

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BETONARME KISA KOLONLARIN PERFORMANSININ  
ARTIRILMASINDA VEREV DONATI CFRP SARGI  
UYGULAMALARININ DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

**Hazırlayan  
Oğuzhan ATAŞ**

**Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Tamer DİRİKGİL**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Aralık 2017  
KAYSERİ**

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BETONARME KISA KOLONLARIN PERFORMANSININ  
ARTIRILMASINDA VEREV DONATI CFRP SARGI  
UYGULAMALARININ DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan  
Oğuzhan ATAŞ**

**Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Tamer DİRİKGİL**

**Bu tez; TÜBİTAK 115M264 kodlu proje tarafından desteklenmiştir.**

**Aralık 2017  
KAYSERİ**

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı: Oğuzhan ATAŞ

İmza :



## YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI

**Betonarme Kısa Kolonların Performansının Artırılmasında Verv Donatı CFRP Sargı Uygulamalarının Deneysel Araştırılması** adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

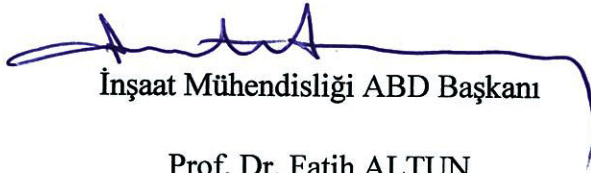
Tezi Hazırlayan

Oğuzhan ATAŞ



Danışman

Yrd. Doç. Dr. Tamer DİRİKGİL



İnşaat Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Fatih ALTUN

**Yrd. Doç. Dr. Tamer DİRİKGİL** danışmanlığında Oğuzhan ATAŞ tarafından hazırlanan “Betonarme Kısa Kolonların Performansının Artırılmasında Verev Donatı CFRP Sargı Uygulamalarının Deneysel Araştırılması” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

29/12/ 2017

#### JÜRİ:

Danışman :Yrd. Doç. Dr. Tamer DİRİKGİL



Üye :Yrd. Doç. Dr. Oğuz DÜĞENÇİ



Üye :Yrd. Doç. Dr. Mehmet HASNALBANT



#### ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 02/01/2018 tarih ve 2018/01-06 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübeleri ile beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan, karşılaştığım sıkıntılara karşı yeni çözümler üreterek ufkumu açan, yine çalışmalarım esnasında emeğini üzerimden hiç eksik etmeyen değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Tamer DİRİKGİL'e saygı ve teşekkürü bir borç bilirim.

Zorlu deneysel çalışmalarım esnasında karşılaştığım sıkıntıları aşmam için bilgi, tecrübe ve öngörülerini benimle paylaşmaktan kaçınmayan Sayın Yrd. Doç. Dr. Oğuz DÜĞENCİ başta olmak üzere, samimiyeti ve yardımlarıyla yanımda olan Sayın Arş. Gör. Alperen TÜRKAY ve Sayın Arş. Gör. Ertan SÜLEV'e ayrıca teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarımın yürütülmesinde bir an olsun yanımdan ayrılmayan yardım ve desteklerini benden esirgemeyen kıymetli arkadaşlarım Sayın İnş. Müh. Basheer ABED, Sayın İnş. Müh. Ali-Al MALİKİ, Sayın İnş. Müh. Metin TALASLIOĞLU, Sayın İnş. Müh. Raşit OĞUZ, Sayın İnş. Müh. Anıl Naim KAHRAMAN, Sayın İnş. Müh. M. Emin ASLAN, Sayın İnş. Müh. Y. Emre ARSLAN ve bölümümüz öğrencilerinden Sayın Ali Kemal DÜĞENCİ, Sayın Musa TANIŞ, Sayın Ramazan EĞİLMEZ ve adını sayamadığım diğer arkadaşlara da yardım ve özverileri için teşekkür ederim.

Ayrıca; her daim takdirini ve desteğini hissettiğim sevgili babam, gece geç saatlere kadar süren çalışmalarında eve gelmemi dört gözle bekleyen annem ve zorlu çalışma zamanlarımda şakalarıyla beni gülümsetebilen biricik kardeşime sevgi minnet ve şükranları bir borç bilirim.

Oğuzhan ATAŞ

Kayseri, Aralık 2017

# **BETONARME KISA KOLONLARIN PERFORMANSININ ARTIRILMASINDA VEREV DONATI CFRP SARGI UYGULAMALARININ DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

**Oğuzhan ATAŞ**

**Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi, Aralık 2017**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Tamer DİRİKGİL**

## **ÖZET**

Çalışmaya konu olarak seçilmiş olan kısa kolon kusuru dünya üzerinde yapı mühendislerinin karşılaştığı birçok yıkıcı problemlerden bir tanesidir. Yatay yükler etkisinde yatay deplasman yapan kolonların etkili boylarının çeşitli mimari veya zemin özelliklerinden dolayı kısılması ve bununla birlikte kolon elemanın yatay deplasman yapabilme kapasitesinin sınırlanması durumunda kısa kolon yapısal kusuru oluşmaktadır.

Kısa kolon kusuru oluşan yapı elemanları genellikle temelden sonraki ilk yapı taşıyıcı elemanı olduğundan bu kısımda oluşacak zarar yapının bütününe etkilemekte, öyle ki bu elemanlarda oluşabilecek kırılma durumu yapının toptan göçme durumuna gelmesine neden olabilmektedir. Deprem kuvveti yapı elemanlarına rijitliği oranında dağıtıldığından ve etkili boyu kısalan kısa kolonların rijitliklerinin çok artmasından dolayı hesap yüklerinden çok daha fazla yük etkisinde kalmakta ve gevrek bir davranış sergileyerek kırılmaktadırlar.

Çalışmada kusurun giderilmesi adına deprem yönetmeliğinin önerdiği referans düzenlemelerinin yanı sıra CFRP ve Verve Donatı uygulamaları ile güçlendirilmiş 12 adet test numunesi sabit eksenel yük altında yatay deplasman kontrolünde sınanmıştır.

Sonuçlar kısmında, CFRP ve Verve donatılı kolonlar Referans kolonlarına göre gevrek davranışı daha sünek ve daha kuvvetli bir pozisyona taşımıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kısa kolon, histeretik davranış, düktilite

# EXPERIMENTAL STUDY ON THE IMPLEMENTATION OF PERFORMANCE OF CONCRETE MIXED VOLTAGE STEPS

**Oğuzhan ATAŞ**

**Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi, Aralık 2017  
Danışman: Assist. Prof. Tamer DİRİKGİL**

## ABSTRACT

The short column defect chosen as the subject of study is one of the many destructive problems encountered by structural engineers around the world. Short column structural malfunction occurs when the effective lengths of horizontal displacement columns due to horizontal loads are shortened due to various architectural or soil characteristics and consequently the capacity of horizontal displacement of the column element is limited.

Structural elements with short column flaws are generally the first structural carrier elements after the foundation, which affects the whole damage caused in this part, so that the fracture situation that can occur in these elements can lead to the wholesale collapse. Because the seismic force is distributed to the structural members in proportion to the stiffness and the stiffness of the short columns, which are effectively shortened in length, increases too much, they are subjected to loads much more than the calculated loads and are broken by exhibiting a brittle behavior.

12 test specimens reinforced by CFRP and Verrev Fitting applications, as well as the reference regulations recommended by the earthquake regulation, were tested under horizontal axial displacement under constant axial load for the purpose of eliminating fault in operation.

In the results section, CFRP and Verrev reinforced columns carry brittle behavior to a more ductile and stronger position than the reference columns.

**Key words:** Short column, hysteretic behavior, ductility

## İÇİNDEKİLER

### BETONARME KISA KOLONLARIN PERFORMANSININ ARTIRILMASINDA VEREV DONATI CFRP SARGI UYGULAMALARININ DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK ..... | i   |
| YÖNERGEYE UYGUNLUK.....       | ii  |
| KURUL KABUL VE ONAY .....     | ii  |
| ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR .....        | iv  |
| ÖZET.....                     | v   |
| ABSTRACT.....                 | vi  |
| İÇİNDEKİLER .....             | vii |
| KISALTMALAR VE SİMGELER.....  | ix  |
| TABLolar LİSTESİ.....         | x   |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....        | xi  |
| GİRİŞ .....                   | 1   |

## BÖLÜM 1

### GENEL BİLGİLER

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| 1.1. Kısa Kolon Oluşumu.....  | 3 |
| 1.2. Literatür Taraması ..... | 5 |

## BÖLÜM 2

### GEREÇ VE YÖNTEM

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| 2.1 DeneySEL Çalışma.....                        | 16 |
| 2.1.1 Deprem Laboratuvarı ve İmkânları .....     | 16 |
| 2.1.2 Deney Düzeneginin Oluşturulması .....      | 18 |
| 2.1.3 Deney Numunelerinin Üretilmesi.....        | 20 |
| 2.1.4 Deney Düzeneginin Kurulması.....           | 33 |
| 2.1.5 Deney Ölçüm Düzeneklerinin Kurulması ..... | 34 |
| 2.1.6 Deneylerin Yapılma Aşaması .....           | 37 |

### BÖLÜM 3

#### DENEYSEL ÇALIŞMA AŞAMASINDAKİ

|                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>BULGULAR VE SONUÇLARI .....</b>                                    | <b>41</b> |
| <b>3.1 Giriş .....</b>                                                | <b>41</b> |
| <b>3.2 Histeretik Davranış .....</b>                                  | <b>42</b> |
| 3.2.1 SC800 Ref Ø10 .....                                             | 42        |
| 3.2.2 SC800 Ref Ø12 .....                                             | 44        |
| 3.2.3 SC800 CFRP 150 .....                                            | 45        |
| 3.2.4 SC800 CFRP 100 .....                                            | 47        |
| 3.2.5 SC800 D Ø10 .....                                               | 48        |
| 3.2.6 SC800 D Ø12 .....                                               | 49        |
| 3.2.7 SC600 Ref Ø10 .....                                             | 51        |
| 3.2.8 SC600 Ref Ø12 .....                                             | 52        |
| 3.2.9 SC600 CFRP 150 .....                                            | 54        |
| 3.2.10 SC600 CFRP 100 .....                                           | 55        |
| 3.2.11 SC600 D Ø10 .....                                              | 57        |
| 3.2.12 SC600 D Ø12 .....                                              | 58        |
| <b>3.3 Yer Değiştirme Düktilitesi .....</b>                           | <b>74</b> |
| <b>3.4 Başlangıç Ve Sekant Rijitlikleri .....</b>                     | <b>76</b> |
| <b>3.5 Enerji Yutma .....</b>                                         | <b>85</b> |
| <b>3.6 Strain Gage Birim Şekil Değiştirme Karşılaştırmaları .....</b> | <b>94</b> |

### BÖLÜM 4

|                                                                                                           |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>                                                                         | <b>98</b>  |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                                                    | <b>105</b> |
| <b>EKLER .....</b>                                                                                        | <b>108</b> |
| <b>EK-1 Strain Gage (Gerinim Pulu) .....</b>                                                              | <b>109</b> |
| <b>EK-1A Strain Gage .....</b>                                                                            | <b>109</b> |
| <b>EK-1B Deney Esnasında Donatılardan Alınan <math>\sigma</math>-<math>\epsilon</math> Eğrileri .....</b> | <b>110</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                                                     | <b>126</b> |

## KISALTMALAR VE SİMGELER

| <b><u>Sembol</u></b> | <b><u>Anlamı</u></b>                                         | <b><u>Birimi</u></b> |
|----------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------|
| n                    | Eksenel Yük İndisi                                           | %                    |
| $\rho$               | Donatı Oranı                                                 | %                    |
| $\alpha_s$           | Kesme Oranı                                                  | %                    |
| M                    | Moment                                                       | KNm                  |
| h                    | Kolon Kesit Derinliği                                        | mm                   |
| d                    | Kolon Yüksekliği                                             | mm                   |
| P.                   | Yatay Yük                                                    | KN                   |
| CFRP                 | Carbon Fiber Reinforced Polymer                              | --                   |
| GFRP                 | Glass Fiber Reinforced Polymer                               | --                   |
| Ø                    | Çap                                                          | mm                   |
| ACI                  | American Concrete Institute                                  | --                   |
| FEMA                 | Federal Emergency Management Agency                          | --                   |
| CSA                  | Canadian Standards Association                               | --                   |
| DBYBHY               | Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar<br>Hakkında Yönetmelik | --                   |
| SC                   | Short Column (Kısa Kolon)                                    | --                   |
| D                    | Verev Donatılı Numune                                        | --                   |
| Ref                  | Referans Numune                                              | --                   |
| $\mu$                | Yer Değiştirme Düktilitesi                                   | %                    |
| $\Delta_u$           | Nihai Yer değiştirme                                         | mm                   |
| $\Delta_y$           | Akmaya Kadar Yer Değiştirme                                  | mm                   |
| $K_y$                | Başlangıç Rijitliği                                          | KNmm                 |
| $K_s$                | Sekant Rijitliği                                             | KNmm                 |
| $\Delta T$           | Alt soğuma                                                   | (K)                  |

## TABLÖLAR LİSTESİ

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 2.1. Silindir Numunelerin Yarma Yüğü, Basınç Dayanımları ve Ortalaması ..... | 28 |
| Tablo 2.2. Donatı Çekme Deneyi Sonuçlarının Tablo Halinde Gösterimi .....          | 31 |
| Tablo 2.3. Numune isimlendirme şekli .....                                         | 32 |
| Tablo 2.4. Kısa Kolon Yükleme Prosedürü Deplasman ve Ötelenme Oranları.....        | 38 |
| Tablo 3.1. Tüm Numunelerin Maksimum İtme Çekme Yükları ve Ortalamaları.....        | 61 |
| Tablo 3.2. Tüm Numunelerin Yer Değiştirme Düktiliteleri ve Ortalamaları .....      | 75 |
| Tablo 3.3. Kısa Kolon Numunelerinin Başlangıç ve Sekant Rijitlikleri.....          | 84 |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|             |                                                                                     |    |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1.  | Deprem etkisiyle hasar gören kısa kolon elemanları .....                            | 4  |
| Şekil 1.2.  | Zemin kotunun farklılığından dolayı kısa kolon kusuru olan viyadük ayağı.....       | 4  |
| Şekil 1.3.  | Deneysel Çalışma Konfigürasyonu .....                                               | 6  |
| Şekil 1.4.  | Test edilen numunelerin detayı ve çelik kuşaklamalar .....                          | 7  |
| Şekil 1.5.  | Uygulanan Takviye Yöntemlerinin Detayı.....                                         | 8  |
| Şekil 1.6.  | Numunelerin Donatı Detayları ve Uygulanan Sargı Takviyesi .....                     | 9  |
| Şekil 1.7.  | Numunelerin Donatı Detayları ve İki Diyagonal Destek.....                           | 10 |
| Şekil 1.8.  | Numunelerin Donatı ve En Kesit Detayları .....                                      | 11 |
| Şekil 1.9.  | Dairesel ve Karesel Kısa Kolon Detayları .....                                      | 12 |
| Şekil 1.10. | Kısa Kolonların En Kesit, Donatı Detayları ve FRP Sargı Takviyesi .....             | 13 |
| Şekil 2.1.  | Deprem Araştırma Laboratuvarı Yükleme Duvarı ve Rijit Döşemesi .....                | 17 |
| Şekil 2.2.  | Çeşitli Deney ekipmanları .....                                                     | 18 |
| Şekil 2.3.  | Eksenel Yükleme Düzeneği Tasarım Çizimleri.....                                     | 19 |
| Şekil 2.4.  | Eksenel Yükleme Düzeneği Üretim Aşaması.....                                        | 19 |
| Şekil 2.5.  | Düşey ve Eksenel Yükleme Düzenekleri 3D tasarım çizimleri.....                      | 20 |
| Şekil 2.6.  | Numune boyutları ve kesitleri.....                                                  | 23 |
| Şekil 2.7.  | Referans Numunelerinin donatı detayı .....                                          | 24 |
| Şekil 2.8.  | Verev Donatılı Numunelerin Donatı Detayı .....                                      | 25 |
| Şekil 2.9.  | CFRP Sargılı Numunelerin Sargı ve Donatı Detayı .....                               | 26 |
| Şekil 2.10. | Numunelerin hazırlanma ve beton döküm aşamasından fotoğraflar .....                 | 27 |
| Şekil 2.11. | Silindir Numunelerin Beton Basınç Dayanımları .....                                 | 28 |
| Şekil 2.12. | Numunelerin Alınması, Kurlenmesi, Kükürt Başlık Yapımı ve Kırılması İşlemleri ..... | 29 |
| Şekil 2.13. | Donatı Çekme Deneyi presi ve numuneleri .....                                       | 30 |
| Şekil 2.14. | Donatı Çekme Deneyi Sonuçlarının Grafik Haline Getirilmesi .....                    | 30 |
| Şekil 2.15. | Donatıya Strain-Gage Uygulaması .....                                               | 33 |
| Şekil 2.16. | Yükleme Kriko ve Loadcell'lerinin Numune Üzerindeki Yerleşimi.....                  | 34 |

|             |                                                                        |    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.17. | Deplasman Ölçen LVDT Aygıtlarının Numune Üzerindeki Konumları .....    | 35 |
| Şekil 2.18. | Deney Düzeneği ve Ölçüm Ekipmanlarının Gösterildiği Bir Fotoğraf ..... | 36 |
| Şekil 2.19. | FEMA461 Yükleme Protokolü .....                                        | 38 |
| Şekil 2.20. | Örnek Bir Histeresis Grafiği .....                                     | 39 |
| Şekil 3.1.  | SC 800Ref Ø10 Numunesine Ait Histeresis Grafiği ve Zarf Eğrisi .....   | 43 |
| Şekil 3.2.  | SC800 Ref Ø12 Numunesine Ait Histeresis Grafiği ve Zarf Eğrisi .....   | 44 |
| Şekil 3.3.  | SC800 CFRP 150 Numunesine Ait Histeresis Grafiği ve Zarf Eğrisi .....  | 46 |
| Şekil 3.4.  | SC800 CFRP 100 Numunesine Ait Histeresis Grafiği ve Zarf Eğrisi .....  | 47 |
| Şekil 3.5.  | SC800 D Ø10 Numunesine Ait Histeresis Grafiği ve Zarf Eğrisi .....     | 48 |
| Şekil 3.6.  | SC800 D Ø12 Numunesine Ait Histeresis Grafiği ve Zarf Eğrisi .....     | 50 |
| Şekil 3.7.  | SC600 Ref Ø10 Numunesine Ait Histeresis Grafiği ve Zarf Eğrisi .....   | 51 |
| Şekil 3.8.  | SC600 Ref Ø12 Numunesine Ait Histeresis Grafiği ve Zarf Eğrisi .....   | 53 |
| Şekil 3.9.  | SC600 CFRP 150 Numunesine Ait Histeresis Grafiği ve Zarf Eğrisi .....  | 54 |
| Şekil 3.10. | SC600 CFRP 100 Numunesine Ait Histeresis Grafiği ve Zarf Eğrisi .....  | 56 |
| Şekil 3.11. | SC600 D Ø10 Numunesine Ait Histeresis Grafiği ve Zarf Eğrisi .....     | 57 |
| Şekil 3.12. | SC600 D Ø12 Numunesine Ait Histeresis Grafiği ve Zarf Eğrisi .....     | 59 |
| Şekil 3.13. | SC800 Ref Ø10 Numunesinin Deney Sonu Fotoğrafları.....                 | 62 |
| Şekil 3.14. | SC800 Ref Ø12 Numunesinin Deney Sonu Fotoğrafları.....                 | 63 |
| Şekil 3.15. | SC800 CFRP 150 Numunesinin Deney Sonu Fotoğrafları .....               | 64 |
| Şekil 3.16. | SC800 CFRP 100 Numunesinin Deney Sonu Fotoğrafları .....               | 65 |
| Şekil 3.17. | SC800 D Ø10 Numunesinin Deney Sonu Fotoğrafları .....                  | 66 |
| Şekil 3.18. | SC800 D Ø12 Numunesinin Deney Sonu Fotoğrafları .....                  | 67 |
| Şekil 3.19. | SC600 Ref Ø10 Numunesinin Deney Sonu Fotoğrafları.....                 | 68 |
| Şekil 3.20. | SC600 Ref Ø12 Numunesinin Deney Sonu Fotoğrafları.....                 | 69 |
| Şekil 3.21. | SC600 CFRP 150 Numunesinin Deney Sonu Fotoğrafları .....               | 70 |
| Şekil 3.22. | SC600 CFRP 100 Numunesinin Deney Sonu Fotoğrafları .....               | 71 |
| Şekil 3.23. | SC600 D Ø10 Numunesinin Deney Sonu Fotoğrafları .....                  | 72 |
| Şekil 3.24. | SC600 D Ø12 Numunesinin Deney Sonu Fotoğrafları .....                  | 73 |

|             |                                                                                                                 |    |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.25. | Örnek Bir Donatının Akma Anındaki Strain Gage Değişimi Grafiği .....                                            | 74 |
| Şekil 3.26. | Örnek Bir Zarf Eğrisinin İdealize Edilmiş Doğru Halinden Başlangıç<br>ve Sekant Rijitliklerinin Gösterimi ..... | 76 |
| Şekil 3.27. | Başlangıç ve Sekant Rijitliklerinin Grafik Üzerinden Tarifi .....                                               | 77 |
| Şekil 3.28. | SC800 Ref Ø10 Ky – Ks Grafiği .....                                                                             | 77 |
| Şekil 3.29. | SC800 Ref Ø12 Ky – Ks Grafiği .....                                                                             | 78 |
| Şekil 3.30. | SC800 CFRP 150 Ky – Ks Grafiği .....                                                                            | 78 |
| Şekil 3.31. | SC800 CFRP 100 Ky – Ks Grafiği .....                                                                            | 79 |
| Şekil 3.32. | SC800 D Ø10 Ky – Ks Grafiği .....                                                                               | 79 |
| Şekil 3.33. | SC800 D Ø12 Ky – Ks Grafiği .....                                                                               | 80 |
| Şekil 3.34. | SC600 Ref Ø10 Ky – Ks Grafiği .....                                                                             | 80 |
| Şekil 3.35. | SC600 Ref Ø12 Ky – Ks Grafiği .....                                                                             | 81 |
| Şekil 3.36. | SC600 CFRP 150 Ky – Ks Grafiği .....                                                                            | 81 |
| Şekil 3.37. | SC600 CFRP 100 Ky – Ks Grafiği .....                                                                            | 82 |
| Şekil 3.38. | SC600 D Ø10 Ky – Ks Grafiği .....                                                                               | 82 |
| Şekil 3.39. | SC600 D Ø12 Ky – Ks Grafiği .....                                                                               | 83 |
| Şekil 3.40. | SC800 Ref Ø10 Döngü Başına Enerji Tüketme Grafiği.....                                                          | 86 |
| Şekil 3.41. | SC800 Ref Ø12 Döngü Başına Enerji Tüketme Grafiği.....                                                          | 87 |
| Şekil 3.42. | SC800 CFRP 150 Döngü Başına Enerji Tüketme Grafiği .....                                                        | 87 |
| Şekil 3.43. | SC800 CFRP 100 Döngü Başına Enerji Tüketme Grafiği .....                                                        | 88 |
| Şekil 3.44. | SC800 D Ø10 Döngü Başına Enerji Tüketme Grafiği .....                                                           | 88 |
| Şekil 3.45. | SC800 D Ø12 Döngü Başına Enerji Tüketme Grafiği .....                                                           | 89 |
| Şekil 3.46. | SC600 Ref Ø10 Döngü Başına Enerji Tüketme Grafiği.....                                                          | 89 |
| Şekil 3.47. | SC600 Ref Ø12 Döngü Başına Enerji Tüketme Grafiği.....                                                          | 90 |
| Şekil 3.48. | SC600 CFRP 150 Döngü Başına Enerji Tüketme Grafiği .....                                                        | 90 |
| Şekil 3.49. | SC600 CFRP 100 Döngü Başına Enerji Tüketme Grafiği .....                                                        | 91 |
| Şekil 3.50. | SC600 D Ø10 Döngü Başına Enerji Tüketme Grafiği .....                                                           | 91 |
| Şekil 3.51. | SC600 D Ø12 Döngü Başına Enerji Tüketme Grafiği .....                                                           | 92 |
| Şekil 3.52. | Tüm Numunelerin Kümülatif Enerji Tüketme Grafikleri.....                                                        | 92 |

|                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 3.53 A yüzü Verve Donatılarının çalışma mekanizması ..... | 96  |
| Şekil EK-1B.1. SC800 Ref Ø10.....                               | 110 |
| Şekil EK-1B.2. SC800 Ref Ø12.....                               | 111 |
| Şekil EK-1B.3. SC800 CFRP 150 .....                             | 112 |
| Şekil EK-1B.4. SC800 CFRP 100 .....                             | 113 |
| Şekil EK-1B.5. SC800 D Ø10.....                                 | 115 |
| Şekil EK-1B.6. SC800 D Ø12.....                                 | 117 |
| Şekil EK-1B.7. SC600 Ref Ø10.....                               | 118 |
| Şekil EK-1B.8. SC600 Ref Ø12.....                               | 119 |
| Şekil EK-1B.9. SC600 CFRP 150 .....                             | 120 |
| Şekil EK-1B.10. SC600 CFRP 100 .....                            | 121 |
| Şekil EK-1B.11. SC600 D Ø10.....                                | 123 |
| Şekil EK-1B.12. SC600 D Ø12.....                                | 125 |

## GİRİŞ

Yeryüzünde kıta levhalarının hareketlerinin başlangıcından itibaren, söz konusu hareketlerin sonucu sismik sarsıntılar süregelmiş ve bu sismik sarsıntılar sonucu yeryüzünde bulunan cisimler çoğu zaman yıkıcı bir kuvvetle sarsılmıştır. Bu sismik hareketlenmelerin yapı mühendisliğini ilgilendiren kısmı, yapılarımızın da bu sismik hareketlenmelerden etkilenecek eleman veya yapı bazında hasar alması ve bunun sonucunda toptan göçme veya kısmi hasarlara maruz kalmasıdır. Bu hasar ve göçme durumları genellikle yapının tek sebepli bir kusurundan meydana gelmemekle birlikte, tek bir noktada oluşan ve şiddetli deprem yüküne maruz kaldığında yapının ciddi şekilde hasar görmesini veya toptan göçmesini sağlayacak kusurlar olabilir. Bu kusurların yapım ve projelendirme aşamasında öngörülerek düzeltilmesi oldukça önemlidir. Fakat yapım aşamasında ve projelendirme aşamasında öngörülemeyen kusurlar için ise herhangi bir yıkıcı kuvvet almadan yapının rehabilite edilmesi veya güçlendirilmesi de oldukça önemlidir. Yapıların uzun ömürlü ve deprem gibi yıkıcı etkenlerden en az can ve mal kaybı ile ayrılmasını tesis etmek amacıyla, dünya üzerinde hemen her ülkede depreme dayanıklı yapı tasarımı ve bu tasarımların üretiliş aşamasında uymak zorunda olduğu yönetmelikler mevcuttur.

Yapıların yıkıcı olan kusurlarından bir tanesi de kısa kolon oluşması durumudur. Kısa kolonlar istenerek oluşturulan bir durum olmamakla birlikte, bu kusurun olduğu yapının yapım aşamasında görülmeme gibi bir ihtimali de içermektedir. Depreme dayanıklı yapıların tasarım ilkesinde uyulması gereken kurallardan bir tanesi de kısa kolon oluşumuna izin vermeyen bir projenin çıkarılmasıdır. Fakat bu durum teorikte mümkün olsa da pratikte pek mümkün değildir. Yapının tamamının değerlendirildiği durumda, düşey taşıyıcı eleman olan kolonların bir veya birkaçı kısa kolon etkisine maruz kaldığında tüm yapının depremdeki performansını etkileyebilir. Kısa kolon etkisi, kısa kolon durumu meydana gelen kolon miktarı tüm kolonların miktarına

oranının artması ile yapı taşıyıcı sisteminin toptan göçmesine neden olabilecek bir sonuç olarak da ortaya çıkabilir. Kesme etkisi ile oluşan bu güç tükenmesi, eğilmeye göre rölatif olarak gevrek bir güç tükenmesi durumudur [1].

Kısa kolonlar, planda düşey taşıyıcı eleman olarak çalışan kolonların çeşitli nedenlerle katlar arasındaki serbest boylarının olması gereken durumdan daha az olduğu durumlarda ortaya çıkmaktadır. Bu durum kısalan kolon yüksekliğiyle beraber elemanın daha rijit bir hal alması ve akabinde deprem kuvvetlerin mevcut kat elemanlarına kendi rijitlikleri oranında dağıtılmasından dolayı, söz konusu kolonun tasarımında öngörülen kesme kuvvetinden oldukça büyük bir kesme kuvvetine maruz kalmasından ibarettir. Deprem esnasında kısa kolona dağıtılan bu büyük kesit tesiri, elemanın aniden kırılmasına sebebiyet vermektedir.

Bu çalışmada, etkisinde kaldığı kesme kuvveti tasarım kesme kuvvetinden oldukça yüksek olan kısa kolonların gevrek kırılma şekillerini sünekleştirebilmek, enerji yutma kapasitelerini artırabilmek adına farklı donatılandırma ve güçlendirme çalışmalarının yapılması amaçlanmıştır. Kısa kolon elemanlarının performanslarının artırılmasına yönelik çeşitli yaklaşımlar karşılaştırma esaslı olarak araştırılmıştır.

Deneyisel çalışmaların yapımında kullanılan numunelerin hepsinin aynı anda üretilmesi ile numuneleri oluşturan malzemelerin birbirinden farklı özellik gösterip başka karşılaştırma parametrelerinin ortaya çıkması engellenmiştir.

## BÖLÜM 1

### GENEL BİLGİLER

#### 1.1. Kısa Kolon Oluşumu

Kısa kolon olarak tanımlanan yapı elemanları, etkili boyunun sistem içerisinde yer alan diğer kolon elemanlarından daha kısa olması sebebiyle rijitlikleri daha fazla olan kolonlardır. Rijitliğin fazla olması ve deprem kuvvetinin elemanlara yine deprem tarafından rijitliği oranında dağıtılması sebebiyle ciddi hasarlar doğurabilir. Bu hasarlar göçmelere neden olabilecek seviyelere kadar gelebilir. Kısa kolon davranışının kusurlu bir davranış olma durumu bu husustan kaynaklanmaktadır. Öyle ki kolon en kesitlerinin karşılayabileceği kesme kuvveti seviyesinden oldukça büyük kesme kuvvetlerine maruz kalabilmektedir. Bu büyük kesit tesirleri kolonun kesme kırılması olarak tarif edilen ani (gevrek) kırılma davranışına yöneltmektedir.

Kısa kolonların oluşum gösterdiği noktalar, genellikle yapıların bant pencere uygulamasının yapıldığı aynı aks üzerinde bir kolondan diğerine kadar devam eden perdeler veya dolgu duvarlar vasıtasıyla oluşum gösterebilir.(Şekil 1.1) Ayrıca köprü, viyadük benzeri yapıların yapılacağı arazi kotlarının sabit olmadığı durumlarda da kısa kolon yapısal kusurları oluşabilmektedir (Şekil 1.2 ).



Şekil 1.1. Deprem etkisiyle hasar gören kısa kolon elemanları [2]



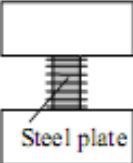
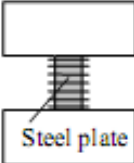
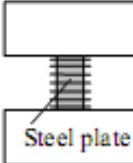
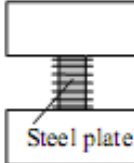
Şekil 1.2. Zemin kotunun farklılığından dolayı kısa kolon kusuru olan viyadük ayağı[3]

## 1.2. Literatür Taraması

Bu çalışmada kısa kolon oluşumu dikdörtgen veya kare en kesitli betonarme elemanların yerine L kesitli kısa kolon kusuru olan numuneler üzerinde yapılmıştır. Numuneler donatı ve çelik elemanlar vasıtasıyla güçlendirilerek deneye tabi tutulmuş ve deney sonuçlarında numunelerin mekanik özellikleri irdelenmiştir. İrdelenen deney sonuçlarında süneklik ve kesme kapasitesi bakımından problemlili olan bu özel kesitli numunelerin daha ziyade deprem yoğunluğu düşük bölgelerde kullanılması gerektiği görüş olarak bildirilmiştir. Deneyi yapılmış olan numune sayısı; 2 adedi referans olarak düzenlenmiş ve 14 adedi ise güçlendirilmiş olmak üzere toplam 16 adettir. Çalışmada incelenen farklı parametreler; değişken eksenel yük indisi, numunenin yüklendiği kesme yüksekliği (kesme açıklığı oranı), donatı oranı ve güçlendirilmiş numuneler için güçlendirme donatı oranıdır. Araştırma sonucundaki bulgular, eksenel yükün artması ile numune kesme kapasitesinin arttığı ve güçlendirme donatı sıklığının artmasıyla sünekliliğin ve kesme dayanımının önemli derecede arttığı belirtilmektedir. Ayrıca kesme açıklığının artmasıyla da kesme dayanımının da azaldığı sonuç olarak görülmektedir. [4]

Deprem sonrasında zarar görmüş betonarme yapılarda aramit sargı ile güçlendirmenin ardından yapının yeni oluşacak depremlerdeki performansının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Deneyde kullanılan numune boyutları 205x250x500mm olarak belirlenmiş olup eksenel yük indisi sabit ve 0.2 olarak belirlenmiştir. Deprem yükü numunelere yatay yönde döngüler halinde uygulanmıştır. Numunelerde kesme oranı 1 olarak belirlenmiş ve kesme kırılmasının olabilmesi için numunenin kesme donatı oranı yetersiz ve %0.08 olarak belirlenmiştir.

Deneysel aşamada üretilen numune detayları Şekil 1.3’de verilmektedir.

|                          | ER03S-Aw65SN                                                                                    | ER03S-Aw65S                                                                       | ER02S-Aw65S2                                                                        | ER02S-Aw65S3                                                                        |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Specimen<br>M/(VD)=1.0   |                |  |  |  |
| Max. crack width         | 0.95mm (small)                                                                                  | 1.0mm (small)                                                                     | 7.0mm (medium)                                                                      | 5.0mm (medium)                                                                      |
| Pre-tension strain level | 0μ                                                                                              | 3500μ (413MPa)                                                                    | 7000μ (826MPa)                                                                      |                                                                                     |
| Axial force ratio        | 0.2                                                                                             |                                                                                   |                                                                                     | 0.2 → 0.4                                                                           |
| σa                       | 28.5 MPa                                                                                        |                                                                                   | 23.9 MPa                                                                            |                                                                                     |
| Aramid fiber belt        | 2ply-double-@65                                                                                 |                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     |
| Common details           | Longitudinal reinforcement: 12-D10 (pg=1.36%)<br>Transverse reinforcement: 3.7φ-@105 (pw=0.08%) |                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     |

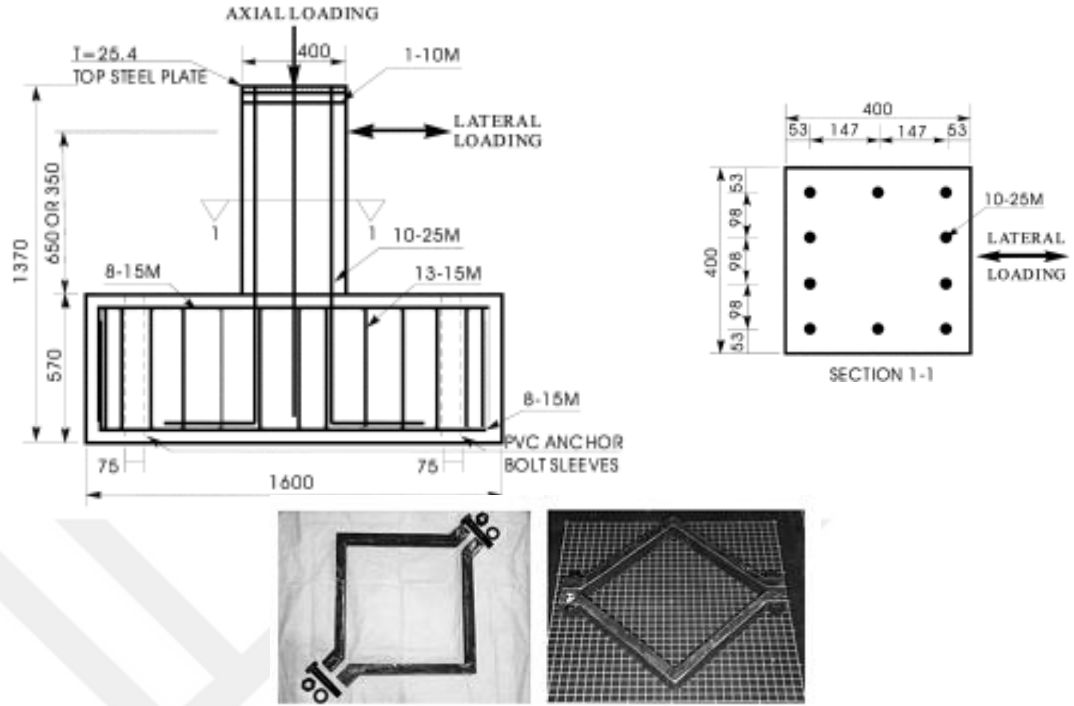
Note:  $\sigma_B$ =concrete cylinder strength

Şekil 1.3. Deneysel Çalışma Konfigürasyonu

Sonuç olarak belirlenen durumlar; aramid sargı uygulamasının eksenel yük kapasitesi aşılmadan hasar görmüş olan kolonların deprem performansının geri kazandırılabilceği, aramid sargıların öngerme ile uygulanmasının ardından kesme durumunda oluşmuş olan çatlakların kapanmasından dolayı kesme dayanımının artması ve hasar görmüş kolonun eksenel yük kapasitesinin %60-%100 arasında yeniden kazandırılabilceği bulunmuştur. [5]

Çalışmada kullanılmak üzere üretilen numuneler tam ölçekte olup 2 adedi referans ve 8 adet de çelik kuşaklama ile güçlendirilmiş numunelerdir. Toplam numune sayısı 10 olmakla beraber, referans kolonlarından biri deneyi yapıldıktan sonra çelik kuşaklama ile güçlendirilerek zarar görmüş elemanın güçlendirildikten sonraki davranışının görülmesi için yeniden deneye tabi tutulmuştur. Numunelerin kolon boyutları 400x400mm ve kolon yüksekliği ise 800mm olarak tasarlanmıştır. Numune malzeme özelliklerinden beton dayanımı 30 Mpa ve 1 numunede Ø20 ve diğerlerinde ise Ø25 boyuna donatı ile üretim yapılmıştır. Çelik kuşak etkisinin net bir şekilde görülebilmesi için iki numune üzerinde hiç etriye kullanılmamıştır. Öteki numunelerde ise etriye çapı Ø10 olarak belirlenmiştir. Yatay yükün uygulandığı kesme oranı 2.5 değerinin altında olması planlanmıştır. Bu oranlar 1.63-0.88 arasında değişmektedir.

Deneysel çalışmada kullanılan numunelerin detayı ve çelik kuşaklamalar Şekil 1.4.'te gösterilmektedir.

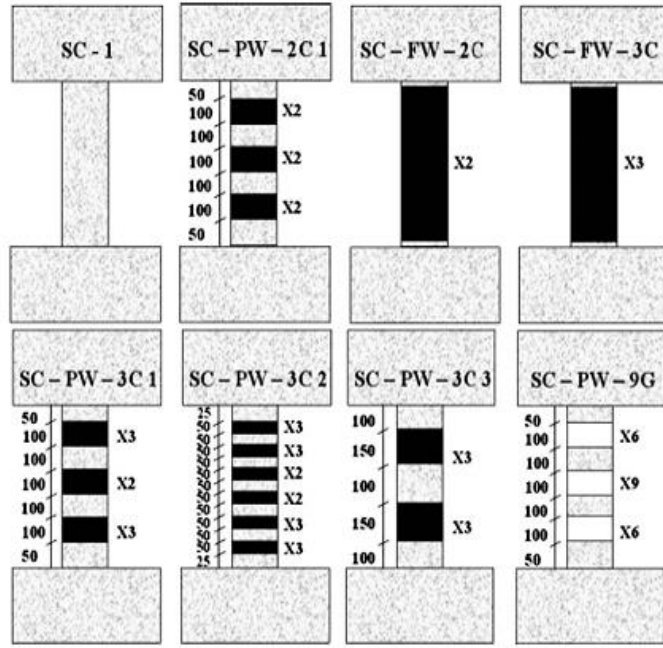


Şekil 1.4. Test edilen numunelerin detayı ve çelik kuşaklamalar

Sonuç olarak çelik kuşaklamalar vasıtasıyla yapılan bu iyileştirme yönteminin kısa kolon kusuru taşıyan kolonlardaki etkinliği; yatay yer değiştirme sünekliğine %45 artış, enerji tüketme kapasitesinde %64 lere varan bir artış ve yatay yük taşıma kapasitesinde ise %28 gibi bir artış ile kanıtlanmıştır. [6]

Çalışmanın amacı kısa kolonlar üzerinde CFRP ve GFRP sargı uygulamalarıyla deprem performanslarının iyileştirilmesi şeklindedir. Deneysel çalışma için 8 adet betonarme numune üretilmiş olup boyuna donatı oranları Eurocode8 e göre en üst limitin de üzerinde olacak şekilde 8Ø16 olarak tasarlanmıştır. Ayrıca etriye uygulaması Ø6/200 olarak yetersiz bırakılarak kesme kırılması oluşumunun istenmiştir. Üretilen numunelerin boyutları 2/3 ölçekli olup 200x200mm şeklinde teşkil edilmiştir.

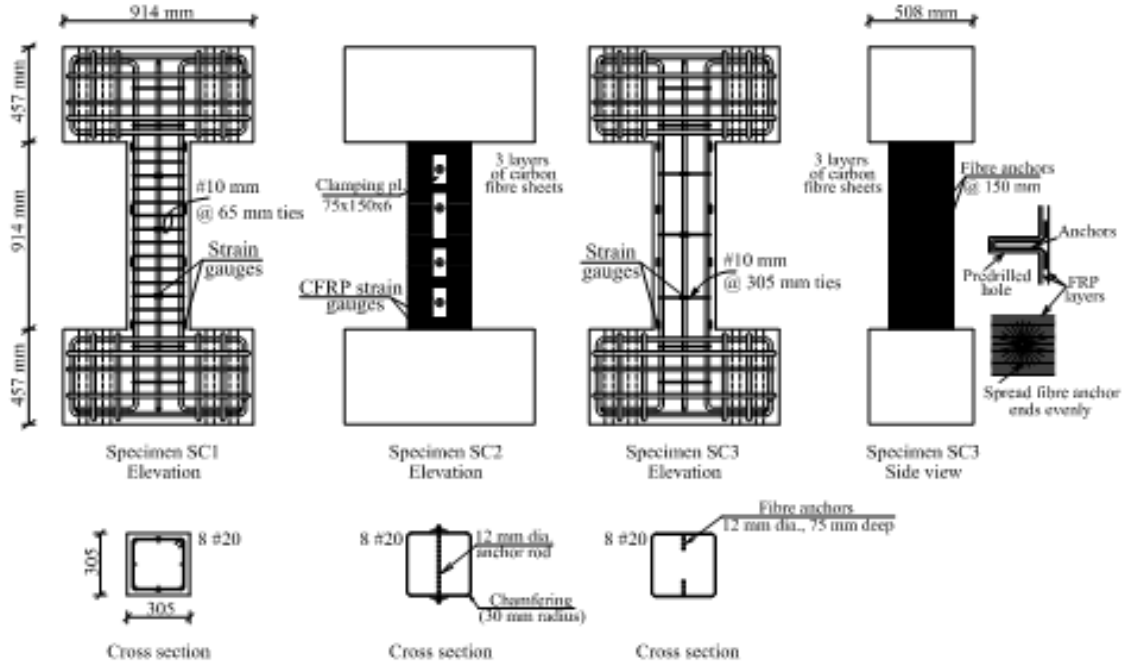
Numune ve uygulanan güçlendirmeler Şekil 1.5.'te verilmektedir



Şekil 1.5. Uygulanan Takviye Yöntemlerinin Detayı

Sonuç olarak numunelerin performansları arasındaki fark; tamamı FRP uygulaması ile sarılmış olan numunede rijit bir davranış, aralıklı sargılanmış olan numunelerde FRP'ler arası boşluklarda çatlak gelişimi gözlemlendiği, sık aralıklı ve 3 kat FRP sargı uygulanmış olan numunelerde ise enerji yutma kapasitesinin dolayısıyla sünekliğin diğer numunelere göre fazla olduğu şeklindedir [7].

Bu çalışmada farklı ülke standartlarında (CSA- ACI) üretilmiş 305x305x914mm kare boyutunda 3 adet betonarme numune üretilmiştir. Numune donatı detayları 8Ø20 boyuna, 1-2 numunelerinde etriye Ø10/65mm 3 numunesinde ise Ø10/305mm şeklindedir. Bu kısa kolonların deprem performansının iyileştirilmesi amacıyla CFRP sargılama tekniği ile davranışın değişimi gözlenmiştir. Numunelerin üretim ve güçlendirme detayları Şekil 1.6'da gösterildiği gibidir.

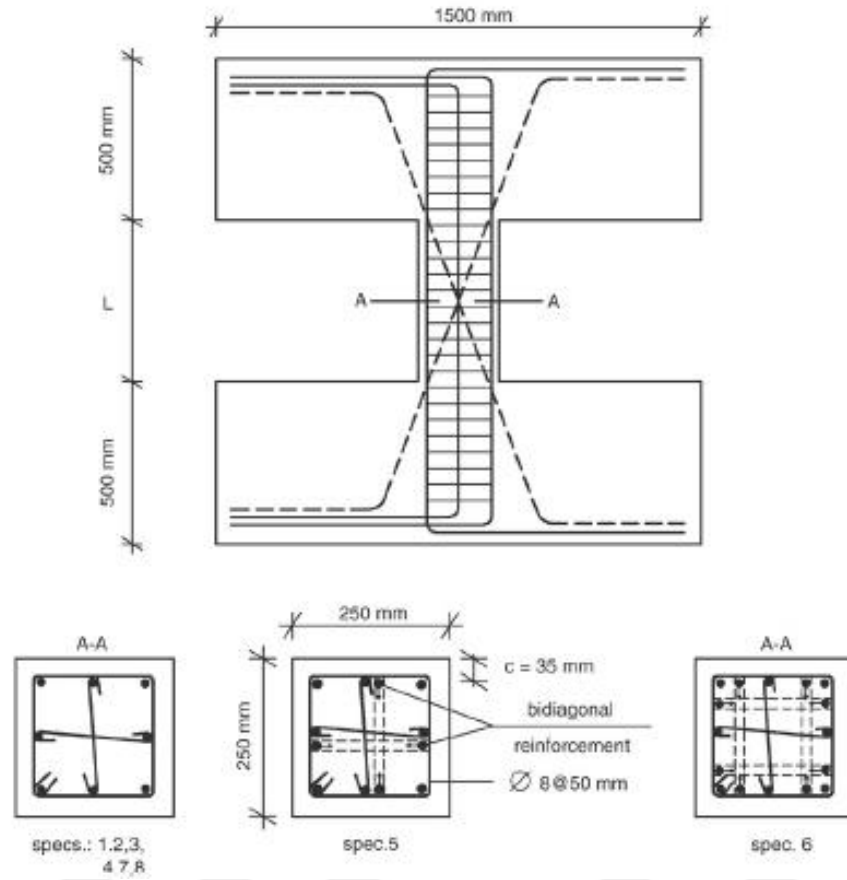


Şekil 1.6. Numunelerin Donatı Detayları ve Uygulanan Sargı Takviyesi

Sonuç olarak ilk numune gevrek kesme kırılması gösterirken 3. Numunede süneklik ve beraberinde enerji yutma kapasitesinde ciddi bir artış görülmektedir. 2. Numunede ise etriye sıklığı ve FRP sargının etkisiyle süneklik ve enerji yutma kapasitesi bakımından en yüksek performans gözlenmiştir[8].

Çalışma kapsamında 8 adet betonarme kolon üzerinde değişiklik gösteren 5 parametrenin yatay döngüsel deprem yükleri altında incelenmesinden oluşmaktadır. Bu değişkenler; 1-2-3 olan kesme oranları, 0.02-0.04 olan boyuna donatı oranları, 0.012-0.019 olan etriye oranları, 0.3-0.6 olan eksenel yük oranları ve şekilde gösterildiği gibi geleneksel iki diyagonal destek donatıları olmak üzere 5 adettir.

Numunelerin donatı detayları ve uygulama şeması Şekil 1.7.'da gösterilmektedir.



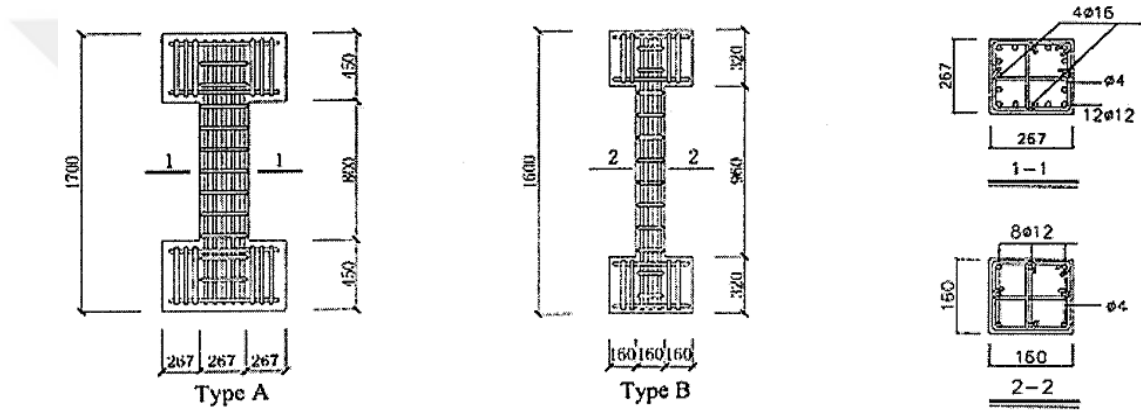
Şekil 1.7. Numunelerin Donatı Detayları ve İki Diyagonal Destek

Çalışmanın sonuç kısmında; kesme oranının 2 den küçük olduğu durumlarda maksimum kesme kuvvetine ulaşıldığında boyuna donatının akmadığı yani gevrek kırılmanın görüldüğü ifade edilmiştir. Bu durum kesme oranının 2 den büyük olduğu durumlarda ise kolon davranışının daha sünek bir hal aldığı belirtilmiştir. Eksenel yük oranının değişim parametresinde ise bu oranın büyük olduğu durumda küçük olduğu duruma göre çatlama dayanımında %25 lik bir artışın gözlemlendiği ve numunenin maks. kesme dayanımında da bir artışın görüldüğü belirtilmiştir [9].

Yapılan çalışmada kısa kolon davranışının miktar olarak farklı teşkil edilmiş enine ve boyuna donatılar ile değişimi gözlemlenmeye çalışılmıştır. Çalışmanın sonucunda yapılan yorumlar; histeretik davranış içerisinde numune pik yüküne gelmeden önceki eksenel yük numunenin rijitliği ve yatay yük taşıma kapasitesinin artmasına yol açarken numune aktıktan sonraki histeresis eğrisinin düşmeye başladığı kısımda ise numunenin dayanımını ve aynı zamanda rijitliğini azaltmaya yönelik güçlü bir parametre olduğu

anlaşılmıştır. Ayrıca etriyelerin ilk kesme çatlaklarının oluşmasını engellemeye çalıştığı, çatlaklar oluştuğundan sonra bu engellenmenin agregalar arasındaki kenetlenmeye bağlı olduğu ve bu agrega kenetlenmesinin tükenmesinden sonra ise yalnızca etriyelerin bu kesme kuvvetine karşı koyduğu belirtilmiştir [10].

Çalışma kapsamında 1/3 ölçeğinde 9 betonarme kısa kolon numunesi üzerinde 0.001-0.003 etriye oranına, yüksek eksenel yük indeksine, 1.5-3 kesme açıklık oranına ve 90-135 derecelik etriye gönyeleri parametreleri karşılaştırması yapılmıştır. Üretilen numunelerin detayları Şekil 1.8.'de verilmektedir.



Şekil 1.8. Numunelerin Donatı ve En Kesit Detayları

Deney sonuçları şunları göstermektedir. kesme donatısı oranındaki artış 0.001'den 0.003'e çıkarıldığında maksimum ötelenme miktarını doğrudan etkilemektedir. bu ötelenmedeki artış %100'e varan seviyelere gelebilmektedir. Etriyelerdeki gönyelenme açısındaki değişim de maksimum ötelenme kapasitesini etkilemektedir. Bu durum 90 derece kancalanmış etriyeli numunelerde maksimum ötelenmenin %40'a varan oranlarda daha az olduğu çalışmada gösterilmiştir [11].

