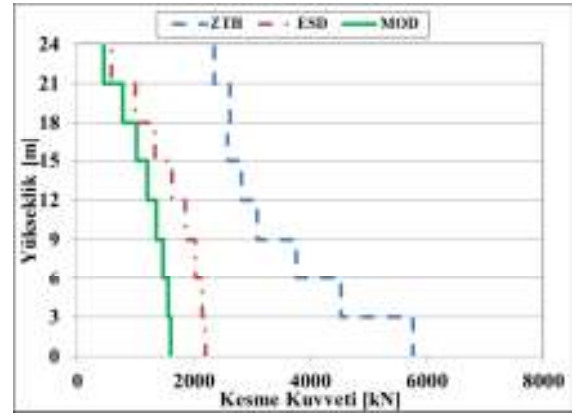


(j) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

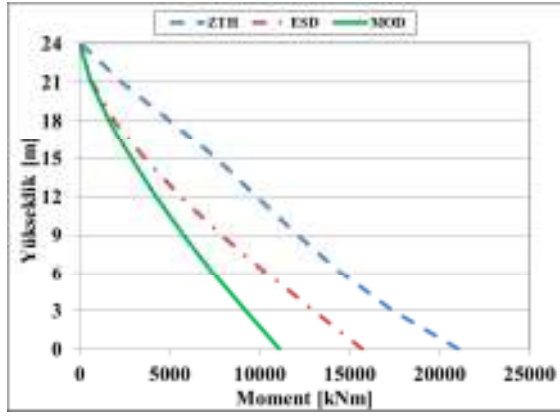
Şekil 5.5 4 katlı perdeler için eğilme momenti ve kesme kuvveti dağılımı ( $R=6$ )



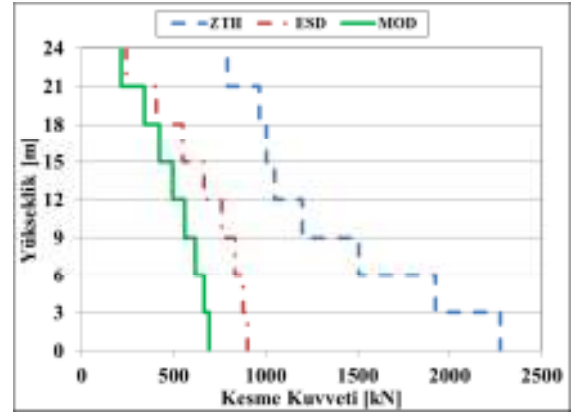
(a) moment dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



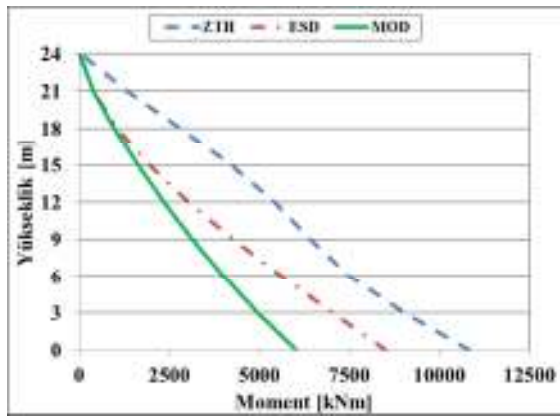
(b) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



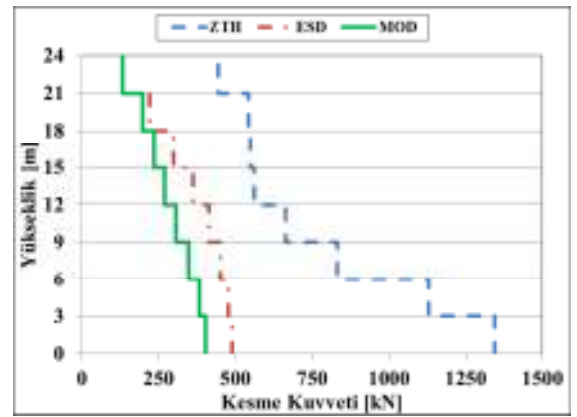
(c) moment dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



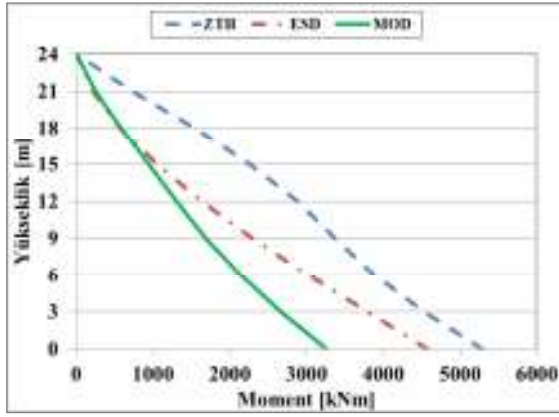
(d) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



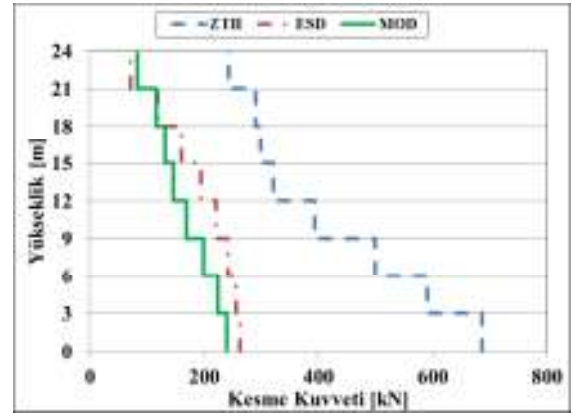
(e) moment dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



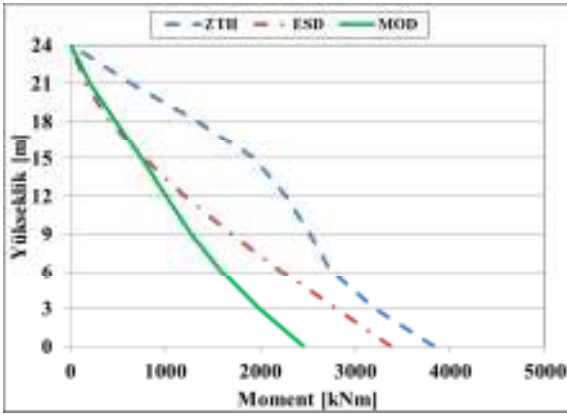
(f) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



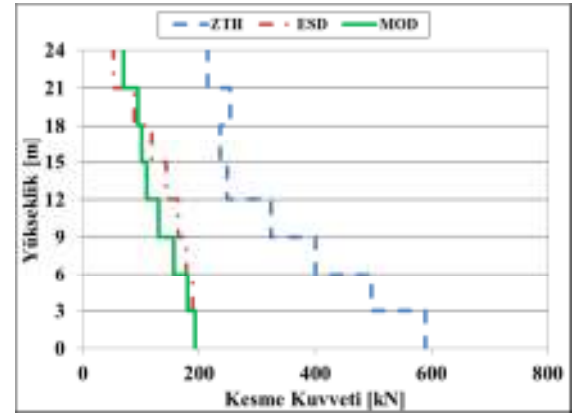
(g) moment dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )



(h) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )

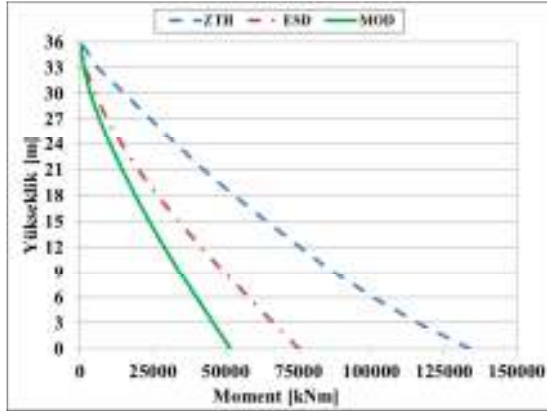


(i) moment dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

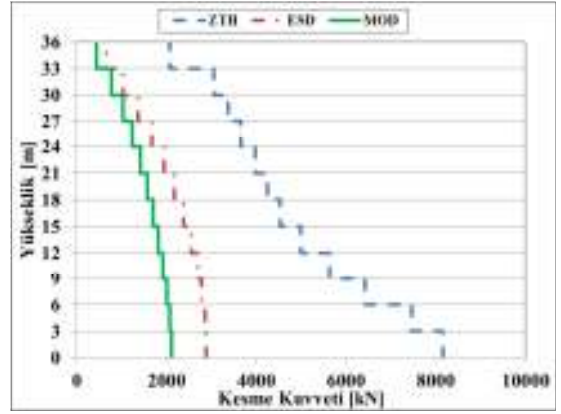


(j) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

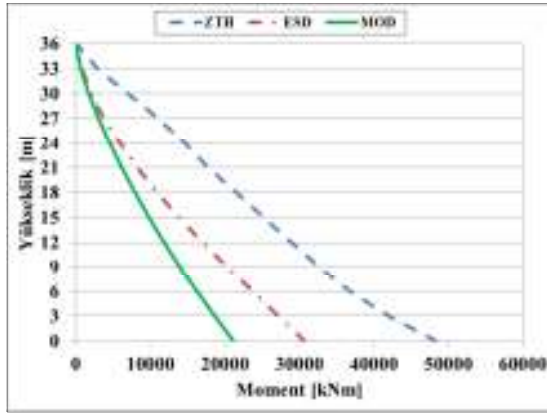
Şekil 5.6 8 katlı perdeler için eğilme momenti ve kesme kuvveti dağılımı ( $R=6$ )



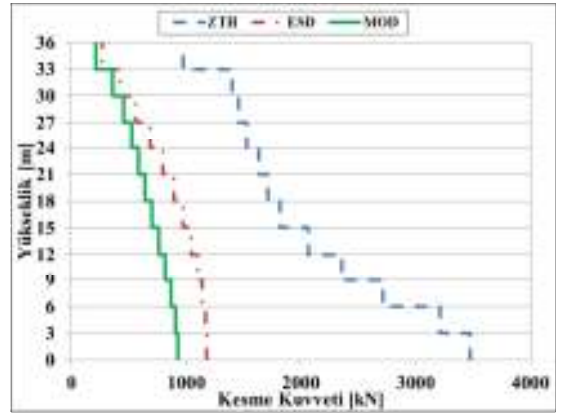
(a) moment dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



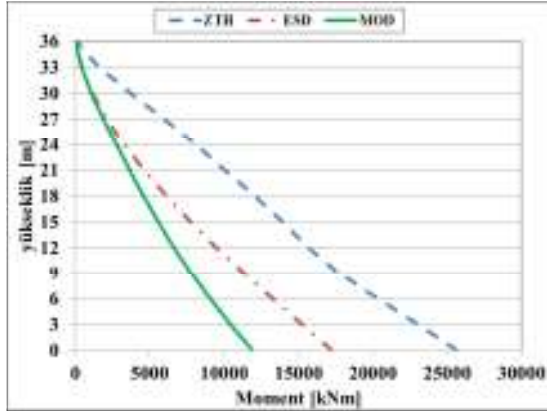
(b) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



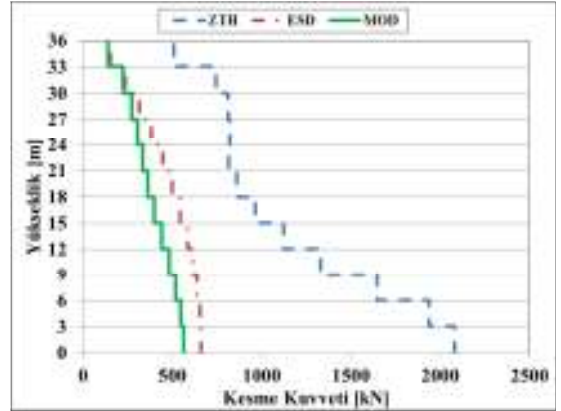
(c) moment dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



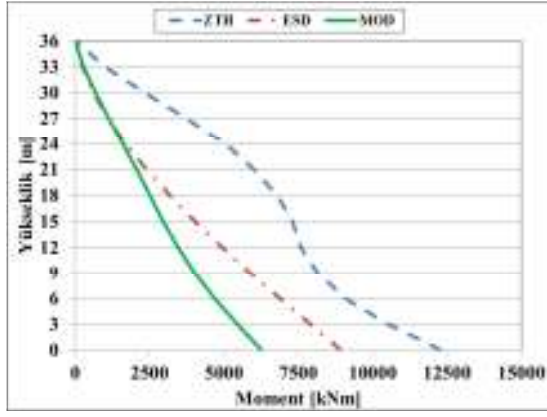
(d) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



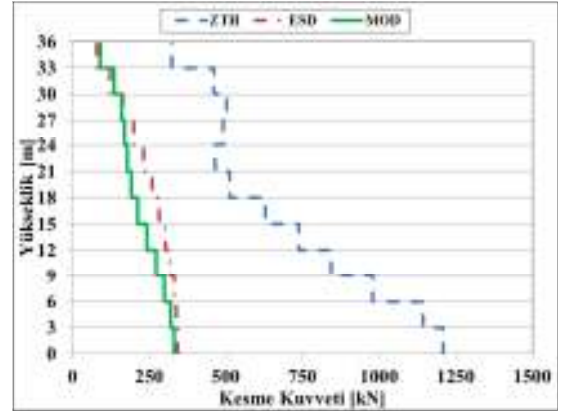
(e) moment dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



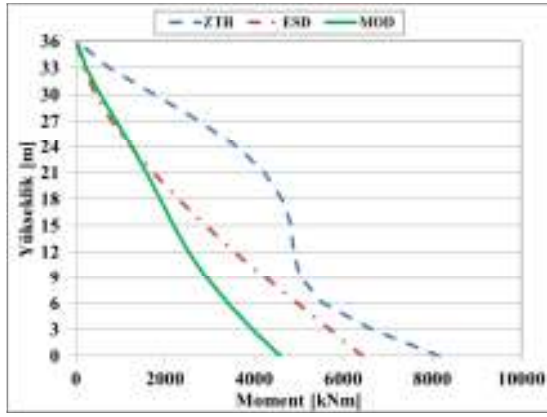
(f) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



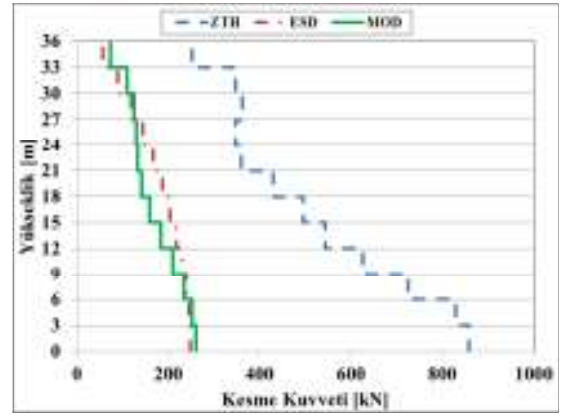
(g) moment dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )



(h) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )

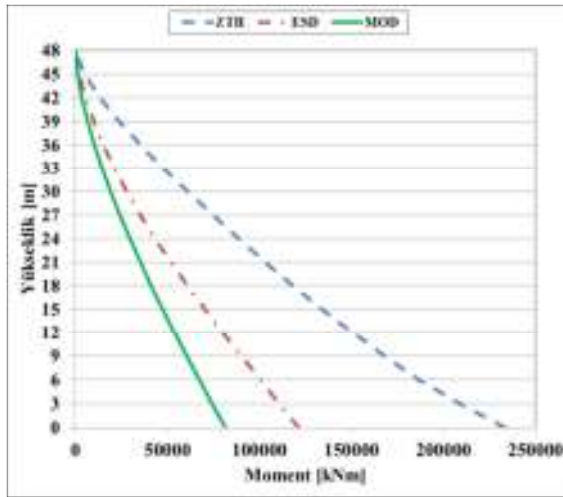


(i) moment dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

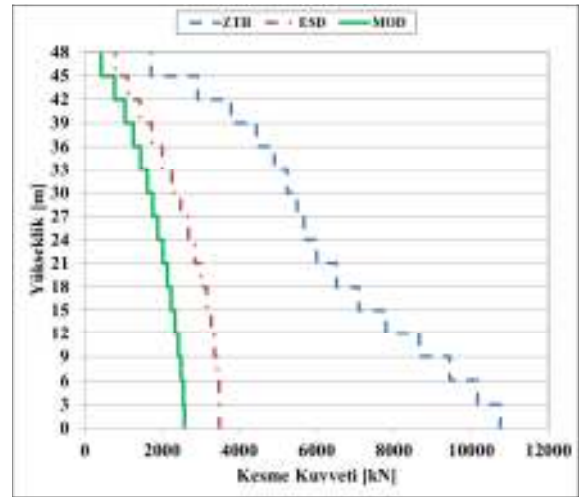


(j) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

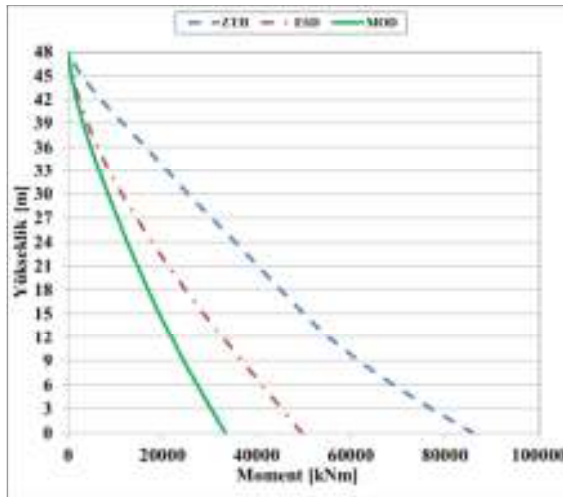
Şekil 5.7 12 katlı perdeler için eğilme momenti ve kesme kuvveti dağılımı ( $R=6$ )



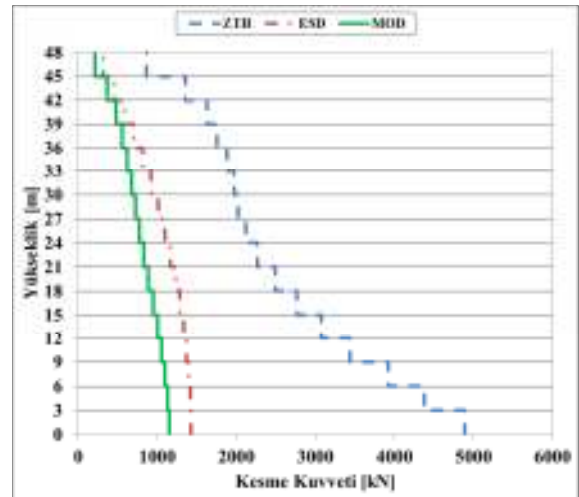
(a) moment dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



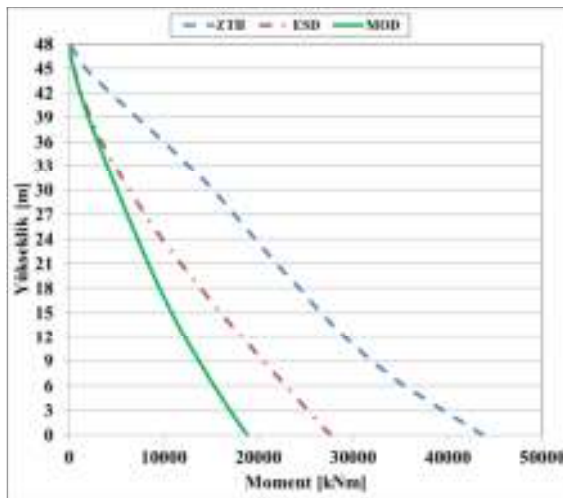
(b) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



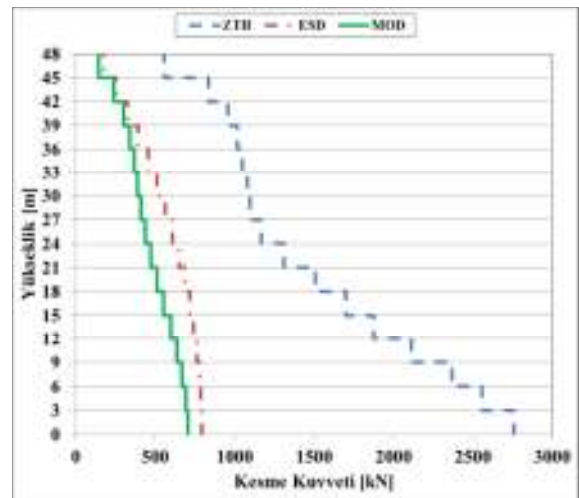
(c) moment dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



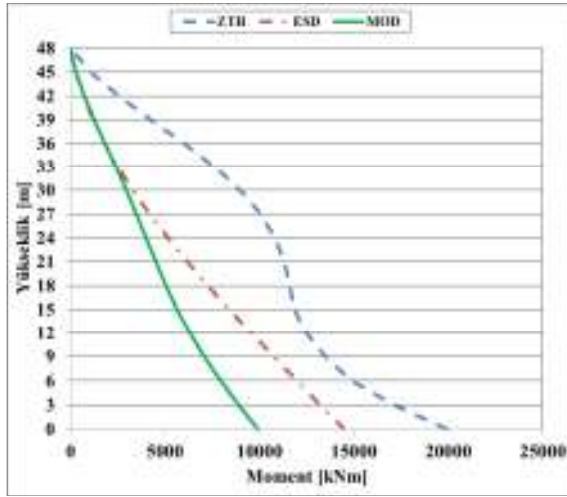
(d) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



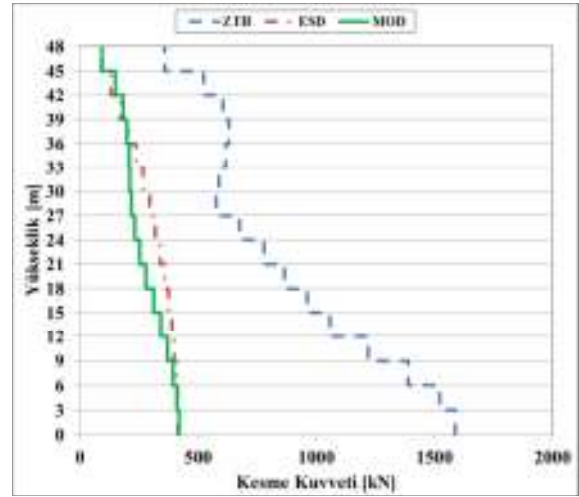
(e) moment dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



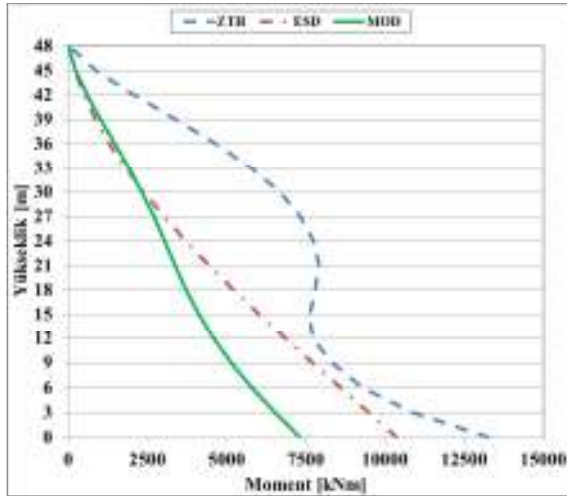
(f) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



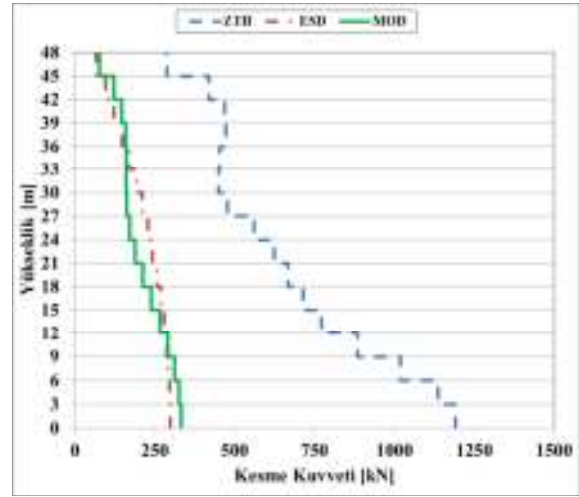
(g) moment dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )



(h) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )

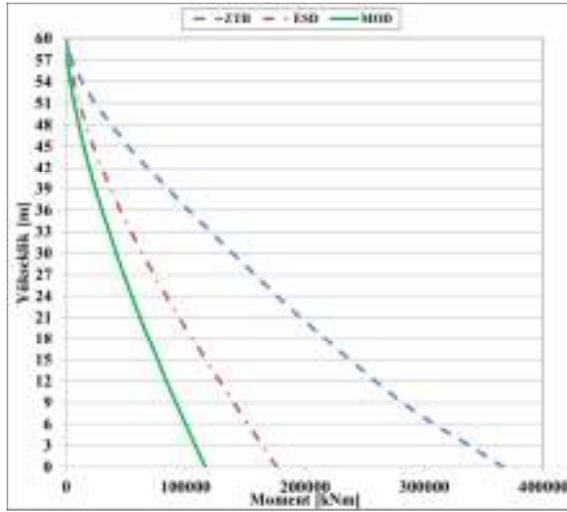


(i) moment dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

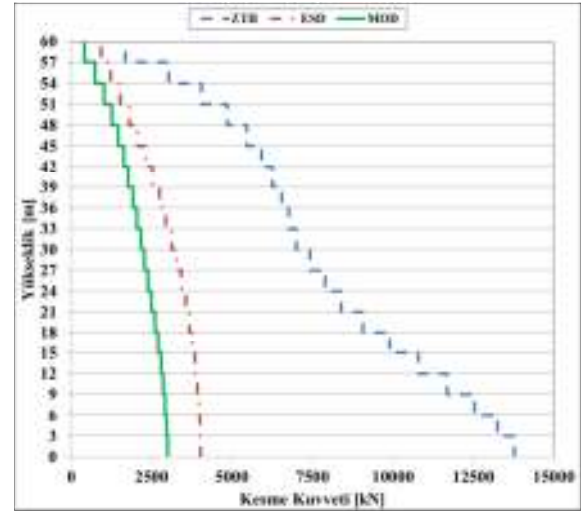


(j) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

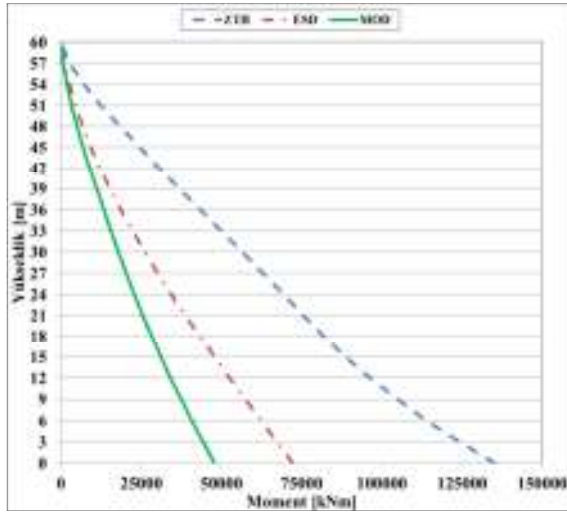
Şekil 5.8 16 katlı perdeler için eğilme momenti ve kesme kuvveti dağılımı ( $R=6$ )



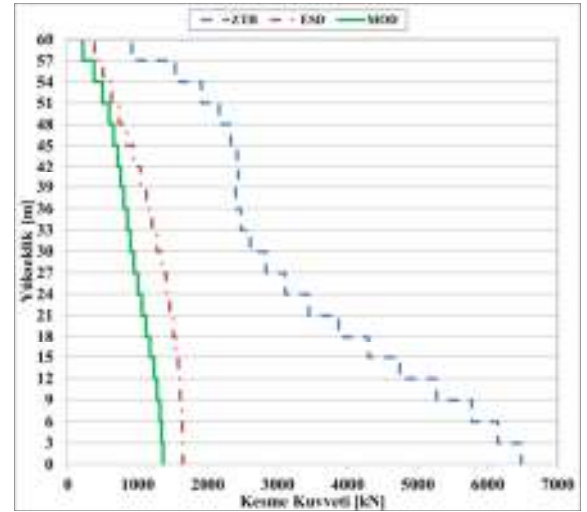
(a) moment dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



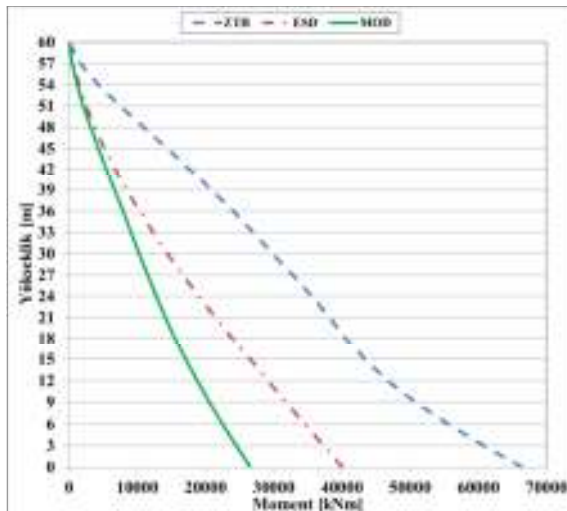
(b) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



