

**ÇİFT EĞRİLİKLİ BETONARME KOLONLARIN KARBON FİBER ELYAF  
ŞERİTLERİN BOYUNA VE ENİNE DONATI OLARAK KULLANILMASI  
YOLU İLE GÜÇLENDİRİLMESİ VE ONARILMASI**

**Kemal AKDERE**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAYIS 2006**

**ANKARA**

Kemal AKDERE tarafından hazırlanan ÇİFT EĞRİLİKLİ BETONARME KOLONLARIN KARBON FİBER ELYAF ŞERİTLERİN BOYUNA VE ENİNE DONATI OLARAK KULLANILMASI YOLU 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. Tekin GÜLTOP

Üye : Yrd.Doç.Dr. Yusuf DEMİREL

Üye : Prof.Dr. Hüsnü CAN

Üye : Yrd.Doç.Dr. Özgür ANIL

Üye : Öğr.Görv.Dr. Bengi AYKAÇ

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.

Kemal AKDERE

**ÇİFT EĞRİLİKLİ BETONARME KOLONLARIN KARBON FİBER ELYAF  
ŞERİTLERİN BOYUNA VE ENİNE DONATI OLARAK KULLANILMASI  
YOLU İLE GÜÇLENDİRİLMESİ VE ONARILMASI**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Kemal AKDERE**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ FEN  
BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Mayıs 2006**

**ÖZET**

Bu çalışmada çift eğrilikli betonarme kolonların karbon hasırla mantolama yolu ile güçlendirilmesi ve onarılması yapılmıştır. Mantolama yolu ile betonarme yapıların güçlendirilmesinde ve onarılmasında ileri teknoloji ürünü kompozit malzemelerin bir türü olan Güçlendirilmiş Fiber Plastik (Fiber Reinforced Plastic) kullanılacaktır. Laboratuvar ortamında üç adet deney elemanı üzerinde birisi referans elemanı olmak üzere beş farklı deney yapılmıştır. İlk deneyde referans elemanı olarak RM yalın deney elemanı kırılmıştır. İkinci olarak güçlendirme deneyi; karbon-fiber kolona iki büyük parça ve onsekiz adet küçük parçalar halinde mantolanmıştır. SSFS deney elemanının güçlendirilmesi amacıyla, karbon hasır ortadan kesilerek elemanın üzerinden geçirilerek giydirilmiştir. Bu işlemle kolon üst yüzü ve kolon alınlarında beşer santimetrelik alanlar yapıştırılmıştır. Aynı elemana bu defa karbon hasır ortadan kesilerek elemanın altından geçirip giydirilerek aynı işlem uygulanmıştır. Daha sonra on santimetre enindeki Karbon-Fiber parçaları beşer santimetre boşluk bırakılarak etriye gibi sarılmıştır. Üçüncü olarak SCFS deney elemanının güçlendirilmesi yapılmıştır. Bu üçüncü deneyde de Karbon-Fiber iki büyük parça ve onsekiz adet küçük parçalar yapıştırılacaktır. İlk büyük parça ortadan yarılarak sol kolon ucundan geçirilmiş ve solda kalan kısım üstte sağda kalan kısım ise alta yapıştırılmıştır. İkinci büyük

parça aynı şekilde ortadan yarılarak sağ kolon ucundan geçirilerek; sağda kalan kısım üstte solda kalan kısım alta gelecek şekilde yapıştırılmıştır. Daha sonra küçük parçalar on santimetre eninde, beşer santimetre boşluk bırakarak etriye sarar gibi yapıştırılmıştır. Yapılan bu deneylerden sonra karbon –fiber elemanlardan çıkarıldı.Elemanlardan kopan beton parçaları onarılarak eleman yeniden eski formuna dönüştürüldü. Onarılan elemanlara aynı yöntemle karbon-fiber yapıştırılarak deneye hazır hale getirildi. Onarılan bu iki elemanların;RCFS, RSFS deneyleri yapılarak toplam 5 deney yapıldı. Sonuç olarak bu beş deney elemanlarının, maksimum yük kapasitesi, enerji tüketimi, rijitlik değişimi ve süneklikleri incelenerek davranış ve dayanımı araştırılmıştır.

**Bilim Kodu** : 911.1.144  
**Anahtar Kelimeler** : Onarım, güçlendirme, fiber  
**Sayfa Adedi** : 82  
**Tez Danışmanı** : Yrd.Doç.Dr. Yusuf Demirel

**STRENGTHENING AND REPAIR OF DOUBLE CURVATURE  
REINFORCED CONCRETE COLUMNS BY MEANS OF CARBON FIBER  
STRIPES USED AS LONGITUDINAL AND CONFINEMENT  
REINFORCEMENT  
(M.Sc.Thesis)**

**Kemal AKDERE**

**GAZI UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**May 2006**

**ABSTRACT**

**In this study, strengthening and retrofitting of double curvature reinforced concrete columns with fiber mat jacketing was studied. Carbon fiber reinforced polimer (CFRP), which a type of advanced composite material, used for the strengthening of reinforced concrete columns by the jacketing method. In this study, one as a referance member, totally three specimens, were tested. And five experiments have done. The first experiment in the experimental programme was the bare specimen RM. In the second experiment, CFRP has jacketed to the column as two large and eighteen small parts. The carbon mat was cut through mid-axis and jacketed to the element to increas strength of SSFS experiment element. In the second part, the carbon mat was cut through mid-axis and jacketed to the element from the bottom side. After that the small CFRP parts are used to wrap the column with 5 cm-spaced as stirr-up. In the third experiment, SCFS strengthening was performed. CFRP has jacketed to the column as two large and eighteen small parts. The carbon mat was cut through mid-axis and jacketed to the element to increase the strength of SCFS experiment element from left-side of the column. After covering, left side of CFRP has pasted to top, right side of CFRP has pasted the bottom of the column. The carbon mat was cut through mid-axis and jacketed to the element**

to increase strength of SCFS experiment element from right side of the column after covering, the right side of CFRP is pasted the top of the column. After that the small CFRP parts are used to wrap the column with 5 cm-spaced as stirr-up. Carbon-fiber was removed from the conducted specimens after these two strengthening experiments. Crushed concrete parts have taken from the specimen and repaired to have the original change. After that, these specimens retrofitted by the same technique explained above. After retrofitting, RSFS, RCFS experiments were made. Totaly five experiments have carried out. Finally 5 experiments have conducted rand the maximum load capacits, energy consumption, rigidity, ductilidy, of behavior and strength the element were investigated.

**Science Code** : 911.1.144  
**Key Words** : Repairing, Strengthening, fiber  
**Page Number** : 82  
**Thesis Advisor** : Yrd.Doç.Dr. Yusuf Demirel

## TEŞEKKÜR

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

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTARCT .....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ .....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ .....	1
2. DENEY ELEMANI .....	15
2.1. Kullanılan Malzemeler.....	16
2.1.1. Beton .....	16
2.1.2. Betonarme donatıları.....	17
2.1.3. Karbon fiberin özellikleri.....	19
2.1.4. Deney elemanlarının üretilmesi .....	20
2.1.5. Karbon fiberin uygulanması.....	22
3. LABORATUVAR ÇALIŞMASI.....	24
3.1. Genel .....	24
3.2. Deney Düzeneği ve Yükleme Sistemleri .....	24
3.3. Ölçüm Araçları ve Veri Toplama.....	25
3.3.1. Ölçüm araçları.....	25
3.3.2. Deney sırasında alınan ölçümler ve değerlendirilmesi. ....	27

**Sayfa**

3.4. Deney Yönetimi ve Yükleme Aralığı .....	32
4. GÖZLEMLENEN DAVRANIŞLAR VE DENEY SONUÇLARI.....	33
4.1. RM Deneyi.....	33
4.2. SSFS Deneyi .....	38
4.3. SCFS Deneyi.....	44
4.4. RSFS Deneyi.....	50
4.5. RCFS Deneyi .....	54
4.6. Deney Sonuçları .....	58
5. DENEY SONUÇLARININ İŞLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ .....	60
5.1. Dayanım ve Dayanım Azalması.....	60
5.2. Süneklik .....	64
5.3. Enerji Tüketimi .....	66
5.4. Rijitlik Değişimi	68
6. ANALİTİK ÇALIŞMA.....	71
6.1. Genel .....	71
6.2. Kullanılan Sargılanmış Beton Modeli.....	71
6.3. Moment-Eğrilik Programı.....	72
6.4. Deneysel ve Analitik Moment Eğrilik Değerlerinin Karşılaştırılması .....	73
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	75
7.1. Sonuçlar .....	75
7.2. Öneriler .....	77
KAYNAKLAR .....	79

	<b>Sayfa</b>
EKLER.....	81
EK-1 Moment-eğrilik programı girdi değerleri .....	82
ÖZGEÇMİŞ .....	83

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 1.1. Demirel, Tankut deneyinin özellikleri .....	8
Çizelge 2.1. Deneyleerin özellikleri.....	15
Çizelge 2.2. Betonarme donatıları.....	17
Çizelge 4.1. Yük-deplasman 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. Deplasman sünekliği.....	63
Çizelge 5.2. Sol kolon eğrilik sünekliği.....	65
Çizelge 5.3. Sağ kolon eğrilik sünekliği .....	65

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1. Li, Bakoss, Ye'nin deney elemanı .....	12
Şekil 1.2. Mosalam'ın deney elemanı .....	14
Şekil 2.1. Donatı şeması.....	19
Şekil 2.2. Karbon fiber gerilme – birim şekil değiştirme grafiği.....	21
Şekil 2.3. Deney elemanı donatısı.....	22
Şekil 2.4. Çelik kalıp içerisinde donatı .....	22
Şekil 2.5. Elemanlara karbon-fiber uygulaması .....	24
Şekil 3.1. Deney düzeneği .....	27
Şekil 3.2. Yatay rijit cisim hareketi.....	29
Şekil 3.3. Rijit cisim dönme hareketi .....	29
Şekil 3.4. Eğrilik ölçüm düzeneği .....	30
Şekil 3.5. Deney elemanlarında oluşan mesnet reaksiyonları ve moment diyagramı.....	32
Şekil 3.6. Kolonların kiriş yüzeylerinde oluşan momentleri.....	32
Şekil 3.7. Yükleme programı .....	33
Şekil 4.1. RM elemanının yük-deplasman ilişkisi .....	36
Şekil 4.2. RM elemanının moment-eğrilik ilişkisi .....	37
Şekil 4.3. SSFS elemanının yük-deplasman ilişkisi .....	40
Şekil 4.4. SSFS elemanının moment-eğrilik ilişkisi .....	42
Şekil 4.5. SCFS elemanının yük-deplasman ilişkisi .....	46
Şekil 4.6. SCFS elemanının moment-eğrilik ilişkisi .....	47
Şekil 4.7. RSFS elemanının yük-deplasman ilişkisi .....	51

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.8. RSFS elemanının moment-eğrilik ilişkisi .....	52
Şekil 4.9. RCFS elemanının yük-deplasman ilişkisi .....	55
Şekil 4.10. RCFS elemanının moment-eğrilik ilişkisi .....	56
Şekil 5.1. SSFS, SCFS,SSFm,SCFM ve RM elemanlarının yük deplasman zarflarının karşılaştırılması.....	62
Şekil 5.2. RCFS, RSFS, RM elemanlarının yük-deplasman zarflarının karşılaştırılması.....	63
Şekil 5.3. SSFS, SCFS,SSFm,SCFM ve RM elemanlarının enerji-çevrim grafiklerinin karşılaştırılması .....	67
Şekil 5.4. RCFS, RSFS, RM elemanlarının enerji-çevrim grafiklerinin karşılaştırılması .....	67
Şekil 5.5. SSFS, SCFS,SSFm,SCFM ve RM elemanının rijitlik ileri çevrim grafığı .....	69
Şekil 5.6. SSFS, SCFS,SSFm,SCFM ve RM elemanının rijitlik geri-çevrim grafığı .....	69
Şekil 5.7. RCFS, RSFS, RM elemanlarının rijitlik ileri-çevrim grafiklerinin karşılaştırılması .....	70
Şekil 5.8. RCFS, RSFS, RM elemanlarının rijitlik geri-çevrim grafiklerinin karşılaştırılması .....	70

## RESİMLERİN LİSTESİ

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 2.1. Deney elemanı donatısı.....	21
Resim 2.2. Çelik kalıp içerisinde donatı .....	21
Resim 2.3. Elemanlara karbon-fiber uygulaması .....	23
Resim 4.1. RM elemanının moment-eğrilik ilişkisi.....	37
Resim 4.3. SSFS elemanının deney aşamasındaki resimleri .....	42
Resim 4.3. SSFS elemanının deney aşamasındaki resimleri .....	43
Resim 4.4. SCFS elemanının deney aşamasındaki resimleri .....	48
Resim 4.5. SCFS elemanının deney aşamasındaki resimleri .....	49
Resim 4.6. RSFS elemanının deney aşamasındaki resimleri .....	53
Resim 4.7. RCFS elemanının deney aşamasındaki resimleri.....	57

## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$F_{ck}$	Deney günündeki beton silindir basınç dayanımı
$f_{su}$	Donatı çeliğinin çekme dayanımı
$f_{yk}$	Donatı çeliğinin akma dayanımı
$h$	Yükseklik
$K$	Eğrilik
$L_L$	Sol kolon mesnetiyle kiriş aksı arasındaki uzunluk
$L_R$	Sağ kolon mesnetiyle kiriş aksı arasındaki uzunluk
$M_L$	Sol kolon kiriş yüzeyindeki momenti
$M_R$	Sağ kolon kiriş yüzeyindeki momenti
$P$	Deney sırasında uygulanan yenilenir tersinir yük
$\delta$	Deplasman okuyucusu, (LVDT)
$\emptyset$	Dönme
$P_u$	Yük-Yer değiştirme grafiğindeki maksimum yük
$P_y$	Yük-Yer değiştirme grafiğindeki akma anındaki yük
$\delta_0$	Yük-Yer değiştirme grafiğindeki maksimum yüke karşılık gelen yer değiştirme
$\delta_y$	Yük-Yer değiştirme grafiğindeki akma anındaki yüke karşılık gelen yer değiştirme
$P_{85}$	Yük-Yer değiştirme grafiğindeki maksimum yükün %85 ine karşılık gelen yük

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$\delta_8$	Yük-Yer değiştirme grafiğindeki maksimum yükün %85 ine düştüğü andaki deplasman
$M_u$	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

Ülkemizin, tamamının deprem aktivitesi yüksek bir bölge üzerinde olması yapıların depreme dayanıklı olması gerekliliğini doğurmuştur.1992 yılında Erzincan'da,1995 yılında Dinar'da ve 1999 yılında Marmara Bölgesi'nde yaşadığımız ölümler mevcut betonarme yapıların çoğunun deprem güvenliliğinin artırılmasını bir gereklilik haline getirmiştir. Yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde temel hedef yaşanacak bir depremde can kaybının en aza indirilmesi ve deprem güvenliği olmayan yapıların çeşitli yöntemler kullanılarak depreme karşı güvenli seviyelere çıkarılmasıdır. Deprem güvenliği zayıf yapılarda sorunun çözümü için iki yola başvurulabilir. Ya yapıyı yıkmak ve yapıyı günümüz standartlarına ve yönetmeliklerine uygun şekilde yeniden inşaa etmek ya da onarma yoluna gitmektir. Her ikisinde de verilecek karar hasarın büyüklüğüne ve ekonomik faktörlere dayanmaktadır. Konuya diğer bir açıdan bakıldığında, betonarme yapılarda yapı hasarlarının olmadığı zamanlarda da yapısal onarımlara ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu aşağıda belirtilen durumlar için geçerlidir. Tasarım gereksinmelerinin değişmesi ve bir önceki şartnamelerin yeterli güvenliği sağlayamayışı, (hızla gelişen deprem yönetmelikleri veya yeni deprem güvenliği anlayışı, eski yapıların yetersizliğini ortaya çıkarmakta, özellikle gelişmiş ülkelerde) bu yapıların güçlendirilmesi konusu önem kazanmaktadır.

*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.

Bir yapının onarılması ve güçlendirilmesi sırasında, inşaat mühendisinin; önemli etkenlerden birisi; rijitlik değişimini de hesaba katmaktır. Eğer rijitlik önemli derecede artmışsa eylemsizlik yüklerine (deprem gibi) karşı dayanımının da artırılması gerekecektir.Yapının bu özelliğine dikkat edilmemiş ise; yapı dayanımını artırmakla rijitlikte artırılmış olacaktır.Bu durumda ise sismik

hareketler altında yapının dayanımı artmayacağı gibi tam tersine emniyeti de azalacaktır.

Taşıyıcı sistemin onarım ve güçlendirilmesinde asıl amaç yapısal davranışı ve dayanımı iyileştirebilmektir.

### Önceki Çalışmalar

Onarım ve güçlendirme yeni bir yaklaşım değildir. Betonarme yapılardan önce de birçok yapıda, onarılmış ve güçlendirilmiştir. Onarımın amacı yapıyı ve taşıyıcı sistemi emniyetli düzeye çıkarmaktır. Betonarme kolonların onarım/güçlendirmesi amacıyla kullanılan yaygın yöntem mantolama tekniğidir. Betonarme kolon ve düğüm noktalarında onarım ve güçlendirme çalışmaları aşağıda sunulmuştur.

*Aksan, Tankut ve Ersoy (1989)*

Bu deneysel çalışmada, değişik manto türlerinin etkinliği yalnızca aksel 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.

Sonuncusu 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 elemanın boyu 650mm'dir. Ölçüm aralığı ise 250mm'dir. Yalın elemanın kesiti 130mm x 130mm 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 elemanın 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.

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].

*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 giriş yüzeyinde kesilmesi, RRD.

Sözü edilen ankraj yöntemlerini karşılaştırmak amacıyla, birdöküm bir referans elemanı da deneye tabi tutulmuştur. MR. Bu çalışmadaki eleman boyutları ve deney düzeneği bir sonraki 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 elde edilen sonuçlar şunlardır:

\*Manto boyuna donatılarının epoksi ile giriş 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 giriş yüzeyinde kesilmesi yüksek aksenal 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 [2].

*Suleiman, Tankut ve Ersoy (1990)*

Bu çalışmada, mantolanarak onarılmış yada güçlendirilmiş betonarme kolonların aksenal yük ve tek eğrilikli eğilme altındaki davranışı ve dayanımını deneysel olarak incelemiştir. Beş deney elemanından üçü tek yükleme yada tersinir yük altında denenmiştir, sonra bu elemanlar mantolanmış ve yeniden deneye tabi tutulmuştur. Yapılan mantolamaya yalın deney elemandaki 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 160X160mm ve 4Ø12 boyuna, Ø4/10 etriyedir. Manto elemanının boyutları ise 230X230mm ve 4Ø12 boyuna,

Ø8/10 etriyedir. Deney elemanı I şeklinde imal edilmiş ve tek eğrilikli olarak test edilmiştir.

Mantolanan deney elemanlarının tümünde manto boyuna donatıları, giriş 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 aksenal 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-deplasman grafikleri maksimum yüke kadar özdeşlik göstermektedir. Bu elemanların dayanım azalmasıda hemen hemen aynıdır.

\*Onarılmış kolonların rijitliği maksimum yüke kadar referans elemanıya 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 elemaninkine 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 yüke 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].

*Demirel, Tankut (1998)*

#### Onarılmış / Güçlendirilmiş Çift Eğrilikli Betonarme Kolonların Davranış Ve Dayanımı

Bu çalışmada mantolama yöntemi ile onarılmış/güçlendirilmiş kolonun deprem davranışının araştırılması amaçlanmıştır. 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.

