

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETONARME PERDELERİN ÇEVİRİMSSEL  
DAVRANIŞINDA KESME-EĞİLME  
ETKİLEŞİMİNİN MODELLENMESİ**

**Utku GÜLER**

**Ekim, 2022**

**İZMİR**

**BETONARME PERDELERİN ÇEVİRİMSSEL  
DAVRANIŞINDA KESME-EĞİLME  
ETKİLEŞİMİNİN MODELLENMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı**

**Utku GÜLER**

**Ekim, 2022  
İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

UTKU GÜLER, tarafından Doç. Dr. SADIK CAN GİRGİN yönetiminde hazırlanan “BETONARME PERDELERİN ÇEVİRİMSSEL DAVRANIŞINDA KESME-EĞİLME ETKİLEŞİMİNİN MODELLENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Sadık Can GİRGİN

Yönetici

Doç. Dr. İbrahim Serkan MISIR

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Vesile Hatun AKANSEL

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Okan FISTIKOĞLU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Tez danışmanım Doç. Dr. Sadık Can GİRĞİN e bilgisi, motivasyonu, bana zaman ayırması, bilim denizinde yol göstermesi bakımından ve tezim süresince bana verdiği destekten dolayı teşekkür ederim. İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Serhan TANYEL hocama özverisini, duyarlılığını ve desteğini benden esirgemediği için teşekkür ederim. Beni maddi manevi her alanda destekleyen ve özgür birey olma yolunda ufkumu açan, her zaman kendisini benim yanımda hissettiren eşime minnettarım.

Utku GÜLER

# **BETONARME PERDELERİN ÇEVİRİMSSEL DAVRANIŞINDA KESME-EĞİLME ETKİLEŞİMİNİN MODELLENMESİ**

## **ÖZ**

Deprem yönetmeliklerinde şekil değiştirmeye göre tasarım yaklaşımının özellikle yüksek binalar ve farklı yapıların da yer alması ile betonarme perdelerin doğrusal olmayan davranışlarının etkin yöntemlerle modellenmesi önem kazanmıştır. Bu durum betonarme perdelerin tersinir tekrarlı yükler altındaki kesme, eğilme ve eksenel yük etkilerinin birleşiminden oluşan davranış şekillerini temsil edebilecek uygun sayısal modelleme yaklaşımlarının da uygulanmasını gerekli kılmaktadır. Bu yaklaşımlardan biri olan kafes kiriş analojisi yönteminde betonarme elemanlardaki düşey ve yatay donatılar baz alınarak panel elemanlar oluşturulmaktadır. Kafes panel elemanlardaki diyagonal elemanların yatayla yaptıkları açı değeri belirlenerek etki alanlarına göre beton çubuklar ve ilgili doğrultudaki donatı alanları ile sistemin modeli oluşturulmaktadır. Sunulan çalışmada farklı en boy oranlarına sahip perdelerin çevrimsel davranışları fiber kesit model ve kafes kiriş analojisi modelleme yaklaşımları ile araştırılmıştır. Bu kapsamda eğilme etkilerinin ve kesme etkilerinin belirgin olduğu perde testleri ile sayısal modelleme yaklaşımları yanal yük-yerdeğiştirme ve kesit deformasyonları bakımından karşılaştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Betonarme perde, doğrusal olmayan analiz, fiber kesit

**MODELING OF SHEAR-FLEXURE  
INTERACTION IN CYCLIC BEHAVIOUR  
OF REINFORCED CONCRETE SHEAR WALLS**

**ABSTRACT**

Modeling of the non-linear behavior of reinforced concrete shear walls with effective methods has gained importance, especially with the inclusion of the deformation design approach according earthquake codes, especially high-rise buildings and different structures. This situation necessitates the application of appropriate numerical modeling approaches that can represent the behavior modes of reinforced concrete shears walls under reversible cyclic loads, consisting of a combination of shear, bending and axial load effects. In the truss beam analogy method, which is one of these approaches, panel elements are formed based on the vertical and horizontal reinforcements in the reinforced concrete elements. By determining the angle value of the diagonal elements in the lattice panel elements with the horizontal, a model of the system is created with concrete bars and reinforcement areas in the relevant direction according to their impact areas. In the present study, the cyclic behavior of shear walls with different aspect ratios has been investigated with the fiber section model and lattice beam analogy modeling approaches. In this context, flexure effects and shear effects are evident, and numerical modeling approaches with shear walls were compared in terms of lateral load-displacement and section deformations.

**Keywords:** Reinforced concrete wall, nonlinear analysis, fiber section

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                            |           |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....                  | ii        |
| TEŞEKKÜR.....                                              | iii       |
| ÖZ .....                                                   | iv        |
| ABSTRACT.....                                              | v         |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                                     | viii      |
| TABLolar LİSTESİ .....                                     | xii       |
| SEMBOLLER LİSTESİ .....                                    | xiii      |
| <b>BÖLÜM 1 - GİRİŞ.....</b>                                | <b>1</b>  |
| 1.1 Amaç ve Kapsam.....                                    | 1         |
| <b>BÖLÜM 2 - LİTERATÜRDE YER ALAN ÇALIŞMALAR .....</b>     | <b>3</b>  |
| 2.1 Literatürdeki Deneysel Çalışmalar .....                | 3         |
| 2.2 Literatürdeki Sayısal Model Çalışmaları.....           | 9         |
| <b>BÖLÜM 3 - DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ YAKLAŞIMLARI.....</b> | <b>14</b> |
| 3.1 Malzeme Modelleri .....                                | 15        |
| 3.1.1 Donatı Malzeme Modeli .....                          | 15        |
| 3.1.2 Beton Malzeme Modeli .....                           | 16        |
| 3.2 Yayılı Plastisite Yaklaşımı .....                      | 18        |
| 3.3 Kafes Kiriş Analojisi Yaklaşımı .....                  | 20        |
| 3.4 Hibrit Modelleme Yaklaşımı .....                       | 21        |
| <b>BÖLÜM 4 - SAYISAL MODEL ÇALIŞMALARI.....</b>            | <b>23</b> |
| 4.1 RW2 Perdesi (Thomson ve Wallace, 2004).....            | 23        |
| 4.1.1 Geometri ve Malzeme Özellikleri .....                | 23        |

|                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.1.2 RW2 Kafes Kiriş Modeli .....                          | 24        |
| 4.1.3 RW2 Fiber Model .....                                 | 29        |
| 4.1.4 Modellerin Karşılaştırılması .....                    | 32        |
| 4.2 SW2 Perdesi (Luna vd., 2018) .....                      | 32        |
| 4.2.1 Geometri ve Malzeme Özellikleri .....                 | 32        |
| 4.2.2 SW2 Kafes Kiriş Modeli .....                          | 33        |
| 4.2.3 SW2 Fiber Model .....                                 | 38        |
| 4.2.4 Modellerin Karşılaştırılması .....                    | 41        |
| 4.3 RWA-15-P.2.5-S.64 Perdesi (Tran ve Wallace, 2015) ..... | 41        |
| 4.3.1 Geometri ve Malzeme Özellikleri .....                 | 41        |
| 4.3.2 RWA-15 Kafes Kiriş Modeli .....                       | 42        |
| 4.3.3 RWA-15 Fiber Modeli .....                             | 47        |
| 4.3.4 Modellerin Karşılaştırılması .....                    | 49        |
| 4.4 Hibrit Model (RW-A15, Tran ve Wallace, 2015) .....      | 50        |
| 4.5 Parametrik Çalışmalar .....                             | 55        |
| <b>BÖLÜM 5 - SONUÇLAR.....</b>                              | <b>58</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                       | <b>62</b> |
| <b>EKLER.....</b>                                           | <b>68</b> |
| EK 1 .....                                                  | 68        |
| EK 2 .....                                                  | 72        |
| EK 3 .....                                                  | 76        |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                                                               | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 1.1 Eksenel yük düzeyi sargı etkisi ile sünekliliğin değişimi. ....                                                     | 1     |
| Şekil 2.1 Betonarme perdelerde hasar şekilleri.....                                                                           | 3     |
| Şekil 2.2 Betonarme perdelerde kesme hasar şekilleri.....                                                                     | 4     |
| Şekil 2.3 RW1 perdesi %2 ötelenme oranında hasar fotoğrafı .....                                                              | 5     |
| Şekil 2.4 WR-10 perdesi temsili hasar çizimi. ....                                                                            | 6     |
| Şekil 2.5 NC-40 perdesi %2 ötelenme oranında hasar fotoğrafı.....                                                             | 7     |
| Şekil 2.6 SW2 perdesi hasar fotoğrafı.....                                                                                    | 7     |
| Şekil 2.7 M3 perdesi hasar fotoğrafı. ....                                                                                    | 8     |
| Şekil 2.8 WP6 Perdesi hasar fotoğrafı .....                                                                                   | 9     |
| Şekil 2.9 Betonarme elemanların doğrusal olmayan modellenmesinde yaklaşımlar.....                                             | 10    |
| Şekil 2.10 Betonarme bir plak şeridi için kafes model yaklaşımı.....                                                          | 11    |
| Şekil 2.11 Kolon-kiriş birleşim bölgesi için oluşturulan Hibrit Sayısal Model. ....                                           | 11    |
| Şekil 2.12 Eleman Modeli: (a) MVLEM eleman; (b) Betonarme panel eleman; (c) SFI-MVLEM eleman . ....                           | 12    |
| Şekil 2.13 Sayısal Modelleme Teknikleri a) PERFORM3D, b) MVLEM, c) SFI-MVLEM, d)Kafes kiriş model.....                        | 13    |
| Şekil 3.1 Giuffré-Menegotto ve Pinto Donatı gerilme- birim şekil değiştirme grafiği ...                                       | 15    |
| Şekil 3.2 Concretewbeta Beton gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.....                                                     | 17    |
| Şekil 3.3 Beton basınç gerilmesi azaltma faktörü $\beta$ ve normal çekme birim şekil değiştirme $\varepsilon_n$ ilişkisi..... | 18    |
| Şekil 3.4 Tipik betonarme enkesitin yayılı plastisite modeli. ....                                                            | 19    |
| Şekil 3.5 Yayılı plastisite modelinde fiber esaslı modelleme ve entegrasyon kesitleri....                                     | 19    |
| Şekil 3.6 Betonarme perde kafes modeli.....                                                                                   | 20    |
| Şekil 3.7 Betonarme Perdeler için Hibrit Model.....                                                                           | 22    |
| Şekil 4.1 (a) RW2 perdesi kafes kiriş modeli, (b) Deneyde uygulanan yatay yerdeğiştirmeler, (c) Perde uç bölgesi detayı.....  | 24    |

|                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.2 RW2 Kafes kafes kiriş modeli beton çubuk elemanları için gerilme-birim şekil değiştirme ilişkileri .....                | 25 |
| Şekil 4.3 RW2 Kafes Model ve Test verisi için Yanal Yük-Ötelenme Oranı Grafiği .....                                              | 26 |
| Şekil 4.4 RW2 perdesi için oluşturulan kafes model deformasyona uğrayan eleman gösterimi .....                                    | 28 |
| Şekil 4.5 RW2 perdesi için oluşturulan Kafes Model düşey ve diyagonal beton eleman gerilme- birim şekil değiştirme grafiği. ....  | 28 |
| Şekil 4.6 RW2 perdesi için oluşturulan Kafes donatı gerilme- birim şekil değiştirme grafiği.....                                  | 29 |
| Şekil 4.7 RW2 perdesi için oluşturulan Fiber Model ve Test verisi yanal yük-tepe ötelenme oranı grafiği.....                      | 30 |
| Şekil 4.8 RW2 Fiber Modelde hesaplanan Beton Çevrimsel Davranışları. ....                                                         | 31 |
| Şekil 4.9 RW2 Fiber Modelde hesaplanan donatı çevrimsel davranışı.....                                                            | 31 |
| Şekil 4.10 SW2 perdesi donatı ve geometrik detayları. ....                                                                        | 33 |
| Şekil 4.11 SW2 Perdesi Kafes Modeli .....                                                                                         | 34 |
| Şekil 4.12 SW2 Kafes kiriş modeli beton çubuk elemanları için gerilme-birim şekil değiştirme ilişkileri. ....                     | 35 |
| Şekil 4.13 SW2 perdesi test verisi ile Kafes Kiriş Modelin yanal yük-görelî kat ötelenme oranı ilişkileri .....                   | 36 |
| Şekil 4.14 SW2 perdesi için oluşturulan Kafes Model düşey ve diyagonal beton eleman gerilme- birim şekil değiştirme grafiği. .... | 36 |
| Şekil 4.15 SW2 perdesi için oluşturulan Kafes model donatı gerilme- birim şekil değiştirme grafiği.....                           | 37 |
| Şekil 4.16 SW2 perdesi için oluşturulan kafes model deformasyona uğrayan eleman gösterimi .....                                   | 38 |
| Şekil 4.17 SW2 perdesi test verisi ile Fiber Modelin yanal yük-görelî kat ötelenme oranı ilişkileri. ....                         | 40 |
| Şekil 4.18 SW2 perdesi için oluşturulan Fiber model donatı gerilme- birim şekil değiştirme grafiği.....                           | 40 |
| Şekil 4.19 (a) RW-A15-P2.5-S64 perdesi kafes kiriş modeli, (b) Perde donatı detayı ...                                            | 43 |

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.20 RW-A15-P2.5-S64 perdesinin yatay, düşey de diyagonal kafes eleman beton gerilme birim şekil değiştirme ilişkisi.....               | 44 |
| Şekil 4.21 RW-A15-P2.5-S64 perdesi test verisi ile Kafes Kiriş Modelin yanal yük-görelî kat ötelenme oranı ilişkileri. ....                   | 45 |
| Şekil 4.22 RW-A15-P2.5-S64 perdesi için oluşturulan kafes model deformasyona uğrayan eleman gösterimi .....                                   | 46 |
| Şekil 4.23 RW-A15-P2.5-S64 perdesi için oluşturulan Kafes Model düşey ve diyagonal beton eleman gerilme- birim şekil değiştirme grafiğı.....  | 46 |
| Şekil 4.24 RW-A15-P2.5-S64 perdesi için oluşturulan Kafes model donatı gerilme- birim şekil değiştirme grafiğı. ....                          | 47 |
| Şekil 4.25 RW-A15-P2.5-S64 perdesi test verisi ile Fiber Modelin yanal yük-görelî kat ötelenme oranı ilişkileri. ....                         | 48 |
| Şekil 4.26 RW-A15-P2.5-S64 perdesi için oluşturulan Fiber Model Sargılı ve Sargısız beton modeli gerilme-birim şekil değiştirme grafiğı. .... | 49 |
| Şekil 4.27 RW-A15-P2.5-S64 perdesi için oluşturulan Fiber model donatı gerilme- birim şekil değiştirme grafiğı .....                          | 50 |
| Şekil 4.28 RW-A15 Perdesinin için Hibrit modeller.....                                                                                        | 51 |
| Şekil 4.29 RW-A15 Hibrit modelleri, Kafes model ve Test verisi yanal yük yatay deplasman grafiğı.....                                         | 52 |
| Şekil 4.30 RW-A15 Hibrit modeli(10h) ve Kafes model yanal yük yatay ötelenme oranı grafiğı.....                                               | 53 |
| Şekil 4.31 RW-A15 Hibrit model (10h), Kafes model ve Test verisi yanal yük yatay ötelenme oranı grafiğı .....                                 | 53 |
| Şekil 4.32 RW-A15 Kafes Model Diyagonal Beton Gerilme- Birim Şekil Değıştirmeleri .....                                                       | 54 |
| Şekil 4.33 RW-A15 Hibrit Model (10h) Diyagonal Beton Gerilme- Birim Şekil Değıştirmeler .....                                                 | 54 |
| Şekil 4.34 RW-A15 Hibrit Model (10h) 5 entegrasyon noktası alındığında yanal yük ötelenme oranı grafiğı .....                                 | 55 |

|                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.35 RW-A15 Hibrit Model (10h) pekleşme katsayısı %5 alındığında yanal yük<br>ötelenme oranı grafiği .....                   | 56 |
| Şekil 4.36 RW-A15 Hibrit Model (10h) beta katsayısı sabit alındığında yanal yük<br>ötelenme oranı grafiği .....                    | 57 |
| Şekil 4.37 RW-A15 Hibrit Model (10h) Deplasman Tabanlı fiber eleman kabulüyle<br>hesaplanan yanal yük ötelenme oranı grafiği ..... | 57 |



## TABLÖLAR LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 2.1 Literatürde incelenen perdelerin geometrik özellikleri ve hasar modları .....               | 3  |
| Tablo 2.2 Betonarme Perdeler için Hasar Modları.....                                                  | 4  |
| Tablo 3.1 Eksenel basınç gerilmesi oranı ( $\nu$ ) ve $f_t/f_c$ oranına bağlı $\theta_d$ açıları..... | 21 |
| Tablo 4.1 RW2 perdesinin malzeme ve geometrik özellikleri .....                                       | 23 |
| Tablo 4.2 RW2 Kafes Model Ötelenme oranına göre deformasyonlar. ....                                  | 27 |
| Tablo 4.3 SW2 perdesinin geometri ve malzeme özellikleri .....                                        | 33 |
| Tablo 4.4 SW2 Kafes Model Ötelenme oranına göre deformasyonlar. ....                                  | 38 |
| Tablo 4.5 Sayısal Model çalışması RW-A15-P2.5-S64 perdesinin özellikleri.....                         | 42 |

## SEMBOLLER LİSTESİ

|                  |                                                   |
|------------------|---------------------------------------------------|
| $\alpha$         | : Hibrit modelde kafes bölge yüksekliği katsayısı |
| $A_g$            | : Brüt En kesit alanı                             |
| $B$              | : Beton basınç gerilmesi azaltma faktörü          |
| $B_s$            | : tepe/nihai akma sertleşme oranını               |
| $b_w$            | : duvar genişlik                                  |
| $E_c$            | : Beton elastisite modülü                         |
| $\epsilon_{cc}$  | : sargılı beton birim şekil değiştirme            |
| $\epsilon_{cu}$  | : nihai birim şekil değiştirme                    |
| $\epsilon_n$     | : normal çekme birim şekil değiştirme             |
| $\epsilon_o$     | : beton elastik birim şekil değiştirme            |
| $\epsilon_{sh}$  | : donatı pekleşme birim uzaması                   |
| $\epsilon_{su}$  | : donatı kopma birim uzaması                      |
| $\epsilon_{sy}$  | : donatı akma birim uzaması                       |
| $\epsilon_{tre}$ | : beton çekme artık birim şekil değiştirme        |
| $d_b$            | : donatı çapı mm                                  |
| $f_c$            | : beton basınç dayanımı                           |
| $f_{cc}$         | : sargılı beton basınç dayanımı                   |
| $f_{co}$         | : sargısız beton basınç dayanımı                  |
| $f_t$            | : Beton çekme dayanımı                            |
| $f_u$            | : donatı kopma dayanımı                           |
| $f_y$            | : çelik akma dayanımını                           |
| $H_w$            | : Perde yüksekliği                                |
| $L_w$            | : Perde Uzunluğu                                  |
| $M$              | : çekme pekleşme katsayısı                        |
| $r_o$            | : malzeme yönüne paralel donatı oranı             |
| $\rho$           | : donatı oranı                                    |
| $\rho_b$         | : başlık boyuna donatı oranı                      |
| $\rho_h$         | : yatay donatı oranı                              |

- $\rho_v$  : düşey donatı oranı  
 $t$  : Perde genişliği  
 $t(b_{eff})$  : duvar efektif genişlik  
 $\theta_d$  : Kafesin yatayla yaptığı açı (Moharrami v.d., 2015)  
 $v$  : Eksenel basınç gerilmesi oranı

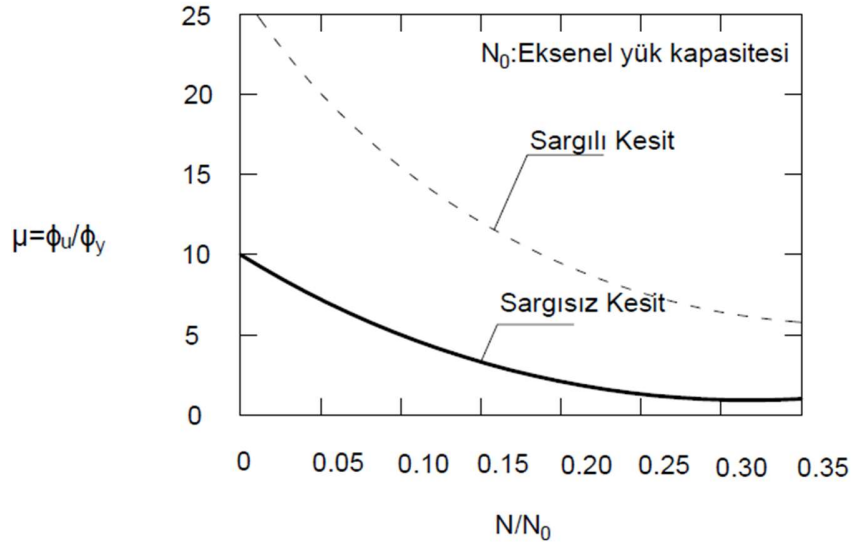


## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

#### 1.1 Amaç ve Kapsam

Binaların depreme dayanıklı tasarımında yeterli rijitlik ve sünekliğe sahip olmaları amaçlanmaktadır. Bu amaçla taşıyıcı sistemlerin yeterli rijitliğe sahip olmaları yer değiştirmelerin sınırlandırılması ile mümkün olabilmektedir (Darılmaz, 2019). Bir diğer faktör olan süneklik ise bir yapı elemanının dayanım kaybına uğramadan yüksek şekil değiştirme veya yer değiştirme kabiliyetidir. Süneklik malzeme bazında ele alınabileceği gibi, kesit sünekliği, eleman sünekliği ve sistem sünekliği şeklinde de ele alınabilir ve ifade edilebilir. Günümüzde tasarımcılar da zaten doğada belirli sünekliğe sahip malzemeden yola çıkarak tasarımla bunu daha sünek hale getirmeye çalışırlar. Bu fikir ile betonarme tasarımda, beton gibi gevrek bir malzeme ve donatı çeliği gibi sünek bir malzeme ile iyi bir tasarımla birleştirilerek sünek betonarme eleman davranışı elde edilir. Taşıyıcı elemanlarda aksel yük düzeyindeki artışın sünekliği azalttığı (Darılmaz, 2019) Şekil 1.1’de görülebilmektedir.



Şekil 1.1 Aksel yük düzeyi sargı etkisi ile sünekliğin değişimi (Darılmaz, 2019)

Binaların dayanım, rijitlik ve sünekliğe sahip olmaları sistem içerisinde kullanılacak yapı elemanı tercihi ile mümkün olabilmektedir. Bilinen düşey taşıyıcı yapı elemanlarından bu ihtiyacı en yüksek verimle karşılayabilecek olan betonarme perdelerin incelenmesi gerekliliği duyulmuştur. Betonarme perdeler uzun kenarın, kısa kenara oranı 6 ve büyük oranda olan düşey taşıyıcı yapı elemanı olarak belirtilmiştir (TBDY, 2018). Perdeler dikdörtgen kesitte oldukları gibi C I, L, H, Y, U, T gibi şekillerde de olabilir.

Betonarme perdeler, deprem etkilerine maruz binalarda yanal dayanımı ve rijitliği sağlayarak ötelemeleri sınırlandırmaktadır. Betonarme perde duvarların binanın yapısal davranışı üzerindeki bu önemli rolü, onların deprem etkileri altında davranışlarının detaylı olarak incelenmesini ve güvenilir analitik modelleme yöntemleriyle temsil edilebilmesini gerektirmektedir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) ile özellikle yüksek binalar ve özel yapılarda betonarme perdelerin doğrusal olmayan davranışlarının etkin yöntemlerle modellenmesi önem kazanmıştır. Betonarme perdelerin doğrusal olmayan çevrimsel davranışına eksenel yük, eğilme ve kesme kuvvetlerinin birleşik etkileri sonucunda Kesme-Eğilme etkileşimi gelişmektedir. Kesme-eğilme etkileşimi betonarme perdelerin çevrimsel davranışını ve buna bağlı dayanım, rijitlik ve deformasyon kapasiteleri ile kesitteki birim şekil değiştirme kapasitelerini oldukça belirgin bir biçimde etkilemektedir. Çalışmanın amacı, betonarme perdelerde kesme-eğilme etkileşiminin doğrusal olmayan davranışına etkilerinin etkin analitik modeller kullanılarak araştırılmasıdır. Bu kapsamda, farklı Boy/En oranlarına sahip eğilme, kesme ve kesme-eğilme etkilerinin belirgin olduğu literatürdeki perde testleri göz önüne alınmıştır. Literatürde yer alan 3 adet betonarme perde testinin verileri göz önünde bulundurularak kesit (fiber) model, kafes kiriş analojisi yaklaşımları ile sayısal modelleri oluşturularak doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Bununla beraber, analiz sürelerini azaltmak için hem fiber hem de kafes kiriş içeren hibrit sayısal modeller ile deney sonuçları kıyaslanmıştır.

## BÖLÜM 2

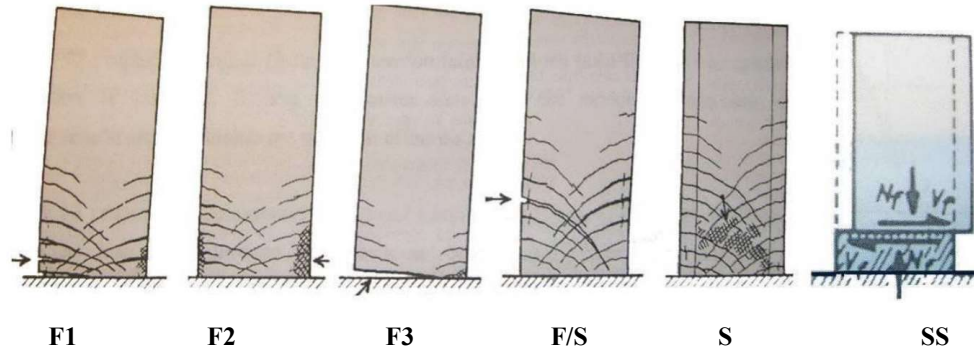
### LİTERATÜRDE YER ALAN ÇALIŞMALAR

#### 2.1 Literatürdeki Deneysel Çalışmalar

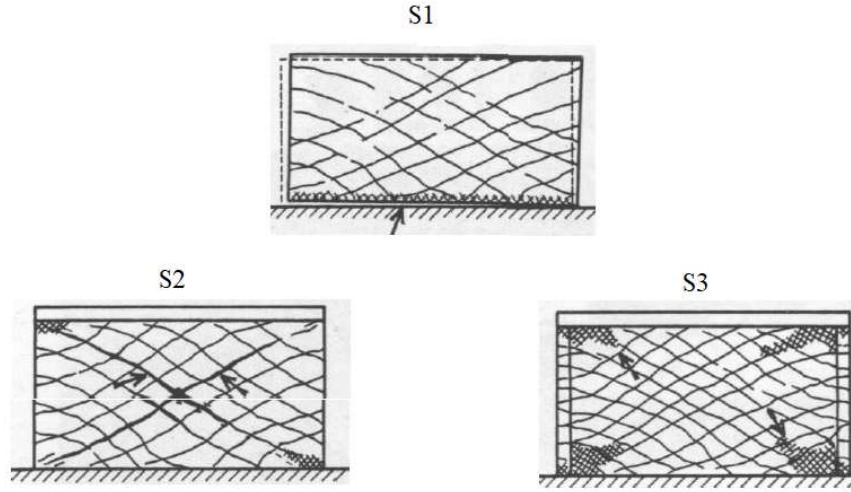
Betonarme perdelerle ilgili literatürde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar incelenirken perde yüksekliği  $H$ ; eni  $L_w$  olmak üzere, farklı Boy/En ( $H/L_w$ ), farklı eksenel yük düzeyleri ( $N/A_g f_c$ ) ve uç bölgelerindeki boyuna ve enine donatı oranı ( $\rho_h$  ve  $\rho_v$ ) gibi farklı parametreler için gerçekleştirilen çalışmalar seçilmiştir (Tablo 2.1). Betonarme perde testlerinde gelişen hasar şekilleri Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de verilmiştir (Fouré 1993; Nicolae 2000) ve hasar şekillerinin tanımları Tablo 2.2’de özetlenmiştir.

Tablo 2.1 Literatürde incelenen perdelerin geometrik özellikleri ve hasar şekilleri

| Perde No. | Çalışma                    | H (mm) | $L_w$ (mm) | $H/L_w$ | $\rho_b(\%)$ | $\rho_h(\%)$ | $\rho_v(\%)$ | $N(A_g f_c)(\%)$ | Hasar Modu |
|-----------|----------------------------|--------|------------|---------|--------------|--------------|--------------|------------------|------------|
| RW1       | Thomson and Wallace (1995) | 3660   | 1220       | 3,00    | 1,61         | 0,296        | 0,296        | 0,1              | F1         |
| WR-10     | Han vd. (2002)             | 2000   | 1500       | 1,33    | 1,27         | 0,28         | 0,32         | 0,1              | F2/F/S     |
| NC40      | Kono vd. (2014)            | 2800   | 1750       | 1,60    | 1,29         | 0,25         | 0,25         | 0,11             | F/S        |
| SW2       | Luna vd. (2018)            | 1651   | 3048       | 0,54    | -            | 0,1          | 0,1          | 0                | S2         |
| M3        | Greifenhagen (2015)        | 610    | 1000       | 0,61    | -            | 0,3          | 0,3          | 0,027            | S2         |
| WP6       | Segura (2017)              | 2134   | 2286       | 0,93    | 3,14         | 0,26         | 0,2          | 0,07             | SS         |



Şekil 2.1 Betonarme perdelerde hasar şekilleri (Fouré 1993; Nicolae 2000)



Şekil 2.2 Betonarme perdelerde kesme hasar şekilleri (Fouré 1993; Nicolae 2000)

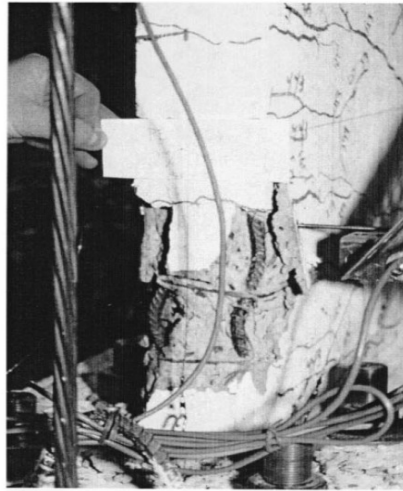
Tablo 2.2 Betonarme Perdeler için Hasar Şekilleri

| Hasar Modu | Davranış                                                                                                                     |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| F1         | Uç bölgedeki düşey donatı akmaya başlaması ve basınç bölgesinde betonun ezilmesi (Eğilme-Sünek davranış)                     |
| F2         | Perde uç donatı oranının biraz fazla olduğu durumda betonun ezilmesi (Eğilme-Sünek davranışta azalma)                        |
| F3         | Perde uç bölgesinde donatı oranı ve enine donatı oranı düşük (Eğilme- Donatı burkulması ve kırılması)                        |
| F/S        | Eğilmenin etkin ve enine donatının yetersiz olduğu orta Boy/En oranındaki perdelerde gözlemlenir. (Eğilme/ Kesme Etkileşimi) |
| S1         | Boy/En oranı düşük perdelerde yüksek kesmeye maruz kaldığında oluşur (Kesme Etkin)                                           |
| S2         | Diyagonal çatlak boyunca donatının akması ve diyagonal çekme ile oluşur (Kesme Etkin)                                        |
| SS         | Perde-temel birleşiminde kayma davranışı                                                                                     |

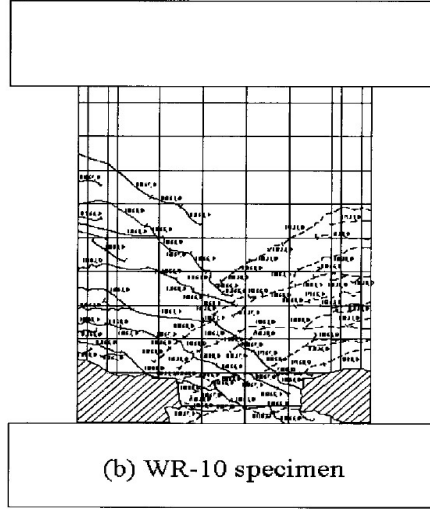
Wallace vd. (1995) çalışmalarında I ve T şekillerinde, Boy/En oranı 3,00 olan yerdeğiştirme tabanlı tasarlanmış toplam 4 adet betonarme perde  $0,1 A_g.f_c$  eksenel yük koşullarında yatay çevrimsel yüklemeye maruz bırakılarak test edilmiştir. Çalışmadaki perdelerde Boy/En oranı 3,0 olan RW1 perdesinin % 2 ötelenme oranındaki hasarları Şekil 2.3’ te verilmiştir. Çalışmada, yatay yük tepe deplasman değişimi, nominal moment

kapasitesi ve tarafsız eksen derinliği değişimi parametreleri incelenmiştir. Deneyler sırasında % 0,75 ötelenme oranında başlık bölgesindeki donatının aktığı ve % 2 ötelenme oranında da ise burkulma gözlendiği ve eğilme etkin hasar modu olduğu belirtilmiştir.