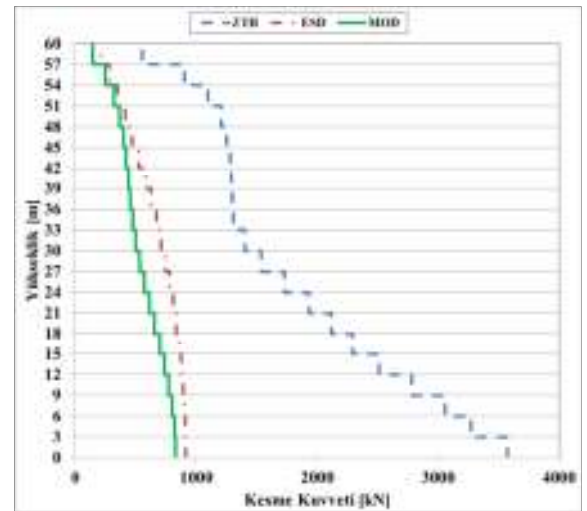
(c) moment dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



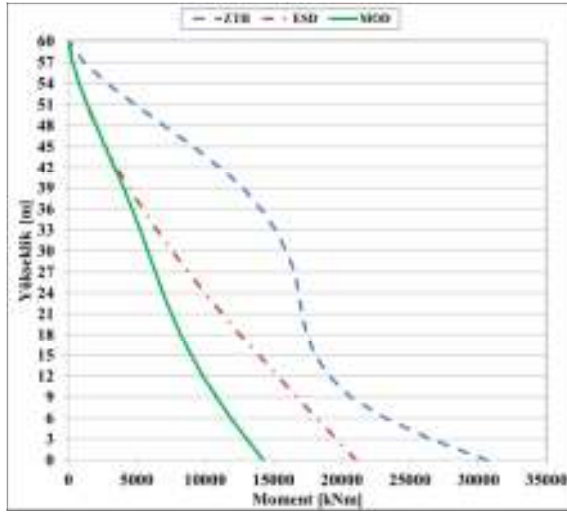
(d) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



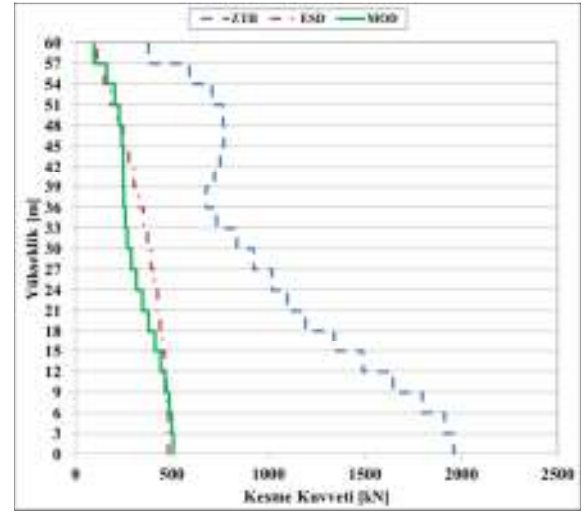
(e) moment dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



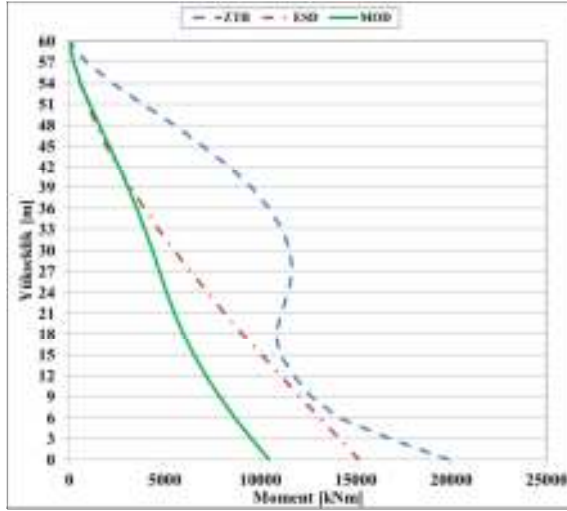
(f) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



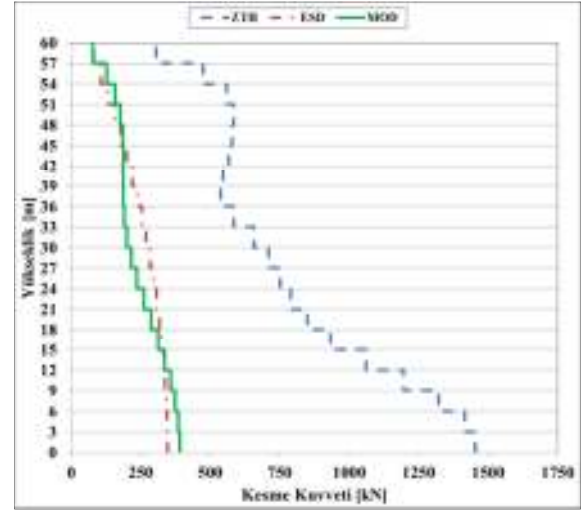
(g) moment dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )



(h) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )

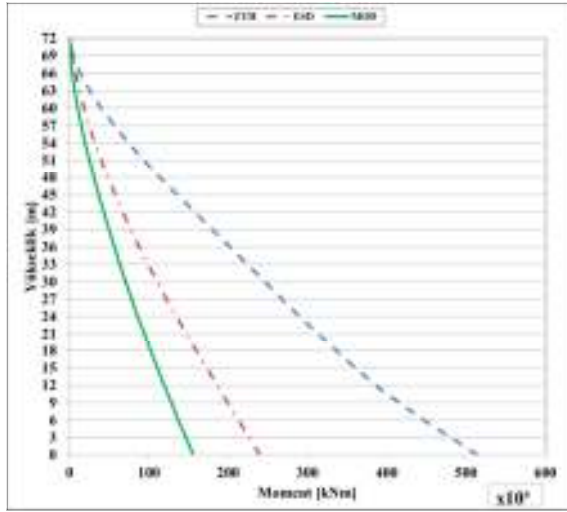


(i) moment dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

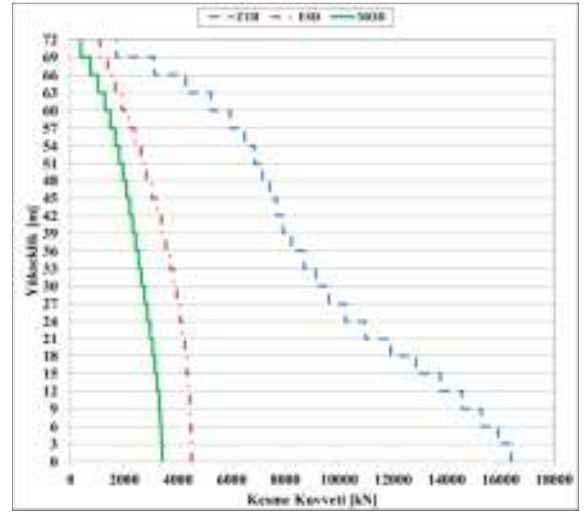


(j) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

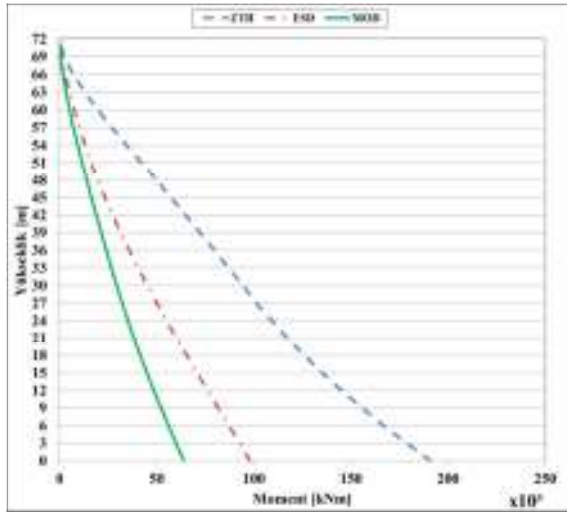
Şekil 5.9 20 katlı perdeler için eğilme momenti ve kesme kuvveti dağılımı ( $R=6$ )



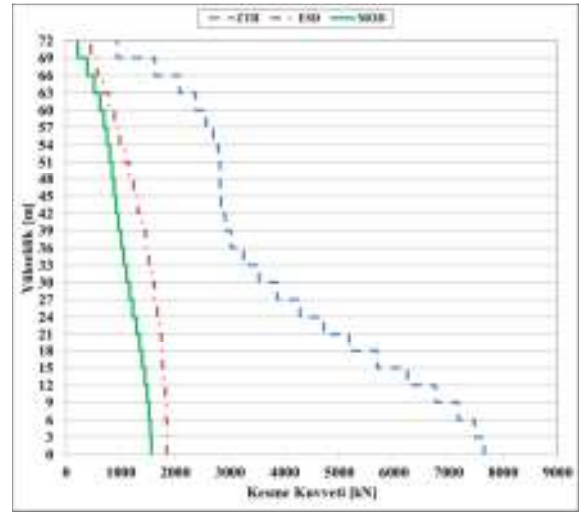
(a) moment dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



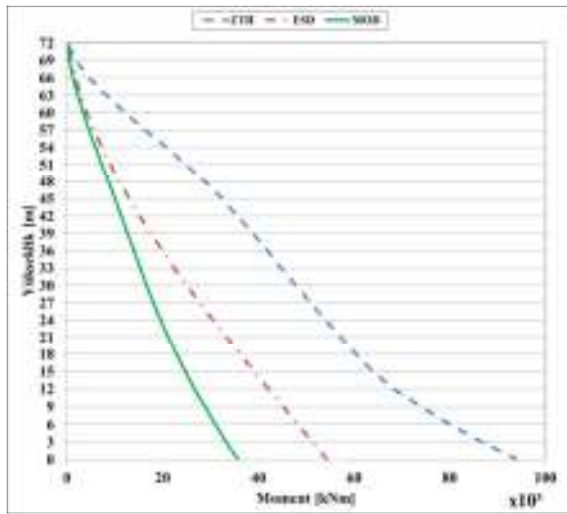
(b) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



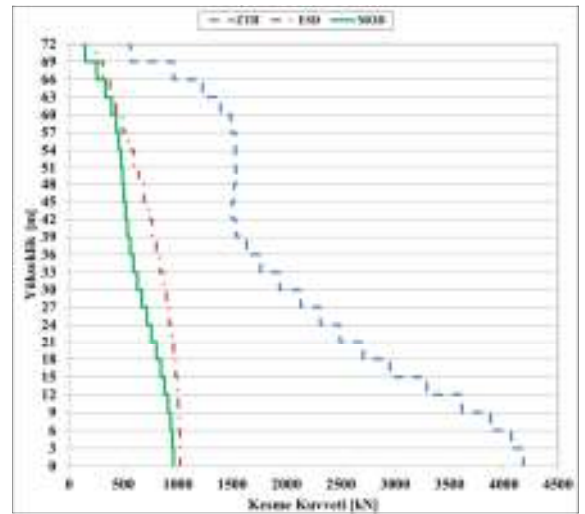
(c) moment dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



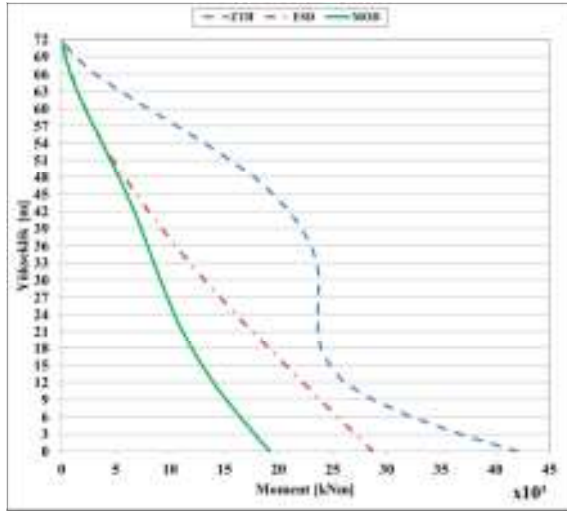
(d) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



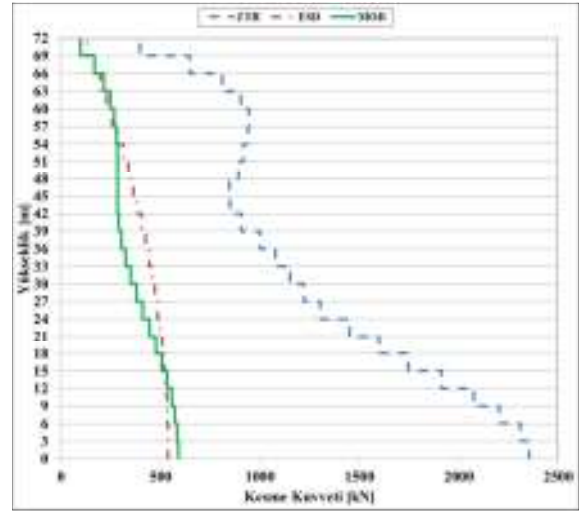
(e) moment dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



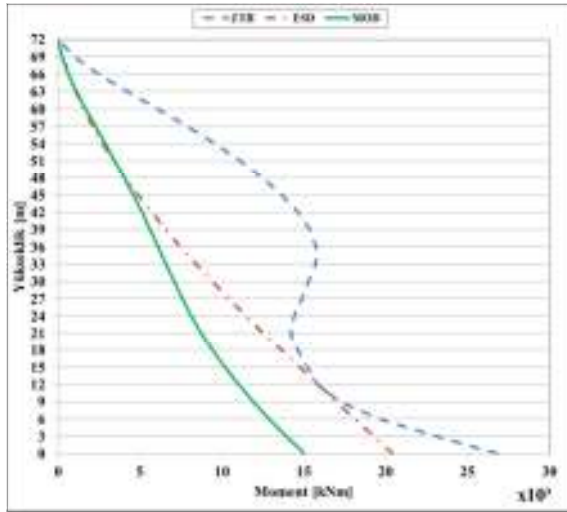
(f) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



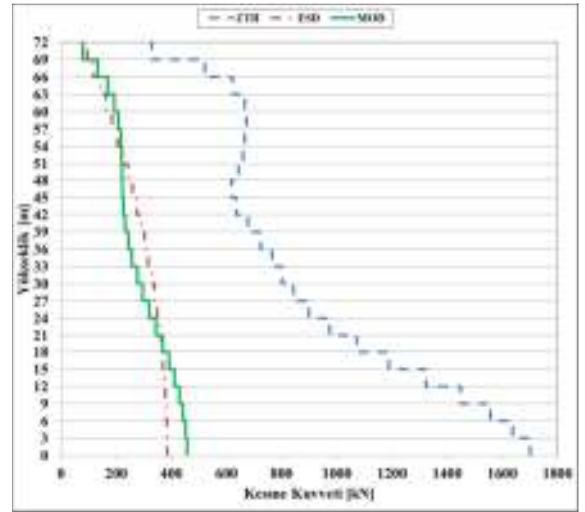
(g) moment dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )



(h) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )

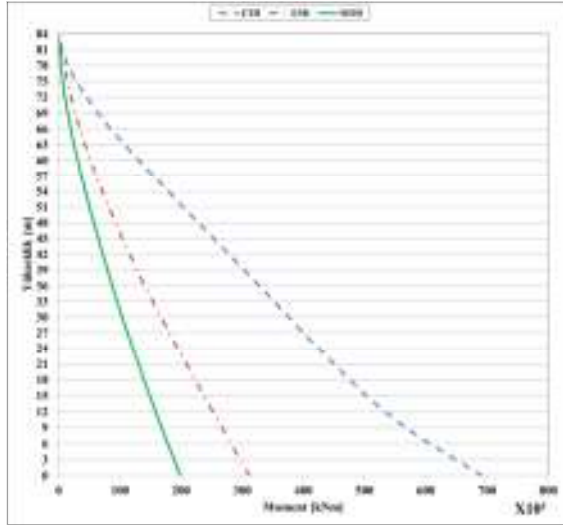


(i) moment dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

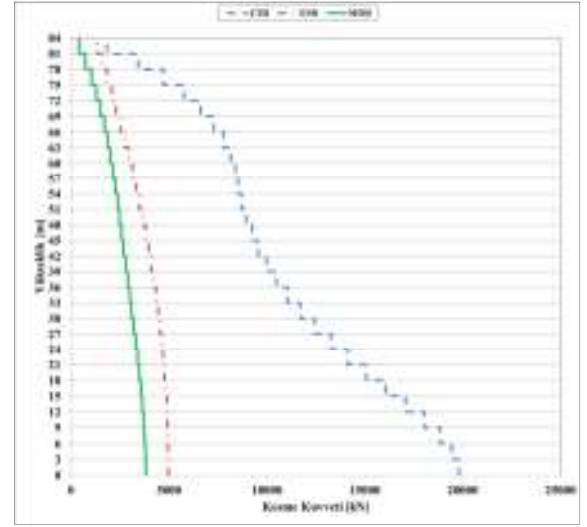


(j) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

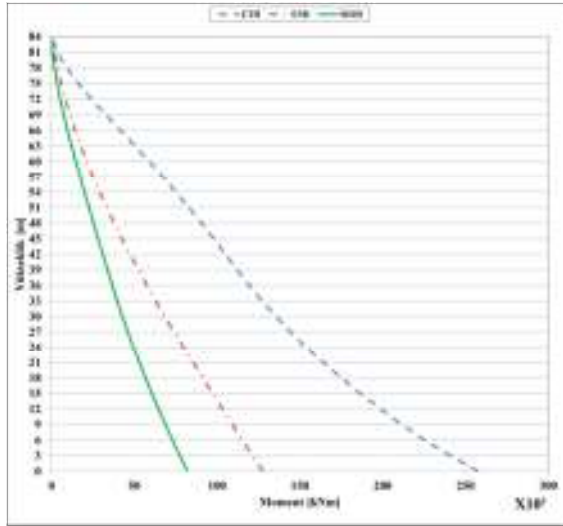
Şekil 5.10 24 katlı perdeler için eğilme momenti ve kesme kuvveti dağılımı ( $R=6$ )



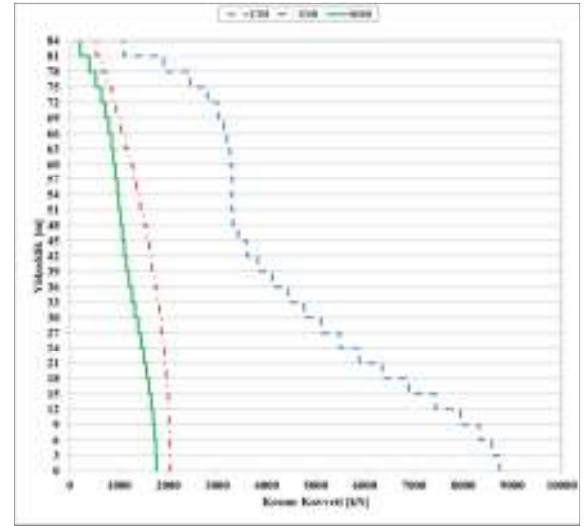
(a) moment dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



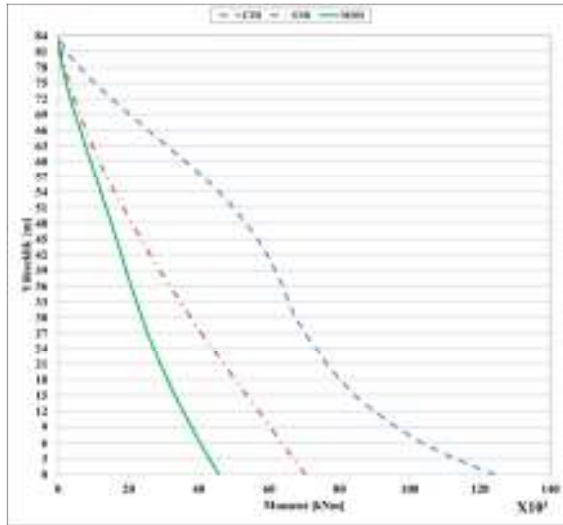
(b) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



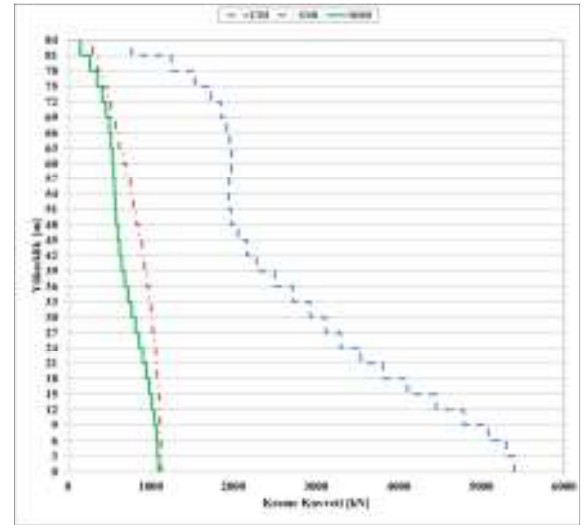
(c) moment dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



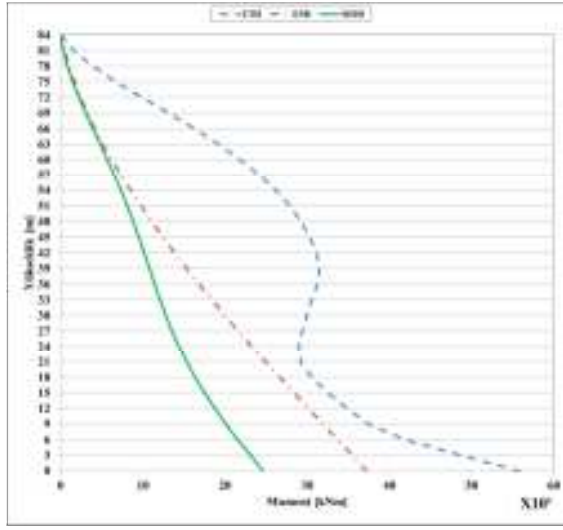
(d) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



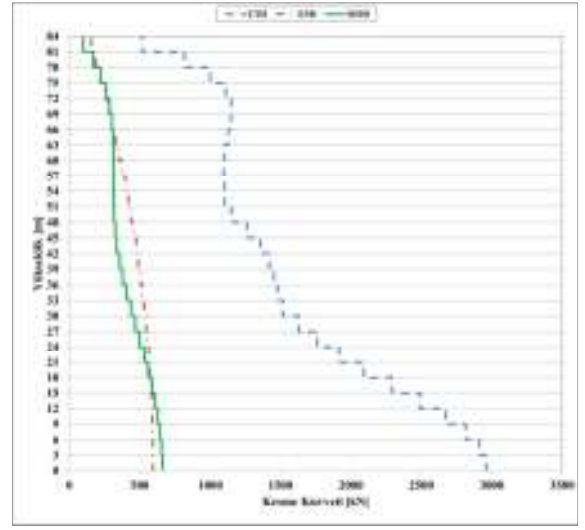
(e) moment dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



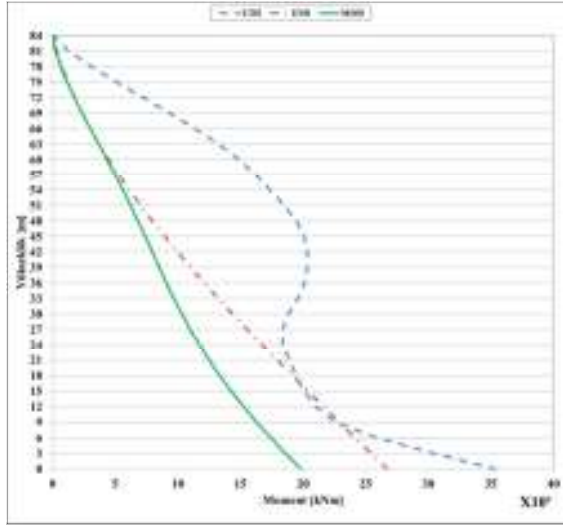
(f) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



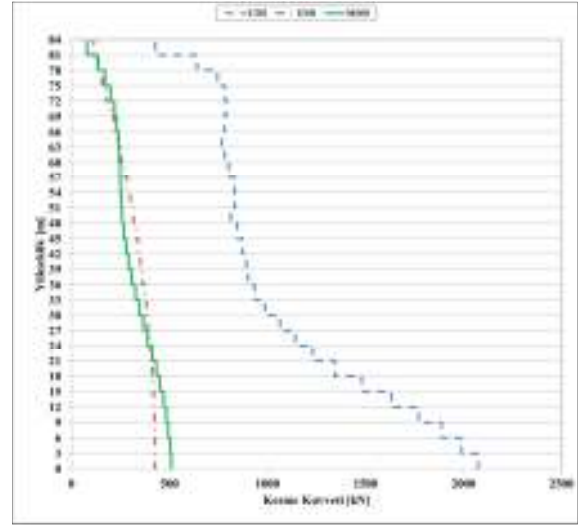
(g) moment dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )



(h) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )



(i) moment dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )



(j) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

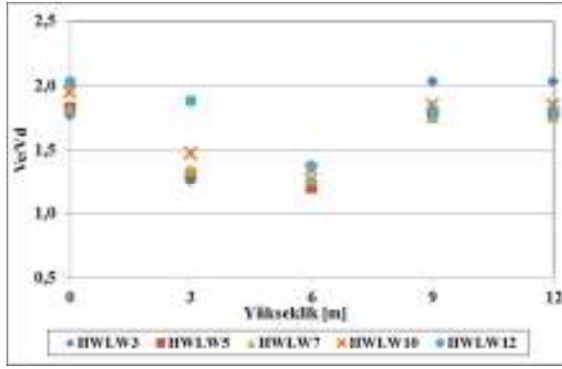
Şekil 5.11 28 katlı perdeler için eğilme momenti ve kesme kuvveti dağılımı ( $R=6$ )

## 5.4.2 Kesme Kuvvet Artışı

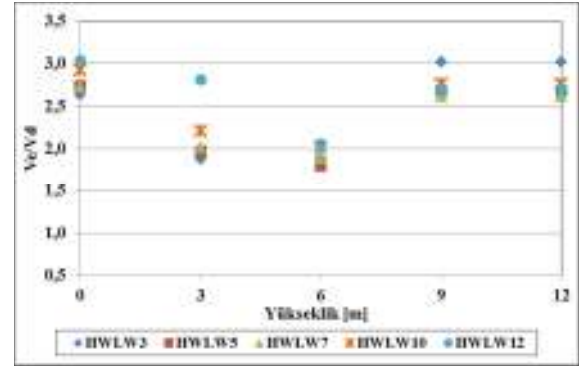
Bu bölümde, zaman tanım alanında elastik ötesi hesap yöntemi kullanılarak elde edilen kat kesme kuvvetlerinin, mod birleştirme yöntemi kullanılarak elde edilen kat kesme kuvvetlerine oranlanması sonucu bulunan kesme kuvvet talep artışları ( $V_e/V_d$ ) verilmiştir. Kesme kuvvet talep artışlarının, kat adedi,  $H_w/L_w$  oranı ve davranış katsayısı ( $R$ ) parametrelerine göre değişimi Şekil 5.12 ile Şekil 5.18 arasında grafik ortamında verilmiştir. Bu bölümde verilen kesme kuvvet artışlarında elastik ötesi durumda yüksek

modların yanı sıra dayanım fazlalığının da (*Ø-over strength factor*) etkisi vardır. Grafiklerde  $V_e$  zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizden elde edilen kesme kuvvetini,  $V_d$  mod birleştirme yönteminden elde edilen kesme kuvvetini ve  $HWLW$  ise  $H_w/L_w$  oranını gösterir.

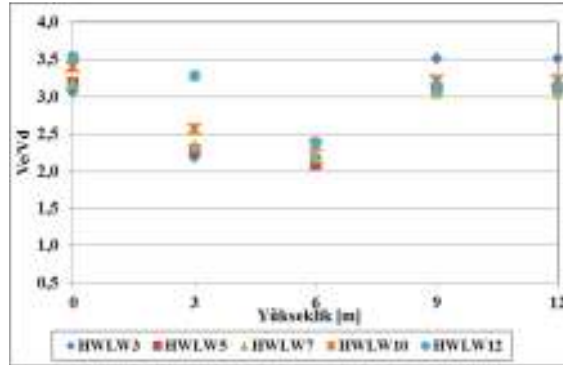
Şekil 5.12 ile Şekil 5.18 arasında verilen grafikler incelendiğinde, davranış katsayısı yani sistemin süneklilik talebi arttıkça kesme kuvvet talebinin arttığı görülmektedir. Literatürdeki bulgulara benzer sonuçlar elde edilmiştir (Celep 2008, Şahin vd. 2013, Yılmaz 2014).