Çizelge1.1. Demirel,Tankut deneyinin 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

*Sonuçlar:* Bu çalışmada yapılan tüm mantolamalar aksenal yüksüz olarak imal edilmiş güçlendirme, onarım veya diriltme mantosudur.

\*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 sıyrılmaya olmamış fakat kolon-kiriş birleşiminin hasar görmesine neden olmuştur. Bu nedenlerden dolayı epoksili kenetlenme yöntemi güvenilir sonuç vermemiştir.

\*Mekanik kenetlenme yöntemiyle mantolanarak güçlendirilmiş kolonun bileşik aksenal 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 aksenal 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.

\*Mekanik kenetlenme yöntemiyle mantolanmış onarılmış ve diriltilmiş kolonların yalnızca tersinir eğilme altındaki (aksenal 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.

\*Hangi kenetlenme yöntemi kullanılırsa kullanılsın betonarme mantolamada yalın kolonun hasar derecesi (mantolamadan önce eleman ve donatı deformasyonlarının giderilmesi ve hasarlı bölgenin iyi temizlenmesi şartıyla) fazlaca önem taşımamaktadır [4].

## Onarım ve Güçlendirme Amacıyla Kullanılan Karbon Lif Çalışmaları

*İlki ve Kumbasar ( 2002)*

### Karbon Lif Takviyeli Polimer Kompozitlerin Yapı Elemanlarının Onarım ve Güçlendirilmesinde Kullanılması

Bu çalışmada karbon lif takviyeli polimer (CFRP) kompozitlerin yapı elemanlarının onarım ve güçlendirilmesinde kullanılması konusunda deneysel çalışmalar özetlenmektedir. Özetlenecek çalışmalar iki ana başlık altında toplanabilir;

\*Önceden hasar görmüş elemanların onarılıp, karbon-fiber kompozit malzeme ile güçlendirildikten sonra, sabit aksenal kuvvet ve tersinir tekrarlanır yükleme altında deneysel olarak incelenmesi,

\*Hasarlı ve hasarsız elemanların, karbon-fiber kompozit malzeme ile onarılarak ve/veya güçlendirilerek aksenal yükler altında deneysel olarak incelenmesi.

*Sabit Aksenal Kuvvet ve Yön Değiştiren Tekrarlı Eğilme Momenti Etkileri Altında Davranış:* Bu çalışma kapsamında daha önce deneye tabi tutularak hasar verilmiş olan 10 adet yapı elemanını önce onarılmış, daha sonra CFRP kompozit malzeme kullanılarak güçlendirilmiştir. Güçlendirme için kesit alt ve üst yüzeylerine boyuna doğrultuda farklı sayılarda CFRP tabaka yapıştırılmış, daha sonra numuneler enine doğrultuda da CFRP tabaka ile sarılmıştır.

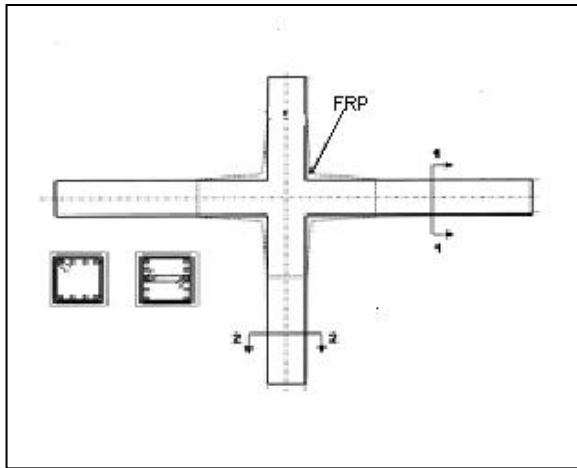
Bu deneyde numunelerin yanal yük taşıma kapasitelerini %28 ile %77 arasında değişen değerlerde arttırdığı görülmüştür. Bu artış ilerleyen yükleme adımlarında azalmakla birlikte, güçlendirilmiş elemanların kapasiteleri (minimum donatı oranına sahip iki numune dışında) tüm deney boyunca orijinal numunelerin kapasitelerinin üzerinde kalmıştır. Bu güçlendirme yöntemi ile basınca maruz beton kesitin dayanım kaybına uğramadan ulaşabileceği şekil değiştirme düzeyi artırılmış, bu da elemanların süneklik özelliğini iyileştirmiş, özellikle yüksek aksenal kuvvete maruz

elemanlarda görülen dayanım kaybını geciktirmiştir. Güçlendirilmiş elemanların eğilme rijitlikleri orijinal rijitliklerinin üzerine çıkmıştır. Davranış özellikleri güçlendirilmiş elemanların enerji yutma kapasitelerinin önemli oranda artmasını sağlamıştır. Elde edilen deneysel sonuçlara göre incelenen güçlendirme tekniği gerek daire, gerekse kare ve dikdörtgen enkesitli beton elemanların basınç dayanımlarını ve şekil değiştirme yapabilme yeteneğini arttırmada başarılıdır. Elemanların dayanım ve şekil değiştirme yapabilme yeteneğinde sağlanan iyileşme, bu elemanların enerji yutma özelliklerinin de gelişmesini sağlayacaktır. Beklendiği gibi, incelenen güçlendirme yönteminin olumlu etkisi dairesel enkesitli elemanlarda, kare enkesitli elemanlara göre daha belirgindir. Güçlendirilen elemanın önceden hasar görmüş ve onarılmış olması güçlendirme tekniği üzerinde önemli bir olumsuz etki yaratmamaktadır [5].

#### Beton Kiriş Kolon Birleşim Yerlerinde Hibrit Fiber Levhaların Kullanılması

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

Deneysel çalışmanın 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. Li, Bakoss, Ye'nin deney elemanı

Bu makale kolon kiriş birleşim yerlerini iki boyutlu çerçevede göstermek üzere tasarlanmış, prototip ebatla betonarme çerçeve örnekleri üzerinde yapılmış deneyleri tanımlar. Deneyler komşu kolon ve kirişlerin dış yüzeylerinden fiber uygulanmış test örneklerinin davranışlarına fiberin statik yükler altındaki etkisini araştırmak amacıyla tasarlanmıştır. Özellikle de incelenen statik yükler altında fiber donatısının kolon kiriş birleşim noktasına rijitlik etkileridir. Çalışmaya esas olarak karbon plak kumaş bileşimi hibrit fiber ile beraber vinil-ester reçineli 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 tasarlanmıştır. Başarılı oldu. Test sonuçları denge koşulunu sağladığından onaylandı.

Karbon fiber donatının kullanımından dolayı %45 dolayında rijitlik artışı görülmektedir. Ayrıca yük taşıma kapasitesinde de %30 artış görülmektedir.

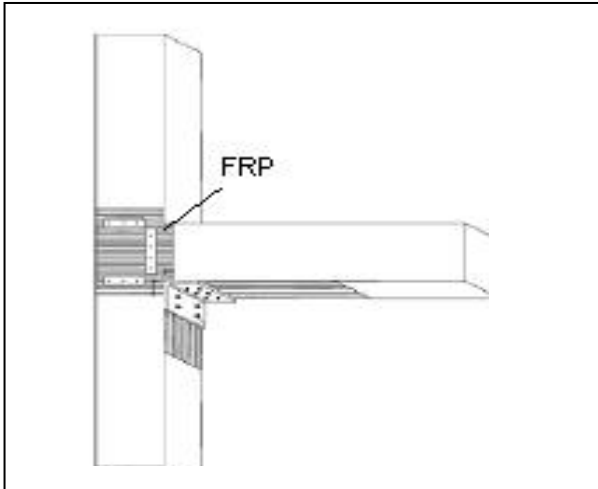
Deneyler betonarme yapıların güçlendirmesinde iyi ve ekonomik sonuçlara ulaşabilmek için optimizasyonun önemini göstermiştir.

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 [6].

### 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 4Ø20, ve etriye Ø10/15, kolon boyuna donatıları 4Ø20 ve 2Ø15 ve etriye Ø10/20 kullanılmıştır. Kolon aksenal yükü 600 kN, kiriş uzunluğu 1.75 m ve kolonun birleşim altında ve üstünden uzunlukları 1.3 m dir. Aşağıdaki şekilde fiberin uygulama şekli gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Mosalam'ın 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 ankırılanmış kiriş alt donatısı yerine uygulanabilir ve moment kapasitesinin artışı sağlar [7].

#### Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın temel amacı; Karbon-Fiber kullanarak mantolama yoluyla güçlendirilmiş betonarme elemanların düğüm noktalarındaki tersinir tekrarlanır yükleme altında davranış ve dayanımının araştırılması amaçlanmıştır.

Çerçeve biçimindeki yapılarda yatay yükler altında, kolonlar çift eğrilikli deformasyona uğrarlar. Yatay yükler altında kolonlarda oluşan çift eğriliğin etkisiyle kolon-kiriş birleşimlerinde iç kuvvetler oluşur. (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 tüketmesini sağlamaktır.

## 2. DENEY ELEMANI

Bu çalışmada 3 adet deney elemanının sismik hareketlere benzeşir tersinir tekrarlanan yükler altında Çizelge 2.1 de görülen değişkenler ile laboratuvar ortamında davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu 3 adet deney elemanı üzerinde beş farklı deney yapılmasına karar verilmiştir.

Çizelge 2.1. Deneylerin özellikleri

Deney	Deney Elemanı	Manto Türü	Eksenel Yük	Kenetleme Yöntemi	Malzeme	Uygulama Şekli
1	RM	Yalın	0	Sürekli	----	----
2	SSFS	Güçlendirme	0	Sürekli	CFRP	Düz
3	SCFS	Güçlendirme	0	Sürekli	CFRP	Çapraz
4	RSFS	Onarım	0	Sürekli	CFRP	Düz
5	RCFS	Onarım	0	Sürekli	CFRP	Çapraz

RM : Referans Monolitik yalın eleman

SCFS : Karbon-fiberin çapraz uygulanmasıyla güçlendirilen eleman

SSFS : Karbon-fiberin düz uygulanmasıyla güçlendirilen eleman

RSFS : Karbon-fiberin düz uygulanmasıyla onarılan eleman

RCFS : Karbon-fiberin çapraz uygulanmasıyla onarılan eleman

Öncelikle bu deneyler bir taşıyıcı sistemin kolon-kiriş birleşim bölgesi esas alınarak boyutları deney platformuna uygun olacak şekilde 2/3 oranında küçültülerek temel alınmıştır. İlk deneyde referans elemanı olarak RM yalın deney elemanı kırılmıştır. İkinci olarak güçlendirme deneyi; karbon-fiber kolona iki büyük parça ve onsekiz adet küçük parçalar halinde mantolanmıştır. SSFS deney elemanının güçlendirilmesi amacıyla, karbon hasır ortadan kesilerek elemanın üzerinden geçirilerek giydirilmiştir. Bu işlemle kolon üst yüzü ve kolon altlarında beşer santimetrelik alanlar yapıştırılmıştır. Aynı elemana bu defa karbon hasır ortadan kesilerek elemanın altından geçirip giydirilerek aynı işlem uygulanmıştır. Daha sonra on santimetre enindeki Karbon-Fiber parçaları beşer santimetre boşluk bırakılarak etriye gibi sarılmıştır. Üçüncü olarak SCFS deney elemanının güçlendirilmesi yapılmıştır. Bu üçüncü deneyde de Karbon-Fiber iki büyük parça ve onsekiz adet küçük parçalar yapıştırılacaktır. İlk büyük parça ortadan yarılarak sol kolon ucundan geçirilmiş ve solda kalan kısım üstte sağda kalan kısım ise alta yapıştırılmıştır. İkinci büyük parça aynı şekilde ortadan yarılarak sağ kolon ucundan

geçirilerek; sağda kalan kısım üstte solda kalan kısım alta gelecek şekilde yapıştırılmıştır. Daha sonra küçük parçalar on santimetre eninde, beşer santimetre boşluk bırakarak etriye sarar gibi yapıştırılmıştır. Yapılan bu deneylerden sonra karbon –fiber elemanlardan çıkarıldı. Elemanlardan kopan beton parçaları onarılarak eleman yeniden eski formuna dönüştürüldü. Onarılan elemanlara aynı yöntemle karbon-fiber yapıştırılarak deneye hazır hale getirildi. Onarılan bu iki elemanların; RCFS, RSFS deneyleri yapılarak toplam 5 deney yapılmıştır.

## 2.1. Kullanılan Malzemeler

Deneyisel çalışmada malzeme olarak; beton, donatı, karbon-fiber ve yapıştırıcısı kullanılmıştır.

### 2.1.1. Beton

Deney elemanlarından betonun 28 günlük beton dayanımının 25 ile 30N/mm<sup>2</sup> arasında olması uygun görülmüştür.

#### 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 test edilmeden önce kırılarak dayanımları belirlenmiştir. Bu 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

Bu deneysel çalışmada kolon kesitleri 160\*160 mm, kiriş boyutları ise 160\*500 mm seçilmiştir. Deney elemanının donatı şeması Şekil 2.1' de verilmiştir.



### 2.1.3. Karbon-fiberin özellikleri

- Lif tipi..... Yüksek mukavemetli karbon lifleri
- Lif doğrultusu..... Tek yönlü dokuma
- Dokuma ağırlığı.....  $300 \text{ gr/m}^2 \pm \%10$
- Dokuma tasarım kalınlığı..... 0,17 mm
- Liflerin çekme dayanımı.....  $4100 \text{ N/mm}^2$
- Liflerin çekme elastisite modülü.....  $231000 \text{ N/mm}^2$
- Kopmadaki uzama..... %1,7

#### Yapıştırıcının özellikleri

Görünüm..... A bileşeni: Beyaz

B bileşeni: Gri

Yoğunluk..... 1,31 kg/lt (Karışım)

Karışım oranı..... A:B = 4:1 (Ağırlıkça)

Kullanım süresi.....  $10 \text{ C}^\circ$  de min. 90 dk (5 kg)

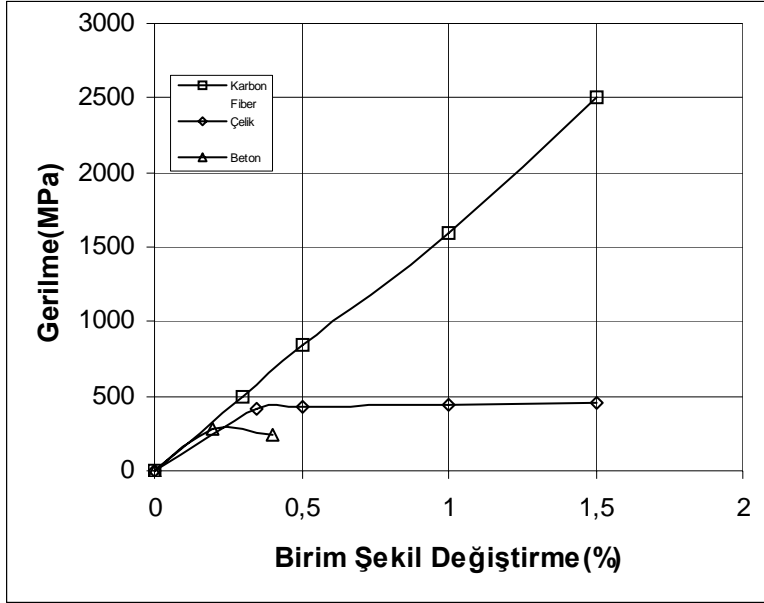
$35 \text{ C}^\circ$  de min. 30 dk (5 kg)

Viskozite..... Krem kıvamında, akıcı değildir.

Uygulama sıcaklığı.....  $+10^\circ - +35^\circ$  (Yüzey ve ortam sıcaklığı)

Çekme mukavemeti (DN 53455)...  $30 \text{ N/mm}^2$

Eğilmede E-Modülü (ISO 178).....  $3800 \text{ N/mm}^2$



Şekil 2.2. Karbon fiber gerilme – birim şekil değıştirme grafiği

#### 2.1.4. Deney elemanlarının üretilmesi

Deney elemanlarının donatısı hazırlanırken kolon ve kiriş birlikte yerleştirilip bağ teli yardımıyla bağlanmışır. Donatısı (Şekil 2.3) kalıba yerleştirilmeden kalıp yağlanmış, donatının kalıba değmemesine özen gösterilmiştir. Bunun için paspayı kullanılmışır. Donatı yerleştirildikten sonra kolon uçlarına ve kiriş tepesine pvc boru konularak boşluklar oluşturulmuştur. Böylece deney elemanları beton dökümüne hazır hale getirilmiştir. Bu pvc boşlukları deney düzeneğinde elemanı sabitleyebilmek için bırakılmışır. Beton dökümü laboratuvar da betonyer yardımıyla yapılmıştır. Beton dökümü sırasında vibratör uygulanmış, yedi gün sonra kalıp yan yüzeyleri açılmışır. Beton dökümü tamamlanan deney elemanına laboratuvar ortamında 28 gün beton kürü uygulanmıştır.



Resim 2.1. Deney elemanı donatısı



Resim 2.2. Çelik kalıp içerisinde donatı

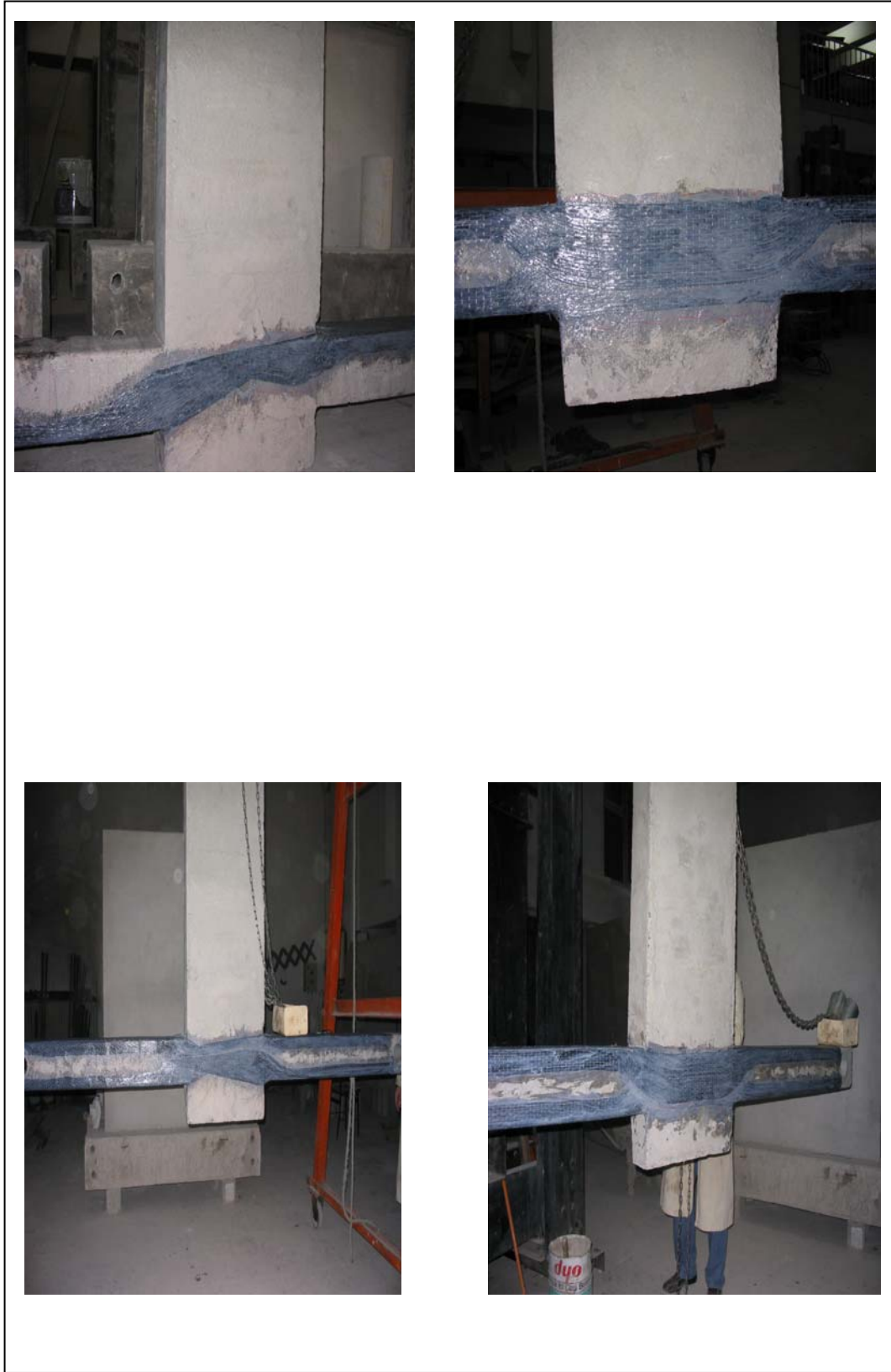
### 2.1.5. Karbon fiberin uygulanması

*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 ° olan köşeler minimum 10 mm yarıçapında olacak şekilde yuvarlatılmadır. Bu işlem spiral aletin 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 (homojen bir karışım elde edilene kadar) 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<sup>2</sup> olacak şekilde uygulanır. Karbon-Fiber lifleri istenilen doğrultuda olacak şekilde epoksi üzerine yerleştirilir, epoksinin üzerine yapıştırılan Karbon-Fiberin üzerine lifler doğrultusunda baskı uygulayarak lif aralıkları epoksiyle doyurulur. Bu sayede pot yapmadan Karbon-Fiberin yapıştırılması gerçekleştirilmiş olur. Lif doğrultularındaki birleşim yerlerinde minimum 100 mm olacak şekilde veya projede belirtildiği gibi üst üste bindirme yapılmalıdır. Uygulamalar aşağıdaki şekilde yapılmıştır (Şekil 2.5).



