

**ONARILMIŞ/GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME KİRİŞLERİN
DEPREM DAVRANIŞI**

Sabahattin AYKAÇ

9 3476

**DOKTORA TEZİ
(İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ)**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

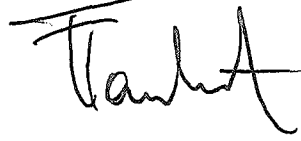
Ağustos 2000

ANKARA



**Bu tez,
biricik kızım Ece'ye
ithaf edilmiştir.**

Sabahattin AYKAÇ tarafından hazırlanan ONARILMIŞ/GÜÇLENDİRİLMİŞ
BETONARME KİRİŞLERİN DEPREM DAVRANIŞI adlı bu tezin doktora
tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



Prof. Dr. Tuğrul TANKUT

Tez Yöneticisi



Prof. Dr. Hüsnü CAN

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalın'da doktora
tezi olarak kabul edilmiştir.

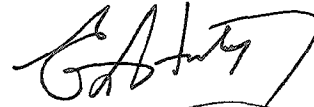
Başkan : Prof. Dr. Uğur ERSOY

Üye : Prof. Dr. Tuğrul TANKUT

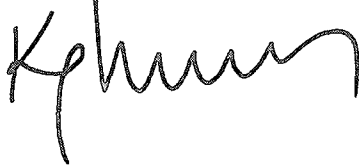
Üye : Prof. Dr. Hüsnü CAN

Üye : Prof. Dr. Ergin ATIMTAY

Üye : Prof. Dr. Sinan ALTIN



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



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	v
SİMGELER	xi
1. GİRİŞ	1
2. AMAÇ VE KAPSAM	4
2.1. Amaç	4
2.2. Kapsam	5
3. GEÇMİŞTEKİ ÇALIŞMALAR	6
3.1. Kiriş Rehabilitasyon Yöntemleri	6
3.1.1. Tevfik Çetin Ünsal'ın çalışması	7
3.1.2. Tahsin Fırat Çelikel'in çalışması	8
3.1.3. İsmail Özdemir'in çalışması	9
3.1.4. Mehmet Arslan'ın çalışması	11
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	13
4.1. Deney Elemanı İlkeleri	13
4.2. Deney Elemanları	13
4.3. Malzeme Dayanımları	36
4.3.1. Donatı dayanımları	36
4.3.2. Beton dayanımları	36

4.4.	Deney Düzeni	38
4.4.1.	Yükleme düzeni	38
4.4.2.	Ölçüm düzeni	40
4.5.	Ölçümlerin Değerlendirilmesi	41
4.5.1.	Yük ölçümlerinin değerlendirilmesi	41
4.5.2.	Deplasman ölçümlerinin değerlendirilmesi	43
4.5.2.1.	Kiriş ucundaki net deplasmanların hesabı	43
4.5.2.2.	Kayma ve eğilme deformasyonlarının hesabı	45
4.5.2.3.	Moment-eğrilik ilişkisinin hesabı	49
4.5.2.4.	Eğilme rijitliklerinin hesabı	51
4.5.2.5.	Enerji tüketme kapasitelerinin hesabı	52
4.5.2.6.	Süneklik oranlarının hesabı	53
5.	DENEYLER	54
5.1.	M5 Deneyi	55
5.2.	BC5 Deneyi	60
5.3.	RC5 Deneyi	63
5.4.	RRC5 Deneyi	67
5.5.	M3 Deneyi	73
5.6.	M3S Deneyi	80
5.7.	SC Deneyi	86
5.8.	RSC Deneyi	93
5.9.	BC Deneyi	99
5.10.	RC Deneyi	103
5.11.	RRC Deneyi	110
5.12.	SM Deneyi	117
5.13.	BM Deneyi	125
5.14.	RM Deneyi	130
5.15.	SE Deneyi	138

5.16.	BE Deneyi	144
5.17.	RE Deneyi	148
5.18.	RRE Deneyi	156
6.	DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	163
6.1.	Davranış ve Dayanım	163
6.1.1.	Onarılmış elemanlar	166
6.1.2.	Güçlendirilmiş elemanlar	172
6.1.3.	Diriltilmiş elemanlar	177
6.2.	Moment-Eğrilik İlişkisi	185
6.3.	Yük-Kayma Deformasyonu İlişkisi	207
6.4.	Deney Elemanlarının Eğilme Rijitliği	229
6.5.	Deney Elemanlarının Enerji Tüketme Kapasitesi	242
6.6.	Deney Elemanlarının Süneklik Kapasitesi	252
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER	255
7.1.	Sonuçlar	255
7.2.	Öneriler	259
	KAYNAKLAR	261
	EK	263
	ÖZGEÇMİŞ	273

ONARILMIŞ/GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME KİRİŞLERİN DEPREM DAVRANIŞI

(Doktora Tezi)

Sabahattin AYKAÇ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ağustos 2000

ÖZET

Düşey yükler altında yetersizliği anlaşılmış veya hasar görmüş olan betonarme kirişlerin, içinde yeni donatı olan bir beton katmanla, bir veya iki yüzünden güçlendirilmesi/onarılması sıklıkla uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntemle güçlendirilmiş/onarılmış betonarme kirişlerin tek düze veya yinelenir yükler altındaki davranışı bilinmesine rağmen, deprem yükleri altında ne denli başarılı bir davranış gösterdiği yeterince bilinmemektedir. Bu çalışmanın amacı, kirişlerin depreme karşı güçlendirilmesi/onarılması için bir yöntem araştırmak değildir. Bu çalışmada başka nedenlerle, katman ekleme tekniği ile güçlendirilmiş/onarılmış betonarme kirişlerin depremi benzeştiren tersinir yinelenir yükler altındaki davranışı araştırılmıştır. Ayrıca sonradan eklenen kiriş boyuna donatısını kenetleme yöntemlerinin davranış ve dayanım üzerindeki etkileri de araştırılmıştır. Araştırma sonunda katman ekleme tekniği ile güçlendirilmiş/onarılmış betonarme kirişlerin depremi benzeştiren tersinir yinelenir yükler altında başarılı bir davranış sergilediği görülmüştür. Ağır hasar sonrası onarılmış (diriltilmiş) kirişlerde ise yeterli bir süneklik gözlenmediği için sınırlı bir başarı elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 624 03 01

Anahtar Kelimeler : Betonarme kirişler, onarım, güçlendirme, diriltme

Sayfa Adedi : 293

Tez Yöneticileri : Prof.Dr.Tuğrul TANKUT ve Prof.Dr.Hüsnü CAN

**EARTHQUAKE BEHAVIOR OF REPAIRED/STRENGTHENED
REINFORCED CONCRETE BEAMS**

(Ph.D. Thesis)

Sabahattin AYKAÇ

GAZİ UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

August 2000

ABSTRACT

The most commonly used technique for repairing or strengthening of reinforced concrete beams, from one or two faces, which are insufficient or damaged under the vertical loads is to add a new concrete layer carrying new longitudinal reinforcement. Although the behaviour of the strengthened/ repaired reinforced concrete beams with this method under the monotonous or repeated loads is known, the behaviour under the seismic loads is not clear yet. The objective of this study is not to search for a new strengthening/repair method for seismic loads. In this study, the behaviour of the reinforced concrete beams, strengthened/repaired for some other reasons with adding a new layer technique, has been investigated under the reversal cyclic loading that simulates seismic loads. The effects of various anchorage bond methods of new layer bars, on the behaviour and strength of the beams has also been studied. At the end of this research it was observed that, strengthened/repaired reinforced concrete beams with adding a new layer technique behaved successfully well under the reversal cyclic loading that simulates seismic loads. A limited success has been reached for the beams which are repaired after heavy damage (revival) because sufficient ductility could not be observed.

Science Code : 624 03 01

Key Words : Reinforced beams, repair, strengthening, revival

Page Number : 293

Advisers : Prof.Dr.Tuğrul TANKUT and Prof.Dr.Hüsnü CAN

TEŞEKKÜR

Bu tezin konusunu oluşturan deneyler, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nün Yapı Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu laboratuvarın kurulup geliştirilmesinde büyük emekleri geçen ve beni yetiştiren değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Tuğrul TANKUT 'a sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ayrıca bu tezin hazırlanmasındaki yardımlarından dolayı değerli hocam ve ikinci tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hüsnü CAN 'a da teşekkür ederim. Deneylerde ve tezin yazımında maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen eşim Bengi ile kendinden çalınan zamanı anlayışla karşılayan biricik kızım Ece'ye, beni bu günlere getiren anne ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bu tez Türkiye bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumunun İNTAG-549 nolu projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle Türkiye bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumuna ve çalışmada kullanılan epoksi ihtiyacını karşılayan PROMAK firması ile laboratuvar sorumlusu uzman Faruk OGÜN'e teşekkür ederim.

Sabahattin AYKAÇ

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Deney programı	15
Çizelge 4.2. Ortalama donatı dayanımları	37
Çizelge 4.3. Ortalama beton dayanımları	37
Çizelge 6.1. Plastik çevrimlerdeki maksimum yüklerin aynı çevrimlerdeki monolitik eleman yüklerine oranları	182
Çizelge 6.2. Deney elemanlarına ait bazı büyüklüklerin karşılaştırılması	254

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Deney elemanlarının kenar bir düğüme benzeştirilmesi	14
Şekil 4.2. M5 elemanının boyut ve donatı detayı	22
Şekil 4.3. BC5 elemanının boyut ve donatı detayı	23
Şekil 4.4. RC5 elemanının boyut ve donatı detayı	24
Şekil 4.5. M3 elemanının boyut ve donatı detayı	25
Şekil 4.6. M3S elemanının boyut ve donatı detayı	26
Şekil 4.7. SC, RSC, RRC elemanlarının boyut ve donatı detayı	27
Şekil 4.8. BC elemanının boyut ve donatı detayı	28
Şekil 4.9. RC elemanının boyut ve donatı detayı	29
Şekil 4.15. BM ve BE elemanlarının boyut ve donatı detayı	30
Şekil 4.11. SM elemanının boyut ve donatı detayı	31
Şekil 4.12. Mekanik kenetlemenin detay çizimleri	32
Şekil 4.13. RM elemanının boyut ve donatı detayı	33
Şekil 4.14. SE ve RRE elemanlarının boyut ve donatı detayı	34
Şekil 4.15. RE elemanının boyut ve donatı detayı	35
Şekil 4.16. Yük ve ölçüm düzeni	39
Şekil 4.17. Sıradan bir deney elemanlarının deformasyon bileşenleri	44
Şekil 4.18. Birinci ve ikinci bölgedeki kayma deformasyonları	46
Şekil 4.19. Birinci ve ikinci bölgedeki eğilme deformasyonları	50
Şekil 5.1. M5 deney elemanının yük ve deplasman geçmişi	58
Şekil 5.2. M5 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	59

Şekil 5.3.	BC5 deney elemanının yük ve deplasman geçmişi	61
Şekil 5.4.	BC5 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	62
Şekil 5.5.	RC5 deney elemanının yük ve deplasman geçmişi	65
Şekil 5.6.	RC5 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	66
Şekil 5.7.	RRC5 deney elemanının yük ve deplasman geçmişi	71
Şekil 5.8.	RRC5 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	72
Şekil 5.9.	M3 deney elemanının yük ve deplasman geçmişi	78
Şekil 5.10.	M3 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	79
Şekil 5.11.	M3S deney elemanının yük ve deplasman geçmişi	84
Şekil 5.12.	M3S deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	85
Şekil 5.13.	SC deney elemanının yük ve deplasman geçmişi	91
Şekil 5.14.	SC deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	92
Şekil 5.15.	RSC deney elemanının yük ve deplasman geçmişi	97
Şekil 5.16.	RSC deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	98
Şekil 5.17.	BC deney elemanının yük ve deplasman geçmişi	101
Şekil 5.18.	BC deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	102
Şekil 5.19.	RC deney elemanının yük ve deplasman geçmişi	108
Şekil 5.20.	RC deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	109
Şekil 5.21.	RRC deney elemanının yük ve deplasman geçmişi	115
Şekil 5.22.	RRC deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	116
Şekil 5.23.	RRC deney elemanının yük ve deplasman geçmişi	123
Şekil 5.24.	RRC deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	124
Şekil 5.25.	BM deney elemanının yük ve deplasman geçmişi	128
Şekil 5.26.	BM deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	129

Şekil 5.27.	RM deney elemanının yük ve deplasman geçmişi	136
Şekil 5.28.	RM deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	137
Şekil 5.29.	SE deney elemanının yük ve deplasman geçmişi	142
Şekil 5.30.	SE deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	143
Şekil 5.31.	BE deney elemanının yük ve deplasman geçmişi	146
Şekil 5.32.	BE deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	147
Şekil 5.33.	RE deney elemanının yük ve deplasman geçmişi	154
Şekil 5.34.	RE deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	155
Şekil 5.35.	RRE deney elemanının yük ve deplasman geçmişi	161
Şekil 5.36.	RRE deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	162
Şekil 6.1.	BC5, RC5 ve M5 deney elemanlarının yük-deplasman zarf eğrileri	167
Şekil 6.2.	BC, RC ve M3S deney elemanlarının yük-deplasman zarf eğrileri	168
Şekil 6.3.	BM, RM ve M3S deney elemanlarının yük-deplasman zarf eğrileri	170
Şekil 6.4.	BE, RE ve M3S deney elemanlarının yük-deplasman zarf eğrileri	171
Şekil 6.5.	SC ve M3 deney elemanlarının yük-deplasman zarf eğrileri	173
Şekil 6.6.	SE ve M3 deney elemanlarının yük-deplasman zarf eğrileri	174
Şekil 6.7.	SM ve M3 deney elemanlarının yük-deplasman zarf eğrileri	175

Şekil 6.8.	BC5, RRC5 ve M5 deney elemanlarının yük-deplasman zarf eğrileri	178
Şekil 6.9.	RSC ve M3 deney elemanlarının yük-deplasman zarf eğrileri	179
Şekil 6.10.	BC, RRC ve M3 deney elemanlarının yük-deplasman zarf eğrileri	180
Şekil 6.11.	BE, RRE ve M3 deney elemanlarının yük-deplasman zarf eğrileri	181
Şekil 6.12.	M5 deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi	189
Şekil 6.13.	BC5 deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi	190
Şekil 6.14.	RC5 deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi	191
Şekil 6.15.	RRC5 deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi	192
Şekil 6.16.	M3 deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi	193
Şekil 6.17.	M3S deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi	194
Şekil 6.18.	SC deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi	195
Şekil 6.19.	RSC deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi	196
Şekil 6.20.	BC deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi	197
Şekil 6.21.	RC deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi	198
Şekil 6.22.	RRC deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi	199
Şekil 6.23.	SM deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi	200
Şekil 6.24.	BM deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi	201
Şekil 6.25.	RM deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi	202
Şekil 6.26.	SE deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi	203
Şekil 6.27.	BE deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi	204

Şekil 6.28.	RE deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi	205
Şekil 6.29.	RRE deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi	206
Şekil 6.30.	M5 deney elemanının kayma deformasyonları	211
Şekil 6.31.	BC5 deney elemanının kayma deformasyonları	212
Şekil 6.32.	RC5 deney elemanının kayma deformasyonları	213
Şekil 6.33.	RRC5 deney elemanının kayma deformasyonları	214
Şekil 6.34.	M3 deney elemanının kayma deformasyonları	215
Şekil 6.35.	M3S deney elemanının kayma deformasyonları	216
Şekil 6.36.	SC deney elemanının kayma deformasyonları	217
Şekil 6.37.	RSC deney elemanının kayma deformasyonları	218
Şekil 6.38.	BC deney elemanının kayma deformasyonları	219
Şekil 6.39.	RC deney elemanının kayma deformasyonları	220
Şekil 6.40.	RRC deney elemanının kayma deformasyonları	221
Şekil 6.41.	SM deney elemanının kayma deformasyonları	222
Şekil 6.42.	BM deney elemanının kayma deformasyonları	223
Şekil 6.43.	RM deney elemanının kayma deformasyonları	224
Şekil 6.44.	SE deney elemanının kayma deformasyonları	225
Şekil 6.45.	BE deney elemanının kayma deformasyonları	226
Şekil 6.46.	RE deney elemanının kayma deformasyonları	227
Şekil 6.47.	RRE deney elemanının kayma deformasyonları	228
Şekil 6.48.	RC5 ve RRC5'in monolitiğe göre rijitlik değişimi	231
Şekil 6.49.	SC ve RSC'nin monolitiğe göre rijitlik değişimi	232
Şekil 6.50.	RC'nin monolitiğe göre rijitlik değişimi	234
Şekil 6.51.	RRC'nin monolitiğe göre rijitlik değişimi	235

Şekil 6.52.	SM'nin monolitiğe göre rijitlik değişimi	236
Şekil 6.53.	RM'nin monolitiğe göre rijitlik değişimi	238
Şekil 6.54.	SE'nin monolitiğe göre rijitlik değişimi	239
Şekil 6.55.	RE'nin monolitiğe göre rijitlik değişimi	240
Şekil 6.56.	RRE'nin monolitiğe göre rijitlik değişimi	241
Şekil 6.57.	RC5, RRC5 ve M5 deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri	243
Şekil 6.58.	SC, RSC ve M3 deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri	244
Şekil 6.59.	RC ve M3S deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri	245
Şekil 6.60.	RRC ve M3 deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri	246
Şekil 6.61.	SM ve M3 deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri	247
Şekil 6.62.	RM ve M3S deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri	248
Şekil 6.63.	SE ve M3 deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri	249
Şekil 6.64.	RE ve M3S deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri	250
Şekil 6.65.	RRE ve M3 deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri	251

SİMGELER

Bu çalışmada kullanılmış simgelerin açıklamaları aşağıda sunulmuştur.

Simge	Açıklama
A_c	Kolon veya kirişin kesit alanı
a	Kesme açıklığı (veya ölçüm bölgesinin genişliği)
α	Ölçüm bölgesinin diyagonal açısı
b	Ölçüm bölgesinin yüksekliği
c	4 ve 5 nolu (D4,D5) LVDT eksenleri arasındaki dik uzaklık
$D1,D2,...$	Elektronik deplasman ölçerlere (LVDT) verilen ad
d	Kiriş etkili yüksekliği
d_i	“D _i ” LVDT sinden ölçülen deplasman
d_h	Deney elemanının rijit yatay ötelenmesi
d_θ	Düğümdeki dönmeden dolayı, d_i doğrultusunda oluşan deplasman
d_{net}	Kiriş ucunun yatay yöndeki net deplasmanı (eğilme+kayma)
d_{12x}	d_{12} nin yatay iz düşümü
d_{13x}	d_{13} ün yatay iz düşümü
d_{1x}	Birinci bölgedeki ortalama yatay kayma deformasyonu
d_{2x}	İkinci bölgedeki ortalama yatay kayma deformasyonu
d_e	Kiriş ucunda sadece eğilme etkileri ile oluşan deplasman
d_{85}	Deney elemanının yük-deplasman zarf eğrisinin, monolitik eleman dayanımının %85’inden geçen yatay doğruyu ikinci kez kestiği noktadaki deformasyon
$d_{85Mono.}$	Monolitik eleman dayanımının %85’inden geçen yatay doğrunun monolitik eleman yük-deplasman zarf eğrisini ikinci kez kestiği noktadaki deformasyon
d_y	Kirişin akma deformasyonu
f_y	Donatının ortalama akma dayanımı

f_u	Donatının ortalama kopma dayanımı
f_c	Betonun ortalama basınç dayanımı (silindir)
f_{ck}	28 günlük betonun karakteristik basınç dayanımı
ϕ	Donatı çapı (mm)
γ_{12}	Birinci bölgede d_{12} ile hesaplanan kayma açısı
γ_{13}	Birinci bölgede d_{13} ile hesaplanan kayma açısı
γ_1	Birinci bölgedeki ortalama kayma açısı
k_i	i. ölçüm bölgesindeki eğrilik
L	Kolon ekseni ile D1 adlı LVDT ekseni arasındaki dik uzaklık
LVDT	Elektronik deplasman ölçer
N_d	Hesap eksenel yükü
N_c	Kolon eksenel yükü
P	Yük-deplasman zarf eğrisinin ileri yönde en büyük (geri yönde en küçük) yükü
$P_{Mono.}$	Monolitik eleman yük-deplasman zarf eğrisinin ileri yönde en büyük (geri yönde en küçük) yükü
θ	Düğümün (kolon-kiriş birleşiminin) dönme açısı
θ_i	i. ölçüm bölgesindeki rölatif dönme açısı
V_c	Kolon kesme kuvveti
V_b	Kiriş kesme kuvveti

1. GİRİŞ

Betonarme kirişler genelde yatay ya da yataya yakın olan ve enkesit boyutları üçüncü boyut olan uzunluğa göre daha küçük olan taşıyıcı elemanlardır. Bu nedenle yaygın bir alışkanlıkla yatay konumdaki elemanlar kiriş, düşey konumdakiler ise kolon olarak adlandırılır. Gerçekte kirişleri kolonlardan ayıran en önemli fark aksenal yük düzeyidir. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelikte [1] $N_d \leq 0.1 A_c f_{ck}$ koşulunu sağlayan elemanların kiriş olarak adlandırılabilmesi belirtilmiştir. Kirişler genelde iki uçtan kolonlara mesnetlenirler. Betonarme taşıyıcı sistemlerde bir veya iki ucundan başka bir kirişe mesnetlenmiş bindirme kirişler olabileceği gibi bir ucu boşta olan konsol kirişlere de oldukça raslanmaktadır. Kirişli betonarme döşemelerde kirişler mesnet bölgelerinde dikdörtgen, açıklık bölgelerinde ise tablalı olarak çalışırlar. Ancak özellikle sanayi türü yapılarda tablasız dikdörtgen kesitli kirişler de yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapım teknolojisi bakımından betonarme kirişler ön germeli, art germeli, ön dökümlü, yerinde dökümlü gibi sınıflara ayrılırlar. Kirişlerin bir eğilme elemanı gibi çalışması için kiriş boyunun yüksekliğine oranının belirli bir değerden az olmaması istenir. TS500 de [2] moment sıfır noktaları arasındaki uzaklığın kiriş yüksekliğine oranı 2 den az olan kirişler “yüksek kiriş” olarak adlandırılmakta ve yüksek kirişleri için klasik kiriş teorisinin geçerli olmadığı belirtilmektedir. Bu çalışmada, aksi belirtilmedikçe, ön veya art germesiz, yerinde dökülmüş ve yüksek kiriş sınıfına girmeyen betonarme kirişlerden bahsedilmektedir. Ayrıca kirişlerin dikdörtgen kesitli ve prizmatik oldukları ve tek eksenle eğilmeye zorlandıkları varsayılmaktadır. Ancak çalışmadan elde edilen sonuçların tablalı ya da dikdörtgene yakın kesitli kirişlerde de kullanılabileceği açıktır. Kirişler döşeme ve duvarlardan üzerlerine gelen, genelde düşey, yükleri kolonlara aktarırlar. Ayrıca döşemelerin aksenal ve eğilme rijitliklerini arttırarak deprem yüklerinin kolonlara daha düzgün olarak dağıtılmasını

sağlarlar. Düşey yöndeki stabilitesi denge denklemlerine bağlı olmayan betonarme kirişlerde kesitten kesite adaptasyon yeteneği oldukça fazladır. Bunun yanı sıra öngörülen beton dayanımındaki olası değişiklikler de kiriş taşıma gücünü oldukça az etkiler. Bu bakımdan kirişler, betonarme yapıların döşemelerden sonra en hoşgörülü elemanları olmasına rağmen bazen proje hataları, yapım hataları, yapının kullanım amacının değişmesi gibi nedenlerden ötürü kirişlerde taşıma, titreşim veya aşırı deformasyonlardan dolayı kullanım sorunları oluşabilmektedir. Özellikle stabilitesi dengeyi sağlayan kuvvetlere bağlı olan kirişlerde bu sorunlar daha çok önem kazanmaktadır. Çünkü bu tip kirişlerde dengeyi sağlayan kuvvetlerden herhangi birinin yok olması kirişin stabilitesini yitirmesine neden olmaktadır.

Yapılarda bu türden sorunlar çıktığında izlenebilecek iki yol vardır. Bunlardan ilki yapıyı yeniden inşa etmek ikincisi ise yetersizliği giderici tedbirler (onarım veya güçlendirme) almaktır. Ancak yapıyı yeniden inşa etmek çoğu zaman ekonomik olmaz ve mühendisi genelde daha ucuz olan yerel iyileştirme çözümlerine yöneltir. Bu ise ancak yapının düşey ve yatay taşıyıcılarının tüm fonksiyonlarını yitirmedeği durumlarda mümkündür.

Kirişlere uygulanabilecek olan iyileştirme (rehabilitasyon) yöntemi onarım veya güçlendirme olabilir. Bilindiği gibi güçlendirme ve onarım kavramları arasında önemli bir fark vardır. Güçlendirme, hiç hasar görmemiş veya çok az hasar görmüş elemanın kesit taşıma gücünü istenilen düzeye çıkarmak için yapılan iyileştirme işlemidir. Onarım ise hasar görmüş elemanın kesit taşıma gücünü eski düzeye veya daha yukarısına çıkarmak için yapılan işlemdir. Eğer söz konusu eleman ağır hasar görmüş ise bu durumda yapılan onarıma genelde “diriltme işlemi” denmektedir. Burada kirişler için bahsedilen hasar tanımları aşağıda verilmiştir.

Hafif hasar : Çekme donatısında akma ve betonda ezilme olmaksızın, beton üzerinde görülen kılcal çatlaklar hafif hasar olarak tanımlanmaktadır.

Orta hasar : Kiriş üzerinde çekme donatılarında akma olduğunu belirten çatlaklar, sargılanmamış betonda (pas payında) ezilme ve basınç donatılarında burkulma başlangıcı orta hasar olarak tanımlanmaktadır.

Ağır hasar : Çekme donatılarında kopma veya kopmaya yakın büyük deformasyonlar, basınç donatılarında belirgin burkulma, sargılanmış (etriye içindeki) betonda ezilme ve betonda önemli kesit kayıpları, etriyelerde kopma veya açılma, ağır hasar olarak tanımlanmaktadır.

Bu çalışmada, düşey yükler altında hasar görmüş veya yetersizliği anlaşılmış ve katman ekleme yöntemi ile onarılmış/güçlendirilmiş betonarme kirişlerin depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yükler altındaki davranışı araştırılmıştır.

2. AMAÇ VE KAPSAM

2.1. Amaç

Düşey yükler altında yetersizliği anlaşılmış veya hasar görmüş olan betonarme kirişlerin rehabilitasyonunda kullanılan en yaygın yöntemlerden biri, içinde yeni boyuna donatı olan bir beton katmanla, kirişi bir veya iki yüzünden onarmak veya güçlendirmektir. Bu yöntemde önce katman eklenecek kiriş yüzü pürüzlendirilir. Daha sonra yeni boyuna donatılar kolona kimyasal olarak ankre edilir veya mekanik yöntemlerle bağlanır. Kiriş ile katman arasındaki sürekliliği ve yük aktarımını sağlamak amacıyla mevcut kirişin etriyelerine kaynakla bağlanan, etriye ile aynı çaplı, U-şeklindeki donatılar kullanılır. Aynı amaçla Z-şekilli donatılar da kullanılabilir. Bu türden bir uygulamada mevcut boyuna donatılar ile yeni boyuna donatılar birbirlerine Z-şeklindeki donatılar ile kaynaklanarak tutturulur. Son olarakta katman betonu dökülür.

Bu çalışmanın amacı, yapıların ya da elemanların depreme karşı onarılması/güçlendirilmesi için bir yöntem araştırmak değildir. Bu çalışmada başka nedenlerle, katman ekleme tekniği ile onarılmış/güçlendirilmiş kirişlerin depremi benzeştiren tersinir yinelenir yük altındaki davranışını araştırılmıştır. Yeni boyuna donatı taşıyan bir katman eklenmesi, betonarme kirişlerin eğilme için onarımı/güçlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Açıklık kesitlerine uygulandığında, bu yöntemin tek düze ve yinelenir yükler altında oldukça başarılı olduğu son yıllarda yapılan deneysel çalışmalarla gösterilmiştir [3-15].

Bu yöntemle onarılmış/güçlendirilmiş kirişlerin, depremi benzeştiren tersinir yinelenir yük altındaki, davranışı da bu çalışmada araştırılmıştır. Bu tür bir uygulama sonucunda ortaya çıkabilecek güçlü kiriş-zayıf kolon sorunu bu çalışmanın ilgi alanı içinde değildir. Bu durumda, uygulamacının geliştirebileceği çeşitli yöntemler vardır.

2.2. Kapsam

Bu deneysel çalışmada yukarıda anlatılan yöntemin etkinliğini, davranış ve dayanım üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla bir dizi deney yapılmıştır. Laboratuvar olanakları göz önünde tutularak 10 deney elemanı üzerinde 18 deney yapılmış ve olabildiğince çok değişken incelenmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında incelenen başlıca parametreler aşağıda sunulmuştur.

1. İşlem türü,

- Güçlendirme (hasar olmadan uygulama),
- Onarım (yalın elemana orta hasar sonrasında uygulama),
- Diriltme (ağır hasar sonrasında uygulama).

2. Yeni donatıların eski betona kenetleme yöntemi,

- Sürekli donatı kullanılması,
- Donatının mekanik olarak kenetlenmesi,
- Donatının epoksi ile ankrajı.

3. Kesme açıklığı,

- Küçük kesme açıklığı ($a/d \leq 3$),
- Orta büyüklükte kesme açıklığı ($a/d \leq 5$).

4. Katman sayısı,

- Sadece üst yüze bir katman
- Her iki yüzde.

3. GEÇMİŞTEKİ ÇALIŞMALAR

3.1. Kiriş Rehabilitasyon Yöntemleri

Bugüne kadar kirişlerin rehabilitasyonu ile ilgili bir çok araştırma yapılmıştır. Temel olarak kesit kapasitesini artırmaya yönelik çalışmalar beş grupta toplanabilir.

- Çelik elemanlar ile rehabilitasyon yöntemleri
- Art germe ile rehabilitasyon yöntemleri
- Epoksi ve karbon lifler ile rehabilitasyon yöntemleri
- Epoksi ve çelik levhalar ile rehabilitasyon yöntemleri
- Katman ekleme yöntemi ile rehabilitasyon yöntemleri

Yukarıda sıralanan ve kesit kapasitesini artırmaya yönelik rehabilitasyon yöntemlerinin dışında kiriş açıklığını düşürerek kirişlerin davranış ve dayanımını iyileştirmeye yönelik yöntemler de mevcuttur [17]. Bu yöntemlerde kiriş ortasına ek kolon konarak kiriş kapasitesi artırılmaktadır. En yaygın rehabilitasyon yöntemlerinden biri bu deneysel çalışmanın da konusu olan katman ekleme yöntemidir. Katman ekleme yöntemi ile ilgili olarak bugüne kadar bir çok deneysel çalışma yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu projenin kapsamındaki deneysel çalışmaların ön hazırlığı niteliğinde olan ve Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiş olan bu çalışmalardan bazıları aşağıda sunulmuştur. Katman ekleme yöntemi ile ilgili diğer çalışmalar [19]-[24] nolu kaynaklarda gösterilmiştir. Ayrıca doğrudan ilgili olmasa da, epoksi ve çelik levhaların kullanılmış olduğu ve katman ekleme yöntemine kıyasla etkinliğinin araştırıldığı bir rehabilitasyon yöntemi de [16] aşağıda verilmiştir. Çelik levhalarla ilgili diğer rehabilitasyon yöntemleri [25]-[28] nolu kaynaklarda gösterilmiştir. Ayrıca alternatif bir rehabilitasyon yöntemi olarak son yıllarda özellikle yurt dışında yaygınlaşmaya başlamış olan polimer kökenli donatılarla rehabilitasyon yöntemleri ile ilgili çalışmalar da [29]-[40] nolu kaynaklarda gösterilmiştir.

3.1.1. Tefvik Çetin Ünsal'ın çalışması [13]

Bu çalışmada güçlendirilmiş betonarme kirişlerin monotonik yük altında davranış ve dayanımını araştırmak üzere yedi adet orta ölçekli deney elemanı denenmiştir. 150x250 mm dikdörtgen kesitli, 3 m uzunluğundaki yalın kirişler 2 ϕ 14 çekme, 2 ϕ 10 basınç ve ϕ 6/125 mm etriye ile donatılmış olarak üretildikten sonra çekme yüzündeki pas payı kırılarak bu bölgeye içinde 2 ϕ 14 donatı bulunan 50 mm kalınlığında yeni bir beton katmanı dökülmüştür. Yeni çekme donatısı eski çekme donatısına U-şeklindeki yarım etriyeler ve/veya Z-şeklindeki bağ demirleri ile kaynaklanmıştır. Deneysel çalışmada aşağıdaki değişkenlerin araştırılması amaçlanmıştır.

- Güçlendirme ile amaçlanan taşıma gücüne ne kadar yaklaşılacağı,
- Güçlendirmede kullanılan ek etriyelerin güçlendirmeye etkisinin ne olacağı,
- Ek çekme donatıları ile kirişte bulunan çekme donatılarının birbirlerine Z-şeklindeki bağ demirleri ile kaynaklanmalarının güçlendirmeye etkisinin ne olacağı,
- Ek çekme donatılarının kolon-kiriş birleşimlerinde nereye kadar uzatılması gerektiği.

Bu deneyde elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- Güçlendirilmiş kirişlerin moment taşıma kapasiteleri birdöküm kiriş kapasitesine çok yaklaşmıştır.
- Güçlendirilmiş kirişlerin rijitliklerinde, güçlendirmede uygulanan yapım farklılıklarına rağmen büyük bir fark görülmemiş ancak güçlendirilmiş kirişler birdöküm kirişler kadar rijit davranmamışlardır.
- Güçlendirmede uygulanan yapım farklılıklarının (etiyeli, Z-demirli, etriye

ve Z-demirli) davranışı fazla etkilemediği görülmüştür.

- Güçlendirilmiş kirişler birbirlerine yakın bir sünek davranış göstermiş fakat birdöküm kiriş kadar sünek davranmamışlardır. Güçlendirilmiş kirişlerin enerji tüketme kapasiteleri de birdöküm kirişin enerji tüketme kapasitesinden daha az olmuştur.
- Mesnette kenetlenmiş ve mesnette kenetlenmemiş deney elemanları davranış bakımından pek farklılık göstermemişlerdir.
- Eski beton ile güçlendirme betonunun birbirine kaynaşması tam olarak sağlanmış, önlem gerektiren bir olay görülmemiştir.

3.1.2. Tahsin Fırat Çelikel'in çalışması [14]

Tevfik Çetin Ünsal'ın yapmış olduğu deneysel çalışmanın [13] devamı olan bu çalışmada güçlendirilmiş betonarme kirişlerin yinelenir yük altındaki davranış ve dayanımı araştırılmıştır. Bu amaçla boyut, donatı ve güçlendirme ilkeleri, Tevfik Çetin Ünsal'ın denemiş olduğu kirişlerle tamamen aynı olan yedi adet orta ölçekli deney elemanı denenmiş ve aşağıdaki değişkenlerin davranış ve dayanım üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

- Yeni katmanı eski kirişe kaynaştırabilme amacıyla U-biçimli yarım etriyeler veya Z-demirleri kullanılmasının davranış ve dayanım üzerindeki etkileri,
- Yerel ve genel güçlendirmenin davranış ve dayanım üzerindeki etkileri,
- Yerel güçlendirmede ek çekme donatılarının esas kiriş çekme donatılarına uçlarından kaynaklanmasının veya boşta bırakılmasının davranışa etkisi.

Deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- Hasara uğramamış ve yetersizliği belirlenmiş betonarme kirişlere uygulanan güçlendirme yöntemi başarılı olmuştur.
- Güçlendirme sonunda amaçlanan taşıma gücünün %95 ini aşabilen dayanımlar elde edilmiştir.
- Ek boyuna donatıların eski boyuna donatılara bağlanmasında U-biçimli yarım etriyeler veya Z-demirlerinin kullanılması aynı derecede başarılı olmuştur.
- Yeterli aderans boyu sağlanmış yerel güçlendirme genel güçlendirme kadar başarılı olmuştur.
- Yerel güçlendirmede yeni boyuna donatının eski boyuna donatıya kaynaklanmaması durumunda da yeterli dayanım elde edilmiş olmasına rağmen, yeni donatının eski donatıya kaynaklanması durumunda güçlendirilmiş kirişlerin süneklilik ve enerji tüketme kapasiteleri daha fazla olmuştur.

3.1.3. İsmail Özdemir'in çalışması [15]

Daha önceden monotonik ve yinelenir yük altında deneysel çalışmaları tamamlanmış olan deney dizisinin [13,14] devamı olan bu çalışmada katman ekleme yönteminin tersinir yükler altındaki başarısı araştırılmıştır. Bu amaçla biri yalın, diğeri monolitik olmak üzere, konsol kiriş şeklindeki, iki deney elemanı üzerinde toplam üç deney yapılmıştır. Deney elemanlarının tümünde yeterli aderans boyu sağlanabilmesi ve elemanların deney duvarına tuturulabilmesi için konsol dibinde 150x500x1000 mm boyutlarında rijit bir beton blok oluşturulmuş ve boyuna donatılar bu bloğa ankre edilmiştir. Enkesit boyutları 150x250 mm ve uzunluğu 1.85 m olan yalın kiriş üst yüzünde 2 ϕ 14 alt yüzünde 2 ϕ 10 ve ϕ 8/125 mm etriye ile donatılmış olarak üretildikten sonra hasara uğratılmıştır. Daha sonra, onarım amacıyla, alt ve üst yüzündeki pas payı kırılarak üst yüze içinde 2 ϕ 14, alt yüze ise içinde 2 ϕ 10

donatı bulunan 50 mm kalınlığındaki yeni beton katmanları eklenmiştir. Yeni beton katmanları ile yalın kirişin arasında yük aktarımını sağlamak amacıyla yeni boyuna donatılar, mevcut boyuna donatılara $\phi 8/125$ mm lik Z-demirleri ile kaynaklanarak bağlanmıştır. Çalışmada kenetleme yöntemi kapsam dışı olduğu için onarım katmanı donatılarının ankrajı yalın kirişin betonu dökümü sırasında yapılmıştır. Deneysel çalışmada aşağıdaki değişkenlerin araştırılması amaçlanmıştır.

- Katman ekleme yönteminin tersinir yükler altında ne denli etkin olduğu,
- Onarım ile amaçlanan taşıma gücüne ne kadar yaklaşılacağı,
- Ek çekme donatıları ile kirişte bulunan çekme donatılarının birbirlerine Z-demirleri ile kaynaklanmalarının onarıma etkisinin ne olacağı.

Bu deneyde elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- Katman ekleme yöntemi ile onarım işlemi tersinir yükler altında da başarılı olmuştur.
- İleri çevrimlerde monolitik kiriş taşıma gücüne ulaşılmıştır.
- Geri çevrimlerde aderans çözümlerine rağmen monolitik kiriş taşıma gücünün %90'ına ulaşılmıştır.
- Onarılmış kirişteki dayanım kaybı monolitiğe göre daha erken başlamıştır. Bir başka deyişle onarılmış kirişte yeterli, fakat monolitiğe oranla biraz daha düşük süneklik elde edilmiştir.
- Ek boyuna donatıların eski boyuna donatılara bağlanmasında Z-demirlerinin kullanılması, tersinir yükler altında da bundan önceki çalışmadakiler [13,14] kadar başarılı olmuştur.
- Onarılmış kirişin enerji tüketme kapasitesinin monolitik kiriş enerji tüketme kapasitesi ile hemen hemen aynı olduğu ve yeterli olduğu gözlenmiştir.

- Birinci çevrim dışında, onarılmış kiriş rijitliği monolitik kiriş rijitliğine yakın gelişmiştir. Birinci çevrimde onarılmış kiriş rijitliğinin düşük çıkmasına yalın kirişteki ana çatlağın tam olarak beton ile doldurulamaması neden olmuştur.

3.1.4. Mehmet Arslan'ın çalışması [16]

Bu çalışmada dokuz tane orta ölçekli betonarme kiriş monotonik yük altında denenmiştir. Bu kirişlerden altı tanesi epoksi ile yapıştırılmış çelik plakalarla güçlendirilmiş, iki tanesi önemli düzeyde hasara uğratıldıktan sonra yine aynı yöntemle onarılmıştır. Dokuzuncu deney elemanı ise yalın kiriş olarak denenmiş ve karşılaştırma elemanı olarak kullanılmıştır. Bu çalışmanın temel amacı aşağıdaki değişkenlerin incelenmesi olarak belirlenmiştir.

- Yöntemin katman ekleme yöntemine kıyasla etkinliği,
- Güçlendirme plakası kalınlığı ve uzunluğunun dayanım ve davranış üzerindeki etkileri,
- Plaka uçlarının durumu (boşta, kaynaklanmış ya da uç başlığı ile yerinde tutulmuş),
- Uygulama türü (yüksüz güçlendirme, yüksüz onarım yük altında onarım),

Deney elemanı boyutları daha önce gerçekleştirilmiş olan [13,14] ve Bölüm 3.1.1 ile Bölüm 3.1.2 de verilmiş olan yalın deney elemanı kirişleri ile aynı özellikleri taşıyacak biçimde düzenlenmiştir. Çekme yüzüne epoksi ile yapıştırılan ve 150 mm genişliğinde olan güçlendirme plakası, deney elemanlarının çoğunda 2 mm kalınlığında ve 2.4 m uzunluğunda seçilmiştir. Ancak deney elemanlarının birinde kalın ($t=4$ mm), bir diğerinde ise kısa ($l=1.2$ m) güçlendirme plakası kullanılmıştır. Ayrıca deney elemanlarının dördünde güçlendirme plakası uçları ek başlıklarla kiriş uçlarına

yapıştırılmıştır. Bu deneylerde elde edilen sonuçların bir kısmı aşağıda özetlenmiştir.

- Yöntem taşıma gücü açısından oldukça başarılı olmuştur.
- Plaka boyunun çok önemli olduğu belirlenmiştir.
- Güçlendirme yöntemi süneklilik ve enerji tüketimi bakımından, hiçbir zaman betonarme katman eklenmesi yöntemi kadar başarılı olmamıştır.
- Yüksüz onarılmış kiriş diğerleri kadar başarılı olmuşsa da, yük altında onarılan kiriş başarılı olamamıştır.
- Plaka kalınlığının artırılmasının iyi bir dayanım artırma yolu olmadığı ve çok sakıncalı bir gevrek kırılmaya yol açtığı görülmüştür.
- İşçilik kalitesinin davranışı etkileyen önemli faktörlerden biri olduğu görülmüştür.
- Epoksili çelik plaka yönteminin iyi bir çatlak denetimi sağladığı ve çok sayıda dar çatlaklar oluşturduğu görülmüştür.

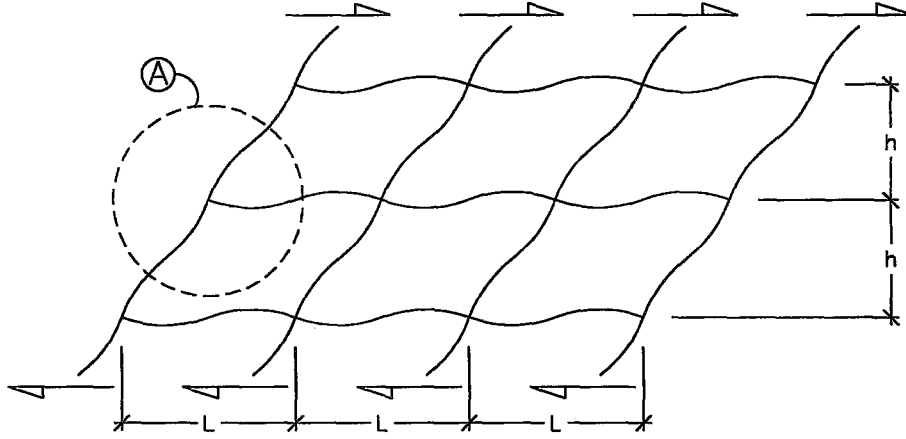
4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Deney Elemanı İlkeleri

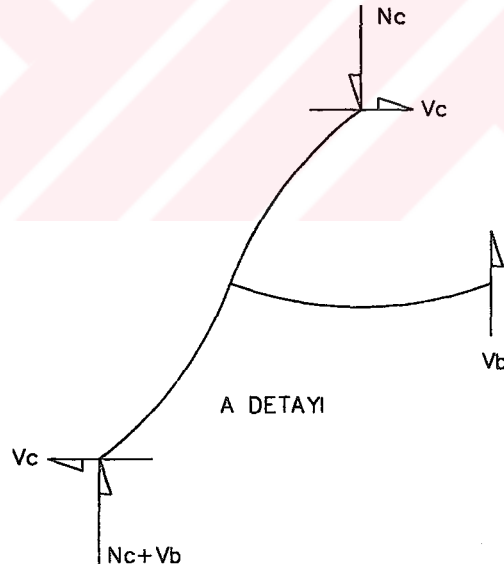
Bu deneysel çalışmanın ana amacı katman ekleme yöntemi ile onarılmış/güçlendirilmiş kirişlerin deprem yüklerini benzeştiren yükler altındaki davranışını araştırmaktır. Bundan dolayı deney elemanı, kolon ve kirişlerden oluşan sıradan bir çerçevenin deprem yükleri altında deforme olmuş şekli göz önüne alınarak hazırlanmıştır. Böyle bir çerçevenin, bir kısmının, abartılmış deformasyon diyagramı Şekil 4.1.a da gösterilmiştir. Bu şekilden de görülebileceği gibi, deprem yükleri altında, moment sıfır noktaları yaklaşık olarak kolon ve kiriş ortalarında oluşmakta ve her düğümün moment sıfır noktalarına kadar olan kısmı benzer bir davranış göstermektedir. Bu nedenle hem çerçeve davranışını temsil edebilmesi hem de yük uygulamada sağladığı kolaylıklardan dolayı bu çalışmada ele alınan model, bir dış düğümün moment sıfır noktaları arasında kalan parçasının çıkarılmasıyla oluşturulmuştur (Şekil 4.1.b). Böylece davranışın basit ve iyi bilindiği, incelemeye elverişli, izostatik bir eleman geometrisi meydana getirilmiştir. Deney elemanlarının boyut ve sayıları, çalışmanın belirli bir sürede tamamlanması gereği ve laboratuvar koşulları göz önüne alınarak belirlenmiştir. Deney elemanlarının uzunluk ölçeği yaklaşık $\frac{1}{2}$ olarak seçilmiş ve deney elemanlarının betonarme olması kararlaştırılmıştır. Oluşturulan kolon-kiriş sisteminde plastik mafsallın her zaman kirişte olması için her iki kolonun toplam taşıma gücünün, iki yönde de, kirişten fazla olması sağlanarak zayıf kiriş güçlü kolon düğümü oluşturulmuştur. Ayrıca deney elemanlarının etriyesi elemanlarda kesme sorunu olmayacak şekilde tasarlanmıştır.

4.2. Deney Elemanları

Toplam 10 deney elemanı hazırlanmış ve bu deney elemanlarının üzerinde 18 deney yapılmıştır. Sınırlı sayıdaki deney elemanında mümkün olduğu kadar çok ve önemli değişkene yer verilmiştir. Bu deney elemanlarının adları ve ele alınan parametreler Çizelge 4.1 de topluca sunulmuştur.



a) Deprem yükleri altında çerçeve deformasyonu



b) Kenar bir düğümün serbest cisim diyagramı

Şekil 4.1. Deney elemalarının kenar bir düğüme benzeştirilmesi

Çizelde 4.1. Deney programı

Eleman No	Deney Adı	İşlem Türü	Kenetleme Yöntemi	Kesme Açıklığı (a/d)	Katman Sayısı
1	M5	Monolitik	---	Orta ($a/d \approx 5$)	İki
2	BC5	Yalın	---	Orta ($a/d \approx 5$)	---
	RC5	Onarım	Sürekli	Orta ($a/d \approx 5$)	İki
	RRC5	Diriltme	Sürekli	Orta ($a/d \approx 5$)	İki
3	M3	Monolitik	---	Küçük ($a/d \approx 3$)	İki
4	M3S	Monolitik	---	Küçük ($a/d \approx 3$)	Bir
5	SC	Güçlendirme	Sürekli	Küçük ($a/d \approx 3$)	İki
	RSC	Diriltme	Sürekli	Küçük ($a/d \approx 3$)	İki
6	BC	Yalın	---	Küçük ($a/d \approx 3$)	---
	RC	Onarım	Sürekli	Küçük ($a/d \approx 3$)	Bir
	RRC	Diriltme	Sürekli	Küçük ($a/d \approx 3$)	İki
7	SM	Güçlendirme	Mekanik	Küçük ($a/d \approx 3$)	İki
8	BM	Yalın	---	Küçük ($a/d \approx 3$)	---
	RM	Onarım	Mekanik	Küçük ($a/d \approx 3$)	Bir
9	SE	Güçlendirme	Epoksi	Küçük ($a/d \approx 3$)	İki
10	BE	Yalın	---	Küçük ($a/d \approx 3$)	---
	RE	Onarım	Epoksi	Küçük ($a/d \approx 3$)	Bir
	RRE	Diriltme	Epoksi	Küçük ($a/d \approx 3$)	İki

Deney elemanları aşağıda gösterildiği şekilde adlandırılmıştır.

- İlk bir veya iki harf, işlem türünün İngilizcesinin baş harflerini göstermektedir

M : Monolitik (Monolithic)

B : Yalın (Bare)

S : Güçlendirme (Strengthening)

R : Onarım (Repair)

RS : Güçlendirmeden sonra diriltme (Revival following strengthening)

RR : Onarımdan sonra diriltme (Revival following repair)

- Takip eden ikinci veya üçüncü harf, kenetleme yönteminin İngilizcesinin baş harfini göstermektedir

C : Sürekli kenetleme (Continuous)

M : Mekanik kenetleme (Mechanical)

E : Epoksili kenetleme (Epoxy)

- Sondaki rakam (eğer varsa), kesme açıklığı oranının (a/d) yaklaşık değerini göstermektedir. Rakam varsa $a/d \cong 5$ yoksa $a/d \cong 3$ 'dür. Ayrıca monolitik elemanların hepsinde kesme açıklığı oranı gösterilmiş ve bir yüzünden katman eklenmiş kirişlerin monolitiği ise M3S olarak adlandırılmıştır.

Çizelge 4.1 den de anlaşıldığı gibi çalışmada başlıca aşağıdaki parametreler incelenmiştir.

1. İşlem türü :

Elemana uygulanacak olan rehabilitasyon yöntemi işlem türü olarak adlandırılmıştır. Çalışmada katman ekleme yöntemi ile onarım (yalın elemana orta hasar sonrasında uygulama), güçlendirme (hasar olmadan uygulama) ve diriltmenin (ağır hasar sonrasında uygulama) davranış ve dayanım üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ayrıca sonuçların karşılaştırılabilmesi ve çeşitli yorumların yapılabilmesi için rehabilitasyondan sonraki kiriş kesit ve boyuna donatılarına sahip fakat bir döküm olarak hazırlanmış üç adet monolitik deney elemanı hazırlanmıştır.

2. Donatı kenetleme yöntemi :

Yeni katman boyuna donatısının eski beton elemana yük aktarabilecek şekilde kenetlenebilmesi büyük önem taşımaktadır. Çalışmada, (i) sürekli donatı kullanılması, (ii) donatının mekanik olarak kenetlenmesi ve (iii) epoksi ile kenetleme yöntemlerinin tersinir yinelenir yük altındaki başarısı da araştırılmıştır. Doğal olarak uygulamada sürekli donatı uygulaması olası değildir. Bu türden uygulamalar ancak onarım veya güçlendirme yapılacağı önceden bilinen laboratuvar çalışmalarında yapılabilir. Gerçekte uygulanamayacak olan bu parametre, katman ekleme yöntemi ile onarılmış veya güçlendirilmiş kirişlerde olası başarısızlıkların ne kadarının katman ekleme yöntemine, ne kadarının epoksili veya mekanik kenetleme yöntemine ait olduğunu belirlemek amacıyla kullanılmıştır.

3. Kesme açıklığı :

Deney elemanının, kesme açıklığı küçüldükçe kesme zorlamalarının etkisi daha önemli olacaktır. Deneylerin çoğunda, küçük bir kesme açıklığı ($a/d \approx 3$) kullanılmış, bazılarında biraz daha büyük ($a/d \approx 5$) bir kesme açıklığı ile deney yapılmış ve onarım veya güçlendirme yönteminin etkinliğine, bu değişkenin etkileri araştırılmıştır. Verilmiş olan oranlar rehabilitasyondan sonraki yaklaşık değerleri göstermektedir.

4. Katman sayısı :

Mesnet bölgesinde yapılacak onarım veya güçlendirme sadece üst yüze yapılabileceği gibi hem alt, hem üst yüzlere birer katman eklenmesiyle de yapılabilmektedir. Bazı durumlarda açıklıkta yapılmış olan bir onarım veya güçlendirme katmanının mesnet alt yüzünde de sürekli olması istenebilir. Bu nedenle katman sayısı da değişken olarak ele alınmış ve deneysel olarak incelenmiştir.