Han vd. (2002) alışmasında I şeklinde, Boy/En oranı 2,0 olan, farklı donatı düzenine sahip 1 tanesi başlığı genişletilmiş olmak üzere toplam 4 adet betonarme perde eksenel yük kapasitesinin %10'u ve yatay çevrimsel yer değiştirmeye maruz bırakılarak test edilmiştir. Hacimsel donatı oranına göre yanal yer değiştirme sünekliğine göre değişimi, yanal öteleme oranı ve enerji yutma kapasitesi parametreleri incelenmiştir. şekil 2.4'te Boy/En oranı 2,0 olan WR-10 perdesinin hasarları görülmektedir. Perde alt kısmında %0,17-0,25 ötelenme oranında 129,4-215,6 KN yanal yük değerinde ilk çatlak oluşumu gözlenmiş, % 2 ötelenme oranında ise de perde uç bölgesindeki donatılarda basınç ezilmesi meydana gelerek göçme meydana geldiği belirlenmiştir. Başlangıçta eğilme çatlakları oluştuğu, boyuna donatıda akmaya başladığı daha sona perde uç elemanlarda çatlama boyuna donatılarda burkulma olduğu, kesmenin de gözlemlendiği göçme türü meydana gelmiştir.



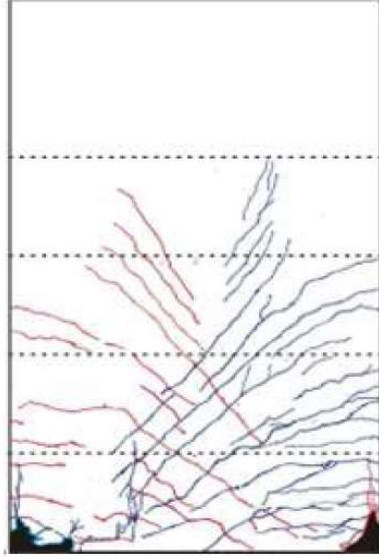
şekil 2.3 RW1 perdesi %2 ötelenme oranında hasar fotoğrafı (Wallace vd., 1995)



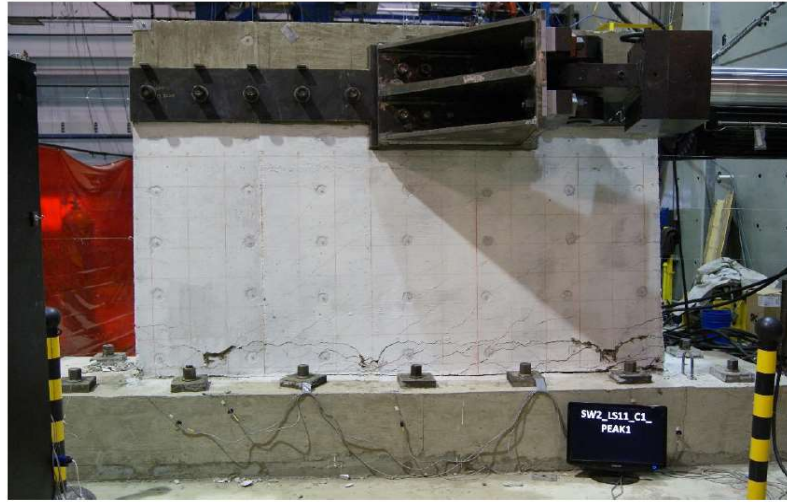
Şekil 2.4 WR-10 perdesi temsili hasar çizimi (Han vd., 2002)

Kono vd. (2014) çalışmasında I şeklinde, farklı Boy/En oranlarına (1,0-1,6) ve farklı donatı oranlarına sahip olan, 2 tanesi başlığı genişletilmiş olmak üzere toplam 9 adet betonarme perde (0,03; 0,033; 0,10 0,11; 0,20)  $N/A_g.f_c$  aksenal yük koşullarında yatay çevrimsel yüklemeye maruz bırakılarak test edilmiştir. Çalışmada Boy/En oranı 1,6 olan NC-40 perdesinin hasarları Şekil 2.5'te görülmektedir. Buna göre, %0,5-1 ötelenme oranında beton dökülmesi ve takiben eğilme ve kesme çatlakları gözlemlenmiş olup, düşey donatı burkulması ve perde uç bölgelerde betonda ezilme gelişmiştir.

Luna vd. (2018) yaptığı çalışmada I şeklinde, farklı Boy/En oranlarına (0,33-0,94) ve farklı donatı oranlarına sahip olan, toplam 12 adet betonarme perde (0; 0,05 ve 0,10)  $N/A_g.f_c$  aksenal yük koşullarında yatay çevrimsel yüklemeye maruz bırakılarak test edilmiştir. Kuvvet yer değiştirme ilişkisi, kesme etkisi altına ilk çatlak oluşumu, çatlak gelişimleri 0,5-1-3,2 mm aralıklarla incelenmiş, donatı akma dayanımı, düzlem dışı davranış ve göçme modu parametresi incelenmiştir. Boy/En oranı 0,54 olan SW2 perdesinin hasarları ötelenme oranı %2,23 'teki Şekil 2.6'da verilmiştir. Buna göre, kesme ve diyagonal çekme ve basınç gerilmeleri etkin olup kesme göçmesi meydana gelmiştir.



Şekil 2.5 NC-40 perdesi %2 ötelenme oranında hasar fotoğrafı (Kono vd., 2014)

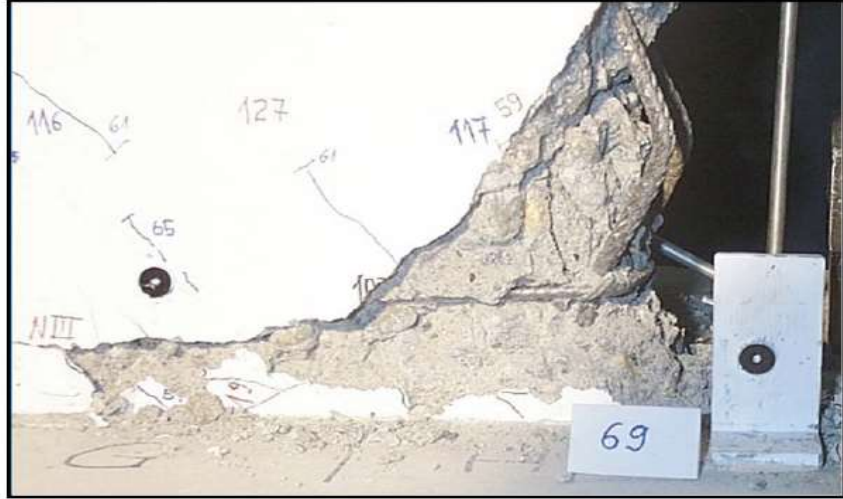


Şekil 2.6 SW2 perdesi hasar fotoğrafı (Luna vd., 2018)

Greifenhagen ve Lestuzzi, (2005), I şeklinde, farklı Boy/En oranlarına (0,61-0,68) ve farklı donatı oranlarına sahip olan, toplam 4 adet betonarme perde (0,03 ve 0,10)  $N/A_g \cdot f_c$  aksenal yük koşullarında yatay çevrimsel yüklemeye maruz bırakılarak test etmiştir. Farklı aksenal yük seviyesindeki perdelerin taban kesme kuvveti-yatay deplasman ilişkisi, ötelenme oranı, düktilite ve donatı oranı değişiminin perde davranışını etkileri incelenmiştir. Şekil 2.7’de Boy/En oranı 0,68 olan M3 perdesinin ötelenme oranı %

1,25'teki hasarlı fotoğrafı yer almaktadır. Perdede diyagonal kesme çatlakları oluştuğu, basınç ve çekme göçmesi meydana geldiği ve deney sonunda taban boyunca ani beton ezilmesi gözlemlenmiştir.

Segura (2017), Boy/En oranı (0,93), farklı donatı konfigürasyonu ve donatı oranlarına sahip, toplam 7 adet betonarme perde (0,10)  $N/A_g.f_c$  aksenal yük koşullarında yatay çevrimsel yükleme maruz bırakılarak test etmiştir. Şekil 2.8'deki WP6 (Boy/En =0,93) perdesinde ilk eğilme çatlakları % +0,047 ötelenme oranının, %2 dönmede mukavemet kaybı, %3 dönmede yanal yük taşıma kapasitesi kaybı %71 e azaldığı ve devamında düzlem dışı hareket ve boyuna donatı kopması gözlemlenmiştir.



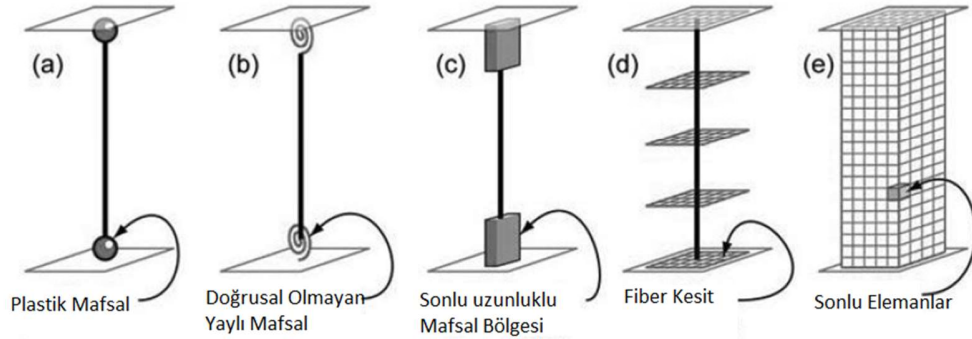
Şekil 2.7 M3 perdesi hasar fotoğrafı (Greifenhagen ve Lestuzzi, 2005)



Şekil 2.8 WP6 Perdesi hasar fotoğrafı (Segura, 2017)

## 2.2 Literatürdeki Sayısal Model Çalışmaları

Betonarme perdelerin doğrusal olmayan davranışının sayısal olarak benzeştirilebilmesi için modelleme yaklaşımları beş ana başlıkta toplanabilir: (i) plastisitenin bir bölgede yoğunlaştığı *yığılı plastisite modeli*; (ii) doğrusal olmayan davranışın eleman boyunca yayılı olduğu *yayılı plastisite modeli*; (iii) ayrıntılı sonlu elemanlar modelleri; (iv) çoklu düşey çubuk eleman modelleri (MVLEM) gibi *makro modeller* ve (v) kafes kiriş modelleme yaklaşımlarıdır. Şekil 2.9’da betonarme elemanların doğrusal olmayan davranışının modellenmesi için uygulanan yaklaşımlar verilmektedir (NIST, 2010).



Şekil 2.9 Betonarme elemanların doğrusal olmayan modellenmesinde yaklaşımlar (NIST, 2010)

Sevinç ve Bal (2018) çalışmasında, yayılı plastisite modelleme yaklaşımı ile betonarme elemanların analizlerinde eleman sayısı ve entegrasyon nokta sayısı faktörleri sayısal olarak arttığında analizlerin doğru sonuç verdiği bunu yanında giderek daha çok zaman aldığı görülmüştür. Bu sebeple optimum/uygun alt eleman ve entegrasyon nokta sayısı seçimi önemli hale geldiği ve az eleman sayısı ile yeterli doğrulukta analiz sonuçları elde edilmeye çalışılmıştır. Deplasman tabanlı formülasyon ve kuvvet tabanlı formülasyon yaklaşımları ile analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. İki adet çerçevenin karşılaştırılması sonucunda %20 mertebesinde dayanım farkı, %22 oranında tepe deplasman farkı gözlemlenmiştir.

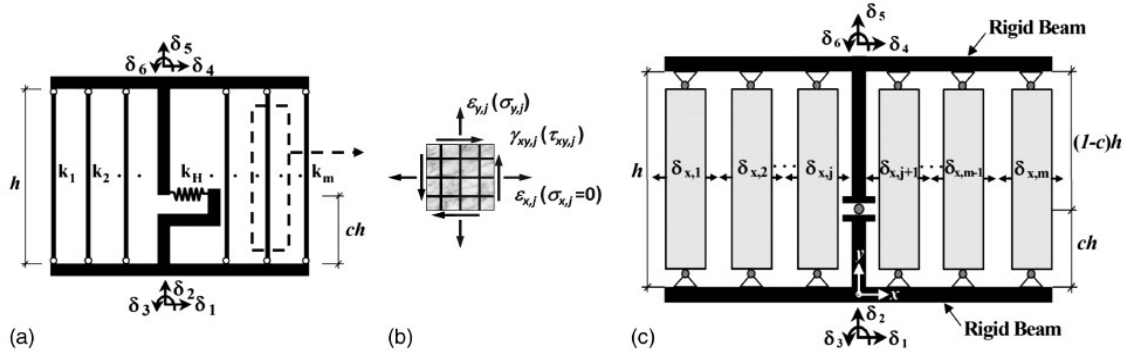
Betonarme perdelerin çevrimsel davranışının modellenmesinde Lu ve Panagiotou (2014) tarafından sonlu eleman boyut etkilerini dikkate alan bir kafes kiriş modeli geliştirilmiştir. Moharrami v.d. (2015) kesme etkilerine karşı yetersiz detaylandırılmış betonarme kolonlarda agrega kenetlenmesinin kesmeye katkısını dikkate alan kafes sistem modeli geliştirmiştir. Doğrusal olmayan kafes modelleme yaklaşımı, betonarme perdelerin çevrimsel davranışını benzeştirebilmek için kesme veya eğilme-kesme etkileşimi etkilerini doğrudan dikkate almaktadır (Lu ve Panagiotou, 2014). Burada doğrusal olmayan kafes kiriş modeli, beton ve çelik donatıyı her yönde modellemek için dikey, yatay ve diyagonal yönlerde doğrusal olmayan kafes kiriş elemanlarını kullanır. Şekil 2.10'da betonarme plak şerdi için verilen kafes modelde doğrusal olmayan beton kiriş elemanları, diyagonal yönde çift eksenli etkileri ve dikey ve yatay yönlerde çekme

The diagram shows a frame structure consisting of a central vertical member and two horizontal members extending to the left and right. The base of the structure is supported by two pin supports. A horizontal load  $P$  is applied to the right at the base of the right-hand horizontal member. The top of the central vertical member is displaced horizontally to the left by a distance  $\Delta$ , as indicated by a double-headed arrow labeled  $\Delta$ . The entire frame is discretized with a blue mesh of rectangular elements.

akçal vd. (2015) çalışmalarında, betonarme perdelerin çevrimsel yükleme altında e ve kayma deformasyonu etkileşimi sonlu elemanlar yöntemi ile incelemesi mıştır. Sabit çatlak yönlü modelleme yaklaşımı ile çoklu düşey çubuk eleman lleri (MVLEM) oluşturulmuştur. Agrega kenetlenmesi ve donatı sıyrılma etkisi basit

davranış modelleriyle göz önüne alınmıştır. Boy/En oranları narin (3,0) ve kısa (0,5) perdelerin kıyaslandığı çalışmada yük yer değiştirme davranışı, rijitlik, dayanım, süneklilik gibi dayanımı temsil eden faktörler açısından kabul edilebilir hassasiyette sonuçlar verdiği görülmüştür.

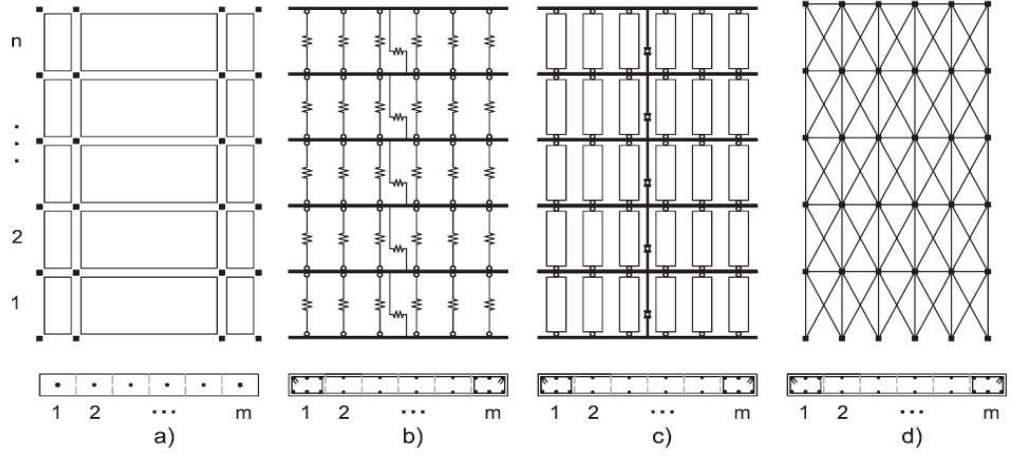
Kolozvari vd. (2015) çalışmasında, betonarme elemanların çevrimsel kesme, eğilme ve eksenel yük etkisi altındaki davranışını ve kesme eğilme etkileşimi göz önüne alarak temsil edebilmek için sunulan modelleme yaklaşımı incelenmiştir. Şekil 2.12’de verilen model kesme-eğilme etkileşimi çoklu düşey çubuk elemanlardan teşkil edilen model (SFI-MVLEM) iki rijit kiriş arasında çoklu link elemanlar ve kayma yayı içeren iki boyutlu fiber den oluşmaktadır. Makrofiber panel seviyesinde eğilme ve kesme tepkilerinin birleşmesine izin verir ve ayrıca agrega kenetlenme etkisini dikkate almaktadır.



Şekil 2.12 Eleman Modeli: (a) MVLEM eleman; (b) Betonarme panel eleman; (c) SFI-MVLEM eleman (Kolozvari vd., 2015)

Pozo vd. (2020) çalışmasında, PERFORM3D, MVLEM ve kesme kiriş modelleme yaklaşımları kullanılarak 8 adet betonarme perdenin yatay yükler altında doğrusal olmayan davranışı benzeştirilmiştir. Kuvvet-yer değiştirme, etkili yatay rijitlik, nihai dayanım ve nihai yer değiştirme parametreleri deneysel verilerle analiz sonuçları kıyaslanmıştır. Çalışmanın amaçlarından birisi, kuvvet yer değiştirme eğrilerinin farklı duvar model, ayrıştırmalarına duyarlılığını değerlendirmek olup, temel olarak yatay yer

değiştirme davranışına odaklanılmıştır. Sonuç olarak farklı modelleme tekniklerinde (Şekil 2.13' te yer alan) ayrıştırmanın davranışı etkilemediği sadece BTM modelinde kuvvet yer değiştirme eğrilerini etkilediği parametrelerin kuvvet deplasman eğrileri ile uyumlu olduğu, betonarme perdelerin rijitlik azalmasını uygun şekilde değerlendirebildiği belirlenmiştir.



Şekil 2.13 a) PERFORM3D, b) MVLEM, c) SFI-MVLEM, d) Kafes kiriş model (Pozo vd., 2020)

### BÖLÜM 3

#### DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ YAKLAŞIMLARI

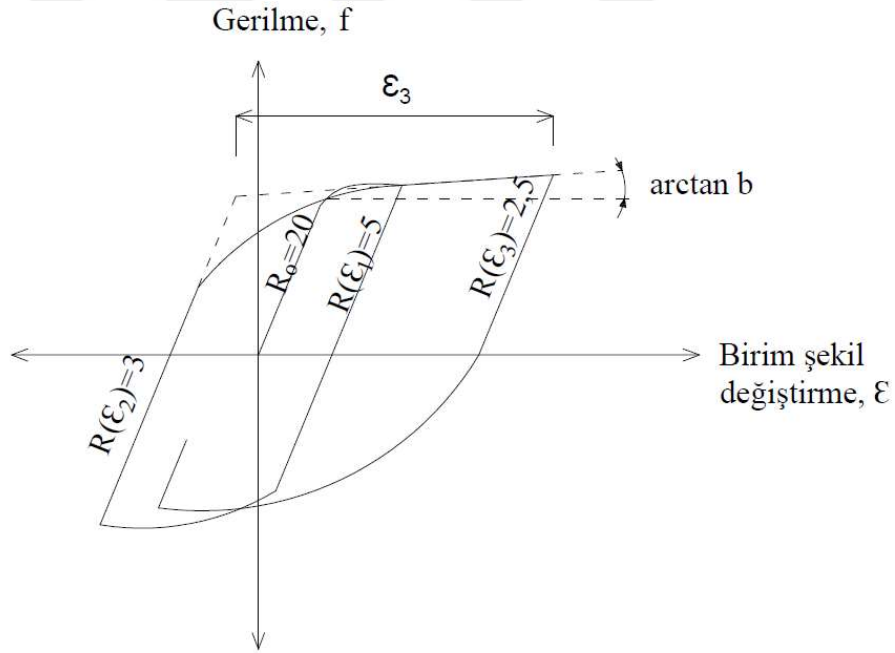
Depremlere bağlı tekrarlı yükler altında performans düzeyini karakterize etmek için depreme dayanıklı yapı tasarımında çeşitli modelleme ve simülasyon yazılım teknikleri kapsamlı bir şekilde uygulanmaktadır. OpenSees, Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) tarafından yapısal ve geoteknik deprem mühendisliği için açık kaynak olarak kullanılabilecek ve geliştirilebilecek bir uygulama ve araştırma simülasyon yazılımı olarak geliştirilmiştir (McKenna vd., 2006).

Gerçekçi modelleme ve doğrusal olmayan analiz yöntemlerini kullanarak modelleme yaklaşımları deprem mühendisliği için büyük önem taşımaktadır. Ayrıca yazılım, farklı özelliklere sahip eleman ve malzemelerden oluşan sistemin kuvvet ve yer değiştirme tabanlı alanlarının kinematik yaklaşımlarla modellenmesine olanak sağlamaktadır. Yazılımın bir diğer avantajı da statik ve dinamik yükler altında geniş bir çözüm ve algoritma yelpazesi sunarak kullanıcıya doğrusal olmayan sistemleri çözme kolaylığı sağlamasıdır. Simülasyon programı, birbirine bağlı modeller, kademeli elemanlar, çözüm algoritmaları, sistem düzenleyicileri, denklem çözücüler ve veri tabanından oluşur. Çalışma kapsamında, literatürde yer alan farklı Boy/En oranlarına sahip 3 adet betonarme perde testinin çevrimsel davranışının modelleme çalışmaları OpenSees yazılımı kullanılarak *Kafes Kiriş Analojisi*, *Yayıllı Plastisite* ve *Hibrit Modelleme* yaklaşımları uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Perde testlerinin yatay yük- ötelenme oranı gibi tüm davranışı yanında; kesitte gelişen birim deformasyonlar da ilgili ötelenme seviyelerindeki hasar şekilleri ile karşılaştırılmıştır.

### 3.1 Malzeme Modelleri

#### 3.1.1 Donatı Malzeme Modeli

Bu çalışmadaki tüm modellerde donatının gerilme birim şekil değiştirme ilişkisi OpenSees malzeme kütüphanesinde *Steel02* olarak yer alan (Menegotto ve Pinto, 1973) modeli (GMP) ile tanımlanmıştır.  $E_s$  Başlangıç Elastisite modülünü ( $E=200$  GPa),  $f_y$  akma dayanımını,  $B_s$  tepe/nihai akma sertleşme oranını ifade eder.  $B_s$  değeri 0.01-0.02 olarak dikkate alınmıştır. Plastik bölgeyi ifade eden parametreler sıralanırsa, Filippou vd. (1983)  $R_0=20$ ;  $cR1=0.925$ ; and  $cR2=0.15$  ve basınç halinde izotropik birim şekil değiştirme sertleşmesi ( $a=5\%$ ) dir. Donatı burkulması ve donatı kayma etkileri dikkate alınmamıştır. Şekil 3.1’de donatı malzeme modeli grafiği yer almaktadır.



Şekil 3.1 Giuffré-Menegotto ve Pinto Donatı gerilme- birim şekil değiştirme grafiği (Menegotto ve Pinto, 1973)

$$\sigma^* = (1 - b) \frac{\varepsilon^*}{(1 - \varepsilon^{*R})^{1/R}} + B \cdot \varepsilon^* \quad (3.1)$$

$$R(\xi) = R_0 - \frac{A_1 \cdot \xi}{A_2 + \xi} \quad (3.2)$$

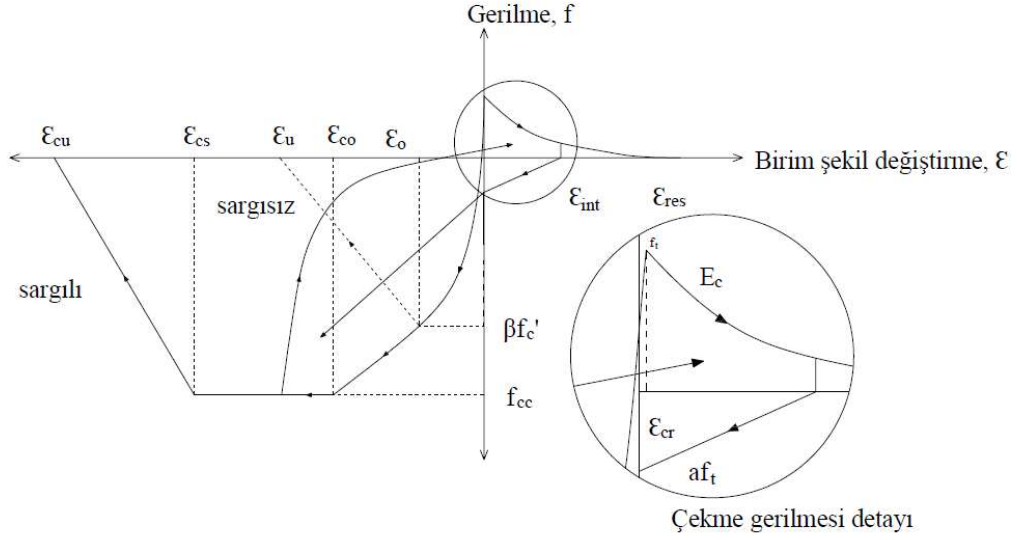
### 3.1.2 Beton Malzeme Modeli

Çalışmada kullanılan beton malzeme modeli *Concretewbeta* modeli olup, betonun basınç davranışında enine doğrultudaki çekme gerilmelerini dikkate alan ve Şekil 3.2’de verilen tek eksenli beton malzeme modelidir (Lu ve Panagiotou, 2014). Yapılacak analizlerde kullanılacak *Concretewbeta* beton modelinin tanımlamasında ihtiyaç duyulan  $f_{cc}$ ,  $\varepsilon_{cc}$ ,  $\varepsilon_{cu}$  değerleri Mander vd. (1988) çalışmasındaki ifadelerden faydalanılarak hesaplanmıştır. Sargısız betonda başlangıç elastisite modülü  $E=5000\sqrt{f_c'}$ ,  $f_c'$  anındaki birim şekil değiştirmesi ise  $\varepsilon_o=\% 0,2$ ’dir. Nihai basınç gerilme dayanımına kadar olan basınç bölgesi Fuji beton modeline dayanır (Hoshikuma vd., 1997). Sargılı beton gerilme-şekil değiştirme ilişkisi  $f_c'$  den  $f_{cc}$  ye kadarlık kısım Denk.3.3’de tanımlanır. Sargısız betonda basınç gerilmesi  $f_c'$  değerine ulaştıktan sonra birim şekil değiştirme değeri  $\varepsilon_u$  ya kadar azalarak sıfıra ulaşır. Sargılı betonda basınç birim şekil değiştirmesini etkileyen boşalma kısmının eğimi Denk.3.4 ile tanımlanır. Gerilme sıfıra ulaştıktan sonra malzeme doğrusal olarak daha önce meydana gelen en büyük çekme birim uzamasına erişene kadar geri yüklenir.

Beton çekme dayanımı  $f_t=0,33\sqrt{f_c'}$  ulaşana kadar doğrusaldır. Kafes modelleme yaklaşımındaki yatay ve düşey donatılı beton elemanlarda Stevens vd. (1991) tarafından önerilen çekme güçlenmesi ifadesi kullanılır. Burada M tanımlanacak olursa doğrusal olmayan çekme pekleşmesi davranışı Denk. 3.5 ve 3.6 ile tanımlanır.  $M= (75\text{mm}) \cdot \rho/d_b$  olarak önerilir ( $\rho$ : malzeme yönüne paralel donatı oranı,  $d_b$ : donatı çapı).

$$f(\varepsilon) = \begin{cases} -Ec \cdot \varepsilon + \left( \frac{f_{pc} - Ec \cdot \varepsilon_{c0}}{(\varepsilon_{c0})^2} \right) \varepsilon^2, & \varepsilon \geq \varepsilon_{c0} \\ \left( \frac{f_{pc} - f_{cc}}{(\varepsilon_{c0} - \varepsilon_{cc})^3} \right) \cdot (\varepsilon - \varepsilon_{cc})^3 + f_{cc}, & \varepsilon_{c0} > \varepsilon \geq \varepsilon_{cc} \end{cases} \quad (3.3)$$

$$Eu = \lambda \cdot \left( \frac{f}{\varepsilon} \right) + (1 - \lambda) \cdot Ec \quad (3.4)$$



Şekil 3.2. Concretewbeta Beton gerilme-birim şekil değıştirme grafiği (Lu ve Panagiotou, 2014)

Diyagonal kafes elemanlarda ise her iki doğrultuda örtüşen alanları azaltmak için diyagonal elemanın çekme dayanımı sıfır olarak göz önüne alınmaktadır. Bu yöntemle betonarme perdelerin (Lu ve Panagiotou, 2014), kolonların (Moharrami vd., 2015) ve birleşim bölgelerinin (Bowers, 2014) analizinde, çevrimsel davranış için dayanımda ve yerdeğıştirme kapasitesinde deney sonuçları ile oldukça uyumlu davranış elde edilmiştir. Yatay ve düşey beton kafes elemanlar için çekme dayanımı

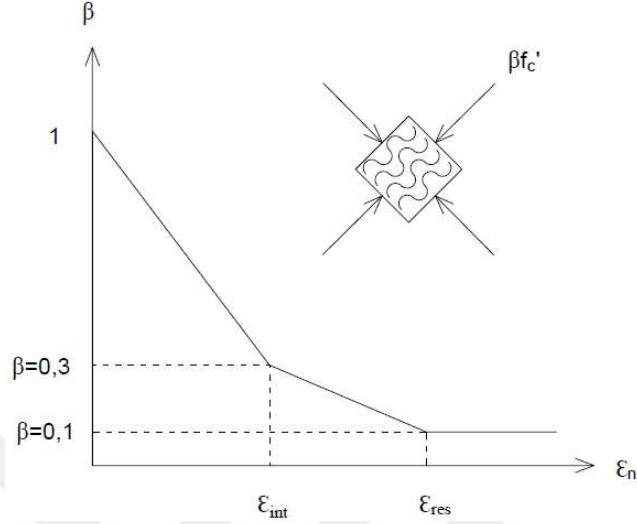
$$f = ft + [(1 - M)e^{-\lambda_t(\varepsilon - \varepsilon_{cr})} + M] \quad (3.5)$$

$$\lambda_t = \frac{540}{\sqrt{M}}; \quad \varepsilon_{cr} = \frac{ft}{Ec} \quad (3.6)$$

ile ifade edilmektedir.