Çalışmanın kapsamında betonarme kısa kolonların gevrek kesme kırılmasının engellenebilmesi veya performans iyileştirmesinin yapılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda betonarme kısa kolonların dışına dairesel ve karesel çelik kılıfların yerleştirilmiştir. çalışmada kullanılan betonarme numune adedi 3 karesel, 3 dairesel ve 2 adet ortak kullanımlı biri kare diğeri dairesel toplam 8 adet numuneden oluşmaktadır. Şekil 1.9.'de üretilen numunelerin güçlendirmeleriyle birlikte detayları verilmektedir.

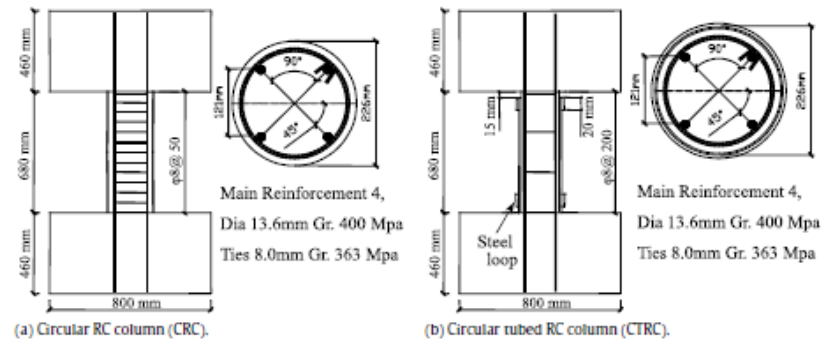
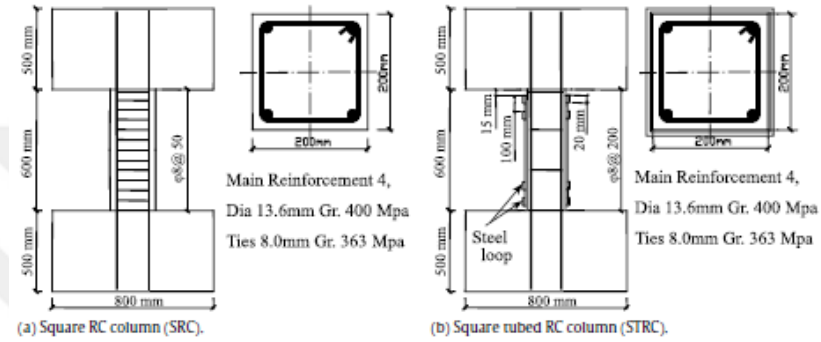


Fig. 1. Details of circular columns.



Şekil 1.9. Dairesel ve Karesel Kısa Kolon Detayları

Çalışmanın bulguları şu şekildedir; silindir kılıflı kolonların yatay yük taşıma kapasiteleri kare kılıflı numunelere göre daha azdır. Fakat plastik deformasyon bakımından silindir kılıflı kolonlar kare kılıflı kolonlara göre daha fazla deformasyon yapabilmektedir. Silindir kılıflı numunelerdeki çekirdek betonu kesme kırılmasını kare kılıflı numunelere göre daha etkili bir biçimde engellemektedir. Maksimum yükten sonraki yatay yük dayanımındaki düşüş kılıfların maksimum yatay yük mertebelerinde akma göstermemelerinden dolayı ani olarak azalmadığı gözlemlenmiştir. Bu ifade bizleri süneklik ve enerji yutma kapasitesinin artışı anlamına [12].

Çalışmada yine 2 ayrı yönetmeliğe göre üretilmiş olan yüksek ve düşük etriye oranlarına sahip 2/3 ölçeğinde 7 adet betonarme kısa kolon numunesi üretilmiş olup eksenel ve yatay çevrimsel yükleme ile testleri yapılmıştır. Numuneler CSA ve ACI yönetmeliklerine göre iki grup halinde üretilmiştir. 1. grupta Ø10/65mm etriye ve 2. grupta ise Ø10/305mm aralıktaki etriyeler teşkil edilmiştir. tüm gruptaki boyuna donatı oranı sabit olup 0.0026'dır. kısa kolon numunelerinin güçlendirilmesinde CFRP ve GFRP kullanılmış olup hazırlanan kısa kolon numunelerinin boyut, donatı detayı ve FRP sargıları Şekil 1.10.'da gösterilmektedir.

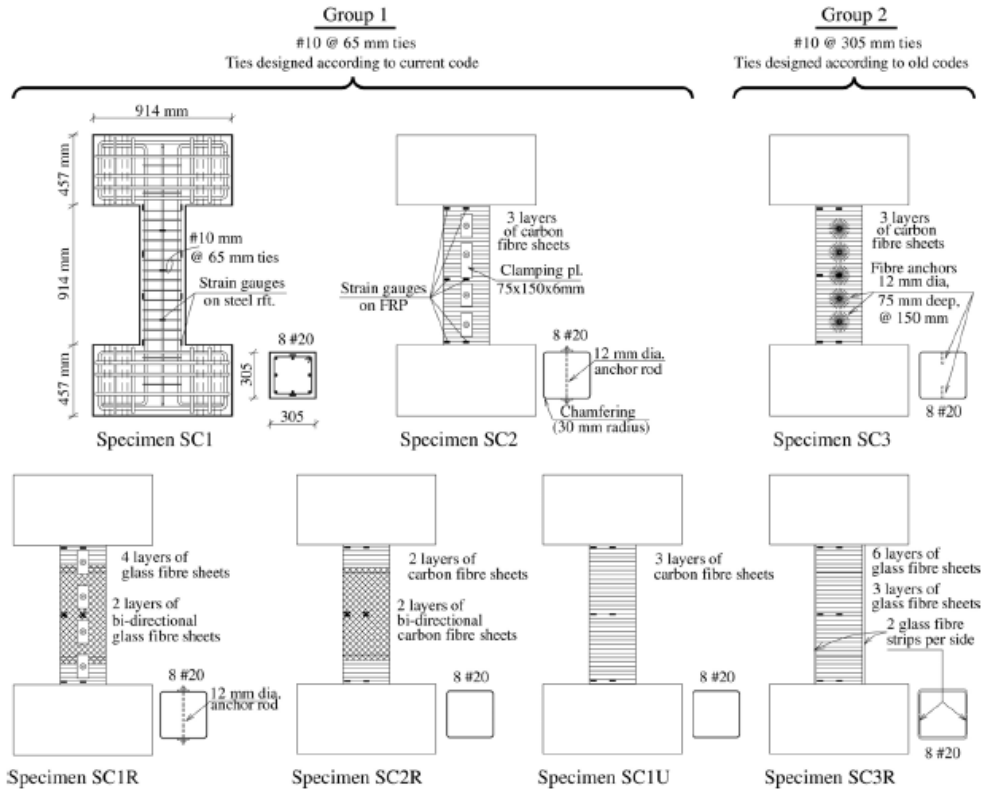


Fig. 1. Dimensions, details of reinforcement and FRP strengthening for the seven specimens.

Şekil 1.10. Kısa Kolonların En Kesit, Donatı Detayları ve FRP Sargı Takviyesi

Sonuç olarak; CFRP sargı uygulanan numunelerdeki kesme dayanımı ve enerji tüketim oranı, GFRP sargı uygulaması yapılan kolon numunelerine göre daha yüksek mertebelerdedir. FRP sargı uygulamasında uygulanan şerit sayısındaki miktarın artmasıyla şeritlerdeki ve etriyelerdeki şekil değiştirme miktarları azalmıştır. Önemli bir bulgu olarak çalışma kapsamındaki en uygun güçlendirme yöntemi CFRP sargılarının tüm eleman boyunca uygulanmasıyla olabileceği belirtilmiştir [13].

Çalışma kapsamında, en kesit boyutları 350x350x900mm olan 8 adet betonarme kısa kolon temsil numuneleri kullanılmıştır. Üretimi yapılan bu kısa kolonlar kusurlu elemanlar olarak tanımlanmıştır. Deneysel aşamada kullanılan numunelerden 2 tanesi onarım görerek denenmiştir. Bu onarım yöntemlerinden bir tanesi betonarme mantolama tekniğinin kullanıldığı, diğerinin ise boyuna donatılardan burkulmaların burkulma boyunca yeni donatı eklenerek çevresine çelik plaka sarılması vasıtasıyla yapılmıştır. Deney esnasında uygulanan aksenal yük seviyesi sabit tutularak deneme

gerçekleştirilmiştir. Deney sırasında kullanılan eksenel yük indisi 0.3'dür. öteki numunelerde ise çelik plaka ve CFRP sargı yöntemiyle güçlendirmeler yapılmıştır.

Sonuç olarak, uygulanan onarım yöntemleri hasar görmüş kolonun kesme dayanımını hasar öncesindeki durumu seviyesine kadar getirmiştir. Çelik plak, karbon fiber sargı ve CFRP plaka ile güçlendirilen numunelerde süneklik önemli oranda artış sağlamıştır [14].

Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik 2007 yılında yürürlüğe giren bir Türk yönetmeliğidir. Yönetmeliğin kapsamında deprem bölgelerinde yapılacak yapıların tasarımı, donatılma detayları yer almaktadır. Yönetmelikte düzensizliklerin işlendiği kısımda kısa kolon oluşumunun engellenmesi gerektiği belirtilmektedir. Bu kusurun engellenemediği durumlarda kolon alt üst momentlerinin 1.4 kat artırılıp bu yeni kesit tesirlerine göre donatı tasarımı yapılması istenmektedir.

Bu yaklaşımla birlikte kolonlarda yer alan sarılma bölgesindeki etriye sıklaştırması kolon yüksekliği boyunca uygulanmasının gerekliliğinden söz eder. Çalışmanın etkilerinin görülmesi adına referans alınan yaklaşım TDY 2007'nin kısa kolonlara yaklaşımıdır. Bundan dolayı her kesme oranı için farklı çaplarda olmakla birlikte 4 adet referans kolon da çalışma kapsamında incelenmelidir [15].

2014 yılında yapılan doktora çalışmasında kısa kolonların kesmeye karşı kötü olan performanslarını arttırabilmek adına birtakım deneysel ve analitik çalışmalar yapılmıştır.

Araştırmacı, kesit içerisindeki kesme kuvvetiyle birlikte oluşan gerilmelerin yönlerinin yatay deprem yükü doğrultusunda olmadığını çeşitli açılarla gelebildiğini belirtmiş ve bu açılı gerilmelerin tek yönlü tesis edilen etriye elemanları tarafından efektif bir şekilde taşınmadığını ifade etmiştir. Etriye elemanlarının yanı sıra verev donatı diye tabir edilen, kesit içerisinde etriyelerin aralarına X şeklinde teşkil edilen donatılar mevcuttur. Çalışmada 8 adet 300x300 en kesitlerinde kısa kolon numunesi kullanılmıştır. Numunelerin 4 tanesi 800mm yüksekliğinde 4 tanesi de 1000mm boyunda olmak üzere 2 setten meydana gelmektedir. Her sette TDY2007 de uygun görülen kısa kolon donatılandırma modeli yani etriye sıklaştırmalı model referans olarak denenmiştir.

Deney aşamasında yük kontrollü bir prosedür izlenmiş olup deney boyunca eksenel yük sabit ve eksenel yük indeksi 0.17'dir. Çalışmanın sonuçlar kısmında SC1000 kısa kolonları, SC800 kısa kolonlarına göre uzunluk dolayısıyla narinliklerinin fazla olmasından dolayı daha çok eğilme davranışı sergilediği gösterilmiştir. Her set verev donatılı numunede etriye aralıkları değişip verev donatıların açıları daralıp genişlemektedir. Bu dereceler etriye aralıkları 150mm için 26.5°, 200mm için 33.7 ° ve 300mm için ise 45 ° dir. Asal gerilmeler düşünüldüğünde 300mm etriyeler arasına koyulan 45°lik verev donatıların daha uygun olacağı düşünülse de yatay yük taşıma kapasitesi olarak en büyük değerleri gören numuneler 33.7 ° lik verev donatılara sahip olan numuneler olduğu görülmüştür. Süneklik açısından değerlendirilen numuneler için ise 26.5 ° verev donatılara sahip numuneler her sette karşılaştırıldıkları numunelerden üstün pozisyonadılar. Kısa kolon kusuru olan gevrek kırılma halinin engellenebilmesi adına, yatay yük taşıma kabiliyeti ve süneklik gibi parametrelerin artırılabilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı verev donatı uygulaması bu belirli bir optimum açı ile teşkil edilir ise kısa kolonlar için kabus olan kesme kırılmasını geciktirebilmekte hatta kapasitenin artırılmasıyla tamamen bertaraf edebilmektedir [16].

## **BÖLÜM 2**

### **GEREÇ VE YÖNTEM**

#### **2.1 Deneysel Çalışma**

##### **2.1.1 Deprem Laboratuvarı ve İmkânları**

Deneysel çalışma aşaması Erciyes Üniversitesinin 2014 yılında açılışı yapılan, merkez kampüs içerisinde bulunan Deprem Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Deprem Araştırma Laboratuvarı içerisinde deney numunelerinin sabitlenmesi için alt kısmında 1.8m yüksekliğinde galeri boşluğu olan ve sabitleme delikleri merkezden merkeze 50cm olan, 60 cm kalınlığında bir rijit yükleme döşemesine sahiptir. Üretilcek deney numuneleri döşemede bulunan sabitleme deliklerine göre tij boşluklarına sahip olmalıdır. Yükleme alanının orta noktasında L şeklinde üretimi yapılmış, üzerinde yatay yükün uygulanacağı krikoların sabitlendiği merkezden merkeze 50cm aralıklarla boşluklar bırakılmış olan rijit bir yükleme duvarı mevcuttur. Bu yükleme duvarı 50cm kalınlığında ve 7m yüksekliğinde inşaa edilmiştir. Yükleme duvarı ve rijit sabitleme döşemesi aşağıda Şekil 2.1 de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Deprem Araştırma Laboratuvarı Yükleme Duvarı ve Rijit Döşemesi

Deprem Araştırma Laboratuvarında deney numunelerinin ve düzeneklerinin laboratuvar içerisinde rahatlıkla taşınabilmesine imkân veren 3 adet 15ton kapasiteli gezer vinç bulunmaktadır. Ayrıca deney düzeneklerinin oluşturulması ve revizyonu için kullanılmak üzere torna, freze, demir kesme testeresi, gaz altı ve elektrot kaynak makineleri gibi teknik cihazlar bulunmaktadır.

Ayrıca üretilen deney numunelerinin malzeme kalite kontrolünü yapmak üzere beton presi ve donatı çekme presi de mevcuttur. Deneylerin yapılıp ölçümlerinin alınıp kaydedilmesi işlemlerini yapan aygıt ve teçhizatlar ise aşağıda belirtildiği gibidir;

- Hidrolik Krikolar (200t-20t arasında çeşitli kapasitelerde)
- Hidrolik El Pompaları
- Hidrolik Elektrikli Pompalar
- Yük Hücreleri (100t-20t arasında çeşitli kapasitelerde)
- Lineer Valuable Displacement Transducer (LVDT)
- Potansiyometreler
- İpli Potensiyometreler
- Data Aktarım Kabloları
- Data Loggerlar
- Data Logger Yazılımı
- Bilgisayarlar

Deneysel çalışmalarda kullanılan ekipmanlara ilişkin görseller Şekil 2.2’de verilmektedir.

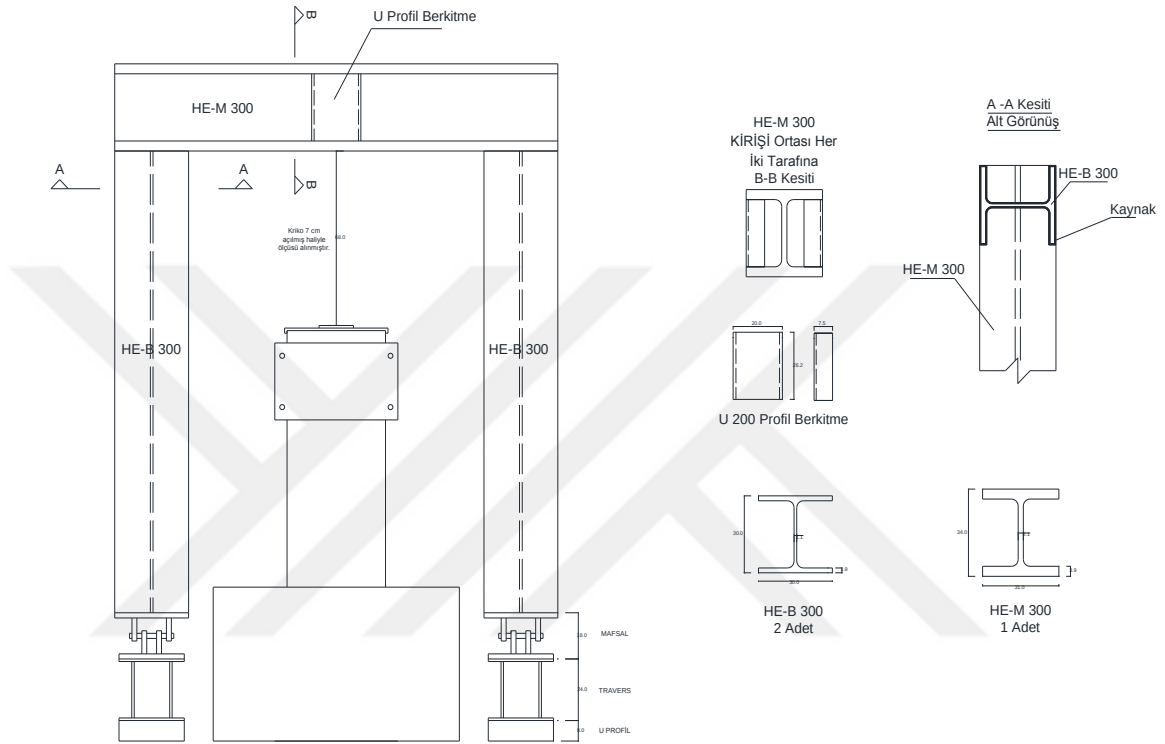


Şekil 2.2. Çeşitli Deney ekipmanları

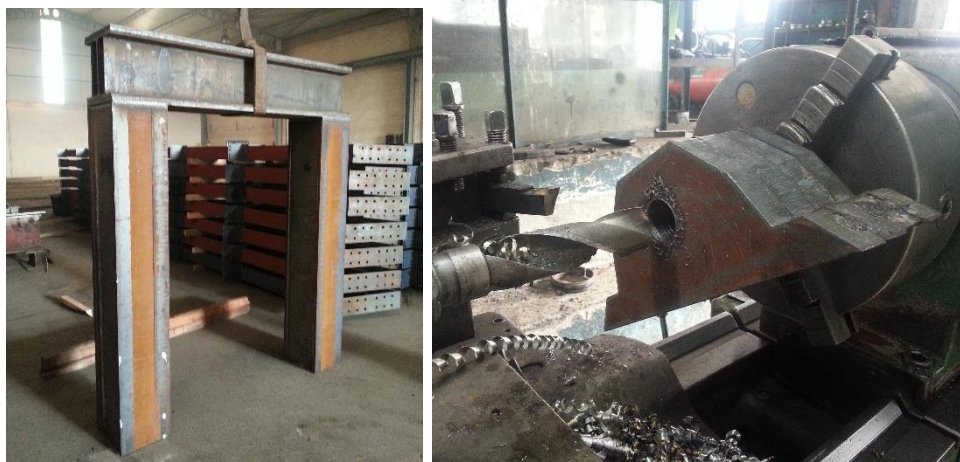
### 2.1.2. Deney Düzenəğinin Oluşturulması

Kısa kolon numunelerinin deneysel çalışma kısmında yapımı kendi ağırlığı ve üzerindeki hareketli ve sabit yükleri temsil etmek üzere eksenel yükleme verilmiştir. Bu eksenel yük kolonun enkesit boyutları ve beton sınıfı düşünülerek hesaplanmıştır. Ardından bu yükün verileceği çelik bir düzenek oluşturulmak üzere hesaplamalar yapılmıştır. Tasarımı yapılan eksenel yükleme çerçevesi 150ton kapasiteli olup 2 adet HE-B 300 profilinde kolona ve 1 adet HE-M 300 profilinde yükleme kirişine sahiptir. Kolonların alt ucunda bu yüklemeyi taşıyabilecek mafsallara sahiptir. Yükleme çerçevesinin yere sabitlenmesi, laboratuvarında mevcut olan traversler rijit döşemeye 6 adet Ø36 mil ile bağlanarak gerçekleştirilmiştir.

Eksenel yükleme 100tonluk krikonun çerçeve kirişinin ortasına sabitlenerek numunenin üzerine verilmesinden ibarettir. Numune ile kriko arasında bir mafsal olması büyük deplasmanlarda sistemin zorlanmaması için şarttır. Tasarım ve üretim aşamasındaki eksenel yükleme çerçevesi aşağıdaki Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'deki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 2.3. Eksenel Yükleme Düzeneği Tasarım Çizimleri



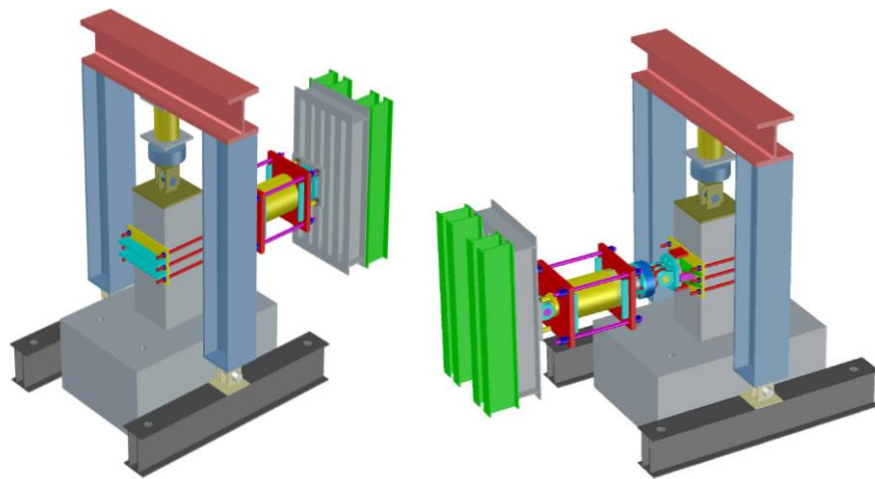
Şekil 2.4. Eksenel Yükleme Düzeneği Üretim Aşaması

Deneysel aşamada eksenel yük ile beraber, deprem esnasında kata gelen kesme kuvvetini temsil edecek olan yatay yükleme de yapılacağından bu yükleme için de bir

tertibat oluşturulmuştur. Bu tertibatı oluşturan parçalar duvardan numuneye doğru sıralanırsa;

1. Yükleme Duvarı
2. Kriko Sabitleme Panosu ve levhası
3. Çelik Mafsal
4. Kriko arka sabitleme levhası
5. Kriko
6. Kriko ön sabitleme levhası
7. Piston
8. Loadcell – Piston birleştirme Flanşı
9. Loadcell
10. Çelik Mafsal
11. Numune Yatay yükleme levhası (ön)
12. Numune
13. Numune Yatay yükleme levhası (arka)

Şeklindedir. Aşağıda yatay yükleme ve eksenel yüklemenin bir arada bulunduğu 3D tasarım Şekil 2.5’de verilmiştir.



**Şekil 2.5.** Düşey ve Eksenel Yükleme Düzenekleri 3D tasarım çizimleri

### 2.1.3. Deney Numunelerinin Üretilmesi

Bu deneysel çalışma kapsamında üretilen kısa kolonlar, tam ölçekli, kolon en kesit boyutları 400x400mm ve yüksekliği 1000mm'dir. Numunenin yere sabitlenmesi adına yapılan temel boyutları ise 1500x1000x600mm şeklinde bir dikdörtgen prizmadır. Çalışma kapsamında 2 farklı kesme oranı, 3 farklı güçlendirme modeli ve her modelin içerisinde 2 farklı donatılandırma tipi belirlenerek 12 adet deney numunesi üretilmiştir.

Numunelerin isimlendirilmesinde İngilizce kısa kolon anlamına gelen Short Column'un kısaltması SC kullanılmıştır.

Betonarme kısa kolon numuneleri iki farklı kesme oranı ile deney yapılarak performanslarına bakılmıştır. Bu kesme oranları 800 ve 600 ile tabir edilen kısa kolon numunesinin temel üst kotundan üste doğru hangi mm mertebesinde yatay yüklemenin yapılacağını belirtmektedir. 800 mm den yükleme yapılan numuneler için kesme oranı 2 ve 600 mm den yükleme yapılacak olan numuneler için kesme oranı 1.5'dir. Bu parametre de numune isimlendirilmesinde yer almaktadır.

Bu yüksek lisans çalışması, TÜBİTAK 115M264 kodlu proje içerisinde yürütüldüğünden üretilen betonarme kısa kolon numuneleri projenin 36 test numunesi içerisinde de yer almaktadır.

Numuneler 3 set halindedir. İlk set numuneler kısa kolon yapısal kusurunun engellenmesi veya minimum hasar ile depremi atlatmasını sağlayacak olan, TDY 2007 de öngörülen düzenlemedir. Bu düzenleme kısa kolon oluşumu önlenemediği durumlarda kolon elemanının sıkılaştırma bölgesindeki etriye aralığının tüm kolon boyunca devam ettirilmesi yönündedir [15]. Bu numunelerde aralık aynı kalmak koşuluyla iki farklı etriye çapı ile üretim yapılmıştır. Etriye aralıkları 100mm ve 2xØ10 – 2xØ12 çaplarında etriyelerle toplam 4 adet numune teşkil edilmiştir.

(SC800Ref150)- (SC800Ref100)- (SC600Ref150)- (SC600Ref100)

İkinci set üretim numuneleri, etriyeler arasındaki boşluğa asal gerilmeleri almak üzere uygulanan verev donatı uygulaması [16] uygulamasıdır. Bu uygulamada da etriye aralıkları 150mm'dir. Kullanılan verev donatılar ve etriyelerin çapları yine Ø10 ve Ø12 olmak üzere toplam numune adedi bu set için de 4'tür. Vervev donatıların etriyeler ile yaptıkları açılar 23° dir. Birleşimi punto kaynağı ile yapılmıştır.

(SC800DØ10)- (SC800DØ12)- (SC600DØ10)- (SC600DØ12)

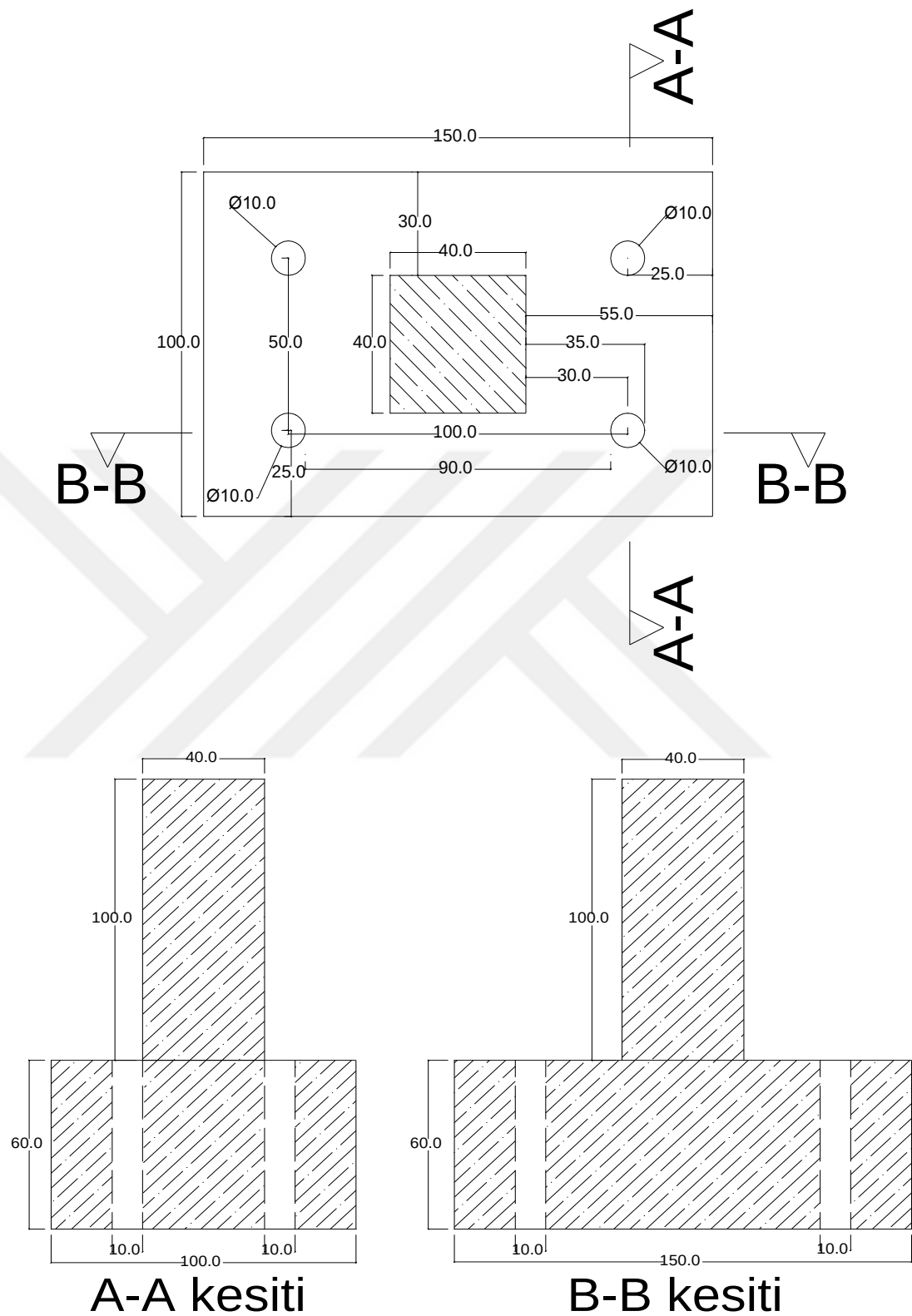
Üçüncü set numunelerinde ise iç donatılandırma detayı 150mm aralıklı Ø10mm etriyelerden oluşturulmuş ancak güçlendirme yöntemi olarak bu sette CFRP sargıları kullanılmıştır. Kullanılan CFRP sargı kumaşları aralıklı şeritler halinde uygulanmış ve her şeridin kalınlığı 50mm olacak şekilde kumaşlar kesilmiştir.

CFRP sargı uygulaması, sargı şeritleri 50mm kalınlığında hazırlandıktan sonra şeritler numune üzerine 150mm ve 100mm olmak üzere 2 farklı ölçüde uygulanmıştır. 2 Bileşenli epoksi macunu ile numune üzerine bindirme boyları 100mm olacak şekilde yerleştirilmiştir. İlk CFRP sargı temel ile kolon birleşim bölgesinden başlatılarak diğer sargılar da numuneye has aralıklara uyularak uygulanmıştır.

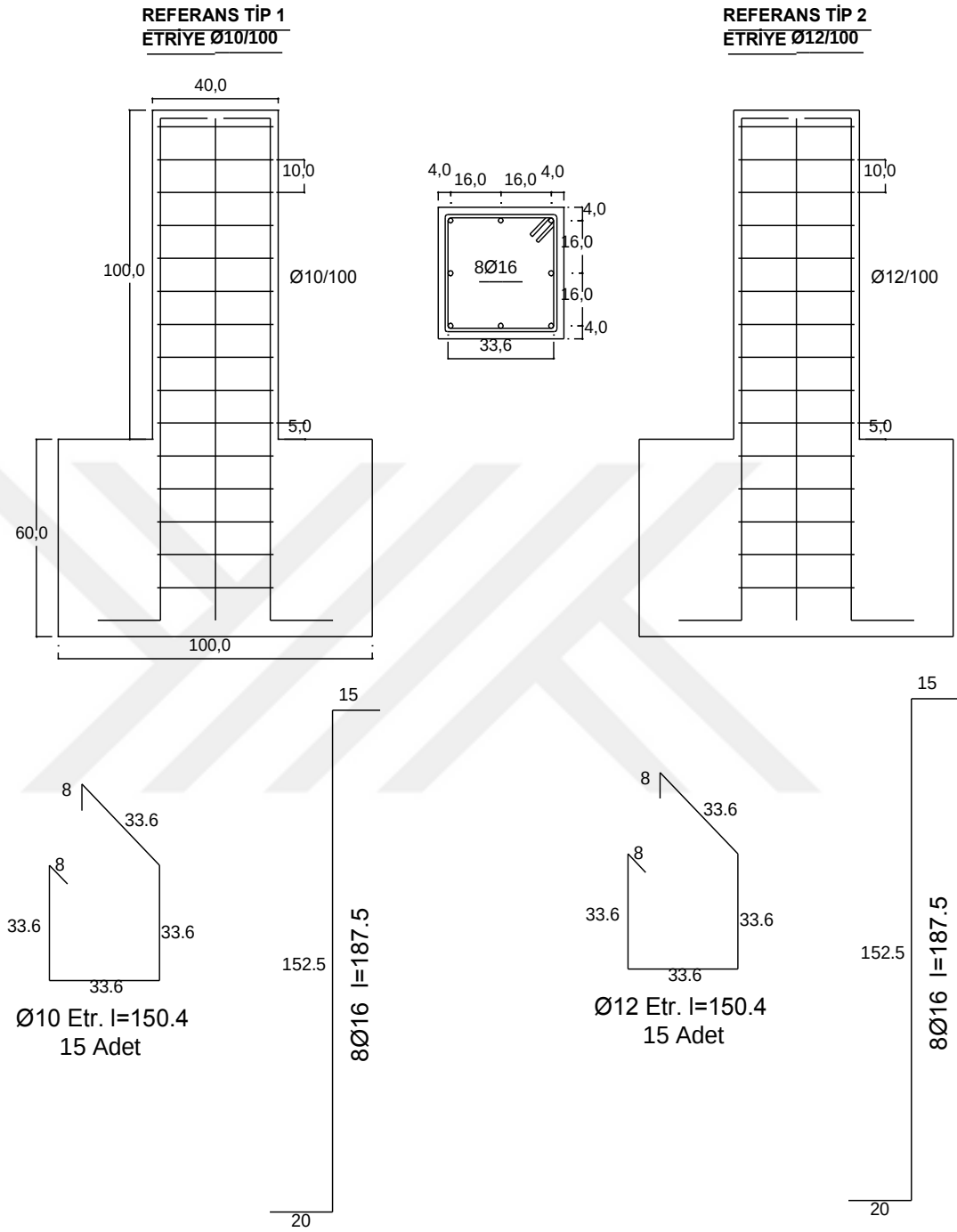
(SC800CFRP150)- (SC800CFRP100)-(SC600CFRP150)-(SC600CFRP100)

Numunelerin boyuna donatı miktarları kendi aralarında değişiklik göstermemekle beraber 8Ø16'dır.

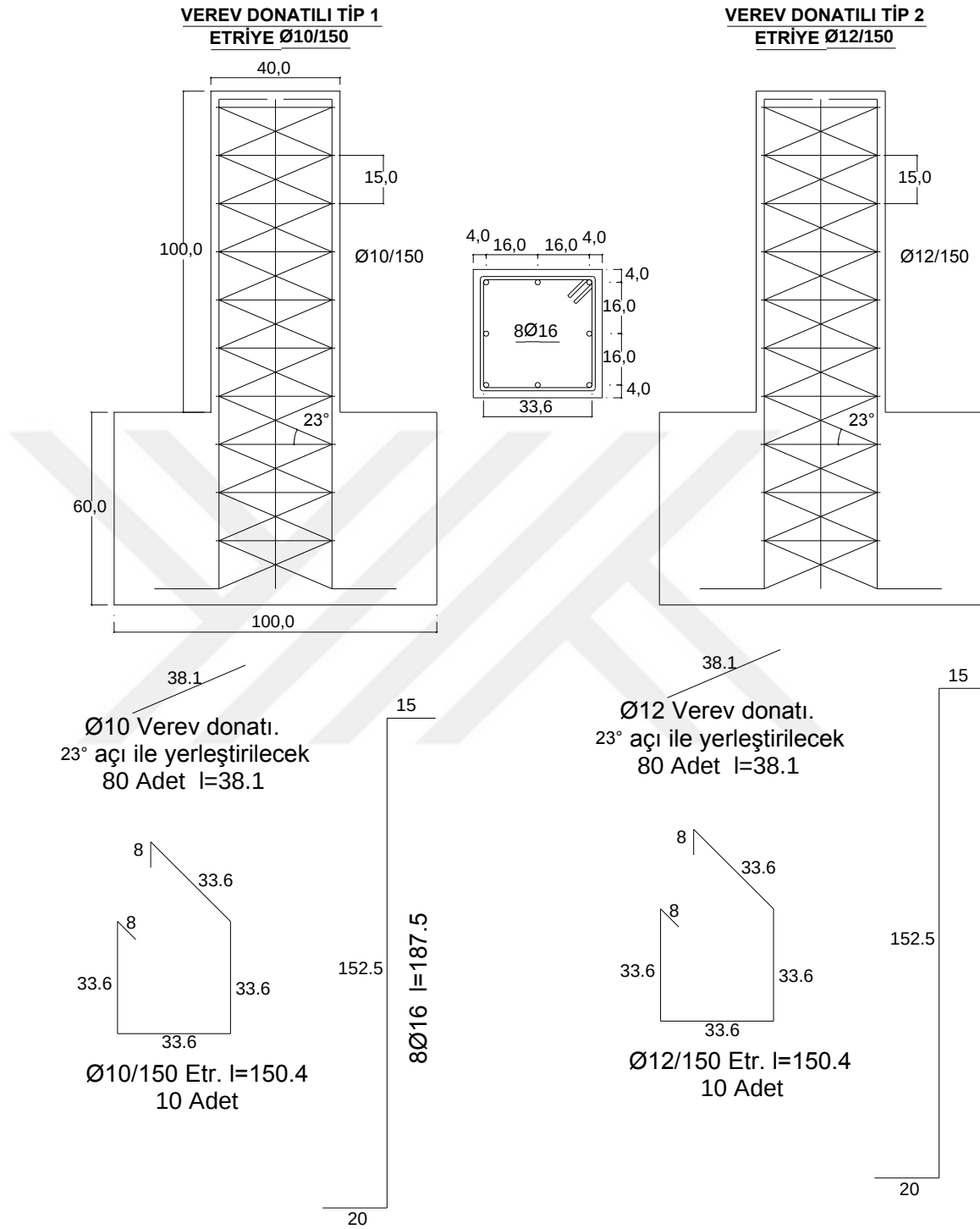
Numunelerin temel boyutu 150x100cm olup numunenin rijit döşemeye ankastre bir şekilde bağlanabilmesi için 4 adet dairesel boşluk bırakılmıştır. Bu boşluklar üretim aşamasında Ø100mm pimaş borular vasıtasıyla oluşturulmuştur. Temel derinliği 60cm'dir. Aşağıda kısa kolon numunelerinin boyut ve donatı detayları Şekil 2.6,2.7,2.8,2.9'da yer almaktadır.



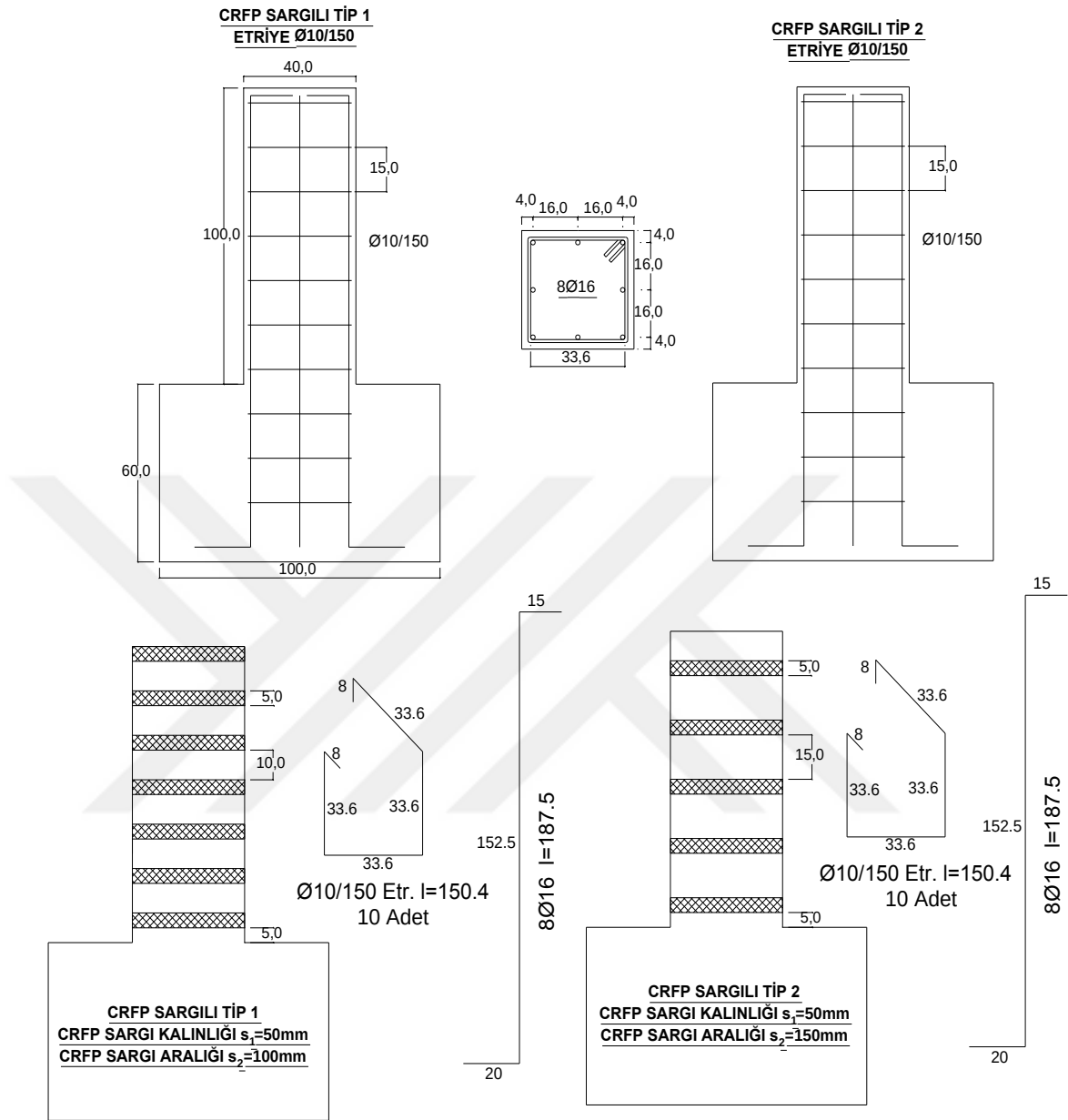
**Şekil 2.6.** Numune boyutları ve kesitleri



Şekil 2.7. Referans Numunelerinin donatı detayı

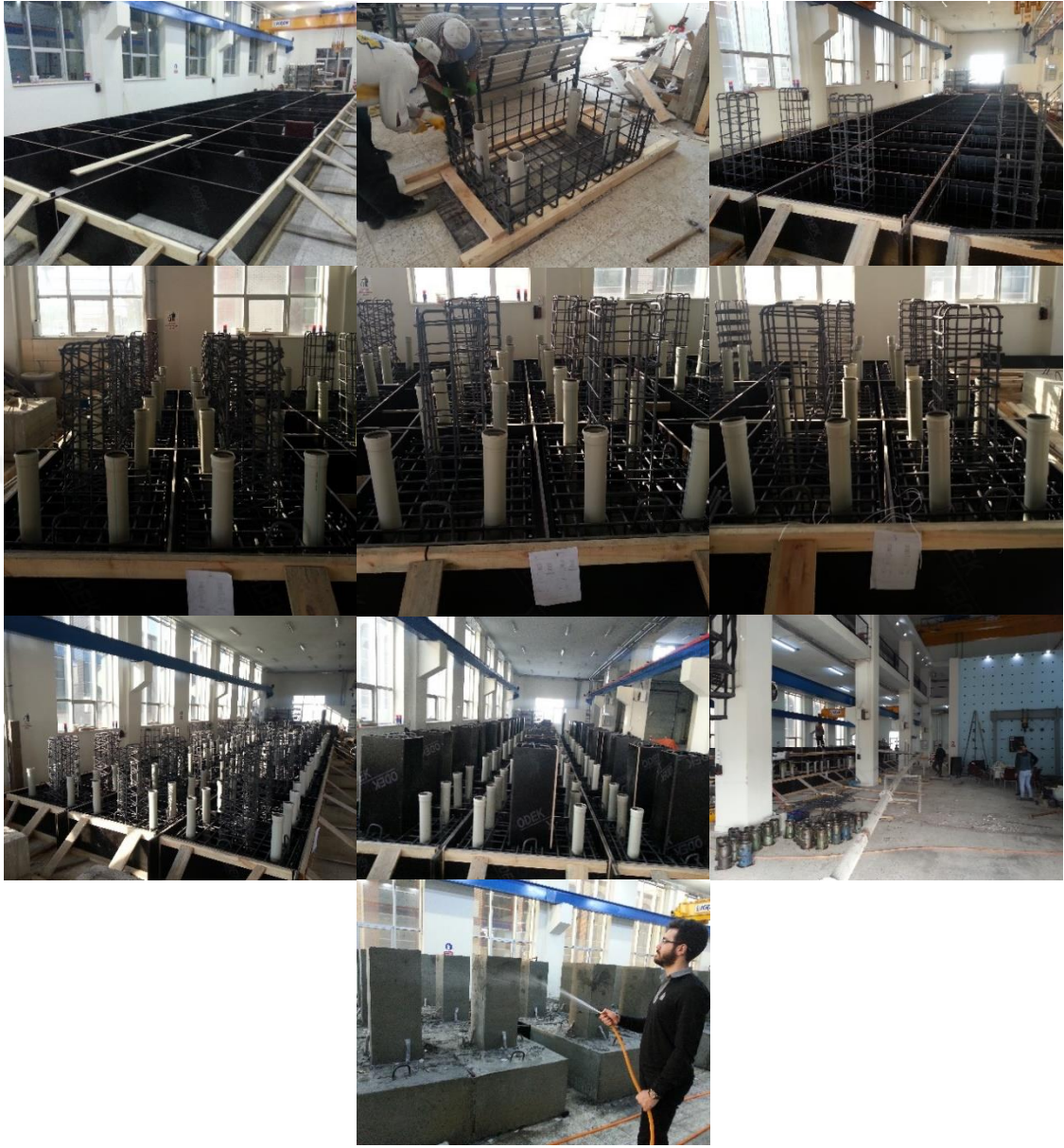


Şekil 2.8. Vev Donatılı Numunelerin Donatı Detayı



Şekil 2.9. CFRP Sargılı Numunelerin Sargı ve Donatı Detayı

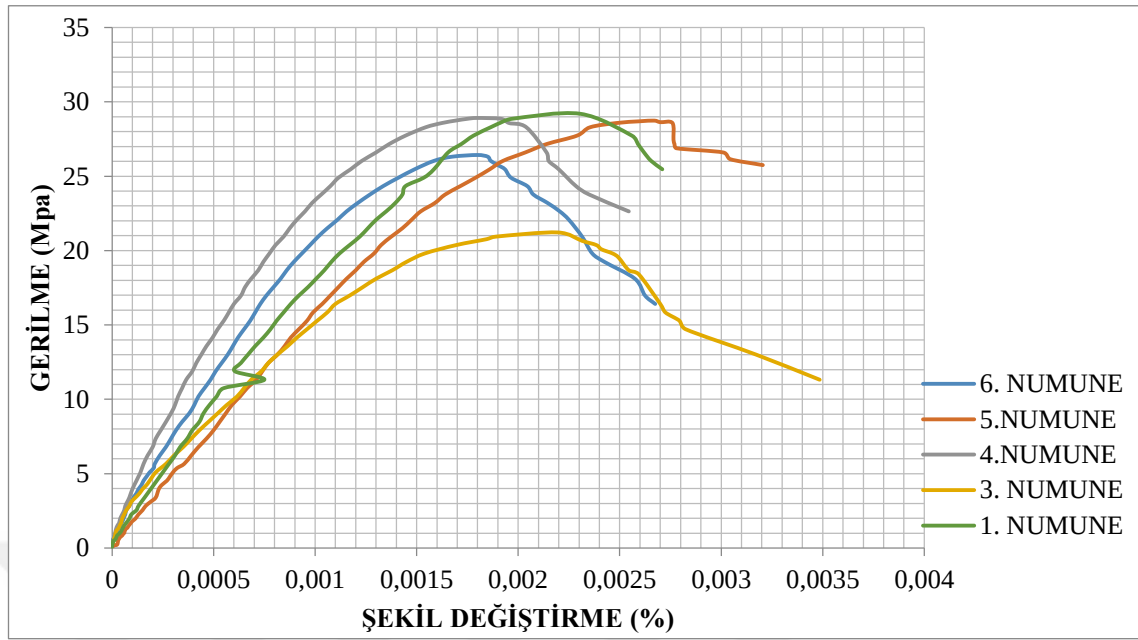
Numunelerin üretimi aşamasında çekilen fotoğraflar Şekil 2.10'daki gibidir;



Şekil 2.10. Numunelerin hazırlanma ve beton döküm aşamasından fotoğraflar

Numunelerin beton dökümü aşaması, temel ve kolon betonları birlikte dökülerek yapılmıştır. Üretim kış mevsiminde yapıldığından numuneler laboratuvar içerisinde üretilmiştir. Laboratuvar içerisinde ısı değeri sabittir. Döküm işlemi yapıldığı aşamada beton kalite kontrolü için 9 adet silindir numune alınmıştır. Bu numunelerden 3 tanesi yarmada çekme, 6 tanesi de okumalı basınç deneyi yapılmıştır.

Alınan deney numunelerine 28 gün kür işlemi uygulandıktan sonra deneyleri yapılmış olup aşağıda sonuç grafikleri ve tabloları verilmiştir.



Şekil 2.11. Silindir Numunelerin Beton Basınç Dayanımları

Tablo 2.1. Silindir Numunelerin Yarma Yüğü, Basınç Dayanımları ve Ortalaması

| Numune          | Max Yüğü (N) | Gerilme (MPa)   | Yarılma Yüğü (N) |
|-----------------|--------------|-----------------|------------------|
| 1               | 508208.5     | 28.75872        | -                |
| 2               | 466489.6     | 26.39791        | -                |
| 3               | 456041.3     | 25.80666        | -                |
| 4               | 501549.6     | 28.3819         | -                |
| 5               | 498068.1     | 28.18489        | -                |
| 6               | 458379.2     | 25.93896        | -                |
| 7               | -            | -               | 183400.7         |
| 8               | -            | -               | 162541.2         |
| 9               | -            | -               | 134434.4         |
| <b>Ortalama</b> |              | <b>27.24484</b> |                  |

Numunelerin ortalama dayanımı 27Mpa olarak saptanmıştır. Aşağıda silindir numunelerin alınması, kurlenmesi ve kırım aşamasından fotoğraflar Şekil 2.12’de verilmiştir.



Şekil 2.12. Numunelerin Alınması, Kürlenmesi, Kükürt Başlık Yapımı ve Kırılması İşlemleri

Beton numuneleri, laboratuvar ortamında beton dökümü yapıldığı aşamada alınmıştır. Silindir numune kalıplarının çapı Ø15cm ve yüksekliği 30cm'dir. Beton numunesinin alınması 3 parça halinde ve her parça 25'er defa şişlenerek kalıba doldurulmuştur. Dolum işlemi bittikten sonra elastik başlıklı tokmak ile birkaç defa kalıp tokmaklanarak betonun içerisinde kalan hava boşlukları çıkarılmıştır. Ardından kalıbın üst kısmı mala yardımıyla düzeltilerek prizini alması için bekletilmiştir.

Prizini alan beton numuneleri, kalıptan çıkarılarak tarihlendirilip isimlendirilmiştir. Ardından kür havuzuna konulup 28 günlük kür işlemine bırakılmıştır. Kür işlem süresi bittikten sonra numuneler havuzdan çıkarılıp içerisindeki suyun tahliyesi için laboratuvar ortamında bekletildikten sonra kırım işlemleri başlatılmıştır.