Resim 2.3. Elemanlara karbon-fiber uygulanması

### **3. LABORATUVAR ÇALIŞMASI**

#### **3.1. Genel**

Bu çalışma Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünün Yapı Mekaniği Laboratuvarında yapılmıştır. Çalışmanın tümü laboratuvarda mevcut olan 4.50 metre uzunluğunda, 3.20 metre genişliğinde ve her 80 santimetre de bir ankraj delikleri bulunan platform ve bu platformun 2.40 metre yüksekliğinde ve 80 santimetre de bir ankraj delikleri olan duvarda gerçekleştirilmiştir.

#### **3.2. Deney Düzeneği ve Yükleme Sistemleri**

Deney düzeneği olarak yukarıda sözü edilen deney platformu ve deney duvarı kullanılarak reaksiyonları tamamıyla kendi içinde taşıyabilen rijit bir çerçeve oluşturulmuştur. Deney elemanı iki ucu bırakılmış boşluklardan geçirilen pimler sayesinde deney düzeneğine monte edilmiştir. Deney elemanının iki başındaki pimplere 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 kolona 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 edilmiş ve araya bir kutu profil yerleştirilerek duvarda bulunan ankraj deliklerinden geçirilen saplama ile 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.

### 3.3. Ölçüm Araçları ve Veri Toplama

#### 3.3.1. Ölçüm araçları

Bu çalışmada tüm ötelenme ve dönme ölçümleri dikey doğrusal deplasman okuyucuları (LVDT) sayesinde gerçekleştirilmiştir.

Deprem yüklemesi sağlayan krikonun uyguladığı yük 120 kN çekme ve 600 kN basınç kapasiteli yük-ölçer (Loadcell) yardımıyla kaydedilmektedir.

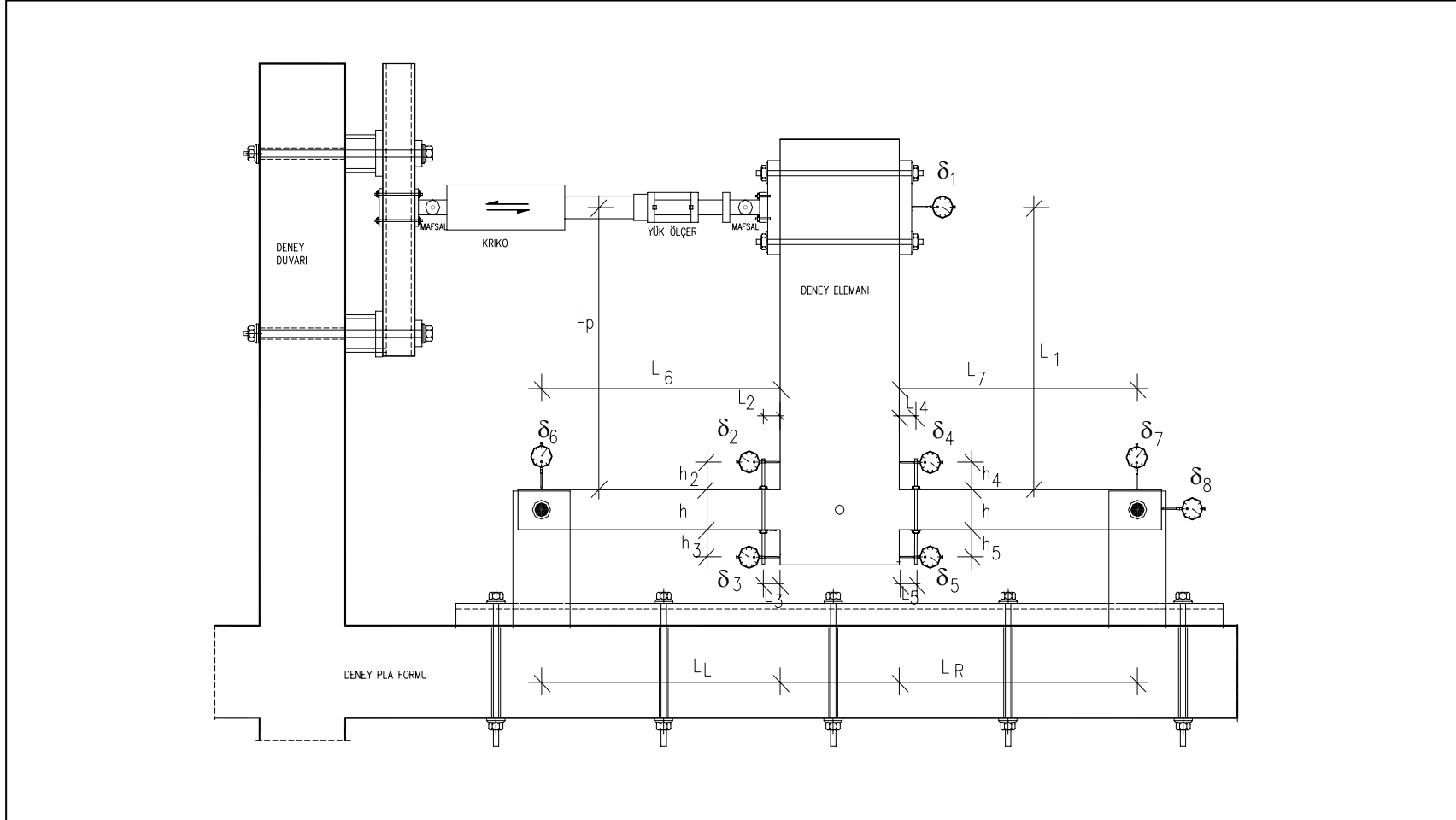
Kullanılan veri toplama sistemi, 8 kanallı bir veri toplama birimidir ve gereksinim duyulduğunda kanal sayısına göre 64 kanala kadar birbirine eklenebilir. LVDT'lerden gelen verileri  $\delta$  haberleşme birimine jaklı kabloyla aktarır, veriler buradan bilgisayara aktarılır ve depolanır.

$\delta_1$  Deplasman ölçeri 200 mm kapasiteli ve hassasiyeti yaklaşık 0,05 mm'dir.

$\delta_2, \delta_3, \delta_4, \delta_5, \delta_6, \delta_7$  ve  $\delta_8$  deplasman ölçerleri 100 mm kapasiteli ve hasiyeti 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 deplasman okumaları ve yük ölçer okumaları kaydedilmiş ve grafiği çizilmiştir.



Şekil 3.1. Deney düzeneği

### 3.3.2. Deney sırasında alınan ölçümler ve değerlendirilmesi

#### Öteleme ölçümleri ve değerlendirilmesi

Şekil 3.1. de gösterilen LVDT'lerden  $\delta_1$ ,  $\delta_6$ ,  $\delta_7$  ve  $\delta_8$  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  $\delta_1$  okumasını etkileyecektir. Bu etkiyi  $\delta_1$  okumasından çıkarmak gerektiğinden dolayı, aşağıdaki şekilde bazı hesaplamaların yapılması gerekmektedir (Şekil 3.2).

$$\delta_{1_{yataynet}} = \delta_1 - |\delta_8| \quad (3.1)$$

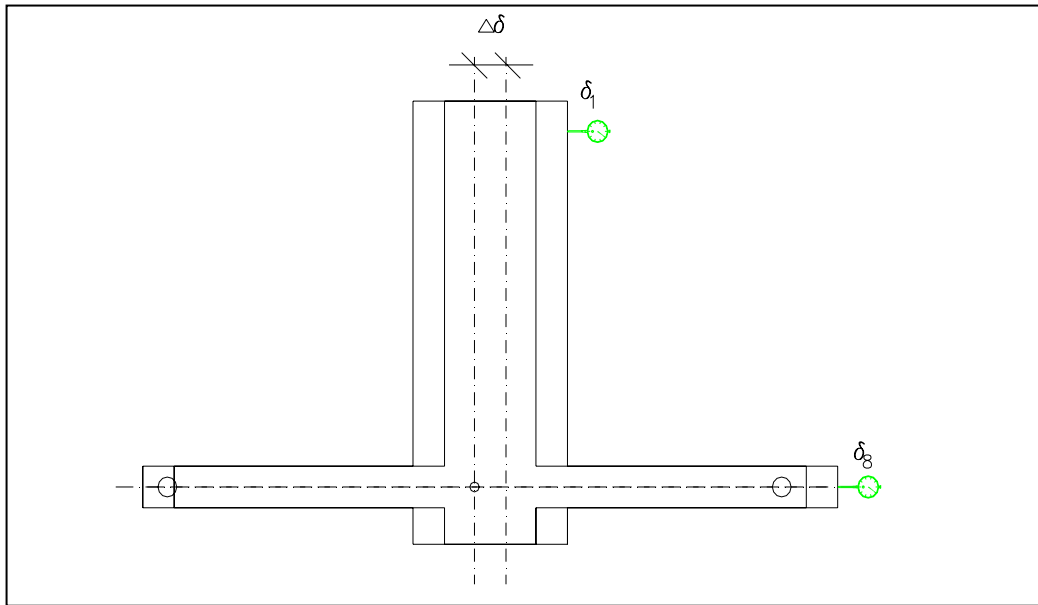
#### Dönme hareketi

Deney elemanında kirişin ucuna etkiyen yükün etkisiyle deney elemanında dönme hareketi oluşacaktır. Bu hareket kiriş uç noktasındaki  $\delta_1$  deplasmanını da etkileyecektir.  $\delta_1$  deplasmanının net hareketi ise aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır (Şekil 3.2).

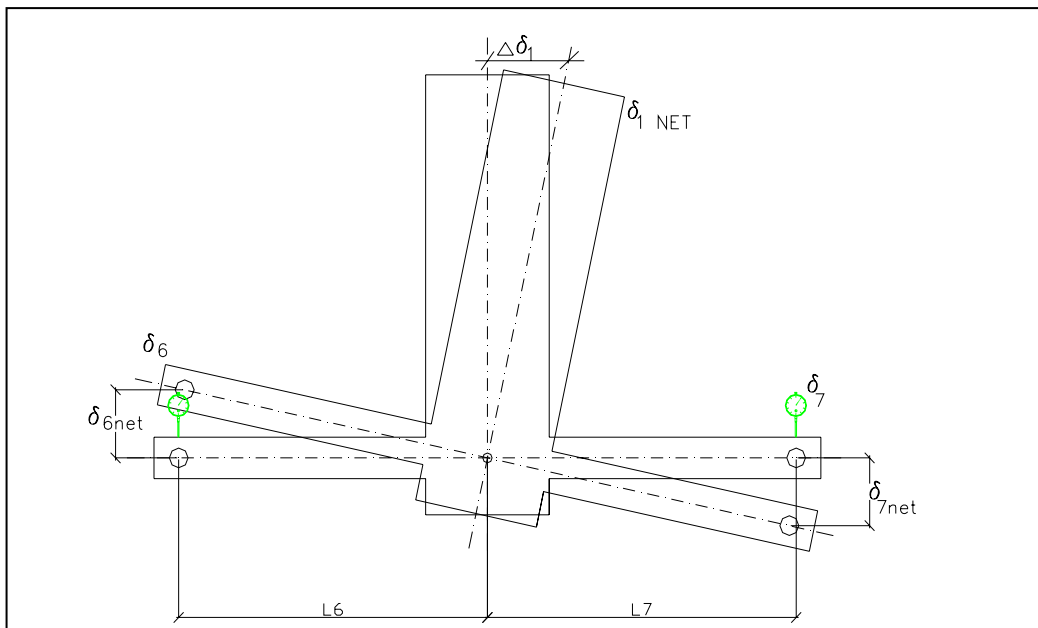
$$\phi = \arctg[(\delta_6 + \delta_7)/(L_6 + L_7)] \quad (3.2)$$

$$\Delta\delta_1 = L_1 * \sin \phi \quad (3.3)$$

$$\delta_{1net} = \delta_{1yataynet} - \Delta\delta_1 \quad (3.4)$$



Şekil 3.2. Yatay rijit cisim hareketi



Şekil 3.3. Rijit cisim dönme hareketi

### Dönme ve eğrilik ölçümleri ve değerlendirilmesi

Şekil 3.1 deki  $\delta_2$ ,  $\delta_3$ ,  $\delta_4$  ve  $\delta_5$  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).

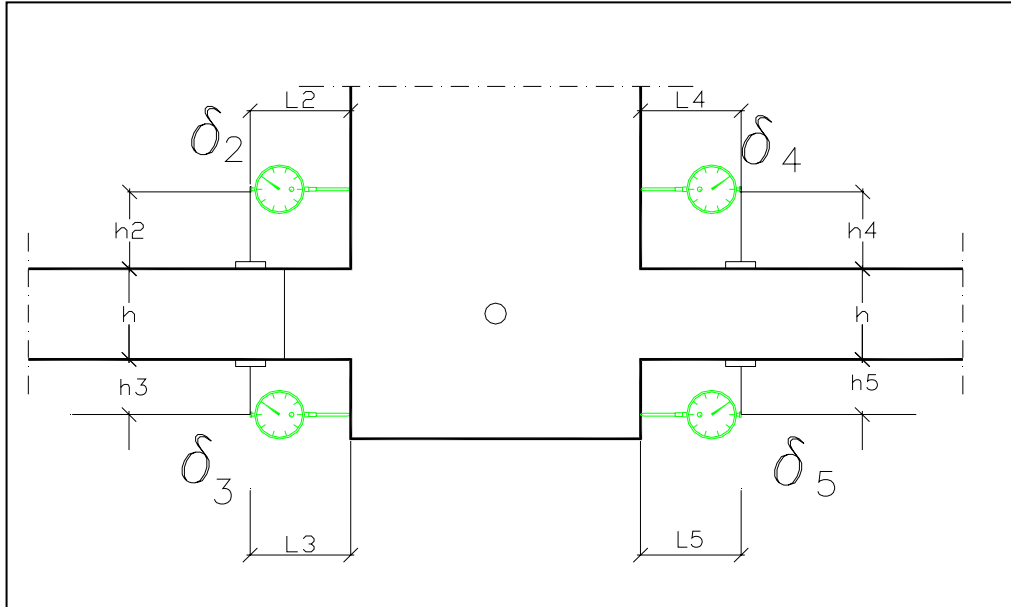
$$tg\phi = (\delta_2 + \delta_3) / h \quad \text{ise} \quad (3.5)$$

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

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

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

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



Şekil 3.4. Eğrilik ölçüm düzeneği

### Yük Ölçümü ve Değerlendirilmesi

Kirişe uygulanan tersinir yük kolonlarda aksenal yük oluşturmaktadır. Bu aksenal yükün tespit edilebilmesi için mesnetler pimlerin 1 mm hareket edebileceği şekilde yapılmıştır. Kirişe uygulanan tersinir yükten dolayı kolonlarda aksenal yük şu şekildedir. Eğer kirişe uygulanan yük ileriye doğru ise deney düzeneğindeki sağ kolonda kirişe uygulanan yük kadar bir aksenal yük artışı gözlenecektir. Kirişe uygulanan yük geriye doğru ise bu sefer de sol kolonda kirişe uygulanan yük kadar bir aksenal yük artışı olacaktır. Deney elemanında oluşacak mesnet reaksiyonları, moment diagramı ve kolonun kiriş yüzeyindeki momentleri şu şekildedir (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6).

$$\Sigma M_A = 0 \Rightarrow P * L_p - B * (L_L + L_R) = 0 \quad (3.10)$$

$$B = P * L_p / (L_L + L_R) \quad (3.11)$$

$$\Sigma M_B = 0 \Rightarrow P * L_p + A * (L_L + L_R) = 0 \quad (3.12)$$

$$A = -P * L_p / (L_L + L_R) \quad (3.13)$$

$$M_L = A * L_L = \left[ -P * L_p / (L_L + L_R) \right] * L_L \quad (3.14)$$

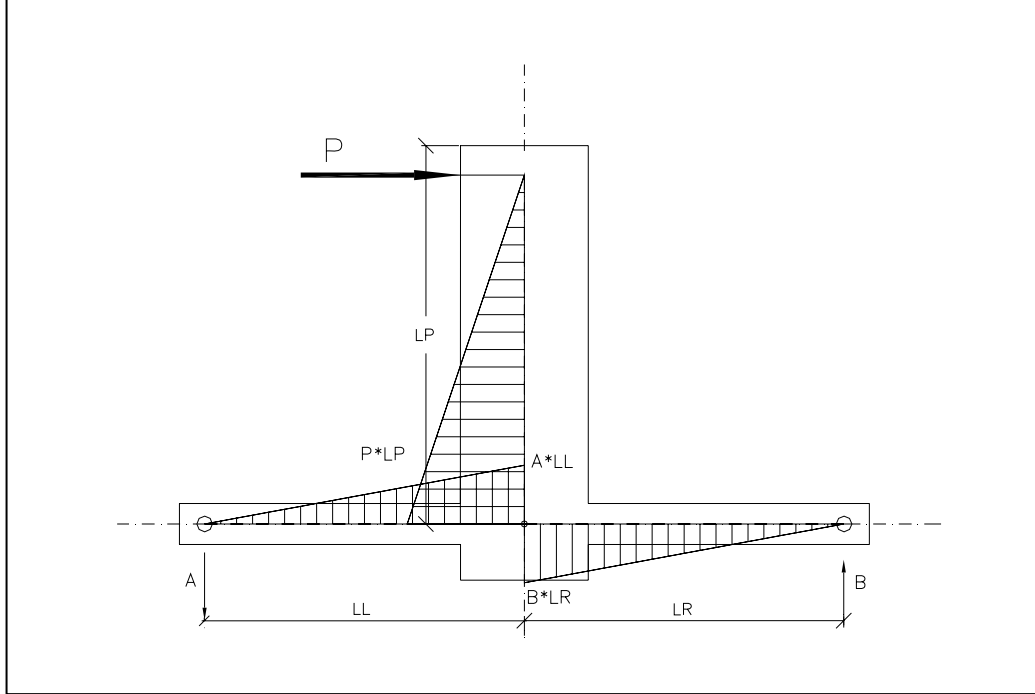
$$M_R = B * L_R = \left[ P * L_p / (L_L + L_R) \right] * L_R \quad (3.15)$$