Diyagonal beton kafes elemanlarda betonun basınç etkisindeki davranışını enine yönde çekme gerilmeleri ile azaltılması ile analizin her adımında azaltma faktörü  $\beta$  ve normal çekme birim şekil değıştirme  $\varepsilon_n$  ilişkisi kullanılır. Basınç gerilmesi durumunda anlık gerilme değeri  $\beta f_c$  olarak elde edilir. Burada  $f_c$ : tek eksenli gerilme. Pozitif gerilme

(çekme gerilmesi) durumunda  $\beta=1$  dir.  $\beta$  faktörü 0,3 ile 1,0 aralığında hesaplanır. Birim şekil değiştirme ise  $\epsilon_{tres} = \%1,0$  den başlar. Şekil 3.3'te  $\beta$  ve  $\epsilon_n$  ilişki grafiği gösterilmiştir.



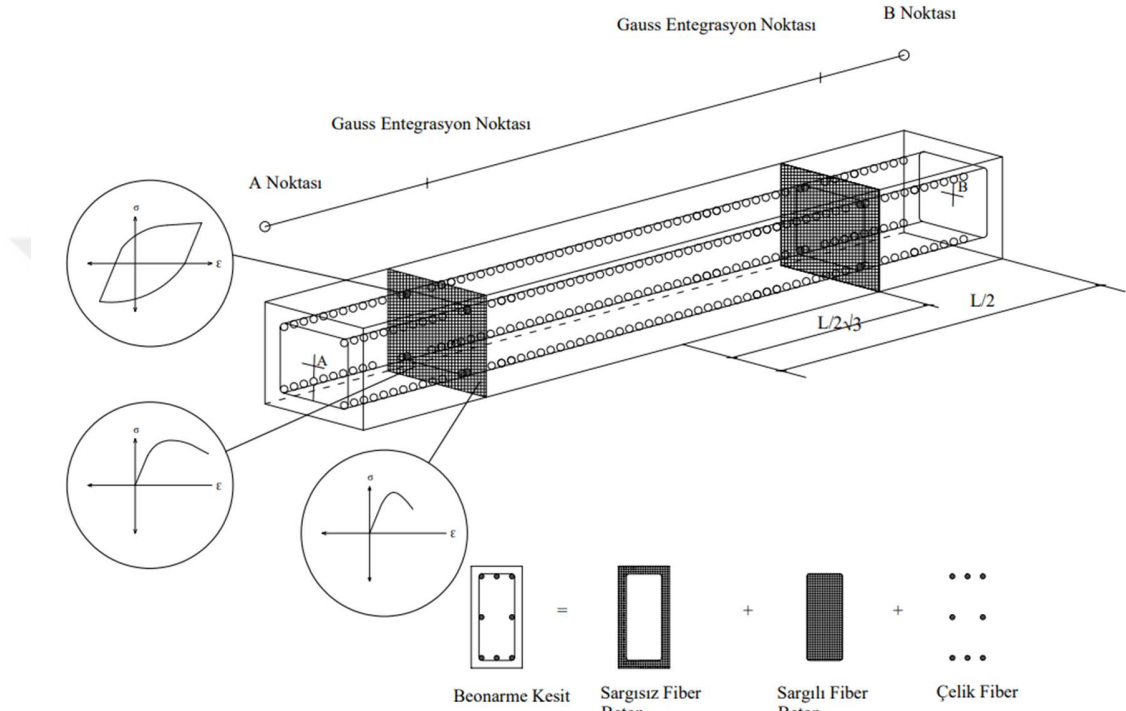
Şekil 3.3 Beton basınç gerilmesi azaltma faktörü  $\beta$  ve normal çekme birim şekil değiştirme  $\epsilon_n$  ilişkisi (Lu ve Panagiotou, 2014)

### 3.2 Yayılı Plastisite Yaklaşımı

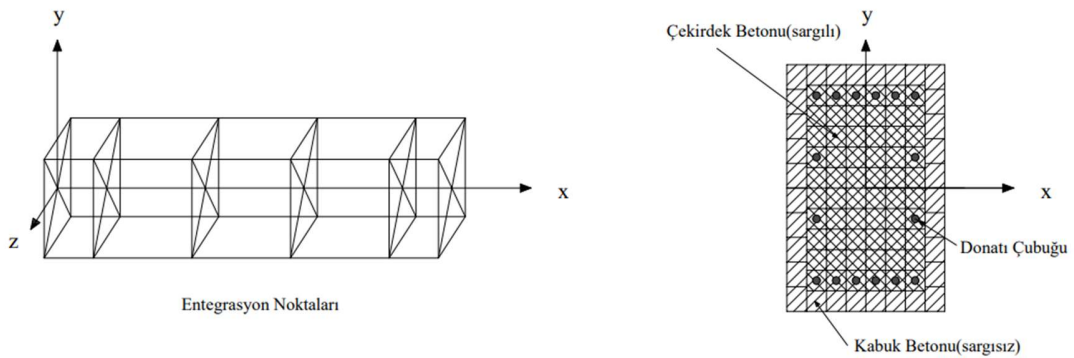
Kesit hücresi (Fiber/Lif) esaslı kolon-kiriş elemanlarına sahip yayılı plastisite modelleri, eğrilik ve birim şekil değiştirme gibi davranış parametrelerinin tahmin edilmesini sağlar. Eleman kesiti, eleman uzunluğu boyunca entegrasyon noktalarında hücrelere (liflere) bölünür. Yer değiştirmeye dayalı yaklaşım, yaklaşık bir yer değiştirme alanından kesit deformasyonlarını interpolasyon yapan sonlu eleman prosedürlerine dayanırken, kuvvete dayalı yaklaşım, temel eleman sistemi içindeki tam denge çözümüne dayanır.

Herhangi bir betonarme kesit yayılı plastisite yaklaşımı ile modellenmek istendiğinde, kesit alanının  $n$  sayıda daha küçük alanlara bölünmesi ile liflere ayrılır. Bu liflerin her birine tek eksenli gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi (sargılı, sargısız beton, donatı) tanımlanmaktadır. Liflerdeki gerilmeler hesaplandıktan sonra, doğrusal olmayan tek eksenli gerilme-birim şekil değiştirme tepkisinin entegrasyonu ile kiriş-kolon

elemanlarının kesit moment-eğrilik ilişkileri elde edilir. Herhangi bir betonarme kesit temsili olarak Şekil 3.4' te gösterilmekte olup (Antoniou ve Pinho, 2018) çerçeve elemanında Gauss kesitleri a ve b olarak adlandırılmaktadır. Şekil 3.5'te daha fazla entegrasyon noktası kullanıldığı durum gösterilmiştir.



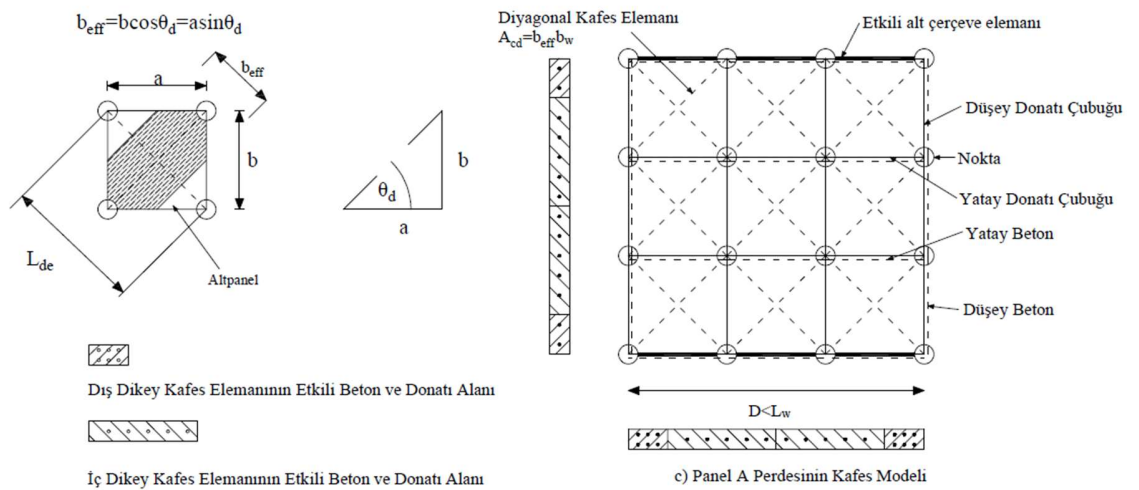
Şekil 3.4 Tipik betonarme enkesitin yayılı plastisite modeli (Antoniou ve Pinho, 2018)



Şekil 3.5 Yayılı plastisite modelinde fiber esaslı modelleme ve entegrasyon kesitleri (Antoniou ve Pinho, 2018)

### 3.3 Kafes Kiriş Analojisi Yaklaşımı

Bu çalışma kapsamındaki *Kafes Kiriş Analojisi Modelleme* yaklaşımında, düşey, yatay ve diyagonal yönlerde doğrusal olmayan kafes kiriş elemanları uygulanmaktadır. Diyagonal doğrultudaki basınç davranışı üzerindeki çift eksenli etki için çekme azalması için doğrusal olmayan betonarme kafes elemanlar; düşey ve yatay yönlerde çekme güçlenmesi etkileri dikkate alınmaktadır. Betonarme bir perdeye ait kafes elemanlardan oluşan model Şekil 3.6'da verilmektedir. Her bir yatay veya düşey kafes çubuk eleman, betonarme veya donatı çeliğinin malzeme ve kesit özellikleri ile tanımlanır. Betonarme perdeyi temsil eden kafes taşıyıcı sistemdeki diyagonal elemanlar da mevcut olup bu elemanlar ise sadece betondan oluşan kafes çubuğu gibi ele alınır, bu elemanlarda donatı olmadığı varsayılır. Diyagonal kafes elemanı en kesit alanı, kafes panel elemanın efektif genişliği  $t(b_{eff})$  ve  $b_w$  çarpımıdır.  $b_{eff}=b.\sin\theta_d=z.\cos\theta$  olarak hesaplanabilir. Burada  $\theta$  açısı  $b$  ve  $a$  uzunluğuna bağlı olarak oluşmaktadır. Hesaplamalarda donatı çeliği ile beton arasında aderansın ideal şekilde olduğu varsayılır. Şekil 3.6' da gösterilen gibi her panel için, çelik ve betonun dikey ve yatay etkili alanlarının kabul edilebilir bir dağılımına sahip olması için minimum dört alt panel önerilmiştir (Panagiotou vd., 2012).



Diyagonal kafes elemanların yatayla yaptıkları  $\theta_d$  açısı Moharrami vd. (2015) tarafından önerilen yaklaşıma göre belirlenmiştir. Bu yaklaşımda üniform basınç gerilmesi etkisi altındaki betonarme elemandaki düzlem gerilme durumu dikkate alınarak asal gerilmelerin doğrultuları belirlenmiştir. Tablo 3.1’de  $\nu$  eksenel basınç gerilmesi oranı,  $f_t$  betonun çekme dayanımı ve  $f_c$  basınç dayanımı olmak üzere  $\theta_d$  açısı değerleri verilmiştir.

Tablo 3.1 Eksenel basınç gerilmesi oranı ( $\nu$ ) ve  $f_t/f_c$  oranına bağlı  $\theta_d$  açıları (Moharrami vd., 2015)

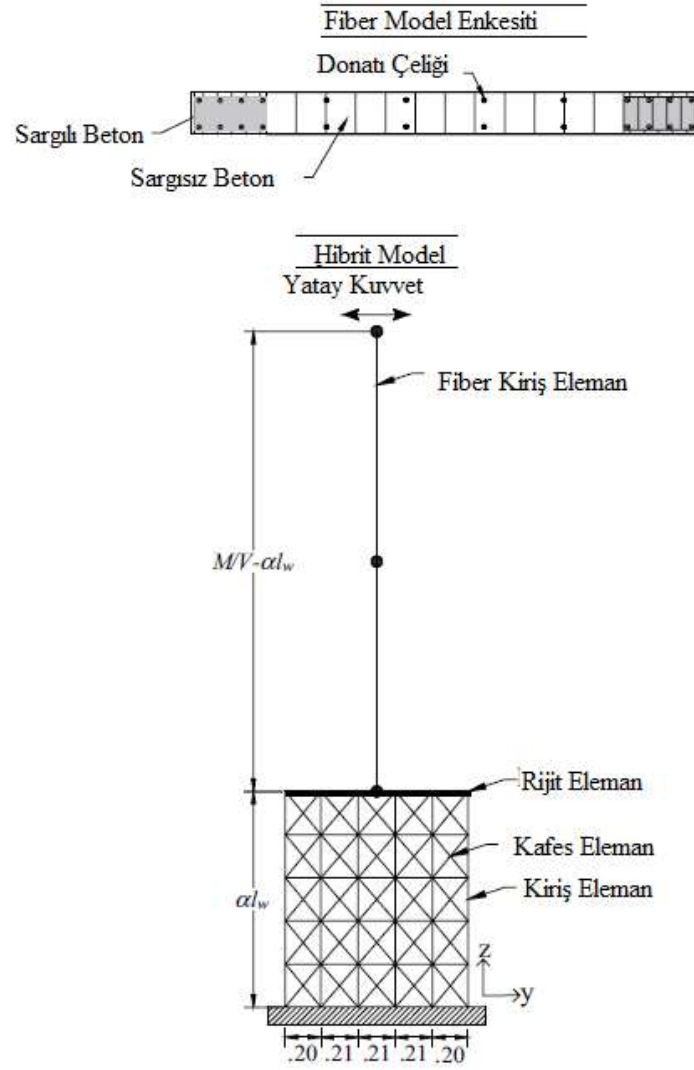
|                 | $\nu=0.00$ | $\nu=0.05$ | $\nu=0.10$ | $\nu=0.15$ | $\nu=0.20$ | $\nu=0.25$ | $\nu=0.30$ | $\nu=0.35$ | $\nu=0.40$ |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| $f_t/f_c=0.050$ | 45         | 55         | 60         | 63         | 66         | 68         | 69         | 71         | 72         |
| $f_t/f_c=0.075$ | 45         | 52         | 57         | 60         | 62         | 64         | 66         | 67         | 68         |
| $f_t/f_c=0.100$ | 45         | 51         | 55         | 58         | 60         | 61         | 63         | 65         | 66         |
| $f_t/f_c=0.125$ | 45         | 50         | 53         | 56         | 58         | 60         | 62         | 63         | 64         |

### 3.4 Hibrit Modelleme Yaklaşımı

Hibrit modelleme yaklaşımında, betonarme perdelerin davranışına etki eden kesme ve eğilme davranış parametrelerinin yeterli yaklaşıklıkla hesabı için plastik deformasyonun plastisite yaklaşımı uygulanmaktadır. Betonarme perdelerin kesme ve eğilme etkileşimi konusunda Arteta vd. (2019) yaptığı çalışmada yarı statik çevrimsel yüklemeler altında perdede davranışını değerlendirmek için Hibrit (HyNLT-F) model oluşturulmuştur. Burada perde modellenirken perdede kesme etkin kısımda kafes modeli kullanılırken; kalan kısmında kuvvet esaslı fiber kiriş kolon eleman ile modellenmiştir (Şekil 3.7). Çalışmada, Kafes Kiriş modelin yığılı plastisite modeline kıyasla hesaplama zamanı açısından daha fazla olması sebebiyle hibrid modelleme yaklaşımı kullanılarak bu dezavantajlı durumların bertaraf edildiği görüldü. Şekil 3.7’de betonarme perde için oluşturulan Hibrit Modelin gösterimi yer almaktadır. Kafes Kiriş modelinin uygulanacağı bölgenin belirlenmesi için Denk. 3.7 ile  $\alpha$  katsayısı tanımlanarak bu bölgenin uzunluğu  $\alpha L_w$  ile ifade edilmiştir. Buna göre, Boy/ En ( $H/L_w$ ) oranı arttıkça  $\alpha$  katsayısının azaldığı,

dolayısıyla da kesme etkin bölge için tanımlanan Kafes Kiriş model alanının azaldığı belirlenmiştir.

$$\alpha \geq \frac{6}{5} - \frac{1}{3} \frac{H}{L_w} \quad (3.7)$$



Şekil 3.7 Betonarme Perdeler için Hibrit Model (Arteta vd., 2019)

## BÖLÜM 4

### SAYISAL MODEL ÇALIŞMALARI

#### 4.1 RW2 Perdesi (Thomson ve Wallace, 2004)

##### 4.1.1 Geometri ve Malzeme Özellikleri

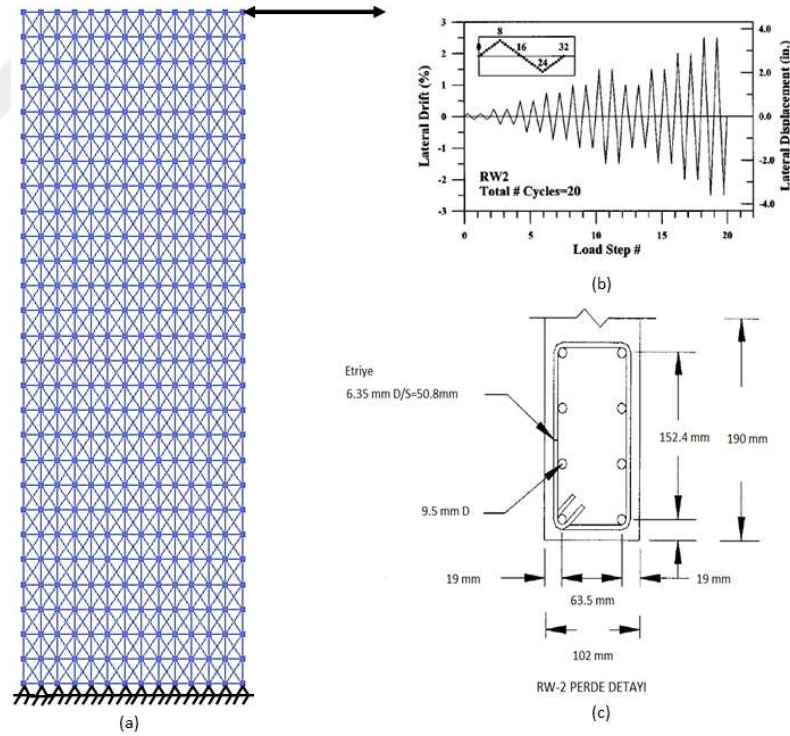
Thomson ve Wallace (1995, 2004) çalışmasında betonarme perdeleri yerdeğiştirme esaslı modelleme yaklaşımı ile tasarlayarak bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. Deneysel çalışmada üst ucu serbest dikdörtgen kesitli (RW) ve T kesitli (TW) perdelerin uç bölgelerinde farklı enine donatı düzenleri dikkate alınmıştır. Bu çalışmada RW-2 perdesi dikkate alınmıştır ve RW2 perdesinin kesit genişliği ( $L_w$ ) 1219 mm, kesit derinliği ( $b_w$ ) 102 mm olup, perde yüksekliği ( $H_w$ ) 3658 mm olmak üzere Boy/En oranı ( $H_w/L_w$ ) 3'tür. Perde testleri sırasında sabit olarak uygulanan eksenel yük düzeyi  $N/f_c A_g = 0,1$ 'dir ve perde uç bölgesinin hacimsel enine donatı oranı ise 0,0132'dir (Şekil 4.1) (Tablo 4.1). RW2 perdesine perde kesit genişliği doğrultusunda yerdeğiştirmeler tersinir-tekrarlı olarak her çevrimde 2 adet olmak üzere artımsal olarak uygulanmıştır (Şekil 4.1). Sargısız beton dayanımı  $f_c = 27,4$  MPa, birim şekil değiştirme  $\epsilon_c = 0,002$  olup sargılı beton dayanımı ise  $f_{cc} = 39,8$  MPa ve  $\epsilon_{cc} = 0,006$  olarak hesaplanmıştır. RW2 perdesinin yanal yük taşıma kapasitesini %2,5 ötelenme oranına kadar azalma olmadan sürdürdüğü ve eğilme etkilerinin belirgin olduğu bir davranış sergilediği belirlenmiştir. Boyuna donatı çapı 9,5 mm, enine donatı çapı ise 6.4 mm olup donatı akma dayanımı  $f_y = 414$  MPa  $\epsilon_y = 0,002$  'dir. Perdenin geometri ve malzeme bakımından özellikleri Tablo 4.1 'de verilmiştir.

Tablo 4.1 RW2 perdesinin malzeme ve geometrik özellikleri

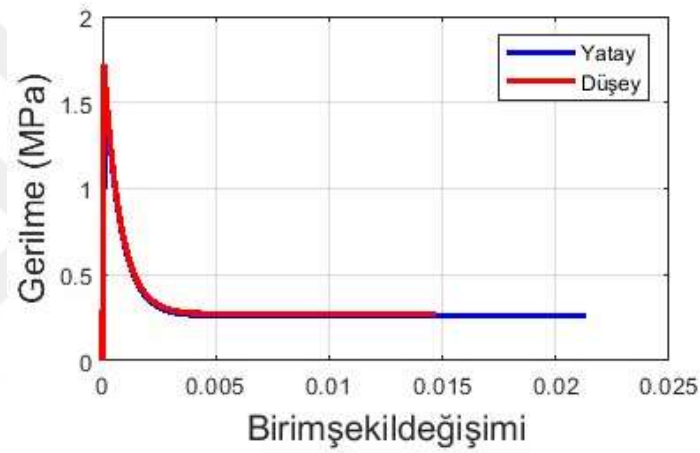
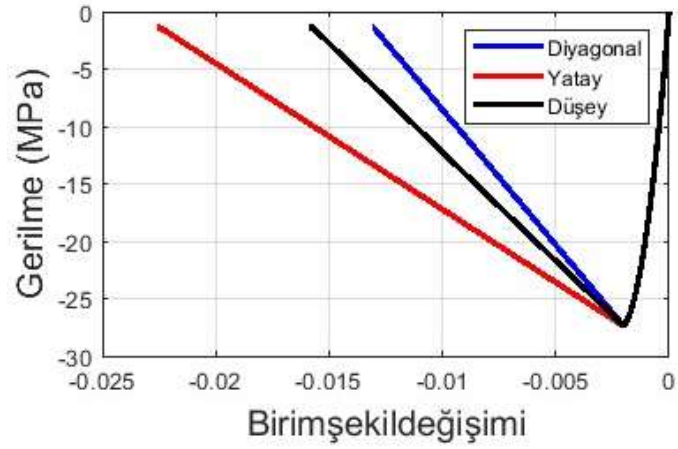
| Perde Adı | H<br>(mm) | L <sub>w</sub> (mm) | H/L <sub>w</sub> | T<br>(mm) | $\rho_b$ (%) | $\rho_h$ (%) | $\rho_v$ (%) | N(A <sub>g</sub> .f <sub>c</sub> )(%) | f <sub>c</sub> (Mpa) | f <sub>yb</sub> (Mpa) |
|-----------|-----------|---------------------|------------------|-----------|--------------|--------------|--------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| RW2       | 3660      | 1220                | 3                | 102       | 1,61         | 0,296        | 0,296        | 0,1                                   | 27,6                 | 414                   |

#### 4.1.2 RW2 Kafes Kiriş Modeli

Şekil 4.1'a 'daki RW2 perdesi için kafes sistem modelinde eksenel yük düzeyine (0,1) ve  $f_t/f_c = 0,1$  alınarak bağlı olarak diyagonal elemanların yatayla yaptığı açı Tablo 3.1'den ( $\theta_d$ )  $55^\circ$  olarak belirlenmiştir. Kafes tek panel boyutları ise yatayda  $a = 93,83$  mm, düşeyde  $b = 135,53$  mm olarak alınmıştır. Diyagonal elemanların etkili eleman genişlikleri ( $b_{ef}$ ) 77,1 mm'dir. Kafes modeli oluşturan yatay, düşey ve diyagonal elemanların basınç; yatay ve düşey elemanların çekme dayanımı ve birim şekil değişimleri eleman boyut etkileri dikkate alınarak hesaplanmış ve Şekil 4.2'de verilmiştir. Beton kesitinin ulaştığı en büyük basınç gerilmesinin yarısına düştüğü birim şekil değiştirme değeri kırılma noktası kabul edilmiş olup, düşey betonda  $\epsilon_{cu} = 0,0096$ , diyagonal betonda  $\epsilon_{cu} = 0,0078$ 'dir. Betonun çekme dayanımına ulaştıktan sonra taşıma kapasitesinde ani düşüş olduğundan çekme gerilme dayanımına ulaştığında kırıldığı varsayıldı.

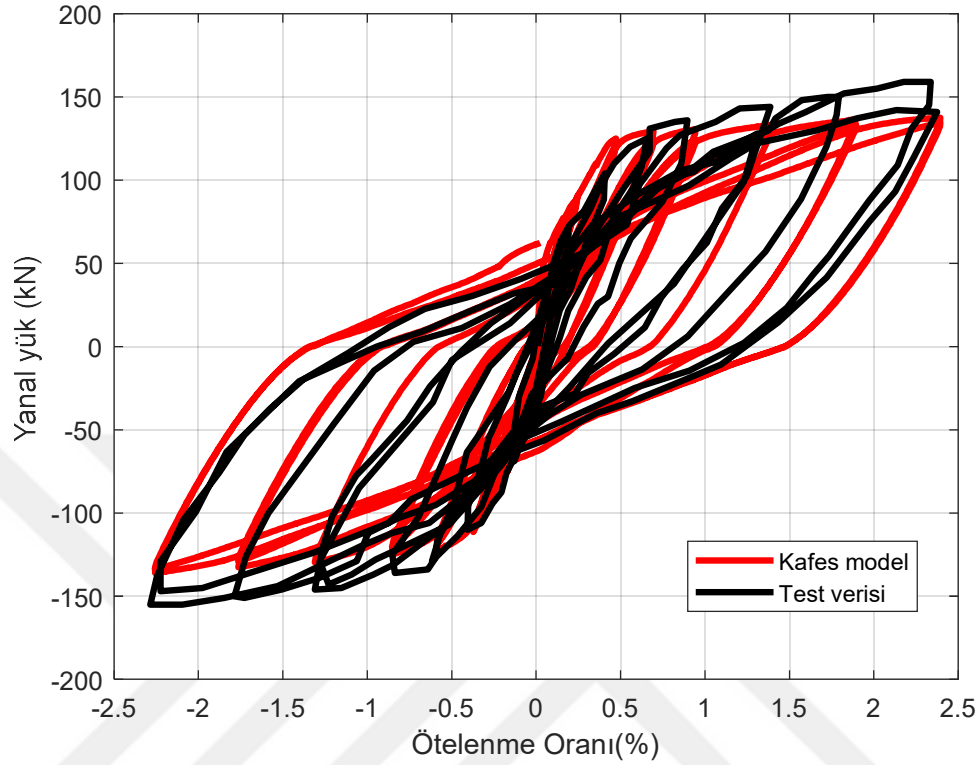


Şekil 4.1 (a) RW2 perdesi kafes kiriş modeli, (b) Deneyde uygulanan yatay yer değiştirmeler, (c) Perde uç bölgesi detayı



Şekil 4.2 RW2 Kafes kiriş modeli beton çubuk elemanları için gerilme-birim şekil değiştirme ilişkileri

Kafes Kiriş Modeli ile RW2 perdesi için elde edilen analiz sonuçlarının deney verisi ile kıyaslanması Şekil 4.3'te verilmiştir. Çevrimsel davranış altındaki kafes model nihai yanal yük değeri 137,5 kN olarak hesaplanmış olup, test verisi ise 159 kN 'dur ve kafes modelin yanal yük değerini %14 oranla daha düşük olduğu belirlenmiştir. Kafes model başlangıç yanal yük değeri 82 kN hesaplanmış, aynı birim şekil değiştirme değeri 7,25 mm de test verisi ise 73 kN olarak belirlenmiş olup, başlangıç rijitliği açısından 1,12 oranla kafes modelin daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.3 RW2 Kafes Model ve Test verisi için Yanal Yük-Ötellenme Oranı Grafiği

Tablo 4.1’de RW2 Kafes Modeli için çubuk elemanlarda ilgili ötelenme oranlarında gelişen birim şekil değiştirmeler verilmiştir. RW2 perdesinin Şekil 4.4’teki 1. Sırasında yer alan tüm elemanların analiz süresince deformasyonları EK-1’de sunulmuştur. RW2 Kafes modeli için düşey beton ve diyagonal betona ait ulaşılan gerilme- birim şekildeğiştirmeler Şekil 4.5’te verilmiştir. Düşey kafes eleman beton basınç gerilmesi altında sargılı beton basınç dayanımı Şekil 4.4’de 39,81 Mpa ulaşarak ve birim şekil değiştirmesi 0,0086 değerine ulaşmıştır. Diyagonal kafes eleman beton basınç gerilmesi ise 27,15 MPa, birim şekil değiştirmesi 0,002 olarak hesaplanmıştır. Düşey kafes eleman beton basınç gerilmesi daha yüksek değere ulaştığı ve az miktarda da olsa 1,72 MPa çekme gerilmesine ulaştığı gözlemlenebilmiştir. EK-1’ den düşey betonun  $\epsilon_{cu}=0,0096$  değerine %1 ötelenme oranına, diyagonal betonun  $\epsilon_{cu}=0,0078$  değerine ise %2 ötelenme oranında ulaştığı ve kırılmaya uğradığı tespit edilmiştir.

