ÇİFT EĞRİLİKLİ BETONARME KOLONLARIN KARBON FİBER ELYAFLA TAMAMEN SARGLANMASI İLE GÜÇLENDİRİLMESİ VE ONARILMASI

Alper Necati KÖSEOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAYIS 2006
ANKARA

Alper Necati KÖSEOĞLU tarafından hazırlanan ÇİFT EĞRİLİKLİ BETONARME KOLONLARIN KARBON FİBER ELYAFLA TAMAMEN SARGILANMASI İLE GÜÇLENDİRİLMESİ VE ONARILMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç.Dr.Yusuf DEMİREL
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Sıddık ŞENER

Üye : Prof. Dr. Hüsnü CAN

Üye : Prof. Dr. Tekin GÜLTOP

Üye : Yrd.Doç. Dr. Yusuf DEMİREL

Üye : Yrd.Doç. Dr. Özgür ANIL

Tarih : ...../...../.....

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Alper Necati KÖSEOĞLU

ÇİFT EĞRİLİKLİ BETONARME KOLONLARIN KARBON FİBER ELYAFLA TAMAMEN SARGILANMASI İLE GÜÇLENDİRİLMESİ VE ONARILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Alper Necati KÖSEOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Mayıs 2006

ÖZET

Bu çalışmada çift eğrilikli betonarme kolonların karbon fiber elyafla tamamen sargılanması yolu ile güçlendirilmesi yapılmıştır. Mantolama yolu ile betonarme kolonların güçlendirilmesinde Güçlendirilmiş Karbon Fiber Plastik (Carbon Fiber Reinforced Plastic-CFRP) kullanılmıştır. Laboratuar ortamında üç adet deney elemanı üretilmiştir. Birincisi referans elemanı olarak üretilmiş yalın elemandır. Diğer iki adet deney elemanı ise güçlendirme ve onarım deneyleri için kullanılmıştır. İlk olarak karbon fiberin kolona tamamen sarıldığı, kolon-kiriş birleşim noktasından düz olarak geçirildiği deney elemanının güçlendirilmesi yapılmıştır. İkinci olarak ise karbon fiberin kolona tamamen sarıldığı, kolon-kiriş birleşim noktasından çapraz olarak geçirildiği deney elemanının güçlendirilmesi yapılmıştır. Güçlendirme deneylerinden sonra onarım deneylerinin yapılması için karbon fiber, deney elemanlarından tamamen çıkartılmış, deney elemanları tamir harcıyla onarılmıştır. Onarılan elemanlara tekrar karbon fiber sarılarak deneye tabi tutulmuşlardır. Bu deney elemanlarının, maksimum yük kapasiteleri, enerji tüketimleri, rijitlik değişimleri ve süneklikleri incelenmiş, davranış ve dayanımları araştırılmıştır.

Bu deneysel araştırmanın sonucunda kolon-kiriş birleşiminin karbon fiber elyafla tamamen sargılanması ile güçlendirilmesi ve onarılması beklenen sonucu vermemiştir.

Bilim Kodu : 911.1.144
Anahtar Kelimeler : Onarım, güçlendirme, fiber
Sayfa Adedi : 79
Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Yusuf Demirel

STRENGTHENING AND REPAIRING OF DOUBLE CURVATURE REINFORCED CONCRETE COLUMNS WITH FIBER MAT JACKETING COMPLETELY

(M.Sc.Thesis)

Alper Necati KÖSEOĞLU

GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
May 2006

ABSTRACT

The scope of this study is, strengthen of double curvatured reinforced column by the method of jacketing of columns with carbon fiber mat. Carbon Fiber Reinforced Plastic-CFRP is used for strengthen of reinforced columns. Three test element produced in the laboratory. The first is the reference element that is unstrengthened. The other elements are strengthened with carbon fiber by the method of straight and cross jacketing at the point of column beam intersection. Then all elements are tested and elements that are jacketed with carbon fiber are unjacketed and repaired with repairing mortar. Repaired elements are jacketed with carbon fiber and tested again. According to test results, maximum load capacity, energy consumption, rigidity change and ductility properties of the elements are analyzed and behavior and strength of the elements are researched. Performed strengthen study with carbon fiber jacketing and repairing at the column-beam intersection resulted unsuccessful.

Science Code : 911.1.144
Key Words : Repairing, Strengthening, fiber
Page Number : 79
Thesis Advisor : Yrd.Doç.Dr. Yusuf Demirel

TEŞEKKÜR

Bu araştırma, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuarında gerçekleştirilmiş deneysel bir çalışmanın ürünüdür. Bu çalışmada danışmanlığımı üstlenen, değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Yrd.Doç.Dr.Yusuf DEMİREL'e teşekkür ederim. Çalışmalarımda bana destek olan hocam Yrd. Doç. Dr. Özgür ANIL'a ve laboratuar çalışmalarında bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Uzman Faruk OGÜN'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT vi

TEŞEKKÜR vii

İÇİNDEKİLER viii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ xi

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xii

RESİMLERİN LİSTESİ xiv

SİMGELER VE KISALTMALAR xv

1. GİRİŞ 1

2. DENEY ELEMANI 18

2.1. Kullanılan Malzemeler 20

2.1.1. Beton 20

2.1.2. Betonarme donatıları 21

2.1.3. Deney elemanının üretilmesi 21

2.1.4. Karbon fiber'in özellikleri 24

3. LABORATUVAR YÖNTEMİ 28

3.1. Genel 28

3.2. Deney Düzeneği ve Yükleme Sistemleri 28

3.3. Ölçüm Araçları ve Veri Toplama 30

3.3.1. Ölçüm araçları 30

3.3.2. Deney sırasında alınan ölçümler ve değerlendirilmesi 30

Sayfa

3.4. Deney Yönetimi ve Yükleme Aralığı 36

4. GÖZLEMLENEN DAVRANIŞLAR VE DENEY SONUÇLARI 37

4.1. RM Deneyi 37

4.2. SSFM Deneyi 41

4.3. SCFM Deneyi 46

4.4. RSFM Deneyi ..... .51

4.5. RCFM Deneyi 55

4.6. Deney Sonuçları 58

5. DENEY SONUÇLARININ İŞLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ 60

5.1. Dayanım ve Dayanım Azalması 60

5.2. Süneklik 63

5.3. Enerji Tüketimi 65

5.4. Rijitlik Değişimi 66

6. ANALİTİK ÇALIŞMA 69

6.1. Genel 69

6.2. Kullanılan Sargılanmış Beton Modeli 69

6.3. Moment-Eğrilik Programı 70

6.4. Deneysel ve Analitik Moment-Eğrilik Değerlerinin karşılaştırılması 71

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 72

7.1 Sonuçlar 72

7.2 Öneriler 74

Sayfa

KAYNAKLAR 76

EKLER 77
EK-1 Moment-eğrilik programı girdi değerleri 78

ÖZGEÇMİŞ 79

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 1.1. Yusuf Demirel, Tuğrul Tankut; deneylerin özellikleri 9

Çizelge 2.1. Deneylerin özellikleri..... 18

Çizelge 2.2. Betonarme donatıları..... 21

Çizelge 4.1. Yük-yer değiştirme ilişkisinden elde edilen deney sonuçları 58

Çizelge 4.2. Sol kolon moment-eğrilik ilişkisinden elde edilen deney sonuçları..... 59

Çizelge 4.3. Sağ kolon moment-eğrilik ilişkisinden elde edilen deney sonuçları..... 59

Çizelge 5.1. Yer değiştirme sünekliği 63

Çizelge 5.2. Sol kolon eğrilik sünekliği 64

Çizelge 5.3. Sağ kolon eğrilik sünekliği 64

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Jianchun Li, Steve L Bakoss, Bijan Samali, Lin Ye'nin deney elemanı 14

Şekil 1.2. Khalid M. Mosalam (2005)'in deney elemanı 16

Şekil 2.1. Prototip bir yapı çerçevesi 18

Şekil 2.2. Donatı şeması 23

Şekil 2.3. Karbon Fiber gerilme – birim şekil değiştirme grafiği 25

Şekil 3.1. Deney düzeneği 29

Şekil 3.2. Yatay rijit cisim hareketi 31

Şekil 3.3. Rijit cisim dönme hareketi 32

Şekil 3.4. Dönme ve eğrilik ölçüm düzeneği 33

Şekil 3.5. Deney elemanlarında oluşan mesnet reaksiyonları ve moment diyagramı 35

Şekil 3.6. Kolonların kiriş yüzeylerinde oluşan momentleri 35

Şekil 3.7. Yükleme programı 36

Şekil 4.1. RM elemanının yük-yer değiştirme İlişkisi 38

Şekil 4.2. RM elemanının moment-eğrilik ilişkisi 39

Şekil 4.3. SSFM elemanının yük-yer değiştirme İlişkisi 43

Şekil 4.4. SSFM elemanının moment-eğrilik ilişkisi 44

Şekil 4.5. SCFM elemanının yük-yer değiştirme İlişkisi 48

Şekil 4.6. SCFM elemanının moment-eğrilik ilişkisi 49

Şekil 4.7. RSFM elemanının yük-yer değiştirme İlişkisi 52

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.8. RSFM elemanının moment-eğrilik ilişkisi..... 53

Şekil 4.9. RCFM elemanının yük-yer değiştirme ilişkisi..... 56

Şekil 5.1. SSFM, SCFM ve RM elemanlarının yük yer değiştirme zarflarının karşılaştırılması..... 61

Şekil 5.2. RSFM, RCFM ve RM elemanlarının yük-yer değiştirme zarflarının karşılaştırılması..... 62

Şekil 5.3. SSFM, SCFM ve RM elemanının enerji-çevrim grafiği..... 65

Şekil 5.4. RSFM, RCFM ve RM elemanının enerji-çevrim grafiği 66

Şekil 5.5. SSFM, SCFM ve RM elemanlarının rijitlik-ileri çevrim grafiklerinin karşılaştırılması 67

Şekil 5.6. SSFM, SCFM ve RM elemanlarının rijitlik-geri çevrim grafiklerinin karşılaştırılması 67

Şekil 5.7. RSFM, RCFM ve RM elemanlarının rijitlik-ileri çevrim grafiklerinin karşılaştırılması 68

Şekil 5.8. RSFM, RCFM ve RM elemanlarının rijitlik-geri çevrim grafiklerinin karşılaştırılması 68

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 2.1. Deney elemanı donatısı 22

Resim 2.2. Çelik kalıp içerisinde deney elemanı donatısı 22

Resim 2.3. SSFM ve RSFM elemanlarına karbon fiber uygulanması 27

Resim 2.4. SCFM ve RCFM elemanlarına karbon fiber uygulaması 27

Resim 4.1. RM elemanının deney aşamasındaki resimleri 40

Resim 4.2. SSFM elemanının deney aşamasındaki resimleri 45

Resim 4.3. SCFM elemanının deney aşamasındaki resimleri 50

Resim 4.4. RSFM elemanının deney aşamasındaki resimleri 54

Resim 4.5. RCFM elemanının deney aşamasındaki resimleri 57

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
$\mathbf{F_{ck}}$	Deney günündeki beton silindir basınç dayanımı
$\mathbf{f_{su}}$	Donatı çeliğinin çekme dayanımı
$\mathbf{f_{yk}}$	Donatı çeliğinin akma dayanımı
h	Yükseklik
K	Eğrilik
$\mathbf{L_L}$	Sol kolon mesnetiyle kiriş aksı arasındaki uzunluk
$\mathbf{L_R}$	Sağ kolon mesnetiyle kiriş aksı arasındaki uzunluk
$\mathbf{M_L}$	Sol kolon kiriş yüzeyindeki momenti
$\mathbf{M_R}$	Sağ kolon kiriş yüzeyindeki momenti
P	Deney sırasında uygulanan yenilenir tersinir yük
δ	Yer değiştirme okuyucusu, (LVDT)
Ø	Dönme
$\mathbf{P_u}$	Yük-Yer değiştirme grafiğindeki maksimum yük
$\mathbf{P_y}$	Yük-Yer değiştirme grafiğindeki akma anındaki yük
δ_0	Yük-Yer değiştirme grafiğindeki maksimum yüke karşılık gelen yer değiştirme
δ_y	Yük-Yer değiştirme grafiğindeki akma anındaki yüke karşılık gelen yer değiştirme
$\mathbf{P_{85}}$	Yük-Yer değiştirme grafiğindeki maksimum yükün %85 ine karşılık gelen yük

Simgeler	Açıklama
δ_8	Yük-Yer değiştirme grafiğindeki maksimum yükün %85 ine düştüğü andaki yer değiştirme
M_u	Moment-Eğrilik grafiğindeki maksimum moment
M_y	Moment-Eğrilik grafiğindeki akma anındaki moment
K_0	Moment-Eğrilik grafiğindeki maksimum momente karşılık gelen eğrilik
K_y	Moment-Eğrilik grafiğindeki akma anındaki momente karşılık gelen eğrilik

1. GİRİŞ

Genel

Ülkemizde, betonarme binalarda gözlenen yapısal hasarın çoğunluğu aşağıdaki nedenlerden kaynaklanmaktadır.

- Mühendislik hizmeti görmemiş bina stoku ve bunların iskâna açılması
- Yetersiz ve hatalı kesit ve donatı seçimi
- Yapım sırasında işçilikten kaynaklanan hatalar
- Zeminden kaynaklanan sorunlar

Ayrıca yapı denetiminin başlı başına bir sorun olduğu ülkemizde şartnameler çoğunlukla göz ardı edilmekte, hatta birçok bina herhangi bir dış etki olmaksızın kendiliğinden göçebilmekte veya hasar görmektedir.

Depremler kuvvetine maruz kalan bir yapının dayanma gücü ve performansı, düğümlerdeki detayların tasarımı ve uygulanması ile bağlantılı olup, düğümlerdeki hasar binanın ayakta kalmasına veya yıkılmasına önemli ölçüde etki eder.

Tipik bir konutun, şiddetli bir depremde hasar görmesi normal karşılanabilir. Önemli olan, yapıların göçmesinin önlenmesidir. Binaların şiddetli depremi bir tamamen hasarsız olarak atlatmasını sağlayacak şekilde projelendirilmesi ekonomik değildir. Ancak, yönetmeliklerimiz şiddetli depremlerde bile yapıların göçmesini engelleyecek önlemleri detaylı bir şekilde içermektedir. Bu durumda, depremi hasarlı olarak atlatmış bir yapının taşıyıcı sisteminin iyileştirilmesi gündeme gelmektedir. Yetersiz taşıma gücüne sahip yapılarda iki seçenek mevcuttur. İlki yapıyı yıkmak ve binayı günümüz standartlarına ve yönetmeliklerine uygun şekilde yeniden inşa etmek, ya da yapıya uygun olan onarım tekniklerinden birisini uygulamaktır.

Onarım ve Güçlendirme Kavramları: Onarım, hasar görmüş bir yapı veya yapı elemanını öngörülen bir güvenlik düzeyine çıkarmak için yapılan işlemlerdir.

Güçlendirme ise, hasar görmemiş bir yapı veya yapı elemanını öngörülen bir güvenlik düzeyine çıkarmak için yapılan işlemler olarak tanımlanabilir. Yukarıda bahsedilenlerin ışığında laboratuar ortamında üç adet deney elemanı üretilmiştir. Bunlardan ilki yalın eleman olan RM deney elemanıdır. Diğer iki eleman üzerinde de güçlendirme ve onarım deneyleri yapılmıştır. İlk olarak SSFM deney elemanının güçlendirilmesi yapılmıştır. Bu ilk deneyde kolona karbon fiber iki parça halinde mantolanmıştır. İlk parça ortadan yarılarak deney elemanına yukarıdan giydirilmiştir ve kolonun üç yüzeyini de kaplayacak şekilde epoksi yardımıyla yapıştırılmıştır. Bu ilk parça yapıştırıldıktan sonra bir gün beklenmiş ve ilk parçanın kuruması sağlanmıştır. İkinci parça da aynı şekilde ortadan yarılarak deney elemanına aşağıdan giydirilmiş ve kolonun üç yüzeyini kaplayacak şekilde epoksi yardımıyla yapıştırılmıştır.

İkinci deney olarak SCFM deney elemanının güçlendirilmesi yapılmıştır. Bu ikinci deneyde de karbon fiber kolona iki parça halinde mantolanmıştır. İlk parça ortadan yarılarak sol kolonun ucundan giydirilmiş ve solda kalan kısım üste, sağda kalan kısım ise alta gelecek şekilde ve kolonun üç yüzeyini kaplayacak şekilde epoksi yardımıyla yapıştırılmıştır. Bu ilk parça yapıştırıldıktan sonra bir gün beklenmiş ve ilk parçanın kuruması sağlanmıştır. İkinci parça da aynı şekilde ortadan yarılarak sağ kolonun ucundan giydirilmiş ve sağda kalan kısım üste, solda kalan kısım ise alta gelecek şekilde ve kolonun üç yüzeyini kaplayacak şekilde epoksi yardımıyla yapıştırılmıştır. Deneye tabi tutulan bu iki elemanın üzerindeki karbon fiber çıkarılmış, hasara uğramış deney elemanları onarılmış ve tekrar karbon fiber yapıştırılarak deneye tabi tutulmuştur.

Önceki Çalışmalar

Kolon ve düğüm noktasında onarım ve güçlendirme çalışmaları

Aksan, Tankut ve Ersoy (1989)

Bu çalışmada, değişik manto türlerinin etkinliği yalnızca eksenel yük taşıma kapasitesi bakımından incelenmiştir. Bu amaçla, beş deney elemanından oluşan bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. Bunlardan dördü, uygulama koşulları bakımından çeşitli manto türlerini yansıtmaktadır.

Hasar öncesi yüksüz mantolama (Yüksüz güçlendirme mantosu), PUS.

Hasar sonrası yüksüz mantolama (Yüksüz onarım mantosu), PUR.

Hasar öncesi yük altında mantolama (Yüklü güçlendirme mantosu), PLS.

Hasar sonrası yük altında mantolama (Yüklü onarım mantosu), PLR.
Beşincisi ise yukarıda verilen değişik mantolama yöntemlerinin etkinliğini saptayabilmek amacıyla, mantolanmış kolonlarla aynı kesit özelliklerine donatıya ve etriyeye sahip olan birdöküm referans deney elemanıdır, (PM). Deneyde kullanılan elemanların boyu 650 mm'dir. Ölçüm aralığı ise 250 mm’dir. Yalın elemanın kesiti 130 mm x 130 mm ve donatısı 4Ø10 boyuna donatı, Ø4/40 etriyedir. Manto kesit boyutu 180 mm x 180 mm ve manto donatısı ise 4Ø10 boyuna donatı ve Ø4/40 etriyedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar şöyle sıralanabilir:

İster yük altında, ister yüksüz yapılan güçlendirme mantosu çok etkilidir.

Güçlendirilmiş elemanın dayanımı birdöküm elemanın dayanımının %80 ~ 90 'ı civarındadır.

Diğer bir yandan onarım mantosu yüksüz yapıldığında çok başarılı iken yük altında yapıldığında etkin değildir.

Yüksüz onarım mantosu (PUR) uygulanan elemanın dayanımı birdöküm referans elemanının dayanımının %70 ~ 80'i civarındadır.

Yüklü onarım mantolu elemanın dayanımı birdöküm elemanı dayanımının %50'si kadardır. (Buda yaklaşık yalnızca manto kapasitesine eşittir).
İki şekilde güçlendirilmiş elemanlarında süneklik değişimi ve enerji tüketimi bakımından birdöküm elemandan fazla farkı yoktur.

Onarılmış elemanda da benzer davranış görülür. Ama dayanımın düşmesi ile sünekliğin ve de enerji yutumunun azaldığı görülür.

Güçlendirilmiş eleman ile birdöküm elemanın rijitliği birbirine çok yakındır.

Yüksek yük seviyelerinde onarılmış mantoların (iki çeşit onarım içinde geçerli) rijitliğinde bir azalma gözlemlenmiştir.

Güçlendirilmiş mantoların deformasyon konusunda hiç bir sorunlu yanı yoktur.

Onarılmış elemanlarda ise aşırı deformasyonlar kaçınılmazdır.

Tüm bu irdelemeler altında kısaca şu sonucu çıkarabiliriz.
İster yük altında, ister yüksüz yapılmış olsun güçlendirme mantosunun çok etkili olduğu görülmüştür. Onarım mantosu ise yüksüz yapıldığında oldukça etkili olmakta, ancak yük altında uygulandığında fazla yarar sağlanmamaktadır, [1].

Yanarateş (1990)

4 basit kolon eksantrik yüklemeye tabi tutulmuştur. Elemanlardan iki tanesi 130 mm. x 230 mm. 'lik kesitli ve 6,50 m. uzunluktadır. Bu elemanlarda 4 adet Ø 10mm.

'lik boyuna donatı kullanılmıştır. Diğer ikisi ise 160mm. x 160mm kesitinde Ø 12'lik 4 boyuna donatı kullanılarak 1,0 m. uzunluğunda yapılmıştır. Enine donatı olarak Ø4 mm'lik demirler referans alınmış ve 100 mm. ara ile yerleştirilmiştir. Eksenel yük altında basit kolon gibi hasar meydana gelene kadar yükleme yapılmıştır. Daha sonra tüm elemanlardaki hasar görmüş beton kısım temizlenerek çıkarılmıştır. Hasar görmüş kolonların enine donatıları EMM (Genişleyen Metal Ağ) kullanılarak onarılmıştır. İlk iki örnekten bir tanesi kesiti 180mmx180mm'ye çıkarılmış diğeri ise 175 mm. x 175 mm. 'ye dört adet Ø10mm.'lik boyuna donatı kullanılarak kesiti alınmıştır. Diğer ikisi 4 adet Ø12'lik demir kullanılarak 2.30 mm. x 2.30 mm.'ye çıkarılmıştır. Onarım sırasında herhangi bir yükleme yapılmamıştır. Beton dayanımını aldığı zaman elemanlara eksenel yük uygulanmış fakat başarısız sonuçlanmıştır. Enine donatı olarak kullanılan EMM çok etkin bir çözüm olamamıştır. Sonuçlar Kent ve Parkın Matematiksel Modelinine uygun olarak gerçekleşmiştir, [2].

Suleiman, Tankut ve Ersoy (1990)

Bu çalışmada, mantolanarak onarılmış ya da güçlendirilmiş betonarme kolonların eksenel yük ve tek eğrilikli eğilme altındaki davranışı ve dayanımını deneysel olarak incelemiştir. Beş deney elemanından üçü tek düze yük ya da tersinir yük altında denenmiştir, sonra bu elemanlar mantolanmış ve yeniden deneye tabi tutulmuştur. Yapılan mantolamaya yalın deney elemanındaki hasara bağlı olarak onarım veya güçlendirme adı verilmiştir. Bunlara ek olarak iki birdöküm referans elemanı denenmiştir.

- Monotonik yük altında onarılmış eleman, SP–12.
- Monotonik yük altında birdöküm eleman, SP–MM.
- Tersinir yük altında güçlendirilmiş eleman, SP–22.
- Tersinir yük altında onarılmış eleman, SP–32.
- Tersinir yük altında birdöküm eleman, SP–MC.

Deney elemanlarının boyutları yalın eleman 160X160 ve 4Ø12 boyuna, Ø4/10 etriyedir. Manto elemanının boyutları ise 230X230 ve 4Ø12 boyuna, Ø8/10 etriyedir. Deney elemanı I şeklinde imal edilmiş ve tek eğrilikli olarak test edilmişlerdir. Mantolanan deney elemanlarının tümünde manto boyuna donatıları, kiriş gövdesine mekanik olarak bağlanmış korniyerlere kaynaklanmıştır. Onarılan ve güçlendirilen deney elemanlarında mantolamanın etkisi dayanım, süneklik, enerji tüketimi ve rijitlik bakımından incelenmiştir.

Bu deney sonuçlarını şöyle sıralayabiliriz:

- Mantolama kolonların güçlendirilmesinde ve onarımında başarılı bir şekilde kullanılabilir.
- Kiriş gövdesine mekanik olarak bağlanan korniyerlere manto donatısının kaynaklanmasıyla oluşturulan bağlantılar monotonik ve tersinir yüklemelerde başarılı sonuç vermektedir. (Dengeli durumda ve üstündeki eksenel yüklerde.)
- Monotonik ve tersinir yükleme altında onarılmış elemanlar istenilen davranışı ve dayanımı göstermişlerdir. Bu dayanım referans elemanından % 10 daha düşüktür.
- Onarılmış kolonlar monotonik ve tersinir yüklemeler altında tatmin edici bir davranış göstermiştir. Fakat bu kolonlarda referans elemanına göre % 10'luk bir yük kaybı söz konusudur.
- Güçlendirilmiş kolonlar ile referans elemanının yük-yer değiştirme grafikleri maksimum yüke kadar özdeşlik göstermektedir. Bu elemanların dayanım azalmasıda hemen hemen aynıdır.
- Onarılmış kolonların rijitliği maksimum yüke kadar referans elemanıyla karşılaştırıldığında %20'lik bir azalma görülmektedir. Tersinir yükleme altında test edilen elemanın rijitliği referans elemanının rijitliğinin %75'i civarındadır. Onarılmış kolonlara etkiyen yük şeklinde rijitlik kapasitesini etkileyebiliyor sonucuna varabilir. Onarılmış kolonlardaki rijitlik düşüş şekli referans elemanınkine çok yakındır.
- Onarılmış ve güçlendirilmiş elemanlardaki enerji tüketimi son tersinir yüklemeye kadar aynıdır. Buna rağmen bu elemanlardaki enerji tüketimi referans elemanına göre daha azdır.