Sol kolonun tam kiriş yüzeyindeki momenti

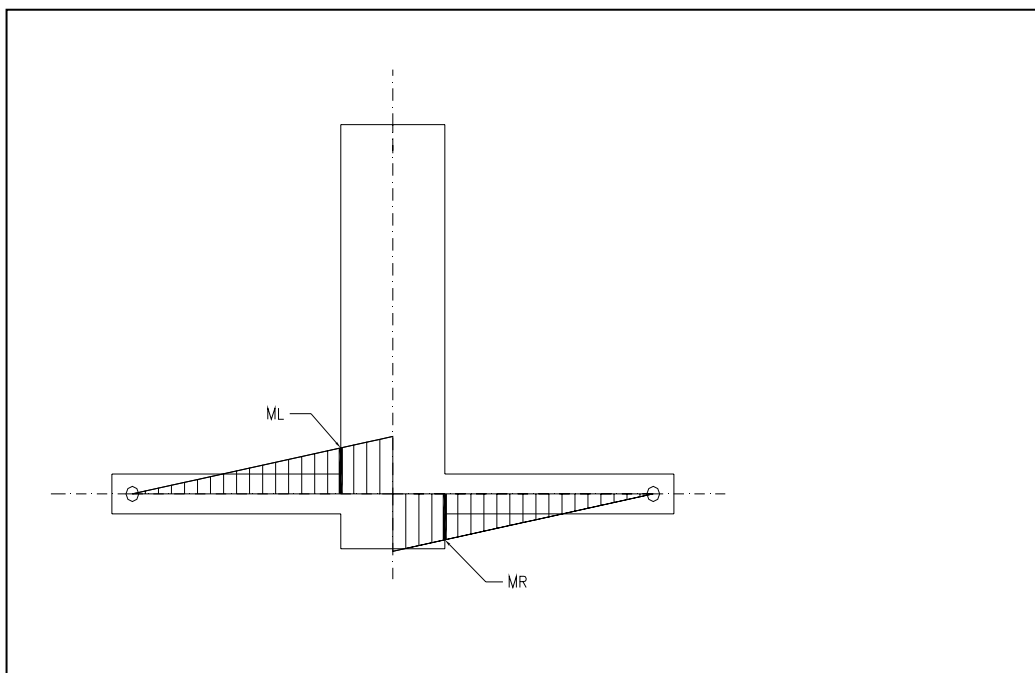
$$M_L = \left[ -P * L_p / (L_L + L_R) \right] * (L_L - 25) \quad (3.16)$$

Sağ kolonun tam kiriş yüzeyindeki momenti

$$M_R = \left[ P * L_p / (L_L + L_R) \right] * (L_R - 25) \quad (3.17)$$



Şekil 3.5. Deney elemanlarında oluşan mesnet reaksiyonları ve moment diyagramı



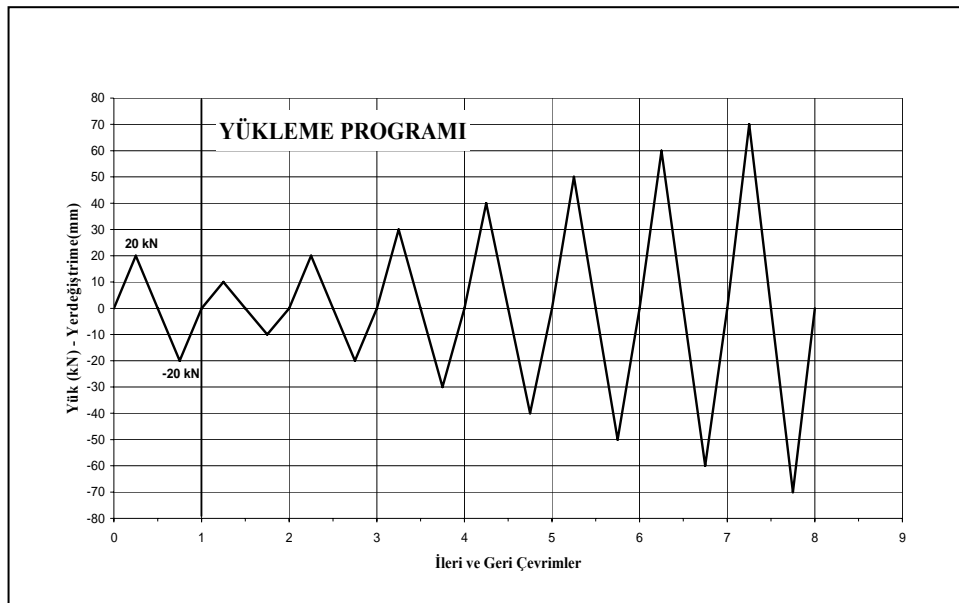
Şekil 3.6. Kolonların kiriş yüzeylerinde oluşan momentleri

### 3.4 . Deney Yönetimi ve Yükleme Aralığı

Yükleme programındaki ilk çevrimde eleman elastik bölgede kalacak şekilde bir P kuvveti kadar yüklenmiştir. Bu değer SSFS elemanında 22 kN, SCFS elemanında da 22 kN civarındadır. Daha sonraki çevrimlerde yük kontrollü yükleme terk edilerek  $\delta 1$  deplasmanından yararlanarak deplasman kontrollü bir yüklemeye gidilmiştir. Bu deplasman kontrollü yükleme programı Şekil 3.7 de verilmiştir.

İkinci ileri ve geri çevrimlerde  $\delta 1$  deplasmanı 10mm de akma başlangıcı yakalanmıştır. Daha sonraki çevrimlerde birer kat artırılarak deneye devam edilmiştir.

Yukarıda açıklanan yükleme programı doğrultusunda Karbon-Fiber ile mantolanmış, SSFS elemanı için sekiz ileri ve sekiz geri tam çevrim ve SCFS elemanı için de sekiz ileri ve sekiz geri tam çevrim yapılmıştır. Yükleme programının sonunda elemanda oluşan geometrik bozulmaları düzeltmek amacıyla  $\delta 1$  deplasmanı 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 3 adet deney elemanı üzerinde; birisi yalın eleman, iki tanesi güçlendirme, diğer ikisi onarım deneyleri olmak üzere toplam beş deney yapılmıştır. Deney aşamasında alınan kayıtlar yardımıyla her iki elemanın yük-deplasman grafiği elde edilmiştir. Ayrıca düğüme yakın kolon uçlarında alınan eğrilik okumaları sayesinde sağ ve sol kolon olmak üzere moment-eğrilik grafikleri elde edilmiştir. Her iki deney elemanı için de, davranış ve dayanımlar deney aşamasında bilgisayar ekranına çizdirilen düzeltilmemiş yük-deplasman 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.

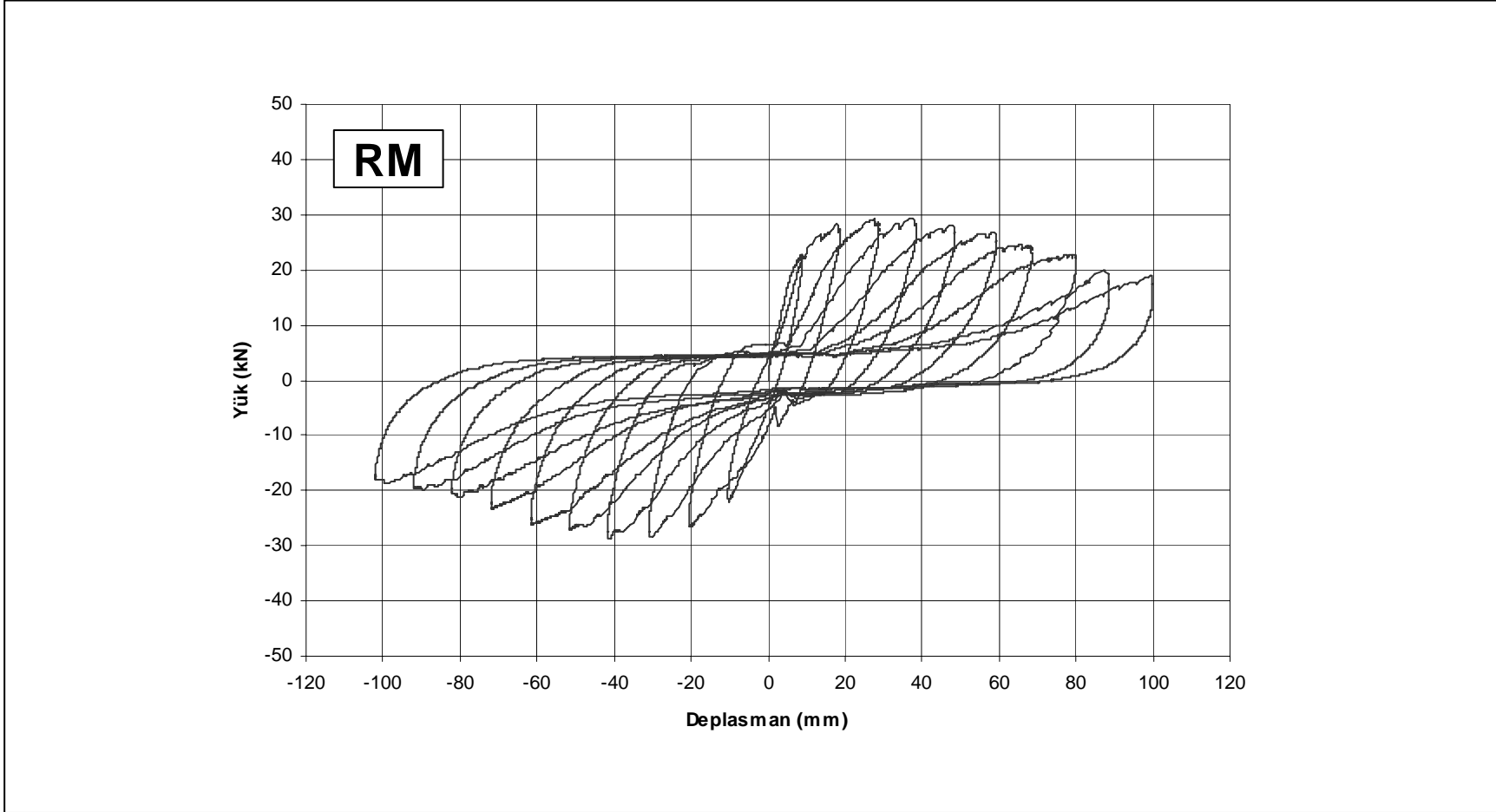
Beşinci ileri çevrimde yük 3,2 kN ve deplasman 17,803 mm de iken sağ alt LVDT kayıt dışı kalmıştır. Tepe noktasında yük 27,1 kN ve deplasman 50,103 mm dir.

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.

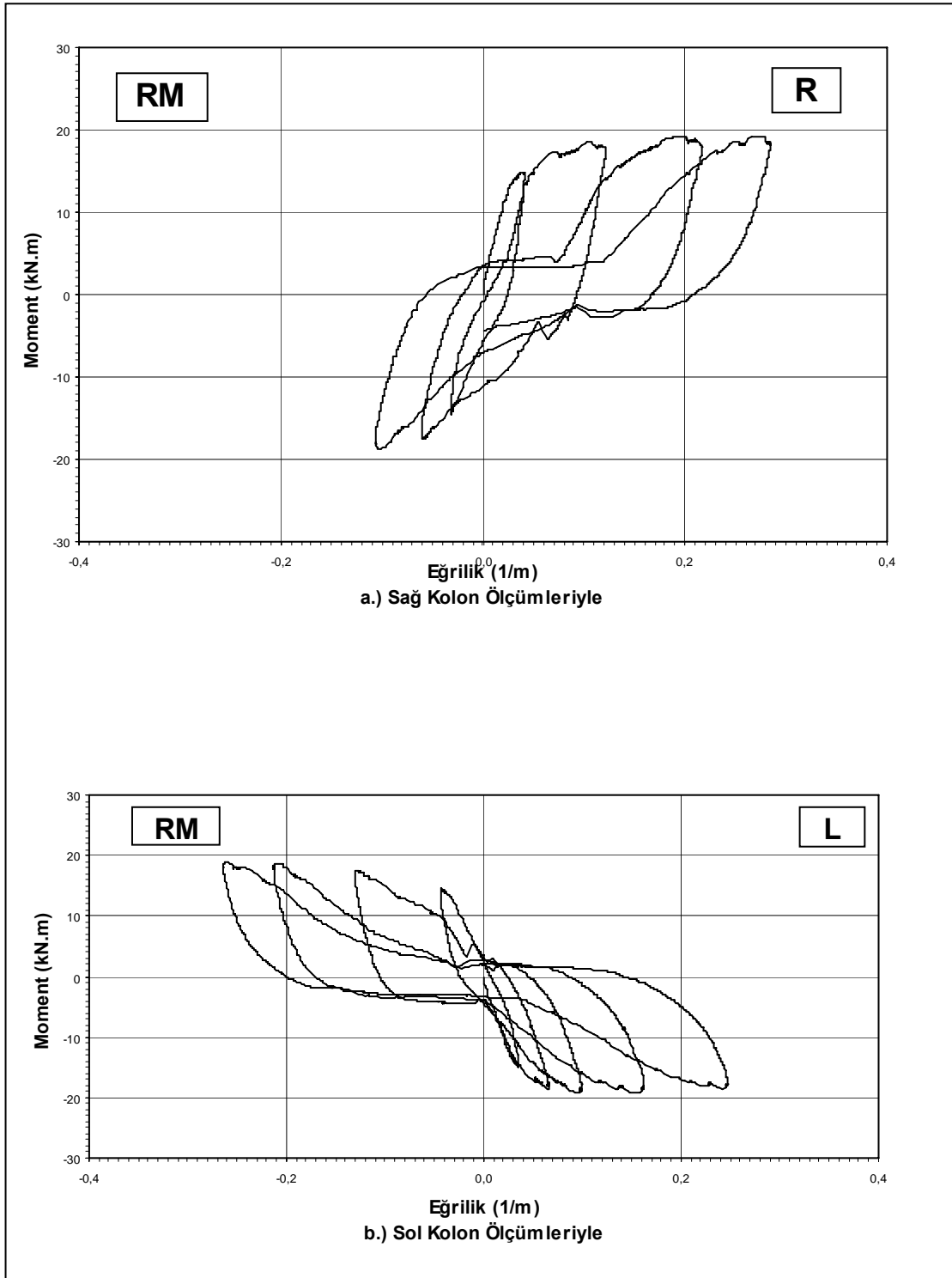
Altıncı ileri çevrimde sol kolon kiriş birleşim bölgesinde 12 santimetre kadar çatlak oluşmuştur.

Yedinci geri çevrimde sağ kolon kiriş birleşim b6lgesinde 14 santimetre kadar çatlak oluşmuştur.

Onuncu geri çevrimde deney bitirilmifitir.



Şekil 4.1. RM deneyi yük-deplasman grafiği



Şekil 4.2. RM elemanı moment-eğrilik ilişkisi



Resim 4.1. RM elemanın deney aşamasındaki resimleri

## 4.2. SSFS Deneyi

SSFS Deneyi yalın elemana karbon-fiberin düz uygulamasıyla güçlendirme yapılmış elemandır.

Birinci ileri çevrimde başlangıçta 22 Kn yük 12,3 mm deplasman 1.ci ileri tepe noktası oldu.

İkinci geri çevriminde 2. geri çevrim tepe noktası -21 mm deplasman -26,4 KN dur. Sağ kolon-kiriş birleşim bölgesinde karbonda 10 mm ayrılma gözlemlendi. Yine sağ kolon -kiriş birleşim bölgesinde ( çekme bölgesinde) 17 mm bir yırtılma gözlemlendi. Alt basınç bölgesinde 2cm yüksekliğinde karbon betondaki ezilmeden dolayı betondan ayrılmış ve burkulmuştur. Sol kolonun üst basınç bölgesinde herhangi bir deformasyon gözlenmemiş ancak alt çekme bölgesinde kılcalda olsa kiriş merkezine doğru bir çatlama hareketi 30 mm kadar yol almış, ancak son derece kılcal bir yapıdadır.

Üçüncü geri çevrimde -26,00 mm deplasman ve -27 KN yükte sol kolon basınç bölgesinde kiriş yüzeyine doğru devam eden karbon fiberlerin olduğu bölgede betondan karbon fiberin 15 cm lik bir ayrılma meydana gelmiştir. -31,30 mm deplasman -30,20 KN yük tepe noktası oluşmuştur. Sağ kolon üst yüzeyinde kolon-kiriş birleşim noktasında 2 mm çatlak gözlenmiştir . Aynı kolonda birleşim noktasında (basınç bölgesinde) 8 cm kalkma var, sol kolon-kiriş birleşim noktasında alt çekme bölgesinde epoksilerde çatlama var. Bu çatlamaya bağlı olarak mevcut betonda ayrışma meydana gelmiştir. Sol kolon üst basınç bölgesinde kirişe doğru devam eden karbondan 11 cm boyunda kiriş gövdesinde kalkma meydana gelmiştir.