(a) R=4

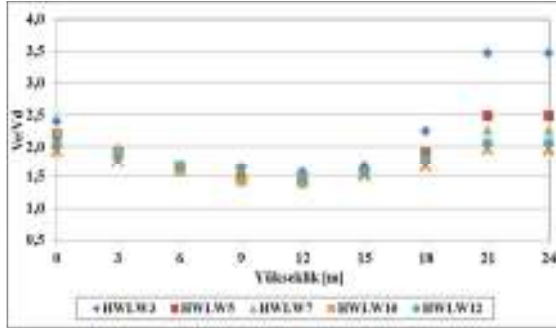


(b) R=6

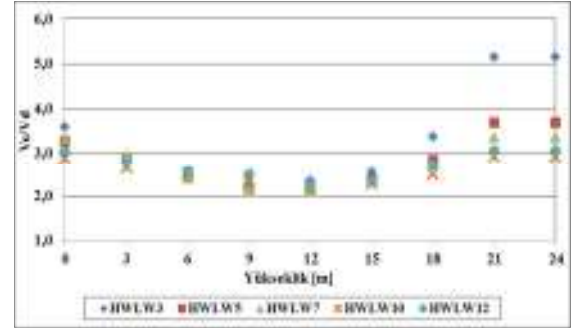


(c) R=7

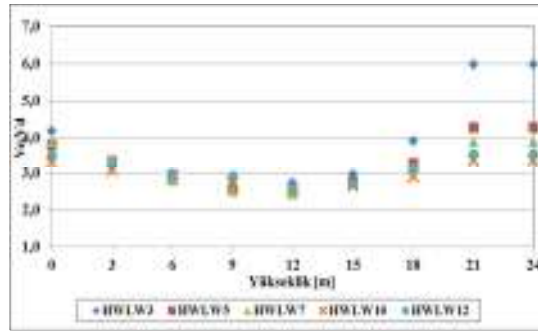
Şekil 5.12 4 katlı, farklı davranış katsayısına ( $R$ ) sahip perdeler için kesme kuvvet talep artışının katlara göre değişimi



(a) R=4



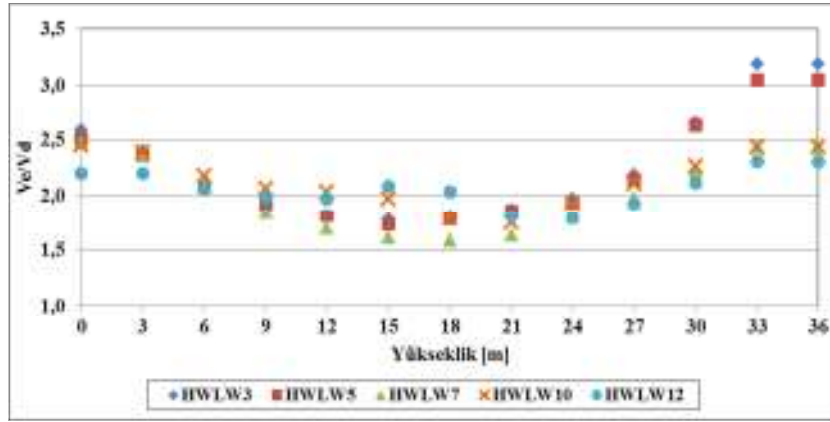
(b) R=6



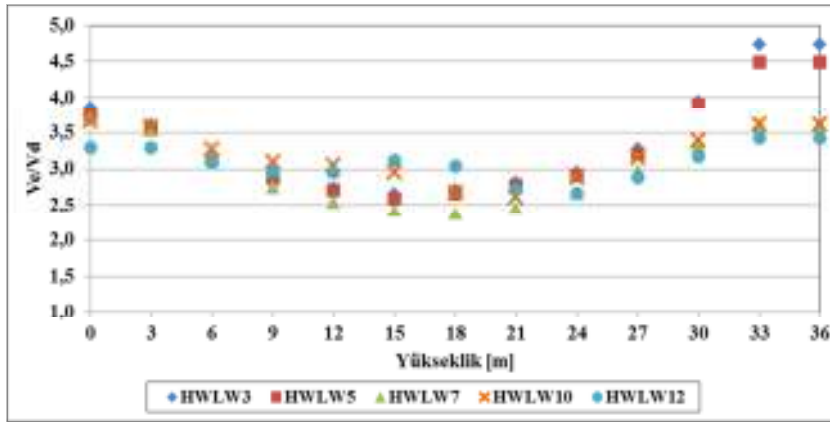
(c) R=7

Şekil 5.13 8 katlı, farklı davranış katsayısına ( $R$ ) sahip perdeler için kesme kuvvet talep artışının katlara göre değişimi

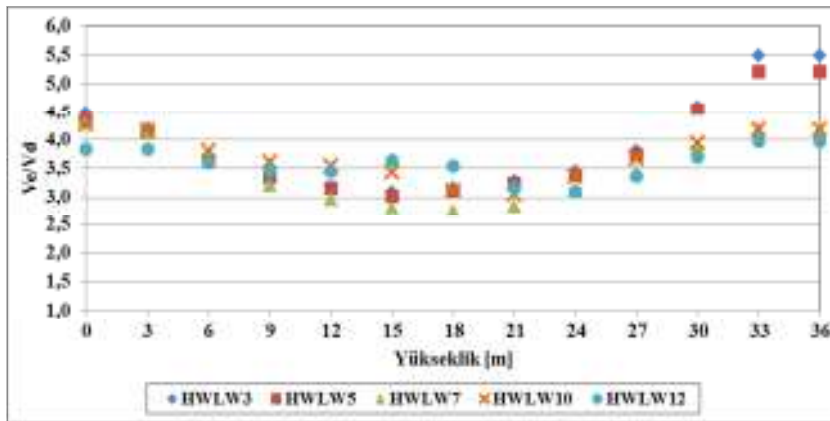
4 ve 8 katlı sistemlerde alt katlarda genellikle bütün  $H_w/L_w$  oranları için birbirine yakın kesme kuvvet artışları elde edilirken, üst katlarda  $H_w/L_w$  oranı 3 olan sistemlerde bu durumun bozulduğu görülmektedir (Şekil 5.12-5.13). Ayrıca 4 katlı sistemlerde  $H_w/L_w$  oranı 12 olan sistemlerde alt katlarda daha büyük kesme kuvvet artışları elde edilmiştir (Şekil 5.12).



(a) R=4

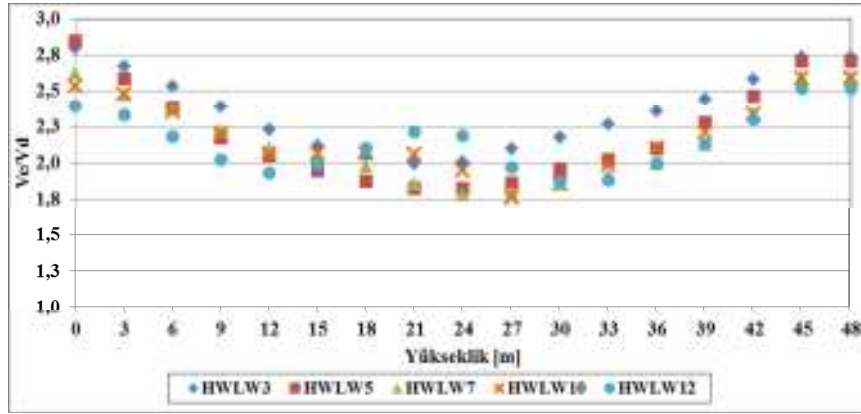


(b) R=6

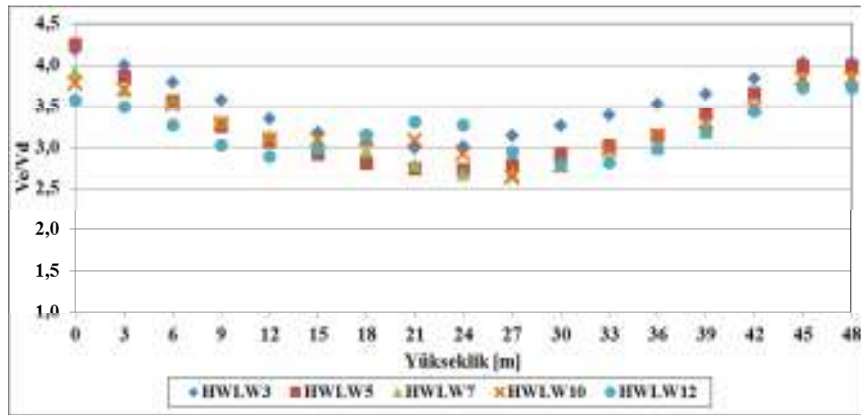


(c) R=7

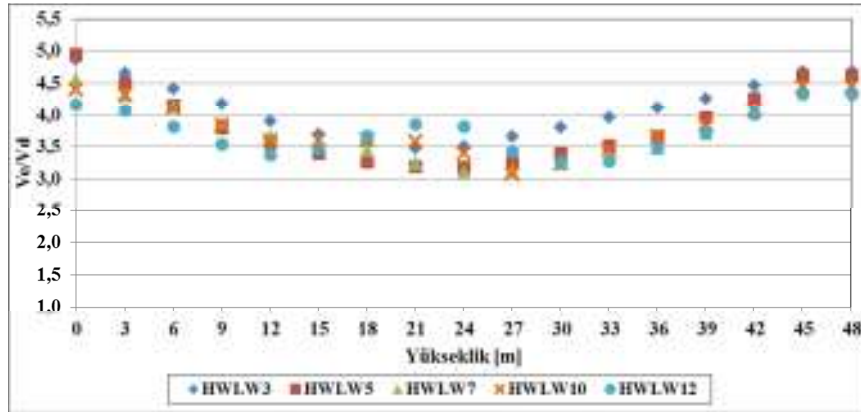
**Şekil 5.14** 12 katlı, farklı davranış katsayısına ( $R$ ) sahip perdeler için kesme kuvvet talep artışının katlara göre değişimi



(a) R=4



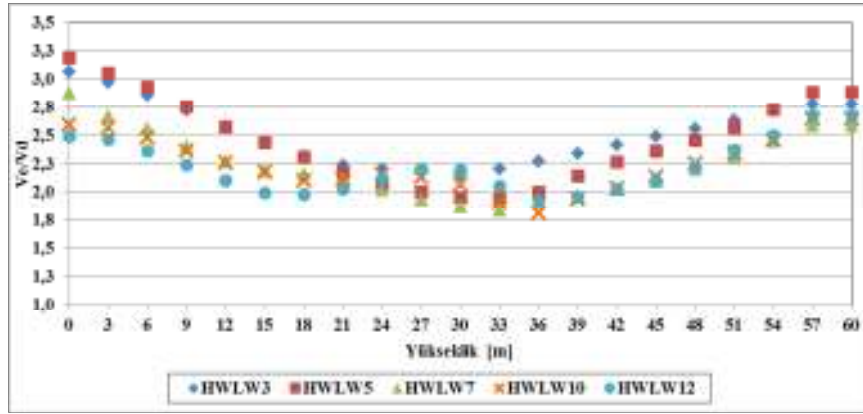
(b) R=6



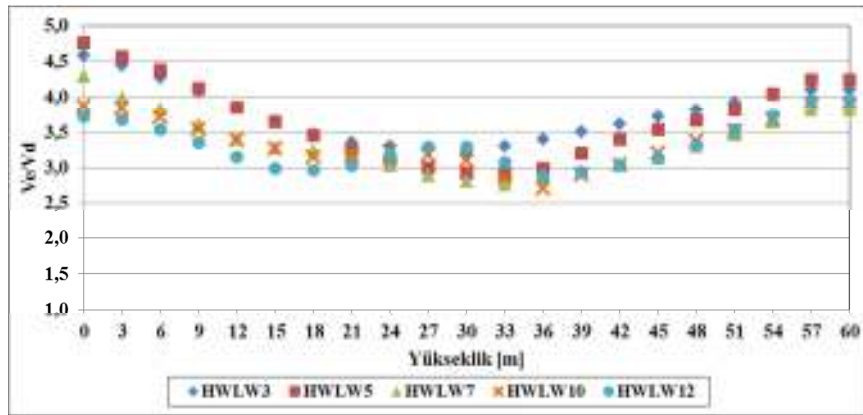
(c) R=7

**Şekil 5.15** 16 katlı, farklı davranış katsayısına ( $R$ ) sahip perdeler için kesme kuvvet talep artışının katlara göre değişimi

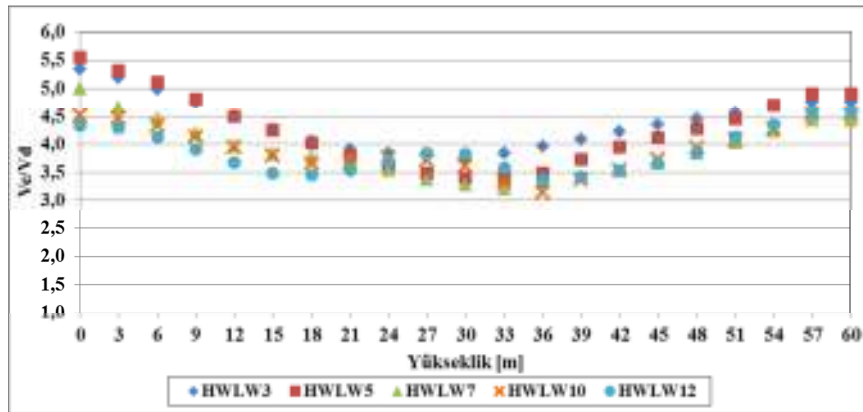
12 ve 16 katlı perdelerde alt ve üst katlarda  $H_w/L_w$  oranı 3 ve 5 olan perdelerin kesme kuvvet talebinin yüksek olduğu görülürken, orta katlarda ise yüksek modların etkisi ile  $H_w/L_w$  oranı 10 ve 12 olan sistemlerde diğerlerine oranla daha fazla kesme kuvvet talep artışı olduğu görülmektedir (Şekil 5.14-5.15).



(a)  $R=4$

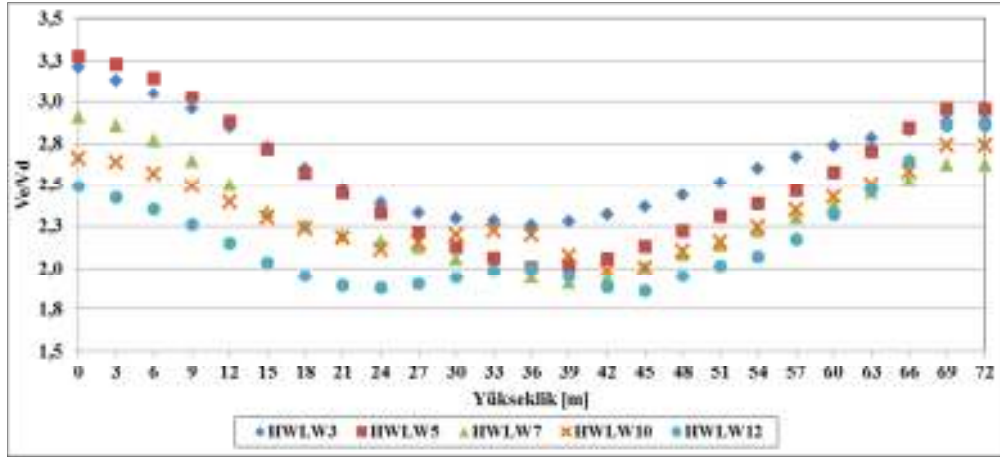


(b)  $R=6$

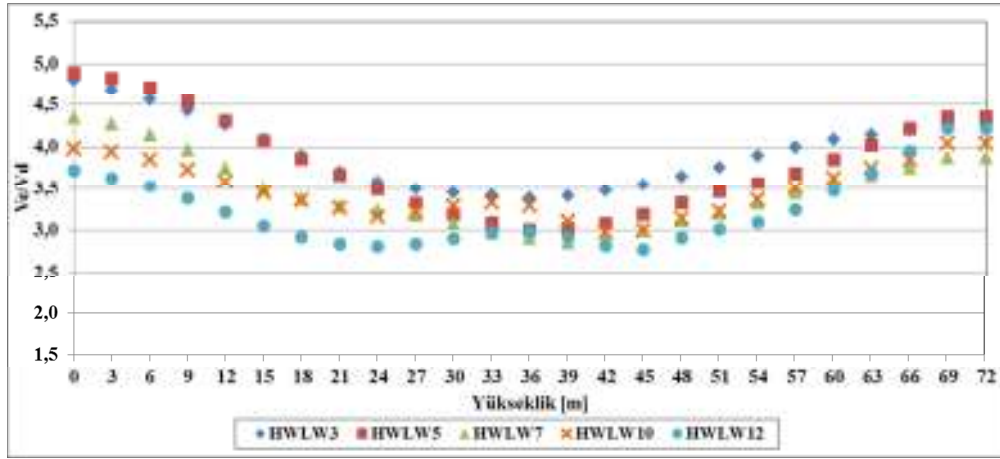


(c)  $R=7$

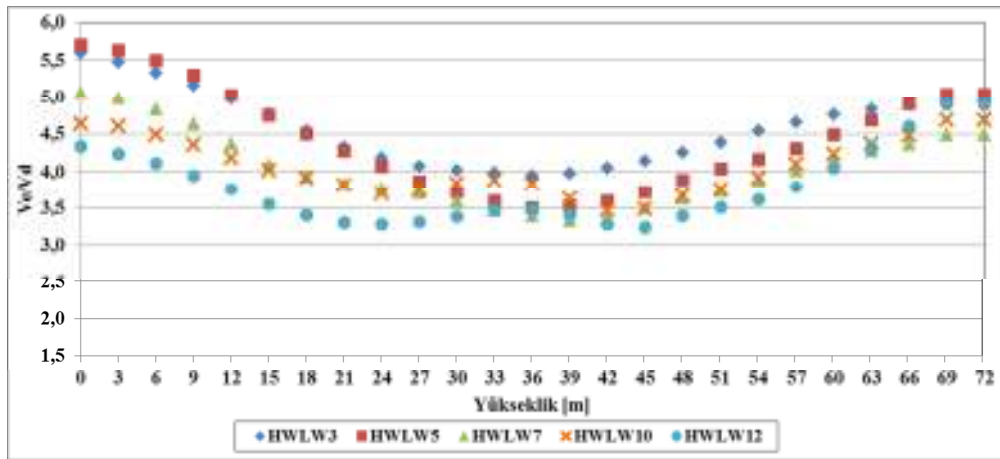
**Şekil 5.16** 20 katlı, farklı davranış katsayısına ( $R$ ) sahip perdeler için kesme kuvvet talep artışının katlara göre değişimi



(a)  $R=4$

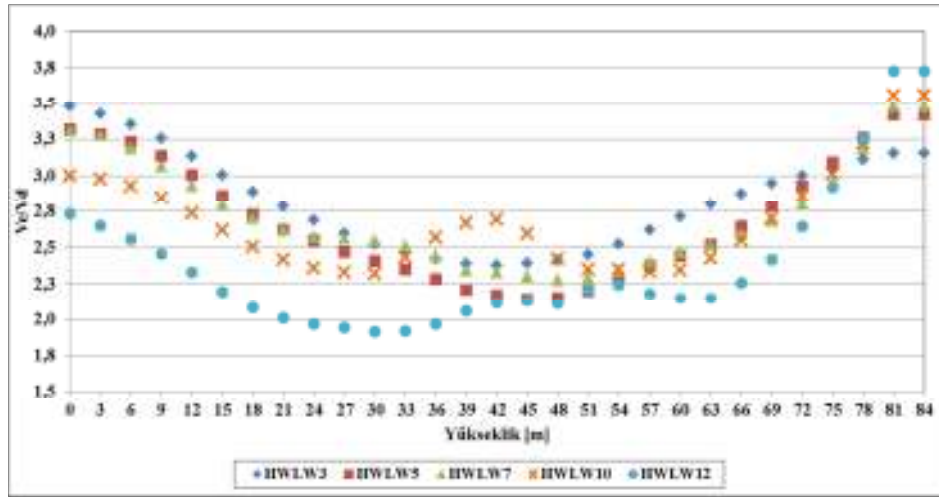


(b)  $R=6$

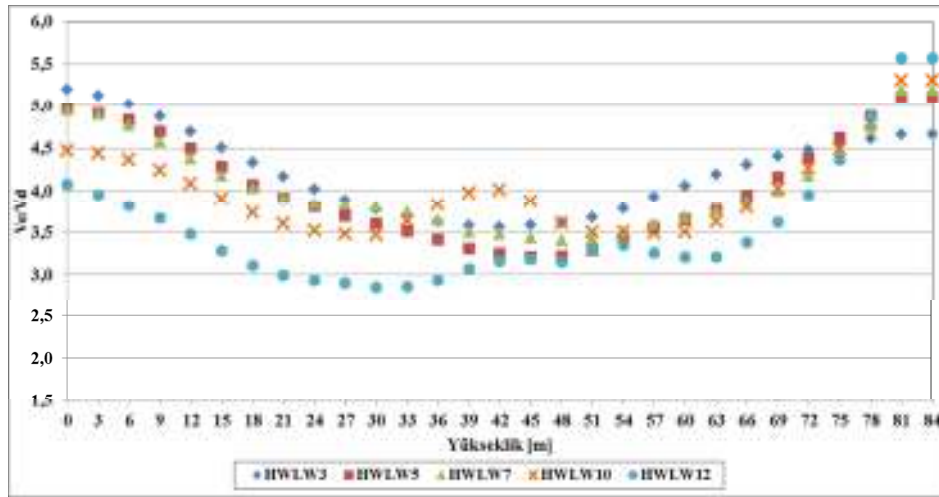


(c)  $R=7$

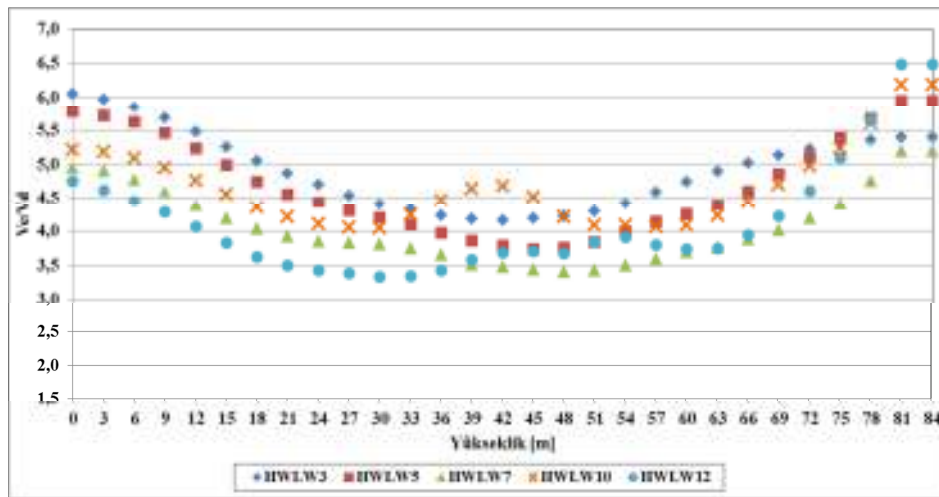
Şekil 5.17 24 katlı, farklı davranış katsayısına ( $R$ ) sahip perdeler için kesme kuvvet talep artışının katlara göre değişimi



(a)  $R=4$



(b)  $R=6$



(c)  $R=7$

**Şekil 5.18** 28 katlı, farklı davranış katsayısına ( $R$ ) sahip perdeler için kesme kuvvet talep artışının katlara göre değişimi

20 ve 24 katlı perdelerde alt katlarda,  $H_w/L_w$  oranı 3 ve 5 olan perdelerde kesme kuvvet talep artışlarının yüksek olduğu, üst katlarda ise bütün  $H_w/L_w$  oranları için kesme kuvvet talep artışlarının bir birine yaklaştığı görülmektedir. Orta katlarda ise  $H_w/L_w$  oranı yüksek olan sistemlerde kesme kuvvet talep artışlarının yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 5.16-5.17).

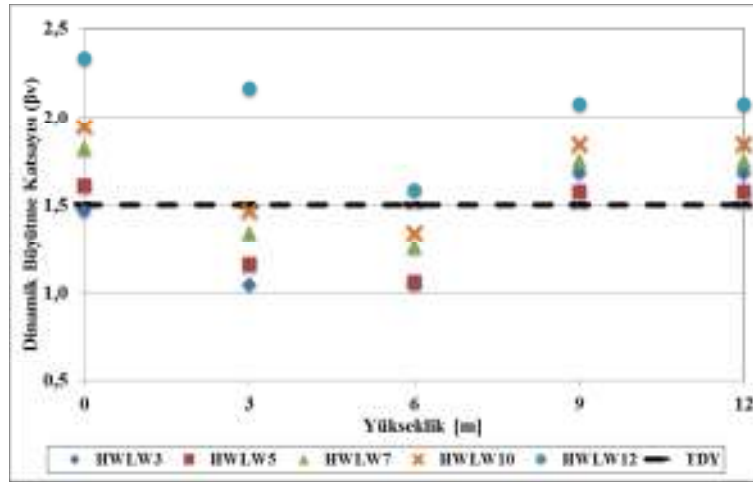
28 katlı sistemlerde ise alt katlarda  $H_w/L_w$  oranının küçük değerleri için daha büyük kesme kuvvet talepleri elde edilirken, üst katlarda bu taleplerin birbirine yaklaştığı, hatta  $H_w/L_w$  oranı 10 ve 12 olan sistemlerde nispeten büyük kesme kuvvet talepleri elde edildiği görülmektedir (Şekil 5.18,a-b-c).  $H_w/L_w$  oranı 10 olan sistemlerde orta katlarda yüksek modların etkisi ile bariz kesme kuvvet talep artışları görülmektedir (Şekil 5.18,a-b-c). Ayrıca  $H_w/L_w$  oranı 12 olan perdelerde ise çift eğrilikli bir kesme kuvvet talep artışının olduğu gözlenmektedir (Şekil 5.18,a-b-c).

#### 5.4.3 Kesme Kuvvet Dinamik Büyütme Katsayısı

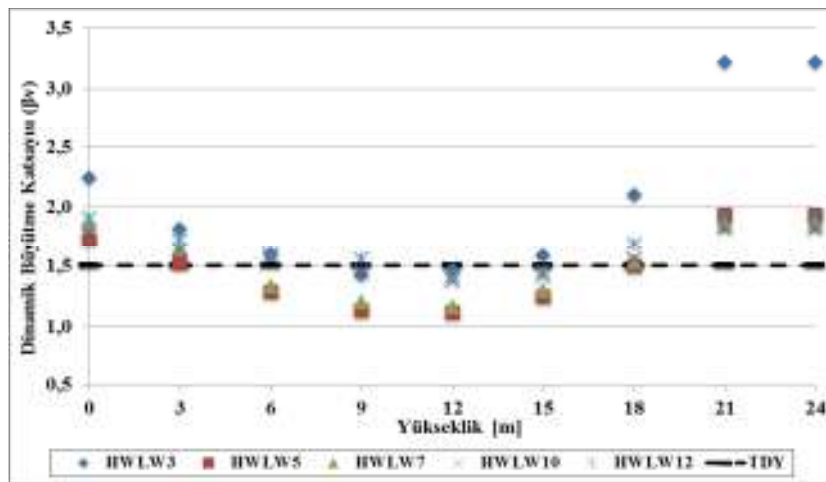
Çalışmanın bu bölümünde yüksek modların, elastik ötesi durumda kesme kuvvet talep artışı üzerindeki etkisini yansıtan dinamik büyütme katsayısının ( $\beta_v$ ) değişimi verilmiştir. Zaman tanım alanında hesap yönteminden elde edilen taban kesme kuvvetinin, mod birleştirme yönteminden elde edilen taban kesme kuvvetine oranlanması ile elde edilen kesme kuvvet talep artışı ( $V_e/V_d$ ), perdelerin taban kesitinin eğilme kapasitesine ( $\emptyset$ -*dayanım fazlalığı katsayısı*) bölünerek  $\beta_v$  katsayısı elde edilmiştir. Böylece betondaki sargı etkisi, konstrüktif nedenler ile donatının gerekenden fazla tanımlanması ve davranış katsayısının tasarım aşamasında dikkate alınmamasından kaynaklanan dayanım fazlalığının, kesme kuvvet talep artışı üzerindeki etkisi sistemden ayrıklaştırılmıştır. Dayanım fazlalığı katsayısı ( $\emptyset$ ), perdelerin taban kesitinin moment-eğrilik ilişkisinden elde edilen kapasite momentlerinin, davranış katsayısı dikkate alınarak mod birleştirme yönteminden elde edilen taban eğilme momentlerine oranlanması ile elde edilmiştir.