- Onarılmış ve güçlendirilmiş elemanların deformasyon kapasiteleri referans elemanlarıyla karşılaştırıldığında daha azdır. Buna rağmen uç liflerdeki deformasyonla maksimum yük özdeştir.
- Maksimum yük'e kadar göbek ve mantodan elde edilen deformasyon okumaları özdeştir. Bu da maksimum yüke kadar göbek betonu ile mantonun arasındaki bağın bozulmadığını gösterir.

Tüm bu sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Güçlendirilmiş mantolu elemanların hem monotonik hem de tersinir yükler altında birdöküm referans elemanı kadar iyi davrandığını göstermiştir. Onarım gören mantolu elemanlarda ise, hem rijitliğin, hem de dayanımın birdöküm referans elemanına oranla daha küçük olduğu gözlenmiştir, [3].

Yumak, Tankut ve Ersoy (1990)

Bu çalışmada, çeşitli ankraj yöntemlerinin mantolanmış kolon davranışına etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışma, beş adet kolon eleman ile (Dört tanesi onarılmış, bir tanesi birdöküm referans elemanı), eksenel yük ve tersinir eğilme altında gerçekleştirilmiştir. Mantolama aşamasında da kolon deney elemanlarına aşağıdaki ankraj yöntemleri uygulanmıştır.

- Sürekli manto donatısı, RRC.
- Epoksi ile kenetlenmiş manto donatısı, RRE.
- Mekanik kenetlenme (kelepçe ile), RRM.
- Manto donatısının kiriş yüzeyinde kesilmesi, RRD.

Sözü edilen akraj yöntemlerini karşılaştırmak amacıyla, birdöküm bir referans elemanıda deneye tabi tutulmuştur. MR. Bu çalışmadaki eleman boyutları ve deney düzeneği R. Suleiman'ın eleman boyutları ve deney düzeneği ile aynıdır. Bu

çalışmadaki sürekli manto donatılı eleman RRC ve birdöküm referans elemanı MR R.Suleiman'ın SP–MC ve SP–32 kodlu elemanlarıdır.

Bu çalışmada R. Suleiman'ın deney dizisinin sonuçlarına ek olarak elde edilen sonuçlar şunlardır:

- Manto boyuna donatılarının epoksi ile kirişe kenetlenmesi ve mekanik bağlanmış çelik korniyerlere kaynaklanması yolları ile dengeli yük seviyesinde (tek eğrilikli durumda) başarılı sonuçlar elde edilmiştir.
- Sürekli manto donatısı deneyindeki sonuçlar güvenilir görülmemiştir. Bu elemandaki beklenmeyen başarısız sonuç açıklanamamıştır.
- Manto boyuna donatısının kiriş yüzeyinde kesilmesi yüksek eksenel yük altında göreceli olarak beklenmeyen bir sonuç vermiştir.
- Onarılmış kolonlardaki maksimum yük seviyesine kadar olan rijitlikte %25'lik bir düşme oluşmuştur. Onarılmış kolonlardaki rijitlik düşmesi birdöküm referans elemandaki rijitlik düşmesine benzerdir.

Tüm bu irdelemelerden kısaca şu sonuç çıkarılabilir. Epoksi ve mekanik kenetlenme yöntemiyle mantolanmış kolonların iyi davranış sergiledikleri izlenimi vardır. Boyuna donatının süreksiz olması durumunda ise, elde edilen sonuçlar fazla güven verici değildir, [4].

Onarılmış / Güçlendirilmiş Çift Eğrilikli Betonarme Kolonların Davranış Ve Dayanımı

Yusuf Demirel, Tuğrul Tankut (1998)

Bu çalışmanın amacı, mantolama yöntemi ile onarılmış/güçlendirilmiş kolon deprem davranışının araştırılmasıdır. Bu amaçla 15 adet deney tersinir tekrarlanan yükler altında denenmiştir. Deney elemanlarında kenetlenme yöntemi mantolama türleri ve elemanların eksenel yük altında yüksüz olarak davranışları ana değişkenler olarak

alınmıştır. Deney elemanlarında, 3 tip kenetlenme yöntemi (sürekli, mekanik, epoksili) kullanılmıştır. Manto türleri (güçlendirme, onarım ve diriltme), eksenel yüklü ve yüksüz dayanım ve davranış diğer 2 değişken olarak ele alınmıştır. Bu çalışma prototip bir çerçeveden hareket edilerek, kolonların çift eğrilik oluşturan tersinir eğilme altındaki davranışı ve dayanımını araştırmayı ve manto boyuna donatısı kenetlenme yöntemlerinin etkinliğini incelemeyi amaçlamaktadır.

Çizelge 1.1. Yusuf Demirel, Tuğrul Tankut; deneylerin özellikleri

Deney Elemanı	Deney	Manto Türü	Eksenel Yük	Kenetlenme Yöntemi
1	MR	Birdöküm	0	Sürekli
2	MRN	Birdöküm	0,15No	Sürekli
3	SN	Güçlendirme	0,15No	Mekanik
4	BN	Yalın	0,30No	--
	RPN	Onarım	0,15No	Mekanik
	RVN	Diriltme	0,15No	Mekanik
5	BC	Yalın	0	--
	RPC	Onarım	0	Sürekli
	RVC	Diriltme	0	Sürekli
6	BE	Yalın	0	--
	RPE	Onarım	0	Epoksili
	RVE	Diriltme	0	Epoksili
7	BM	Yalın	0	--
	RPM	Onarım	0	Mekanik
	RVM	Diriltme	0	Mekanik

<u>*Sonuçlar*</u>

- Mekanik kenetlenme yöntemiyle mantolanarak güçlendirilmiş kolonun *bileşik eksenel yük ve tersinir eğilme altındaki* dayanımı referans elemanından %5 daha düşük bulunmuştur. Bununla birlikte, dayanım azalması, süneklik, enerji tüketimi ve rijitlik değişimi bakımından bir döküm referans elemanından daha iyi bir davranış sergilediği görülmüştür.

- Mekanik kenetlenme yöntemiyle mantolanarak onarılmış ve diriltilmiş kolonların *bileşik eksenel yük ve tersinir eğilme altındaki* dayanımları referans elemanından %10 daha düşüktür.
- Sürekli kenetlenme yöntemiyle mantolanarak onarılmış ve diriltilmiş kolonların dayanım ve davranışı, birdöküm referans elemanının dayanım ve davranışı ile aynıdır.
- Epoksili kenetlenme yöntemiyle mantolonan kolonlardan beklenen sonuç elde edilememiştir. Bu elemanın maksimum dayanımları bir döküm referans elemanının dayanımından yüksek olmasına rağmen kolon-kiriş birleşimi çabuk hasar görmüş ve eleman yük taşıma kapasitesini çok çabuk tüketmiştir.
- Epoksili kenetlenme yöntemi düz demirlerde aderans tükenmesi sonucu epoksiden sıyrılmış, nervürlü demirlerde bu sıyrılna olmamış fakat kolon-kiriş birleşiminin hasar görmesine neden olmuştur. Bu nedenlerden dolayı epoksili kenetlenme yöntemi güvenilir sonuç vermemiştir.
- Mekanik kenetlenme yöntemiyle mantolanmış onarılmış ve diriltilmiş kolonların yalnızca tersinir eğilme altındaki *(eksenel yüksüz)* dayanım ve davranışı birdöküm referans elemanının dayanım ve davranışı ile aynıdır.
- Manto boyuna donatılarını yalın kolon boyuna donatılarına birleştiren Z demirleri bilhassa sürekli kenetlenme yönteminde olmak üzere dayanım ve davranışı çok etkilemektedir. Bu Z demirlerinin aralığına, yerleştirilme düzenine ve boyuna donatılara kaynaklanmasına dikkat edilmelidir, [5].

Mantolama Yöntemi İle Güçlendirilmiş / Onarılmış / Diriltilmiş Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kolonların Eksenel Yük Altında Davranışı

Zafer Büyükkuşoğlu (1999)

Bu çalışmada, mevcut kolonun çevresine ilave boyuna donatı ve sargı donatısı konularak kolon kesitinin büyütülmesi esasına dayanan bu yöntemin dikdörtgen kesitli kolonlarda davranış ve dayanımı nasıl etkilediği araştırılmıştır.Yalın elemanlara güçlendirme, onarım, diriltme işlemleri uygulanmış, ayrıca sonuçları

kıyaslayabilmek içinde mantolanmış kesit ile aynı boyut ve donatıya sahip fakat birdöküm olarak hazırlanmış olan birde monolitik eleman denenmiştir.

Yapılan çalışmada, beş farklı deney grubunda toplam dokuz deney gerçekleştirilmiştir. Deney elemanı kolonlara onarım, güçlendirme ve diriltme mantoları yüksüz koşullar altında ve bütün yüzlerde tatbik edilmiştir. Mantolama işlemi uygulanmadan önce yalın kolon yüzeyi pürüzlendirilmiştir. Onarım yapılacak olan elemanda hasarlı bölgedeki beton parçaları sökülerek çıkartılmıştır. Diriltme uygulanan elemanda ise hasar çok ağır olduğu için hasarlı bölgedeki tüm beton sökülmüştür. Bu işlemlerden sonra elemanlara yeni boyuna donatılar ve etriyeler eklenerek mantolama yapılmıştır.

Dikdörtgen kesitli kolonlar için yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar şunlardır:

- Dikdörtgen kesitli kolonların mantolanarak onarım/güçlendirilmesi ile geçmişteki çalışmalarda yapılmış olan kare kesitli kolonların mantolanarak onarım/güçlendirilmesi sonucu elde edilen yeni kolonun davranışları arasında bir farklılık gözlenmemiş ve her iki kolonun da aynı davrandığı görülmüştür.
- %100 kesit ve donatı artışı olmasına rağmen ancak güçlendirilmiş eleman monolitik eleman dayanımının %100'üne ulaşmıştır. Onarılmış elemanlarda ortalama olarak monolitik eleman dayanımının %95'ine, diriltilmiş elmanda ise monolitik eleman dayanımının %90'ına ulaşılmıştır.
- Eleman süneklikleri monolitik kolon ile kıyaslandığında güçlendirilmiş eleman sünekliği monolitik kolon sünekliğinin %80'ine ulaşmıştır. Onarılmış ve diriltilmiş elemanlar ise monolitik eleman sünekliğinin ancak %50≈60'ına ulaşabilmiştir.
- Monolitik elemandan daha az olmasına rağmen aradaki farkın çok küçük olduğu ve tüm elemanların yeterli enerji tüketme kapasitesine sahip olduğu görülmüştür, [7].

Betonarme Kare Kesitli Kolonların Eksenel Yük Altında Çelik Korniyerli Manto İle Onarım Ve Güçlendirilmesi

Gökhan Gürler (2002)

Bu çalışmanın amacı çelik korniyerlerle güçlendirilmiş kare kesitli kolonların eksenel yükleme altında davranışlarını belirlemektir. Yürütülen bu deneysel çalışma, iki ayrı deney dizisi ve her deney dizisinde dört alt deney grubundan olmak üzere sekiz deneyden meydana gelmektedir. Bu deneysel çalışmada, iki değişik mantolama yöntemi uygulanmıştır.

Birinci grup deney elemanları, korniyerlerin mantonun dışına yerleştirildiği deney dizisindeki elemanlar.

İkinci grup deney elemanları, korniyerlerin mantonun içine, yalının dışına yerleştirildiği deney dizisindeki elemanlardır.

İlk grupta mevcut kolon köşeleri korniyerlerle desteklenmiş ve bu korniyerler arasına Ø4'lük ve Ø6'lık donatılar kaynaklanarak sargılanmıştır. Daha sonra dışına betonarme donatısı ve etriyesi kullanılmak suretiyle manto betonu dökülerek mantolama tamamlanmıştır. Diğer yöntemde ise yalın kolonun mantolanmasından sonra manto boyuna donatısı olarak manto dışına korniyerler kullanılmış ve bu korniyerler donatılarla sargılanmıştır. Her iki grup için de ayrı kolon imal edilmiş. Hasar verilerek onarım yapılmış ve yeniden deneye tabi tutulmuştur. Yine her iki grup için de bir başka yalın kolon imal edilmiş ve bu kolonlara güçlendirme mantosu yapılmıştır. Her iki grup için onarım ve güçlendirme mantoları kıyaslama amacıyla bir döküm referans kolonları üretilerek deneye tabi tutulmuşlardır.

Deney gruplarında yer alan elemanların sergiledikleri dayanım, rijitlik, enerji tüketimi ve süneklik özellikleri beklenilen yönde gelişmiştir.

Korniyerlerin mantonun içinde yer aldığı deney grubunun yalın, monolitik, güçlendirilmiş ve onarılmış deney elemanlarının, enerji tüketme kapasiteleri, süneklikleri ve rijitlikleri, korniyerlerin mantonun dışında yer aldığı deney elemanlarından daima yüksek çıkmıştır.

Deney sırasında deney elemanlarından alınan ölçümler sonucunda çizilen yük-deformasyon eğrileri yorumlanmış ve her iki gruptaki yalın kolonların sünekliklerinin fazla olmadığı, enerji tüketme kapasitelerinin çok az olduğu ve taşıyabildikleri maksimum eksenel yükün oldukça düşük olduğu görülmüştür.

Yalın deney elemanları, eksenel yük maksimuma ulaştıktan kısa bir süre sonra aniden taşıma gücünün tamamını yitirmiş ve aldığı yük tam sıfır seviyesine inmiştir. Bu "yalın kolon davranışı" adıyla tanımlanan göçme şeklidir.

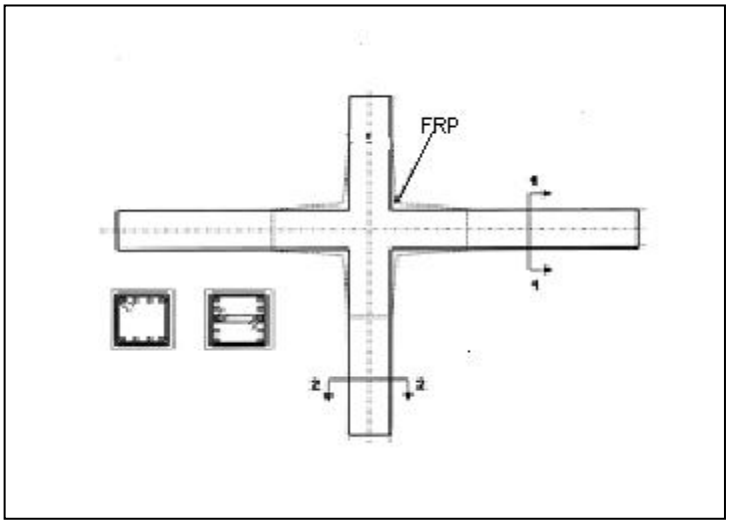
"Mantolu kolon davranışı" olarak nitelendirilen monolitik güçlendirilmiş ve onarılmış kolonların göçme şeklinde ise önce oluşan kayma düzleminin her iki yanındaki beton ezilmekte ve artık kolon yük almamakta, betonun alamadığı bu eksenel yükleri donatı karşılamaktadır. Bunun sonucu olarak da donatı, bu noktalarda diğer kısımlara göre daha fazla zorlanarak burkulmaktadır.

Bu yöntemin kullanılmasıyla, özellikle II. Grup kesitin uygulanması durumunda kolonların davranışları birçok yönden düzelmiştir, [8].

Beton Kiriş Kolon Birleşim Yerlerinde Hibrit Fiber Levhaların Kullanılması

Jianchun Li, Steve L Bakoss, Bijan Samali, Lin Ye (1999)

Bu çalışmada kullanılan deney elemanı, aşağıda görüldüğü gibi 0.25 X 0.25 m lik kolon ve 0.25 X 0.25 m lik kirişten oluşan "+" şeklinde bir elemandır.



Şekil 1.1. Jianchun Li, Steve L Bakoss, Bijan Samali, Lin Ye'nin deney elemanı

Bu çalışmada kolon kiriş birleşim yerlerini iki boyutlu çerçevede göstermek üzere tasarlanmış, betonarme çerçeve örnekleri üzerinde yapılmış testleri tanımlar. Testler komşu kolon ve kirişlerin dış yüzeylerinden fiber uygulanmış test örneklerinin davranışlarına fiberin statik yükler altındaki etkisini keşfetmek amacıyla tasarlanmıştır. Özelikle de incelenen statik yükler altında fiber donatısının kolon kiriş birleşim noktasına rijitlik ve mukavemet yönünden etkileridir. Çalışmaya esas olarak karbon plak kumaş bileşimi hibrit fiber ile beraber cam yünü bant birleşim noktalarına dışardan uygulanacak şekilde tasarlanmıştır. Sonuçlar göstermektedir ki, FRP ile kritik noktaları güçlendirmek beton çerçevelere önemli miktarda mukavemet ve rijitlik kazandırmakta ve çeşitli yükler altında davranışını geliştirmektedir. Bağlanma ve kuvvetlendirmenin iyileştirilmesi adına fiber tiplerinin seçimi ve bileşimlerin tasarımı da ele alınacaktır. Bu çalışma için, tipik kolon kiriş birleşim yerlerini gösterecek şekilde, üç adet betonarme çerçeve örneği tasarlanmıştır. Üç örnekten ikisi kuvvetlendirilmemiş kolon kiriş bağlantılı, diğer biri ise kolon kiriş birleşim etrafı karbon fiber ve cam yünü bileşimi ile sarılmıştır. Her üç örnekte C40 sınıfı beton ile ön-dökümlü yapılmıştır. Beton basınç deneyleri, betonun Elastik modülünü ve mutlak basınç dayanımını ölçmek için Avustralya Standartları temel alınarak, döküm esnasında alınan numuneler üzerinde yapılmıştır.

Bu çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

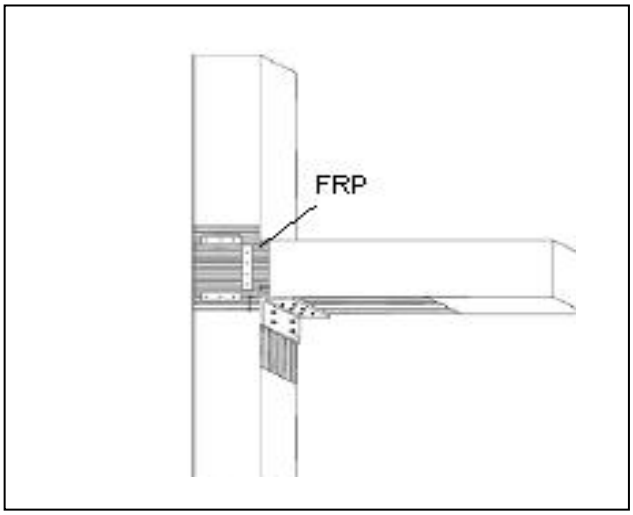
- Betonarme çerçeve örnekleri, düzlemde kolon-kiriş bağlantı noktalarını göstermek üzere tasarlanmıştı. Başarılı oldu. Test sonuçları denge koşulunu sağladığından onaylandı.
- Test sonuçları göstermiştir ki hibrit fiber ile yapılan güçlendirme belirgin bir rijitlik ve yük taşıma kapasitesi artışı ile sonuçlanmıştır.
- Karbon fiber donatının kullanımından dolayı %45 dolayında rijitlik artışı görülmektedir. Ayrıca yük taşıma kapasitesinde de %30 artış görülmektedir.
- Testler betonarme yapıların güçlendirmesinde iyi ve ekonomik sonuçlara ulaşabilmek için optimizasyonun önemini göstermiştir.
- Statik testlerin sonuçları cam fiber bileşimlerin düşük elastik modüllerinin iyi bağlanma sağladığını göstermiştir. Fakat bu sonuç daha fazla testle irdelenmelidir.

Daha fazla araştırma hasarlı beton çerçeveler, tekrarlan yükler ve çeşitli bileşik malzemeler kullanılarak yapılması önerilir, [9].

Betonarme Kolon Kiriş Birleşim Yerlerinin FRP ile Depreme Karşı Güçlendirilmesi

Khalid M. Mosalam (2005)

Deneyi yapılan elemanın kolon ve kiriş boyutları 2.50X4.00 m ve pas payı 45 mm olan bir T elemandır. Kiriş alt ve üst boyuna donatıları 4∅20, ve etriye ∅10/15, kolon boyuna donatıları 4∅20 ve 2∅15 ve etriye ∅10/20 kullanılmıştır. Kolon eksenel yükü 600 kN, kiriş uzunluğu 1.75 m ve kolonun birleşim altında ve üztünden uzunlukları 1,3 m dir. Aşağıdaki şekilde fiberin uygulama şekli gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Khalid M. Mosalam (2005)'in deney elemanı

Bu çalışmada iki farklı deney yapılmış. Birinci deney karbon fiberle güçlendirerek kesme dayanımını ve sünekliğini araştırmak için, ikinci deney ise orta açıklığın çelik çaprazlarla perdelenmesidir. Karbon fiber mantolama yapı davranışını önemli oranda değiştirmeden gevrek kırılmayı önlemiştir. Öte yandan çelik perdeleme önemli miktarda yapısal rijitlik sağlamış ve çerçevenin yatay ötelenmesini düşürmüştür. Karbon fiber kolon-kiriş birleşiminde güçlendirme için kullanılmıştır. Güçlendirilmiş örnek çok katmanlı karbon fiber tabakalarıyla sarılmıştır. Birleşimin kesme kapasitesi %25 artmış ve eleman %5 ötelenmeye ulaşmıştır. Ayrıca karbon fiberle kolon kiriş birleşim modelinin güçlendirilmesinde ve onarılmasında; dayanımda, rijitlikte ve süneklikte işlem görmemiş sistemlere göre artış kaydetmiştir. Kiriş kesme dayanımı %34 lük bir artış olduğu gözlenmiş ve moment kapasitesinin de artığı gözlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada deneylerden elde edilen sonuçlardan biriside, fiber kompozitler, yetersiz ve ankrajlanmış kiriş alt donatısı yerine uygulanabilir ve moment kapasitesinin artışını sağlar, [10].

Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın temel amacı; hasır fiber kullanarak mantolama yoluyla güçlendirilmiş betonarme kolonların, tersinir tekrarlanır yükleme altında davranış ve dayanımının araştırılmasıdır.

Çerçeve biçimindeki yapılarda yatay yükler altında, kolonlar "S" şeklinde çift eğrilikli deformasyona uğrarlar. Yatay yükler altında kolonlarda oluşan çift eğriliğin etkisiyle kolon-kiriş birleşimlerinde önemli iç kuvvetler oluşur. Bu davranış yakın zamanda yaşadığımız depremlerde yıkılma mekanizmasına büyük etken olarak görülmüş bir davranış biçimidir. Yeni çıkan afet yönetmeliğimizde düğümlerdeki kolonların rijitliğinin kirişlerin rijitliğinden 1,2 oranında daha büyük olması zorunluluğu getirilmiştir. Burada amaç hem kolon hem de düğümün yatay yükler altında kirişlere göre daha rijit olmasını sağlamak ve yapıda oluşacak plastik mafsalların düşey taşıyıcı elemanlarda değil de kirişlerde olmasını sağlayarak yapının yıkım aşamasına gelene kadar daha büyük enerjileri absorbe etmesini sağlamaktır.

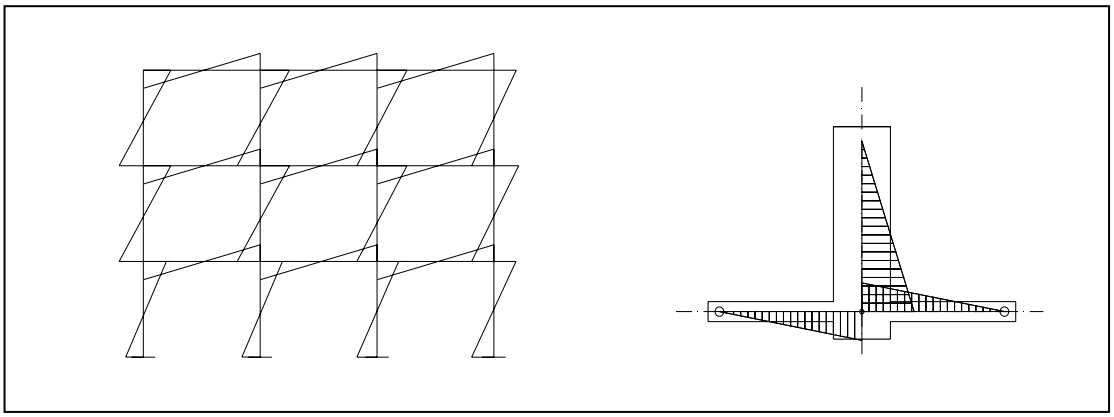
2. DENEY ELEMANI

Bu çalışmada üç adet deney elemanının sismik hareketlere benzeşir tersinir tekrarlanan yükler altında Çizelge 2.1 de görülen değişkenler ile laboratuar ortamında davranışları incelenmiştir.