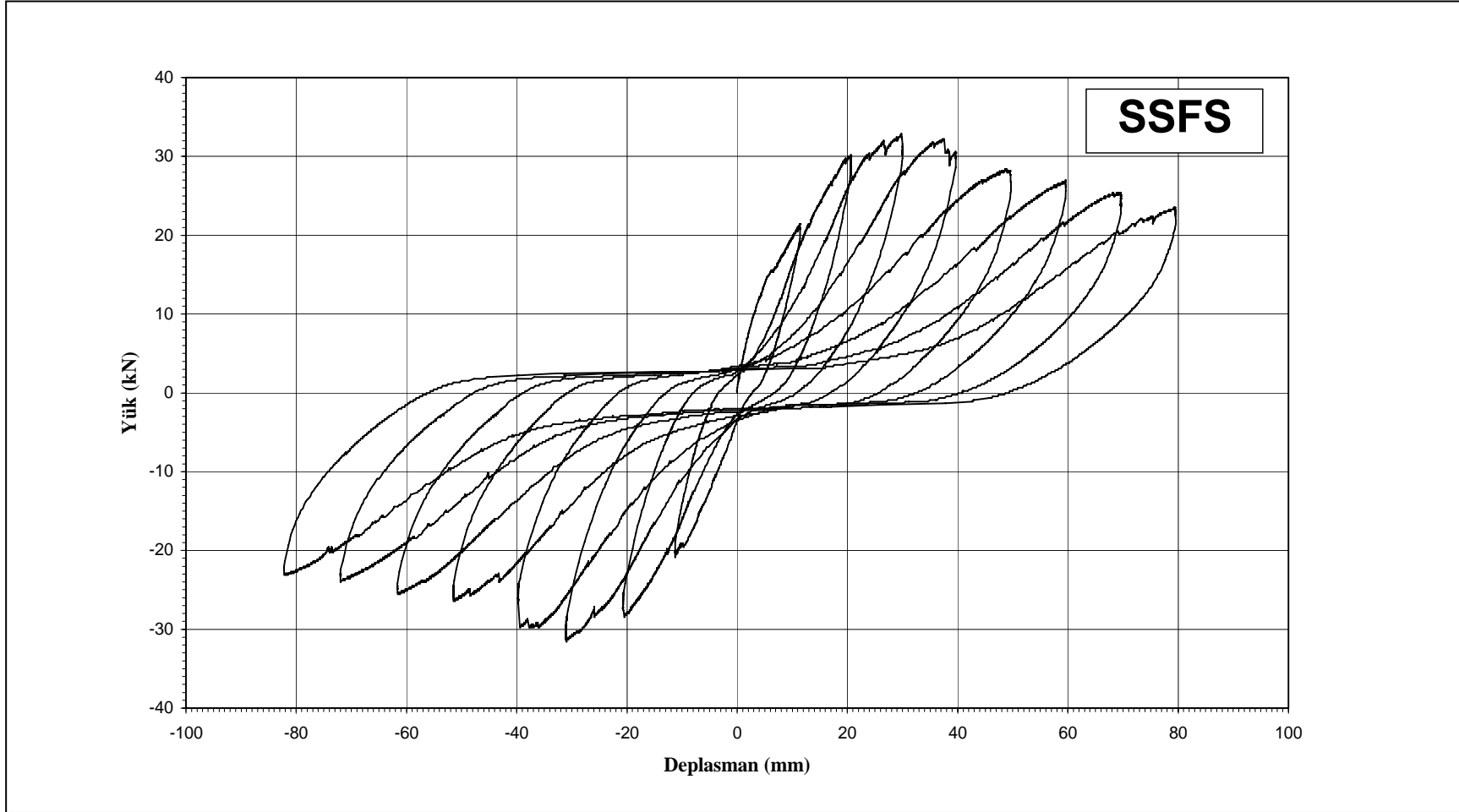
Dördüncü ileri çevrimde 39,9 mm deplasman 30,4 KN yükte meydana gelen olayı sol kolon üst çekme bölgesinde kiriş birleşiminde 5 cm civarında karbonda ani yırtılma meydana geldi, aynı davranış 4 cm olarakta arka yüzeyde gözlemlendi. Sağ kolon alt çekme bölgesinde karbonda 3 cm boyunda bir yırtılma mevcut. Kolon – kiriş çekme bölgesinin her ikisinde 3 mm çatlak oluştu. Tepe noktası 41,00 mm

deplasman 31 KN yükte oluştu. Söz konusu tepe noktasına gidilirken sistemin yeniden yük olmaya başladığı gözlemlendi. Bir önceki olay noktasından sonra farklı bir davranış oluşmadı.

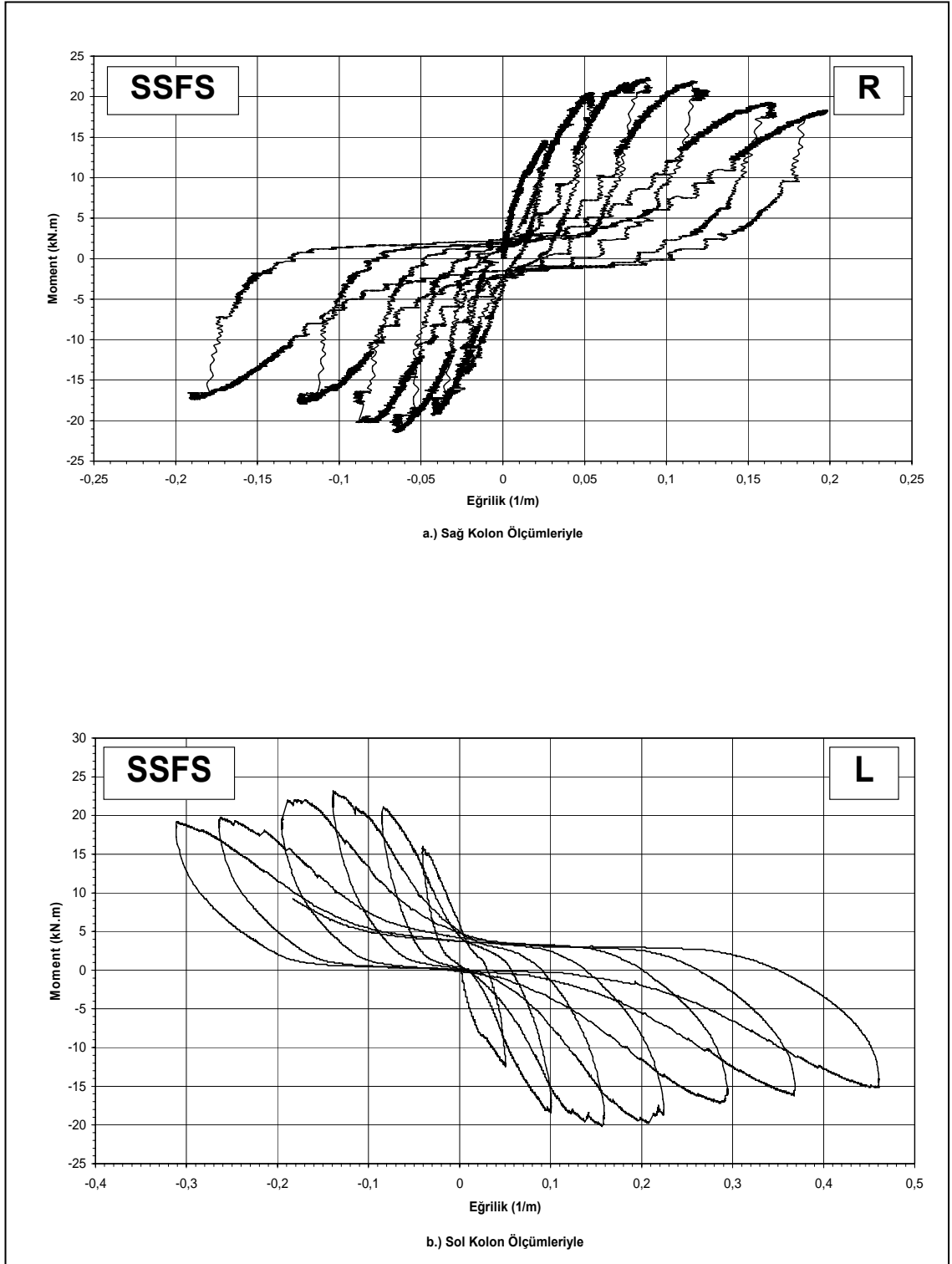
Beşinci ileri çevrimde 51,00 mm deplasman 27,5 KN yükte tepe noktası oluştu. Sağ kolon-kiriş ön yüzeyinde(çekme bölgesinde) 33 cm karbon betondan ayrıldı.

Yedinci ileri çevrimde +26,4 mm deplasman 5,8 KN yükte kiriş sağ alt bölgesinde betonda kopma meydana geldi. O bölgedeki LVDT(12) boşa çıktı. 71 mm deplasman 25,6 kn tepe noktası aldık. Sol kolon-kiriş birleşim bölgesinde( çekme bölgesi) betondaki çatlak 4mm kadar kolon üst düzeyinde kolona dik şekilde betondan ayrıldı.

Sekizinci geri çevrimde -81 mm deplasman – 21,7 KN yükte tepe noktası oluştu. Tepe noktası oluştuktan sonra deplasman sıfırlanarak deneye son verildi. 3,3 KN yük 0 deplasmanda bırakılarak deney bitirildi.



Şekil 4.3. SSFS Deneyi yük-deplasman grafiği



Şekil 4.4. SSFS elemanı moment-eğrilik ilişkisi



Birinci İleri Çevrim



İkinci İleri Çevrim



İkinci Geri Çevrim



İkinci Geri Çevrim



Üçüncü Geri Çevrim



Üçüncü Geri Çevrim

Resim 4.2. SSFS elemanının deney aşamasındaki resimleri



Dördüncü İleri Çevrim



Dördüncü İleri Çevrim



Beşinci İleri Çevrim



Yedinci İleri Çevrim



Yedinci İleri Çevrim



Sekizinci Geri Çevrim

Resim 4.3. SSFS elemanın deney aşamasındaki resimleri

#### 4.3. SCFS DENEYİ

SCFS Deney elemanı karbon-fiberin yalın elemana çapraz yapıştırılmasıyla oluşturulmuş deneydir.

Birinci ileri çevrimde 1. tepe noktası: 10,83 mm olup -24,19 KN

İkinci ileri çevrimde 26 KN da sol kolon–kiriş birleşim bölgesinde çatlak oluştu. Sol kolon çekme bölgesinde kolon-kiriş yüzeyinde 1 mm lik çatlak karbon kiriş gövdesine yapıştığı yerde 3 cm kılcal çatlak oluştu. Tepe noktası 21,14 mm deplasman 33,11 KN yükte oluştu. Sol kolon üstü çekme bölgesinde 2 mm civarında birleşim yüzeyine paralel çatlak oluştu. Yine aynı bölgede çekme yüzeyine giden karbon manto kiriş gövdesinden 36mm civarında bir çatlak oluştu. Bu çatlak karbonun kenarından yapıştırıcının üzerindedir. Sağ kolon üstü basınç bölgesinde herhangi bir çatlak mevcut değildir. Sağ kolon altı çekme bölgesinde kirişe doğru kılcal çatlaklar çekme bölgesine gelen karbondaki kirişin 3 cm içinden başlayacak şekilde 3,5 cm bir ayrış söz konusudur.

İkinci geri çevrimde -21,13 mm deplasman , -22,22 KN yükte tepe noktası oluştu. Sol kolon üstü basınç bölgesinde bir önceki tepe noktasına göre yalnızca birbirlerine çaprazlama geçirilerek yapıştırılan karbonlar arasında ayrışma kiriş yüzeyinden başlayarak 14 cm kadar ilerlemiştir. Yine sol kolon altı çekme bölgesinde konsol kirişe doğru bir parça kırılmış yine üstten gelen karbon fiber alta ki karbon fiberden 30 cm civarında ayrılmıştır. Sağ kolon üstü çekme bölgesinde çatlamlar kolon- kiriş birleşiminin de 1,5 – 2 mm civarındadır.

Üçüncü ileri çevrimde 31,04 mm deplasman 36 KN yükte tepe noktası oluştu. Sol kolon üstü basınç bölgesinde 2 mm enine ulaşan çatlak oluştu. Üstten geçen karbon tüm eni boyunca altındaki karbon fiberden kalkmış durumdadır. Sol kolon altına doğru ilerleyen üstten geçen levhanın alt kısmında sistemin deformasyonunun dan dolayı büyük bir kalkma gözlenmiştir. Yaklaşık olarak 6 mm civarında ayrılma ve 30 cm boyunda dır. Sağ kolon üstü basınç bölgesinde karbon fiber de herhangi bir

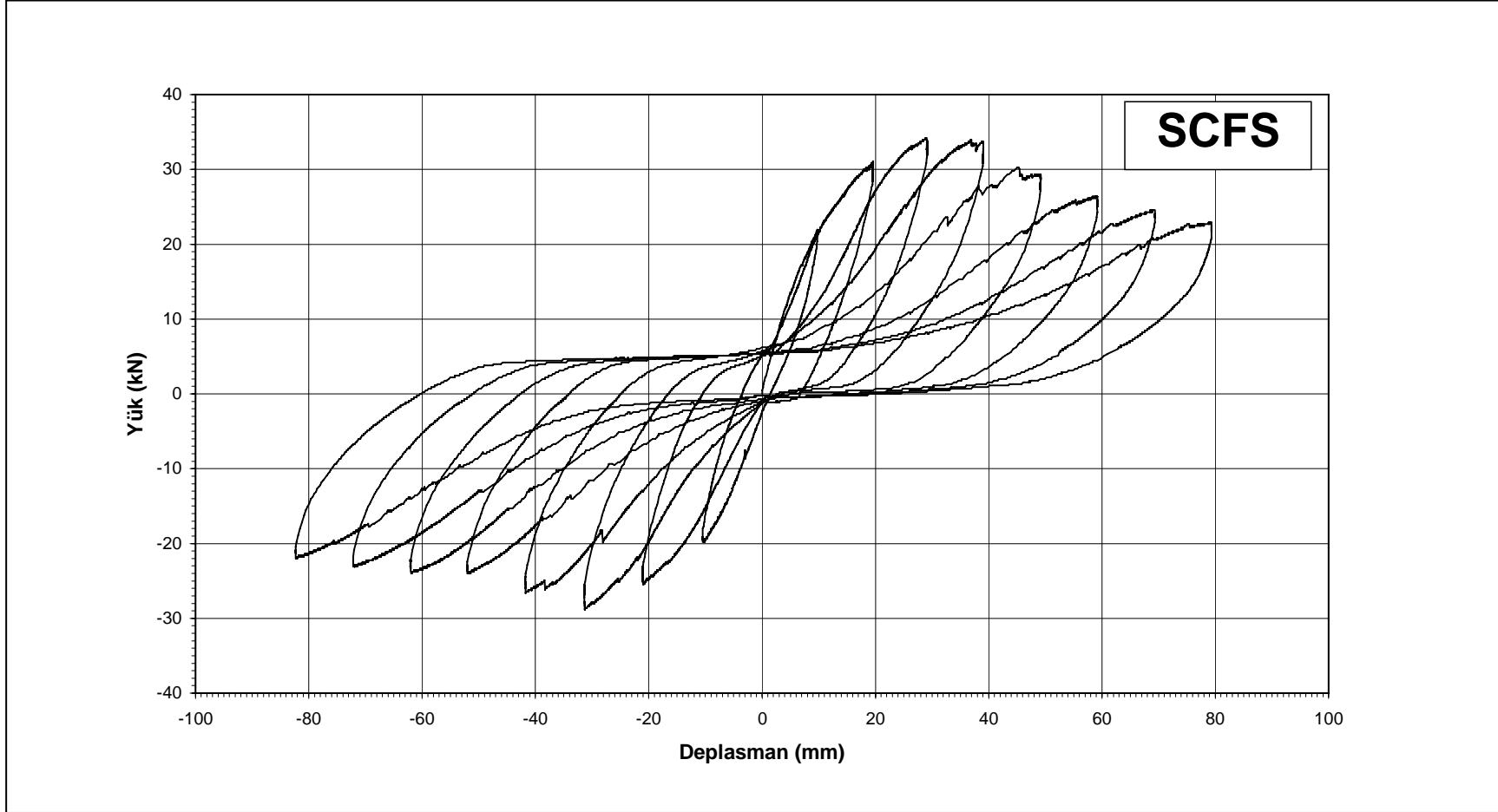
yırtilma olmamıştır. Sol kolon alt çekme bölgesinde alttaki karbon fiberde 17 cm boyunda bir kalkma oluşmuştur.

Dördüncü geri çevrimde yükleme tepesine kadar çekme bölgesindeki karbon fiberden yırtilmalar meydana gelmiştir. Grafimizin üzerindeki sıçramalar bu nedenle oluşmuştur. Tepe noktası -41,16 mm olup -22,89 KN yüküdür. Sağ kolon çekme bölgesindeki çatlak 4mm kolon eni boyunca olmuştur. Sol kolon çekme bölgesinde kolon-kiriş birleşim bölgesi kolon enine doğru 2 mm çatlak gözlemlendi. Sol kolon üstü çekme bölgesi 8 mm çatlak oluşmuştur.

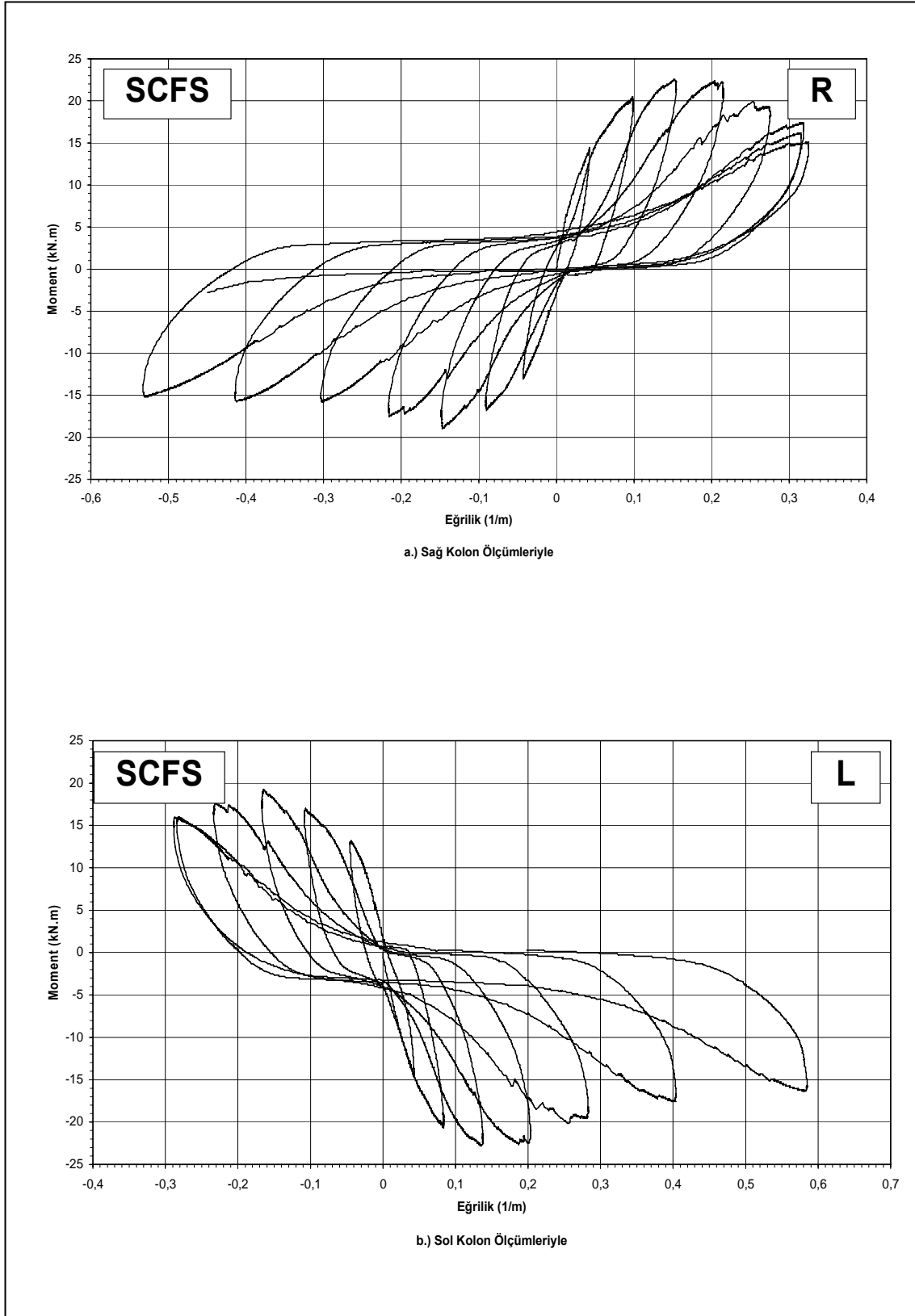
Altıncı geri çevrimde tepe noktası -61,07 mm deplasman olup -20,22 KN yüküdür. Sağ kolon üst çekme bölgesinde 8 mm çatlak oluşmuştur. Sol kolon alt çekme bölgesinde 4 mm çatlak oluşmuştur.

Yedinci geri çevrimde 2,44 KN yük 1,14 mm deplasmanda sol alt moment eğrilik LVDT si kirişten beton parçası koparak iptal oldu. -71,03 mm deplasman – 19,78 KN yükte tepe noktası oluştu. Sağ kolon üst çekme bölgesinde 15 mm varan kolon enince çatlak oluştu. Kiriş sol alt bölgesinden beton parçası koptu.