$\beta_v$  kat sayısının  $H_w/L_w$  oranı ve katlara göre değişimi Şekil 5.19 ile Şekil 5.25 arasında verilmiştir.  $\beta_v$ 'nin değişimi davranış katsayısı  $R=6$  için verilmiştir. Çünkü diğer davranış katsayılarında genelde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bunun davranış katsayılarındaki değişimin, donatı tasarımı aşamasında dikkate alınmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çalışmada, sonuçlar üzerinde etkiye sahip olan donatı

oranları değişken sayısını sınırlamak amacıyla, ele alınan bütün sistemlerde Türk Deprem Yönetmeliği (2007) tasarım koşulları esas alınarak belirlenmiştir. Grafiklerde **TDY** Türk Deprem Yönetmeliğini gösterir. Türk Deprem Yönetmeliği (2007),  $\beta_v$  katsayısı için perde+çerçeveli sistemlerde 1.5, perdeli sistemlerde ise 1.0 kat sayılarını önermiştir. Grafiklerde yönetmeliğin önerdiği üst sınır 1.5 dikkate alınmıştır.

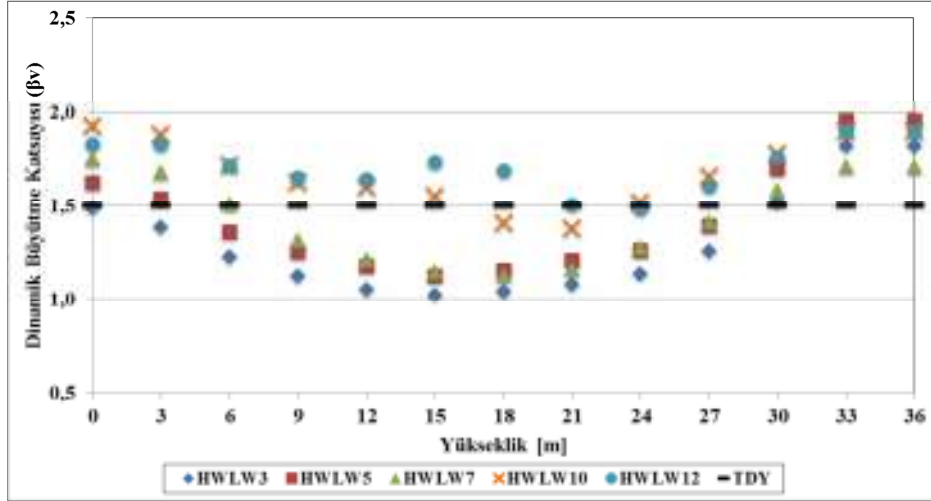


Şekil 5.19 4 katlı perde için dinamik büyütme katsayısının,  $H_W/L_W$  oranı ve katlara göre değişimi ( $R=6$ )



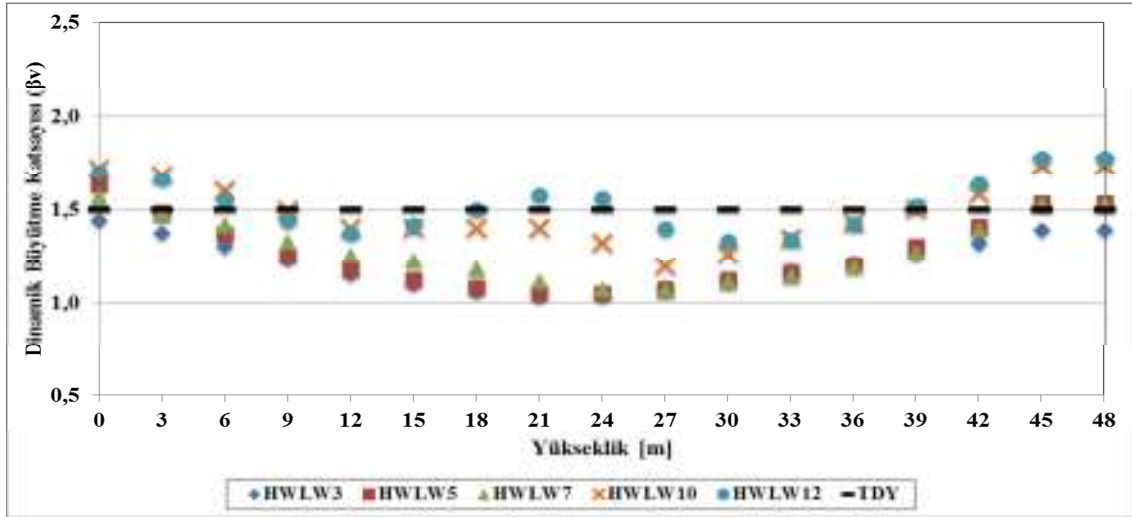
Şekil 5.20 8 katlı perde için dinamik büyütme katsayısının,  $H_W/L_W$  oranı ve katlara göre değişimi ( $R=6$ )

4 ve 8 katlı perdelerde  $\beta_v$  katsayısı dikkate alınan  $H_w/L_w$  oranları için, alt ve üst katlarda 1.5 ile 2.0 arasında değişirken, orta katlarda ise 1.0 ile 1.5 arasında değişmektedir.  $H_w/L_w$  oranı arttıkça  $\beta_v$  katsayısında artma eğilimi gözlenmiştir (Şekil 5.19-Şekil5.20). Ancak 8 katlı sistemlerde genel eğilimden farklı olarak,  $H_w/L_w$  oranı 3 olan sistemlerde, özellikle üst katlarda  $\beta_v$  katsayısı için en büyük değer elde edilmiştir (Şekil 5.20).

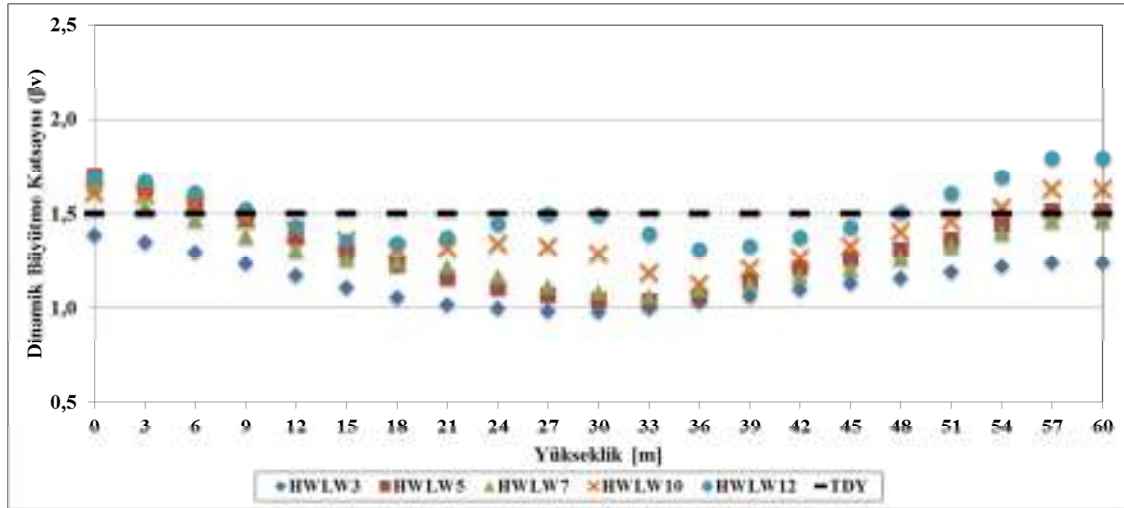


**Şekil 5.21** 12 katlı perde için dinamik büyütme katsayısının,  $H_w/L_w$  oranı ve katlara göre değişimi ( $R=6$ )

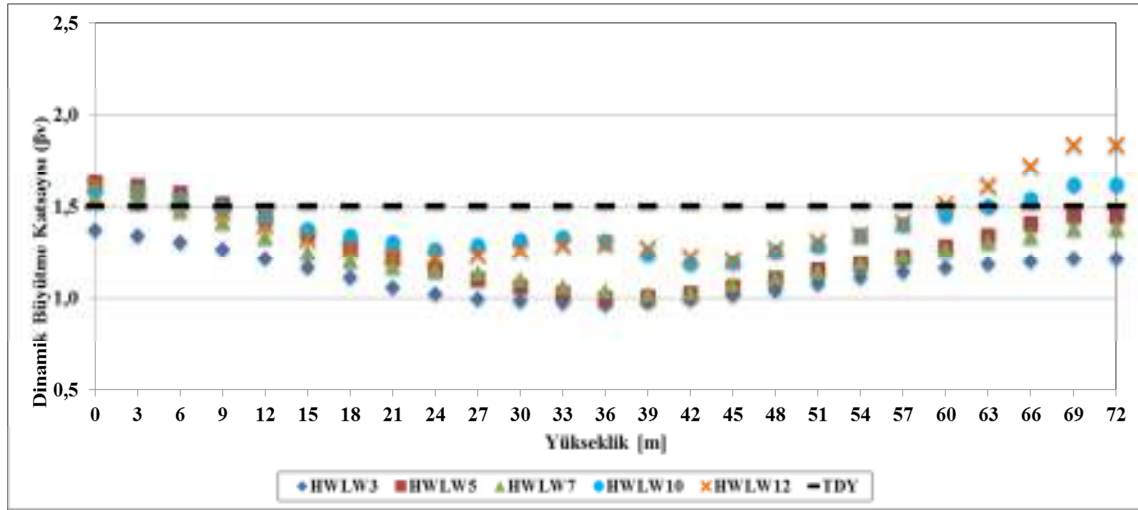
12 katlı sistemlerde  $H_w/L_w$  oranı 10 ve 12 olan sistemlerde,  $\beta_v$  katsayısının hemen hemen tüm perde yüksekliği boyunca 1.5 ile 2.0 arasında değiştiği görülmektedir.  $H_w/L_w$  oranı 5 ve 7 olan sistemlerde orta katlarda 1.5'den küçük  $\beta_v$  katsayısı elde edilirken, alt ve üst katlarda bu değer artarak 1.5 ile 2.0 arasında değişmektedir.  $H_w/L_w$  oranı 3 olan sistemlerde ise son iki kat hariç,  $\beta_v$  katsayısının 1.5'den küçük olduğu görülmektedir (Şekil 5.20).



Şekil 5.22 16 katlı perde için dinamik büyütme katsayısının,  $H_W/L_W$  oranı ve katlara göre değişimi ( $R=6$ )

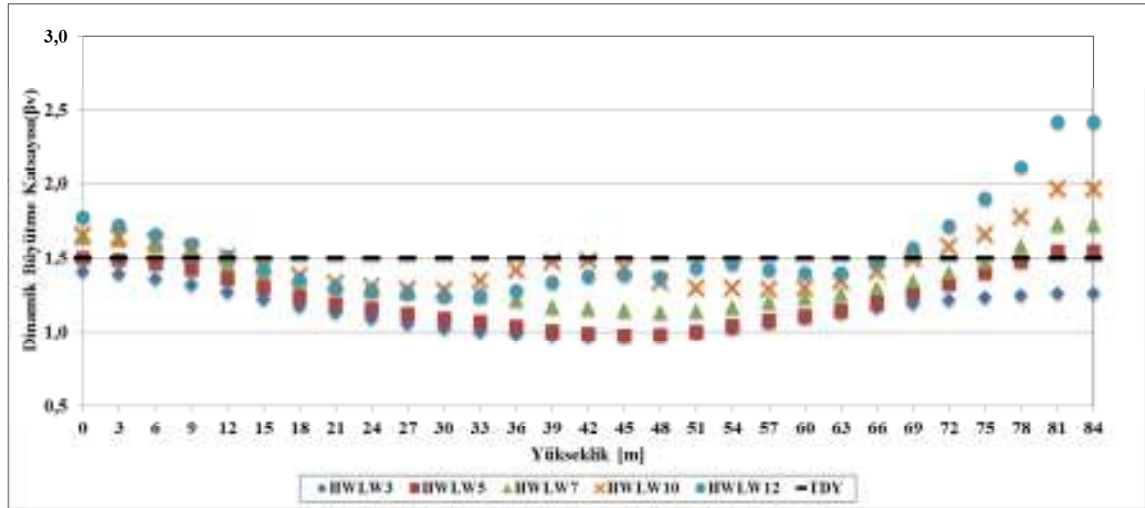


Şekil 5.23 20 katlı perde için dinamik büyütme katsayısının,  $H_W/L_W$  oranı ve katlara göre değişimi ( $R=6$ )



Şekil 5.24 24 katlı perde için dinamik büyütme katsayısının,  $H_w/L_w$  oranı ve katlara göre değişimi ( $R=6$ )

16, 20 ve 24 katlı perdelerde,  $H_w/L_w$  oranı 3 olan sistemlerde  $\beta_v$  katsayısının 1.0 ile 1.5 arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 5.22-5.24).  $H_w/L_w$  oranı 5 ile 7 olan sistemlerde ise alt katlar hariç,  $\beta_v$  katsayısının 1.5'den küçük olduğu görülmektedir (Şekil 5.22-5.24).  $H_w/L_w$  oranı 10 ve 12 olan sistemlerde alt ve üst katlarda  $\beta_v$  katsayısı 1.5'den büyük değerler alırken orta katlarda azaldığı görülmektedir (Şekil 5.22-5.24). Ancak 16 katlı sistemlerde  $H_w/L_w$  oranı 12 olan sistemlerde,  $\beta_v$  katsayısının 1.5'den büyük değerler aldığı görülmektedir (Şekil 5.22).



Şekil 5.25 28 katlı perde için dinamik büyütme katsayısının,  $H_w/L_w$  oranı ve katlara göre değişimi ( $R=6$ )

28 katlı perdelerde  $H_w/L_w$  oranı 3 ve 5 olan sistemlerde  $\beta_v$  katsayısı 1.5 den küçük değerler almaktadır (Şekil 5.25). Ancak  $H_w/L_w$  oranı arttıkça alt ve üst katlarda  $\beta_v$  katsayısının 1.5 değerini geçtiği görülmektedir (Şekil 5.25). Özellikle  $H_w/L_w$  oranı 12 olan sistemlerde üst katlarda  $\beta_v$  katsayısı 2.0 ile 2.5 arasında değişmektedir. Ayrıca  $H_w/L_w$  oranı 10 ve 12 olan sistemlerde orta katlarda  $\beta_v$  katsayısında artış eğilimi gözlenmektedir (Şekil 5.25).

Yukarıdaki grafiklerden, Türk Deprem Yönetmeliği (2007) tarafından önerilen  $\beta_v$  katsayısının, perdelerin alt ve üst katlarında aşıldığı görülmektedir. Yönetmeliğin önerdiği  $\beta_v$  katsayısı sadece  $H_w/L_w$  oranı 3 olan sistemler ile 28 katlı perdelerde  $H_w/L_w$  oranı 5 olan sistemlerde alt katlarda sağlanmıştır.  $H_w/L_w$  oranı arttıkça, yüksek modların etkisi ile orta katlarda  $\beta_v$  katsayısında artım eğilimi görülmüştür. Özellikle 12 katlı perdelerde,  $H_w/L_w$  oranı 10 ve 12 olan sistemlerde orta katlarda bile 1.5'den büyük  $\beta_v$  katsayısı elde edilmiştir.

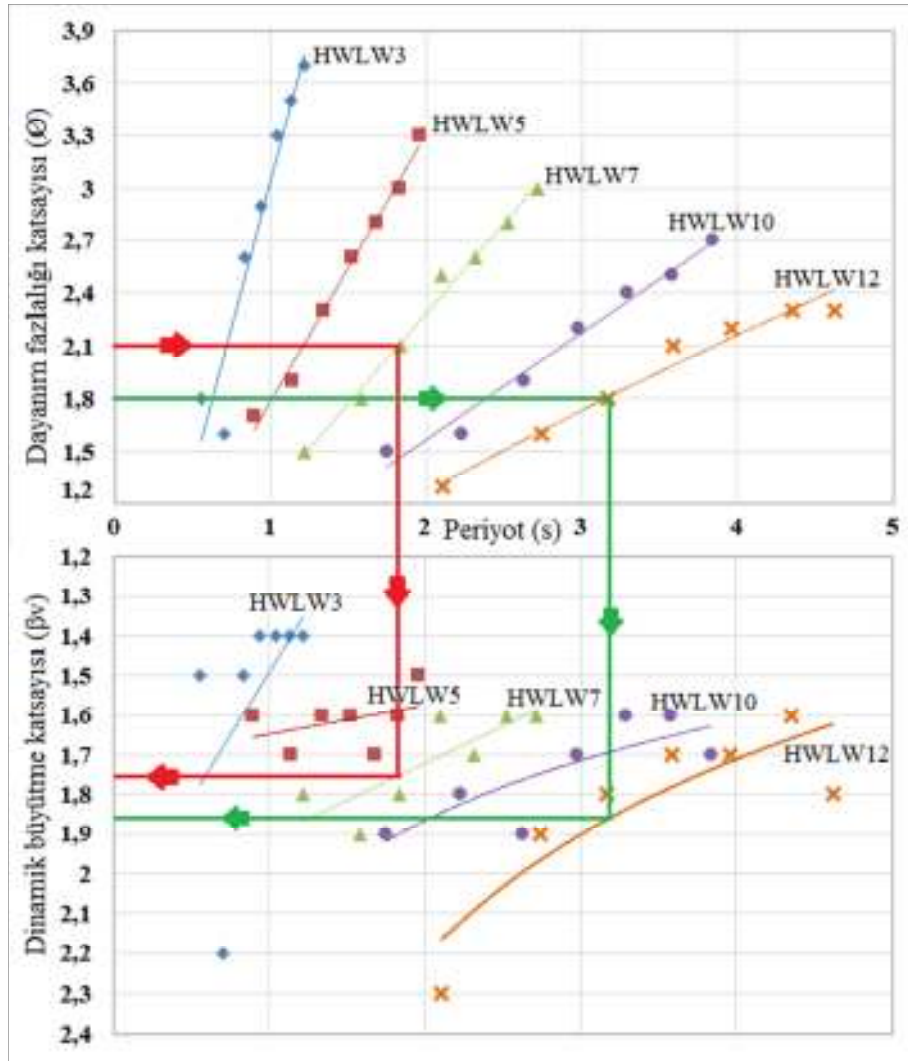
Analizler neticesinde elde edilen, kesme kuvvet talep artışı ( $V_e/V_d$ ) ve  $\beta_v$  grafikleri incelendiğinde, dayanım fazlalığı kat sayısının ( $\emptyset$ ), periyodun ( $T$ ) ve  $H_w/L_w$  oranının,  $\beta_v$  kat sayısının değişimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.  $\beta_v$  katsayısını, Türk Deprem Yönetmeliği'ndeki gibi sabit tek bir kat sayı ile ifade etmenin yetersiz olacağı düşünülmüştür. Bu amaçla çalışmada  $\beta_v$  kat sayısı için biri grafiksel tabanlı diğeri de formüle dayanan iki yaklaşım önerilmiştir.

Grafiksel tabanlı yaklaşımda, çalışmada dikkate alınan  $H_w/L_w$  oranları için  $\emptyset$ - $T$  değişim grafiği ile  $\beta_v$ - $T$  değişim grafiği,  $T$  ortak değişim ekseninde Şekil 5.26'da gösterildiği gibi birleştirilmiştir. Şekil 5.26'da öncelikle  $\beta_v$  ve  $\emptyset$ 'nin,  $H_w/L_w$  oranı ve  $T$ 'ye göre değişimleri verilmiştir ve eğilim çizgileri eklenerek ortalama değerler elde edilmiştir. Grafiksel yaklaşım ile dayanım fazlalığı kat sayısı ( $\emptyset$ ),  $T$  ve  $H_w/L_w$  oranı bilinen bir sistemin  $\beta_v$  kat sayısının bulunması amaçlanmıştır. Bu amaçla  $\emptyset$ - $T$  değişim grafiğinde, dikkate alınan  $H_w/L_w$  eğrisinde,  $\emptyset$  ile  $T$ 'nin kesişim noktasına  $\emptyset$  ekseninden yatay bir çizgi çizilir, daha sonra bu noktayı  $T$  ile birleştiren düşey bir çizgi çizilir. Düşey çizgi  $\beta_v$ - $T$  grafiğinde ilgili  $H_w/L_w$  eğrisine kadar devam ettirilir ve düşey çizginin  $H_w/L_w$  eğrisini kestiği noktadan  $\beta_v$  eksenine yatay bir çizgi çizilerek,  $\beta_v$  kat sayısı elde edilir. Örneğin  $H_w/L_w=12$ ,  $\emptyset=1.8$  ve  $T=3.2$  olan bir sistem için  $\beta_v$  yaklaşık 1.85;  $H_w/L_w=7$ ,  $\emptyset=2.1$  ve

$T=1.8$  olan bir sistem için ise  $\beta_v$  yaklaşık 1.75 olarak elde edilir. Literatürde pek kullanılmayan grafiksel yaklaşım ile özellikle  $H_w/L_w$  oranı 7,10 ve 12 olan sistemler için pratik yaklaşım sunulduğu düşünülmektedir.

Formül tabanlı ikinci yaklaşımda ise analiz sonuçları üzerinde regresyon analizi yapılarak,  $\beta_v$ 'yi, hakim periyoda ( $T$ ), dayanım fazlalığı kat sayısı ( $\phi$ ) ve  $H_w/L_w$  oranına değişkenlerine bağlı olarak veren Denklem 5.2 önerilmiştir. Regresyon analizinde korelasyon katsayısı  $R^2=0.87$  olarak elde edilmiştir.

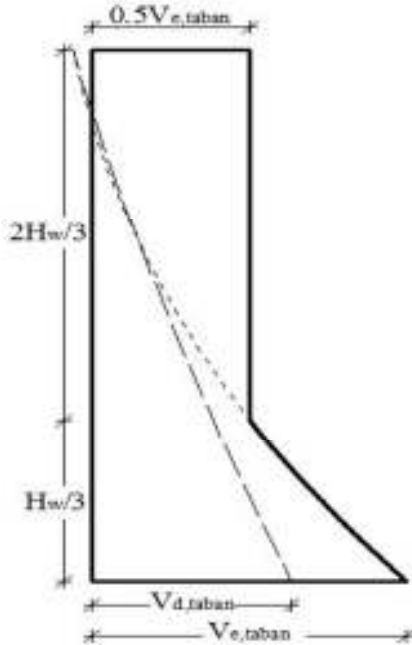
$$\beta_v = 0.90 [((H_w/L_w)^{0.10} + (T)^{0.07})/(\phi)^{0.25}] \quad (5.2)$$



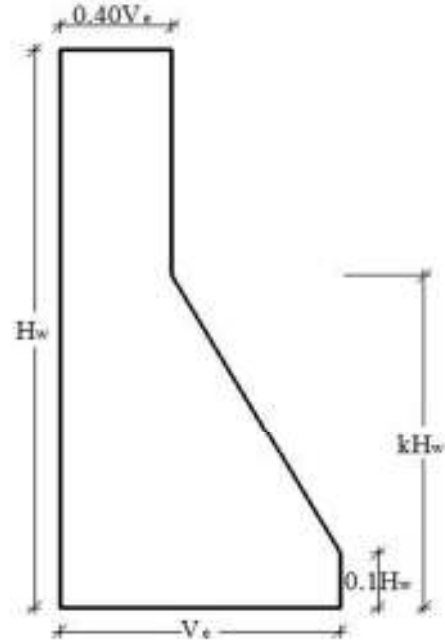
Şekil 5.26 Önerilen grafiksel yaklaşım

Ayrıca tez kapsamında yapılan sayısal çalışma neticesinde, literatürde yaygın olarak kullanılan EC8'deki kesme kuvvet dağılımı incelenmiştir (Şekil 5.27). Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak,  $H_w/L_w$  oranının etkisinin incelendiği bu çalışmada, EC8'deki kesme kuvvet dağılımlarının  $H_w/L_w$  oranı 3 olan sistemler için uygun sonuçlar verirken,  $H_w/L_w$  oranı ve kat sayısı arttıkça ise muhafazakar sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu nedenle kesme kuvvet dağılımı için literatürdeki yaklaşımlara oranla az farklılık gösteren Şekil 5.28'deki eğri önerilmiştir. Şekil 5.28'de  $V_e$  ; artırılmış kesme kuvvetini,  $H_w$  perde yüksekliğini ifade eder. Perde tabanından itibaren, literatürdeki yaygın kabule göre  $0.1H_w$  yüksekliğince kesme kuvvetinin yaklaşık taban kesme kuvvetine eşit olduğu görülmüştür. Bu yükseklikten sonra ise belirli bir yüksekliğe kadar kesme kuvvetinin doğrusal olarak azaldığı ve daha sonra ise yaklaşık sabit kaldığı görülmüştür. Kesme kuvvetinin doğrusal olarak azaldığı yüksekliğin  $T$ 'ye bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir ve dağılımda “ $k$ ” katsayısı ile ifade edilmiştir ve Denklem 5.3'de verilmiştir.

$$k = 1.0 - 0.25T \geq 0.6 \quad (5.3)$$



Şekil 5.27 EC8'de perdeler için kabul edilen kesme kuvvet dağılımı



Şekil 5.28 Konsol perdeler için önerilen kesme kuvvet dağılımı

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada dikdörtgen kesitli, konsol betonarme perdelerin tasarım kesme kuvvetleri nümerik yöntem kullanılarak incelenmiştir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında yaygın olarak kullanılan betonarme perdelerde sünek bir güç tükenmesi için kesme kuvvet kapasitesinin eğilme kapasitesinden yüksek olması gerekir. Perdelerin kesme kuvvet talebi, eğilme kapasitesinin yanı sıra yüksek modların etkisine de bağlıdır. Yüksek modların, perdelerde gevrek kırılmalara yol açacak kesme kuvvet artışlarına neden olduğu literatürde birçok çalışma ile gösterilmiştir.

Bu çalışmada perdelerin kesme kuvvet talebinde özellikle yüksek modların etkisi incelenmiştir. Literatürde yüksek modların etkisi, yapının periyoduna, süneklilik talebine ve yapıya etki eden yer hareketinin büyüklüğüne bağlı olarak incelenmiştir. Çalışmada ise periyot ve süneklilik talebine ek olarak, perde yüksekliği/plandaki boyu ( $H_w/L_w$ ) oranının yüksek modların etkinliği üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Sayısal çalışmada farklı kat sayısı ve  $H_w/L_w$  oranı dikkate alınarak üretilen dikdörtgen kesitli perdelerin, mod birleştirme yöntemi kullanılarak ve Türk Deprem Yönetmeliği (2007) esasları dikkate alınarak tasarımları yapılmıştır. Elastik analiz kullanılarak tasarlanan perdelerin, zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak, gerçek ivme kayıtları altında elastik ötesi analizleri yapılmıştır. Elastik ve elastik ötesi analizlerden elde edilen kesme kuvvetlerinin ve eğilme momentlerinin katlara göre dağılımı verilmiştir. Ayrıca elastik ötesi analizden elde edilen kat kesme kuvvetleri, elastik analizden elde edilen kat kesme kuvvetlerine oranlanarak, katlara göre kesme kuvvet talep artışları elde edilmiştir. Perdelerin taban kesitinde, moment-eğrilik ilişkisinden elde edilen kapasite momentleri elastik analizden elde edilen taban eğilme momentine oranlanarak dayanım fazlalığı katsayısı elde edilmiştir. Yüksek modların etkisini gösteren ve Türk Deprem Yönetmeliği'ndeki ifade şekli ile dinamik büyütme kat sayısı, kesme kuvvet talep artışlarının eğilme artım katsayılarına oranlanması ile elde edilmiştir.

Analizler neticesinde, Türk Deprem Yönetmeliği (2007) tarafından önerilen dinamik büyütme katsayısının ( $\beta_v$ ),  $H_w/L_w = 3$  olan perdeler dışında aşıldığı görülmüştür. Dinamik büyütme katsayısının, periyoda, dayanım fazlalığı katsayısına ve  $H_w/L_w$  oranına

bağlı olarak değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Dinamik büyütme katsayısının, periyoda, dayanım fazlalığı katsayısına ve  $H_w/L_w$  oranına bağlı olarak ifade etmenin daha gerçekçi olacağı düşünülmüştür. Bu amaçla çalışmada dinamik büyütme katsayısı için biri grafik tabanlı diğeri de formüle dayanan iki yaklaşım sunulmuştur. Grafik tabanlı yaklaşımda sistemin dayanım fazlalığı-periyod grafiğinden, dinamik büyütme katsayısı-periyod grafiğine gidilerek dinamik büyütme katsayısı elde edilir. Grafik yaklaşım özellikle  $H_w/L_w$  oranı büyük olan sistemlerde etkili ve pratik yaklaşım sunmaktadır. Literatürde pek rastlanılmayan grafik yaklaşım ile pratik çözüm sunulması hedeflenmiştir. Formüle dayanan ikinci yaklaşım ise, analiz sonuçları üzerinde yapılan regresyon analizi ile elde edilmiştir. Regresyon analizi neticesinde, dinamik büyütme katsayısını periyoda, dayanım fazlalığı katsayısına ve  $H_w/L_w$  oranına bağlı olarak ifade eden bir formül önerilmiştir. Bu yaklaşımlar çalışmada dikkate alınan kat adetleri ve dikdörtgen kesitli konsol perdeler için geçerlidir. Kat adedi ya da periyotla büyük değişim gösteren dinamik büyütme katsayısının, çalışmada dikkate alınmayan kat adetleri içinde incelenmesi gerekir.