Çizelge 2.1. Deneylerin özellikleri

Deney	Deney Elemanı	Manto Türü	Eksenel Yük	Kenetlenme Yöntemi	Malzeme	Uygulama Şekli
1	RM	Yalın	0	Sürekli	----	----
2	SSFM	Güçlendirme	0	Sürekli	CFRP	Düz
	SCFM	Güçlendirme	0	Sürekli	CFRP	Çapraz
3	RSFM	Onarım	0	Sürekli	CFRP	Düz
	RCFM	Onarım	0	Sürekli	CFRP	Çapraz

- RM : Referans monolitik eleman
- SSFM: Karbon fiber hasırın düz uygulanmasıyla güçlendirilen eleman
- SCFM: Karbon fiber hasırın çapraz uygulanmasıyla güçlendirilen eleman
- RSFM: Karbon fiber hasırın düz uygulanmasıyla onarılan eleman
- RCFM: Karbon fiber hasırın çapraz uygulanmasıyla onarılan eleman



Şekil 2.1. Prototip bir yapı çerçevesi

Şekil 2.1 de prototip bir yapı çerçevesinde yatay yükler altında oluşacak moment diyagramı şematik olarak gösterilmiştir. Bu şekilden rasgele bir kolon-kiriş birleşimi seçilir ve seçilen düğüme bağlı bulunan kolon ve kirişler moment sıfır noktalarından

(elastik deformasyon eğrisinin dönüm noktalarından) kesilip çıkartılarak yanda görülen çerçeve parçası elde edilir ve bu çerçeve parçası kolon uçlarından mafsallı olarak mesnetlenerek deney düzeneğine yerleştirilir. Elde edilen bu deney elemanının kolon kesitleri 160X160 mm dir. Kiriş boyutunun seçiminde kirişin kolon kesitine göre çok rijit olması düğüm birleşiminin test edilebilmesi açısından zorunludur. Bu nedenden dolayı kiriş kesitinin boyutları 160X500 mm. seçilmesi uygun görülmüştür.

Deney elemanlarına karbon fiber yapıştırılmadan önce deney elemanları tozdan arındırılmış ve deney elemanlarının köşeleri minimum 13 mm yarıçapla geçilmiştir. Böylece karbon fiber kolona sargılandığında dört köşedeki basınç, keskin köşelerden çok yuvarlatılmış köşelerden yayılacaktır.

Laboratuar ortamında üç adet deney elemanı üretilmiştir. Bunlardan ilki yalın eleman olan RM deney elemanıdır. Diğer iki eleman üzerinde de güçlendirme ve onarım deneyleri yapılmıştır. İlk olarak SSFM deney elemanının güçlendirilmesi yapılmıştır. Bu ilk deneyde kolona karbon fiber iki parça halinde mantolanmıştır. İlk parça ortadan yarılarak deney elemanına yukarıdan giydirilmiştir ve kolonun üç yüzeyini de kaplayacak şekilde epoksi yardımıyla yapıştırılmıştır. Bu ilk parça yapıştırıldıktan sonra bir gün beklenmiş ve ilk parçanın kuruması sağlanmıştır. İkinci parça da aynı şekilde ortadan yarılarak deney elemanına aşağıdan giydirilmiş ve kolonun üç yüzeyini kaplayacak şekilde epoksi yardımıyla yapıştırılmıştır.

İkinci deney olarak SCFM deney elemanının güçlendirilmesi yapılmıştır. Bu ikinci deneyde de karbon fiber kolona iki parça halinde mantolanmıştır. İlk parça ortadan yarılarak sol kolonun ucundan giydirilmiş ve solda kalan kısım üste, sağda kalan kısım ise alta gelecek şekilde ve kolonun üç yüzeyini kaplayacak şekilde epoksi yardımıyla yapıştırılmıştır. Bu ilk parça yapıştırıldıktan sonra bir gün beklenmiş ve ilk parçanın kuruması sağlanmıştır. İkinci parça da aynı şekilde ortadan yarılarak sağ kolonun ucundan giydirilmiş ve sağda kalan kısım üste, solda kalan kısım ise alta gelecek şekilde ve kolonun üç yüzeyini kaplayacak şekilde epoksi yardımıyla yapıştırılmıştır. Deneye tabi tutulan bu iki elemanın üzerindeki karbon fiber

çıkarılmış, hasara uğramış deney elemanları onarılmış ve tekrar karbon fiber yapıştırılarak deneye tabi tutulmuştur.

2.1. Kullanılan Malzemeler

2.1.1. Beton

Deney elemanlarının karışım oranları aşağıda verilmiştir. Bu karışım oranının sonunda 28 günlük beton dayanımı 25 ile 30 N/mm^2 elde edilmiştir.

Bir metreküp beton için gerekli ağırlık

Ankara Portland Çimentosu……370 kg
Su…….222 kg
Kum 0-4 mm……907 kg
Kum 4-7 mm……925 kg

Deney elemanlarının dökümleri sırasında üçer adet silindir numuneleri alınmıştır. Bu silindir numuneleri deney elemanları teste tabi tutulmadan önce beton dayanımları bulunmuştur. Her deney aşamasında her döküm için test edilen üç silindirden elde edilen dayanımların aritmetik ortalaması alınıp deney elemanlarının dayanımları hesaplanmıştır

2.1.2. Betonarme donatıları

Deneyde kullanılan donatıların yeri, donatı sınıfı, çapları ve mekanik özellikleri Çizelge 2.2 de belirtildiği gibidir. Şekil 2.1 de de donatı kafesi görülmektedir.

Çizelge 2.2 Betonarme donatıları

Donatının Adı ve Yeri	Donatı Sınıfı	Donatı Çapı Ø(mm)
Kolon boyuna demir	BÇ-I	12
Kolon etriye	BÇ-I	4
Kiriş boyuna demir	BÇ-III	20
Kiriş etriye	BÇ-I	8

2.1.3. Deney elemanlarının üretilmesi

Deney elemanlarının donatısı (Resim 2.1) hazırlanırken kolon ve kiriş birlikte yerleştirilip bağ teli yardımıyla bağlanmıştır. Deney elemanı donatısı (Resim 2.2) kalıba yerleştirilmeden kalıp yağlanmış, donatının kalıba deymemesi için paspayları konulmuştur. Donatı kafesi yerleştirildikten sonra kolon uçlarına ve kiriş tepesine pvc boru konularak boşluklar oluşturulmuştur. Bu boşluklardan kirişte bulunanı, deney elemanını taşımak amacıyla konulmuştur, kolonda bulunanları ise mesnetlemek amacıyla konulmuştur. Böylece deney elemanları beton dökümüne hazır hale getirilmiştir. Beton dökümü sırasında vibratör uygulanmış, yedi gün sonra kalıp yan yüzeyleri açılmıştır. Beton dökümü tamamlanan deney elemanına laboratuar ortamında 28 gün beton kürü uygulanmıştır.

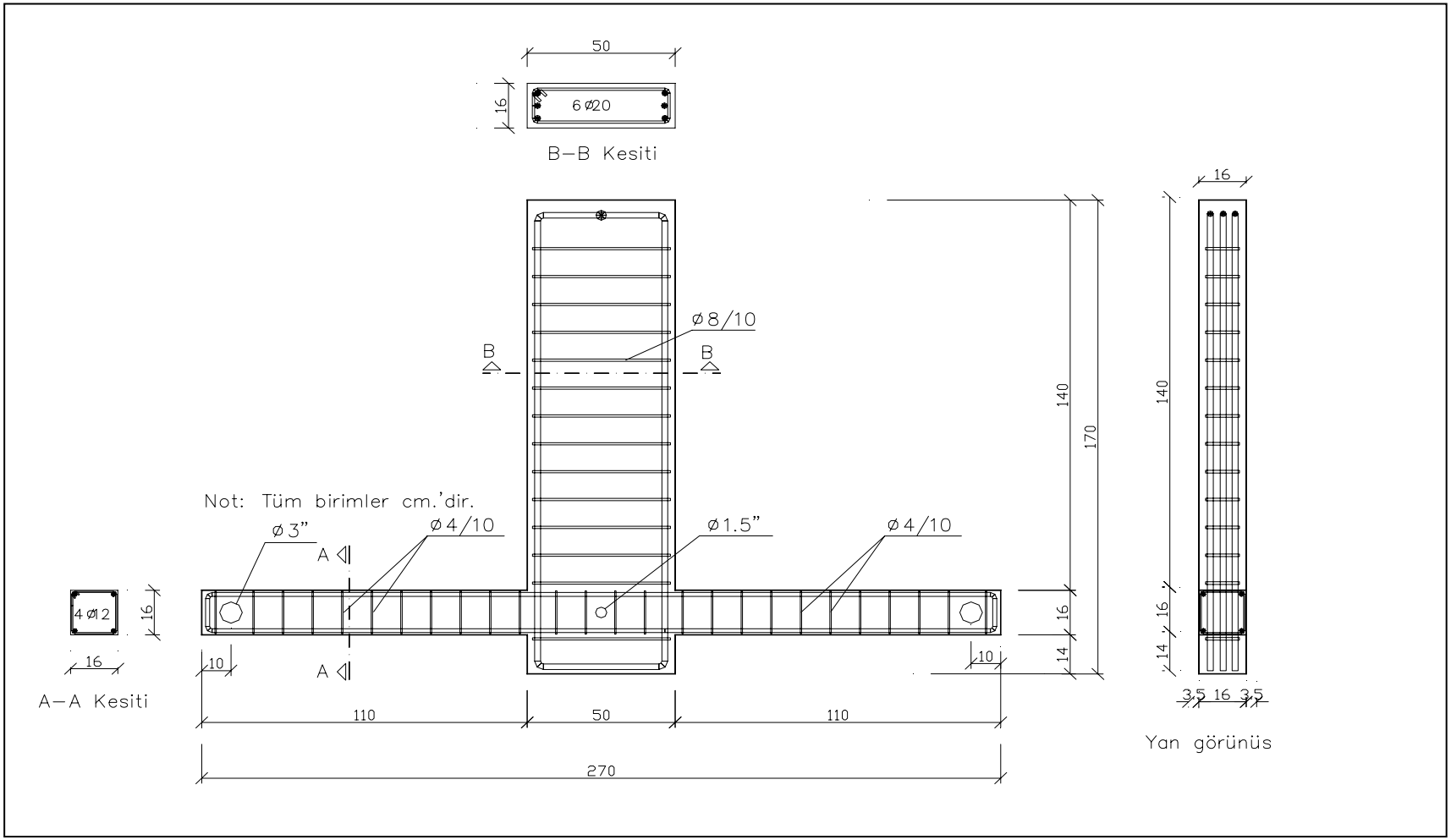


Resim 2.1. Deney elemanı donatısı



Resim 2.2. Çelik kalıp içerisinde deney elemanı donatısı

Bu deneysel çalışmada kolon kesitleri 0,16X0,16 m, kiriş boyutları ise 0,16X0,50 m seçilmiştir. Deney elemanlarının donatı detayları Şekil 2.2 da verilmiştir.



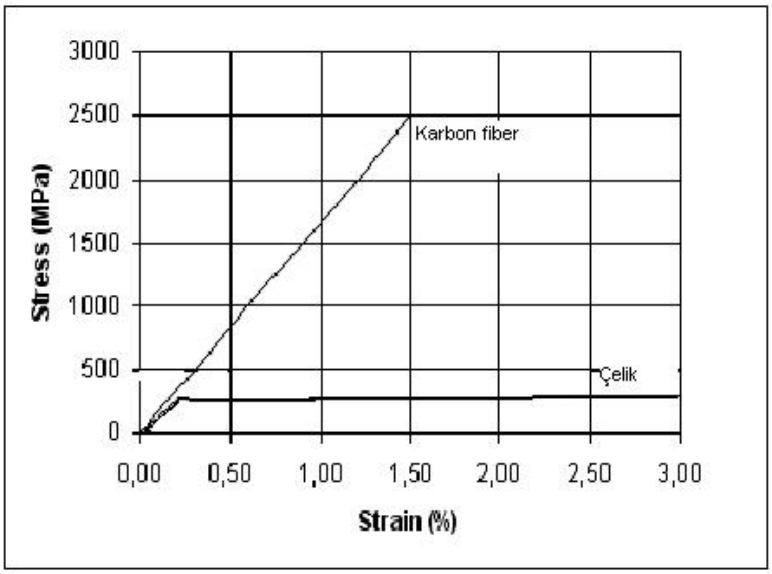
Şekil 2.2. Donatı şeması

2.1.4. Karbon Fiber'in özellikleri

- Lif tipi:……..Yüksek mukavemetli karbon lifleri
- Lif doğrultusu:……...Tek yönlü dokuma
- Dokuma ağırlığı:……300 gr/m^2 ±%10
- Dokuma tasarım kalınlığı:…….0,17 mm
- Liflerin çekme dayanımı:……...4100 N/mm^2
- Liflerin çekme elastisite modülü:……...231000 N/mm^2
- Kopmadaki uzama:…….%17

Doyurma reçinesinin özellikleri

- Görünüm:……A bileşeni: Beyaz
  B bileşeni: Gri
- Yoğunluk:……...1,31 kg/lt (Karışım)
- Karışım oranı:…….A:B = 4:1 (Ağırlıkça)
- Kullanım süresi:……10 C^o de min. 90 dk. (5 kg)
  35 C^o de min. 30 dk. (5 kg)
- Viskozite:……Krem kıvamında, akıcı değildir.
- Uygulama sıcaklığı:……+10 ^{o} - +35 ^{o} (Yüzey ve ortam sıcaklığı)
- Çekme mukavemeti (DN 53455):…...30 N/mm^2
- Eğilmede E-Modülü (ISO 178):……..3800 N/mm^2



Şekil 2.3. Karbon fiber gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

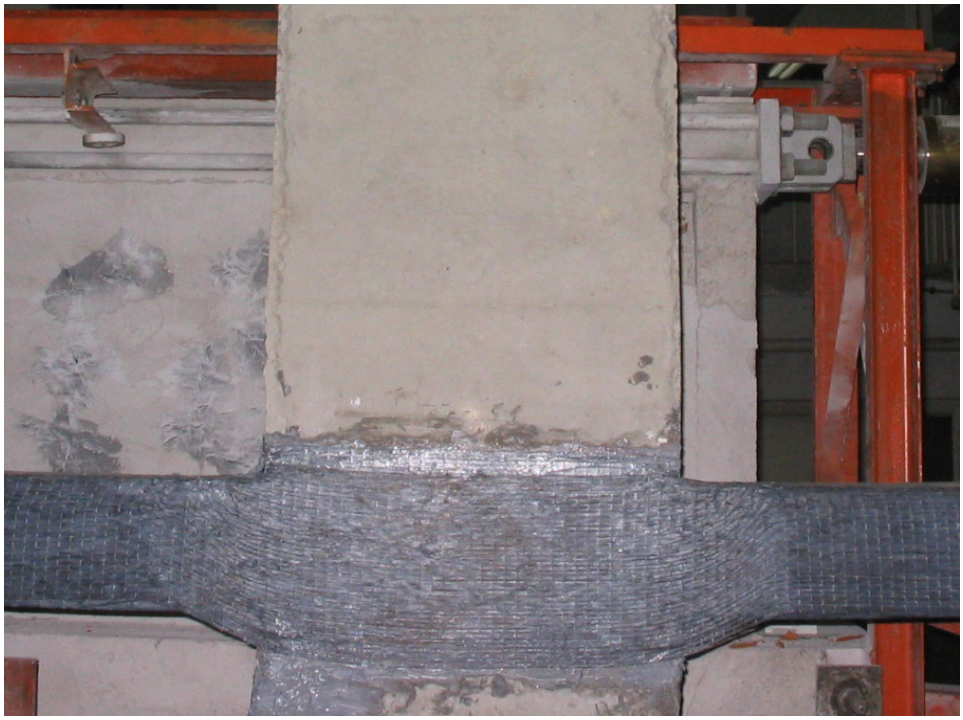
Karbon Fiber'in uygulanması

Kesme işlemi: Karbon Fiber makas veya bıçakla kesilebilir ve hiçbir zaman katlanmamalıdır.

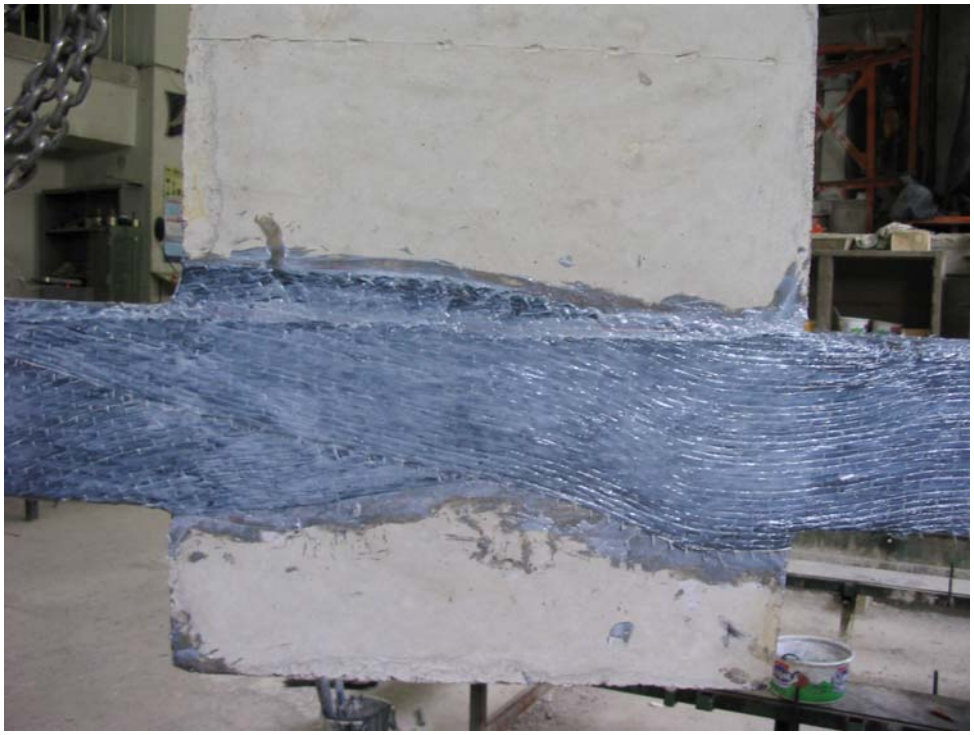
Yüzey hazırlığı: Yüzeyde toz veya gevşek parçacıklar kompresör yardımıyla temizlenmeli ve eleman kuru olmalıdır. Yapıştırma işlemi yapılacak yüzey düzgün olmalıdır. Kalıp izleri, yüzeydeki bozukluklar 0,5 mm den fazla olmamalıdır. 90 ^{o} olan köşeler minimum 10 mm yarıçapında olacak şekilde yuvarlatılmadır. Bu işlem spiral aletinin ucuna taş yuvarlama çanağı takılarak yapılabilir.

Karışım: İlk başta malzemenin her iki bileşenini de kendi kaplarında karıştırmak gerekir. Daha sonra B bileşeni A bileşenine eklenir. Daha sonra elde edilen karışımın hava boşluklarının olmamasına dikkat edilerek yaklaşık üç dakika boyunca karıştırılır. İki bileşenin karıştırılmasıyla birlikte malzemenin çalışma süresi başlar. Düşük sıcaklıklarda çalışma süresi daha uzunken, yükselen sıcaklıklarda daha kısadır.

Uygulama: Karbon Fiber malzemesi istenilen boyutta kesilir, karıştırılan epoksi reçinesi yüzeye spatula veya mala yardımıyla yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak 0,7-1,2 kg/m^2 olacak şekilde uygulanır. Epoksi sürülmüş yüzeye Karbon Fiber'in lifleri istenilen doğrultuda olacak şekilde epoksi yerleştirilir. İlk olarak deney elemanına Karbon Fiber yapıştırma işlemini düğüm noktasında uyguladım, bunun nedeni Karbon Fiber'in deney elemanın köşelerinden dönüş yerlerinde potlukların oluşmamasını önlemek içindir. Epoksinin üzerine yapıştırılan Karbon Fiber'in üzerine lifler doğrultusunda baskı uygulayarak Karbon Fiber'in potluğu alınmış olup ve aynı zamanda lif aralıkları epoksiyle doyurulmuştur.. Bu sayede pot yapmadan Karbon Fiber'in yapıştırılması gerçekleştirilmiş olur. Lif doğrultularındaki birleşim yerlerinde minimum 100mm olacak şekilde veya projede belirtildiği gibi üst üste bindirme yapılmalıdır. Bu çalışmada Karbon Fiber'in iki farklı şekilde deney elemanlarına uygulanmıştır. Birinci deney elemanı Karbon Fiber'in düğüm noktasında düz olarak uygulandığı SSFM elemanıdır, ikinci olan deney elemanı ise Karbon Fiber'in düğüm noktasında çapraz olarak uygulandığı SCFM deney elemanıdır. Bu uygulamalar Resim 2.3 de SSFM deney elemanı ve Resim 2.4 de de SCFM deney elemanı olarak gösterilmiştir.



Resim 2.3. SSFM ve RSFM elemanlarına Karbon Fiber'in uygulaması



Resim 2.4. SCFM ve RCFM elemanlarına Karbon Fiber'in uygulaması

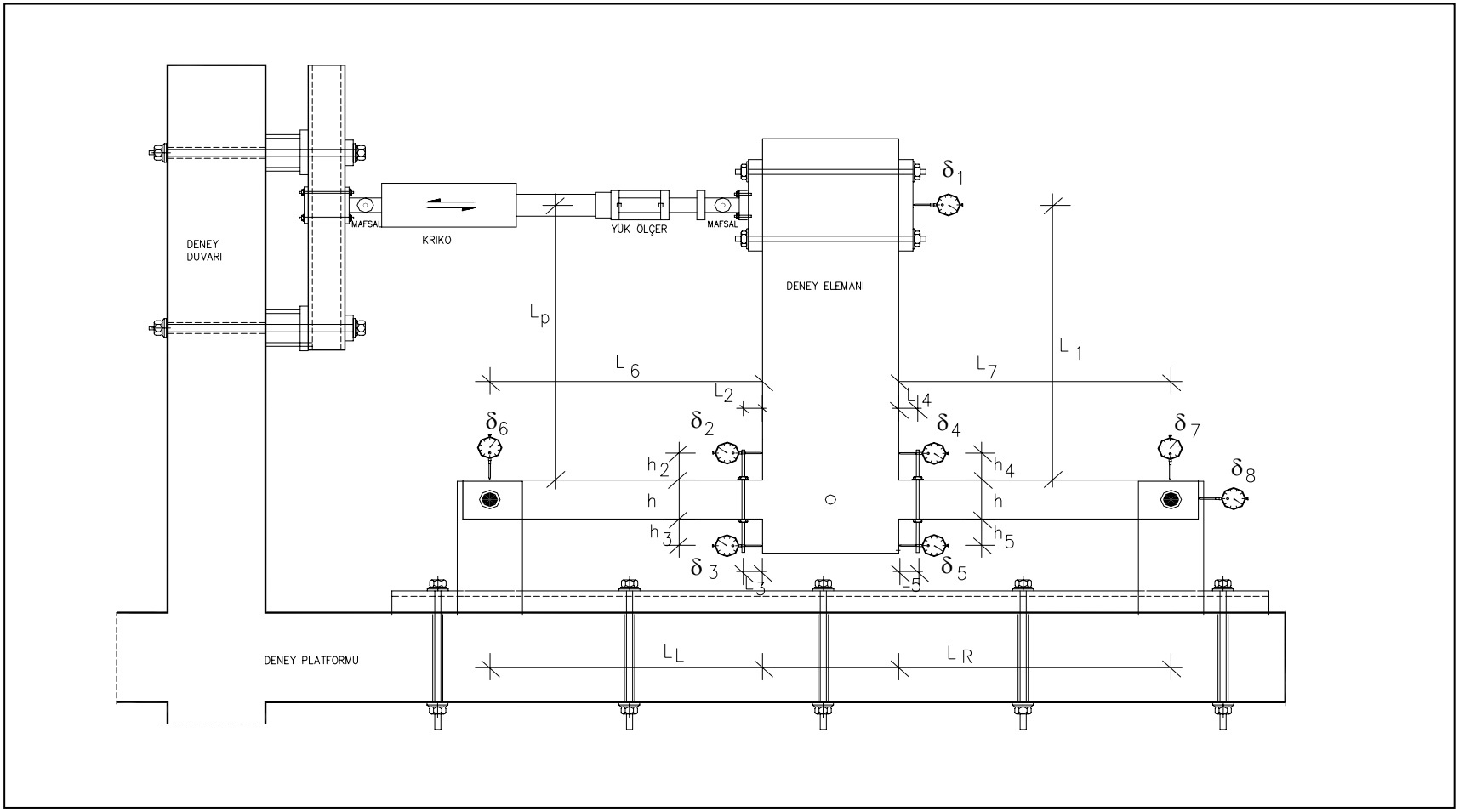
3. LABORATUAR YÖNTEMİ

3.1. Genel

Bu çalışma Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünün Yapı Mekaniği Laboratuarının olanakları dahilinde yapılmıştır. Çalışmanın tümü laboratuarda mevcut olan 4.50 m uzunluğunda, 3.20 m genişliğinde ve her 0,80 m de bir ankraj delikleri bulunan platform ve bu platformun 2.40 m yüksekliğinde ve 0,80 m de bir ankraj delikleri olan duvarda gerçekleştirilmiştir.