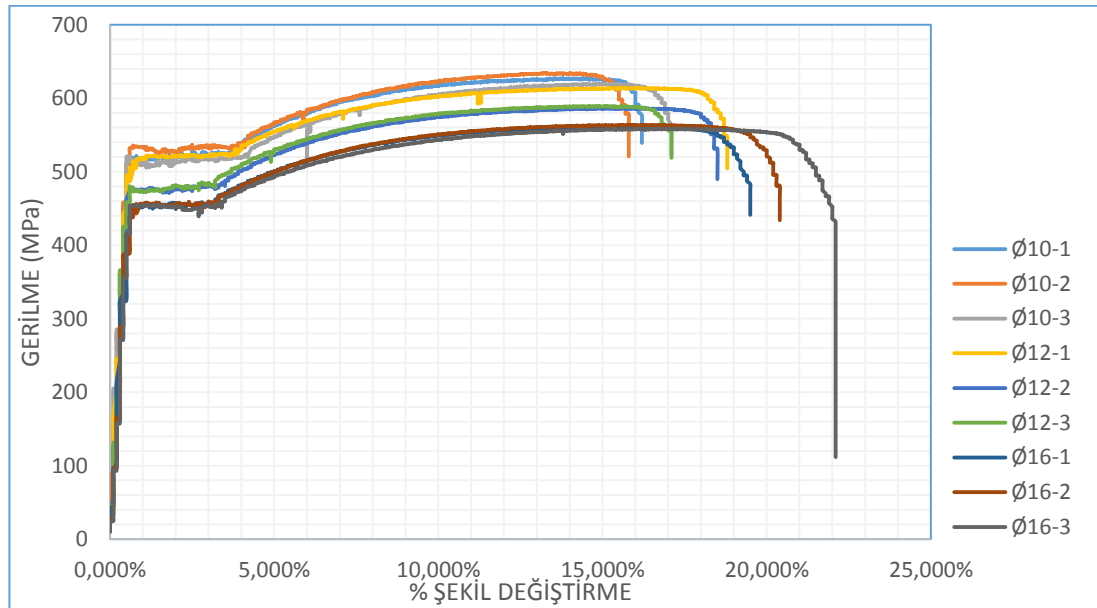
Kırım işlemi esnasında verilen yükün numune üzerine eşit dağılması adına üst (pürüzlü) yüzeyin düz bir hale getirilmesi amacıyla kükürt başlıklar yapılmıştır. Ardından kırım işlemi gerçekleştirilmiştir.

Kırım işlemi esnasında 2 numaralı numunenin deplasman saati okumasında saatle ilgili teknik bir problem nedeniyle deplasman okuması düzgün alınamamıştır. Fakat maksimum kırılma yükü basınç presinden okunduğundan yalnızca bu değer okunabilmiştir ve ortalama dayanım içerisinde kullanılabilmiştir.

Numunelerin üretim aşamasında kullanılan her donatı çapından 3 adet kupon alınarak donatının sınıfı hakkında bilgi edinebilme adına çekme testi uygulanmıştır. Betonarme kısa kolon numunelerini oluşturan donatı çapları  $\varnothing 10$ - $\varnothing 12$ - $\varnothing 16$ 'dır. Alınan donatı kuponları 60cm uzunluğundadır. Aşağıda bu deneyden elde edilen sonuçlar verilmiştir.



Şekil 2.13. Donatı Çekme Deneyi pres ve numuneleri



Şekil 2.14. Donatı Çekme Deneyi Sonuçlarının Grafik Haline Getirilmesi

Tablo 2.2. Donatı Çekme Deneyi Sonuçlarının Tablo Halinde Gösterimi

| Ağırlık<br>G | Boy<br>L | İlk Boy | Son Boy | Akma<br>Yükü | Çekme<br>Yükü | Hesaplanan<br>Çap  | Çap | Alan            | Akma<br>Mukavemeti | Çekme<br>Mukavemeti | Çekme/A<br>kma<br>Oranı |
|--------------|----------|---------|---------|--------------|---------------|--------------------|-----|-----------------|--------------------|---------------------|-------------------------|
| kg           | m        | mm      | mm      | N            | N             | $12.74 \sqrt{G/L}$ | mm  | mm <sup>2</sup> | N/mm <sup>2</sup>  | N/mm <sup>2</sup>   |                         |
| 0.375        | 0.596    | 381     | 394.9   | 41911        | 49806         | 10.11              | 10  | 78.5            | 534                | 634                 | 1.19                    |
| 0.3715       | 0.599    | 370     | 429.9   | 40387        | 49279         | 10.03              | 10  | 78.5            | 514                | 627                 | 1.22                    |
| 0.3685       | 0.595    | 381     | 399.3   | 40360        | 48725         | 10.03              | 10  | 78.5            | 514                | 620                 | 1.21                    |
| 0.5105       | 0.598    | 381     | 404.1   | 53820        | 66372         | 11.77              | 12  | 113.1           | 476                | 587                 | 1.23                    |
| 0.515        | 0.599    | 381     | 399.3   | 53560        | 66658         | 11.81              | 12  | 113.1           | 474                | 589                 | 1.24                    |
| 0.5305       | 0.592    | 381     | 405.1   | 57276        | 69464         | 12.06              | 12  | 113.1           | 506                | 614                 | 1.21                    |
| 0.97         | 0.604    | 381     | 410.6   | 88149        | 113354        | 16.14              | 16  | 201.1           | 438                | 564                 | 1.29                    |
| 0.964        | 0.6      | 381     | 416     | 91294        | 112277        | 16.15              | 16  | 201.1           | 454                | 558                 | 1.23                    |
| 0.963        | 0.6      | 381     | 407.5   | 90514        | 112870        | 16.14              | 16  | 201.1           | 450                | 561                 | 1.25                    |

Deney sonuçlarına göre kullanılan donatılar minimum akma ve çekme dayanımları olan 420-500Mpa değerinden daha fazla bir değer almış durumdadır. Ayrıca numunelerin hepsi yönetmelikte verilen %10 uzama değerinden fazla bir uzama değeri göstererek sınır değerleri sağlamış durumdadır. Bu donatıların betonarme kısa kolon numunelerinde kullanılması uygun görülmüştür.

Betonarme kısa kolon numunelerinin kalıp içerisine donatılarının yerleştirilmesinden sonra beton dökümünden önce, kesit içerisinde çalışan donatıların deney yapılması esnasında % uzamalarının anlık olarak görülebilmesi adına donatılara Strain-gage (Gerilme Pulu) yapıştırılmıştır.

Bu işlem için öncelikle donatıların hangilerine ve nerelerine bu işlemin yapılacağı belirlenmiştir. Strain gage'ler tüm numunelerde yükleme doğrultusundaki orta donatıya ve temel hizasından sonraki ilk etriyenin ortasına ve yükleme doğrultusunun yan yüzünde orta boyuna donatıya ve temelden sonraki ilk etriyeye yerleştirilmiştir.

Verev donatılı numunelerde fazladan her iki doğrultu ve yüzeydeki verev donatıların ortalarına yerleştirilmiştir.

Strain gagelerin hangi donatıda ve hangi yüzeyde olduğunu belirlemek adına numune ismi, yüzeyleri ve donatılarına isimlendirme yapılmıştır. Bu düzenleme aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Numune isimlendirme şekli

| Numune Özelliği                        | Numune Adı | Yükleme noktası | Değişken    | Tüm Numuneler                                                        |
|----------------------------------------|------------|-----------------|-------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>Referans<br/>(4 Adet)</b>           | SC_Ref     | 800/600         | Ø10/Ø12     | SC800_Ref_Ø10<br>SC800_Ref_Ø12<br>SC600_Ref_Ø10<br>SC600_Ref_Ø12     |
| <b>Verev<br/>Donatılı<br/>(4 Adet)</b> | SC_D       | 800/600         | Ø10/Ø12     | SC800_D_Ø10<br>SC800_D_Ø12<br>SC600_D_Ø10<br>SC600_D_Ø12             |
| <b>CFRP Sargılı<br/>(4 Adet)</b>       | SC_CFRP    | 800/600         | 100mm/150mm | SC800_CFRP_150<br>SC800_CFRP_100<br>SC600_CFRP_150<br>SC600_CFRP_100 |

Laboratuvarın konumuna göre deney esnasında numune yüzeylerinin isimlendirilmesi ise Batı (A Yüzeyi), Güney (B Yüzeyi), Doğu (C Yüzeyi), Kuzey (D Yüzeyi) şeklinde yapılmıştır. Yatay yüklemenin yapılacağı numune yüzeyi B Yüzü'dür. Strain gageler de bu doğrultuda A\_Boy (A yüzündeki boyuna donatı), A\_Etr (A yüzündeki etriye), B\_Boy (B yüzündeki boyuna donatı), B\_Etr (B yüzündeki etriye) şeklinde isimlendirilmiştir.

Strain gagelerin donatı üzerine yapıştırılması işlemi sırasıyla;

- Donatı yüzeyinin düzeltilip parlatılması
- Parlayan yüzeyin tiner ile temizlenmesi
- Kurulama ve strain gagenin özel yapıştırıcısıyla yapıştırılması
- Strain gage açık olan kablolarının SB bant ile darbelere karşı izole edilmesi
- Strain gage'nin VM bant ile suya karşı izole edilmesi
- Strain gagelerin hangi donatıya ait olduğuna dair etiket uygulaması
- Beton dökümünde görebileceği zararlara karşı kablonun izolasyonu

Şeklinde. Aşağıda strain gage yapıştırılma aşamasında çekilen fotoğraflar Şekil 2.15'de mevcuttur.



Şekil 2.15. Donatıya Strain-Gage Uygulaması

#### 2.1.4 Deney Düzenekinin Kurulması

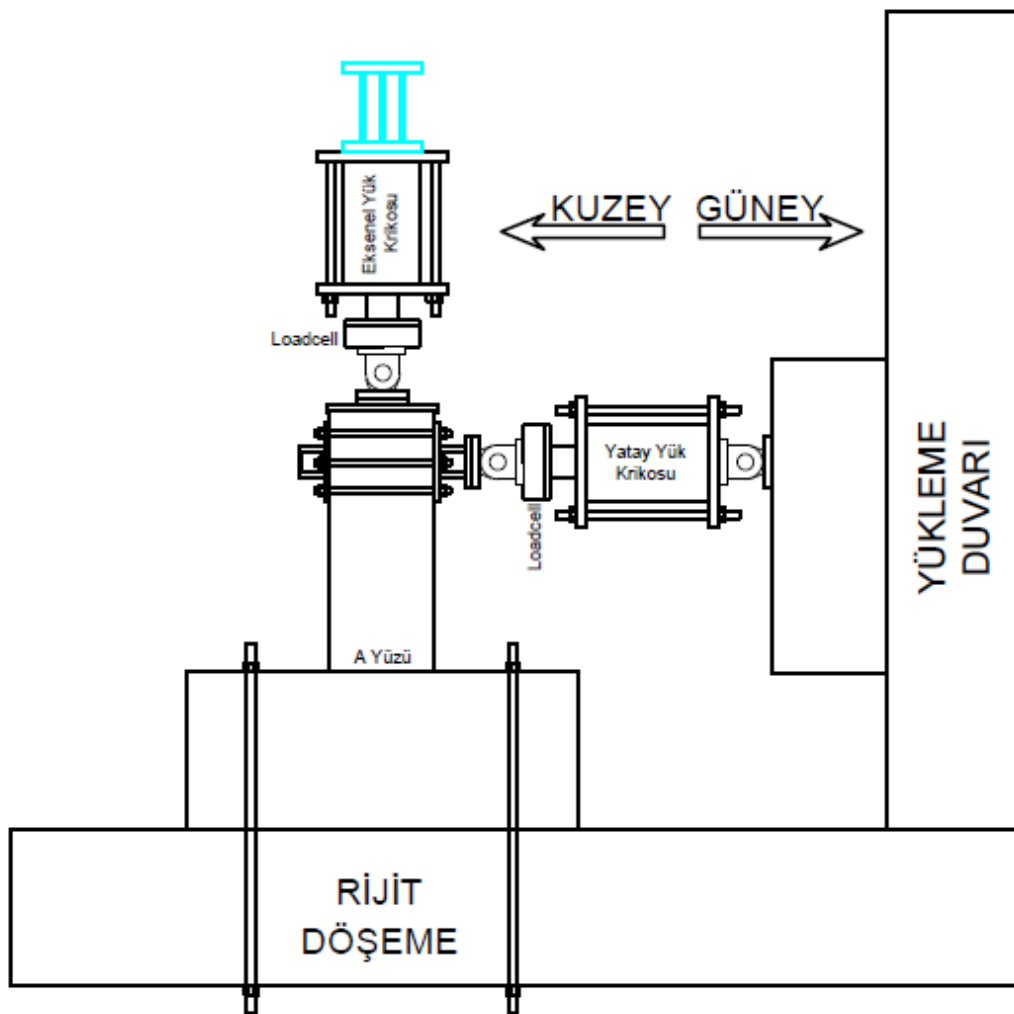
Deneylemlerin laboratuvar içerisinde yapıldığı nokta L Poligon yükleme perdesinin kuzey tarafıdır. Düzenek yerleştirilme işlemi öncelikle düşey yükleme düzenekinin yer ile bağlantısının yapılacağı travers kirişlerinin sabitlenmesiyle başlanmıştır. Ardından numune traversler arasındaki boşluğa oturtularak Ø36 milleri ile yere ankastre olarak kabul edilen bağlantısı yapılmıştır. Numunenin üzerine eksenel yükünü verecek düşey yükleme çerçevesi de traverslere bağlanarak, yükleme kirişinden kolon numunesinin üzerindeki çelik bir başlık levhasına yükü aktarmasını sağlayacak şekilde düzeneğe yerleştirilmiştir.

Yatay yükleme düzenek için poligon yükleme perdesi üzerine krika sabitleme panosu yerleştirilmiş ve krika teçhizatları üzerine monte edilmiştir. Ardından yatay yükleme sistemi ile numunenin birbirine bağlanması amacıyla yatay yükleme plakaları numune üzerine (hangi noktadan yükleme yapılacak ise 800/600) bağlanmıştır. Krikoların çalışmasını sağlayan pompalar da hidrolik hortumlar vasıtasıyla sisteme dahil edilmiştir.

Deneyin gerçekleştirilmesini sağlayan ekipmanların düzeni anlatıldığı şekildedir.

### 2.1.5 Deney Ölçüm Düzeneklerinin Kurulması

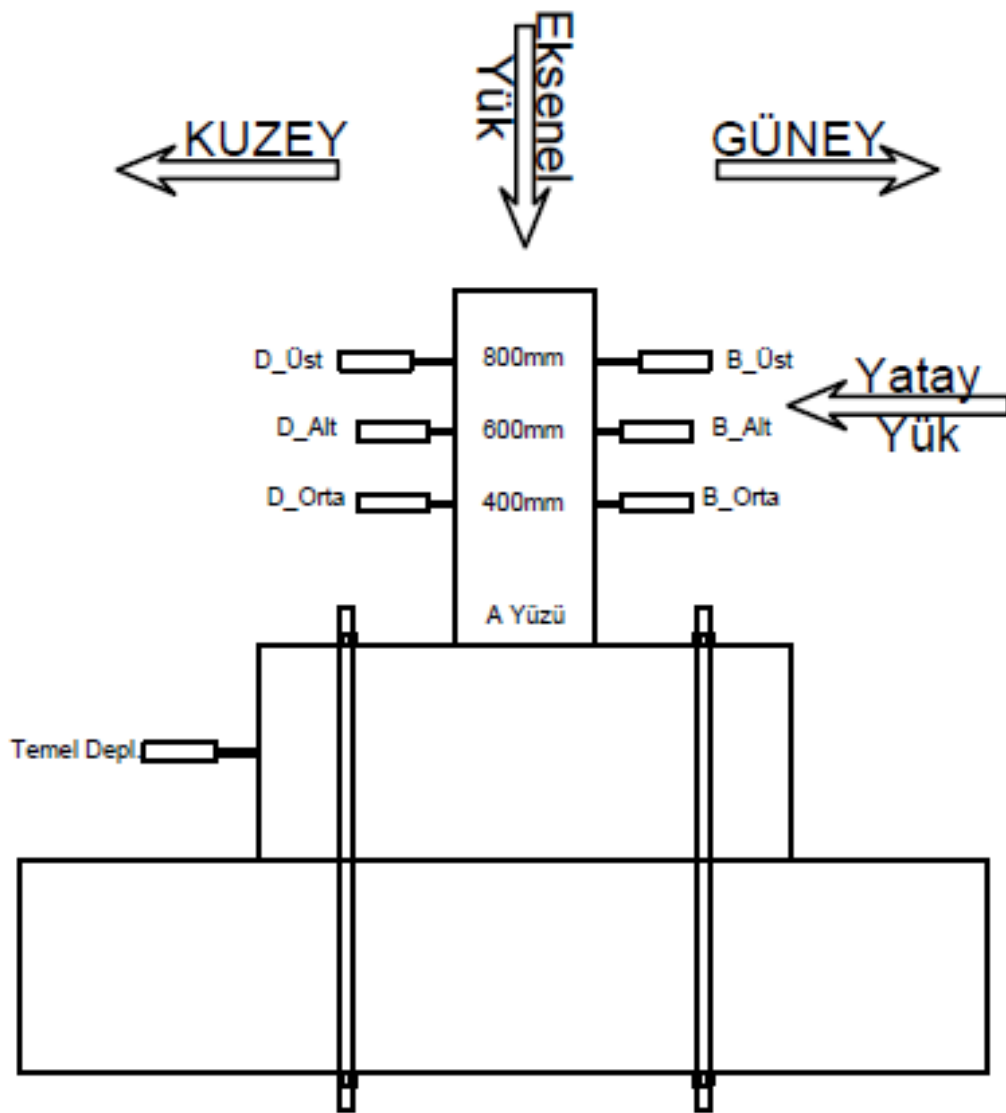
Deney yapılırken numune üzerine hangi miktarda yük verildiği Loadcell'ler tarafından ölçülmektedir. Deney esnasında yatay ve eksenel yükler verildiğinden 2 adet 100ton'luk itme-çekme Loadcell'i kullanılmıştır. Bu Loadcell'lerin konumları aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



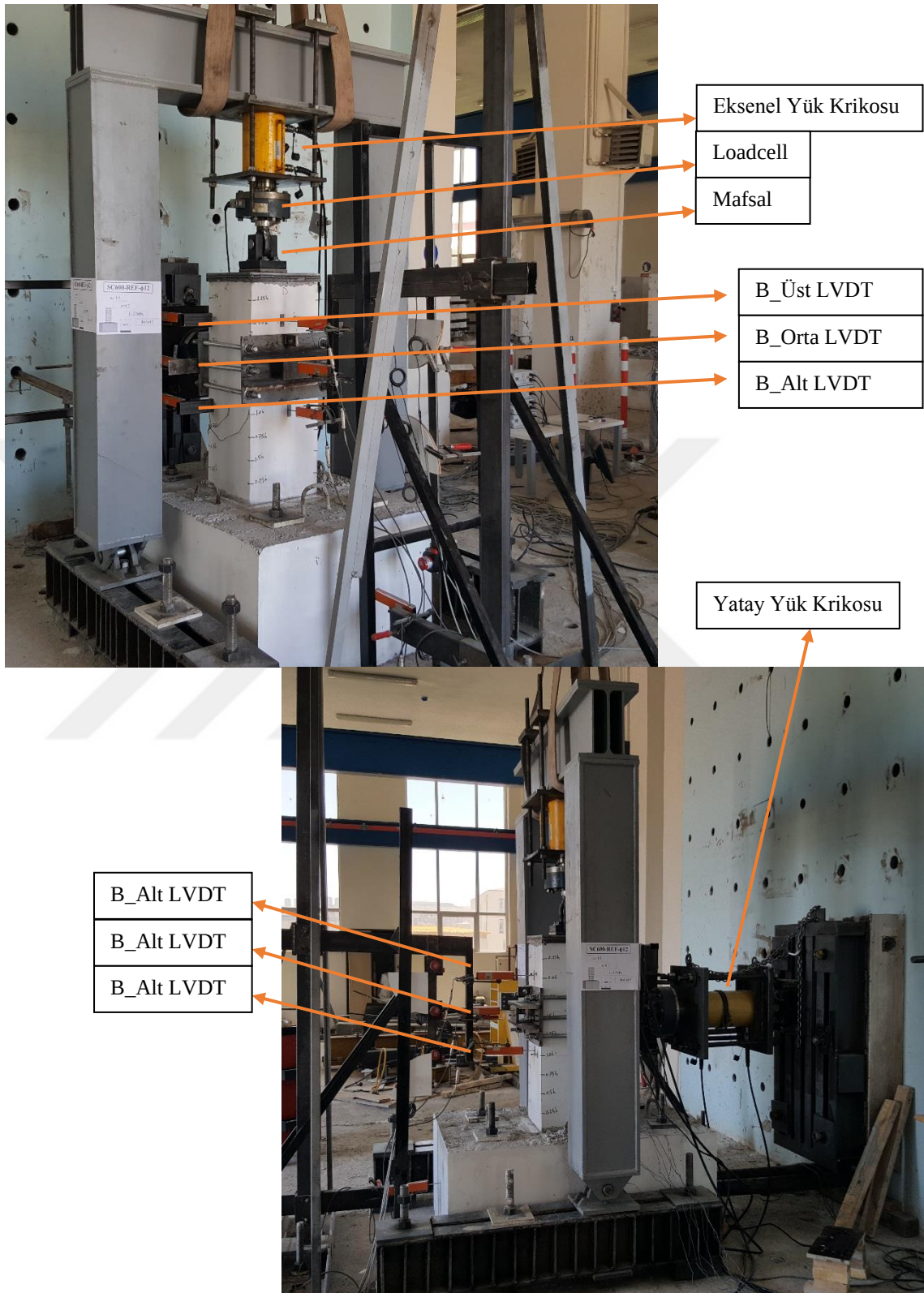
Şekil 2.16. Yükleme Kriko ve Loadcell'lerinin Numune Üzerindeki Yerleşimi

Deney döngülerinde varılması gereken deplasman miktarlarını görmemizi sağlayan elektronik cetveller yani LVDT lerin numune üzerinde temel seviyesinden başlayarak 400mm-600mm-800mm noktalarına yerleştirilmiştir.

İtme ve Çekme döngülerinin her iki safhasında da veri alabilmek adına yükleme doğrultusuna karşılıklı 3'er LVDT bağlanmıştır. Bu LVDT lerden D yüzündekiler D\_Üst/Orta/Alt olarak, B yüzündekiler ise B\_Üst/Orta/Alt olarak isimlendirilmiştir. Ayrıca deney esnasında temeldeki olası hareketlenmelerin görülmesi için de temelin orta kısmına bir adet LVDT saati bağlanmıştır. Bu LVDT'lerin isimlendirilmesi ve numune üzerindeki konumları aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 2.17. Deplasman Ölçen LVDT Aygıtlarının Numune Üzerindeki Konumları



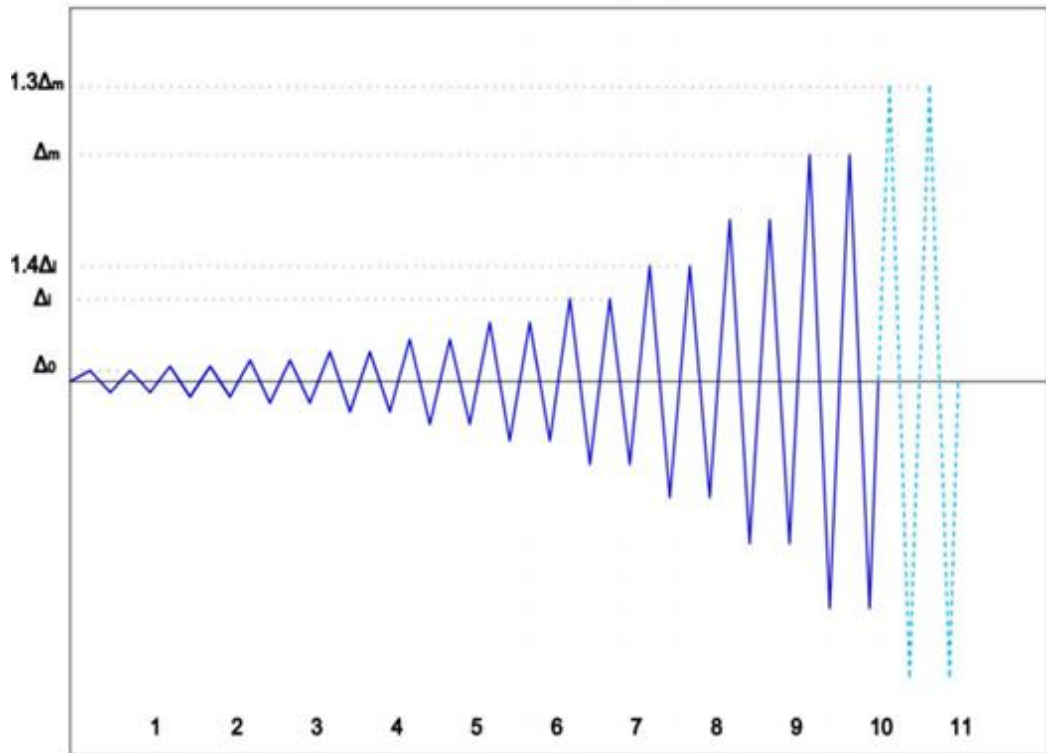
Şekil 2.18. Deney Düzeneği ve Ölçüm Ekipmanlarının Gösterildiği Bir Fotoğraf

### 2.1.6. Deneylerin Yapılma Aşaması

Betonarme kısa kolon numunelerinin deneysel çalışma aşamasında, numune sabit eksenel yük altında tersinin tekrarlanır yatay yük etkisinde deneyleri yapılmıştır. Deney numunelerinin aynı koşullarda değerlendirilebilmesi adına sabit bir yükleme protokolü takip edilerek deney setlerinin hepsine uygulanmıştır. Bu aşamada kullanılacak olan FEMA461 (2007)'de verilen [29] yerdeğiştirme kontrollü yükleme protokolü seçilmiştir. Seçilen bu yükleme protokolüne göre deney numuneleri yer değiştirme kontrollü olarak İtme-Çekme yapılarak bir döngü tamamlanmıştır, ancak yapılan bu döngü iki kez yapıp toplam 2 İtme-2 Çekme sonrasında sıradaki deplasman değerine geçilmiştir. Tekrarlanan her iki döngü bir “adım”ı oluşturmaktadır. Yükleme protokolüne göre deneyin tamamlanması için en az 10 adım statik itme uygulanmalıdır. Çift çevrim uygulanan deney yükleme protokolü nedeniyle tüm deneyler en az 20 döngü (10adım) yapılarak sonlandırılmıştır. Hesaplanacak deplasman değerlerinde kat yüksekliği 3m olarak düşünülmüştür. Deplasman oranı kısa kolonun net açıklığında 0.0015 değerinden başlanıp her yeni adımda bu deplasman değerinin %40 artırılmasıyla 10. adıma kadar çevrimsel yükleme uygulanmıştır. Bu adımdan sonra deplasman oranı %30 artırılarak 11. adıma ve göçme gerçekleşmediyse sonraki adımların uygulanmasına devam edilmiştir. Yatay yük değeri histeretik davranış içerisinde en yüksek değere ulaştıktan sonra düşmeye başlayacaktır. Bu yük düşüşü maksimum yükün %80-%90 seviyelerine indiği durum veya görece kat ötelemesinin kat yüksekliğine oranı %2 seviyesine geldiği durumlardan hangisi önce oluşursa o döngü sonunda deney bitirilmiştir. Aşağıda yükleme protokolünde kullanılan deplasman değerlerinin hesaplanması Tablo 2.4’de verilmiştir. Ayrıca yükleme protokolünü oluşturan döngü deplasman artırım grafiği Şekil 2.19’de verilmiştir.

**Tablo 2.4.** Kısa Kolon Yükleme Prosedürü Deplasman ve Ötelenme Oranları

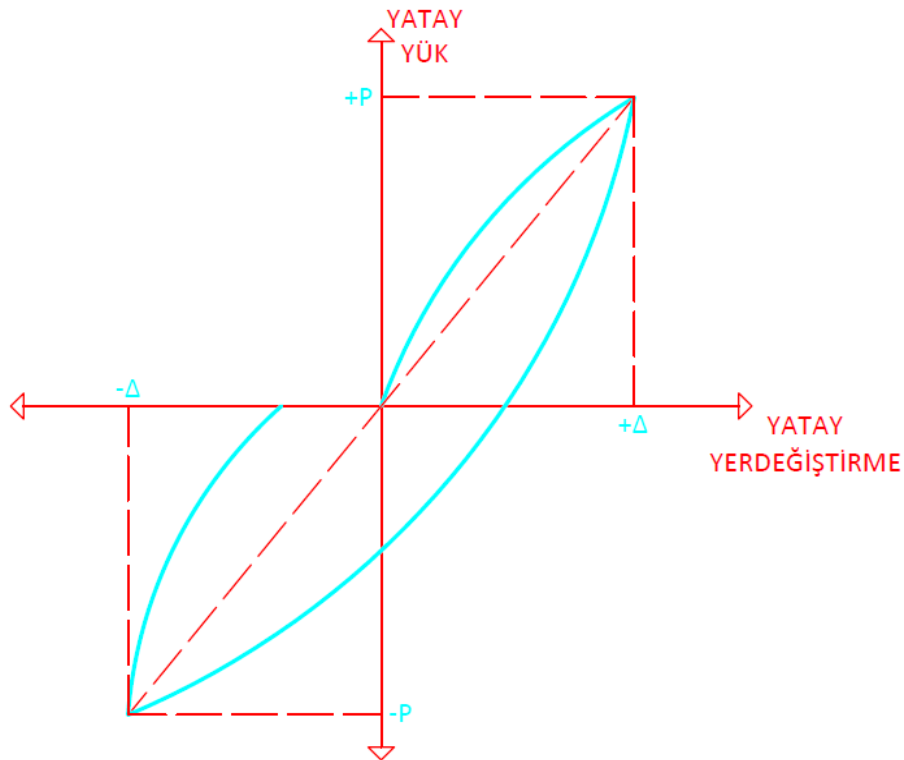
|      | Adım | $a(n)$ | SC800<br>(mm) | Normal Kat<br>Yükseklğine<br>Göre Drift<br>(%) | SC600<br>(mm) | Normal Kat<br>Yükseklğine<br>Göre Drift<br>(%) |
|------|------|--------|---------------|------------------------------------------------|---------------|------------------------------------------------|
|      | 1    | 0.0015 | 1.2           | 0.04                                           | 0.9           | 0.03                                           |
|      | 2    | 0.0021 | 1.7           | 0.06                                           | 1.3           | 0.04                                           |
|      | 3    | 0.0029 | 2.4           | 0.08                                           | 1.8           | 0.06                                           |
|      | 4    | 0.0041 | 3.3           | 0.11                                           | 2.5           | 0.08                                           |
|      | 5    | 0.0058 | 4.6           | 0.15                                           | 3.5           | 0.12                                           |
|      | 6    | 0.0081 | 6.5           | 0.22                                           | 4.8           | 0.16                                           |
|      | 7    | 0.0113 | 9.0           | 0.30                                           | 6.8           | 0.23                                           |
|      | 8    | 0.0158 | 12.6          | 0.42                                           | 9.5           | 0.32                                           |
|      | 9    | 0.0221 | 17.7          | 0.59                                           | 13.3          | 0.44                                           |
|      | 10   | 0.0310 | 24.8          | 0.83                                           | 18.6          | 0.62                                           |
| x1.3 | 11   | 0.0434 | 32.2          | 1.07                                           | 24.2          | 0.81                                           |
| x1.3 | 12   | 0.0607 | 41.9          | 1.40                                           | 31.4          | 1.05                                           |
| x1.3 | 13   | 0.0850 | 54.5          | 1.82                                           | 40.9          | 1.36                                           |



Şekil 2.19. FEMA461 Yükleme Protokolü

Deney sırasında numuneye uygulanan eksenel yük miktarı sabit olup, eksenel yük indeksi  $n=0.18$  olarak alınmıştır. Bu durumda eksenel yük seviyesi ( $nA_c f_{cm}$ ) 778kN olarak sisteme uygulanmış, deneyler boyunca sürekli kontrollerle sabit tutulmuştur. Bu noktada eksenel yük seviyesinin kolonların yatay yer değiştirmelerine ve ileri hasar seviyelerinde boyuna donatı burkulmaları nedeniyle oluşan kısalmalara bağlı olarak tamamen aynı seviyede tutulmasının da çok mümkün olmadığını belirtmek gerekir. Dolayısıyla eksenel yük seviyesindeki değişimlerin  $\pm 20\text{kN}$  değerini aşmamasının sağlanması yeterli olarak değerlendirilmektir.

Deney devam ederken anlık olarak, sisteme entegre ölçüm aletlerinden veri alımı sağlanmıştır. Bu veri alışı aralığı, her ölçüm aletinden saniyede 4 defa olmak üzere 250ms olarak belirlenmiştir. Bu veri alışı ile beraber kısa kolon numunesine ait histeresis eğrileri kesintisiz ve anlık olarak elde edilmiştir. Histeresis eğrisini anlık oluşturan değerler, yatay yük ve yatay yer değiştirme değerleridir. Bu değerler numuneye itme döngüsü yapılırken '+', çekme döngüsü yapılırken ise '-' olarak değerlendirilir. Örnek bir histeresis grafiği Şekil 2.20'de görülmektedir.



Şekil 2.20. Örnek Bir Histeresis Grafiği

Betonarme kısa kolon numuneleri, belirli sayıda döngüden sonra kolon yüzlerinde plastik davranıştan ötürü çeşitli boyut ve özellikte çatlaklar meydana gelmeye başlayacaktır. Çatlaklar oluşmaya başladıktan sonra her döngünün ikinci çevrimlerinde, çatlak kontrolleri yapılmıştır. Bu kontroller yapılırken çatlak oluşum şekli, karakteri, genişliği, derinliği hakkındaki yorumlar yapılarak not edilmiştir. Çatlaklar fotoğraflarda net görülmesi ve hangi döngünün hangi aşamasında oluştuğunun bilinmesi için asetatlı kalemler ile çizilmiş ve numaralandırılmıştır. Bu isimlendirme ve numaralandırma işlemi, itme döngüsünde oluşan çatlak için çatlak üzeri mavi kalemle ve çekme döngüsünde oluşan çatlak için de kırmızı kalemle çizilip çatlak üzerine mevcut döngü ismi yazılarak yapılır. Ayrıca çatlak kontrollerinin ardından gerekli görülen aşamalarda kolon yüzeyinin fotoğrafları çekilmiştir.

## **BÖLÜM 3**

### **DENEYSEL ÇALIŞMA AŞAMASINDAKİ BULGULAR VE SONUÇLARI**

#### **3.1. Giriş**

Deneysel çalışmaların ardından, her numune için alınan yük, deplasman, strain-gage ve çatlak kontrolleri verileri bir arada değerlendirilerek, histeresis eğrisi, çatlak tip boyut ve genişlik incelemeleri, başlangıç rijitliği, sekant rijitliği gibi faktörler incelenmiştir.

Deney esnasında alınan verilerin sıklığı bilgisayar kontrolünde 250 ms olarak belirlenmiş ve bu kayıt alışı sıklığında tüm datalar saklanmıştır.

Deney esnasında belirli döngülerden sonra oluşmaya başlayan çatlakların ilk oluşum anından itibaren gelişimleri takip edilmiş ve çatlak karakteri ve bu karakterdeki değişimler deney boyunca yorumlanarak not edilmiştir.

Histeretik davranış, yatay yük ve deplasman verilerinin birlikte oluşturduğu deney boyunca aralıksız bir biçimde çizilen grafiklerdir. Bu grafik vasıtasıyla deney numunesine has davranış karakteri belirlenebilir. Bu grafikten yola çıkılarak ilgili betonarme kısa kolonun maksimum taşıdığı yatay yük miktarı, göçme moduna kadarki maksimum yer değiştirme miktarı belirlenebilir. Ayrıca grafiği oluşturan her öngünün maksimum yük ve deplasman noktaları birleşiminden oluşan zarf eğrisi de çizilebilir. Bu zarf eğrisinin altında kalan alan ise ilgili numunenin enerji yutma kapasitesini vermektedir.

Bulguların değerlendirilmesindeki bir diğer yöntem ise başlangıç rijitliğinin belirlenmesidir. Bu rijitlik değeri zarf eğrisi üzerinde orjinden, maksimum yatay yükün %65-%75 seviyesine çizilen bir doğrunun eğimi şeklinde tanımlanır [17]-[18]. Yapılan

çalışmada başlangıç rijitliği incelenirken yatay yük seviyesi  $0.75V_{maks}$  olarak ele alınmıştır.

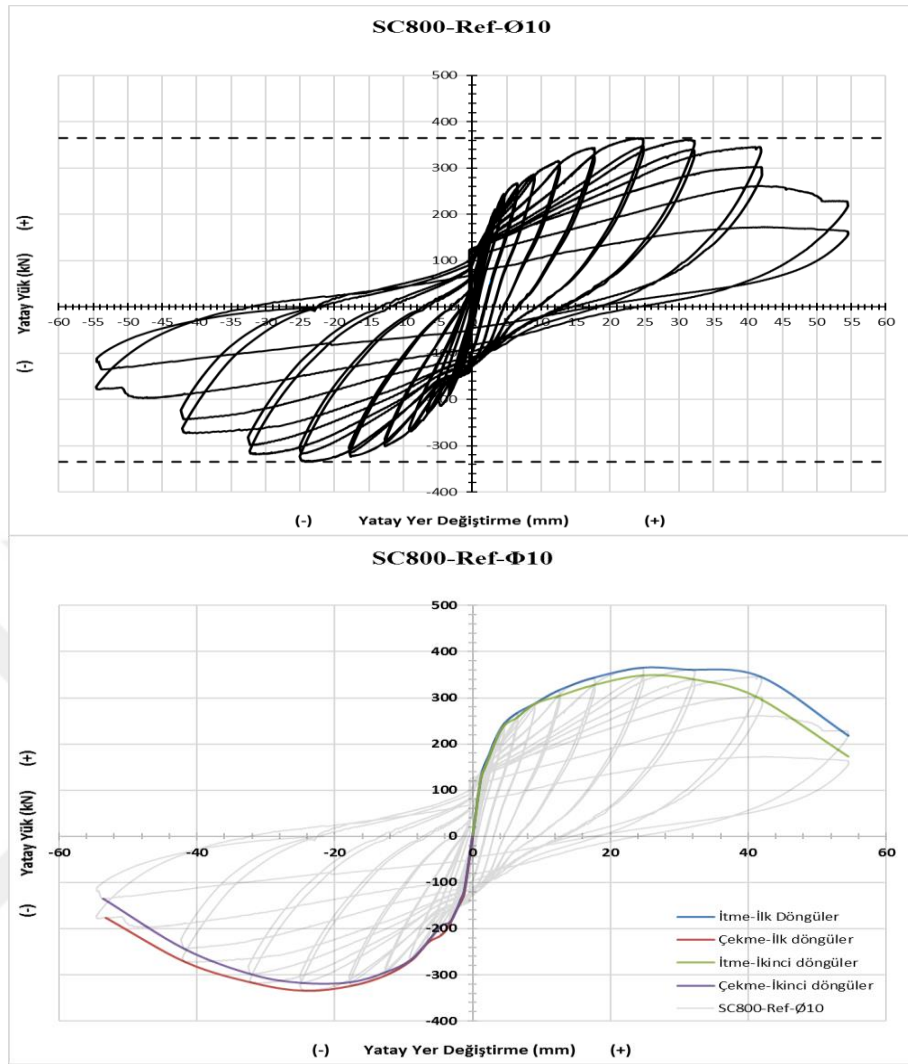
Histeresis zarf eğrisi idealleştirilerek iki doğrudan oluşturulabilir. Bu doğrunun ilk çıkış hattı bize başlangıç rijitliğini tanımlamaktadır. İdealleştirilen zarf eğrisinin bittiği nokta maksimum yatay yükün %80 mertebesine düştüğü noktadır. Orijin ile bu noktanın birleştirilmesinden oluşturulan doğrunun eğimi ise Sekant rijitliğini vermektedir. [19]-[20] Bu çalışma için sekant rijitliği, yatay yükün %80 mertebesine indiği yani deneyin sonlandırılacağı yük mertebesine göre belirlenmiştir.

### 3.2. Histeretik Davranış

Betonarme kısa kolonların deprem performansının biri tasarım diğeri güçlendirme yöntemi olan iki farklı uygulama ile test edildiği bu tezde numunelerin birbiri ile kıyaslandığı ölçütlerden biri de histeretik davranıştır. Histeretik davranış yatay yük-yatay yer değiştirmenin oluşturduğu histeresis grafiklerinden elde edilir. Bu grafikler 2. Bölümde bahsedilen yükleme protokolüne uygun bir biçimde, her numuneye yatay yer değiştirme uygulanıp bu yer değiştirmelere karşılık gelen yatay yükün ölçülmesinden ibarettir. Histeresis grafiklerinden her numunenin maksimum yatay yük seviyesi bulunmuştur. Aşağıda konuyla ilgili betonarme kısa kolon numunelerinin histeretik davranışları incelenmiştir.

#### 3.2.1. SC800 Ref Ø10

TDY 2007'nin de belirttiği gibi kısa kolon oluşması öngörülen kolonlarda etriye sıklaştırmasının kolon boyunca devam ettirilmesidir. SC800 Ref Ø 10 numunesi de yönetmelikte belirtilen kurallara uyularak üretilmiş olan etriye çapı 10mm etriye aralıkları ise 100mm olan numunedir. Kesme oranı 2'dir. Yapılan deney sonucunda kısa kolon numunesinin maksimum yükleri itmede +365.07KN, çekmede -334.69KN'dur. Deney %80 yük azalmasına kadar devam ettirilmiş ve 26. Döngüde sonlandırılmıştır. Aşağıda Şekil 3.1'de SC800 Ref Ø10 numunesinin Histeresis grafiği verilmiştir.

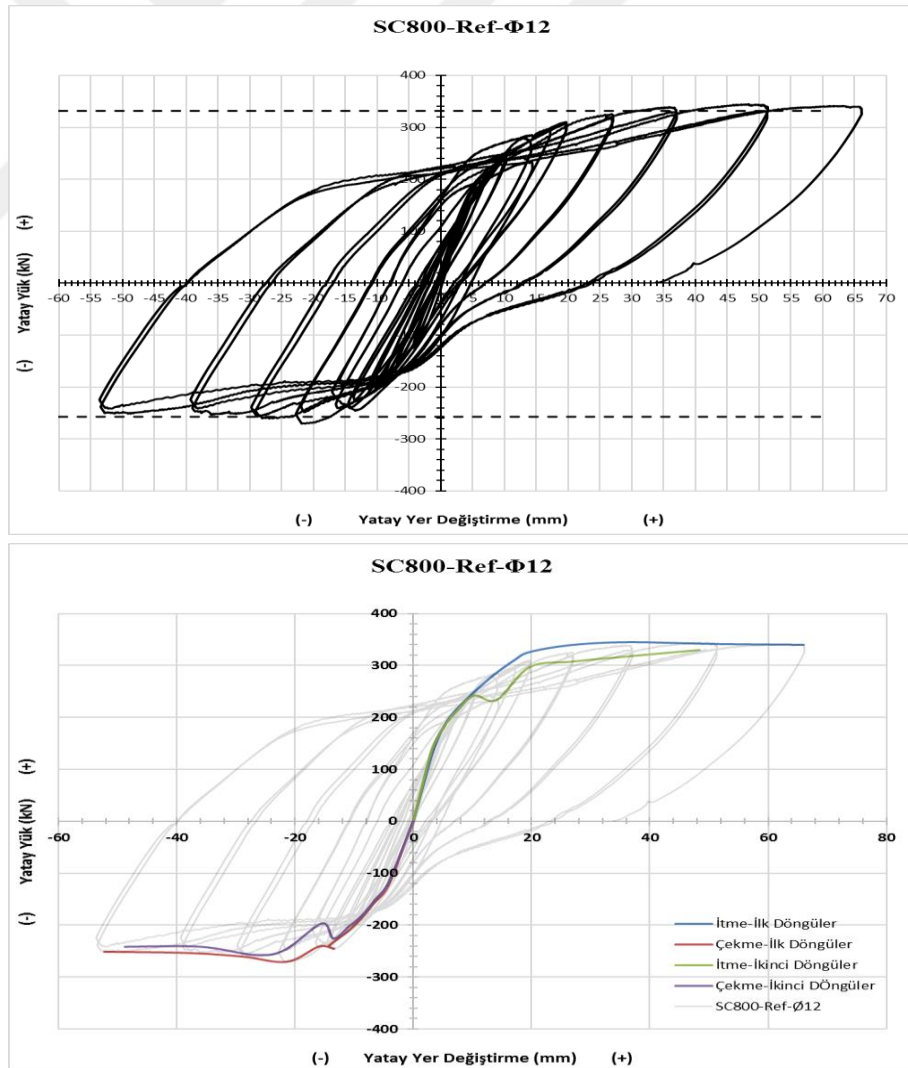


Şekil 3.1. SC 800Ref Ø10 Numunesine Ait Histeresis Grafiği ve Zarf Eğrisi

Deney numunesinde oluşan ilk çatlak 4. İtme ve çekme döngüsünde B ve D yüzlerinde 0.5h seviyesinde enine pozisyonda gerçekleşmiştir. 6. Döngüde ise oluşan ilk çatlaklar A ve C yan yüzlerine eğik formda devam etmişlerdir. Ayrıca B yüzünde 0.75h seviyesinde yeni bir enine çatlak gelişimi gözlenmiştir. 8. Döngünün itme ve çekmesi tamamlandığında kolon temel birleşim bölgesi boyunca çatlak gelişimi gözlemlenmiştir ve döngüler devam ettikçe bu çatlak genişliği artarak 18. Döngüde 5mm mertebesine ulaşmıştır. 22. Döngüde B ve D yüzündeki basınç bölgesindeki kabuk betonu dökülerek donatılar görülmüş ardından 24. Döngüde %80 yatay yük düşüşü meydana geldiğinde deney bitirilmiştir fakat davranışın görülmesi açısından son döngü de (26) yapılmıştır.

### 3.2.2 SC800 Ref Ø12

SC800 Ref Ø12 numunesinin etriye çapı 12mm dir. Etriye aralığı ise 100mm dir. Kesme oranı 2'dir. Deney esnasında 11. Döngüde temel kayması fark edilmiştir, temel sıkılarak deneye devam edilmiştir. Temel kaymasından dolayı histeresis eğrisi diğerlerinden farklı olarak bir miktar ötelenmiş durumdadır. 21. Çekme döngü esnasında yatay yükü numune üzerine ileten levha üzerindeki miller sıyrılmıştır. Bundan dolayı yük boşaltılarak sistem tekrar kurulmuştur. D\_Üst LVDT'si de sıyrılan parçaya tutturulduğu için okuma düzensiz bir hal almıştır. Deney sonunda maksimum yatay yükleri, itmede +344.97KN, çekmede -270.50KN'dur. Deney 24. Döngüde sonlandırılmıştır. Aşağıda Şekil 3.2'de SC800 Ref Ø12 numunesinin Histeresis grafiği verilmiştir.

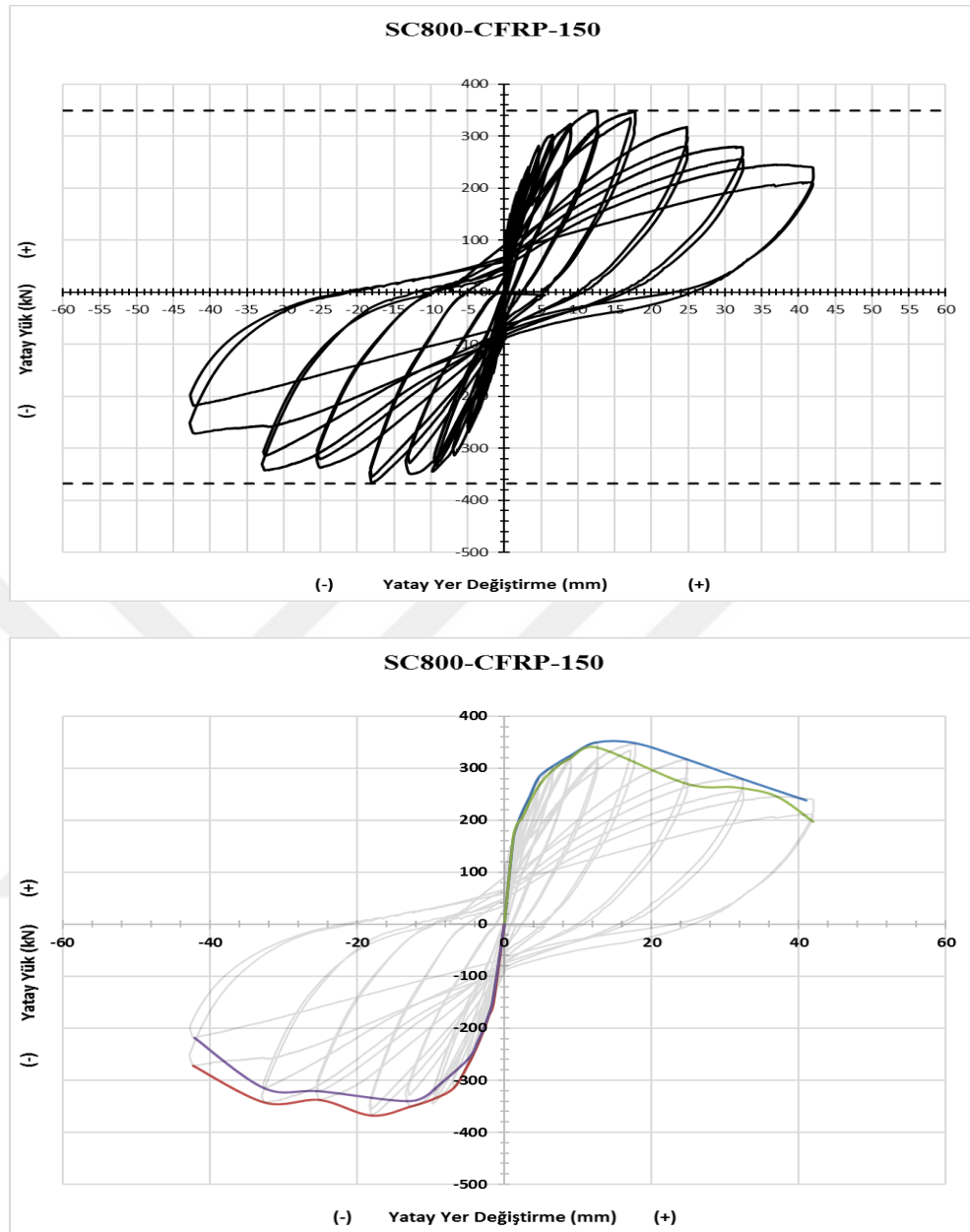


Şekil 3.2. SC800 Ref Ø12 Numunesine Ait Histeresis Grafiği ve Zarf Eğrisi

Etriye çapı 10mm olan numunenin çatlak karakterine benzer bir şekilde temel kolon birleşim bölgesinde oluşan çatlak genişliği döngü deplasmanları arttıkça büyümüştür. 23. Döngü sonunda D ve B\_Üst LVDT'leri 50mm deplasman ölçecek pozisyonda bağlandığından yetmemiştir. Bundan dolayı saatler 800mm mertebesinden sökülerek deneye 600 mm mertebesinde bulunan D ve B\_Ort LVDT'leri ile devam edilmiştir. Deneyin 23. Döngüde %80 yatay yük azalmasıyla beraber sonuna gelinmiş fakat aynı döngünün 2. Çevrimi de yapılarak deney sonlandırılmıştır.

### **3.2.3 SC800 CFRP 150**

SC800 CFRP 150 numunesi, CFRP sargısının beton dış yüzeyine 150mm aralıklarla uygulanması ile oluşturulmuştur. Betonarme kesitteki etriye çapı 10mm ve aralığı 150mm'dir. Kesme oranı 2'dir. Deney sonucu olarak maksimum yükler; itmede +349.32KN ve çekmede -367.83KN'dur. Deney, 24. Döngüde yatay yükün %80 mertebesine inmesiyle bitirilmiştir. Aşağıda Şekil 3.3'de SC800 CFRP 150 numunesinin Histeresis grafiği verilmiştir.