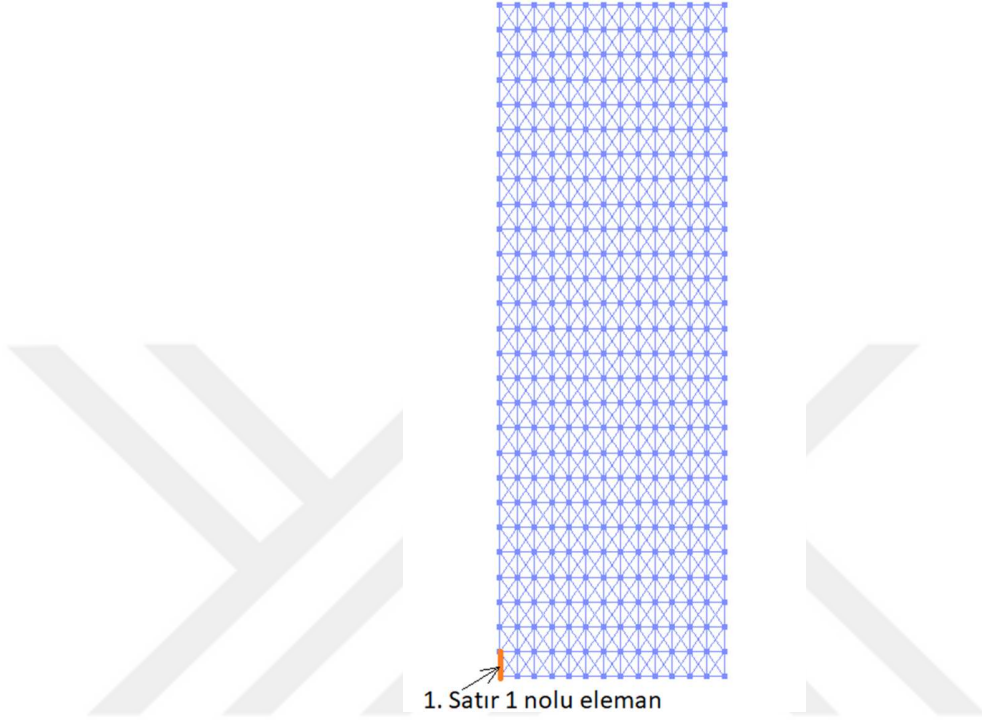
Tablo 4.2 RW2 Kafes Model Ötelenme oranına göre deformasyonlar

| Ötelenme Oranı (%) | Kafes Eleman Malzemesi | Birim Şekil Değiştirme $\epsilon$ | Gerilme (MPa) |
|--------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------|
| 0,42               | Boyuna Düşey Donatı    | 0,0021                            | 409           |
|                    | Düşey Beton            | 0,0021                            | -15,61        |
|                    | Diagonal Beton         | 0,0013                            | -9,17         |
| 1                  | Düşey Beton            | 0,0096                            | -31,26        |
| 2                  | Diagonal Beton         | 0,0078                            | -17,91        |
| 2,4                | Boyuna Düşey Donatı    | 0,0177                            | 456           |
|                    | Düşey Beton            | 0,0177                            | -39,68        |
|                    | Diagonal Beton         | 0,0088                            | -24,76        |

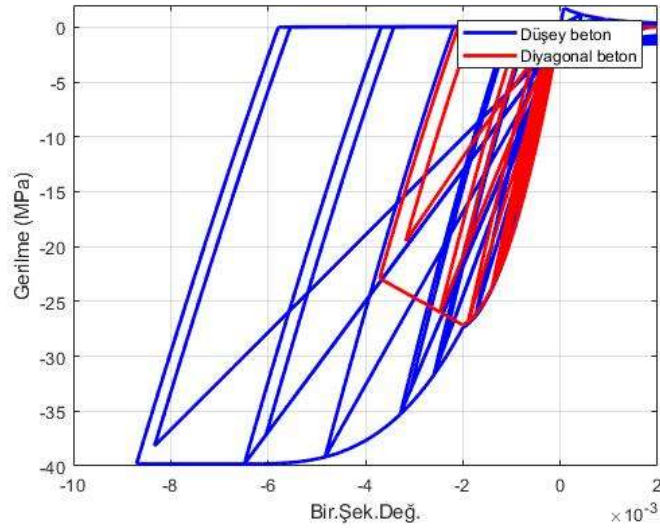
RW2 Kafes Modelde, perde donatılarının ulaştığı değerler gözlemlendiğinde (Şekil 4.6); Perdedeki 1. Sıradaki 1. düşey Kafes Eleman Donatı1 çekme gerilmesi 329,20 MPa, birim şekil değiştirmesi 0,0019, Donatı2 çekme gerilmesi ise 385,94 MPa, birim şekil değiştirmesi 0,002 olarak hesaplanmıştır. Donatı1 en büyük çekme gerilmesi 461,64 MPa birim şekil değiştirmesi 0,0167, donatı2 en büyük çekme gerilmesi 457,91 birim şekil değiştirmesi 0,0177 olarak hesaplanmıştır. Bunun yanında, Donatı1 en büyük basınç gerilmesi 425,33 MPa birim şekil değiştirmesi 0,0087, donatı2 en büyük basınç gerilmesi 426,87 MPa birim şekil değiştirmesi 0,0064 olarak elde edilmiştir.

Kafes modelde meydana gelen deformasyonlarla test deformasyonları karşılaştırıldığında EK-1 de görüleceği üzere kafes model 1. Düşey beton eleman %1 ötelenme oranında 0,0097, %1,5 ötelenme oranında 0,013 ve %2 ötelenme oranında 0,015 birim şekil değiştirme değerine ulaşmaktadır. Thomsen ve Wallace (1995, 2004) test verisinde ise %1 ötelenme oranında 0,01, %1,5 ötelenme oranında 0,018 ve %2 ötelenme oranında 0,023 birim şekil değiştirme değeri verilmiştir. Yapılan analiz sonucu meydana

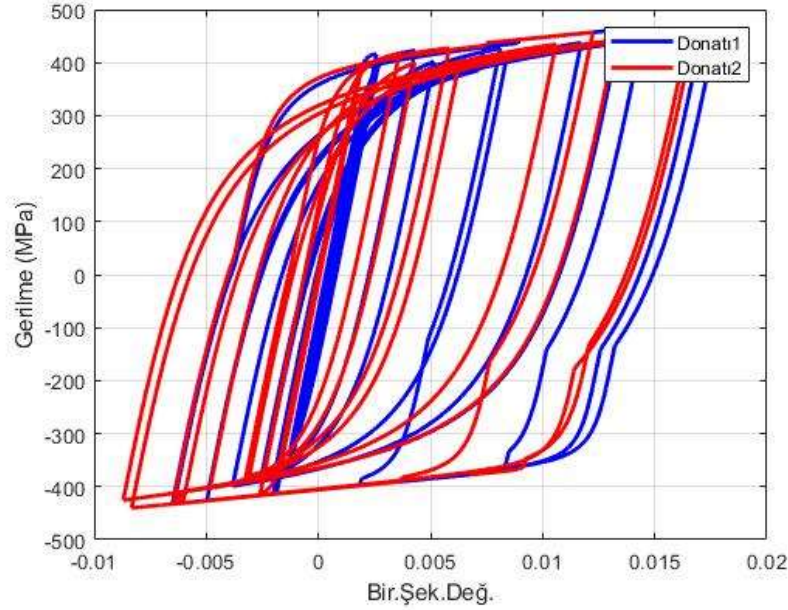
gelen deformasyonların test verisiyle %1 ötelenme oranlarında çok yakın değerler verdiği %1,5 ve %2 ötelenme oranlarında da nispeten uzaklaştığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.4 RW2 perdesi için oluşturulan Kafes model deformasyona uğrayan eleman gösterimi



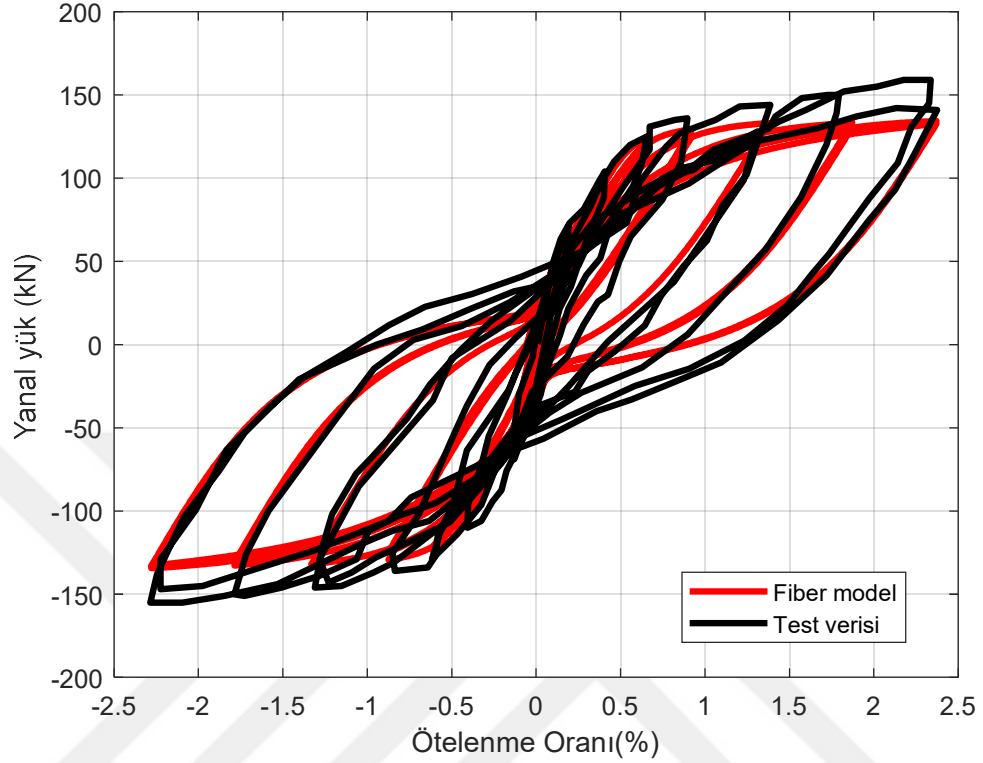
Şekil 4.5 RW2 perdesi için oluşturulan Kafes Model düşey ve diyagonal beton eleman gerilme- birim şekil değiştirme grafiği.



Şekil 4.6 RW2 perdesi için oluşturulan Kafes donatı gerilme- birim şekil değiştirme grafiği.

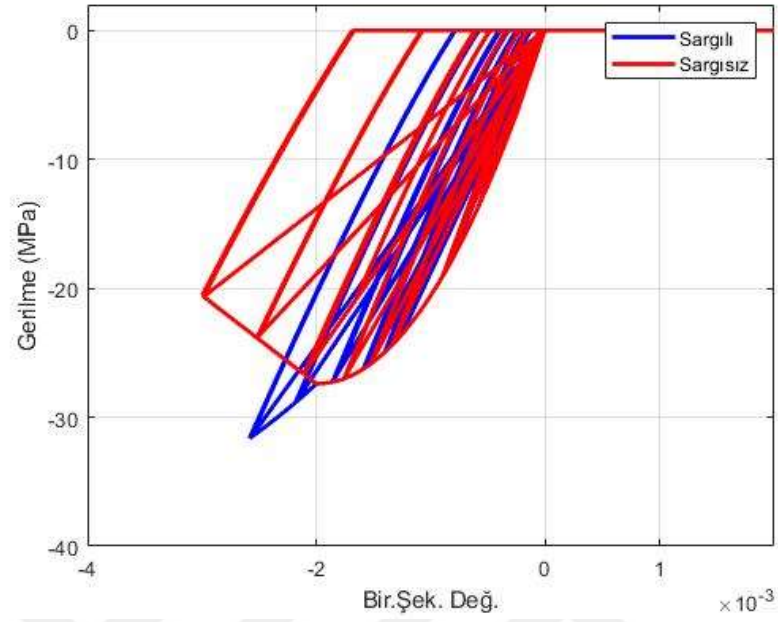
#### 4.1.3 RW2 Fiber Model

RW2 perdesinin çevrimsel davranışı, kuvvet esaslı formülasyona dayalı yığılı plastisite modeli ile incelenmiştir. Kesit hücresi (Fiber) Modelde 1 eleman ve 2 entegrasyon noktası ile perde kesiti tanımlanarak tersinir yükler etkisinde analizi gerçekleştirilmiştir. Sargılı beton basınç gerilmesi 31,37 MPa, birim şekil değıştirmesi ise 0,00256 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.7’de RW2 perdesinin çevrimsel davranışının Fiber model ile elde edilen yanal yük-tepe deplasmanı ilişkileri sunulmaktadır. Hesaplanan yanal yük değeri Şekil 134,44 kN, test verisi ise 159 kN olup, fiber modelde hesaplanan yanal yük değeri deneye göre 0,16 oranla daha düşük tespit edilmiştir. Tepe deplasmanı Fiber Modelde 90,4 mm test verisinde ise 85,5 mm olduğu, fiber modelde 1,06 oranla yanal öteleme miktarının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Fiber model başlangıç yanal yük değeri 63,45 kN hesaplanmış, aynı birim şekil değıştirme değeri 7,01 mm de test verisi ise 71,70 kN olarak belirlenmiş olup, başlangıç rijitliği açısından fiber modelin deney başlangıç rijitliğinin % 88’i olduğu belirlenmiştir.

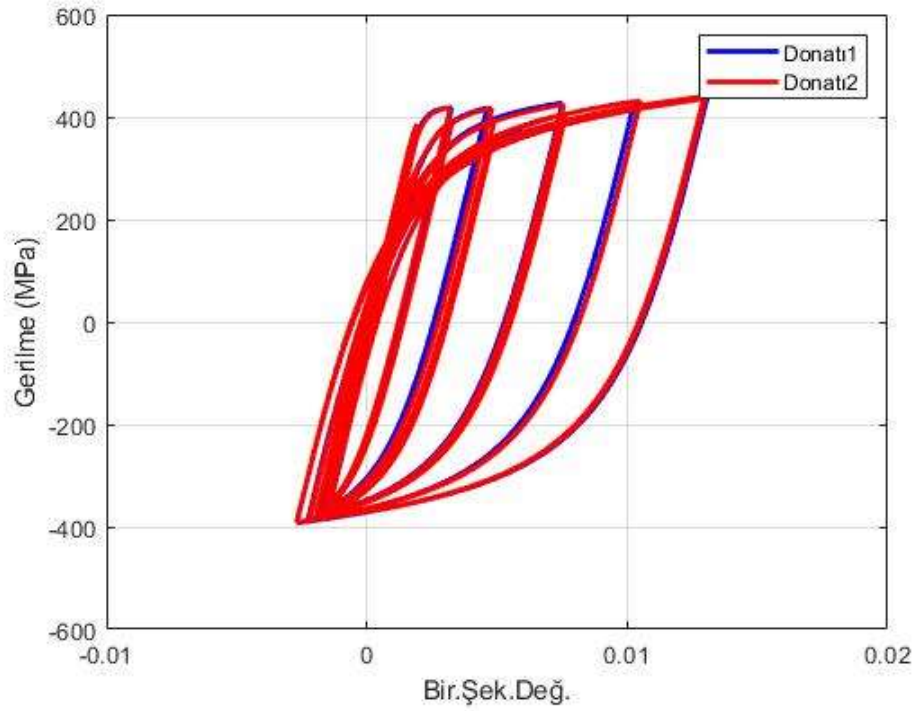


Şekil 4.7 RW2 perdesi için oluşturulan Fiber Model ve Test verisi yanal yük-tepe ötelenme oranı grafiği

Şekil 4.8’de kesit bazında incelendiğinde sargılı beton basınç gerilmesinin daha yüksek değere ulaştığı dolayısı ile sargı etkisinin katkısı gözlemlenebilmiştir. Bunun yanında sargısız betonun birim şekil değiştirmesi 0,003 ve bu noktadaki basınç gerilmesi ise 20,26 MPa’ dır. Sargısız beton dayanım kaybına uğrayarak şekil değişimi yapmaya devam etmiştir. Yığılılı plastisite modelinde perde donatılarının ulaştığı değerler incelendiğinde, Donatı1 çekme gerilmesi Şekil 4.9’da 383,58 MPa, birim şekil değiştirmesi 0,0021, Donatı2 çekme gerilmesi ise 392,7 MPa, birim şekil değiştirmesi 0,0022 olarak hesaplanmıştır. Donatı1 en büyük çekme gerilmesi 458,60 MPa birim şekil değiştirmesi 0,0177, donatı2 en büyük çekme gerilmesi 461,33 birim şekil değiştirmesi 0,0167 olarak analiz sonucunda elde edilmiştir. Bunun yanında, Donatı1 en büyük basınç gerilmesi 432,93 MPa birim şekil değiştirmesi 0,0065, donatı2 en büyük basınç gerilmesi 418,30 MPa birim şekil değiştirmesi 0,0086 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.8 RW2 Fiber Modelde hesaplanan Beton Çevrimsel Davranışları



Şekil 4.9 RW2 Fiber Modelde hesaplanan donatı çevrimsel davranışı

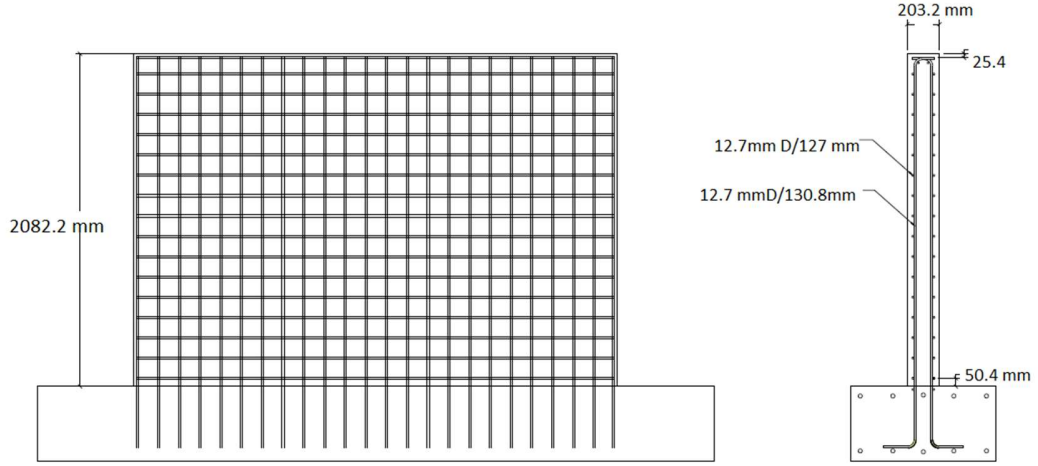
#### **4.1.4 Modellerin Karşılaştırılması**

RW2 perdesi için Kafes Kiriş ve Yığılı plastisite modelleri karşılaştırıldığında; Kafes Modelin yanal yük ve tepe deplasman eğrisinin Fiber Modele göre test verisiyle daha iyi örtüştüğü tespit edilmiştir. Buna göre Fiber Modelde ve Kafes Modelde elde edilen en büyük yanal yük değeri, deneyde elde edilen yanal yükün %83'ü olarak hesaplanmıştır. Kafes modelde başlangıç rijitliği 12.77 kN/mm iken, deneysel çalışmada 10,08 kN/mm'dir. Bununla beraber, Fiber Model ve Kafes modeldeki en dış kabuk betonu ve çekirdek betonu liflerindeki ve kafes elemanlardaki gerilme –birim şekil değiştirmeler karşılaştırıldığında, Fiber modelde sargılı betonun dayanımına ulaşmadığı görülmektedir. Benzer şekilde perde uç bölgelerindeki donatılardaki birim deformasyonlar da Kafes modele göre daha düşük değerler almaktadır.

#### **4.2 SW2 Perdesi (Luna vd., 2018)**

##### **4.2.1 Geometri ve Malzeme Özellikleri**

Betonarme perdelerin yerdeğiştirme esaslı modelleme yaklaşımı ile tasarlanarak Luna vd., (2018) tarafından deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmada dikdörtgen kesitli (SW) perdelerin uç bölgelerinde farklı enine donatı düzenleri, farklı donatı oranları ve farklı Boy/En oranları dikkate alınmıştır. Bu çalışmada kesme etkilerinin belirgin olduğu SW2 perdesi dikkate alınmıştır ve perde yüksekliği ( $H_w$ ) 2082,8 mm, yatay yerdeğiştirmelerin uygulandığı yükseklik ise 1645,92 mm, kesit derinliği ( $b_w$ ) 203,2 mm kesit genişliği ( $L_w$ ) 3048 mm dir. Boy/En oranı ( $H_w/L_w$ ) 0,54, beton dayanımı  $f_c = 48,26$  Mpa, birim şekil değiştirme  $\epsilon_c = 0,002$ , donatı akma dayanımı  $f_y = 434,37$  Mpa, donatı kopma dayanımı  $f_u = 599,8$  Mpa'dır. Perde boyuna donatı oranı %0,49, enine donatı oranı da %0,50 dir. (Tablo 4.3). Perde testleri sırasında eksenel yük uygulanmamıştır. SW2 perdesinde ilk diyagonal çatlaklara %0,079 ötelenme oranında ve 680 kN yatay yük değerinde; sınırdaki düşey donatıların ise akmaya %0,35 ötelenme oranında ve 1650 kN yatay yükte ulaştığı belirlenmiştir. Şekil 4.10'da SW2 perdesinin donatı ve geometrik detayları verilmektedir.



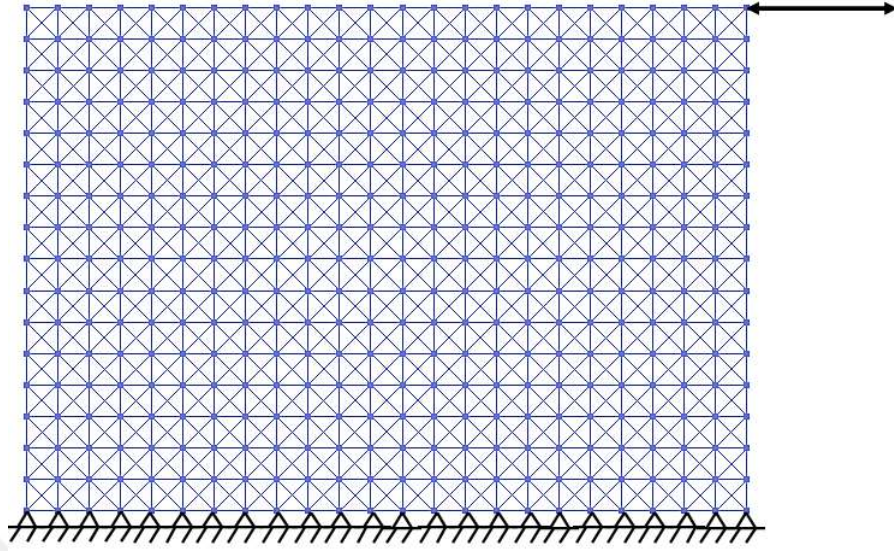
Şekil 4.10 SW2 perdesi donatı ve geometrik detayları

Tablo 4.3 SW2 perdesinin geometri ve malzeme özellikleri

| Perde Adı | H(mm) | L(mm) | H/L  | t(mm) | $\rho_b(\%)$ | $\rho_h(\%)$ | $\rho_v(\%)$ | $N(A_g \cdot f_c)(\%)$ | $f_c(\text{Mpa})$ | $f_{yb}(\text{Mpa})$ |
|-----------|-------|-------|------|-------|--------------|--------------|--------------|------------------------|-------------------|----------------------|
| SW2       | 1651  | 3048  | 0,54 | 203   | -            | 0,49         | 0,50         | 0                      | 48,27             | 434                  |

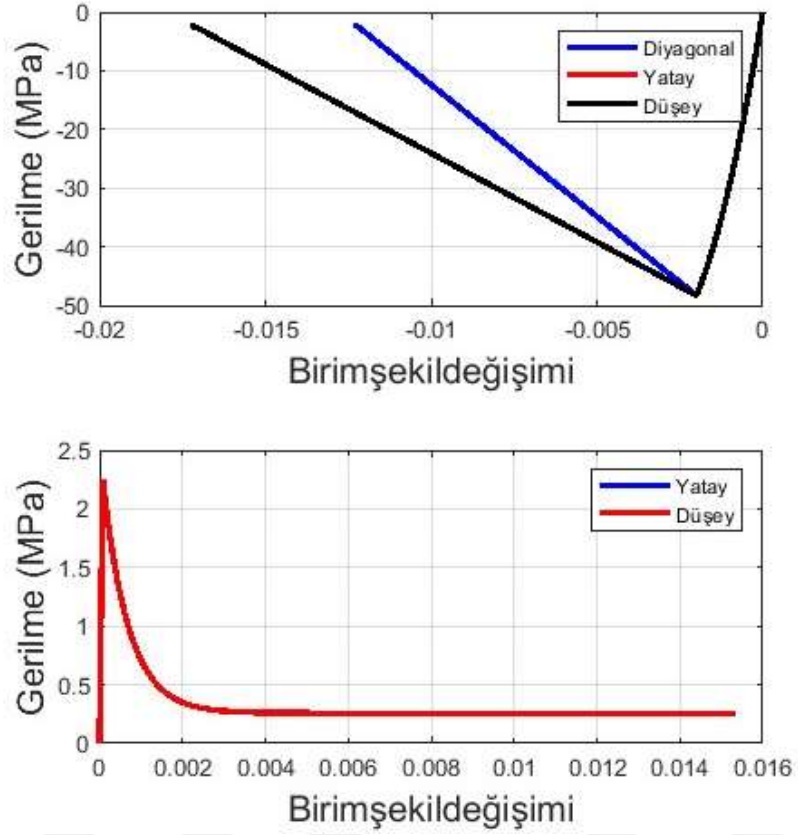
#### 4.2.2 SW2 Kafes Kiriş Modeli

Bu çalışma kapsamında SW2 perdesinin çevrimsel davranışı kafes kiriş modeli ile incelenmiştir. Şekil 4.11'deki Kafes modelinde eksenel yük düzeyine (0) ve  $f_t/f_c = 0,1$  alınarak bağlı olarak diyagonal elemanların yatayla yaptığı açı Tablo 3.1'den ( $\theta_d$ )  $45^\circ$  olarak belirlenmiştir. Kafes tek panel boyutları ise yatayda  $a = 130,18$  mm, düşeyde  $b = 130,18$  mm olarak alınmıştır. Diyagonal elemanların etkili eleman genişlikleri ( $b_{ef}$ ) 92 mm'dir. Kafes modeli oluşturan yatay, düşey ve diyagonal elemanların basınç; yatay ve düşey elemanların çekme dayanımı ve birim şekildeğişimleri eleman boyut etkileri dikkate alınarak hesaplanmış ve Şekil 4.12'de verilmiştir. Beton kesitinin ulaştığı en büyük basınç gerilmesinin yarısına düştüğü birim şekil değiştirme değeri kırılma noktası kabul edilmiş olup, düşey betonda  $\epsilon_{cu} = 0,0072$ , diyagonal betonda  $\epsilon_{cu} = 0,0055$ ' tir. Betonun çekme dayanımına ulaştıktan sonra taşıma kapasitesinde ani düşüş olduğundan çekme gerilme dayanımına ulaştığında kırıldığı varsayıldı.



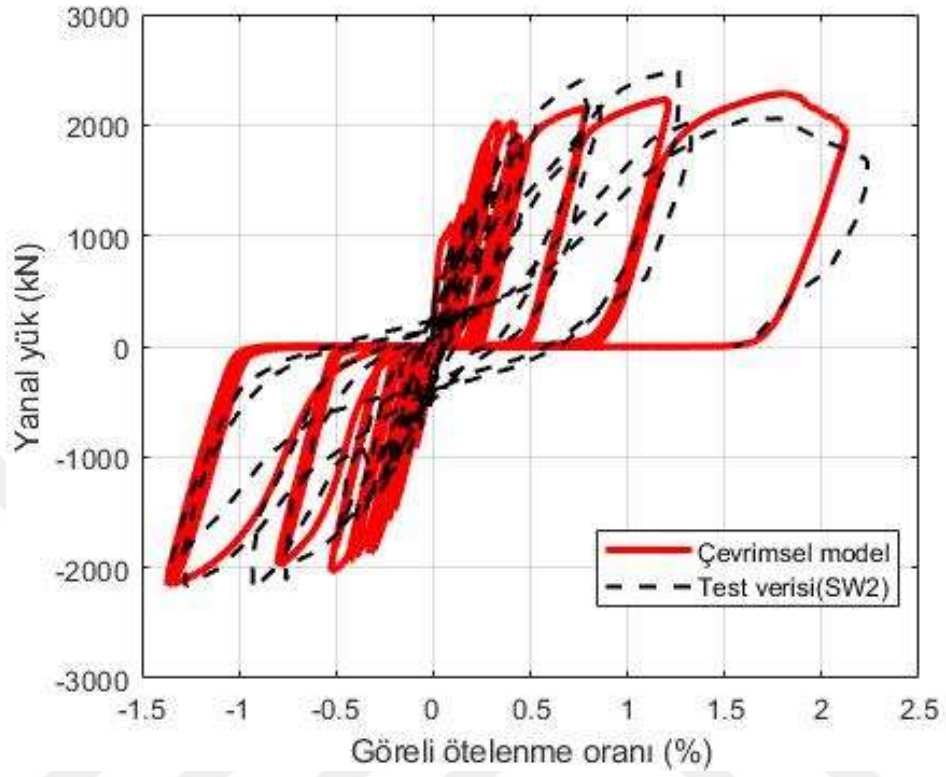
Şekil 4.11 SW2 Perdesi Kafes Modeli

Kafes model ve deneysel verilerin gerilme ve ötelenme değerleri karşılaştırıldığında en yüksek yanal yük değeri Şekil 4.13'te 2284 kN elde edilmiş, test verisi ise 2500 kN 'dur. Kafes model yanal yük değeri ile deneysel veri arasında 0,91 oran olduğu tespit edilmiştir. Tepe ötelenme oranlarına bakıldığında kafes modelde %1,20 test verisinde ise %1,26 olduğu, aralarında 0,95 oran bulunduğu görülmüştür. Kafes model başlangıç yanal yük değeri 1780 kN, aynı ötelenme oranı %0,27 de test verisi ise 1361 kN olarak belirlenmiştir ve başlangıç rijitliği açısından kafes modelin 1,31 oranda daha rijit olduğu gözlemlenmiştir. Perdenin ulaştığı en yüksek yanal yük değeri açısından kıyaslandığında kafes model yanal yük değeri 1962 kN ve tepe ötelenme oranı %2,13 elde edilmiş, test verisinde ise yanal yük değeri 1681 kN tepe ötelenme oranı %2,23 olduğu, kafes modelin deney verisine göre 1,17 oranda daha yüksek yanal yük değerleri verdiği tespit edilmiştir.

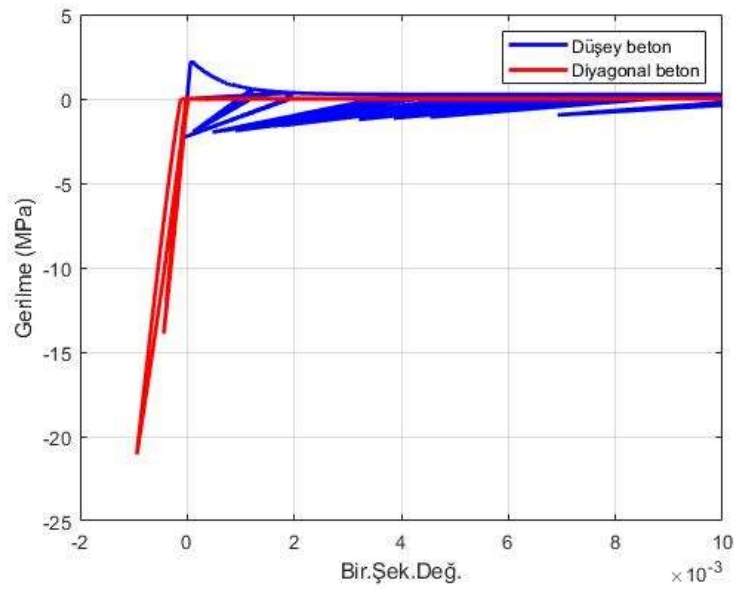


Şekil 4.12 SW2 Kafes kiriş modeli beton çubuk elemanları için gerilme-birim şekil değiştirme ilişkileri

Tablo 4.4'te SW2 Kafes Modeli için çubuk elemanlarda ilgili ötelenme oranlarında gelişen birim şekil değiştirmeler verilmiştir. SW2 Kafes Modeli Şekil 4.16'da konumu verilen 1. Sırasında yer alan tüm elemanların analiz süresince deformasyonları EK-2'de sunulmuştur. Düşey kafes beton eleman çevrimsel davranış altında Şekil 4.14'te 6,59 MPa basınç gerilmesi ile 0,0002 birim şekil değiştirmesine ulaşmış ve 2,24 MPa çekme gerilmesine ulaşarak çekme gerilmesinden dolayı kırılmıştır. Diagonal kafes eleman 21,07 MPa basınç gerilmesi ve 0,0009 birim şekil değiştirmesi değerine ulaşmıştır. 1. Sıradaki beton elemanın çekmeden dolayı kırılmaya uğradığı basınç kırılma dayanımına ulaşmadığı tespit edilmiştir.