Ayrıca sayısal çalışma neticesinde, kesme kuvvet dağılımı için bir eğri önerilmiştir. Analizler neticesinde elde edilen kesme kuvvet dağılım grafiklerinin, Türk Deprem Yönetmeliği (2007) tarafından önerilen yaklaşık üçgen yük dağılımından farklı bir yol izlediği görülmüştür. Özellikle Rutenberg ve Nsieri (2006) tarafından konsol perdeler için önerilen dağılıma benzer bir yol izledikleri tespit edilmiştir. Ancak Rutenberg ve Nsieri (2006) tarafından önerilen kesme kuvvet dağılımının kat adedi ve  $H_w/L_w$  oranı arttıkça muhafazakar sonuçlar verdiği görülmüştür. Ekonomik bir tasarım için, çalışmada dikkate alınan perdeler için kesme kuvvet dağılım eğrisi önerilmiştir.

Çalışmada çok sayıda perde incelenmesine karşın, tasarım ve modelleme aşamasında birçok kabul içermektedir. Perdelerin modellenmesinde literatürde çok yaygın olarak kullanılan davranış modeli kullanılmıştır. Ancak bu davranış modeli kesme kuvvet eğilme etkileşimini dikkate almamaktadır. Krawinkler (2006), son yıllarda perdeler üzerinde yapılan deneysel çalışmalara dayanarak, perde tabanında meydana gelen kaymanın perde davranışını önemli oranda etkilediğini ve analitik çalışmalarda dikkate alınan kesme kuvvet dağılımının, bu etki nedeni ile önemli oranda değişeceğini belirtmiştir. Çalışmanın perdelerdeki kesme kuvvet-eğilme etkileşimini dikkate alan bir perde davranış modeli ile genişletilmesi gerekir. Ayrıca çalışmada dikkate alınan perde davranış modelinin teorisi gereği, perde taban kesitinde boyuna donatılarda meydana gelen

aderans kayması dikkate alınmamıştır. Deprem gibi çevrimsel yükleme altında, sistemin son kat yer değiştirmesi üzerinde artırıcı etki gösteren bu uzama dikkate alınarak çalışma geliştirilebilir. Çalışmada betonun çekme dayanımı yakınsama problemleri ile karşılaşıldığı için ihmal edilmiştir. Çekme dayanımını dikkate alan gerçekçi bir malzeme davranış modeli ile çalışmanın geliştirilebileceği düşünülmektedir.

Ayrıca çalışmada dikdörtgen kesitli konsol perdeler dikkate alınmıştır. Perdelerin plan şekillerinin, perdelerin tepkileri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu deneysel çalışmalar ile gösterilmiştir (Thomsen ve Wallace, 1995).  $T$ ,  $L$ ,  $U$  gibi farklı geometrik şekillere sahip perdeler ile çalışmanın genişletilmesi gerektiği düşünülmektedir. Çalışmada tek bir konsol perde dikkate alınmıştır. Farklı rijitliklerde bir birine bağlı perdelerin kullanılması durumunda farklı sonuçlara ulaşılabileceği düşünülmektedir. Ayrıca deprem bölgelerinde yaygın olarak kullanılan perde+çerçeve sistemler ile bağ kirişli perdelerde de kesme kuvvet talep artışının kapsamlı bir şekilde incelenmesi gerektiği düşünülmektedir.

## 7. KAYNAKLAR

- Aoyama, H.**, 1987, Earthquake resistant design of reinforced concrete frame building with flexural wall, *Proceeding of Second U.S.–Japan Workshop on Improvement of Seismic Design and Construction Practices*, ATC 15-1, Applied Technology Council, Redwood City, pp. 101-129.
- Blakeley, R. W. G., Cooney, R.C. ve Megget, L. M.** 1975, Seismic shear loading at flexural capacity in cantilever wall structures, *Bulletin New Zealand National Society Earthquake Engineering* 8, pp. 278-290.
- Bolong, Z., Mingshun, W. ve Kunlian, Z.**, 1980, A study of hysteretic curve of reinforced concrete members under cyclic loading, *Proceeding, 7<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, V.6, Istanbul, Turkey, pp.509-516.
- Celep U.U.**, 2008, Dynamic shear amplification is seismic response of structural wall system, *Doktora Tezi, Boğaziçi University, İstanbul*.
- Celep Z.**, 2014, Betonarme taşıyıcı sistemlerde doğrusal olmayan davranış ve çözümleme, *Beta Dağıtım, İstanbul*.
- CSI, 2015**, SAP2000, Static and dynamic finite element of structures, *Computers and Structures Inc.*, Berkeley, California, USA.
- DBYBHY**, 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara*.
- Derecho, A. ve Corley W.**, 1984, Design requirements for structural walls in multistory buildings, *Proceeding Of Eighth World Conference On Earthquake Engineering*, San Francisco, California, July 1984, Vol. 5, pp.541-548.
- Eberhard, M. O. ve Sözen, M. A.**, 1993, Behavior-based method to determine design shear in earthquake-resistant walls, *Journal of Structure Engineering* , *American Society of Civil Engineers (ASCE)* Vol. 119, No. 2, pp. 619-640.
- Eibl, J. ve Keintzel E.**, 1988, Seismic shear force in RC cantilever shear walls, *Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering*, Kyoto, Japan, 2-9 August 1988, Vol. VI, pp. VI/5-VI/10.
- Ersoy U.**, 1992, 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Mühendislik raporu, *TMMOB İnşaat Müh. Odası Ankara Şubesi*.
- Ersoy U.**, 1998, Betonarme kiriş ve kolonların moment kapasitelerinin saptanması, *İMO Teknik Dergi*, Vol. 128, pp. 1781-1797.
- Ersoy U. Ve Özcebe G.**, 2004, Betonarme : Temel ilkeler TS500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) göre hesap, *Evrin Yayinevi, İstanbul*.

- Eurocode 8**, 2004, Design of Structures for Earthquake Resistance-Part I General Rules, Seismic Actions and Rules For Buildings (EN 1998-1), Comity European Normalization, Brussels.
- Filiatrault, A., D. D'Aronco ve R. Tinawi**, 1994, Seismic shear of ductile cantilever walls: A Canadian code perspective, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol.21, pp. 363-376.
- Fintel, M.**, 1995, Performance of building with shear walls in earthquake of the last thirty years, *PCI Journal*, Precast/Prestressed Concrete Institute, Vol. 40, No. 3, pp. 62-80.
- Filippou, F. C., Popov E. G. ve Bertero, V. V.**, 1983, Effect of bond deterioration on hysteretic behavior of reinforced concrete joints, *EERC Report No. UCB/EERC-83/19*, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- Ghorbanirenani I.**, 2010, Experimental and numerical investigations of higher mode effects on seismic inelastic response of reinforced concrete shear walls, Phd. Thesis, Montreal University, Canada.
- Ghosh, S. K. ve Maikivicius, V. P.**, 1990, Design of earthquake resistant shearwalls to prevent shear failure, *Proceeding of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Spring, CA. V.2.*, Earthquake Engineering Research Institute, El Cerrito, CA, pp. 905-913.
- Kabeyasawa, T.**, 1987, Ultimate-state design of reinforced concrete wall-frame structures, *Proceeding of Pacific Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand, Vol. 4, pp. 431-440.
- Kabeyasawa, T., Shiohara, H., Otani, S., ve Aoyama, H.**, 1983, Analysis of the full-scale seven-story reinforced concrete test structure, *Journal of the Faculty of Engineering*, The University of Tokyo (B), V.37, No.2, pp. 431-478.
- Kabeyasawa, T.**, 1997, Design of RC shear walls in hybrid wall system, *Proceeding, The Fourth Joint Technical Coordinating Committee*, U.S.-Japan Cooperative Seismic Research on Composite and Hybrid Structures, Monterey.
- Keintzel E.**, 1990, Seismic design shear force in RC cantilever shear wall structures, *Eur. Earthquake Eng.*, Vol: 7, pp: 7-16.
- Kent, D.C., ve Park, R.**, 1971, Flexural members with confined concrete, *Journal of the Structural Division*, ASCE, V. 97, No. ST7, pp. 1969-1990.
- Krawinkler H.**, 2006, Importance of good nonlinear analysis, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, Vol.15, pp. 515-531.
- Lowes L.**, 2014, Nonlinear Analysis of concrete wall buildings using OpenSees, *OpenSees Days 2014*, <http://opensees.berkeley.edu/>.

- Luu H.Q., Ghorbanirenani I., Leger P. ve Tremblay R.,** 2011, Structural dynamics of slender ductile reinforced concrete shear wall, *8<sup>th</sup> International Conference on Structural Dynamics*, 4-6 July, Leuven, Belgium.
- Luu H.Q., Ghorbanirenani I., Leger P. ve Tremblay R.,** 2013, Numerical modeling of slender reinforced concrete shear wall shaking table tests under high-frequency ground motions, *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 17, pp 517-542.
- Mander, J.B., Priestley, M.J.N., ve Park, R.,** 1984, Seismic design of bridge piers, *Report No: 84-2*, Department of Civil Engineering, University of Canterbury.
- Mander, J.B., Priestley, M.J.N., ve Park, R.,** 1988a, Theoretical stress-strain model for confined concrete, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 114, No. 8, pp.1804-1826.
- Mander, J.B., Priestley, M.J.N., ve Park, R.,** 1988b, Observed stress-strain model of confined concrete, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 114, No. 8, pp.1827-1849.
- Menegotto, M. ve Pinto, E.,** 1973, Method of analysis for cyclically loaded reinforced concrete plane frames including changes in geometry and non-elastic behavior of elements under combined normal force and bending, *Proceedings, IABSE Symposium on Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well-Defined Repeated Loads*, Lisbon, Portugal.
- Mohraz B., Hall W.J. ve Newmark N.M.,** 1972, A study of vertical and horizontal earthquake spectra, *Nathan M. Newmark Consulting Engineering Services, Urbana, Illinois* (AEC Report WASH-1255).
- New Zealand Standards Association,** 1982, NZS 3101 Code of Practice for the design of concrete structure (Part 1&2). Standards Association of New Zealand, Wellington.
- OpenSees,** 2008, Open System for Earthquake Engineering Simulation, Computer Program and Supporting Documentation, *Pacific Engineering Research Centre*, University of California, Berkeley.
- Özer E.,** 2007, Kapasite tasarım ilkesi ve Türk Deprem Yönetmeliği, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye.
- Paulay, T. ve Priestley, M. J. N.,** 1992, Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, *John Wiley & Sons*, New York, USA.
- Priestley M.J.N.,** 2003, Does capacity design do the job? An examination of higher mode effects in cantilever walls, *Bulletion of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, Vol. 36, No. 4.

- Rejec K., Isakovic T. ve Fischinger M.** (2012), Seismic shear force magnification in RC cantilever structural walls, designed according to Eurocode 8, *Bull. Earthquake Eng.*, vol. 10, pp 567-586.
- Rutenberg, A. ve Nsieri, E.**, 2006, The seismic shear demand in ductile cantilever wall systems and the EC8 provision, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 4:1-21.
- Saatcioglu, M. ve Razvi, S.R.**, 1992, Strength and ductility of confined concrete, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V.118, No. 6, pp. 1590-1607.
- Scott, B.D., Park, R., ve Priestley, M.J.N.**, 1982, Stress-strain behavior of concrete confined by overlapping hoops at low and high strain rates, *Journal of the American Concrete Institute*, V.79, No. 1, pp. 13-27.
- Seneviratna, K. ve Krawinkler H.**, 1994, Strength and displacement demand for seismic design of structural walls, *Proceedings of Fifth U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Chicago, Illinois, 10-14 July 1994, Vol II., pp. 181-190.
- Şahin H., Alyamaç K. E. ve Erdoğan A. S.**, 2013, Investigation of dynamic shear amplification of cantilever wall system, *2nd International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering (BCCCE'13)*, pp. 12, Tirana, Albania, 23-25 May, 2013.
- Şahin H., Alyamaç K. E. ve Erdoğan A. S.**, 2015, Deprem perdelerinin yanallı otelenmesinde perde uç bölgesinin ve donatı oranının etkisi, *Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, pp. 1205-1214, 11-15 Mayıs, İstanbul, Türkiye.
- Takeda T., Sözen M. ve Nielsen N.**, 1970, Reinforced concrete response to simulated earthquakes, *Journal of the Structural Division, American Society of Civil Engineers (ASCE)*, Vol. 96(12), pp 101-113.
- Thomsen, J. H. ve Wallace, J. W.**, 1995. Displacement –based design of RC structural wall: an experimental investigation of wall with rectangular and T-shaped cross section, *Report To The National Science Foundation*, Department Civil Engineering, University of Clarkson, Potsdam, New York.
- Vulcano, A.**, 1992, Use of wall macroscopic models in the nonlinear analysis of RC frame-wall structures, *Earthquake Engineering Tenth World Conference*, Balkema, Rotterdam.
- Wood, S. L., Wight, J. ve Moehle, J. P.**, 1987. The 1985 Chile Earthquake, observation on earthquake-resistant construction in Vina del Mar, *Structural Research Series No: 532*, University of Illinois, Urbana Illinois.
- Wallace, J. W. ve Moehle, J. P.**, 1989, The 3 March 1985 Chile Earthquake: Structural requirements for bearing wall buildings, *EERC report No: UCB/EERC-*

89/5, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.

- Wallace, J. W., Thomsen, J. H.,** 1992, Seismic design of RC structural walls. Part II: Application, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 118, No.6, pp. 1625-1644.
- Wallace, J. W.,** 1994, Seismic Ductility and detailing requirements of bearing wall buildings, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 120, No.3, pp. 863-884.
- Wallace, J. W., Thomsen, J. H.,** 1995, Seismic Ductility and detailing requirements of bearing wall buildings, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 121, No.1, pp. 88-101.
- Wallace, J. W.,** 2011, February 27, 2010 Chile Earthquake: Preliminary observation on structural performance and implication for U.S. building codes and standards, *Structures Congress 2011*.
- Yılmaz M.B.,** 2014, Perde-çerçeve betonarme sistemlerde deprem etkisi altında doğrusal olmayan davranışın incelenmesi, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Zhu T.J., Tso W.K. ve Heidebrecht A.C.,** 1988a, Effect of peak ground a/v ratio on structural damage, *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 114, No. 5, pp. 1019-1037.

## EKLER

### EK A: Lif Kesitli Kiriş-Kolon Eleman İçin Denklemler

Lif kesitli kiriş-kolon eleman modelinin formülleri hibrid sonlu eleman formüllerine dayanır. Elemanın kuvvet-yer değiştirme ilişkisini elde etmek, kesit-şekil değiştirme ilişkisinin ve denge denklemlerinin integraline dayanan iki alanlı hibrid metot kullanılır (Zienkiewicz ve Taylor, 1989).

$$\Delta d^i(x) = a(x)\Delta q^i \quad \text{A.1}$$

$$D^i(x) = b(x).Q^i \quad \text{A.2}$$

$$\Delta D^i(x) = b(x).\Delta Q^i \quad \text{A.3}$$

Yukarıdaki denklemlerdeki;  $a(x)$  ve  $b(x)$  sırasıyla deformasyon ve kuvvet enterpolasyon matrisini,  $D^i(x)$  ve  $d^i(x)$  sırasıyla kesit kuvvet ve şekil değiştirme vektörünü,  $Q^i$  ve  $q^i$  ise sırasıyla eleman kuvvet ve yer değiştirme vektörünü gösterir.  $\Delta$  ise kuvvet ve yer değişmelerdeki artışı temsil eder. Denklemlerdeki üst simge “ $i$ ”, Newton-Raphson iterasyonunun  $i$ . adımını temsil eder ve bu iterasyonlar uygulanan yük ile iç kuvvetler arasında, toleranslar dahilinde denge sağlanıncaya kadar devam eder (Zienkiewicz ve Taylor, 1989). Hibrid sonlu eleman metodunda, şekil değiştirme enterpolasyon matrisi  $a(x)$ , kuvvet enterpolasyon matrisi  $b(x)$ ’den tamamen bağımsızdır. Ancak Taucer vd. (1991),  $a(x)$ ’in aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi esnekliğe bağlı şekil fonksiyonu olarak seçilmesinin, eleman formüllerini oldukça basitleştireceğini tespit etmişlerdir. Taucer vd. (1991), bu seçimin hibrid sonlu eleman metodunu esnekliğe dayalı sonlu eleman metoduna indirgediğini göstermişlerdir.

$$a(x) = f^{i-1}(x).b(x).[F^{i-1}]^{-1} \quad \text{A.4}$$

A.4 denklemindeki  $f^{i-1}(x)$  ve  $[F^{i-1}]^{-1}$  sırasıyla, bir önceki iterasyon adımıdaki kesit esneklik matrisini ve eleman rijitlik matrisini temsil eder. Bu durumda kesit şekil değiştirmesi ile eleman yer değiştirmesi arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi ifade edilir (Taucer vd.,1991).

$$\Delta d^i(x) = f^{i-1}(x).b(x).[F^{i-1}]^{-1}.\Delta q^i \quad A.5$$

Modelde eleman kuvveti elastik iki eğilme momenti ile sabit aksenal yükü gösterecek şekilde seçilir. Bunun sonucunda kuvvet enterpolasyon matrisi  $b(x)$  aşağıdaki şekilde olur.  $b(x)$  matrisi denklemler A.2 ve A.3'de de gösterildiği gibi, eleman kuvveti ile kesit kuvveti arasında bağlantı kurar.

$$b(x) = \begin{bmatrix} \left(\frac{x}{L}-1\right) & \left(\frac{x}{L}\right) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \left(\frac{x}{L}-1\right) & \left(\frac{x}{L}\right) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A.6$$

$a(x)$  matrisinin esnekliğe bağlı bir şekil fonksiyonu olarak seçilmesi ile elemana uygulana uygulanan dengelenmemiş yük ( $P-Q^{i-1}$ ) ile eleman şekil değiştirme artışı ( $\Delta q^i$ ) arasında aşağıdaki bağıntı kurulur. Bu durumda iki alanlı hibrid sonlu eleman yöntemi esnekliğe dayanan sonlu eleman yöntemine indirgenmiş olur (Taucer vd.,1991).

$$[F^{i-1}]^{-1}.\Delta q^i = P - Q^{i-1} \quad A.7$$

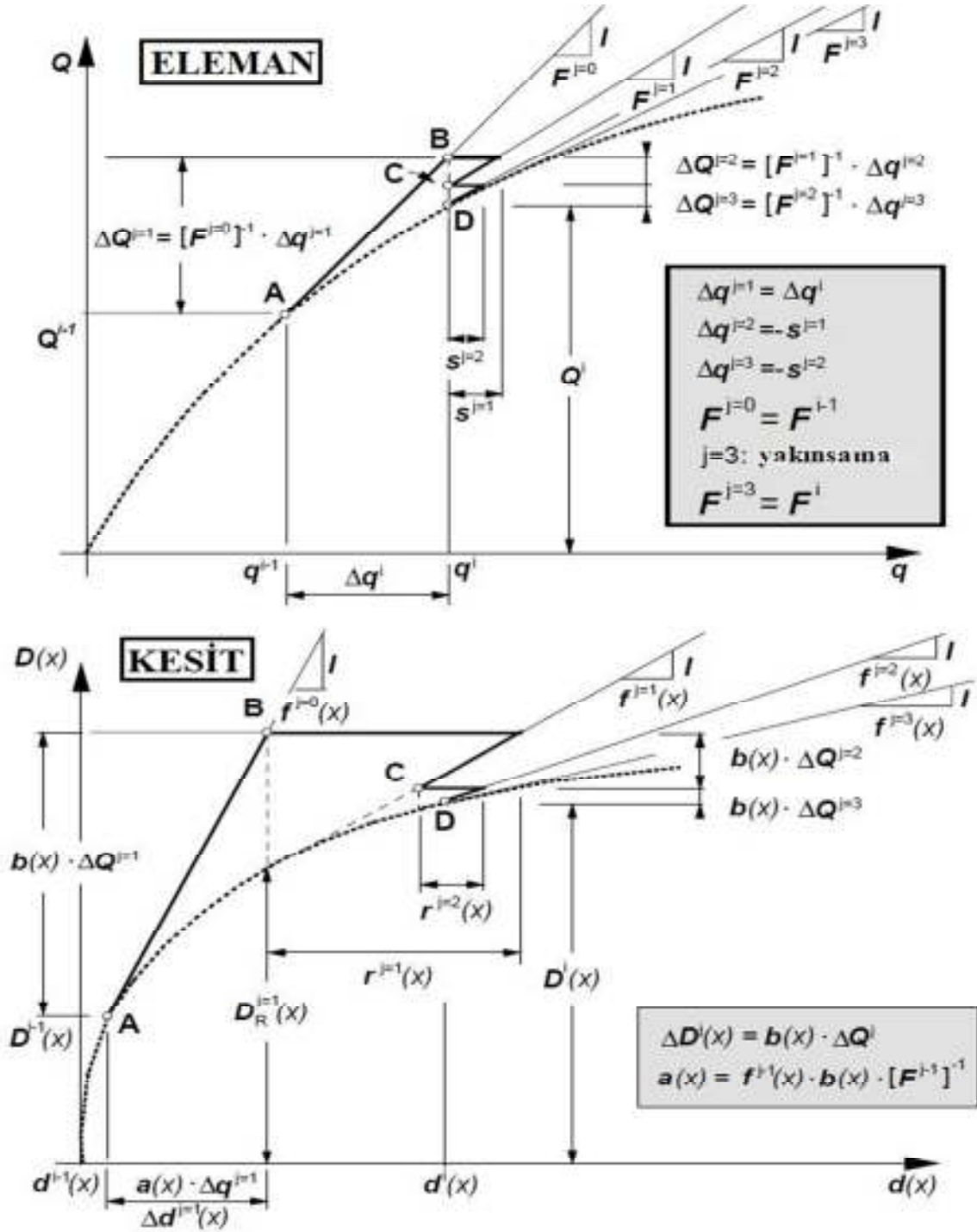
Bu modelde elemanın yer değiştirmesine karşılık gelen dayanım kuvveti (*state determination*), Taucer vd. (1991) tarafından önerilen kiriş-kolon elemana benzer şekilde bulunur (Şekil A.1). Bu modelde kiriş-kolon elemandan farklı olarak, kesitin kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi liflerin gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisinden elde edilir. Bu durumda mevcut işlem adımları, liflerin gerilme-birim şekil değişikliğini yansıtan birkaç adım eklenerek tekrarlanır. Kesitin kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi belirlendikten sonra, kesitin mevcut adımdaki rijitliği  $k^j(x)$ , kesit kuvveti  $D^j(x)$  ve kesit şekil değiştirmesinden ( $dj(x)$ ) elde edilir. Fiber elemanlardaki birim şekil değiştirme artışı ( $\Delta e^j(x)$ ) ve mevcut iterasyon adımıdaki birim şekil değiştirme ( $e^j(x)$ ), kesit gerilme artışından  $\Delta d^j(x)$  ve Denklem 3.8'de verilen elastik geometrik matrisden  $I(x)$  aşağıdaki bağıntı yardımıyla elde edilir (Taucer vd.,1991).

$$\Delta e^j(x) = I(x) \cdot \Delta d^j(x)$$

A.8

$$e^j(x) = e^{j-1}(x) + \Delta e^j(x)$$

A.9



Şekil A.1 Eleman ve kesit seviyesinde kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi (*state determination*), Taucer vd. (1991).

Liflerin yeni gerilmeleri  $\sigma_{ifib}^j$  ile elastisite modülleri  $E_{ifib}^j$ , gerilme-birim şekil değiştirmesinden elde edilir. Lif gerilmeleri  $E_j$  vektöründe, elastisite modülleri ise  $E_{tan}^j$  matrisinde toplanır. Lif alanlarını ( $A_{fib}^i$ ) gösteren  $A$  diyagonal matrisi ile  $I(x)$  matrisi kullanılarak yeni rijitlik matrisi ( $k^j(x)$ ) elde edilir (Denklem A.10).

$$k^j(x) = I^T(x) \cdot (E_{tan}^j A) \cdot I(x) \quad A.10$$

Çarpım sonucu  $k^j(x)$  aşağıdaki gibi olur.

$$k^j(x) = \begin{bmatrix} \sum_{ifib=1}^{n(x)} E_{ifib}^j A_{ifib} y_{ifib}^2 & \sum_{ifib=1}^{n(x)} E_{ifib}^j A_{ifib} y_{ifib} z_{ifib} & - \sum_{ifib=1}^{n(x)} E_{ifib}^j A_{ifib} y_{ifib} \\ \sum_{ifib=1}^{n(x)} E_{ifib}^j A_{ifib} y_{ifib} z_{ifib} & \sum_{ifib=1}^{n(x)} E_{ifib}^j A_{ifib} z_{ifib}^2 & \sum_{ifib=1}^{n(x)} E_{ifib}^j A_{ifib} z_{ifib} \\ - \sum_{ifib=1}^{n(x)} E_{ifib}^j A_{ifib} y_{ifib} & \sum_{ifib=1}^{n(x)} E_{ifib}^j A_{ifib} z_{ifib} & \sum_{ifib=1}^{n(x)} E_{ifib}^j A_{ifib} \end{bmatrix}$$

Kesit dayanım kuvveti ( $D_R^j(x)$ ); liflerin aksel kuvvet ve eğilme momentlerinin toplamından elde edilir (Denklem A.11).

$$D_R^j(x) = I^T(x) \cdot A \cdot E^j \quad A.11$$

Çarpım sonucunda  $D_R^j(x)$ ; aşağıdaki gibi elde edilir.

$$D_R^j(x) = \begin{Bmatrix} - \sum_{ifib=1}^n \sigma_{ifib}^j A_{ifib} y_{ifib} \\ \sum_{ifib=1}^n \sigma_{ifib}^j A_{ifib} z_{ifib} \\ \sum_{ifib=1}^n \sigma_{ifib}^j A_{fib} \end{Bmatrix}$$

Konunun daha iyi anlaşılabilmesi için, lif kesitli kiriş-kolon eleman modelin Taucer vd. (1991) tarafından özetlenmiş işlem adımları aşağıda verilmiştir.

- 1) Öncelikle, i. Newton-Raphson iterasyon adımı için, seçilen yük adımı ( $\Delta P_E^i$ ) için bir önceki iterasyon adımının sonundaki yapı rijitlik matrisi ( $K_s^{i-1}$ ) kullanılarak, yapı yer değiştirme artışı ( $\Delta p^i$ ) aşağıdaki bağıntılar ile hesaplanır.

$$K_s^{i-1} \cdot \Delta p^i = \Delta P_E^i \quad \text{A.12}$$

$$p^i = p^{i-1} + \Delta p^i \quad \text{A.13}$$

- 2) Eleman şekil değiştirme artışı ( $\Delta q^i$ ) ve mevcut iterasyon adımındaki eleman şekil değiştirmesinden ( $q^i$ ) hesaplanır.

$$\Delta q^i = L_{ele} \cdot \Delta p^i \quad \text{A.14}$$

$$q^i = q^{i-1} + \Delta q^i \quad \text{A.15}$$

*L<sub>ele</sub>: Yapı yer değiştirmesi ile eleman şekil değiştirmesi arasında bağlantı kuran matristir.*

- 3) Lif elemanların gerilmelerinin elde edilmesi için “j” simgesi ile tanımlanan iterasyon döngüsü, j=1 için başlatılır.
- 4) Eleman kuvvet artışı ( $\Delta Q^j$ ) hesaplanır. j=1 için  $K^0 = K^{i-1}$  ve  $\Delta q^1 = \Delta q^i$  eşitliği dikkate alınırken j>1 için ise  $\Delta q^j$  bir önceki iterasyon adımındaki kalıcı eleman şekil değiştirmelerine eşittir.

$$\Delta Q^j = K^{j-1} \cdot \Delta q^j \quad \text{A.16}$$

- 5) Mevcut iterasyon adımındaki eleman kuvveti ( $Q^j$ ) hesaplanır. j=1 için  $Q^0 = Q^{i-1}$  alınır, yani bir önceki (i-1) Newton-Raphson iterasyon adımının sonundaki kuvvet alınır.

$$Q^j = Q^{j-1} + \Delta Q^j \quad \text{A.17}$$

- 6) Kuvvet enterpolasyon matrisi b(x) kullanılarak kesit kuvvet artışı ( $\Delta D^j(x)$ ) ve mevcut adımdaki kesit kuvveti ( $D^j(x)$ ) hesaplanır.

$$\Delta D^j(x) = b(x) \Delta Q^j \quad \text{A.18}$$

$$D^j(x) = D^{j-1}(x) + \Delta D^j(x) \quad \text{A.19}$$

- 7) Kesit şekil değiştirme artışı ( $\Delta d^j(x)$ ), bir önceki iterasyon adımıdaki kesit kalıcı şekil değiştirmesine ( $r^{j-1}(x)$ ), kesit kuvvet artışından ( $\Delta D^j(x)$ ) kaynaklanan şekil değiştirme artışının eklenmesi ile elde edilir.  $\Delta d^j(x)$ 'i elde edildikten sonra mevcut iterasyon adımıdaki kesit şekil değiştirmesi ( $d^j(x)$ ) hesaplanır.

$$\Delta d^j(x) = f^{j-1}(x) \cdot \Delta D^j(x) + r^{j-1}(x) \quad \text{A.20}$$

$$d^j(x) = d^{j-1}(x) + \Delta d^j(x) \quad \text{A.21}$$

- 8) Kesit şekil değiştirme artışı ( $\Delta d^j(x)$ ) ve elastik geometrik matrisi ( $I(x)$ ) kullanılarak lif elemanların birim şekil değiştirme artışı ( $\Delta e^j(x)$ ) hesaplanır.  $\Delta e^j(x)$  hesaplandıktan sonra mevcut işlem adımıdaki lif elemanların birim şekil değiştirmesi ( $e^j(x)$ ) bulunur.

$$\Delta e^j(x) = I(x) \cdot \Delta d^j(x) \quad \text{A.22}$$

$$e^j(x) = e^{j-1}(x) + \Delta e^j(x) \quad \text{A.23}$$

- 9) Lifler için seçilen malzeme davranış modellerinden, liflerin bir önceki iterasyon adımıdaki gerilme ( $\sigma^{j-1}_{ifib}$ ), birim şekil değiştirme ( $\varepsilon^{j-1}_{ifib}$ ) ve mevcut iterasyon adımıdaki şekil değiştirme artışı ( $\Delta \varepsilon^j_{ifib}$ ) kullanılarak, liflerin gerilme ( $\sigma^j_{ifib}(x, y_i, z_i)$ ) ve elastisite modülü ( $E^j_{ifib}(x)$ ) hesaplanır.