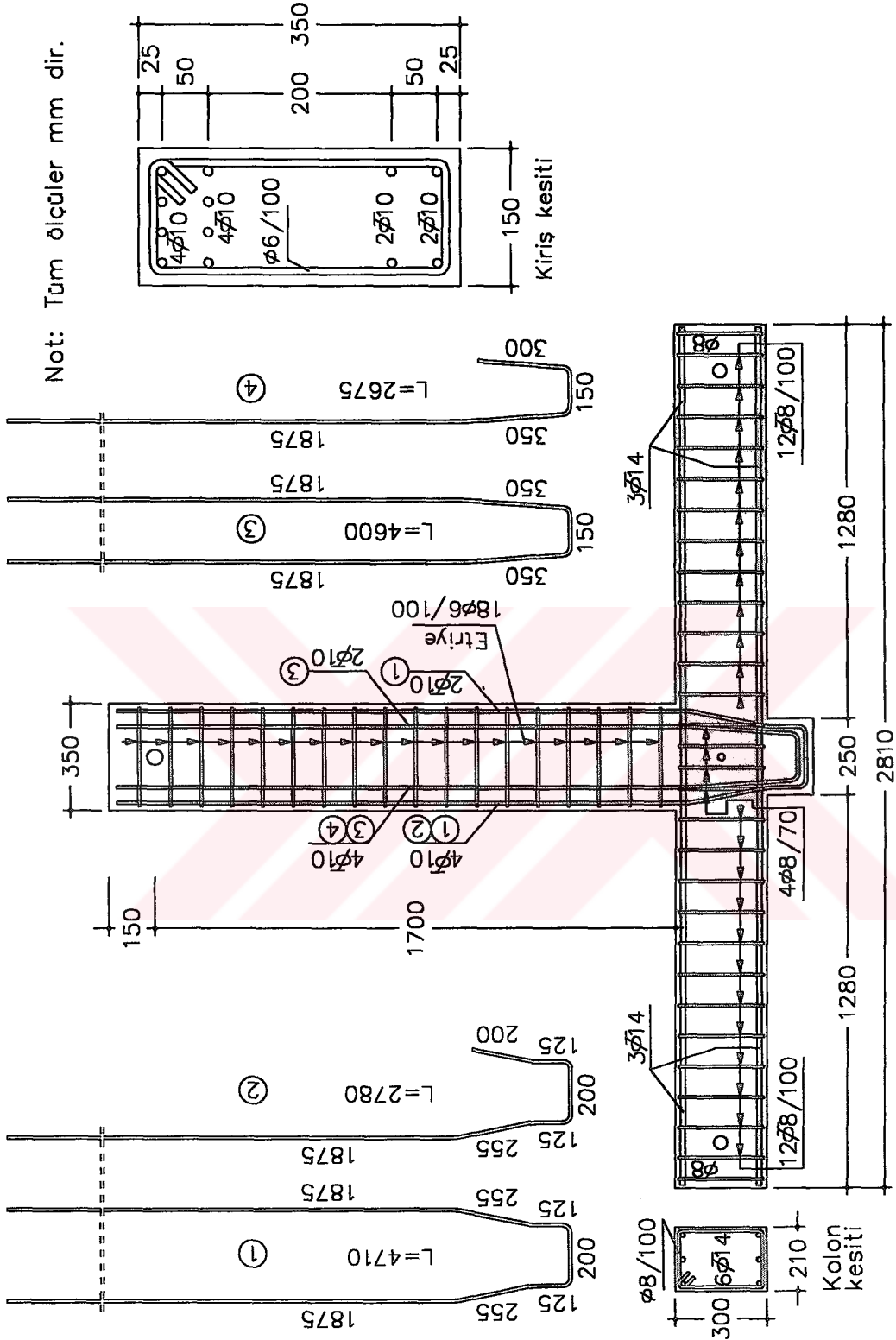
Yalın deney elemanlarının hepsinde üst yüzde $4\phi 10$, alt yüzde $2\phi 10$ boyuna donatı ve $\phi 6/100$ mm etriye kullanılmıştır. Onarım veya güçlendirmede ise, yine aynı şekilde, üst yüz katmanında $4\phi 10$ ve alt yüz katmanında (eğer varsa) $2\phi 10$ boyuna donatı kullanılmıştır. Yeni katman ile mevcut kiriş arasında süreklilik ve yük aktarımını sağlamak amacıyla $\phi 6/100$ mm'lik U-şeklindeki yarım etriyeler kullanılmıştır. Monolitik deney elemanları da onarılmış/güçlendirilmiş kirişler ile aynı boyut ve donatıya sahip olarak, (U-demirsiz) bir seferde dökülerek hazırlanmıştır. Uygulanan onarım veya güçlendirme yönteminde, önce katman eklenecek olan yüz prüzlendirilmiştir. Onarım deneylerinde hasar görmüş olan yalın elemanın ezilmiş olan ve ancak hafif örselemeler ile çıkarılabilen kısımları temizlenmiştir. Yalın kiriş etriyelerinin düşey bacakları 30 mm kadar açılmış ve U-şeklindeki yarım

etrijeler yeni boyuna donatıların üstünden geçirilerek, mevcut etrijelerin açıkta olan bacaklarına kaynaklanmıştır. Daha sonra boyuna donatılar seçilmiş olan yöntem ile kolona kenetlenmiştir. Kiriş serbest ucunda herhangi bir aderans çözülmesi olmaması için her bir yeni boyuna donatı, hemen altındaki eski boyuna donatıya bir adet $\phi 10$ luk Z-şeklindeki demir ile, kiriş uç bölgesinde, kaynaklanmıştır. Son olarak da beton katmanı(ları) dökülmüştür. Diriltme deneylerinde ağır hasar görmüş ve tüm kesite yayılmış olan konsol dibindeki, genelde 350-400 mm yüksekliğindeki, ezilmiş beton tümünden çıkarılmıştır. Daha sonra kancaları açılmış veya eğilmiş olan etrijeler yerinde olabildiğince düzeltilmiştir. Diriltilecek elemanların geçmiş deneylerinin hepsinde, kiriş alt yüzündeki donatıların bir kaçında kopmalar oluşmuştur. Kopmayan donatılar ise burkulmuştur. Burkulmuş olan bu donatılar düzeltilmeye çalışılmıştır. Ancak kiriş alt yüzündeki donatıların kalıcı deformasyonları, üst yüzdeki donatılara göre çok daha fazla olduğu için burkulmuş olan donatılar düzeltildiğinde bu sefer kiriş olması gereken eksenenden kaçmış ve eğilmiştir. Bu nedenle zorunlu olarak kiriş alt yüzündeki kopmayan donatılar da, genelde, kesililerek kiriş düzeltilmiştir. Daha sonra kopmuş veya kesilmiş olan boyuna donatılar, aynı çaplı ve özellikli 120 mm uzunluğundaki donatı parçaları ile bindirme yapılarak kaynaklanmıştır. Diriltme işlemi uygulanan hiç bir elemanda donatı değişimi veya donatı eklentisi yapılmamıştır. Ancak kendinden önceki onarım veya güçlendirme deneyinde sadece üst yüzden onarım veya güçlendirme görmüş olan elemanlarda diriltme işlemi yapılırken alt yüze de içinde yeni boyuna donatı bulunan yeni bir beton katmanı eklenmiştir. Bu katmanın da yapımında onarım veya güçlendirme deneylerindeki katman ekleme işlemlerinin aynısı uygulanmıştır.

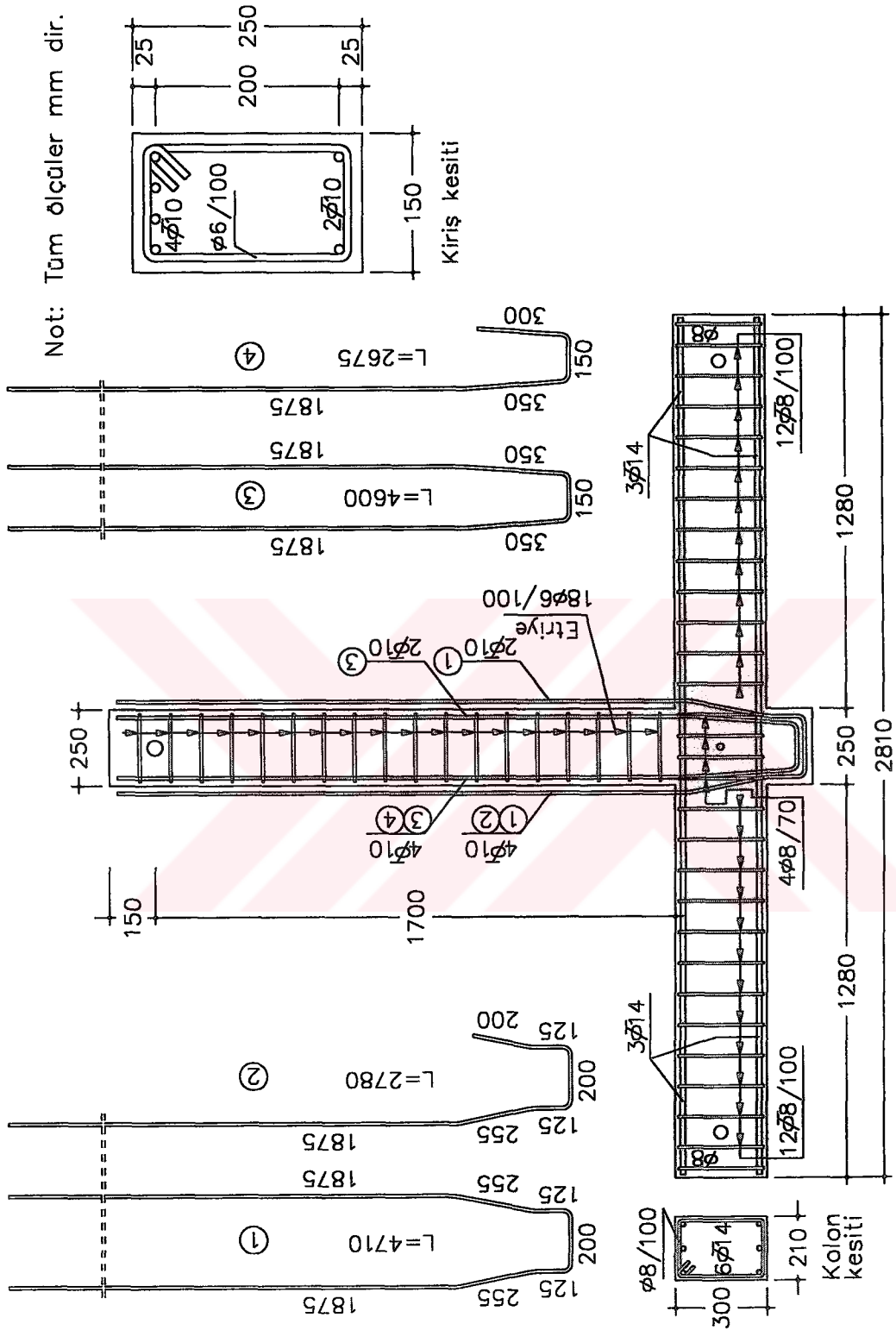
Bu çalışmada ele alınan tüm deney elemanlarının boyut, kesit ve donatı detayları ile ilgili bilgiler Şekil 4.2-4.15 de topluca gösterilmiştir. Kendinden sonraki deneylerde donatı kenetleme yöntemi sürekli olan yalın elemanlarla (BC5 ve BC) ilgili çizimler Şekil 4.3 ve Şekil 4.7 de gösterilmiştir. Bu şekillerde de görülebileceği gibi bu elemanlarda, sonradan eklenecek olan katmanların boyuna donatıları da yalın betonunun dökümü sırasında yerleştirilmiştir. Betonlama sırasında bu donatıların ankraj bölgeleri dışındaki kısımlar kalıp dışında tutulmuştur. Donatı kenetleme yöntemi mekanik olan güçlendirme elemanı (SM) ile ilgili çizimler Şekil 4.11 de gösterilmiştir. Mekanik kenetleme ile ilgili detay çizimleri ise Şekil 4.12 de gösterilmiştir. Aynı detay, donatı kenetleme yöntemi mekanik olan onarım elemanında da (RM) bir yüzden uygulanmıştır. Mekanik kenetlemede L100.100.10 luk L-profiller kullanılmıştır. Ancak, yapılan hesaplamalar sonucunda, tek başına bu profillerin yetersiz geleceği anlaşılmış ve bu profiller 80x10 mm lik lamalar ile güçlendirilmiştir. Üretimde L100.100.20 lik profiller olmadığı için böyle bir uygulamaya başvurulmuştur. Kolon yüzüne karşılıklı olarak yerleştirilmiş olan bu profiller, $\phi 25$ mm lik bulonlara öngerme verilerek iyice sıkılmış ve kiriş boyuna donatıları kendilerine paralel L-profil flanşına kaynaklanmıştır. Geçmişte benzer kenetleme yöntemlerinin kullanılmış olduğu deneylerde kullanılan L-profillerde deformasyon sorunları yaşanmıştır. Profiller yetersiz geldiği için hem boyuna yönde hem de flanşların bulon deliği civarında deformasyonlar oluşmuştur. Ayrıca L-profillerin düşey ve yatay flanşları da birbirlerine göre deformasyon yapmıştır. Bu türden sorunlarla karşılaşmamak için profil kesitleri hesap yapılarak belirlenmiştir. L-profil flanşları arasında olabilecek olası deformasyonları önlemek amacıyla L-profillerin uçlarına, 10 mm kalınlığında destekleyici çelik bağlantı elemanları kaynaklanmıştır. Profil kesiti hesabında, profil basit mesnetli bir kiriş olarak düşünülmüştür. Kiriş açıklığı ise profil üzerindeki iki delik merkezi arasındaki mesafeye (245 mm) eşit alınmıştır. Bu kirişe boyuna donatıların kaynaklandığı noktalardan,

boyuna donatı sayısı kadar ve her biri boyuna donatının akma kuvvetine (yaklaşık 40 kN/donatı) eşit tekil yük uygulanmış ve oluşan en büyük moment denge denklemleri ile hesaplanmıştır. Kuvvetlere dik yöndeki eksen etrafında olduğu varsayılan bu moment, profil emniyet gerilmesine (140 MPa) bölünerek profilin söz konusu yükleri emniyetle taşıyabilecek kesit mukavemet momenti ve gerekli kesit bulunmuştur. Daha sonra aynı yükler altındaki L-profilin basit kiriş olarak deformasyon kontrolleri yapılmıştır. Oluşan en büyük deformasyonun oldukça küçük olduğu (0.1 mm den az) ve sorun yaratmayacağı görülmüştür. L-profillerin kolona bağlanmasında kullanılan bulonlar eksenel yüke göre kontrol edilmiştir. En kötü durumda her bir bulona, öngerme kuvveti hariç, 80 kN kadar yük etki edeceği hesaplanmıştır. Bu kuvveti karşılaması için $\phi 25$ lik (diş dibi 21 mm) bulonlar kullanılmıştır. Daha sonra yapılan çekme deneylerinde bulon akma dayanımının 740 MPa olduğu ve üstüne gelen kuvvetleri rahatlıkla taşıdığı hesaplanmıştır. Hesaplarda bulonlardaki öngerme kuvveti göz önüne alınmamıştır. Ancak bazı sınır durumlarda bulonlardaki öngerme kuvvetlerinin de hesaplarda dikkate alınması gerekeceği açıktır.

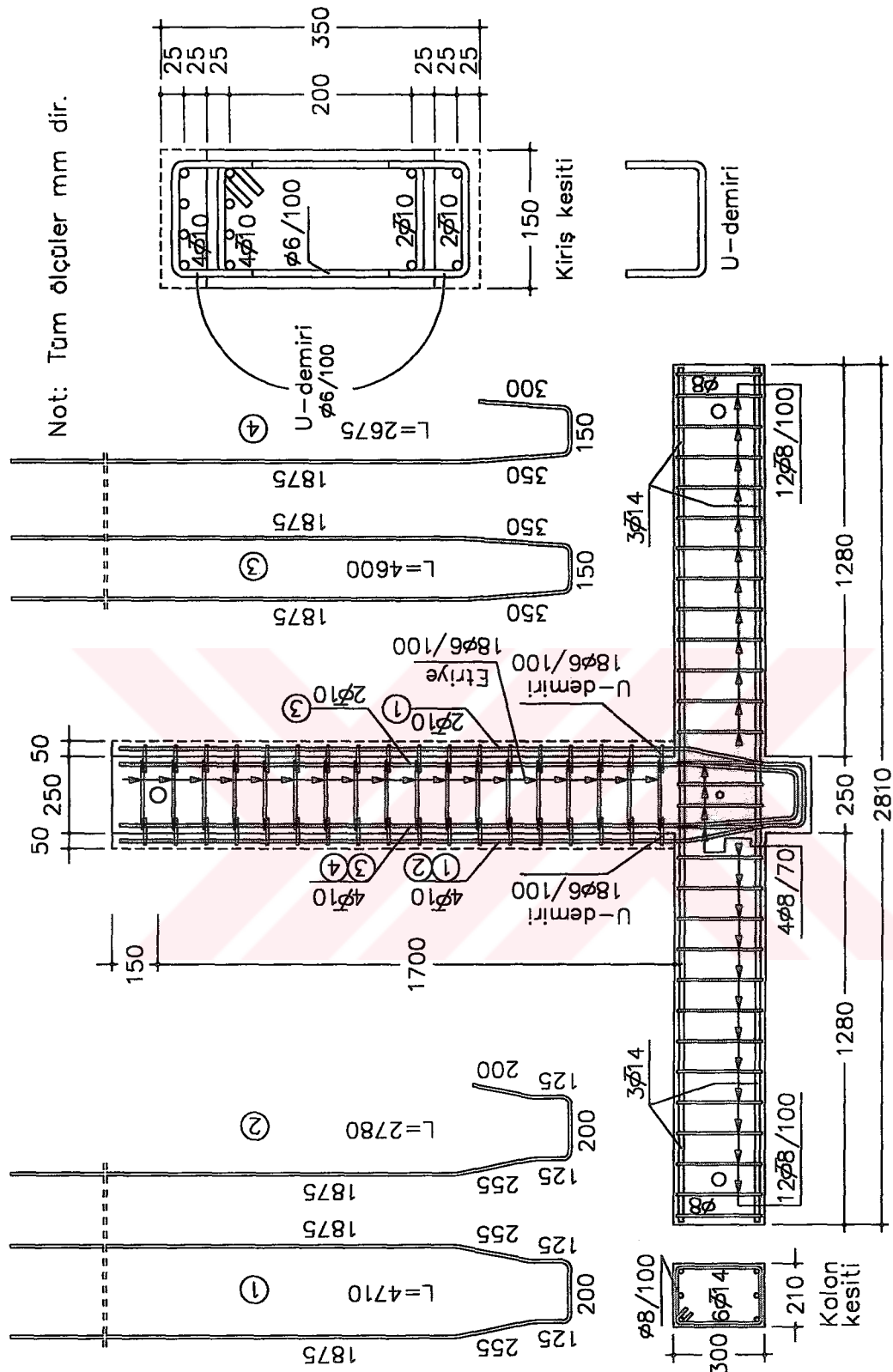
Boyuna donatıların epoksi ile kenetlendiği deney elemanları ile ilgili çizimler Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 de gösterilmiştir. Kullanılacak olan epoksi için değişik marka epoksiler alınmış ve ön deneyler ile bunlar test edilmiştir. Bu deneyler sonunda “Upat UPM 33” markalı epoksinin kullanımına karar verilmiştir (<http://www.upat.de+com>). Bu epoksinin kullanım kılavuzundaki öneriler göz önüne alınarak $\phi 10$ luk boyuna donatı için ankraj deliği çapı 14 mm ve ankraj derinliği 200 mm seçilmiştir. Söz konusu kılavuzdaki iki boyuna donatı arasında olması gereken minimum aralık şartına ise zorunlu olarak uyulamamıştır.



Şekil 4.2. M5 elemanın boyut ve donatı detayı

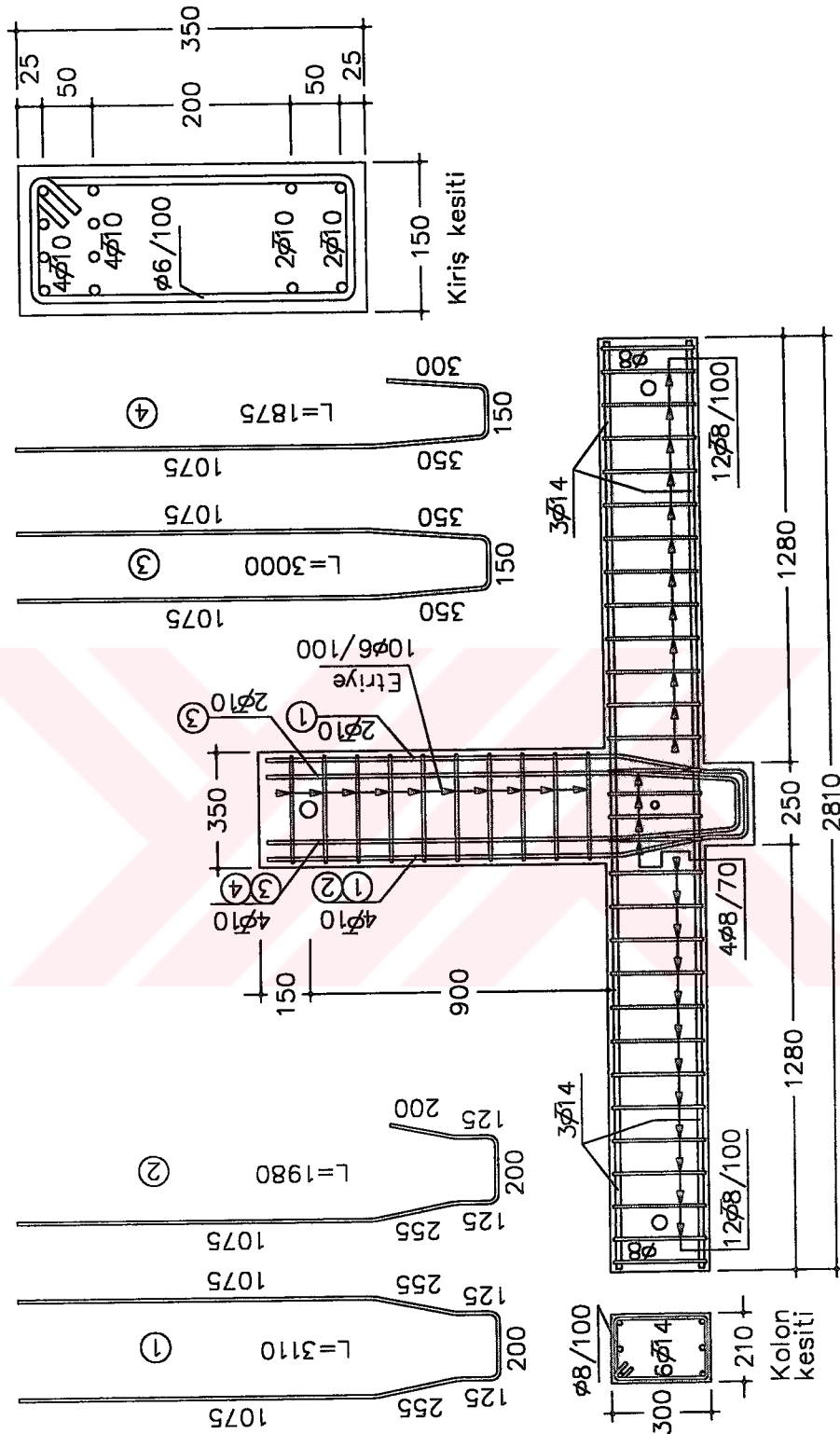


Şekil 4.3. BC5 elemanın boyut ve donatı detayı



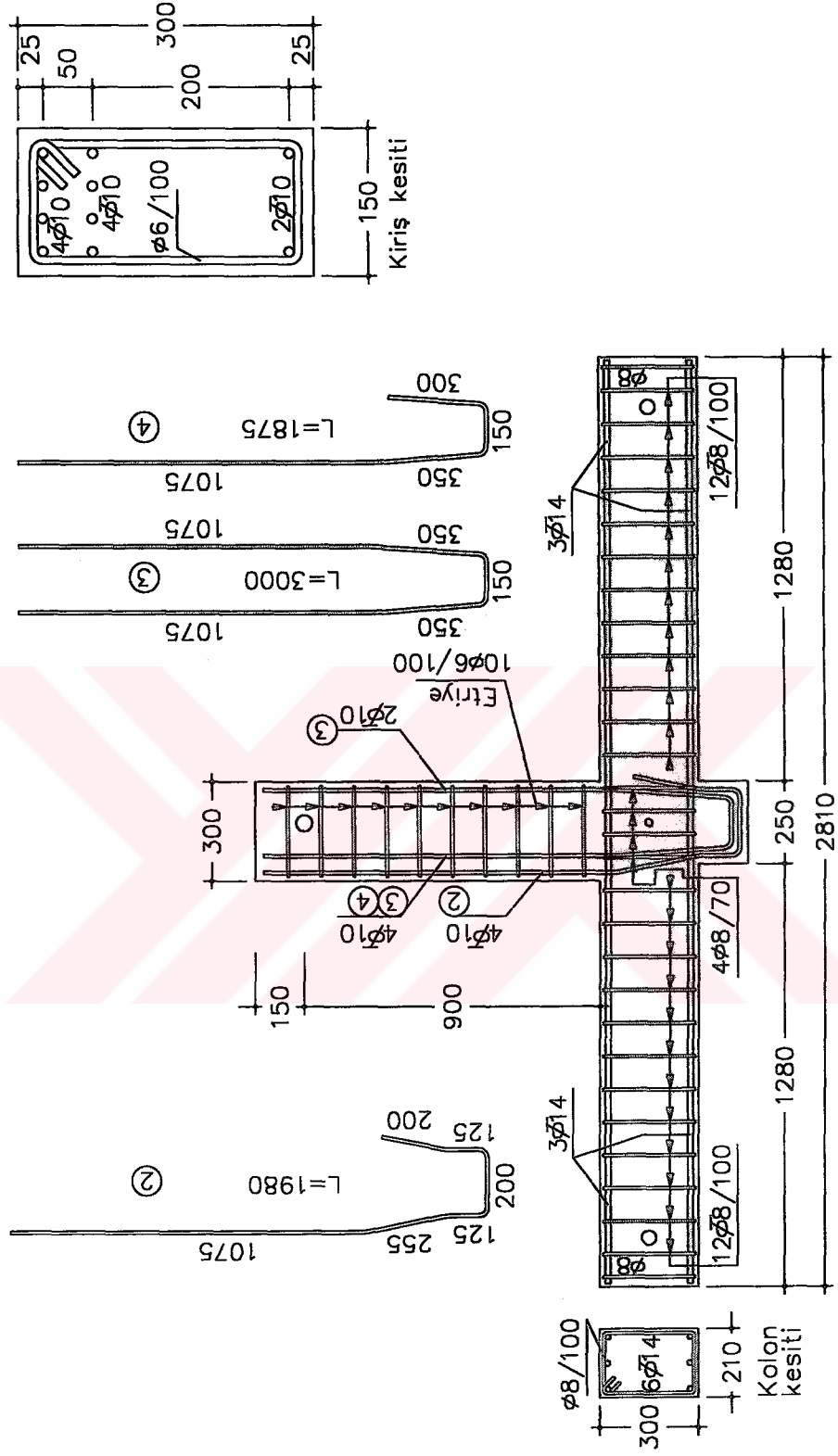
Şekil 4.4. RC5 elemanın boyut ve donatı detayı

Not: Tüm ölçüler mm dir.



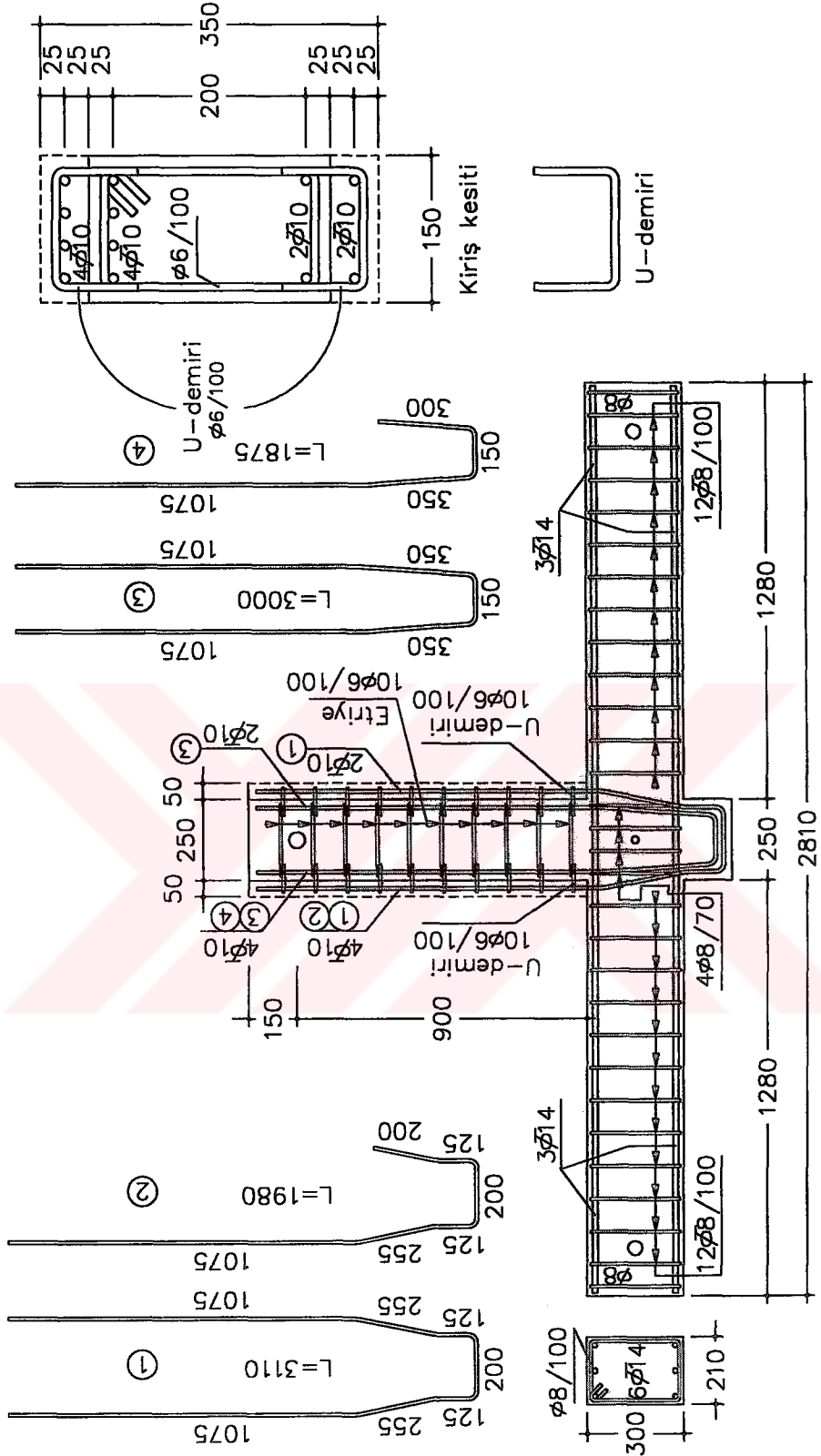
Şekil 4.5. M3 elemanının boyut ve donatı detayı

Not: Tüm ölçüler mm dir.



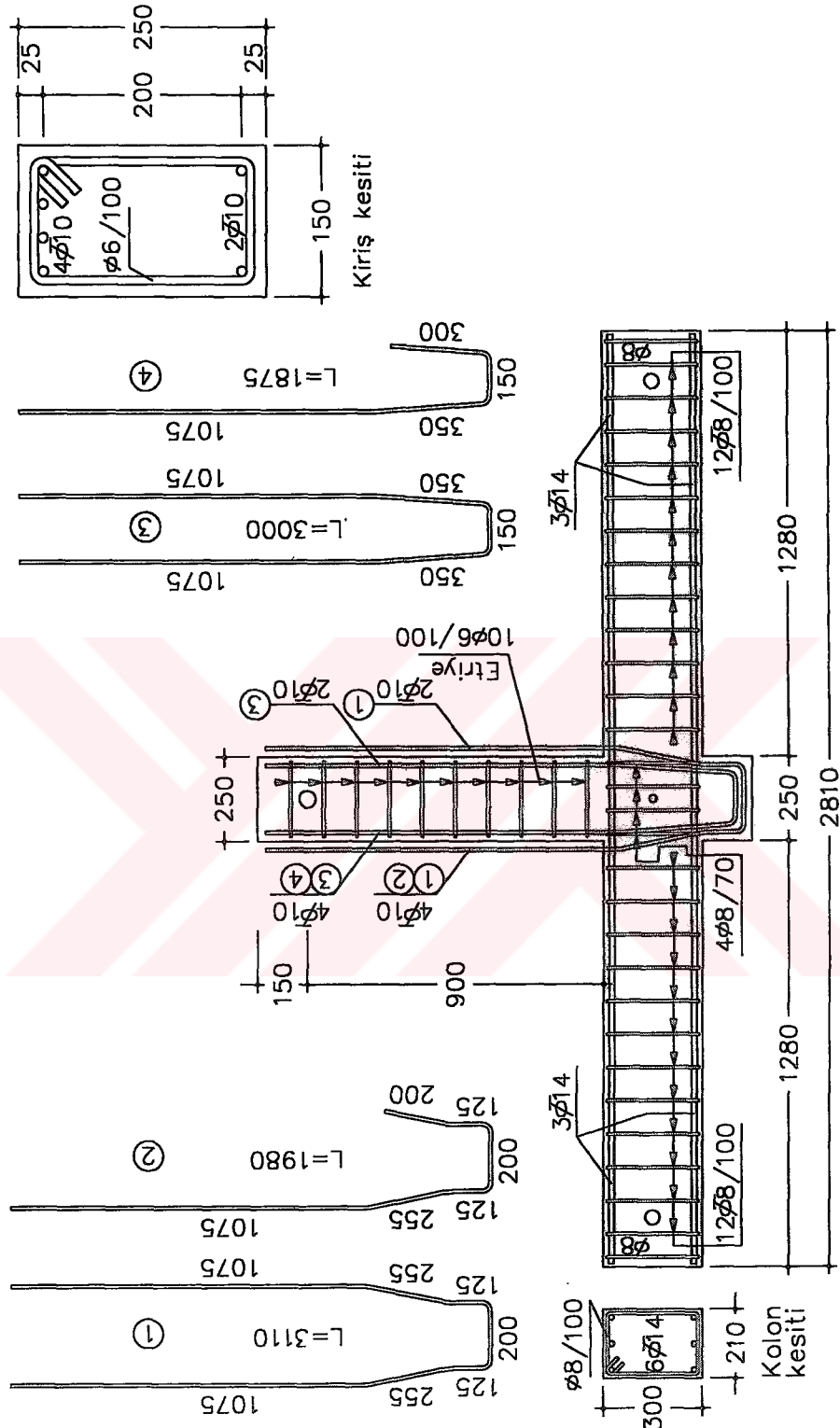
Şekil 4.6. M3S elemanın boyut ve donatı detayı

Not: Tüm ölçüler mm dir.



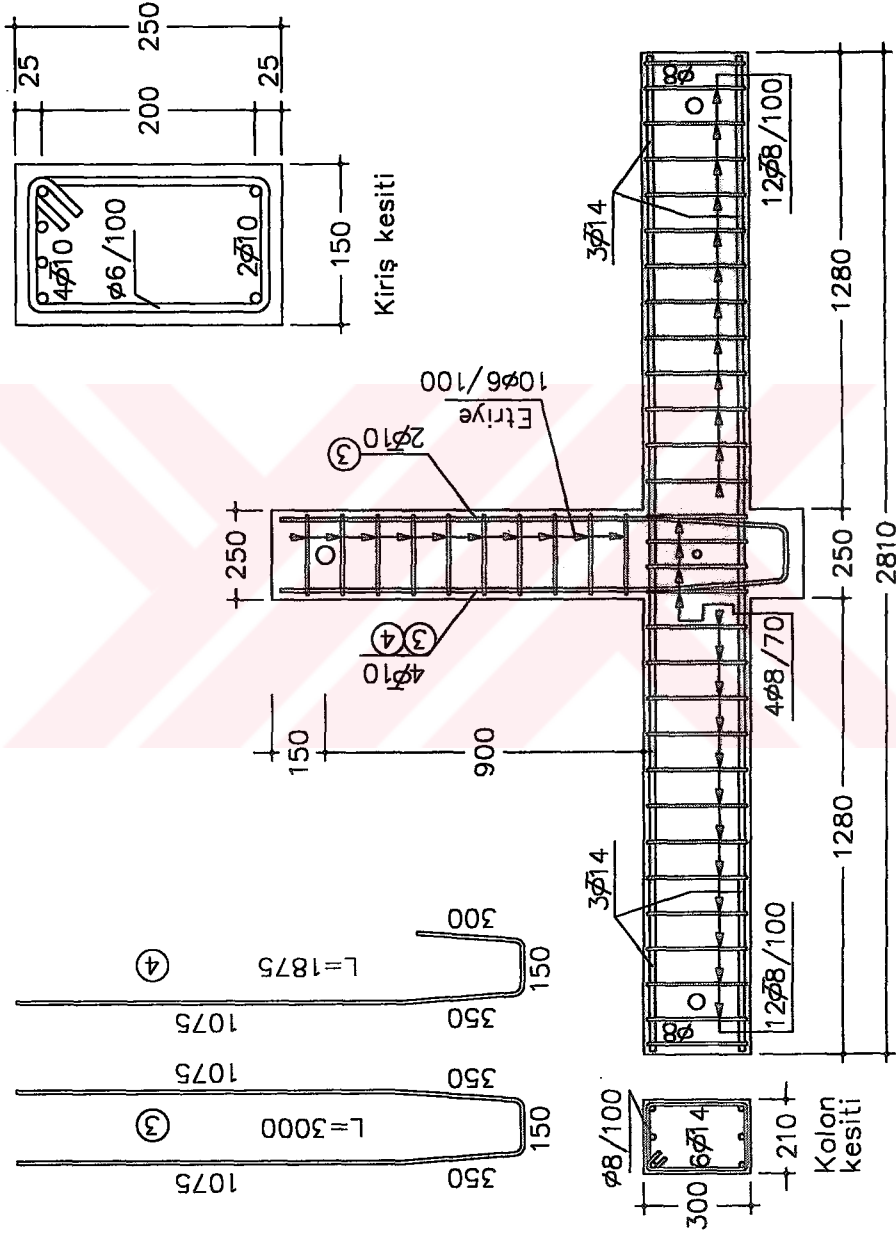
Şekil 4.7. SC, RSC, RRC elemanlarının boyut ve donatı detayı

Not: Tüm ölçüler mm dir.



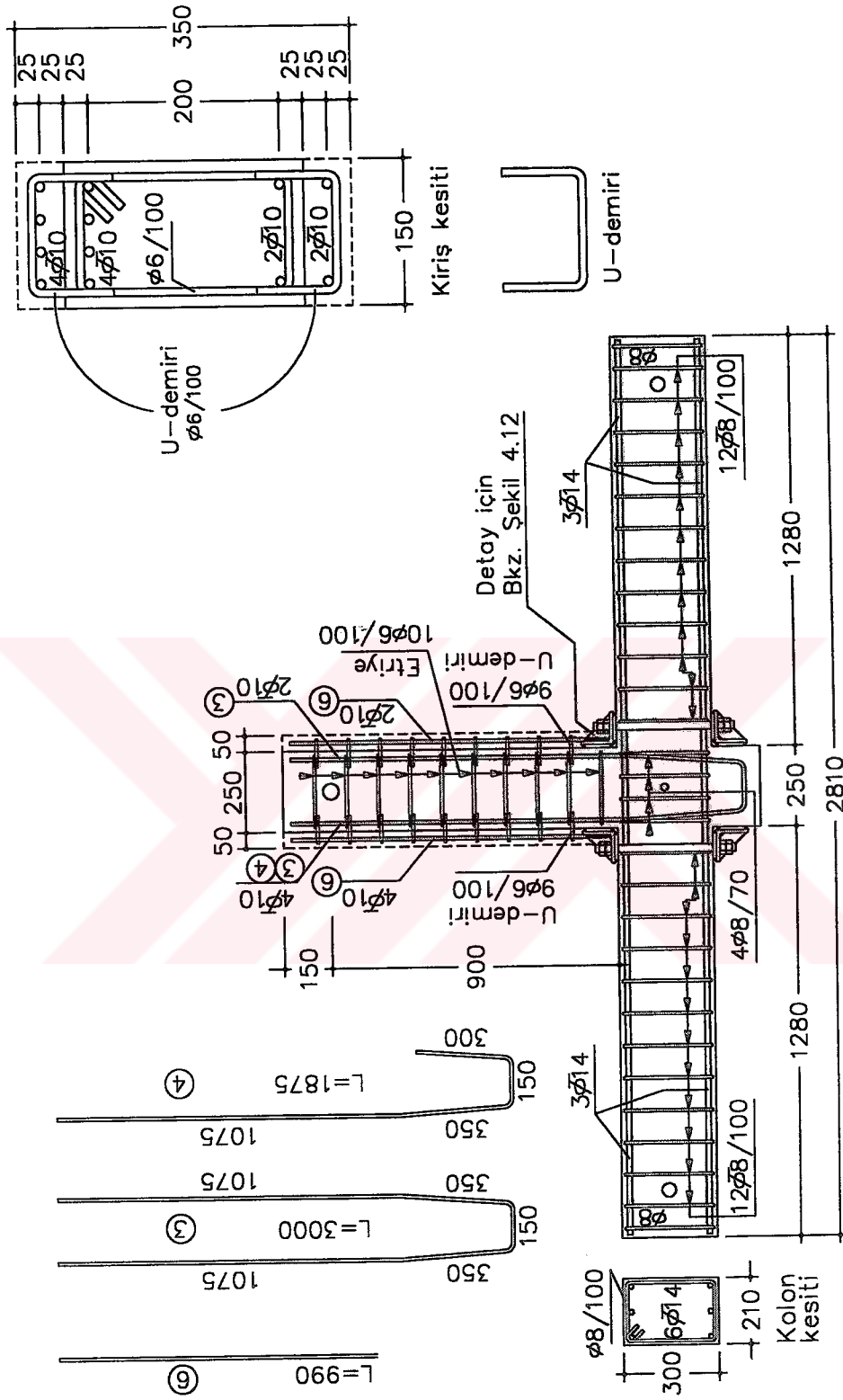
Şekil 4.8. BC elemanın boyut ve donatı detayı

Not: Tüm ölçüler mm dir.

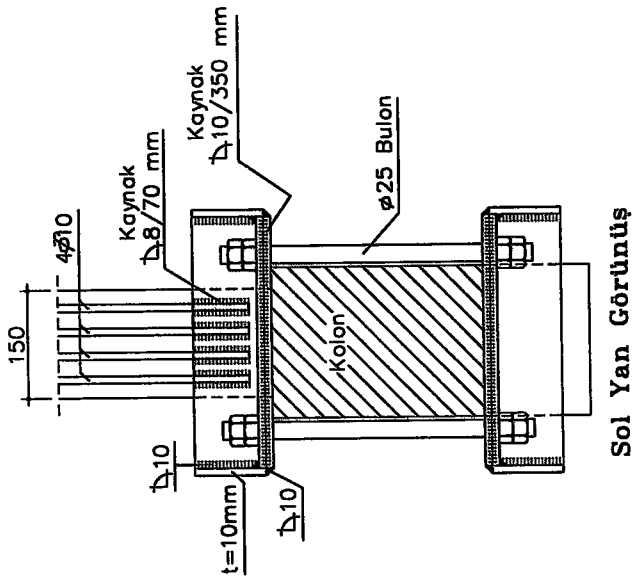


Şekil 4.10. BM ve BE elemanlarının boyut ve donatı detayı

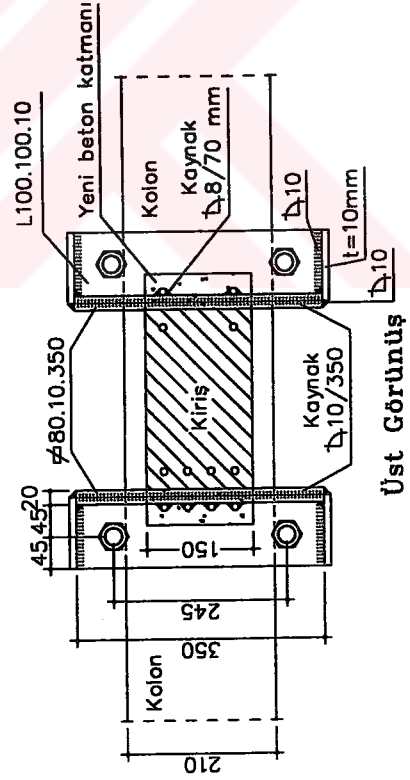
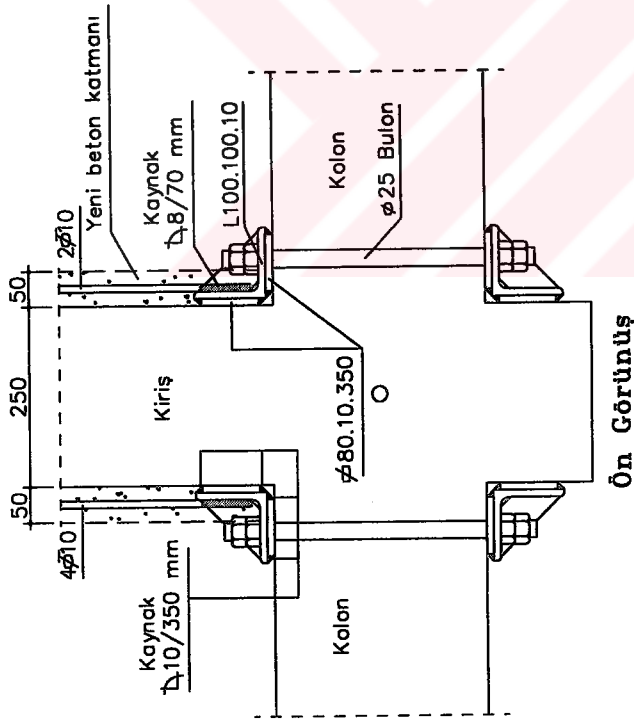
Not: Tüm ölçüler mm dir.



Şekil 4.1.1. SM elemanın boyut ve donatı detayı

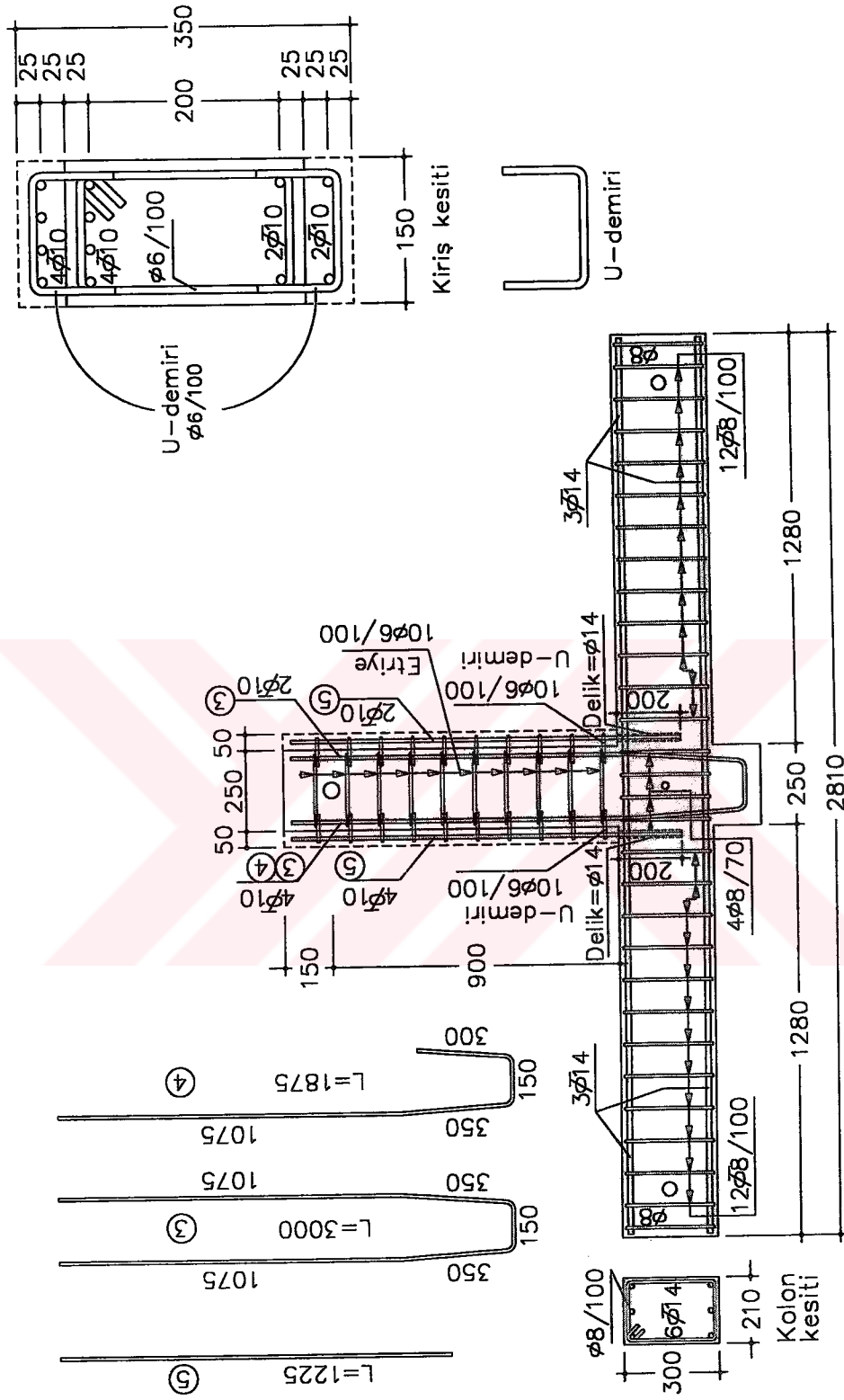


Not: Tüm ölçüler mm dir.



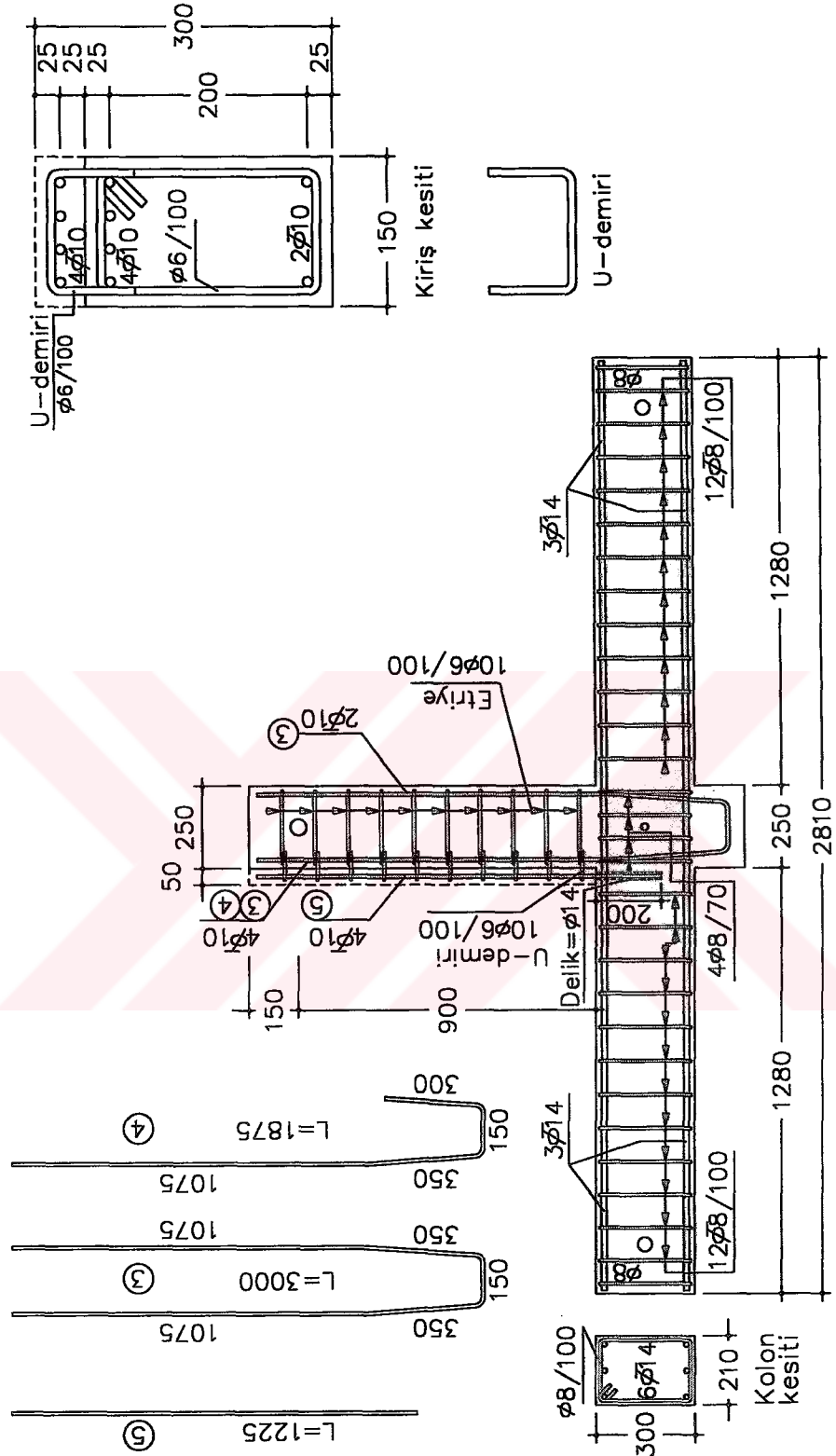
Şekil 4.12. Mekanik kenetlemenin detay çizimleri

Not: Tüm ölçüler mm dir.



Şekil 4.14. SE ve RRE elemanlarının boyut ve donatı detayı

Not: Tüm ölçüler mm dir.



Şekil 4.15. RE elemanın boyut ve donatı detayı

4.3. Malzeme Dayanımları

4.3.1. Donatı dayanımları

Donatı dayanım ve özelliklerinde farklılıklar olmaması için deney elemanları için gerekli olan tüm donatı bir seferde ve topluca alınmıştır. Deney elemanlarının tümünde aynı donatılar kullanılmış ve bu donatılar hiç değiştirilmemiştir. Her çaptaki donatıdan yeterince numune alınmış ve bu numunelere çekme deneyleri uygulanmıştır. Bu deneyler sonunda her gruptaki numuneler arasındaki sapmaların çok az olduğu görülmüştür. Donatıların ortalama akma dayanımları ile kopmadaki ortalama dayanımları Çizelge 4.2 de topluca gösterilmiştir.

4.3.2. Beton dayanımları

Her deney elemanının beton dökümü sırasında 10 dan az olmamak üzere olabildiğince çok sayıda 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğinde standart silindir numune alınmıştır. Tüm numuneler deney elemanlarının bulunduğu kür ortamında ve aynı şartlarda tutulmuştur. Yalın deney elemanlarının betonundan alınan numunelerin bir kısmı, yalın deney elemanının denendiği tarihte, arta kalan kısmı ise onarım/güçlendirme deneyinin yapıldığı tarihte test edilmiştir. Böylece beton yaşının dayanım üzerindeki etkisi de göz önünde bulundurulmuştur. Çizelge 4.3 de tüm deney elemanlarının ortalama beton dayanımları ile deney tarihindeki yaşları gün olarak topluca gösterilmiştir. Bu çizelgeden de görülebileceği gibi yalın kısmın betonlarında ortalama 29 MPa dayanım elde edilmiştir. Monolitik, diriltme ve katman betonlarında ise ortalama 25 MPa dayanım elde edilmiştir.