Sekizinci geri çevrimde 11,33 KN yük 53,67 mm deplasmanda sağ alt moment eğrilik LVDT sinden sağlıklı sonuç alınamamaktadır. -81,09 mm deplasman -18,44 KN yükte tepe noktası oluştu. Sağ kolon üst çekme bölgesinde 17 mm kadar çatlak oluştu. Sağ alt moment eğrilik LVDT si iptal oldu. Deplasmanda “0” ‘a gidilerek yük: 7,78 KN da deney bitirildi.



Şekil 4.5. SCFS Deneyi yük-deplasman grafiği



Şekil 4.6. SCFS elemanı moment-eğrilik ilişkisi



Birinci İleri Çevrim



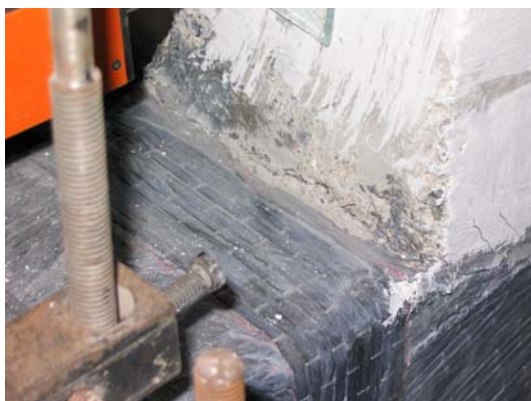
İkinci İleri Çevrim



İkinci İleri Çevrim



İkinci Geri Çevrim



İkinci Geri Çevrim



Üçüncü İleri Çevrim

Resim 4.4. SCFS elemanın deney aşamasındaki resimleri



Üçüncü İleri Çevrim



Dördüncü Geri Çevrim



Dördüncü Geri Çevrim



Altıncı Geri Çevrim



Yedinci İleri Çevrim



Sekizinci Geri Çevrim

Resim 4.5. SCFS elemanın deney aşamasındaki resimleri

#### 4.4. RSFS Deneyi

RSFS Deneyi; SSFS deneyinin hasar verildikten sonra tekrar tamir edilip karbon-fiberin yapıştırılmasıyla oluşturulmuş deney elemanıdır.

Birinci ileri çevrim; Deneye 0,00 mm deplasman ve 0,00 kn yükte başladık. 10,3 mm deplasman 21,88 kn yükte birinci tepe noktası oluştu.

Birinci geri çevrim; -12,9 mm deplasman -21,68kn yükte tepe noktası oluştu.

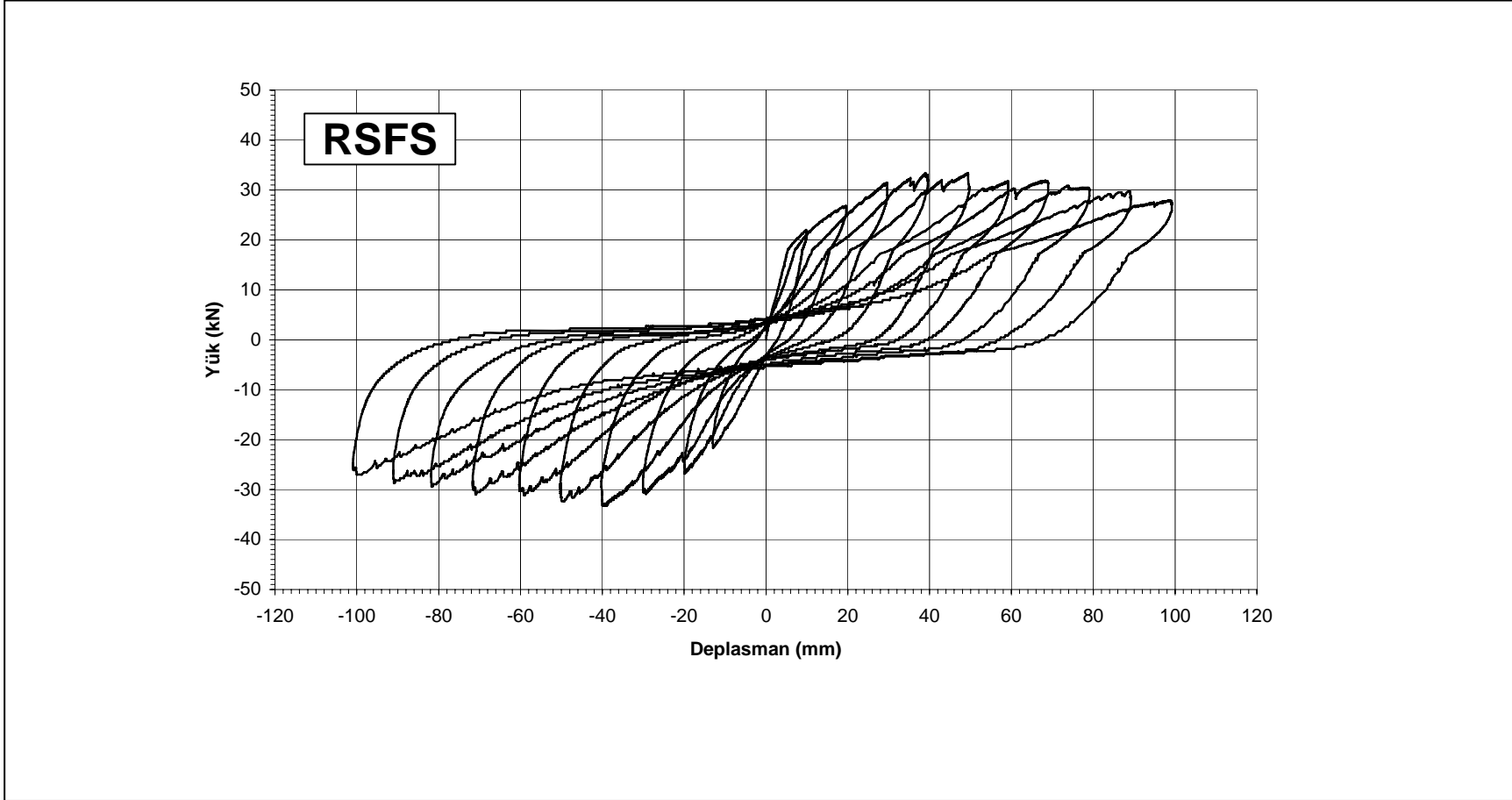
Üçüncü ileri çevrim; 30 mm deplasman 31,44 kn yükte tepe noktası oluştu.Sol kolon kirişe paralel şekilde 12 cm kadar açıldı.

Dördüncü geri çevrim; -40 mm deplasman -33,18kn yükte tepe noktası oluştu.

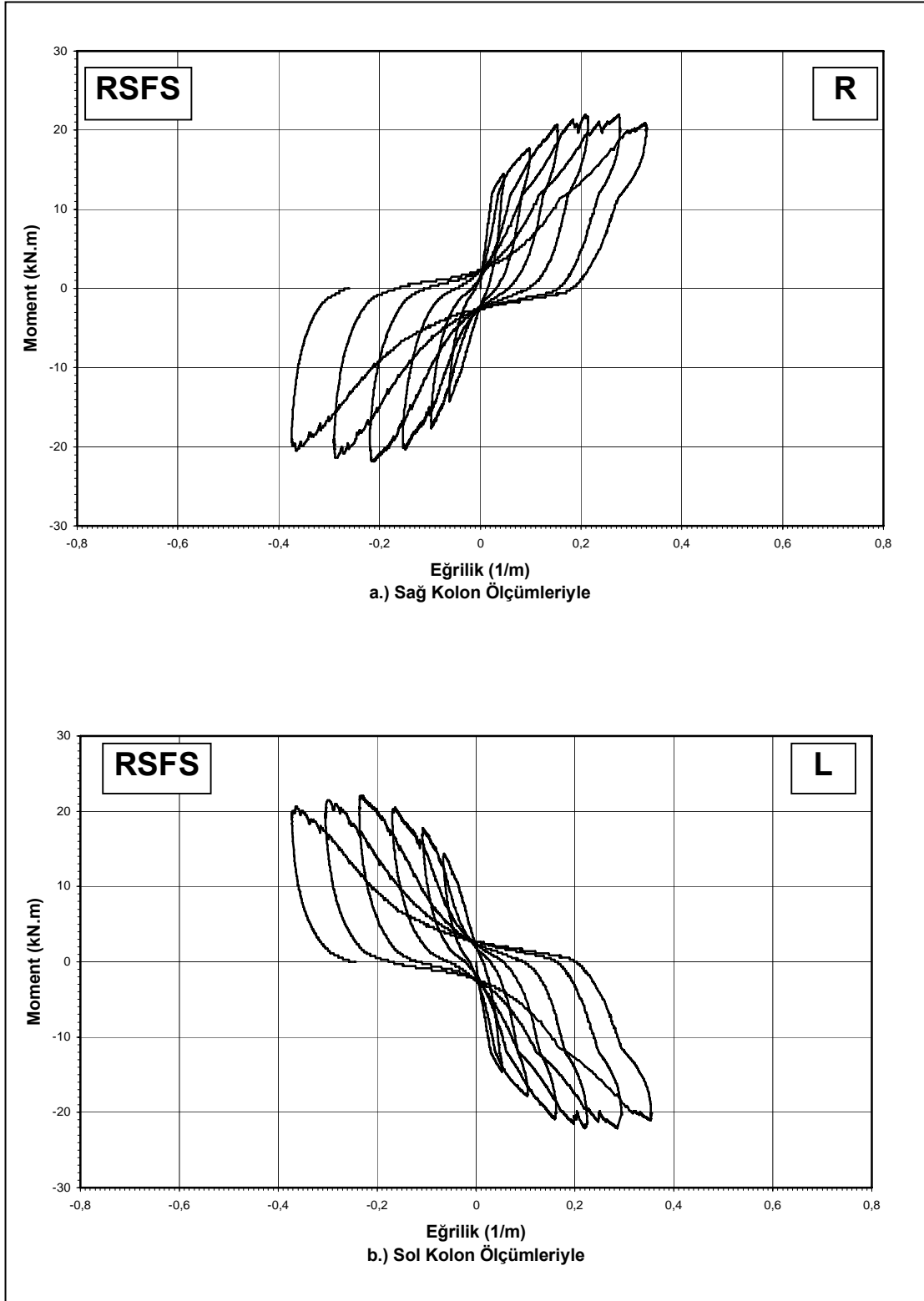
Yedinci ileri çevrim; 70 mm deplasman 31,37 kn yükte tepe noktası oluştu.13,3 kn 26 mm deplasmanda kiriş sağ alt beton parçası koparak sağ alt moment eğrilik ölçüm LVDT 'si iptal oldu.

Sekizinci ileri çevrim; 80 mm deplasman 30,27 kn yükte tepe noktası oluştu.

Onuncu geri çevrim; -100,1 mm deplasman -26,99 kn yükte tepe noktası oluştu.Deplasmanda 0'a gidilerek deney bitirildi.



Şekil 4.7. RSFS elemanın yük-deplasman ilişkisi



Şekil 4.8. RSFS elemanın moment-eğrilik ilişkisi



Birinci İleri Çevrim



Üçüncü İleri Çevrim



Dördüncü Geri Çevrim



Yedinci İleri Çevrim



Sekizinci İleri Çevrim



Onuncu Geri Çevrim

Resim 4.6. RSFS elemanın deney sırasındaki resimleri

#### 4.5. RCFS Deneyi

RCFS Deneyi; SCFS deneyinin hasar verildikten sonra tekrar tamir edilip karbon-fiberin yapıştırılmasıyla oluşturulmuş deney elemanıdır.

Birinci ileri çevrim; 20,28 kN yük, 10,052 mm deplasmanda tepe noktası oluştu.

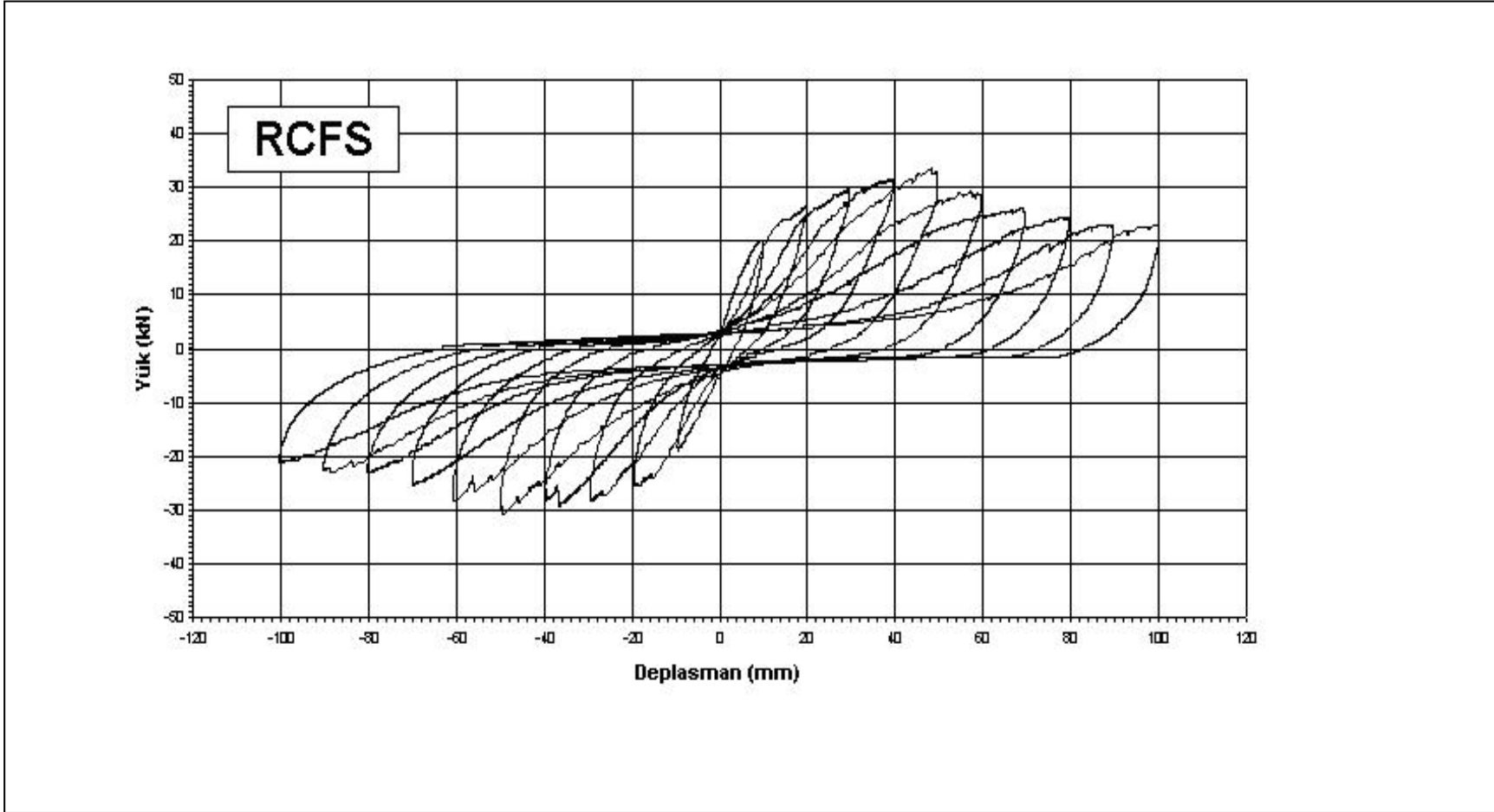
Üçüncü geri çevrim; -27,64 kN yük -30,033 mm deplasmanda tepe noktası oluştu. Sol kolon üstü basınç bölgesinde karbon kirişten 18 cm kadar kalkmıştır.

Dördüncü ileri çevrim; 31,45 kN yük 40,052 mm deplasmanda tepe noktası oluştu. Sağ kolon üstü basınç bölgesinde kiriş gövdesinde 12 cm kalkma var.

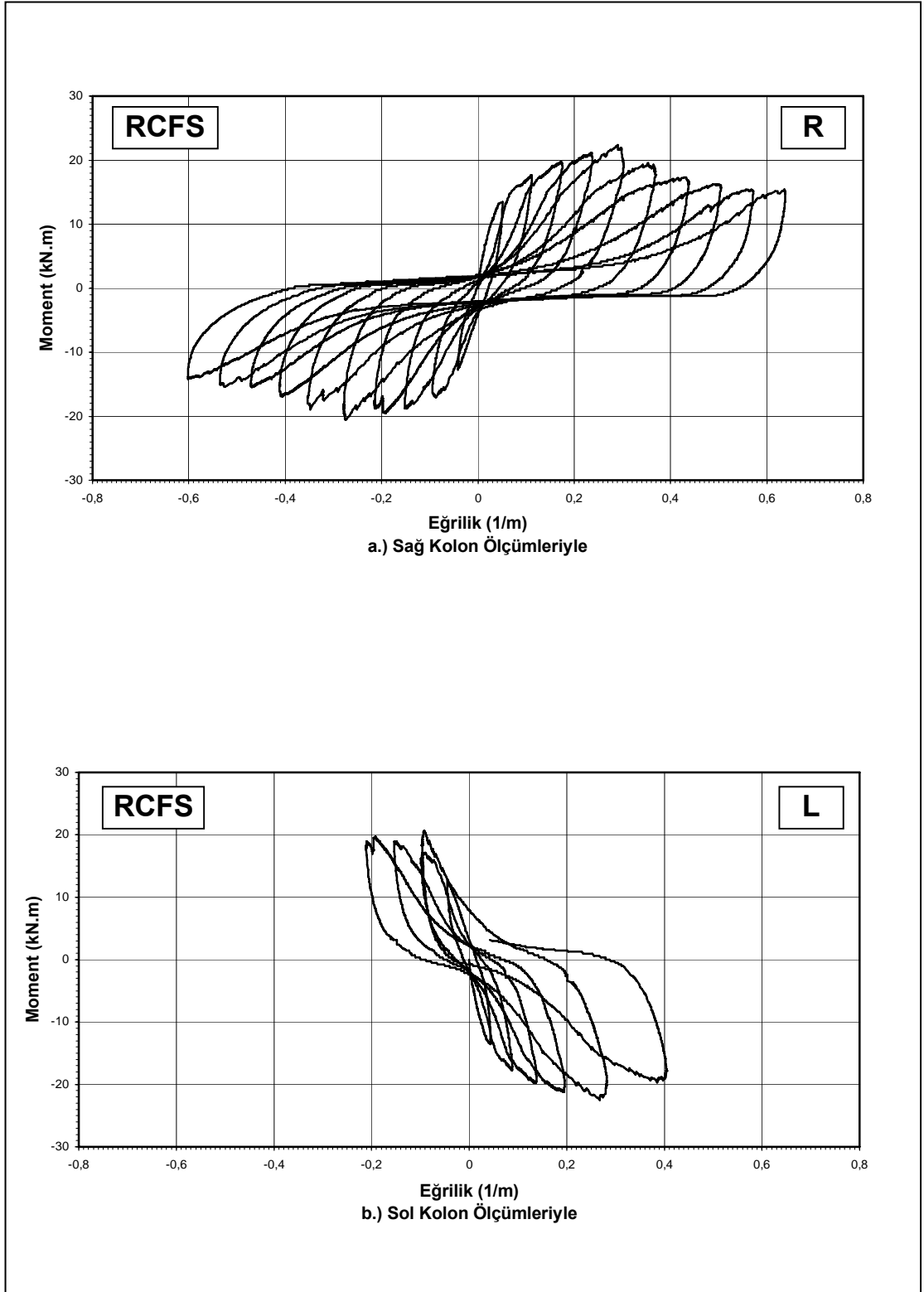
Beşinci ileri çevrim; 33,54 kN yük 50,4 mm deplasmanda tepe noktası oluştu. Kiriş ön yüzeyinde ayrılma 40 cm'ye ulaştı.