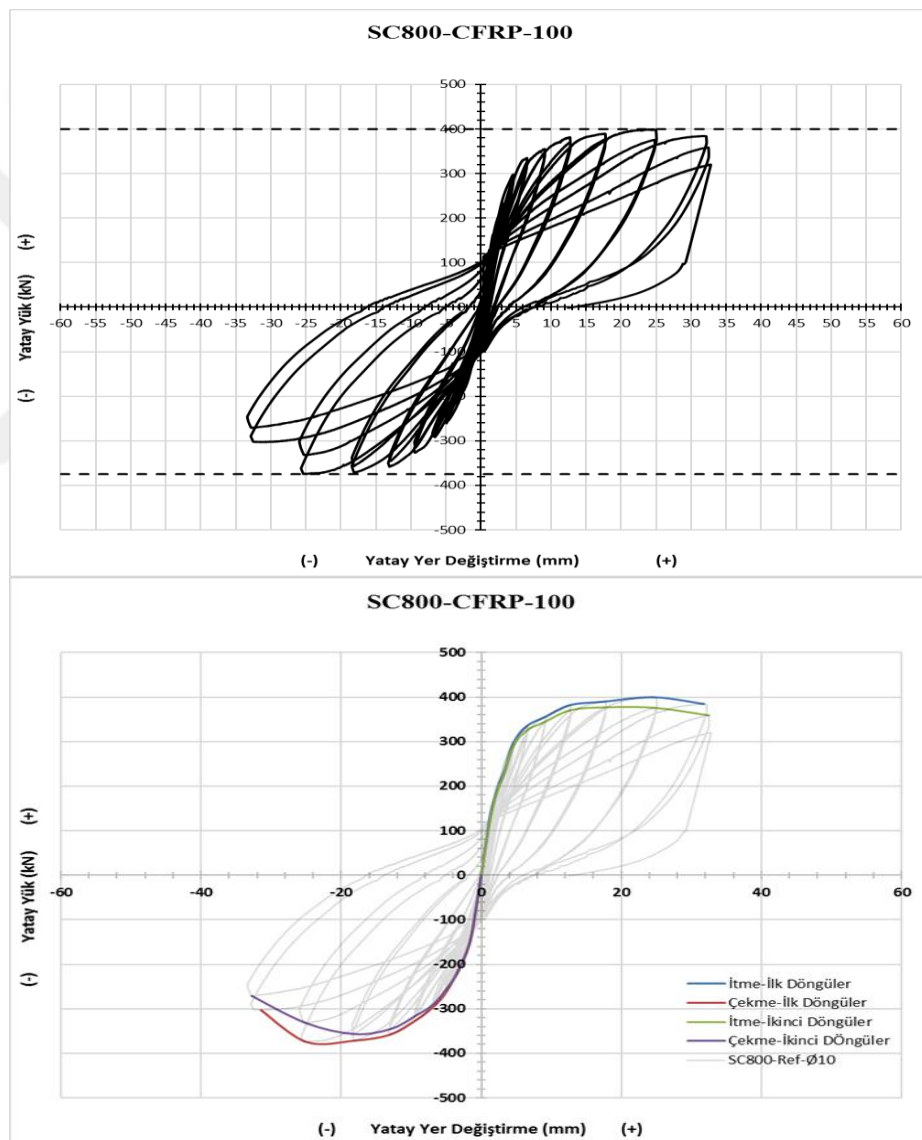


Şekil 3.3. SC800 CFRP 150 Numunesine Ait Histeresis Grafiği ve Zarf Eğrisi

Deney sırasında oluşan ilk çatlak 2. Döngü itme yüklemesi yapıldıktan sonra B yüzünde 0.5h mertebesinde kesit boyunca enine formda meydana gelmiştir. İtme çekme yüzlerinde oluşan enine çatlaklar 0.75h seviyesinde de oluşmuştur. 11. Döngüden sonra itmede ve çekmede CFRP sargılarında yer yer betondan ayrılma veya şişme gözlemlenmiştir. Yine bu döngüden sonra Yan yüzlerde (A ve C) eğik çatlaklar meydana gelmiştir. 23. Döngüde kabuk betonunda ayrılma gerçekleşmiş ardından gelen 24. Ve son döngüde itme ve çekme yüzlerinde bulunan boyuna donatıların burkulması göz ile görülmüştür.

### 3.2.4 SC800 CFRP 100

SC800 CFRP 100 numunesi, CFRP sargısının beton dış yüzeyine 100mm aralıklarla uygulanması ile oluşturulmuştur. Betonarme kesitteki etriye çapı 10mm ve aralığı 150mm'dir. Kesme oranı 2'dir. Deney sonucu olarak maksimum yükler; itmede +399.78KN ve çekmede -374.73KN'dur. Deney, 23. Döngüde yatay yükün %80 mertebesine inmesiyle bitirilmiştir. Aşağıda Şekil 3.4'de SC800 CFRP 100 numunesinin Histeresis grafiği verilmiştir.



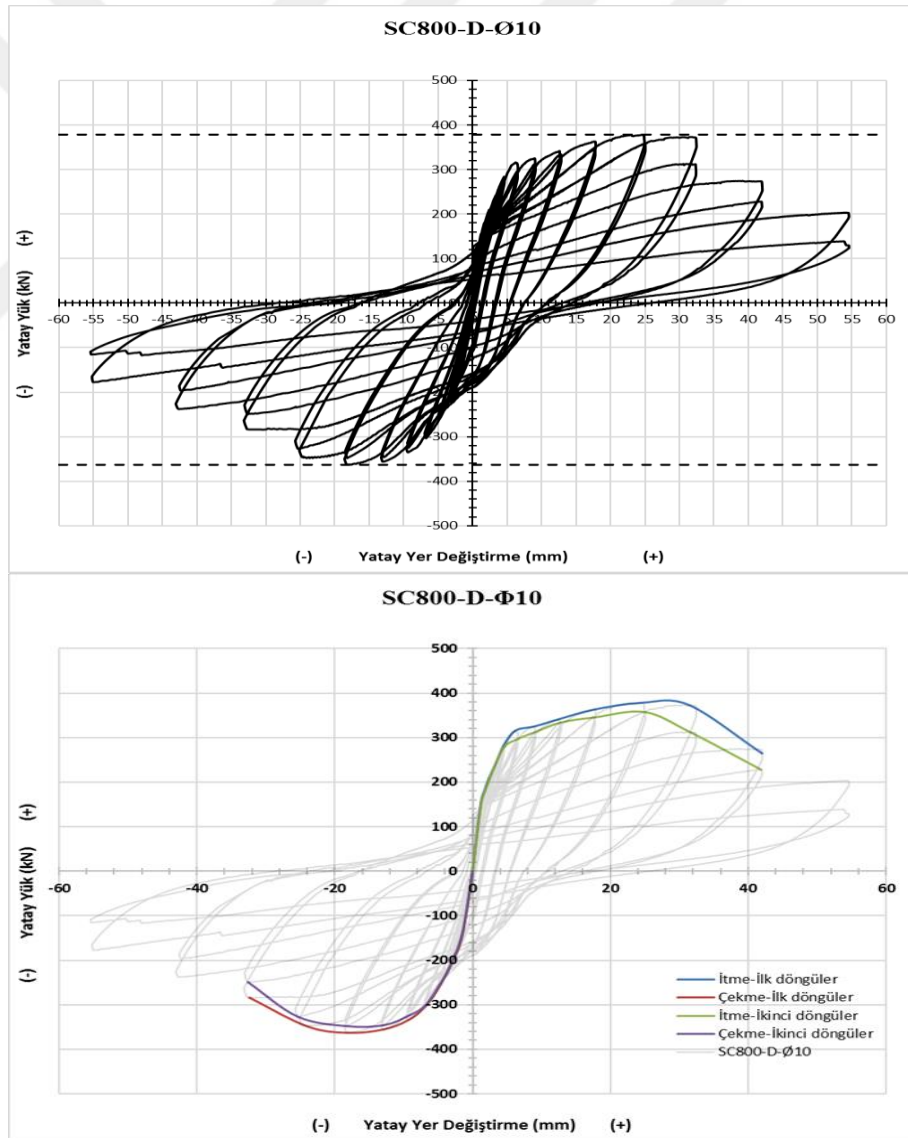
Şekil 3.4. SC800 CFRP 100 Numunesine Ait Histeresis Grafiği ve Zarf Eğrisi

Deney numunesi üzerinde ilk çatlak oluşumu 6. Döngüde B ve D yüzünde kesit boyunca enine formda meydana gelmiş aynı zamanda Yan yüzlere (A ve C) de eğik

formda kesitin 1/3'üne kadar devam etmiştir. Çeşitli çatlaklar oluşurken mevcut çatlaklarda da genişlemeler meydana gelmiştir. 20. Döngüden itibaren boyuna donatılar burkulmaya başlamıştır. Deplasman artışlarından dolayı dökülmek isteyen kabuk betonunu tutan CFRP sargısı üzerinde de kabarmalar meydana gelmiştir. Ardından 23. Döngüde deney sonlandırılmıştır.

### 3.2.5 SC800 D Ø10

SC800 D Ø10 numunesinin etriye çapı 10mm ve etriye aralığı ise 150mm dir. Verve donatılar etriye aralıklarına 23 derece ile punto kaynağıyla yerleştirilmiştir. Kesme oranı 2'dir. Deney sonunda maksimum yatay yükleri, itmede +378.35KN, çekmede -362.95KN'dur. Deney 26. Döngüde sonlandırılmıştır. Aşağıda Şekil 3.5'de SC800 D Ø10 numunesinin Histeresis grafiği verilmiştir.

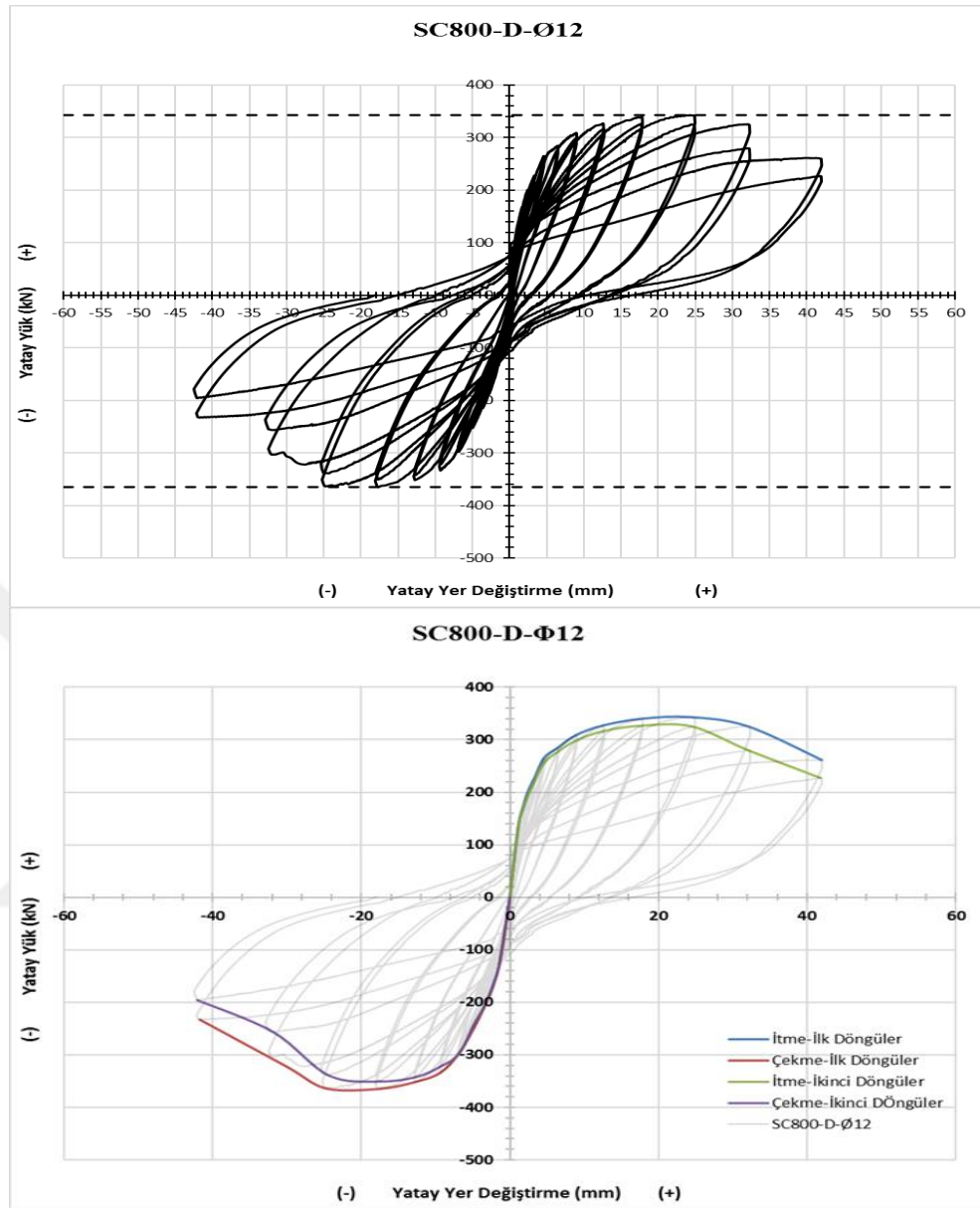


Şekil 3.5. SC800 D Ø10 Numunesine Ait Histeresis Grafiği ve Zarf Eğrisi

İlk çatlak başlangıcı 2. Döngüde B yüzünde 0.25h mertebesinde kesit ortasına kadar enine bir çatlakla başlamıştır. 6.döngüde itme yüzlerinde oluşan enine çatlaklar yan yüzlere devam ederek kesit içerisinde var olan verev donatıların hizasından temel seviyesine doğru eğik formda devam etmiştir. Ardından temel kolon birleşim bölgesindeki çatlak ile birleşerek ileriki döngülerde yalnızca çatlak genişliği artarak devam etmişlerdir. 21. döngüde kabuk betonu dökülmüş ve ardından gelen döngülerde kesit içerisindeki boyuna donatıların burkulduğu net bir biçimde görülmüştür. Donatının burkulmasıyla birlikte donatı bazında oluşan uzama ve kısaltmaların artmasıyla punto kaynağıyla birleştirilmiş verev donatılar yerlerinden sökülmüştür. Bundan dolayı 22. Döngüden sonra kesitteki verev donatı alanı azalmıştır. Verev donatısının boyuna donatıdan ayrılması ile yatay yükün düşmesi aynı döngü içerisinde olduğundan yük düşüşünün başlıca nedeni olarak verev donatı ayrılması olmuştur. 25. Çekme döngüsü esnasında kolonun DC köşesinde yer alan boyuna donatı 37mm civarında burkulma ve uzama ile yorulmaya bağlı kopma gerçekleşmiştir. 26. İtme döngüsünde ise BC ve BA köşesindeki boyuna donatıları kopmuştur. Çekme döngüsündeki D yüzü orta donatı ve DA köşe boyuna donatısı koparak kolon numunesinin 4 köşesindeki boyuna donatı ve D yüzündeki tüm donatılar yorulmaya bağlı olarak kopmuştur. Ardından numunenin yatay yük taşıma kapasitesi oldukça fazla bir miktarda düşmüştür. Bu oran %60 civarına kadar inmiştir. 26. Döngünün sonunda deneye son verilmiştir.

### 3.2.6 SC800 D Ø12

SC800 D Ø12 numunesinin etriye çapı 12mm ve etriye aralığı ise 150mm dir. Verev donatılar etriye aralıklarına 23 derece ile punto kaynağıyla yerleştirilmiştir. Kesme oranı 2'dir. Deney sonunda maksimum yatay yükleri, itmede +343.05KN, çekmede - 364.91KN'dur. Deney 24. Döngüde sonlandırılmıştır. Aşağıda Şekil 3.6'de SC800 D Ø12 numunesinin Histeresis grafiği verilmiştir.



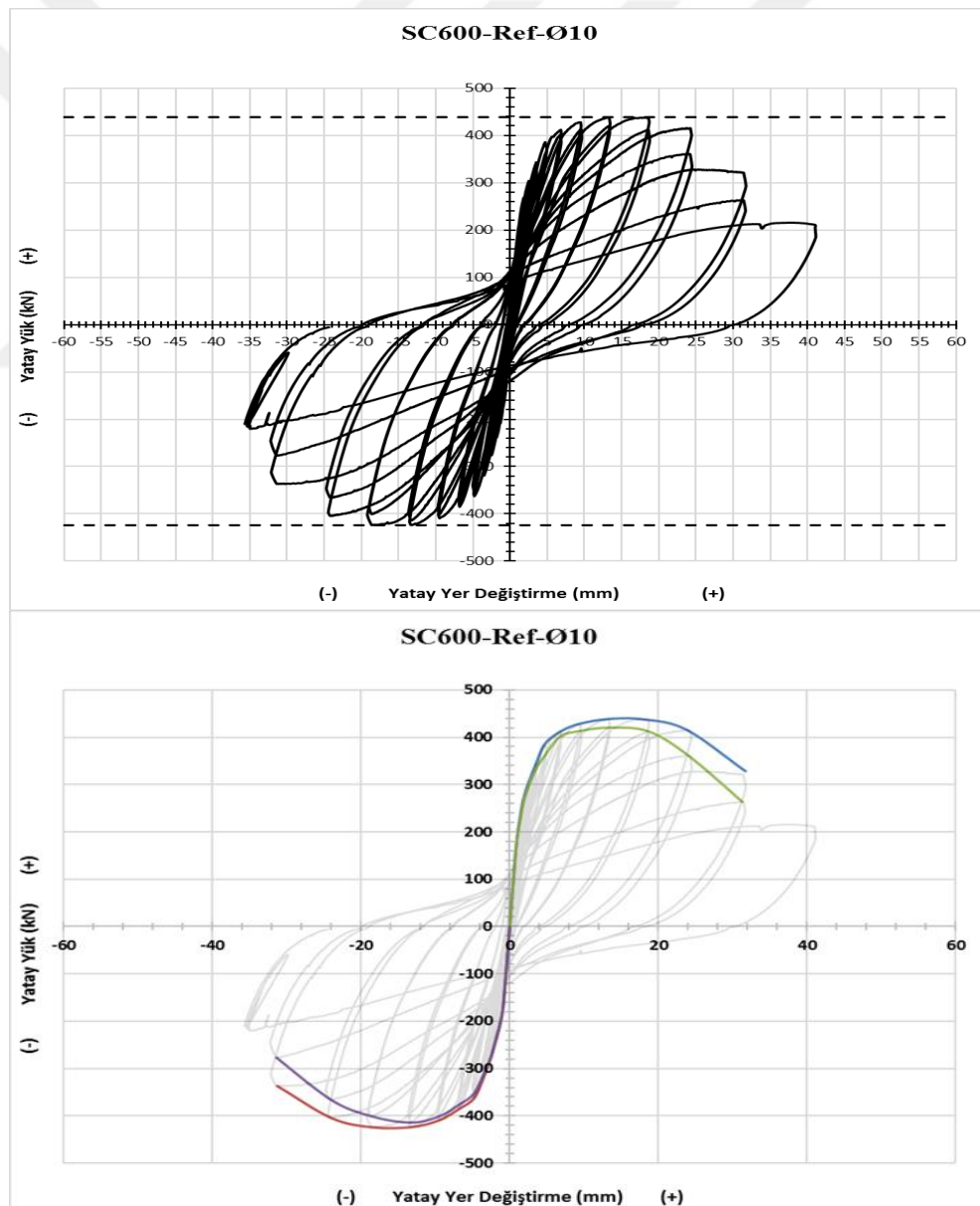
Şekil 3.6. SC800 D Ø12 Numunesine Ait Histeresis Grafiği ve Zarf Eğrisi

İlk çatlak gelişimi 2. İtme döngüsünde B yüzünde 0.25-0.5h aralığında verev donatıyı takip eder formunda gerçekleşmiştir. Ardından B ve D yüzlerinde temel kolon birleşim bölgelerinde kesit boyunca çatlak gelişimi oluşmuştur. 12. İtme döngüsünde B yüzünde 1-1.25h mertebeleri arasında verev donatıyı takip eden formda yeni bir çatlak gelişimi gözlemlenmiştir. 16. Döngüden itibaren temel kolon birleşim bölgesinde betonda ezilmeler gözlemlendi. 21. Döngüden itibaren de temel kolon birleşimindeki kabuk betonu 1h seviyesine kadar dökülmeye başlamıştır. 22. Döngüde verev donatılar kaynaklarından ayrılmaya başlamıştır. Bu döngüden sonra kısa kolon numunesinin

yatay yük taşıma kapasitesi önemi ölçüde düşmeye başlamıştır. Deneye 24. Döngü sonunda yatay yükteki azalma miktarı %66 seviyesine geldiğinde son verilmiştir.

### 3.2.7 SC600 Ref Ø10

SC600 Ref Ø10 numunesinin donatı detayları SC800 Ref Ø10 numunesi ile aynıdır. Bu numune için fark kesme oranının değişmesidir. Yatay yükü 600mm mertebesinde yüklenmesi ve kolon en kesiti boyutu da 400mm olduğundan SC600 numuneleri için kesme oranı 1.5 dir. Deney sonuçları, maksimum yatay yük değeri; itmede +438.63KN, çekmede -423.98KN'dur. Deney 26. Döngüde sonlandırılmıştır. Aşağıda Şekil 3.7'de SC600 Ref Ø10 numunesinin Histeresis grafiği verilmiştir.

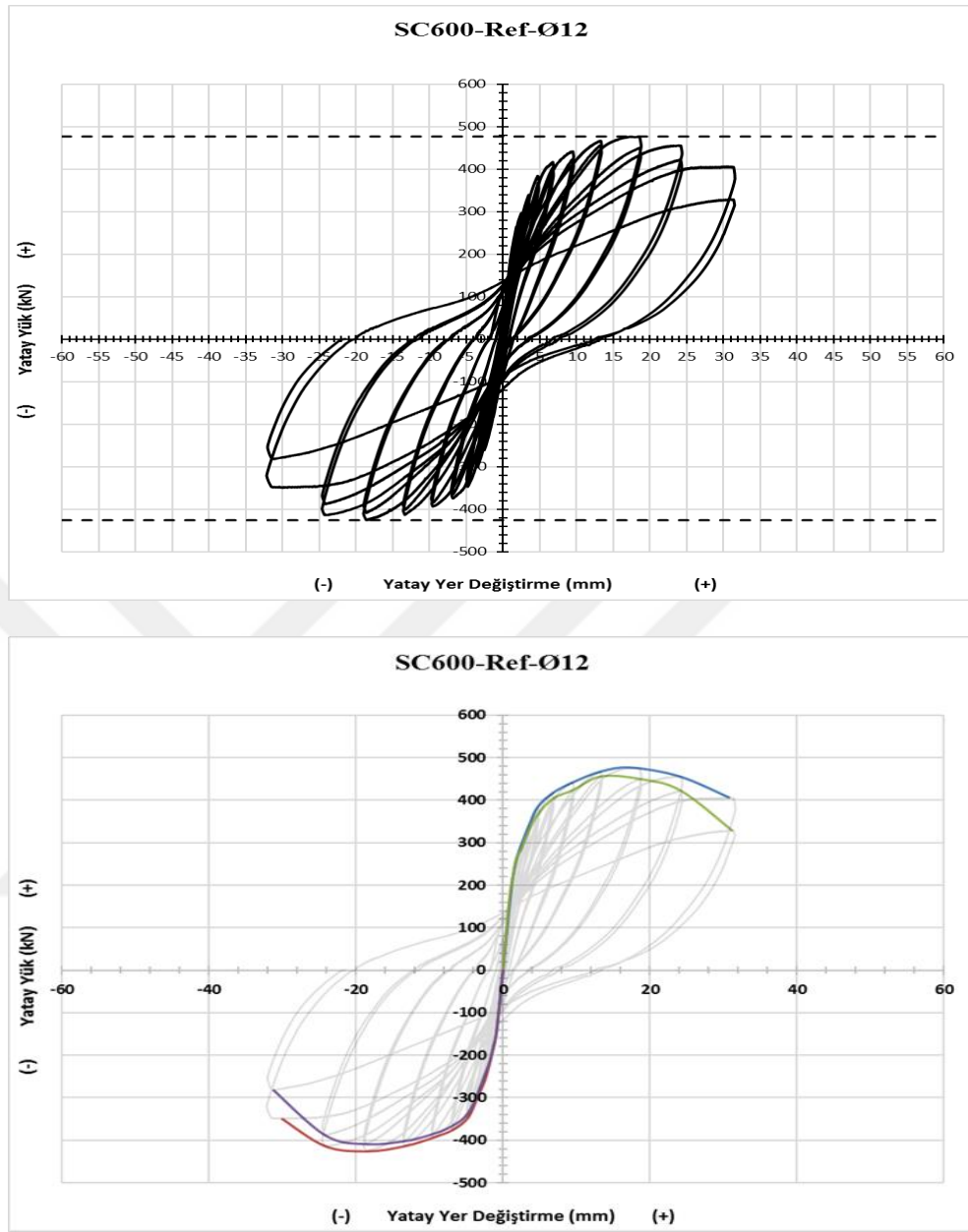


Şekil 3.7. SC600 Ref Ø10 Numunesine Ait Histeresis Grafiği ve Zarf Eğrisi

İlk çatlak gelişimi 3. Çekme döngüsünde D yüzünde kolon temel birleşiminde kesit boyunca enine formda gözlemlenmiştir. 4. Döngüde ise B yüzünde aynı çatlak simetrik olarak oluşmuştur. Ayrıca A ve C yan yüzlerinde  $0.5h$  mertebelerinde kesit ortasına kadar etriyeyi takip eden enine çatlaklar görülmüştür. 14. Döngünün itme ve çekmelerinden sonra B ve D yüzlerinin birleşim bölgesindeki betonda ezilmeler görülmüştür. 21. Döngüden itibaren burkulmalar gözlemlendi ve 24. Döngüden sonra deney sonlandırıldı.

### **3.2.8 SC600 Ref Ø12**

SC600 Ref Ø12 numunesinin donatı detayları SC800 Ref Ø12 numunesi ile aynıdır. Bu numune için fark kesme oranının değişmesidir. Yatay yükü 600mm mertebesinden yüklenmesi ve kolon en kesiti boyutu da 400mm olduğundan SC600 numuneleri için kesme oranı 1.5 dir. Deney sonuçları, maksimum yatay yük değeri; itmede +476.73KN, çekmede -426.07KN'dur. Deney 26. Döngüde sonlandırılmıştır. Aşağıda Şekil 3.8'de SC600 Ref Ø12 numunesinin Histeresis grafiği verilmiştir.

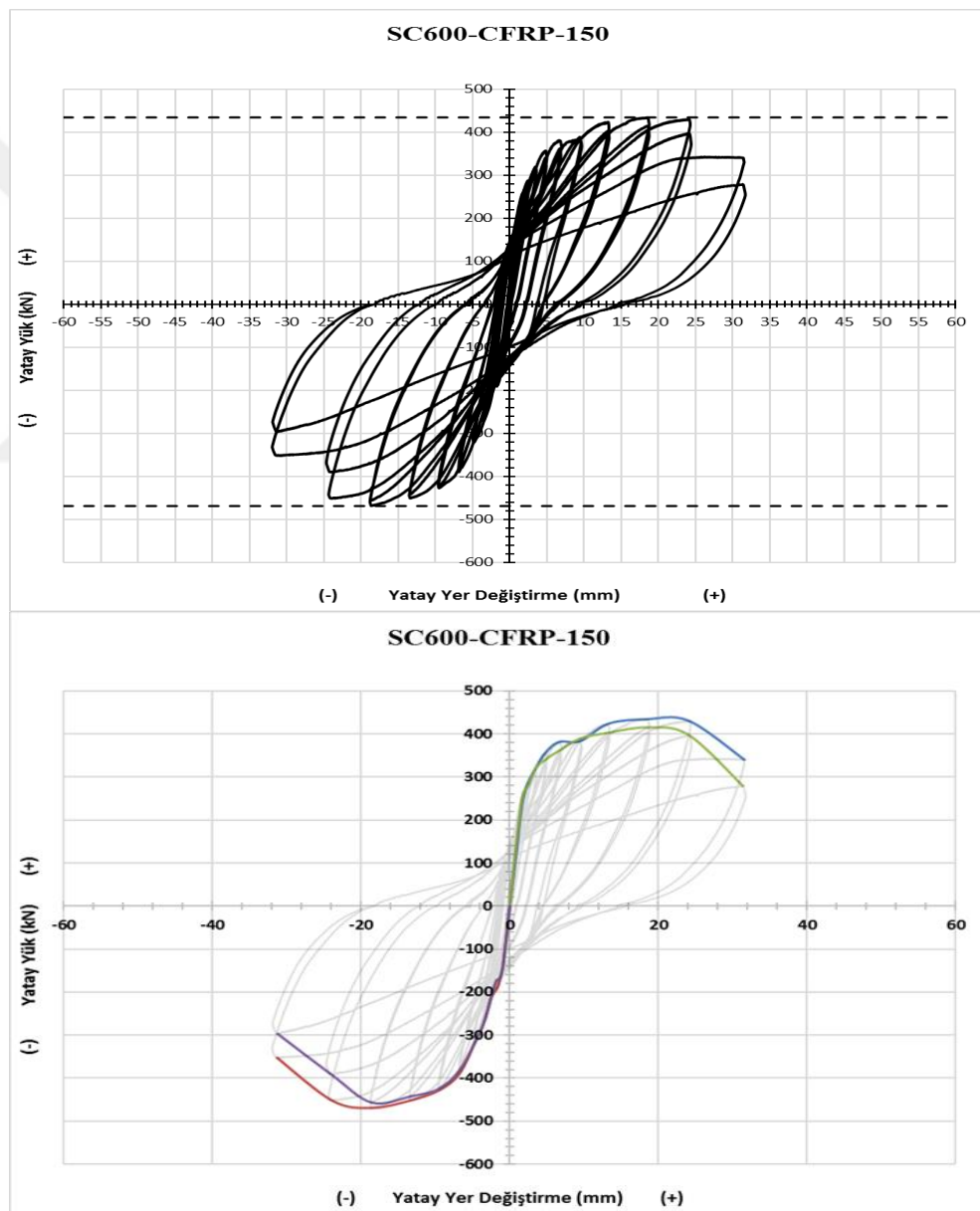


Şekil 3.8. SC600 Ref Ø12 Numunesine Ait Histeresis Grafiği ve Zarf Eğrisi

İlk çatlak gelişimi 4. İtme ve çekme döngülerinde kolon temel birleşim bölgesinde enine formda gözlemlenmiştir. 12. Döngüden itibaren B ve D yüzlerinde temel birleşim bölgesinde ezilmeler gözlemlenmeye başlanmıştır. 22. Döngüden itibaren beton kabuğunda dökülmeler başlamıştır. Ardından 23. İtme döngüsünde CD köşesindeki boyuna donatıda burkulma gözlemlenmiştir. Çekmede ise B yüzündeki tüm donatılarda burkulma görülmüş, 24. Döngüden sonra deney sonlandırılmıştır.

### 3.2.9 SC600 CFRP 150

SC600 CFRP 150 numunesinin donatı detayları SC800 CFRP 150 numunesi ile aynıdır. Bu numune için fark kesme oranının değişmesidir. Yatay yükü 600mm mertebesinde yüklenmesi ve kolon en kesiti boyutu da 400mm olduğundan SC600 numuneleri için kesme oranı 1.5 dir. Deney sonuçları, maksimum yatay yük değeri; itmede +434.29KN, çekmede -469.20KN'dur. Deney 24. Döngüde sonlandırılmıştır. Aşağıda Şekil 3.9'da SC600 CFRP 150 numunesinin Histeresis grafiği verilmiştir.

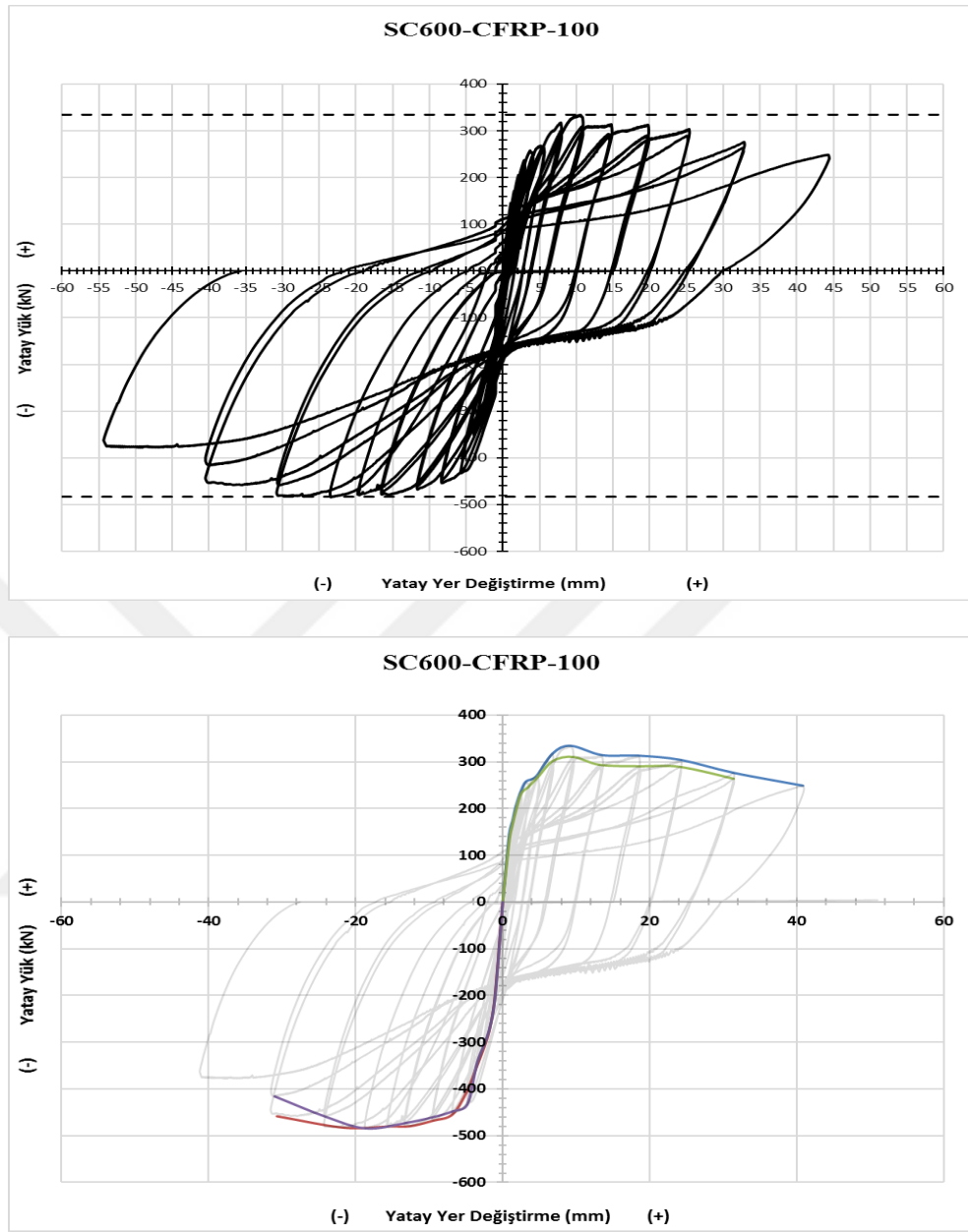


Şekil 3.9. SC600 CFRP 150 Numunesine Ait Histeresis Grafiği ve Zarf Eğrisi

Deneyde oluşan ilk çatlak 6. İtme döngüsünde 0.25-0.5h arasında kesit boyunca enine formda gözlemlendi. 12. Döngüden itibaren CFRP sargıları beton yüzünden ayrılmalar 1. Sargıdan itibaren başladı ve 2. Sargıda da ilerleyen döngülerde devam etti. Fakat bu ayrılmalar sargının çalışmasını engellememiştir. 22. Döngüye kadar çatlaklar genişlemeye devam etmiştir. Ardından B ve D yüzlerinde kabuk betonunda ayrılmalar gözlemlenmiştir fakat sargı kabuk betonunu tutmuştur.

### **3.2.10 SC600 CFRP 100**

SC600 CFRP 100 numunesinin donatı detayları SC800 CFRP 100 numunesi ile aynıdır. Bu numune için fark kesme oranının değişmesidir. Yatay yükü 600mm mertebesinde yüklenmesi ve kolon en kesiti boyutu da 400mm olduğundan SC600 numuneleri için kesme oranı 1.5 dir. Deney esnasında kısa kolon numunesinin temel kısmında oluşan çatlaklar, ileriki deplasman döngülerinde genişleyerek temel blokunda kırılmalar oluşturmuştur. Bu kırılmalar ile birlikte temel deplasmanı itme döngülerinde engellenememiş ve histeresinin + kısmındaki eğrinin bozulmasına sebep olmuştur. Deney sonuçları, maksimum yatay yük değeri; itmede +415.07KN, çekmede - 483.03KN'dur. Deney 25. Döngüde sonlandırılmıştır. Aşağıda Şekil 3.10'da SC600 CFRP 100 numunesinin Histeresis grafiği verilmiştir.

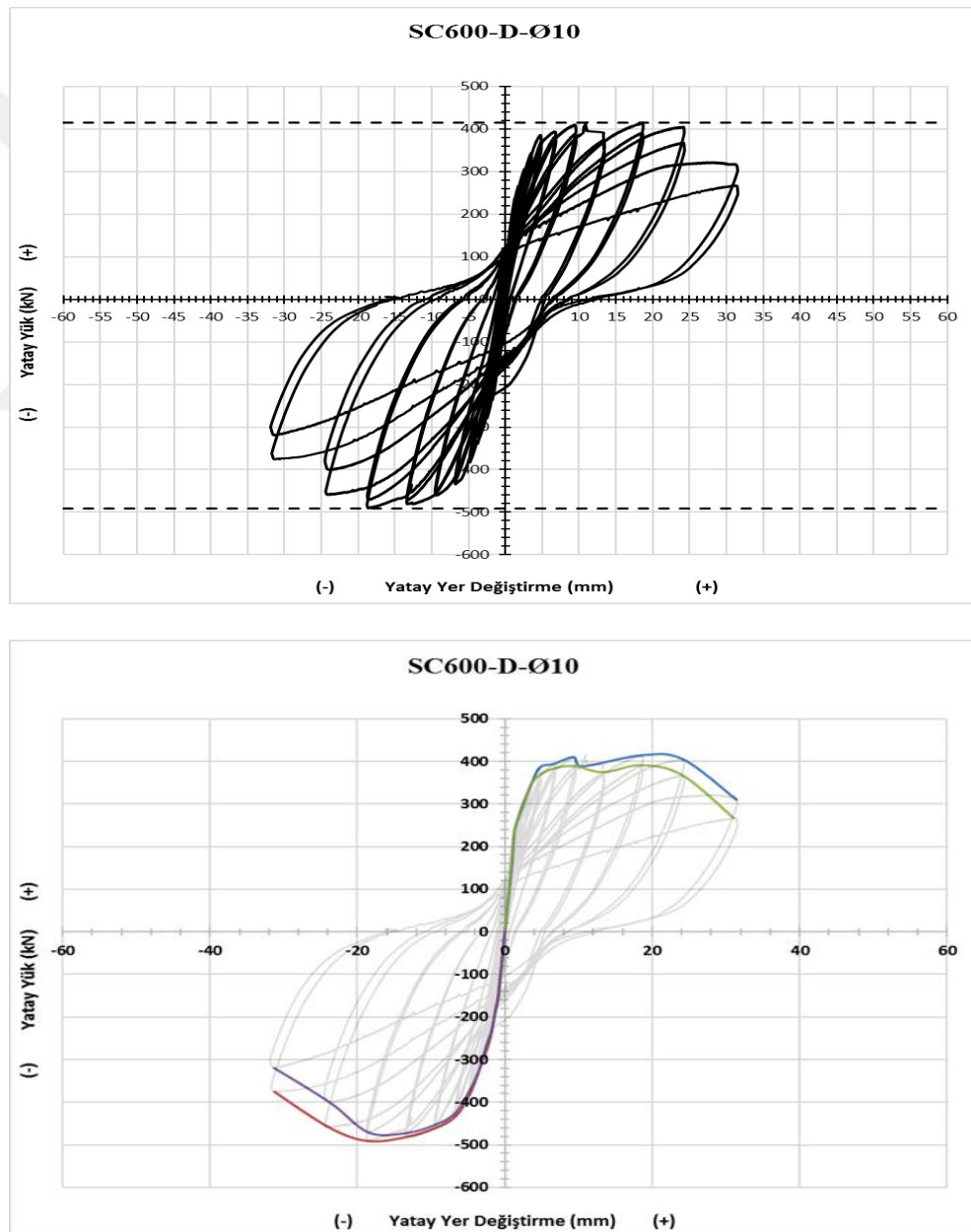


Şekil 3.10. SC600 CFRP 100 Numunesine Ait Histeresis Grafiği ve Zarf Eğrisi

Deney numunesi üzerinde gözlemlenen ilk çatlak 8. Döngüden itibaren başlamıştır. İtmede temel deplasmanı temelin tekrar tekrar sıkılmasına karşılık engellenememiştir. İtme döngülerinde oluşan grafik düzensizliği bundan kaynaklanmaktadır. Grafik değerlendirilirken çekme bölgesinin değerlendirilmesinde fayda vardır. 14. Döngüde yan yüzlerde 1 ve 2. Sargılar arasında eğik çatlaklar oluşmuştur. 22. Döngüden itibaren betondaki ezilmeler yerini kabuk ayrılmalarına bırakmıştır. 25. Döngünün çekmesi sonunda yatay yükün %77 mertebesine düşmesiyle deneye son verilmiştir.

### 3.2.11 SC600 D Ø10

SC600 D Ø10 numunesinin donatı detayları SC800 D Ø10 numunesi ile aynıdır. Bu numune için fark kesme oranının değişmesidir. Yatay yükü 600mm mertebesinde yüklenmesi ve kolon en kesiti boyutu da 400mm olduğundan SC600 numuneleri için kesme oranı 1.5 dir. Deney sonuçları, maksimum yatay yük değeri; itmede +414.64KN, çekmede -491.17KN'dur. Deney 26. Döngüde sonlandırılmıştır. Aşağıda Şekil 3.11'de SC600 D Ø10 numunesinin Histeresis grafiği verilmiştir.

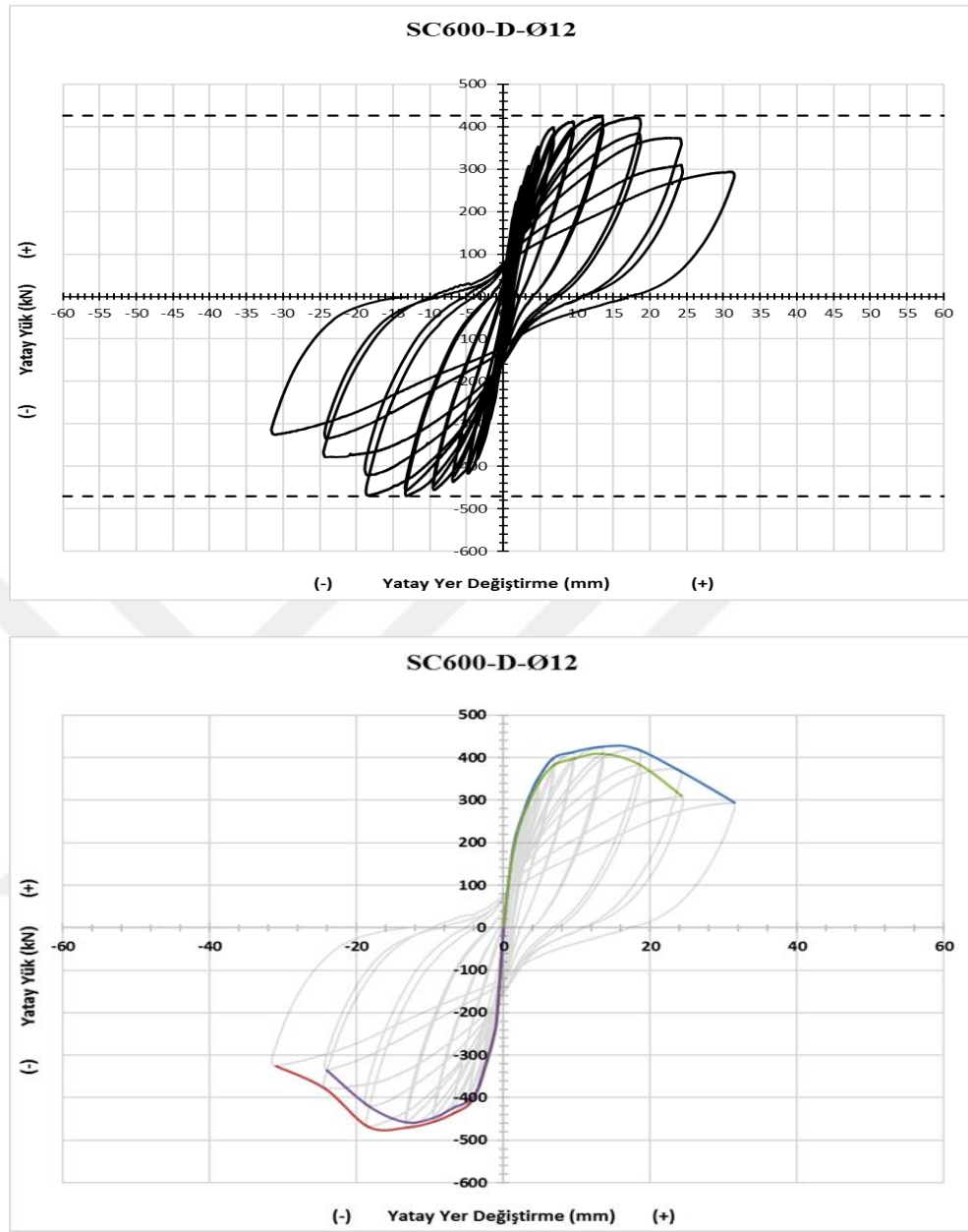


Şekil 3.11. SC600 D Ø10 Numunesine Ait Histeresis Grafiği ve Zarf Eğrisi

İlk çatlak gelişimi itmede 4. Döngüde B yüzünde eğik formda bir çatlakla başlamıştır. İtme çekme yüzlerinde oluşan çatlaklar yan yüzlere de eğik formda devam etmişlerdir. 8. Döngüden itibaren temel kolon birleşiminde çatlaklar gözlemlenmeye başlanmıştır. 12. Döngüden sonra çatlaklarda önemli ölçüde açılmalar gözlemlenmiştir. 16. Döngüden itibaren itme çekme yüzlerinde temel birleşim bölgesinde ezilmeler gözlemlenmiştir. 24. Döngüde yatay yük taşıma kapasitesinin aniden düşmesiyle deneye son verilmiştir.

### **3.2.12. SC600 D Ø12**

SC600 D Ø12 numunesinin donatı detayları SC800 D Ø12 numunesi ile aynıdır. Bu numune için fark kesme oranının değişmesidir. Yatay yükü 600mm mertebesinde yüklenmesi ve kolon en kesiti boyutu da 400mm olduğundan SC600 numuneleri için kesme oranı 1.5 dir. Deney sonuçları, maksimum yatay yük değeri; itmede +425.78KN, çekmede -470.14KN'dur. Deney 23. Döngüde sonlandırılmıştır. Aşağıda Şekil 3.12'de SC600 D Ø12 numunesinin Histeresis grafiği verilmiştir.



Şekil 3.12. SC600 D Ø12 Numunesine Ait Histeresis Grafiği ve Zarf Eğrisi

İlk çatlak gelişimi 2. Çekme döngüsünde D yüzünün C yüzüne yakın kısmında temelden başlayıp kesit ortasında  $0.25h$ 'a kadar ulaşan eğik bir çatlak ile başlamıştır. 12. Döngü içerisinde B yüzünde temel kolon birleşim bölgesinde ezilmeler gözlenmeye başlandı. 16. Döngüden itibaren temel birleşimi çatlak genişliği 3mm mertebesine yükselmiştir. 18. Çekme döngüsünde A yüzünde B yüzüne yakın köşede yaklaşık 200mm uzunluğunda boyuna bir çatlak gözlemlenmiştir. 19. Çekme döngüsünde 2 adet verev donatının kaynağından ayrılması belirlenmiş ve ardından gelen döngülerde yatay yükün

ani bir şekilde düşmesi durumu gözlenmiştir. Ardından yük düşmesi her ne kadar %70 seviyesine gelse de davranışın görülmesi için 22 ve 23. Döngüler de yapılmıştır.

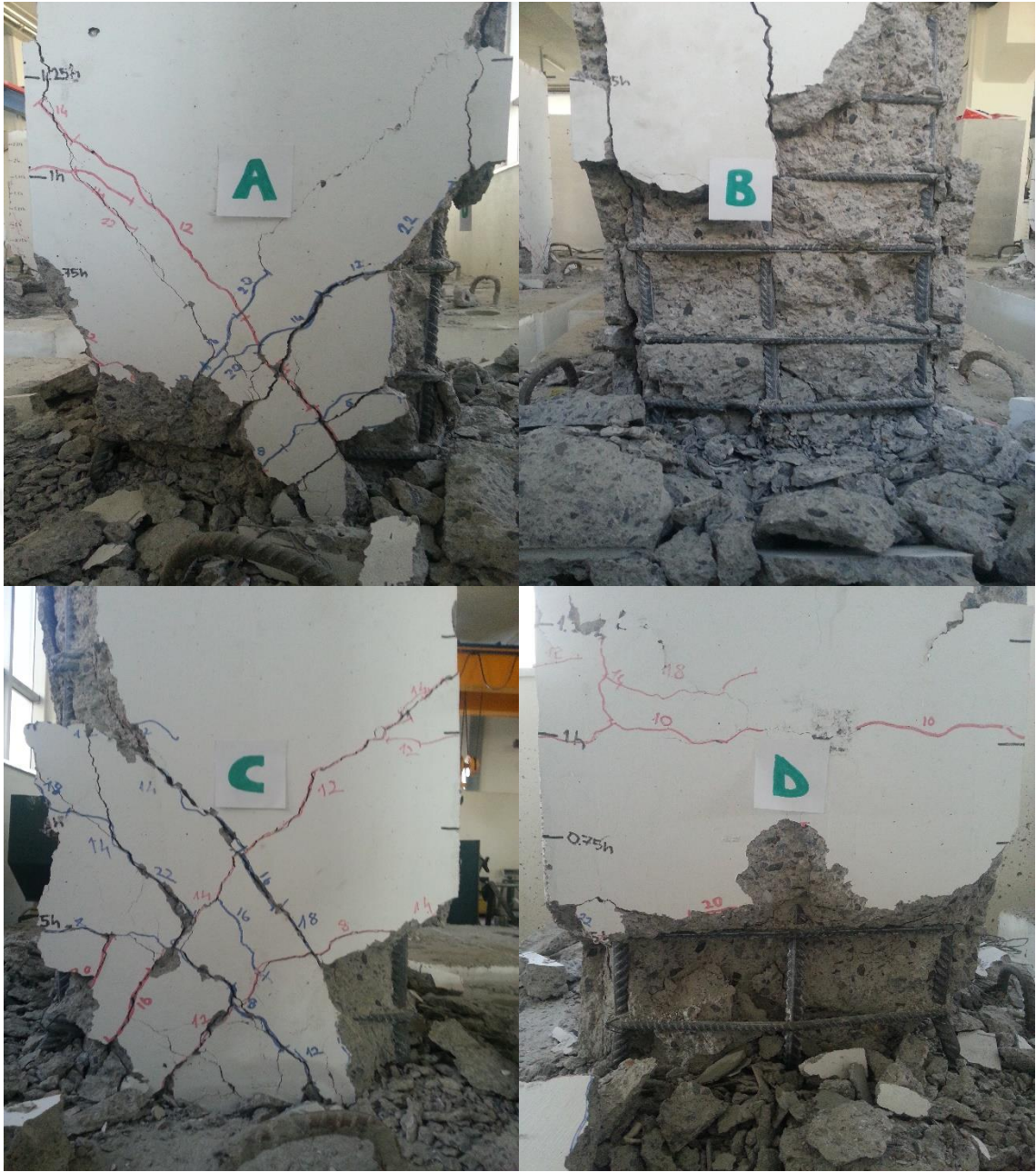
Yapılan deneyler sonucunda elde edilen Histeresis grafikleri ve numunelerin maksimum taşıdığı yatay yük miktarları başlıklar halinde verilmiştir. Tüm deneyler kendi kesme oranlarının bulunduğu setlerde deplasman kontrollü olarak yürütüldüğünden döngülerde ulaşılan yer değiştirme miktarları belirlidir. Bununla birlikte yer değiştirme miktarlarına karşılık gelen yatay yükler değişkenlik göstermektedir. Bu yatay yük değerleri her kesme oranı numuneleri kendi içinde değerlendirilerek karşılaştırılmalıdır. Yatay yükün verildiği yükseklik temel seviyesine yaklaştığında kesme oranı azaldığından numunenin maksimum tepe yükü de artmaktadır. Deney sonucunda oluşan maksimum tepe yükünün birlikte görülüp değerlendirilmesi amacıyla Tablo 3.1’de tüm numunelerin maksimum itme çekme yükleri verilmiştir.

SC800 ve SC600 serisi kolonların histeretik karakterleri temelde birbirlerine benzer olmakla birlikte, SC600 serisi kolonlarda adım başına yük artışı kesme oranının da etkisi ile daha hızlı gerçekleşmektedir. Daha küçük yer değiştirme mertebelerinde daha büyük yük tepkisinin oluşması, kolonların yatay yükü rijitlikleri ile karşılamaya çalıştığını dolayısıyla kesme hakim davranışa yöneldiğini göstermektedir. Bu noktadan hareketle, SC600 serisi kolonların tepe yükleri SC800 serisi kolonların tepe yüklerinden 80-100kN daha fazladır. Tepe noktasından sonra yükün azalma eğilimi de SC600 serisi kolonlarda daha hızlıdır. Bu durum daha sivri bir tepe noktası oluşmasını, dayanımın da kesme oranının azalması ile daha hızlı kaybedildiğini göstermektedir.