Çizelge 4.2. Ortalama donatı dayanımları

Donatı Çapı ϕ (mm)	Donatı Sınıfı	Akma Dayanımı f_y (MPa)	Kopma Dayanımı f_u (MPa)
6	BC-I	362	381
10	BC-III	480	660
14	BC-III	398	530

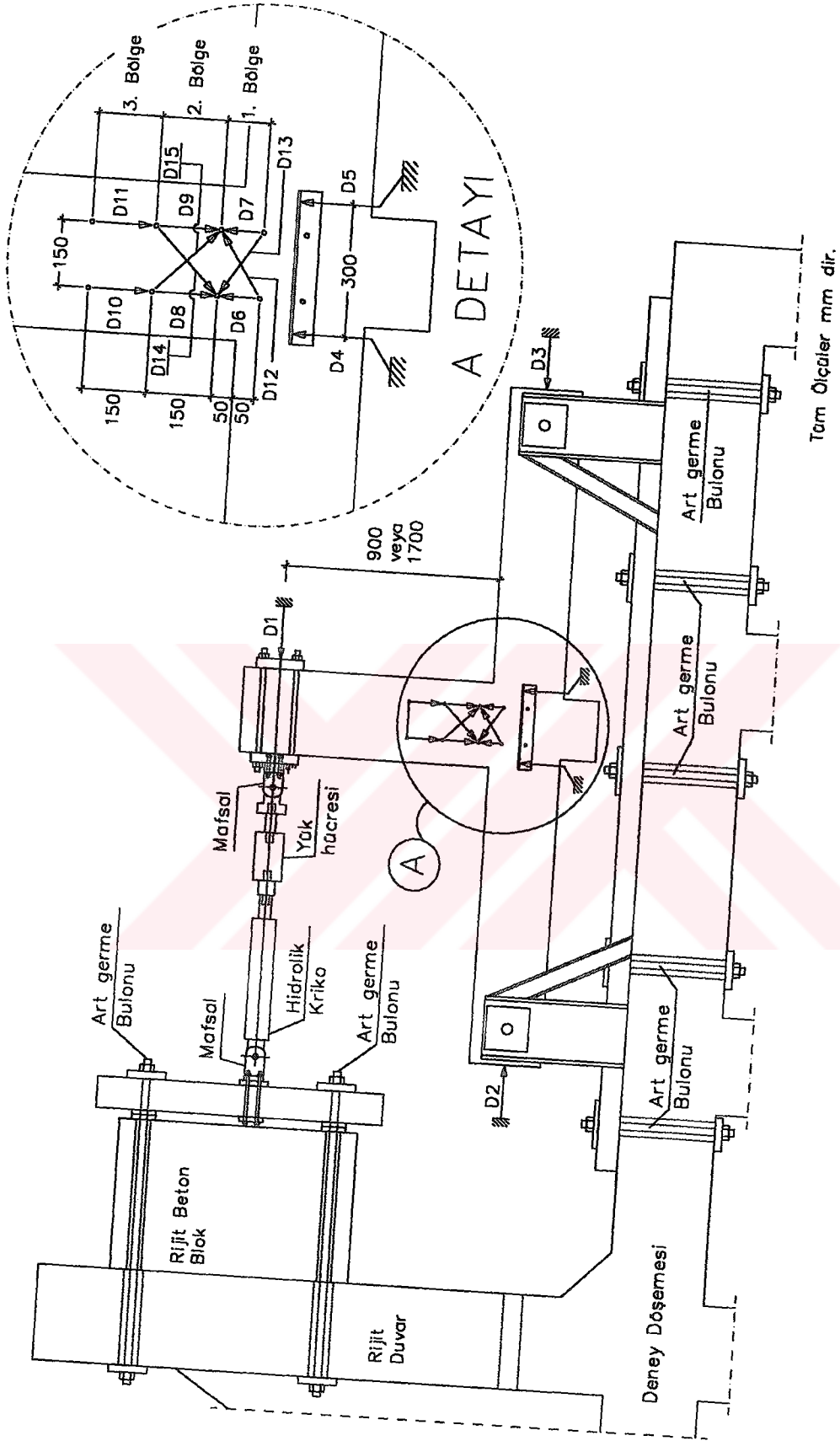
Çizelge 4.3. Ortalama beton dayanımları

Eleman Adı	Betonun Yeri							
	Monolitik betonu		Yalın Betonu		Katman Betonu		Diriltme Betonu	
	f_c (MPa)	Yaş (Gün)	f_c (MPa)	Yaş (Gün)	f_c (MPa)	Yaş (Gün)	f_c (MPa)	Yaş (Gün)
M5	26	47						
BC5			30	91				
RC5			31	209	23	79		
RRC5			30	612			26	283
M3	26	167						
M3S	25	38						
SC			29	149	26	105		
RSC			30	333			25	84
BC			29	90				
RC			32	245	24	66		
RRC							25	64
SM			30	187	23	110		
BM			25	62				
RM			29	190	25	113		
SE			28	81	24	49		
BE			24	39				
RE			29	115	23	40		
RRE							23	28
Ort.=	26		29		24		25	

4.4. Deney Düzeni

4.4.1. Yükleme düzeni

Deneyler Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünün Yapı Mekaniği Laboratuvarındaki güçlü deney döşemesinde gerçekleştirilmiştir. Bu deney döşemesi rijit bir döşeme ve güçlü bir düşey duvardan oluşmaktadır. Sağladığı kolaylıklar nedeniyle deney elemanları gerçek yapıdakine göre pozitif yönde 90 derece döndürülmüştür. Bir başka deyişle, kolonlar yatay, kiriş ise üst yüzü solda kalacak şekilde düşey konuma getirilmiştir. Kolonların mesnetlenmesi için deney döşemesine art germe bulonları ile sıkıca bağlanmış olan çelik bir düzenek kullanılmıştır. Deney elemanı ilkesi gereğince kolon uçları mafsallı olarak mesnetlenmiştir. Bunun için çelik düzenden ve kolon uçlarındaki deliklerden geçirilmiş yuvarlak çelik pimler kullanılmıştır. Kolon-kiriş birleşim bölgesindeki olası çatlaklar ve kolon moment taşıma gücü üzerindeki olumlu etkilerine rağmen güvenli tarafta kalarak kolonlara herhangi bir eksenel yük uygulanmamıştır. Kirişlere yük uygulanmasında bir ucu rijit duvara, diğer ucu ise yük-hücre (Load-Cell, (LC)) bağlı çift etkili hidrolik bir krikon kullanılmıştır. Krikonun 260 mm lik genliği (strok) kirişe ileri ve geri yönde yeterli deformasyonu yaptıracak şekilde paylaştırılmıştır. Genelde bu türden krikoların çekme kapasitesi, itme kapasitesine göre daha azdır. Bu nedenle krikon kapasitesini etkin olarak kullanabilmek için yukarıda da belirtildiği gibi kirişin güçlü olan üst yüzü, itmede çekmeye çalışacak şekilde, sola yerleştirilmiştir. Yük okumaları krikon ile kiriş arasına yerleştirilmiş olan ve hem çekme hem de basınca çalışan bir yük-hücre ile yapılmıştır. Okunan yük değerleri bir okuyucu-tarayıcıdan geçtikten sonra bilgisayara aktarılmıştır. Krikonun rijit duvara bağlı ucu ile yük-hücresinin kirişe bağlı ucu mafsallı olarak düzenlenmiştir. Böylece yük eksenine dik yönde kuvvet oluşması önlenmiştir. Yük ve ölçüm düzeni Şekil 4.16 da ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



4.4.2. Ölçüm düzeni

Deneyler sırasında çeşitli yön ve doğrultudaki deplasman ölçümleri için, 0.01 mm ye kadar olan değişimleri ölçebilen, elektronik deplasman ölçerler (LVDT) kullanılmıştır. Bu LVDT ler den gelen bilgiler bir okuyucu tarayıcıdan geçtikten sonra bilgisayarın sabit hafızasına kaydedilmiştir. Ayrıca deneyler sırasında konsol ucundaki deplasman ile yükün değişimi bilgisayar ekranında grafik olarak izlenmiştir. Ölçüm sisteminde toplam 15 adet LVDT kullanılmış ve her LVDT ye “D” ile başlayan ve sonunda LVDT numarası olan bir ad verilmiştir. Ölçüm sisteminde rijit ötelenmeleri ve konsol uç deplasmanını ölçen LVDT ler (D1,D2,D3,D4,D5) deney elemanı dışına mesnetlenmiştir. Diğer LVDT ler ise deney elemanı betonuna ankre edilmiş olan ölçüm çubuklarına bağlanmıştır. Deney elemanı üç ölçüm bölgesine ayrılmış ve eleman üzerine mesnetlenmiş olan LVDT ler bu bölgelere yerleştirilmiştir (Bkz. Şekil 4.16). Bu deneysel çalışmanın tasarım aşamasında 3. bölgeden ölçüm alınması düşünülmemiştir. Ancak araştırmanın ilk deneyi olan M5 adlı deney elemanında bu bölgede de önemli çatlaklar olabileceği izlenimi edinilmiş ve sonraki deneylerde bu bölgeden de ölçüm alınmasına karar verilmiştir. Bu nedenle M5 deneyinde 3. bölgeden ölçüm alınmamıştır. Deney elemanlarından alınan ölçümler aşağıdaki amaçlar için kullanılmıştır.

- D1 : Kiriş uç deplasmanı
- D2 ve D3 : Rijit yatay ötelenmeler
- D4 ve D5 : Rijit düğüm dönmesi
- D6 ve D7 : 1. bölge eğrilik hesabı
- D8 ve D9 : 2. bölge eğrilik hesabı
- D10 ve D11 : 3. bölge eğrilik hesabı
- D12 ve D13 : 1. bölge kayma deformasyonları hesabı
- D14 ve D15 : 2. bölge kayma deformasyonları hesabı

4.5. Ölçümlerin Değerlendirilmesi

4.5.1. Yük ölçümlerinin değerlendirilmesi

Bu bölümde beton dayanımlarındaki olası değişikliklerin kiriş taşıma gücü ve davranışı üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Bilindiği gibi beton dayanımını etkileyen bir çok parametre vardır. Aynı karışım oranlarında fakat farklı zamanlarda hazırlanan karışımların bile beton dayanımları farklı olabilmektedir. Özellikle beton dayanımının, eleman davranış ve dayanımı üzerinde önemli etkileri olabilecek deneysel çalışmalarda, beton dayanımındaki farklılıklar karşılaştırma ve yorum yapılmasını hem güçleştirir hem de doğru bir yaklaşım olmaz. Bu gibi durumlarda elemanlar arası beton dayanımı çok farklı ise yük ölçümlerinde genelde bir düzeltme işlemi yapılır. Normalizasyon adı verilen bu işlemde, beton dayanımları arasındaki farkları yok etmek için tüm elemanların deney sonuçları, öngörölmüş olan ortak bir beton dayanımına göre düzeltilir. İlke olarak bu tür normalizasyon işlemlerinde donatının taşıdığı yük, toplam yükten çıkartılarak betonun taşıdığı yük bulunur. Daha sonra bu yük, öngörülen beton dayanımının mevcut beton dayanımına oranı ile çarpılır. Böylece öngörülen dayanım ile betonun taşıdığı yük bulunur. Son olarak bulunan beton yükü ile donatının taşıdığı yük toplanarak, elemanın öngörölmüş beton dayanımına göre düzeltilmiş yükü bulunur. Bilindiği gibi eksenel yükün olmadığı veya düşük düzeyde olduğu kiriş gibi eğilme elemanlarında beton dayanımındaki olası farklılıklar kiriş taşıma gücünü çok az etkilemektedir. Kaynak [18] de bu konu ile ilgili çarpıcı bir örnek verilmiştir. Bu örnekte, boyuna donatısı BÇ-III olan, basit donatılı denge altı bir kiriş ele alınmış ve beton dayanımları değiştirilerek kiriş taşıma gücü oranları bulunmuştur. Sonuç olarak beton dayanımındaki %20 lik bir azalma moment taşıma gücünde ancak %3 lük bir azalma meydana getirmiştir. Daha abartılı bir değer olarak, beton dayanımındaki %65 lik bir azalma ise

MPa, diğer yüzde ise 29 MPa gibi gözükmesine rağmen aslında durum böyle değildir. Çünkü bir yüzünden onarılmış olan elemanlarda bile katman eklenmeyen taraftaki ezilmiş olan beton aynı katman betonu ile onarılmıştır. Diriltme işleminin uygulanmış olduğu elemanlarda ise hem konsol dibindeki 350-400 mm lik kısım tümünden yeni beton ile değiştirildiğinden hem de, diriltme betonunun ortalama dayanımı öngörülen dayanıma eşit olduğundan, beton dayanımdan kaynaklanan bir farklılığın olmayacağı açıktır. Tüm bunlara ek olarak beton dayanımlarının eleman eğilme rijitliği üzerinde etkileri olabileceği endişesi ile moment-eğrilik ilişkisinden yararlanarak ayrıntılı irdelemeler yapılmıştır. Bu irdelemenin sonunda beton dayanımlarındaki önemli değişikliklerin eğilme rijitliğini önemli ölçüde değiştirebileceği anlaşılmıştır. Ancak bu deneysel çalışmadaki kadar küçük dayanım farklılıklarının, eleman eğilme rijitliklerini üzerindeki etkisinin oldukça az olduğu görülmüştür. Bütün bu irdelemelerin sonunda, bu çalışmanın beton dayanımları arasındaki küçük farklılıkların, davranış ve dayanımı hemen hemen hiç etkilemediği sonucuna varılmış ve deney elemanlarına, olası sakıncaları da göz önünde tutarak, normalizasyon işlemi uygulanmamıştır.

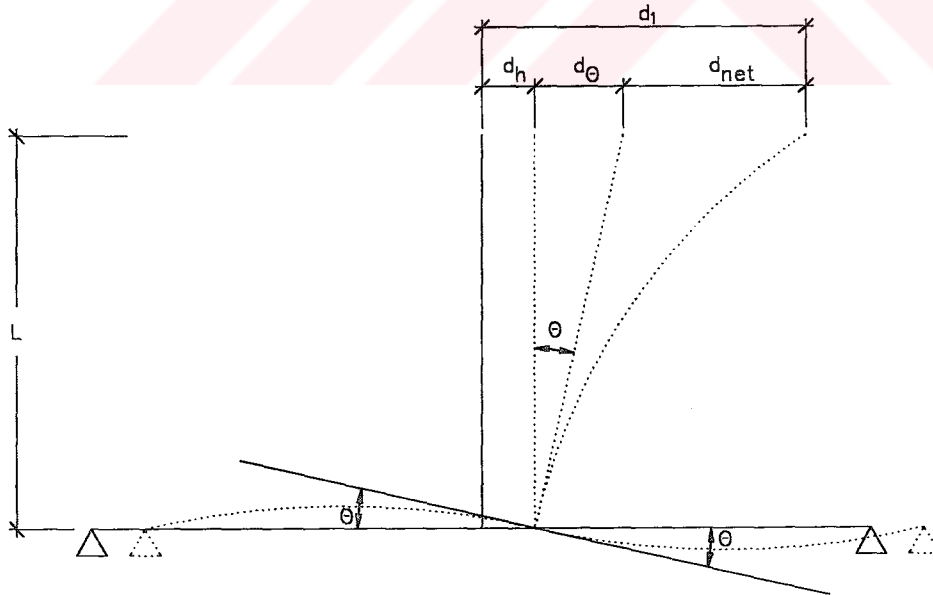
4.5.2. Deplasman ölçümlerinin değerlendirilmesi

4.5.2.1. Kiriş ucundaki net deplasmanların hesabı

Bölüm 4.4.2 de belirtildiği gibi kirişin yatay doğrultudaki uç deplasmanının ölçümünde D1 adlı LVDT kullanılmıştır. Ancak yük ve ölçüm sisteminden de görülebileceği gibi kirişe mesnetlik görevi yapan kolonların rijitliği sonsuz değildir ve yük altında kolon-kiriş birleşiminde rijit dönmeler olacaktır. Ayrıca kolon mesnetlerindeki boşluklardan dolayı da deney elemanı, küçük de olsa, yatay yönde rijit ötelenme yapacaktır. Söz konusu iki deplasmanın kiriş davranış ve dayanımı üzerinde bir etkisi olmamasına rağmen D1 adlı LVDT

den ölçülen deplasmanın içinde bu iki deplasman da vardır. Oysa ilgilenilmesi gereken asıl deplasman kirişin yapmış olduğu kayma ve eğilme deformasyonlarının toplamından oluşan net deplasmandır. Bu nedenle deney sonuçlarının değerlendirilmesinde D1 den ölçülen deplasmanlar yerine kiriş ucunda oluşan net deplasmanlar göz önünde bulundurulmuştur. Şekil 4.17 de herhangi bir deney elemanının, ileri yükleme sırasında oluşan deformasyonları bileşenlerine ayrılarak gösterilmiştir. Bu şekilde gösterilmiş olan sembollerin anlamı aşağıda verilmiştir.

- θ : Düğümün (kolon-kiriş birleşiminin) dönme açısı
- d_1 : “D1” LVDT sinden ölçülen deplasman
- d_h : Deney elemanının rijit yatay ötelenmesi
- d_θ : Düğümdeki dönmeden dolayı, d_1 doğrultusunda oluşan deplasman.
- d_{net} : Kiriş ucunun yatay yöndeki net deplasmanı (eğilme+kayma).
- L : Kolon ekseni ile “D1” ekseni arasındaki dik uzaklık.



Şekil 4.17. Sıradan bir deney elemanının deformasyon bileşenleri

Şekil 4.17 den de açıkça görülebileceği gibi, kiriş ucundaki net deplasman, “D1” LVDT sinden ölçülen deplasman ile, rijit ötelenme ve dönme hareketlerinden dolayı D1 doğrultusunda oluşan deplasmanın farkına eşittir. Aşağıda net deplasmanın bulunmasıyla ilgili formüller verilmiştir. Deneyler sırasında kullanılan tüm LVDT lerin ölçüm çubukları içeri doğru girdiğinde (+) değerler okunmuş, dışarı doğru çıktığına ise (-) değerler okunmuştur. Formüller çıkartılırken LVDT lerin işaretleri göz önünde bulundurulmuştur.

$$d_h = \frac{d_3 - d_2}{2} \quad (4.1)$$

$$d_\theta = \frac{d_5 - d_4}{c} \cdot L \quad (4.2)$$

$$d_{net} = d_1 - d_h - d_\theta \quad (4.3)$$

Bu eşitliklerde tanımlanmamış olan terimler aşağıda verilmiştir.

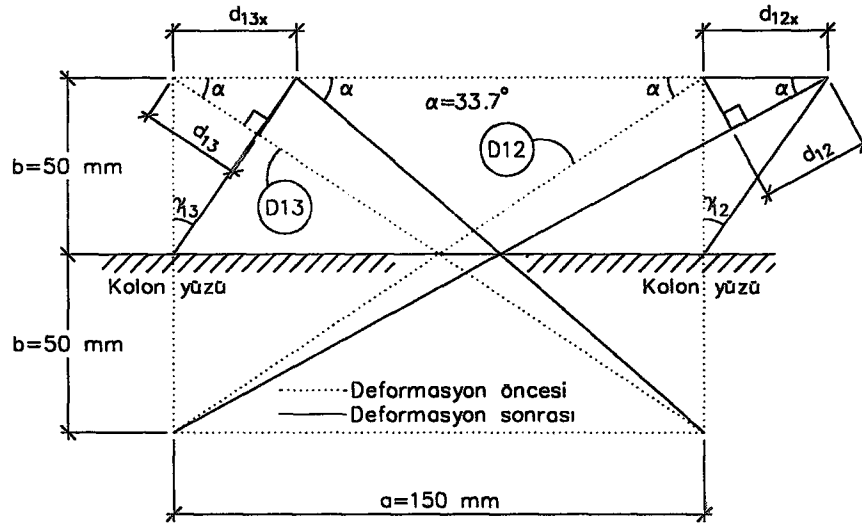
$d_2, \dots, d_5$: Sırasıyla D2, D3, D4, D5 adlı LVDT lerinden ölçülen deplasmanlar.

c : D4 ile D5 eksenleri arasındaki dik uzaklık (300 mm).

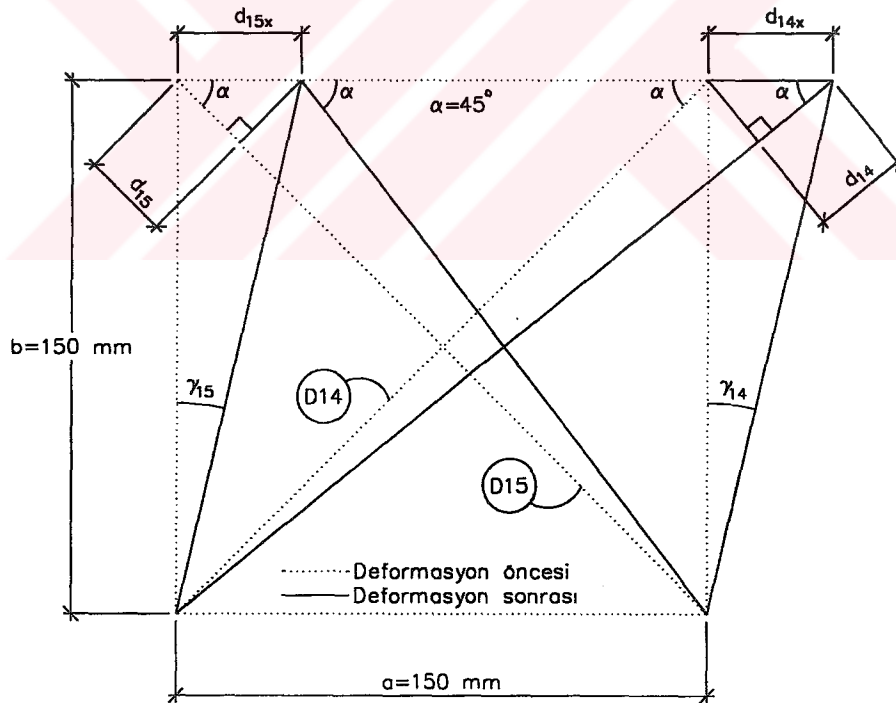
Deney elemanlarına ait yük-deplasman grafiklerinin zarf eğrileri de net deplasmanlara göre çizilmiştir.

4.5.2.2. Kayma ve eğilme deformasyonlarının hesabı

Deney elemanlarında sadece birinci ve ikinci bölgeden kayma deformasyonu amaçlı ölçüm alınmıştır. Her iki bölge için kayma deformasyonları ve kayma açıları ayrı ayrı hesaplanmış ve kayma açısının kesme kuvveti ile değişimi grafik olarak çizilmiştir. Bu işlemlerdeki kesme kuvvetinin, kirişe uygulanan yüke eşit olduğu açıktır. Birinci ve ikinci bölgenin deformasyondan önceki ve sonraki durumları Şekil 4.18 de şematik olarak gösterilmiştir. Bu şekillerden



a) Birinci bölge



b) İkinci bölge

Şekil 4.18. Birinci ve ikinci bölgedeki kayma deformasyonları

yararlanarak, kayma deformasyonları ile ilgili formüller çıkarılmış ve aşağıda verilmiştir.

1. Bölge

$$\alpha = \text{Arctg}\left(\frac{2b}{a}\right) \quad (4.4)$$

$$d_{12x} = -\frac{d_{12}}{\text{Cos}(\alpha)} \quad (4.5)$$

$$d_{13x} = +\frac{d_{13}}{\text{Cos}(\alpha)} \quad (4.6)$$

$$d_{1x} = \frac{d_{12x} + d_{13x}}{2} \quad (4.7)$$

$$\gamma_{12} = \frac{d_{12x}}{b} \quad (4.8)$$

$$\gamma_{13} = \frac{d_{13x}}{b} \quad (4.9)$$

$$\gamma_1 = \gamma_{\text{ort.}} = \frac{\gamma_{12} + \gamma_{13}}{2} \quad (4.10)$$

Bu eşitliklerde kullanılmış olan terimlerin anlamları aşağıda tanımlanmıştır.

α , a , b : Bakınız Şekil 4.18.

d_{12x} : d_{12} nin yataydaki iz düşümü.

d_{13x} : d_{13} nin yataydaki iz düşümü.

d_{1x} : Birinci bölgedeki ortalama yatay kayma deformasyonu

γ_{12} : Birinci bölgede d_{12} ile hesaplanan kayma açısı

γ_{13} : Birinci bölgede d_{13} ile hesaplanan kayma açısı

γ_1 : Birinci bölgedeki ortalama kayma açısı

2. Bölge

İkinci bölgedeki hesaplar da birinci bölgedekine benzer şekilde yapılmıştır. Hesaplarda sadece notasyon değişmiş ve α açısı Eşitlik 4.11 den hesaplanmıştır.

$$\alpha = \text{Arctg}\left(\frac{b}{a}\right) \quad (4.11)$$

Bilindiği gibi hesaplanmış olan net deplasman kayma ve eğilme deformasyonlarının toplamından oluşmaktadır. Kayma deformasyonlarının büyük kısmının birinci ve ikinci bölgede olduğu varsayımı ile bu iki bölgede oluşan kayma deformasyonlarının toplamı, kiriş ucundaki net deplasmandan çıkartılarak eğilme deformasyonları, Eş. 4.12 ile, bulunmuştur. Daha sonra yük-eğilme deformasyonu ile yük-net deplasman ilişkisi aynı eksen takımı üzerinde çizilerek kayma ve eğilme deformasyonlarının net deplasman içindeki paylaşımı incelenmiştir.

$$d_e = d_{net} - d_{1x} - d_{2x} \quad (4.12)$$

d_e : Kiriş ucunda sadece eğilme etkileri ile oluşan deplasman.

d_{net} : Kiriş ucundaki net deplasman (eğilme+kayma).

d_{1x} : Birinci bölgedeki ortalama yatay kayma deformasyonu.

d_{2x} : İkinci bölgedeki ortalama yatay kayma deformasyonu.

4.5.2.3. Moment-eğrilik ilişkisinin hesabı

Eleman üzerinde daha önce tanımlanmış olan üç bölge için moment ve eğrilik ilişkisi çizilmiştir. Bu grafiklerin çiziminde, her bir bölgenin momenti yerine, bölgeler arası karşılaştırma ve yorumların daha kolay yapılabilmesi için ele alınan kirişin kolon yüzündeki momenti kullanılmıştır. Bilindiği gibi eğrilik, birim boy başına düşen, radyan olarak, rölatif dönme açısıdır. Bu nedenle deneysel çalışmalarda eğriliğin belirlenebilmesi amacıyla seçilmiş olan iki kesitin arasındaki dönme açısı radyan olarak bulunduktan sonra bu açı iki kesit arasındaki uzunluğa bölünerek eğrilik bulunur. Şekil 4.19 da birinci ve ikinci bölgedeki eğrilik hesabında kullanılacak olan düşey LVDT lerin deformasyon öncesi ve sonrası durumları gösterilmiştir. Şekilde gösterilmemiş olan üçüncü bölge ise ikinci bölgeye benzerdir. LVDT lerin işaretleri göz önünde tutularak hesaplanmış olan eğrilik bağıntıları aşağıda verilmiştir.

$$\theta_1 \cong \frac{d_7 - d_6}{a} \quad \text{olmak üzere} \quad k_1 = \frac{\theta_1}{b} = \frac{d_7 - d_6}{a.b} \quad (4.13)$$

$$\theta_2 \cong \frac{d_9 - d_8}{a} \quad \text{olmak üzere} \quad k_2 = \frac{\theta_2}{b} = \frac{d_9 - d_8}{a.b} \quad (4.14)$$

$$\theta_3 \cong \frac{d_{11} - d_{10}}{a} \quad \text{olmak üzere} \quad k_3 = \frac{\theta_3}{b} = \frac{d_{11} - d_{10}}{a.b} \quad (4.15)$$

θ_i : i. bölgedeki dönme açısı

k_i : i. bölgedeki eğrilik

d_i : i. LVDT den okunan deformasyon

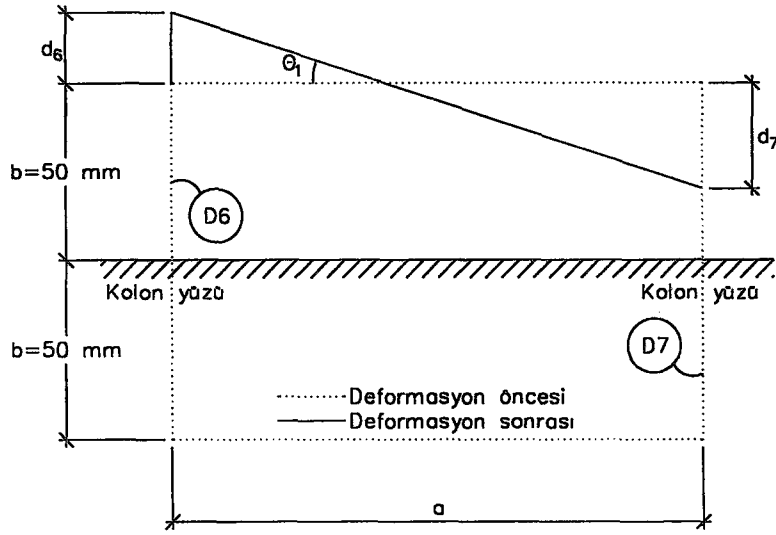
a : Eğrilik hesabında kullanılan LVDT lerin eksenleri arasındaki uzaklık.

(SM ve RM nin 1. ve 2. bölgesinde $a=84$ mm, SM ve RM nin 3.

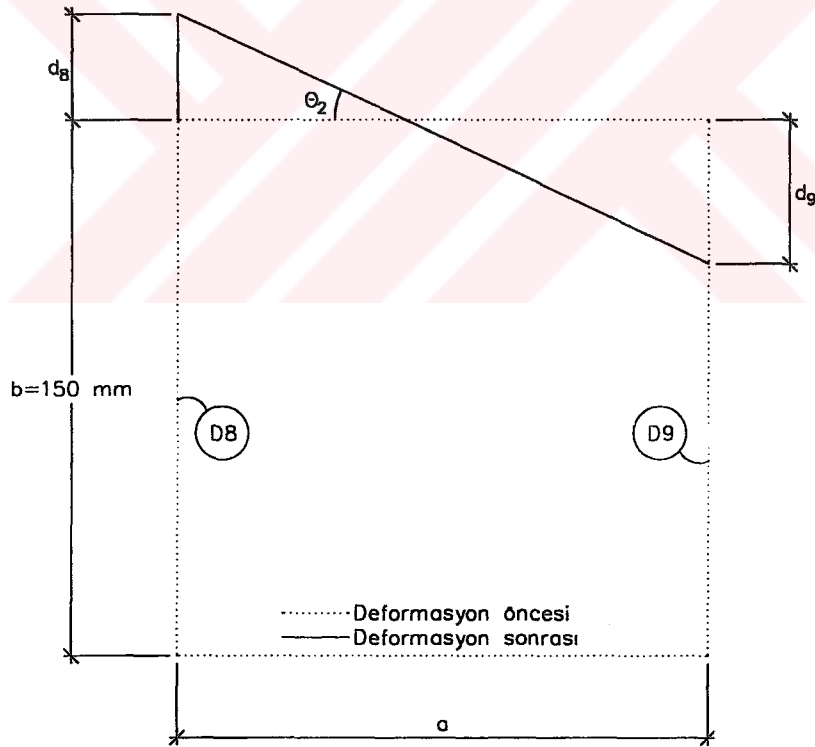
bölgesi ile diğer elemanların tümünde $a=216$ mm)

b : Eğrilik hesabı yapılan bölgenin kiriş üzerindeki yüksekliği.

(1. bölgede $b=50$ mm, 2. ve 3. bölgelerde $b=150$ mm)



a) Birinci bölge



b) İkinci bölge

Şekil 4.19. Birinci ve ikinci bölgedeki eğilme deformasyonları

4.5.2.4. Eğilme rijitliklerinin hesabı

Elemanların rijitlik değişimlerini belirlemek amacıyla ileri ve geri çevrimlerdeki eğilme rijitlikleri bulunmuştur. Bilindiği gibi teorik olarak eğilme rijitliği, moment-eğrilik ilişkisinin eğimine eşittir. Ancak deney elemanlarının çeşitli kesitlerinde ölçülerek hesaplanmış olan moment-eğrilik ilişkisinin, betonarmenin kendine özgü davranışından ötürü, tam olarak doğru olduğunu düşünmek yanıltıcı olabilir. Betonarme model deneylerinde eğrilik ölçümü alınacak bölgenin uzunluğuna karar vermek oldukça önemli bir problemdir. Bölge içindeki çatlak sayısı ve dağılımı eğriligi önemli ölçüde değiştirebilmektedir. Probleme bu açıdan bakıldığında ölçülerek hesaplanan eğrilğin gerçek eğriligi ne derece temsil edebileceği tartışılabilir bir konudur. Bu nedenle rijitlik hesaplarında moment-eğrilik ilişkileri kullanılmamıştır. Bunun yerine eğilme rijitliğinin bir ölçüsü olarak hesaplarda daha gerçekçi olan yük-net deplasman grafiklerinin eğimleri kullanılmıştır. Eğrilik ile momentin, yük ve deplasmanın birer fonksiyonu olduğu ve elemanlar arası bir karşılaştırma yapılacağı düşünüldüğünde bu durum bir sakınca yaratmayacaktır. Normalde her çevrimde hesaplanan rijitliğin, o ana kadar ileri ve geri yönde yapılmış olan deformasyonların mutlak değerce kümülatif toplamına göre çizilmesi gerekir. Ancak tüm deney elemanlarında deplasman kontrollü yükleme yapılmış, buna bağlı olarak da her çevrimde deney elemanlarına yaklaşık olarak eşit deplasman yaptırılmıştır. Bu nedenle eğilme rijitliği ölçüsünün değişimi, kümülatif deplasmanlar yerine, basitçe çevrim sayısına göre çizilmiştir. Rijitlikler, yük-deplasman eğrisinde, kayma deformasyonlarının etkisinin azalıp sistemin tekrar yük almaya başladığı, ikinci çıkış kısmının eğiminden hesaplanmıştır.

4.5.2.5. Enerji tüketme kapasitelerinin hesabı

Toplam enerjinin değişmediği ancak başka enerjilere dönüşebildiği fiziğin bilinen temel kurallarından biridir. Enerji kaynağı olan deprem yükleri altındaki betonarme taşıyıcı bir sistem, elastik bölgede kalıyorsa bu sistem deprem tarafından kendine verilen enerjiyi geri iletebilmektedir. Böyle bir durum, ancak deprem etkisinin küçük olduğu zamanlarda veya yapının özellikle elastik bölgede kalacak şekilde tasarlanmasıyla mümkün olabilir. Nükleer yapılar gibi özel sistemler dışında yapının elastik bölgede kalacak şekilde tasarlanması genelde ekonomik olmaz. Bu nedenle ekonomik bir tasarım için büyük deprem yükleri altında taşıyıcı sistemin üzerindeki enerjinin bir kısmını başka enerjilere dönüştürebilmesi istenir. Enerjinin dönüşebilen kısmına tüketilen enerji denir. Betonarme taşıyıcılar bazı kurallara uyularak yapıldığında elasto-plastik bir davranış gösterirler. Böyle bir sistem üzerine gelen enerjinin bir kısmını deformasyon enerjisine dönüştürerek tüketir. Dönüşebilen enerji, plastik bölgenin uzunluğu ile genelde doğru orantılıdır. Bu nedenle taşıyıcı sistem elemanlarının enerji tüketebilme kapasiteleri oldukça önemlidir. Fizik kurallarından bilindiği gibi enerji yapılan işe, iş ise kuvvet ile ilk konuma göre katedilen yolun çarpımına eşittir. Bu tanımdan yola çıkarak deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri, elemana ait yük-deplasman eğrisinin her çevrimde kapamış olduğu alanların kümülatif olarak toplanmasıyla elde edilmiştir. Bu türden deneysel çalışmalarda enerji tüketimi değişiminin kümülatif deplasmana göre çizilmesi daha doğrudur. Ancak bölüm 4.5.2.4 'de de belirtildiği gibi deney elemanlarına aynı çevrimlerde yaklaşık olarak aynı deformasyonlar yaptırılmıştır. Bu nedenle enerji tüketiminin değişimi, kümülatif deplasmanlar yerine, daha basit olarak, çevrim sayısına bağlı olarak çizilmiştir.

4.5.2.6. Süneklik oranlarının hesabı

Süneklik, öngörülen dayanımda önemli bir kayıp olmaksızın deformasyon yapabilme yeteneğidir. Süneklik oranı ise öngörülen dayanımda önemli bir kayıp olmaksızın oluşan en büyük deformasyonun akma anındaki deformasyona oranıdır. Bu tanıma bağlı olarak dayanımda bir miktar olası kayıplar göze alınmaktadır. Ancak bunun ölçüsü ne olmalıdır? Bu konuda çoğu zaman %15 ile %20 lik kayıplar genel kabul görmüş oranlardır. Bu çalışmada %15 lik sınır temel alınmıştır. Süneklik oranı yük-deplasman ilişkisinden veya moment-eğrilik ilişkisinden bulunabilir. Bunlardan ilkinde deplasman, ikincisine ise eğrilik sünekliği denir. Teorik olarak bu iki süneklik oranının aynı olması gerekir. Ancak betonarmenin kendine özgü davranışı ve eğrilik hesaplarındaki ölçüm boyunun tartışmaya açık olmasından dolayı, deneysel çalışmalarda süneklik oranının tayini için moment-eğrilik ilişkisi pek tercih edilmez. Bu nedenle bu çalışmada deplasman süneklikleri hesaplanmıştır. Bunun için önce, ele alınan deney elemanına ait yük-deplasman grafiğinin, monolitik eleman dayanımının %85 inden geçen yatay doğrusunu kestiği noktadaki deformasyon bulunmuştur. Daha sonra bu deformasyonun elemana ait akma deformasyonuna bölünmesi ile süneklik oranı bulunmuştur.

5. DENEYLER

Bu bölümde deneyler anlatılmıştır. Deneyler sırasında davranış ve dayanımda gözlenen değişiklikler olabildiğince dikkatli bir şekilde izlenmiş ve tüm ayrıntıları ile, gerekmedikçe yorumsuz olarak, sunulmuştur. Okuyucular, oldukça uzun olan bu bölümü isterlerse atlayabilir ya da sadece ilgilendikleri deneylere ait kısımları okuyabilirler. Her deneyin anlatıldığı kısımdan hemen sonra, deney elemanına uygulanan yük ve deplasman geçmişi şemaları ile yük-deplasman (toplam ve net deplasman) eğrileri verilmiştir. Anlatımda deney anındaki gelişimi gösteren ve doğrudan kiriş ucundan ölçülmüş olan toplam deplasmana ait yük-deplasman eğrileri kullanılmıştır. Deney elemanları ile ilgili bazı fotoğraflar ise Ek-1. de verilmiştir. Her çevrimdeki gelişmeler sıralı olarak anlatılmıştır. Ancak önemli bir olayın gözlenmediği çevrimler atlanmıştır. Deney elemanları, kirişler düşey ve güçlü yüzleri solda kalacak şekilde deney döşemesine yerleştirilmiştir (Bkz. Şekil 4.16). Deneyler, elemanların deney döşemesi üzerindeki konumuna göre anlatılmıştır. Eleman üzerinde başlangıç noktası kolon-kiriş düğümü olan hayali bir eksen takımı seçilmiştir. Ön yüzden bakıldığında, bu eksen takımının sağa yönelmiş olan pozitif x-ekseni kolon eksenine ile, yukarı doğru yönelmiş olan pozitif y-ekseni ise kiriş eksenine ile çakışmaktadır. Tüm açı tarifleri x-ekseninin pozitif yönünden başlayacak şekilde yapılmıştır. x-ekseninin pozitif yönünden başlayıp saatin tersi yöndeki açılar pozitif, saat yönündeki açılar ise negatif olarak tanımlanmıştır. Anlatım sırasında, çatlak konum ve açıları bu hayali eksen takımına göre yapılmıştır. İleri çevrimlerde kiriş ucuna uygulanan yük ve deplasmanlar pozitif x-ekseni doğrultusunda olduğu için (+), geri çevrimdekiler ise (-) olarak anılmıştır. Ayrıca yalın betonu içinde kalan boyuna donatılar iç, katman betonu içinde kalan boyuna donatılar ise dış donatı olarak adlandırılmıştır. Monolitik elemanlarda ise bu donatılara karşı gelen donatılar aynı şekilde adlandırılmıştır.

5.1. M5 Deneyi

İşlem türü	: İki yüzünden onarılmış veya güçlendirilmiş kirişler için monolitik referans kirişi
Eleman geçmişi	: Yok
Kesme açıklığı	: Orta
Katman sayısı	: İki yüzden birdöküm
Ankraj yöntemi	: Sürekli
Deney tarihi	: 27/04/1998

1. İleri yükleme

İlk kılcal eğilme çatlağı konsol dibinde 18 kN yükte oluşmuştur. Yük 25 kN'a ulaştığında kolon etriyeleri hizasında kılcal çatlaklar görülmüştür.

1. Geri yükleme

Yük -13 kN'a vardığında konsol dibinde ve ilk 1000 mm lik bölgedeki etriye hizalarında kılcal çatlaklar oluşmuştur.

2. İleri yükleme

25 kN yükte konsol dibindeki çatlak 0.5 mm genişliğe ulaşmış ve etriye hizalarındaki çatlaklar biraz daha belirginleşmiştir. Yük 35 kN'a iken düğümde çapraz çatlaklar oluşmuştur. Kiriş akma yükünün başlangıcı olan 43.1 kN da yük boşaltılmıştır.

3. İleri yükleme

Konsol dibindeki çatlak yaklaşık 1.8 mm kadar açılmıştır. Şu ana kadar kirişte belirgin kayma deformasyonları oluşmamıştır. Ayrıca dayanımda da azalma olmamıştır.

4 İleri yükleme

Dördüncü çevrimde kirişte belirgin kayma deformasyonları oluşmuştur. Kiriş akma dayanıma ancak 22 mm deformasyondan sonra ulaşabilmiştir.

5. İleri yükleme

Bu çevrimde kirişe 80 mm deformasyon yaptırılmasına rağmen, kiriş üzerinde oluşan çatlakların büyük kısmı ölçüm bölgeleri içinde kalmıştır.

5. Geri yükleme

Bu çevrimin sonlarına doğru ölçüm bölgesi dışında da önemsenmesi gereken çatlaklar oluşmuştur. Bunun üzerine bundan sonraki deney elemanlarında ölçüm bölgesinin yukarı doğru genişletilmesine ve ek ölçüm bölgesi ile ölçüm elemanları kullanılmasına karar verilmiştir.

6. İleri yükleme

24 kN yükte basınç bölgesindeki betonda ezilme başlamış ve 34 kN yükte basınç donatılarından dışta olan ikisi simetrik olarak burkulmuştur. Oluşan ezilme ve burkulmaların etkisi ile kiriş az da olsa dayanım kaybetmiştir. Kirişin taşıma gücünde %4 lük azalma olmuştur.

7. İleri yükleme

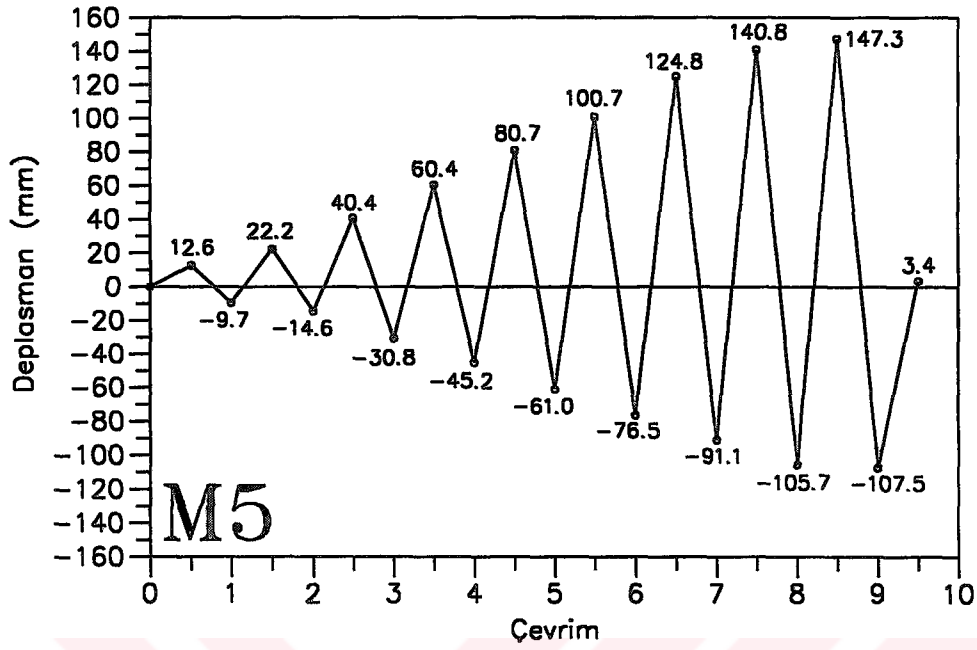
Yük 27 kN iken, betondaki ezilme içteki basınç donatılarına kadar ilerlemiş ve iç basınç donatılarının her ikisi de burkulmuştur. Ezilme bölgesinde kalan etriyelerden birinin kancası açılmıştır. Bu çevrimdeki toplam dayanım kaybı %14 olmuştur.

8. Geri yükleme

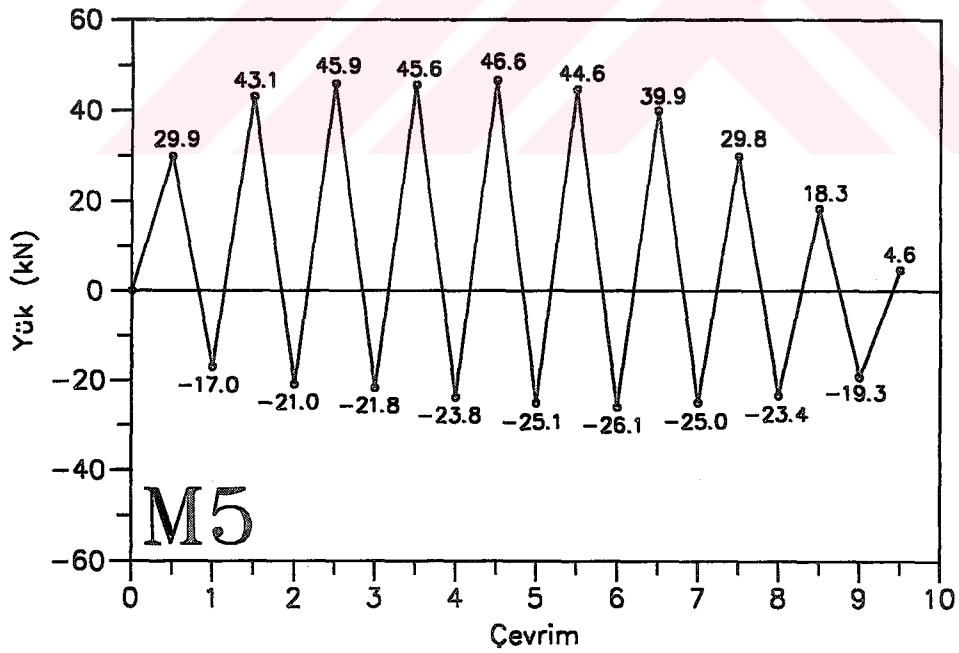
Kiriş uç deplasmanı -23 kN yükte, -106 mm ye ulaştığında basınç donatılarının dışta olan dördü düzgün bir şekilde burkulmuştur. Buna bağlı olarak dayanımda %10 azalma olmuştur.

9. İleri yükleme

Kiriş uzun süre düşük ve yaklaşık sabit yük altında deformasyon yapmıştır. Eleman ancak 75 mm deformasyondan sonra azar azar tekrar yük almaya başlamıştır. Buna rağmen kiriş 147 mm gibi büyük bir deformasyondan sonra 18 kN yük alabilmiştir. Elemanda ağır hasar oluşmuş ve dayanımda %60 lık düşme olmuştur. Bunun üzerine geri doğru bir yükleme daha yapıldıktan sonra deneye son verilmiştir (Şekil 5.1 ve 5.2).

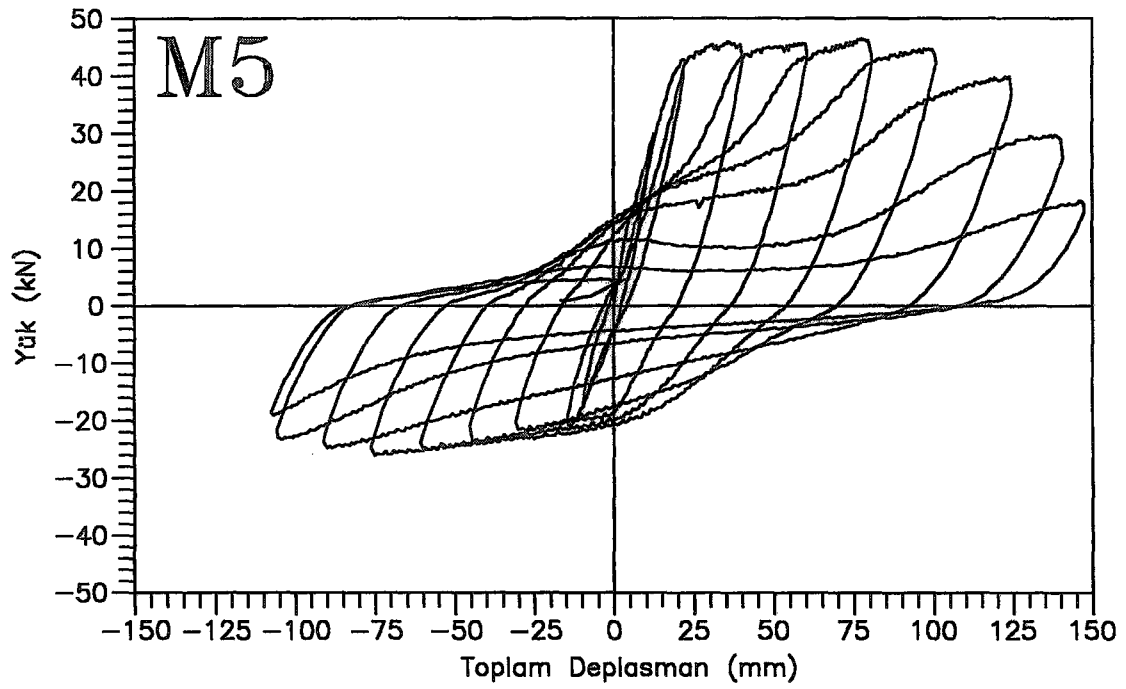


a) Deplasman geçmişi

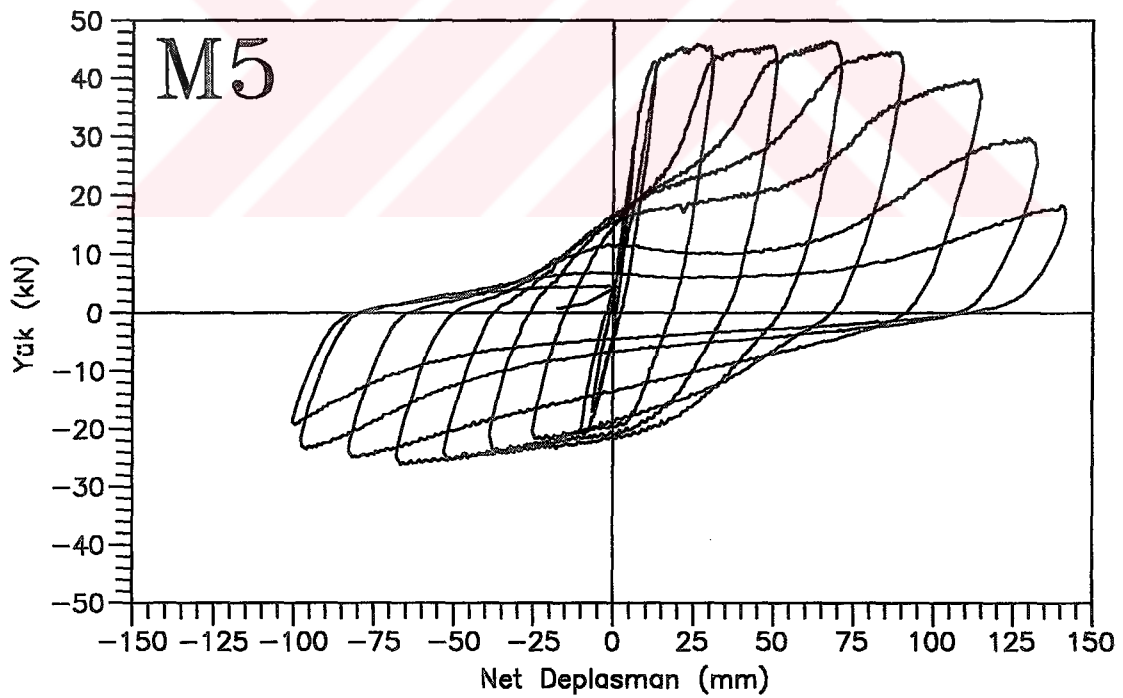


b) Yük geçmişi

Şekil 5.1. M5 deney elemanının yük ve deplasman geçmişi



a) Toplam deplasman



b) Net deplasman

Şekil 5.2. M5 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

5.2. BC5 Deneyi

İşlem türü	: Onarım öncesi yalın kiriş
Eleman geçmişi	: Yok
Kesme açıklığı	: Orta
Katman sayısı	: Yok
Ankraj yöntemi	: Sürekli (yalındaki)
Deney tarihi	: 26/06/1998

1. İleri yükleme

Yaklaşık 6 kN yükte önce kolon yüzünden 100 mm yukarıda daha sonra, etriye hizalarında, gittikçe yukarı doğru yayılan kılcal eğilme çatlakları oluşmuştur.

3. İleri yükleme

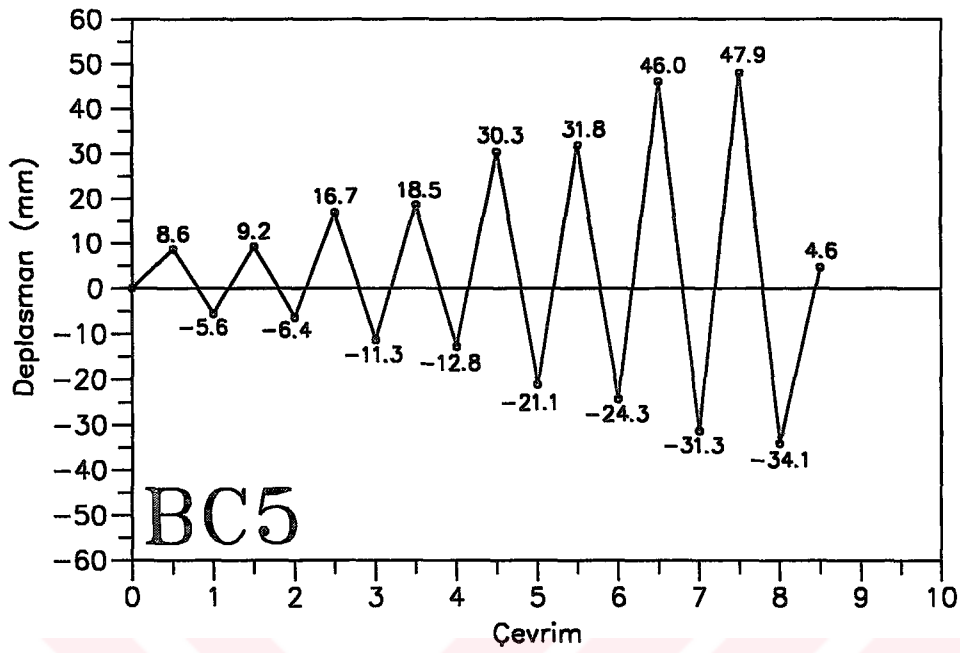
14 kN yükte düğümdeki çapraz çatlakların farkına varılmıştır. Daha sonra 17 kN yükte kiriş dibindeki eğilme çatlaklarının gittikçe büyüdüğü görülmüştür.

5. İleri yükleme

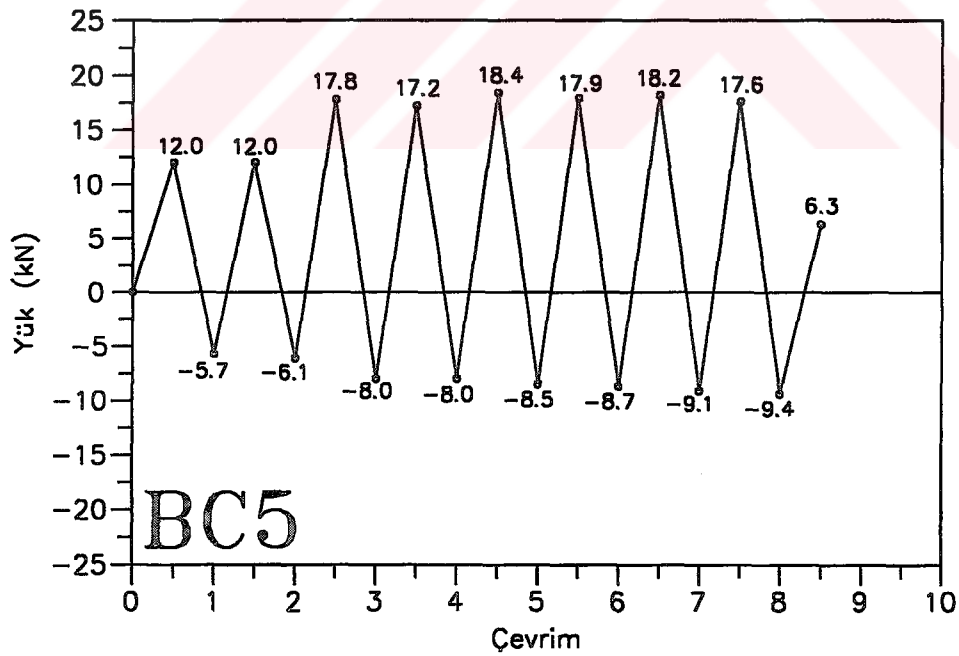
Yük 17 kN'a ulaştığında konsol dibindeki eğilme çatlakları yaklaşık 1.2 mm kadar açılmıştır. Daha sonra 18 kN yükte kolon-kiriş düğümündeki çatlakların biraz daha belirginleştiği görülmüştür.

9.Çevrim

Her iki yüzdeki donatıları da akmış olan kirişe ileri yönde 48 mm, geri yönde de -34 mm deformasyon yaptırılmış. Kirişte önemli eğilme çatlakları oluşmuştur. Kirişin orta dereceden hasar görmüş olduğuna karar verilmiş ve kiriş düzeltilerek deneye son verilmiştir (Şekil 5.3 ve 5.4).