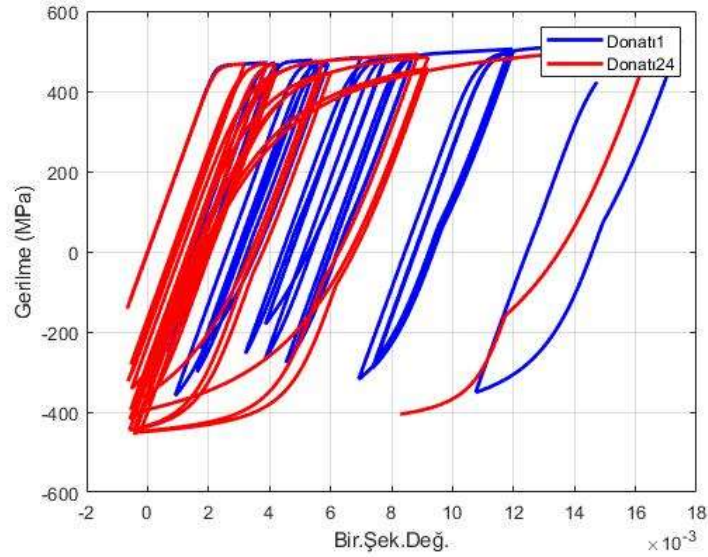


Şekil 4.13 SW2 perdesi test verisi ile Kafes Kiriş Modelin yanal yük-görelî kat ötelenme oranı ilişkileri



Şekil 4.14 SW2 Kafes Kiriş Model düşey ve diyagonal beton eleman gerilme- birim şekil değıştirme grafiğı

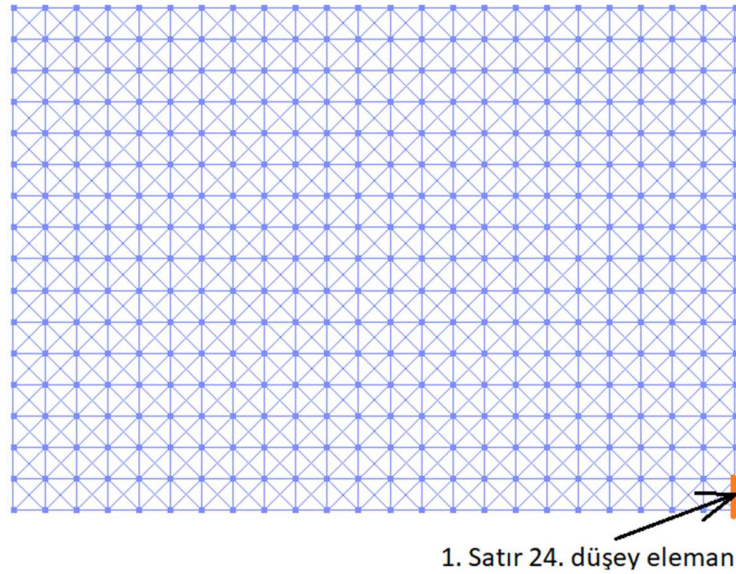
Çevrimsel davranış altındaki perde donatılarının ulaştığı değerler Şekil 4.15'te incelendiğinde Donatı1 çekme gerilmesi 446 MPa, birim şekil değiştirmesi 0,0037 olarak hesaplanmış, Donatı24 çekme gerilmesi ise 430 MPa, birim şekil değiştirmesi 0,0030 olarak hesap sonucu elde edilmiştir. Donatı1'in en büyük çekme gerilmesi 528 MPa birim şekil değiştirmesi 0,0174, donatı24'ün en büyük çekme gerilmesi 513 birim şekil değiştirmesi 0,0160 olarak analiz sonucu elde edilmiştir. Çevrimsel davranış sonlandığında donatıların akma dayanımına ulaştığı hesap sonucu tespit edilmiştir. Bunun yanında, Donatı1 en büyük basınç gerilmesi 359 MPa birim şekil değiştirmesi 0,0010 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.15 SW2 perdesi için oluşturulan Kafes model donatı gerilme- birim şekil değiştirme grafiği

Tablo 4.4 SW2 Kafes Model Ötelenme oranına göre deformasyonlar

| Ötelenme Oranı (%) | Kafes Eleman Malzemesi | Birim Şekil Değiştirme $\epsilon$ | Gerilme (MPa) |
|--------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------|
| 0,18               | Boyuna Düşey Donatı    | 0,00067                           | 135           |
|                    | Düşey Beton            | 0,00055                           | 2,23          |
|                    | Diagonal Beton         | 0,00063                           | -5,6          |
| 0,33               | Boyuna Düşey Donatı    | 0,0022                            | 441           |
|                    | Düşey Beton            | 0,0022                            | -16,13        |
|                    | Diagonal Beton         | 0,0023                            | -7,53         |
| 2,23               | Boyuna Düşey Donatı    | -0,003                            | -451          |
|                    | Düşey Beton            | -0,00042                          | -12,69        |
|                    | Diagonal Beton         | -0,00082                          | -18,97        |



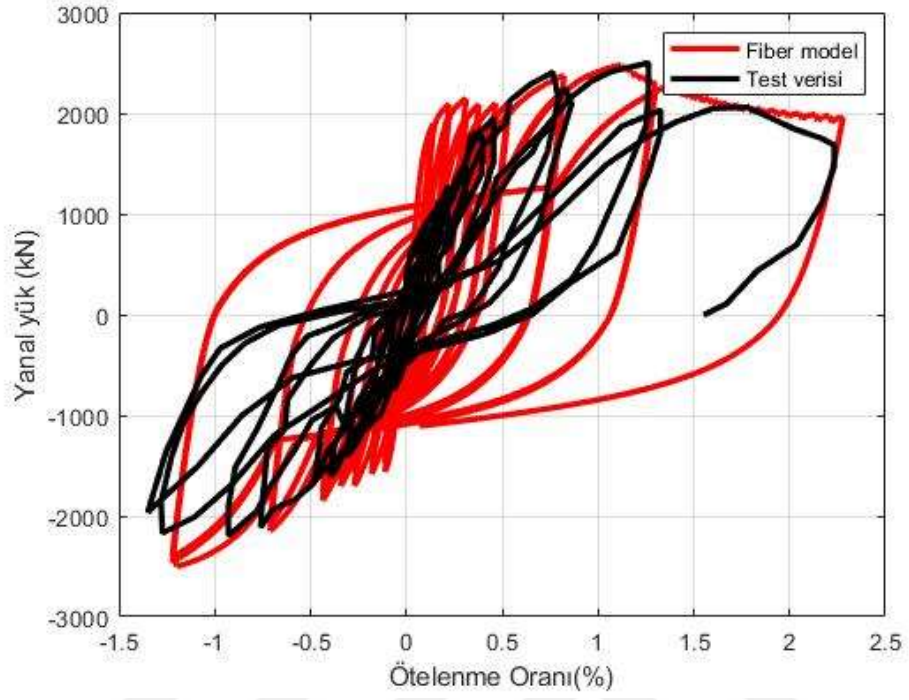
Şekil 4.16 SW2 perdesi için oluşturulan Kafes model deformasyona uğrayan eleman gösterimi

#### 4.2.3 SW2 Fiber Model

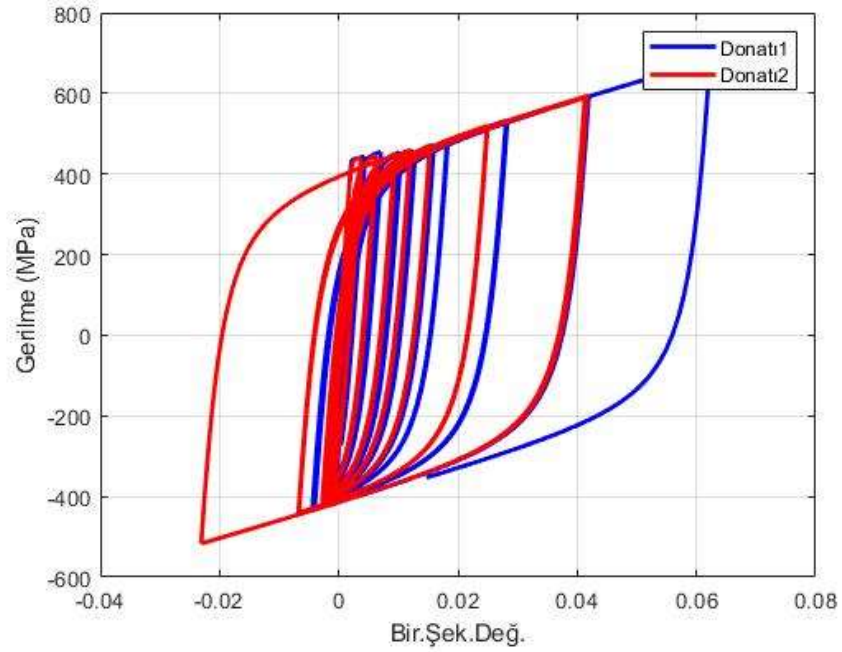
SW2 perdesinin çevrimsel davranışı, kuvvet esaslı formülasyona dayalı yığılı plastisite modeli ile incelenmiştir. Kesit hücresi (Fiber) Modelde 1 eleman ve 2 entegrasyon noktası

ile perde kesiti tanımlanarak tersinir yükler etkisinde analizi gerçekleştirilmiştir. Fiber model en yüksek yanal yük değeri Şekil 4.17'de 2474,77 kN, test verisi ise 2500 kN olduğu, fiber model yanal yük değeri deney verisine göre 0,99 oranda ve yük değerlerinin birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Tepe ötelenme oranı fiber modelde %1,12 test verisi ise %1,26 olup, aralarındaki oranın 0,89 olduğu tespit edilmiştir. Fiber modelin başlangıç yanal yük değeri 2100 kN, aynı ötelenme oranı %0,27 de test verisi ise 1361 kN olarak belirlenmiş olup, başlangıç rijitliği açısından fiber modelin 1,54 oranla daha rijit olduğu elde edilmiştir. Göçme öncesi nihai çekme değeri açısından kıyaslandığında fiber model yanal yük değeri 1957 kN, tepe ötelenme oranı %2,27 elde edilmiş, test verisinde ise yanal yük değeri 1681 kN tepe ötelenme oranı %2,23'tür. Fiber modelin deney verisine göre 1,16 oranla yanal yük değeri açısından daha yüksek değerler verdiği hesap sonucunda ulaşılmıştır. Fiber modelin genel anlamda test verisine göre daha sünek davrandığı ve test verisinin grafiği sıkışma(pinching) davranışı gösterdiği, enerji tüketim kapasitesi açısından fiber modelin olması gerekenin üzerinde sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Çevrimsel davranış altındaki perde donatılarının ulaştığı değerler Şekil 4.18'e bakıldığında Donatı1 çekme gerilmesi 431,4 MPa, birim şekil değiştirmesi 0,0047, Donatı2 çekme gerilmesi ise 406 MPa, birim şekil değiştirmesi 0,0056 olarak hesap sonucuna ulaşılmıştır. Donatı1 en büyük çekme gerilmesi 680 birim şekil değiştirmesi 0,062, donatı2 en büyük çekme gerilmesi 590 birim şekil değiştirmesi 0,041 olarak hesaplanmıştır. Bunun yanında, Donatı1 en büyük basınç gerilmesi 433,5 MPa birim şekil değiştirmesi 0,004, donatı2 en büyük basınç gerilmesi 516,8 MPa birim şekil değiştirmesi 0,023 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.17 SW2 perdesi test verisi ile Fiber Modelin yanal yük-görelî kat ötelenme oranı ilişkileri



Şekil 4.18 SW2 perdesi için oluşturulan Fiber model donatı gerilme- birim şekil değıştirme grafiğı

#### **4.2.4 Modellerin Karşılaştırılması**

Buna göre, en büyük yanal yük değeri açısından test verisi ile kıyaslama yapıldığında fiber modelin 0,99 oranda ve kafes modelin 0,91 oranda olduğu görülmüştür. Yanal yük değeri açısından fiber modelin test verisiyle daha uyumlu olduğu anlaşılmaktadır. Sayısal model kesme etkilerinin daha belirgin olduğu SW2 perdesinin çevrimsel davranışını yeterli yaklaşıklıkla temsil edebilmektedir. Bunun yanında başlangıç rijitliği açısından test verisine nazaran kıyaslama yapıldığında fiber modelin 1,54 oranda, kafes modelin ise 1,31 oranda yüksek yük değerine ulaştığı başlangıç rijitliği açısından fiber modelin olması gerekenin üzerinde sonuç verdiği kafes modelin ise nispeten daha iyi sonuçlar verdiği değerlendirilmiştir. Kafes modelin yanal yük ve tepe deplasman eğrisinin fiber modele göre test verisiyle ve enerji yutma kapasitesi açısından da daha iyi örtüştüğü hesap sonucunda elde edilmiştir.

#### **4.3 RWA-15-P.2.5-S.64 Perdesi (Tran ve Wallace, 2015)**

##### **4.3.1 Geometri ve Malzeme Özellikleri**

Tran ve Wallace (2015) çalışmasında betonarme perdeleri performans tabanlı sismik dizayn, ACI 318-11' ya göre tasarlayarak bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada üst ucu serbest dikdörtgen kesitli 5 adet perdenin uç bölgelerinde farklı enine donatı düzenleri dikkate alınmıştır. Bu çalışmada RW-A15-P2.5-S64 perdesi dikkate alınmıştır ve RW-A15-P2.5-S64 perdesinin kesit genişliği ( $L_w$ ) 1220 mm, kesit derinliği ( $b_w$ ) 152 mm olup, perde yüksekliği ( $H_w$ ) 2060 mm ve yatay yüklemenin yapıldığı yükseklik ( $H_p$ ) 1830 mm olmak üzere Boy/En oranı ( $H_w/L_w$ ) 1,5'tir. Perde testleri sırasında sabit olarak uygulanan eksenel yük düzeyi  $N/f_c A_g = 0,016$ 'dır ve perde uç bölgesinin hacimsel enine donatı oranı ise 0,064'tür. RW-A15-P2.5-S64 perdesine perde kesit genişliği doğrultusunda yer değiştirmeler tersinir-tekrarlı kuvvet tabanlı olarak 0,375%, 0,50%, 1%, 1,5%, 2% öteleme oranlarında ve deplasman tabanlı 3%, 4% öteleme oranlarında artımsal olarak uygulanmıştır. Sargısız beton dayanımı  $f_c = 57,5$  MPa, birim şekil değiştirme  $\epsilon_c = 0,002$  olup sargılı beton dayanımı ise  $f_{cc} = 67,9$  MPa ve  $\epsilon_{cc} = 0,0038$  olarak hesaplanmıştır. Perde sınırındaki boyuna donatılarda akma  $\epsilon_s = 0,61$  ve  $\epsilon_s = -0,56$

ötelenme oranlarında, % 0,06 ötelenme oranında betonda çatlamların başladığı, perde temel kesitinde düşey donatı sıyrılması % 0,75 ötelenme oranında meydana gelmiştir. Tepe maksimum yatay yük +670 kN değerine % 1,5 ötelenme oranında ulaşmıştır. RW-A15-P2.5-S64 perdesinin yanal yük taşıma kapasitesini % 3 ötelenme oranına kadar azalma olmadan sürdürdüğü ve eğilme etkilerinin belirgin olduğu bir davranış sergilediği belirlenmiştir. Daha sonrasında % 4 ve %6 ötelenme oranlarına doğru, boyuna donatı burkulması ve gövde betonu ezilmesiyle yanal yük taşıma kapasitesini büyük ölçüde yitirdiği deneyle tespit edilmiştir.

Perde başlık kısmı boyuna donatı çapı 15,9 ve 19,1 mm, gövde boyuna ve enine donatı çapı 9,5 mm ve başlık enine donatı çapı ise 6,4 mm olup donatı başlık kısmı için akma dayanımı  $f_y=474$  ve  $f_y=477$  MPa gövdede  $f_y=443$  MPa ve başlık etriyede ise akma dayanımı  $f_y=423$  MPa'dır. (Tran ve Wallace, 2015). Tablo 4.5'te perde fiziki özellikleri mevcuttur.

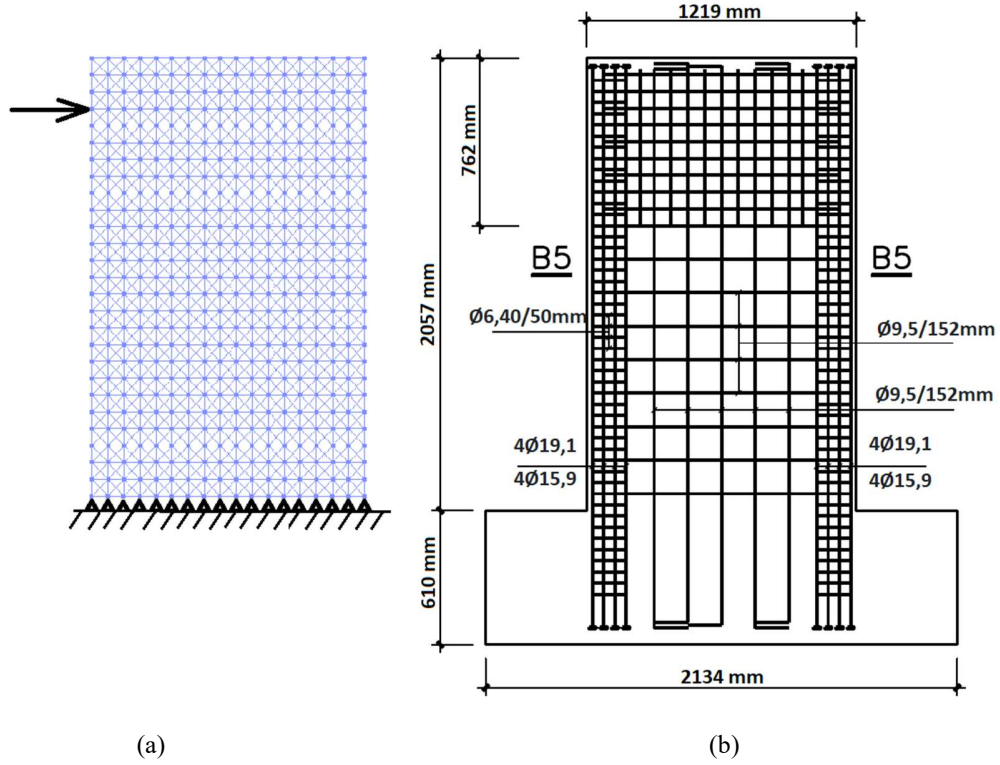
Tablo 4.5 Sayısal Model çalışması RW-A15-P2.5-S64 perdesinin özellikleri

| Perde Adı       | H(mm) | L(mm) | H/L  | t(mm) | $\rho_b(\%)$ | $\rho_h(\%)$ | $\rho_v(\%)$ | $N(A_g.f_c)(\%)$ | $f_c(\text{Mpa})$ | $f_{yb}(\text{Mpa})$ |
|-----------------|-------|-------|------|-------|--------------|--------------|--------------|------------------|-------------------|----------------------|
| RW-A15-P2.5-S64 | 1830  | 1220  | 1,50 | 152   | 6,06         | 0,64         | 0,64         | 0,016            | 57,5              | 443                  |

#### 4.3.2 RWA-15 Kafes Kiriş Modeli

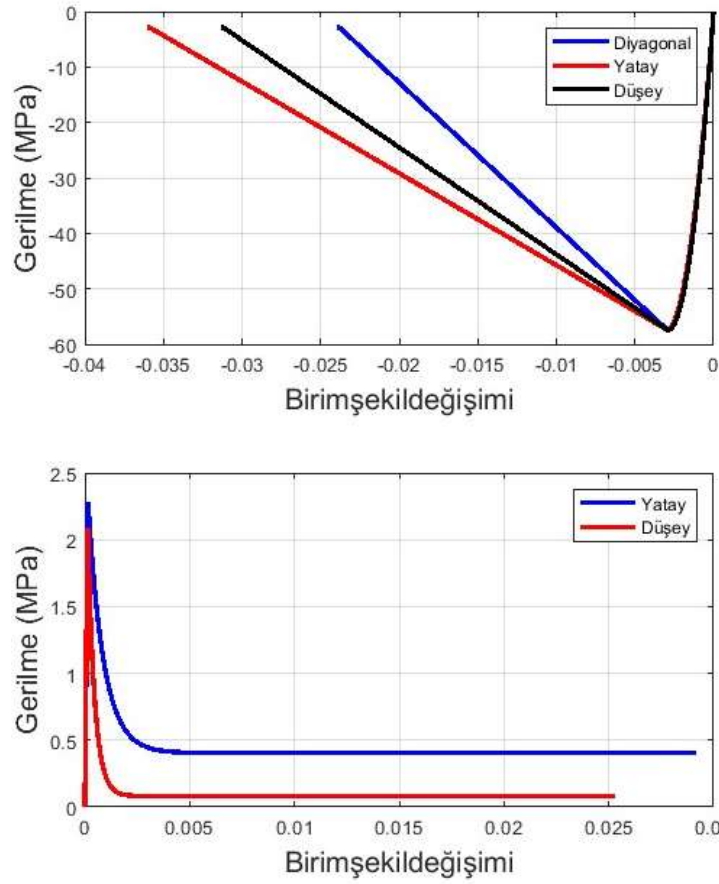
Bu çalışmada RW-A15-P2.5-S64 perdesinin (kısaca RWA-15) çevrimsel davranışı kafes kiriş modeli ile incelenmiştir. Şekil 4.19'de gösterilen RW-A15-P2.5-S64 perdesi için kafes sistem modelinde eksenel yük düzeyine (0,016) ve  $f_t/f_c=0,05$  alınarak bağlı olarak diyagonal elemanların yatayla yaptığı açı Tablo 3.1'den ( $\theta_d$ )  $49,10^\circ$  olarak belirlenmiştir. Kafes tek panel boyutları ise yatayda  $a=68,55$  mm, düşeyde  $b=79,14$  mm olarak alınmıştır. Diyagonal elemanların etkili eleman genişlikleri ( $b_{ef}$ ) 51,81 mm dir. Şekil 4.20'de kafes modeldeki beton davranış modelleri mevcuttur. Beton kesitinin ulaştığı en büyük basınç gerilmesine ulaştıktan sonra yarısına düştüğü birim şekil değiştirme değeri kırılma noktası kabul edilmiş olup, düşey betonda  $\epsilon_{cu}=0,0179$ , diyagonal betonda  $\epsilon_{cu}=0,014$ , yatay betonda  $\epsilon_{cu}=0,020$ ' dir. Betonun çekme dayanımına

ulaştıktan sonra taşıma kapasitesinde ani düşüş olduğundan çekme gerilme dayanımına ulaştığında kırıldığı varsayıldı.



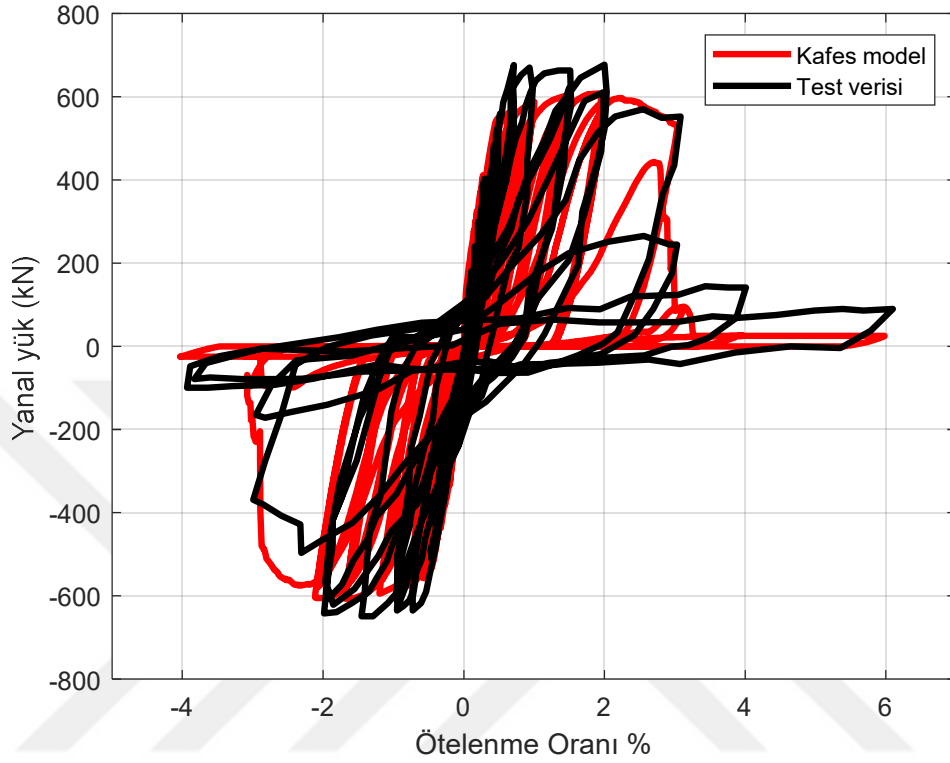
Şekil 4.19 (a) RW-A15-P2.5-S64 perdesi kafes kiriş modeli, (b) Perde donatı detayı

Kafes model en yüksek yanal yük değeri Şekil 4.21’den 610 kN elde edilmiş, test verisi ise 677 kN olup, kafes modelin yanal yük değeri test verisine göre 0,91 oranda olduğu tespit edilmiştir. Tepe ötelenme oranı kafes modelde %1,99 test verisinde ise %2 olduğu, aralarında 0,99 oran bulunduğu tespit edilmiştir. Kafes model başlangıç yanal yük değeri 411 kN hesaplanmış, aynı ötelenme oranı %0,29 da test verisi ise 403 kN olarak belirlenmiş olup, başlangıç rijitliği açısından kafes modelin 1,02 oranda daha rijit olduğu tespit edilmiştir. Nihai çekme değeri açısından kıyaslandığında kafes model yanal yük değeri 531 kN tepe ötelenme oranı %3,03 hesaplanmış, test verisinde ise yanal yük değeri 552 kN tepe ötelenme oranı %3,08 olduğu, kafes modelin yanal yük değeri açısından 0,96 oranla daha düşük değerler verdiği tespit edilmiştir.



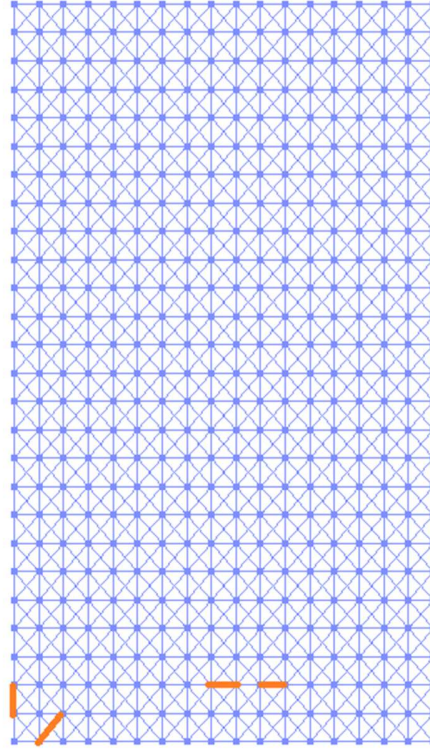
Şekil 4.20 RW-A15-P2.5-S64 perdesinin yatay, düşey de diyagonal kafes eleman beton gerilme birim şekil değiştirme ilişkisi

RW-A15 Kafes Modeli 1. Sırasında yer alan Şekil 4.22’ de gösterilen tüm elemanların analiz süresince deformasyonları EK-3’te sunulmuştur. Düşey kafes eleman beton basınç gerilmesi değeri Şekil 4.23’te 64,90 MPa, birim şekil değiştirmesi 0,003 olarak, diyagonal kafes eleman beton basınç gerilmesi ise 51,60 MPa birim şekil değiştirmesi 0,0025 olarak hesaplanmıştır. Düşey kafes eleman beton basınç gerilmesi daha yüksek değere ulaştığı ve az miktarda da olsa 2,43 MPa çekme gerilmesine ve 0,0001 birim şekil değiştirme değerine ulaşarak çekme çatlamasına uğradığı hesaplanmıştır. Diyagonal kafes eleman dayanım kaybına uğrayarak basınç gerilmesi altında şekil değişimi yapmaya devam etmiştir. EK-3’ ten diyagonal betonun  $\epsilon_{cu}=0,014$  değerine %1,18 ötelenme oranında ulaştığı ve kırılmaya uğradığı tespit edilmiştir.

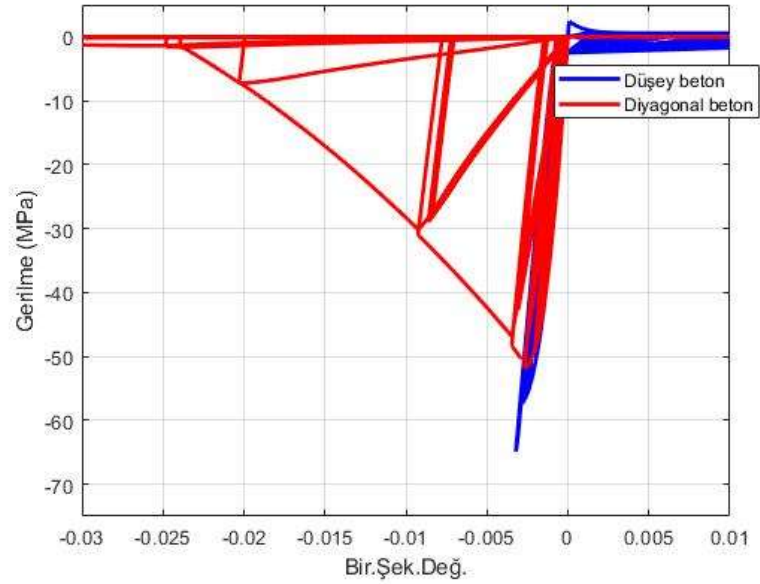


Şekil 4.21 RW-A15-P2.5-S64 perdesi test verisi ile Kafes Kiriş Modelin yanal yük-görelî kat ötelenme oranı ilişkileri

Kafes modelde meydana gelen deformasyonlarla test deformasyonları karşılaştırıldığında EK-3 de görüleceği üzere kafes model 1. Düşey donatı eleman %0,50 ötelenme oranında 0,002, %1 ötelenme oranında 0,0021 ve %2 ötelenme oranında 0,029 birim şekil değiştirme değerine ulaşmaktadır. Test verisinde Tran (2012, s. 273) çalışmasında ise %0,5 ötelenme oranında 0,002, %1 ötelenme oranında 0,0022 ve %2 ötelenme oranında 0,024 birim şekil değiştirme değeri verilmiştir. Yapılan analiz sonucu meydana gelen deformasyonların test verisiyle %1 ve %2 ötelenme oranlarında çok yakın değerler verdiği 0,5 ötelenme oranlarında da nispeten uzaklaştığı tespit edilmiştir.