Yedinci ileri çevrim; 26,02 kN yük 70,1 mm deplasmanda tepe noktası oluştu.

Onuncu ileri çevrim; 22,68 kN yük 100,361 mm deplasmanda tepe noktası oluştu.



Şekil 4.9. RCFS elemanın yük-deplasman ilişkisi



Şekil 4.10. RCFS elemanın moment-eğrilik ilişkisi



Birinci İleri Çevrim



Üçüncü Geri Çevrim



Dördüncü İleri Çevrim



Beşinci İleri Çevrim



Yedinci İleri Çevrim



Onuncu İleri Çevrim

Resim 4.7. RCFS elemanın deney sırasındaki resimleri

#### 4.6. Deney Sonuçları

Yapılan çalışmada her iki deney elemanının deney aşamasında gözlenen davranışları, elde edilen yük-deplasman ( $P-\delta$ ) ilişkileri ile sağ ve sol kolon moment-eğrilik ( $M-K$ ) ilişkileri Bölüm 4.1 ve Bölüm 4.2 de her bir deney için ayrı ayrı verilmiş ve incelenmiştir. Bu bölümde ise her beş deneyin toplu olarak değerlendirilmesinde yardımcı olacak deney sonuçları çizelgeler halinde sunulmaktadır. Çizelge 4.1 de deney elemanlarının yük-deplasman ( $P-\delta$ ) ilişkilerinden ileri ve geri çevrimler için ayrı ayrı elde edilen, akma anındaki yükü ve deplasmanı, maksimum yükü ve deplasmanı, ve bu değerlerin oranları verilmiştir. Ayrıca Çizelge 4.1 de deney elemanlarını karşılaştırmak amacıyla, yalın eleman RM’inde değerleri 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. Ayrıca Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3 de deney elemanlarını karşılaştırmak amacıyla, yalın eleman RM’inde değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Yük-deplasman ilişkisinden elde edilen deney sonuçları

Deney	Akmada				Tepede				Oranlar			
	İleri		Geri		İleri		Geri		İleri		Geri	
	Py (kN)	$\delta y$ (mm)	Py (kN)	$\delta y$ (mm)	Pu (kN)	$\delta o$ (mm)	Pu (kN)	$\delta o$ (mm)	Pu/Py	$\delta o/\delta y$	Pu/Py	$\delta o/\delta y$
SSFS	30,22	20,64	28,45	20,52	32,89	29,84	31,56	31,00	1,09	1,45	1,11	1,51
SCFS	31,11	19,58	25,33	21,01	34,22	29,07	28,67	31,32	1,10	1,48	1,13	1,49
RSFS	26,71	19,54	25,84	19,91	33,35	39,13	32,81	40,05	1,25	2,00	1,27	2,01
RCFS	26,44	19,79	25,32	19,25	33,33	48,30	30,83	49,48	1,26	2,44	1,22	2,57
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

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 <sub>85</sub> (kN.m)	K <sub>85</sub> (1/m)	M <sub>85</sub> (kN.m)	K <sub>85</sub> (1/m)	Mu/My	Ko/Ky	Mu/My	Ko/Ky
SSFS	21,105	0,084	18,111	0,100	22,901	0,139	20,207	0,156	19,466	0,220	17,176	0,436	1,09	1,66	1,12	1,56
SCFS	17,027	0,107	20,580	0,084	19,247	0,165	22,800	0,136	16,360	0,274	18,240	0,365	1,13	1,54	1,11	1,62
RSFS	17,62	0,104	1737	0,108	22,14	0,221	21,78	0,236	18,82	----	18,52	----	1,26	2,13	1,25	2,19
RCFS	17,703	0,088	16,951	0,092	22,319	0,267	20,641	0,093	18,971	----	17,545	----	1,26	3,03	1,22	1,01
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

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 <sub>85</sub> (kN.m)	K <sub>85</sub> (1/m)	M <sub>85</sub> (kN.m)	K <sub>85</sub> (1/m)	Mu/My	Ko/Ky	Mu/My	Ko/Ky
SSFS	20,504	0,055	19,298	0,043	22,011	0,090	21,409	0,065	18,996	0,169	17,941	0,135	1,07	1,64	1,11	1,52
SCFS	20,495	0,099	16,689	0,090	22,398	0,154	18,885	0,147	19,038	0,281	16,052	0,274	1,09	1,56	1,13	1,63
RSFS	17,60	0,098	17,64	0,098	21,98	0,210	21,62	0,317	18,68	----	18,38	----	1,25	2,14	1,23	3,23
RCFS	17,478	0,112	16,869	0,091	22,351	0,290	20,349	0,276	18,998	0,371	17,297	0,405	1,28	2,59	1,21	3,03
RM	18,405	0,108	17,405	0,060	19,229	0,277	----	----	16,345	-----	-----	-----	1,04	2,56	-----	-----

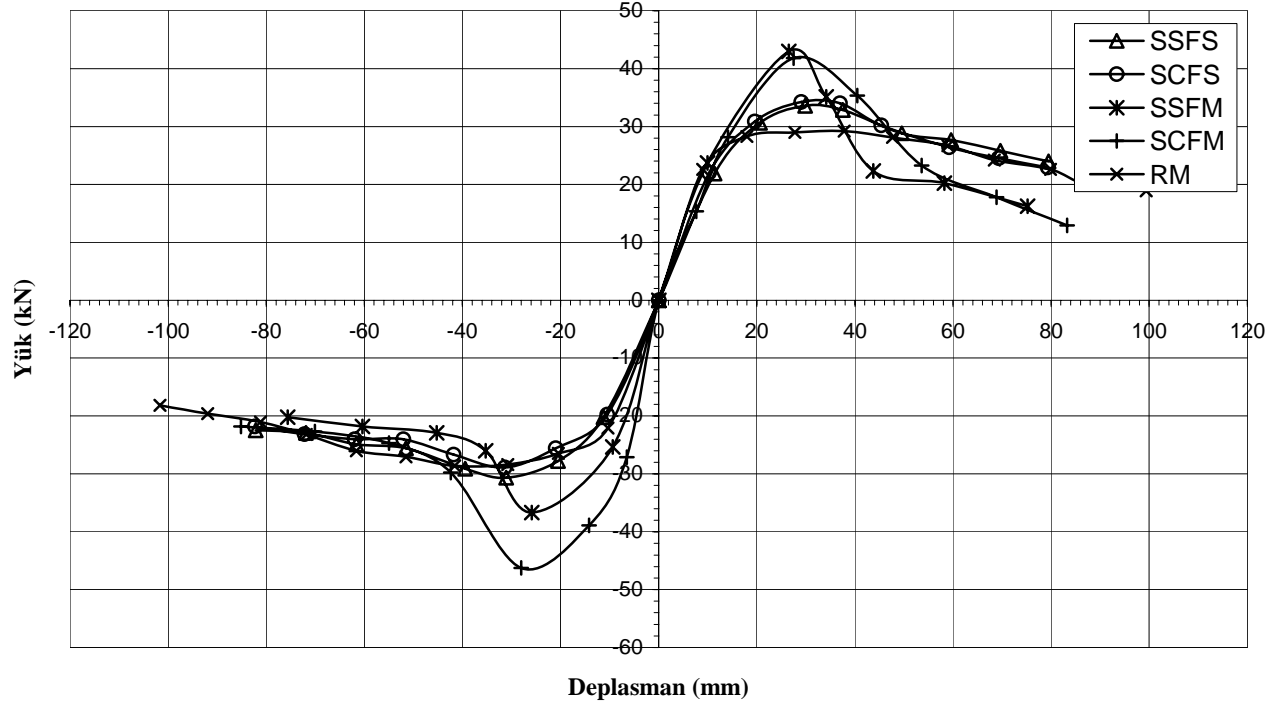
## 5. DENEY SONUÇLARININ İŞLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde deney verilerinin işlenmesi ve deney sonuçlarının değerlendirilmesi ele alınmıştır. Benim 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-deplasman grafiklerinden yararlanılarak elde edilmiştir. Bütün deneyler iki grup halinde değerlendirilmiştir. Birinci grup SSFS, SCFS, SSFM, SCFM ve RM elemanları, ikinci grup ise RSFS, RCFS, ve RM elemanlarıdır.

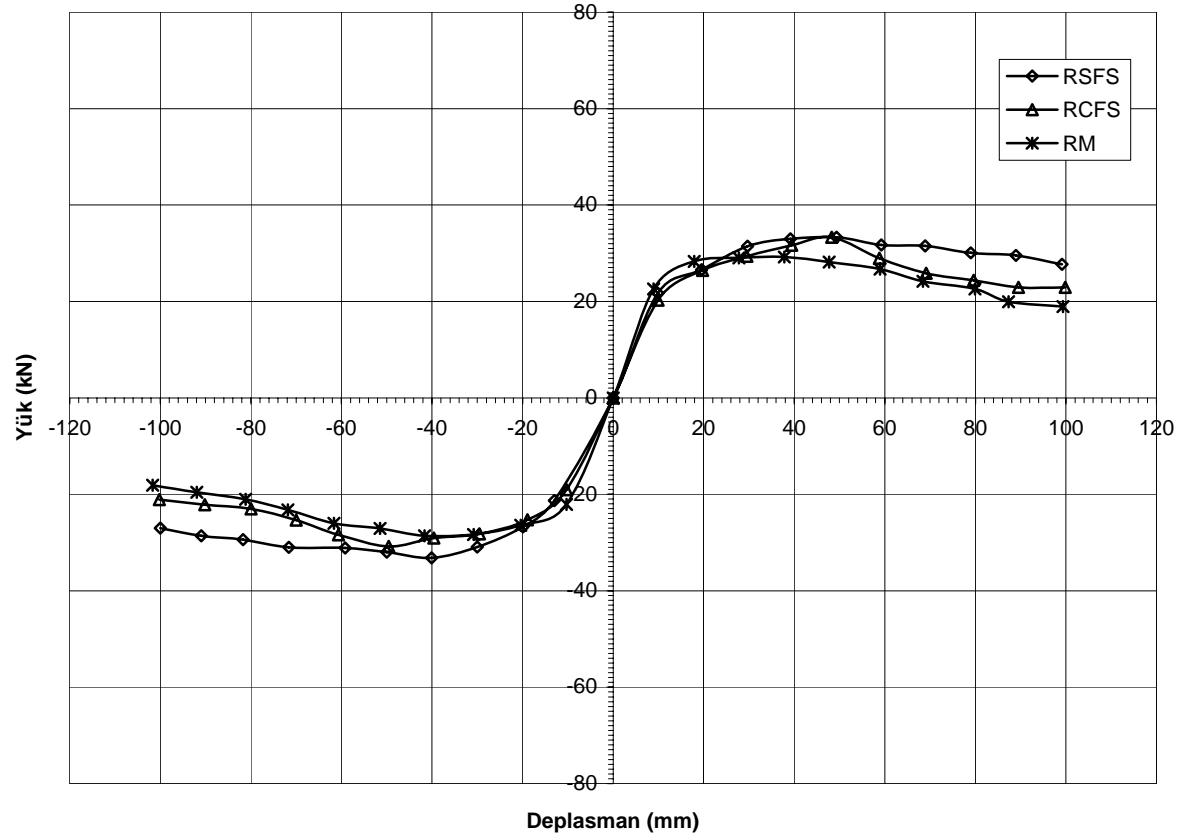
### 5.1. Dayanım ve Dayanım Azalması

Dayanım ve dayanım azalması tüm elemanlar için verilmiş olan yük deplasman grafiklerinden elde edilen zarf eğrilerinin karşılaştırılması sonucunda irdelenmiştir. Karşılaştırmanın kolay ve sağlıklı yapılabilmesi için yukarıda bahsedilen iki grup için ayrı ayrı çizilmiştir. Bu yük deplasman zarf eğrileri Şekil 5.1 ve Şekil 5.2 de verilmiştir. İlk olarak Şekil 5.1 de gösterilen, SSFS, SCFS, SSFM, SCFM ve RM elemanlarının yük-deplasman zarf eğrilerinin ilişkileri gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi SSFS ve SCFS deney elemanlarının maksimum dayanımı RM yalın elemanına göre %17 daha fazla olduğu gözlenmiştir. SCFS elemanının ileri çevrimdeki maksimum dayanımı SSFS elemanının maksimum dayanımından yaklaşık %4 daha fazladır. Geri çevrimde ise SSFS deney elemanının maksimum dayanımı SCFS deney elemanının maksimum dayanımından %10 daha fazladır. Dayanım azalması ise her iki çevrimde de SSFS nin SCFS elemanlarının yük-deplasman grafikleri birbirine çok yakın olduğu görüldü. SSFM, SCFM, SSFS, SCFS ve RM elemanları kıyaslandığında, SSFM ve SCFM elemanlarının RM yalın elemanına göre maksimum dayanımı %61 daha fazla olduğu görülmüştür. SSFM, SCFM, SSFS, SCFS elemanları kıyaslandığında, SSFM ve SCFM elemanlarının maksimum dayanımı SSFS ve SCFS elemanlarının maksimum dayanımından %38 daha fazla olduğu görülmüştür.

Şekil 5.2 de gösterilen; RSFS, RCFS, ve RM elemanlarının yük-deplasman eğrilerinin ilişkileri gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi RSFS ve RCFS elemanlarının dayanımı RM elemanının maksimum dayanımından %16 daha fazla oldu görülmüştür. RSFS ve RCFS elemanlarının maksimum dayanımları birbirlerine çok yakın çıkmıştır.



Şekil 5.1. SSFS,SCFS, SSFM, SCFM ve RM elemanlarının yük deplasman zarflarının karşılaştırılması



Şekil 5.2. RSFS, RCFS ve RM elemanlarının yük deplasman 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 ( $\delta_{85}$ ). Bu şekil değiştirmenin akma anındaki şekil değiştirmeye oranı deplasman sünekliği oranıdır (Çizelge 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-deplasman grafiğinden ileri ve geri çevrimler olmak üzere iki adet deplasman 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 deplasman sünekliklerinin karşılaştırarak yorumlanmasıyla aşağıdaki sonuçlara varılmıştır. Ayrıca Çizelge 5.1 de deney elemanlarını karşılaştırmak amacıyla, yalın eleman RM elemanının değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deplasman sünekliği (  $\mu\delta = \delta_{85}/\delta_y$  )

Deney	İleri Çevrimde (mm)			Geri Çevrimde (mm)		
	$\delta_y$	$\delta_{85}$	$\delta_{85}/\delta_y$	$\delta_y$	$\delta_{85}$	$\delta_{85}/\delta_y$
SSFS	20,64	45,00	2,18	20,52	57,50	2,80
SCFS	19,58	45,00	2,30	21,11	47,00	2,23
RSFS	19,54	95,80	4,90	19,91	98,80	4,96
RCFS	19,79	61,00	3,08	19,25	67,20	3,49
RM	8,96	63,00	7,03	10,31	62,00	6,01

RM elemanı ile SSFS ve SCFS elemanlarının ileri çevrimdeki süneklikleri kıyaslandığında yalın eleman RM oldukça sünek olduğu görülmüştür. Ayrıca RSFS ve RCFS elemanlarının RM yalın elemanı ile süneklikleri kıyaslandığında, RM elemanının daha sünek olduğu görülmüştür. RSFS ve RCFS elemanlarının SSFS ve SCFS elemanlarından daha sünek olduğu gözlenmiştir.

Geri çevrimde ise; SSFM, SCFM, SSFS, SCFS elemanlarının süneklikleri kıyaslandığında karbonun düz uygulandığı SSFS SCFS den, RSFS de RCFS den daha sünek olduğu görülmüştür. RM elemanı ile SSFS ve SCFS elemanlarının süneklikleri kıyaslandığında yalın eleman RM oldukça sünek olduğu görülmüştür.

RM elemanı ile RSFS ve RCFS elemanlarının ileri çevrimdeki süneklikleri kıyaslandığında yalın elemanın RM oldukça sünek olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.2. Sol kolon eğrilik sünekliği ( $\mu K=K_{85}/K_y$ )

Deney	İleri Çevrimde (mm)			Geri Çevrimde (mm)		
	$K_y$	$K_{85}$	$K_{85}/K_y$	$K_y$	$K_{85}$	$K_{85}/K_y$
SSFS	0,084	0,220	2,6	0,100	0,436	4,4
SCFS	0,107	0,274	2,6	0,084	0,365	4,3
RSFS	0,104	----	----	0,108	----	----
RCFS	0,088	----	----	0,092	----	----
RM	0,038	----	----	0,043	----	----

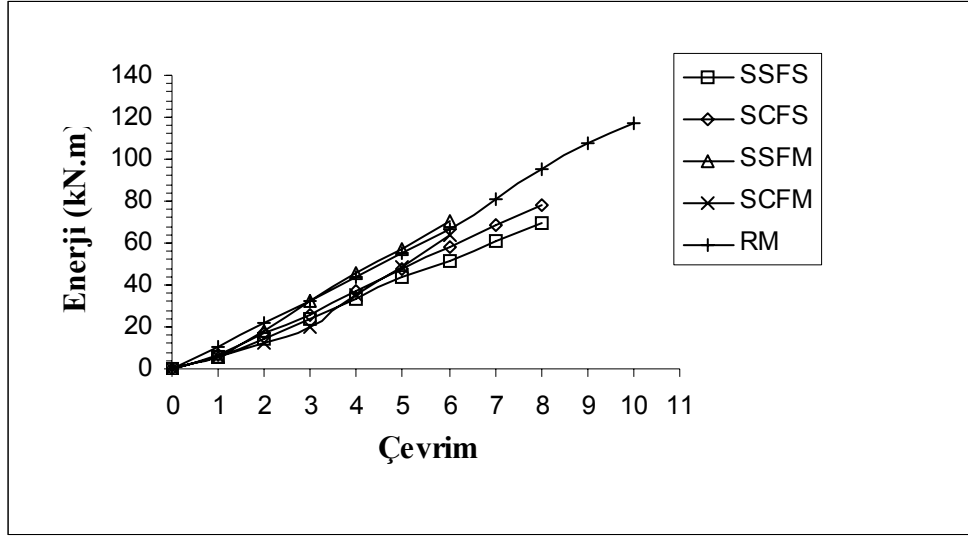
Çizelge 5.3. Sağ kolon eğrilik sünekliği ( $\mu K=K_{85}/K_y$ )

Deney	İleri Çevrimde (mm)			Geri Çevrimde (mm)		
	$K_y$	$K_{85}$	$K_{85}/K_y$	$K_y$	$K_{85}$	$K_{85}/K_y$
SSFS	0,055	0,169	3,1	0,043	0,135	3,1
SCFS	0,099	0,281	2,9	0,090	0,274	3,0
RSFS	0,098	----	----	0,098	----	----
RCFS	0,112	0,371	3,3	0,091	0,405	4,5
RM	0,041	----	----	0,032	----	----

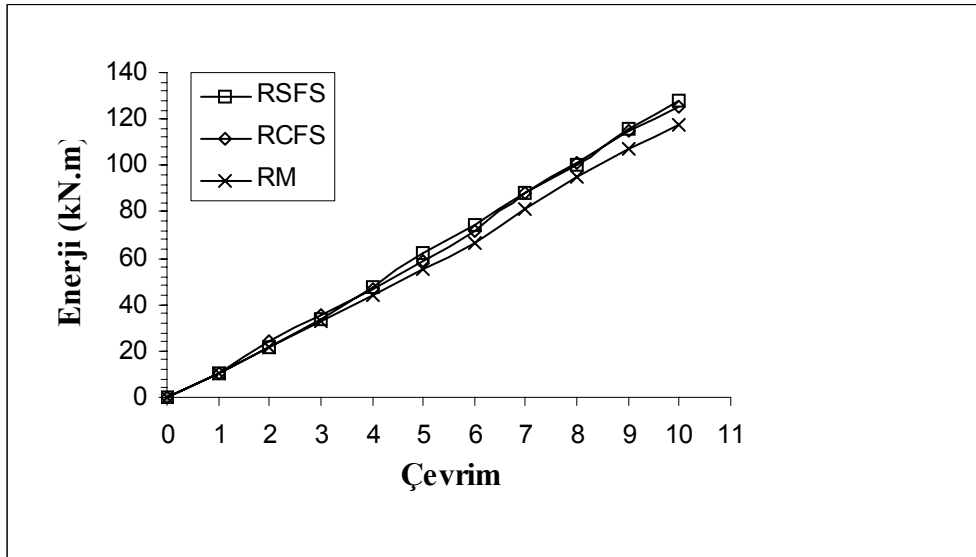
Çizelge 5.2 sol kolon eğrilik sünekliklerinde görüldüğü gibi, SSFS ve SCFS elemanlarının eğrilik sünekliği kıyaslandığında geri çevrimde SSFS elemanının SCFS elemanından daha sünek olduğu görülmüştür. Çizelge 5.3 sağ kolon eğrilik sünekliklerinde, SSFS, SCFS ve RCFS elemanlarının eğrilik sünekliği kıyaslandığında, RCFS elemanının eğrilik sünekliği hem ileri çevrimde hem de geri çevrimde daha sünek olduğu görülmüştür.