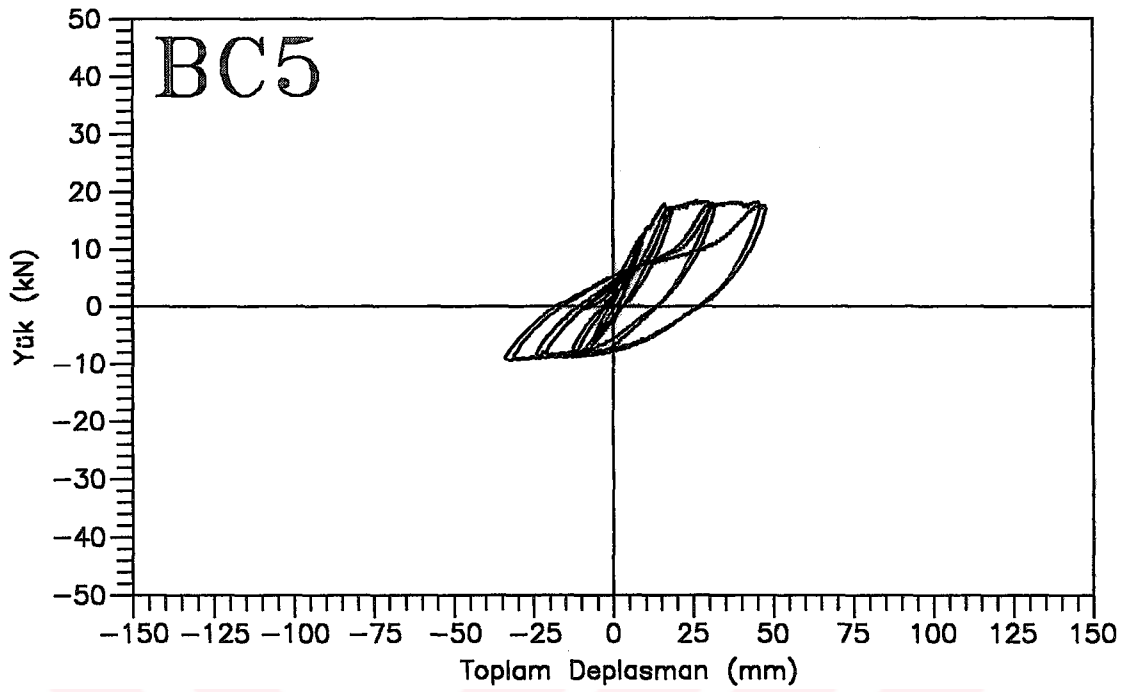


a) Deplasman geçmişi

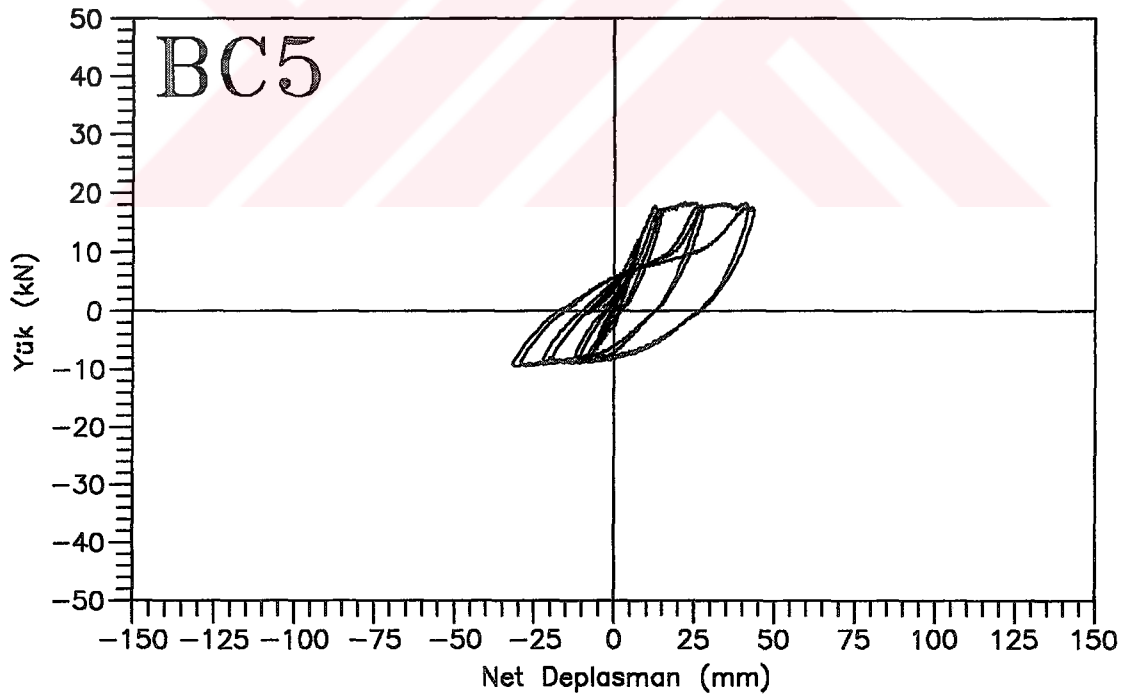


b) Yük geçmişi

Şekil 5.3. BC5 deney elemanının yük ve deplasman geçmişi



a) Toplam deplasman



b) Net deplasman

Şekil 5.4. BC5 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

5.3. RC5 Deneyi

İşlem türü	: Onarılmış kiriş
Eleman geçmişi	: Hasarlı yalın kiriş (BC5)
Kesme açıklığı	: Orta
Katman sayısı	: İki
Ankraj yöntemi	: Sürekli
Deney tarihi	: 22/10/1998

1. İleri yükleme

13 kN yükte ilk kılcal eğilme çatlağı konsol dibinde olmuştur. Daha sonra 23 kN yükte kolon-kiriş düğümündeki 45 derece açılı çapraz çatlak tekrar açılmaya başlamıştır.

1. Geri yükleme

Birleşimdeki -45 derece açılı çatlak, -13 kN yükte tekrar görünür hale gelmiştir.

2. İleri yükleme

Yük 35 kN'a ulaştığında kiriş dibindeki eğilme çatlakları belirginleşmiştir. 41 kN yükte kiriş yan yüzünde oluşmuş olan çatlakların arka yüze kadar geçmiş olduğu görülmüştür. Akma dayanımından hemen sonra yük boşaltılmıştır.

3. İleri yükleme

Konsol dibindeki eğilme çatlağı, 43 kN yükte, 1 mm kadar genişlemiştir. Bu sırada birleşimdeki çapraz çatlak ise 0.6 mm kadar açılmıştır.

3. Geri yükleme

Konsol dibindeki eğilme çatlağı, -23 kN yükte, 1.3 mm kadar genişlemiştir. Aynı yükte, birleşimdeki çapraz çatlak ise 0.4 mm kadar açılmıştır.

4. İleri yükleme

41 kN yükte, basınç bölgesindeki betonda hafif ezilmeler başlamış ve kiriş üzerindeki çatlaklardan beşi, ortalama 1.5 mm genişliğe ulaşmıştır.

4. Geri yükleme

Bu yükleme sırasında, mevcut çatlaklardan birinde kesme etkileri daha belirginleşerek eğikleşmiştir. Bu çatlakta 2 mm kadar bir açılma olmuştur.

5. İleri yükleme

Bu çevrimin sonlarına doğru her iki dış basınç donatısının da çoktan burkulmuş olduğunun farkına varılmıştır.

7. İleri yükleme

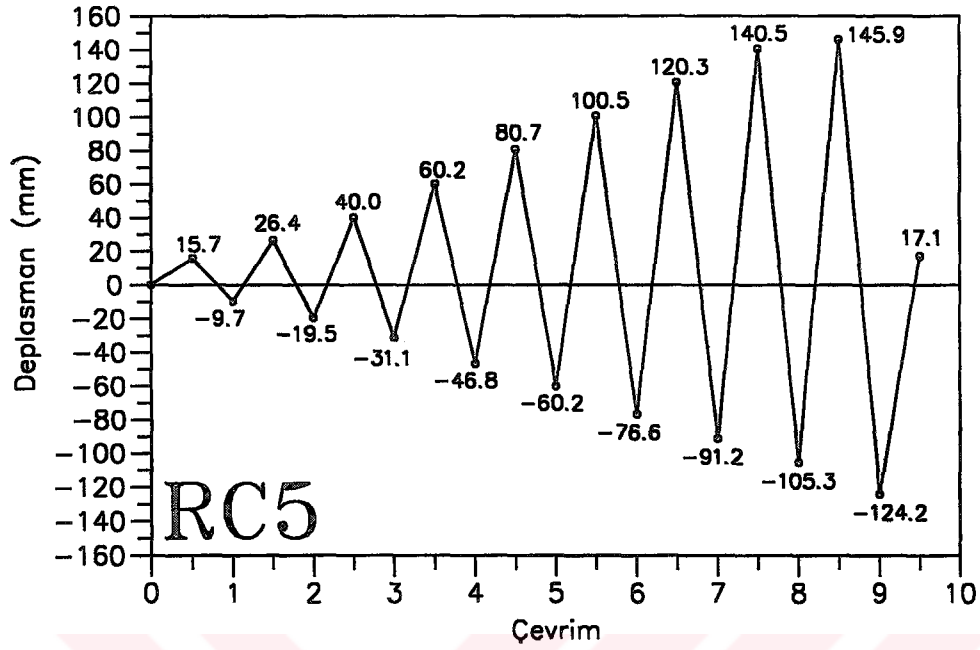
Basınç bölgesindeki ezilme, iç basınç donatılarına ulaştıktan sonra buradaki donatılar da burkulmuş ve elemanda dayanım kaybı gözlenmiştir. Kiriş taşıma gücünde %11 lik bir azalma olmuştur.

7. Geri yükleme

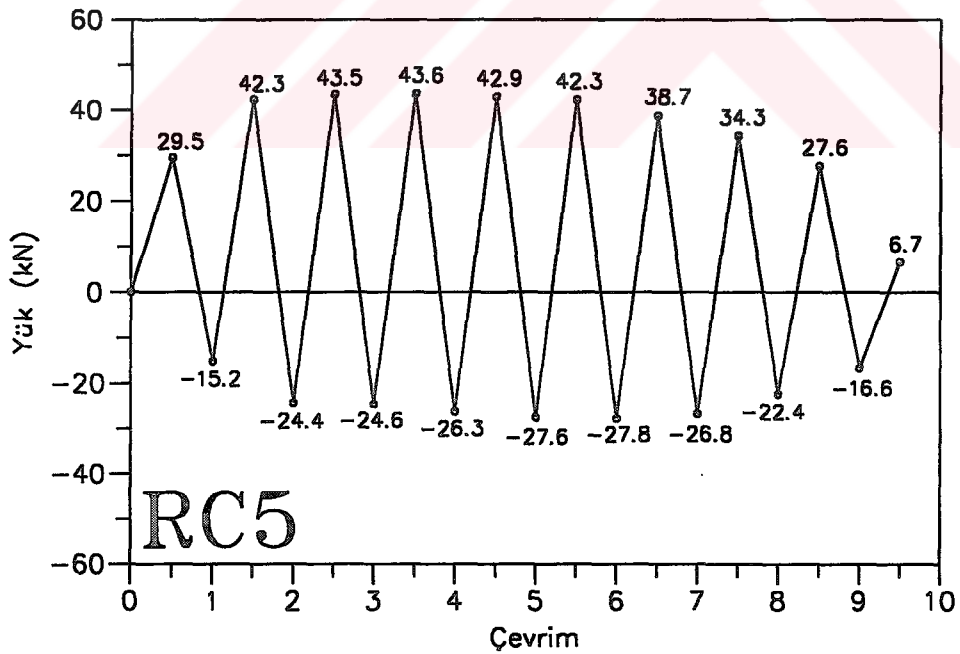
Basınç bölgesindeki dış basınç donatıları, -25 kN yükte burkulmuş ve taşıma gücünde %4 lük bir azalma olmuştur.

9. Geri yükleme

Yük -12 kN ve kiriş uç deplasmanı 99 mm ye ulaştığında çakme donatılarından biri aniden kopmuş ve kirişte oldukça fazla kesit kaybı oluşmuştur. Buna bağlı olarak elemanın yeterince ağır hasar görmüş olduğuna karar verilmiş ve kiriş deformasyondan önceki konumuna getirilerek deneye son verilmiştir (Şekil 5.5 ve 5.6).

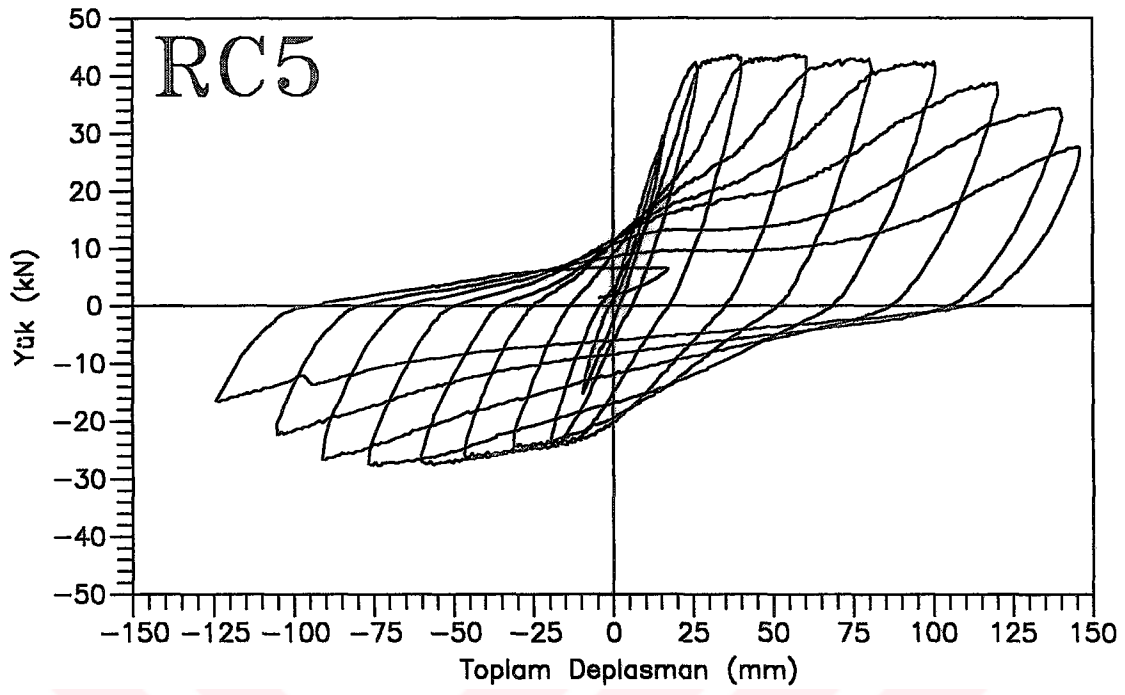


a) Deplasman geçmişi

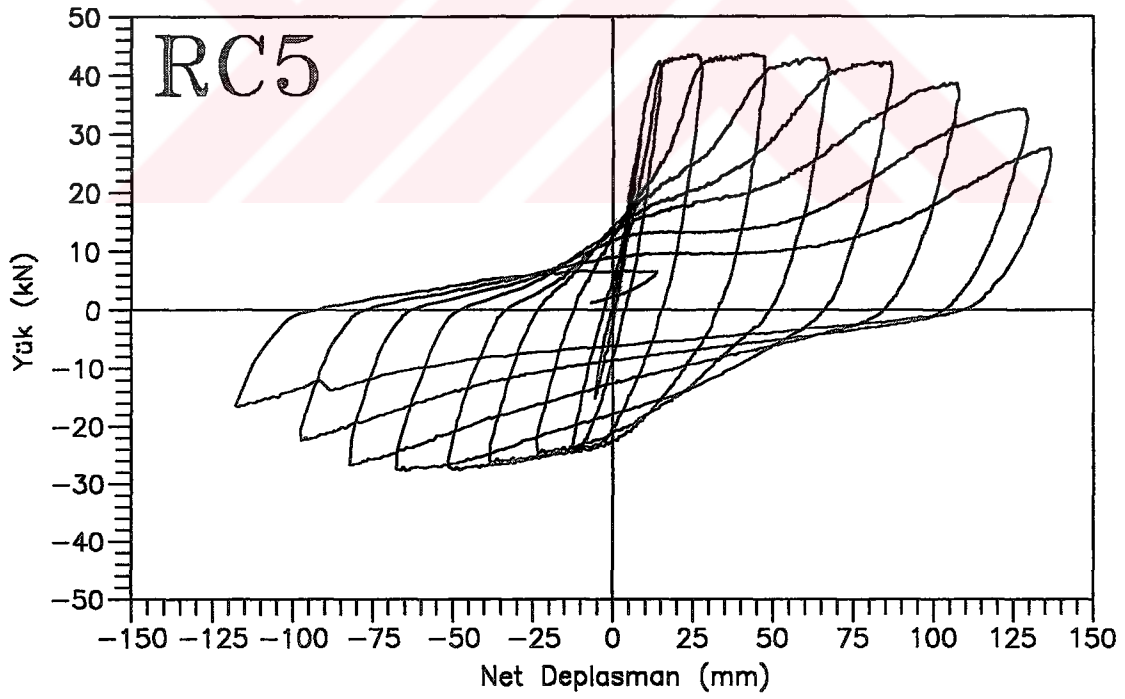


b) Yük geçmişi

Şekil 5.5. RC5 deney elemanının yük ve deplasman geçmişi



a) Toplam deplasman



b) Net deplasman

Şekil 5.6. RC5 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

5.4. RRC5 Deneyi

İşlem türü	: Onarımdan sonra diriltilmiş kiriş
Eleman geçmişi	: Onarılmış kiriş (RC5)
Kesme açıklığı	: Orta
Katman sayısı	: İki
Ankraj yöntemi	: Sürekli
Deney tarihi	: 29/11/1999

1. İleri yükleme

İlk olarak 13 kN yükte düğümdeki çapraz çatlaklar tekrar görünür hale gelmiştir. Yük 20 kN'a ulaştığında kolon yüzünden 50 mm yukarıda ilk eğilme çatlağı görülmüş hemen ardından etriye hizalarında kılcal çatlaklar oluşmuştur.

1. Geri yükleme

Geri doğru yük uygulandıktan hemen sonra düğümdeki eski -45 derecelik çatlak açılmaya başlamıştır. İlk eğilme çatlağı, -8 kN yükte, kolon yüzünden 100 mm yukarıda oluşmuştur. Daha sonra -12 kN yükte kolon yüzünden 50 mm yukarıda ve etriye hizalarında kılcal eğilme çatlakları meydana gelmiştir.

2. İleri yükleme

Yük 32 kN iken ikinci ölçüm bölgesi içinde -45 derecelik kılcal bir kesme çatlağı oluşmuştur. Daha sonra 40 kN yükte üçüncü ölçüm bölgesinin dışında iki adet, içinde ise bir adet kılcal kesme çatlakları oluşmuş ve bu çatlaklar kiriş arka yüzüne de geçmiştir.

2. Geri yükleme

Üçüncü ölçüm bölgesi içinde, -17 kN yükte, değişik bir çatlak oluşmuştur. Kiriş yan yüzündeki bu düşey çatlak, üçüncü ölçüm bölgesi içindeki çekme donatılarının hizasında oluşmuş ve hızla 2-2.5 mm genişliğe ulaşmıştır. Deneyin ilerleyen aşamalarında bu bölgeden kopmuş olan onarım kirişinin (RC5) bindirmeli kaynaklarının böyle bir davranışa neden olduğu anlaşılmıştır. İkinci ölçüm bölgesi içinde eğilmenin daha belirgin olduğu bir eğilme+kesme çatlağı oluşmuştur. Ayrıca üçüncü ölçüm bölgesinin içinde kolon yüzünden uzaklığı yaklaşık 250 mm olan 2 mm genişliğinde bir çatlak meydana gelmiştir.

3. İleri yükleme

11 kN yükte, kiriş arka yüzünde bir önceki çevrimde oluşmuş olan kesme çatlağı oldukça dikleşmiştir. Bu çatlak çekme yüzünden 500 mm yukarıdan başlamış ve karşı yüze, kolon yüzünden 50 mm yukarıdan, doğrusal olarak ulaşmıştır. Yük 30 kN'a ulaştığında konsol dibindeki 300 mm lik bölgede düzgün eğilme ve kesme çatlakları oluşmuş ve plastik mafsallık bu bölge boyunca yayılmıştır. Konsol dibindeki eğilme çatlağı 41 kN yükte 1 mm kadar açılmıştır. 50 kN yükte kesme çatlağı önemli ölçüde genişleyerek 2.5-3 mm kadar açılmıştır. Daha sonra çekme köşesinden başlayıp kolon içine doğru kolonu dik kesen bir çatlak oluşmuştur. Yük boşaltılmadan önce basınç bölgesindeki betonda hafif ezilme belirtileri görülmüştür.

3. Geri yükleme

Yük -24 kN'a vardığında kolon yüzünden 450 mm yukarıda yatay bir eğilme çatlağı oluşmuştur. Daha sonra bu çatlağın eski beton ile yeni beton arasında gerçekleştiği anlaşılmıştır. Bu arada üçüncü ölçüm bölgesinin çekme yüzündeki düşey çatlak iyice açılmıştır. Bu çatlağın 5 mm genişliğe

ulaşmasıyla bu bölgedeki beton örtüsünün dökülmek üzere olduğu görülmüştür.

4. İleri yükleme

Kirişin basınç yüzünde, 48 kN yükte, hem kolon yüzünden 100 mm hem de 300 mm yukarıda aynı anda ezilme başlamıştır.

5. Geri yükleme

Yük -30 kN iken çekme donatılarının bindirmeli kaynaklarında çok küçük de olsa bir çatlak oluşmuştur.

6. İleri yükleme

21 kN yükte kolon yüzünden 150 mm yeni bir eğilme çatlağı gelişmeye başlamıştır. Şu ana kadar en belirgin çatlağın kesme çatlağı olduğu ve 5-6 mm genişliğe ulaşmış olduğu görülmüştür. 45 kN yük civarında kirişte belirgin kayma deformasyonları oluşmuştur. Bu deformasyonların büyük bir kısmı kolon yüzünden 450 mm yukarıya kadar devam eden yeni betonun üst yüzü ile eski betonun alt yüzü arasında oluşmuştur. Elemanda ilk dayanım kaybı bu çevrimde başlamış ve eleman taşıma gücünün %5 ini yitirmiştir.

6. Geri yükleme

Şu ana kadar kirişteki plastik yumuşamanın, çoğu üçüncü ölçüm bölgesi içinde olmak üzere, ikinci ve üçüncü ölçüm bölgesi içinde yoğunlaştığı görülmüştür. Birinci ölçüm bölgesi içinde önemli bir hasar oluşmamış ve buradaki çatlaklar sınırlı kalmıştır. Bu nedenle ikinci ve üçüncü ölçüm bölgesinden elde edilecek ölçümlerin birinci ölçüm bölgesine göre daha büyük olacağı tahmin edilmektedir. Kiriş arka yüzüne yakın iç çekme donatısı, -25 kN yükte, aniden kopmuş ve eleman dayanım kaybetmiştir. 7. İleri yükleme Elemandaki belirgin kayma deformasyonları devam etmiştir. Kiriş büyük

deformasyonlardan sonra yük alabilmesine rağmen toplam dayanımında %17 lik bir azalma olmuştur.

7. Geri yükleme

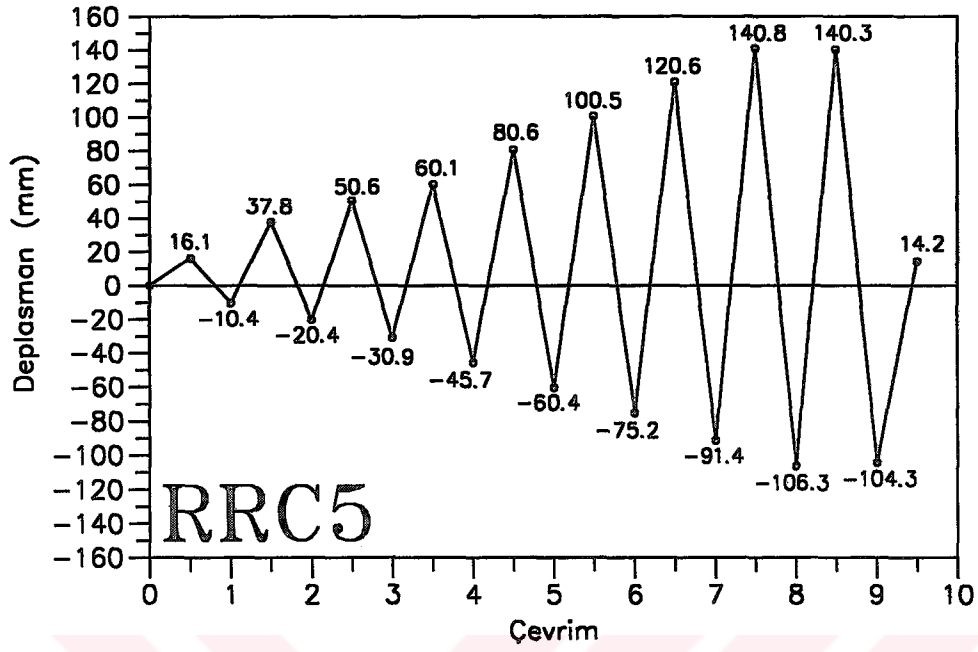
Kiriş arka yüzündeki dış çekme donatısı da, -16 kN yükte, kopmuştur. Ancak kopma kaynaklı bölge dışında gerçekleşmiştir. Eleman toplam dayanımında %41 azalma olmuştur.

8. Geri yükleme

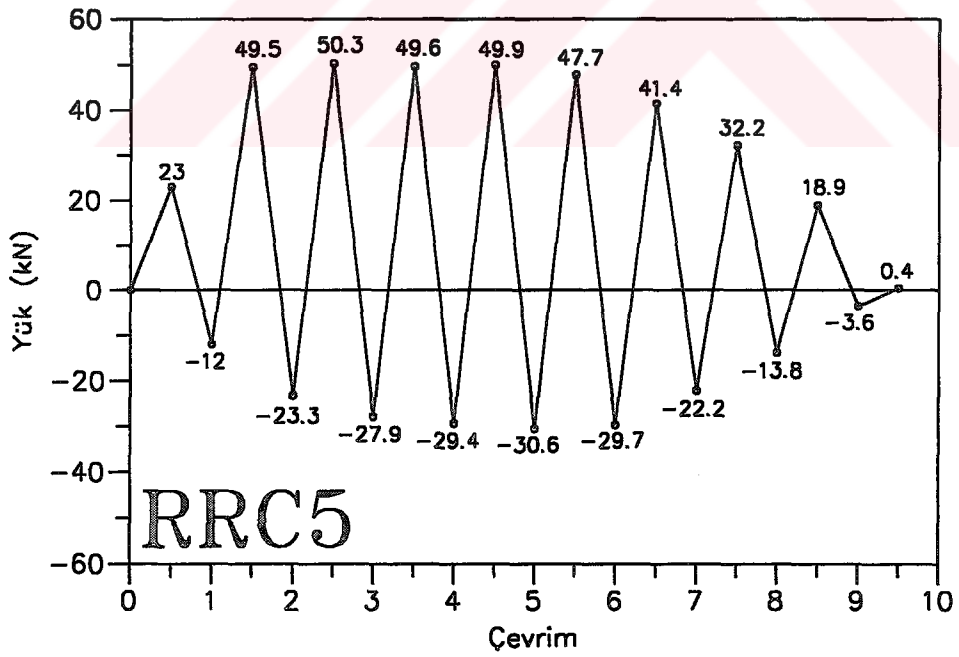
Önce -14 kN yükte kiriş ön yüzündeki iç çekme donatısı, daha sonra -10 kN yükte dış çekme donatısı art arda beklenen kaynaklı yerlerden kopmuştur. Çekme bölgesindeki tüm donatıları kopan kiriş dayanımının neredeyse tamamını kaybetmiştir.

9. İleri yükleme

Eleman bu çevrimde 140.3 mm deformasyonda taşıma gücünün ancak %37 si olan 18.9 kN yük alabilmiştir. Eleman bir geri çevrim yaptırıldıktan sonra, kiriş düzeltilerek deneye son verilmiştir (Şekil 5.7 ve 5.8).

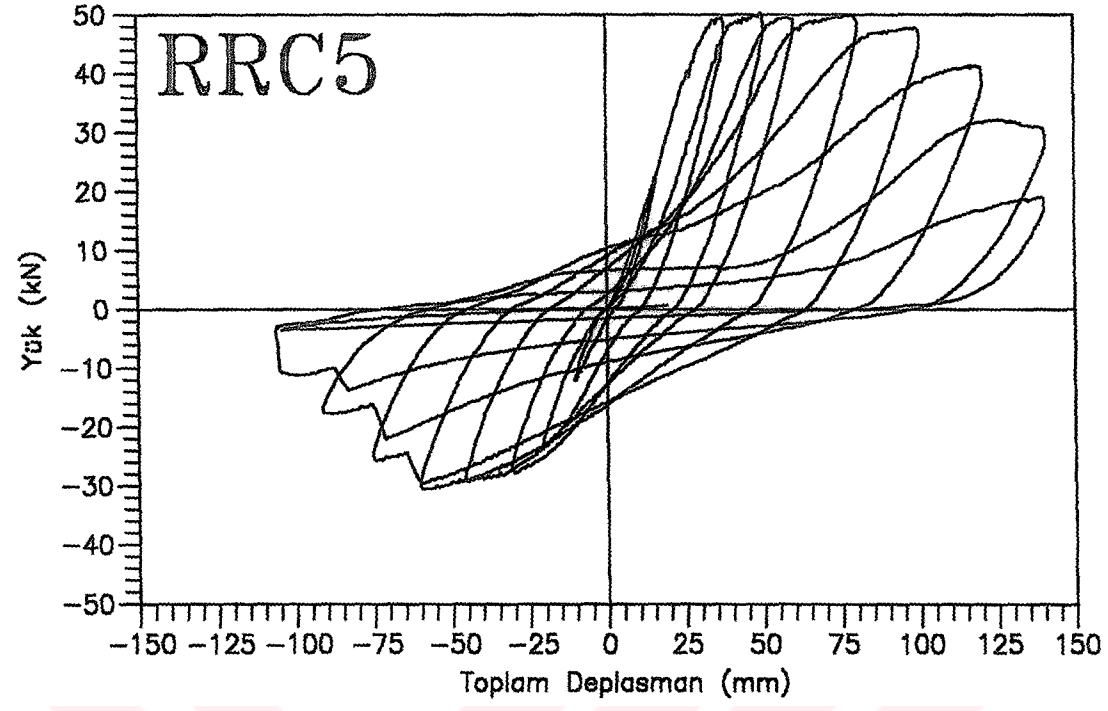


a) Deplasman geçmişi

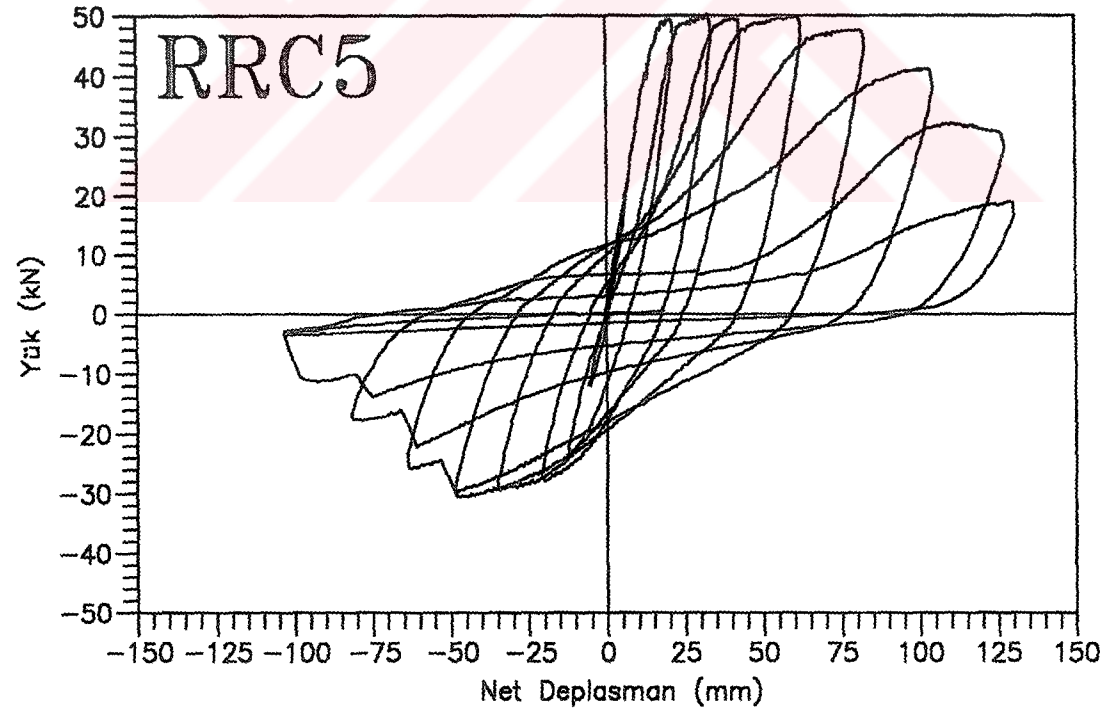


b) Yük geçmişi

Şekil 5.7. RRC5 deney elemanının yük ve deplasman geçmişi



a) Toplam deplasman



b) Net deplasman

Şekil 5.8. RRC5 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

5.5. M3 Deneyi

İşlem türü	: İki yüzünden onarılmış veya güçlendirilmiş kirişler için monolitik referans kirişi
Eleman geçmişi	: Yok
Kesme açıklığı	: Küçük
Katman sayısı	: İki yüzden birdöküm
Ankraj yöntemi	: Sürekli
Deney tarihi	: 05/11/1998

1. İleri yükleme

Yük 27.5 kN ulaştığında kirişte ilk kılcal çatlak oluşmuş ve yük 32 kN 'a geldiğinde ise konsol dibinden 50 mm yukarıda bir eğilme çatlağı gözlenmiştir. Daha sonra 42 kN civarında kiriş boyunca ve etriye hizalarında olmak üzere kılcal eğilme çatlakları oluşmuştur. Yükleme 50 kN 'a ulaşmasıyla kolonun kiriş üst yüzüne bitişik çekme yüzünde ve kolon-kiriş birleşim bölgesinde (düğümde) çapraz çatlak meydana gelmiştir. Konsol dibindeki kiriş çatlağının genişlediği ve 58 kN yükte belirginleşmeye başladığı görülmüştür. Yük boşaltılmadan hemen önce, kirişe birleşen kolonların çekme yüzlerinde ve etriye hizalarında olmak üzere bir çok kılcal eğilme çatlağının oluştuğu gözlenmiştir.

1. Geri yükleme

Geriye doğru yüklemede -13.5 kN 'da kirişte ilk kılcal eğilme çatlağı oluşmuştur. Daha sonra ilki konsol dibinden 50 mm yukarıdan olmak üzere kiriş boyunca ve etriye hizalarında kılcal eğilme çatlakları gözlenmiştir. Yük -36 kN 'a ulaştığında ise 1. ileri yüklemede oluşan çapraz çatlağa dik olmak üzere düğümde ikinci bir çapraz çatlak oluşmuştur.

2. İleri yükleme

Yük 69 kN 'a ulaştığında kirişin ön yüzünde ilk kesme çatlağı oluşmuştur. Aynı anda kirişin arka yüzünde ise biri oldukça eğik olmak üzere üç adet kesme çatlağı gözlenmiştir.

2. Geri yükleme

Geri yükleme sırasındaki ilk kesme çatlağı -19 kN yükte meydana gelmiştir.

3. İleri yükleme

Yük 83 kN'a ulaştığında konsol dibindeki eğilme çatlağı daha da belirginleşmiştir. Ayrıca konsol dibinden sırasıyla 100, 200, 300, ve 700 mm uzaklıkta kiriş boyunca bir çok kesme çatlağı oluşmuştur. Bu kesme çatlaklarının kiriş eksenini ile yapmış olduğu açı yukarıdaki sıralamaya göre gittikçe azalmıştır. 84 kN yükte boşaltmaya geçmeden hemen önce düğümdeki çapraz çatlağın yaklaşık olarak 1 mm genişliğe ulaştığı görülmüştür.

3. Geri yükleme

-40 kN yük ve -4 mm deformasyonda konsol dibindeki çatlağın yaklaşık 2 mm'ye ulaştığı görülmüştür. Bu esnada Konsol dibinden 50 mm yukarıdan yeni bir çatlak gelişmiştir.

4. İleri yükleme

Yük 37 kN iken konsol dibindeki çatlağın yaklaşık olarak 3 mm olduğu görülmüştür. Ayrıca en çok belirginleşmiş olan kesme çatlağının konsol dibinden 200 mm yukarıdan (basınç yüzünden) başlayıp, konsol dibinden 800 mm ileride, neredeyse kiriş çekme yüzüne kadar ulaştığı görülmüştür. Yük 82 kN'a ulaştığında basınç yüzündeki betonda çok hafif ezilme belirtileri görülmüştür.

5. İleri yükleme

Konsol dibindeki plastik mafsal bölgesi gittikçe yumuşamaya başlamış ve yük 55 kN iken basıç bölgesindeki beton bir köşeden simetrik olmayan bir şekilde ezilmeye başlamıştır. 80 kN'a ulaşıldığında, aynı köşedeki basınç donatısının burkulmuş olduğu anlaşılmıştır. Daha sonra diğer köşedeki betonda da ezilmeler başlamıştır.

6. İleri yükleme

Bir önceki ileri yüklemede daha az ezilmiş olan köşedeki basınç donatısının da 56 kN yükte burkulmuş olduğunu görülmüştür. Yüklemeye devam ettikçe basınç bölgesindeki beton ezilmeleri artmış ve dış yüze yakın olan iki basınç donatısının oldukça simetrik burkulmuş olduğu gözlenmiştir. Bu yüklemede içteki iki basınç donatısı hakkında bir fikir edinilememiştir.

6. Geri yükleme

Kirişe geri doğru yük uygulandıkça, daha önceden burkulmuş olan ve şimdi çekmeye çalışan donatılar çekme kuvvetinin etkisi ile neredeyse tamamen düzelmiştir.

7. İleri yükleme

Eleman yük alamaya başladıktan sonra yük 20 kN ile 40 kN'arasındaki bölgede yük deplasman eğrisinde bir kambur oluşmuş ve 30 ile 40 kN'arasında rijitlikte belirgin bir düşme olmuştur. Daha dikkatli yapılan gözlem sonucu böyle bir davranışa son ana kadar düz kalan basınç donatılarının aniden burkulmasının neden olduğu anlaşılmıştır. 40 kN yükten sonra rijitliğin tekrar artmaya başlamasıyla kiriş yeniden yük alamaya başlamıştır. Bundan sonraki ileri yüklemelerde ve daha sonraki deney elemanlarında da benzer davranış sergilenmiştir. Yük 44 kN ve deformasyon 33 mm ye ulaştığında 5. ileri yüklemede burkulmuş olan basınç donatısının

arkasında kalan, içteki basınç donatısı da burkulmuş hemen ardından da diğer iç basınç donatısı burkulmuştur. Bu aşamada dıştaki ve içteki basınç donatılarının arasında hiç beton kalmadığı ve ezilmenin içteki basınç donatılarından da içeriye doğru ilerlediği ve kiriş etkili yüksekliğinin gittikçe azaldığı görülmüştür.

7. Geri yükleme

Bu ana kadar oluşmuş olan önemli çatlakların tamamının ölçüm bölgesi içinde olduğu ve ölçüm bölgesi dışındaki çatlakların ise oldukça önemsiz kılcal çatlaklar olduğu gözlenmiştir. Kirişe yük uyguladıkça çekme yüzündeki, daha önceden burkulmuş olan donatıların düzeldiği görülmüştür. Ayrıca basınç yüzündeki donatıların konsol dibinden 50 ve 150 mm uzaktaki iki etriye arasından burkulmaya başladığı görülmüştür. Ancak, bu donatılardaki burkulma, ileri yüklemelerdeki basınç donatılarının burkulması kadar ani olmadığı için, yük-deplasman eğrisinin bu kısmında herhangi bir kambur oluşmamıştır. Donatıların daha uzun bir zamanda burkulmasına hem bu yüzdeki donatı sayısının çokluğu hem de bu donatıların arlarındaki betona mekanik olarak yaslanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

8. İleri yükleme

yüklemeye devam edildikçe basınç yüzündeki donatılar tekrar burkulmaya başlamış ve buna bağlı olarak ta konsol dibinden 150 mm uzaktaki etriyenin kancası açılmaya başlamıştır.

8. Geri yükleme

Bir önceki yüklemelerde çekme bölgesinde kalan ve serbestçe hareket edebilen beton parçaları, basınca çalıştıktan sonra tekrar sıkışmış ve mekanik yaslanma sonucu monolitikmiş gibi davranmaya başlamıştır. Bu yüklemde kayma

deformasyonları gözle görülebilecek kadar belirginleşmiş ve oluşan kayma yüzeyi boyunca birbirine zıt yönde kayma hareketleri görülmüştür.

9. İleri yükleme

Eleman yük kapasitesini önemli ölçüde yitirmiştir. Bu çevrimde de kayma ve kayma deformasyonları oldukça belirgin bir şekilde gözlenmiştir. Yük 21 kN ve deformasyon 16 mm iken konsol dibi ile konsol dibinden 300 mm uzakta oluşmuş olan, kiriş eksenine dik, iki büyük çatlak arasındaki dörtgen beton blok tipik bir kayma deformasyonu sergilemiştir. Yük 25 kN'a ve deformasyon da 59 mm'ye ulaştığında, 8. ileri yüklemde açılmaya başlamış olan etriye aniden kopmuştur.

9. Geri yükleme

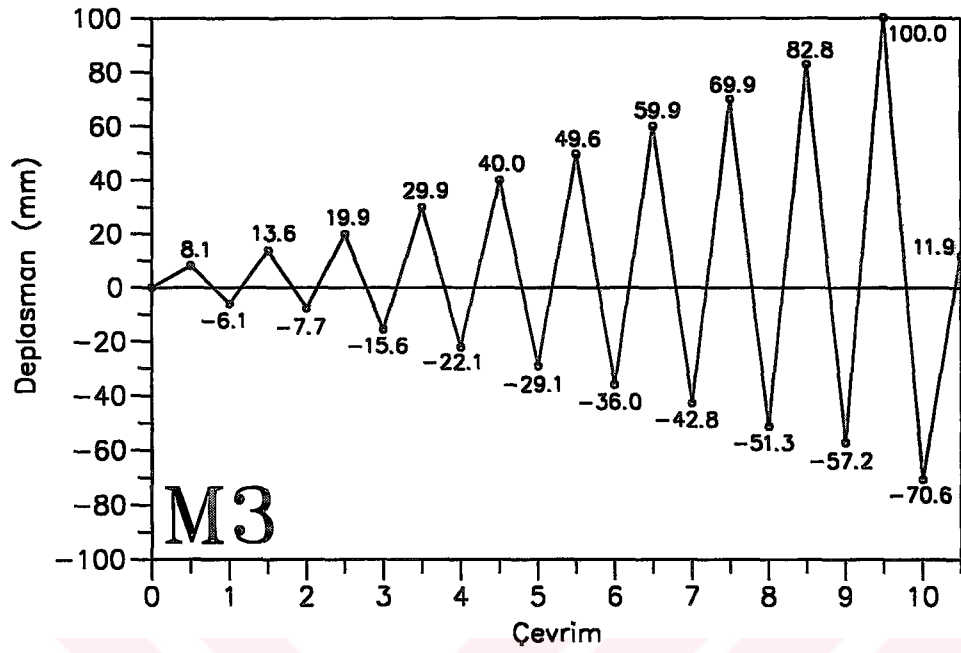
Oldukça düşük bir rijitlikte eleman yük almaya başlamıştır. Ancak önce -22 kN yük ve 36 mm deformasyonda çekme yüzündeki donatılardan biri, hemen ardından da -24 kN yük ve 47 mm deformasyonda diğer çekme donatısı konsol dibinden 75 mm uzaktan (ilk ve ikinci etriyenin tam ortasından) kopmuştur.

10. İleri yükleme

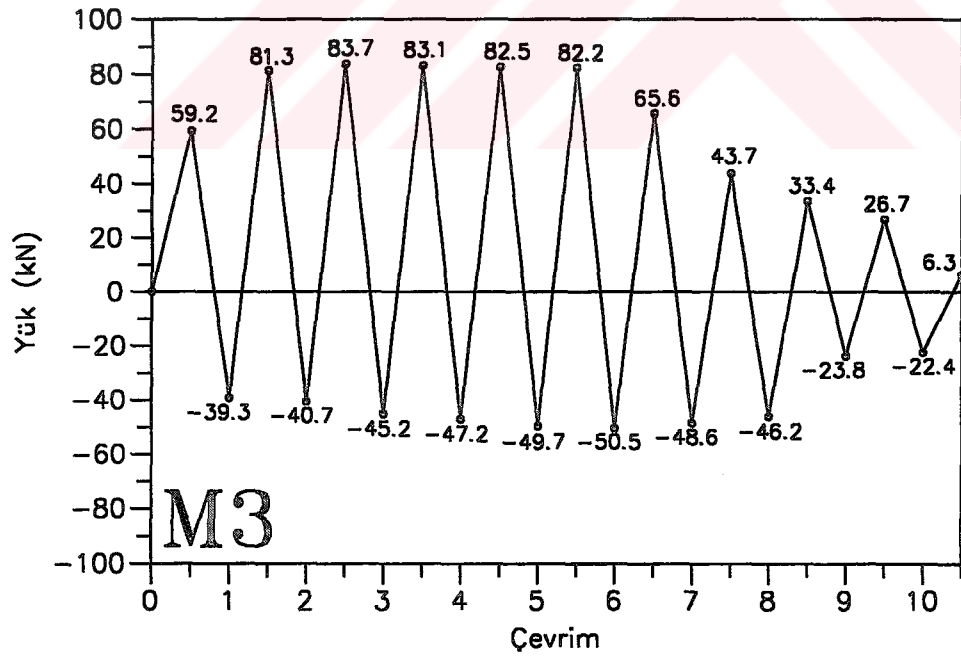
Eleman sıfır rijitlikle uzun süre 9 kN gibi çok düşük ve sabit bir yük taşımıştır. Artık iyice hasar görmüş olan kiriş ancak 50 mm deformasyondan sonra çok az yük alamaya başlamıştır.

10. Geri yükleme

Geri yüklemede de ağır hasar görmüş olan kirişin artık yük taşıyamadığı ancak büyük deformasyonlardan sonra çok az yük alabildiği görülmüş ve deneye son verilmiştir (Şekil 5.9 ve 5.10).

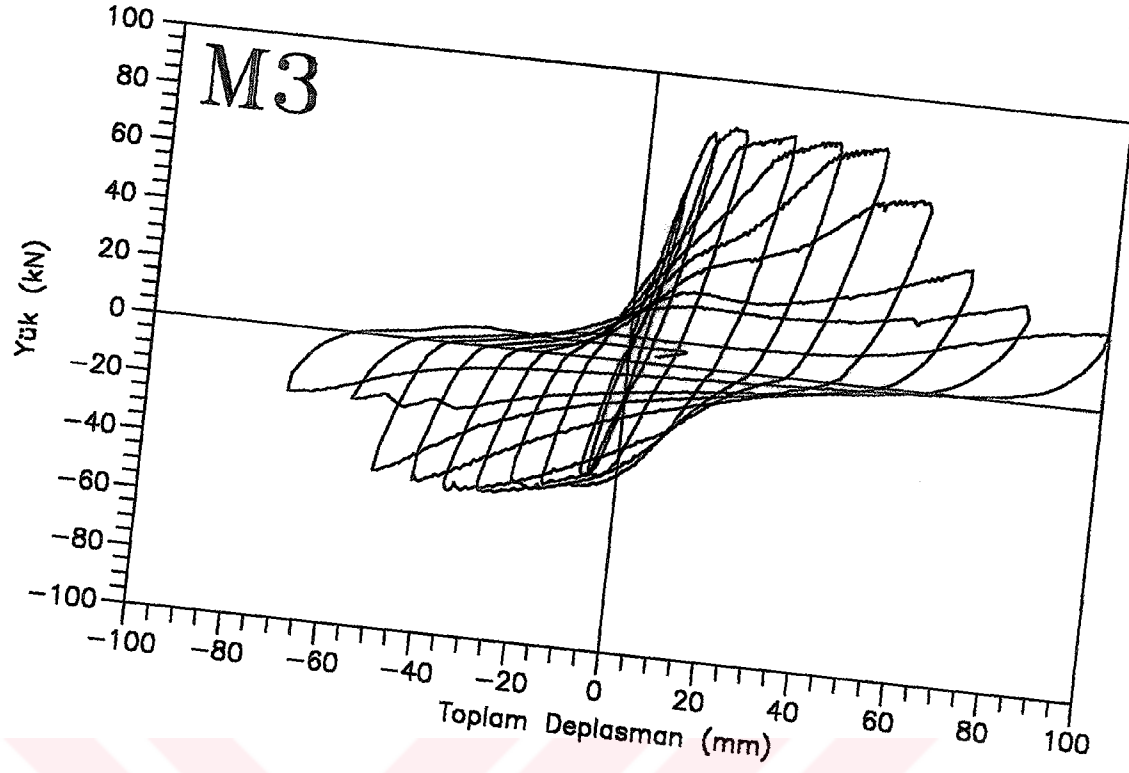


a) Deplasman geçmişi

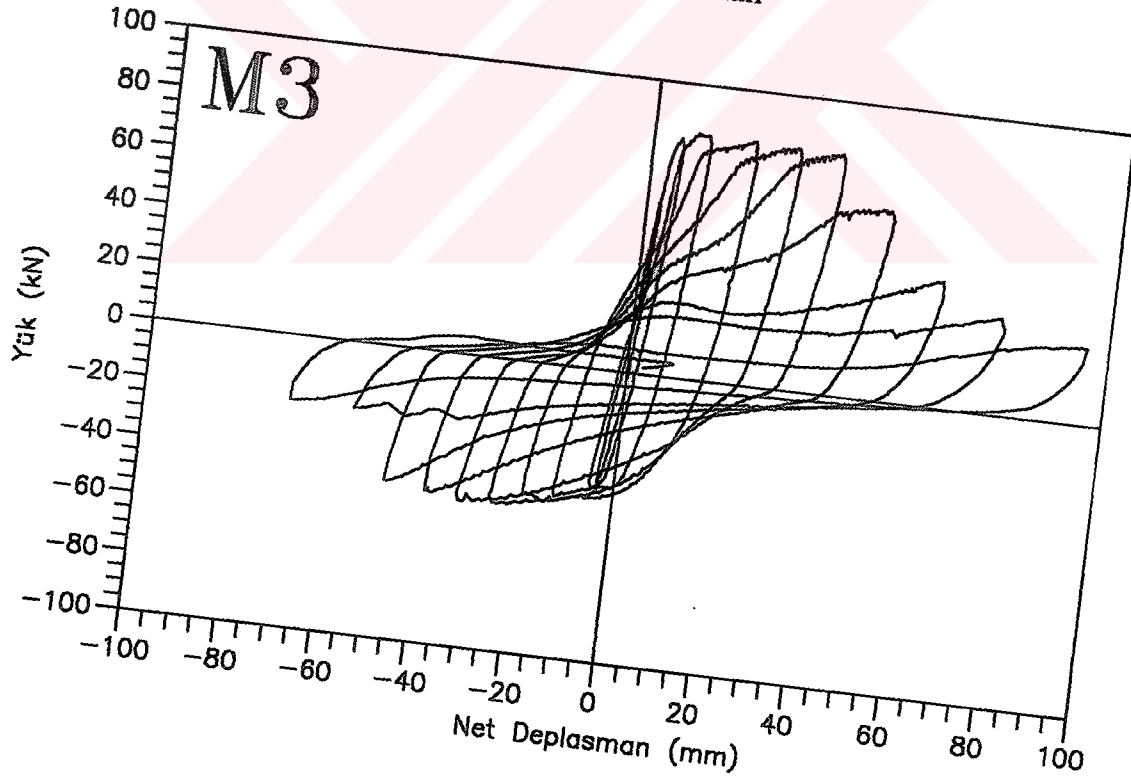


b) Yük geçmişi

Şekil 5.9. M3 deney elemanının yük ve deplasman geçmişi



a) Toplam deplasman



b) Net deplasman

Şekil 5.10. M3 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

5.6. M3S Deneyi

İşlem türü	: Sadece üst yüzünden onarılmış veya güçlendirilmiş kirişler için monolitik referans kirişi
Eleman geçmişi	: Yok
Kesme açıklığı	: Küçük
Katman sayısı	: Sadece üst yüzden birdöküm
Ankraj yöntemi	: Sürekli
Deney tarihi	: 20/07/1999

1. İleri yükleme

İlk kılcal eğilme çatlağı kolon yüzünden 100 mm uzakta ikinci ölçüm bölgesinin içinde oluşmuştur. 31 kN yükte kiriş etriyeleri hizasında kılcal eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Daha sonra 35 kN yükte konsol dibinde bir çatlak oluşmuştur. 40 kN yükte düğümde 45 derece açılı çapraz bir çatlak oluşmuş 56 kN yükte ise kolon etriyeleri hizasında çatlaklar görülmüştür.

1. Geri yükleme

Yük -10 kN 'a ulaştığında konsol dibinde ve etriyeler hizasında kılcal eğilme çatlakları, -20 kN da ise ikinci ölçüm bölgesi içinde bir eğilme çatlağı oluşmuştur. Yüklemeye devam edildikçe -22 kN yükte üçüncü ölçüm bölgesinin hemen üst sınırında ve dışında iki kılcal eğilme çatlağı görülmüştür.

2. İleri yükleme

Konsol dibindeki çatlak 53 kN yükte, 0.5 mm kadar açılmıştır. 64 kN yükte üçüncü ölçüm bölgesinin dışında önemsiz bir kesme çatlağı oluşmuştur. Daha sonra ikinci ölçüm bölgesinin içinde hafif eğik bir kesme+eğilme çatlağı

oluşturmuştur. Yüğü boşaltmadan önce düğümdeki 45 derece açılı çatlak yaklaşık 0.2 mm kadar açılmıştır.

2. Geri yükleme

Konsol dibindeki çatlak, -20 kN yükte 1 mm kadar açılmıştır. Yüğü boşaltmadan hemen önce aynı çatlak 2 mm kadar açıldığı görülmüştür.

3. İleri yükleme

Yük 64 kN'a ulaştığında üçüncü ölçüm bölgesi üstündeki kesme çatlaklarında herhangi bir gelişme olmamış ancak üçüncü ölçüm bölgesi içinde yeni bir kesme çatlak oluşmuştur. Daha sonra ikinci ölçüm bölgesi içinde de yeni kesme çatlakları görülmüştür. 66 kN yükte üçüncü ölçüm bölgesindeki kesme çatlaklarının da üstünde 120 derece açılı ikinci bir kesme çatlak oluşmuştur.

3. Geri yükleme

Şu ana kadar düğümde geri yükleme sırasında oluşmuş bir çatlak rastlanmamıştır. -23 kN yükte konsol dibinde ve ikinci ölçüm bölgesi içinde önemli sayılabilecek eğilme çatlakları oluşmuştur.

4. İleri yükleme

Plastik mafsal genişliğinin konsol dibindeki 50 mm lik bölgeye yayıldığı görülmüştür. Daha sonra basınç bölgesindeki betonda ezilme meydana gelmiştir.

5. İleri yükleme

Yaklaşık 20 kN yükte basınç bölgesindeki beton iyice ezilmiştir ve 61 kN yükte kiriş ön yüzündeki dış basınç donatısı burkulmuştur. Bu çevrimde az da

olsa eleman dayanım kaybetmeye başlamıştır. Kiriş taşıma gücünde %5 kadar bir azalma olmuştur.

5. Geri yükleme

-26 kN yükte konsol dibindeki eğilme çatlağının oldukça genişlediği, ikinci ölçüm bölgesi içindeki kesme çatlağının 3 mm kadar açıldığı görülmüştür. Ayrıca kolon yüzünden yaklaşık 200 mm mesafede sonradan oluşan bir kesme çatlağı da 2 mm kadar açılmıştır.

6. İleri yükleme

Kiriş arka yüzündeki diğer dış basınç donatısı da 17 kN yükte simetrik olarak burkulmuştur. Buna bağlı olarak elemanda toplam %17 dayanım kaybı oluşmuştur.