3.2. Deney Düzeneği ve Yükleme Sistemleri

Deney düzeneği olarak yukarda sözü edilen deney platformu ve deney duvarı kullanılarak reaksiyonları tamamıyla kendi içinde taşıyabilen rijit duvar ve döşemeden oluşturulmuştur. Deney elemanı iki ucun bırakılmış boşluklardan geçirilen pimler sayesinde deney düzeneğine monte edilmiştir. Deney elemanının iki başındaki pimlere kuvvet aktarımı, bu pimlerin içinden geçen ve iç yüzleri pürüzlendirilmiş iki yaslama levhasından dörder saplama ile sıkıştırılmasıyla elde edilmiştir. P yükü uygulama düzeneği olarak deney elemanında kiriş olarak düşünülmüş ve düşey duran koluna 2 adet 38 mm kalınlığındaki levhanın 4 saplama aracılığıyla monte edilmiştir. Bu levhalardan deney duvarı tarafındaki levhaya mafsal yerleştirdikten sonra bu mafsalı bir adaptör yardımıyla çekme basma yük ölçeri monte edilmiştir. Yük ölçerin diğer ucuna yine bir adaptörle çekme basma krikosunun pistonu bağlanmıştır. Krikonun gövdesi ise diğer mafsala 4 saplama ve bir levha sayesinde monte edilmiştir ve araya bir kutu profil yerleştirilerek duvarda bulunan ankraj deliklerin geçirilen saplamalarla deney duvarına monte edilmiştir. P yüklemesi için kullanılan araçlar; 120 kN çekme ve 600 kN basınç kapasiteli bir çekme-basma yük ölçeri, 50 kN çekme ve 200 kN basınç uygulayabilecek çekme-basma krikosudur (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Deney düzeneği

3.3. Ölçüm Araçları ve Veri Toplama

3.2.1. Ölçüm araçları

Bu çalışmada tüm ötelenme ve dönme ölçümleri dikey doğrusal yer değiştirme okuyucuları (LVDT) sayesinde gerçekleştirilmiştir. Deprem yüklemesi sağlayan krikonun uyguladığı yük 120 kN çekme ve 600 kN basınç kapasiteli yük-ölçer (Loadcell) yardımıyla kaydedilmektedir. Kullanılan veri toplama sistemi, 8 kanallı bir veri toplama birimidir ve gereksinim duyulduğunda kanal sayısına göre 64 kanala kadar çıkarılabilir. LVDT'lerden gelen verileri haberleşme birimine jaklı kabloyla aktarır, veriler buradan bilgisayara aktarılır ve depolanır.

δ_1 Yer değiştirme ölçeri 200mm kapasiteli ve hassasiyeti yaklaşık 0,05 mm'dir. δ_2, δ_3, δ_4, δ_5, δ_6, δ_7 ve δ_8 yer değiştirme ölçerleri 100 mm kapasiteli ve hassasiyeti yaklaşık 0,025 mm'dir. Tüm bu okumalar yük ölçerin ve LVDT'lerin bağlı olduğu okuyucu ve bilgisayar tarafından kayıt edilmektedir. Bilgisayara kurulan program sayesinde bilgiler belli zaman aralıklarıyla kaydedilmekte ve anında deney gidişatını izleyebilmek için grafik haline getirilmektedir. Deney sonunda program sonlandırılarak tüm yer değiştirme okumaları ve yük ölçer okumaları kaydedilmiş ve grafiği çizilmiştir.

3.2.2. Deney sırasında alınan ölçümler ve değerlendirilmesi

<u>Ötelenme ölçümleri ve değerlendirilmesi</u>

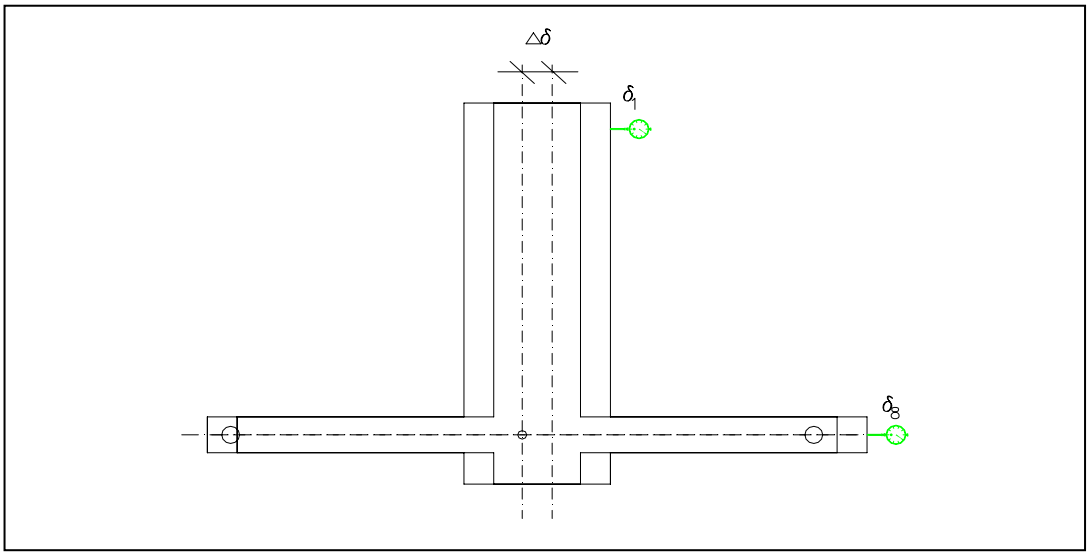
Şekil 3.1 de gösterilen LVDT'lerden δ_1, δ_6, δ_7 ve δ_8 öteleme ölçümlerini almak amacıyla konulmuşlardır. Tüm öteleme ölçümü için konulan LVDT'ler deney elemanından ve deney düzeneğinden bağımsız bir şekilde mesnetlenmiştir. Alınan tüm önlemlere rağmen deney elemanında deney düzeneği içinde küçük de olsa hareketler oluşacaktır. Her rijit cisim gibi deney elemanı da gösterdiği iç deformasyonlar dışında üç şekilde hareket etmektedir. Bunlar rijit cisim hareketleri; yatay hareket, düşey hareket ve dönme hareketidir. Deney elemanlarının gerçek

deformasyonlarını bulabilmek için tüm bu rijit cisim hareketlerinin bazı hesaplamalarla düzeltilmesi gerekmektedir. Bu hesaplamalar şu şekilde yapılmıştır:

Yatay hareket

Deney elemanlarının yatay olarak yapacağı hareket δ_1 okumasını etkileyecektir. Bu etkiyi δ_1 okumasından çıkarmak gerektiğinden dolayı, aşağıdaki şekilde bazı hesaplamaların yapılması gerekmektedir. (Şekil 3.2)

$$\delta_{1\,yataynet} = \delta_1 - |\delta_8| \tag{3.1}$$



Şekil 3.2. Yatay rijit cisim hareketi

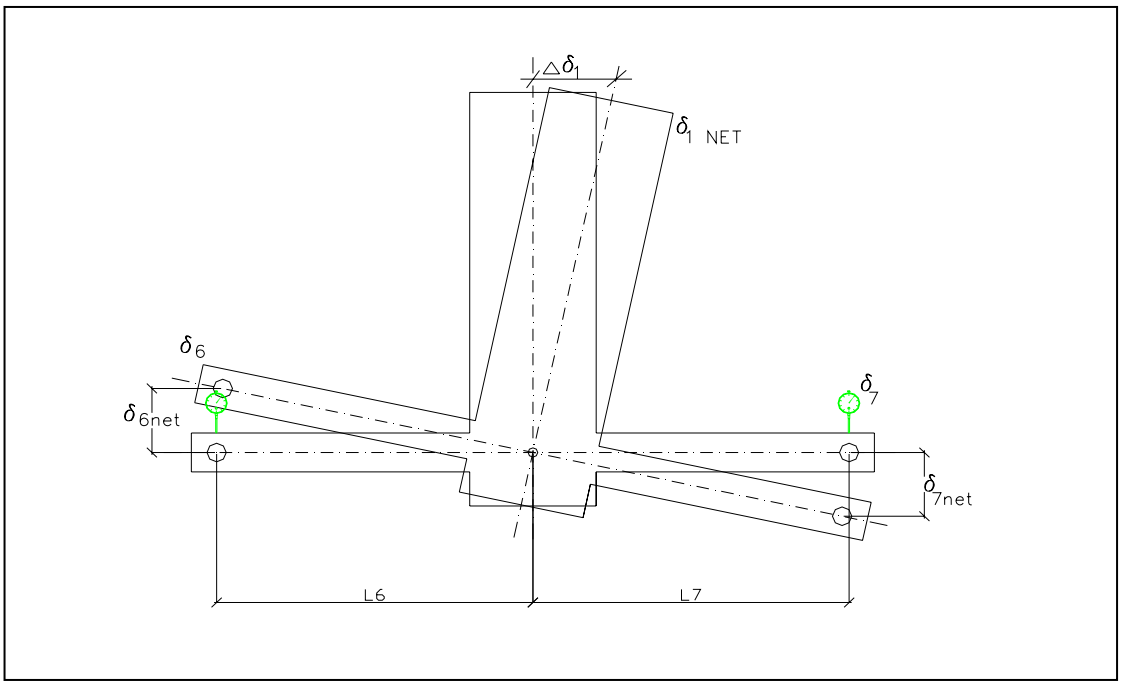
Dönme hareketi

Deney elemanında kirişin ucuna etkiyen yükün etkisiyle deney elemanında dönme hareketi oluşacaktır. Bu hareket kiriş uç noktasındaki δ_1 yer değiştirmesi da etkileyecektir. δ_1 yer değiştirmesinin net hareketi ise aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır (Şekil 3.3).

$$\phi = arctg\left[\left(\delta_6 + \delta_7\right)/\left(L_6 + L_7\right)\right] \tag{3.2}$$

$$\Delta\delta_1 = L_1 * \sin\phi \tag{3.3}$$

$$\delta_{1net} = \delta_{1yataynet} - \Delta\delta_1 \tag{3.4}$$



Şekil 3.3. Rijit cisim dönme hareketi

Dönme ve eğrilik ölçümleri ve değerlendirilmesi

Şekil 3.1 deki δ_2, δ_3, δ_4 ve δ_5 LVDT'leri sağ ve sol kolonun kirişe saplandıkları yerlerdeki dönme ve eğrilik ölçümleri için yerleştirilmiştir. Dönme okumalarını yapan LVDT'ler deney elemanının üzerine mesnetlendiği için deney elemanının yaptığı rijit cisim hareketleri bu LVDT'lerin okumalarını etkilememektedir:

Sağ ve sol kolon olmak üzere deney elemanının iki kolonunda ayrı ayrı dönme ve eğrilik hesapları yapılmıştır. Bu hesaplar aşağıdaki gibidir (Şekil 3.4).

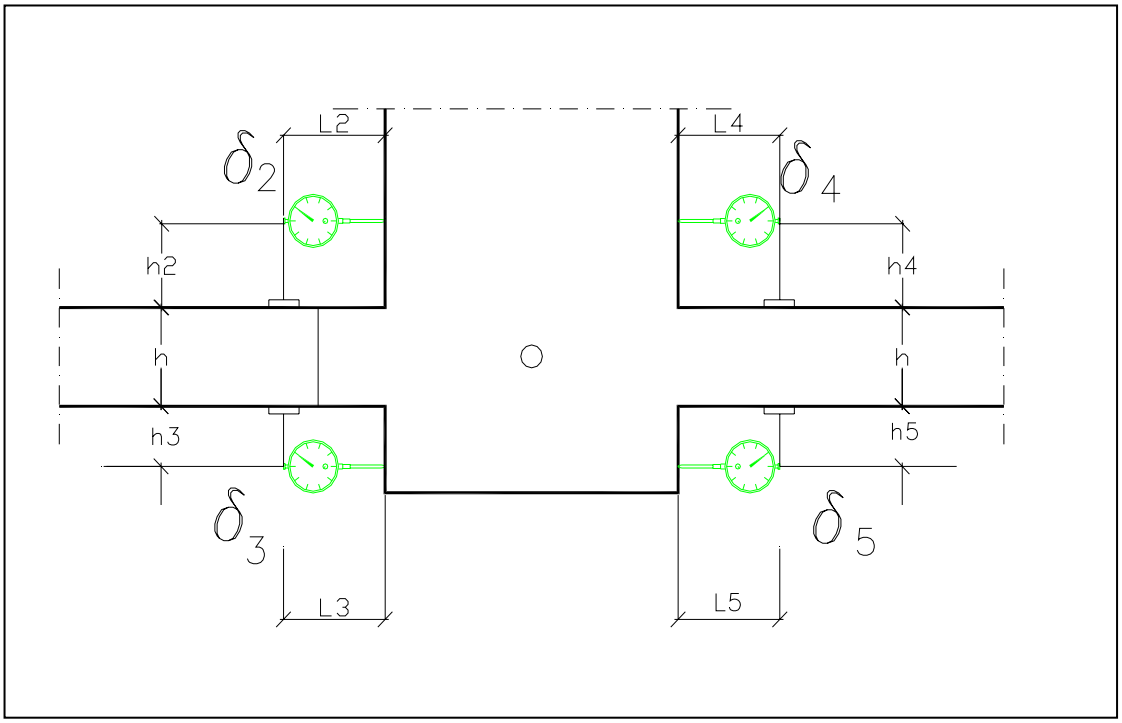
$tg\phi = (\delta_2 + \delta_3)/h$ ise (3.5)

$\phi = arctg\left[(\delta_2 + \delta_3)/h\right]$ (3.6)

$h = h_{kolon} + h_2 + h_3$ ve (3.7)

$L_{ortalama} = (L_2 + L_3)/2$ (3.8)

$K = \phi / L_{ortalama}$ (3.9)



Şekil 3.4. Eğrilik ölçüm düzeneği

Yük ölçümü ve değerlendirilmesi

Kirişe uygulanan tersinir yük kolonlarda eksenel yük oluşturmaktadır. Bu eksenel yükün tesbit edilebilmesi için mesnetler pimlerin 1 mm hareket edebileceği şekilde yapılmıştır. Kirişe uygulanan tersinir yükten dolayı kolonlarda eksenel yük şu biçimde verilir. Eğer kirişe uygulanan yük ileriye doğru ise deney düzeneğindeki sağ kolonda kirişe uygulanan yük kadar bir eksenel yük artışı gözlenecektir. Kirişe

uygulanan yük geriye doğru ise bu sefer de sol kolonda kirişe uygulanan yük kadar bir eksenel yük artışı olacaktır. Deney elemanında oluşacak mesnet reaksiyonları, moment diagramı ve kolonun kiriş yüzeyindeki momentleri şu şekildedir (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6).

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow P \times L_P - B \times (L_L + L_R) = 0 \tag{3.10}$$

$$B = P \times L_P / (L_L + L_R) \tag{3.11}$$

$$\sum M_B = 0 \Rightarrow P \times L_P + A \times (L_L + L_R) = 0 \tag{3.12}$$

$$A = -P \times L_P / (L_L + L_R) \tag{3.13}$$

$$M_L = A \times L_L = \left[- P \times L_P / (L_L + L_R) \right] \times L_L \tag{3.14}$$

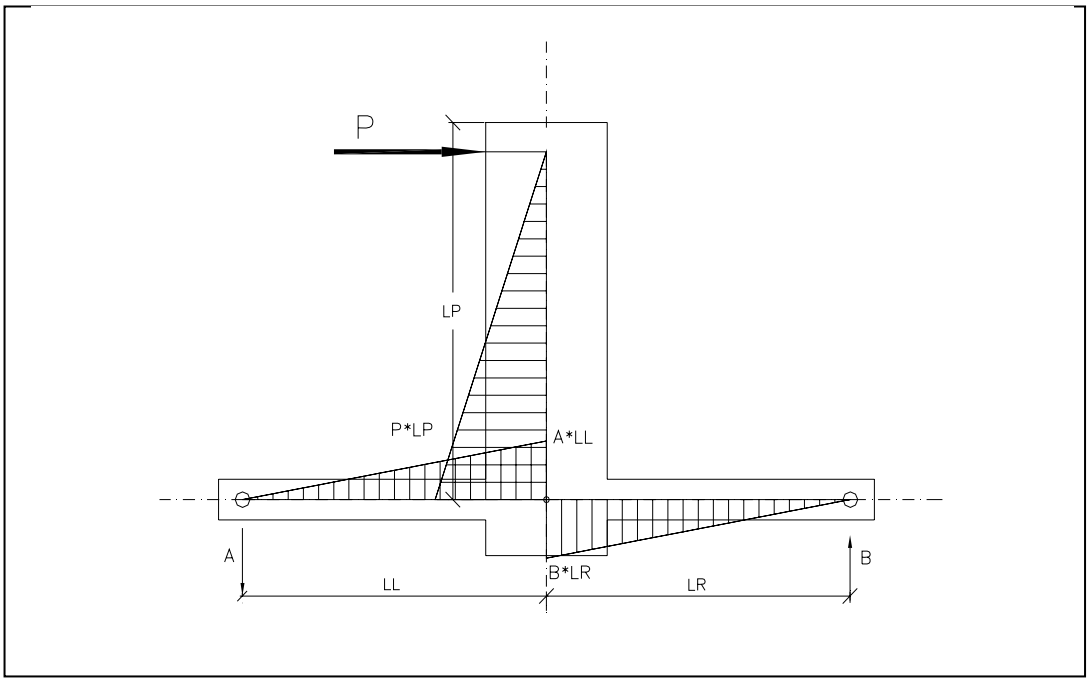
$$M_R = B \times L_R = \left[P \times L_P / (L_L + L_R) \right] \times L_R \tag{3.15}$$

Sol kolonun tam kiriş yüzeyindeki momenti

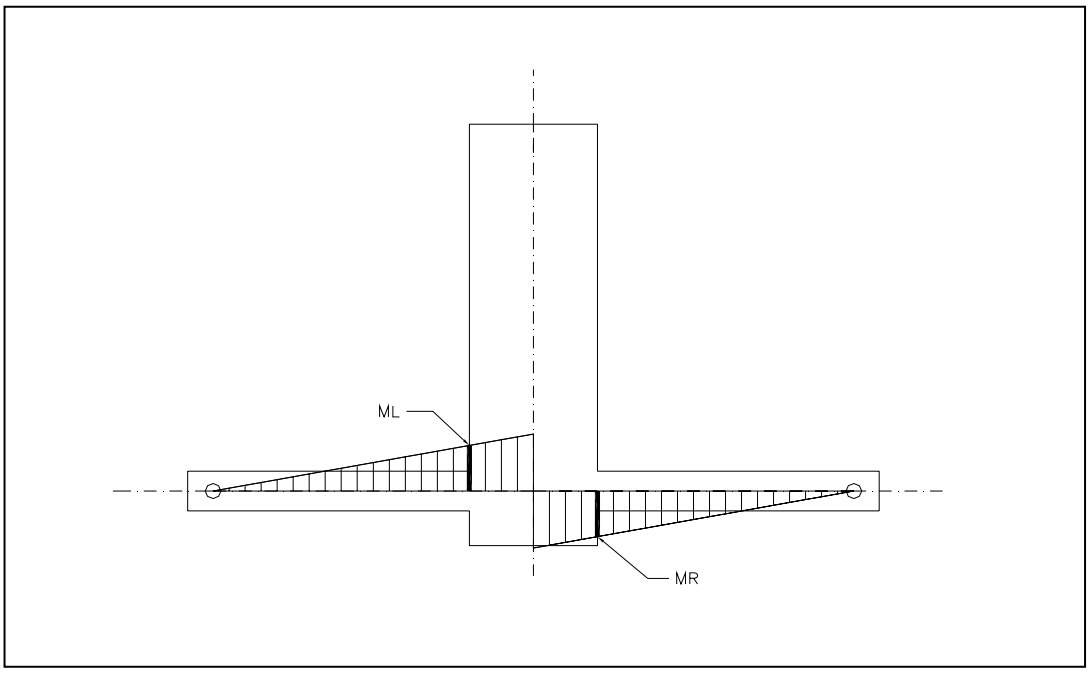
$$M_L = \left[- P \times L_P / (L_L + L_R) \right] \times (L_L - 25) \tag{3.16}$$

Sağ kolonun tam kiriş yüzeyindeki momenti

$$M_R = \left[P \times L_P / (L_L + L_R) \right] \times (L_R - 25) \tag{3.17}$$



Şekil 3.5. Deney elemanlarında oluşan mesnet reaksiyonları ve moment diyagramı

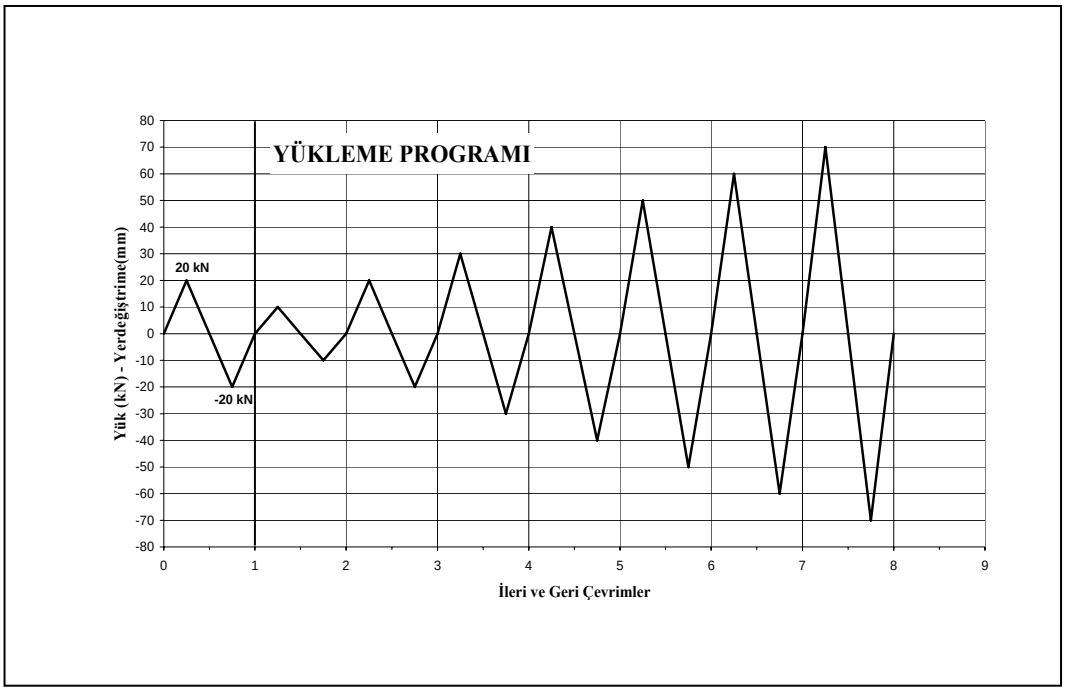


Şekil 3.6. Kolonların kiriş yüzeylerinde oluşan momentleri

3.4. Deney Yönetimi ve Yükleme Aralığı

Yükleme programındaki ilk çevrimde eleman elastik bölgede kalacak şekilde bir P kuvveti kadar yüklenmiştir. Daha sonraki çevrimlerde yük kontrollü yükleme terk edilerek δ1 yer değiştirmesinden yararlanarak yer değiştirme kontrollü bir yüklemeye gidilmiştir. Bu yer değiştirme kontrollü yükleme programı Şekil 3.7 de verilmiştir.

İkinci ileri ve geri çevrimlerde δ1 yer değiştirmesi 10mm de akma başlangıcı yakalanmıştır. Daha sonraki çevrimlerde birer kat arttırılarak deneye devam edilmiştir.Yukarıda açıklanan yükleme programı doğrultusunda karbon fiber ile mantolanarark güçlendirilmiş, SSFM elemanı için altı ileri ve altı geri tam çevrim ve SCFM elemanı için de yedi ileri ve yedi geri tam çevrim yapılmıştır. Yine karbon fiber ile mantolanarak onarılmış, RSFM ev RCFM elemanları için on ileri ve on geri tam çevrim yapılmıştır. Yükleme programının sonunda elemanda oluşan geometrik bozulmaları düzeltmek amacıyla δ1 yer değiştirmesi sıfıra getirilerek deney sona erdirilmiştir.



Şekil 3.7. Yükleme programı

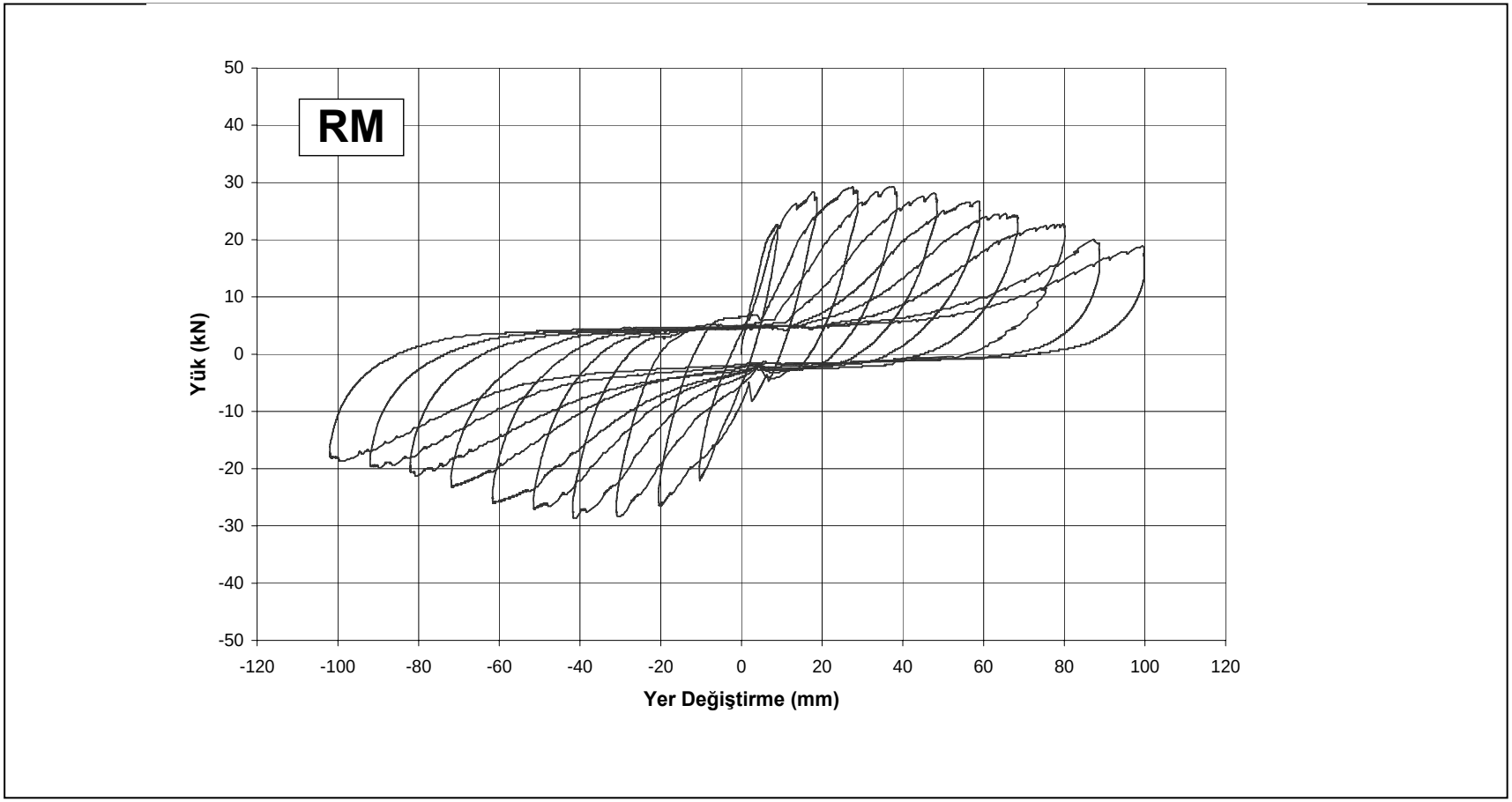
4. GÖZLEMLENEN DAVRANIŞLAR VE DENEY SONUÇLARI

Kolonlarda karbon fiber ile mantolamanın çift eğrilikli bir yükleme altındaki davranış ve dayanım üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla üç adet deney elemanı üzerinde; referans deneyi, iki güçlendirme deneyi, iki onarım deneyi yapılmıştır. Deney aşamasında alınan kayıtlar yardımıyla bütün elemanların yük-yer değiştirme grafiği elde edilmiştir. Ayrıca düğüme yakın kolon uçlarında alınan eğrilik okumaları sayesinde sağ ve sol kolon olmak üzere moment-eğrilik grafikleri elde edilmiştir. Bütün deney elemanları için de, davranış ve dayanımlar deney aşamasında bilgisayar ekranına çizdirilen düzeltilmemiş yük-yer değiştirme eğrisi yardımıyla incelenmiştir.