Tablo 3.1. Tüm Numunelerin Maksimum İtme Çekme Yükleri ve Ortalamaları

| Numune       | Kesme Oranı | İtme Maksimum Yük (KN) | Çekme Maksimum Yük (KN) | İtme Çekme Ortalama |
|--------------|-------------|------------------------|-------------------------|---------------------|
| SC800RefØ10  | 2           | 365.07                 | 334.69                  | 349.88              |
| SC800RefØ12  | 2           | 344.97                 | 270.50                  | 307.74              |
| SC800CFRP150 | 2           | 349.32                 | 367.83                  | 358.58              |
| SC800CFRP100 | 2           | 399.78                 | 374.73                  | 387.26              |
| SC800DØ10    | 2           | 378.35                 | 362.95                  | 370.65              |
| SC800DØ12    | 2           | 343.05                 | 364.91                  | 353.98              |
| SC600RefØ10  | 1.5         | 438.63                 | 423.98                  | 431.31              |
| SC600RefØ12  | 1.5         | 476.73                 | 426.07                  | 451.40              |
| SC600CFRP150 | 1.5         | 434.29                 | 469.20                  | 451.75              |
| SC600CFRP100 | 1.5         | 415.07                 | 483.03                  | 449.05              |
| SC600DØ10    | 1.5         | 491.17                 | 414.64                  | 452.91              |
| SC600DØ12    | 1.5         | 425.78                 | 470.14                  | 447.96              |

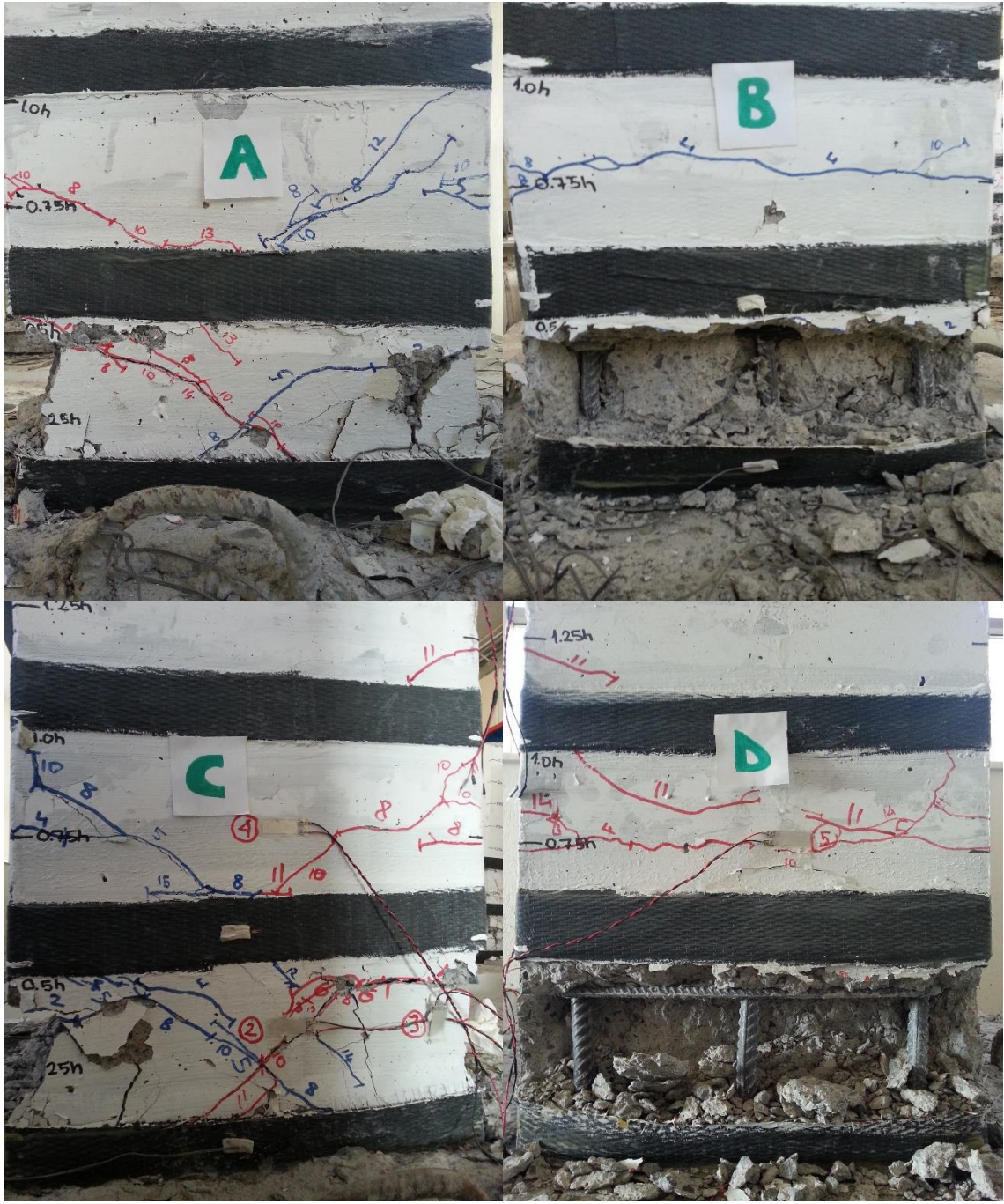
Tablo 3.1’de de görüldüğü üzere kesme oranı 2 olan numuneler içerisinde en büyük itme çekme yükleri SC800 CFRP 100 numunesine aittir. Kesme oranı 1.5 olan numuneler içerisinde ise en büyük tepe yüküne sahip kısa kolon numunesi SC600DØ10 numunesidir. Deneyler sonrasında betonarme kısa kolonların her yüzünden ayrı ayrı alınan görseller Şekil 3.13 - 3.24’de verilmektedir.



Şekil 3.13. SC800 Ref Ø10 Numunesinin Deney Sonu Fotoğrafları



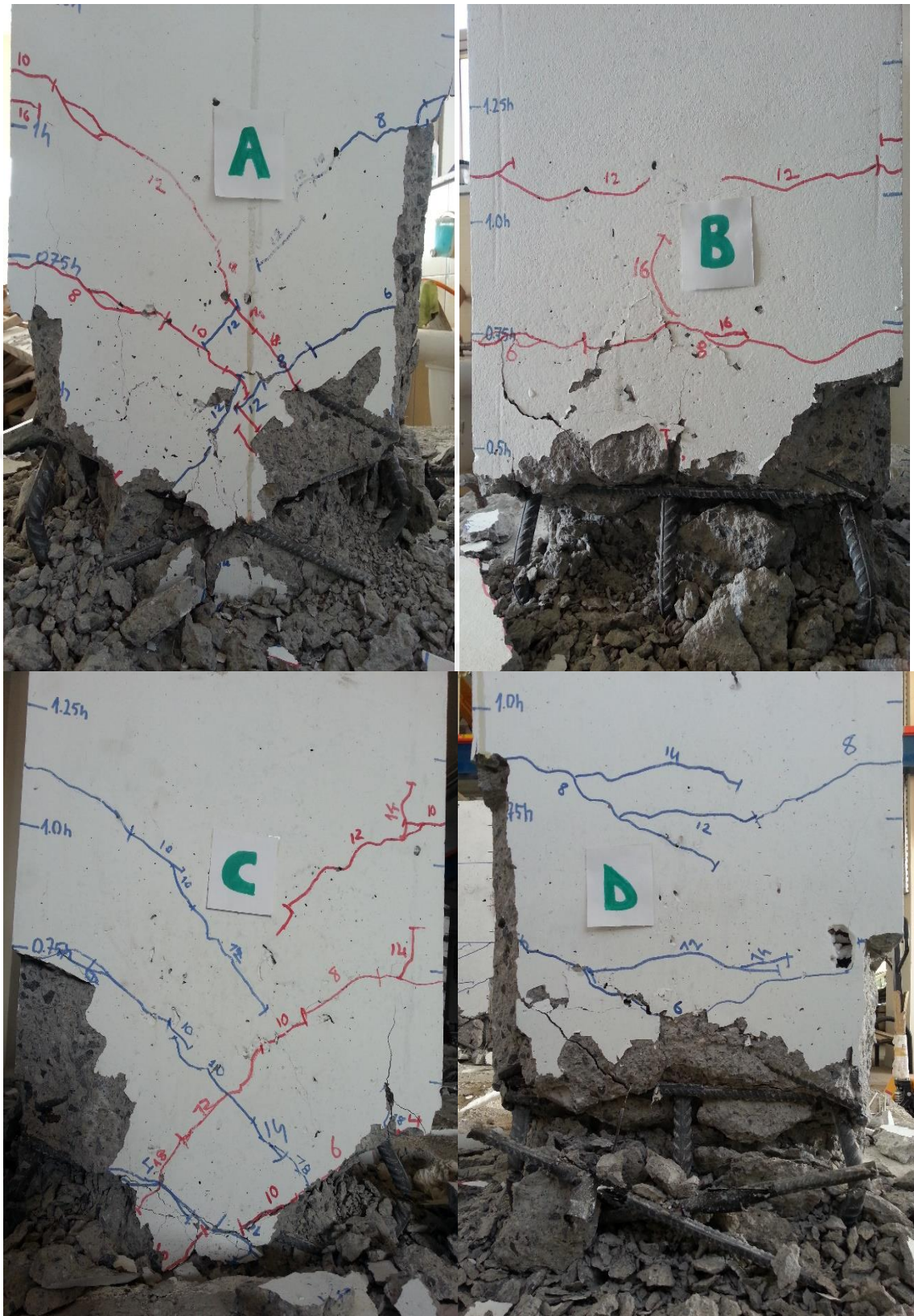
Şekil 3.14. SC800 Ref Ø12 Numunesinin Deney Sonu Fotoğrafları



Şekil 3.15. SC800 CFRP 150 Numunesinin Deney Sonu Fotoğrafları

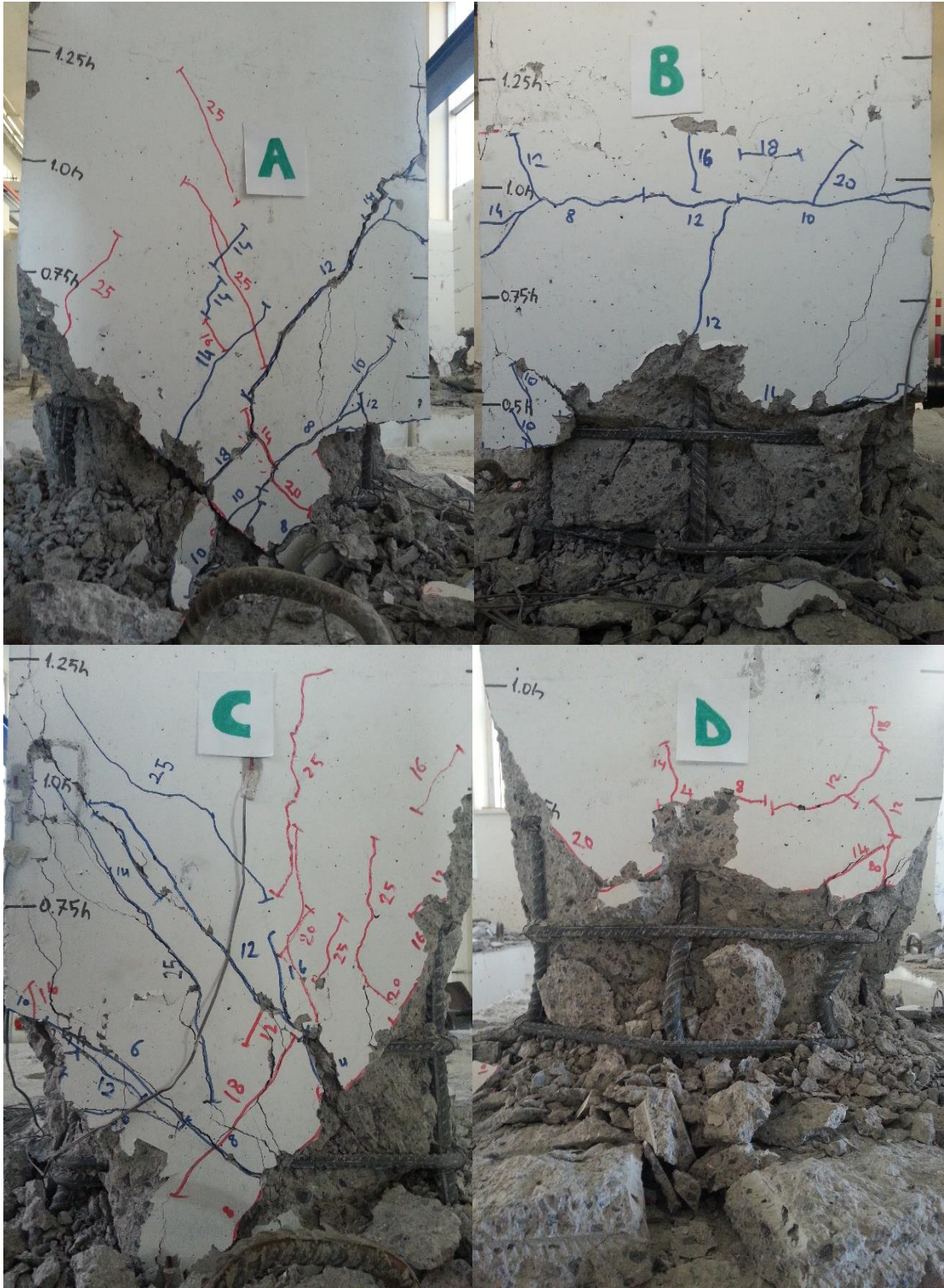


Şekil 3.16. SC800 CFRP 100 Numunesinin Deney Sonu Fotoğrafları

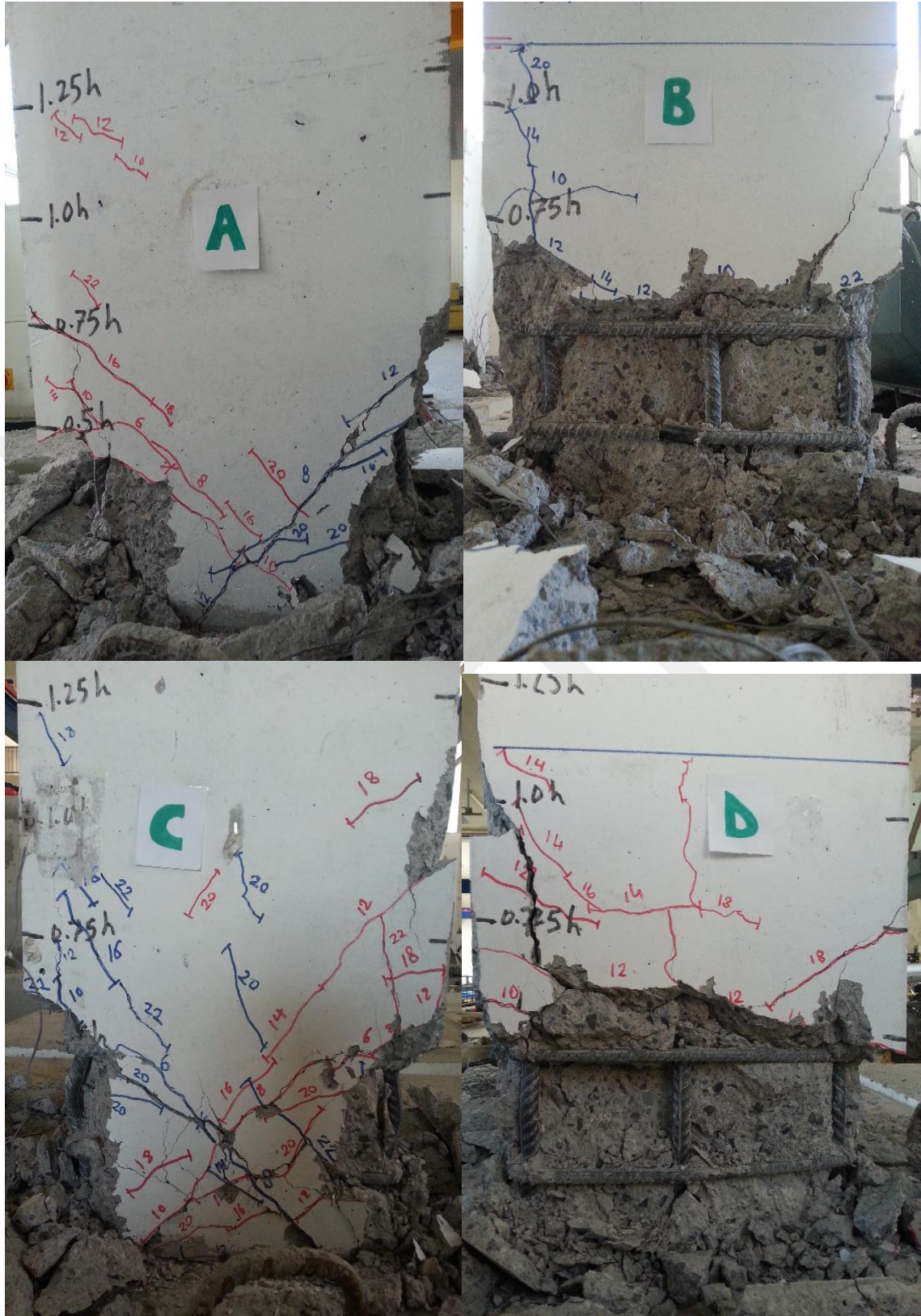


Şekil 3.17. SC800 D Ø10 Numunesinin Deney Sonu Fotoğrafları

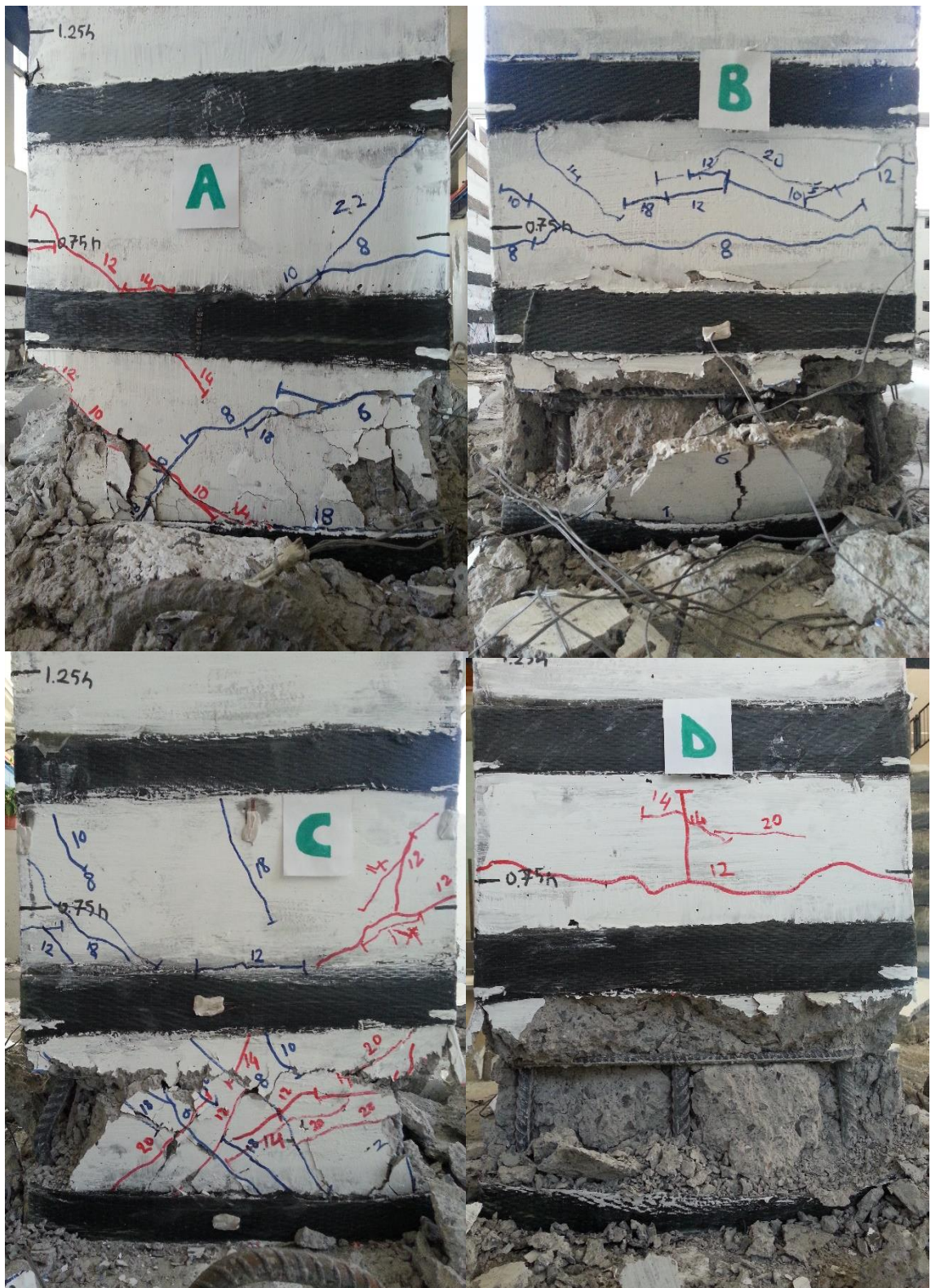




Şekil 3.19. SC600 Ref Ø10 Numunesinin Deney Sonu Fotoğrafları

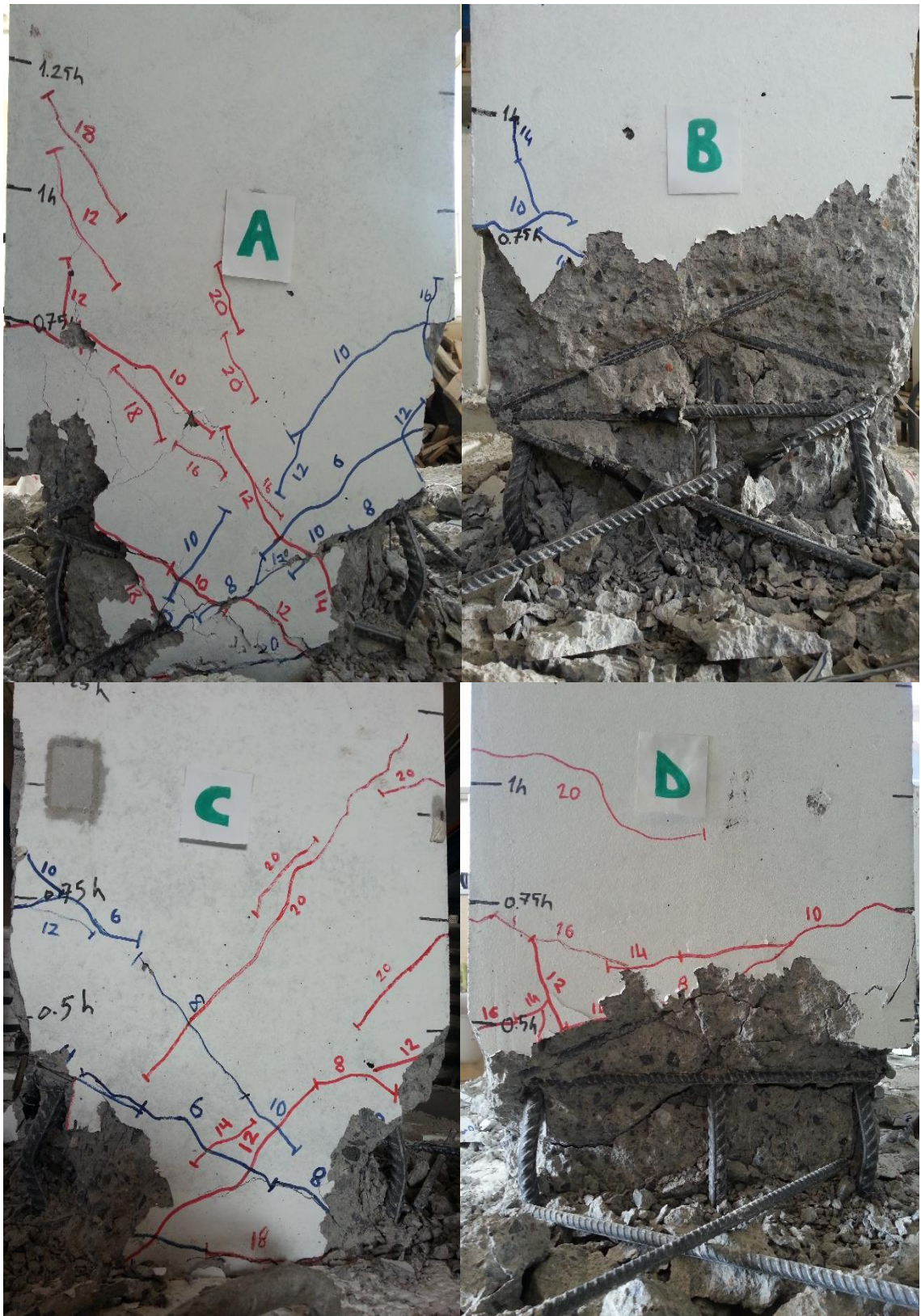


Şekil 3.20. SC600 Ref Ø12 Numunesinin Deney Sonu Fotoğrafları

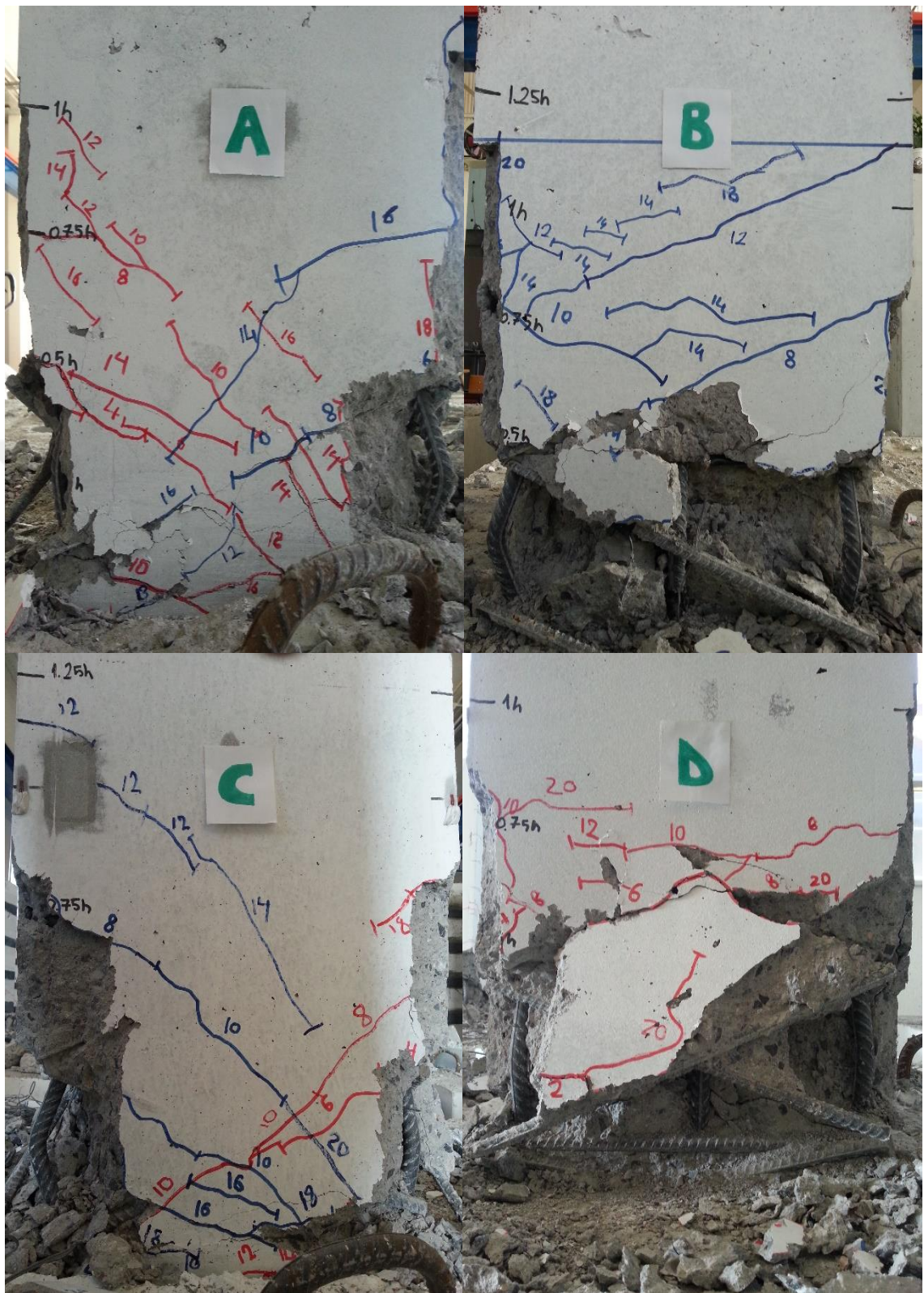


Şekil 3.21. SC600 CFRP 150 Numunesinin Deney Sonu Fotoğrafları





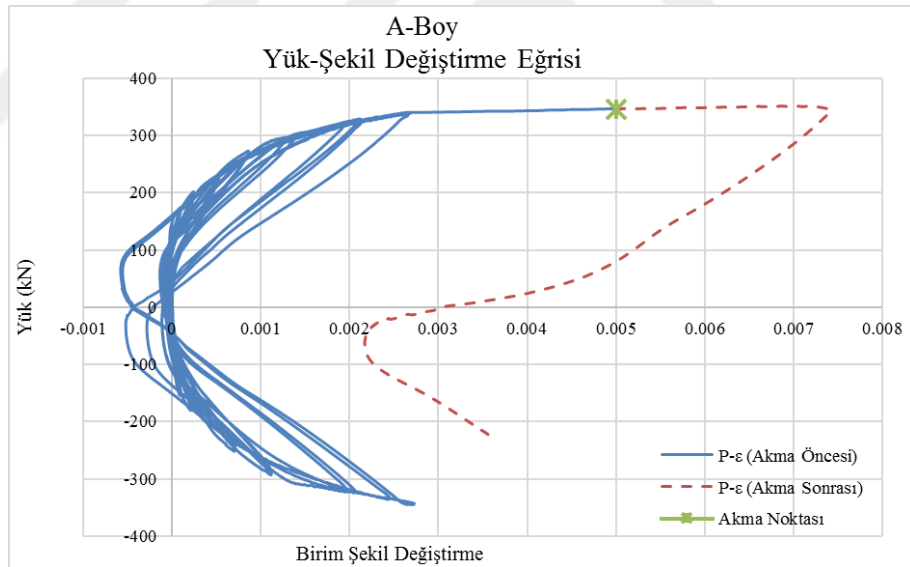
Şekil 3.23. SC600 D Ø10 Numunesinin Deney Sonu Fotoğrafları



Şekil 3.24. SC600 D Ø12 Numunesinin Deney Sonu Fotoğrafları

### 3.3 Yer Değiştirme Düktilitesi

Düktilite kavramı, yapının ya da daha basit düşünüldüğünde yapı içerisindeki herhangi bir elemanın deprem esnasında yatay yük taşıma kapasitesinde önemli derecede bir düşme olmadan yaptığı yatay deplasman kabiliyeti olarak açıklanabilir. Bu kavram yapıları veya yapı elemanlarını yatay yük etkisi altında lineer ötesi davranışlarda performanslarının değerlendirilmesi amacıyla bakılabilecek çok önemli bir kavramdır. Yer değiştirme düktilitesi, lineer ötesi yapı davranışının performansını gösterdiğinden bu parametrenin bulunması aşamasında donatının akmasından (Strain-gage'den belirlenen) yapı yatay yük taşıma kapasitesinin %80'ine düştüğü aralıkta hesaplanır. Donatıların akmaya başladığı döngünün belirlenmesi için strain gage grafikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Aşağıda örnek olarak donatının akma anındaki strain gage grafik değişimi Şekil 3.25'de verilmiştir. Tüm Strain gage grafikleri Ekler kısmında sunulmuştur.



Şekil 3.25. Örnek Bir Donatının Akma Anındaki Strain Gage Değişimi Grafiği

Burada yer değiştirme düktilitesi ( $\mu$ ), yapının göçme moduna geldiği andaki yer değiştirme mesafesinin ( $\Delta_u$ ) yapının elastik ötesi harekete başladığı yani donatının aktığı andaki yatay yer değiştirme miktarına ( $\Delta_y$ ) oranıyla elde edilmektedir. Bu formül (3.1)'de verilmektedir.

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (3.1)$$

Yer değiştirme düktilitesi numuneler için ayrı ayrı verilmeyip tablo halinde hepsi birden verilecektir. Böylelikle hem numuneler arasındaki düktilite kıyaslaması yapılmış olacak hem de tek seferde tüm datalara ulaşılmış olacaktır. Ayrıca deneysel aşamada döngüler çift çevrim halinde yapıldığından her döngü içerisindeki ikinci döngülerin de düktilitesi verilecektir. Bu veriler aşağıda Tablo 3.2’de verilmektedir.

Tablo 3.2. Tüm Numunelerin Yer Değiştirme Düktiliteleri ve Ortalamaları

| Numune       | Kesme Oranı | İtme İlk Döngü ( $\mu$ ) | Çekme İlk Döngü ( $\mu$ ) | İtme İkinci Döngü ( $\mu$ ) | Çekme İkinci Döngü ( $\mu$ ) | İlk Döngülerin Ortalaması | İkinci Döngülerin Ortalaması |
|--------------|-------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| SC800RefØ10  | 2           | 7.6326                   | 5.1325                    | 7.6225                      | 5.1455                       | 6.3826                    | 6.3840                       |
| SC800RefØ12  | 2           | 4.1763                   | 4.5367                    | 3.2864                      | 3.1533                       | 4.3565                    | 3.2199                       |
| SC800CFRP150 | 2           | 8.3144                   | 7.2626                    | 9.1797                      | 6.5754                       | 7.7885                    | 7.8776                       |
| SC800CFRP100 | 2           | 5.5369                   | 4.7438                    | 6.8881                      | 5.6861                       | 5.1404                    | 6.2871                       |
| SC800DØ10    | 2           | 8.1800                   | 5.3140                    | 9.5375                      | 5.4166                       | 6.7470                    | 7.4771                       |
| SC800DØ12    | 2           | 9.0484                   | 6.5807                    | 9.7721                      | 5.0903                       | 7.8146                    | 7.4312                       |
| SC600RefØ10  | 1.5         | 9.5661                   | 7.0888                    | 9.3274                      | 7.7369                       | 8.3275                    | 8.5322                       |
| SC600RefØ12  | 1.5         | 7.0840                   | 6.8479                    | 7.6229                      | 7.0037                       | 6.9660                    | 7.3133                       |
| SC600CFRP150 | 1.5         | 8.3140                   | 5.0805                    | 9.4997                      | 3.8718                       | 6.6973                    | 6.6858                       |
| SC600CFRP100 | 1.5         | 8.3043                   | 4.9133                    | 6.5826                      | 6.2297                       | 6.6088                    | 6.4062                       |
| SC600DØ10    | 1.5         | 6.7627                   | 5.5458                    | 6.5989                      | 4.1384                       | 6.1543                    | 5.3687                       |
| SC600DØ12    | 1.5         | 5.4785                   | 7.6367                    | 5.5137                      | 7.0730                       | 6.5576                    | 6.2934                       |

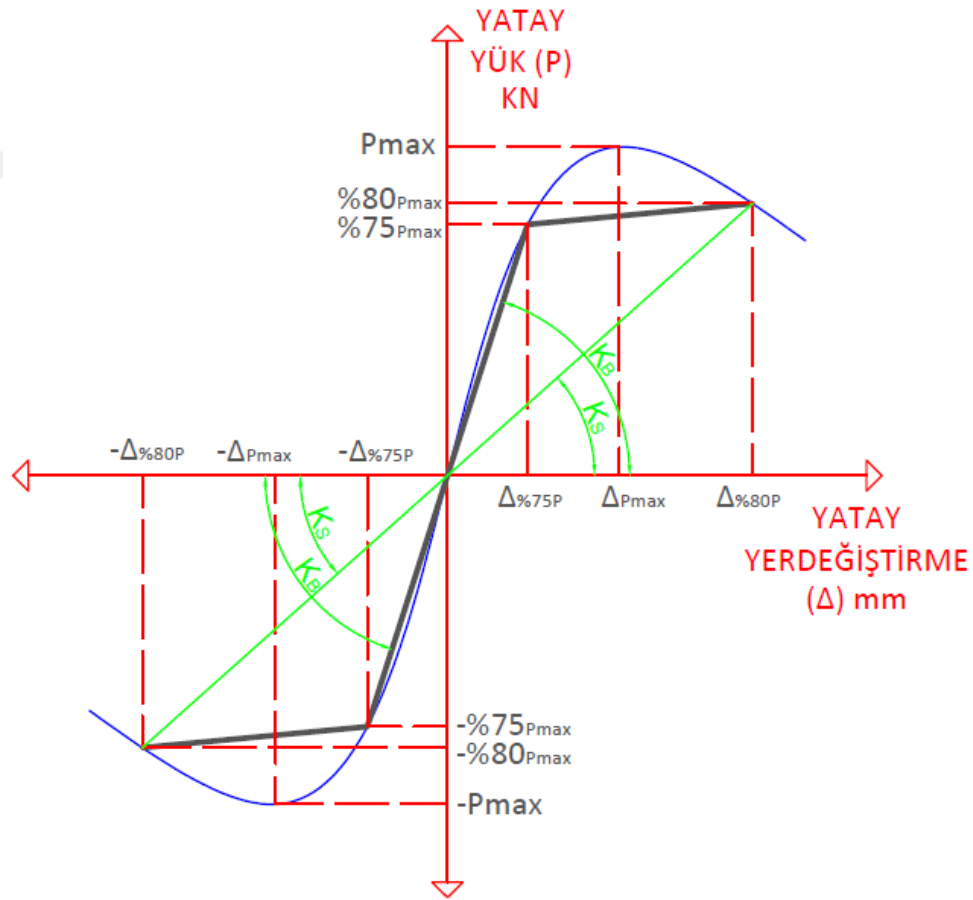
Deney sonuçları yer değiştirme düktilitesi bakımından kıyaslandığında kesme oranı 2 olan numuneler arasındaki maksimum düktiliteye sahip olan kısa kolon deney numunesi SC800 D Ø12’dir. Kesme oranı 1.5 olan numuneler kendi aralarında yer değiştirme düktilitesi bakımından kıyaslandığında ise maksimum düktiliteye sahip kısa kolon numunesi SC600 Ref Ø10 olarak belirlenmiştir.

Yer değiştirme düktilitesini oluşturan parametreler yatay yükün %80 seviyesine düşene kadarki deplasman miktarı ve numunenin akmaya başladığı yüke kadarki deplasman miktarı olduğundan numunelerin %80 yük düşüşünün hangi döngüde gerçekteştiği büyük önem arz etmektedir. Dolayısıyla numune ne kadar fazla döngü ile deneyi tamamlar ise o kadar büyük bir düktilite oranına sahip olacaktır.

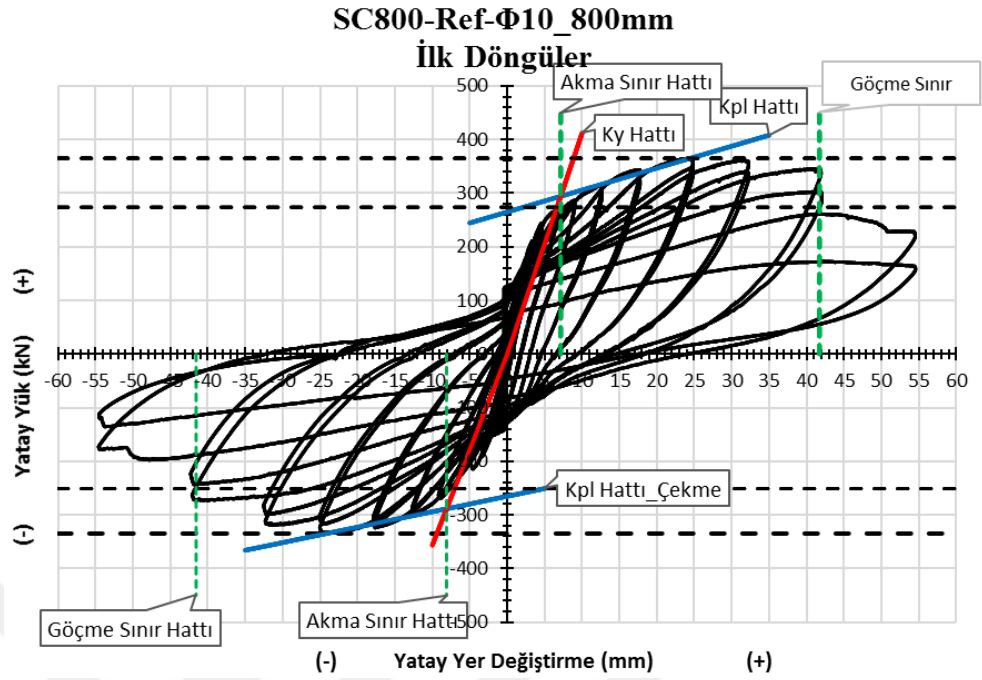
Bundan dolayı tüm numuneler için %80 yatay yük azalması durumuna kadar, ne kadar fazla döngü yapıyor ise o kadar düktil bir davranış sergilemiş olacaktır.

### 3.4 Başlangıç Ve Sekant Rijitlikleri

3. bölümün genel girişinin yapıldığı kısımda da bahsedildiği gibi başlangıç ve sekant rijitliklerinin saptanması için histeresis grafiğinin her döngüsündeki tepe noktalarının birleşiminden oluşan bir zarf eğrisi üzerinde idealleştirilmiş iki doğrudan oluşan idealize zarf eğrisinin ilk kısmının eğimi başlangıç rijitliğini verir. Orjinden zarf eğrisinin bittiği yani yatay yükün %80 seviyesine düştüğü noktaya çizilen doğrunun eğimi de sekant rijitliğini vermektedir. Deneysel aşamada uygulanan yükleme protokolü gereği çift çevrim yapılan her döngünün ilk ve ikinci kısımları için ayrı ayrı başlangıç ve sekant rijitlikleri bulunarak incelenmelidir. Yapılacak incelemeler numunelerin zarf eğrisi üzerinde yapılacağından tüm numunelere ait zarf eğrileri verilmelidir. Aşağıda başlangıç ve sekant rijitliklerinin gösterildiği örnek bir zarf eğrisi Şekil 3.26 ve Şekil 3.27.'de verilmektedir.

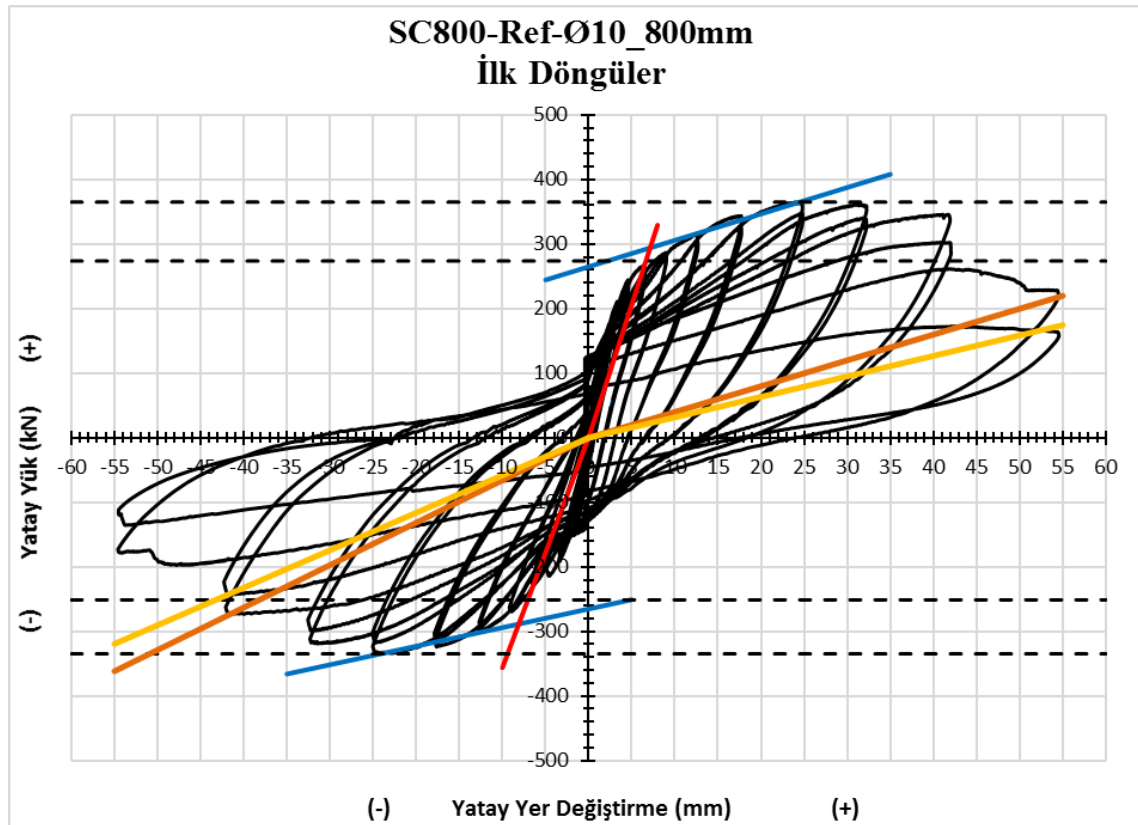


Şekil 3.26. Örnek Bir Zarf Eğrisinin İdealize Edilmiş Doğru Halinden Başlangıç ve Sekant Rijitliklerinin Gösterimi

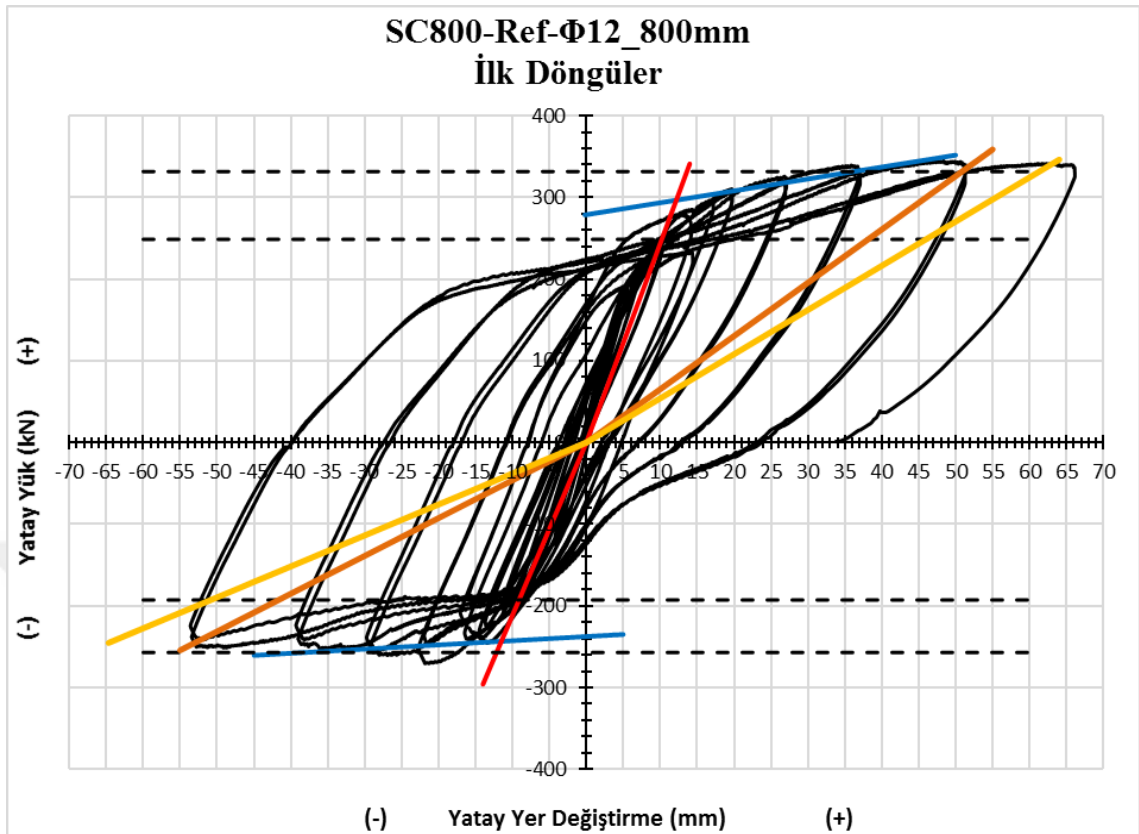


Şekil 3.27. Başlangıç ve Sekant Rijitliklerinin Grafik Üzerinden Tarifi

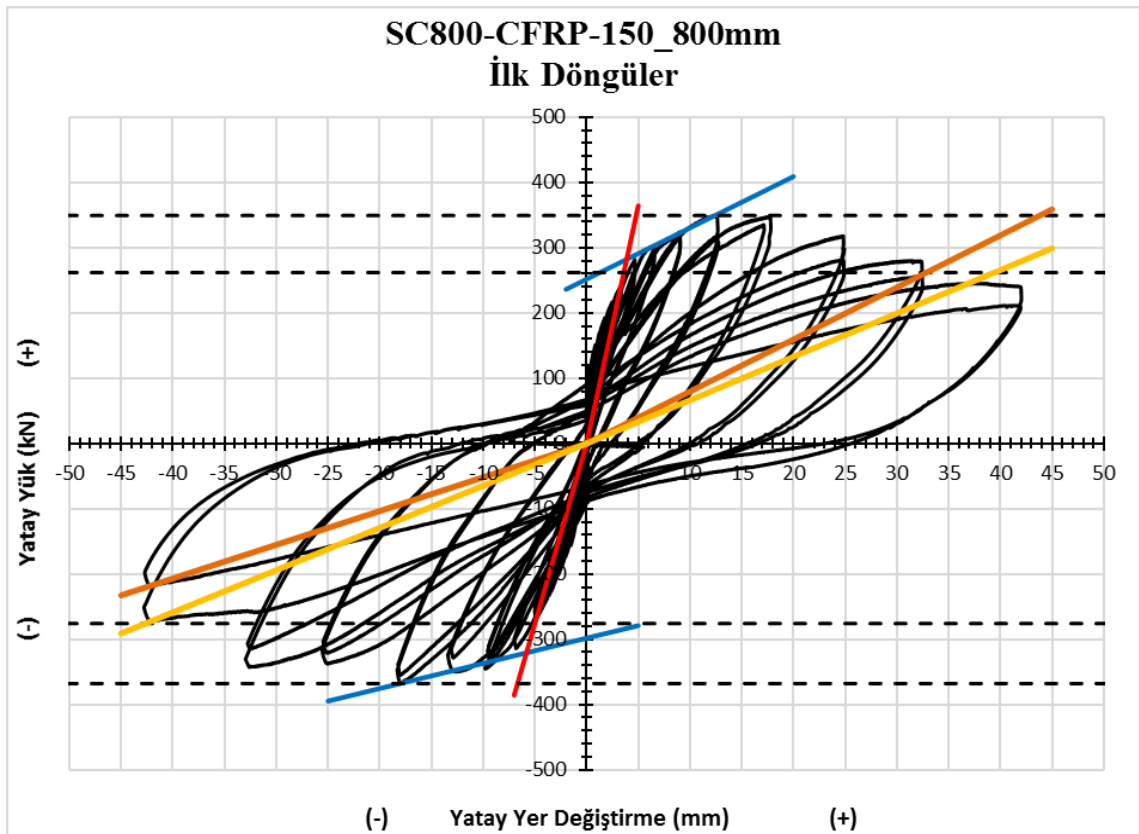
Diğer numunelere ait başlangıç ve sekant rijitliklerinin gösterildiği grafikler aşağıda Şekil 3.28-39’de verilmiştir.