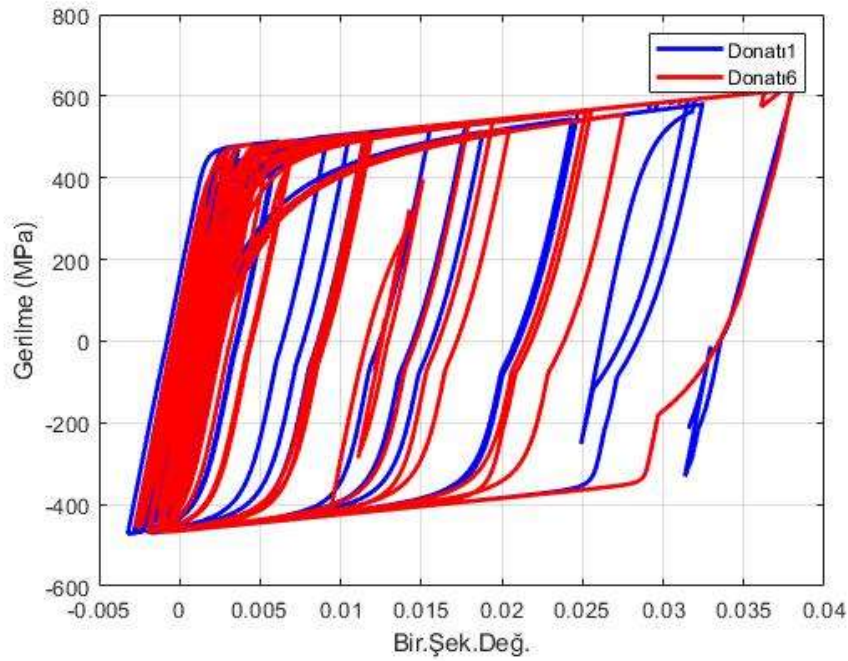


Şekil 4.22 RW-A15-P2.5-S64 Kafes Model deformasyona uğrayan eleman gösterimi



Şekil 4.23 RW-A15-P2.5-S64 Kafes Model düşey ve diyagonal beton eleman gerilme- birim şekil değiştirme grafiği

Çevrimsel davranış altındaki perde donatılarının ulaştığı değerler incelendiğinde Şekil 4.22’ de konumu verilen Donatı1 çekme gerilmesi Şekil 4.24’de 432 MPa, birim şekil değiştirmesi 0,0021, Donatı6 çekme gerilmesi ise 442 MPa, birim şekil değiştirmesi 0,0023 olarak hesap sonucu elde edilmiştir. Donatı1 en büyük çekme gerilmesi 616 MPa birim şekil değiştirmesi 0,038, donatı6 en büyük çekme gerilmesi 616 MPa birim şekil değiştirmesi 0,038 olarak hesaplanmıştır. Bunun yanında, Donatı1 en büyük basınç gerilmesi 472 birim şekil değiştirmesi 0,0032 değeri elde edilmiştir.

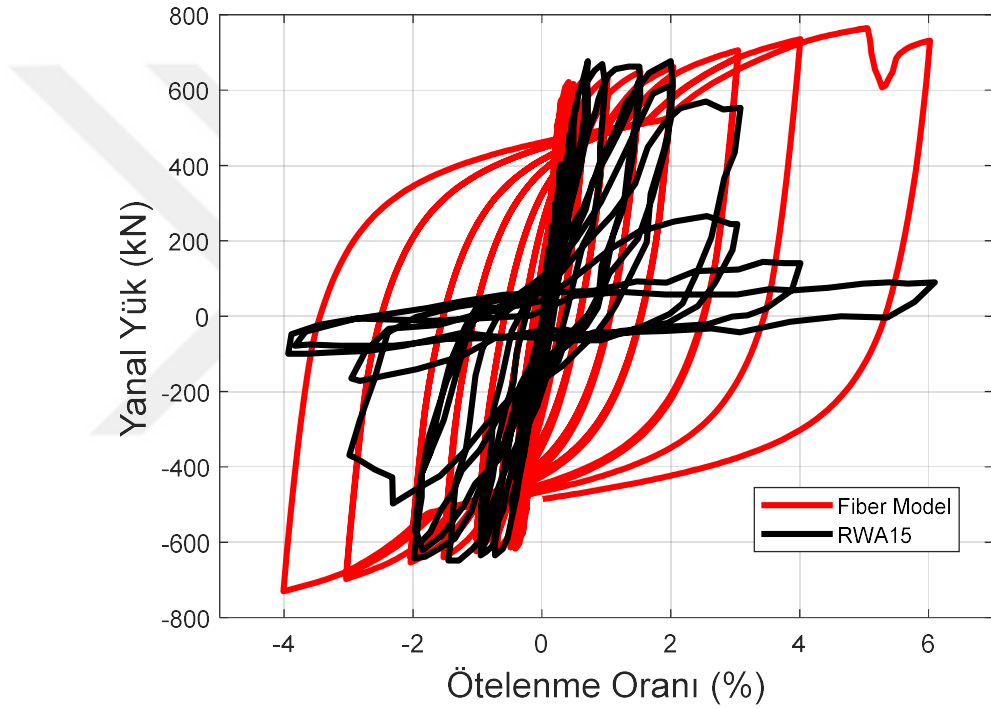


Şekil 4.24 RW-A15-P2.5-S64 Kafes model donatı gerilme- birim şekil değiştirme grafiği

#### 4.3.3 RWA-15 Fiber Modeli

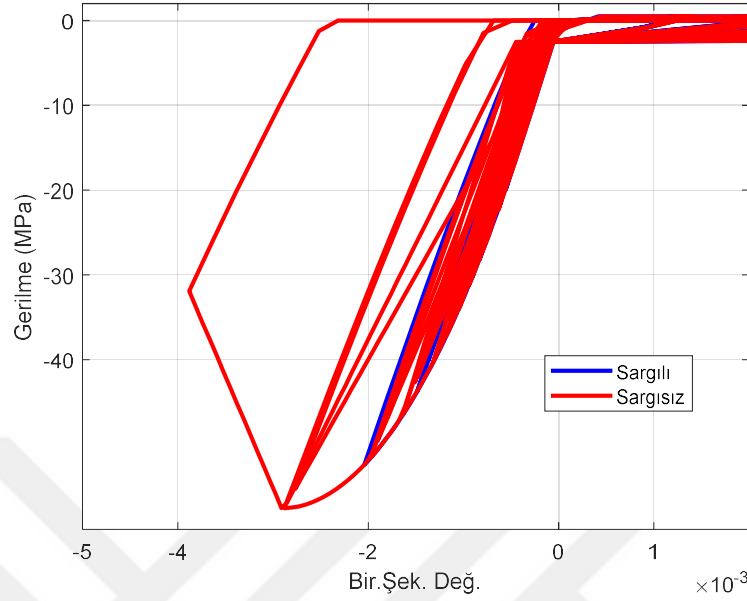
RW-A15 Fiber model en yüksek yanal yük değeri Şekil 4.25’de 763 kN elde edilmiş, test verisi ise 677 kN olup, fiber model yanal yük değeri test verisine kıyasla 1,13 oranda olduğu tespit edilmiştir. Tepe ötelenme oranları kıyaslandığında dayanımı kaybetmeden ulaştığı en yüksek ötelenme oranları fiber modelde %5,05 test verisi ise %2 ve, aralarındaki oranın 2,52 olduğu tespit edilmiştir. Fiber model başlangıç yanal yük değeri 555 kN, aynı ötelenme oranı %0,29 da test verisi ise 403 kN olarak belirlenmiş olup, başlangıç rijitliği açısından fiber modelin 1,37 oranla daha rijit olduğu tespit edilmiştir.

En yüksek çekme değeri açısından kıyaslandığında fiber model yanal yük değeri 763 kN tepe ötelenme oranı %5,05 hesaplanmış, test verisi ise 552 kN tepe ötelenme oranı %3,08 olduğu, fiber modelin yanal yük değeri bakımından 1,38 oranla daha yüksek değerler verdiği tespit edilmiştir. Fiber model genel anlamda test verisine göre daha sünek davrandığı belirlenmiştir. Test verisinin grafiği sıkışma(pinching) davranışı gösterdiği, enerji tüketim kapasitesi açısından fiber modelin test verisi değerlerinin üzerinde sonuçlar verdiği değerlendirilmektedir.



Şekil 4.25 RW-A15-P2.5-S64 perdesi test verisi ile Fiber Modelin yanal yük-görelî kat ötelenme oranı ilişkileri

Beton gerilmeleri incelendiğinde, sargılı betonun en yüksek basınç gerilmesi Şekil 4.26'dan 52,39 MPa elde edilmiş, birim şekil değıştirmesi 0,0020, sargısız beton basınç gerilmesi ise 56,89 MPa, birim şekil değıştirmesi 0,0028 olarak elde edilmiştir.



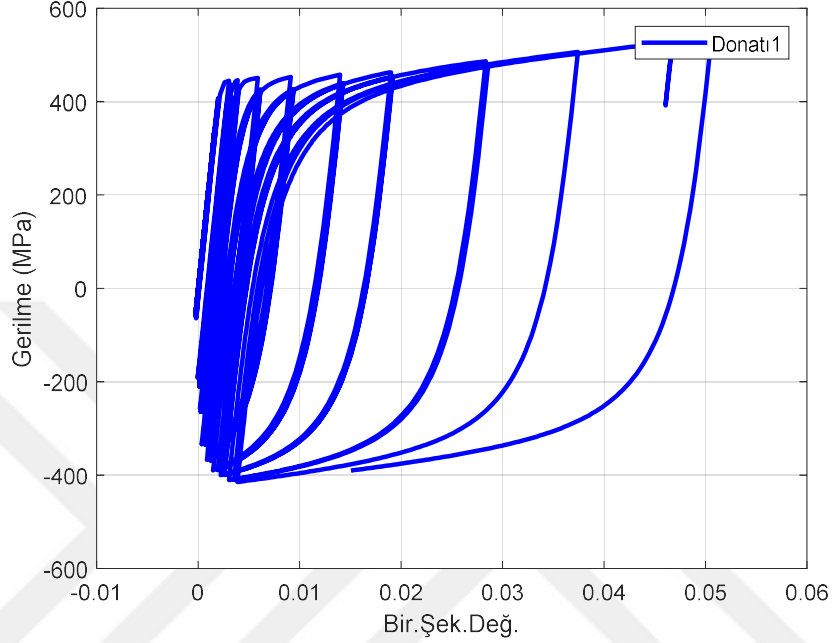
Şekil 4.26 RW-A15-P2.5-S64 perdesi için oluşturulan Fiber Model Sargılı ve Sargısız beton modeli gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

Çevrimsel davranış altındaki perde donatılarının ulaştığı değerler Şekil 4.27'den Donatı1 çekme gerilmesi 414 Mpa, birim şekil değiştirmesi 0,0021 olarak, Donatı1 en büyük çekme gerilmesi 544 Mpa birim şekil değiştirmesi 0,05 olarak hesaplanmıştır. Bunun yanında, Donatı1 en büyük basınç gerilmesi 414,67 Mpa birim şekil değiştirmesi 0,004 olarak tespit edilmiştir.

#### 4.3.4 Modellerin Karşılaştırılması

Fiber model ve kafes model sonuçları test verisiyle kıyaslandığında gözlenen en yüksek yanal yük değerleri kafes modelin 0,90 oranda, fiber modelin 1,13 oranda olduğu fiber modelin test verisine göre yüksek değerler verdiği ve kafes modelin test verisi ile daha uyumlu sonuçlar verdiği analiz sonucunda elde edilmiştir. Başlangıç rijitliği yönünden değerlendirildiğinde fiber model ve kafes model değerleri test verisiyle kıyaslandığında, fiber modelin 1,37 oranla daha fazla yük değerine ulaştığı, kafes modelin ise 1,02 oranda olduğu görülmüştür. Kafes modelin yanal yük ve tepe deplasman eğrisinin

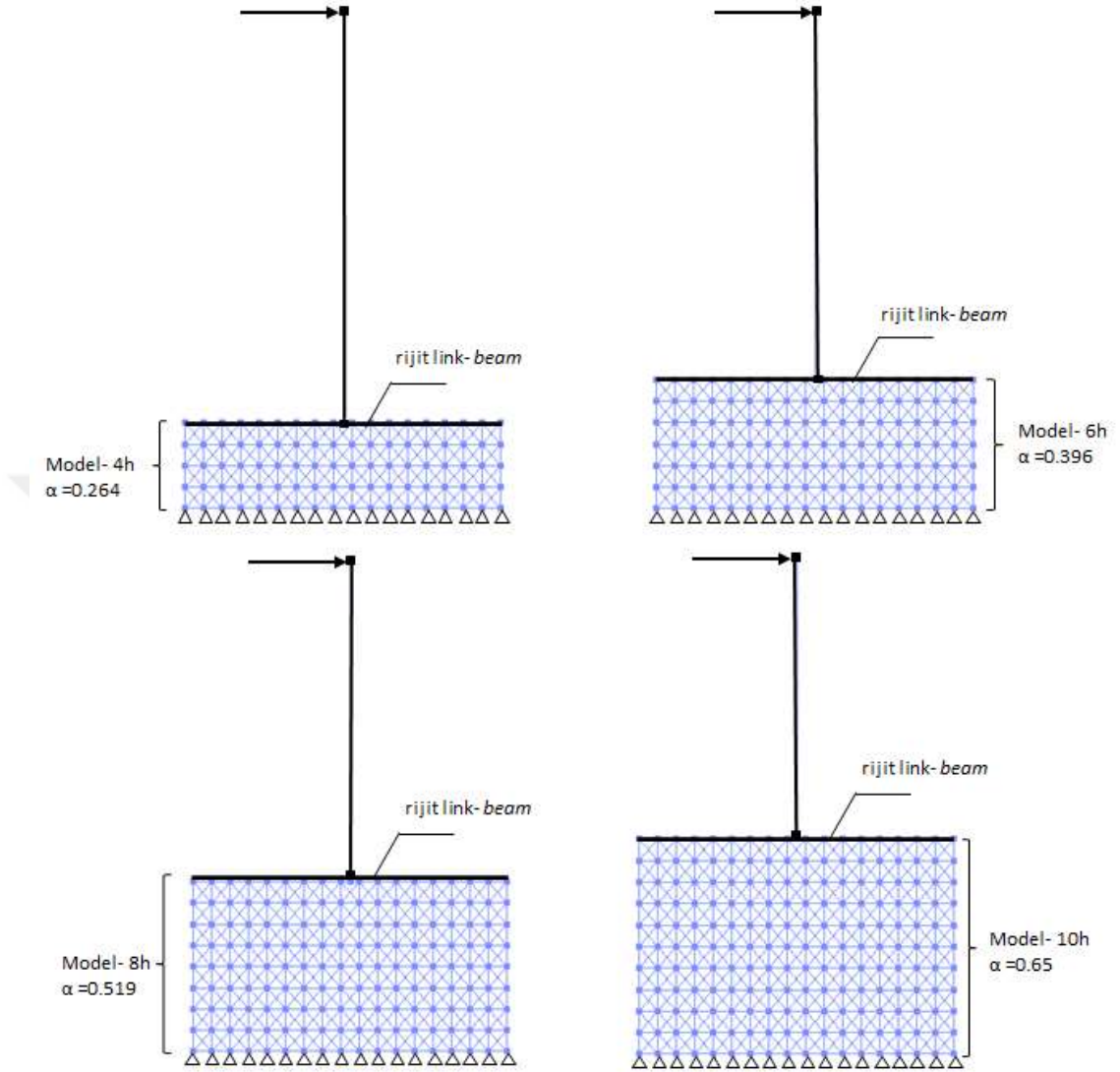
fiber modele göre test verisiyle daha iyi örtüştüğü ve başlangıç rijitliği açısından oldukça yakın değerler verdiği hesaplama sonucu tespit edilmiştir.



Şekil 4.27 RW-A15-P2.5-S64 perdesi için oluşturulan Fiber model donatı gerilme- birim şekil değiştirme grafiği

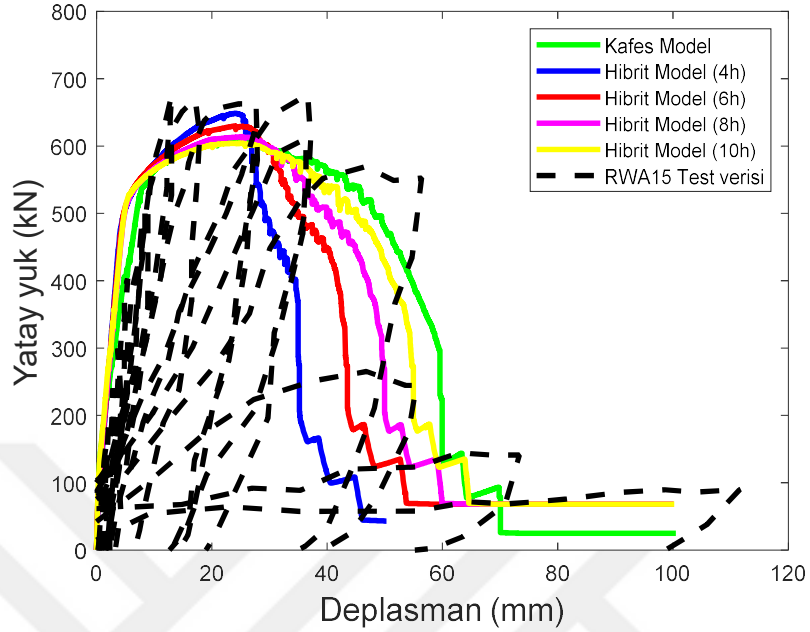
#### 4.4 Hibrit Model (RW-A15, Tran ve Wallace, 2015)

Kesme ve eğilme hasarlarının deneysel çalışma boyunca belirgin olarak gözlemlendiği RW-A15 perdesi için Hibrit modeller oluşturulmuştur. Arteta vd. (2019) çalışmasında RW-A15 perdesinin hibrit modeli oluşturularak dayanım azalmasının olduğu ötelenme oranına kadar analiz edilmiştir. Tez çalışması kapsamında ise RW-A15 perde testinin tüm yerdeğiştirme çevrimleri için analizi gerçekleştirilmiştir. Kafes Kiriş Modelin farklı panel eleman sayıları dikkate alınarak, h: panel yüksekliği olmak üzere; 4h, 6h, 8h ve 10h için Hibrit sayısal modeller oluşturularak  $\alpha$  katsayıları ile Şekil 4.28’de verilmiştir.



Şekil 4.28 RWA-15 Perdesi için Hibrit Modeller

Oluşturulan Hibrit modeller Tek yönlü (Monotonik) yükleme ile incelenerek Kafes Model ile en yakın sonucun Model 10h ( $\alpha = 0,65$ )'e karşılık geldiği Şekil 4.29'da görülmektedir. Buna göre Boy/ En ( $H/L_w$ ) oranı 1,5 olan perdenin Denk. 3.7 ile hesaplanan  $\alpha$  katsayısı 0,7 olmak üzere bu değere yakın bir katsayı elde edilmiştir. Hibrit modelin üstte kalan fiber kısmı üç entegrasyon noktası ile tanımlanmıştır.



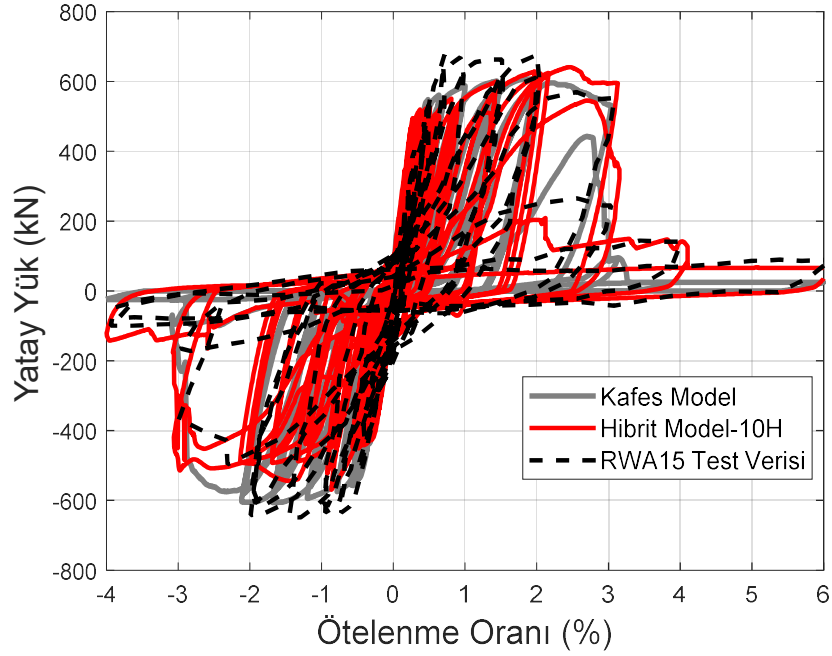
Şekil 4.29 RWA-15 Hibrit modelleri, Kafes model ve Test verisi yanal yük yatay deplasman grafiği

Hibrit Model (10h) için oluşturulan sayısal modelin yatay yük-ötelenme oranı çevrimsel davranışı ile deney verisinin karşılaştırılması Şekil 4.30'da verilmiştir. Şekil 4.31'de ise Kafes Model ve Hibrit Modelin karşılaştırması yer almaktadır. Kafes model en yüksek yanal yük değeri Şekil 4.31'den 610 kN elde edilmiş, hibrit model ise 641 kN olup, hibrit model yanal yük değerinin 1,05 oranda olduğu tespit edilmiştir. Tepe ötelenme oranı kafes modelde %1,99 hibrit modelde ise %2,44 olduğu, tespit edilmiştir. Kafes model başlangıç yanal yük değeri 411 kN hesaplanmış, aynı ötelenme oranı %0,29 de hibrit model ise 490 kN olarak belirlenmiş olup, başlangıç rijitliği açısından hibrit modelin 1,19 oranda daha rijit olduğu elde edilmiştir. Nihai çekme değeri açısından kıyaslandığında kafes model yanal yük değeri 531 kN tepe ötelenme oranı %3,03 hesaplanmış, hibrit modelde ise yanal yük değeri 595 kN tepe ötelenme oranı %3,13 olduğu, kafes modelin 0,89 oranla daha düşük değerler verdiği tespit edilmiştir. Analiz süresi olarak da hibrit model çevrimsel yükleme altında 15,45 saat; Kafes Model ise 32,77 saat sürmektedir. Analiz süresi açısından hibrit model %47 daha kısa zaman almaktadır ve bu kadar analiz süresini kısaltmasına rağmen verdiği sonuçlar kafes modele ve test verisine oldukça yakındır. Hibrit (10H) modelinde  $\alpha = 0,65$  değeri ile kafes modele benzer

sonuçlar elde edilirken Arteta vd., (2019) bu değer 0,75 ‘tir. Yapılan hesaplamalar sonucu  $\alpha$  katsayısının yakın değerler aldığı elde edildi.

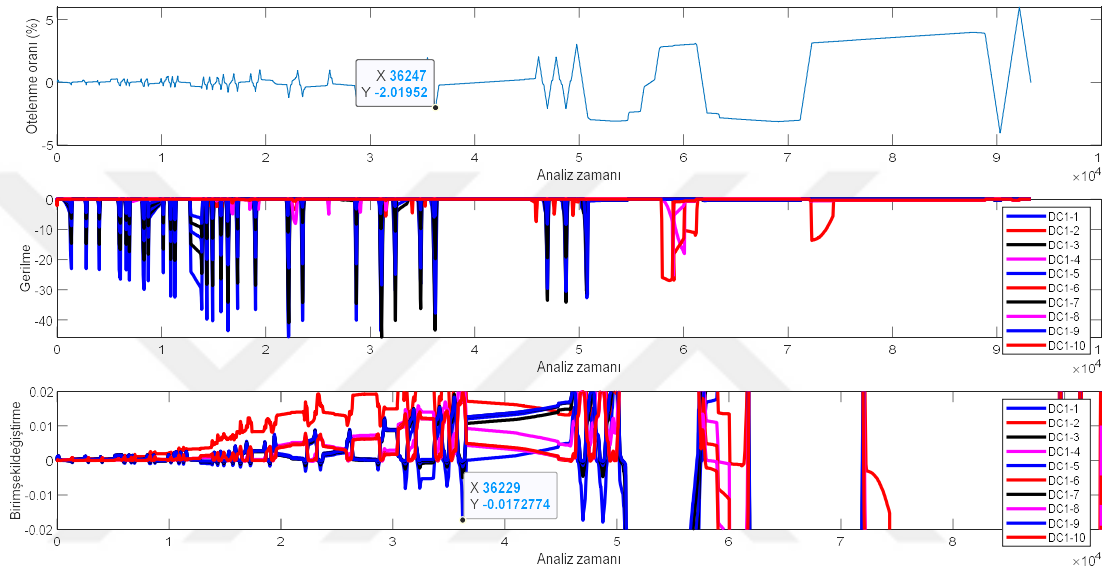


Şekil 4.30 RWA-15 Hibrit model (10h) ve Kafes model yanal yük yatay ötelenme oranı grafiği

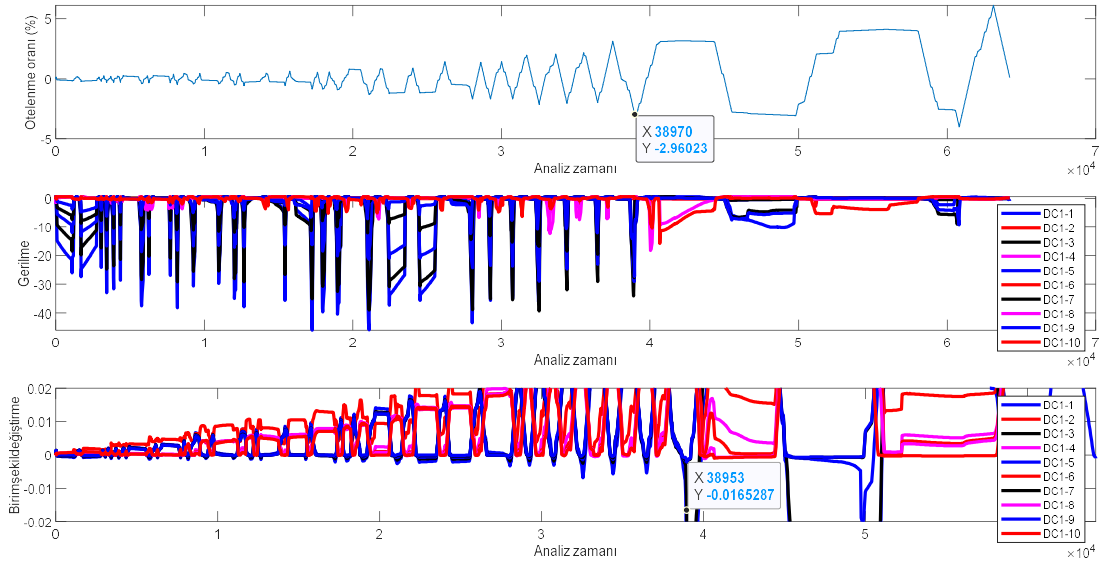


Şekil 4.31 RWA-15 Hibrit model (10h), Kafes model ve Test verisi yanal yük yatay ötelenme oranı grafiği

Hibrit model ve Kafes modelin diyagonal beton basınç dayanımlarına ilk ulaştıkları an ve ötelenme oranları Şekil 4.32-4.33'te karşılaştırılmıştır. Buna göre Kafes Modelde diyagonal beton %2,0 ötelenme seviyesinde basınç kırılmasına ulaşırken; Hibrit modelde %2,9 ötelenme seviyesinde ulaşmıştır.



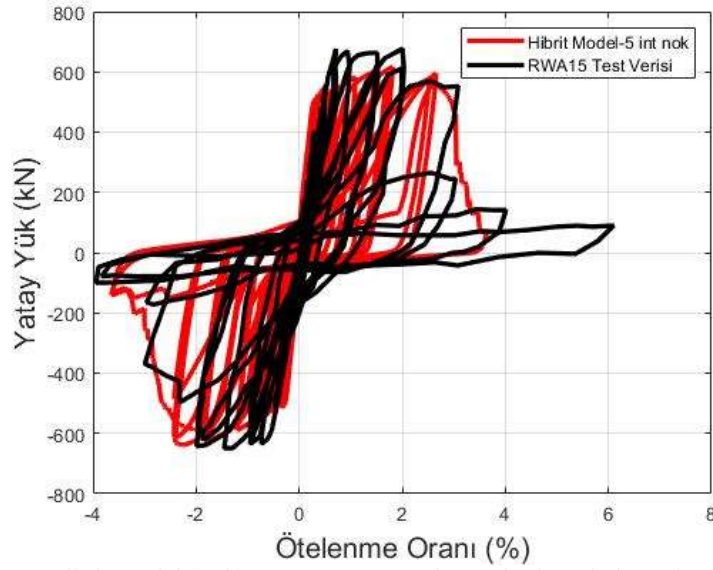
Şekil 4.32 RW-A15 Kafes Model Diyagonal Beton Gerilme- Birim Şekil Değiştirmeleri



Şekil 4.33 RW-A15 Hibrit Model (10h) Diyagonal Beton Gerilme- Birim Şekil Değiştirmeler

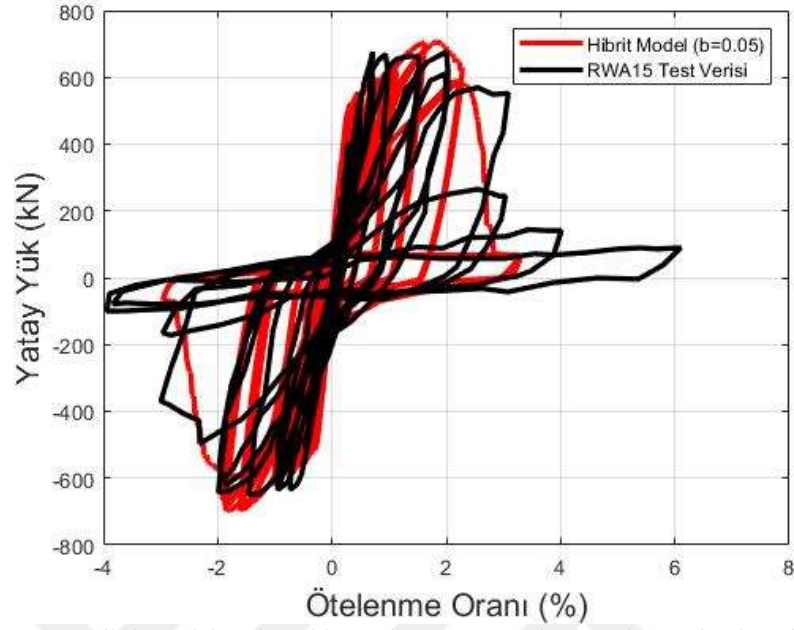
#### 4.5 Parametrik Çalışmalar

Normalde hibrit model 3 entegrasyon nokta sayısı ile analiz yapılmıştı, Şekil 4.34'te 5 entegrasyon nokta sayısı ile analiz yapıldığındaki sonuçlar verilmiştir. Grafikte görülebileceği üzere yanal yük taşıma kapasitesini biraz daha erken kaybettiği modelin dayanımında az da olsa azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.