- 10) Kesitin rijitlik matrisi ( $k^j(x)$ ) ve esneklik matrisi ( $f^j(x)$ ) hesaplanır.

$$k^j(x) = I^T(x) \cdot (E^j_{tan} A) \cdot I(x) \quad \text{A.24}$$

$$f^j(x) = [k^j(x)]^{-1} \quad \text{A.25}$$

- 11) Liflerin eksenel kuvvet ve eğilme momentlerinden, kesit dayanım kuvveti ( $D^j_R(x)$ ) hesaplanır.

$$D^j_R(x) = I^T(x) \cdot A \cdot E^j \quad \text{A.26}$$

- 12) Kesite uygulanan kuvvet ( $D^j(x)$ ) ile kesit dayanım kuvveti ( $D^j_R(x)$ ) arasındaki farkı temsil eden kesit dengelenmemiş kuvveti ( $D^j_U(x)$ ) hesaplanır.

$$D_U^j(x) = D^j(x) - D_R^j(x) \quad \text{A.27}$$

- 13) Kesit dengelenmemiş kuvveti ( $D_U^j(x)$ ) ve esnekliği ( $f^j(x)$ ) kullanılarak kesit kalıcı şekil değiştirmesi ( $r^j(x)$ ) bulunur.

$$r^j(x) = f^j(x).D_U^j(x) \quad \text{A.28}$$

- 14) Kesitin esneklik matrisinin ( $f^j(x)$ ) integralinden eleman esneklik matrisi ( $F^j$ ) hesaplanır.  $F^j$ 'nin tersi alınarak eleman rijitlik matrisi ( $K^j$ ) bulunur.

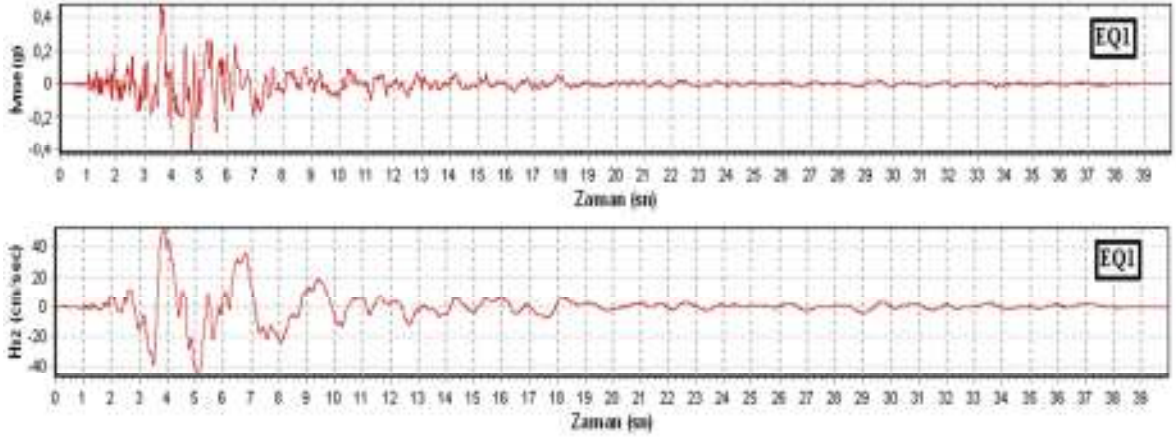
$$F^j = \left[ \int_0^L b^T(x).f^j(x).b(x).dx \right] \quad \text{A.29}$$

$$K^j = [F^j]^{-1} \quad \text{A.30}$$

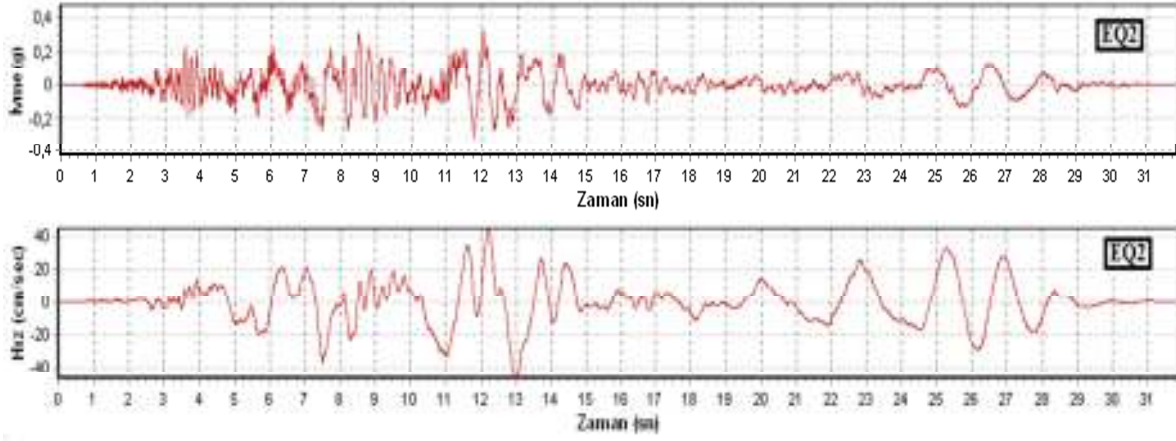
- 15) Eleman seviyesinde yakınsamanın sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir.  $Q^i=Q^j$  ve  $K^i=K^j$  sağlanırsa “j” iterasyon adımı tamamlanır yapının dayanım kuvveti ve rijitliği hesaplanır. Aksi taktirde eleman kalıcı şekil değiştirmesi ( $s^j$ ) hesaplanarak, “j+1” iterasyon adımına geçilir ve bu iterasyon adımında  $\Delta q^{j+1}=-s^j$  alınarak (4) ve (15) arasındaki adımlar yakınsama sağlanıncaya kadar tekrarlanır.

$$s^j = \left[ \int_0^L b^T(x).r^j(x).d(x) \right] \quad \text{A.31}$$

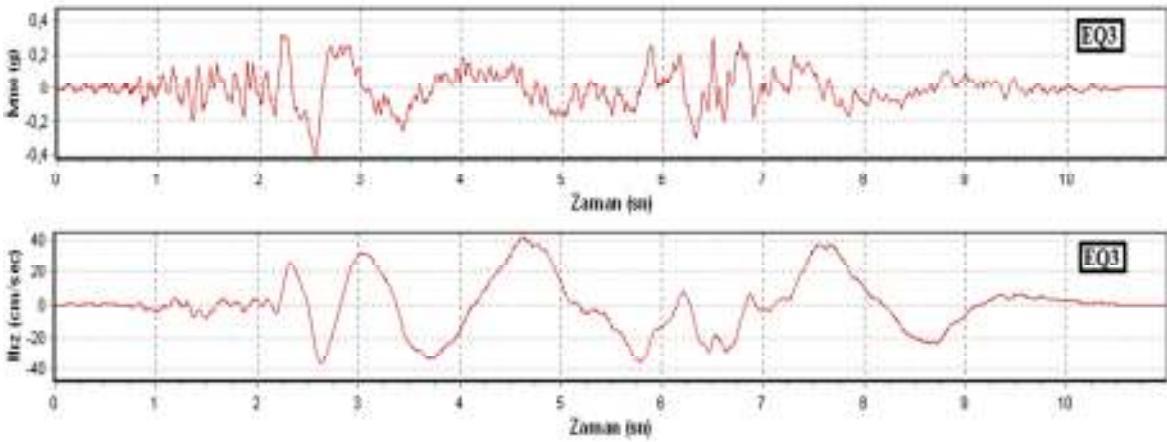
## EK B : Ölçeklenmiş Deprem İvme Kayıtları



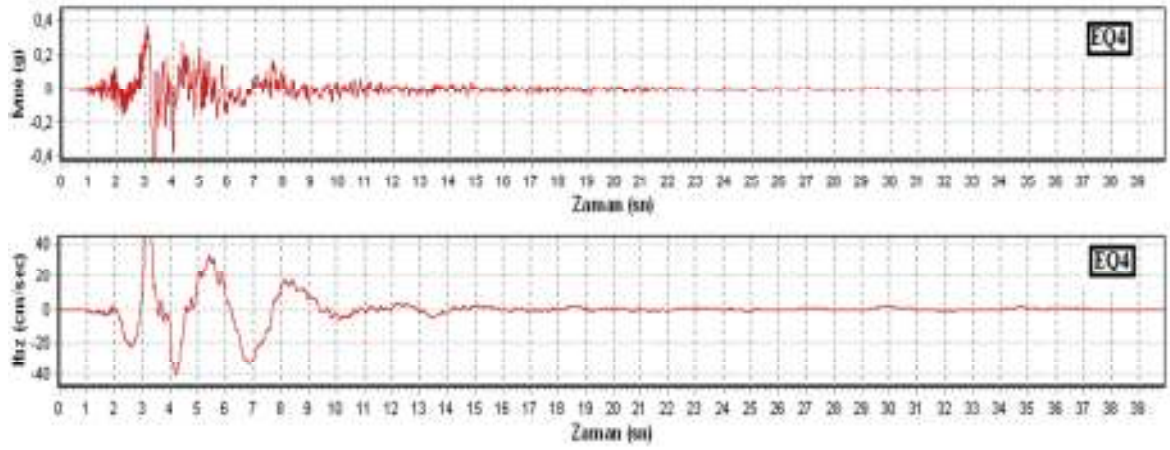
Şekil B.1 EQ1 deprem kaydı için ölçeklenmiş  $\ddot{u}_g(t)$  ve  $\dot{u}_g(t)$  değişimi



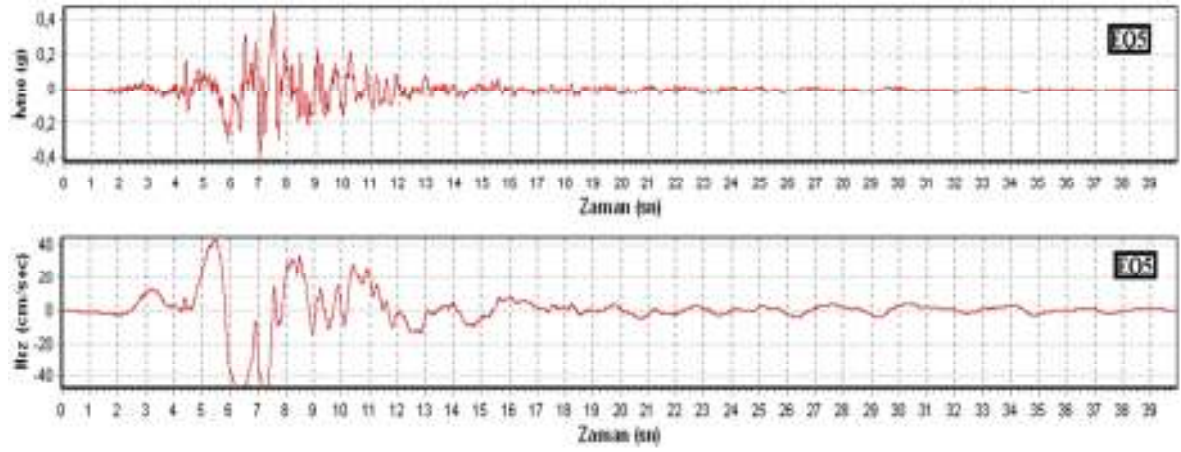
Şekil B.2 EQ2 deprem kaydı için ölçeklenmiş  $\ddot{u}_g(t)$  ve  $\dot{u}_g(t)$  değişimi



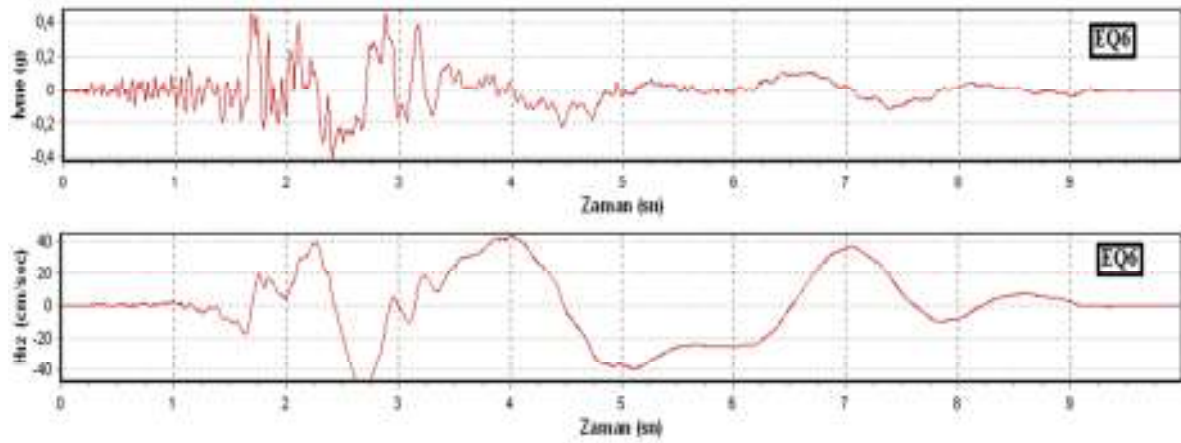
Şekil B.3 EQ3 deprem kaydı için ölçeklenmiş  $\ddot{u}_g(t)$  ve  $\dot{u}_g(t)$  değişimi



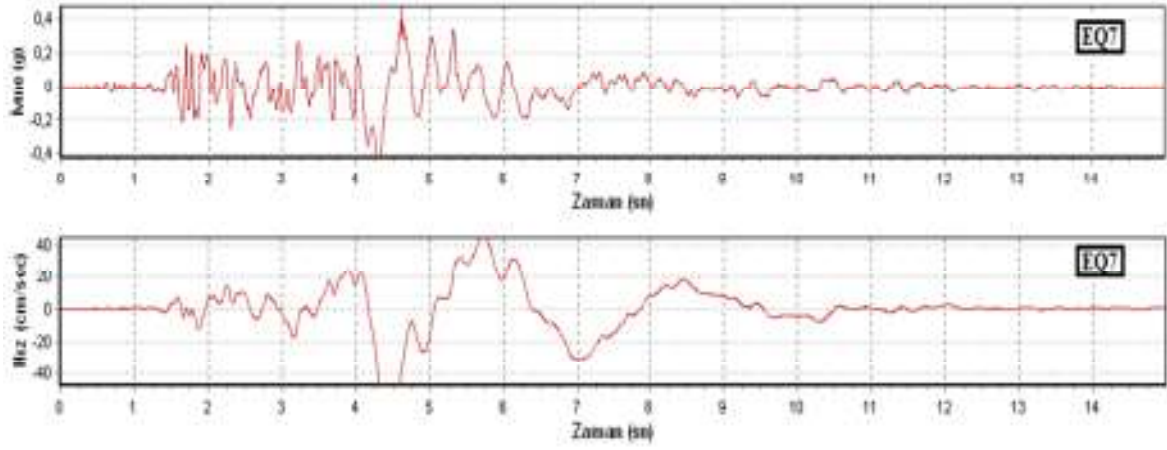
Şekil B.4 EQ4 deprem kaydı için ölçeklenmiş  $u_g(t)$  ve  $u_g'(t)$  değişimi



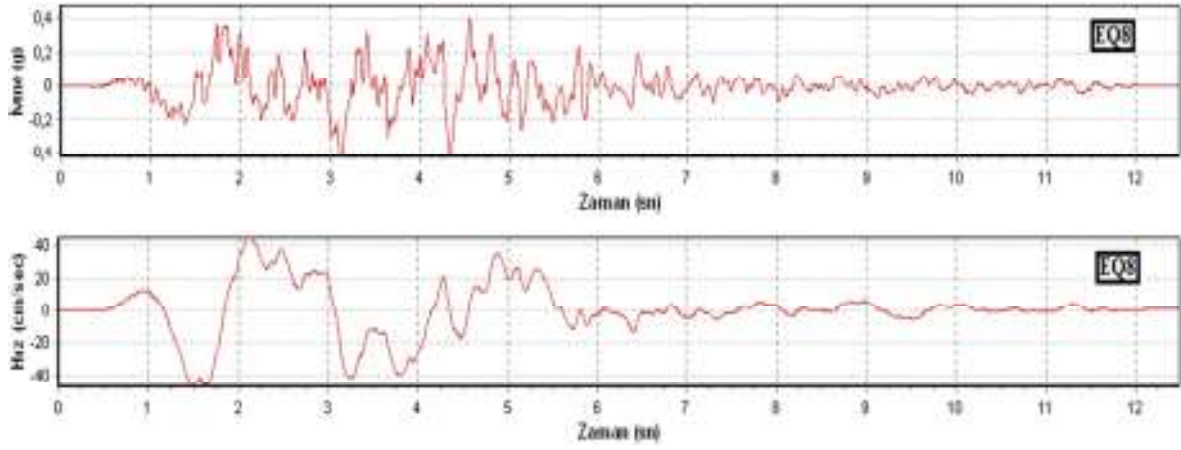
Şekil B.5 EQ5 deprem kaydı için ölçeklenmiş  $u_g(t)$  ve  $u_g'(t)$  değişimi



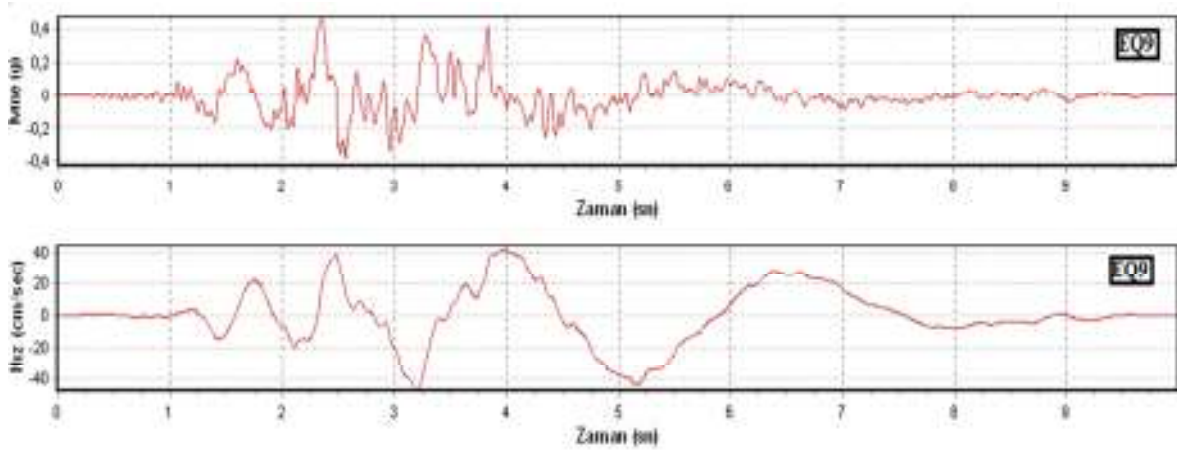
Şekil B.6 EQ6 deprem kaydı için ölçeklenmiş  $u_g(t)$  ve  $u_g'(t)$  değişimi



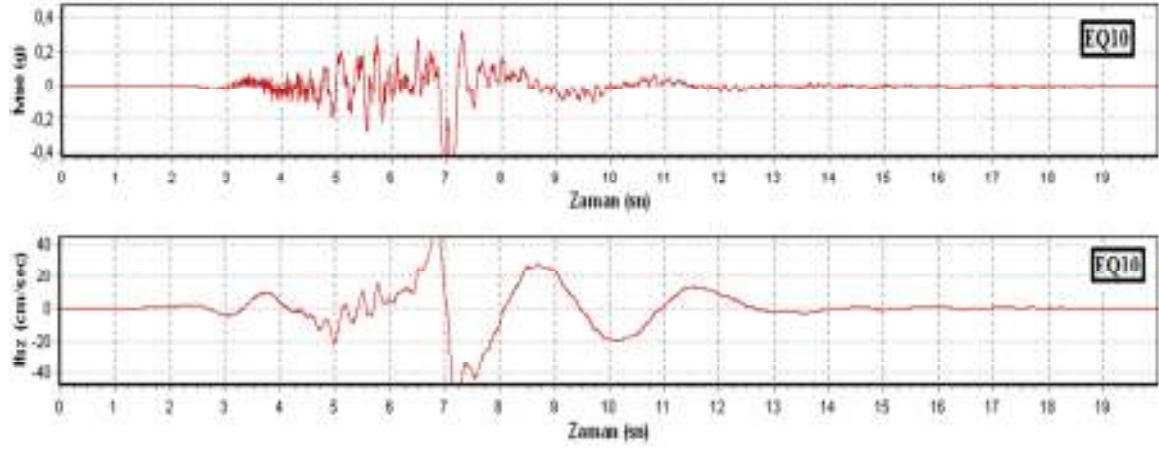
Şekil B.7 EQ7 deprem kaydı için ölçeklenmiş  $\ddot{u}_g(t)$  ve  $\dot{u}_g(t)$  değişimi



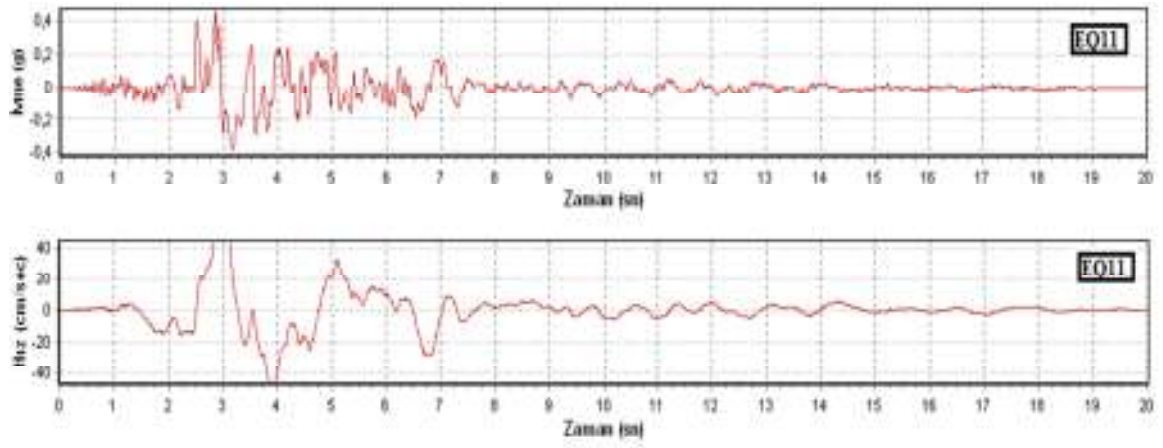
Şekil B.8 EQ8 deprem kaydı için ölçeklenmiş  $\ddot{u}_g(t)$  ve  $\dot{u}_g(t)$  değişimi



Şekil B.9 EQ9 deprem kaydı için ölçeklenmiş  $\ddot{u}_g(t)$  ve  $\dot{u}_g(t)$  değişimi

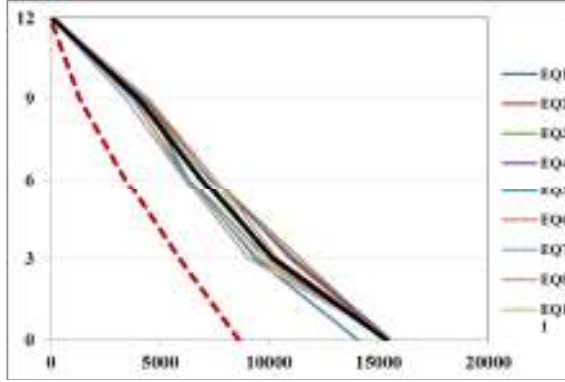


Şekil B.10 EQ10 deprem kaydı için ölçeklenmiş  $\ddot{u}_g(t)$  ve  $\dot{u}_g(t)$  değişimi

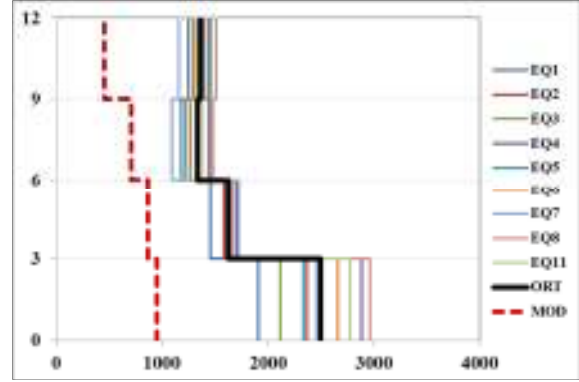


Şekil B.11 EQ11 deprem kaydı için ölçeklenmiş  $\ddot{u}_g(t)$  ve  $\dot{u}_g(t)$  değişimi

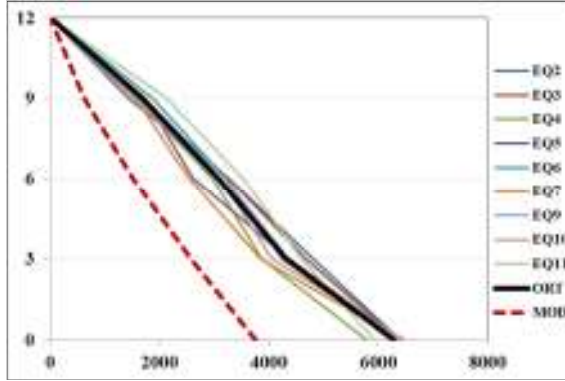
**EK C: Sistemlerin moment ve kesme kuvvet grafikleri.**



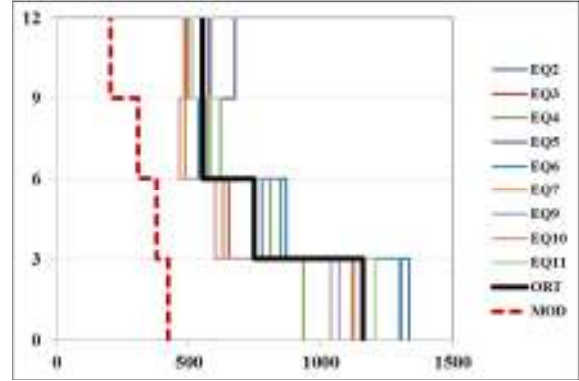
(a) moment dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



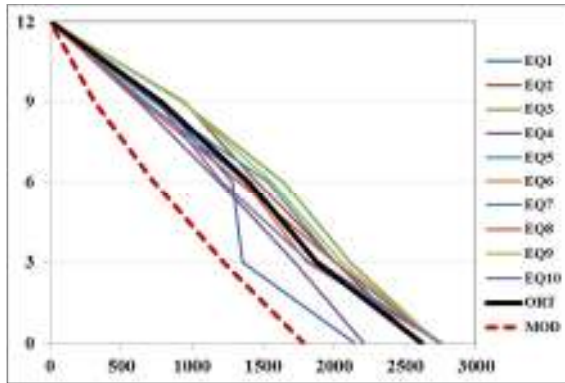
(b) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



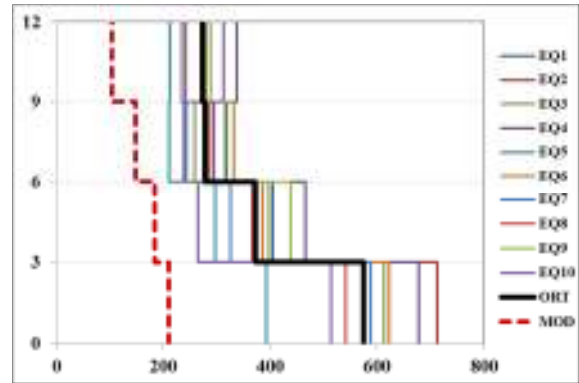
(c) moment dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