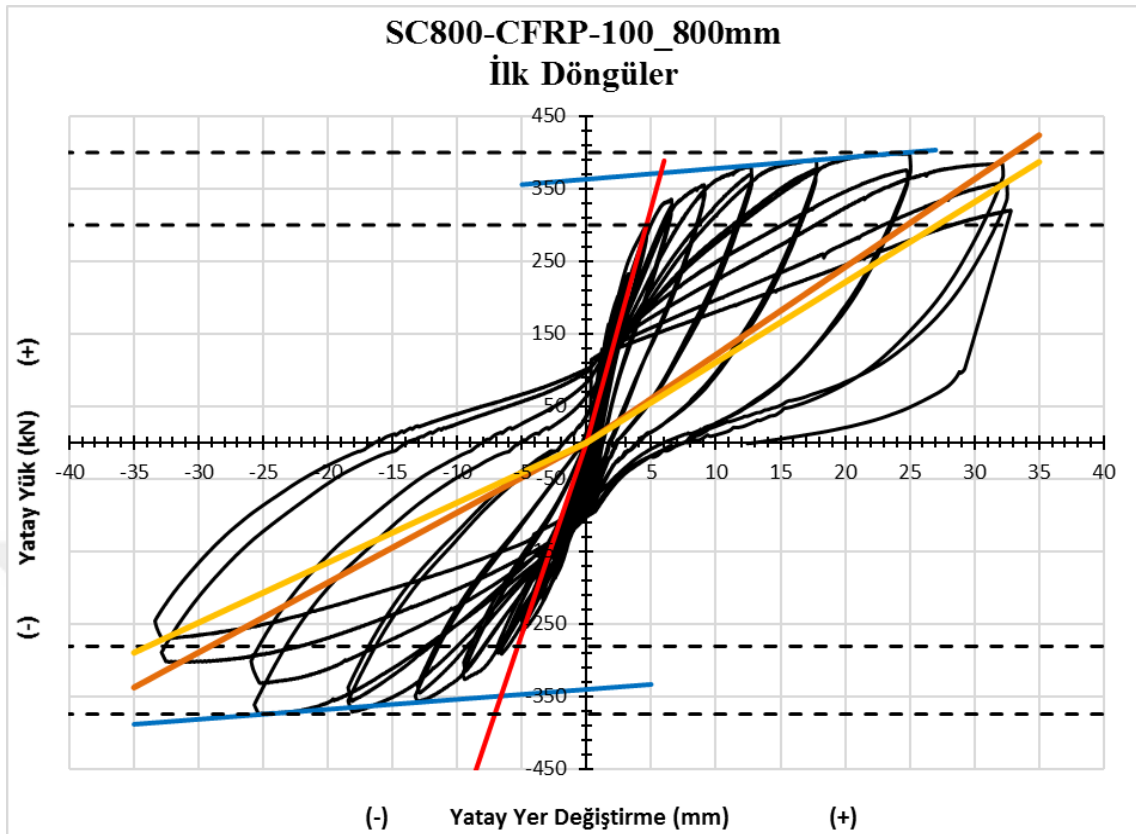
Şekil 3.28. SC800 Ref  $\Phi$ 10 Ky – Ks Grafiği



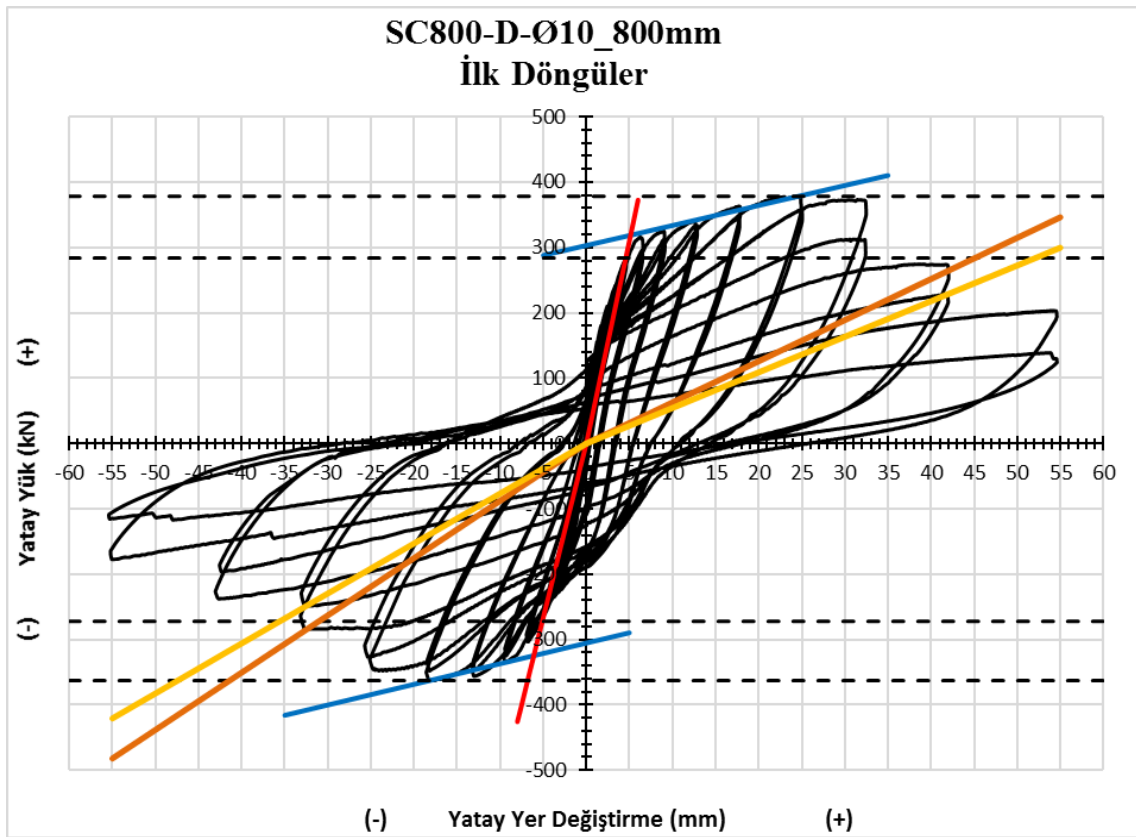
Şekil 3.29. SC800 Ref Ø12 Ky – Ks Grafiği



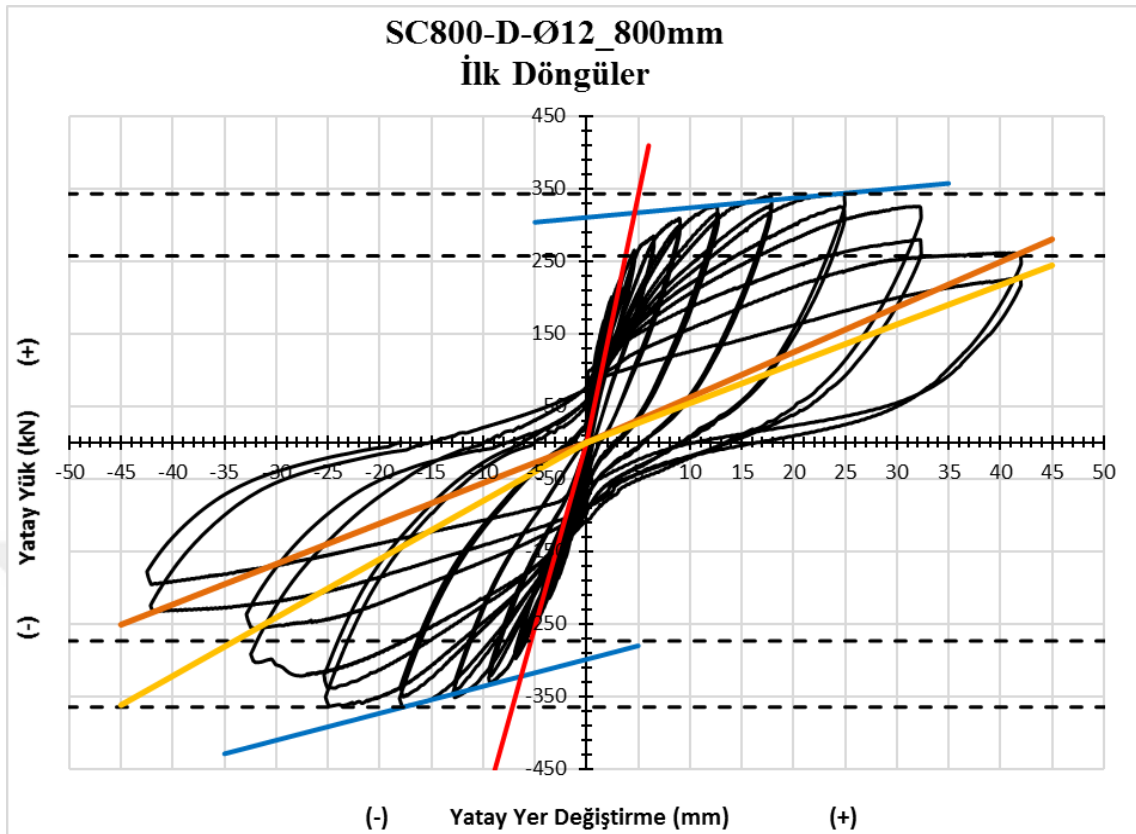
Şekil 3.30. SC800 CFRP 150 Ky – Ks Grafiği



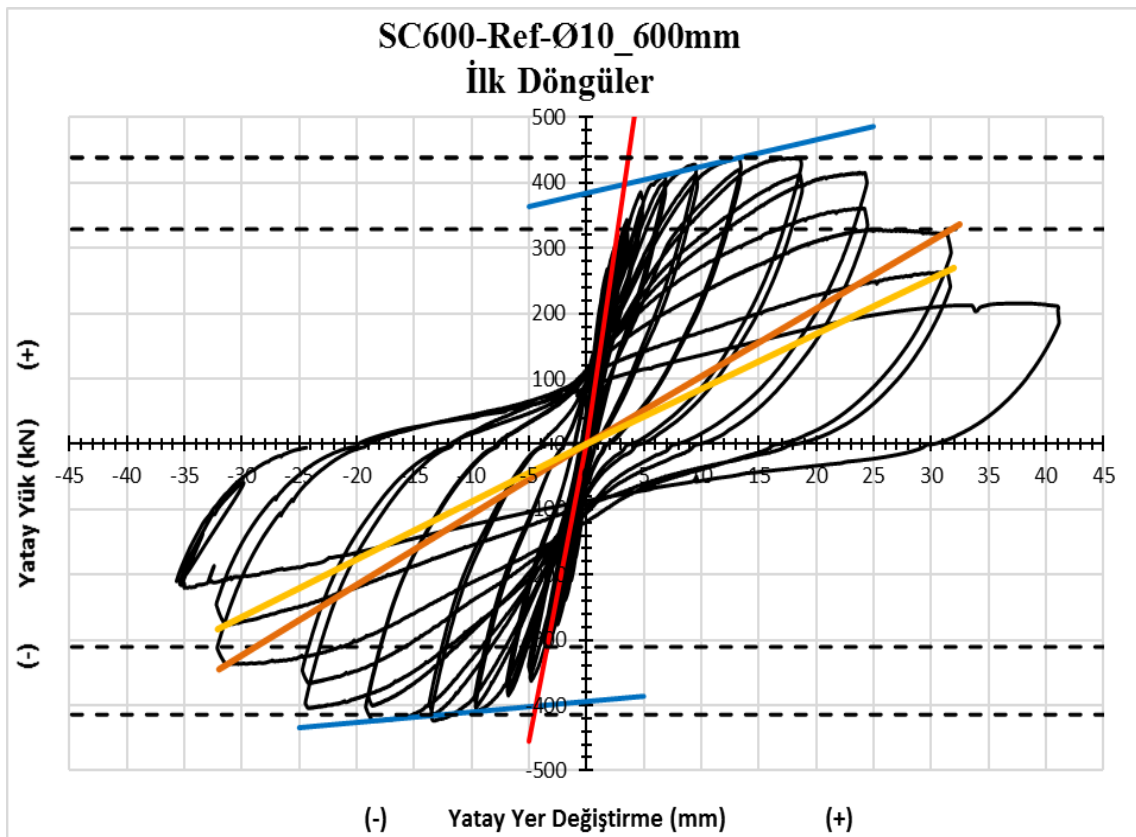
Şekil 3.31. SC800 CFRP 100 Ky – Ks Grafiği



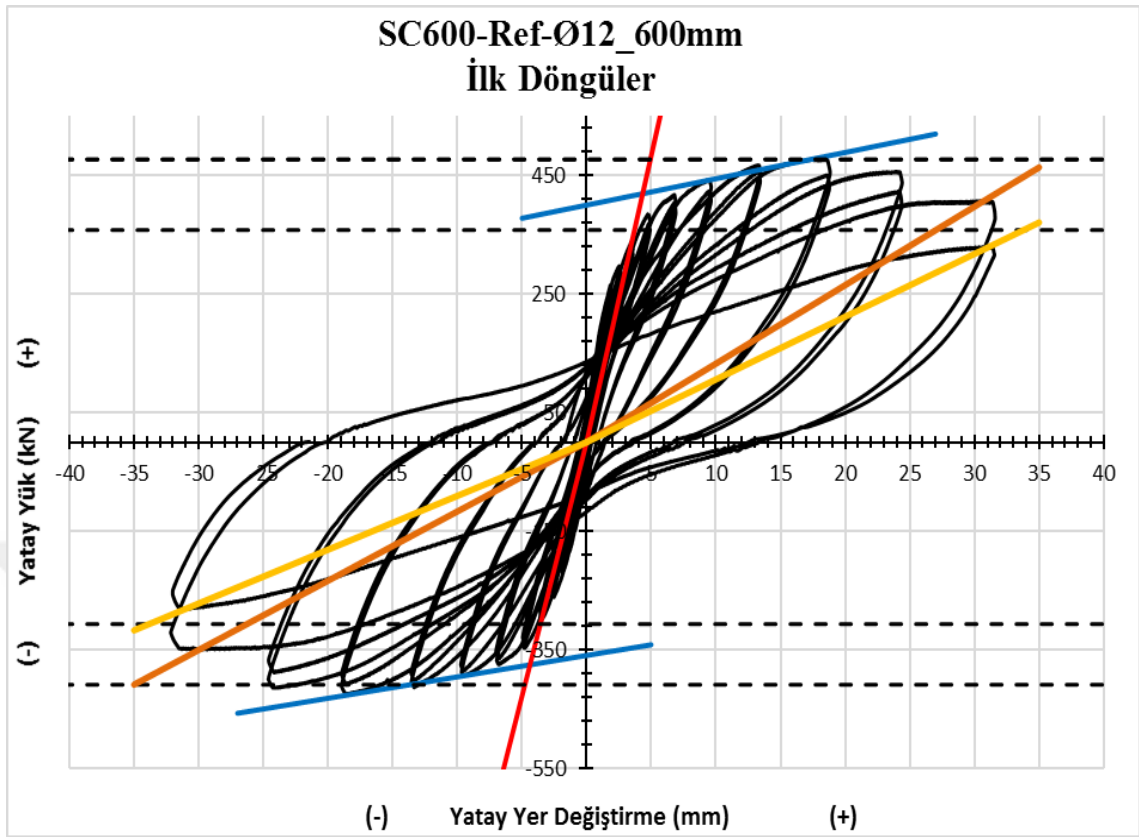
Şekil 3.32. SC800 D Ø10 Ky – Ks Grafiği



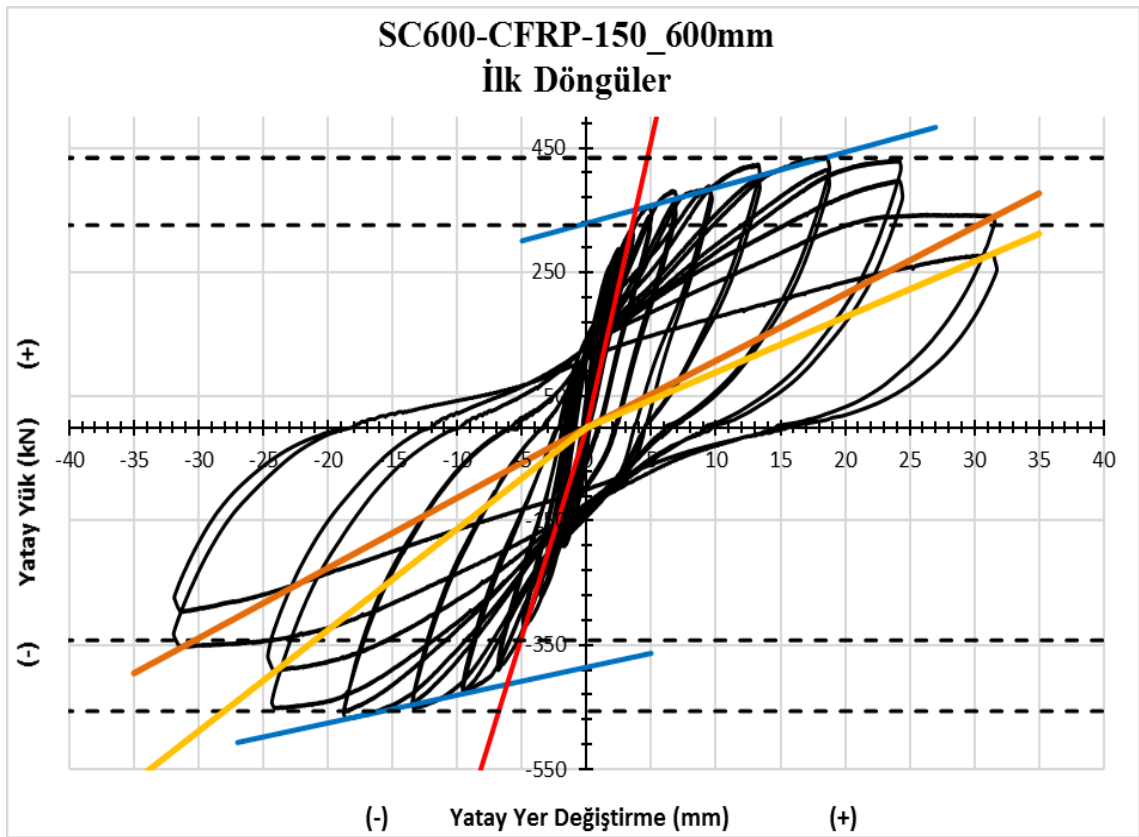
Şekil 3.33. SC800 D Ø12 Ky – Ks Grafiği



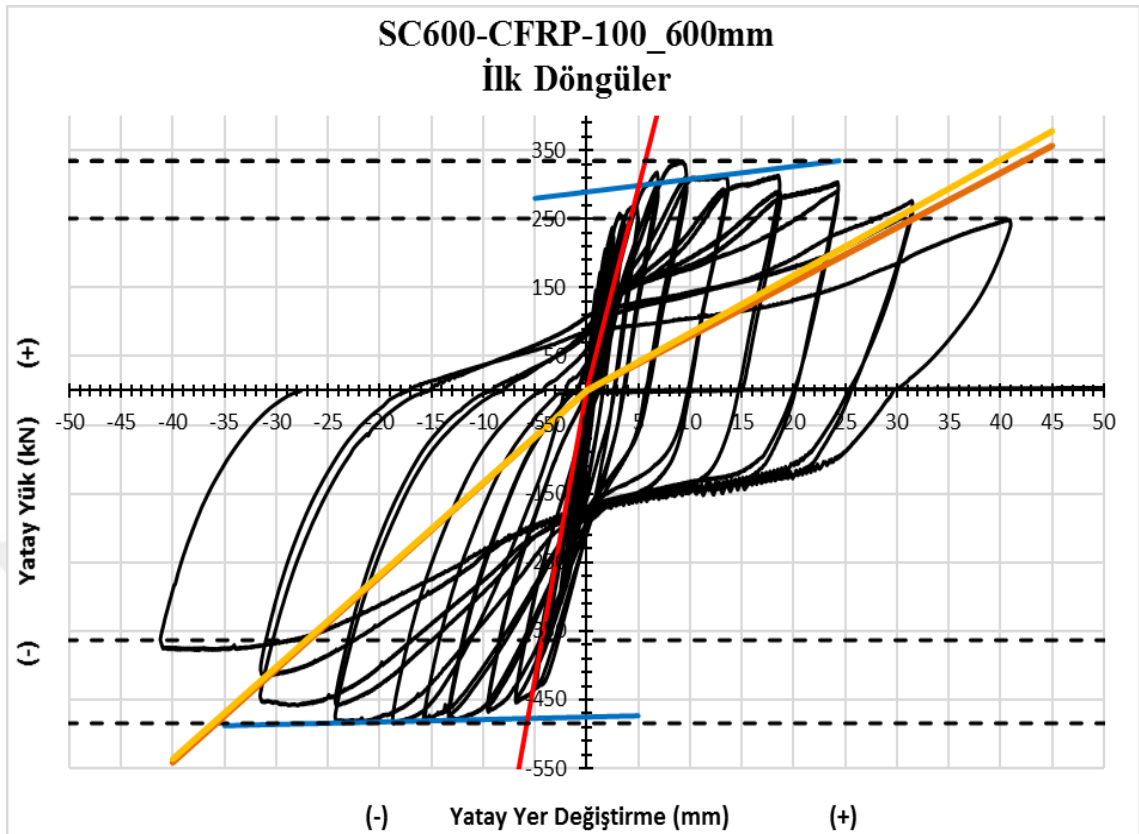
Şekil 3.34. SC600 Ref Ø10 Ky – Ks Grafiği



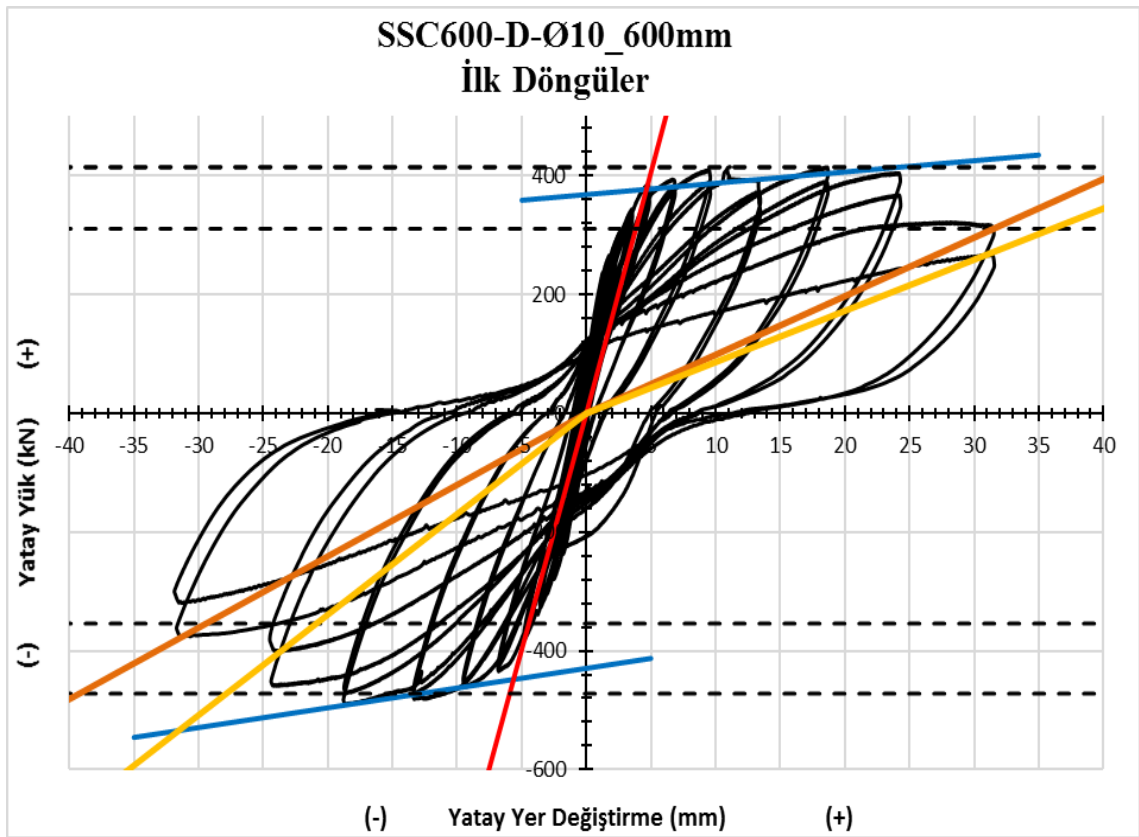
Şekil 3.35. SC600 Ref Ø12 Ky – Ks Grafiği



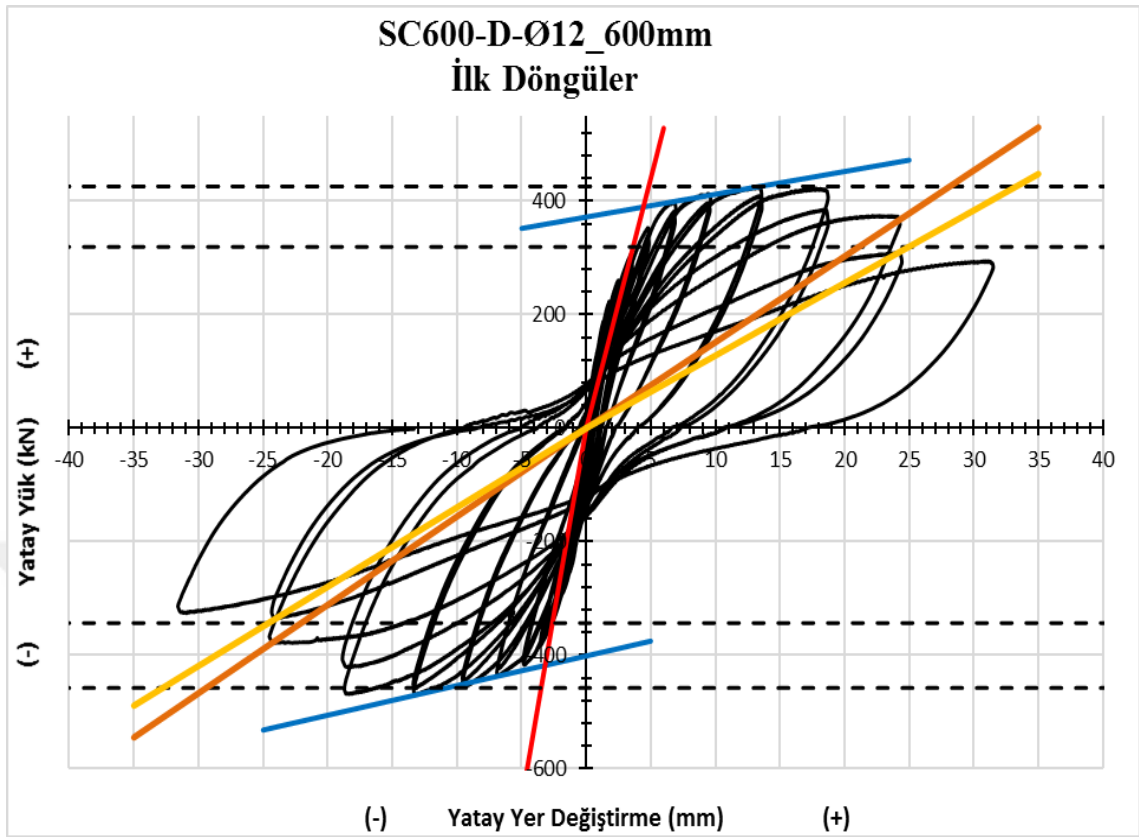
Şekil 3.36. SC600 CFRP 150 Ky – Ks Grafiği



Şekil 3.37. SC600 CFRP 100 Ky – Ks Grafiği



Şekil 3.38. SC600 D Ø10 Ky – Ks Grafiği



Şekil 3.39. SC600 D Ø12 Ky – Ks Grafiği

Başlangıç ve sekant rijitlikleri her numune için ilk ve ikinci çevrim olmak üzere ayrı ayrı tablo halinde Tablo 3.3’de verilmektedir.

Tablo 3.3. Kısa Kolon Numunelerinin Başlangıç ve Sekant Rijitlikleri

| Nunume ve İç Çevrim Aşaması |                 | Başlangıç Rijitliği Değeri (Ky-kN/mm) | Sekant Rijitliği Değeri (Ks-kN/mm) | Ortalama İtme Çekme Ky | Ortalama İtme Çekme Ks | Ky/Ks oranı |
|-----------------------------|-----------------|---------------------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| SC800 Ref Ø10               | İtme 1. Çevrim  | 41.1927                               | 3.9988                             | 37.9194                | 4.8873                 | 10.3013     |
|                             | İtme 2. Çevrim  | 39.7821                               | 3.1732                             |                        |                        | 12.5370     |
|                             | Çekme 1. Çevrim | 35.6238                               | 6.5729                             |                        |                        | 5.4198      |
|                             | Çekme 2. Çevrim | 35.0791                               | 5.8042                             |                        |                        | 6.0437      |
| SC800 Ref Ø12               | İtme 1. Çevrim  | 24.3709                               | 6.5235                             | 18.7128                | 5.0877                 | 3.7358      |
|                             | İtme 2. Çevrim  | 16.6029                               | 5.4109                             |                        |                        | 3.0684      |
|                             | Çekme 1. Çevrim | 21.1396                               | 4.6253                             |                        |                        | 4.5704      |
|                             | Çekme 2. Çevrim | 12.7377                               | 3.7910                             |                        |                        | 3.3600      |
| SC800 CFRP 150              | İtme 1. Çevrim  | 72.8914                               | 7.9748                             | 62.5530                | 6.5651                 | 9.1403      |
|                             | İtme 2. Çevrim  | 69.5605                               | 6.6474                             |                        |                        | 10.4643     |
|                             | Çekme 1. Çevrim | 55.1062                               | 5.1704                             |                        |                        | 10.6580     |
|                             | Çekme 2. Çevrim | 52.6538                               | 6.4679                             |                        |                        | 8.1408      |
| SC800 CFRP 100              | İtme 1. Çevrim  | 64.7874                               | 12.1077                            | 59.6902                | 10.2737                | 5.3509      |
|                             | İtme 2. Çevrim  | 69.3617                               | 11.0572                            |                        |                        | 6.2730      |
|                             | Çekme 1. Çevrim | 52.7781                               | 9.6499                             |                        |                        | 5.4693      |
|                             | Çekme 2. Çevrim | 51.8337                               | 8.2801                             |                        |                        | 6.2601      |
| SC800 D Ø10                 | İtme 1. Çevrim  | 62.1009                               | 6.2969                             | 60.0955                | 7.0387                 | 9.8621      |
|                             | İtme 2. Çevrim  | 72.4410                               | 5.4489                             |                        |                        | 13.2947     |
|                             | Çekme 1. Çevrim | 53.2390                               | 8.7619                             |                        |                        | 6.0762      |
|                             | Çekme 2. Çevrim | 52.6012                               | 7.6470                             |                        |                        | 6.8787      |
| SC800 D Ø12                 | İtme 1. Çevrim  | 68.2667                               | 6.2293                             | 58.8146                | 6.3221                 | 10.9589     |
|                             | İtme 2. Çevrim  | 66.3492                               | 5.4305                             |                        |                        | 12.2178     |
|                             | Çekme 1. Çevrim | 50.8789                               | 5.5822                             |                        |                        | 9.1145      |
|                             | Çekme 2. Çevrim | 49.7637                               | 8.0465                             |                        |                        | 6.1845      |
| SC600 Ref Ø10               | İtme 1. Çevrim  | 120.0166                              | 10.3566                            | 104.2170               | 9.6023                 | 11.5884     |
|                             | İtme 2. Çevrim  | 116.8925                              | 8.4322                             |                        |                        | 13.8626     |
|                             | Çekme 1. Çevrim | 91.0445                               | 10.7876                            |                        |                        | 8.4397      |
|                             | Çekme 2. Çevrim | 88.9145                               | 8.8327                             |                        |                        | 10.0665     |
| SC600 Ref Ø12               | İtme 1. Çevrim  | 96.6409                               | 13.2395                            | 89.8762                | 11.1423                | 7.2995      |
|                             | İtme 2. Çevrim  | 93.5607                               | 10.5826                            |                        |                        | 8.8410      |
|                             | Çekme 1. Çevrim | 85.7609                               | 11.6821                            |                        |                        | 7.3412      |
|                             | Çekme 2. Çevrim | 83.5423                               | 9.0652                             |                        |                        | 9.2158      |
| SC600 CFRP 150              | İtme 1. Çevrim  | 92.3820                               | 10.7723                            | 84.6755                | 11.8154                | 8.5759      |
|                             | İtme 2. Çevrim  | 112.5750                              | 8.9155                             |                        |                        | 12.6269     |
|                             | Çekme 1. Çevrim | 67.1773                               | 11.2937                            |                        |                        | 5.9482      |
|                             | Çekme 2. Çevrim | 66.5676                               | 16.2802                            |                        |                        | 4.0889      |
| SC600 CFRP 100              | İtme 1. Çevrim  | 58.9963                               | 10.9917                            | 72.1508                | 12.8240                | 5.3674      |
|                             | İtme 2. Çevrim  | 55.5859                               | 10.4949                            |                        |                        | 5.2964      |
|                             | Çekme 1. Çevrim | 83.9126                               | 16.4020                            |                        |                        | 5.1160      |
|                             | Çekme 2. Çevrim | 90.1085                               | 13.4075                            |                        |                        | 6.7207      |
| SC600 D Ø10                 | İtme 1. Çevrim  | 81.2465                               | 9.8700                             | 78.8840                | 11.8702                | 8.2317      |
|                             | İtme 2. Çevrim  | 76.9039                               | 8.6310                             |                        |                        | 8.9102      |
|                             | Çekme 1. Çevrim | 79.5721                               | 12.0335                            |                        |                        | 6.6126      |
|                             | Çekme 2. Çevrim | 77.8135                               | 16.9463                            |                        |                        | 4.5918      |
| SC600 D Ø12                 | İtme 1. Çevrim  | 88.0646                               | 15.1362                            | 108.4673               | 14.3632                | 5.8181      |
|                             | İtme 2. Çevrim  | 84.4909                               | 12.7926                            |                        |                        | 6.6047      |
|                             | Çekme 1. Çevrim | 131.3176                              | 15.5624                            |                        |                        | 8.4381      |
|                             | Çekme 2. Çevrim | 129.9961                              | 13.9614                            |                        |                        | 9.3111      |

Tablo 3.3’de de görüldüğü üzere 1. Set numuneler yani kesme oranı 2 olan numuneler içerisinde en büyük başlangıç rijitliğine sahip kısa kolon numunesi SC800 CFRP 150’dir. Yani numunenin çıkış eğrisinin eğimi en fazla olan kesme oranı 2’lik kısa kolon numunesidir.

Sekant rijitliklerine bakıldığında ise bu değerin en fazla olduğu kesme oranı 2 olan kısa kolon numunesi ise SC800 CFRP 100’dir.

Kesme oranı 1.5 olan kısa kolon numunelerine gelindiği zaman ise başlangıç ve sekant rijitliği en yüksek olan numune SC600 D Ø12’dir.

### 3.5. Enerji Yutma

Bu başlık altında öncelikle yapı sistemlerinin sünekliğine değinmek çok önemlidir. Süneklik kavramı, yapının yatay yük taşıma kapasitesinde önemli bir değişim olmadan yatay yer değiştirme yapabilme kapasitesi olarak tanımlanır. Bu tanım beraberinde kısa kolon davranışına uymayan yer değiştirebilme kapasitesini de getirmektedir. Öyle ki kısa kolon kusurunu iyileştirebilmek için kısa kolon oluşumu öngörülen elemanlarda yatay yük kaybı olmadan yer değiştirme kapasitelerinin artırılması gerekmektedir.

Yatay yük taşıyabilirken yer değiştirme yapabilme kabiliyeti histeresis diyagramı üzerinde düşünüldüğünde, mevcut itme döngülerinin grafiğin sağına, çekme döngülerinin de grafiğin soluna ötelenmesi aynı zamanda %80 yatay yük azalmasının da korunması anlamına gelmektedir.

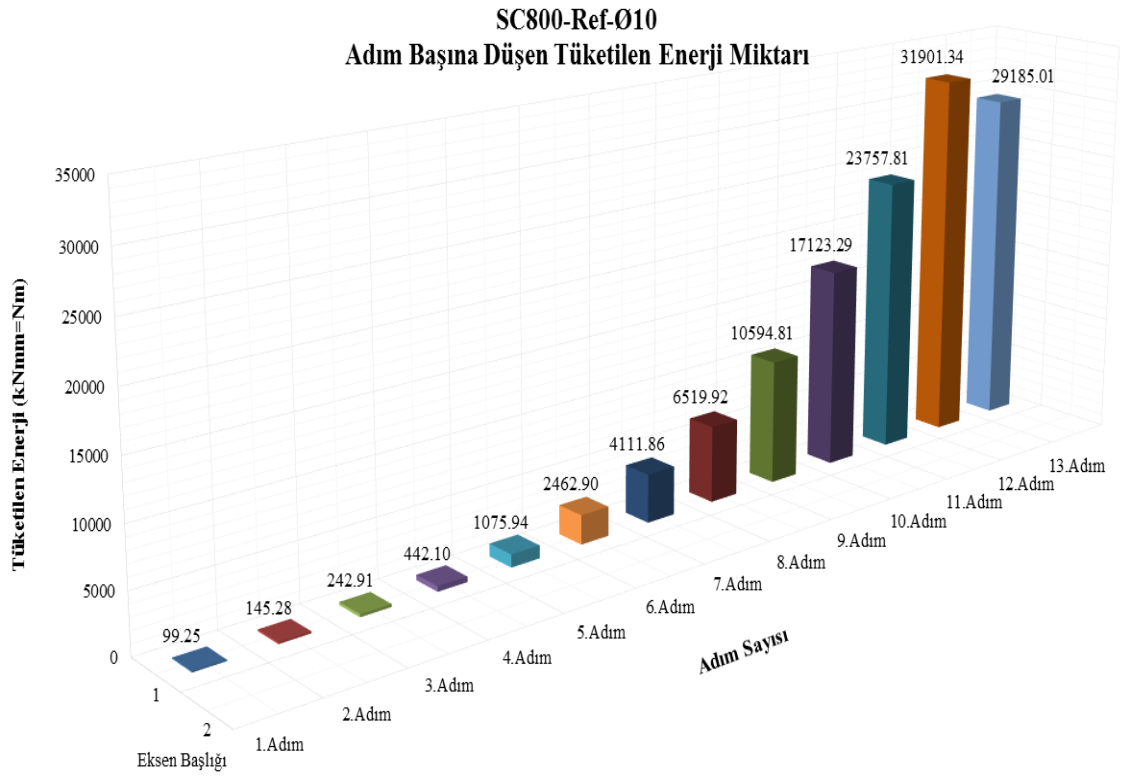
Oluşturulmak istenen histeresis grafiği, mevcut histeresis grafiğinin x yönünde uzatılmış yani ‘sündürülmüş’ hali anlamına gelmektedir. Deney numuneleri kısa kolon kusuru barındırdığından bu kusurun giderilmesi adına sünekliklerinin artırılması da gerekmektedir.

Histeresis grafiğinin davranışın değiştirilmesi ile birlikte x yönünde deplasmanının artırılması grafiğin ilk haliyle farkı grafiğin her döngü eğrisinin altında kalan alanın artmasıdır. Grafik altında kalan alan KNmm birimiyle tanımlanarak elemanın döngüler içerisinde ne kadarlık bir enerji tükettiğini belirtmektedir. Her döngü için bu alanın artması elemanın sünekliğinin de arttığı anlamına gelmektedir.

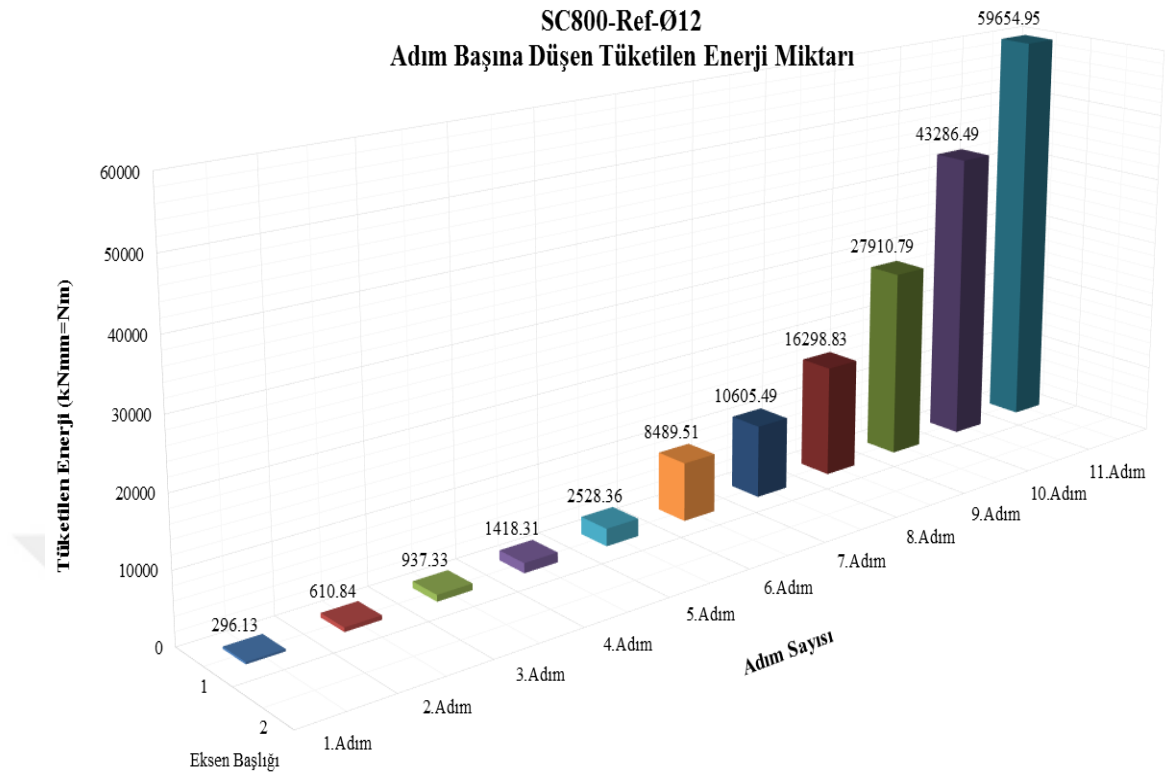
Yapılan deneysel çalışmada yükleme protokolü deplasman kontrollü olarak yürütüldüğünden aynı kesme oranına sahip numuneler için enerji yutma kapasitelerinin anlaşılması %80 yatay yük düşmesine kadar yapabildikleri döngü sayısı ile belirlenecektir.

Grafik altında kalan alan iki parametreye bağlıdır, bunlardan biri yatay yer değiştirme kapasitesi (yukarıda açıklandığı gibi) diğeri ise her deplasman döngüsünde gördüğü maksimum yatay yükür. Döngü içerisinde maksimum yükü ne kadar yüksek ise eğri altında kalacak alan da o kadar büyük olacaktır.

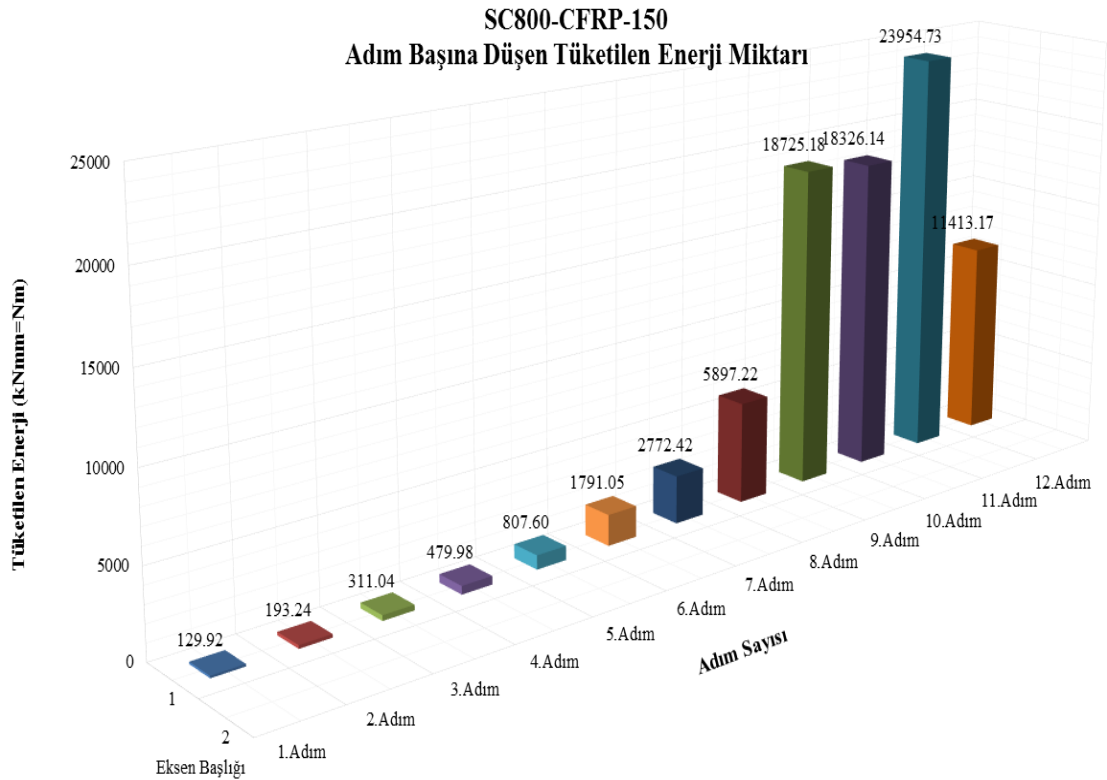
Aşağıda numunelerin her döngü içerisinde ne kadar enerji tükettiklerini gösteren grafikler Şekil 3.40-51’de verilmiştir.



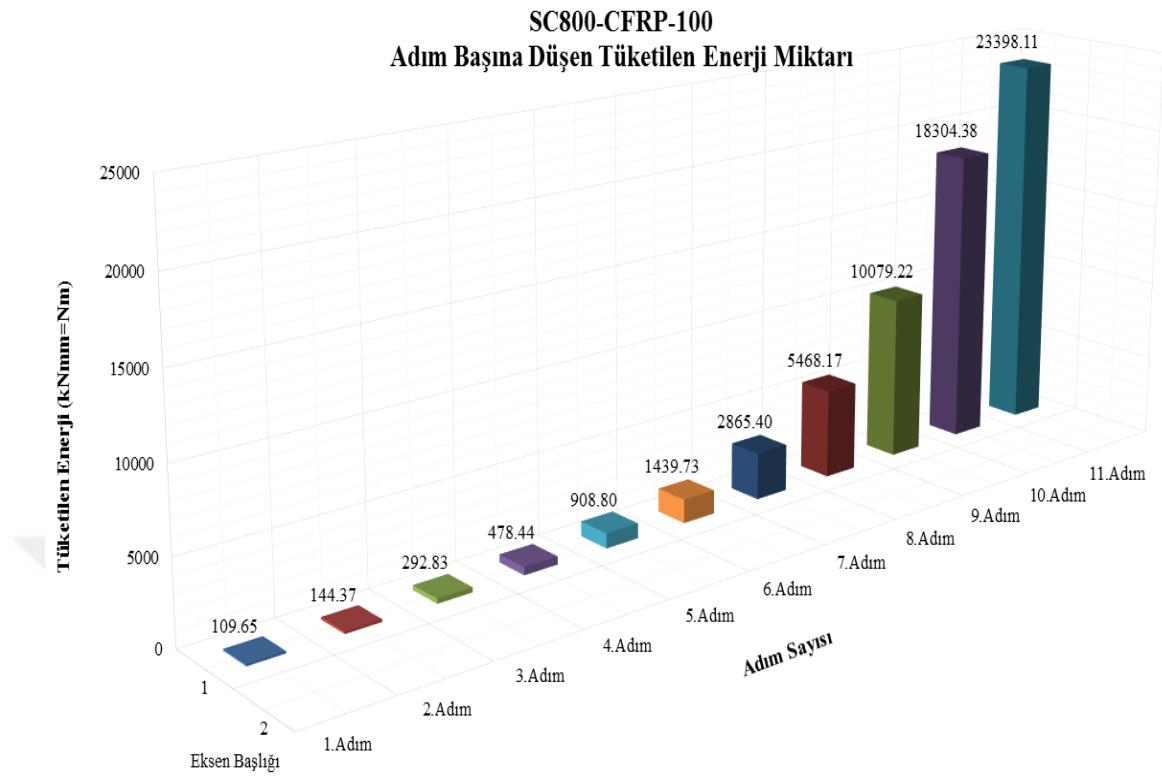
Şekil 3.40. SC800 Ref Ø10 Döngü Başına Enerji Tüketme Grafiği



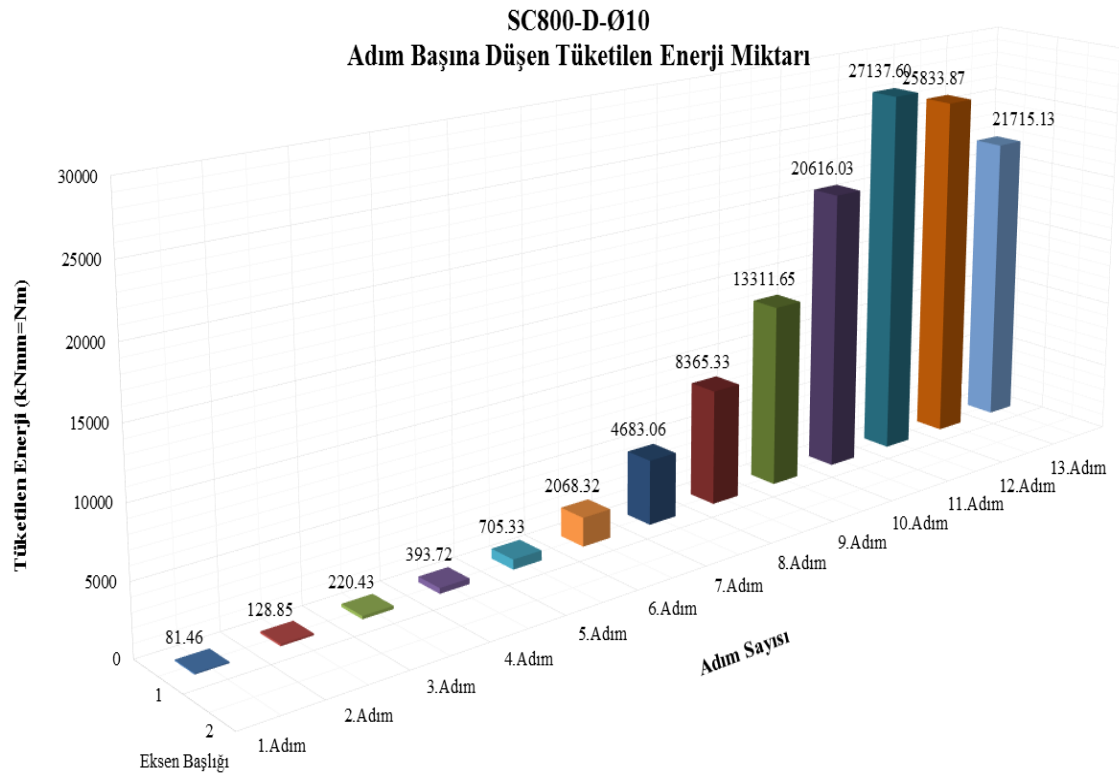
Şekil 3.41. SC800 Ref Ø12 Döngü Başına Enerji Tüketme Grafiği



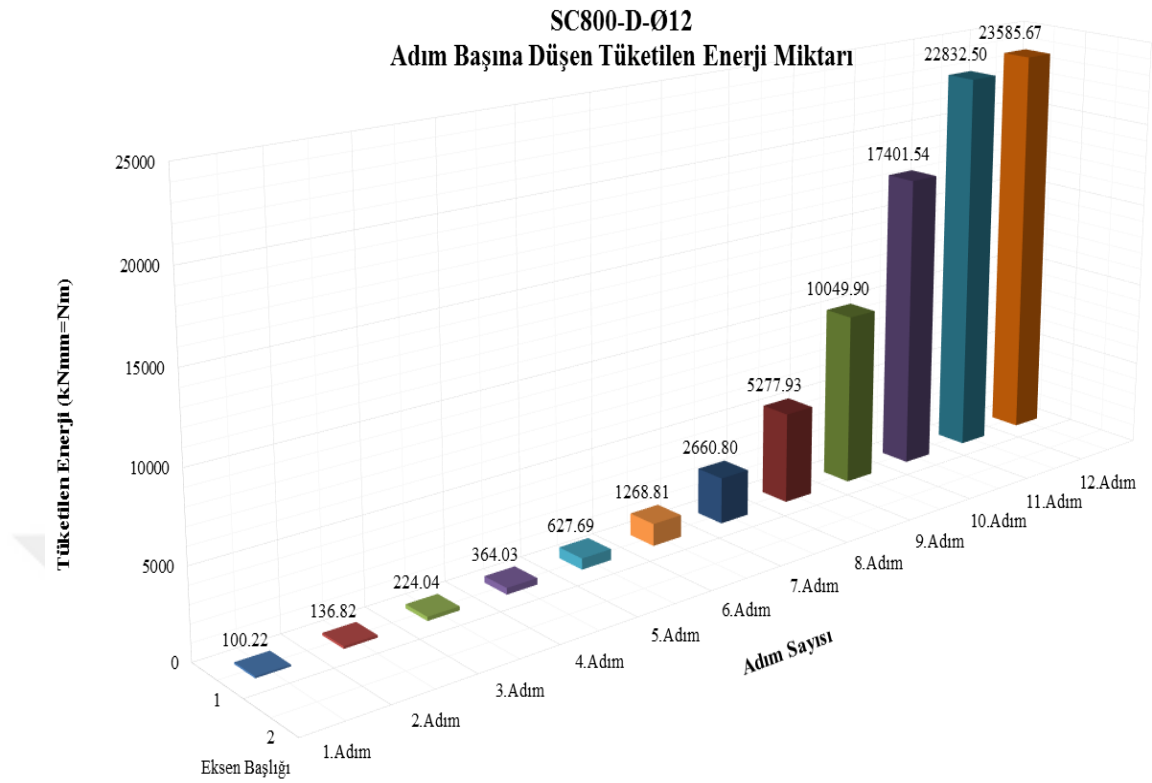
Şekil 3.42. SC800 CFRP 150 Döngü Başına Enerji Tüketme Grafiği