### 5.3. Enerji Tüketimi

Deney elemanlarının enerji tüketimleri yük-deplasman grafiklerinden elde edilmiştir. Deney elemanlarının yük-deplasman eğrilerindeki ileri ve geri çevrimlerin yük sıfır eksenine arasında kalan alan o çevrimin enerji kapasitesini göstermektedir. Yük deplasman grafiğinin çizimi için deney sırasında elde edilen kayıtlar doğrultusunda, deney elemanlarının her biri için yük-deplasman 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. Şekil 5.3 de SSFS, SCFS, SSFM, SCFM ve RM elemanlarının enerji çevrim grafikleri verilmiştir. Bu elemanlardan SSFM nin SCFM ve SCFS elemanlarından yaklaşık %46 daha fazla enerji tükettiği görülmüş olup, SSFS elemanından ise %61 daha fazla olduğu görülmüştür. RM elemanının ise SSFS elemanından %27, SCFS elemanından %16, SCFM elemanından ise %13 daha fazla enerji tükettiği görülmüştür. RM elemanı SSFM elemanından ise %27 daha az enerji tükettiği görülmüştür. Şekil 5.4 de RSFS, RCFS ve RM elemanlarının enerji çevrim grafikleri verilmiştir. RSFS elemanının enerji tüketimi RCFS elemanından %3, RM elemanından ise %9 daha fazla enerji tükettiği görülmüştür.



Şekil 5.3. SSFS, SCFS, SSFM, SCFM ve RM elemanlarının enerji-çevrim grafiği



Şekil 5.4. RSFS, RCFS ve RM elemanlarının enerji-çevrim grafiği

#### 5.4. Rijitlik Değişimi

Deney elemanlarının rijitlik değişimleri yük-deplasman grafiklerinden elde edilmiştir. Rijitlik, yük-deplasman 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.

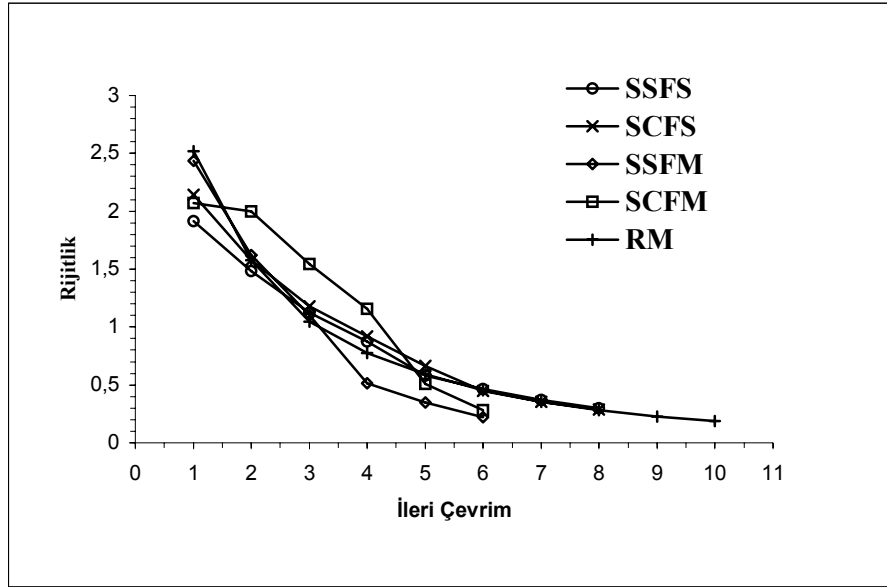
Şekil 5.5 de SSFM, SCFM, SSFS, SCFS ve RM deney elemanlarının rijitlik-ileri çevrim grafiklerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Şekil 5.6 da ise SSFM, SCFM, SSFS, SCFS ve RM deney elemanlarının rijitlik-geri çevrim grafiklerinin karşılaştırılması verilmiştir.

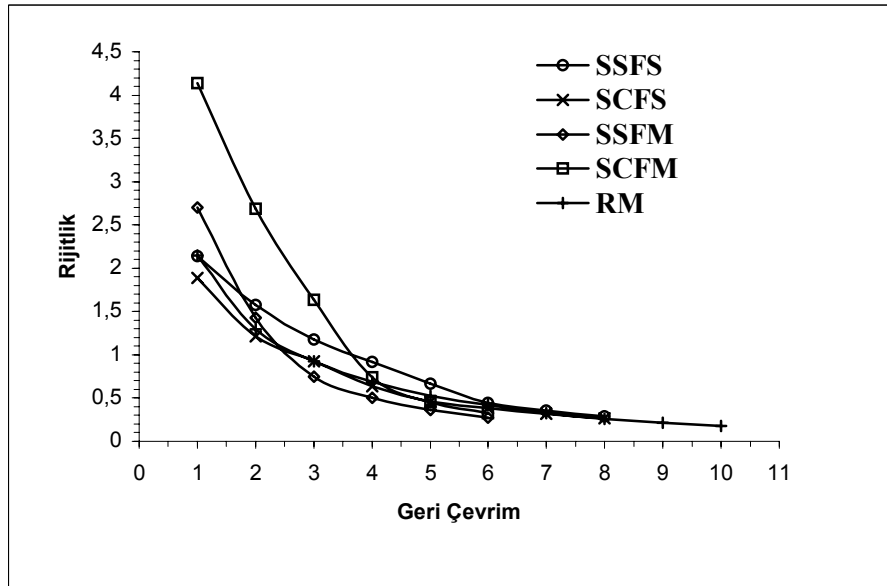
Şekil 5.7 de RSFS, RCFS ve RM elemanlarının rijitlik-ileri çevrim grafiği verilmiştir Şekil 5.8 de de RSFS, RCFS ve RM elemanlarının rijitlik-geri çevrim grafiği verilmiştir.

Şekil 5.5 de, rijitlik ileri çevrim grafiği incelendiğinde SCFM elemanının SSFM, SSFS, SCFS ve RM elemanlarından daha rijit olduğu görülmüştür. RM elemanının ise SSFM, SCFS, SCFS elemanlarından daha rijit olduğu görülmüştür. Şekil 5.6 rijitlik geri çevrim grafiği incelendiğinde ise yine SCFM elemanının en rijit eleman olduğu görülmektedir.

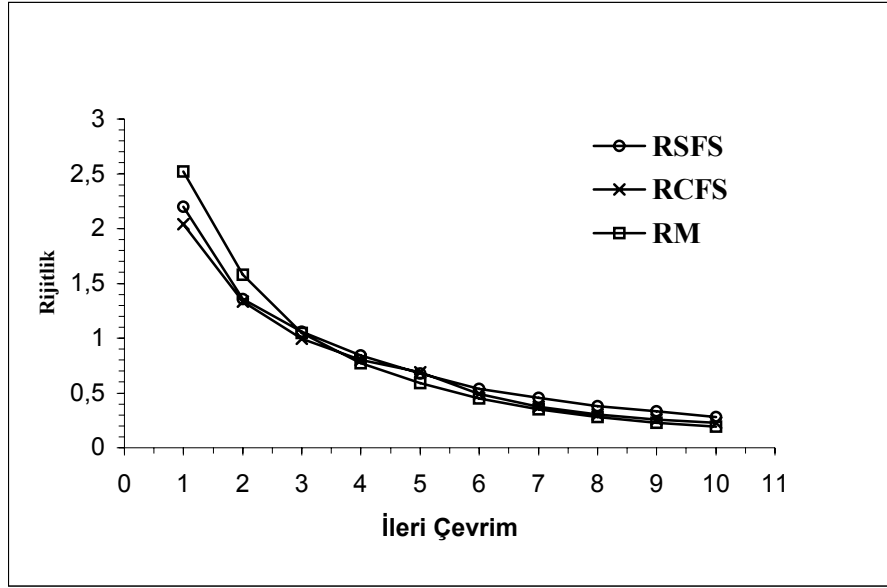
Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 grafikleri incelendiğinde, RM elemanının RSFS ve RCFS elemanlarından her iki grafikte de daha rijit olduğu görülmüştür. RSFS ve RCFS elemanlarının ise rijitliklerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.



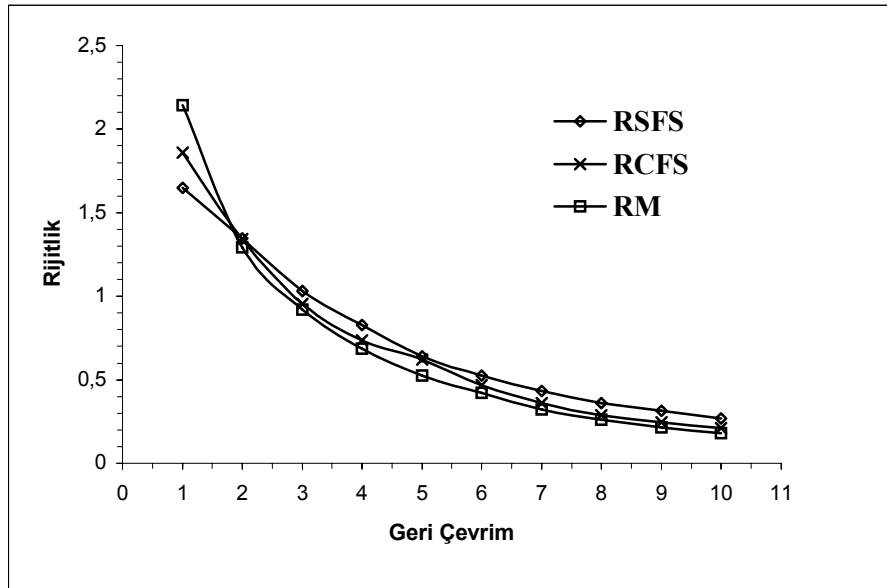
Şekil 5.5. SSFS, SCFS, SSFM SCFM, ve RM elemanlarının rijitlik-ileri çevrim grafiği



Şekil 5.6. SSFS, SCFS, SSFM SCFM, ve RM elemanlarının rijitlik-geri çevrim grafiği



Şekil 5.7. RSFS; RCFS ve RM elemanlarının rijitlik-ileri çevrim grafiği



Şekil 5.8. RSFS; RCFS ve RM elemanlarının rijitlik-geri çevrim grafiği

## 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 içerisinde 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 input 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 ( $\epsilon$ ) karşı gelen kesitin tarafsız eksenini ( $c$ ) 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 toplanan yükün sifira eşitlenmesi ile bitmektedir. Sonuç olarak bu döngüde önceden belirlenmiş olan birim şekil değiştirme karşılık, kesitin taşıyabildiği moment hesaplanır.

Program bir önceki döngüde hesaplarını yaptığı  $\epsilon$  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 çalışmada elemanların deney sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla kullanılan referans elemanı RM elemanı kullanılacaktır.

SSFS ve SCFS deney elemanlarının maksimum dayanımı RM yalın elemanına göre %17 daha fazla olduğu gözlenmiştir. SCFS elemanının ileri çevrimdeki maksimum dayanımı SSFS elemanının maksimum dayanımından yaklaşık %4 daha fazladır. Geri çevrimde ise SSFS deney elemanının maksimum dayanımı SCFS deney elemanının maksimum dayanımından %10 daha fazladır.

Dayanım azalması ise her iki çevrimde de SSFS nin SCFS elemanlarının yük-deplasman grafikleri birbirine çok yakın olduğu görüldü. SSFM, SCFM, SSFS, SCFS ve RM elemanları kıyaslandığında, SSFM ve SCFM elemanlarının RM yalın elemanına göre maksimum dayanımı %61 daha fazla olduğu görülmüştür. SSFM, SCFM, SSFS, SCFS elemanları kıyaslandığında, SSFM ve SCFM elemanlarının maksimum dayanımı SSFS ve SCFS elemanlarının maksimum dayanımından %38 daha fazla olduğu görülmüştür.

RSFS ve RCFS elemanlarının dayanımı RM elemanının maksimum dayanımından %16 daha fazla oldu görülmüştür. RSFS ve RCFS elemanlarının maksimum dayanımları birbirlerine çok yakın çıkmıştır.

RM elemanı ile SSFS ve SCFS elemanlarının ileri çevrimdeki süneklikleri kıyaslandığında yalın eleman RM oldukça sünek olduğu görülmüştür. Ayrıca RSFS ve RCFS elemanlarının RM yalın elemanı ile süneklikleri kıyaslandığında, RM elemanının daha sünek olduğu görülmüştür. RSFS ve RCFS elemanlarının SSFS ve SCFS elemanlarından daha sünek olduğu gözlenmiştir.

Geri çevrimde ise; SSFM, SCFM, SSFS, SCFS elemanlarının süneklikleri kıyaslandığında karbonun düz uygulandığı SSFS SCFS den, RSFS de RCFS den daha sünek olduğu görülmüştür. RM elemanı ile SSFS ve SCFS elemanlarının süneklikleri kıyaslandığında yalın eleman RM oldukça sünek olduğu görülmüştür.

RM elemanı ile RSFS ve RCFS elemanlarının ileri çevrimdeki süneklikleri kıyaslandığında yalın elemanın RM oldukça sünek olduğu görülmüştür.

SSFS, SCFS, SSFM, SCFM ve RM elemanlarının enerji çevrim grafikleri verilmiştir. Bu elemanlardan SSFM nin SCFM ve SCFS elemanlarından yaklaşık %46 daha fazla enerji tükettiği görülmüş olup, SSFS elemanından ise %61 daha fazla olduğu görülmüştür. RM elemanının ise SSFS elemanından %27, SCFS elemanından %16, SCFM elemanından ise %13 daha fazla enerji tükettiği görülmüştür. RM elemanı SSFM elemanından ise %27 daha az enerji tükettiği görülmüştür.

RSFS, RCFS ve RM elemanlarının enerji çevrim grafikleri verilmiştir. RSFS elemanının enerji tüketimi RCFS elemanından %3, RM elemanından ise %9 daha fazla enerji tükettiği görülmüştür.

Rijitlik ileri çevrim grafiği incelendiğinde SCFM elemanının SSFM, SSFS, SCFS ve RM elemanlarından daha rijit olduğu görülmüştür. RM elemanının ise SSFM, SCFS, SCFS elemanlarından daha rijit olduğu görülmüştür. Rijitlik geri çevrim grafiği incelendiğinde ise yine SCFM elemanının en rijit eleman olduğu görülmektedir.

RM elemanının RSFS ve RCFS elemanlarından her iki grafikte de daha rijit olduğu görülmüştür. RSFS ve RCFS elemanlarının ise rijitliklerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

Bu deneyler sonucunda dayanımda belirli bir artış olduğu gözlenirse de, rijitlik, süneklik ve enerji tüketme kapasitelerinde beklenen artış sağlanamamıştır. Bu nedenle, bu çalışmada karbon-fiber bekleneni verememiştir.

Onarım ve güçlendirmede bundan önce yapılan deneysel çalışmalarda; betonarme kesitleri mantolama yoluyla büyüterek veya çelik korniyerlerle güçlendirerek onarım ve güçlendirme deneyleri yapılmıştır.

Gökhan GÜRLER'in (2002) "Betonarme kare kesitli kolonların aksel yük altında çelik korniyerli manto ile onarım ve güçlendirilmesi" 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 uygulanan karbon fiberin bazı özellikleri:

Hızlı ve basit uygulanabilmesi,

Pahalı ve kalifiye işçilik gerektirmeyişi,

Kapladığı alan ve yer kaybı minimum oluşudur.

Malzemeyi uygularken dikkat edilecek en önemli husus yüzeyin hazırlanmasıdır. Yüzey; yağ, kir ve tozdan arındırılmalı, oyuklar tamir harçlarıyla doldurulmalıdır. Malzemenin yüzeye 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 %17 ye varan bir dayanım artışı gözlenmiştir, onarım deneyleri sonucunda ise %16 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*, Ankara, 10-60 (1989).
2. Yumak, Y., Tankut, A. T., and Ersoy, U., “Effects of Bar Development Methods on Jacketed Column Behaviour”, M.Sc. Thesis, *Middle East Technical University*, Ankara, 1-60 (1991).
3. Suleiman, R. E., Tankut, A. T., and Ersoy, U., “Repair and Strengthening of Reinforced Concrete Column”, Ph.D. Thesis, *Middle East Technical University*, Ankara, 1-50 (1991).
4. Demirel, Y., “Onarılmış / Güçlendirilmiş Çift Eğrilikli Betonarme Kolonların Davranış ve Dayanımı”, Yüksek Lisans Tezi, Tübitak Projesi, *Gazi Üniversitesi*, Ankara, 20-100 (1998).
5. Kumbasar, İ., “Karbon Lif Takviyeli Kompozitlerin Yapı Elemanlarının Onarım ve Güçlendirilmesinde Kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 10-50 (2000).
6. Li, J., Bakoss, S.L., Samali, B., Ye, L. “Beton Kiriş Kolon Birleşim Yerlerinde Hibrit Fiber Levhaların Kullanılması” *Ortadoğu Teknik Üniversitesi*, Ankara, 1-8 (1999).
7. Mosalam, K.M., “Betonarme Kolon Kiriş Birleşim Yerlerinin FRP ile Depreme Karşı Güçlendirilmesi”, Yapısal Sistemlerde Lifli Polimer uygulamaları, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi*, Ankara, 1-15 (2005).



**EKLER**



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKDERE, Kemal  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 28.06.1980 Ankara  
Medeni hali : Bekar  
Telefon : 0 (312) 322 45 09  
Faks : -----  
e-mail : [kemalakdere06@hotmail.com](mailto:kemalakdere06@hotmail.com).

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /İnşaat Müh.	2006
Lisans	Kırıkkale Üniversitesi/ İnşaat Müh.	2002
Lise	Aydınlık Evler Lisesi	1997

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2002-2003	Oyak İnşaat	İnşaat Müh.
2003-2004	Aysel İnşaat	İnşaat Müh

### Yabancı Dil

İngilizce

### Hobiler

Kitap Okumak