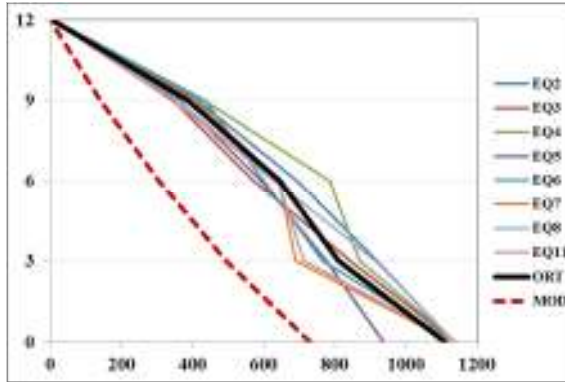
(d) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



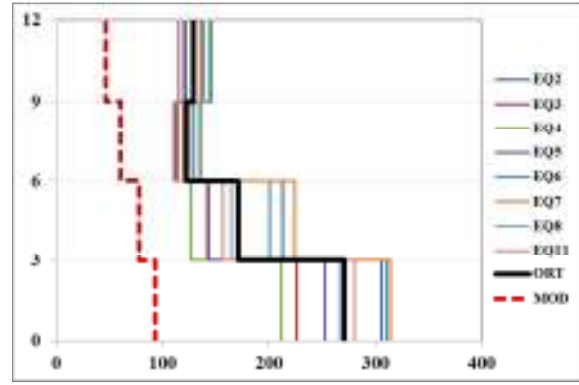
(e) moment dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



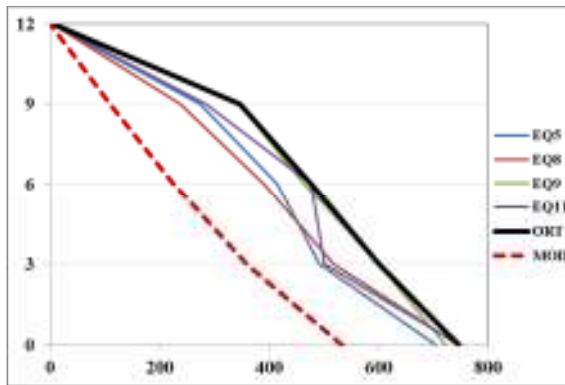
(f) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



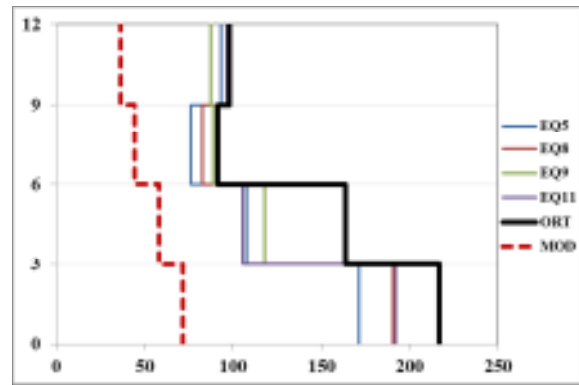
(g) moment dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )



(h) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )

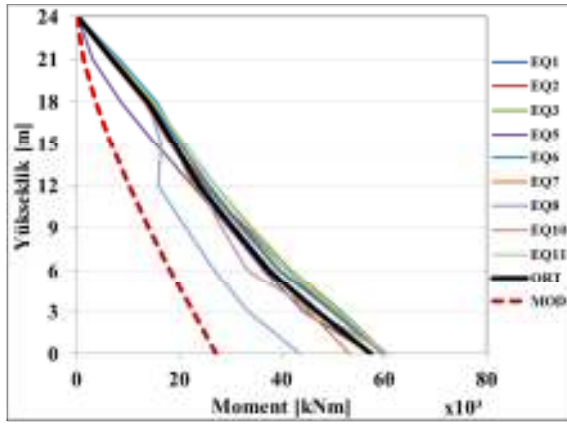


(i) moment dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

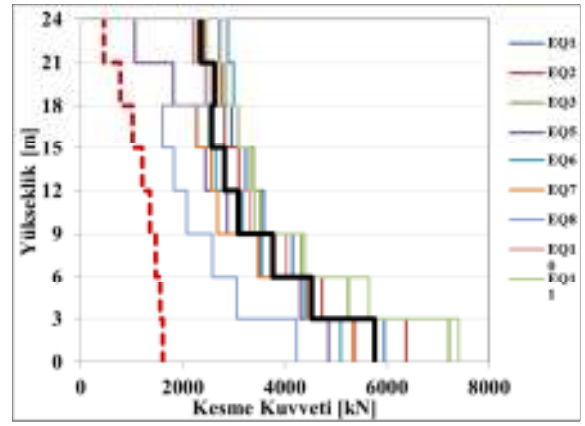


(j) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

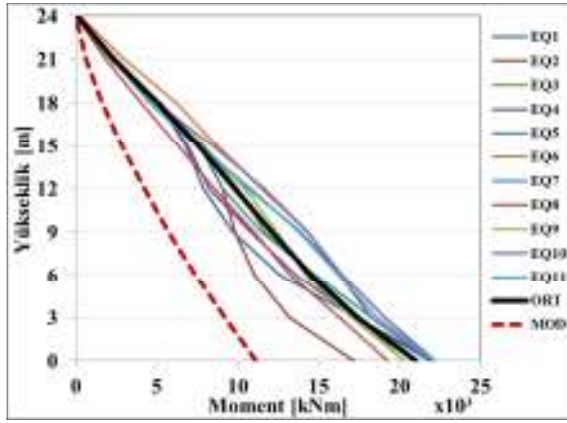
Şekil C. 1 4 katlı perdeler için eğilme momenti ve kesme kuvveti dağılımı ( $R=6$ )



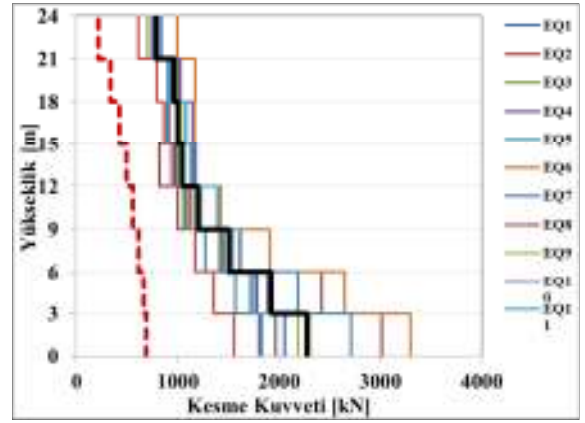
(a) moment dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



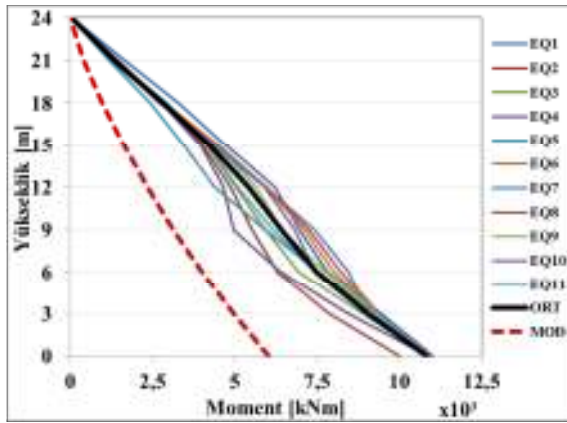
(b) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



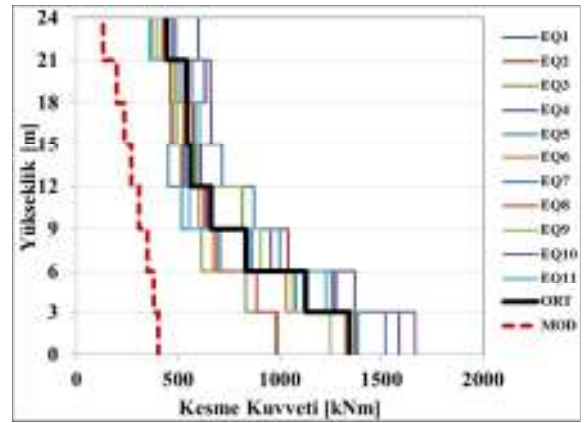
(c) moment dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



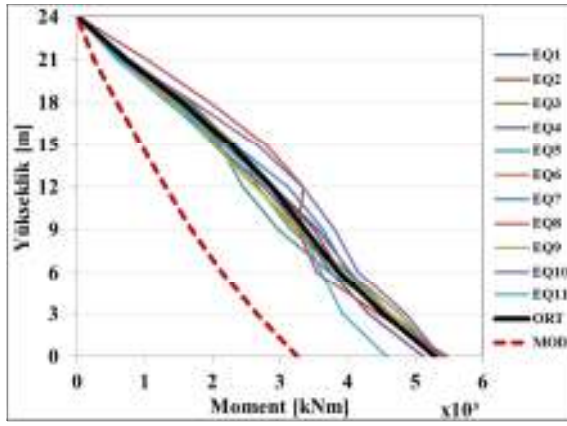
(d) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



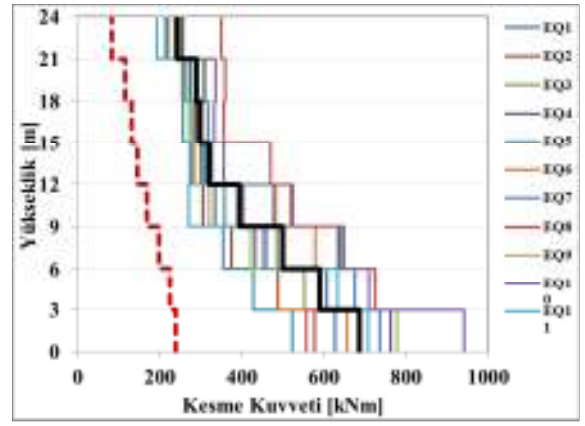
(e) moment dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



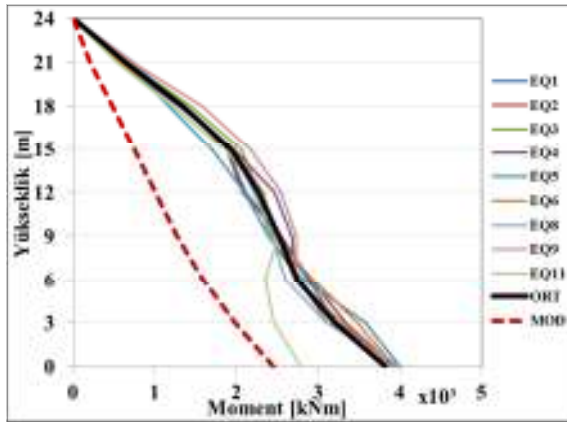
(f) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



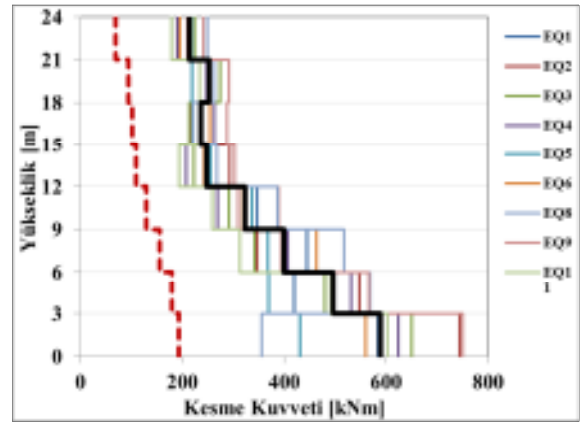
(g) moment dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )



(h) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )

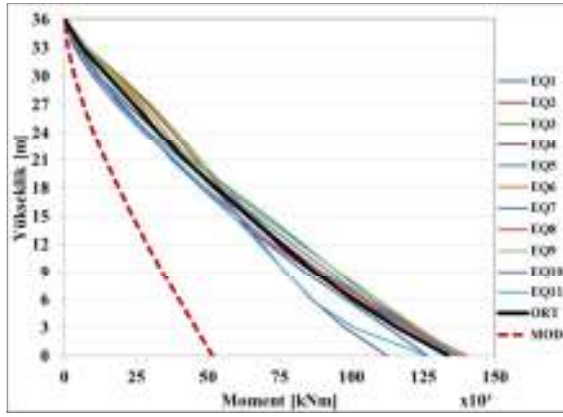


(i) moment dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

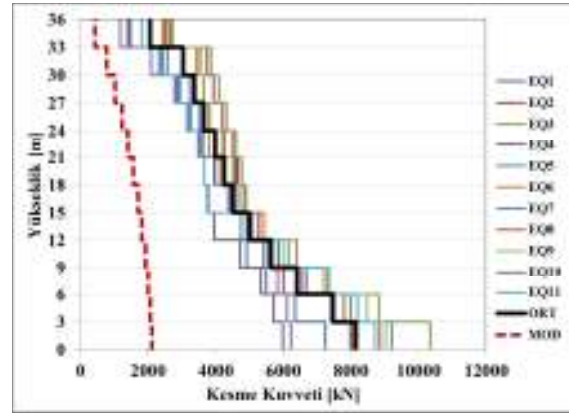


(j) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

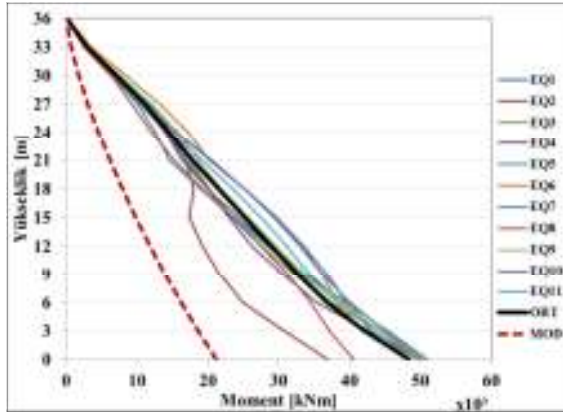
Şekil C.2 8 katlı perdeler için eğilme momenti ve kesme kuvveti dağılımı ( $R=6$ )



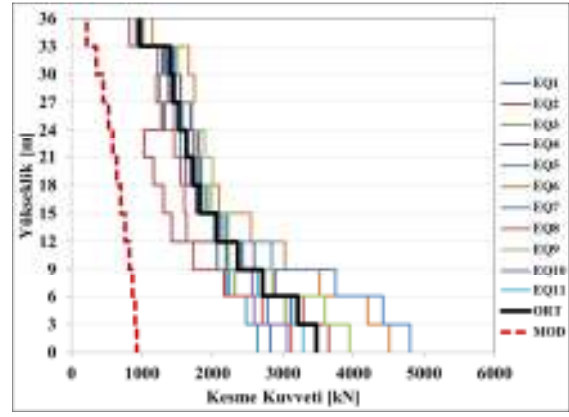
(a) moment dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



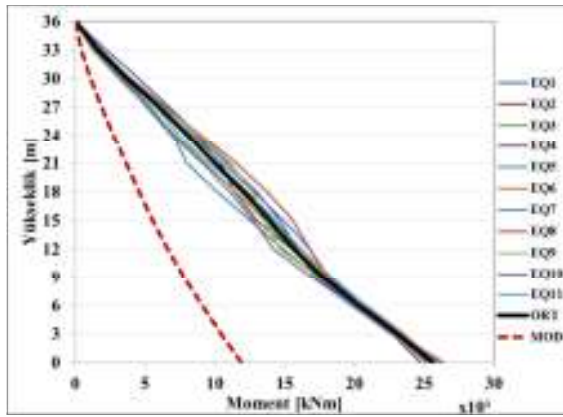
(b) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



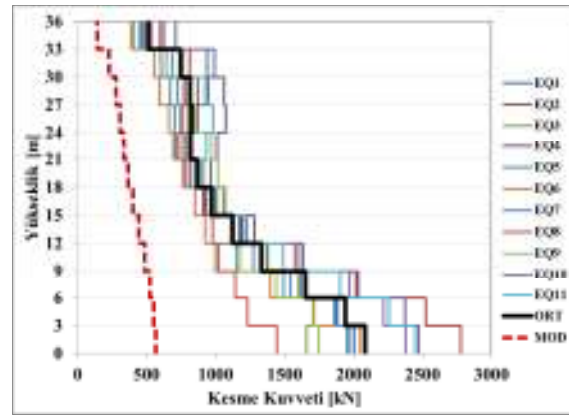
(c) moment dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



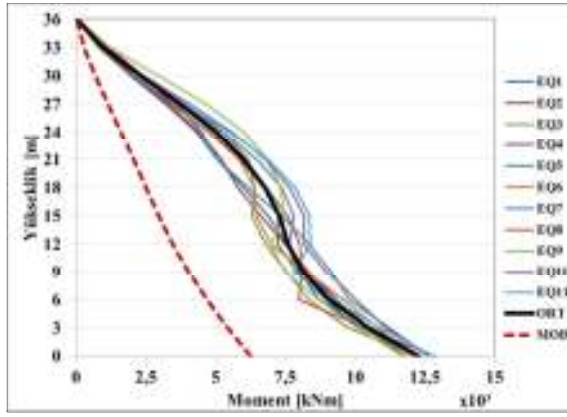
(d) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



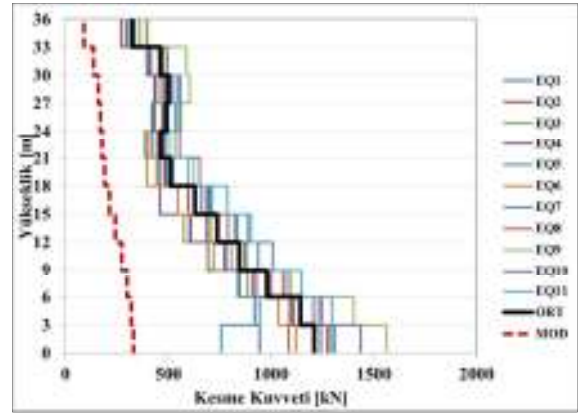
(e) moment dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



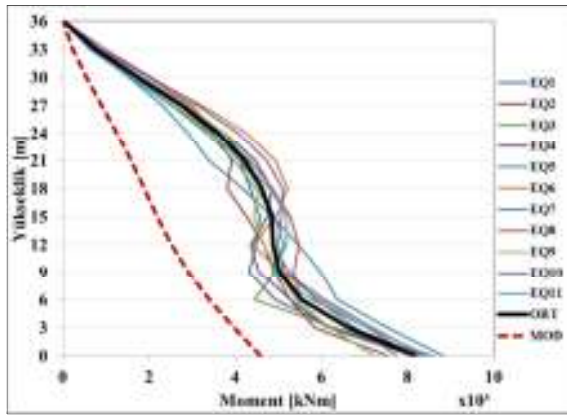
(f) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



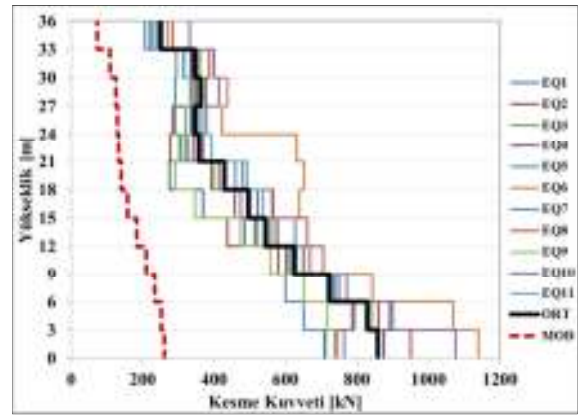
(g) moment dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )



(h) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )

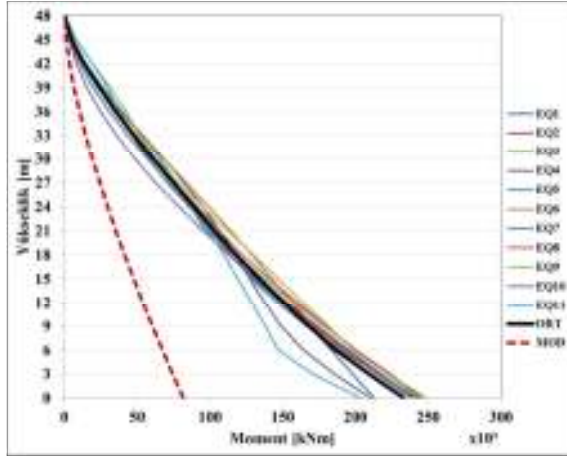


(i) moment dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

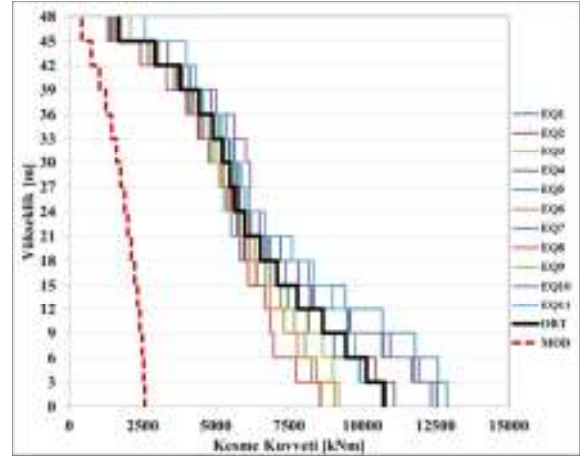


(j) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

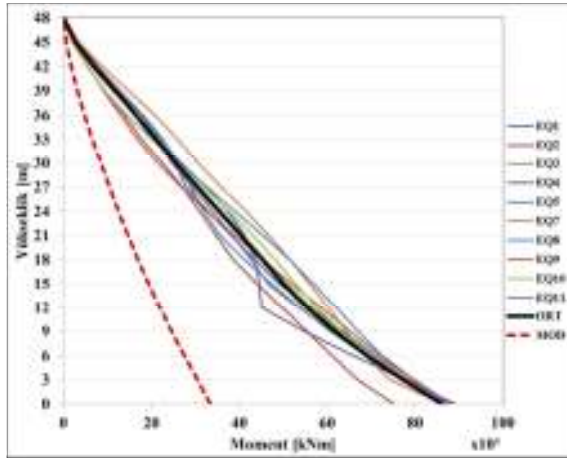
Şekil C.3 12 katlı perdeler için eğilme momenti ve kesme kuvveti dağılımı ( $R=6$ )



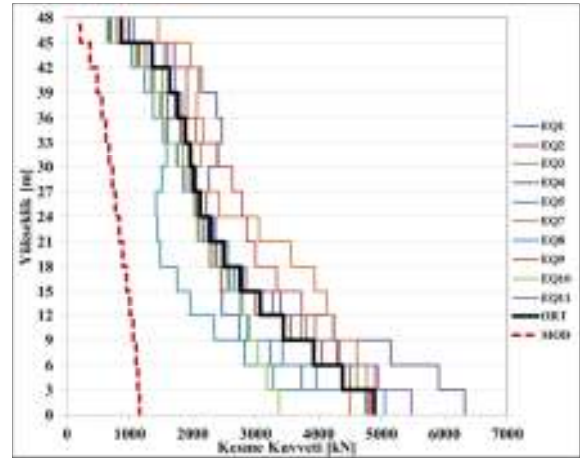
(a) moment dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



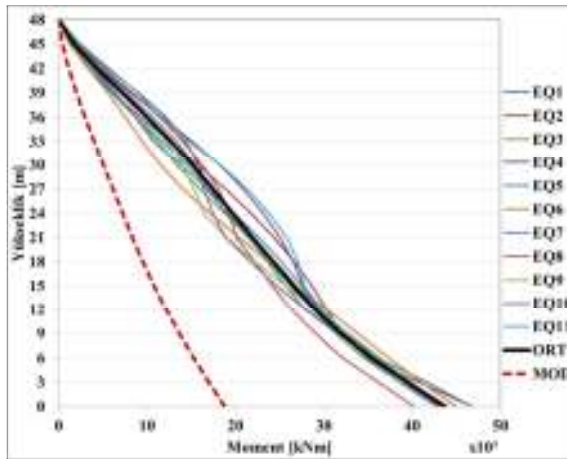
(b) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



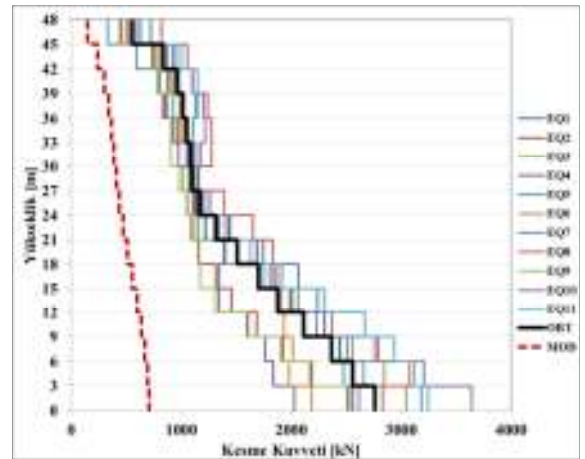
(c) moment dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



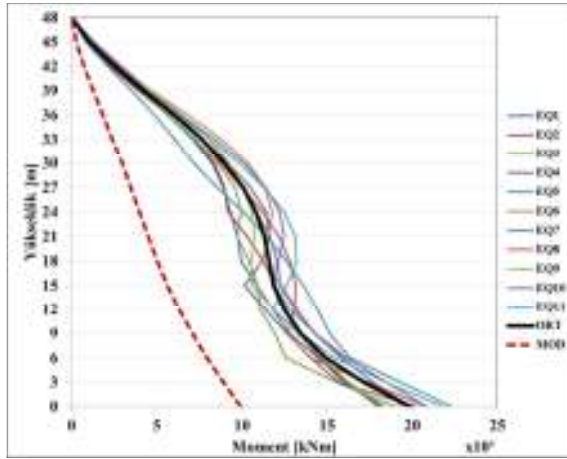
(d) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



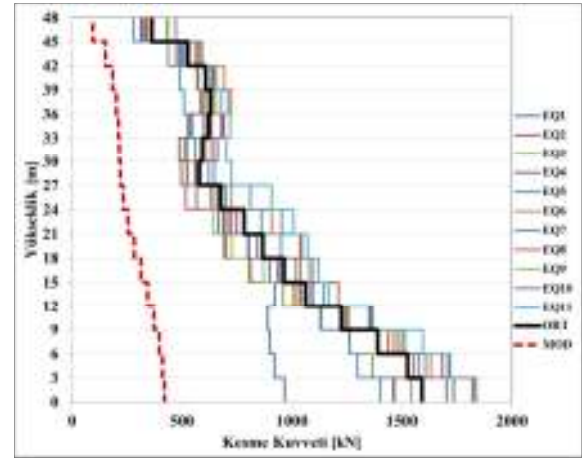
(e) moment dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



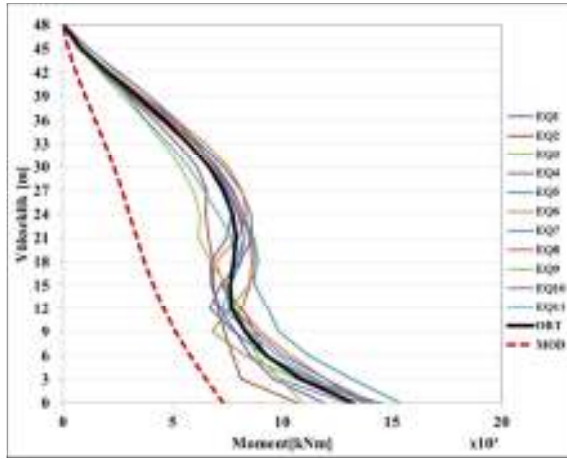
(f) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



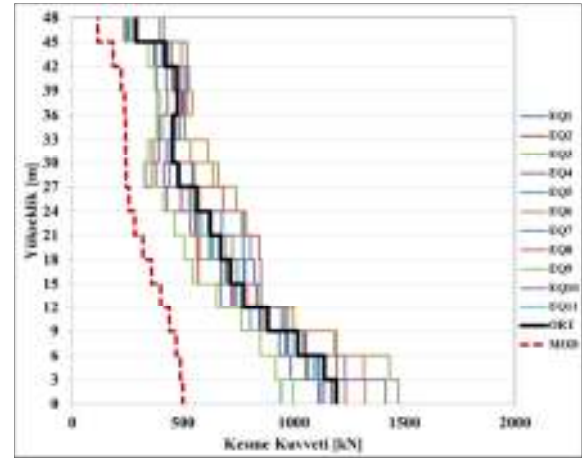
(g) moment dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )



(h) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )