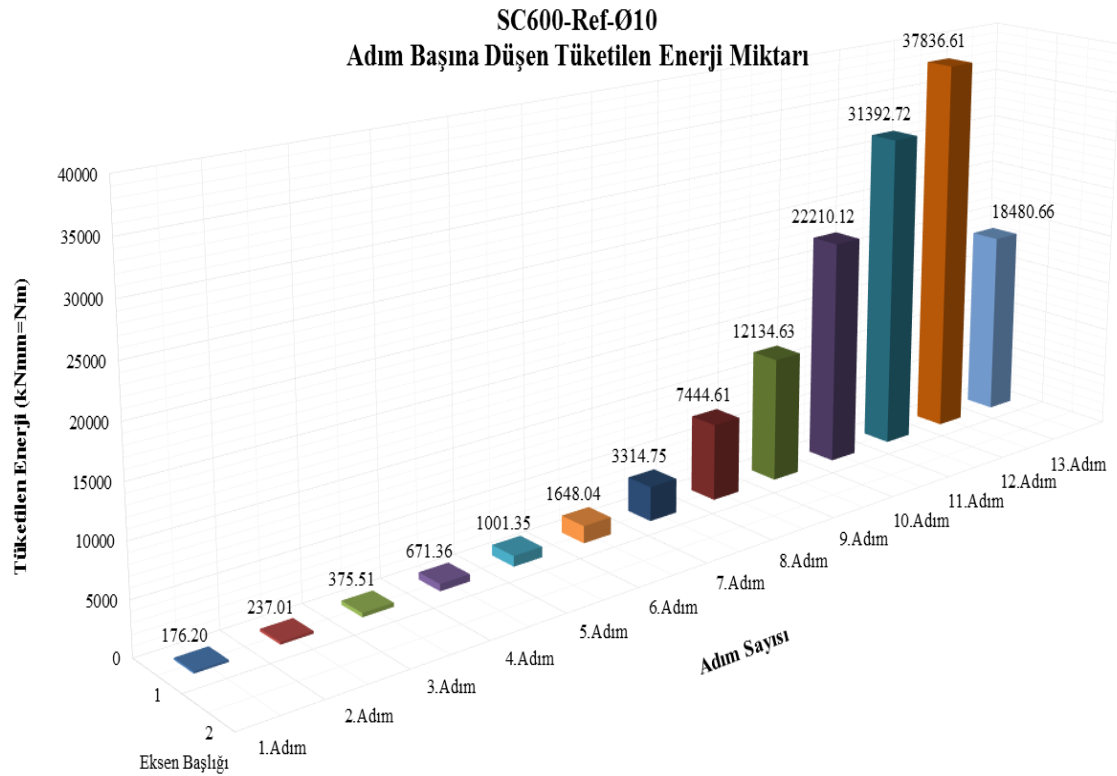
Şekil 3.43. SC800 CFRP 100 Döngü Başına Enerji Tüketme Grafiği



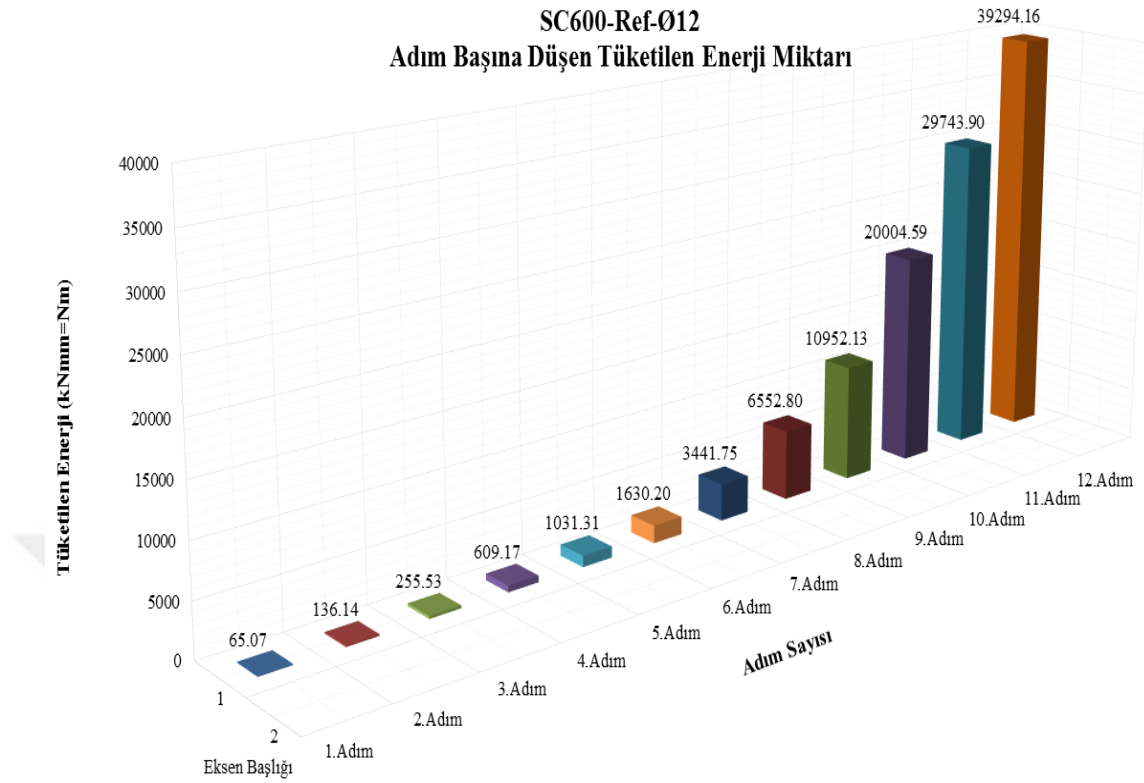
Şekil 3.44. SC800 D Ø10 Döngü Başına Enerji Tüketme Grafiği



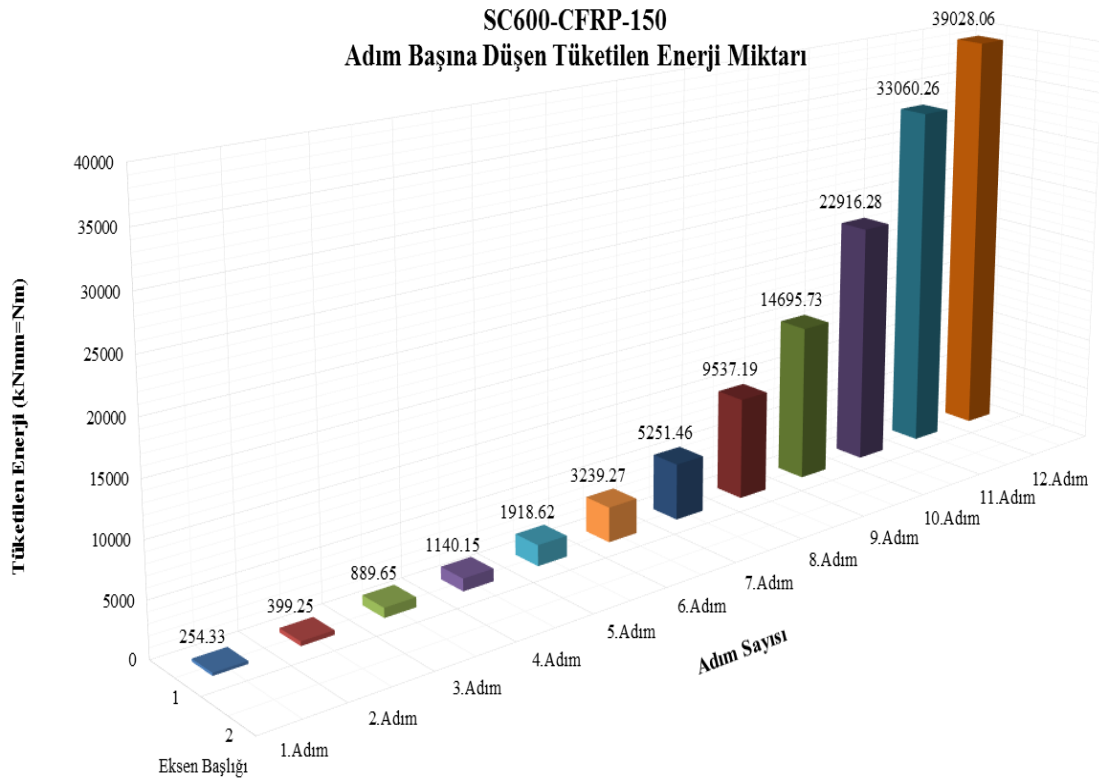
Şekil 3.45. SC800 D Ø12 Döngü Başına Enerji Tüketme Grafiği



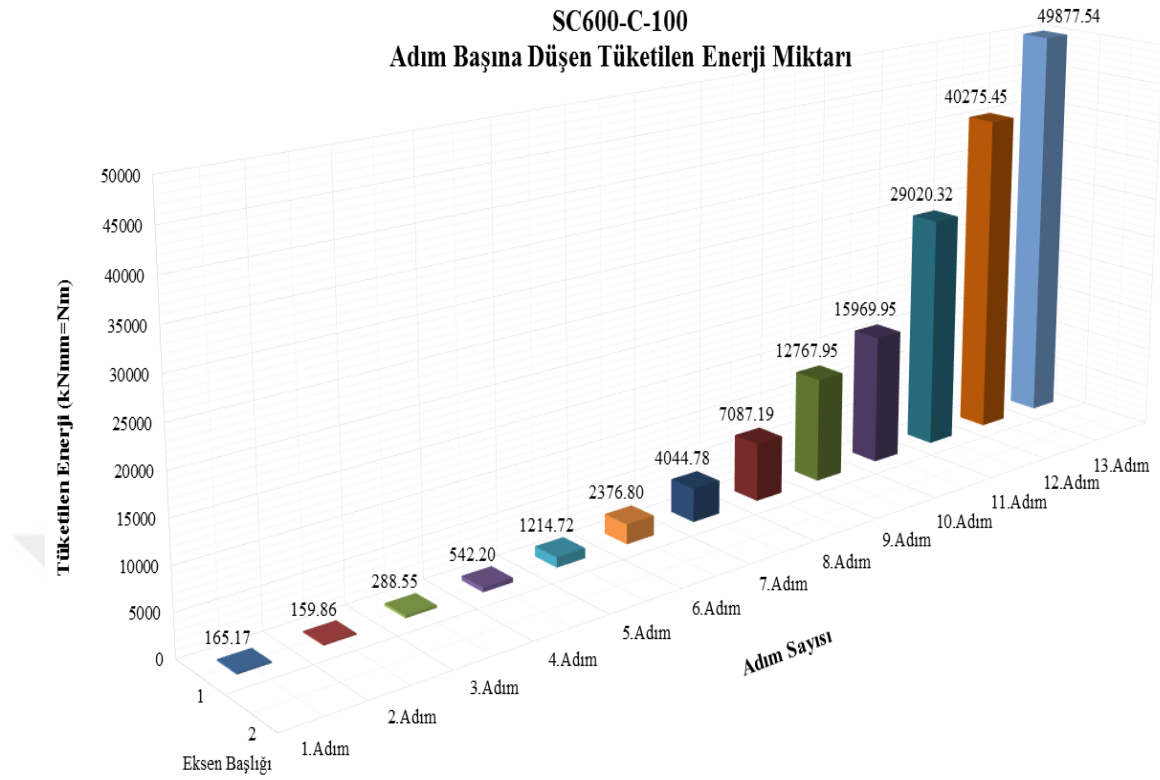
Şekil 3.46. SC600 Ref Ø10 Döngü Başına Enerji Tüketme Grafiği



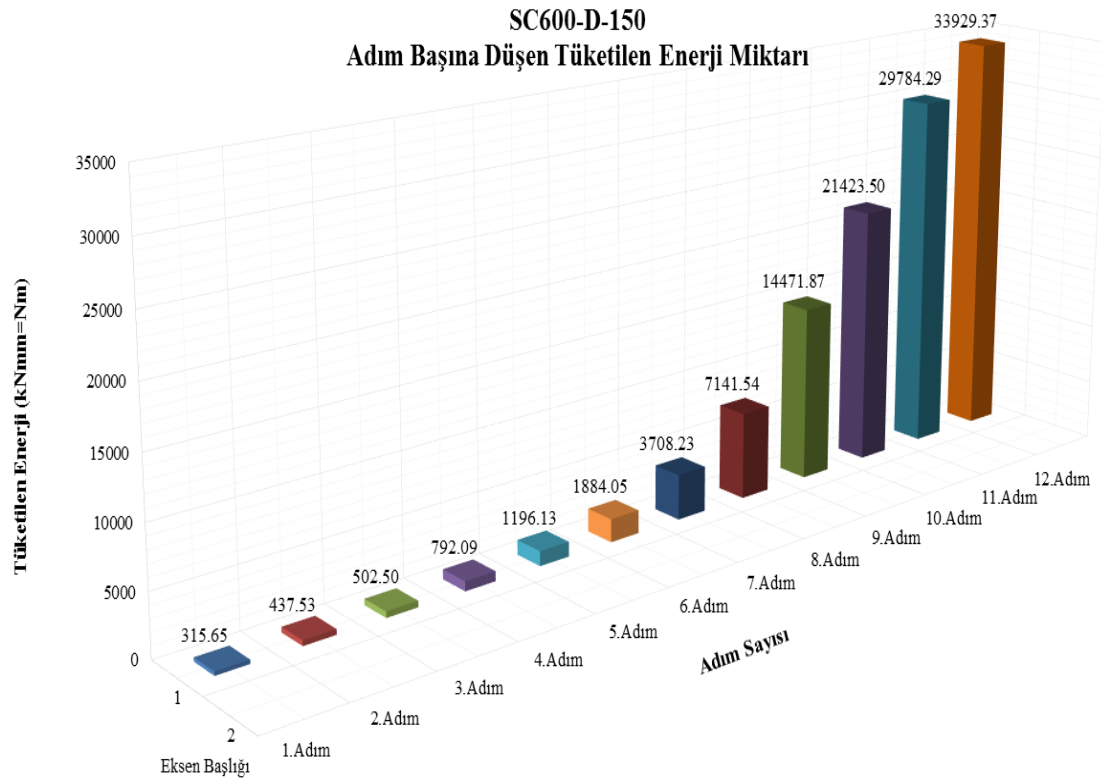
Şekil 3.47. SC600 Ref Ø12 Döngü Başına Enerji Tüketme Grafiği



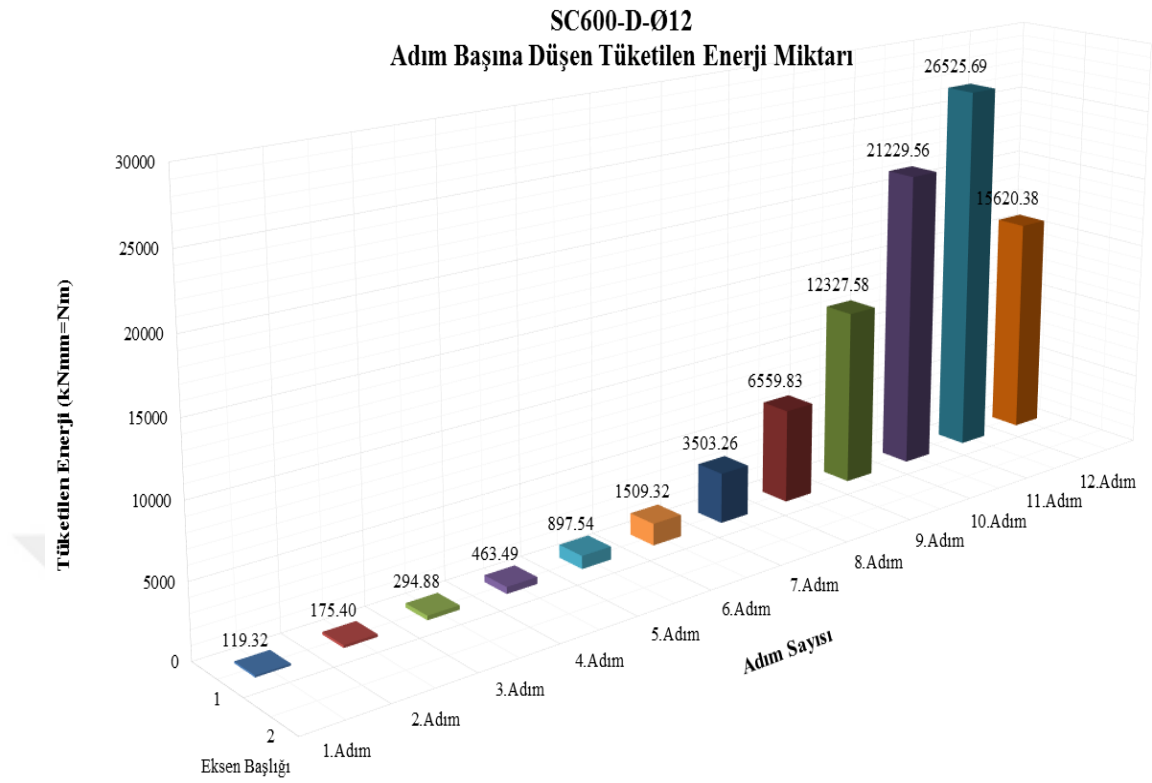
Şekil 3.48. SC600 CFRP 150 Döngü Başına Enerji Tüketme Grafiği



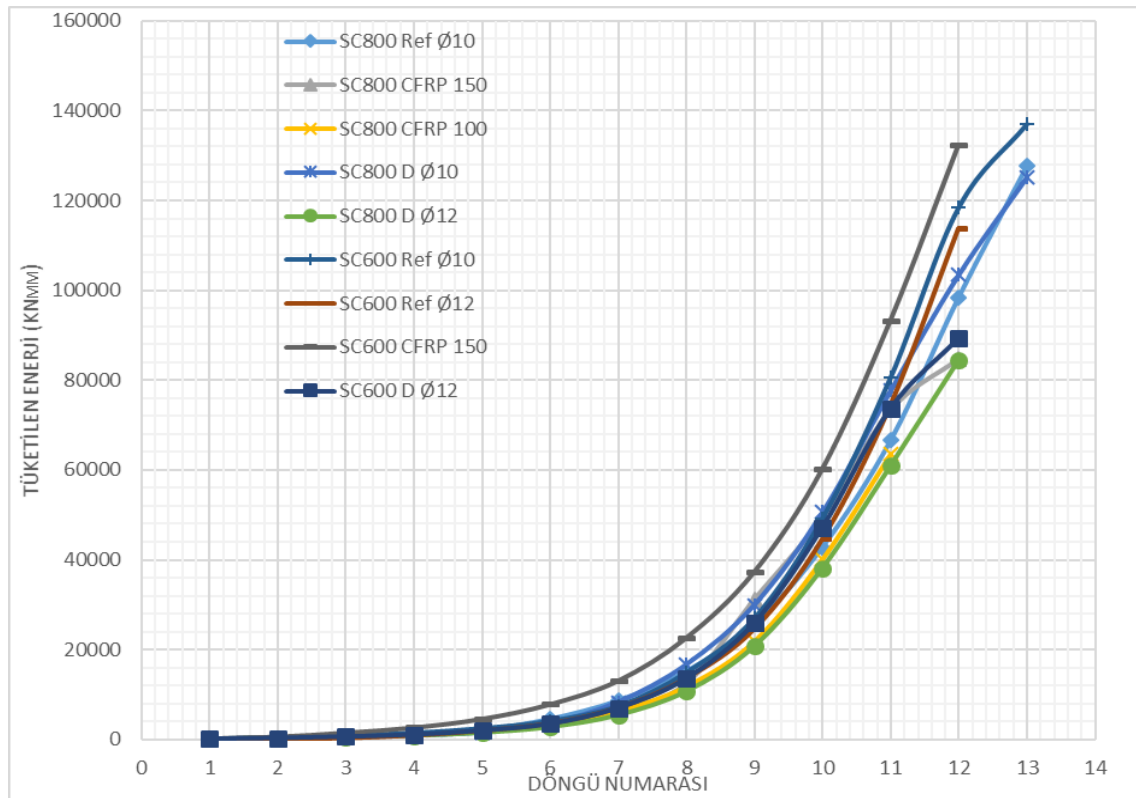
Şekil 3.49. SC600 CFRP 100 Döngü Başına Enerji Tüketme Grafiği



Şekil 3.50. SC600 D Ø10 Döngü Başına Enerji Tüketme Grafiği



Şekil 3.51. SC600 D Ø12 Döngü Başına Enerji Tüketme Grafiği



Şekil 3.52. Tüm Numunelerin Kümülatif Enerji Tüketme Grafikleri

Yukarıda verilen döngü başına enerji yutma grafikleri ve numunelerin toplam enerji yutma kapasitelerine bakıldığında, kesme oranı 2 olan SC800 serisi kolonlarda en çok enerji tüketen numune Referans Ø12 numunesidir. Fakat bu deneyde temel kayması engellenemediğinden deplasman değerleri temel hareketi ile birlikte oldukça fazla bir hal almış bundan dolayı her döngüde hesaplanan grafik altı alan fazla çıkmıştır. O yüzden kesme oranı 2 olan numuneler içerisinde en çok enerji tüketen numune hemen Referans Ø12'den sonra gelen Referans Ø10 numunesidir. Referans Ø10 numunesinin deney sonuna kadar yani yükün %80 seviyesine düşmesine kadarki (13. Döngü) tükettiği toplam enerji miktarı 127662.4 KNmm'dir. Aynı kesme oranına sahip D Ø10 numunesi de 125260.8 KNmm ile maksimum enerji yutma kapasitesine sahip bir diğer numunedir.

Kesme oranı 1.5 olan SC600 numuneleri içerisinde yapılan değerlendirmede deney sonunda en fazla enerji tüketen numune CFRP 100 numunesidir. Fakat bu deney içerisinde temel kayması engellenemeyip 30 mm mertebelerine kadar gelmiştir. Bundan dolayı eğri altındaki alan her döngüde artarak devam ettiğinden en fazla enerji yutan numune olarak gözükmektedir. Hatalı deney sonucu bu numune enerji yutma bağlamında değerlendirmeye alınmayacaktır. Sonuçlara göre en fazla enerji yutan numune Referans Ø10 numunesidir. Bu numune 13 döngü sonunda %80 yatay yük azalmasına gelmiştir. Bu yük düşüşü ve döngü sayısından sonra Referans Ø10 numunesi toplam 136923.6 KNmm enerji tüketmiştir. Aynı kesme oranına sahip CFRP 150 numunesi de 132330.2 KNmm ile maksimum enerji yutma kapasitesine sahip bir diğer numunedir.

Toplam enerji tüketiminde referans numunelerin daha fazla enerji tüketmesi deney sonuna kadar 13 döngü yapabilmelerinden ileri gelmektedir. Deneyler boyunca tüm numuneler en az 11 döngü görmüşlerdir. Bundan dolayı 11. Döngüye kadarki toplam enerji tüketimlerine bakıldığında kesme oranı 2 olan numunelerde en fazla toplam enerji tüketen numune D Ø10 numunesidir. 11. Döngüye kadar tükettiği toplam enerji 77711.79KNmm dir. Verev Ø10 numunesine göre sırasıyla Referans Ø10 %85.67, CFRP150 %94.44, CFRP100 %81.70, D Ø12 numunesi de %78.42 enerji tüketmişlerdir.

Bu kapsamda kesme oranı 1.5 olan numunelere bakıldığında 11. Döngü sonunda en fazla enerji tüketen numune CFRP 150'dir. Döngü sonunda tükettiği toplam enerji miktarı 93302.18KNmm'dir. Buna göre sırasıyla Referans Ø10 %86.39, Referans Ø12 %79.77, CFRP 100 %34.34, D Ø10%87.52, D Ø12 %78.89 enerji tüketmiştir.

Fakat süneklik karamı düşünüldüğünde yapının veya elemanın önemli bir yük azalmasına uğramadan yapabildiği yer değiştirme miktarı önemlidir. Bundan dolayı sadece tüm numunelerin görebildiği bir döngü numarasını baz alarak enerji tüketimini kıyaslamak yanlış olur. Bundan dolayı enerji yutma kapasitesi en yüksek olan numuneler ilk paragrafta anlaşılabacağı üzere SC800 Referans Ø10, D Ø10 ve SC600 Referans Ø10, CFRP 150 numuneleridir.

### 3.6 Strain Gage Birim Şekil Değiştirme Karşılaştırmaları

Çalışma kapsamında test edilen kısa kolon numuneleri üretim aşamasında bahsedildiği gibi donatı uzama miktarlarını anlık olarak yük ile birlikte veri olarak alınması için strain gage denilen gerilme pulları yapıştırılmıştır. Yapıştırılan pullar her numunede en az 4 adettir. Her numunede itme yüzeyindeki (B) donatılar ve yan yüzlerden (A) birindeki donatılara olmak üzere numunenin 2 yüzeyindeki donatılardan gain değerleri alınmıştır.

Yüzeylerde standart olarak bir boyuna donatı bir de etriyeden ölçüm yapılmıştır. Ölçüm yapılan donatıların isimleri A\_Boy, A\_Etr, B\_Boy, B\_Etr şeklinde isimlendirilmiştir. Verev donatılı numune imalatlarında verev donatıların da şekil değiştirme grafikleri görülmesi amacıyla A\_Vr\_Sol, A\_Vr\_Sağ, B\_Vr\_Sol, B\_Vr\_Sağ isimli strain gageler yapıştırılmıştır.

Boyuna donatılar birbiri içerisinde kıyaslandığında itme yüzündeki yani B\_boy donatıları kesme oranı 2 olan SC800 numunelerinde genellikle kısa kolon numunesinin maksimum yatay yükü gördüğü döngüden sonra yatay yükün düşmeye başladığı döngülerde akmaktadır. Oluşan bu birim şekil değiştirme davranışının sebebi, maksimum yatay yükten sonra kabuk betonu çatlayıp boyuna donatılar burkulmaya başlamasıdır. Kesme oranının 1.5 olduğu SC600 kısa kolon numunelerinde de B\_Boy strain gage'inden alınan şekil değiştirme grafiğine bakıldığında da kesme oranı 2 olan numunelerle yaklaşık aynı durum geçerlidir. A yüzündeki boyuna donatı incelendiğinde

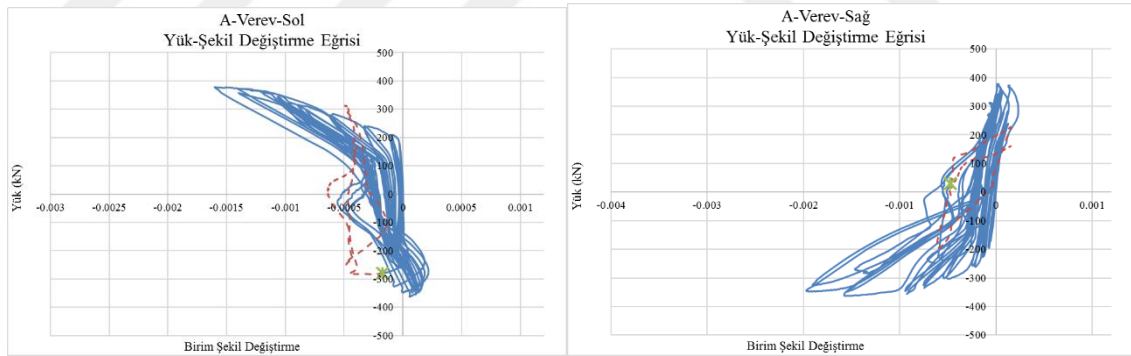
ise SC800 numuneleri 0.002 birim şekil değiştirme oranında akarken SC600 numunelerinde 0.001-0.0022 aralığında akma gerçekleşmiştir.

Kısa kolon numuneleri kesme hakim bir kırılma davranışı içerisinde olduğundan esas rolü oynayan donatı kesme donatıları olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kapsamda strain gage sonuçları incelendiğinde kesme oranı 2 olan SC800 numuneleri için B yüzündeki etriyelerde Referans 10mm etriyeli numunede 0.002 şekil değiştirmeden sonra donatı akmıştır. 12mm etriyeli numunede ise 0.002 mertebesine kadar gelememiş ve grafik üzerinde herhangi bir akma ibaresi görülmemiştir. CFRP 150 numunesinde B\_Etr 250KN yükte 0.0012 birim şekil değiştirme göstererek akmıştır. CFRP 100 numunesinde ise maksimum tepe yükünü gördükten sonra akma gerçekleşmiştir. Birim şekil değiştirme değeri 0.001-0.002 arasında etriyedeki akma grafik üzerinden belirlenebilmiştir. Kesme oranı 1.5 olan SC600 numunelerinde de birim şekil değiştirme değeri aynı aralıklarda iken etriyelerin B yüzündeki akma grafiğe yansımaktadır. Bu durum iki kesme oranına sahip numune için de şu şekilde açıklanabilir. Akan etriye elemanları genellikle maksimum tepe yükünden sonra yatay yükün düşmeye yani boyuna donatının burkulmaya başlamasından sonra akma grafik üzerinden gözlemlenmektedir. İşte B yüzünde burkulma boyuna donatı kesitin dışına doğru eğildiğinden bu dışa doğru hareketi engellemek isteyen etriye de aynı şekilde burkularak lokal olarak uzayıp akmaktadır. Strain Gage'den alınan yük-birim şekil değiştirme grafiğinde gözlenen akmanın büyük kısmı ileri döngülerde boyuna donatılarda oluşan bu burkulma durumundan dolayıdır. Bu burkulma B ve D yüzlerinde bulunan orta boyuna donatının burkulmasından sonra etriyeyi de burkulmaya zorlamasıyla gerçekleşir.

A yüzündeki etriyelerden alınan birim yük – birim şekil değiştirme grafiklerinde ise her iki kesme oranındaki numunelerde orta boyuna donatının tarafsız ekseninde kalıp dışa doğru burkulacak bir yüke maruz kalmamasından dolayı etriyeyi de burkulmaya dolayısıyla lokal olarak akmaya zorlamamaktadır. İlk döngülere göre grafik ekseninde daha açık bir konumda çizilmeye devam etse de yalnızca burkulmadan dolayı bir akma olarak değerlendirilmemelidir. A yüzündeki kesme kuvvetinden kaynaklı zorlanmalar doğrudan A yüzündeki etriyeye geldiğinden strain gage'lerden elde edilen yük – birim şekil değiştirme grafiği kesme kuvvetinin oluşturduğu etkiyi göstermektedir. A\_Etr strain gage'lerinden alınan veriler değerlendirildiğinde SC800 numunelerinin 0.002 gibi

bir değerde akma eğilimi gösterirken, kesme kuvvetinin daha etkin olduğu SC600 numunelerinde 0.00017 – 0.00023 değerleri arasında akma şekil değiştirmesi sergilemiştir.

Kesme hakim davranış için incelenmesi gereken bir donatı da Verv donatıdır. Verv donatıların ölçümleri de A ve B yüzlerinde yapılmıştır. Her iki yüzde de 2şer adet strain gage kullanılmıştır. İsimlendirme yüzeye bakıldığında sol üst köşeden sağ alt köşeye devam eden verv Sol, sağ üst köşeden sol alt köşeye devam eden donatıya ise Sağ verv donatı olarak isimlendirme yapılmıştır. A yüzünde bulunan verv donatıların çalışma mekanizması strain gage okumaları ile çok net şekilde gözlemlenmiştir. İtme döngülerinde A yüzündeki Sol verv, çekme döngülerinde ise A yüzündeki Sağ verv daha fazla yük alarak uzama davranışı göstermektedir. Bu durum kesit betonsuz halde düşünüldüğünde çelik kafes benzeri bir elemana benzemektedir. Bundan dolayı itme çekme döngülerinde farklı verv donatı elemanları çalışarak kesme ve eğilme yüklerine karşı kesite ve etriyeye yardım etmektedir. A yüzünde oluşan itme çekmede farklı verv donatıların çalışma durumu Şekil 3.53’da verilmiştir.



Şekil 3.53 A yüzü Verv Donatılarının çalışma mekanizması

B yüzeyinde bulunan verv donatılarda ise itme-çekme döngülerinde farklı donatılar çalışmamakta iki verv donatı aynı anda çalışmaktadır.

Verv donatılar her iki kesme oranına sahip kısa kolon numunelerinde ileriki deplasman döngülerinde grafiğin çalışma ekseninden ayrılıp X yönünde ötelenip orada grafiğe devam ettiği görülmektedir. Burada sergilenen davranış, ileri itme deplasmanlarında Verv Sol donatısının Verv Sağ donatısına oranla daha etkin bir pozisyonda çalıştığı görülmektedir. İleri çekme deplasmanlarında ise durum tam tersi pozisyona geçerek

Verev Sağ donatısı Verev Sol donatısına göre daha etkin bir şekilde çalışmaktadır. Açıklanan bu durum verilen şekilde net bir şekilde görülmektedir.

Strain Gageler ile ilgili ekler kısmında bütün numunelere ait Yük – Birim Şekil Değiştirme grafikleri verilmiştir.



## BÖLÜM 4

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans çalışması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yürütülmüştür. Çalışma Bölüm Elemanlarından Yrd. Doç Dr. Tamer DİRİKGİL'in yürütücülüğünde bulunduğu 115M264 Kodlu TÜBİTAK projesi ile birlikte yürütülmüştür.

Deneysel çalışma Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Araştırma Laboratuvarında sürdürülmüş ve tamamlanmıştır. Çalışmaya konu olan kısa kolon temsili gerçek ölçekli numuneler yine bu laboratuvar içerisinde üretilmiştir. Üretilen numuneler farklı kıyaslama parametrelerine sahiptir. Kıyaslama parametrelerinden ilki kolon kesme oranıdır. Bu oran 800mm yükseklikte üretilen kısa kolon numunelerinde 2, 600mm yükseklikte üretilen numunelerde ise 1.5'dir. Toplam 12 numuneden oluşan deney elemanlarının 6 adedi 2 kesme oranına, 6 adedi 1.5 kesme oranına sahiptir. İlk set 800mm yüksekliğinde kolonlarda ve ikinci set 600mm yüksekliğe sahip kolonlarda 2 şer adet deprem yönetmeliğinin kısa kolonlar için enine donatı düzenine uygun üretilen referans numuneler mevcuttur. Bu referans numunelerin etriye aralıkları 100mm ve donatı çapları 10 ve 12 mm'dir. Yine her set numune için enine donatıları 150mm aralıklı olarak üretilmiş bu enine donatıların ara boşluklarına kesme kırılma çatlağını temsil eden X şeklinde verev donatılı 2'şer numune üretilmiştir. Bu numunelerin de enine ve verev donatı çapları 10 ve 12 mm şeklinde üretilmiştir. Son olarak CFRP sargı imalatıyla kısa kolon numunesi dışardan sargılanarak güçlendirilmiştir. Bu tip numunelerde iç donatı detayı değişmemekte yalnızca numune dışına uygulanan CFRP sargısının aralıkları değişmektedir. CFRP sargı 50mm eninde ve kolonu çepeçevre saran ve birbiri arasındaki boşlukları 100 ve 150 mm olarak üretimleri yapılmıştır. Bu numune tarzında her set için yine 2'şer adet üretim

yapılmıştır. Kısa kolon temsil numuneleri boyuna donatı teşkili birbiri içerisinde farklılık göstermemektedir. Numune en kesit boyutları 400x400mm'dir. Deneysel çalışma sabit eksenel yük altında yapılmıştır. Eksenel yükte kullanılan yük indeksi 0.18 olarak alınmıştır.

### **Çatlakların ve Tepe Yüklerinin Değerlendirilmesi;**

Deneysel çalışmaların sonucu kısmında genel yapılabilecek yorum kesme oranı 2 olan numuneler, kesme oranı 1.5 olan numunelere kıyasla eğilme davranışına yakın bir histeretik davranış sergilemişlerdir. Bu eğilme davranışı 600mm ve 800mm yüksekliklerden yatay yüke maruz kalan numunelerin histeresis eğrilerine bakıldığında 800mm yüksekliğindeki numunelerin histeresis grafiklerinin, 600mm yüksekliğindeki numunelerin histeresis grafiklerine oranla grafiğin x yönünde ötelenmiş tarzda olduğu görülmektedir. Ayrıca betonarme kesitlerde oluşan çatlak modelleri de SC800 numunelerinde öncelikli oluşan çatlakların genellikle, itme veya çekme yüzü olarak adlandırılan B ve D yüzlerinde kesit boyunca enine eğilme çatlakları olduğu görülmüştür. Aynı şekilde yan yüzlere devam eden bu enine çatlaklar A ve C yüzlerinde bir müddet (kesitin 1/3'ü kadar) devam ettikten sonra kesme etkisiyle çatlakların aşağı yani temele doğru yönelmektedir. SC800 numunelerinde ilk oluşan bu eğilme karakterli çatlaklar yükleme noktasının SC600 numunelerine nispeten daha yukarıda olmasından ötürü kesme kesit tesirinin moment kesit tesirinden daha az olmasıyla açıklanabilir. Ancak SC800 numunelerinin direkt eğilme davranışı gösterdiklerini söylemek doğru olmaz. Bu kolonların davranışı eğilme hakim davranış olsa da kesme tesiri de etkili olmaktadır. Nitekim zarf eğrilerine bakıldığında SC800 numunelerinin maksimum tepe yüküne çıktıktan sonra yatay yüklerinin aniden düşmesi kesmenin davranışı etkilediğini göstermektedir.

SC800 numuneleri çatlak gelişimi açısından bir arada değerlendirildiğinde genel itibari ile ilk çatlak görülme döngüsü 2. İtme döngüsüdür.

SC600 numuneleri çatlak gelişimi açısından bir arada değerlendirildiğinde ilk çatlağın görüldüğü döngü 4. İtme döngüsü civarındadır. İlk çatlakların görülme döngüsü arasındaki bu farklılık yukarıda bahsedildiği gibi SC800 için eğilme etkisinin SC600 e göre daha fazla olmasından kaynaklıdır.

Çatlak gelişimi referans numuneler için B ve D yüzlerinde etriye hizasında enine halde ve A ve C yüzeylerinde ise B,D yüzlerinden devam eden çatlakların verevleşerek temel hizasına kadar inmesinden ibarettir. Ayrıca temel kolon birleşim bölgesinde B ve D yüzlerinde başlayıp deney sonlarına doğru kesiti yan yüzlerden devam ederek tamamlayan bir çatlak modeli de her numune için mevcuttur.

CFRP sargılı numuneler için çatlaklar SC800 numunelerinde 0.75h mertebesinden başlayarak temel seviyesine kadar inmektedir. Çatlak gelişimi sargıların arasında meydana gelmektedir. İleriki döngülerde deplasmanın artmasıyla birlikte, beton yüzeyine epoksi macunu ile yapıştırılmış olan CFRP sargısı bir çıtırtı sesiyle beton yüzünden ayrılmaktadır. Bu ayrılış lifler halinde olmakta ve her döngüde bir nebze daha artmaktadır. Deneyin son döngülerinde kesitten kopan beton bloğu diğer numunelerde olduğu gibi tamamen düşmemiş aksine dış sargı bu bloğu tutarak kesitin dağılmasını geciktirmiştir.

Verev donatılı numunelerin çatlak gelişimi diğer numune tiplerine göre oldukça farklıdır. Öteki numunelerde B ve D yüzlerinde eğilme çatlağı olarak tabir edilen kesit boyunca enine pozisyonda oluşan çatlaklar, verev donatılı numunelerde yerini X çatlaklarına bırakmıştır. Numune yüzeyinde oluşan her eğik çatlak, verev donatının konumunda ve donatıyı takip eder cinsten devam etmektedir. Deneyin son döngülerine doğru kolondaki kesit ayrılmaları ileri mertebelere ulaştığında etriyeler arasında yerleştirilen verev donatılar kaynak noktalarından ayrılmaktadırlar.

Genel olarak SC800 numunelerinde nihai deplasmanlar SC600 numunelerine göre fazla olduğundan kesit kırılıp donatı görüldükten sonra B ve D yüzündeki donatılarda burkulmalar net bir şekilde görülmektedir. Bu son döngü deplasman değerlerinin fazla olmasıyla ve tekrarlı yüklerdeki yorulmayla çeşitli konumlardaki donatılarda kopmalar meydana gelmiştir.

Tepe yüklerinin değerleri bölüm 3’de her numune için tek tek itme ve çekme döngüleri için ayrıca ortalama değer olarak verilmiştir. Deney sonuçları değerlendirildiğinde SC800 seti numuneleri için yatay yük taşıma kapasitesi en yüksek kısa kolon numunesi CFRP100 olarak ortaya çıkmıştır. SC600 setinde ise durum Verev Ø10 numunesinde maksimum yatay yük değeri saptanmıştır. 800 ve 600 setlerinde maksimum yatay yük taşıyabilen numunenin farklı numune tiplerinde ait olması kesme oranının değişimi ile

değişiklik gösteren kırılma türüdür. SC800 numunelerinde eğilme durumu SC600'e göre daha fazla etkili olduğundan ve CFRP malzeme uygun sıklık ve kalınlıkta kullanımıyla çatlak gelişimini geciktirdiğinden ve bu geciken çatlak gelişimiyle oluşacak tepe noktası histeresis grafiği üzerinde hem x hem de y yönünde + yönde öteleneceğinden dolayı tepe yükü ve %80 yük azalmasına kadarki yapacağı deplasman değeri yani sünekliği artmıştır.

SC600 setinde ise kesme hakim kırılma türü tüm numuneler için geçerlidir. CFRP benzeri kesme çatlağı olan X çatlaklarının oluşumunu geciktiren ve numunenin akma noktasını + yönde öteleyen verev donatılar sayesinde maksimum yatay yük verev donatılı numunenin deney sonucunda görülmüştür.

#### **Yer Değiştirme Düktilitesinin Değerlendirilmesi;**

Düktilite kavramı daha önce de belirtildiği üzere yapının ya da yapı elemanının yatay yükler etkisinde önemli bir taşıma gücü azalmasına uğramadan yapabildiği yer değiştirme yeteneğidir. Kısa kolon diye tabir edilen yapısal kusur, bu tanımın tam tersi nitelikte davranışa sahiptir. Zaten onu kusur haline getiren de bu süneklik yoksunu gevrek kırılma eğilimidir. Bu kusurun ortadan kalkmasını amaçlamak kısa kolona düktilite kazandırmak anlamına da gelmektedir.

Bu başlık altında incelenen numunelerde SC800 seti için Verev Ø12 ve SC600 seti için Referans Ø10 numuneleri en yüksek yer değiştirme düktilitesi oranına sahip numuneler olmuşlardır.

Bu durum SC800 numuneleri için düşünüldüğünde D Ø12 numunesinin histeresis grafiğinde maksimum tepe yükünden sonra yatay yük azalma eğiliminin daha az olması nedeniyle ani yük düşüşünün engellemesiyle açıklanabilir. Numunenin tepe noktasından sonra düşen yatay yük seviyesi döngü başına daha az düşerek numunenin daha fazla deplasman yapmasına izin vermiştir. Böylelikle nihai deplasman artmış ve yer değiştirme düktilitesi de beraberinde artmıştır.

SC600 numunelerinde ise duruma  $\Delta y$  değerinin yüksekliği etki etmektedir. Başlangıç rijitliği SC600 numuneleri içerisinde en fazla çıkan numunelerden bir tanesi Referans Ø10 numunesidir. Bu rijitliğin fazla olması eğrinin çıkış hattının dik konumlu olması

dolayısıyla y eksenini kesen bileşeni yani deplasmanının da küçük olması anlamına gelmektedir. Deney sonuna kadar ortalama sayıda döngü geçirmesiyle beraber deney sonu nihai deplasmanı da SC600 numunelerinin ortalaması içerisinde olduğundan  $\Delta u/\Delta y$  duktilite formülü düşünüldüğünde payda azaldığından değer artmıştır.

Tüm bunlara rağmen SC800 setinde CFRP150, D Ø10 numuneleri de oldukça yüksek bir yer değiştirme duktilitesi değerine sahiptirler. Değerler Bölüm 3 de tablo 3.2 de verilmiştir. Aynı şekilde SC600 numuneleri içerisinde CFRP100,150 numuneleri de yer değiştirme duktilitesi bakımından oldukça yüksek değerlere ulaşmışlardır.

### **Başlangıç ve Sekant Rijitliklerinin Değerlendirilmesi;**

Başlangıç ve sekant rijitlikleri setlerin kendi içinde değerlendirilmesi ile yapıldığında SC800 seti için en yüksek başlangıç rijitliği değeri CFRP150 numunesinde oluşmuştur. Sekant rijitliği ise en yüksek CFRP100 numunesinde meydana gelmiştir. Bunun nedeni ise maksimum tepe yükünün %80 inin en fazla olduğu numune olması ile açıklanabilir. Çünkü orjinden bu noktaya çizilen doğrunun eğimi sekant rijitliğini verdiğinden doğrunun bittiği son nokta ne kadar yüksekte olursa o kadar eğim arttığından bu sonuç elde edilmiştir.

SC600 numunelerinde ise bu durum değişip hem başlangıç hem de sekant rijitliği D Ø12 numunesinde en yüksek değer olarak saptanmıştır.

Genel olarak deneyleri ve sonuçları tamamlanan kısa kolon numuneleri için karşılaştırmalı bir performans taraması yapılmıştır. Bu çeşitli elemanların performanslarının değerlendirilmesi sonucu maksimum yük taşıma kapasitesi olarak CFRP ve Vervev donatılı numuneler olduğu belirlenmiştir. CFRP için sargı aralığı azalması ve vervev donatılı için de optimum bir enine donatı çapı olup bunun da Ø10 olması numunelerin tepe yüklerini en büyük hale getiren kombinasyonlardır.

Sonuç olarak kesme oranının 2 olduğu kısa kolonlar için kusurlu davranışı kısıtlayabilecek en uygun kısa kolon güçlendirme modeli 100mm aralıklarla sarılmış CFRP sargılarıdır. Kesme oranı 1.5 olduğunda ise durum genel olarak vervev donatı teşkili ile üretilmiş kısa kolon numunelerinin öteki güçlendirme yöntemlerine olan üstünlüğüyle tamamlanmıştır.

## Öneriler;

Deneysel anlamda çalışma zorlukları, deneysel alanda çalışan araştırmacılar tarafından bilinen bir gerçektir. Özellikle deprem performansına bakılan yapı sisteminin ya da yapı elemanının sünek olmadığı deneysel çalışmalarda sünek olanlara göre çok daha fazla tepe yükü ile karşı karşıya gelmek son derece tehlikeli durumlar yaratabilmektedir. Ayrıca gevrek kırılma türü ani olduğundan dolayı deneyler her ne kadar statik itme şeklinde yapılsa da kırılma anları son derece dinamik bir halde meydana gelmektedir. Gerek kırılma hızı gerekse kırılma anındaki yatay yük mertebesi düşünüldüğünde deneylerin maksimum güvenlik tedbirleri alınarak yapılması önem arz etmektedir.

Güvenliği sağlamak adına yatay ve düşey yüklerin incelenebilecek güvenlik seviyesine indirgenmesi çok önemli bir konudur. Ayrıca yatay ve düşey yükleri numune üzerine uygulayan alet ve teçhizatların da ekstra bir tehlikeye yol açmaması için deney yükleri iyi belirlenmelidir.

Yatay ve düşey yükleri temsil eden yükler yani deney yükleri belirlenirken beton sınıfı, numune boyutları gibi faktörler kullanıldığından, deney yüklerin güvenli bölgeye taşınması için bu faktörler üzerinde düzenleme yapılmalıdır. Yüksek eksenel ve yatay yük gerektiren numunelerde ise beton sınıfının düşürülmesi veya en kesitin daraltılması yerine numune boyutlarını, donatı ve agrega çapını küçültmek yani numuneleri ölçeklendirmek en uygun çözüm olacaktır. Ayrıca numuneye uygulanan yük tek doğrultu olarak verilmiştir, ancak deprem etkisi her zaman tek doğrultulu olmayabilir. Yeni yapılacak çalışmalarda bu deney çift yönlü olarak yük uygulamasıyla yapılabilir. Hatta deprem yükünün simüle edildiği sarsma tablaları ile dinamik olarak testinin gerçekleştirilmesi kısa kolon kusurunun iyileştirilmesinde daha iyi bir araştırma yöntemi olacaktır.

Ayrıca yapılacak yeni çalışmalarda test edilecek numuneler içerisinde aynı özellikleri taşıyan en az üç adet numunenin deneye tabi tutulması, ortalama davranışın net bir şekilde görülmesine deney hatalarından kaynaklanan düzeltmelerin azalmasına çok büyük katkı sağlayacaktır.

Kısa kolonlarda gerçekleşen kesme hakim davranışın gerçek durumla daha yakın simüle edilebileceği test numunelerinin kullanılması da ayrıca bir öneri olarak sunulabilir.

Literatürde kısa kolonların bu tez çalışması kapsamında yapıldığı şekliyle test edilmesinin yanı sıra, kolonların üst kısımdan da tutulu olarak test edilmesi için üst kısmı bloklu numunelerin kullanıldığı deneysel çalışmalar da mevcuttur. Ancak üst kısımda kullanılan blokların yatay yer değiştirme esnasında dönme yapmadan yine yatay konumda kalmasını sağlamak oldukça zordur. Bu çalışma kapsamında kısa kolonların üst kısmında blok kullanılmadan direkt olarak kolondaki hasarlar ve uygulanan yöntemlerin etkinlikleri ele alınmaya çalışılmıştır. Referans kolon olarak seçilen kolonların yönetmelik şartlarına uygun kusursuz kolonlar olması, bunun yanı sıra önerilen uygulamaların da bu kolonların performansının gerisinde kalmaması oldukça önemlidir. Bu durum önerilen yöntemlerin uygulanabilirliğinin ve etkinliğinin en büyük göstergesi niteliğindedir. Kısa kolonlarda gerçek durumun daha iyi ortaya konulabilmesi için kolonun alt ve üst uçtan tutulu olduğu, ayrıca deneysel olarak da uygulanabilir sistemler üzerinde deneysel çalışmalar yapılarak, yöntem uygulamalarının araştırılması ileriki çalışmalar için bir öneri olarak sunulabilir.