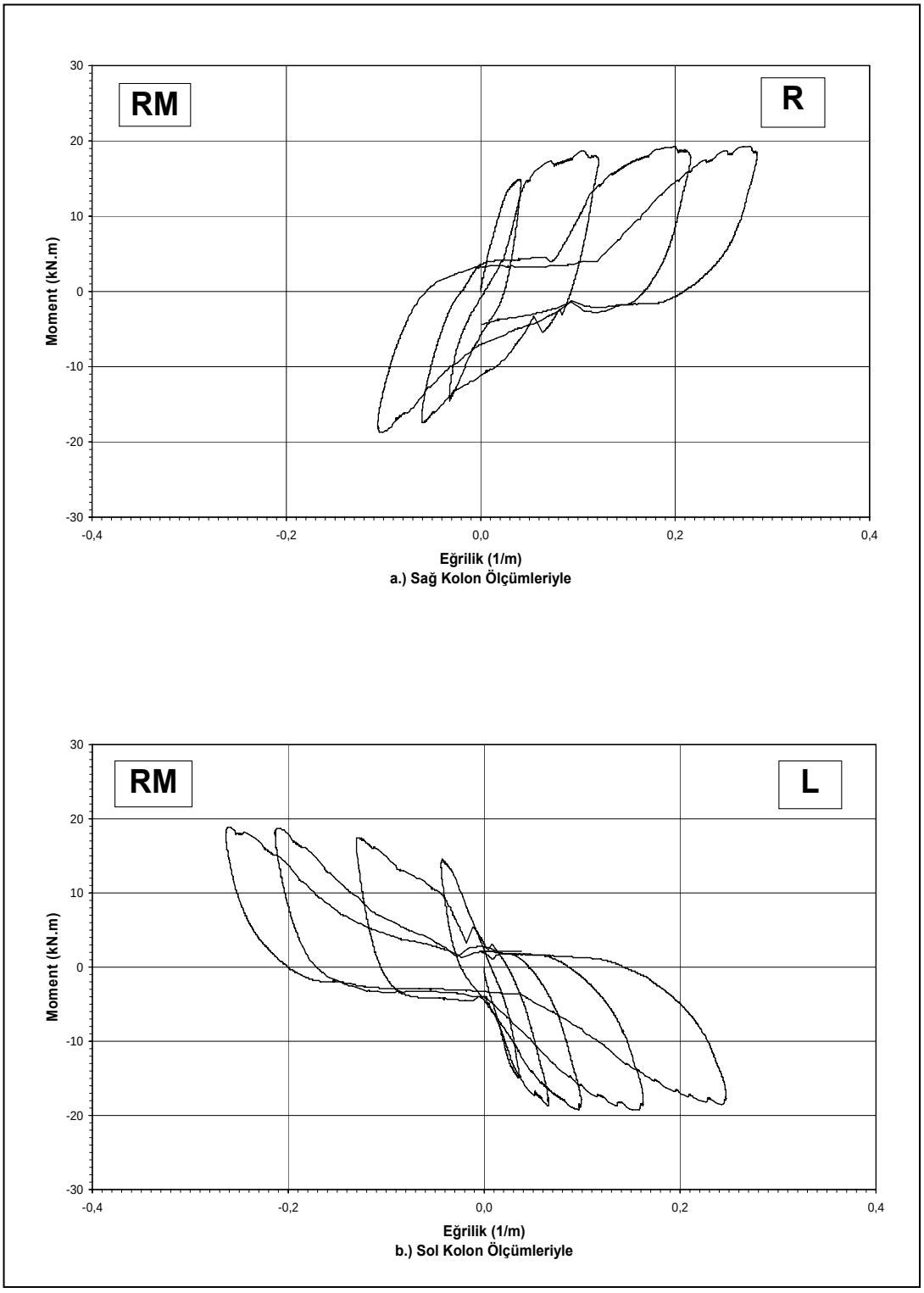
4.1. RM Deneyi

RM elemanı referans monolitik elemanıdır.Yaptığımız diğer çalışmalarda referans olması için yapılmıştır.

- İkinci geri çevrimde yük -26,422 kN ve deplasman -20,07 mm de iken sol kolon kiriş birleşimi kiriş ön yüzeyinde kolon enine doğru kılcal çatlaklar gözlenmiştir.
- Beşinci ileri çevrimde yük 3,2 kN ve deplasman 17,803 mm de iken sağ alt LVDT kayıt dışı kalmıştır. Tepe noktasında yük 27,1 kN ve deplasman 50,103 mm dir.
- Beşinci geri çevrimde yük -1,6 kN ve deplasman -2,2 mm de sol alt LVDT kayıt dışı kalmıştır. Tepe noktasında yük -26,506 kN ve deplasman -50,104 mm dir.
- Altıncı ileri çevrimde sol kolon kiriş birleşim bölgesinde 12 santimetre kadar çatlak oluşmuştur.
- Yedinci geri çevrimde sağ kolon kiriş birleşim bölgesinde 14 santimetre kadar çatlak oluşmuştur.
- Onuncu geri çevrimde deney bitirilmiştir.



Şekil 4.1. RM deneyi yük-yer değiştirme grafiği



Şekil 4.2. RM elemanı moment-eğrilik ilişkisi



Birinci ileri çevrim



Üçüncü ileri çevrim



Dördüncü geri çevrim



Beşinci ileri çevrim



Beşinci geri çevrim



Onuncu geri çevrim

Resim 4.1. RM elemanının deney aşamasındaki resimleri

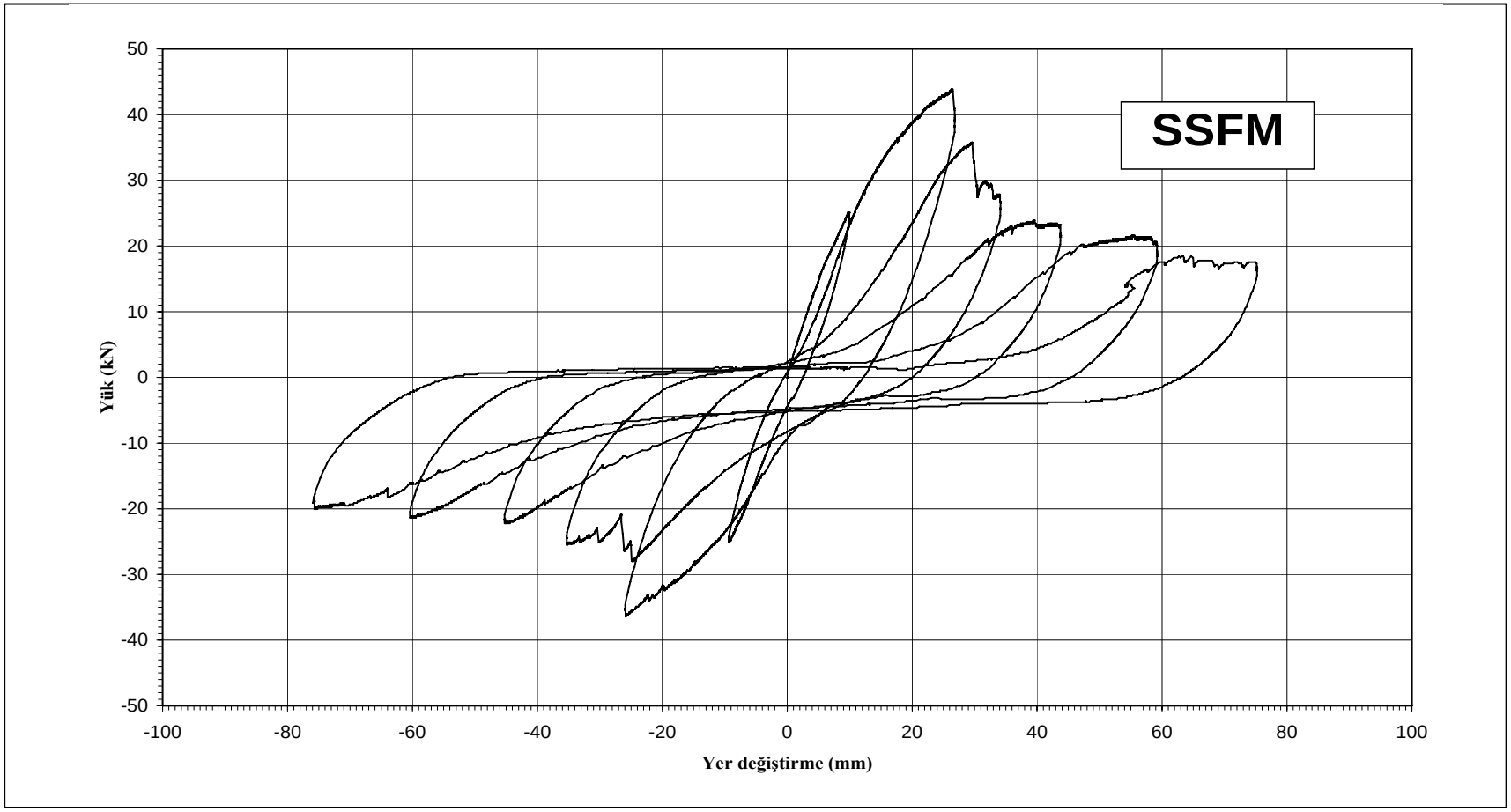
4.1. SSFM Deneyi

İlk deney elemanı olan SSFM, karbon fiberin kolon-kiriş birleşim bölgesinden düz olarak geçirilerek elde edilen deney elemanıdır.

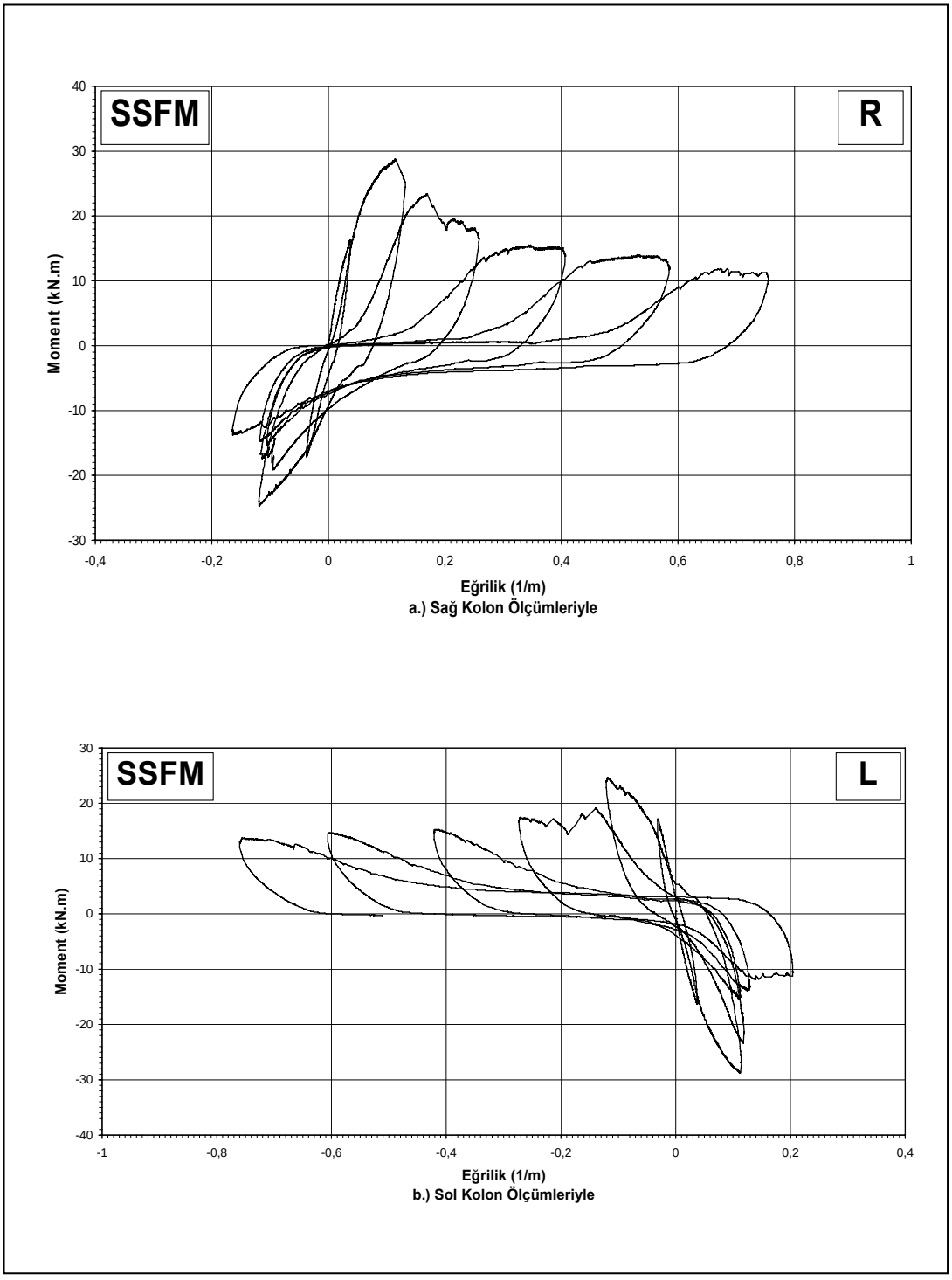
- İlk ileri yüklemede, 24,4 kN luk bir yük uygulanmıştır, ilk geri yüklemede ise 25,6 kN luk bir yük uygulanmıştır.
- İkinci geri yüklemede yük 32 kN'a ulaştığında sağ koloda kolon-kiriş birleşim noktası yakınlarında epoksi kabuğunda kalkma oluşmuştur.
- İkinci geri yüklemede, yük 32 kN ve yer değiştirme 18,4 mm de iken, sağ kolon çekme bölgesinde kolon üst yüzeyinde kirişe yakın bölgede karbon fiberde kalkma gözlenmiştir.
- Üçüncü geri yüklemede, yük 25,3 kN ve yerdeğiştirme 19 mm de iken sol kolon ön yüzünde birleşim noktasına 10 cm uzaklıkta karbon fiberde yırtılmalar gözlenmiştir. Sağ kolon üst yüzeyinde çekme bölgesinde kiriş yüzeyine yakın yerlerde kılcal çatlaklar oluşmuştur.
- Dördüncü ileri yüklemede, yük 21,2 kN ve yer değiştirme 45,2 mm de iken sol kolon arka yüzeyinde kiriş yüzeyine yakın yırtılma oluşmuştur.
- Dördüncü geri yüklemede, yük 14,2 kN ve yer değiştirme 29,3 mm de iken sağ kolon ön yüzeyinde kolon-kiriş birleşim noktasına yaklaşık 10 cm uzaklıkta karbon fiberde yırtılma oluşmuştur. Yük 18,2 kN ve yer değiştirme 35 mm de iken sağ kolon arka yüzünde kirişe yakın yerde karbon fiberde yırtılma oluşmuştur. Yük 20,3 kN ve yer değiştirme 39 mm de iken sol kolon ön tarafında betonda ayrılmalar oluşmuştur. Yük 22,2 kN ve yer değiştirme 45 mm de iken sağ kolon üst yüzeyinde kirişe yüzeyine yakın yerlerde ezilmeler gözlenmiştir.
- Beşinci ileri yüklemede yük 20 kN ve yer değiştirme 55 mm de iken sağ kolon üst yüzeyinde kiriş yüzeyine yakın yerlerde betonda ezilmeler oluşmuştur.
- Beşinci geri yüklemede yük 20,9 kN ve yer değiştirme 60 mm de iken sağ kolon alt kısmında çekme bölgesinde karbon fiber de kopma 12 cm ye kadar ulaşmıştır.

- Altıncı ileri yüklemede yük 16 kN ve yer değiştirme 76 mm de iken sol kolon üst yüzeyinde kiriş yüzeyine yakın yerlerde etriyeler gözükmeye başlanmıştır.
- Altıncı geri yüklemede yük 20,4 kN ve yer değiştirme 75,5 mm de iken karbon fiberde birleşim noktasına yakın yerlerde kopmalar artmıştır, betonda ezilmeler artmış ve betonda ayrılmalar başlamıştır.

Deney sonuna kadar altı ileri ve altı geri çevrim deney elemanına uygulanmıştır. Bu deney de alınan kayıtların değerlendirilmesi sonucu SSFM elemanının yük-yer değiştirme (P-δ) ilişkisi (Şekil 4.3), yine alınan kayıtların değerlendirilmesi sonucunda sağ ve sol kolon olmak üzere moment-eğrilik (M-K) ilişkileri verilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. SSFM elemanının yük-yer değiştirme ilişkisi



Şekil 4.4. SSFM elemanı moment-eğrilik ilişkisi



Deney başlangıcı



İkinci geri yükleme



Üçüncü geri yükleme



Üçüncü ileri yükleme



Dördüncü ileri yükleme



Beşinci geri yükleme



Altıncı ileri yükleme



Deney sonu

Resim 4.2. SSFM elemanının deney aşamasındaki resimleri

4.1. SCFM Deneyi

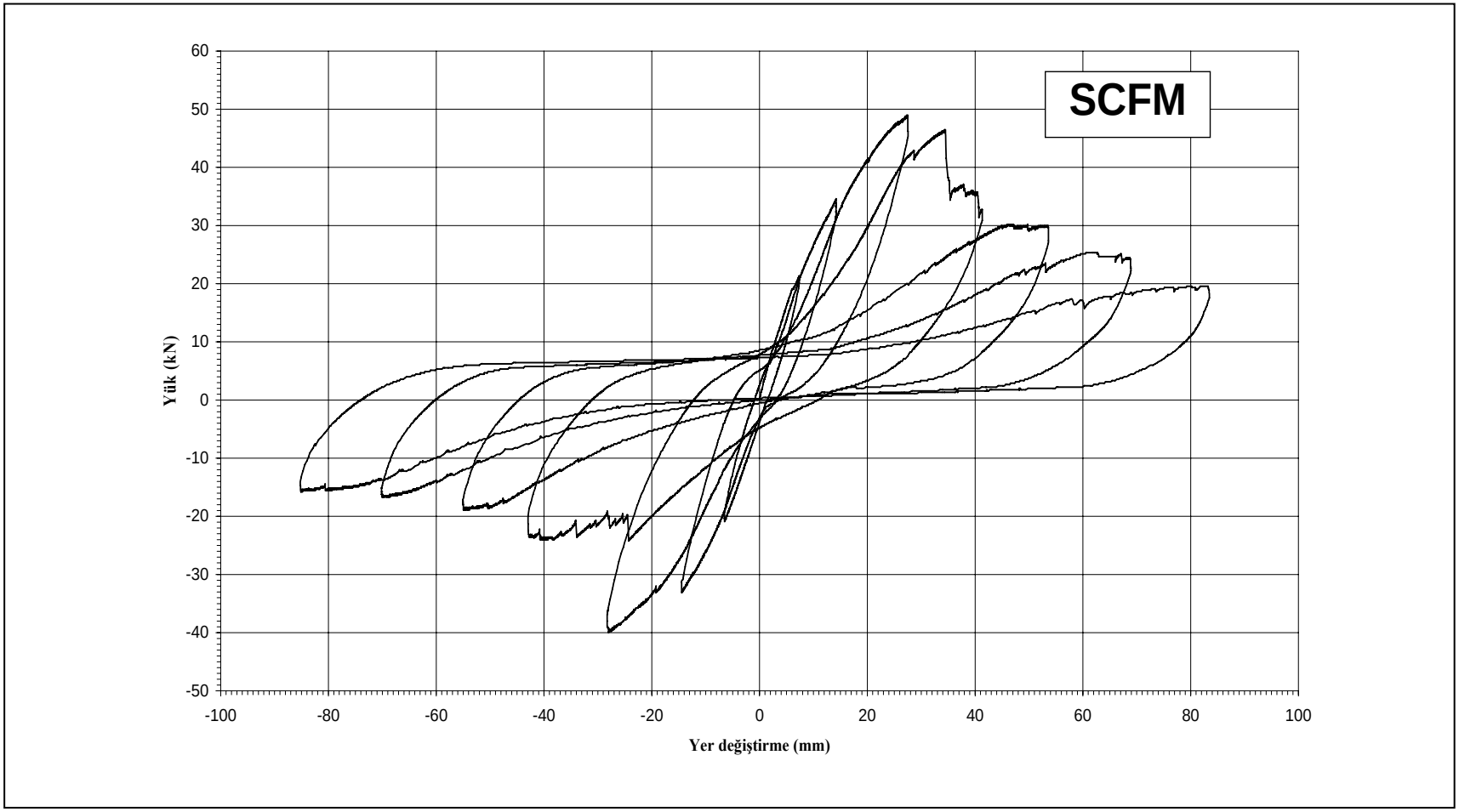
İkinci deney elemanı olan SCFM karbon fiberin kolon-kiriş birleşim bölgesinde çapraz olarak uygulanmasıyla elde edilen deney elemanıdır.