6. Geri yükleme

Yük -25 kN iken basınç bölgesindeki betonda bombe olduğu ve buradaki basınç donatılarının muhtemelen burkulmuş olduğu görülmüştür. Kiriş bu çevrimde çok az da olsa dayanım kaybetmeye başlamıştır.

7. İleri yükleme

48 kN yükte birinci ve ikinci ölçüm bölgesi içinde karmaşık çatlak desenleri oluşmuş ve plastik mafsallık uzunluğunun bu çatlaklar bölgesine yayılmış olduğu anlaşılmıştır. Eleman bu çevrimde toplam %27 kadar dayanım kaybetmiştir.

7. Geri yükleme

Bu çevrimde gerçekten de basınç donatılarının burkulmuş olduğu görülmüştür. Buna bağlı olarak da kirişin %12 kadar dayanım kaybetmiştir.

9. Geri yükleme

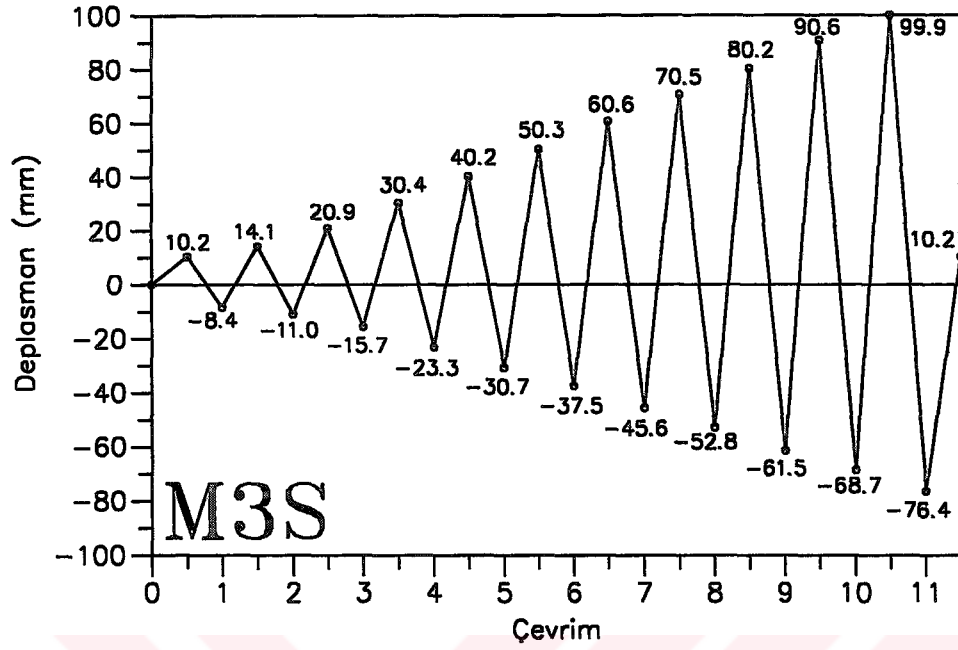
Deplasman -24 mm ve yük -6 kN'a ulaştığında kiriş arka yüzündeki dış çekme donatısı kopmuştur. Daha sonra -55 mm deformasyon ve -5 kN yükte dıştaki ikinci çekme donatısı da kopmuştur. Her iki donatının kopmasıyla eleman taşıma gücünün büyük bir kısmını yitirmiştir. Bu çevrimde yaklaşık %80 dayanım kaybı olmuştur.

10. Geri yükleme

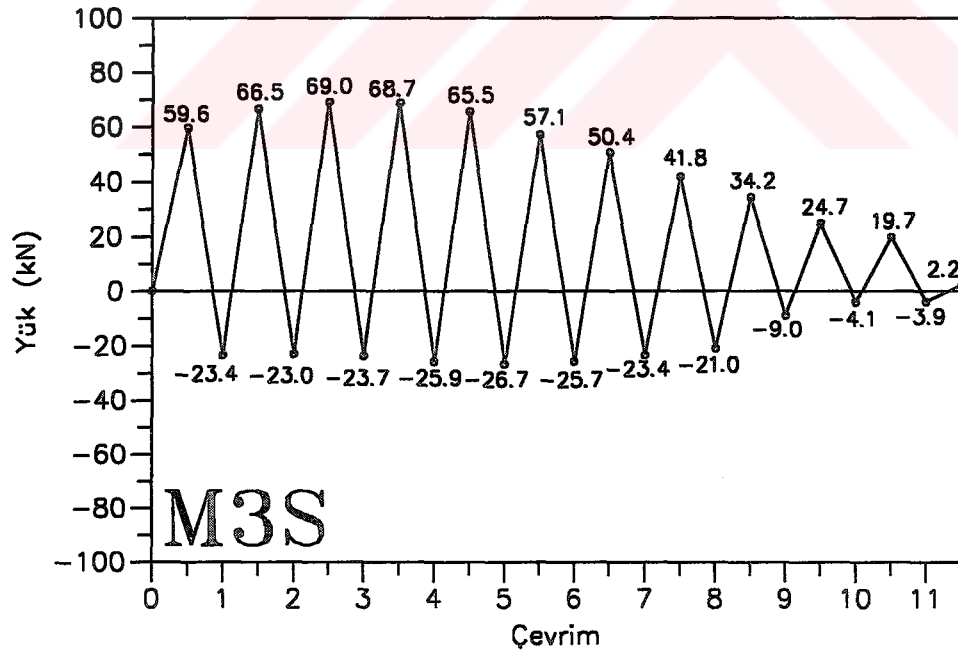
Hasarların tamamına yakın bir kısmı birinci ve ikinci ölçüm bölgesinde oluşmuştur. Geri kalan kısımlarda ise önemsenmeyecek kadar küçük hasarlar oluşmuştur.

11. İleri yükleme

Bu çevrimde eleman toplam taşıma gücünün %71 ini yitirmiş ve kirişte büyük hasarlar oluşmuştur. Geri doğru bir çevrim daha yapıldıktan sonra deney elemanı düzeltilerek deneye son verilmiştir (Şekil 5.11 ve 5.12).

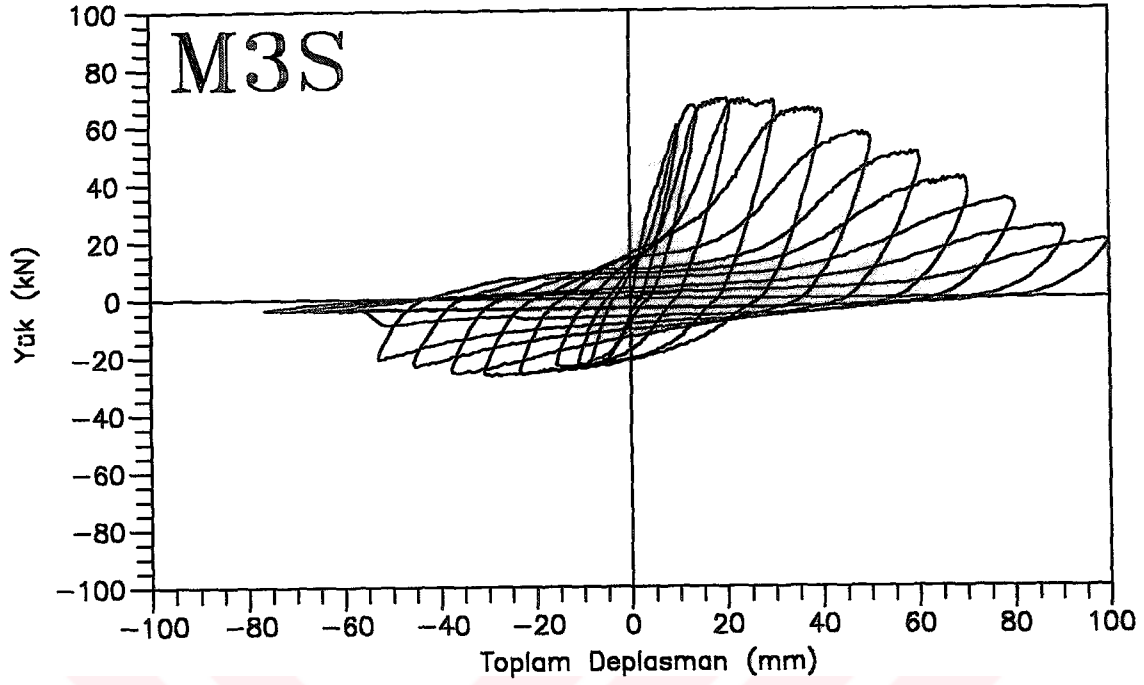


a) Deplasman geçmişi

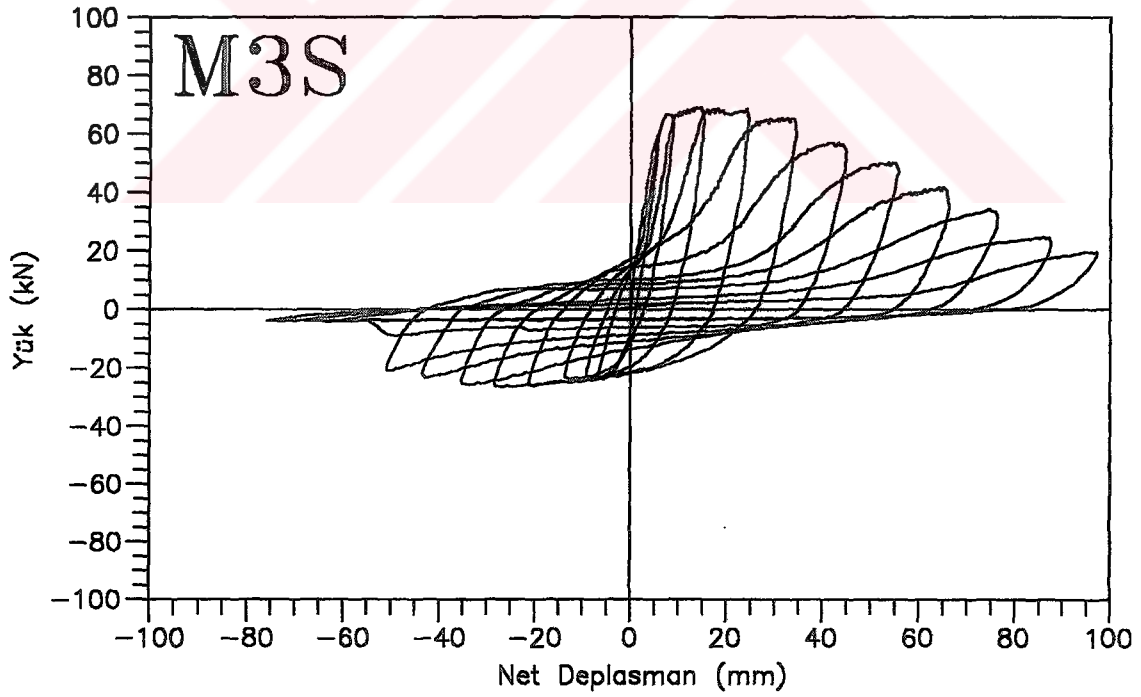


b) Yük geçmişi

Şekil 5.11. M3S deney elemanının yük ve deplasman geçmişi



a) Toplam deplasman



b) Net deplasman

Şekil 5.12. M3S deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

5.7. SC Deneyi

İşlem türü	: Güçlendirilmiş kiriş
Eleman geçmişi	: Hasarsız yalın kiriş
Kesme açıklığı	: Küçük
Katman sayısı	: İki
Ankraj yöntemi	: Sürekli
Deney tarihi	: 11/11/1998

1. İleri yükleme

Yük 20.5 kN ulaştığında kiriş alt ucundan yaklaşık olarak 100 mm yukarıda ilk kılcal çatlak oluşmuş ve yük 35 kN 'a ulaştığında ise düğümde 45 derecelik ilk çapraz çatlak gözlenmiştir. Yükün 43 kN 'a ulaşmasıyla daha önceden konsol dibinde oluşmuş olan çatlak genişleyerek belirgin hale gelmiştir. Bu çevrimin en büyük yükü olan 60 kN 'a gelindiğinde ise daha önceki elemanlardan farklı olarak, kirişin çekme yüzünün kolonla birleştiği köşede ve kolon içine doğru, kesme ile karışık eğilme çatlağına benzeyen ve düğümdeki 45 derecelik çapraz çatlağa dik ve açısı yaklaşık olarak 135 derece olan ikinci bir çatlak oluşmuştur. Ancak bu sıradaki kolon kesme kuvvetinin çok küçük olmasından dolayı bu çatlağın kesmeli eğilme çatlağı olduğundan emin olunamamıştır.

1. Geri yükleme

Yük -24 kN 'a ulaştığında daha önceden oluşmuş olan eğilme çatlaklarının belirginleşmesiyle bu çatlakların farkına varılmıştır. Yüklemeye devam edildikçe etriye hizalarında birbirine paralel çatlaklar oluşmuştur. 1. ileri çevrimde olduğu gibi, geri çekerken de -37.5 kN yükte, kirişin çekme yüzünün

kolonla birleştigi köşede ve kolon içine doğru, kesme ile karışık eğilme çatlağına benzeyen ve açısı yaklaşık olarak 45 derece olan bir çatlak oluşmuştur.

2. İleri yükleme

Bu çevrimin başında az da olsa pinching etkisi görülmüştür. 70 kN 'da donatının akmaya başlaması ile birlikte rijitlikte hafif bir düşme olmuştur. Yük 78 kN 'a ulaştığında ise kirişte ölçüm bölgesinin hemen dışında ilk kesme çatlağı oluşmuştur. Çekme donatılarının tamamı 86.4 kN 'da akmış ve bu çevrimde gözlenen en büyük eğilme çatlağı yaklaşık olarak 0.5 mm olmuştur.

2. Geri yükleme

Pincing etkisinin azalmasıyla -1.4 kN yükte rijitlikte artmaya bağlı olarak eleman tekrar yük almaya başlamıştır. Akma -40 kN yükte başlamış ve 43.6 kN 'da donatılar akmıştır. Önemli eğilme çatlaklarının tamamının ölçüm bölgesinde geliştiği gözlenmiştir.

3. İleri yükleme

Daha önceden kolonda oluşmuş olan kesme ile karışık eğilme çatlağı biraz daha genişleyerek yaklaşık 0.5 ile 1 mm kadar açılmıştır.

3. Geri yükleme

Konsol dibindeki çatlak açıklığı -43 kN 'da yaklaşık olarak 2 mm 'ye ulaşmıştır. İlerleyen yükle beraber kiriş dibindeki çatlağın basınç yüzüne kadar ulaştığı görülmüştür.

4. İleri yükleme

Pincing etkisi bu çevrimde de önemsiz düzeyde kalmıştır. Yükleme 37 kN 'a ulaşmasıyla birlikte daha önceden oluşmuş olan kesme çatlaklarının ölçüm bölgesi içinde geliştiği görülmüştür. Kirişin çekme yüzündeki kesme çatlağı kolon üst yüzünden 200 mm yukarıdan, başlayarak basınç yüzünün kolonla kesiştiği köşeye kadar doğrusal olarak ilerlemiştir. Yükleme 85.7 kN iken konsol dibindeki çatlak genişliği yaklaşık olarak 3 mm 'ye ulaşmıştır. Bu çevrimde yükü boşaltmadan önce plastik mafsallık kiriş dibinden 150-200 mm 'lik bir bölgeye yayılmış ve çok hafif ezilme belirtileri görülmüştür. Konsol dibinin plastik mafsaldan dolayı yumuşamasıyla daha önceden kolonda görülmüş olan kesmeli eğilme çatlağı önemini yitirmeye başlamıştır.

4. Geri yükleme

Geri çekerken kolonda oluşmuş olan kesmeli eğilme çatlağı hiç genişlememiş ve önemini yitirmiştir. Bu çevrimde yükü boşaltmadan önce kiriş dibinde önemli eğilme çatlakları ve buna bağlı olarak da belirgin kayma deformasyonları (sliding shear) olduğu gözlenmiştir.

5. İleri yükleme

Kayma deformasyonlarının 10 kN 'da azalmasıyla, 10 kN ile 40 kN'arasında rijitlik doğrusal olarak artmıştır. Bu sırada basınç yüzündeki paspayıda ezilme belirtileri hızlanmıştır. 40 kN ile 60 kN'arasında paspayının kabarmasıyla dıştaki 2φ10 luk donatılar simetrik bir şekilde burkulmuştur. Buna bağlı olarak da rijitlikte bir düşme oluşmuş ve yük-deplasman eğrisinin bu kısmı adeta bir kambura benzemiştir.

5. Geri yükleme

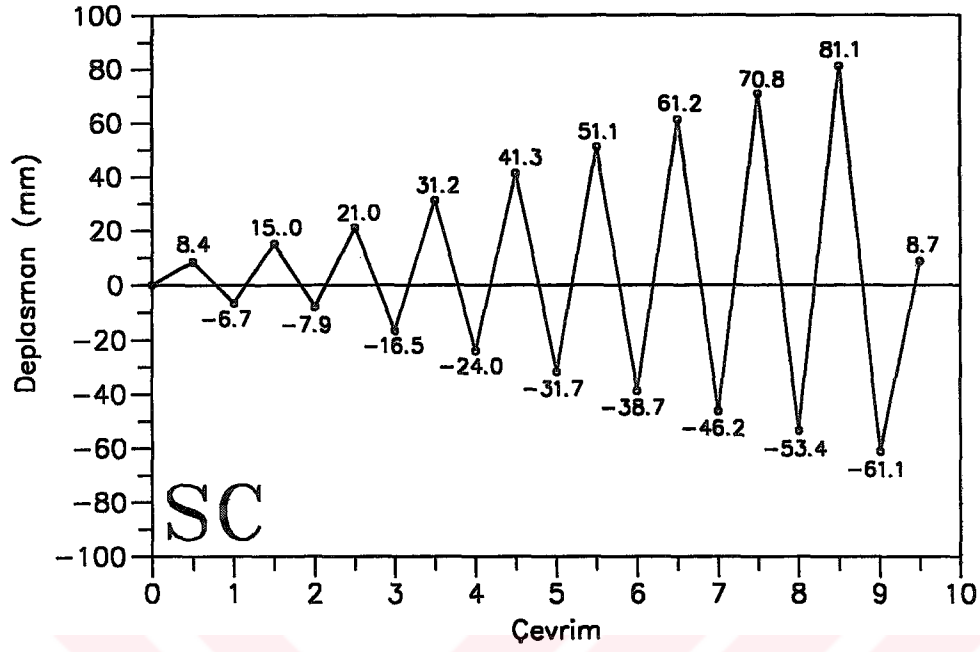
Hafif bir kayma deformasyonundan sonra kiriş yük alamaya başlamıştır. Kolon yüzünden 50 mm uzakta ilk kiriş etriyesi bulunduğundan yüklemeye devam edildikçe dıştaki basınç donatıları ($4\phi 10$), -50.6 kN yükte, konsol dibi yerine kolon yüzünden yaklaşık olarak 100 mm yukarıdan simetrik bir şekilde burkulmuştur. Basınç yüzündeki donatıların burkulmasıyla bu bölgedeki beton paspayı kabarmış fakat dökülmemiştir. Ancak bu donatılardaki burkulma, ileri yüklemelerdeki basınç donatılarının burkulması kadar ani olmadığı için, yük-deplasman eğrisinin bu kısmında herhangi bir kambur oluşmamıştır. Donatıların daha uzun bir zamanda burkulmasına hem bu yüzdeki donatı sayısının çokluğu hem de bu donatıların arlarındaki betona mekanik olarak yaslanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yük -52.4 kN'a ulaştığında boşaltmaya geçilmiş, bu esnada bir önceki çevrimde burkulmuş olan donatıların, çekme etkisi ile adeta düzeldiği görülmüştür.

6. İleri yükleme

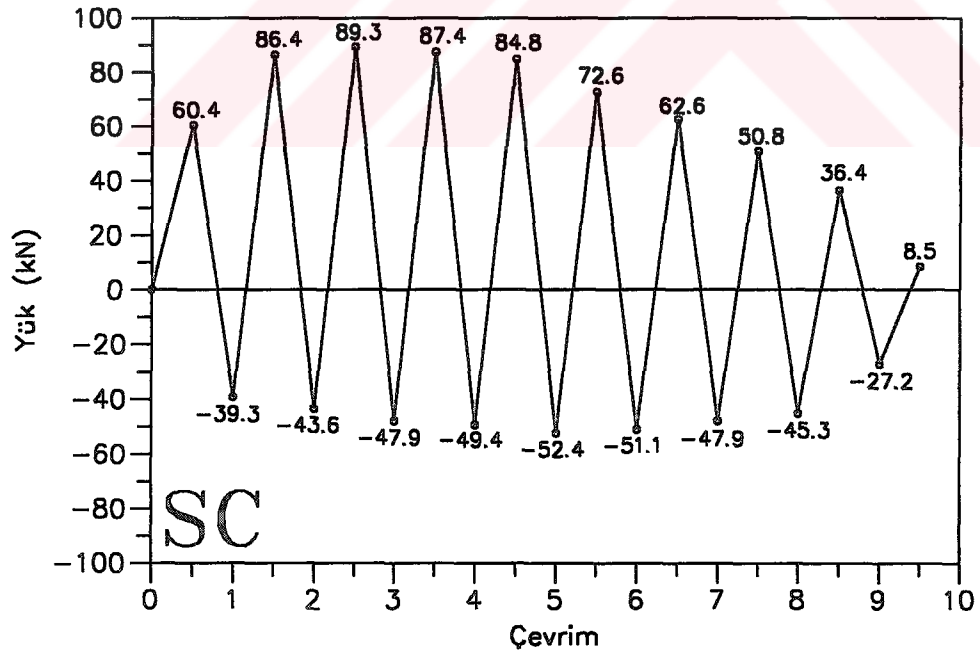
11 kN ve -1.3 mm noktasına kadar önemli kayma deformasyonları olmuş ve daha önceden oluşmuş olan kesme çatlağının iki yüzünün birbirine göre kaydığı, göz ile çok rahat bir şekilde gözlenmiştir. Yük 41.5 kN 'a ulaştığında yaklaşık olarak kiriş ortasında ikinci bir kayma çatlağının gelişmekte olduğu, ancak diğer çatlaklarla kıyaslanamayacak ölçüde küçük olduğu görülmüştür. Yüklemeyle birlikte içteki $2\phi 10$ luk basınç donatıları da 71 kN 'da simetrik bir şekilde burkulmuş ve bir önceki ileri çevrime göre dayanımda %14 'lük kayıp oluşmuştur. Bu ve daha sonraki iki ileri çevrimde, basınç bölgesindeki betonun tamamen ezilmesiyle basınç donatıların daha kısa sürede burkulması sonucu yük-deplasman eğrisinde oluşan kambur kısım oldukça belirginleşmiştir.

7. İleri yükleme

Kalıcı deformasyon -25 mm iken yüklemeye başlanmış ve -8.5 mm deformasyona kadar kaymadan dolayı kiriş 6 kN gibi çok az bir yük almıştır. Daha sonra kayma deformasyonları etkisini yitirmeye başlamış ve eleman tekrar yük almaya başlamıştır. Ancak deformasyon 10 mm ve yük 26 kN iken basınç bölgesindeki donatılar burkulmaya başladığından yük ve rijitlikte tekrar bir düşme başlamıştır. 17 mm deformasyon ve 29 kN yükte donatıların tam olarak burkulmasıyla rijitlik işaret değiştirmiş ve yükte düşme meydana gelmiştir. Deformasyon 28 mm ve yük 25 kN iken basınç yüzünün iç kısımlarındaki ezilmemiş beton, artan deformasyonların etkisi ile basınca çalışmaya başlamıştır. Bu noktadan sonra eleman, etkili yüksekliği daha küçük olan, basınç donatısız bir kiriş gibi çalışmaya başlamış ve yükte 62.6 kN 'a kadar tekrar bir artma olmuştur. Bir önceki çevrime göre yükte %14 lük bir düşme olmuştur (Şekil 5.13 ve 5.14).

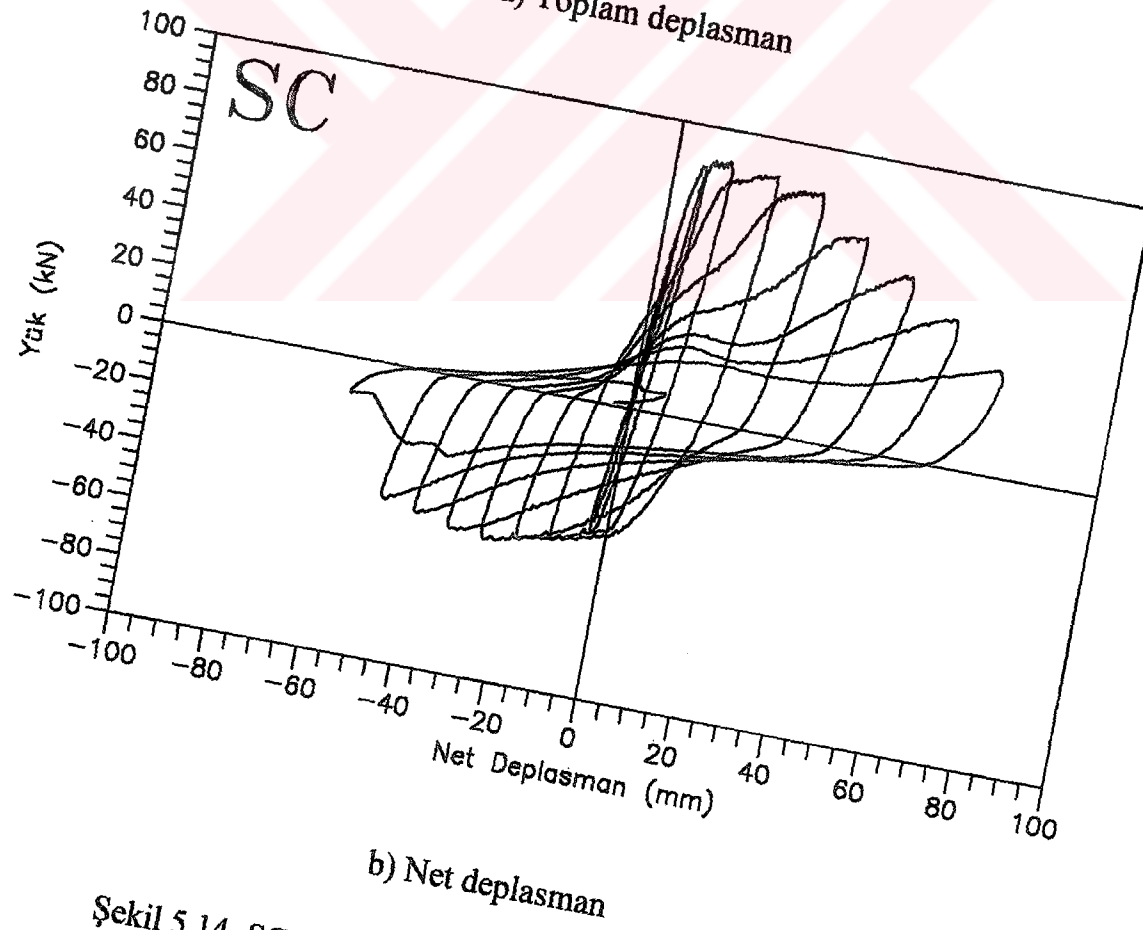
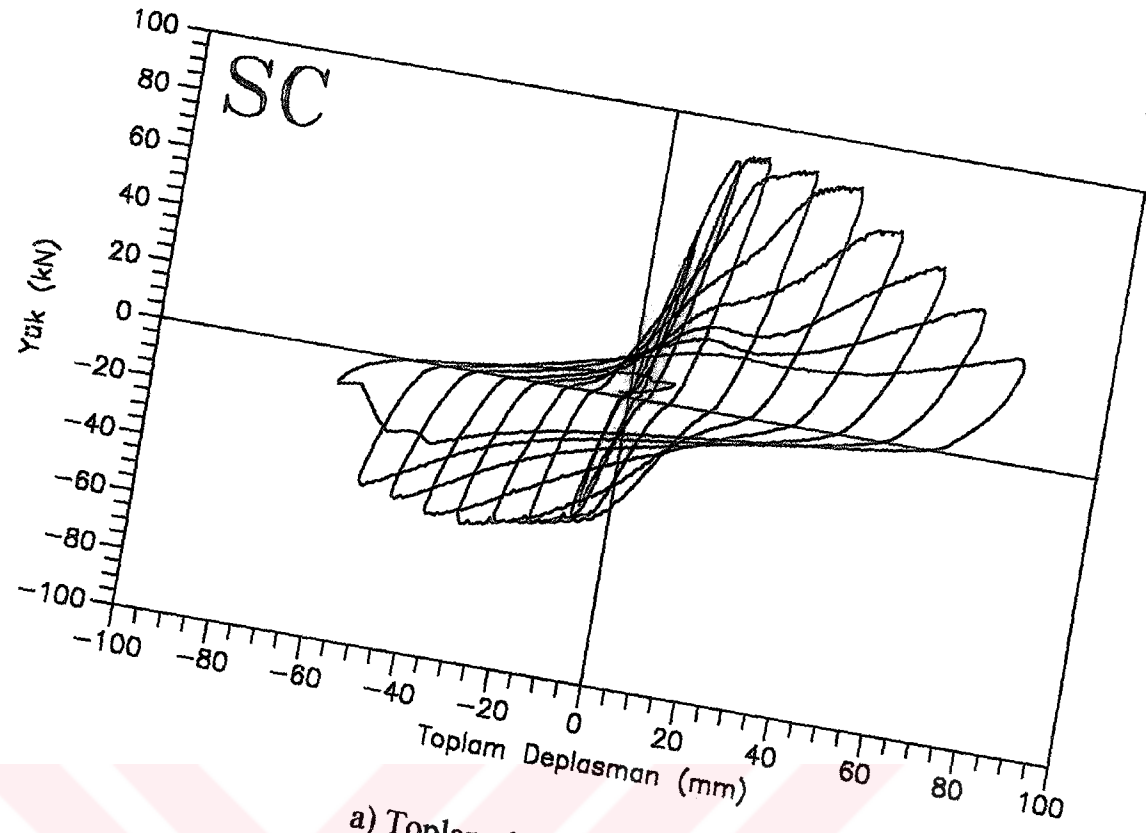


a) Deplasman geçmişi



b) Yük geçmişi

Şekil 5.13. SC deney elemanının yük ve deplasman geçmişi



Şekil 5.14. SC deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

5.8. RSC Deneyi

İşlem türü	: Güçlendirmeden sonra diriltilmiş kiriş
Eleman geçmişi	: Güçlendirilmiş kiriş (SC)
Kesme açıklığı	: Küçük
Katman sayısı	: İki
Ankraj yöntemi	: Sürekli
Deney tarihi	: 14/05/1998

1. İleri yükleme

Elemandaki ilk kılcal eğilme çatlağı 14 kN yükte konsol dibinde oluşmuştur. 23 kN yükte düğümdeki 45 derece açılı çatlak tekrar açılmaya başlamıştır. Yük 40 kN'a ulaştığında ise, SC deneyinde olduğu gibi, çekme köşesinden başlayıp kolon içine doğru -45 derece açıyla gelişen (diğer düğüm çatlağına dik) diğer çatlak ta açılmaya başlamıştır. Daha sonra bu iki çatlak aynı anda gelişmeye başlamışlardır. Üçüncü ölçüm bölgesi dışındaki kesme çatlağı 55 kN yükte gittikçe belirginleşmeye başlamıştır.

1. Geri yükleme

İlk eğilme çatlağı -14 kN yükte konsol dibinde görülmüştür. Daha sonra -24 kN yükte konsol dibinden 50, 100 ve 150 mm yukarıdaki etriye hizalarında eğilme çatlakları meydana gelmiş ve 50 mm yukarıdaki çatlağın diğerlerine göre daha belirgin olduğu görülmüştür. Geçmiş deneylere bağlı olarak düğümün eskisine göre daha çok yumuşadığı ve daha çok dönebildiği görülmüştür. -35 kN yükte konsol dibinden 50 mm yukarıdaki çatlak daha da gelişerek yaklaşık 2 mm genişliğe ulaşmıştır.

2. İleri yükleme

Üçüncü ölçüm bölgesinin içinde 51 kN yükte bir kesme çatlağı oluşmuştur. Yük 83 kN 'a ulaştığında betonda çok hafif ezilme belirtileri görülmüş fakat henüz çok erken olduğu için ezilmenin başlayıp başlamadığından emin olunamamıştır. 91 kN yükte ölçüm bölgesi içindeki kesme çatlaklarının önemli ölçüde geliştiği görülmüştür.

2. Geri yükleme

Yük -40 kN 'a ulaştığında konsol dibinden 50 mm yukarıdaki çatlak yaklaşık 4 mm genişliğe ulaşmıştır. -43 kN yükte ise birinci ölçüm bölgesi içinde yeni bir kesme çatlağı daha oluşmuştur.

3. İleri yükleme

54 kN yükte üçüncü ölçüm bölgesinin ortasındaki kesme çatlağı dik bir açıyla karşı kenardaki basınç köşesine ulaşmıştır. Bu arada üçüncü ölçüm bölgesinin dışından başlayıp üçüncü ölçüm bölgesi içine giren kesme çatlağı 1.5 mm kadar açılmış ve yük 83 kN iken bu çatlak bir alttaki kesme çatlağına göre biraz daha önemli olmaya başlamıştır. Yükün 90 kN'a ulaşmasıyla basınç bölgesindeki beton ezilmeye başlamıştır. Daha sonra 91 kN yükte en üstteki kesme çatlağında 3-4 mm kadar önemli açılmalar olmuştur. Söz konusu çatlak üçüncü ölçüm bölgesindeki basınç yüzünün yakınlarından başlamış, 45 derece açıyla yukarı yönelmiş, ölçüm bölgesinin dışına çıktıktan sonra çekme kenarının yakınlarında kiriş ucuna doğru yönelen aderans çatlağı görünümünü almıştır. Eleman çok erken dayanım kaybetmeye başlamış ve kiriş taşıma gücünde yaklaşık %2 azalma olmuştur.

3. Geri yükleme

Yüklemeye beraber kiriş üzerinde yeni kesme çatlakları ile çekme bölgesinde düzensiz çatlaklar oluşmuştur. Geri çekme sırasında çekmeye çalışan betonda

dökülmeler olmuş ve açığa çıkan çekme donatılarının her ikisinin de bir önceki ileri yükleme sırasında burkulmuş olduğu anlaşılmıştır. Bilindiği gibi diriltme işlemi sırasında kopan donatılar bindirmeli ek donatı parçaları ile birbirlerine kaynaklanmıştır. Bu işlem sırasında mevcut donatı eksenini ile aynı çap ve özellikteki bindirme donatısının eksenini arasında donatı çapı kadar bir eksantrisite oluşmuştur. Diriltilmiş elemanlarda ileri doğru yükleme sırasında burkulmanın bu kadar erken başlamasına bindirme donatısı ile mevcut donatı arasında oluşan bu eksantrisitenin neden olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca bu eksantrisite nedeniyle basınç donatısındaki burkulma diğer elemalardaki kadar ani olmadığından diriltilmiş elemanların yük-depasman eğrisinde pek bir kamburlaşma olmamıştır.

4. İleri yükleme

Yük 80 kN'a geldiğinde basınç bölgesindeki betonun çok hırpalanmış olduğu ve ezilmenin gittikçe kesit içlerine doğru yayıldığı gözlemlenmiştir. Elemandaki hızlı dayanım kaybı devam etmiştir. Kiriş taşıma gücünde toplam %11, bir önceki çevrime göre ise %10 luk bir azalma olmuştur.

4. Geri yükleme

Geri yükleme sırasında basınç bölgesindeki betonda hafif ezilmeler başlamasına rağmen eleman dayanım kaybetmeden, bu deneydeki tüm geri yüklemelerin en büyük yükü olan, -56.6 kN değerine bu çevrimde ulaşmıştır.

5. İleri yükleme

Betondaki ezilmenin içteki basınç donatılarına kadar ulaşmasıyla bu donatıların da burkulmuş olduğu görülmüştür. Kiriş taşıma gücünün %28 ini yitirmiştir.

5. Geri yükleme

Kirişte oldukça önemli kesme çatlakları ve hasarlar oluşmuştur. Geri çevrimlerdeki ilk dayanım kaybı bu geri yükleme sırasında oluşmuştur. Eleman taşıma gücünün %15 ini kaybetmiştir.

6. Geri yükleme

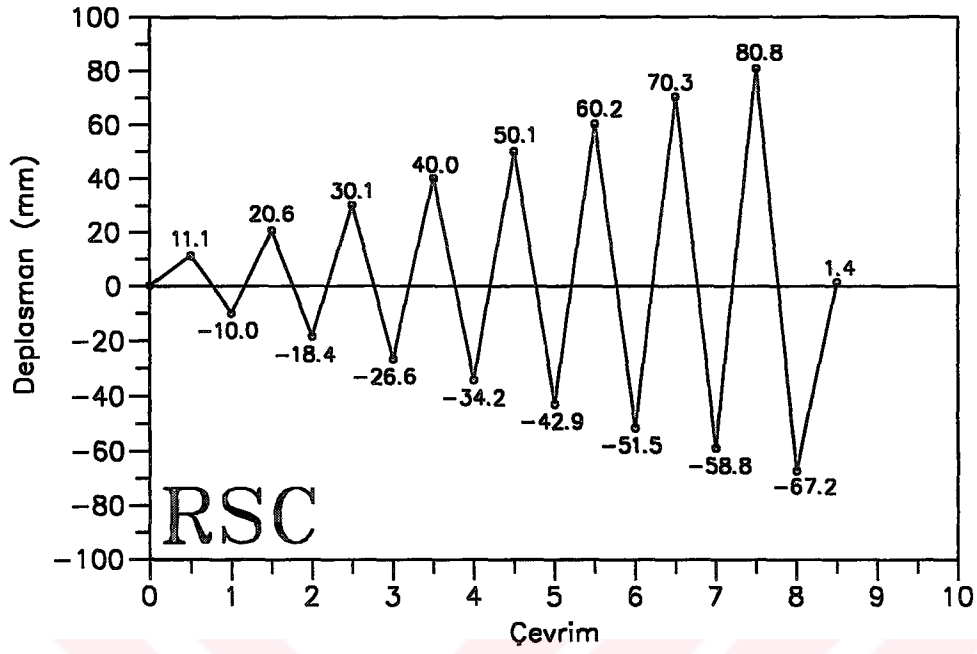
Eleman iyice hasar görmüş ve elemanın çatlak düzlemleri üzerinde göz ile izlenebilecek kadar büyük kayma deformasyonları yaptığı görülmüştür. Yük -23 kN iken kiriş arka yüzüne yakın dış çekme donatısı ile ön yüze yakın iç çekme donatısı art arda kopmuştur. Her iki donatı da eski kopuk uçların olduğu yerdeki bindirmeli ekte kullanılan yeni donatıdan kopmuştur.

8. İleri yükleme

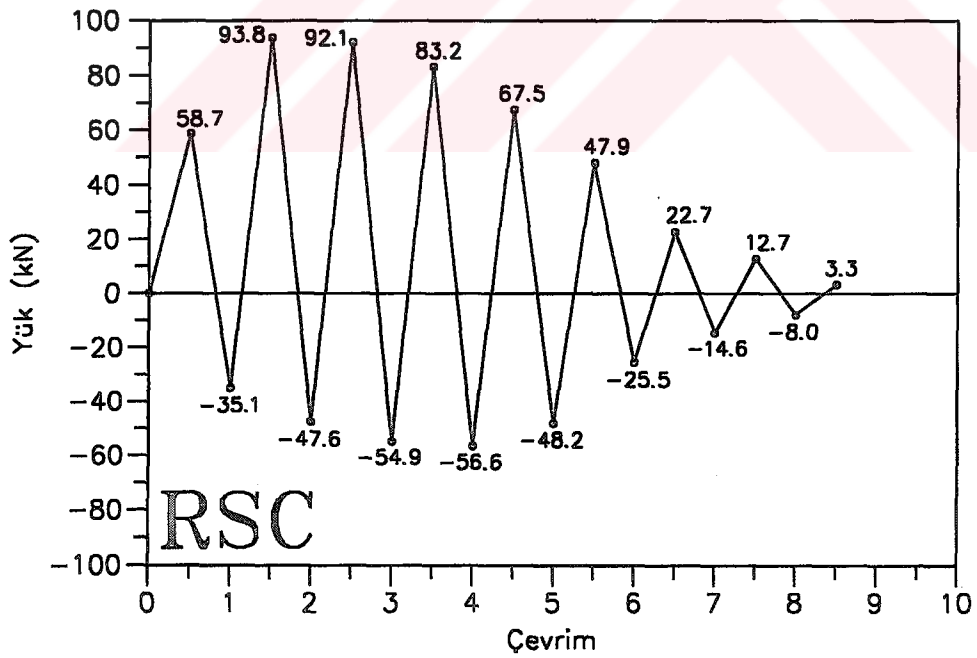
Kiriş, konsol dibi kesitindeki beton hacminin nerdeyse tamamını yitirmiştir. Sadece çekme donatıları arasındaki kısımda çok az miktarda beton kalmıştır. Eleman, taşıma gücünün %85 ini kaybetmiştir.

8. Geri yükleme

Emniyet açısından kiriş üzerindeki bazı LVDT 'ler sökülmüştür. -62 mm deformasyon ve -6 kN yükte kiriş ön yüzündeki diğer dış çekme donatısı da kopmuştur. Bunun üzerine eleman düzeltilerek deneye son verilmiştir (Şekil 5.15 ve 5.16).

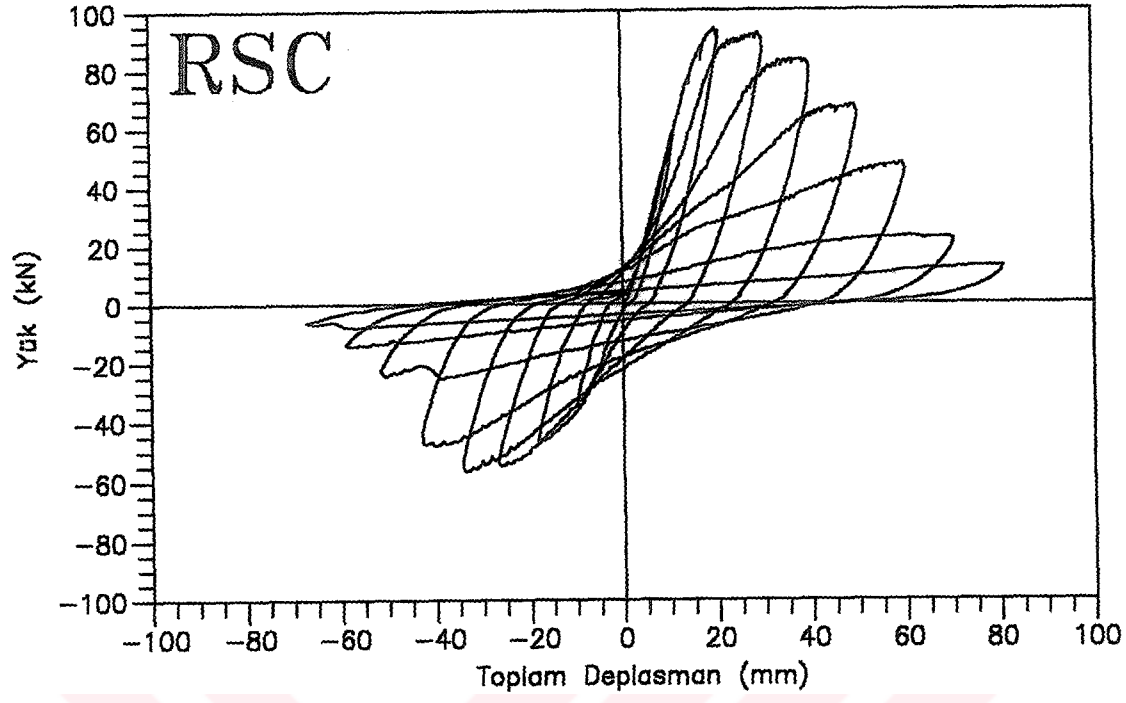


a) Deplasman geçmişi

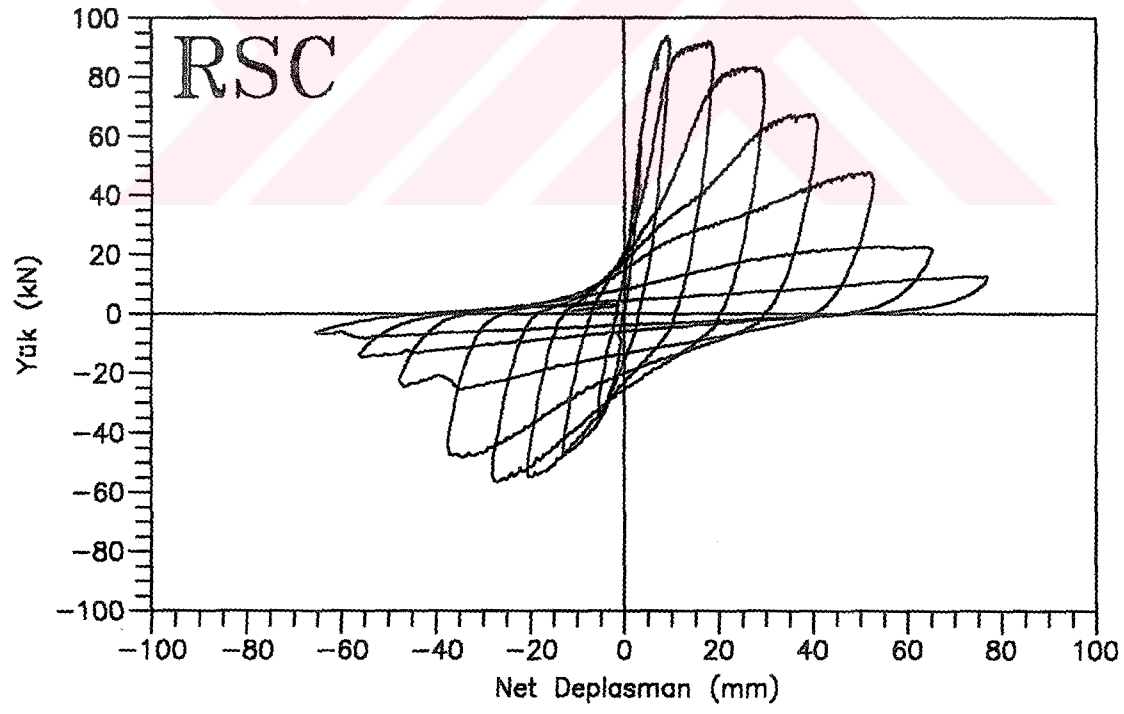


b) Yük geçmişi

Şekil 5.15. RSC deney elemanının yük ve deplasman geçmişi



a) Toplam deplasman



b) Net deplasman

Şekil 5.16. RSC deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

5.9. BC Deneyi

İşlem türü	: Onarım öncesi yalın kiriş
Eleman geçmişi	: Yok
Kesme açıklığı	: Küçük
Katman sayısı	: Yok
Ankraj yöntemi	: Sürekli (yalındaki)
Deney tarihi	: 26/11/1998

1. İleri yükleme

Yük 14 kN'a ulaştığında kirişte, konsol dibinden 50 mm uzakta ilk kılcal eğilme çatlağı oluşmuştur. Daha sonra 26 kN yükte etriyeler hizasında kılcal eğilme çatlakları ile düğümde çapraz bir çatlak oluştuğu gözlenmiştir.

1. Geri yükleme

-6 kN yükte, etriyeler hizasında kılcal eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Yüklemeye devam edilmesiyle, çerçeve düzlemine dik yönde, bir oynama olmuş ve kolon mesnet pimleri üzerinde yaklaşık olarak 15 mm kaymıştır.

3. İleri yükleme

Bu ana kadar oluşmuş olan önemli çatlakların tamamı ölçüm bölgesi içinde meydana gelmiş ve hiç bir kesme çatlağı gözlenmemiştir.

3. Geri yükleme

Kirişe geriye doğru yük uygularken de hiç bir kesme çatlağı ve düğümde çapraz çatlağa raslanmamıştır.

4. İleri yükleme

Bu ileri çevrimin en büyük yükü olan 32 kN ve 11 mm deformasonda, konsol dibindeki çatlağın 0.5 mm den biraz daha büyük olduğu gözlenmiştir.

5. İleri yükleme

Yük 33 kN'a ulaştığında kiriş ölçüm bölgesi dışında kılcal bir kesme çatlağı oluşmuştur. Yükü boşaltmadan hemen önce kolon üzerinde herhangi bir çatlağa raslanmamış, kiriş dibindeki çatlağın ise yaklaşık olarak 1.5 mm olduğu gözlenmiştir.

5. Geri yükleme

Kirişe en çok -16 kN yük ve -10 mm deformasyon uygulanmıştır. Yükleme sırasında, kirişte kesme çatlağı ve düğümde herhangi bir çapraz çatlak görülmemiştir. Kiriş dibindeki çatlağın yaklaşık olarak 2 mm genişliğe, boyunun ise nerdeyse kiriş genişliğine ulaştığı görülmüştür.

6. İleri yükleme

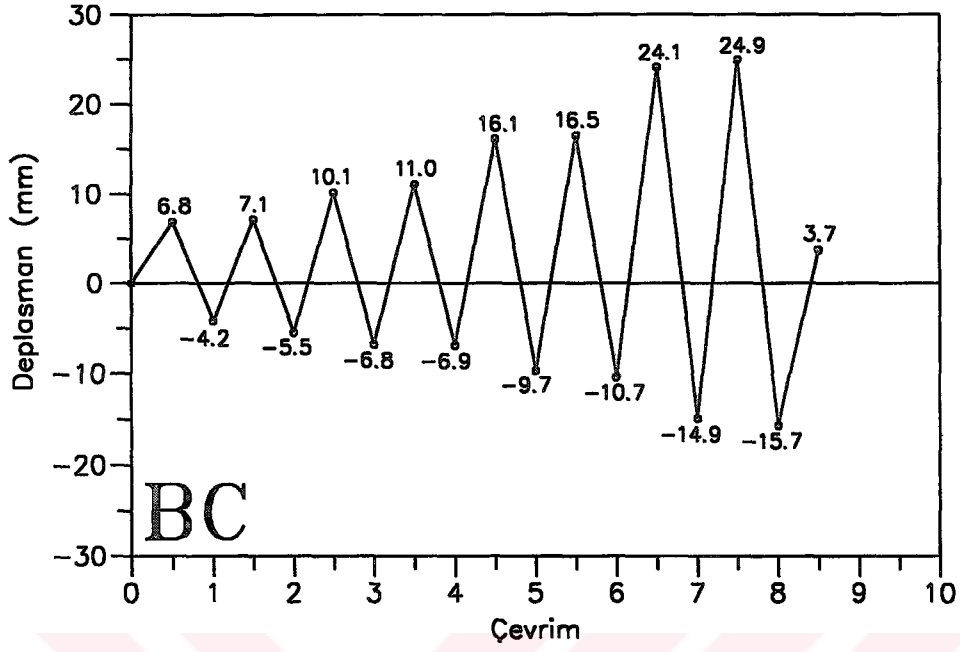
Daha önceden oluşmuş olan kılcal kesme çatlağında gelişme görülmemiştir. Yükü boşaltmadan önce konsol dibi çatlağının yaklaşık olarak 2 mm olduğu gözlenmiştir.

7. İleri yükleme

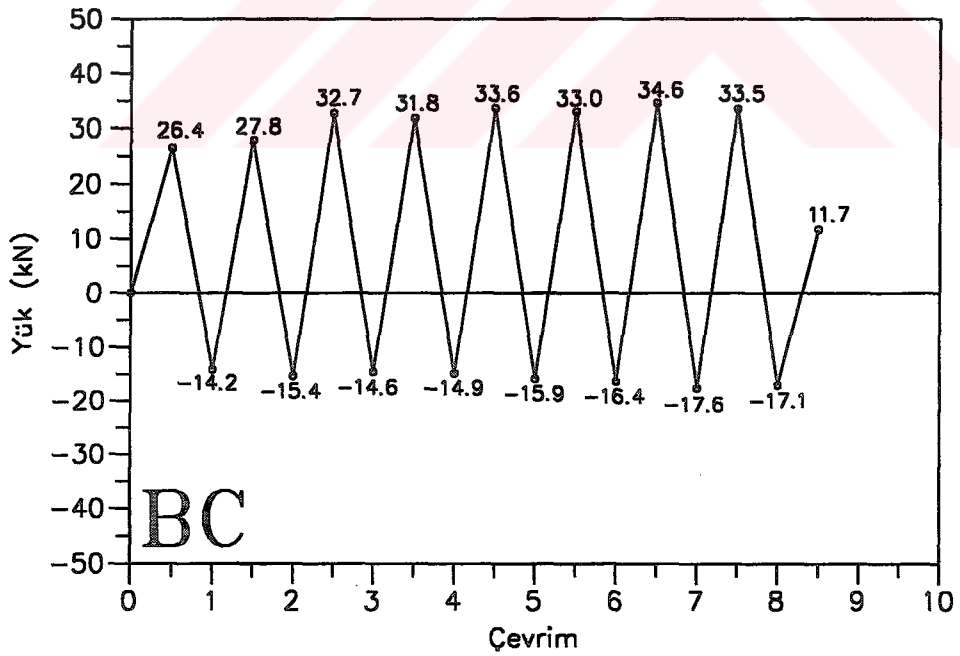
Yüklemeye devam edildikçe konsol dibinden 50 mm uzakta, genişliği 1 mm civarında olan, ikinci bir önemli çatlağın gelişmekte olduğu görülmüştür. Bu sırada konsol dibindeki çatlak genişliğinin ise yaklaşık olarak 2.5 mm'ye ulaştığı görülmüştür. Yüklemeye devam ettikçe basınç bölgesindeki beton ezilmeye başlamıştır.

7. Geri yükleme

Yük -18 kN ve deformasyon -15 mm ye ulaştığında boşaltmaya geçilmiştir. Konsol dibindeki çatlağın yaklaşık olarak 3 mm'ye ulaştığı ve birbirine komşu birkaç çatlak geliştiği görülmüştür (Şekil 5.17 ve 5.18).