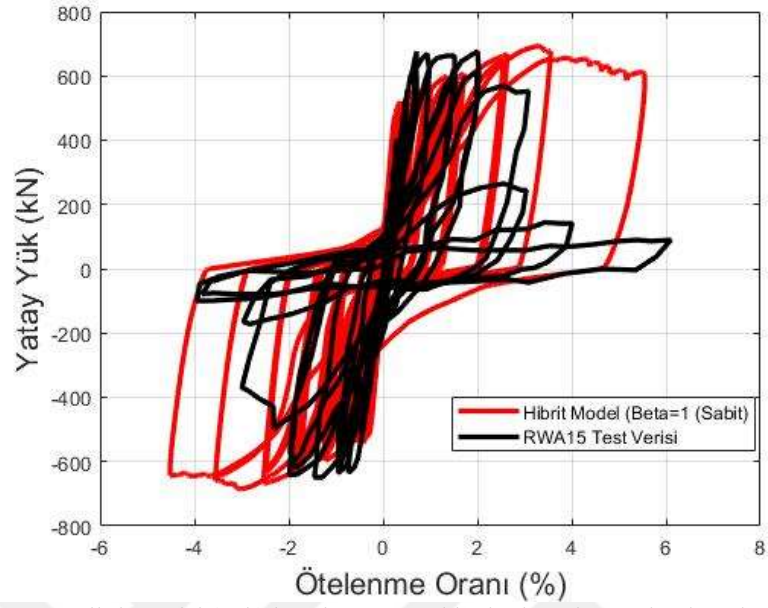
Şekil 4.34 RWA-15 Hibrit model (10h) 5 entegrasyon noktası alındığında hesaplanan yanal yük ötelenme oranı grafiği

Pekleşme katsayısı (b) GMP modelinde bütün modellerde 0,02 olarak alınmıştı Şekil 4.35'te 0,05 alındığında perdenin dayanımı daha yüksek elde edildi, ancak bu şekilde deney verisinden uzaklaşıldığı tespit edildi.



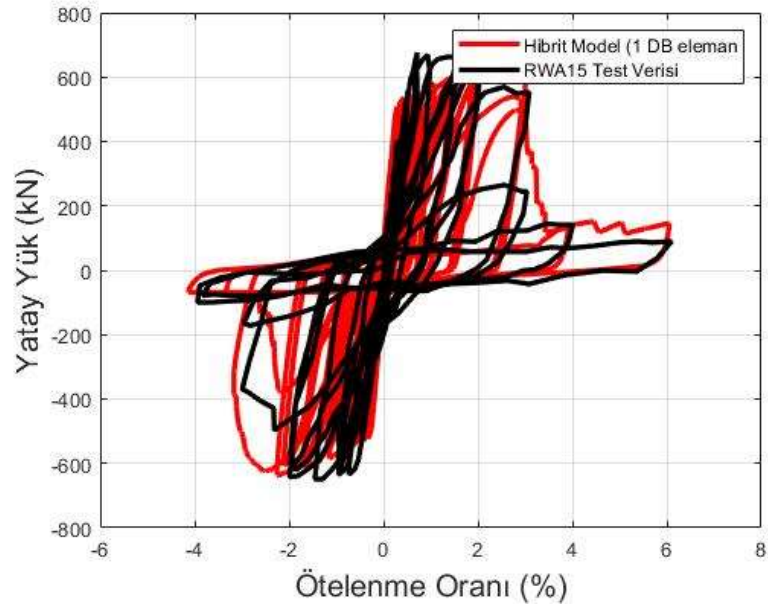
Şekil 4.35 RWA-15 Hibrit model (10h) pekleşme katsayısı %5 alındığında yanal yük tellenme oranı grafiği

Hibrit kafes modelin beton malzemesinin normal gerilmeye dik yöndeki çekme gerilmesinden kaynaklı beta basınç gerilmesi azaltım katsayısı normal concretewbeta beton modelinde azalarak dikkate alınmakta iken sabit olduğu durum değerlendirmesi yapılmıştır. Şekil 4.36'da görülebileceği üzere dayanım azalması test verisi değerinden daha yüksek tellenme oranında meydana gelmekte ve modelin test verisine nispeten enerji yutma kapasitesi yüksek hesaplanmıştır.



Şekil 4.36 RWA-15 Hibrit model (10h) beta katsayısı sabit alındığında yanıl yük ötelenme oranı grafiği

Şekil 4.37’ de hibrit modelin kuvvet tabanlı fiber kesit yerine deplasman tabanlı fiber kesit kullanılarak hesaplanması durumundaki tepe yanıl kuvvet ötelenme grafiği verilmiştir. Kuvvet tabanlı kesit yaklaşımına yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.37 RWA-15 Hibrit model (10h) Deplasman Tabanlı fiber eleman kabulüyle hesaplanan yanıl yük ötelenme oranı grafiği

## BÖLÜM 5

### SONUÇLAR

Sunulan çalışmada, betonarme perdelerin düzlemiçi çevrimsel yükleme etkisi altındaki davranışlarının sayısal olarak benzeştirilebilmesi için yaklaşımlar incelenmiştir. Kafes kiriş analogisinin uygulanmasında perdeye etkileyen eksenel gerilmelerin etkileri dikkate alınarak diyagonal doğrultudaki elemanların yatayla yaptıkları açı değerleri belirlenmiştir. Bu kapsamda eğilme etkilerinin belirgin olduğu ve Boy/En oranının 3 olduğu RW2 perdesinde, fiber modellerde elde edilen beton ve donatı birim deformasyonlarının kafes kiriş analogisi ile elde edilen modele göre daha düşük değerler aldığı belirlenmiştir. Fiber modelde entegrasyon noktalarının sayısı ve eleman sayısı gibi parametreler de davranışı etkileyebilmektedir. Ayrıca kesme etkilerinin deneysel çalışmada belirgin olarak gözlemlendiği SW2 perdesi de kafes kiriş analogisi ile modellenerek deney sonuçları ile kıyaslandığında dayanım, çevrimiçi rijitlik azalması ve hasar şekillerinin tahmin edilebilmesi bakımından yaklaşık sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

RW2 perdesi Kafes model hesap sonuçları ile test verisi ötelenme oranına göre meydana gelen deformasyonlar Tablo 4.2’de ve Şekil 4.7’de görüldüğü üzere ayrıntılı incelendiğinde, kafes modelde ilk önce %0,42 ötelenme oranında modelin uçlardaki boyuna donatıların akmaya başladığı  $f_y = 409$  MPa gerilme değerinde ve akma birim şekil değiştirme  $\epsilon_{sy} = 0,0021$  değerine ulaştığı takibinde %1 ötelenme oranında perde başlık kısmındaki sargılı betonun  $\epsilon_{cu} = 0,0096$  değerine ulaştığı tespit edilmiştir. Test verisinde ise %0,75 ötelenme oranında donatı akmasının ve %1 ötelenme oranında da beton kırılması meydana geldiği belirtilmiştir. Kafes modelin, perdenin göçme anındaki ötelenme oranını %2,4 olarak hesapladığı ve test verisinde ise göçme anındaki ötelenme oranı %2,5 olarak tespit edilmiş olup, ele alınan modelleme yaklaşımı ile deney verileriyle uyumlu değerler elde edilebilmiştir. Genel anlamda kafes modelin çevrimsel yükleme altında perdenin davranışını oldukça temsil edebildiği tespit edilmiştir. EK-1’de kafes model elemanlarda meydana gelen gerilme ve şekil değiştirmeler ayrıntılı şekilde grafiklerde verilmiştir. Kafes modelleme yaklaşımı ile deformasyonlar test verisiyle uyumlu olduğu ve göçme

mekanizmasının da doğru tespit edilmişti. Yapılan analizlerde perdenin eğilmeden kaynaklı göçmeye uğradığı tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında incelenen SW2 perdesinin Kafes model hesap sonuçları değerlendirildiğinde, test verisi ötelenme oranına göre meydana gelen deformasyonlar Tablo 4.4' dan ve Şekil 4.14' de bakıldığında, kafes modelde ilk önce % 0,18 ötelenme oranına ulaştıktan sonra modelin 24. boyuna beton elemanı çekme dayanım gerilmesine  $f_{ct}=2.23$  MPa eriştiği ve birim şekil değiştirme  $\epsilon_{ct}=0,00055$  değerine eriştiği, sonrasında % 0,33 (% 0,68 ötelenme oranını önceden görüyor) ötelenme oranında modelin uçlardaki betonun basınç gerilmesinden kaynaklı kırılma birim şekil değiştirme  $\epsilon_{cu}=0,0022$  değerine ulaştığı, modelin uçlardaki boyuna donatıların  $\epsilon_{sy}=0,0022$  akma birim uzamasına erişerek akmaya başladığı hesaplanmıştır. Test verisinde ise %0,079 ötelenme oranında köşegen betonda çekme kırılması %0,31 ötelenme oranında da yatay beton kırılması ve %0,35 oranında boyuna donatılarda akma meydana geldiği belirtilmiştir. Kafes modelin, perdenin göçme anındaki ötelenme oranını %2,13 olarak hesapladığı ve test verisinde ise göçme anındaki ötelenme oranı %2,23 olarak tespit edilmiştir. EK-2'de ayrıntılı grafikler verilmiştir. Kafes eleman metodu ile perdedeki deformasyonlar test verisiyle uyumlu olup perdenin kesme davranışı temsil edebildiği analiz sonucunda elde edilmiştir.

Tez kapsamında ele alınan RW-A15-P2.5-S64 perdesi Kafes model hesap sonuçları ile test verisi ötelenme oranına göre meydana gelen deformasyonlar EK-3' te ayrıntılı incelendiğinde, kafes modelde ilk önce % 0,087 ötelenme oranına ulaştıktan sonra modelin 2. sıradaki düşey beton elemanı çekme çatlama dayanımı  $f_{ct}=2.40$  MPa erişerek kırılmaya başladığı ve birim şekil değiştirme  $\epsilon_{ct}=0,00068$  değerine ulaştığı, kafes % 0,096 ötelenme oranına ulaştıktan sonra modelin 3. sıradaki yatay beton elemanı çekme gerilmesinin de  $f_{ct}=2.37$  MPa değerine erişerek çatlamaya başladığı ve birim şekil değiştirme  $\epsilon_{ct}=0,00008$  değerine ulaştığı, 1. Sıradaki diyagonal betonun basınç gerilmesi altında  $\epsilon_{cu}=0,014$  nihai birim şekil değiştirme değerine %1,18 ötelenme oranında ulaştığı, bunun yanında % 0,63 ötelenme oranında modelin uçlardaki yatay donatı çeliği akma birim şekil değiştirme  $\epsilon_{sy}=0,0021$  değerine ulaşarak akmaya başladığı belirlenmiştir. Test

verisinde ise %0,060 ötelenme oranında betonda çekme kırılması meydana geldiği %0,60 ötelenme oranında da donatılarda akma meydana geldiği belirtilmiştir. Kafes modelin, perdenin taşıma kapasitesini büyük ölçüde yitirdiği göçme anındaki ötelenme oranını %3,08 olarak hesapladığı ve test verisinde ise göçme anındaki ötelenme oranı %3,03 olarak belirtilmiş olup, ele alınan modelleme tekniği ile test verisiyle uyumlu sonuçlar elde edilebilmiştir. Söz konusu perdede kesme eğilme etkileşimi gösterdiği yapılan önceki araştırmalarda (Tran ve Wallace 2015) tespit edilmiş olup, yapmış olduğumuz kafes model analizleri sonucunda perdede hakim olan kesme ve eğilme davranışının temsil edebildiği tespit edilmiştir.

Hibrit modelde de analiz sonucunda kafes modele kıyasla çok yakın değerler elde edilmiş olup, analiz süresi açısından hibrit model %47 daha kısa zaman almaktadır analiz süresi kısaltmasına rağmen verdiği sonuçlar kafes modele ve test verisine oldukça yakındır.

RW2 perdesinde önce eğilmeden kaynaklı donatı akması ve beton kırılmaları ve bunun yanında boyuna donatı burkulması oluşarak eğilme göçmesi meydana gelmiştir. SW2 perdesinde ise başlarda köşegen çatlak oluşumu, tabanda yatay çatlak oluşumu, çapraz çekme ve basınç gerilmeleri etkin olup, perde tabanında kesme göçmesi meydana gelmiştir. RW-A15-P2.5-S64 perdesinde ise başlarda düşey ve yatay beton elemanlarda çekme gerilmesinden kaynaklı çatlamlar ve köşegen çatlak oluşumu meydana geldiği, kesme davranışının baskın olduğu analizin devamında uç bölgedeki donatıların akmaya başladığı ve eğilme davranışı da sergilediği kesme ve eğilme etkileşimi göstererek göçme meydana gelmiştir.

Ele alınan donatı malzeme modelinde donatı burkulması göz ardı edilmiş olup, yapılan testlerde özellikle RW2 perdesinde donatı burkulması tespit edilmesine rağmen kafes modellerde test verisiyle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Kafes model yaklaşımının donatı burkulması gibi hataları tolere edip edemeyeceği konusunda daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

Fiber model analiz sonuçları incelendiğinde eğilme etkin RW2 perdesinde test verisiyle uyumlu sonuçlar elde edilirken kesme etkin SW2 ve RW-A15-P2.5-S64 perdelerinde sonuçların test verisinden uzaklaştığı tespit edilmiştir. Buradan fiber modellerin daha çok eğilme davranışını temsil edebildiği kesme davranışını temsil etmekte zayıf olduğu elde edilmiştir. Bu konuda daha çok araştırmaya ihtiyaç vardır.



## KAYNAKLAR

- Antoniou, S., ve Pinho, R. (2018). Nonlinear Seismic Analysis of Framed Structures. *Engineering Dynamics and Vibrations*, 268-301.
- Arteta, C. A., Araújo, G. A., Torregroza, A. M., Martínez, A. F. ve Lu, Y. (2019). Hybrid approach for simulating shear–flexure interaction in RC walls with nonlinear truss and fiber models. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17(12), 6437-6462.
- Bowers, J. T. (2014). *Nonlinear cyclic truss model for beam-column joints of non-ductile RC frames* [Doctoral dissertation]. Virginia Tech.
- Darılmaz, K. (2019). *Depreme Dayanıklı Binaların Tasarımına Giriş*. İstanbul: Birsen Yayın Dağıtım Ltd. Şti.
- Dodd, L. L., ve Restrepo-Posada, J. I. (1995). Model for predicting cyclic behavior of reinforcing steel. *Journal of structural engineering*, 121(3), 433-445.
- Filippou, F. C., Popov, E. P., ve Bertero, V. V. (1983). Effects of bond deterioration on hysteretic behavior of reinforced concrete joints. Rep. EERC 83-19, *Earthquake Engineering Research Center, Univ. Of California, Berkeley*.
- Fouré, B. (1993). Un programme d’essais des murs de contreventement. In *Colloquium AFPS-SECED experimental methods in earthquake engineering and structural dynamics*. Saint-Rémy-lès-Chevreuse: AFPS—Association Francaise du Genie Parasismique.
- Girgin, S. C. (2019). Kesme Etkin Betonarme Elemanların Doğrusal Olmayan Kafes Kiriş Analojisi ile Modellenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(3), 1177-1186.

- Girgin, S. C. (2020). Effect of Modeling Beam-Column Joints on Performance Assessment of Columns in Non-Ductile RC Frames. *Teknik Dergi*, 31(6), 10339-10358. DOI: 10.18400/tekderg. 456752.
- Greifenhagen, C., ve Lestuzzi, P. (2005). Static cyclic tests on lightly reinforced concrete shear walls. *Engineering Structures*, 27(11), 1703-1712.
- Gullu, M. F., Horoz, B., ve Orakcal, K. (2015). Betonarme perde duvarlarda bileşik eğilme ve kesme davranışının modellenmesi. *Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Türkiye, 11-15*.
- Hoshikuma, J., Kawashima, K., Nagaya, K., ve Taylor, A. W. (1997). Stress-strain model for confined reinforced concrete in bridge piers. *Journal of Structural Engineering*, 123(5), 624-633.
- Huang, X., ve Kwon, O. S. (2015). Numerical models of RC elements and their impacts on seismic performance assessment. *Earthquake Engineering ve Structural Dynamics*, 44(2), 283-298.
- Kolozvari, K., Biscombe, L., Dashti, F., Dhakal, R. P., Gogus, A., Gullu, M. F. ve Wallace, J. (2019). State-of-the-art in nonlinear finite element modeling of isolated planar reinforced concrete walls. *Engineering Structures*, 194, 46-65.
- Kolozvari, K., Orakcal, K., ve Wallace, J. W. (2015). Modeling of cyclic shear-flexure interaction in reinforced concrete structural walls. I: Theory. *Journal of Structural Engineering*, 141(5), 04014135.

Kolozvari, K., Tran, T. A., Orakcal, K., ve Wallace, J. W. (2015). Modeling of cyclic shear-flexure interaction in reinforced concrete structural walls. II: Experimental validation. *Journal of Structural Engineering*, 141(5), 04014136.

Kono, S., Tani, M., Mukai, T., Fukuyama, H., Taleb, R. ve Sakashita, M. (2014). Seismic behavior of reinforced concrete walls for a performance based design. *Proceeding of the 2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Istanbul, August*.

Lu Y ve Panagiotou M. (2014). Three-dimensional cyclic beam-truss model for non-planar reinforced concrete walls. *Journal of Structural Engineering*, 140(3), 04013071 (1-11).

Luna, B. N., Rivera, J., Epackachi, S., ve Whittaker, A. S. (2018). *Seismic response of low aspect ratio reinforced concrete walls*. Report No. MCEER-18-0002, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY.

Mander J.B., Priestley M.J.N., ve Park R. (1988). Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, *ASCE Journal of Structural Engineering*, 114, No. 8, 1804-1826.

Massone, L. M.; Orakcal, K.; ve Wallace, J. W., (2009). Modeling of Squat Structural Walls Controlled by Shear, *ACI Structural Journal*, 106, No. 5, Sept.-Oct., 646-655.

Mathworks, (2022) Matlab (9.12.0) [Bilgisayar Programı]. Natick, Massachusetts.  
<https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

McKenna F, Fenves GL, Scott MH ve Jeremic B. (2006). Open System for Earthquake Engineering Simulation. *University of California, Berkeley, CA*.  
<http://opensees.berkeley.edu>

Menegotto M. ve Pinto P.E. (1973). Method of analysis for cyclically loaded R.C. plane frames including changes in geometry and non-elastic behaviour of elements under combined normal force and bending, *Symposium on the Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well Defined Repeated Loads, International Association for Bridge and Structural Engineering, Zurich, Switzerland*, 15-22.

Moharrami, M., Koutromanos, I., Panagiotou, M., ve Girgin, S. C. (2015). Analysis of shear-dominated RC columns using the nonlinear truss analogy. *Earthquake Engineering ve Structural Dynamics*, 44(5), 677-694.

Nicolae, I. L. E. (2000). *Contribution à la compréhension du fonctionnement des voiles en béton armé sous sollicitation sismique: Apport de l'expérimentation et de la modélisation à la conception*. Lyon: INSA de Lyon.

NIST (2010). *Evaluation of the FEMA P-695 Methodology for Quantification of Building Seismic Performance Factors* (NIST GCR 10-917-8), prepared by the NEHRP Consultants Joint Venture for the National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, Maryland: NIST.

Oh, Y. H., Han, S. W., ve Lee, L. H. (2002). Effect of boundary element details on the seismic deformation capacity of structural walls. *Earthquake engineering ve structural dynamics*, 31(8), 1583-1602.

Panagiotou M, Restrepo JJ, Schoettler ve M, Kim G. (2012). Nonlinear cyclic truss model for reinforced concrete walls. *ACI Structural Journal*, 109(2), 205-214.

Pozo, J. D., Hube, M. A., ve Kurama, Y. C. (2020). Quantitative assessment of nonlinear macro-models for global behavior and design of planar RC walls. *Engineering Structures*, 224, 111190.

Segura, C. L. (2017). *Seismic performance limitations of slender reinforced concrete structural walls*. [Thesis dissertation]. University of California, Los Angeles.

Sevinç, S., ve Bal, İ. E. (2018). Betonarme yapıların doğrusal olmayan analizinde yayılı plastisite modellerinin hassaslık analizi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 9(2), 907-918.

Shegay, A. V., Motter, C. J., Elwood, K. J., Henry, R. S., Lehman, D. E., ve Lowes, L. N. (2018). Impact of axial load on the seismic response of rectangular walls. *Journal of Structural Engineering*, 144(8), 04018124.

Stevens NJ, Uzumeri SM, Collins MP ve Will TG. (1991). Constitutive model for reinforced concrete finite element analysis. *ACI Structural Journal*, 88(1), 49-59.

Thomsen, J. H., ve Wallace, J. W. (1995). Displacement-based design of reinforced concrete structural walls: An experimental investigation of walls with rectangular and T-shaped cross-sections. *CU/CEE-95/06*, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Clarkson Univ., Pots-dam, NY.

Thomsen IV, J. H., ve Wallace, J. W. (2004). Displacement-based design of slender reinforced concrete structural walls—experimental verification. *Journal of structural engineering*, 130(4), 618-630.

Tran TA ve Wallace JW (2015). Cyclic testing of moderate-aspect-ratio reinforced concrete structural walls. *ACI Struct Journal* 112(6):653–665.

Tran, T. A. (2012). *Experimental and analytical studies of moderate aspect ratio reinforced concrete structural walls* [Doctoral dissertation, UCLA].

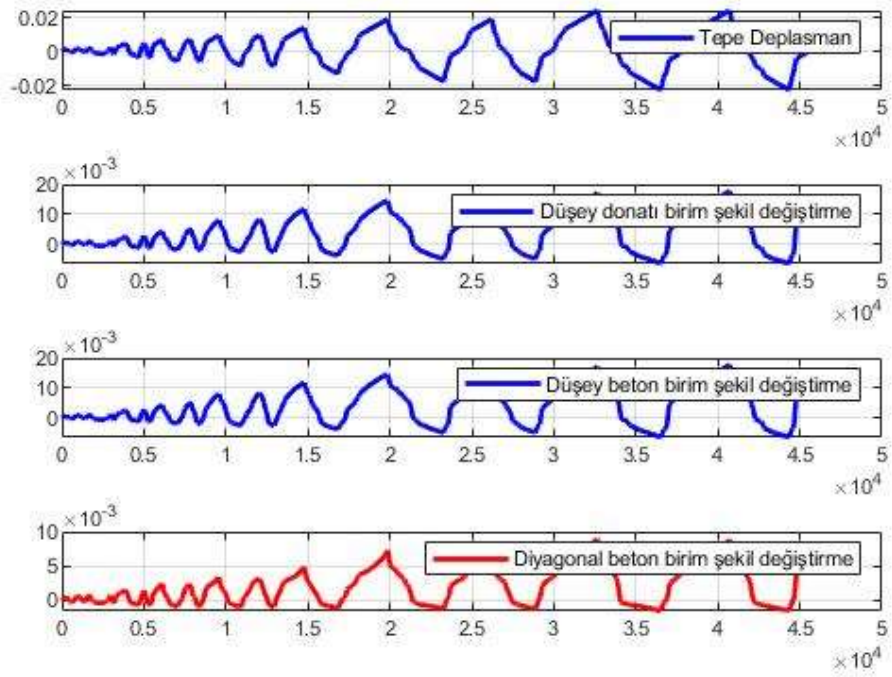
Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, (2018). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı,  
Resmi Gazete, Sayı; 30364 Ankara.

Yönetmelik, D. B. Y. B. H. (2007). Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. Resmi Gazete, Sayı;  
30364 Ankara.

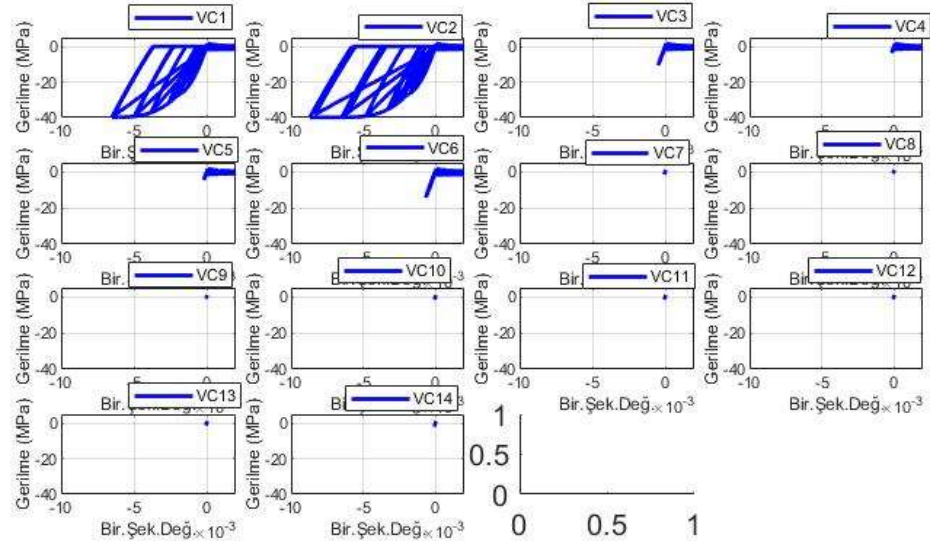


## EKLER

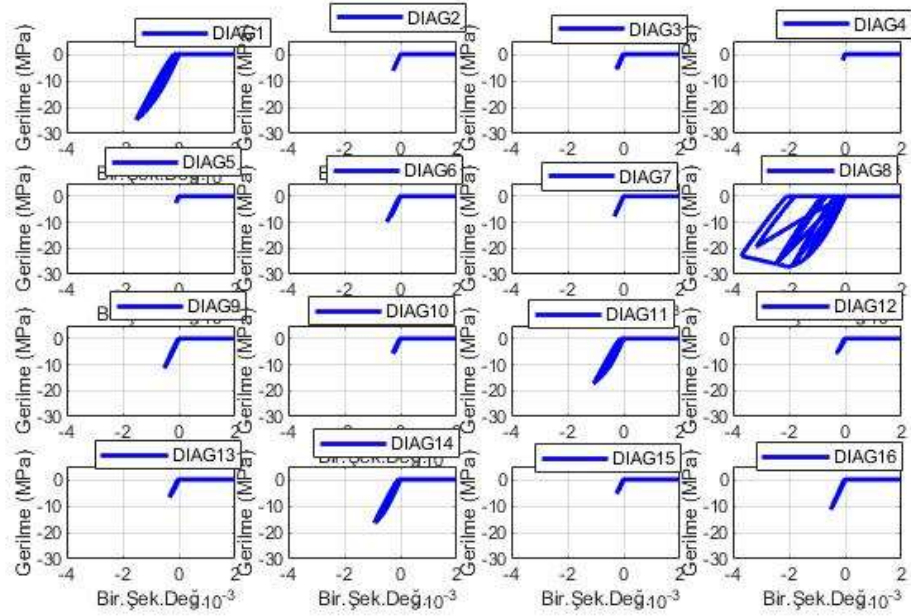
### EK 1



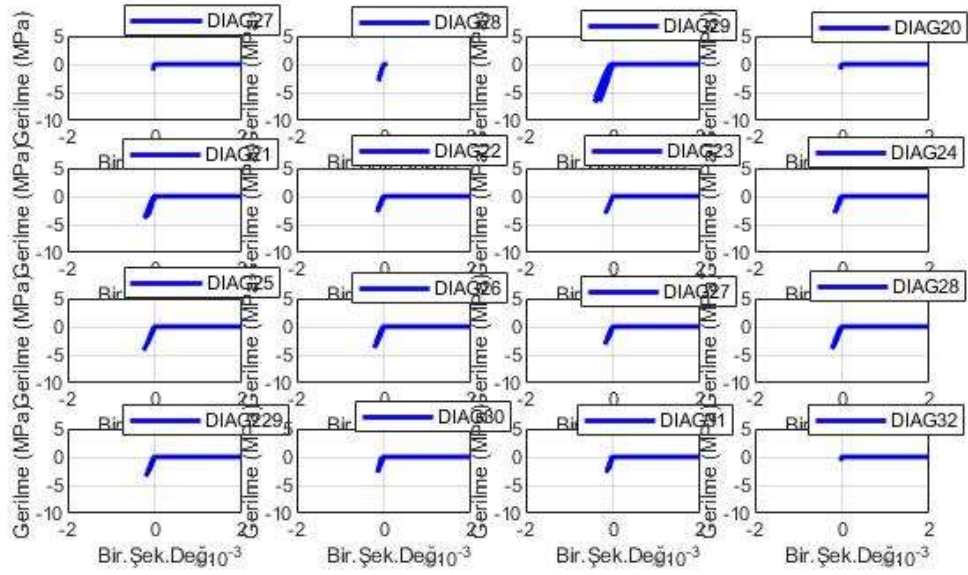
Şekil A.1 RW2 Perdesi Kafes Model Tepe Ötelenme Oranı ve Malzeme Birim Şekil Değiştirme ilişkileri.  
(1. Eleman)



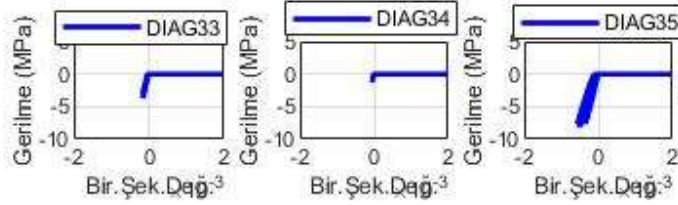
Şekil A.2 RW2 Perdesi Kafes Model Düşey Beton Gerilme ve Birim Şekil Değiştirme İlişkileri. (1 -14)



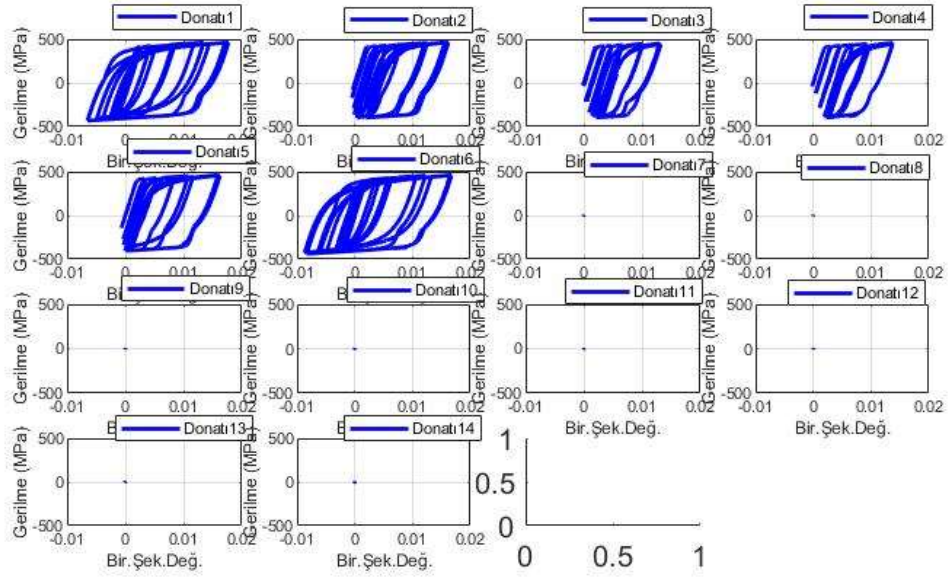
Şekil A.3 RW2 Perdesi Kafes Model Diyagonal Beton Gerilme ve Birim Şekil Değiştirme İlişkileri. (1 -16)



Şekil A.4 RW2 Perdesi Kafes Model Diyagonal Beton Gerilme Birim Şekil Değiştirme İlişkileri. (17 -32)