- Birinci ileri yüklemede yük 22 kN ve yer değiştirme 7,9 mm dir. Birinci geri yüklemde ise yük 20 kN ve yer değiştirme 6,9 mm dir.
- İkinci ileri yüklemede akmaya kadar gidilmiştir. Yük 27,442 kN ve yer değiştirme 15,285 mm de iken herhangi bir değişime rastlanmamıştır.
- İkinci geri yüklemede yük 27,9 kN ve yer değiştirme 15,5 mm de iken sağ kolon üst yüzeyinde kiriş yüzeyine yakın yerlerde 0,2 mm lik kılcal çatlakların oluştuğu gözlenmiştir. Yük 38 kN ve yer değiştirme 18,4 mm de iken çatlak epoksiyide çatlatarak kolon yüzeyinden 3,5 cm aşağısına kadar ilerlemiştir. Kiriş ön yüzeyinde, karbon fiberin üst kısmı, birleşim noktasından başlayarak yaklaşık 10 cm betondan ayrılmıştır.
- Üçüncü ileri yüklemede yük 23,4 kN ve yer değiştirme 20 mm de iken sol kolon üst kısmında kiriş yüzeyine yakın yerlerde kılcal çatlaklar oluşmuştur. Yük 41,136 kN ve yer değiştirme 29,275 mm de iken sol kolon kiriş birleşiminden 4 cm geriden başlayan ve birleşim noktasına kadar ilerleyen karbon fiber boyunca 0,5 mm çatlak oluşmuştur.
- Üçüncü geri yüklemede yük 32,2 kN ve yer değiştirme 14 mm de iken sağ kolon arka yüzeyinde kirişe yakın yerde epoksinin betondan ayrıldığı gözlenmiştir. Yük 39,78 kN ve yer değiştirme 20 mm de iken karbon fiberin kopmasından dolayı yük azalması olmuştur. Yük 44,222 kN ve yer değiştirme 25 mm de iken karbon fiberdeki yırtılmalar artmış, sağ kolon üst yüzeyinde betonda kılcal çatlaklar oluşmuştur, aynı zamanda karbon fiberin köşeleri döndüğü yerlerde ikişer mm çatlak oluşmuştur.
- Dördüncü ileri yüklemede sağ kolon üst yüzeyinde epokside betondan ayrılmalar oluşmuştur. Yük 30 kN ve yer değiştirme 36,95 mm de iken sağ kolon ön yüzünde kirişe yakın yerlerde karbon fiberde kopma meydana gelmiştir ve bundan

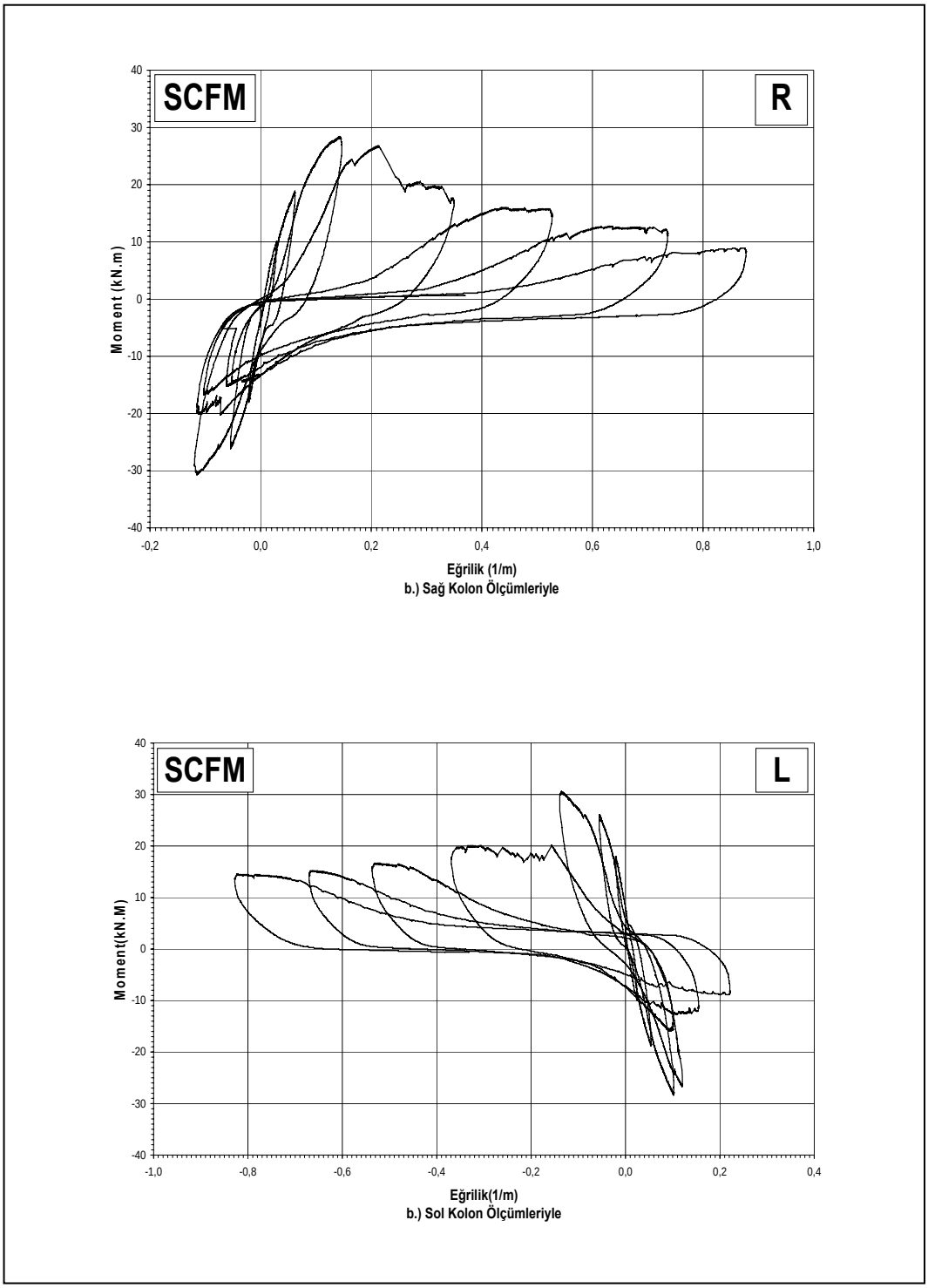
dolayı yükte azalma oluşmuştur. Yüklemeye devam edildiğin de aynı yerde kopmalar artmıştır.

- Dördüncü geri yüklemede yük 26,222 kN ve yer değiştirme 20 mm de iken sol kolon arka yüzeyinde alt tarafta karbon fiberde kopma, aynı tarafta üstte de karbon fiberde ayrılma gözlenmiştir. Yer değiştirme 25 mm de iken karbon fiberdeki kopmalardan dolayı yükte düşüş gözlenmiştir. Yer değiştirme 34 mm ye ulaştığında karbon fiberdeki kopma miktarları artmış ve tam birleşim noktasında 15 cm uzunluğunda karbon fiberde yırtılma oluşmuştur. Yük 28 kN ve yer değiştirme 42 mm ye ulaştığında sol kolon ön yüzeyinde karbon fiberde kopmalar başlamıştır.
- Beşinci ileri yüklemede yük 22 kN ve yer değiştirme 16 mm yi gösterirken sol kolon arka yüzeyinde kirişe yakın yerlerde karbon fiberde kopma gözlenmiştir. Sol kolon üst yüzeyinde kirişe 6 cm uzaklıkta çatlaklar gözlenmiştir. Yer değiştirme 51 mm yi gösterirken sağ kolon basınç yüzeyinde ezilmeler başlamıştır.
- Beşinci geri yüklemede 24 kN yük ve 47 mm yer değiştirmede sol kolon ön yüzeyinin alt tarafında yırtılma oluşmuştur.
- Altıncı ileri yüklemede yük 17,333 kN ve yer değiştirme 70 mm de iken tepe noktasına ulaşılmış ve betondan ayrılmalar oluşmuştur.
- Yedinci ileri yüklemede yük 12,444 mm ve yer değiştirme 84,352 mm de iken tepe noktasına ulaşılmıştır.
- Yedinci geri yüklemde 85,182 mm yer değiştirme ve 20,444 kN yüke ulaşıldığı gözlenmiştir.
- Yedinci geri yüklemeden sonra yük geri alınarak yer değiştirme sıfırlanmıştır.
- Deney sonuna kadar yedi ileri ve yedi geri çevrim deney elemanına uygulanmıştır.

Bu deneyde alınan kayıtların değerlendirilmesi sonucu SCFM deney elemanının yük-yer değiştirme (P-δ) ilişkisini gösteren grafik çizilmiştir (Şekil 4.5).Yine aynı şekilde alınan kayıtların değerlendirilmesi sonucunda sağ ve sol kolon ayrı ayrı olmak üzere moment-eğrilik ilişkisini gösteren grafikler elde edilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.5. SCFM elemanının yük-yer değiştirme ilişkisi



Şekil 4.6. SCFM elemanı Moment-Eğrilik ilişkisi



Deney başlangıcı



İkinci geri yükleme



Üçüncü ileri yükleme



Dördüncü ileri yükleme



Beşinci ileri yükleme



Beşinci geri yükleme



Altıncı ileri yükleme



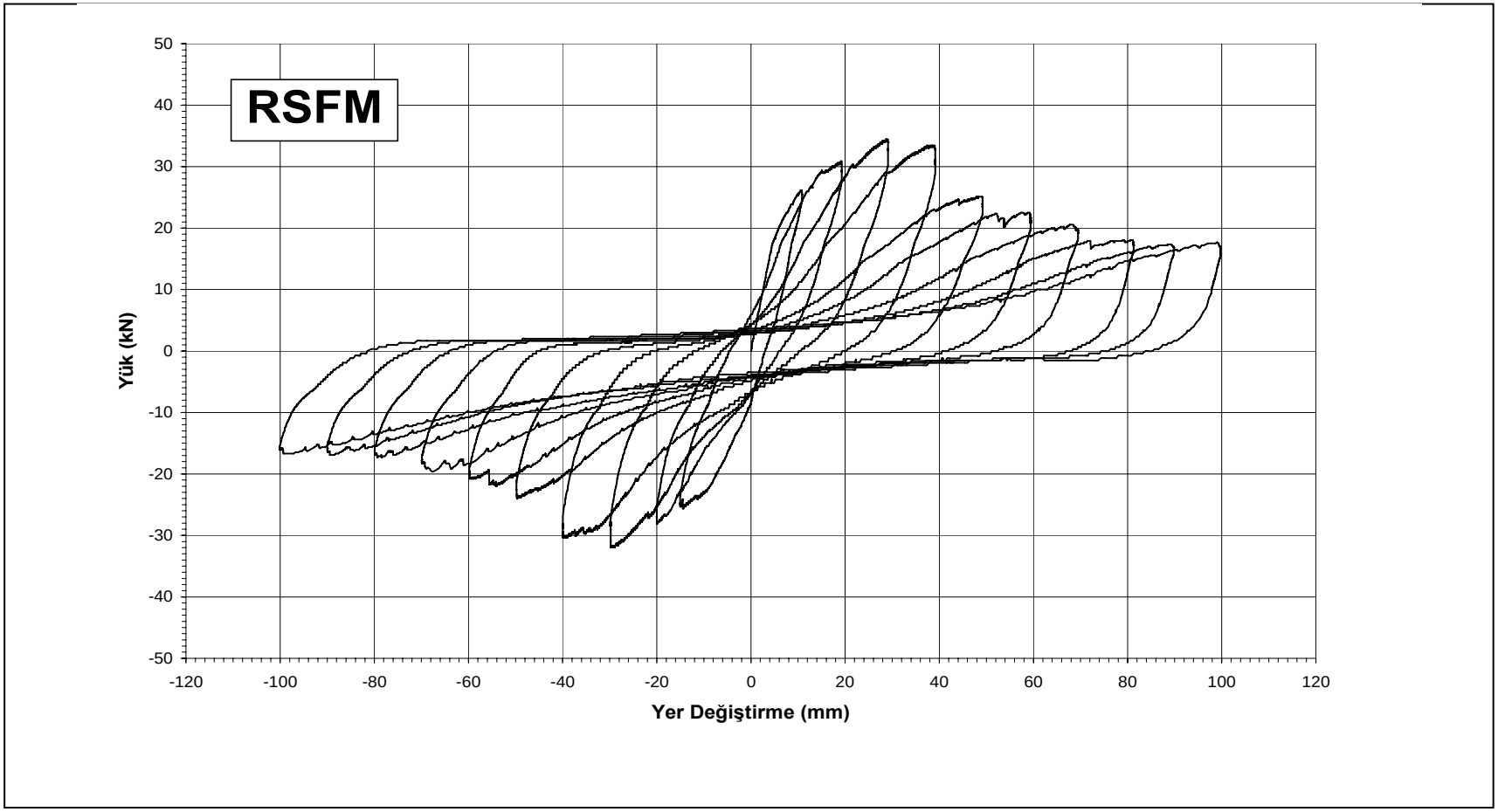
Deney sonu

Resim 4.3. SCFM elemanının deney aşamasındaki resimleri

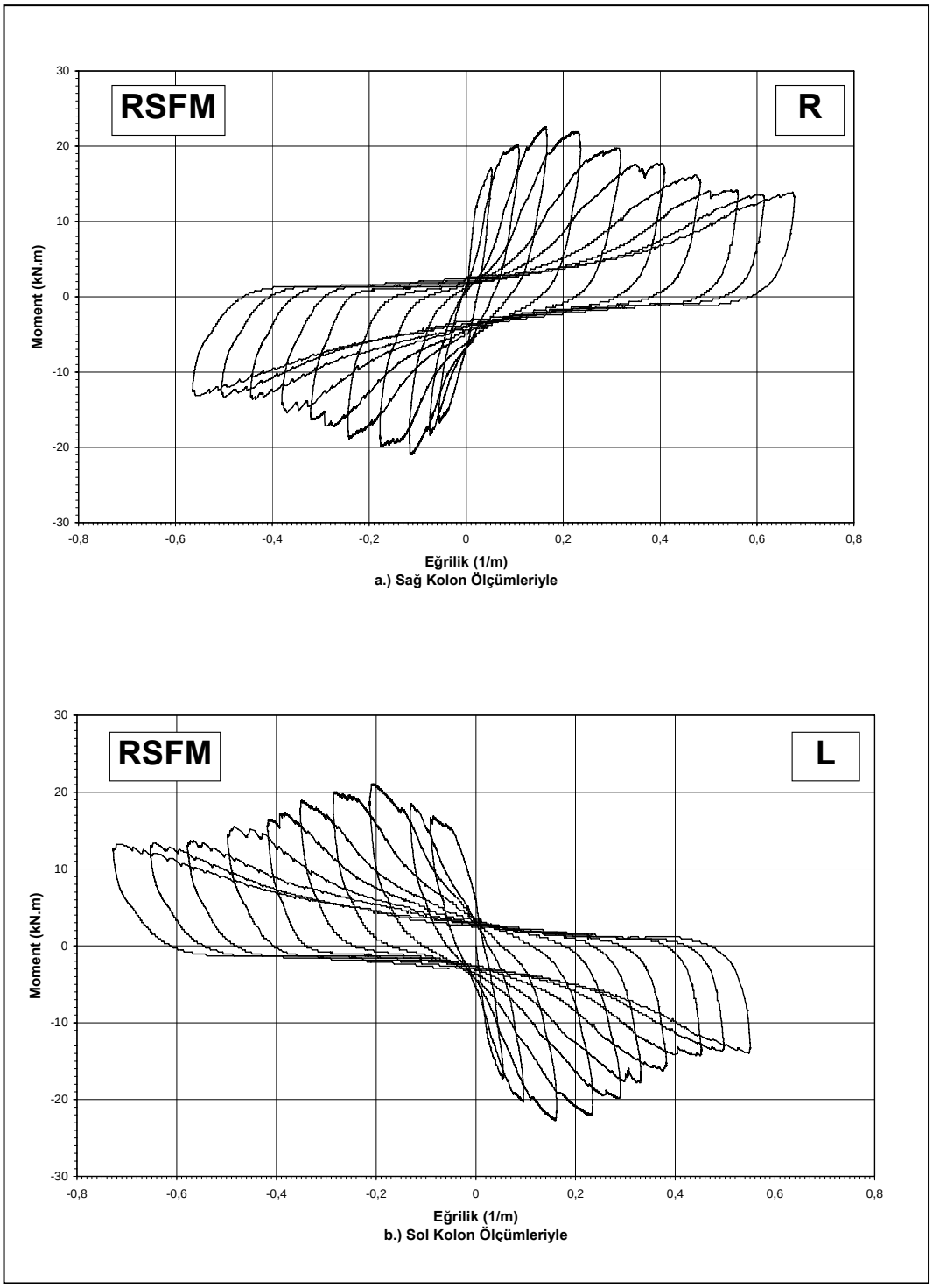
4.4. RSFM Deneyi

Üçüncü deney elemanı olan RSFM, karbon fiberin kolon-kiriş birleşim bölgesinde düz olarak uygulanmasıyla elde edilen deney elemanıdır. Bu deney elemanı; güçlendirme deneyi sonucunda elde edilen SSFM deney elemanın onarılıp tekrar deneye tabi tutulması sonucu elde edilen deney elemanıdır.

- Birinci ileri çevrim; 11,6 mm yer değiştirme 27 kN yükte tepe noktası oluştu.
- Birinci geri çevrim; -15 mm yer değiştirme -24,5 kN yükte tepe noktası oluştu.
- Üçüncü geri çevrim; -30 mm yer değiştirme -31,7 kN yükte tepe noktası oluştu. Sol kolon basınç bölgesinde kabukta ezilme meydana geldi.
- Dördüncü ileri çevrim; 40 mm yer değiştirme 32,6 kN yükte tepe noktası oluştu. Sol kolon altı basınç bölgesinde karbon 22 cm kadar kalktı.
- Dördüncü geri çevrim; -40 mm yer değiştirme -30 kN yükte tepe noktası oluştu. Sağ kolon üstü çekme bölgesinde 4 cm karbonda yırtılma oldu.
- Beşinci ileri çevrim; 50,1 mm yer değiştirme 30 kN yükte tepe noktası oluştu. Sağ kolon üstü basınç bölgesinde karbondaki yırtılma 5 cm ye ulaştı.
- Beşinci geri çevrim; -50 mm yer değiştirme -24,8 kN yükte tepe noktası oluştu. Sağ kolon altı basınç bölgesinde karbon 22 cm kadar kalktı.
- Altıncı ileri çevrim; 60 mm yer değiştirme 27 kN yükte tepe noktası oluştu.54,4 mm yer değiştirme 26,4 kN yükte sağ kolon altı ve sol kolon üstünde karbonda yırtılma meydana gelmiştir.
- Altıncı geri çevrim; -60 mm yer değiştirme -20,8 kN yükte tepe noktası oluştu.
- Onuncu ileri çevrim; 100 mm yer değiştirme 22 kN yükte tepe noktası oluştu.
- Onuncu geri çevrim; -100 mm yer değiştirme -16,9 kN yükte tepe noktası oluştu.
- Yer değiştirme 0'a getirilerek deneye son verildi.



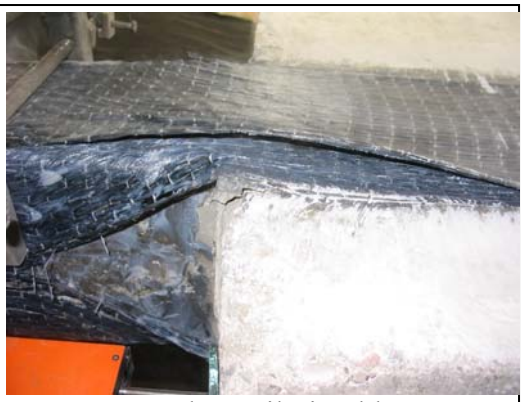
Şekil 4.7. RSFM elemanı yük-yer değiştirme ilişkisi



Şekil 4.8. RSFM elemanı Moment-Eğrilik ilişkisi



Deney Başlangıcı



Dördüncü ileri yükleme



Dördüncü geri yükleme



Beşinci ileri yükleme



Altıncı ileri yükleme



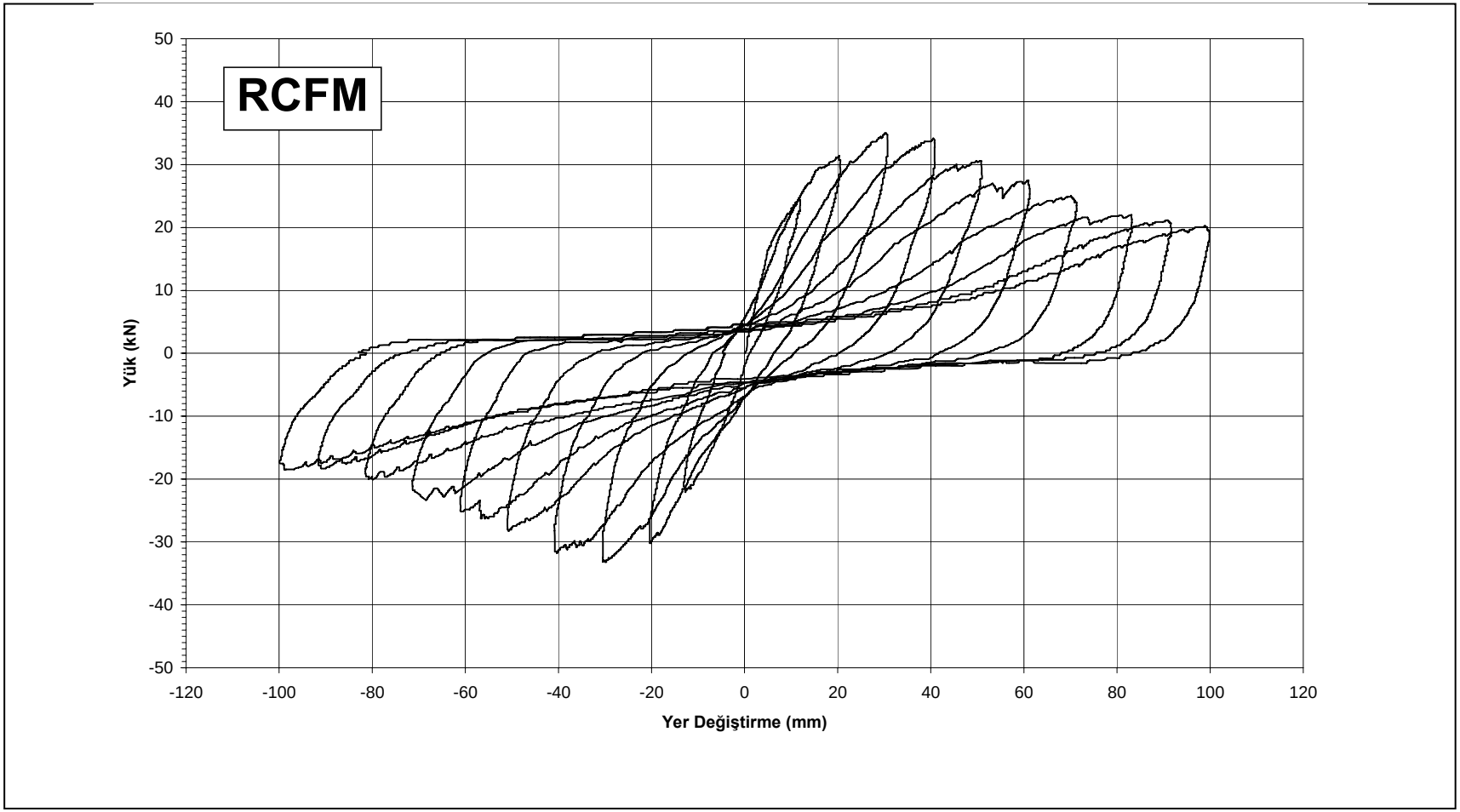
Deney sonu

Resim 4.4. RSFM elemanının deney aşamasındaki resimleri

4.5. RCFM Deneyi

Dördüncü deney elemanı olan RCFM, karbon fiberin kolon-kiriş birleşim bölgesinde çapraz olarak uygulanmasıyla elde edilen deney elemanıdır. Bu deney elemanı; güçlendirme deneyi sonucunda elde edilen SCFM deney elemanın onarılıp tekrar deneye tabi tutulması sonucu elde edilen deney elemanıdır. Bu deney elemanı sırasında yapılan bir hatadan dolayı kayıt alınamamıştır ve sadece yük-yer değiştirme grafiği elde edilebilmiştir.

- Birinci ileri çevrim; 10 mm yer değiştirme, 24,2 kN'da tepe noktası oluştu.
- Birinci geri çevrim; -12,61 mm yer değiştirme, -22 kN'da tepe noktası oluştu.
- Üçüncü ileri çevrim; 30 mm yer değiştirme, 34,6 kN'da tepe noktası oluştu. Sol alt kolon basınç bölgesinde alt karbon üst karbondan 15 cm kadar açıldı. Sağ kolon üst basınç bölgesinde 8 cm kirişe doğru kalkma oldu.
- Üçüncü geri çevrim; -30 mm yer değiştirme, -32,8 kN'da tepe noktası oluştu. -20 kN yükte iken sol kolon üstü basınç bölgesinde kiriş gövdesine doğru 7,5 cm karbon betondan ayrıldı ve yük -16 kN'a kadar düştü.
- Dördüncü ileri çevrim; 40 mm yer değiştirme, 34 kN'da tepe noktası oluştu. Sol kolon altı basınç bölgesinde karbonlar birbirinden 16 cm kadar açıldı.
- Beşinci ileri çevrimde; yük 29,7 ve yer değiştirme 51 mm de iken, sağ kolon üstü basınç bölgesinde, karbon fiberde yırtılma gözlenmiş ve karbon fiber yaklaşık 10 cm betondan ayrılmıştır.
- Altıncı ileri çevrimde; yük 27 kN ve yer değiştirme 61 mm de iken, sağ kolon üstü basınç bölgesinde, karbon fiberdeki yırtılma artmış ve betondan ayrılma yaklaşık 12 cm ye ulaşmıştır.
- Yedinci ileri çevrimde; yük 24,5 kN ve yer değiştirme 70,5 mm de iken, kolon kiriş birleşiminde karbon fiberin üst kısmı tamamen betondan ayrılmıştır.
- Onuncu ileri çevrim; 100 mm yer değiştirme, 20 kN'da tepe noktası oluştu.
- Onuncu geri çevrim; -100 mm yer değiştirme, -17 kN'da tepe noktası oluştu.
- Deneye, yer değiştirme 0 mm ye getirilerek son verildi.



Şekil 4.9. RCFM elemanı yük-yer değiştirme ilişkisi



Deney başlangıcı



Üçüncü ileri çevrim



Beşinci ileri çevrim



Altıncı ileri çevrim



Yedinci ileri çevrim



Deney sonu

Resim 4.5. RCFM elemanının deney aşamasındaki resimleri

4.6. Deney Sonuçları

Yapılan çalışmada bütün deney elemanlarının deney aşamasında gözlenen davranışları, elde edilen yük-yer değiştirme (P-δ) ilişkileri ile sağ ve sol kolon moment-eğrilik (M-K) ilişkileri önceki bölümlerde her bir deney için ayrı ayrı verilmiş ve incelenmiştir. Bu bölümde tüm deneylerin toplu alarak değerlendirilmesinde yardımcı olacak deney sonuçları çizelgeler halinde sunulmaktadır. Çizelge 4.1 de deney elemanlarının yük-yer değiştirme (P- δ) ilişkilerinden ileri ve geri çevrimler için ayrı ayrı elde edilen, akma anındaki yükü ve yer değiştirmesi, maksimum yükü ve yer değiştirmesi ve bu değerlerin oranları verilmiştir. Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3 de deney elemanlarının sol kolon ve sağ kolon olmak üzere moment-eğrilik (M-K) ilişkilerinde ileri ve geri çevrimler için ayrı ayrı elde edilen; akma anındaki momenti ve eğriliği, maksimum momenti ve eğriliği, maksimum momentin 0,85 i ve bu momente karşılık gelen eğriliği verilmiştir. Ayrıca tepe noktasındaki değerlerle akma noktasındaki değerlerin oranları verilmiştir.