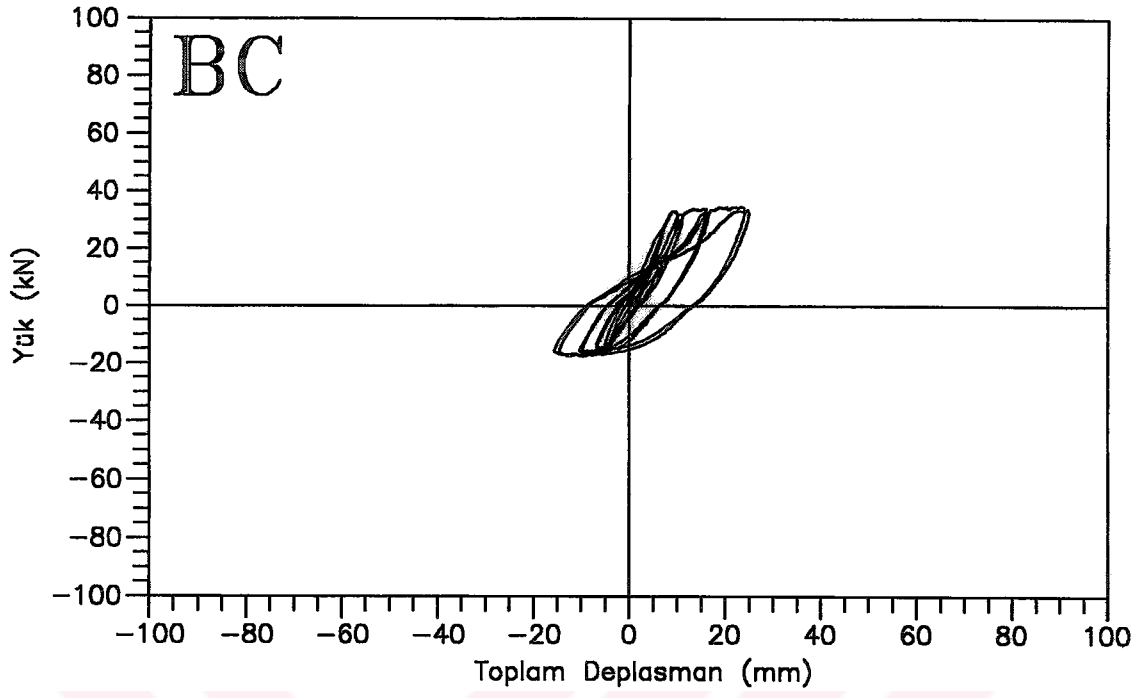


a) Deplasman geçmişi

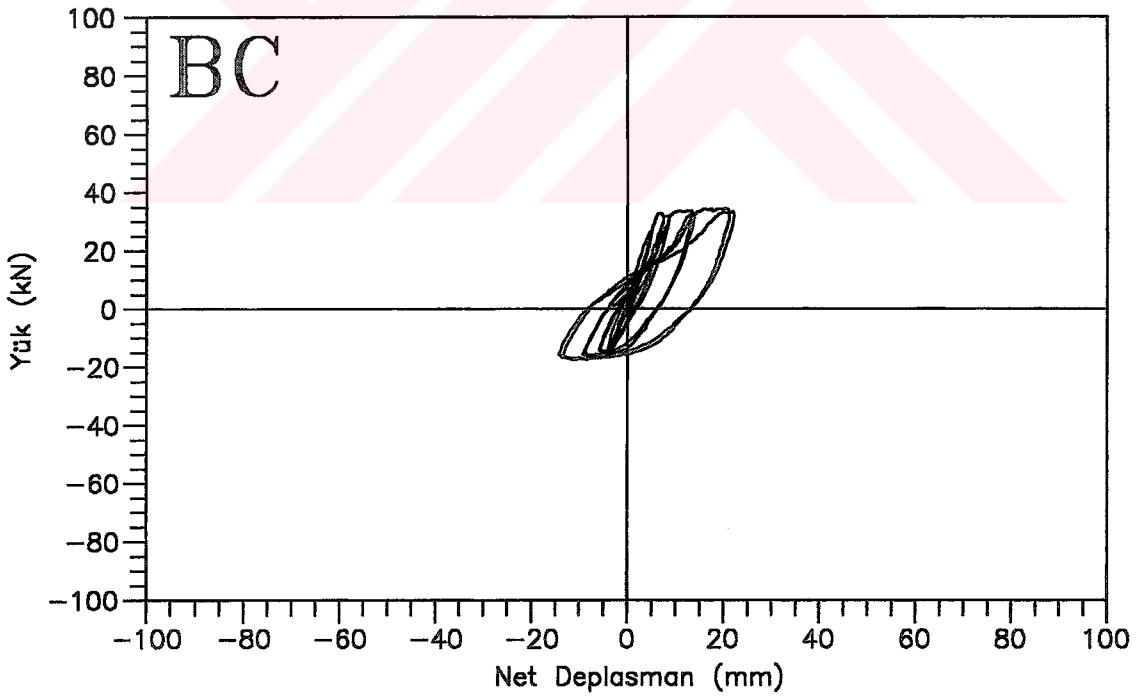


b) Yük geçmişi

Şekil 5.17. BC deney elemanının yük ve deplasman geçmişi



a) Toplam deplasman



b) Net deplasman

Şekil 5.18. BC deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

5.10. RC Deneyi

İşlem türü	: Onarılmış kiriş
Eleman geçmişi	: Hasarlı yalın kiriş (BC)
Kesme açıklığı	: Küçük
Katman sayısı	: Üst yüzde bir katman
Ankraj yöntemi	: Sürekli
Deney tarihi	: 30/04/1999

1. İleri yükleme

Konsol dibinden 150 mm yukarıda ilk kılcal eğilme çatlağı 13 kN yükte oluşmuştur. Yük 25 kN'a ulaştığında konsol dibinde ikinci bir kılcal eğilme çatlağı oluşmuştur. 31 kN yükte düğümde çapraz bir çatlak oluşmuş ve yük 48 kN iken kiriş etriyeleri hizasında kılcal bir eğilme çatlakları oluşmuştur. Boşaltmadan önce kolon çekme yüzeylerinde de kılcal çatlaklar oluşmuştur.

1. Geri yükleme

Yük -5 kN'a ulaştığında konsol dibinde ve etriye hizalarında eğilme çatlakları oluşmuştur. -17 kN yükte ise düğümde bir öncekine dik yönde çapraz bir çatlak daha oluşmuştur.

2. İleri yükleme

İlk kılcal kesme çatlağı 23 kN yükte meydana gelmiştir. 64 kN yükte kolon üst çekme yüzünde etriye hizalarında düzgün kılcal eğilme çatlakları oluşmuştur. Yük 67 kN'a ulaştığında ölçüm bölgesinin dışında, düşey ile açısı yaklaşık 30 derece olan, kılcal bir kesme çatlağı oluşmuştur.

3. İleri yükleme

Yük 55 kN'a ulaştığında birinci ölçüm bölgesi içindeki kesme çatlağının gittikçe belirginleştiği görülmüştür. Ayrıca ikinci ölçüm bölgesinde kılcal bir kesme çatlağı daha oluşmuştur. Ölçüm bölgesi içindeki kesme çatlağı biraz daha açılmış olmasına rağmen halen önemsenecek durumda olmadığı görülmüştür. 71 kN yükte basınç bölgesindeki yeni katman betonunda ezilmeler başlamıştır.

3. Geri yükleme

Bu çevrimde -28 kN yükte mevcut çatlaklarda önemli gelişmeler gözlenmiştir. Çatlaklardaki bu gelişmelere eski betondaki çatlakların neden olduğu tahmin edilmektedir.

4. İleri yükleme

Şu ana kadar önemli çatlaklarının tümünün ölçüm bölgesi içinde olduğu ve ölçüm bölgesi dışındaki kesme çatlağında gelişme olmadığı görülmüştür. Yükün 67 kN'a varmasıyla kiriş dış yüzüne yakın basınç donatısı önce hafif olarak burkulmuştur. Yükleme devam ettikçe burkulma da belirginleşmiştir. Burkulma birinci 100 mm'lik etriye aralığında oluşmuştur. Bu çevrimde eleman dayanım kaybetmeye başlamıştır. Elemanda yaklaşık %5 lik dayanım kaybı olmuştur.

4. Geri yükleme

Geri yüklemeyle birlikte eskiden basınca çalışan ve burkulmuş olan çekme donatıları, çekmenin etkisiyle gözle görülebilir şekilde düzelmeye başlamıştır. -29 kN yükte ikinci ölçüm bölgesindeki kesme çatlağı önemli ölçüde gelişmiş ve adeta bir kırık görünümünü almıştır.

5. İleri yükleme

Yükün 22 kN'a varmasıyla kiriş arka yüzündeki basınç donatısı diğerinden farklı olarak ikinci 100 mm lik etriye aralığında meydana gelmiştir. Bu çevrimde eleman bir önceki çevrime göre %13, ulaşılmış en büyük yüke göre ise %17 dayanım kaybetmiştir.

5. Geri yükleme

Geri yükleme sırasında erkenden yıpranmış olan eski beton çekme bölgesinde kaldığından, eleman taşıma gücünde henüz herhangi bir kayıp oluşmamıştır.

6. İleri yükleme

Yük 17 kN'a ulaştığında kiriş arka yüzündeki ikinci etriye aralığından burkulmuş olan basınç donatısı, S-şeklinde bir kıvrım yaparak birinci etriye aralığında da burkulmuştur. Belki de sağlam betona ulaşılmış olduğundan bu çevrimde dayanımda önemli bir kayıp olmamıştır.

6. Geri yükleme

Yükün -27 kN'a varmasıyla basınç bölgesindeki betonda kabarma olmuştur. Bu nedenle burdaki donatıların burkulmuş olduğu tahmin edilmektedir. Geri çevrimde ilk dayanım kaybı bu çevrimde başlamış ve dayanımda bir öncekine göre %8 lik bir kayıp olmuştur.

7. İleri yükleme

İleri doğru yük uygulandıkça kolon yüzüne mesafesi yaklaşık 120 mm olan etriyenin bağ teli kopmuş ve etriye kancası açılmıştır. Eskiden bu etriye nedeniyle S-şeklinde burkulmuş olan donatı etriye kancası açılınca tek

eğrilikli burkulmuştur. 14 kN yükte etriye kancası iyice açılmış ve donatıyı tutamaz hale gelmiştir. Basınç donatılarının simetrik olmayan bir şekilde burkulduğu gözlenmiştir. Aşırı kayma deformasyonları nedeniyle yük alamayan eleman kayma deformasyonlarının sona ermesi ile tekrar yük almaya başlamıştır. Bu çevrimde bir öncekine göre %14, toplamda ise %31 dayanım kaybı olmuştur.

7. Geri yükleme

Yük -14 kN'a ulaştığında basınç yüzündeki betonda dökülmeler olmuş ve açığa çıkan donatılardaki burkulmalar doğrudan görülebilmektedir. Eleman bir öncekine göre %30, toplamda ise %36 dayanım kaybetmiştir.

8. İleri yükleme

Elemandaki belirgin kayma deformasyonları gözle görülebilecek kadar büyümüştür. Kayma deformasyonlarının büyük bir kısmı konsol dibinden 100 mm yukarıdaki düzlemde oluşmuştur. Kayma deformasyonları bitene kadar eleman çok az yük almıştır. Yük 36 kN'a ulaştığında çekme bölgesindeki beton örtüsü tümünden dökülmüştür. Kiriş bir öncekine göre %26, toplamda ise %49 dayanım kaybetmiştir.

8. Geri yükleme

Yük -4.5 kN iken çekme bölgesindeki beton tamamen ezilip dökülmüştür. Bu deneylerde sık boyuna donatının sargılama üzerindeki olumlu etkileri belirgin olarak gözlenmiştir. Sık donatıların bulunduğu kenarda eleman üzerinde küçük delikler açılmış bir tüp gibi davranmış ve ezilmeler donatının iç yüzüne pek ulaşamamıştır. Eleman dayanımında bu çevrimde herhangi bir kayıp olmamış hatta dayanımında az da olsa bir artma olmuştur.

9. İleri yükleme

Eleman, basınca çalışan kesitin büyük bir kısmını kaybettiği için yük alamadan deformasyon yapmış ve dayanımının büyük bir kısmını yitirmiştir.

9. Geri yükleme

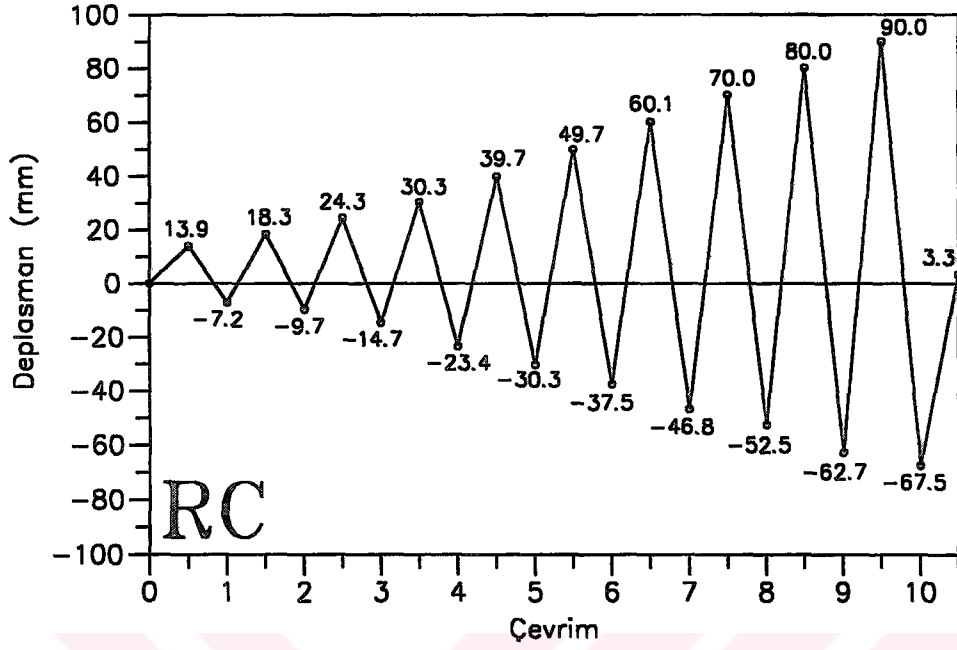
Yük -12 kN'a ulaştığında kiriş ön yüzündeki boyuna donatılardan biri kopunca elemanda ani bir dayanım kaybı olmuştur.

10. İleri yükleme

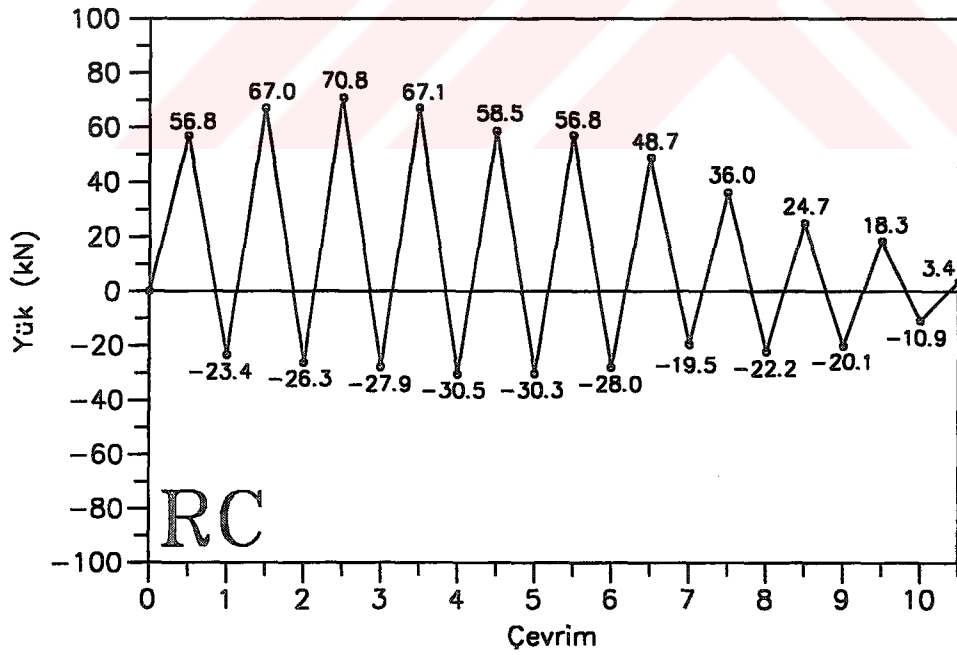
Eleman nerdeyse taşıma gücünün %75 ini kaybetmiş ve çok ağır hasar görmüştür. Ölçüm çubuklarının saplı olduğu beton kütleleri de gevşek bir şekilde oynamış ve güvenli ölçümler alınamamıştır.

10. Geri yükleme

Geri yükleme sırasında da eleman taşıma gücünün %65 ini kaybetmiştir. Ağır hasar görmüş olan eleman düzeltilerek deneye son verilmiştir (Şekil 5.19 ve 5.20).

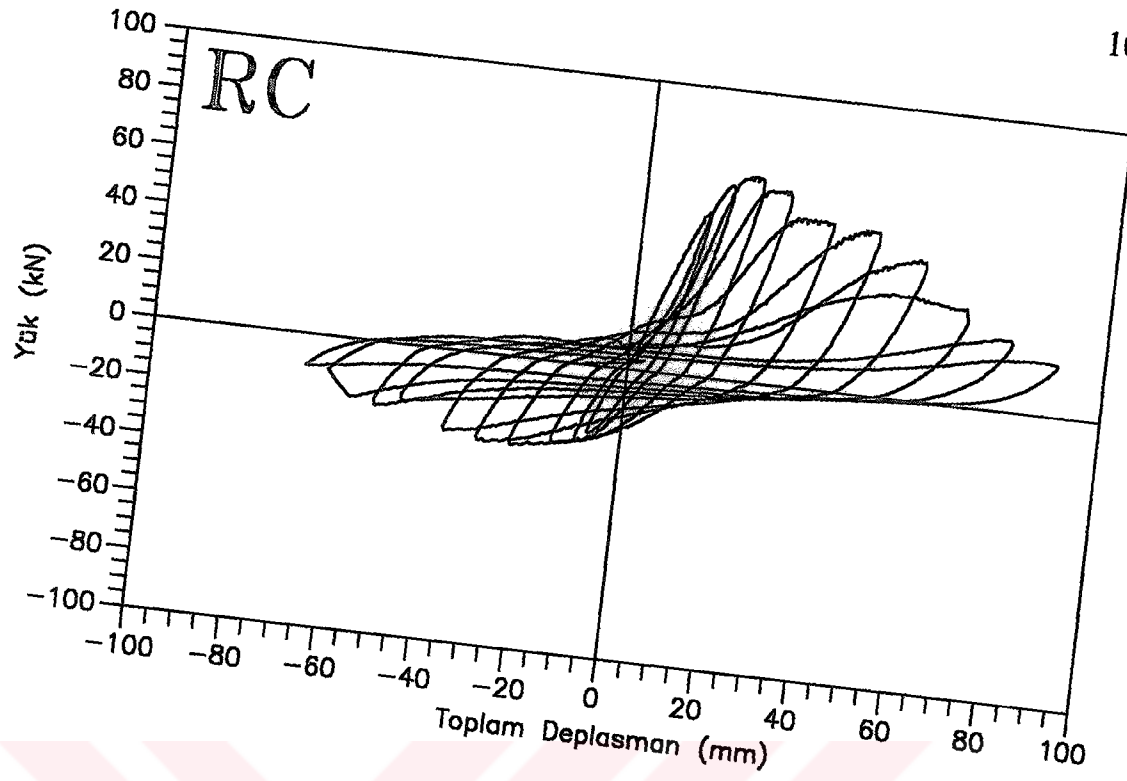


a) Deplasman geçmişi

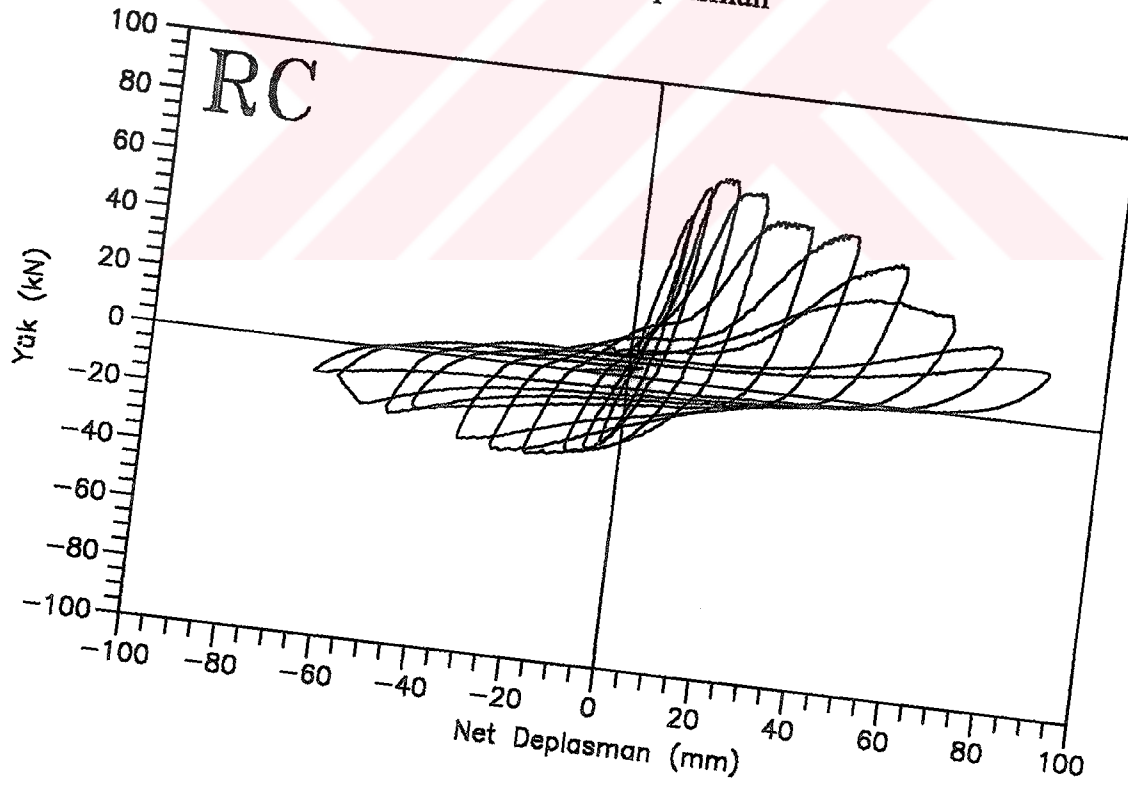


b) Yük geçmişi

Şekil 5.19. RC deney elemanının yük ve deplasman geçmişi



a) Toplam deplasman



b) Net deplasman

Şekil 5.20. RC deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

5.11. RRC Deneyi

İşlem türü	: Onarımdan sonra diriltilmiş kiriş
Eleman geçmişi	: Onarılmış kiriş (RC)
Kesme açıklığı	: Küçük
Katman sayısı	: İki
Ankraj yöntemi	: Sürekli
Deney tarihi	: 11/08/1999 (bin yılın son güneş tutulması)

1. İleri yükleme

Yük 15 kN'a ulaştığında düğümde var olan 45 derece açılı çapraz çatlak tekrar görülebilecek kadar açılmıştır. Hemen ardından konsol dibinde ilk eğilme çatlağı oluşmuştur. 30 kN yükte konsol dibinden 100 mm yukarıda, 41 kN yükte ise konsol dibinden 200 mm yukarıda yeni eğilme çatlakları oluşmuştur. Üçüncü ölçüm bölgesinin hemen üstündeki kesme çatlağı 43 kN yükte tekrar açılmaya başlamıştır. Diriltme işlemi sırasında konsol dibinden üçüncü ölçüm bölgesinin ortalarına kadar olan yaklaşık 300 mm'lik bölgedeki tüm beton yenilenmiştir. 43 kN yükte üçüncü ölçüm bölgesinin ortalarındaki eski beton ile yeni beton arasındaki soğuk derzde kılcal bir çatlak oluşmuştur.

1. Geri yükleme

Kolon-kiriş düğümündeki 135 derecelik çapraz çatlak -2 kN yükte tekrar açılmıştır. 6 kN yükte sistemin tamamında nedeni belirlenemeyen bir oynama olmuştur. Deneyin daha sonraki gelişiminden bu oynamanın önemli olmadığı ve ölçümleri pek etkilemediği anlaşılmıştır. Yük -22 kN'a ulaştığında önce konsol dibinde daha sonra konsol dibinden 100 ve 150 mm yukarıda eğilme

çatlakları oluşmuştur. -28 kN yükte ise konsol dibinden 50 mm yukarıda oldukça zor görülebilen bir başka eğilme çatlağı daha oluşmuştur.

2. İleri yükleme

Kolonun çekme yüzlerinde, etriye hizalarındaki çatlaklar 53 kN yükte tekrar açılmıştır. Yük 55 kN'a ulaştığında ikinci ölçüm bölgesi içinde kılcal bir kesme çatlağı oluşmuştur. 59 kN yükte ise üçüncü ölçüm bölgesinin hemen üstünden başlayıp üçüncü ölçüm bölgesi içine giren bir kesme çatlağı meydana gelmiştir. Bu sırada konsol dibindeki çatlak yaklaşık 0.5 mm kadar açılmıştır. Yük 75 kN'a vardığında çekme donatılarının kiriş ön yüzündeki iz düşümünde 200 mm uzunluğunda bir çatlak olmuştur.

2. Geri yükleme

Yük -6 kN iken elemanda tekrar bir oynama olmuş ve elemanın kolon mesnetlerini oluşturan pimler üzerinden kaydığının farkına varılmıştır. Kiriş arka yüzünde, -36 kN yükte, ikinci ölçüm bölgesinin içinde ve üçüncü ölçüm bölgesinin hemen üstünde kesme çatlakları oluşmuştur.

3. İleri yükleme

60 kN yükte ikinci ve üçüncü ölçüm bölgelerinin içinde gelişen belirgin kesme çatlakları oluşmuştur. Yük 84 kN iken üçüncü ölçüm bölgesinin dışından başlayan kesme çatlağı ölçüm bölgesinin içine doğru yaklaşık -60 derecelik dik bir açıyla gelişmeye başlamıştır.

3. Geri yükleme

Yük -11 kN'a ulaştığında elemanda tekrar oynama olmuştur. Elemana diriltme işlemleri yapılırken elmanın bükülmüş donatıları tam olarak

düzeltilmemiştir. Bundan dolayı kiriş olması gereken eksenden biraz kaymıştır. Bu tür yapım kusurlarının sonucunda kirişe yük uygulanırken elemanda oynamalar olmuştur. Fakat daha önceden de belirtildiği gibi bu oynamalar deney sonuçlarını etkilememiştir. -42 kN yükte çekme bölgesinde yorumlanması güç garip bir çatlak farkedilmiştir. Bu çatlak çekme yüzündeki köşeden başlamış ve kiriş içinde olması gerekenin tersine 135 derece açıyla basınç kenarına kadar ilerlemiştir. Yapılan inceleme sonunda bu çatlağın ikinci ileri yükleme sırasında oluşan kesme çatlağı olduğu anlaşılmıştır. Geri yükleme sırasında bu çatlağın üst tarafında kalan kiriş parçası, çatlağın alt tarafında kalan yüzey üstünde yukarı doğru kaymaya başlamış ve bundan dolayı çatlak biraz belirginleşmiştir. Aynı zamanda bu çatlak yakınlarında 2-3 mm genişliğinde karmaşık çatlak desenleri oluşmuştur. Kirişin arka yüzünde de ön yüzdeki çatlakların var olduğu ancak bunlara ek olarak ikinci ölçüm bölgesi içinde diğerlerine göre çok daha belirgin, 3-3.5 mm genişliğinde, bir kesme çatlağı olduğu görülmüştür.

4. İleri yükleme

Elemana uygulanan yük 55 kN iken basınç bölgesindeki beton aniden ezilmiş ve basınç donatıları burkulmuştur. Bu çevrimde ana kesme çatlağı yaklaşık 5 mm kadar genişlemiştir. Hemen akmadan sonraki bu çevrimde eleman çok erken dayanım kaybetmeye başlamıştır. Kiriş taşıma gücünde %4 lük bir düşme olmuştur.

5. İleri yükleme

Elemanda belirgin bir kesme kırığı oluşmuştur. Özellikle 60 kN yükten sonra, basınç köşesinden başlayıp 135 derece açıyla kirişin çekme yüzüne ulaşan kesme çatlağının altındaki beton kütlede pek bir deformasyon olmamıştır.

Buna karşın çatlak üzerindeki kiriş parçası, çatlak düzlemi üzerinde kayma olmaksızın rijit olarak dönmüştür. Bu çevrimde bir öncekine göre %13, toplamda ise %17 dayanım kaybı olmuştur.

5. Geri yükleme

Basınç bölgesindeki beton örtüsü ile donatı arasında 500 mm lik bir bölgede çatlamlar ve açılmalar olmuş ancak betonda dökülme oluşmamıştır.

6. Geri yükleme

Çekmeye çalışan içteki iki donatıdan kiriş ön yüzüne yakın olanı bindirmeli ekin tam ortasından (eski kopuk donatıların olduğu kesitten) kopmuş ve eleman aniden dayanım kaybetmiştir.

7. İleri yükleme

Eleman ancak büyük kayma deformasyonlarından sonra yük alabilmiştir. Elemanda önemli ölçüde dayanım kaybı olmuştur. Kiriş taşıma gücünde şu ana kadar %37 lik bir azalma olmuştur.

7. Geri yükleme

Yük -22 kN'a ulaştığında çekmeye çalışan ve kiriş arka yüzüne yakın olan diğer iç çekme donatısı da kopmuştur. Kopma bindirmeli ekin üst ucunda eski donatıdan olmuştur. Kopmanın önce içteki donatılarda olması ilk bakışta çelişki gibi gözükebilir. Ancak çekme katmanındaki donatıların yeni olduğu ve kopan iç donatıların ise onarım deneyinde büyük kalıcı deformasyonlara uğramış olması bu olayın nedenini açıklamaktadır.

8. İleri yükleme

Çekme yüzünde, 500 mm uzunluğundaki, beton örtüsü 44 kN yükte dökülmüş ve çekme donatılarının dış yüzü tamamen açığa çıkmıştır. Dökülmenin tamamı diriltme işlemi sırasında oluşturulan yeni beton katmanında olmuştur.

8. Geri yükleme

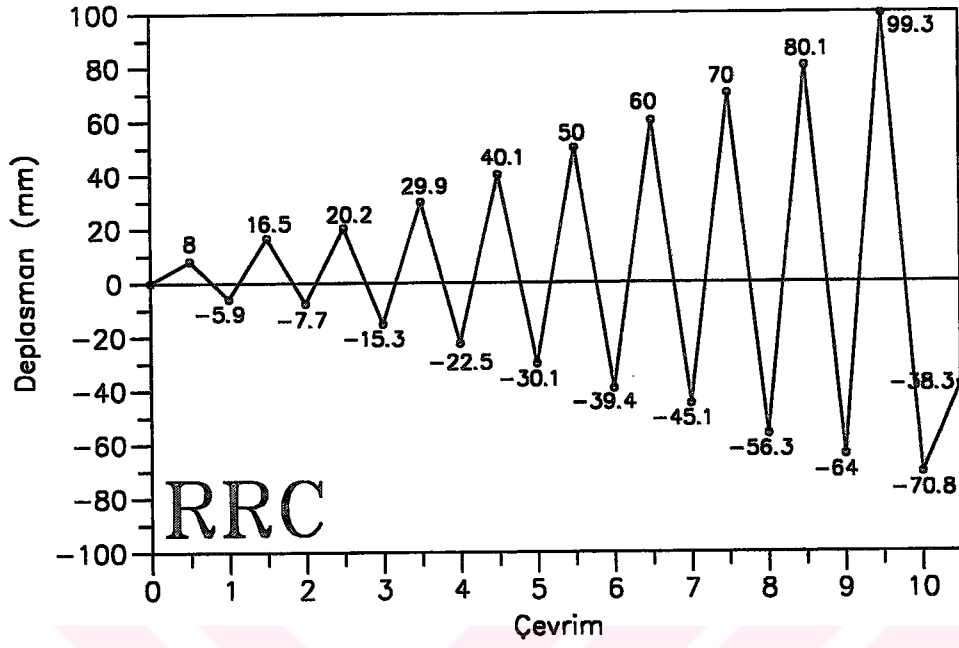
Dıştaki çekme donatılarının her ikisi -7 kN yükte aynı anda kopmuş ve eleman taşıma gücünün nerdeyse tamamını yitirmiştir.

9. İleri yükleme

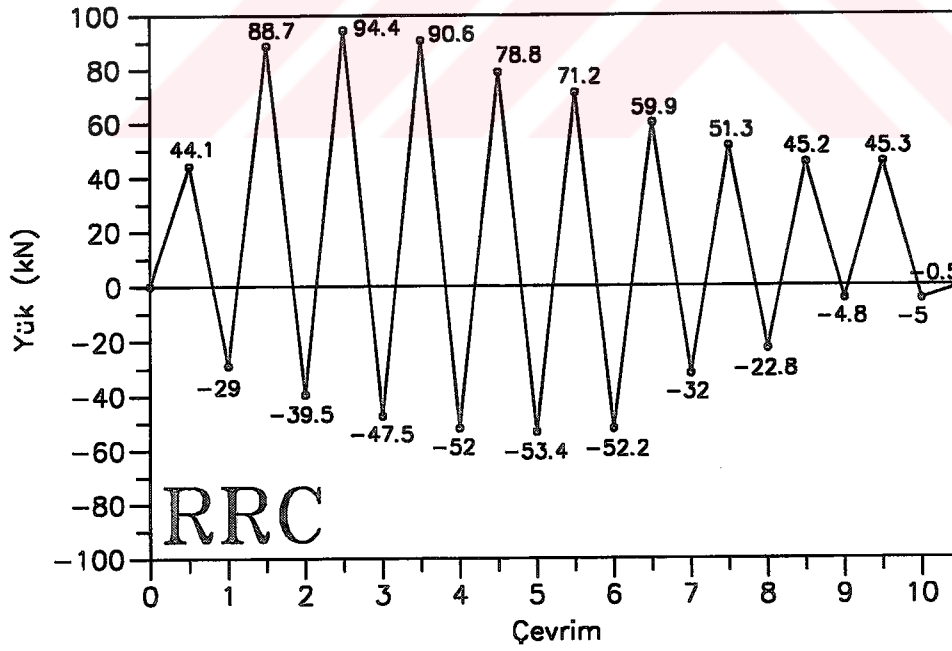
Eleman uzunca bir süre yük almadan deformasyon yapmıştır. Kiriş kesitinde oldukça fazla beton kaybı olmuş ve etkili yüksekliğin yarısından çoğu kaybedilmiştir. Kiriş büyük deformasyonlardan sonra akma anındaki taşıma gücünün ancak %48 ine ulaşabilmiştir.

10. Geri yükleme

Eleman oldukça ağır hasar gördüğü için kiriş düzeltilerek deneye son verilmiştir (Şekil 5.21 ve 5.22).

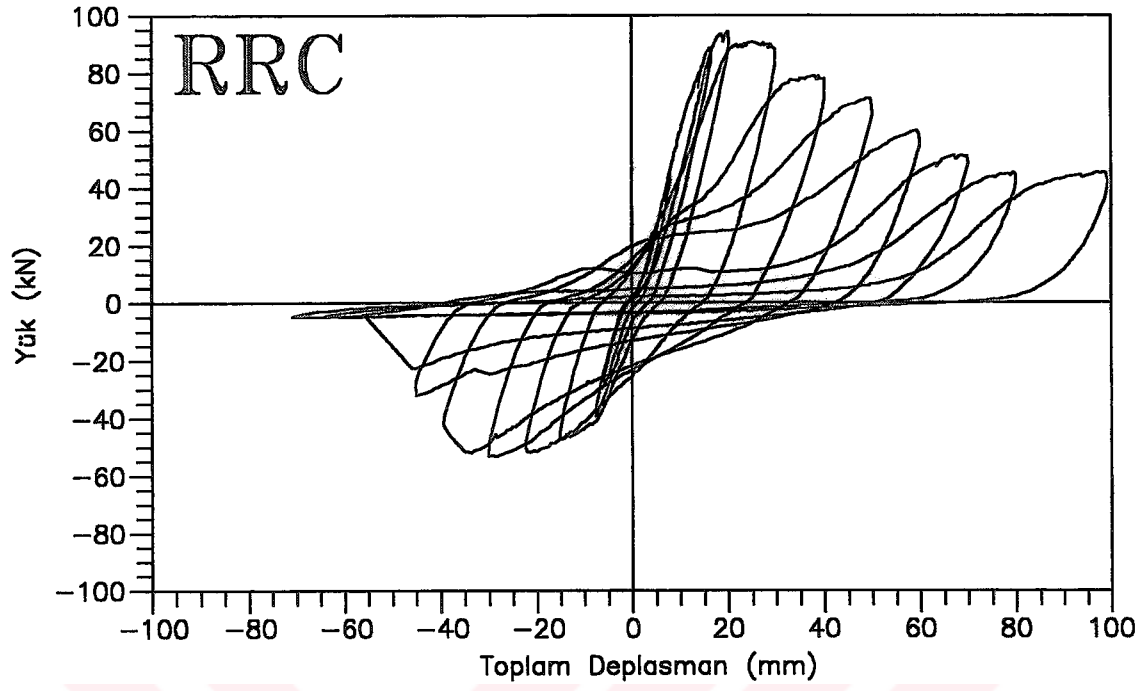


a) Deplasman geçmişi

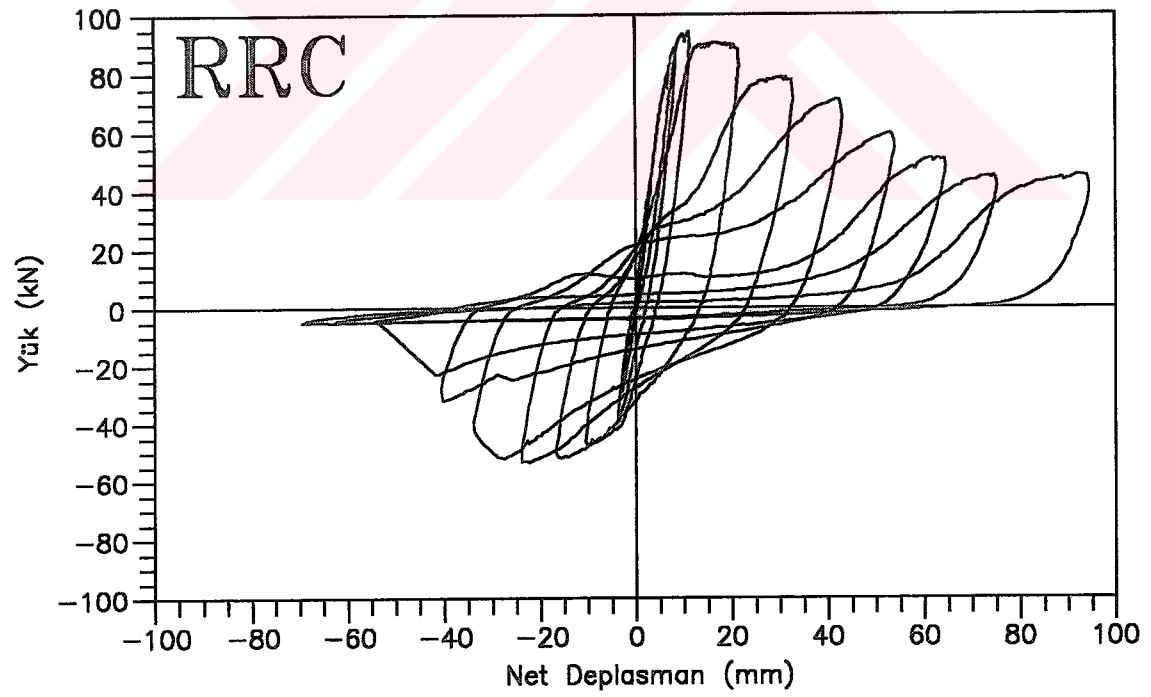


b) Yük geçmişi

Şekil 5.21. RRC deney elemanının yük ve deplasman geçmişi



a) Toplam deplasman



b) Net deplasman

Şekil 5.22. RRC deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

5.12. SM Deneyi

İşlem türü	: Güçlendirilmiş kiriş
Eleman geçmişi	: Hasarsız yalın kiriş
Kesme açıklığı	: Küçük
Katman sayısı	: İki
Ankraj yöntemi	: Mekanik kenetleme
Deney tarihi	: 14/09/1999

1. İleri yükleme

İlk kılcal eğilme çatlağı, 24 kN yükte ve konsol dibinden 100 mm yukarıda, L-profilin düşey flanşının hemen üst ucunda, oluşmuştur. 35 kN yükte kolon, 42 kN yükte ise kiriş etriyelerinin bulunduğu yerlerde kılcal eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Yük 46 kN'a ulaştığında düğümde 45 derece açılı çapraz çatlak oluşmuştur. Yük 51 kN'a ulaştığında çekme tarafındaki L-profilin düşey flanşının üst ucunda yukarı doğru düşey kılcal bir çatlak oluşmuştur.

1. Geri yükleme

Yük -18 kN'a ulaştığında konsol dibinden 100 mm yukarıda, yine L-profilin düşey flanşının hemen üst ucunda, ilk kılcal eğilme çatlağı oluşmuştur. -27 kN yükte kiriş etriyelerinin bulunduğu yerlerde kılcal eğilme çatlakları meydana gelmiştir. -22 kN yükte düğümde 135 derece açılı çapraz bir çatlak oluşmuştur. Daha sonra 36 kN yükte ikinci ve üçüncü ölçüm bölgelerinde eğilme çatlakları meydana gelmiştir. İkinci ölçüm bölgesi içindeki eğilme çatlağının 0.5 mm kadar açıldığı gözlenmiştir. Yüklemeye devam edildikçe üçüncü ölçüm bölgesinin de dışında iki kılcal eğilme çatlağı oluşmuştur. Şu ana kadar eleman üzerinde kesme çatlağına raslanmamıştır.

2. İleri yükleme

İkinci ölçüm bölgesi içinde, 25 kN yükte yeni bir eğilme çatlağı oluşmuş daha sonra 51 kN yükte üçüncü ölçüm bölgesi dışında 100 mm aralıklı iki kılcal eğilme çatlağı meydana gelmiştir. Yük 60 kN'a vardığında çekme bölgesindeki L-profilin kirişe temas yüzeyi ile kiriş arasında çok ince bir ayrılma oluşmuştur. 71 kN yükte konsol dibinde göz ile çok zor görülebilen bir eğilme çatlağı oluşmuştur. Daha sonra çekme tarafındaki L-profil düşey flanşının üst ucundaki düşey çatlağın yukarı doğru 150 mm kadar uzadığı görülmüştür. Yükü boşaltmadan önce kiriş arka yüzünde 3 adet kesme çatlağının farkına varılmıştır. Bu çatlaklardan birincisi kolon yüzünden 200 mm yukarıdan başlamış ve -20 derece açıyla kiriş içinde devam etmiştir. İkinci kesme çatlağı, üçüncü ölçüm bölgesinin dışından başlayıp -45 derece açıyla üçüncü ölçüm bölgesi içine girmiştir. Diğer kesme çatlağı ise -45 derecelik açıyla üçüncü ölçüm bölgesinin dışında gelişmiştir.

3. İleri yükleme

Yük 51 kN'a ulaştığında ikinci ölçüm bölgesi içinde kılcal bir kesme çatlağı oluşmuştur. 76 kN yükte çekme tarafındaki düşey flanşın iç yüzünden 30 ve 60 mm içeride, kolon içinde iki adet düşey kılcal çatlak gözlenmiştir. Daha sonra yüklemeye devam ettikçe çekme bölgesindeki düşey flanşın üst ucunun iç yüzü ile kiriş arasında yaklaşık 3-4 mm lik bir ayrılma olmuştur. Flanş alt ucu ile kiriş arasında ise herhangi bir ayrılma olmamıştır. Genel olarak şu ana kadar mekanik kenetlemede kullanılan L-profillerde herhangi bir sorun gözlenmemiştir. L-Profil alt yüzü ile kolon arasında hiç bir açılma olmamıştır. Ayrıca flanşta ne enine ne de boyuna yönde gözle görülebilir bir deformasyon olmamıştır.

3. Geri yükleme

Geri yükleme sırasında da flanş üst ucunun iç yüzü ile kiriş arasında, -47 kN yükte, yaklaşık 2 mm lik bir ayrılma olmuştur. Flaş alt ucunda ise böyle bir ayrılma gözlenmemiştir. Kirişin ikinci ölçüm bölgesindeki yaklaşık 15 derece açılı eğilme+kesme çatlağı gittikçe açılmış ve 2 mm ye ulaşmıştır.

4. İleri yükleme

Yük 16 kN'a ulaştığında flanş üst ucundan 30 mm yukarıda yeni bir eğilme çatlağı oluşmuştur. Her iki L-profilin düşey flanşları arasında kalan betonda şu ana kadar hiç bir hasara raslanmamış ve bu bölgenin oldukça iyi durumda olduğu görülmüştür. Kiriş arka yüzünden bakıldığında, plastik mafsallın ikinci ölçüm bölgesi içide yayılmış olduğu ve bu bölgede karmaşık çatlak desenleri oluştuğu görülmüştür. Bu çevrimde düğümdeki çatlak genişliğinin de 1-1.5 mm kadar açıldığı gözlenmiştir.

4. Geri yükleme

Üçüncü ölçüm bölgesinin içinde önemli sayılabilecek bir kesme çatlağı daha oluşmuştur. -52 kN yükte oluşan bu çatlak çekme yüzündeki konsol dibinden 250 mm yukarıdan başlayıp dik bir açıyla birinci ölçüm bölgesindeki çatlak ile birleşmiştir. Daha sonra yükte çok az ve geçici bir düşme olmuş ve -50 kN yükte üçüncü ölçüm bölgesinin dışında ilginç bir çatlak oluşmuştur. Kolon yüzünden 500 mm yukarıdan başlayan bu çatlak kiriş ortasına kadar yatay olarak ilerlemiş ve parabolik bir şekilde basınç yüzündeki L-profilin üst ucuna varmıştır.

5. İleri yükleme

Yük 44 kN'a ulaştığında üçüncü ölçüm bölgesi içinde yeni bir kesme çatlağı daha oluşmuştur. 50 kN yükte ise basınç bölgesindeki beton düşey flanşın üst kısmında belirgin olarak ezilmiş ve buradaki donatılar simetrik olarak

burkulmuştur. Flanş üzerindeki betonda ise ezilme oluşmamıştır. Kolon yüzünden 500 mm yukarıdan başlayıp karşı yüze, kolon yüzünden 150 mm mesafede, ulaşan kesme çatlağının bu çevrimde diğerlerine göre çok daha önem kazandığı görülmüştür. İlk dayanım kaybı bu çevrimde meydana gelmiştir. Dayanım bir önceki çevrime göre %2.5 kadar azalmıştır.

6. İleri yükleme

Yük 44 kN civarında iken donatıların burkulması gözle izlenebilmiştir. Düşey flanşlar arasındaki kısım oldukça sağlam bir durumda olduğu için, şu ana kadar kayma ve eğilme deformasyonlarının neredeyse tamamı L-profillerin üst ucunun yukarısında oluşmuş ve L-profillerde hiç bir şekilde oynama ve deformasyon olmamıştır. Yük 86 kN'a ulaştığında yeni bir kesme çatlağı oluşmuştur. Bu çatlak kolon yüzünden 600 mm yukarıdan başlamış, en üstteki iki ölçüm çubuğunu arasından geçtikten sonra, kolondan 100 mm yukarıdan, karşı yüze ulaşmıştır. Bu çevrimde bir öncekine göre %5, en büyük yüke göre ise %7 kadar dayanım kaybı olmuştur.

6. Geri yükleme

Basınç bölgesindeki betonu daha önce ezilmiş kirişin basınç donatıları, -50 kN yükte hafif bombe yaparak burkulmuştur.

7. İleri yükleme

Kiriş oldukça hasar görmüştür. Yük 40 kN civarında olmasına rağmen kirişteki aşırı yumuşama nedeniyle mesnet dönmelerinin neredeyse sıfır olduğu ve mesnet dönmelerini ölçen LVDT lerde hiç hareket olmadığı gözlenmiştir. Yük 56 kN'a ulaştığında basınç tarafındaki iç donatıların da burkulmuş olduğu görülmüştür. 69 kN yükte L-profillere kaynaklı donatıların bükülerek yük yönünde hareket ettikleri görülmüştür. L-profillerde ise halen herhangi bir

hareket oluşmamıştır. Kirişte bir öncekine göre %12, en büyük yüke göre ise %19 kadar dayanım kaybı olmuştur.

7. Geri yükleme

Geri yükleme sırasında –19 kN yükte çekme yüzündeki beton örtüsü, kolon yüzünden 250 mm mesafeye kadar aniden dökülmüştür. Yük –53 kN’a ulaştığında dönme deformasyonlarının büyük bir kısmının ikinci ölçüm bölgesinde olduğu ve profiller arasındaki rijit bölgede hemen hemen hiç deformasyon olmadığı gözlenmiştir. Geri yükleme sırasında önemsiz de olsa (%2) ilk dayanım kaybı bu çevrimde başlamıştır.

8. İleri yükleme

Kayma deformasyonları çok rahat bir şekilde gözlenebilen elemanın kayma deformasyonlarını tamamlayana kadar yük almadığı görülmüştür. Eleman bir öncekine göre %24, en büyük yüke göre ise %38 kadar dayanım kaybetmiştir.

8. Geri yükleme

Yük –35 kN değerine ulaştığında ön yüze yakın dıştaki çekme donatısı, kolon yüzünden 150 mm yukarıdan, kopmuş ve yükte ani bir düşme olmuştur. Kirişte bir öncekine göre %24, en büyük yüke göre ise %30 kadar dayanım kaybı olmuştur.

9. İleri yükleme

Elemanda önemli hasarlar olmasına rağmen ölçüm çubukları halen çok iyi bir durumda ve sağlıklı ölçümler alınabilmektedir. Flanş üst yüzü ile basınç üst yüzü arasındaki 30 mm lik betonun erken kaybedilmesinden dolayı şu ana kadar elemadaki taşıma gücü kaybı biraz fazla olmuştur. Deney elemanı bir öncekine göre %40, en büyük yüke göre ise %63 kadar dayanım kaybetmiştir.

9. Geri yükleme

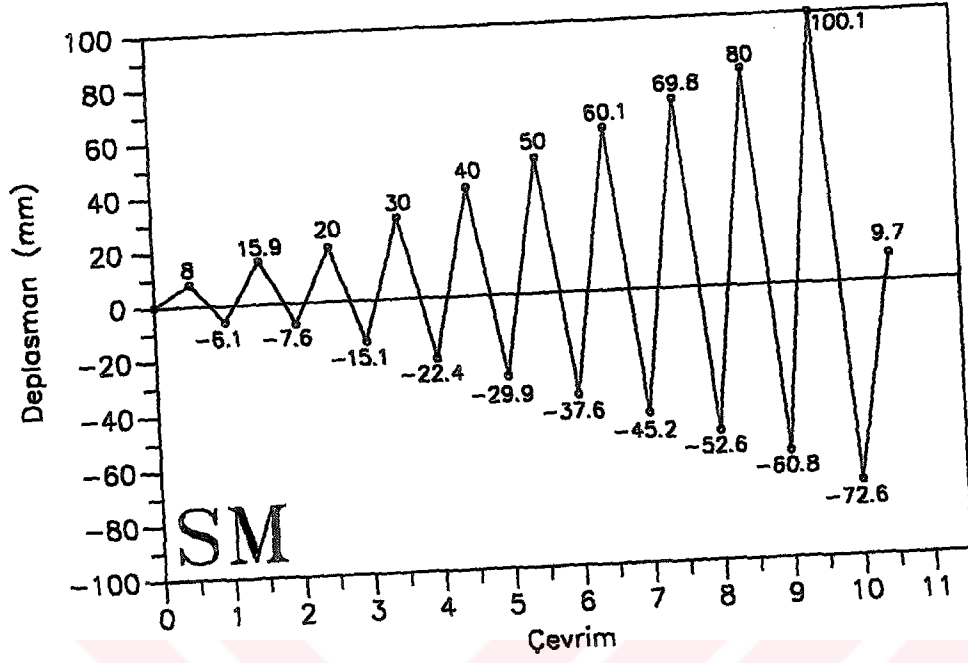
Yük -35 kN'a vardığında kiriş arka yüzündeki dış çekme donatısı da kopmuş ve bir öncekine göre elemanda yaklaşık %17 lik bir dayanım kaybı olmuştur. En büyük yükle kıyaslandığında ise elemanda %38 dayanım kaybı olmuştur.

10. İleri yükleme

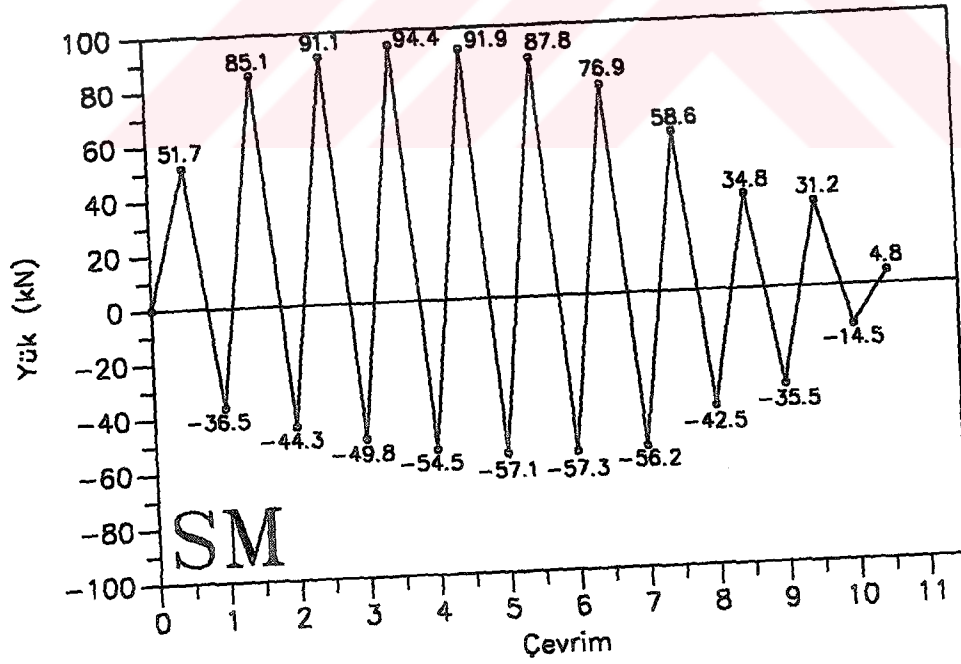
LVDT strok kapasitesinin bitmesinden dolayı elemandaki yük 100 mm deformasyondan sonra boşaltılmıştır. Bu nedenle elemana yeterince deformasyon yaptırılamadığı için bir öncekine göre dayanımda aşırı bir kayıp olmamıştır.

10. Geri yükleme

Önce -9 kN, daha sonra -5 kN yükte ön ve arka yüzdeki iç çekme donatıları arka arkaya kopmuş ve yükte büyük düşmeler olmuştur. Tüm çekme donatıları kopan eleman basınç yüzündeki donatıların eğilme rijitliği ve bu bölgede kalan beton dolgular sayesinde -14.5 kN kadar yük almıştır. Aşırı hasar görmüş olan eleman düzeltilerek deneye son verilmiştir (Şekil 5.23 ve 5.24).