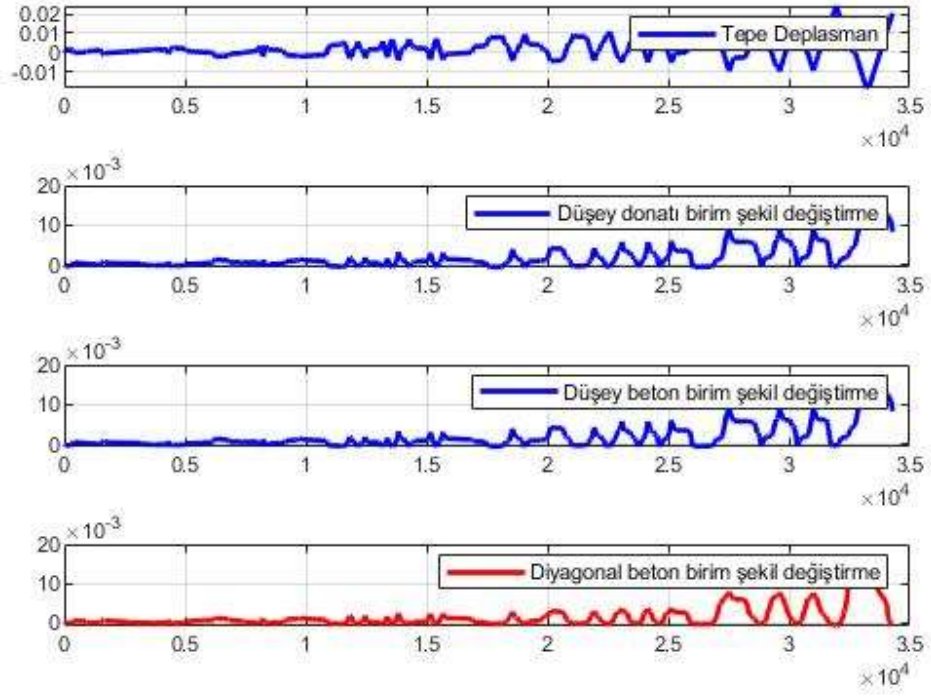


Şekil A.5 RW2 Perdesi Kafes Model Düşey Donatı Gerilme ve Birim Şekil Değiştirme ilişkileri (13-35)

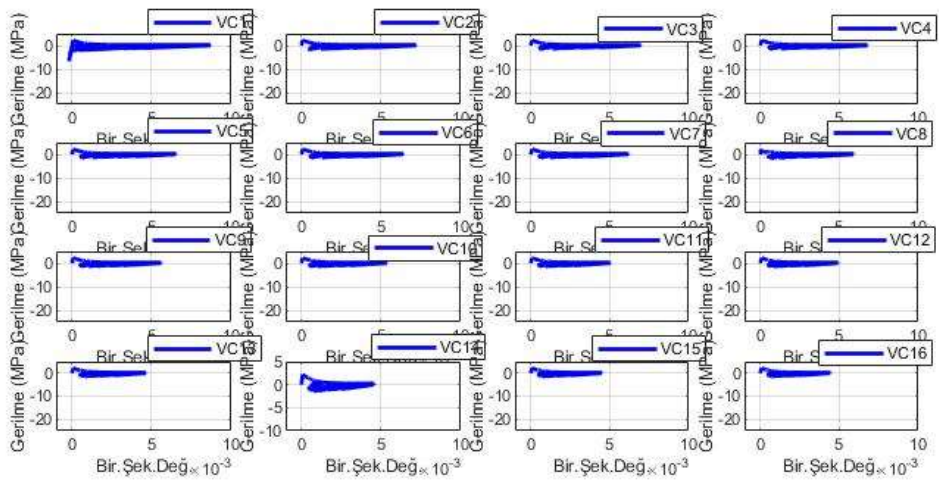


Şekil A.6 RW2 Perdesi Kafes Model Düşey Donatı Gerilme ve Birim Şekil Değiştirme İlişkileri. (1 -14)

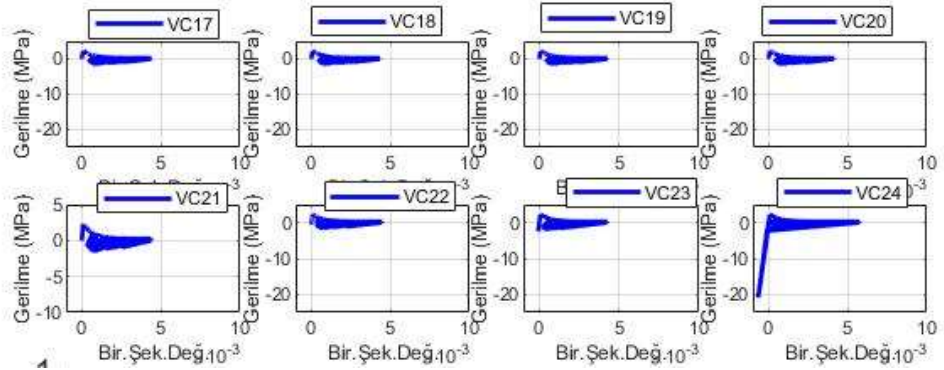
## EK 2



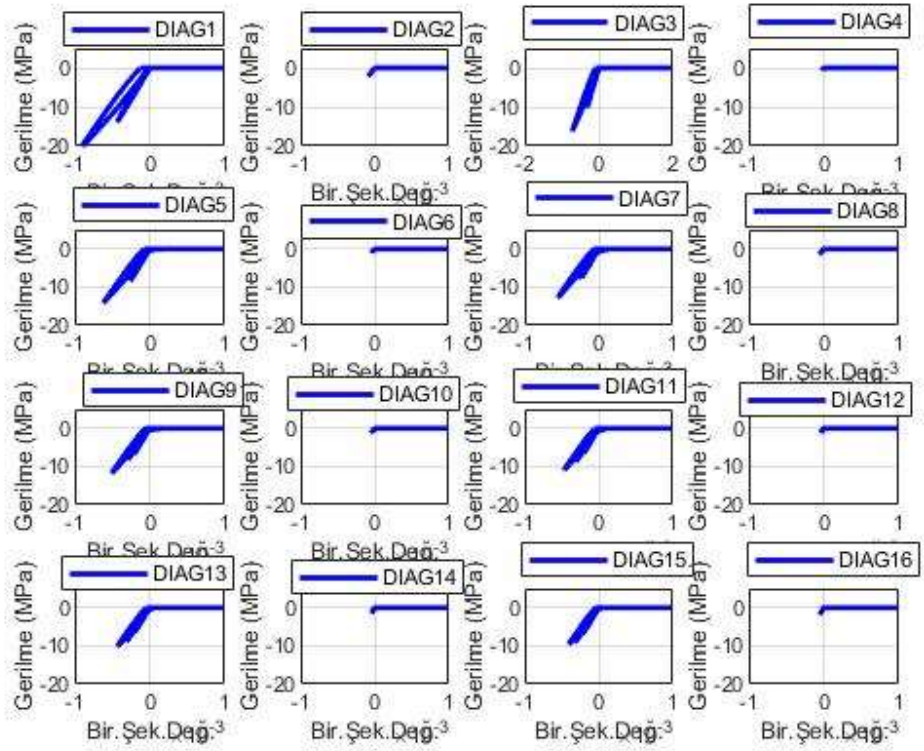
Şekil A.7 SW2 Perdesi Kafes Model Tepe Ötelenme Oranı ve Malzeme Birim Şekil Değiştirme ilişkileri. (24. Eleman)



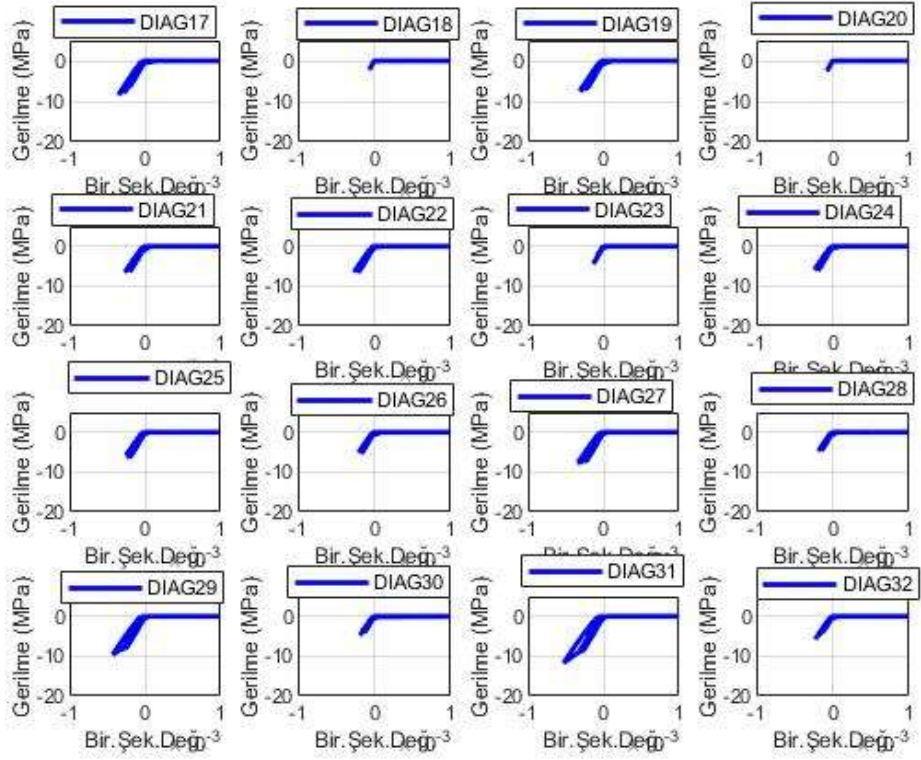
Şekil A.8 SW2 Perdesi Kafes Model Düşey Beton Gerilme Birim Şekil Değiştirme İlişkileri. (1 -16)



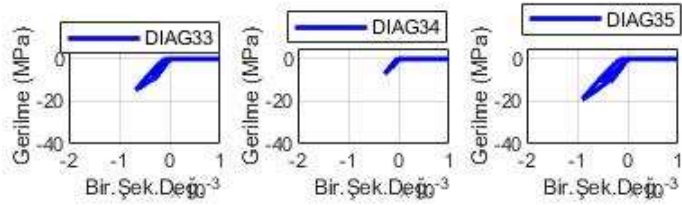
Şekil A.9 SW2 Perdesi Kafes Model Diyagonal Beton Gerilme Birim Şekil Değiştirme İlişkileri. (17 -24)



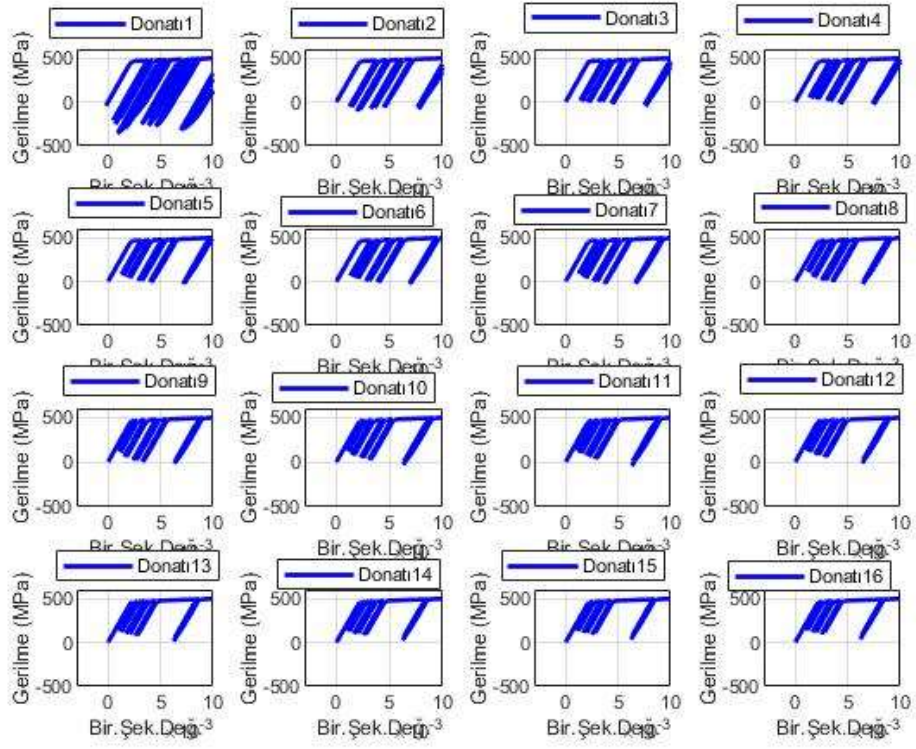
Şekil A.10 SW2 Perdesi Kafes Model Diyagonal Beton Gerilme Birim Şekil Değiştirme İlişkileri. (1 -16)



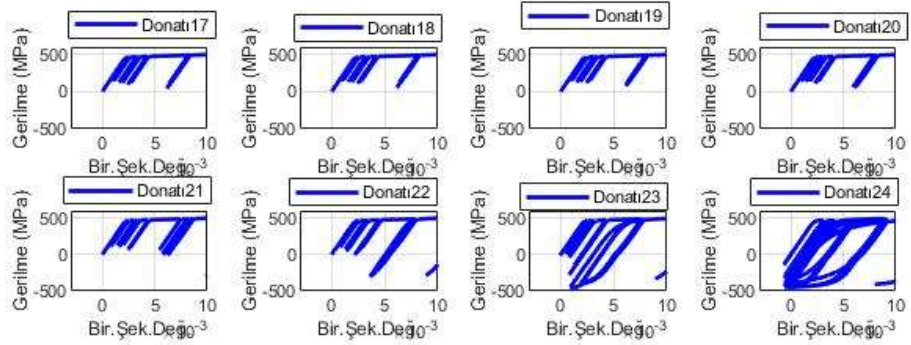
Şekil A.11 SW2 Perdesi Kafes Model Diyagonal Beton Gerilme Birim Şekil Değiştirme İlişkileri. (17 -32)



Şekil A.12 SW2 Perdesi Kafes Model Diyagonal Beton Gerilme Birim Şekil Değiştirme İlişkileri. (33 -35)

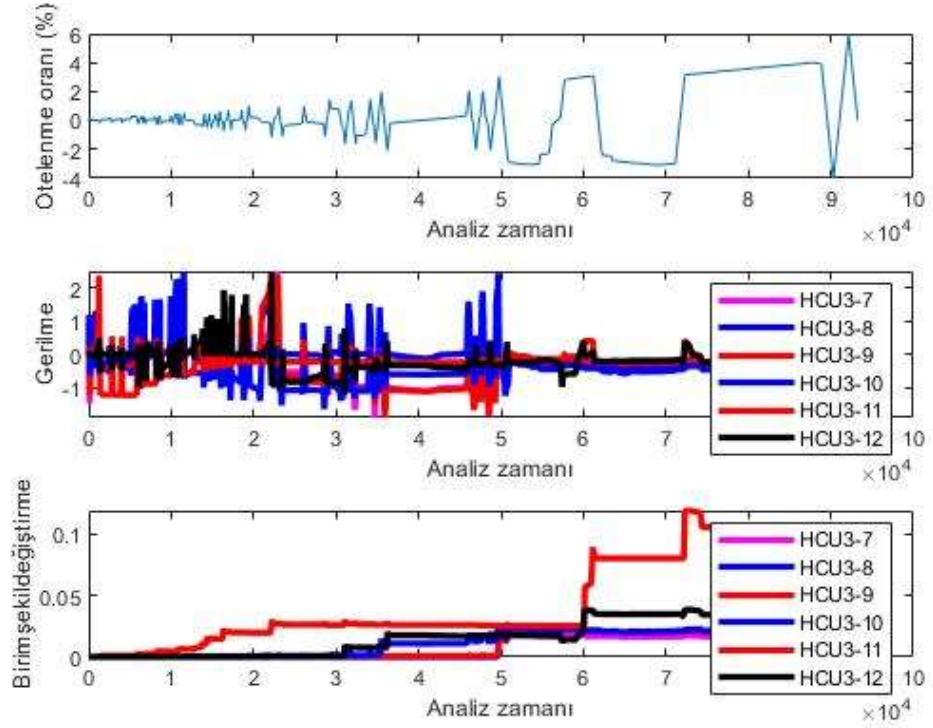


Şekil A.13 SW2 Perdesi Kafes Model Düşey Donatı Gerilme Birim Şekil Değiştirme İlişkileri. (1 -16)

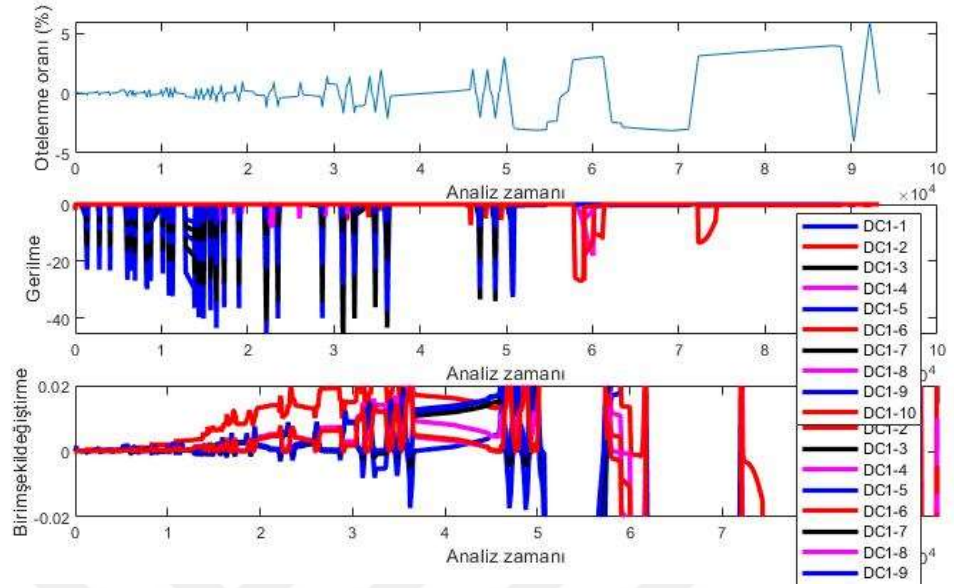


Şekil A.14 SW2 Perdesi Kafes Model Düşey Donatı Gerilme Birim Şekil Değiştirme İlişkileri. (17 -24)

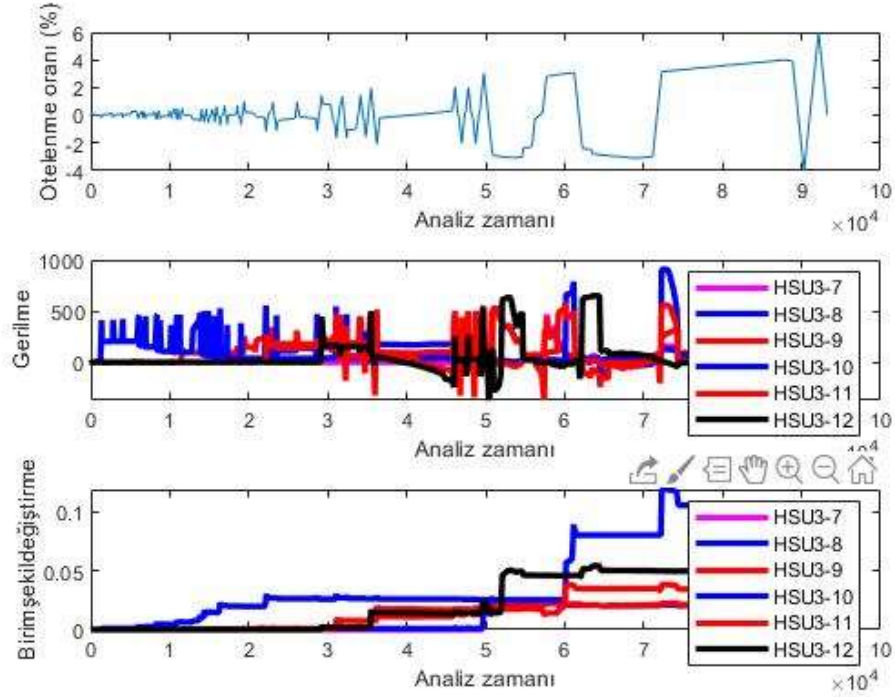
### EK 3



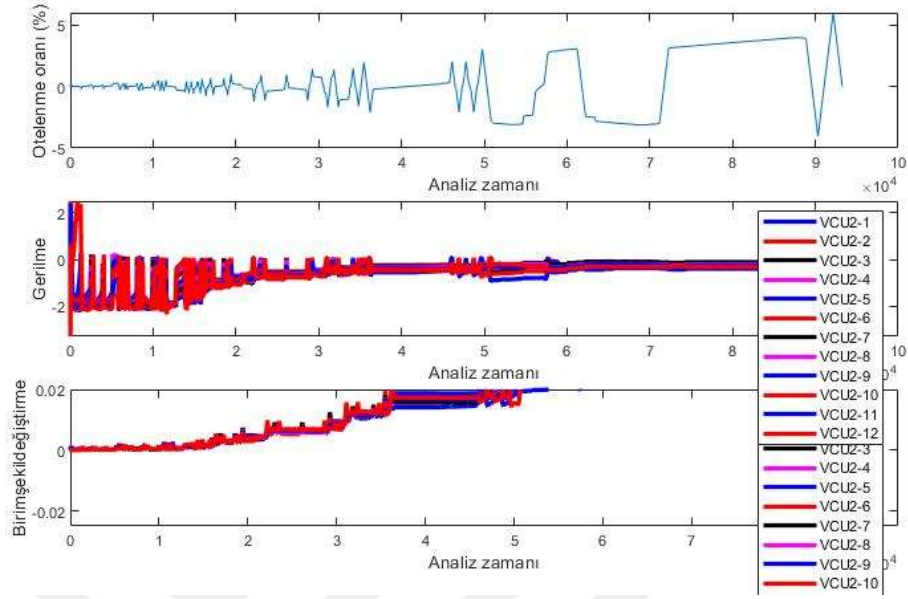
Şekil A.15 RW-A15-P2.5-S64 Perdesi Kafes Model Tepe Ötelenme Oranı ve Malzeme Birim Şekil Değiştirme ilişkileri. (Yatay beton 32)



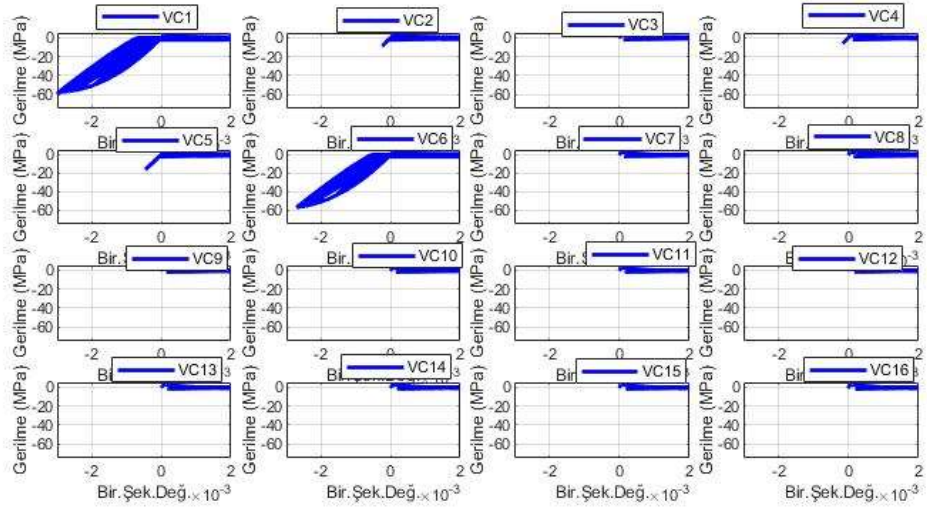
Şekil A.16 RW-A15-P2.5-S64 Perdesi Kafes Model Tepe Ötelenme Oranı ve Malzeme Birim Şekil Değiştirme ilişkileri. (Diyagonal beton 11)



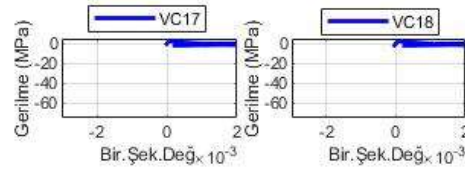
Şekil A.17 RW-A15-P2.5-S64 Perdesi Kafes Model Tepe Ötelenme Oranı ve Malzeme Birim Şekil Değiştirme ilişkileri. (Yatay donatı 32)



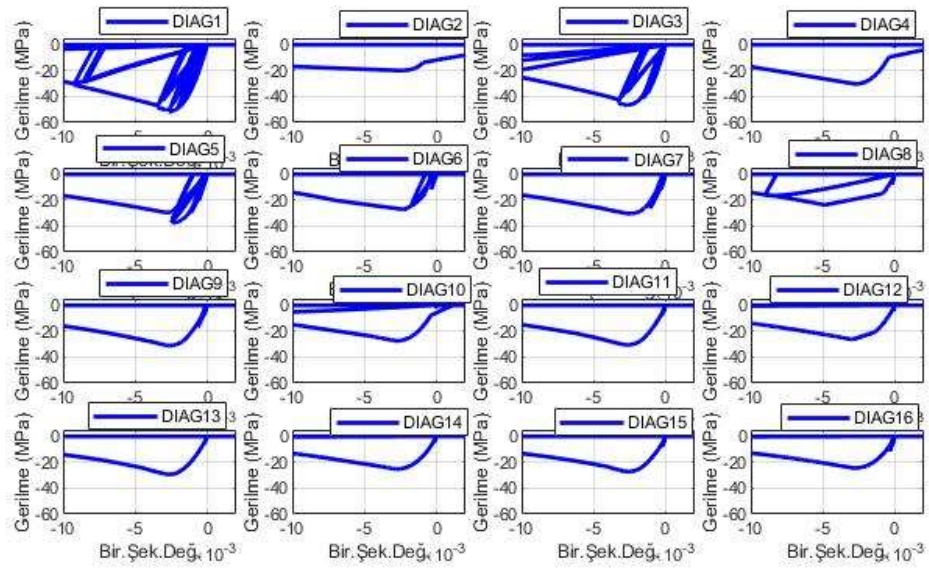
Şekil A.18 RW-A15-P2.5-S64 Perdesi Kafes Model Tepe Ötelenme Oranı ve Malzeme Birim Şekil Değiştirme ilişkileri. (Düşey Beton 22)



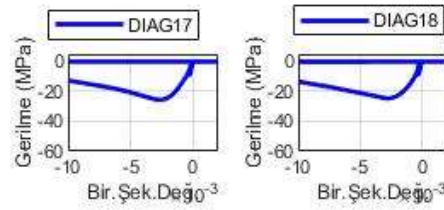
Şekil A.19 RW-A15-P2.5-S64 Perdesi Kafes Model Düşey Beton Gerilme Birim Şekil Değiştirme İlişkileri. (1 -16)



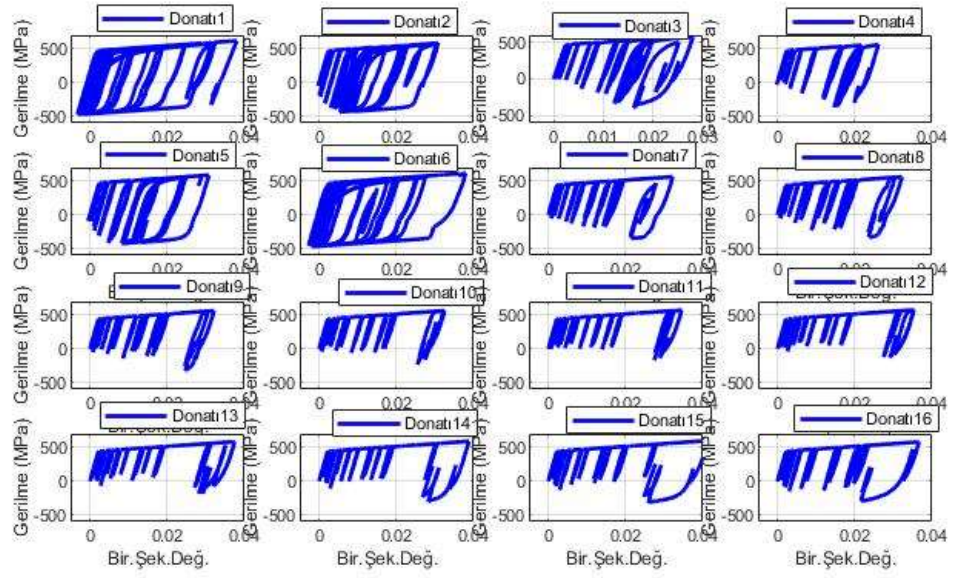
Şekil A.20 RW-A15-P2.5-S64 Perdesi Kafes Model Düşey Beton Gerilme Birim Şekil Değiştirme İlişkileri.  
(17 -18)



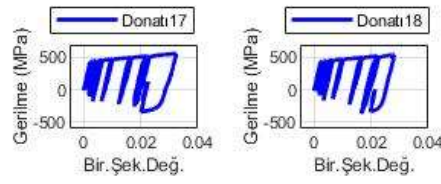
Şekil A.21 RW-A15-P2.5-S64 Perdesi Kafes Model Diyagonal Beton Gerilme Birim Şekil Değiştirme İlişkileri. (1 16)



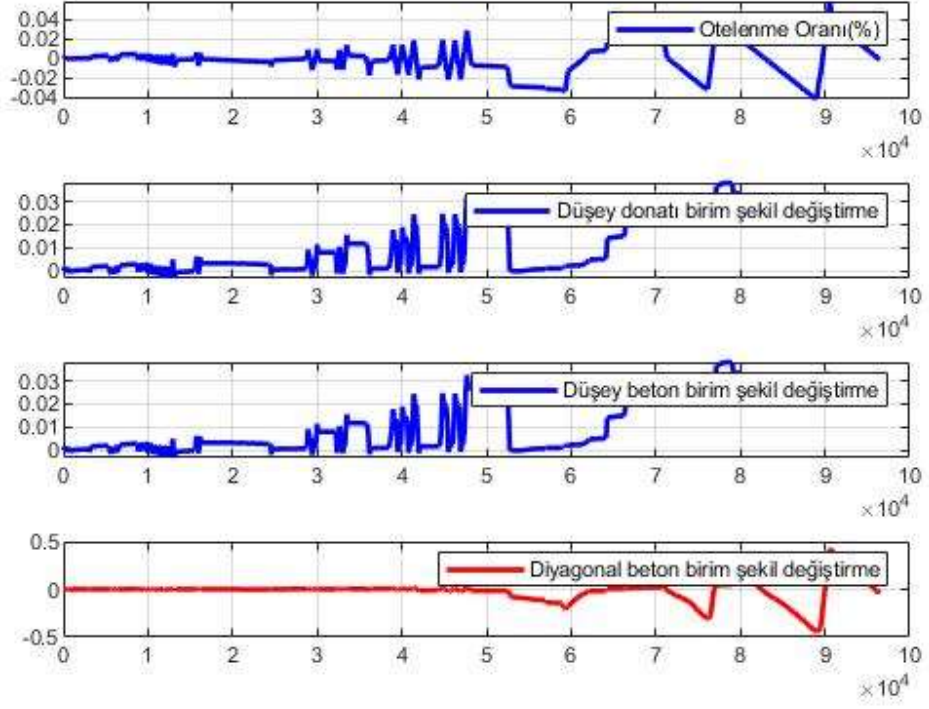
Şekil A.22 RW-A15-P2.5-S64 Perdesi Kafes Model Diyagonal Beton Gerilme Birim Şekil Değiştirme İlişkileri. (17-18)



Şekil A.23 RW-A15-P2.5-S64 Perdesi Kafes Model Düşey Donatı Gerilme Birim Şekil Değiştirme İlişkileri.  
(1 -16)



Şekil A.24 RW-A15-P2.5-S64 Perdesi Kafes Model Düşey Donatı Gerilme Birim Şekil Değiştirme İlişkileri.  
(17 -18)



Şekil A.25 RW-A15-P2.5-S64 Perdesi Kafes Model Tepe Ötelenme Oranı ve Malzeme Birim Şekil Değiştirme ilişkileri. (1. Sıra 1. Eleman)