Çizelge 4.1. Yük-yer değiştirme ilişkisinden elde edilen deney sonuçları

Deney	Akmada				Tepede				Oranlar			
	İleri		Geri		İleri		Geri		İleri		Geri	
	Py (kN)	δy (mm)	Py (kN)	δy (mm)	Pu (kN)	δo (mm)	Pu (kN)	δo (mm)	Pu/Py	δo/δy	Pu/Py	δo/δy
RM	27,94	18,10	26,42	20,43	28,66	38,00	28,62	41,61	1,03	2,10	1,08	2,04
SSFM	23,72	9,92	25,33	9,38	43,62	26,51	36,44	25,88	1,84	2,67	1,44	2,76
SCFM	27,91	14,18	38,67	14,47	48,95	27,53	40,00	28,03	1,75	1,94	1,03	1,94
RSFM	30,88	19,25	28,09	19,99	34,45	29,08	31,97	29,79	1,12	1,51	1,14	1,49
RCFM	31,43	20,34	30,17	20,36	34,75	30,65	33,17	30,47	1,11	1,51	1,10	1,50

Çizelge 4.2. Sol kolon moment-eğrilik ilişkisinden elde edilen deney sonuçları

Deney	Akmada				Tepede				%85 Tepede				Oranlar			
	İleri		Geri		İleri		Geri		İleri		Geri		İleri		Geri	
	My (kN.m)	Ky (1/m)	My (kN.m)	Ky (1/m)	Mu (kN.m)	Ko (1/m)	Mu (kN.m)	Ko (1/m)	M_{85} (kN.m)	K_{85} (1/m)	M_{85} (kN.m)	K_{85} (1/m)	Mu/My	Ko/Ky	Mu/My	Ko/Ky
RM	18,538	0,066	17,419	0,130	19,244	0,159	18,867	0,262	16,357	-----	16,037	-----	1,04	2,41	1,08	2,02
SSFM	16,877	0,031	16,713	0,042	29,062	0,113	23,984	0,119	24,454	0,130	20,880	0,180	1,42	3,79	1,74	2,71
SCFM	25,800	0,056	26,390	0,120	30,770	0,137	26,154	0,210	28,196	0,102	23,966	0,120	1,19	2,44	0,99	1,75
RSFM	20,180	0,095	18,514	0,130	22,708	0,160	21,071	0,210	19,302	0,303	17,910	0,374	1,13	1,68	1,14	1,62
RCFM	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Çizelge 4.3. Sağ kolon moment-eğrilik ilişkisinden elde edilen deney sonuçları

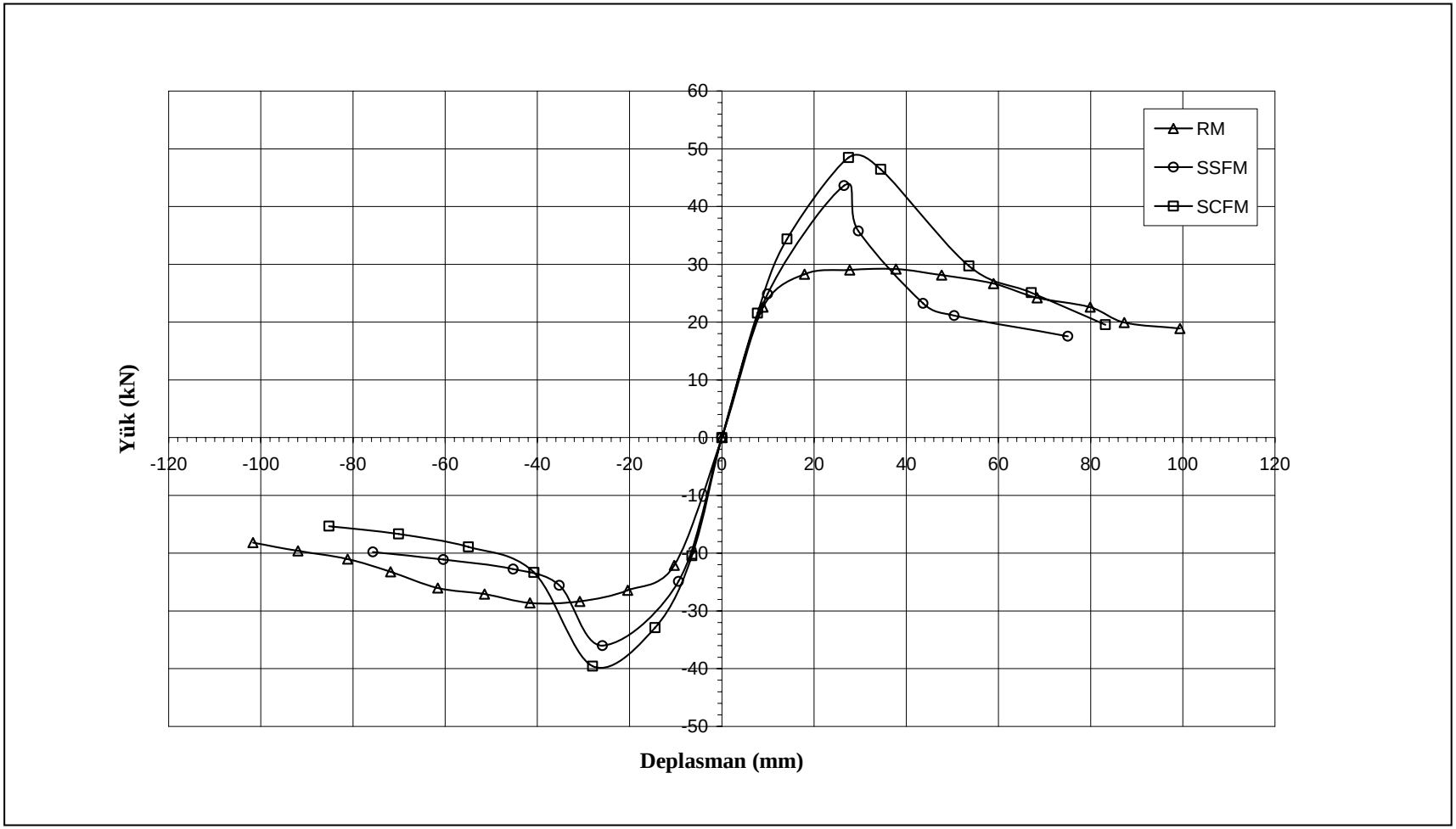
Deney	Akmada				Tepede				%85 Tepede				Oranlar			
	İleri		Geri		İleri		Geri		İleri		Geri		İleri		Geri	
	My (kN.m)	Ky (1/m)	My (kN.m)	Ky (1/m)	Mu (kN.m)	Ko (1/m)	Mu (kN.m)	Ko (1/m)	M_{85} (kN.m)	K_{85} (1/m)	M_{85} (kN.m)	K_{85} (1/m)	Mu/My	Ko/Ky	Mu/My	Ko/Ky
RM	18,405	0,108	17,405	0,060	19,229	0,277	----	----	16,345	-----	-----	-----	1,04	2,56	-----	-----
SSFM	16,280	0,040	16,891	0,036	29,237	0,116	24,004	0,119	24,345	0,160	21,032	0,120	1,80	2,90	1,42	3,31
SCFM	18,729	0,062	25,735	0,054	27,682	0,145	30,764	0,115	23,529	0,250	26,149	0,120	1,48	2,34	1,20	2,13
RSFM	20,053	0,107	18,395	0,075	22,562	0,165	20,936	0,116	19,178	0,340	17,796	0,345	1,13	1,54	1,14	1,55
RCFM	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

5. DENEY SONUÇLARININ İŞLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

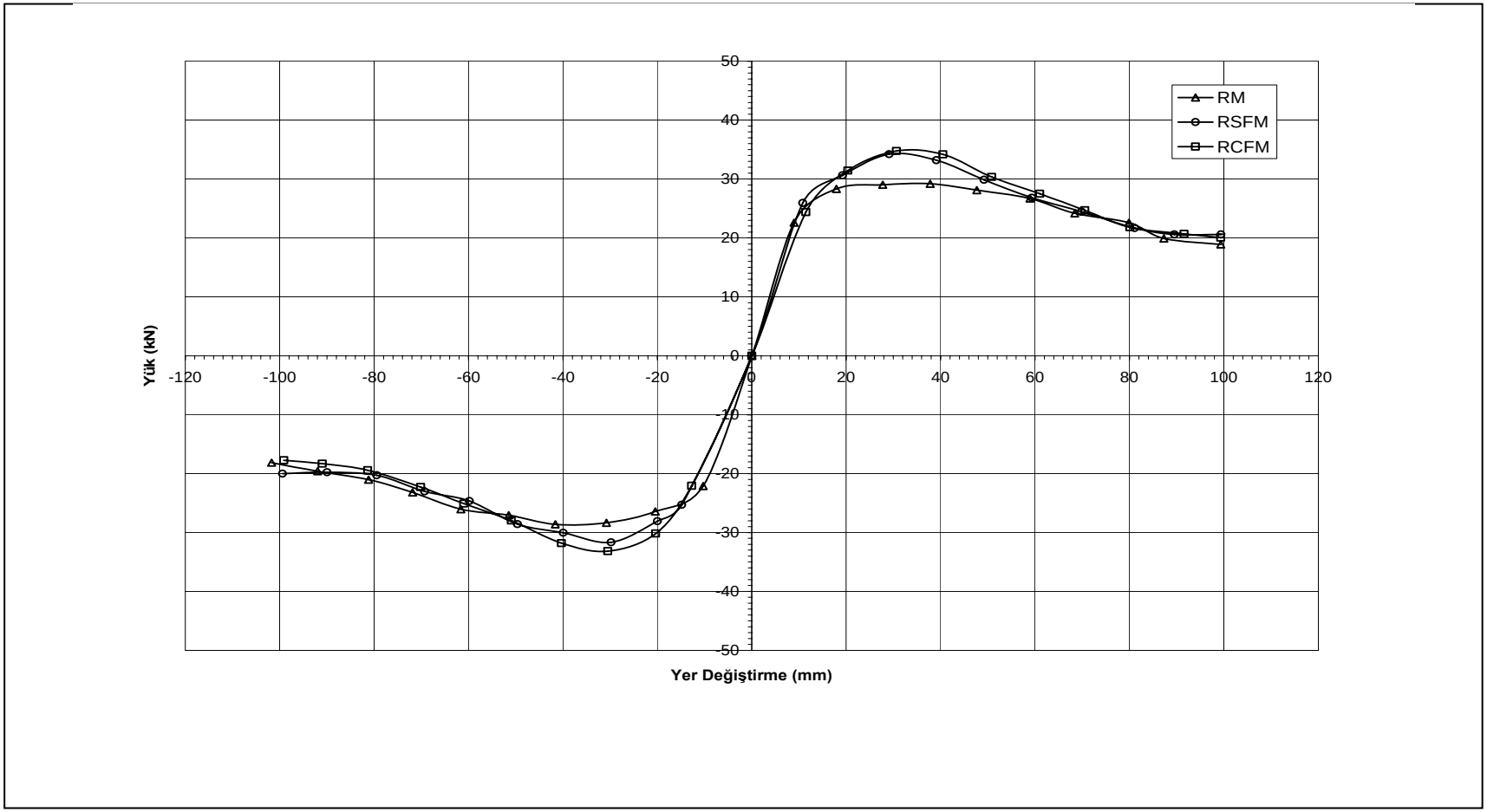
Bu bölümde deney verilerinin işlenmesi ve deney sonuçlarının değerlendirilmesi ele alınmıştır. Bu deneyde referans olarak kullanacağım deney elemanı RM yalın elemanıdır. Burada kolonların dayanım ve dayanım azalması, süneklik, enerji tüketimi, rijitlik değişimi bu bölümde ele alınmıştır. Yukarıda bahsedilen tüm değerlendirmeler elemanların yük-yer değiştirme grafiklerinden yararlanılarak elde edilmiştir. Deneyler iki grup halinde değerlendirilmiştir. Birinci grup SSFM, SCFM, RM elemanları, ikinci grup ise RSFM, RCFM, RM elemanlarıdır.

5.1. Dayanım ve Dayanım Azalması

Dayanım ve dayanım azalması tüm elemanlar için verilmiş olan yük yer değiştirme grafiklerinden elde edilen zarf eğrilerinin karşılaştırılması sonucunda irdelenmiştir. Bu yük yer değiştirme zarf eğrileri Şekil 5.1 ve Şekil 5.2 de verilmiştir. İlk olarak Şekil 5.1 de gösterilen, SSFM, SCFM ve RM elemanlarının yük-yer değiştirme zarf eğrilerinin ilişkileri gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi SSFM deney elemanının maksimum dayanımı RM yalın elemanının dayanımından %50 daha fazla, SCFM deney elemanının maksimum dayanımı da RM yalın elemanının maksimum dayanımından %66 daha fazla olduğu görülmüştür. SCFM elemanının maksimum dayanımı SSFM elemanının maksimum dayanımından yaklaşık %12 daha fazladır. Dayanım azalması ise her iki çevrimde de SSFM nin SCFM ye göre daha çabuk olduğu görülmüştür. SSFM ve SCFM elemanlarının dayanım azalması RM ye göre oldukça hızlı olmuştur. Şekil 5.2 de gösterilen; RSFM, RCFM ve RM elemanlarının yük-yer değiştirme zarf eğrilerinin ilişkileri gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi RCFM elemanının maksimum dayanımı RM elemanının maksimum dayanımından %19, RSFM elemanının maksimum dayanımı da RM elemanının maksimum dayanımından %17 daha fazla olduğu görülmüştür. RSFM ve RCFM elemanlarının maksimum dayanımları ise birbirine çok yakın çıkmıştır. Dayanım azalması ise, RM elemanının RSFM ve RCFM elemanlarına göre daha yavaş olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.1. SSFM, SCFM, ve RM elemanlarının yük-yer değiştirme zarflarının karşılaştırılması



Şekil 5.2. RSFM, RCFM, ve RM elemanlarının yük-yer değiştirme zarflarının karşılaştırılması

5.2. Süneklik

Sünekliğin kısaca tanımını yapacak olursak; süneklik, yük taşıma kapasitesinde önemli bir düşme olmadan, elemanın veya kesitin büyük deformasyon yapabilme özelliği olarak tanımlanmaktadır. Deney elemanları için maksimum şekil değiştirme olarak ileri ve geri çevrimde ayrı ayrı, elemanın azalmakta olan gücü, taşıyabileceği maksimum yükün %85'ine düştüğünde ölçülen şekil değiştirme olarak alınmıştır (δ_{85}). Bu şekil değiştirmenin akma anındaki şekil değiştirmeye oranı yer değiştirme sünekliği oranıdır (Çizelge 5.1) Aynı şekilde sağ ve sol kolonlarda da ileri ve geri çevrimlerde ayrı ayrı kesitin taşıyabildiği maksimum momentin %85'ine karşılık gelen momentteki eğrilik alınmıştır (K_{85}). Bu eğriliğin akma anındaki eğriliğe oranı ise eğrilik sünekliği oranıdır. Yukarıda anlatılanlar doğrultusunda yük-yer değiştirme grafiğinden ileri ve geri çevrimler olmak üzere iki adet yer değiştirme sünekliği oranı elde edilmiştir. Ayrıca sağ ve sol kolon moment-eğrilik grafiklerinin ileri ve geri çevrimlerinden faydalanılarak ikişer adet eğrilik sünekliği oranı elde edilmiştir. (Çizelge 5.1). Çizelge 5.1 deki deney elemanlarının yer değiştirme sünekliklerinin karşılaştırarak yorumlanmasıyla aşağıdaki sonuçlara varılmıştır. Ayrıca Çizelge 5.1 de deney elemanlarını karşılaştırmak amacıyla, yalın eleman BC ve güçlendirilmiş eleman MR referans elemanlarının da değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. Yer değiştirme sünekliği ($\mu\delta=\delta 85/\delta y$)

Deney	İleri Çevrimde (mm)			Geri Çevrimde (mm)		
	δy	δ_{85}	δ_{85}/δ_y	δy	δ_{85}	δ_{85}/δ_y
SSFM	9,92	33,20	3,35	9,38	32,10	3,42
SCFM	14,18	37,60	2,65	14,47	35,20	2,43
RSFM	19,25	51,50	2,68	19,99	53,60	2,68
RCFM	20,34	54,00	2,66	20,36	52,50	2,58
RM	8,96	63,00	7,03	10,31	62,00	6,01

Çizelge 5.1'deki deney elemanlarının yer değiştirme sünekliklerinin karşılaştırılarak yorumlanmasıyla aşağıdaki sonuçlara varılmıştır. İleri çevrimde SSFM ve SCFM deney elemanlarının yer değiştirme süneklikleri referans elemanı olan RM yalın elemana göre oldukça düşüktür. Geri çevrimde de SSFM ve SCFM elemanlarının süneklikleri RM yalın elemanına göre çok düşük kalmıştır. SSFM nin yer değiştirme sünekliği SCFM elemanına göre yüksek çıkmıştır. RSFM ve RCFM elemanlarının yer değiştirme süneklikleri ise hem ileri hem de geri çevrimde RM yalın elemanına göre oldukça düşük olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.2. Sol kolon eğrilik sünekliği (μK=K85/Ky)

Deney	İleri Çevrimde (mm)			Geri Çevrimde (mm)		
	Ky	K_{85}	K_{85}/K_y	Ky	K_{85}	K_{85}/K_y
SSFM	0,031	0,130	4,2	0,042	0,180	4,3
SCFM	0,056	0,102	1,8	0,120	0,120	1,0
RSFM	0,095	0,303	3,2	0,130	0,374	2,9
RCFM	----	----	----	----	----	----
RM	0,038	----	----	0,043	----	----

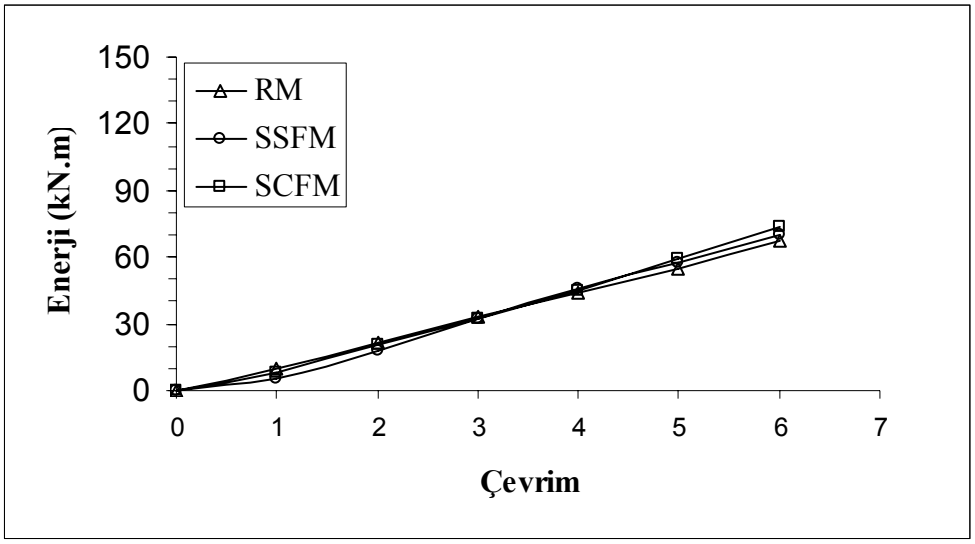
Çizelge 5.3. Sağ kolon eğrilik sünekliği (μK=K85/Ky)

Deney	İleri Çevrimde (mm)			Geri Çevrimde (mm)		
	Ky	K_{85}	K_{85}/K_y	Ky	K_{85}	K_{85}/K_y
SSFM	0,040	0,160	4,0	0,036	0,12	3,3
SCFM	0,062	0,250	4,0	0,054	0,12	2,2
RSFM	0,107	0,340	3,2	0,075	0,345	4,6
RCFM	----	----	----	----	----	----
RM	0,041	----	----	0,032	----	----

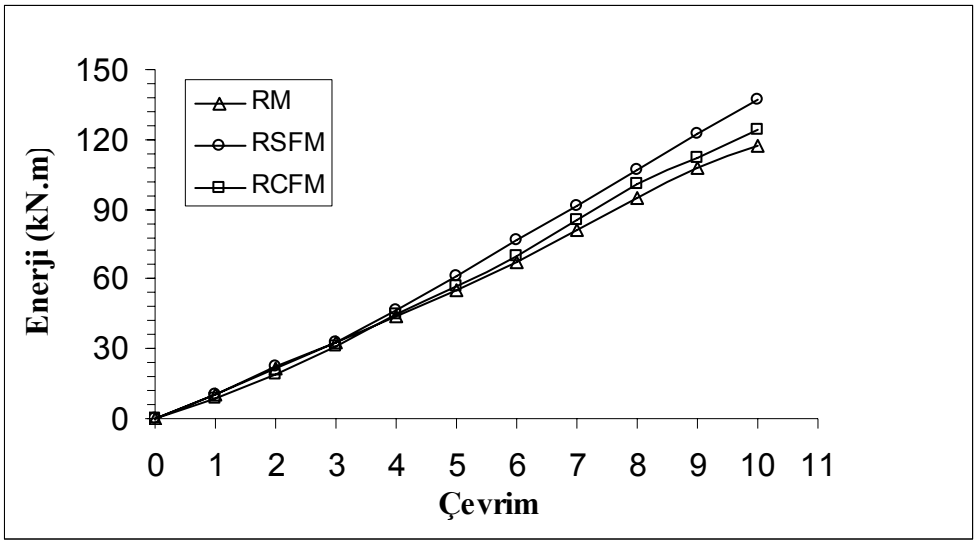
Çizelge 5.2 sol kolon eğrilik sünekliklerinde görüldüğü gibi, ileri çevrimde SSFM nin eğrilik sünekliği SCFM elemanından oldukça yüksek çıkmıştır. Geri çevrimde de SSFM elemanının eğrilik sünekliği ise SCFM elemanına göre yüksek çıkmıştır. Çizelge 5.3 sağ kolon eğrilik sünekliklerinde, ileri çevrimde görüldüğü gibi SSFM ve SCFM elemanlarının süneklikleri birbirine eşit çıkmıştır. Geri çevrimde ise SSFM elemanının sünekliği SCFM elemanın sünekliğinden yüksek çıkmıştır. RM elemanında eğrilik okumaları için kullanılan LVDT'ler belli bir okumadan sonra kayıt dışı kaldıkları için bazı değerler hesaplanamamıştır.

5.3. Enerji Tüketimi

Deney elemanlarının enerji tüketimleri yük-yer değiştirme grafiklerinden elde edilmiştir. Deney elemanlarının yük-yer değiştirme eğrilerindeki ileri ve geri çevrimlerin yük sıfır ekseniyle arasında kalan alan o çevrimin enerji kapasitesini göstermektedir. Yük yer değiştirme grafiğinin çizimi için deney sırasında elde edilen kayıtlar doğrultusunda, deney elemanlarının her biri için yük-yer değiştirme eğrisinin altında kalan alan hesaplanmış, ileri ve geri çevrimlerle ayrı ayrı bu alanlar toplanarak her bir çevrimin enerji tüketme kapasiteleri hesaplanmıştır. Enerji-çevrim grafiklerinde her tam çevrimin enerji tüketim kapasitesi kümülatif olarak bir sonraki çevrimle toplanmıştır. Bütün elemanların enerji çevrim grafikleri Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 de verilmiştir. SSFM, SCFM ve RM elemanlarının enerji tüketim kapasiteleri karşılaştırıldığında, SCFM ve SSFM nin enerjisi RM elemanına %8 daha fazla enerji tüketmişlerdir. RSFM, RCFM ve MR elemanlarının enerji tüketim kapasiteleri karşılaştırıldığında, RSFM ve RCFM elemanının enerji tüketimi RM elemanına göre %12 daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 5.3. SSFM, SCFM ve RM elemanlarının enerji-çevrim grafiklerinin karşılaştırılması



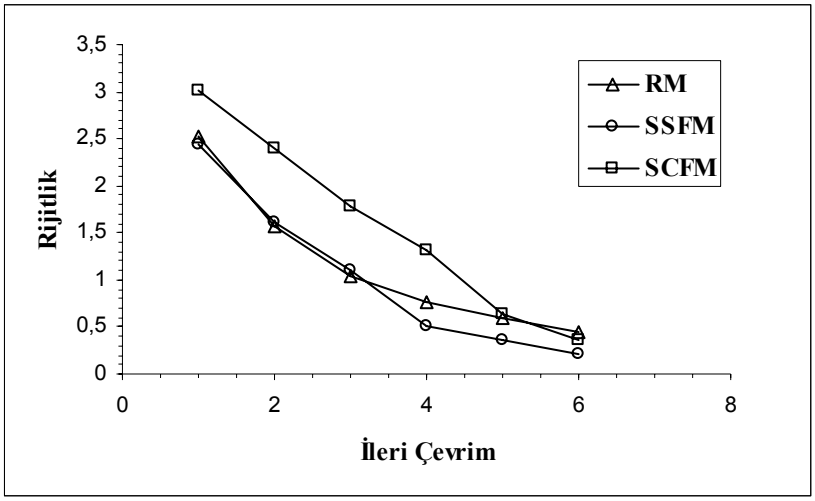
Şekil 5.4. RSFM, RCFM ve RM elemanlarının enerji-çevrim grafiklerinin karşılaştırılması

5.4. Rijitlik Değişimi

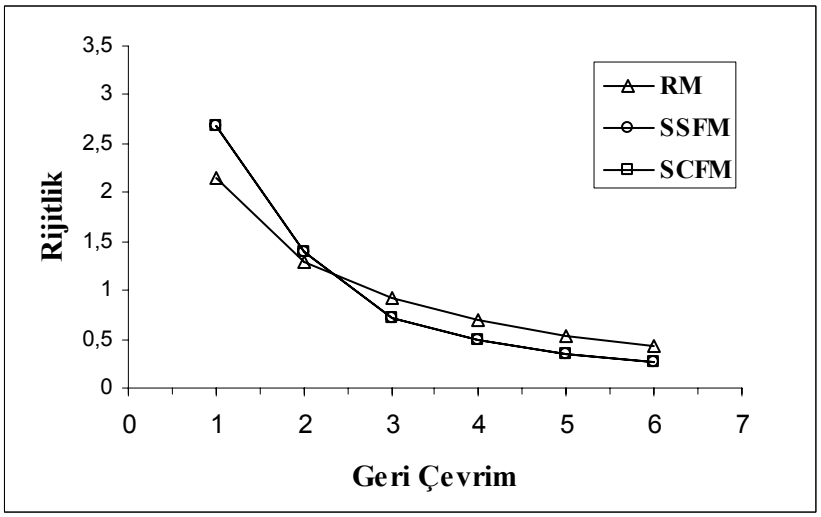
Deney elemanlarının rijitlik değişimleri yük-yer değiştirme grafiklerinden elde edilmiştir. Rijitlik, yük-yer değiştirme grafiğindeki çevrimlerin çıkış kollarının eğimlerinden elde edilmiştir. Bu eğim çevrimin çıkış kolunun tırmanmaya başladığı bölge ile tepedeki çıkma bölgesi arasında kalan yaklaşık olarak doğrusal olan bölgenin eğimidir. Bulunan eğim o çevrimin rijitliğini vermektedir. Tüm deney elemanlarının ileri ve geri çevrimleri için elde edilen rijitlik-çevrim grafikleri Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 de verilmiştir. Deney elemanlarının ileri ve geri çevrim rijitlik değişim grafikleri iki grup halinde düzenlenmiştir.