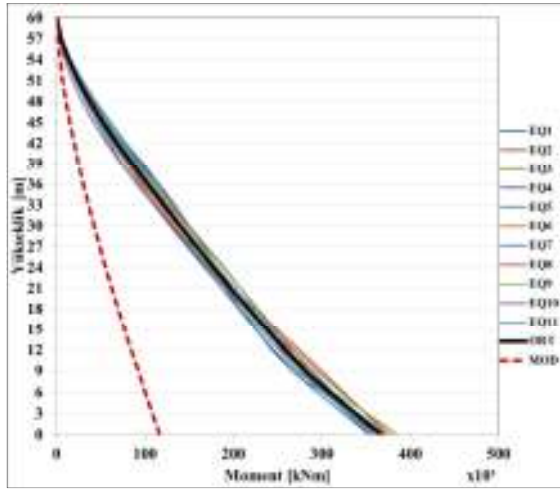


(i) moment dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

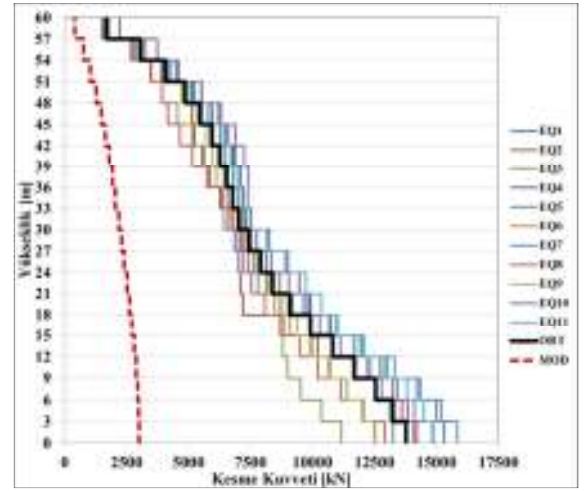


(j) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

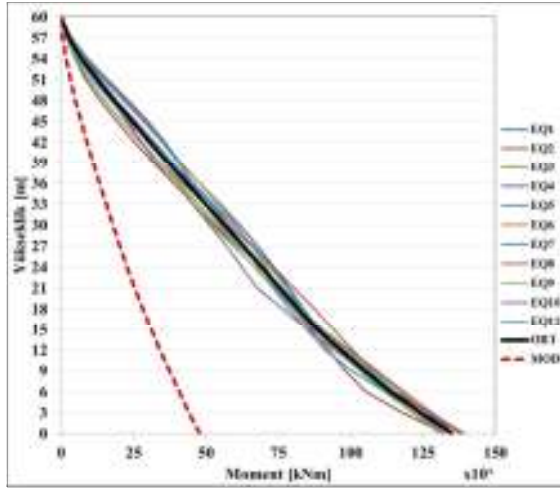
Şekil C.4 16 katlı perdeler için eğilme momenti ve kesme kuvveti dağılımı ( $R=6$ )



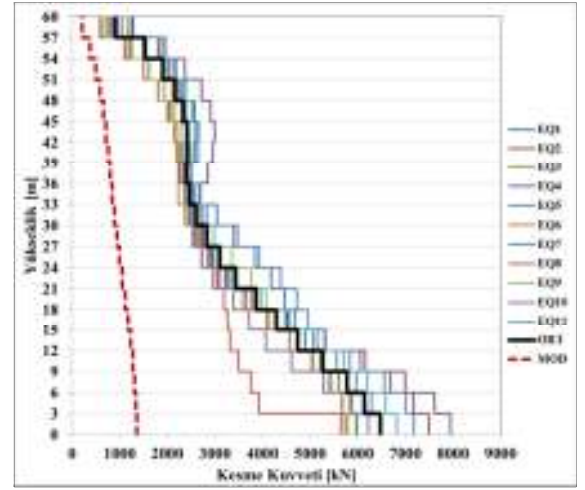
(a) moment dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



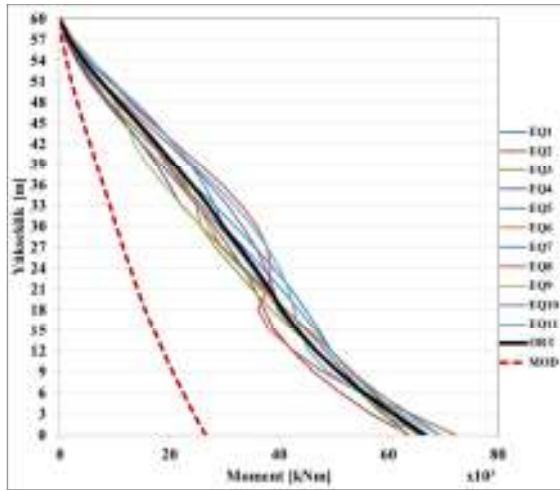
(b) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



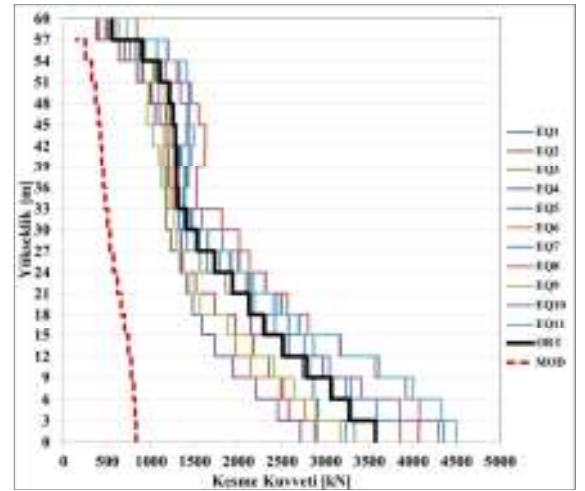
(c) moment dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



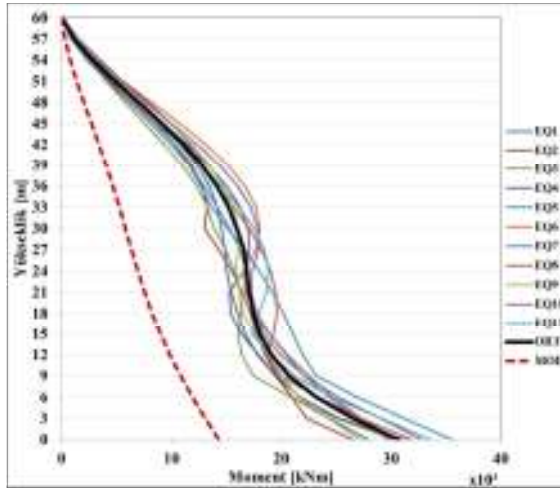
(d) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



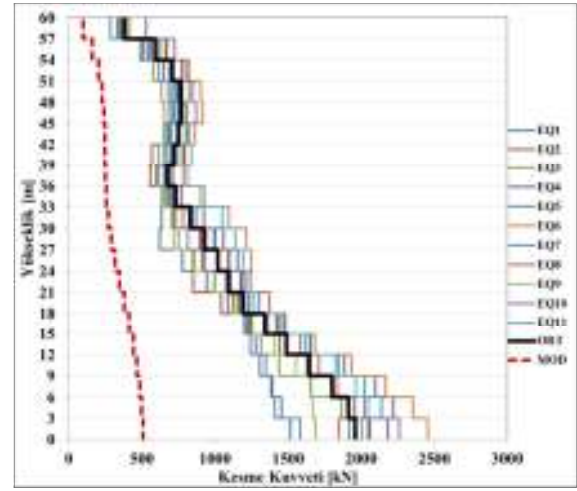
(e) moment dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



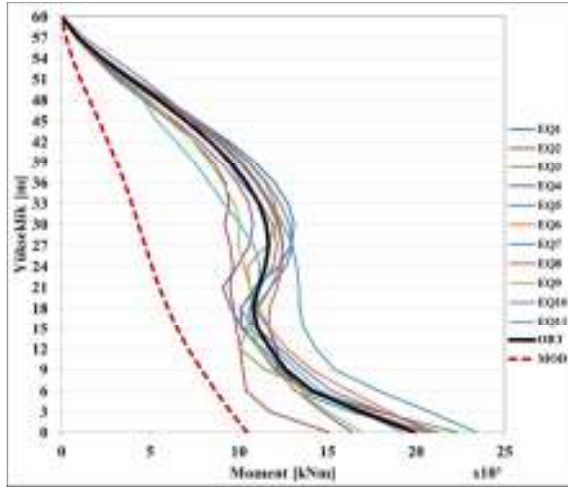
(f) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



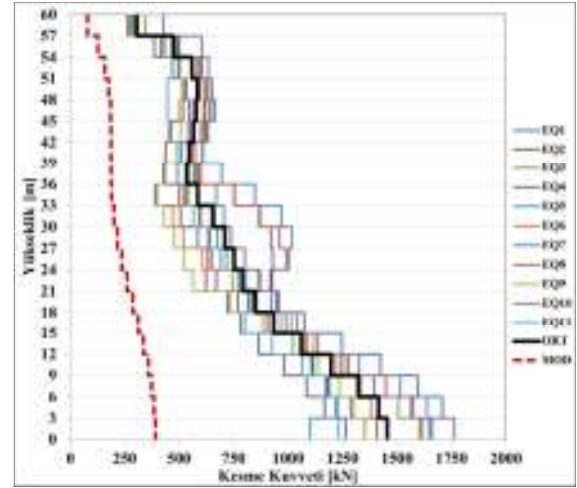
(g) moment dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )



(h) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )

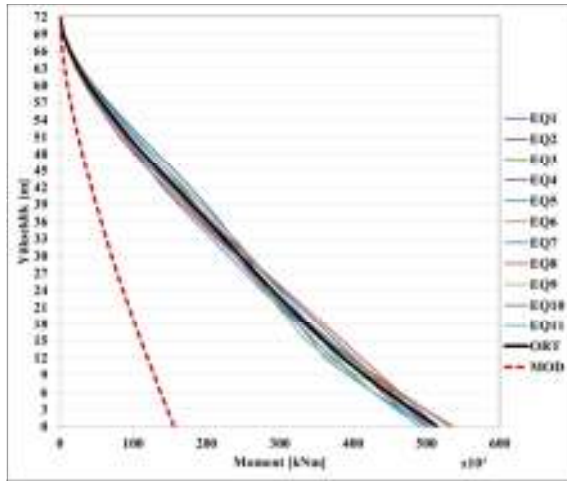


(i) moment dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

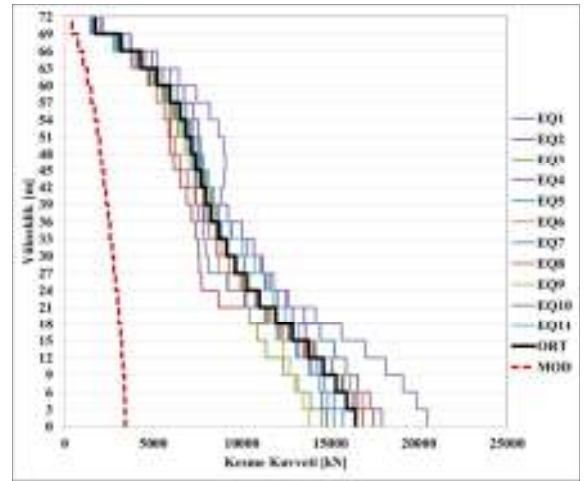


(j) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

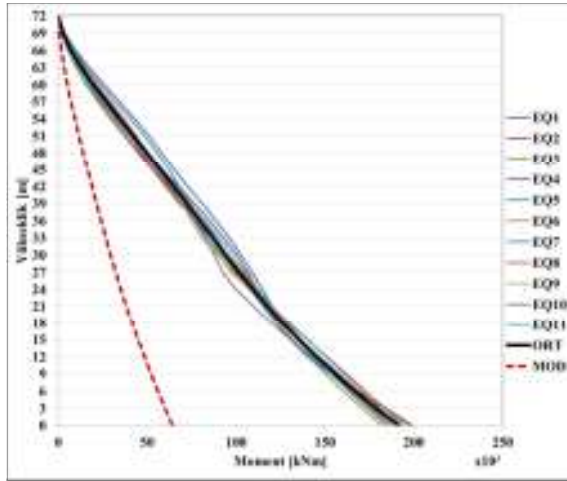
Şekil C.5 20 katlı perdeler için eğilme momenti ve kesme kuvveti dağılımı ( $R=6$ )



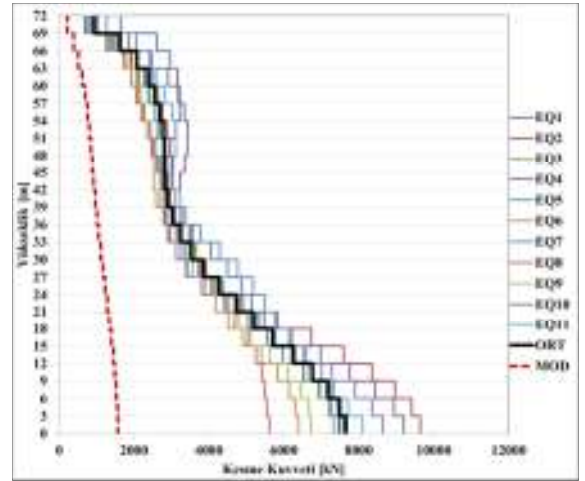
(a) moment dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



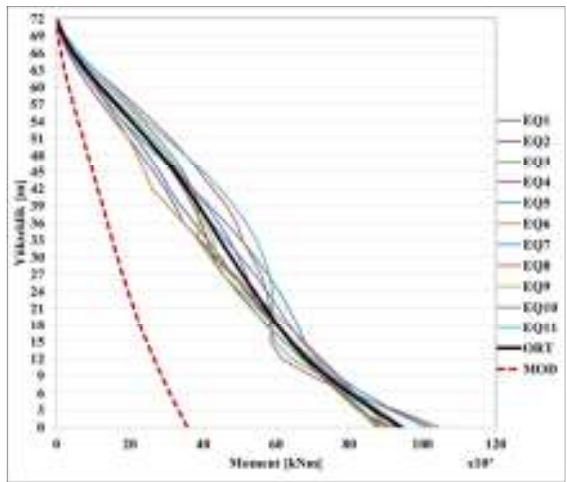
(b) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



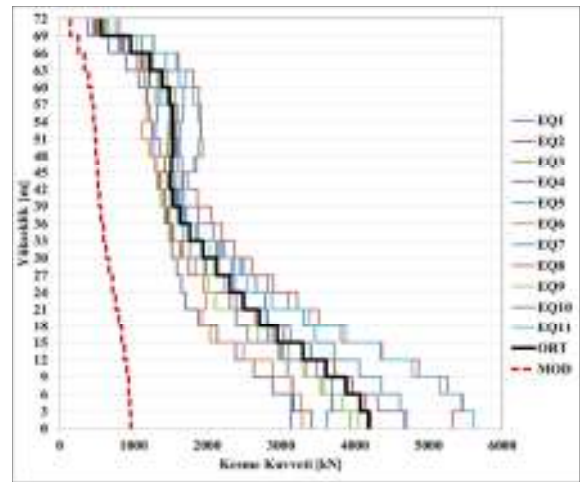
(c) moment dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



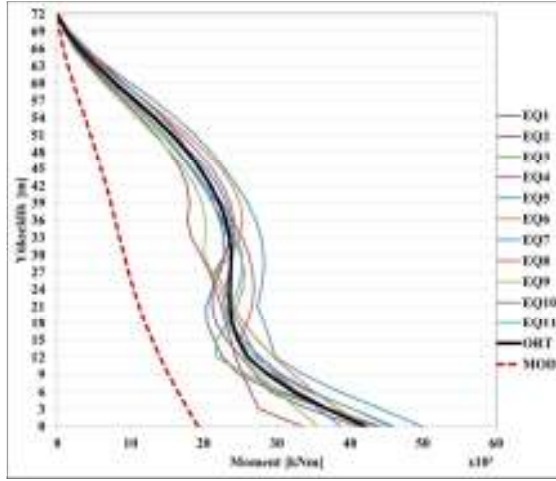
(d) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



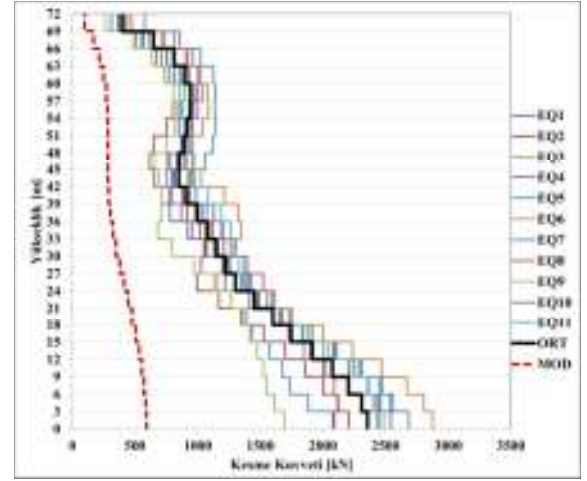
(e) moment dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



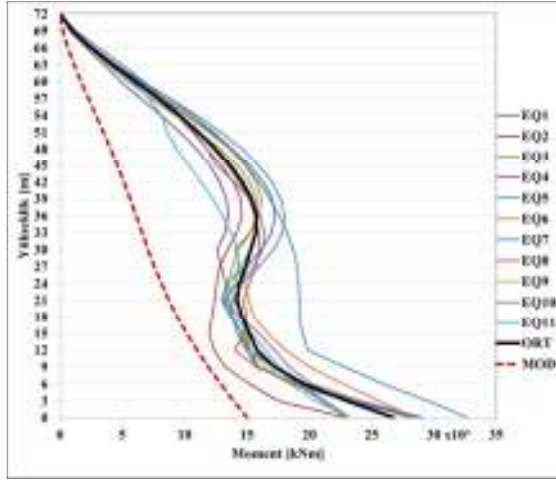
(f) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



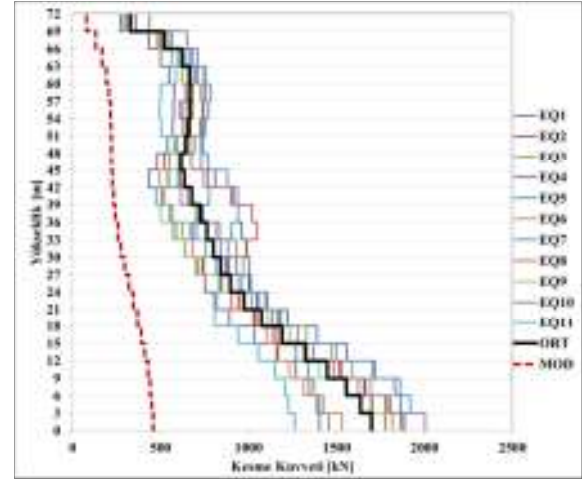
(g) moment dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )



(h) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )

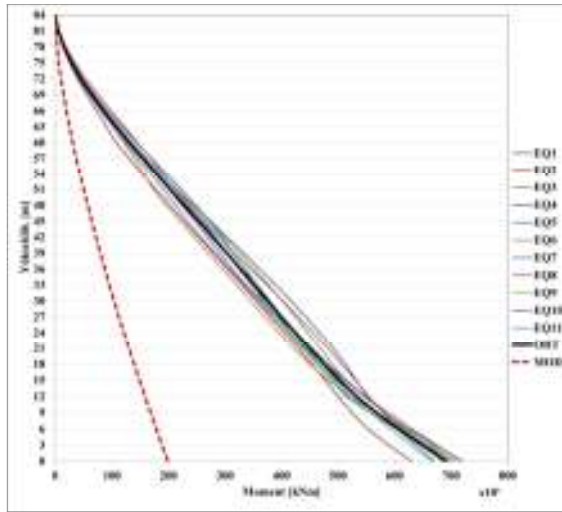


(i) moment dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

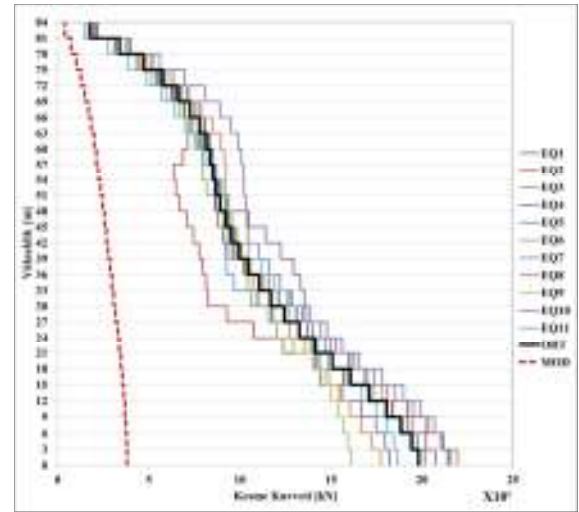


(j) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

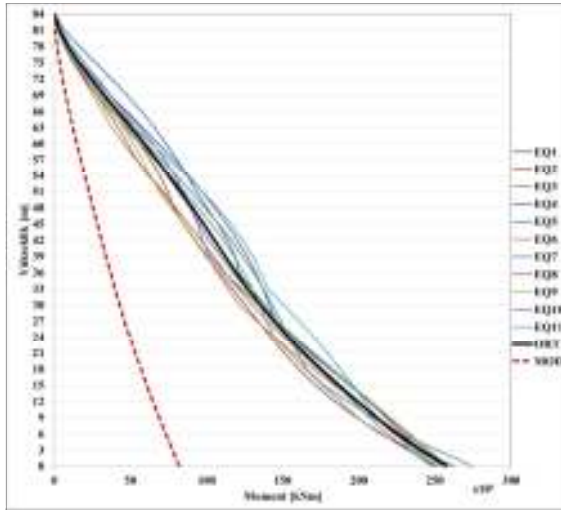
Şekil C.6 24 katlı perdeler için eğilme momenti ve kesme kuvveti dağılımı ( $R=6$ )



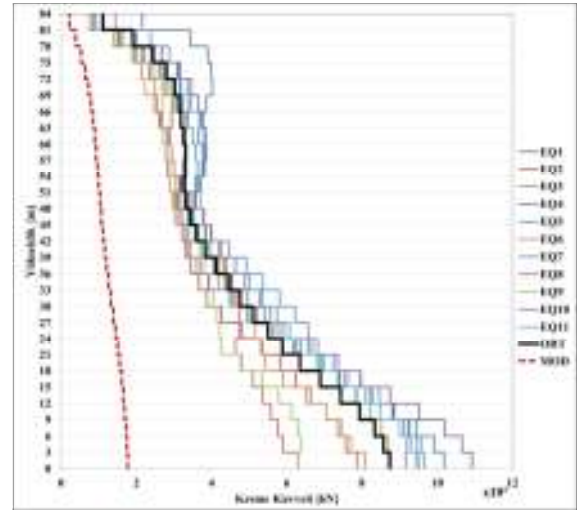
(a) moment dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



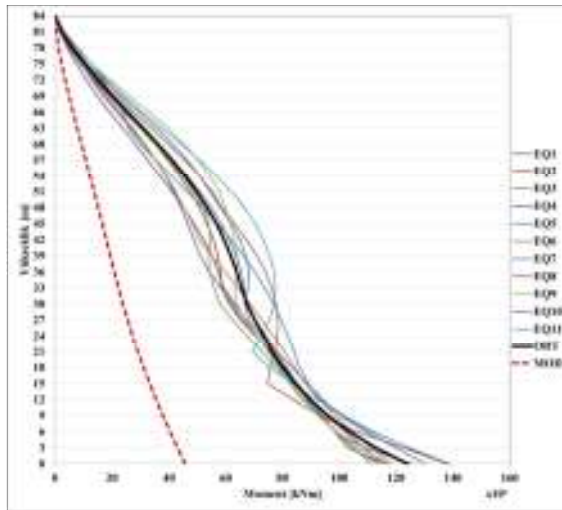
(b) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=3$ )



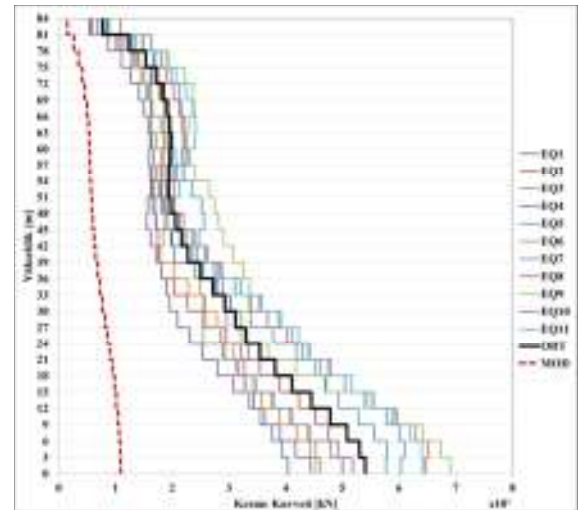
(c) moment dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



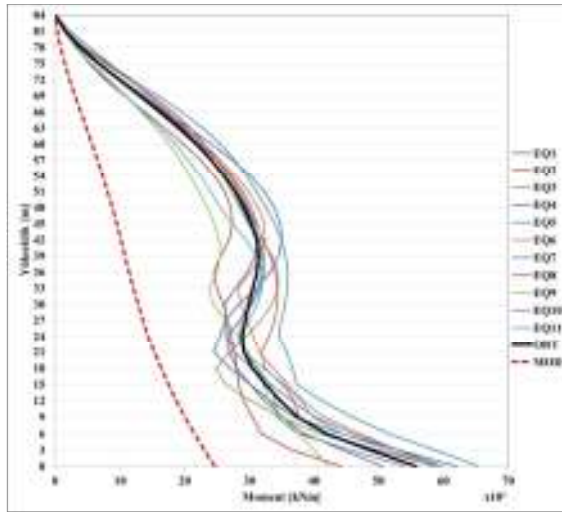
(d) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=5$ )



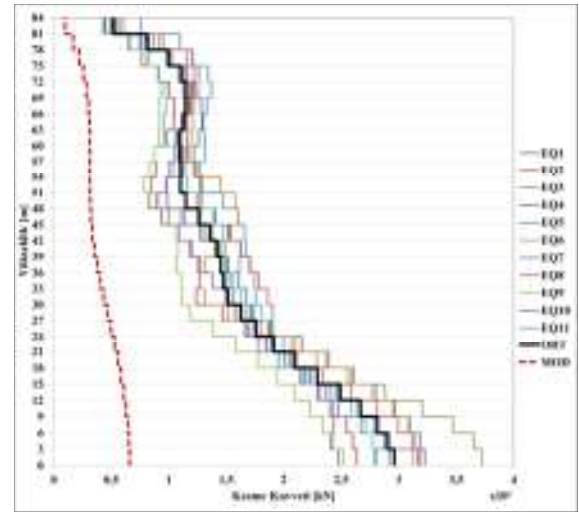
(e) moment dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



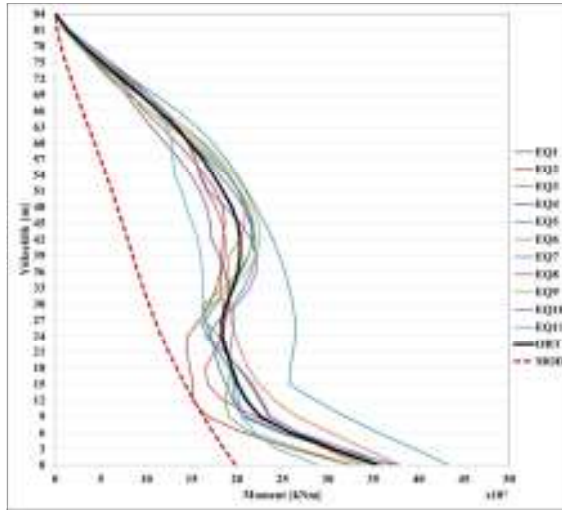
(f) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=7$ )



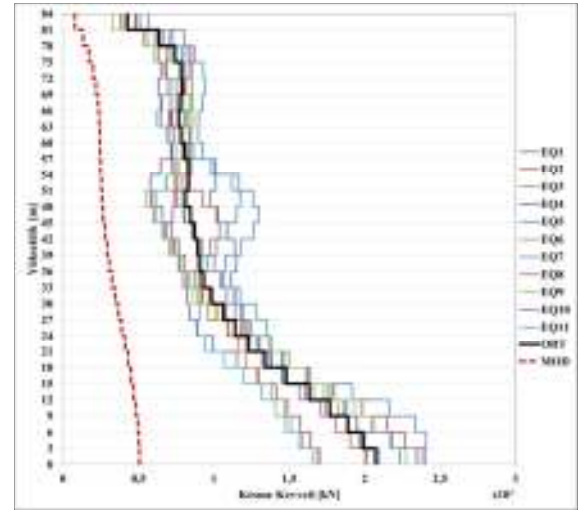
(g) moment dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )



(h) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=10$ )



(i) moment dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )



(j) kesme kuvvet dağılımı ( $H_w/L_w=12$ )

Şekil C.7 28 katlı perdeler için eğilme momenti ve kesme kuvveti dağılımı ( $R=6$ )

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Hümeýra ŞAHİN  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 1981, Elazığ  
**E-posta** : humeyrashn@gmail.com  
hsahin@firat.edu.tr

## ÖĞRENİM BİLGİLERİ:

**Lise** : 1999, Elazığ İmam Hatip Lisesi  
**Lisans** : 2004, Fırat Üniv. İnşaat Müh. Bölümü  
**Yük Lisans** :2008, Fırat Üniv. İnşaat Müh. Bölümü

## MESLEKİ DENEYİM:

|                                                     |            |
|-----------------------------------------------------|------------|
| Canka İnş. Ltd. Şti./ Elazığ                        | 2004-2006  |
| Elazığ Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü      | 2006-2007  |
| Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Adıyaman İl Müdürlüğü | 2007-2009  |
| Elazığ Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü              | 2009-2010  |
| Fırat Üniv. İnşaat Müh. Bölümü                      | 2010-..... |