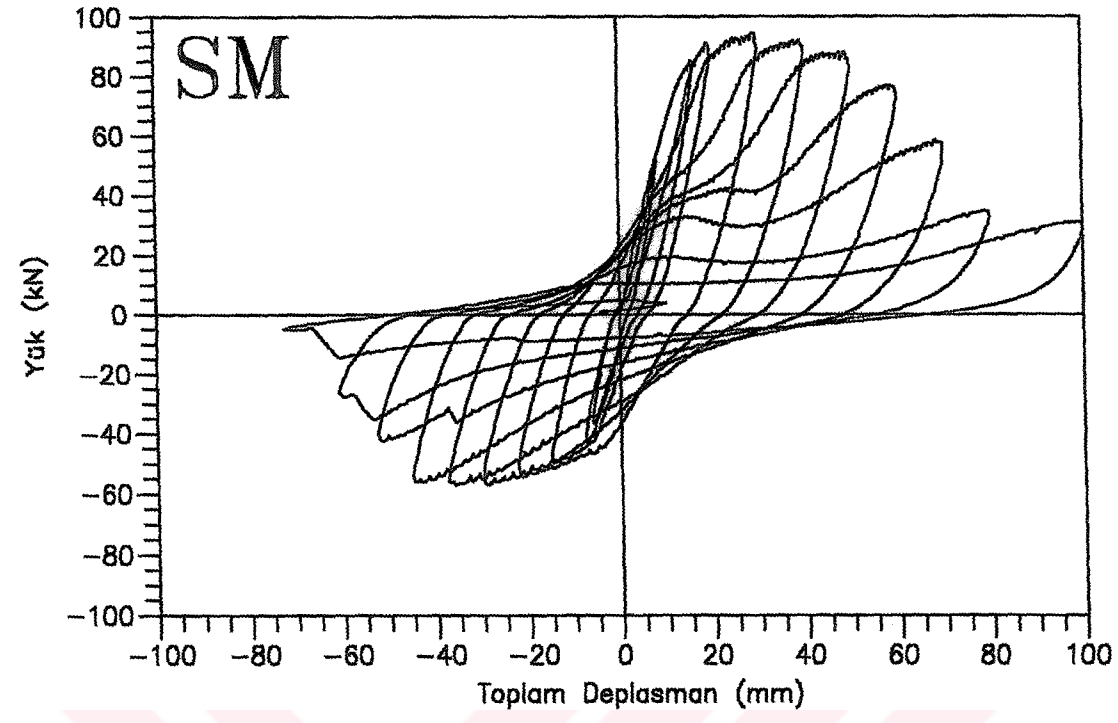


a) Deplasman geçmişi

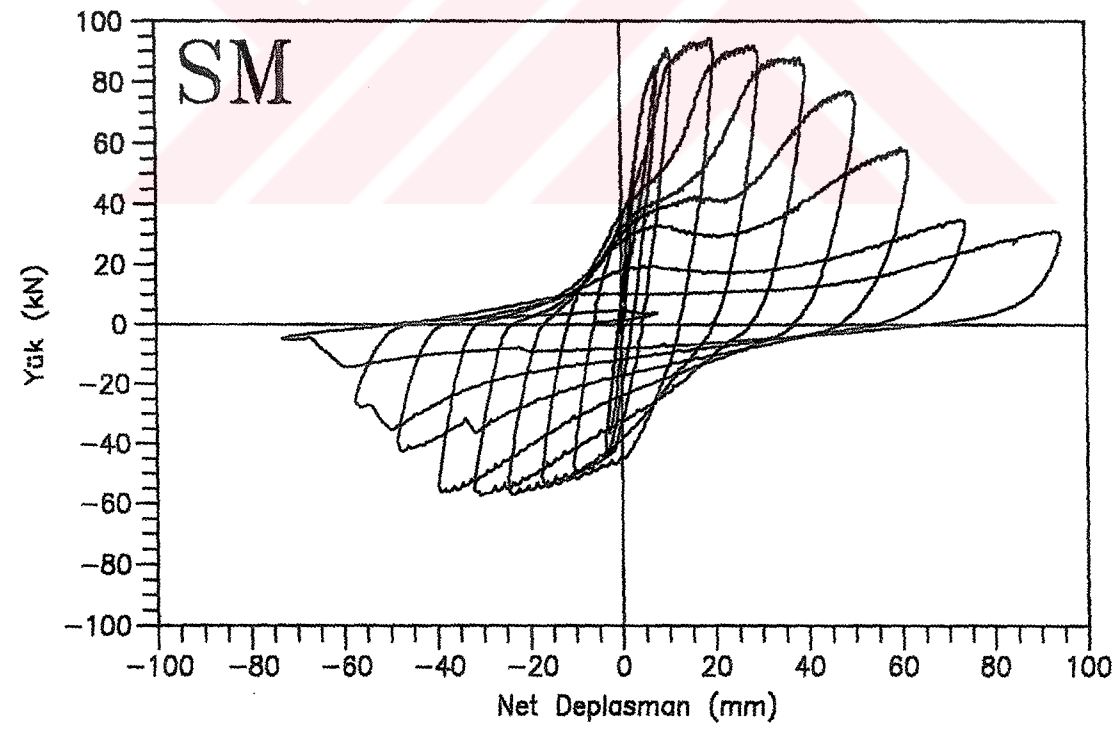


b) Yük geçmişi

Şekil 5.23. SM deney elemanının yük ve deplasman geçmişi



a) Toplam deplasman



b) Net deplasman

Şekil 5.24. SM deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

5.13. BM Deneyi

İşlem türü	: Onarım öncesi yalın kiriş
Eleman geçmişi	: Yok
Kesme açıklığı	: Küçük
Katman sayısı	: Yok
Ankraj yöntemi	: Sürekli (yalındaki)
Deney tarihi	: 12/05/1999

1. İleri yükleme

Yük 14 kN'a ulaştığında konsol dibinden 50 mm uzakta etriye hizasında ilk kılcal eğilme çatlakları oluşmuştur. Daha sonra 16 kN yükte konsol dibinde kılcal bir eğilme çatlakları gözlenmiştir. Yük 22 kN'a ulaştığında etriyeler hizasında kılcal çatlaklar oluşmuştur. 22 kN yükte düğümde 45 derecelik bir çapraz kılcal çatlak oluşmuştur.

1. Geri yükleme

-5.4 kN yükte konsol dibinde kılcal bir eğilme çatlakları oluşmuştur. -8.4 kN yükte ise konsol dibindeki 300 mm'lik bölgedeki etriye hizalarında kılcal eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Daha sonra bu çatlaklar kiriş boyunca etriye hizalarına, yayılmıştır.

3. İleri yükleme

Yaklaşık olarak 24 kN yükte ve ölçüm bölgesi dışında kılcal bir kesme çatlakları oluşmuştur. 31.5 kN yükte birinci ölçüm bölgesinde çok küçük eğimli kılcal bir kesme+eğilme çatlakları oluşmuştur.

3. Geri yükleme

Yük -15 kN civarındayken ölçüm bölgesi dışında kılcal bir eğilme çatlakları ve birinci ölçüm bölgesi içinde çok küçük eğimli kılcal bir kesme+eğilme çatlakları

oluşturmuştur. Yük-deplasman grafiğinde hafif bir kayma deformasyonu gözlenmişse de bu deformasyon eleman üzerinde gözlenememiştir.

4. İleri yükleme

Bu ileri çevrimin en büyük yükü olan 31.8 kN ve 10.5 mm deformasyonda, konsol dibindeki çatlak 0.5 mm den biraz daha büyük olduğu gözlenmiştir.

4. Geri yükleme

Yük 10 kN'a ulaştığında düğümde 135 derecelik bir çapraz çatlak oluşmuştur. Bu çevrimde konsol dibindeki eğilme çatlak 1 mm kadar açılmıştır.

5. İleri yükleme

Yük 33 kN'a ulaştığında konsol dibindeki çatlak genişliğinin 1.5-2 mm ye ulaştığı görülmüştür.

5. Geri yükleme

Kirişe en çok -15.9 kN yük ve -10.4 mm deformasyon uygulanmıştır. Yükleme sırasında konsol dibindeki çatlak uzunluğunun kirişin yüksekliğine ulaştığı görülmüştür.

6. İleri yükleme

Bu çevrimde yük-deplasman grafiğinde hafif bir kamburlaşma oluşmasına rağmen elemanda halen aşırı bir hırpalanma olmamıştır. Konsol dibindeki çatlak 3 mm genişliğe ulaşmış diğer çatlakların gelişmediği ve kılcal düzeyde kaldığı görülmüştür.

6. Geri yükleme

Şu ana kadar oluşmuş olan hasarların çok büyük bir kısmı konsol dibinde yoğunlaşmış durumda. Konsol dibindeki çatlak genişliğinin yaklaşık olarak 2 mm'ye ulaştığı ve diğer çatlaklarda pek gelişme olmadığı görülmüştür.

7. İleri yükleme

Yük 18.6 kN ve 9.9 mm deformasyonda basınç bölgesinde, özellikle kiriş köşelerinde, çok hafif ezilme belirtileri görülmüştür. Daha sonra 32.9 kN civarında eğilme düzlemi dışında bir çatlak düzlemi oluşmuştur. Nereden kaynaklandığı pek anlaşılmayan bu çatlak düzlemi; çekme yüzündeki kiriş köşelerinin birinde kolon yüzünden 50 mm yukarıdan başlayarak karşı çapraz köşede kolonla kirişin kesiştiği noktadan geçecek şekilde oluşmuştur.

7. Geri yükleme

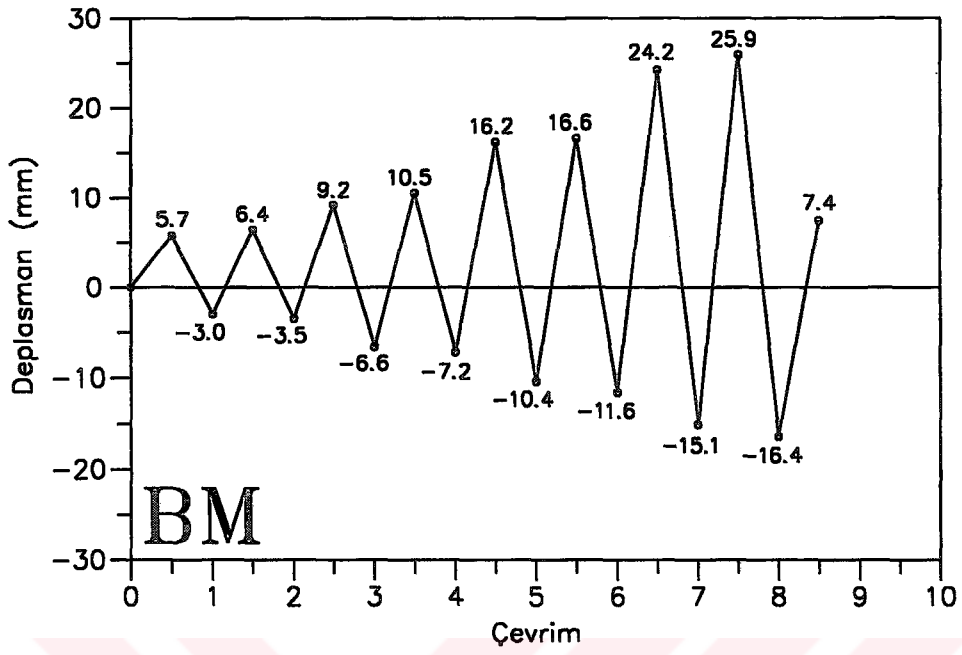
Bu çevrimde plastik mafsallın konsol dibindeki 50 mm'lik bölgede yoğunlaştığı görülmüştür. Ayrıca bir önceki çevrimde oluşmuş olan ilginç çekme düzleminin, bu bölgede oluşmuş olan bir çok çatlak nedeniyle düzlemselliğini yitirdiği görülmüştür. Yük -16.1 kN'a ulaştığında konsol dibindeki çatlağın yaklaşık olarak 4-5 mm'ye ulaşmıştır. Bu sırada konsol yüzünden 50 mm yukarıda 2.5 mm genişliğinde ikinci bir ana eğilme çatlağı oluşmuştur.

8. İleri yükleme

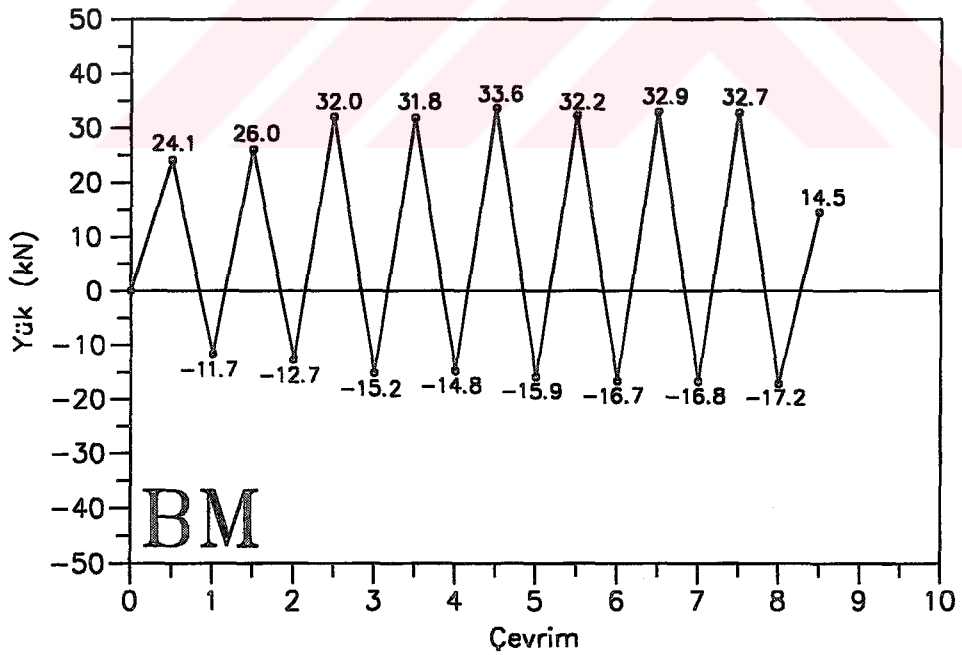
Yükün ileri aşamalarında 30.9 kN civarında, kirişe arka yüzünden bakıldığında birinci ölçüm bölgesi içinde kalacak şekilde, belirgin bir kesme çatlağı oluşmuştur. Kirişin ön yüzünde bu çatlağın uzantısına raslanmamıştır.

8. Geri yükleme

Bu çevrimde elemana en çok -16.4 mm deformasyonla birlikte -17.2 kN yük uygulanabilmiştir. Deneyin sonunda plastik mafsallın büyük bir kısmının konsol dibindeki 50 mm lik bölgede oluştuğu görülmüştür. Çok hafif burkulmuş olan kiriş alt yüz donatıları kirişin deneyden önceki konumuna getirilmesi ile kendiliğinden düzelmiştir (Şekil 5.25 ve 5.26).

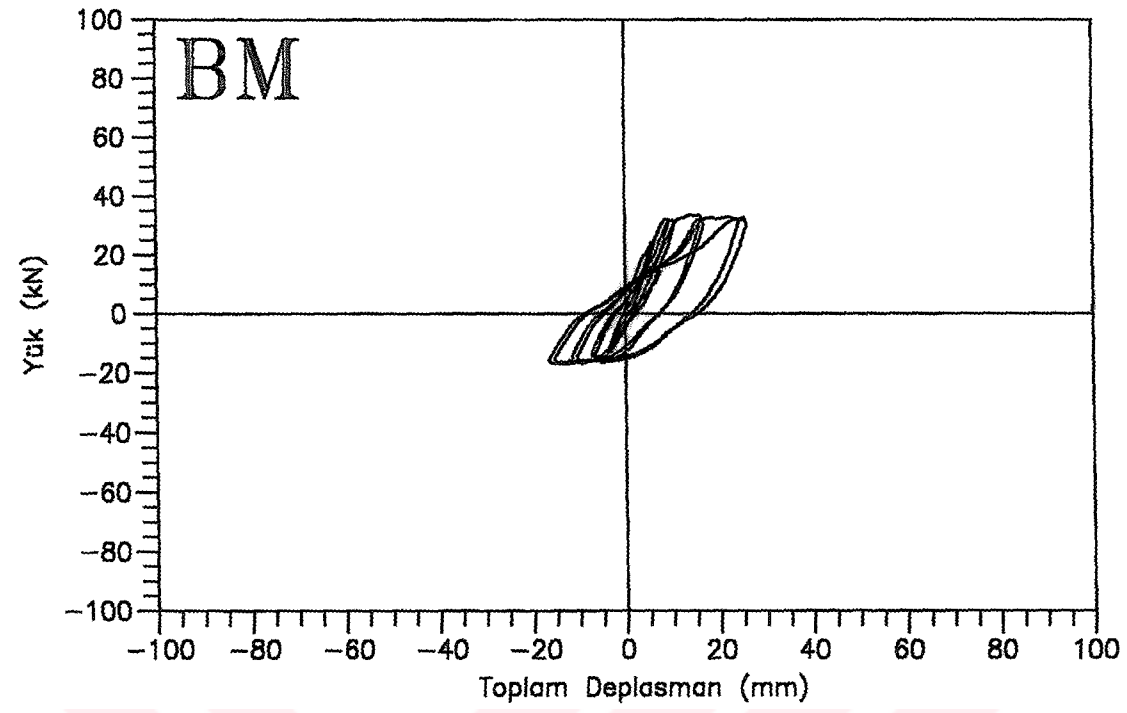


a) Deplasman geçmişi

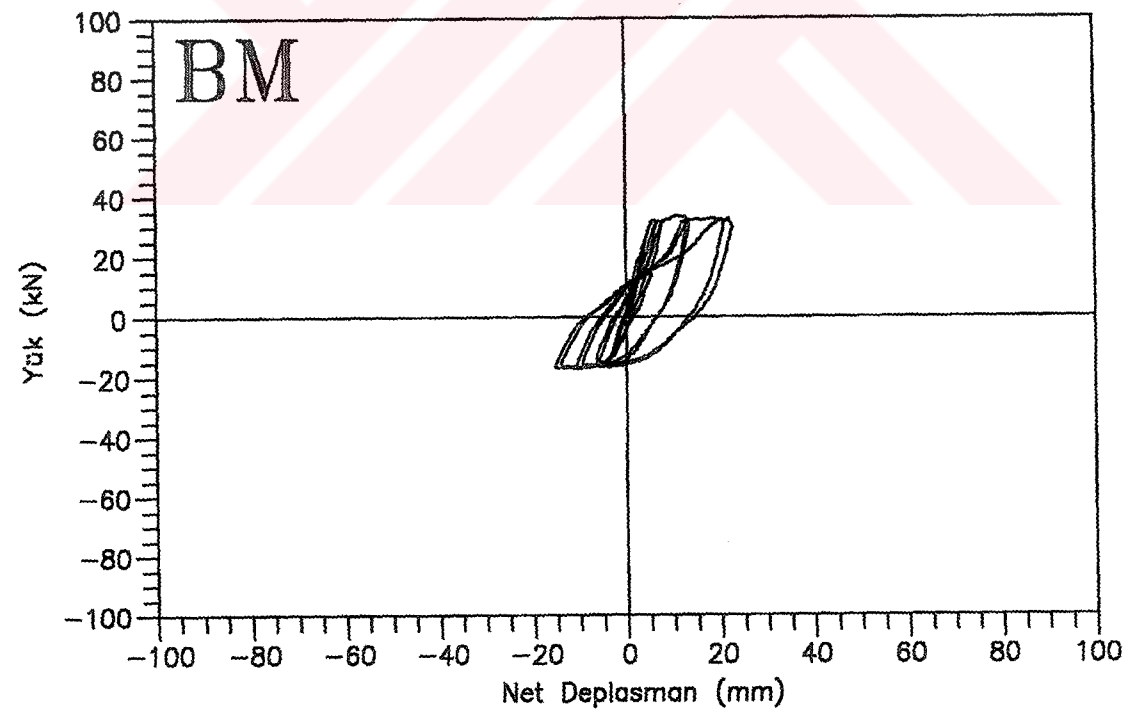


b) Yük geçmişi

Şekil 5.25. BM deney elemanının yük ve deplasman geçmişi



a) Toplam deplasman



b) Net deplasman

Şekil 5.26. BM deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

5.14. RM Deneyi

İşlem türü	: Güçlendirilmiş kiriş
Eleman geçmişi	: Hasarlı yalın kiriş (BM)
Kesme açıklığı	: Küçük
Katman sayısı	: Üst yüzde bir katman
Ankraj yöntemi	: Mekanik kenetleme
Deney tarihi	: 17/09/1999

1. İleri yükleme

Yük 5 kN'a ulaştığında konsol dibinden 100 mm yukarıda, mekanik kenetlemede kullanılan L100.100.20'lik korniyer flanşının hemen üst ucunda, kılcal bir eğilme çatlağı oluşmuştur. 16 kN yükte düğümde 45 derece eğimli çapraz bir çatlak gözlenmiştir. Yükün 22 kN'a ulaşmasıyla, çekme yüzündeki flanşın üst ucundan yukarı doğru, flanşa kaynaklı boyuna donatıların hizasında 100 mm boyunda düşey bir kılcal çatlak oluşmuştur. Yapılan inceleme sonunda, kolona ard-germe ile sıkı bir şekilde bağlanmış olan ve yeterince güçlü olarak tasarlanmış olan çelik korniyerlere kaynaklı boyuna donatıların kaldıraç etkisi ile bu çatlakların oluştuğu anlaşılmıştır. 35 kN civarında kiriş etriyeleri hizasında eğilme çatlakları oluşmuştur.

1. Geri yükleme

Yük -2.6 kN'a ulaştığında düğümde 135 derece eğimli kılcal bir çapraz düğüm çatlağı oluşmuştur. -5 kN civarında konsol dibinden 150 mm yukarıda ve ikinci ölçüm bölgesini ortalayan kılcal bir eğilme çatlağı gözlenmiştir. Yük -15 kN'a ulaştığında ise etriye hizalarında kılcal çatlaklar meydana gelmiştir.

2. İleri yükleme

Bu çevrimde yük 41 kN iken mekanik kenetlemede kullanılan çelik korniyerin düşey flanşının betona bitişik yüzünde çok küçük bir ayrılma olmuştur.

2. Geri yükleme

Yük -11 kN iken BM deneyi sırasında ölçüm bölgesi dışında oluşmuş olan eski betonda ki eğilme+kesme çatlakları tekrar görünür hale gelmiştir. İkinci ölçüm bölgesi ortasındaki eğilme çatlakları bu çevrimde biraz daha açılmıştır.

3. İleri yükleme

Bu çevrimde kiriş arka yüzünden bakıldığında tüm ölçüm bölgelerinde belirgin kesme çatlakları olduğu görülmüştür. Ölçüm bölgesi dışında da diğerlerine göre önemsiz sayılabilecek kesme çatlakları oluşmuştur. Yük 72 kN civarında iken, mekanik kenetlemede kullanılan korniyerlere kaynaklı donatıların kaldıraç etkisiyle, korniyer düşey flanşının üst ucundaki çatlakların oldukça açıldığı görülmüştür. Kolona ard-germe ile oldukça sıkı bir şekilde bağlı korniyelerde herhangi bir hareket olmamasına rağmen kirişteki rijit kayma deformasyonlarının etkisi ile korniyer düşey flanşı ile kiriş yüzeyi arasında boydan boya ayrılma olmuştur. Ancak korniyerlerde yüke bağlı bir deformasyon gözlenmemiştir. Oluşan bu çatlak ve ayrılmalara bağlı olarak rijitlikte azalmalar oluşmuştur. Yine 72 kN yükten hemen sonra çekme yüzündeki korniyer düşey flanşının üst ucundan basınç yüzündeki kolon-kiriş ara kesitine kadar (basınç yüzünde mekanik kenetleme yok) bir çatlak oluşmuştur. İki yüzünden mekanik kenetleme ile güçlendirilmiş olan SM elemanında böyle bir çatlak oluşmamıştır. Boşaltmaya geçmeden önce plastik mafsallık boyunun ikinci ölçüm bölgesine kadar yayılmasına bağlı olarak ikinci ölçüm bölgesinde karmaşık çatlak desenleri oluşmuştur.

3. Geri yükleme

Geri yükleme sırasında -23 kN 'da kolon yüzünden 150 mm yukarıdaki çatlak 2 mm genişliğe ulaşmıştır. Bu çatlak basınç yüzündeki korniyer üst ucuna kadar doğrusal olarak uzamıştır. Oluşmuş olan çatlakların önemli bir kısmı ikinci ölçüm bölgesinde meydana gelmiştir.

4. İleri yükleme

Bu çevrimde de oluşmuş olan çatlakların önemli bir kısmı ikinci ölçüm bölgesinde meydana gelmiştir. İkinci ölçüm bölgesinde oluşmuş olan plastik mafsalin önemli bir kısmı korniyer düşey falnşının üst ucu ile kolon yüzünden 200 mm yukarıdaki 100 mm lik bölgede yoğunlaşmıştır. Korniyersiz basınç yüzündeki plastik mafsalin yoğunlaştığı bölge biraz daha geniş olmuştur. Yük 44 kN'a ulaştığında ikinci ölçüm bölgesindeki çatlaklar oldukça karmaşık bir desen oluşturmuştur. Özellikle korniyer üst ucundaki çatlaklar düşeye oldukça yakın gelişmiştir.

4. Geri yükleme

Bir önceki geri çevrimde kolon yüzünden 150 mm yukarıdan başlayıp basınç yüzündeki korniyer üst ucuna kadar doğrusal olarak uzayan çatlak, -25.5 kN yükte, 3 mm genişliğinde bir kırık görünümü alınmış durumda. Yük -28 kN'a ulaştığında kolon-kiriş ara kesitinde de önemli eğilme çatlakları oluşmuştur. Kolon ile kirişin kesiştiği köşede kolon üzerinde ve kolon eksenine dik kılcal bir çatlak meydana gelmiştir. -29 kN yükte üçüncü ölçüm bölgesinde ani ve önemli kırık şeklinde bir çatlak daha oluşmuştur. Bu çatlak kolon yüzünden 250 mm yukarıdan başlamış ve kiriş eksenine kadar yatay gittikten sonra 45 derecelik açı ile basınç yüzündeki korniyer üst ucuna ulaşmıştır.

5. İleri yükleme

Yük 22.5 kN'a ulaştığında basınç yüzündeki donatılardan biri kolon yüzünden 200 mm yukarıdan burkulmuştur. Onarım katmanı dökülürken, ezilmiş olan mevcut beton olabildiğince korunmaya çalışılmıştır. Ancak hafif örselemeler ile ayrışabilen betonlar temizlenmiş, hafif sağlam kalmış olan bölgelere ise dokunulmamıştır. Bu nedenle donatının bu kadar yüksekte burkulmasına, BM deneyinde hasar görmüş olan ve konsol dibindeki yeni betona göre dayanımı daha az olan eski betonun sebep olduğu anlaşılmıştır. 35 kN

civarında konsol dibinde hafif ezilmeler oluşmuştur. 68 kN'da korniyere kaynaklı boyuna donatıların S-şeklindeki deformasyonu açıkça görülebilmektedir. 71 kN yükte çekme yüzündeki köşeden kolon içine doğru -45 derecelik ince bir çatlak oluşmasına rağmen bu çatlakta herhangi bir gelişme olmamıştır. 73 kN yükte tek köşede başlamış olan ezilme dahada belirgin hale gelmiştir. Bu sırada diğer köşedeki basınç donatısı da burkulan donatıya benzer yerden burkulmuştur. Tüm önemli çatlakların halen konsol dibindeki 250-300 mm lik bölgede olduğu görülmüştür.

5. Geri yükleme

Bir önceki geri çevrimde üçüncü ölçüm bölgesinde konsol dibinden 250 mm yukarıda kiriş ortasına kadar yatay daha sonrada 45 derece eğik bir çatlağın oluştuğu belirtilmişti. Bu çatlak -26 kN yükte kiriş ortasından sonra çatallaşmıştır. Kiriş ortasına kadar yatay gitmiş olan çatlak karşı yüze kadar devam etmiş ve burada adeta bir kırılma olmuştur. yüklemeye devam edildikçe çekme yüzündeki pas payı betonunun ayrışmaya başladığı gözlenmiştir.

6. İleri yükleme

Plastik mafsallık uzunluğunun halen konsol dibindeki 250 mm lik bölgede olduğu gözlenmiştir. Ayrıca bu çevrimde nervürlü donatının çatlakları ne kadar iyi dağıttığı bir kez daha görülmüştür. 11 kN yükte 5. geri çevrimde bahsedilen çatal çatlağa 45 derecelik bir çatlak daha eklenmiş ve buradaki çatlak deseni tavuk bacağı şeklini almıştır.

7. İleri yükleme

Yük 13.5 kN iken çekme yüzündeki paspayı betonu konsol dibinden 250 mm yukarıya kadar aniden dökülmüştür. Paspayının düşmesiyle açığa çıkmış olan çekme donatılarının bundan önceki geri yüklemelerde burkulmuş olduğu

görülmüştür. Şu ana kadar çok az olan dayanım kaybı bu çevrimde artmıştır. Bir önceki çevrime göre %13 lük dayanım kaybı olmuştur.

7. Geri yükleme

Deneyin başlarında çekme yüzündeki konsol dibinden 150 mm yukarıdan başlayıp basınç yüzünde korniyer düşey flanşının üst ucuna kadar uzanan doğrusal çatlak tam olarak bir kırığa dönüşmüştür. Bu kırık, -24 kN yükte bile, rahatlıkla parmak girebilecek kadar açılmıştır. Plastik mafsal ve hasar bu kırıkta yoğunlaştığı için kırığın altındaki rijit kısımdaki hasarın çok az olduğu görülmüştür.

8. İleri yükleme

Bir önceki çevrimde anlatılan kırık altındaki sağlam bölgenin halen iyi durumda olduğu görülmüştür. Bu bölgedeki basınç donatılarında şu ana kadar burkulma oluşmamış sadece basınç donatılarının üstündeki beton örtüsü dökülmüştür. Bu çevrimde bir önceki çevrime göre %21 lik dayanım kaybı olmuştur.

9. İleri yükleme

Yük 35 kN civarında iken ortalama plastik mafsal yüksekliği 200 mm civarında olduğu ve çatlakların bu bölgede yoğunlaştığı görülmüştür. Bu çevrimde 80 mm deformasyonda en çok 40.4 kN yüke çıkılabilmektedir. Bir önceki çevrime göre bu çevrimdeki dayanım kaybı %17 civarında olmuştur.

9. Geri yükleme

Bundan önceki geri çevrimlerde büyük kalıcı deformasyonlara uğramış olan dıştaki çekme donatılarından biri -13.1 kN'a gibi küçük bir yükte kopmuştur. Donatının kopmasıyla yük -12.6 kN'a düşmüştür. Çok geçmeden diğer çekme donatısının da kopmasıyla yük -8.6 düşmüştür. Donatıların her ikisi de ileri

yüklemelerdeki, kolon yüzünden 200 mm yukarıdaki, burkulma noktalarından kopmuştur. Kopmaların burkulma noktalarından olmasına, bu noktalardaki kalıcı uzama deformasyonlarının yanı sıra tersinir yüklemeler sırasında bu noktaların doğrulup bükülmesiyle bu bölgelerin mekanik olarak zayıflamış olmasının neden olduğu düşünülmektedir.

10. Geri yükleme

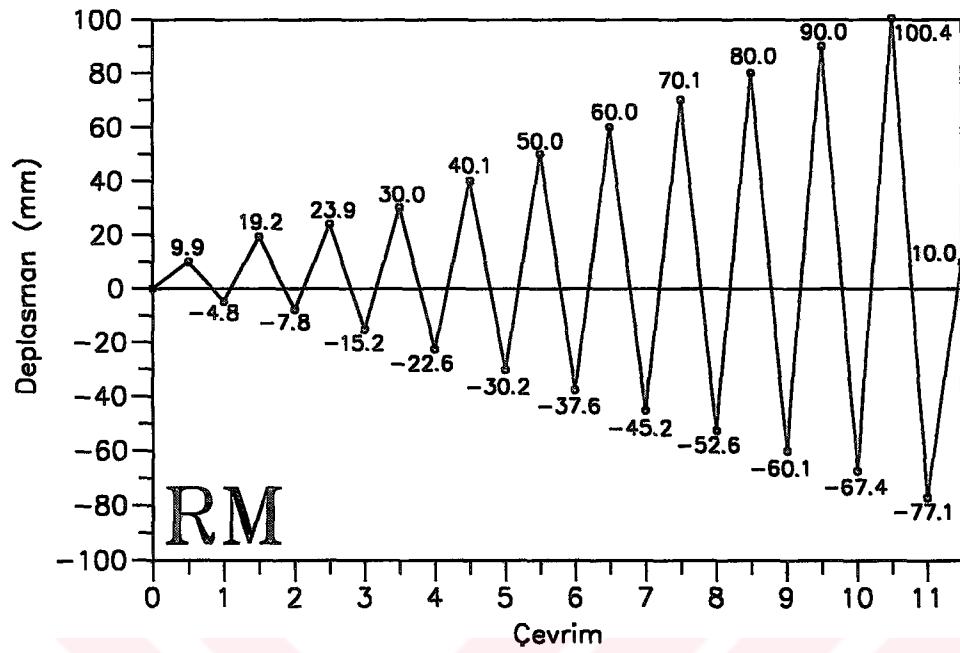
Donatılardaki kalıcı deformasyonların etkisi ile kirişin boyuna yönde 30 mm uzadığı ölçülmüştür. Bu uzama miktarı yatay deplasman ölçümünde kullanılan LVDT eksenini ile bu eksenin deney başında bulunduğu konumu arasındaki uzaklıktan ölçülmüştür.

11. İleri yükleme

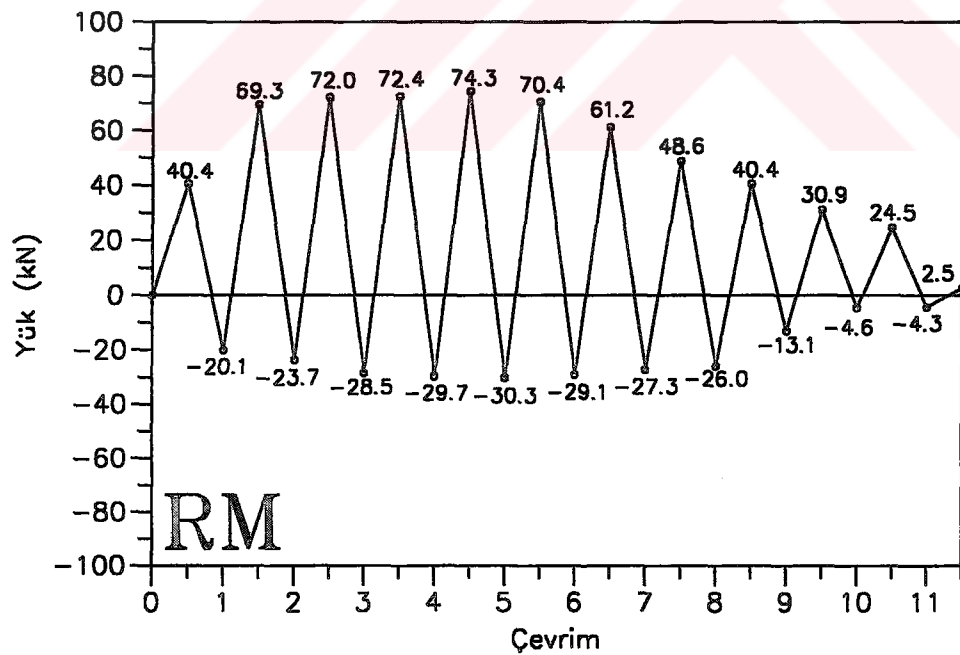
Kirişte oluşan ileri dayanım kaybı, deformasyon ve hasarlara rağmen LVDT lerin bağlı olduğu ölçüm çubukları stabilesinin iyi durumda olduğu buna bağlı olarakta deneyin son anlarına kadar sağlıklı ölçümler alınabildiği görülmüştür. Düşey LVDT uçlarının yatay yöndeki kaymasından rijit kayma deformasyonlarının 15 mm civarında olduğu gözlenmiştir.

11. Geri yükleme

Artık çok az yük alabilen kirişte, geri yükleme yaparken ölçüm çubuklarının stabilitesinin yeterli olmadığı anlaşılmış ve kiriş deney öncesi konumuna getirilerek deneye son verilmiştir (Şekil 5.27 ve 5.28).

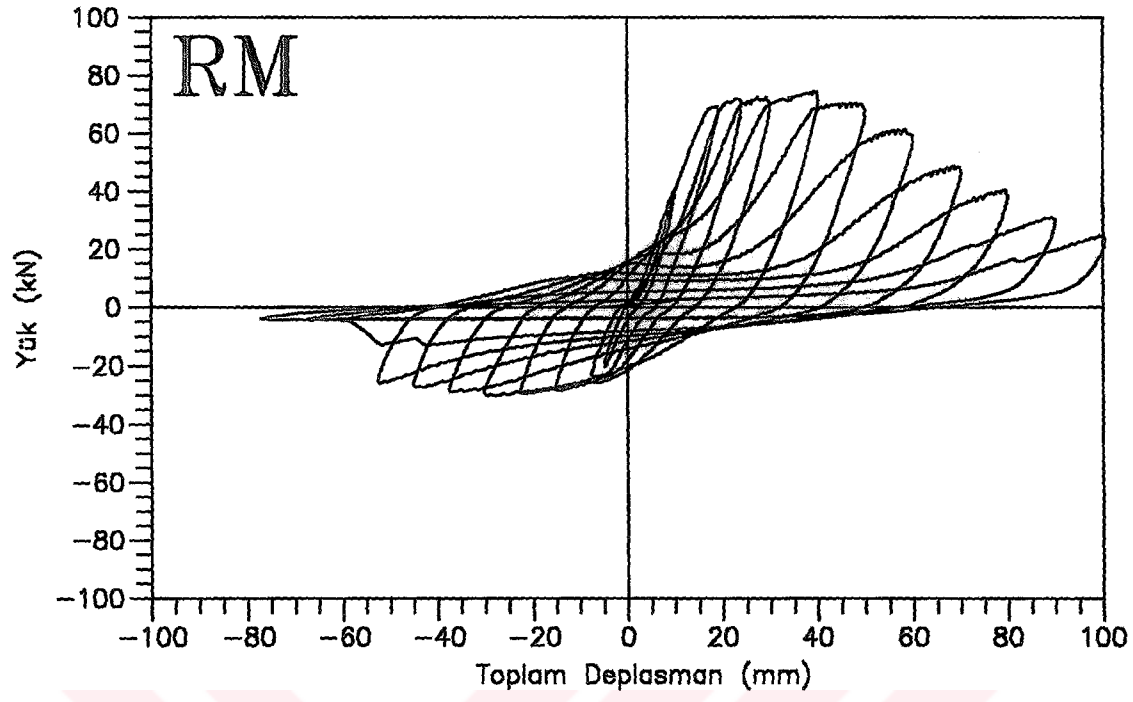


a) Deplasman geçmişi

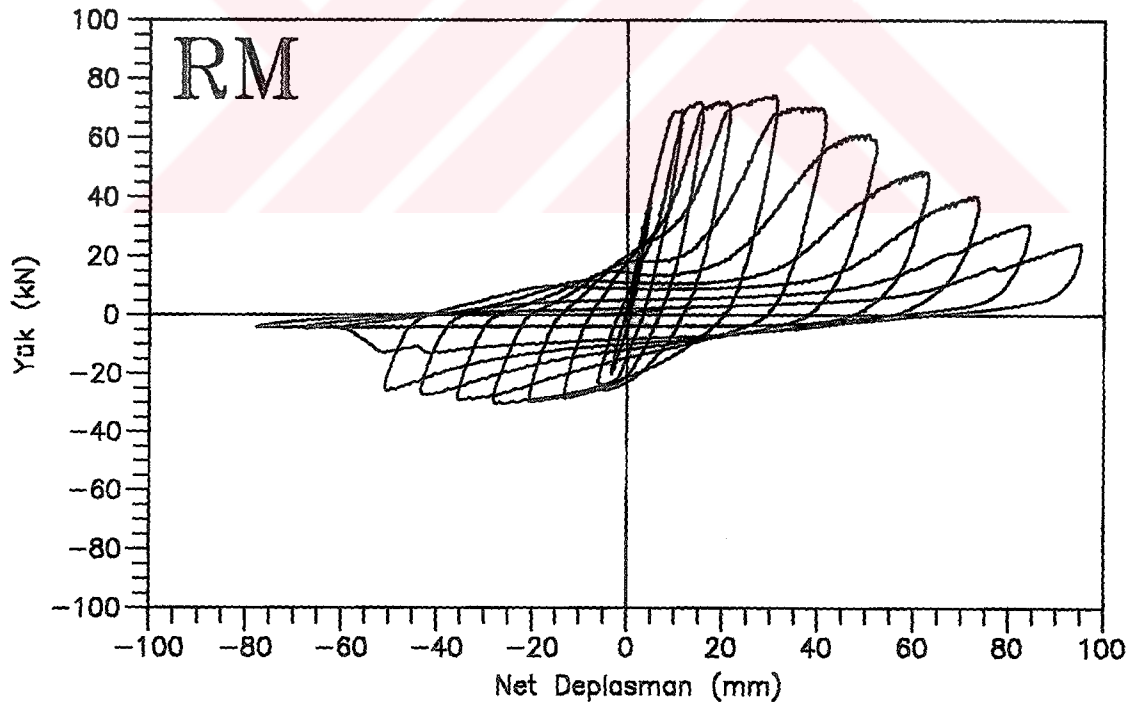


b) Yük geçmişi

Şekil 5.27. RM deney elemanının yük ve deplasman geçmişi



a) Toplam deplasman



b) Net deplasman

Şekil 5.28. RM deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

5.15. SE Deneyi

İşlem türü	: Güçlendirilmiş kiriş
Eleman geçmişi	: Hasarsız yalın kiriş
Kesme açıklığı	: Küçük
Katman sayısı	: İki
Ankraj yöntemi	: Epoksili ankraj
Deney tarihi	: 27/07/1999

1. İleri yükleme

İlk kılcal eğilme çatlağı, 20 kN yükte ve konsol dibinde oluşmuştur. Yük 24 kN'a ulaştığında ise düğümde 45 derece açılı çapraz bir çatlak oluşmuştur. 43 kN yükte konsol dibinden 100 mm yukarıda ikinci bir eğilme çatlağı oluşmuştur. Daha sonra 56 kN yükte kiriş ve kolon etriyeleri hizasında düzenli eğilme çatlakları oluşmuştur.

1. Geri yükleme

-16 kN yükte konsol dibinde ve etriye hizalarında ilk eğilme çatlakları oluşmuştur. Yük -25 kN'a ulaştığında düğümde -45 derece açılı bir çatlak oluşmuştur. Daha sonra -32 kN'da kolon etriyeleri hizasında kılcal çatlaklar oluşmuştur. Yük -35 kN'a ulaştığında ise ikinci ölçüm bölgesinin ortasında diğerlerine göre biraz daha belirgin bir eğilme çatlağı oluşmuştur.

2. İleri yükleme

Yük 42 kN'a ulaştığında, çekme yüzündeki konsol dibinden başlayıp düğüm notasına doğru ilerleyen ve birinci ileri yüklemede oluşmuş olan 45 derecelik çatlağa dik yönde, -45 derece açılı ikinci bir çapraz çatlak daha oluşmuştur. 62 kN yükte üçüncü ölçüm bölgesinin dışında kılcal bir kesme çatlağı oluşmuş ve bu çatlak yüklemeye devam edildikçe üçüncü ölçüm bölgesinin içine doğru ilerlemiştir. Düğümdeki çapraz çatlak genişliğinin, 76 kN yükte, yaklaşık olarak 0.5 mm genişliğe ulaştığı gözlenmiştir.

3. İleri yükleme

Yük 78 kN'a ulaştığında üçüncü ölçüm bölgesindeki kesme çatlakları biraz daha belirginleşerek yaklaşık olarak 0.2 mm kadar açılmıştır. Daha sonra ikinci ve üçüncü ölçüm bölgeleri içinde yeni kesme çatlakları oluşmuştur.

3. Geri yükleme

Konsol dibindeki eğilme çatlakları, -42 kN yükte, nerdeyse tüm kesite yayılmış ve çatlak genişliği yaklaşık 3.5 mm kadar açılmıştır.

4. İleri yükleme

Bu çevrimde arka yüzdeki kesme çatlaklarının ön yüzdekilere göre biraz daha belirgin olduğu görülmüştür. Basınç bölgesindeki betonda ilk ezilme belirtileri 45 kN yükte meydana gelmiştir. Yüklemeye devam edildikçe konsol dibindeki plastik mafsallık uzunluğu gittikçe artmıştır. Dayanım kaybı da bu çevrimde başlamış ve bir öncekine göre %3.5 lik bir dayanım kaybı olmuştur.

4. Geri yükleme

Yük -45 kN'a ulaştığında ikinci ölçüm bölgesindeki eğilme+kesme çatlakları oldukça gelişmiş ve çatlak açıklığı 2.5 mm ye ulaşmıştır. Düğümdeki 135 derece açılı çapraz çatlak ise 0.5 mm ye ulaşmıştır.

5. İleri yükleme

Bir önceki ileri çevrimde başlamış olan dayanım kaybı bu çevrimde devam etmemiştir. Oluşmuş olan çatlakların büyük bir kısmının ölçüm bölgeleri içinde meydana gelmiştir.

5. Geri yükleme

Düğümde hafif bir yumuşama olmasına rağmen şu ana kadar eleman oldukça iyi ve monolitiğe benzer bir davranış göstermiştir. Yük -47 kN'a ulaştığında ikinci ölçüm bölgesindeki çatlak yaklaşık 4 mm genişliğe ulaşmıştır. Bu çatlakların konsol dibindeki çatlaktan daha çok açıldığı görülmüştür.

6. İleri yükleme

Yük 38 kN'a ulaştığında deneyin başlarında üçüncü ölçüm bölgesinin dışından başlayıp ölçüm bölgesine giren kesme çatlağı oldukça dik bir açıyla, geri çekme sırasında, ikinci ölçüm bölgesinde oluşmuş olan çatlak ile birleşmiştir. Çatlağın başlama noktasındaki genişliği yaklaşık 0.5 mm ye ulaşmıştır. 55 kN yüke ulaşıldığında basınç yüzündeki beton belirgin olarak ezilmiş ama dökülmemiştir. Betonda oluşmuş olan hafif bombe nedeniyle buradaki donatılarda burkulmanın başlamış olduğu anlaşılmıştır. 78 kN yükte beton üstündeki örtünün dökülmesiyle dıştaki basınç donatılarının simetrik olarak burkulmuş olduğu görülmüştür.

6. Geri yükleme

Basınç yüzündeki konsol dibinden 150-200 mm yukarıda betonda bombe oluşmuştur. Bu nedenle basınç donatılarının burkulmuş olduğu tahmin edilmektedir.

7. İleri yükleme

Bu çevrimde dayanım kaybı tekrar başlamıştır. Elemanda yaklaşık %5 lik bir dayanım kaybı olmuştur. Ayrıca yine bu çevrimde diğer çatlaklara göre önemsiz olan üçüncü ölçüm bölgesi dışındaki çatlak ilk haline göre daha çok belirginleşmiştir.

7. Geri yükleme

Yük -50 kN'a ulaştığında daha önceden burkulmuş olduğu tahmin edilen basınç donatılarının gerçekten de burkulmuş oldukları görülmüştür.

8. İleri yükleme

Elemandaki kayma deformasyonları 44 kN yükte gözle izlenebilecek kadar artmıştır. Yük 59 kN'a ulaştığında içteki basınç donatıları da burkulmuştur. Bu çevrimde dayanımda önemli kayıplar olmuştur. Dayanım bir öncekine göre %12, ulaşılmış en büyük dayanıma göre ise %20 kadar düşmüştür.

8. Geri yükleme

Gözle görülebilir kayma deformasyonlarından dolayı, eleman ancak ileri deformasyonlarda yük alamaya başlamıştır. Genel olarak epoksi ankrajlı kiriş şu ana kadar çok iyi bir monolitik eleman davranışı sergilemiştir. Geri yükleme sırasında önemsiz de olsa (%2) ilk dayanım kaybı bu çevrimde başlamıştır.

9. İleri yükleme

Yük 30 kN'a ulaştığında simetrik olarak burkulmamış donatılardan dolayı kiriş ekseninde hafif bir dönme oluşmuştur. Bu çevrimdeki dayanım kaybı bir öncekine göre %25, en büyük yüke göre ise %40 civarında olmuştur.

9. Geri yükleme

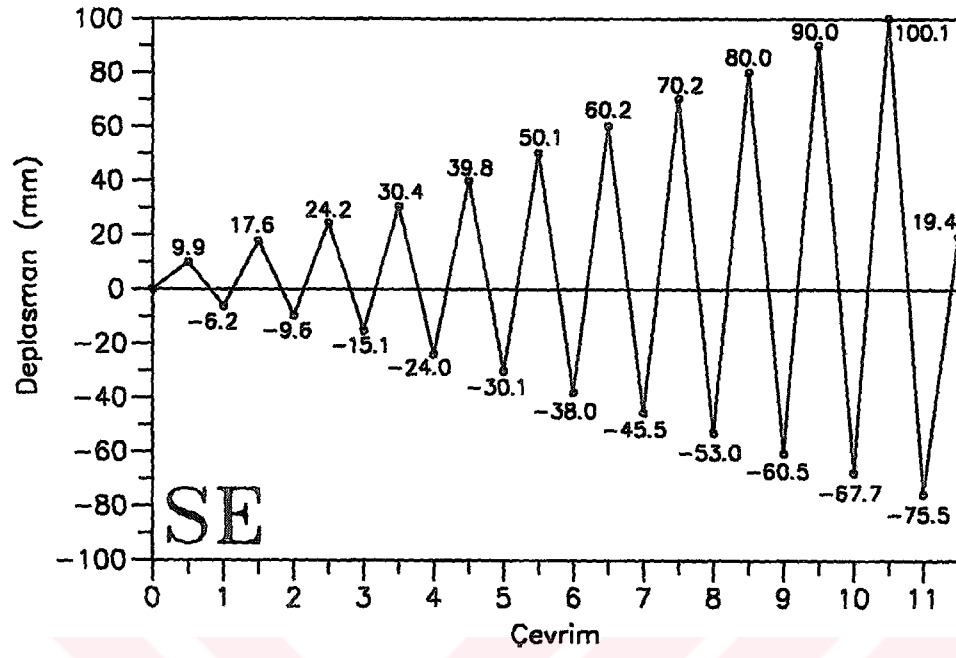
Yükün -16.5 kN'a ulaşmasıyla bazı ölçüm çubukları yerinden oynamıştır. Bu nedenle bundan sonraki ölçümlerin daha dikkatli değerlendirilmesi gerektiğine karar verilmiştir. Çevrimin sonuna doğru çekme donatıları kopacak kadar incelmış ancak yüklemeye son verilince kopma gerçekleşmemiştir. Bir önceki çevrime göre kirişte yaklaşık %10 dayanım kaybı oluşmuştur.

10. Geri yükleme

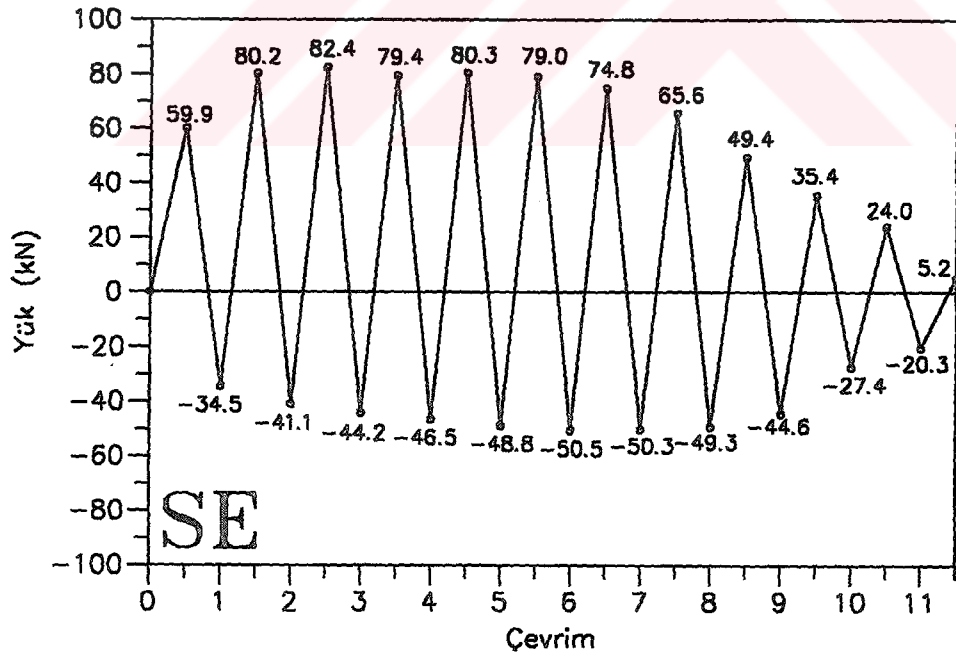
Kiriş arka yüzündeki dış çekme donatısı ile ön yüzündeki iç çekme donatısı - 22 kN yükte ard arda kopmuştur. Bir önceki çevrime göre eleman yaklaşık %40 dayanım kaybetmiştir.

11. Geri yükleme

Eleman taşıma gücünün büyük bir kısmını yitirdiğinden kiriş düzeltilerek deneye son verilmiştir (Şekil 5.29 ve 5.30).

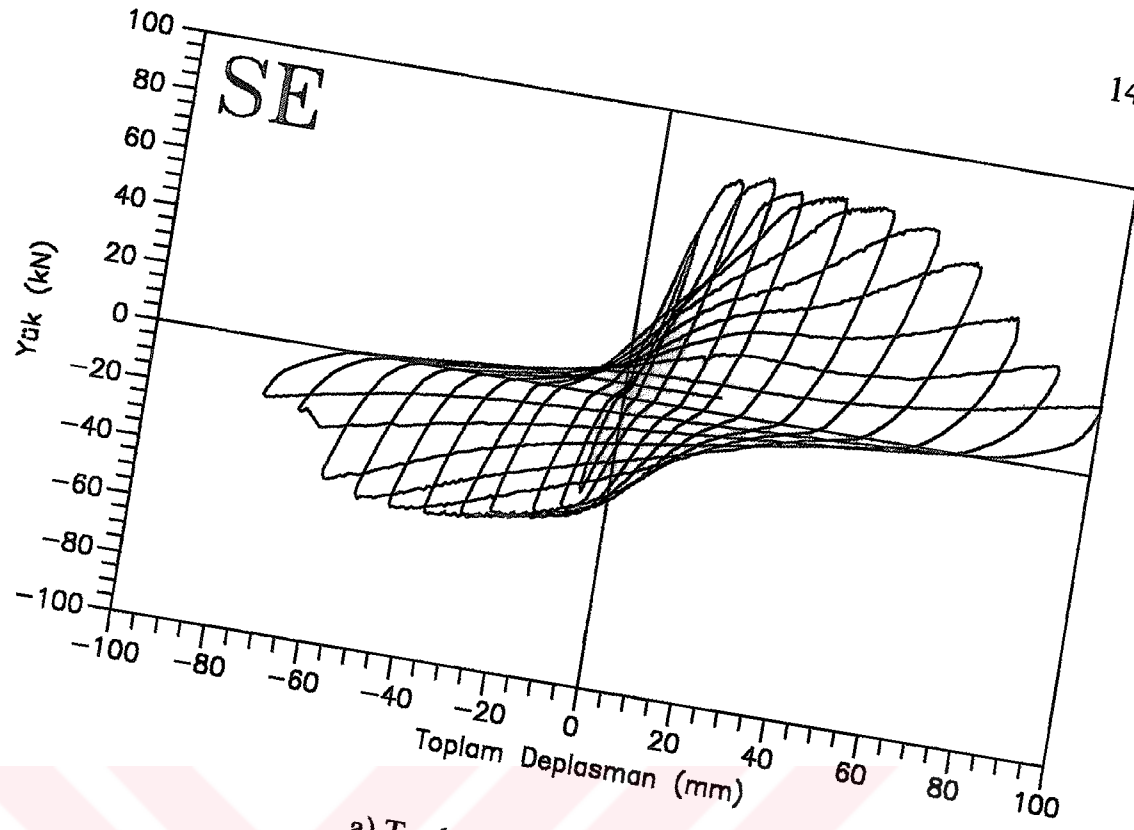


a) Deplasman geçmişi

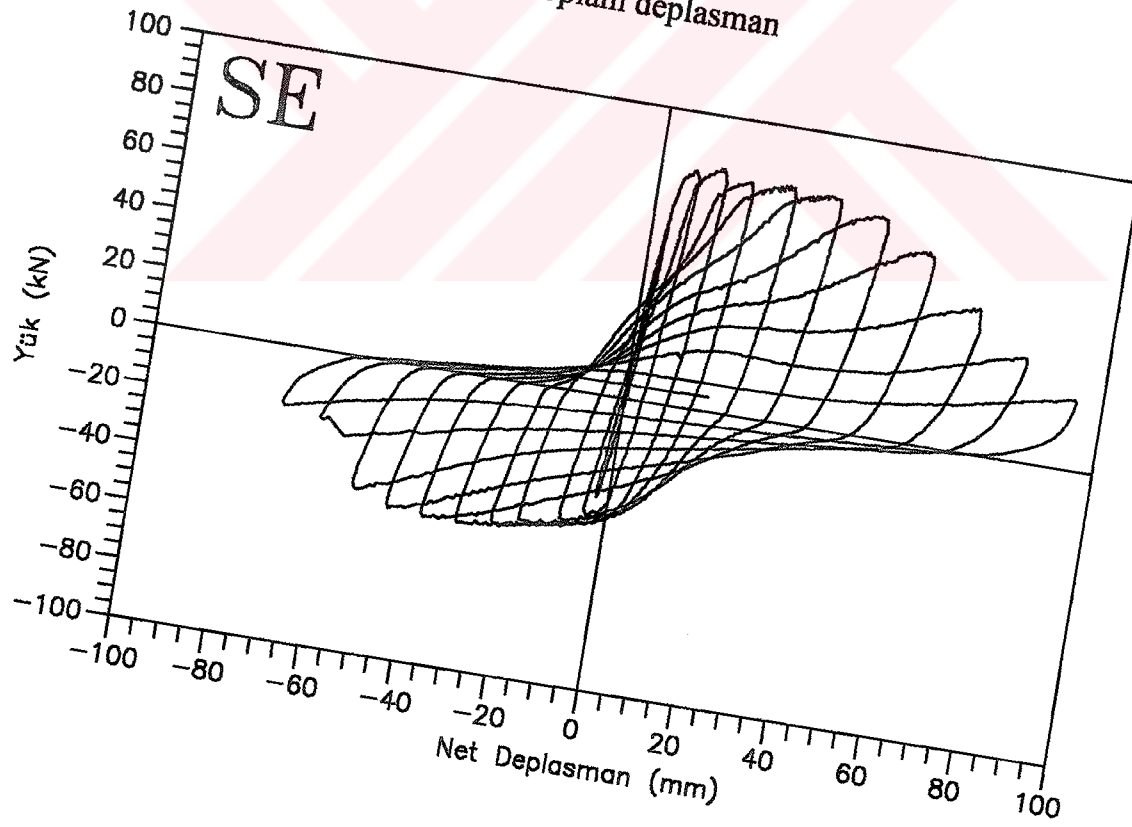


b) Yük geçmişi

Şekil 5.29. SE deney elemanının yük ve deplasman geçmişi



a) Toplam deplasman



b) Net deplasman

Şekil 5.30. SE deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

5.16. BE Deneyi

İşlem türü	: Onarım öncesi yalın kiriş
Eleman geçmişi	: Yok
Kesme açıklığı	: Küçük
Katman sayısı	: Yok
Ankraj yöntemi	: Sürekli (yalındaki)
Deney tarihi	: 17/08/1999 (kara gün, Marmara depremi)

1. İleri yükleme

Yük 15 kN iken konsol dibinde ve konsol dibinden 150 mm yukarıda ilk kılcal eğilme çatlaklarının farkına varılmıştır. Daha sonra ikinci ölçüm bölgesi içinde de kılcal bir eğilme çatlağı oluşmuştur. 25 kN yükte ise etriye hizalarında kılcal çatlamlar meydana gelmiştir.