İlk olarak SSFM, SCFM ve RM elemanlarının rijitliklerini kıyaslarsak. Şekil 5.5 ileri çevrim grafiğinde görüldüğü gibi SSFM elemanının rijitliği yalın eleman olan RM elemanına göre %20 daha fazladır. SCFM ve RM elemanlarının rijitlikleri birbirine çok yakın çıkmıştır. Şekil 5.6 Geri çevrimde ise SCFM elemanının rijitliği RM yalın elemanına göre %46 daha fazla çıkmıştır. Yine geri çevrimde SSFM elemanının rijitliği yalın eleman olan RM ye göre %25 daha yüksek olduğu görülmüştür.

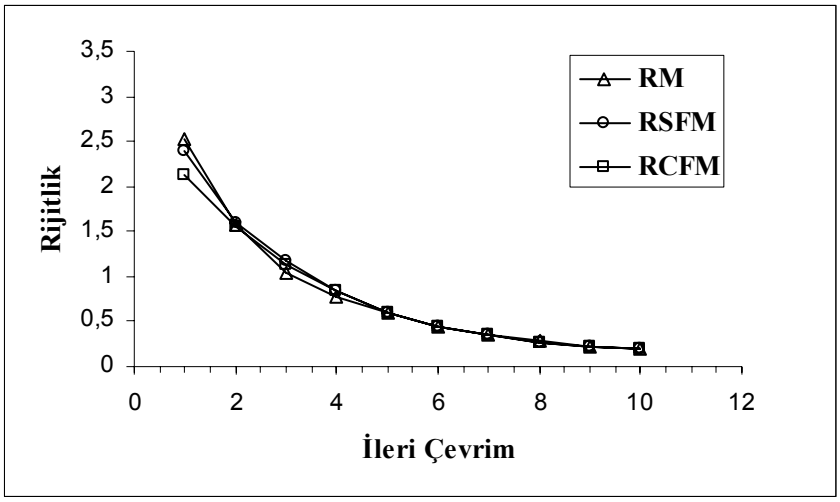
İkinci olarak ise RSFM, RCFM ve RM elemanlarının rijitliklerini kıyaslarsak. Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 de görüldüğü gibi ileri ve geri çevrim ölçümleri olmak üzere ayrı ayrı gösterilmiştir. Burada hem ileri hemde geri çevrim ölçümlerinde RM yalın elemanı RCFM ve RSFM onarılmış elemanlarına göre ilk çevrimde yüksek olmasına rağmen diğer çevrimlerde RCFM ve RSFM elemanlarının rijitlikleri RM elemanını biraz üzerindedir.



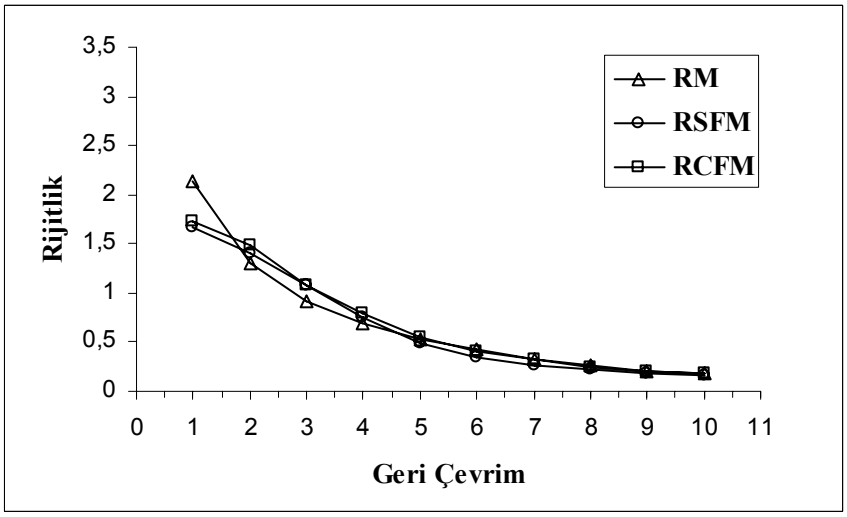
Şekil 5.5. SSFM, SCFM ve RM elemanlarının rijitlik- ileri çevrim grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 5.6. SSFM, SCFM ve RM elemanlarının rijitlik- geri çevrim grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 5.7. RSFM, RCFM ve RM elemanlarının rijitlik- ileri çevrim grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 5.8. RSFM, RCFM ve RM elemanlarının rijitlik- geri çevrim grafiklerinin karşılaştırılması

6. ANALİTİK ÇALIŞMA

6.1. Genel

Bu araştırma programında, Kent ve Park sargılanmış beton modelinin geliştirilmiş hali; Saatçioğlu-Razvi sargılanmış beton modeli deney elemanlarının analitik moment - eğrilik (M-K) ilişkilerini elde etmek amacıyla kullanılmıştır.

6.2. Kullanılan Sargılanmış Beton Modeli

Bu analitik çalışmada M. Saatçioğlu ve S. R. Razvi tarafından 1991 yılında Ottawa Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde sargılanmış beton için önerilen analitik model geliştirilmiştir. Analitik çalışmada kullanılan Saatçioğlu sargılanmış beton modelinde dikkate alınan parametrelerin bazıları şunlardır; Sargılanmamış beton dayanımı, sargılanmamış betonun en büyük birim boy değişimi, sargılanmış boyuna donatı aralığı, toplam boyuna donatı aralığı, enine donatı (etriye ve/veya fret) alanı, enine donatı akma dayanımı, enine donatı aralığı, enine donatı merkezinden merkezine mesafesi ve enine donatının sargılama yönüyle yaptığı açı olarak sıralanabilir. Çelik için ise iki doğrulu (pekleşme sınırı kopma sınırı ile ortak malzeme modeli) çelik malzeme modeli kullanılarak yapılmıştır. Beton malzemesinin bu model ile tanımlanmasının başlıca sebebi, model varsayım ve tanımlarının aynı kesit içerisinde sargılanmış ve sargılanmamış iki tip beton malzemesine imkân verebilmesidir. Modelin varsayımları ve çalışmada kullanılan kesit üzerinde belirlenen parametreleri aşağıda verilmiştir.

Deney elemanlarının güçlendirilmesinde kullanılan karbon-fiber şeritler ise eğilme doğrultusunda kalan kesitler için çelik gibi modellenmiş olup Excel programında hazırlanan bir döngü içerisine kesit dışında donatı varmış gibi hesaplara ilave edilmiştir. Karbon-fiber şeritlerin malzeme davranışı sika firmasının teknik kataloglarından elde edilmiştir.

Excel programının ana çalışma prensibi şu şekildedir:

Girdi değerlerinin verildiği girdi sayfası. Bu sayfada,

- Saatçioğlu – Razvi beton modelinin parametleri ve şekil üzerinde değişkenlerin görülebileceği çizimli bir hesap tablosu,
- Varsa kesite uygulanan eksenel yük girdisi yapılmıştır.

Malzeme özellikleri ve idealize grafikleri bulunduğu onay sayfası. İleride anlatılacak olan programa ait formüllerin hücreler içerisine programlandığı ana hesap tablosu bulunmaktadır. Hesapların sayısal değerlerinin bulunduğu çıktı sayfası, Çıktı sayfasının grafiğe döküldüğü moment – eğrilik ilişkisinin grafiği bulunmaktadır.

6.3. Moment-Eğrilik Programı

Moment - Eğrilik ilişkisinin analizinin deney elemanlarından elde edilen verilere yakın sonuç vermesi için deney elemanlarında kullanılan malzemelerin doğru bir şekilde test edilerek modellenmiş olması gereklidir. Tüm deney elemanlarının imalatında mekanik ve geometrik özellikleri aynı olan donatılar kullanılmıştır.

Hesap tablosunun akış şeması ise şöyledir:

- Program eğrilik ilişkisinin tespiti için, her bir kesit birim şekil değiştirmesine (ε) karşı gelen kesitin tarafsız ekseni (c) hesaplar.
- Belirlenmiş olan birim şekil değiştirme kesitin her bir noktasında lineer dağılım gösterdiği varsayımı yapılarak hesaplamalara devam edilir.
- Program kesiti boyuna 800 eşit parçaya bölerek her bir yatay şerit için o andaki birim şekil değiştirmeye karşı gelen kuvveti, malzemenin daha önce yapılmış olan varsayım ve kabullerine göre hesaplamaktadır. Akma ya da kopma dayanımları bu noktada hesaplara dahil edilmiştir.

- Bu döngü en sonda kesit içerisinde toplan yükün sıfıra eşitlenmesi ile bitmektedir. Sonuç olarak bu döngüde önceden belirlenmiş olan birim şekil değiştirme karşılık, kesitin taşıyabildiği moment hesaplanır.
- Program bir önceki döngüde hesaplarını yaptığı ε değerini 0,0005 kadar artırarak 0,0005-0,1 aralığında bütün hesap basamaklarını yapmaktadır.

6.4. Deneysel ve Analitik Moment Eğrilik Değerlerinin Karşılaştırılması

Yapılan deneylerin sonuçları ile analitik çalışma verilerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan deneylerde her deney elemanı için sol ve sağ kolonlar için eğrilik ölçümü yapılmış ve tersinir tekrarlanır yükten yararlanılarak her bir eğriliğe karşı gelen moment değeri hesaplanmıştır. Bu hesaplar doğrultusunda çizilen moment-eğrilik grafiklerinin zarfları ile analitik çalışma sonucunda elde edilen moment-eğrilik grafikleri karşılaştırılmıştır.

Bu karşılaştırma sonucunda öngörülen dayanım artışı ile yapılan deneyler sonucundaki dayanım artışı çokta birbiriyle örtüşmediği görülmüştür. Deneyler sonucu ortaya çıkan dayanım artışı analitik çalışmada öngörülen dayanım artışının yarısı kadar olmuştur.

Bu dayanım artışı farklılığının karbon-fiberin bir matematiksel modellemesinin olmadığından dolayı meydana geldiği düşünülmektedir. Beton ve çelik için bir model mevcut olup uygulanmıştır. Karbon fiberi de betonun dışına koyduğumuz bir donatı olarak düşünerek bu analiz yapılmıştır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Yapılmış olan deneylerden elde edilen verilere dayanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar yapılmış olan deneylerin özellikleri ve koşullarıyla sınırlıdır.

- SSFM deney elemanının maksimum dayanımı RM yalın elemanının dayanımından %50 daha fazla, SCFM deney elemanının maksimum dayanımı da RM yalın elemanının maksimum dayanımından %66 daha fazla olduğu görülmüştür. SCFM elemanının maksimum dayanımı SSFM elemanının maksimum dayanımından yaklaşık %12 daha fazladır
- Dayanım azalması ise her iki çevrimde de SSFM nin SCFM ye göre daha çabuk olduğu görülmüştür. SSFM ve SCFM elemanlarının dayanım azalması RM ye göre oldukça hızlı olmuştur
- SSFM, SCFM ve RM elemanlarının enerji tüketim kapasiteleri karşılaştırıldığında, SCFM ve SSFM nin enerjisi RM elemanına %8 daha fazla enerji tüketmişlerdir
- İleri çevrimde SSFM ve SCFM deney elemanlarının süneklikleri referans elemanı olan RM yalın elemana göre oldukça düşüktür. Geri çevrimde de SSFM ve SCFM elemanlarının yer değiştirme süneklikleri RM yalın elemanına göre çok düşük kalmıştır. Geri çevrimde de SSFM ve SCFM elemanlarının süneklikleri RM yalın elemanına göre çok düşük kalmıştır. SSFM nin yer değiştirme sünekliği SCFM elemanına göre yüksek çıkmıştır
- RCFM elemanının maksimum dayanımı RM elemanının maksimum dayanımından %19, RSFM elemanının maksimum dayanımı da RM elemanının maksimum dayanımından %17 daha fazla olduğu görülmüştür. RSFM ve RCFM elemanlarının maksimum dayanımları ise birbirine çok yakın çıkmıştır
- Dayanım azalması ise, RM elemanının RSFM ve RCFM elemanlarına göre daha yavaş olduğu gözlenmiştir.

- RSFM ve RCFM elemanlarının yer değiştirme süneklikleri ise hem ileri hem de geri çevrimde RM yalın elemanına göre oldukça düşük olduğu görülmüştür.

Aynı zamanda, yaptığım deneylerin yanı sıra tez arkadaşım olan Kemal Akdere nin de deneylerinde bulundum. Yaptığımız deneyler arasındaki tek fark; karbon fiberin uygulama şeklidir. Ben karbon fiberi tamamen kolonu saracak şekilde uyguladım. Kemal arkadaşım ise karbon fiberi kolonun alt ve üst kısmına ve kolonlardan aşağıya 5 er cm inerek uygulamış, onun üzerine de 5 cm eninde ve aralarında 10 ar cm olacak şekilde de etriye sarmıştır. Düğümde uygulama şekli ise her ikimizde de aynı şekilde yapılmıştır.

İkimizin deneylerini karşılaştırdığımızda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- SSFM ve SCFM nin maksimum dayanımları SSFS ve SCFS nin dayanımlarından yaklaşık olarak %39 daha fazla çıkmıştır.
- Dayanım azalması bakımından kıyaslama yaptığımızda, SSFM ve SCFM nin dayanım azalması SSFS ve SCFS elemanlarının dayanım azalmasından daha hızlı olmuştur.
- Süneklik bakımından kıyaslama yaptığımızda, bütün elemanların süneklikleri biribirine oldukça yakın çıkmıştır.
- Enerji tüketimi bakımından, SSFM ve SCFM nin enerji tüketimi SSFS ve SCFS nin enerji tüketiminden daha fazla olduğu görülmüştür.
- Rijitlik bakımından kıyaslama yaptığımızda, SCFM elemanı diğer elemanlardan daha rijit davranmıştır. Fakat deney sonuna doğru bütün elemanların rijitlikleri birbirine çok yaklaşmıştır.
- Onarım deneylerinde ise, RSFM ve RCFM elemanlarının maksimum dayanımı RSFS ve RCFS elemanlarının maksimum dayanımından %4 daha fazla çıkmıştır.
- Yine RSFM ve RCFM elemanlarının süneklikleri, rijitlikleri ve enerji tüketim kapasiteleri, RSFS ve RCFS elemanlarınınkine çok yakın çıktığı görülmüştür.

Bu deneyler sonucunda dayanımda belirli bir artış olduğu gözlense de, rijitlik, süneklik ve enerji tüketme kapasitelerinde beklenen artış sağlanamamıştır. Bu nedenle deneysel çalışma çok da başarılı bir sonuç vermemiştir.

Onarım ve güçlendirmede bundan önce yapılan deneysel çalışmalarda; betonarme kesitleri mantolama yoluyla büyüterek veya çelik korniyerlerle güçlendirerek onarım ve güçlendirme yapılmıştır. Gökhan GÜRLER'in (2002) "Betonarme kare kesitli kolonların eksenel yük altında çelik korniyerli manto ile onarım ve güçledirilmesi" konulu çalışmasında, dayanım, rijitlik, süneklik ve enerji tüketme kapasiteleri açısından başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bir diğer onarım ve güçlendirme çalışması olan Yusuf DEMİREL'in "Onarılmış/Güçlendirilmiş çift eğrilikli betonarme kolonların davranış ve dayanımı" konulu çalışması betonarme mantolama tekniğiyle yapılmıştır. Bu deneysel çalışmada, dayanım, rijitlik, süneklik ve enerji tüketim kapasitelerinde olumlu sonuçlar vermiştir. Karbon fiberle güçlendirme ve onarılma deneylerinde ise özellikle kirişlerde eğilmeye, kolonlarda ise sargı donatısı olarak kullanılması sonucunda olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Ancak yaptığım bu deneysel çalışmada, kolon-kiriş birleşim noktalarında karbon fiberle mantolama yoluyla onarım ve güçlendirilmesi başarılı bir sonuç vermemiştir.

7.2. Öneriler

Yukarıdaki sonuçlar göz önüne alındığında yetersiz kolonlara veya hasar görmüş kolonlara karbon fiber uygulamasında dikkat edilecek hususlar:

- Hızlı ve basit uygulama, minimum hasar
- Pahalı ve kalifiye işçilik gerektirmez
- Kapladığı alan ve yer kaybı minimumdur

Malzemeyi uygularken dikkat edilecek en önemli husus yüzeyin hazırlanmasıdır. Yüzey; yağ, kir ve tozdan arındırılmalı, oyuklar tamir harçlarıyla doldurulmalıdır. Malzemenin yüzeyle aderansının iyi olması ve yük aktarımı sağlayabilmesi için buna

çok dikkat edilmelidir. Kolon kenarları yaklaşık 10-20 mm çapında taşlanarak yuvarlatılmalıdır. Böylece karbon fiber kolona sargılandığında dört köşedeki basınç, keskin köşelerden çok yuvarlatılmış köşelerden yayılacaktır.

Yapılan güçlendirme deneylerinin sonucunda yük taşıma kapasitesinde %66 ye varan bir dayanım artışı gözlenmiştir, onarım deneyleri sonucunda ise %20 ye varan bir dayanım artışı gözlenmiştir. Ayrıca karbon fiberin süneklik, rijitlik ve enerji tüketim kapasitesi bakımından iyi sonuç vermediği görülmüştür.

Karbon fiberle güçlendirme ve onarılma deneylerinde ise özellikle kirişlerde eğilmeye karşı, kolonlarda ise diyagonal sargı donatısı olarak kullanılması daha iyi sonuçlar vermiştir.

KAYNAKLAR

1. Aksan, B., Tankut, A.T. and Ersoy, U., "Jacketed Column Behaviour Under Axial Load Alone"**,** M.Sc. Thesis**,** ***Middle East Technical University Graduate School of Natural Applied Sciences*****,** Ankara**,** 10-60 (1989).

2. Yanarates, M.S., "Use of Expanded Metals as Shear/Confinement Reinforcement in Concrete Members, Phase 1, Axially Loaded Columns" M.Sc. Thesis, ***Middle East Technical University Graduate School of Natural Applied Sciences*****,** Ankara, 80-101 (1990).

3. Suleiman, R. E., Tankut, A. T., and Ersoy, U., **"**Repair and Strengthening of Reinforced Concrete Column", Ph.D Thesis**,** ***Middle East Technical University Graduate School of Natural Applied Sciences***, Ankara, 1-50 (1991).

4. Yumak, Y., Tankut, A. T., and Ersoy, U**.**, **"**Effects of Bar Development Metods on Jacketed Column Behaviour", M.Sc. Thesis**,** ***Middle East Technical University Graduate School of Natural Applied Sciences***, Ankara, 1-60 (1991).

5. Demirel, Y., **"**Onarılmış / Güçlendirilmiş Çift Eğrilikli Betonarme Kolonların Davranış ve Dayanımı", Yüksek Lisans Tezi, Tübitak Projesi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Ankara, 20-40 (1998).

6. Bayülke, N., "Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi", ***İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi*****,** İzmir**,** 196-200 (2001).

7. Büyükkuşoğlu, Z., **"**Mantolama Yöntemi ile Güçlendirilmiş / Onarılmış / Diriltilmiş Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kolonların Eksenel Yük Altında Davranışı", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*****,** Ankara, 20-80 (1999).

8. Gürler, G., **"**Betonarme Kare Kesitli Kolonların Eksenel Yük Altında Çelik Korniyerli Manto ile Onarım ve Güçlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*****,** Ankara, 10-70 (2002)

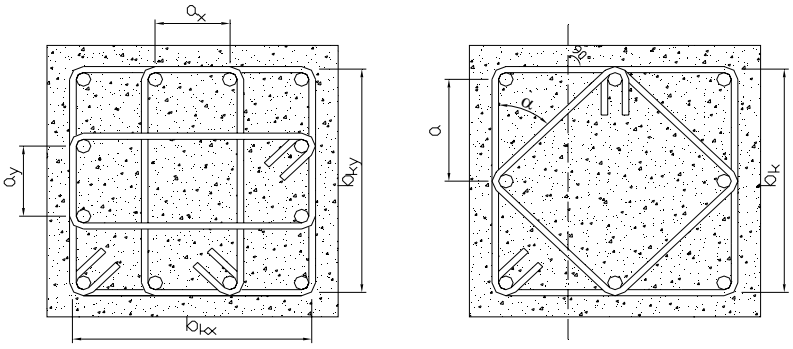
9. Mosalam,K.M., "Betonarme Kolon Kiriş Birleşim Yerlerinin FRP ile Depreme Karşı Güçlendirilmesi", Yapısal Sistemlerde Lifli Polimer uygulamaları, ***Ortadoğu Teknik Üniversitesi Yayınları.,*** Ankara, 1-15 (2005).

10. Li, J., Bakoss, S.L., Samali, B., Ye, L "Beton Kiriş Kolon Birleşim Yerlerinde Hibrit Fiber Levhaların Kullanılması" ***Ortadoğu Teknik Üniversitesi Yayınları,*** Ankara, 1-8 (1999).

EKLER

EK-1 Moment-eğrilik programı girdi değerleri

KESİT İÇİN GİRDİ DEĞERLERİ



h_y = 160 mm
b_w = 160 mm
b_{kx} = 126 mm
b_{ky} = 126 mm
a_x = 110 mm
a_y = 110 mm

DONATI İÇİN GİRDİ DEĞERLERİ

f_{yk}=220 MPa ε_{sy}=0,0011
f_{ywk}=220 MPa ε_{sh}=0,0100
f_{su}=220 MPa ε_{sr}=0,1000
E_s= 200000 MPa

DONATI SIRALARI

No	d_i (mm)	As_i (mm^2)		Boy. Donatı	
1 -	0	0,0	=	0 x 0,17	cfrp
2 -	25	226	=	2 ϕ 12	rein
3 -	135	226	=	2 ϕ 12	rein
4 -	160	27,2	=	160 x 0,17	cfrp

CFRP İÇİN GİRDİ DEĞERLERİ

f_{yrpk}=3000 MPa ε_{rpy}=0,0130
f_{rpu}=4100 MPa ε_{rph}=0,0150
E_{rp}= 231000 MPa ε_{rpr}=0,0170

BETON İÇİN GİRDİ DEĞERLERİ

f_{ck}=28 MPa f_{ct}= 0 MPa f_{ctu}= 0 MPa
ε_{cot}=0,0001 ε_{cut}=0,0002

BETON MODELİ İLE İLGİLİ GİRDİ BİLGİLERİ

1) DİKDÖRTGEN BASINÇ BLOĞU

k_1=0,85 k_2=0,43 k_3=0,85 ε_{cu}=0,003

2) HOGNESTAD MODELİ

f_c=23,8 MPa ε_{co}=0,0020 ε_{cu}=0,0038

3) SAATÇİOĞLU&RAZVİ BETON MODELİ

Mevcut etriye = 1 ϕ 4 / 100

f_{ck}=28 MPa A_o =13 mm^2 σ_{2x} =0,44 x = 2 @ 90 ° ε_{co}=0,0020
f_{cc}=25,61 MPa A_{ox} =25,1 mm σ_{2y} =0,44 0 @ 45 ° ε_{coc}=0,0028
A_{oy} =25,1 mm σ_{2e} =0,21 y = 2 @ 90 ° ε_{c85}=0,0052
λ = 0,076 β_x =0,47 k_1=8,76 0 @ 45 ° ε_{u85}=0,0038
Eğim =-1554,95
ρ = 0,0020 β_y =0,47 k_3= 0,85 Üs =0,868

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı	: KÖSEOĞLU, Alper Necati
Uyruğu	: T.C.
Doğum tarihi ve yeri	: 29.01.1978 Ankara
Medeni hali	: Bekar
Telefon	: 0 (312) 24057 77
Faks	: ----------
e-mail	: koseoglualper@hotmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üni./İnşaat Müh.	2006
Lisans	Osmangazi Üni./ İnşaat Müh.	2002
Lise	Polatlı Vakıf Kolleji	1996

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2004-2006	3B-PLAN	İnşaat Müh.

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Kitap okumak, Müzik dinlemek