## KAYNAKLAR

1. Celep, Z., Kumbasar, N., 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, Üçüncü Baskı, İstanbul, 700s
2. <http://www.akkoyunluyapi.com/videos.html> (Erişim Tarihi Kasım 2017)
3. [http://www.orducu.comhaber/-9499-civil\\_viyaduk\\_ayaklari\\_da\\_tamam.html](http://www.orducu.comhaber/-9499-civil_viyaduk_ayaklari_da_tamam.html) (Erişim Tarihi Kasım 2017)
4. Li, Z, Dang, H., H., Zhang, J-S., Qin, H., 2008. Experimental study on mechanical property of steel reinforced concrete L-shaped short columns, **International Journal of Modern Physics B**, 22 (1): 5755-5761.
5. Ymakawa, T., Banazadeh, M., Fujikawa, S., 2005. Emergency Retrofit of Shear Damaged Extremely Short RC Columns Using Pre-tensioned Aramid Fiber Belts, **Journal of Advanced Concrete Technology**, 3 (1): 95-106
6. Lui, J., Driver, R.G., Lubell, A.S., 201. Experimental Study on Short Concrete Columns with External Steel Collars, **ACI Structural Journal**, 108 (3): 360-369
7. Promis, G., Ferrier, E., Hamelin, P., 2009. Effect of Experimental FRP Retrofitting on Reinforced Concrete Short Columns for Seismic Strengthening, **Composite Structures Journal**, 88 (3), 367-379
8. Gohobarah, A., Elmandoooh Galal, K. 2004. ‘Seismic Rehabilitation of Short Rectangular RC Columns’, **Journal of Earthquake Engineering**, 8 (1): 45-68
9. Moretti, M., Tassios, T.P., 2007. Behaviour of Short Columns Subjected to Cyclic Shear Displacements: Experimental Results, **Journal of Engineering Structures**, 29 (1)pp. 2018-2029
10. Woodward, K.A., Jirsa, J.O. 1984. Influence of reinforcement on RC short column lateral resistance. ASCE **Journal of Structural Engineering**, 110 (1): 90-104

11. Lam, S.S.E., Wu, B., Wong, Y.L., Liu, Z.Q., Li, C.S., 2003. Drift Capacity of Rectangular Reinforced Concrete Columns with Low Lateral Confinement and High-Axial Load, **Journal of Structural Engineering**, **129** (6): 733-742
12. Zhou, X., Liu, J., 2010. Seismic Behavior and Shear Strength of Tubed RC Short Columns, **Journal of Constructional Steel Research**, **66** (1): 385-397
13. Galal, K., Arafa, A., Ghobarah, A., 2005. Retrofit of RC square short columns, **Journal of Engineering Structures**, **27**: 801-813
14. Fukuyama, K., Higashibata, Y., Miyauchi, Y., 2000. Studies on repair and strengthening of damaged reinforced concrete columns, **Cement & Concrete Composites**, **22** (2): 81-88
15. DBYBHY 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2007.
16. Dirikgil, T., Altun, F., 2014. Betonarme Kısa Kolonların Tasarlanmasına ve Güçlendirilmesine Yönelik Yeni Yaklaşımların Analitik ve Deneysel Araştırılması, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**
17. Memon, M.S., Sheikh, S.A. 2005. Seismic resistance of square concrete columns retrofitted with glass-fiber polymer. **ACI Structural Journal**. **102** (5): 774-783.
18. Lacobucci, R.D., Sheikh, S.a, Bayrak, O.2003. Retrofit of concrete columns with carbon fiber-reinforced polymer for seismic resistance. **ACI Structural Journal**, **100** (6): 785-794.
19. Zaharia, R., Taucer, F. 2008. Equivalent period and damping for EC8 spectral response of SDOF ring-spring hysteretic models. JRC Scientific and Technical Reports. 80pp. Italy.
20. Sullivan, T.J., Calvi, G.M., Priestley, M.J.N. 2004. Initial stiffness versus secant stiffness in displacement based design. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 2888, August 1-6, 2004, Vancouver, B.C., Canada.
21. TS/EN 12390-1. Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 1: Deney Numunesi ve Kalıplarının Şekil, Boyut ve Diğer Özellikleri. Türk Standartları Enstitüsü, Haziran 2013, 13s

22. TS/EN 12390-2 Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Küre Tabi Tutulması, Türk Standartları Enstitüsü, Nisan 2010, 7s
23. TS-500 (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Şubat 2000, 79s
24. TS-708 (2010). Çelik- Betonarme için Donatı Çeliği. Türk Standartları Enstitüsü, Nisan 2010, 25s.
25. TS/EN 197-1. Çimento – Bölüm 1: Genel çimentolar – Bileşim özellikleri ve uygunluk kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Şubat 2012, 40s.
26. TS/EN 1097-6. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler Bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, 2013, 51s.
27. TS/EN 1097-2/A1. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler Bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için metotlar. Türk Standartları Enstitüsü, Temmuz 2010, 29s.
28. TS/EN 706-12620+A:2009. Beton Agregaları. Türk Standartları Enstitüsü, Nisan 2009, 50s.
29. Federal Emergency Management Agency 2007. Interim Testing Protocols for Determining the Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components. 20-22s

## **EKLER**

**EK-1.**Strain Gage (Gerininim Pulu)

**EK-1A** Strain Gage

**EK-1B** Deney Esnasında Donatılardan Alınan  $\sigma$ - $\epsilon$  Eğrileri



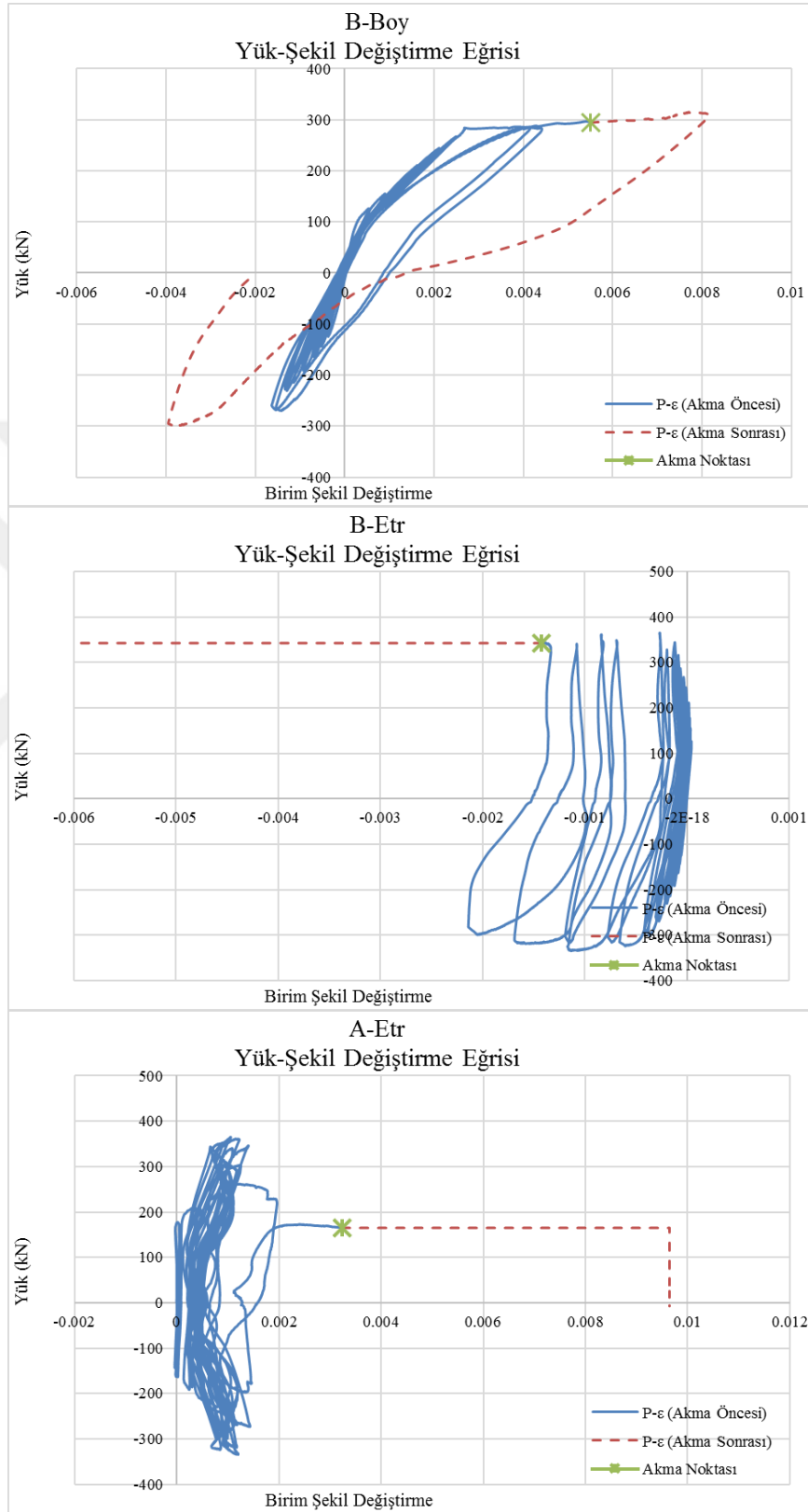
## **EK-1 Strain Gage (Gerinim Pulu)**

### **EK-1A Strain Gage**

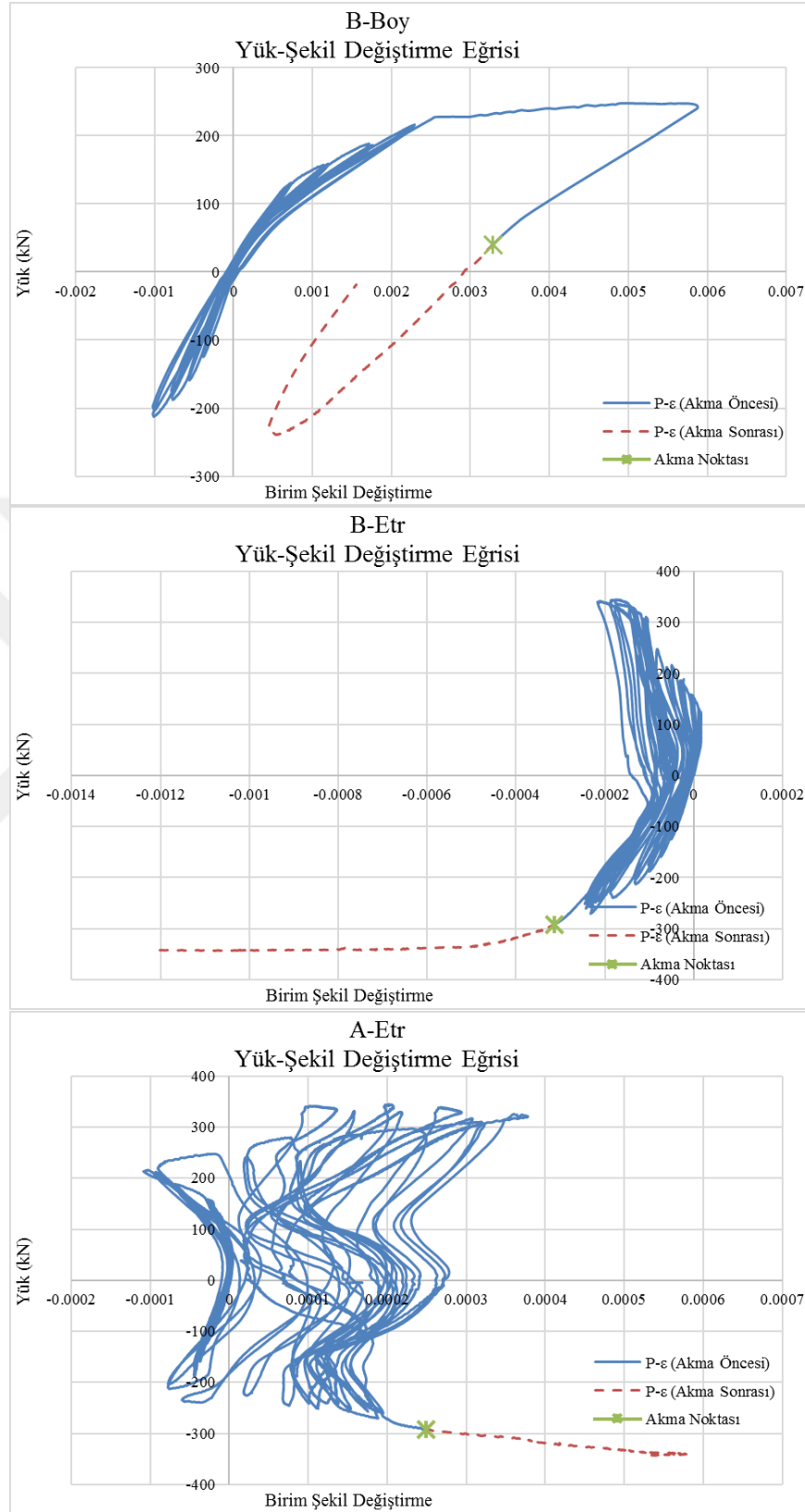
Strain gage, 1866 da Lord Kelvin'in metal bir tel üzerinde gerilim uygulaması ve bu tel'e ait uzunluk ve çap gibi parametreleri değiştirdiğinde elektrik direncinin de değiştiğinin görülmesiyle temel olarak bulunmuştur. Strain gageler ince rezistans tellerin (2-10 $\mu$ m) plastik bir reçine üzerine entegrasyonu ile oluşur. Bu plastik reçine kısım şekil değiştirmenin ölçüleceği yüzeye yapıştırılır. Yapıştırılacak yüzey her türlü kir pas ve yağdan arındırılmalıdır. Ayrıca yüzeyin pürüzsüz bir yapıda olması gerekmektedir. Strain gage yüzeye yapıştırıldıktan sonra korumasız bir halde bırakılmamalı gerekli izolasyon malzemeleri kullanılarak dış ortamdan darbe ve suya karşı yalıtılmalıdır.

Strain gageler için önemli olan birkaç parametre vardır. Bunlardan bazıları Gauge Factor (GF) ve Gauge Resistance (GR)'dir. Çalışmada kullanılan strain gage FLA-5-11-3L tipi dir. Firma kataloğunda strain gage için belirtilen GF değeri  $2.13 \pm 1\%$ 'dir. Ayrıca GR değeri de  $119.6 \pm 0.5 \Omega$ 'dur. Strain gagelerden elde edilen değerlerin doğru değerlendirilebilmesi için datalogger girişine strain gage yi bağlarken Wheatson Köprüsü, Tam köprü, yarım köprü ve çeyrek köprü tamamlamaları yapılmalıdır. Bu köprülerin vazifeleri değişen strain gage tip ve şekillerine uygun mV değerlerini okuyabilmemizi sağlamaktır. Çalışma kapsamında kullanılan Strain Gage ler çeyrek köprü tamamlama kablosu ile çalıştırılmıştır.

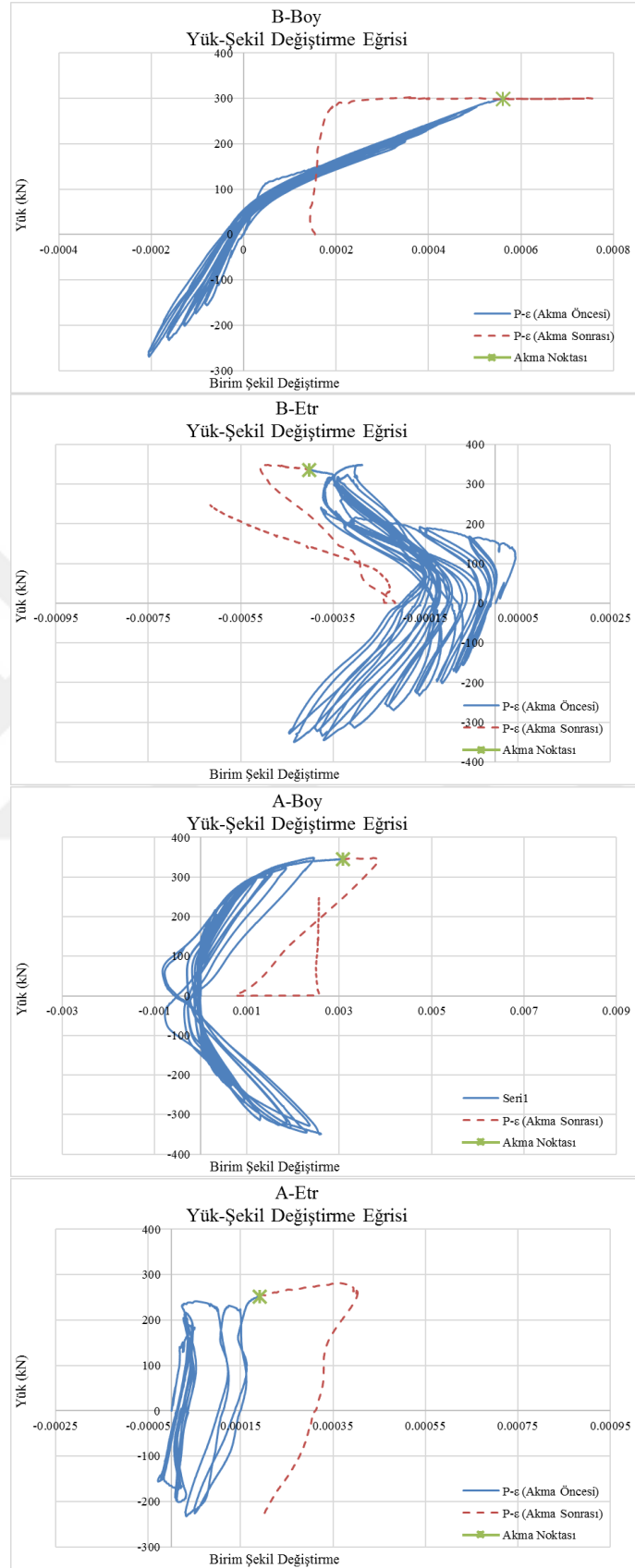
### EK-1B Deney Esnasında Donatılardan Alınan $\sigma$ - $\epsilon$ Eğrileri



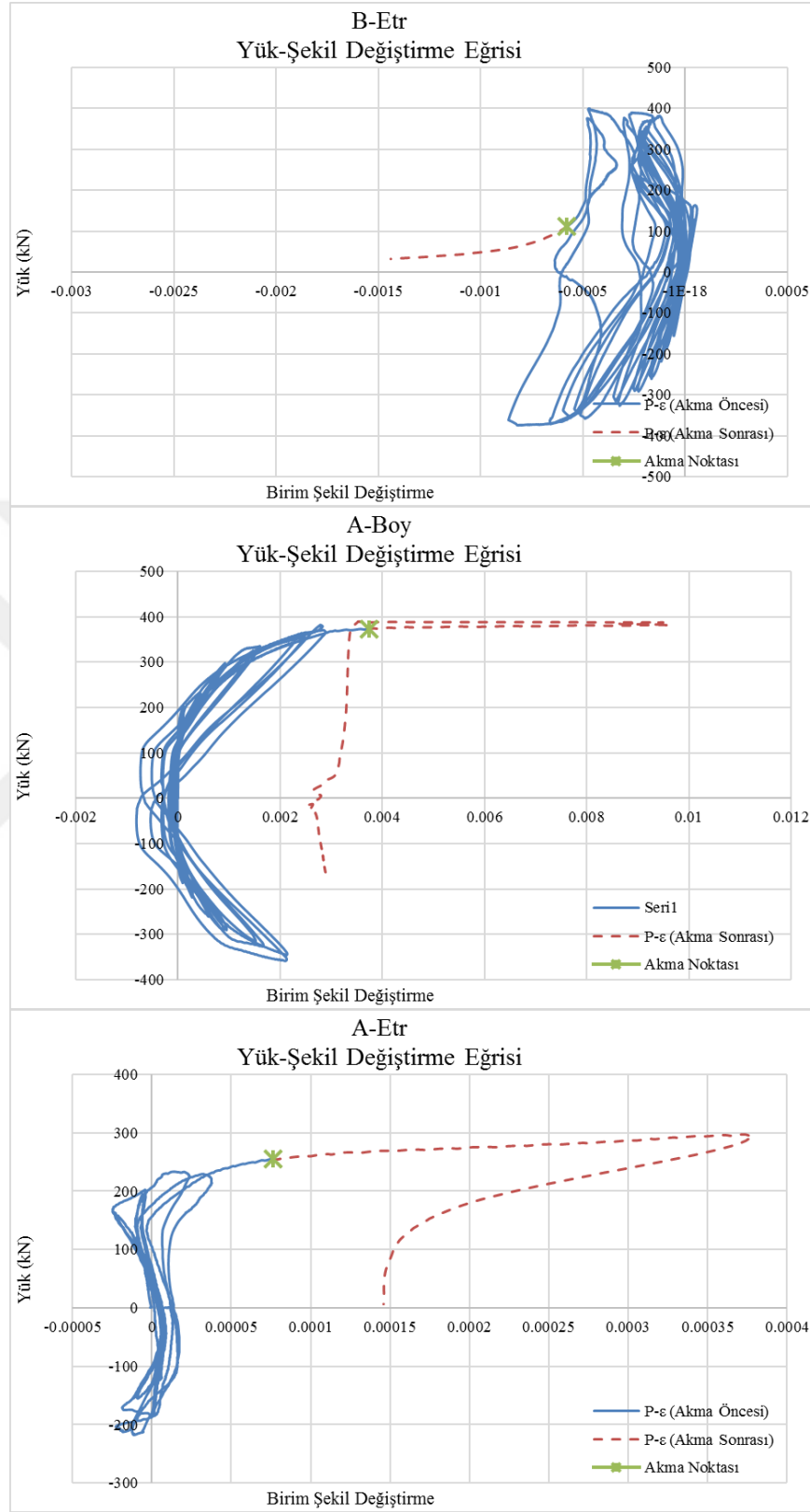
Şekil EK-1B.1. SC800 Ref Ø10



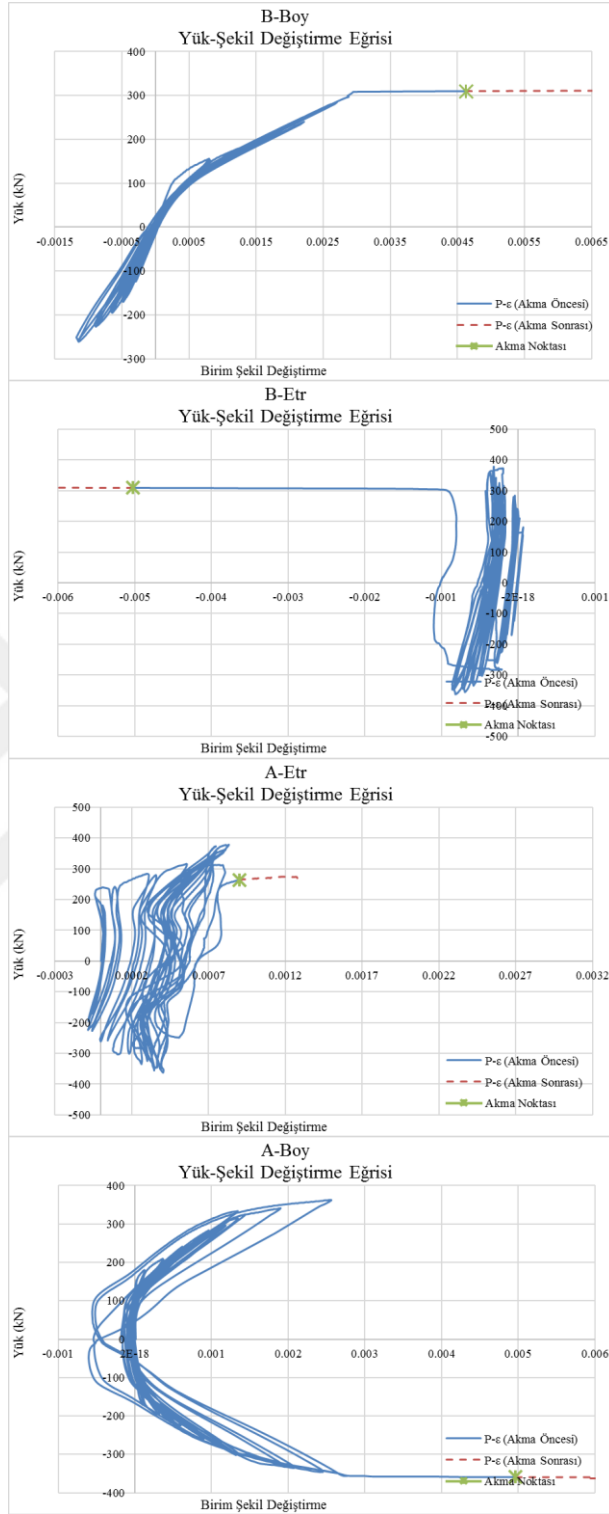
Şekil EK-1B.2. SC800 Ref Ø12

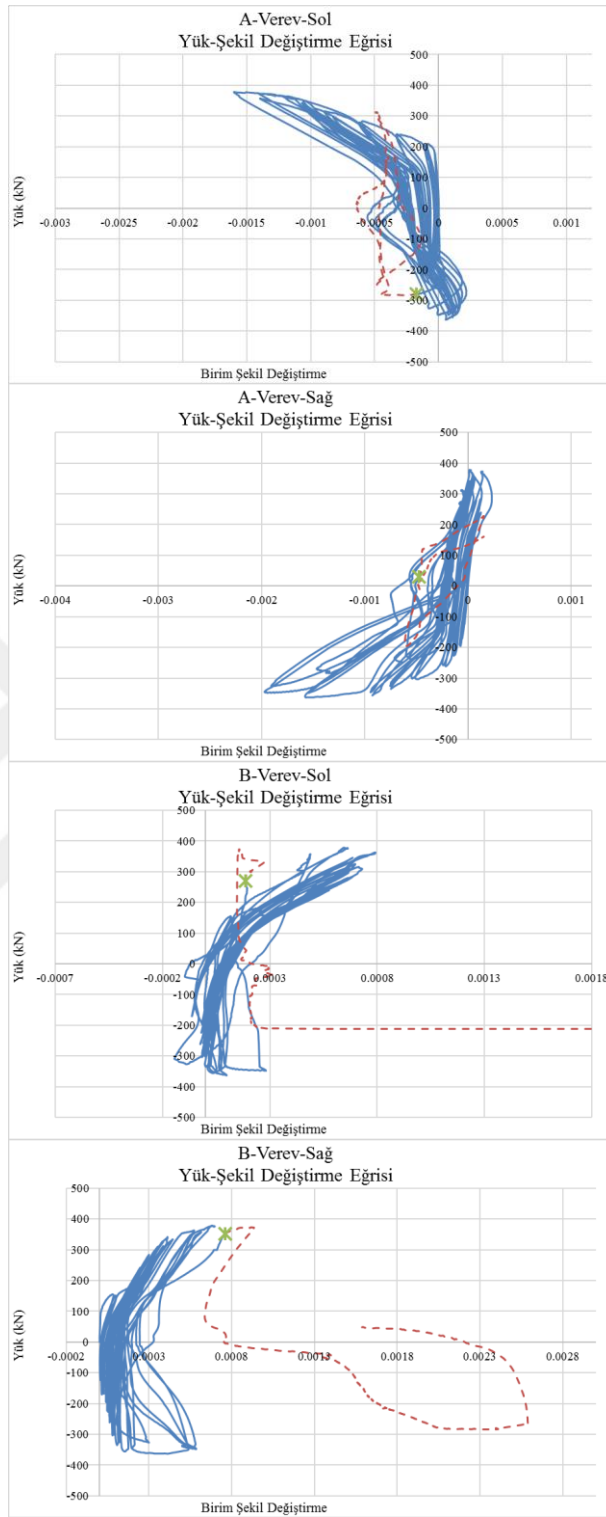


Şekil EK-1B.3. SC800 CFRP 150

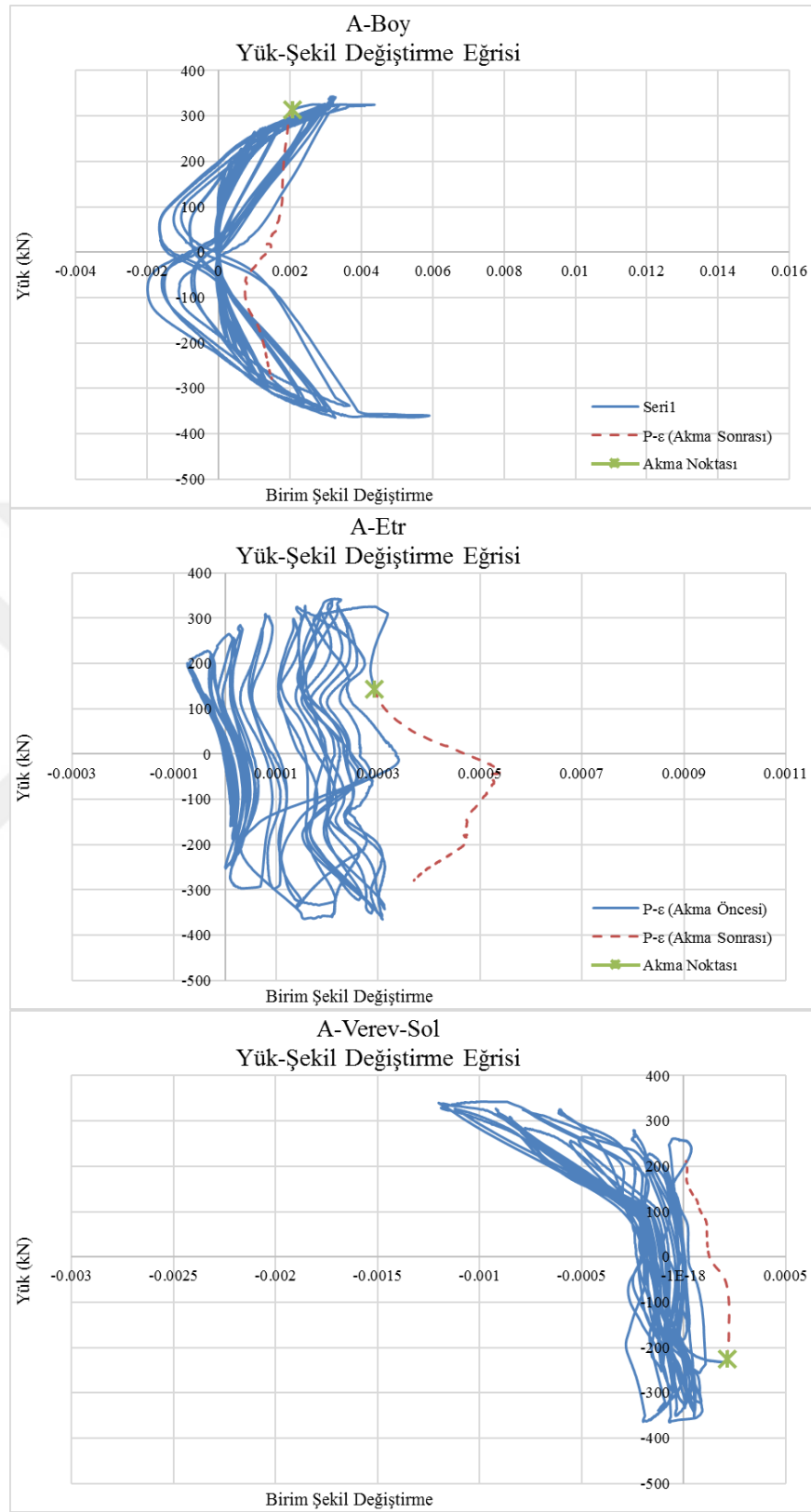


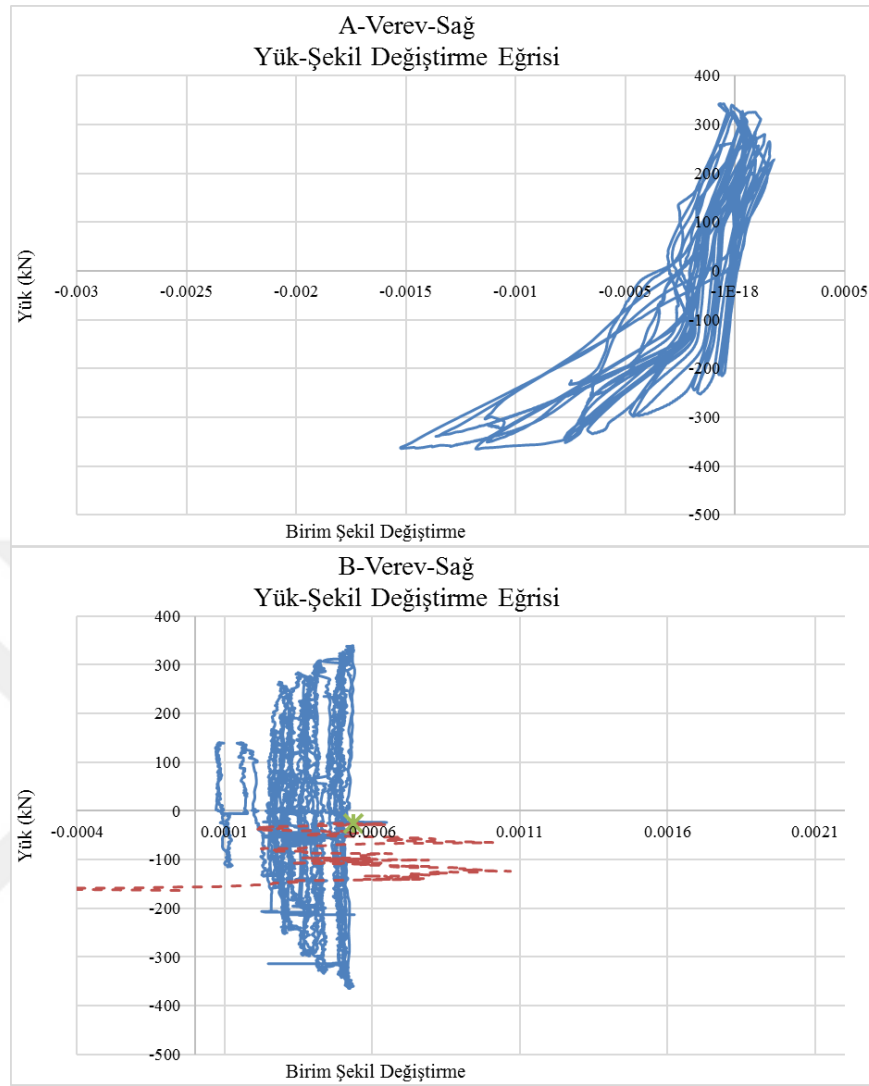
**Şekil EK-1B.4. SC800 CFRP 100**





**Şekil EK-1B.5. SC800 D Ø10**

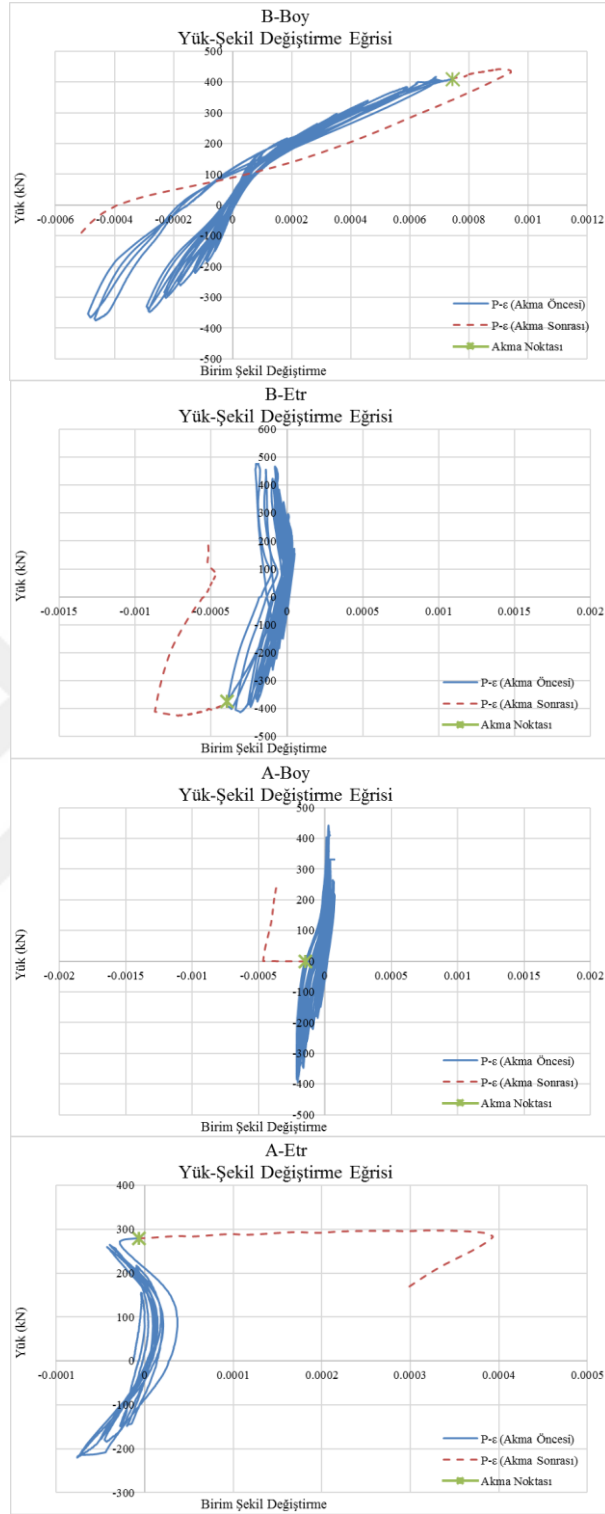




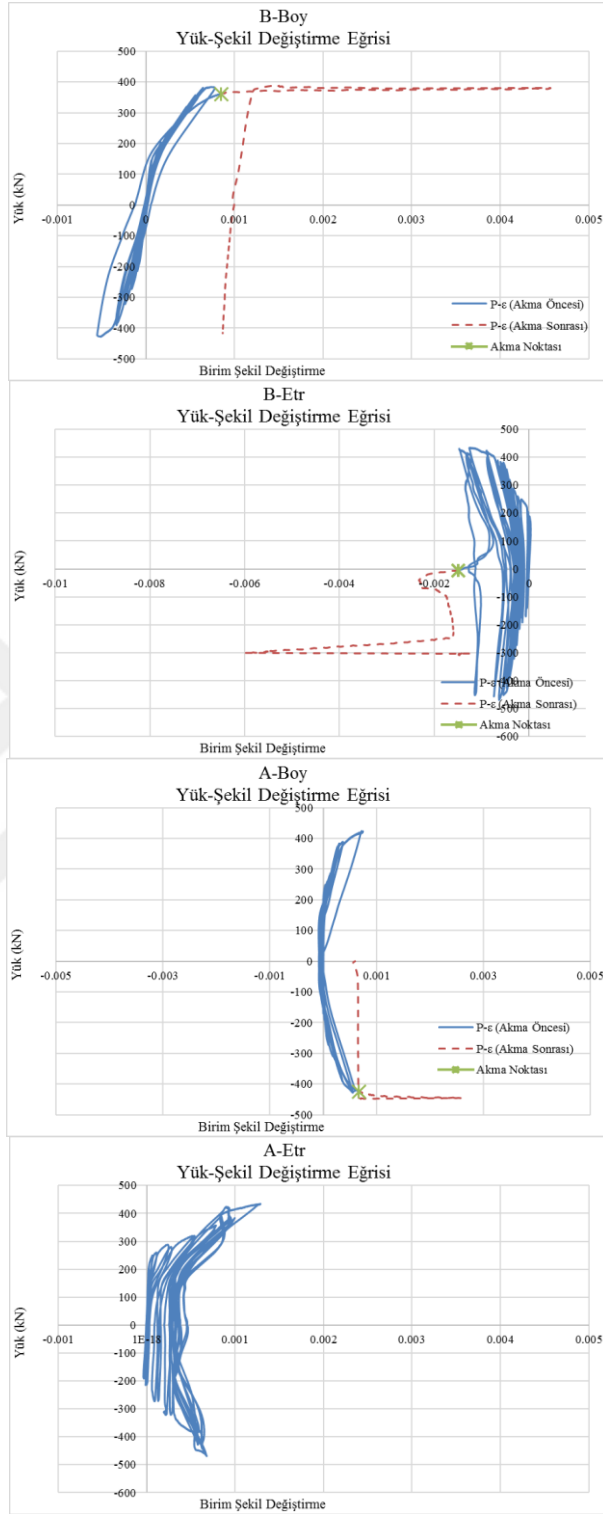
**Şekil EK-1B.6. SC800 D Ø12**



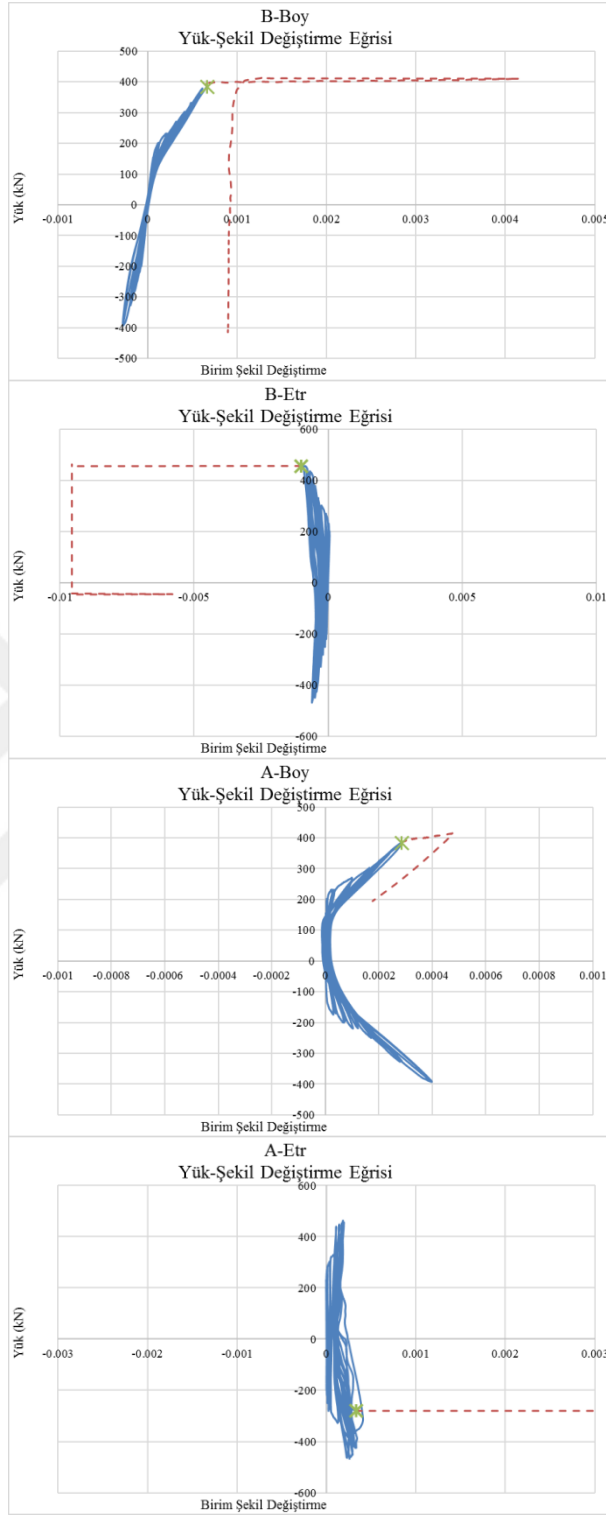
Şekil EK-1B.7. SC600 Ref Ø10



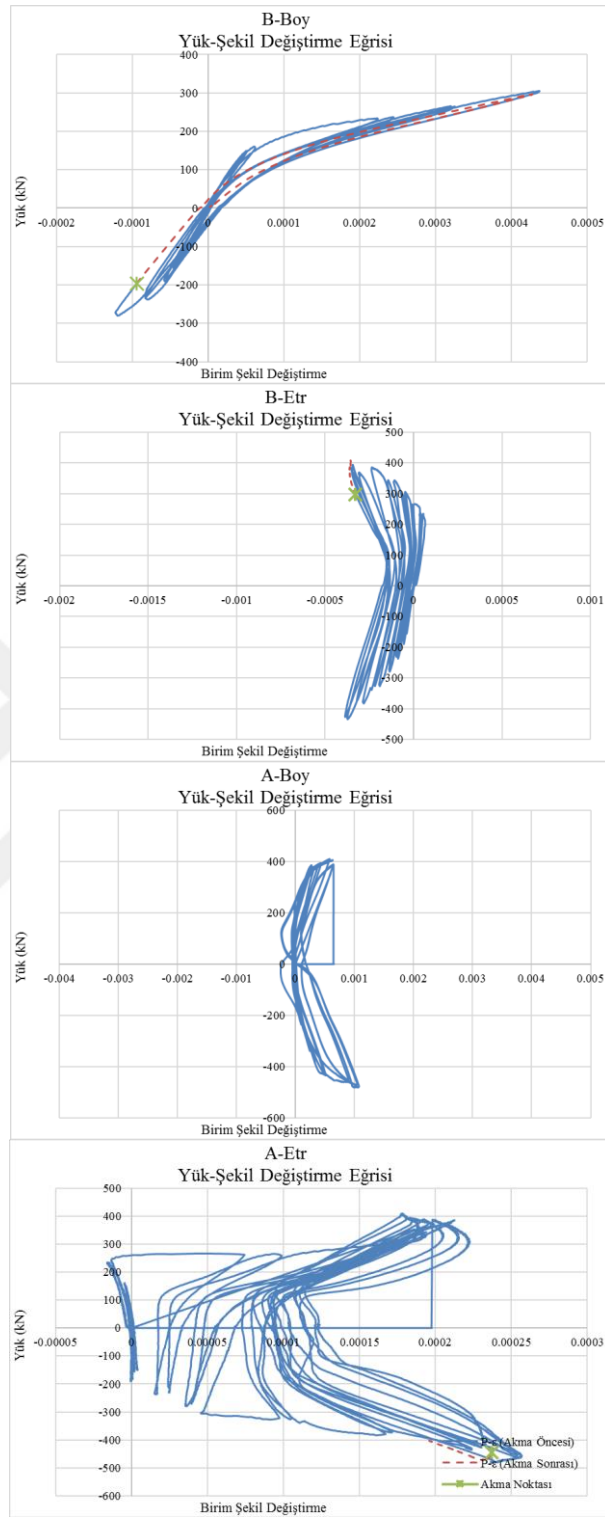
Şekil EK-1B.8. SC600 Ref Ø12

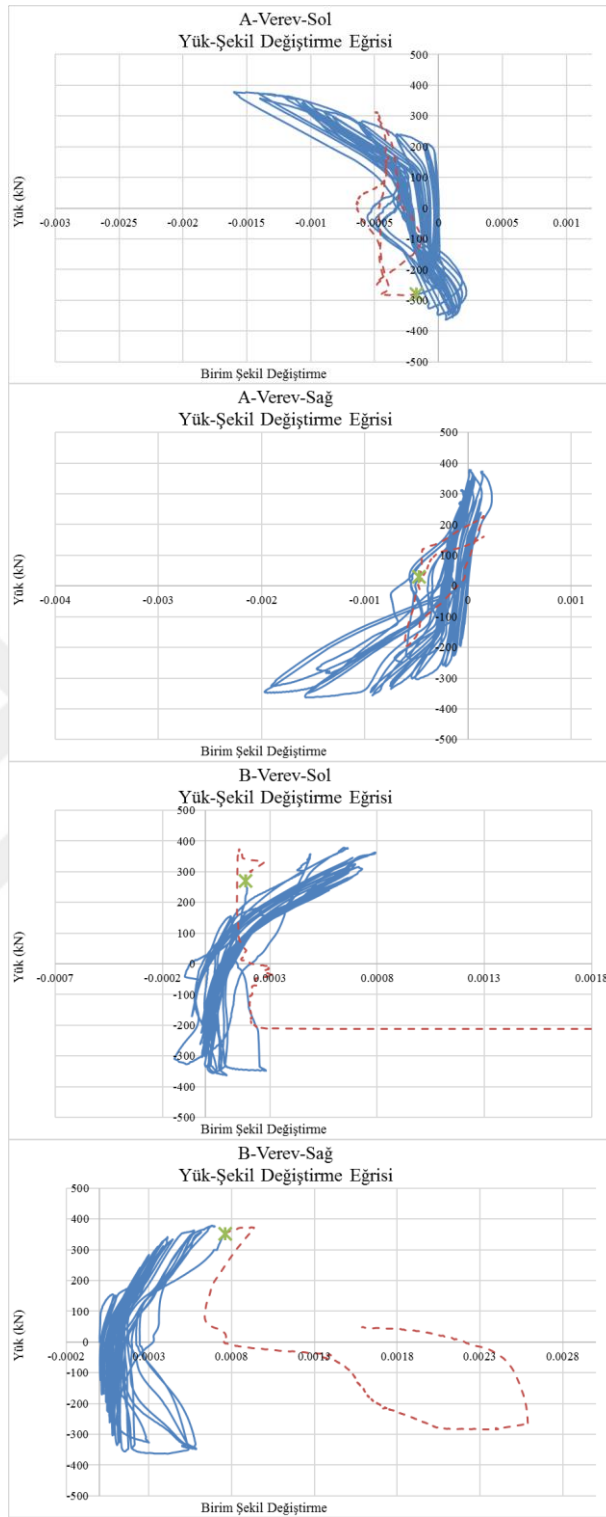


**Şekil EK-1B.9. SC600 CFRP 150**

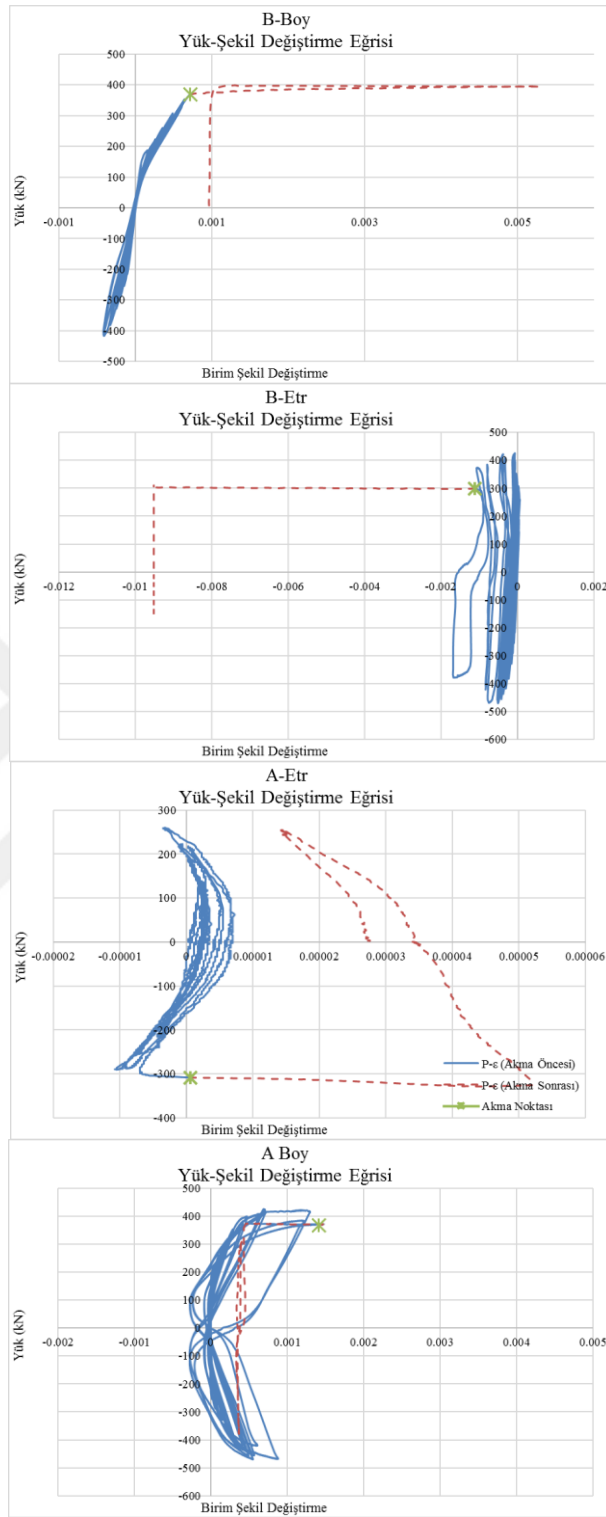


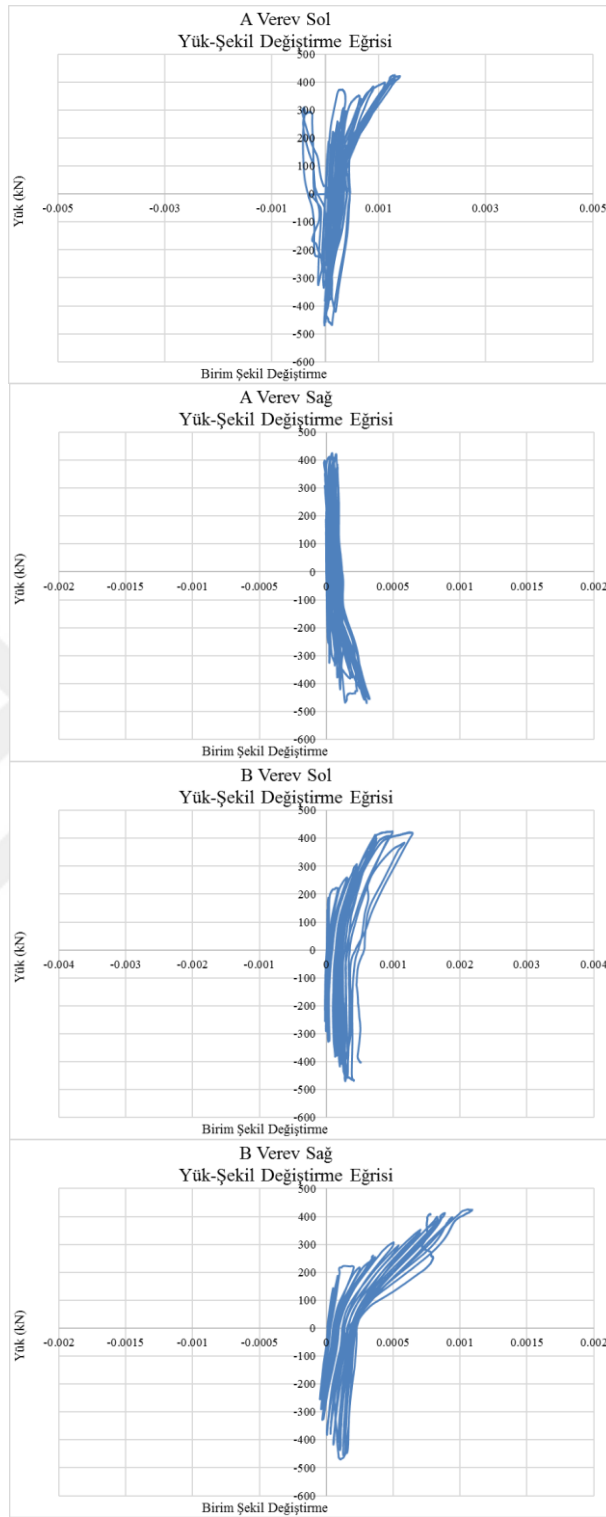
**Şekil EK-1B.10. SC600 CFRP 100**





**Şekil EK-1B.11. SC600 D Ø10**





Şekil EK-1B.12. SC600 D Ø12

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Oğuzhan ATAŞ  
Uyruğu: Türkiye (TC)  
Doğum Tarihi ve Yeri: 27 Haziran 1992, İstanbul  
Medeni Durumu: Bekâr  
email: [oguzhan-atas@hotmail.com.tr](mailto:oguzhan-atas@hotmail.com.tr)

### EĞİTİM

| Derece | Kurum                    | Mezuniyet Tarihi |
|--------|--------------------------|------------------|
| Lisans | EÜ Mühendislik Fakültesi | 2014             |

### İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl                    | Kurum                                           | Görev           |
|------------------------|-------------------------------------------------|-----------------|
| 2015- Halen            | Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü | Proje Asistanı  |
| 2015Ocak–<br>2015Eylül | MH Yapı Denetim                                 | Kontrol Elemanı |

### YABANCI DİL

İngilizce