1. Geri yükleme

İlk çatlaklar –8 kN yükte gözlenmiştir. Önce konsol dibinde ve 100 mm yukarısında kılcal eğilme çatlakları oluşmuş daha sonra da etriye hizalarında çatlaklar meydana gelmiştir.

2. İleri yükleme

23.5 kN yük te üçüncü ölçüm bölgesinin dışında çok hafif eğimli kılcal kesme ve eğilme çatlakları oluşmuştur. İkinci ölçüm bölgesindeki eğilme çatlağı biraz daha belirginleşmiştir. Bu yüklemede düğümde herhangi bir çatlak oluşmamıştır.

2. Geri yükleme

Üçüncü ölçüm bölgesinin hemen üstünde kılcal eğilme ve kesme çatlakları oluşmuş fakat bu çatlaklar gelişmemiştir. Akma sınırına ulaştıktan sonra yük boşaltılmıştır.

3. İleri yükleme

29 kN yükte kirişin arka yüzünde yaklaşık olarak 15 derece eğimli bir kesme çatlakları oluşmuştur.

4. İleri yükleme

Konsol dibindeki çatlak 12 kN yükte yaklaşık olarak 0.5 mm genişliğe ulaşmasına rağmen diğer çatlaklarda bir gelişme oluşmamıştır. Ayrıca şu ana kadar belirgin bir kesme çatlakları veya düğüm çatlakları oluşmamıştır. Bu çevrimin sonunda konsol dibindeki çatlak genişliği 1 mm ye ulaşmıştır.

5. İleri yükleme

Konsol dibindeki çatlak genişliği 30 kN yükte önce 1.5 mm genişliğe daha sonra 33 kN yükte 3 mm ye ulaşmasına rağmen diğer çatlakların halen kılcal düzeyde kalmış olduğu görülmüştür. Ayrıca bu çevrimde de düğümde herhangi bir çapraz çatlak oluşmamıştır.

7. İleri yükleme

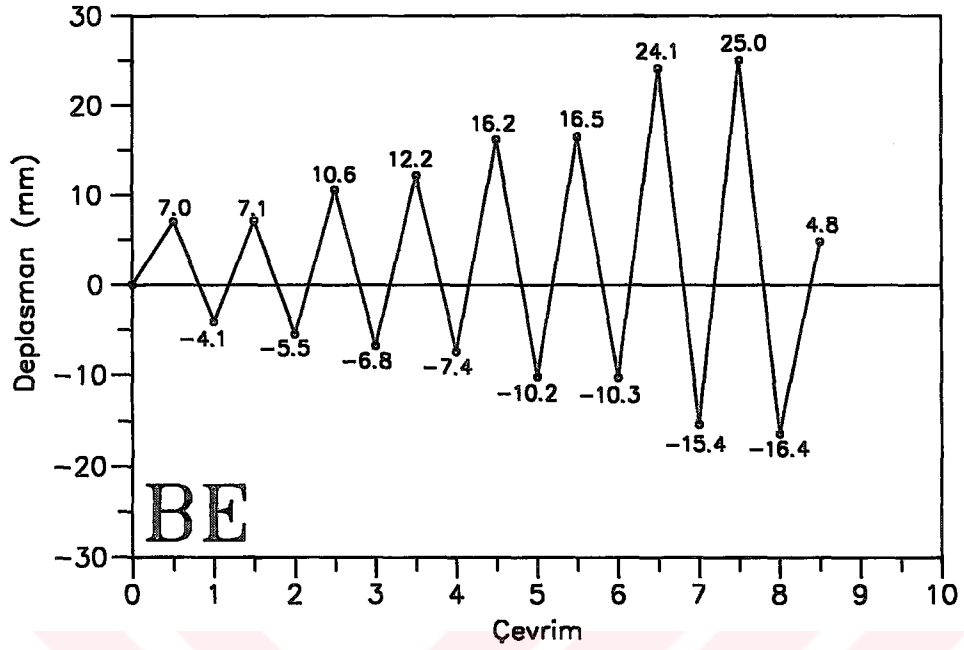
Basınç yüzünde çok az da olsa hafif ezilme belirtileri gözlenmiştir. Üçüncü ölçüm bölgesinin dışında düşeyle 60 derece eğimli ve 0.2 mm genişliğinde bir kesme çatlakları oluşmuştur. Ayrıca üçüncü ölçüm bölgesinin içinde düşeyle açısı 40 ve 20 derece olan iki kesme çatlaklarının daha farkına varılmıştır. Çekme bölgesindeki çatlakların dağınık desenler oluşturduğu görülmüştür.

8. İleri yükleme

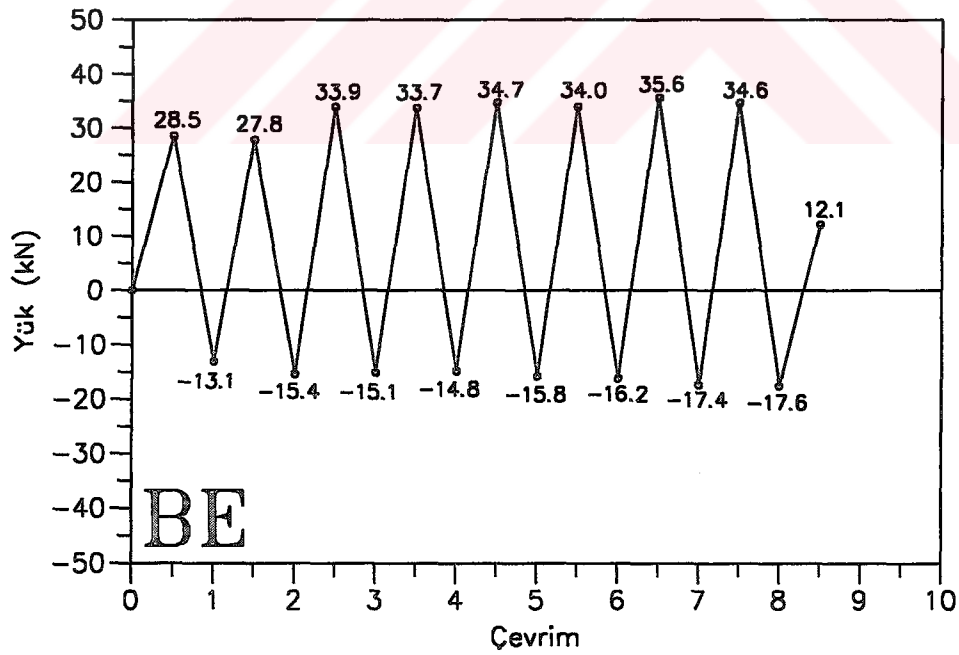
Şu ana kadar oluşmuş olan çatlakların tamamının birinci ölçüm bölgesindeki ilk 50 mm lik bölgede oluştuğu görülmüştür. Beton basınç yüzündeki ezilmeler belirginleşmeye başlamıştır.

9. İleri yükleme

Elemanda yeterince hasar oluştuğu kanısına varıldığından eleman düzeltilip deneye son vermiştir (Şekil 5.31 ve 5.32).

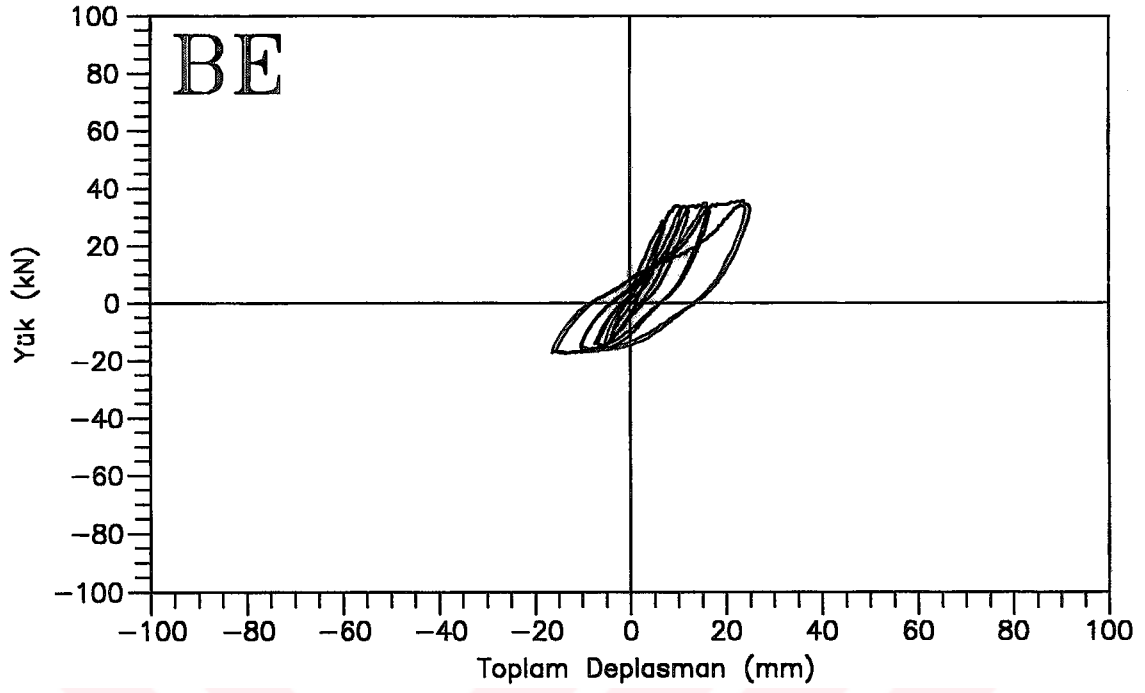


a) Deplasman geçmişi

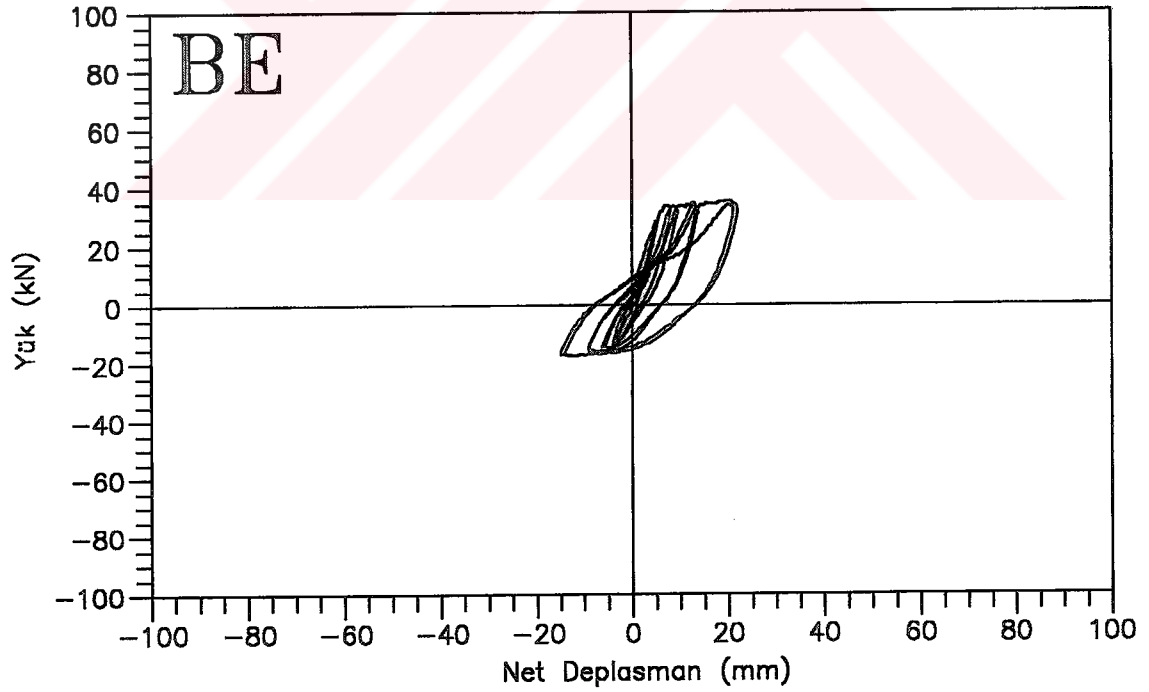


b) Yük geçmişi

Şekil 5.31. BE deney elemanının yük ve deplasman geçmişi



a) Toplam deplasman



b) Net deplasman

Şekil 5.32. BE deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

5.17. RE Deneyi

İşlem türü	: Onarılmış kiriş
Eleman geçmişi	: Hasarlı yalın kiriş (BE)
Kesme açıklığı	: Küçük
Katman sayısı	: Üst yüzde bir katman
Ankraj yöntemi	: Epoksili ankraj
Deney tarihi	: 01/11/1999

1. İleri yükleme

Yük 25 kN'a ulaştığında, onarımdan önceki kirişin çekme yüzünden başlayan ve kolon içine doğru gelişen -45 derece açılı çapraz bir çatlak oluşmuştur. Kolon-kiriş eksenlerinin kesişiminden geçmeyen bu çatlağın düğüm çatlağı olmadığı düşünülmektedir. 38 kN yükte konsol dibinde ve etriye hizalarında düzenli eğilme çatlakları ve 47 kN yükte ise ikinci ölçüm bölgesinin tam ortasında kılcal bir eğilme çatlağı oluşmuştur.

1. Geri yükleme

Henüz yük çok az iken (-1.5 kN) üçüncü ölçüm bölgesinin dışında kılcal bir eğilme çatlağı meydana gelmiş ve bu çatlağın yalın deneyinden kalma eski çatlak olduğu anlaşılmıştır. Yük -10 kN'a ulaştığında konsol dibinde, ikinci ölçüm bölgesinin tam ortasında, üçüncü ölçüm bölgesinde ve etriye hizalarında kılcal çatlaklar meydana gelmiştir. İkinci ölçüm bölgesindeki çatlak, 1.ileri yüklemede ikinci ölçüm bölgesinde oluşan çatlakla yatay olarak birleşmiştir. Daha sonra yükün -24 kN'a ulaşmasıyla bu çatlağın genişliği 0.5 mm'ye ulaşmıştır. Ayrıca bu çatlağın konsol dibindeki çatlaktan daha geniş olduğu da gözlenmiştir.

2. İleri yükleme

Bundan önceki çevrimde kiriş çekme yüzünden başlayıp -45 derece açıyla kolon içinde gelişen çatlağın, 42 kN yükte, kolonun karşı yüzünde ulaştığı görülmüştür. Yük 59 kN'a ulaştığında konsol dibindeki çatlak genişliğinin yaklaşık olarak 0.8 mm ye ulaştığı görülmüştür. 61 kN yükte ise üçüncü ölçüm bölgesinin dışında kılcal bir kesme çatlağı oluşmuştur. 62 kN yükte kolondaki eğik çatlağa paralel ikinci bir çatlak oluşmuştur. Daha sonra 68 kN yükte konsol dibindeki çatlağın 1.5 mm genişliğe ulaştığı gözlenmiştir.

2. Geri yükleme

İkinci ölçüm bölgesindeki eğilme çatlağı 27 kN yükte karşı yüze kadar ulaşmıştır. Kırık şeklindeki bu çatlak kiriş ortalarına kadar yatay daha sonrada hafif bir eğimle basıç yüzüne ulaşmıştır.

3. Geri çevrim

Yükün -24 kN'a ulaşmasıyla ileri çevrimlerde oluşmuş olan -45 derece açılı çatlağın geri yükleme sırasında açıldığı görülmüştür. İkinci ölçüm bölgesindeki kırık şeklindeki çatlak, çekme yüzünden kiriş ortasına kadar yatay olarak gelişmiştir. Bu çatlak, -26 kN yükte, kiriş ortasından sonra 45 derecelik açıyla yeni beton katmanına kadar ulaşmıştır.

4. İleri yükleme

Henüz yüklemenin başlarında kiriş arka yüzünde, ön yüzden görülemeyen birçok kesme çatlaklarının oluşmuş olduğunun farkına varılmıştır. Bu çatlaklardan, birincisi kolon yüzünden 100 mm yukarıdan başlamış, 80 mm yatay gittikten sonra -45 derece açıyla aşağı inmiştir. İkinci ve üçüncü kesme çatlakları sırasıyla kolon yüzünden 250 mm ve 350 mm yukarıdan başlamış ve

-45 derece açıyla aşağı inmiştir. Dördüncü kesme çatlağı kolon yüzünden 450 mm yukarıdan başlamış 50 mm yatay gittikten sonra oldukça dik bir eğimle üçüncü kesme çatlağına ulaşmıştır. En üstteki beşinci kesme çatlağı ise kolon yüzünden 520 mm yukarıdan başlamış ve 45 derece eğimle kiriş ortalarında son bulmaktadır. 70 kN yükte basınç yüzündeki betonda ezilme belirtileri görülmüştür. Bu çevrimin sonuna gelindiğinde arka yüzdeki kesme çatlaklarının tümü ön yüzden de görülebilecek kadar açılmıştır. Bu çatlaklardan özellikle ikincisi oldukça belirginleşmiştir. Önceki çevrimlerde anlatılan kolon çatlaklarında ise bir gelişme olmamıştır.

4. Geri yükleme

Yük -21 kN'a ulaştığında ikinci ölçüm bölgesindeki çatlak tam anlamıyla bir kırık görünümü almıştır. Bu çatlak çekme yüzünden başlayarak 180 mm yatay gittikten sonra ikiye ayrılmıştır. Bunlardan biri -45 derecelik açıyla basınç yüzündeki kolon-kiriş ara kesitine ulaşmıştır. Diğer çatlak ise daha az bir eğimle karşı yüze ulaşmıştır. Geri yükleme sırasında şu ana kadar belirgin bir kesme çatlağı oluşmamıştır. Sadece üçüncü ölçüm bölgesinin dışında çok hafif eğimli bir çatlak gözlenmiştir. İleri çevrimlerde oluşmuş olan -45 derece açılı çatlağın geri yükleme sırasında yine açıldığı görülmüştür.

5. İleri yükleme

Henüz yüklemenin başlarında kirişte gözle görülebilir kayma deformasyonları oluşmuştur. Kayma deformasyonlarının ikinci ölçüm bölgesinin ortasında oluşmuş olan kırık şeklindeki çatlağın her iki yüzeyi arasında meydana geldiği görülmüştür. İkinci ölçüm bölgesindeki bu çatlak ile kolon yüzeyi arasında kalan 130 mm yüksekliğindeki beton parçasının halen sağlam bir şekilde bütünlüğünü koruduğu görülmüştür. Yük 43 kN'a ulaştığında kiriş basınç

yüzünden 40 mm içeride ve uzunluğu 400 mm olan düşey bir çatlak oluşmuştur. Yüklemeye devam edilmiş ve önyüzdeki köşede ezilme sonucu betonda büyük bir parça koparak düşmüştür. Daha sonra 68 kN yükte, yine aynı köşedeki basınç donatısında hafif burkulma meydana gelmiştir. Burkulma, büküm noktası kolon yüzünden 180 mm yukarıda ve iki etriye arasında meydana gelmiştir. Bu çevrimin sonunda plastik mafsallın konsol dibindeki 250 mm lik bölgeye yayılmış olduğu ve bu bölgede 50 mm lik düzenli aralıklarla çatlaklar oluştuğu gözlenmiştir.

5. Geri yükleme

Yük -26 kN'a ulaştığında üçüncü ölçüm bölgesinin içindeki kesme çatlaklarından birinin de geliştiği görülmüştür. Kolon yüzünden uzaklığı 250 mm olan bu çatlak da, ikinci bölgedeki kesme çatlağı gibi kiriş ortasına kadar yatay gitmekte ve -45 derece açıyla aşağı inmektedir.

6. İleri yükleme

28 kN yük ve 21 mm deformasyonda kiriş arka yüzünün basınç köşesindeki beton dökülmüş ve buradaki basınç donatısının da simetrik olarak burkulmuş olduğu görülmüştür. Hasar gördükten sonra sadece bir yüzünden (şu anki çekme yüzünden) onarılmış olan RE elemanında onarım katmanı eklenmemiş olan yüzdeki betonun erkenden ezilmeye başladığı görülmüştür. Ayrıca kolona epoxy ile ankre edilmiş olan çekme donatılarında şu ana kadar aderans çözülmesi olmamasına rağmen kolondaki ankraj deliklerinin hizasında kılcal çatlaklar oluşmuştur. Bu çevrimde deney elemanında dayanım kayıpları başlamış ve bir önceki çevrime göre taşıma gücünde %7 lik bir düşüş olmuştur.

6. Geri yükleme

Çatlaklardaki deformasyonların büyük bir kısmının ikinci ölçüm bölgesi içindeki kesme çatlağında yoğunlaştığı ve konsol dibindeki çatlağın pek gelişmediği gözlenmiştir.

7. İleri yükleme

Kiriş geri çevrimlerde ikinci ölçüm bölgesinde 45 derece açıyla oluşmuş olan kesme çatlağının üzerinde yukarı doğru kaymaya başlamış ve bunun sonucunda kirişte eksenel yönde uzama deformasyonlarının olduğu gözlenmiştir. Eksenel yöndeki bu uzamalar LVDT ölçümleri ile doğrulanmıştır. Çekme yüzündeki kesme çatlaklarından birinin belirginleşmeye başladığı görülmüştür. Bu çatlak konsol dibinden 280 mm yukarıdan başlamış ve ikinci ölçüm bölgesinin ortalarında yataylaşarak geri yüklemedeki kırıkla birleşmiştir. Daha sonra 49 kN yükte çekme yüzündeki konsol dibinden 500 mm yukarıdan başlayıp basınç yüzündeki konsol dibine kadar inen dik bir kesme çatlağı aniden oluşmuştur. Buna bağlı olarak da bu çevrimde % 19 luk bir dayanım kaybı olmuştur.

7. Geri yükleme

İkinci ölçüm bölgesindeki ana çatlağın yüzeyleri arasındaki aşırı kayma deformasyonlarından dolayı çatlak hizasındaki basınç donatılarında yaklaşık olarak 25 mm lik kayma deformasyonları olduğu ve donatıların bombe yaptığı görülmüştür. Diğer geri çevrimlerde dayanımda önemli bir düşme olmamasına rağmen bu çevrimde dayanımda %15 lik bir kayıp oluşmuştur.

9. İleri yükleme

İkinci ölçüm bölgesinde, kırık üzerindeki etriye kancalarının açılmış olduğunun farkına varılmıştır. Ayrıca bu kırık ile kolon arasında kalan kiriş

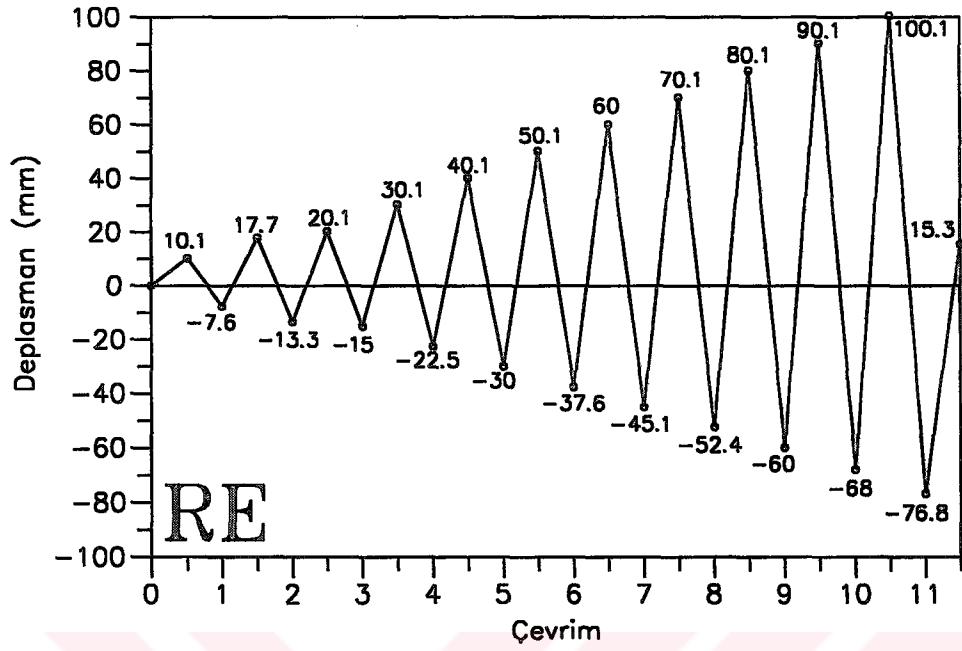
parçası halen bütünlüğünü koruduğu için bu bölgedeki (1.ölçüm bölgesi) deformasyon ölçümlerinin çok küçük olduğu ve deformasyonların büyük bir kısmının ikinci ölçüm bölgesi içinde meydana geldiği görülmüştür.

9. Geri yükleme

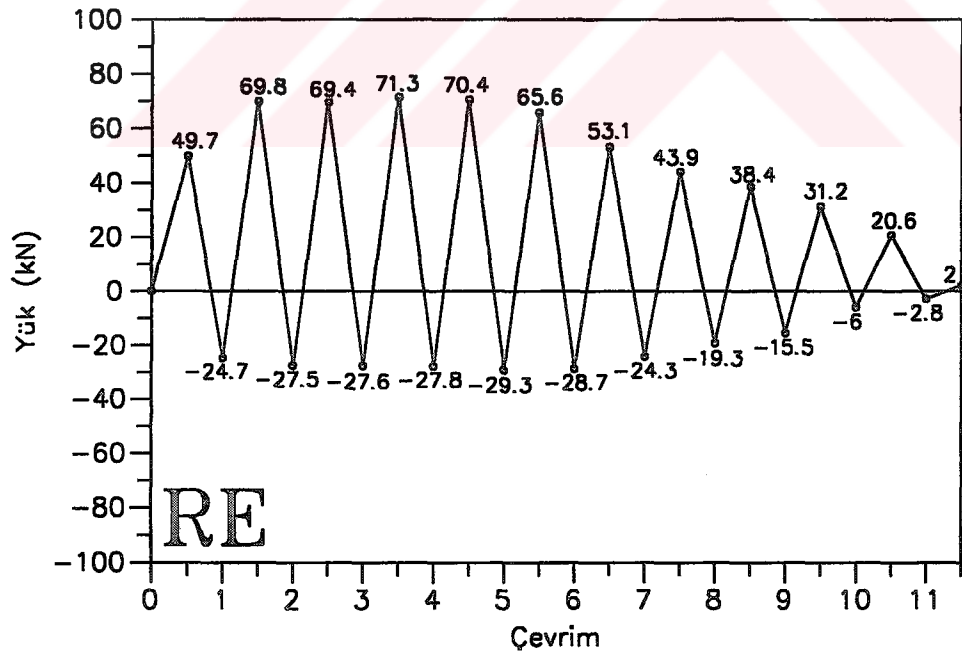
Kirişe büyük deformasyonlar yaptırılmasına rağmen deney elemanının yük alamadığı gözlenmiştir. Bu duruma, ileri yüklemelerde burkulmuş olan ve şimdi çekmeye çalışan donatıların henüz düzelmemiş olması neden olmuştur. Deney elemanının çekme donatıları düzelinceye kadar yük alamadığı ve sadece ana kırık üzerinde büyük kayma deformasyonları yaptığı görülmüştür.

10. Geri yükleme

Yük -2.6 kN ve deformasyon -42 mm iken çekme donatılarının her ikisi aynı anda kopmuş ve yükte ani bir düşme olmuştur. Kopma burkulma noktalarından olmuştur. Bundan sonra elemana bir tam çevrim daha yükleme yapılmış ve eleman düzeltilerek deneye son verilmiştir. Son ana kadar epoksi'li ankrajlarda herhangi bir aderans çözülmesi görülmemiştir (Şekil 5.33 ve 5.34).

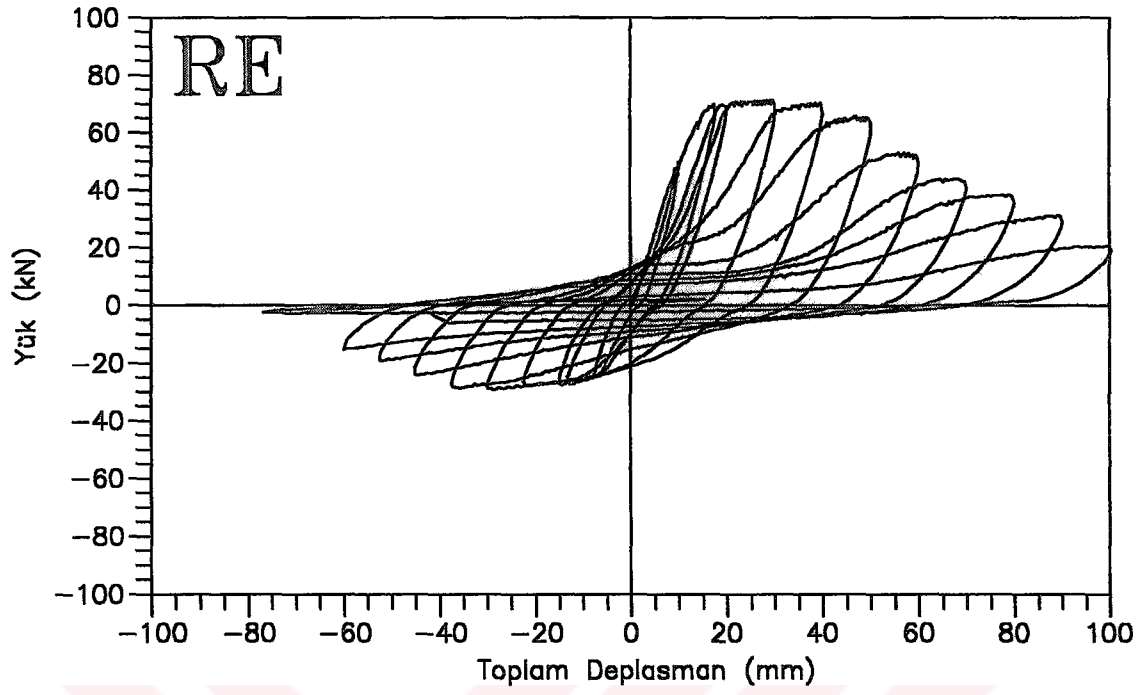


a) Deplasman geçmişi

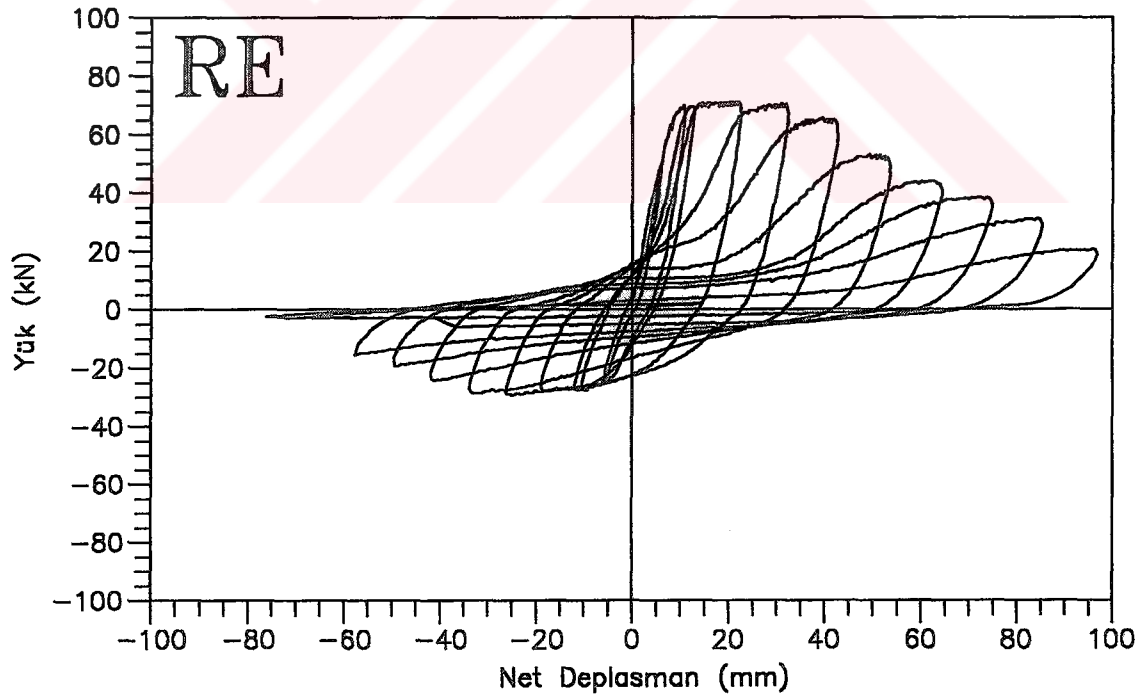


b) Yük geçmişi

Şekil 5.33. RE deney elemanının yük ve deplasman geçmişi



a) Toplam deplasman



b) Net deplasman

Şekil 5.34. RE deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

5.18. RRE Deneyi

İşlem türü	: Onarımdan sonra diriltilmiş kiriş
Eleman geçmişi	: Onarılmış kiriş (RE)
Kesme açıklığı	: Küçük
Katman sayısı	: İki
Ankraj yöntemi	: Epoksili ankraj
Deney tarihi	: 01/12/1999

1. İleri yükleme

Konsol dibindeki ilk çatlak 16 kN yükte oluşmuştur. Hemen ardından düğümde birbirine paralel ve 45 derece açılı iki çapraz çatlak oluşmuştur. Bu çatlaklardan biri kolon üstünde var olan dört adet ölçüm çubuğunun sol üstte olanından diğeri ise sağ altta olanından geçmiştir. Daha sonra 43 kN yükte kirişteki etriye hizalarında kılcal eğilme çatlakları oluşmuş ve konsol dibindeki çatlak genişliği 0.5 mm ye ulaşmıştır. İkinci ölçüm bölgesinin ortasında 51 kN yükte bir eğilme çatlağı oluşmuştur. Ayrıca üçüncü ölçüm bölgesinin hemen dışından başlayıp -45 derecelik açıyla üçüncü ölçüm bölgesine giren bir kesme çatlağı oluşmuştur.

1. Geri yükleme

Yük -6 kN'a ulaştığında kolon üstündeki dört ölçüm çubuğunun sol alta olanından geçen 135 derece açılı bir çatlak oluşmuştur. -22 kN yükte ise konsol dibindeki çatlak genişliğinin yaklaşık olarak 0.3 mm ye ulaştığı ve etriye hizalarında kılcal eğilme çatlakları oluştuğu görülmüştür. -27 kN yükte ikinci ölçüm bölgesinin sağ üst köşesinden başlayıp 45 derece açıyla ikinci

ölçüm bölgesi içine giren bir kesme çatlağı oluşmuştur. Bu çevrimde kolon ön yüzündeki eğik çatlakların arka yüzde de var olduğunun farkına varılmıştır.

2. İleri yükleme

Yük 44 kN iken kolon-kiriş çekme köşesinden başlayıp kolon içine doğru ve kolon eksenine dik bir çatlak oluşmuştur. Bu çevrimde üçüncü ölçüm bölgesinden başlayıp ikinci ölçüm bölgesine giren -45 derece açılı bir kesme çatlağı daha oluşmuştur. Yükü boşaltmadan önce kirişin basınç yüzündeki betonda ezilme başlamıştır.

2. Geri yükleme

Arka yüzden bakıldığında -35 kN yükte, sağdaki kolon ile kiriş yüzeyinin ara kesitinde, kolon çekme yüzünden başlayan, 50 mm uzunluğunda düşey kılcal bir çatlak oluşmuştur. Yükün artmasıyla çekme yüzündeki konsol dibinin 230 mm yukarısından başlayıp basınç yüzünün kolonla birleştiği kesite kadar giden parabolik bir kesme çatlağı oluşmuştur.

3. İleri yükleme

Bir önceki geri çevrimde olduğu gibi arka yüzde 19 kN yükte, soldaki kolon ile kiriş yüzeyinin ara kesitinde, kolon çekme yüzünden başlayan, 50 mm uzunluğunda düşey kılcal bir çatlak oluşmuştur. Yük 44 kN'a ulaştığında üç adet kesme çatlağının belirginleşmiş olduğu görülmüştür. Bu çatlaklar kolon yüzünden sırasıyla 100, 300 ve 550 mm yukarıdan başlamış ve hepsi basınç tarafındaki kolon-kiriş ara kesitinde son bulmuştur. Bu çevrimde konsol dibindeki çatlak yaklaşık olarak 1 mm genişliğe ulaşmıştır. 90 kN yükte düğümde var olan eğik çatlakların dışında yeni bir çatlak oluşmuştur. Bu

çatlak diğerlerinin aksine tam olarak kolon-kiriş eksenlerinin kesiştiği noktada meydana gelmiştir.

3. Geri yükleme

Bundan önceki geri çevrimlerde ikinci ölçüm bölgesinde oluşmuş olan kesme çatlağı -37 kN yükte, yaklaşık olarak 3 mm genişliğe ulaşarak oldukça belirginleşmiştir. Bu çatlak ikinci ölçüm bölgesinin sağ üst köşesinden başlayıp sol alt köşesine kadar 45 derece açıyla gitmiştir. Kirişte iç kuvvetlerden kaynaklanan zorlamaların oluşturduğu belirgin çatırdama sesleri duyulmaya başlanmıştır.

4. İleri yükleme

Önceki geri çevrimde oluşmuş olan 45 derecelik kesme çatlağı kapanıncaya kadar bu çatlağın üst kısmındaki kiriş parçası çatlak düzlemi boyunca yukarı doğru kaymaya başlamıştır. Bu kaymadan dolayı ikinci ölçüm bölgesinin sağ kenarındaki LVDT nin olması gereken tersine kısalma yerine uzama deformasyonları ölçtüğü gözlenmiştir. Bu nedenle ikinci ölçüm bölgesi için çizilecek olan moment-eğrilik ilişkisinin belirli bir bölgesinde eğriliğin olması gereken ters yönünde olacağı tahmin edilmektedir. Yaklaşık olarak 31 kN yükte çatlağın kapanmasıyla deformasyonlar olması gereken yönde okunmaya başlanmıştır. Yükün 90 kN'a ulaşmasıyla basınç bölgesindeki betonun belirgin olarak ezildiği görülmüştür.

4. Geri yükleme

Yükün -39 kN'a ulaşmasıyla, ikinci ölçüm bölgesinde oluşmuş olan kesme çatlağının dışında, üçüncü ölçüm bölgesinin sağ üst ucundan başlayan ikinci bir 45 derecelik kesme çatlağının oluştuğu gözlenmiştir.

5. İleri yükleme

Basınç bölgesindeki beton, 57 kN yükte iyice ezilmiştir. Bundan önceki çevrimlerde belirginleşmiş olan üç kesme çatlağından sadece üstteki ikisi gelişmesini sürdürerek yaklaşık 3 mm genişliğe ulaşmıştır. Kolona yakın olan kesme çatlağında ise bir gelişme olmamıştır. Yükün 85 kN'a ulaşmasıyla basınç yüzündeki dış donatılar burkulmuştur. Burkulma aynı etriye aralığında oluşmamıştır. Ön yüze yakın olan donatı 1. etriye aralığından, arka yüze yakın olan ise 2. etriye aralığından burkulmuştur. Çevrimin sonuna doğru en üstteki kesme çatlağının 5 mm kadar açıldığı görülmüştür.

5. Geri yükleme

Yük -51 kN'a ulaştığında basınç bölgesindeki betonda hafif ezilme belirtileri gözlenmiştir. Ayrıca basınç bölgesindeki boyuna donatıların kiriş yan yüzüne bakan doğrultuda düşey çatlaklar oluşmuştur. Bu bölgedeki beton örtüsünün ilerleyen çevrimlerde düşeceği tahmin edilmiştir. Yüklemeye devam edilmesiyle ikinci ölçüm bölgesindeki ana kesme çatlağı yaklaşık olarak 6 mm ye ulaşmıştır.

6. İleri yükleme

Önceki ileri çevrimlerde olduğu gibi kiriş, geri çekme sırasında oluşmuş olan 45 derecelik kesme çatlağı kapanıncaya kadar bu çatlağın düzlemi boyunca yukarı doğru kaymaya başlamıştır. Yük 58 kN iken en üstteki kesme çatlağı diğer çatlaklara göre daha çok belirginleşerek 6 mm genişliğe ulaşmıştır. Kırık şeklindeki bu çatlak kolon yüzünden 550 mm yukarıdan başlamış ve oldukça dik bir açıyla kolon-kiriş basınç yüzündeki ara kesite ulaşmıştır.

7. İleri yükleme

Yük 24 kN'a ulaştığında basınç bölgesindeki ezilmenin içteki basınç donatılarına çoktan ulaşmış olduğunun farkına varılmıştır. Yük 40 kN'a geldiğinde ise içteki donatılardan kiriş arka yüzüne yakın olanı, ikinci ve üçüncü etriye aralığından S-şeklinde burkulmuştur.

8. İleri yükleme

Bu çevrimde olağan dışı birşey olmamış ancak kiriş ucundan kolona doğru bakıldığında kirişin kendi eksenini etrafında saatin tersi yönde dönmüş olduğunun farkına varılmıştır.

8. Geri yükleme

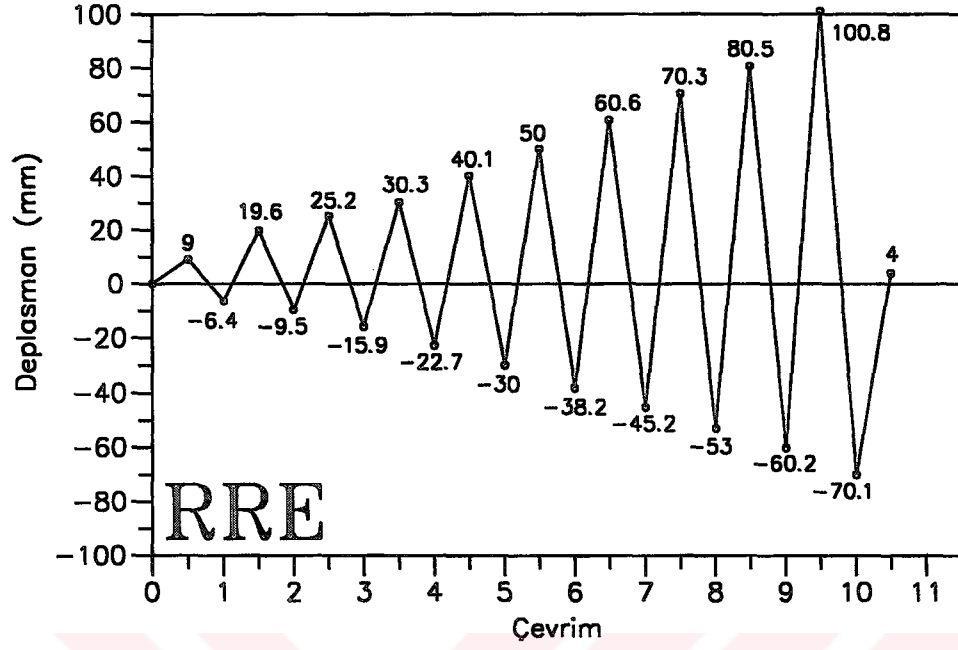
Yük -31 kN'a ulaştığında en dıştaki çekme donatılarından kiriş arka yüzüne yakın olanı (epoksi ankrajlı) kopmuştur.

10. İleri yükleme

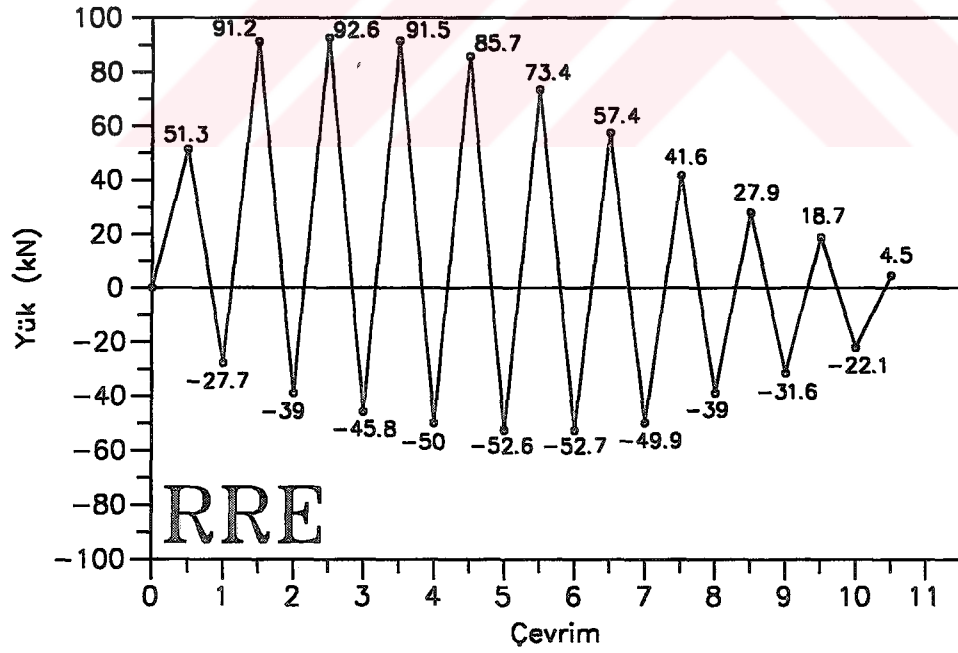
Yüklemenin başlarında ikinci ölçüm bölgesindeki "D9" adlı LVDT nin bağlı bulunduğu ölçüm çubuğunun beton ezilmelerinden dolayı tüm ankrajını yitirdiği ve boşta kaldığı görülmüştür. Ayrıca bu çevrimde yaklaşık olarak 500 mm lik bir bölgede çekme yüzündeki donatıların üstündeki beton örtüsünün tamamı dökülmüştür.

11. İleri yükleme

Konsol dibindeki betonun büyük bir kısmı ezilmeler sonucu kaybedilmiştir. Ağır hasar görmüş olan deney elemanının yük alamadığı görülmüş ve eleman düzeltildikten sonra deneye son verilmiştir (Şekil 5.35 ve 5.36).

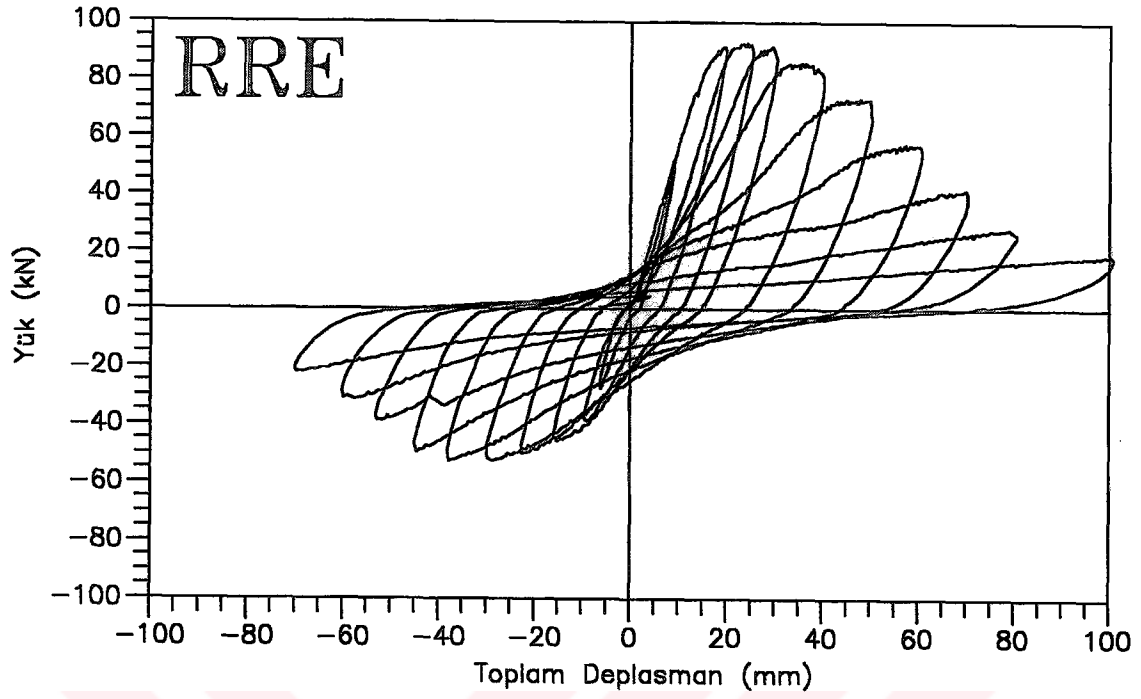


a) Deplasman geçmişi

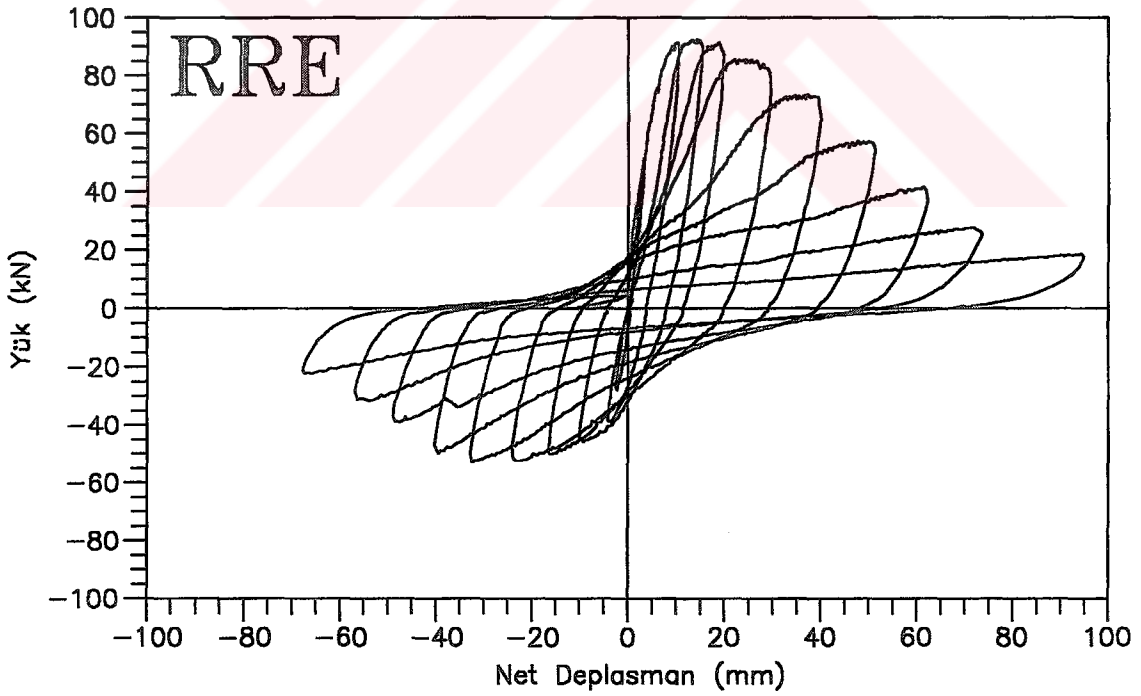


b) Yük geçmişi

Şekil 5.35. RRE deney elemanının yük ve deplasman geçmişi



a) Toplam deplasman



b) Net deplasman

Şekil 5.36. RRE deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde deney sonuçları değerlendirilmiştir. Deney elemanlarının sergilemiş olduğu belirgin davranışların nedenleri açıklanmaya çalışılmış ve tartışılmıştır. Değerlendirmeler deney elemanlarının yük-deplasman, moment-eğrilik, yük-kayma deformasyonu ilişkileri ile rijitlik, enerji tüketimi ve süneklik kapasiteleri üzerinde yapılmıştır.

6.1. Davranış ve Dayanım

Deney elemanlarına ait yük-deplasman zarf eğrileri Şekil 6.1-6.11 de gösterilmiştir. Ayrıca monolitik elemanlara göre her plastik çevrimdeki dayanım oranları (monolitik ile aynı deformasyonlardaki) ise Çizelge 6.1 de topluca sunulmuştur. Değerlendirme yapılırken elemanlar gruplara ayrılmıştır. Zarf eğrilerinin üzerinden dayanımın yanı sıra, elastik bölgedeki eğilme rijitliğinin üzerine de genel yorumlar yapılmıştır. Rijitlik için kapsamlı yorumlar ise ayrı bir bölümde incelenmiştir. Zarf eğrileri üzerinden rijitlik yorumları sadece ileri yöndeki elastik bölge için yapılmıştır. Zarf eğrilerinin geri yöndeki rijitlikleri sadece görsel olup, yük-deplasman eğrilerinden de görülebileceği gibi, gerçek anlamda geri yöndeki rijitlikleri temsil etmemektedir. Bu nedenle geri yöndeki rijitlikler için zarf eğrilerine bakarak yorum yapılmamalıdır.

İki yüzünden onarım veya güçlendirme görmüş elemanlar ile bunlara ait monolitik kirişlerin yük-deplasman grafiklerinde değişik bir davranış gözlenmiştir. İleri yönde yükleme yapılırken bu elemaların yük-deplasman grafiklerinin belirli bir bölgesinde kambur şeklinde garip bir kısım oluşmuştur (Bkz. Şekil 5.2, 5.6, 5.10, 5.14 vb.). Bu bölgede rijitlikte belirgin bir azalma olmuş hatta bazı çevrimlerde rijitlik işaret değiştirmiştir. Bunun üzerine deneyler sırasında daha dikkatli yapılan gözlemler sonucu böyle bir davranışa,

son ana kadar düz kalan basınç donatılarının aniden burkulmasının neden olduğu anlaşılmıştır. Bilindiği gibi deney elemanı kirişlerin alt yüzünde, ikisi eski kirişte, diğer ikisi katmanda olmak üzere 4 adet boyuna donatı kullanılmıştır. Geri yükleme sırasında çekme etkisi ile iyice düzleşen bu donatılar, ileri yönde yükleme yapılırken dört bacaklı bir masa gibi davranmış ve ezilmiş olan betonun alamadığı yükü tek başlarına belirli bir süre taşımışlardır. Bu aşamada ezilmiş olan betonun eksikliği hissedilmemiştir. Ancak yükün artmasıyla kritik denge konumuna ulaşan donatılar, elastisite teorisindeki kadar ani olmasa da, hızlı bir şekilde burkulmuşlardır. Bu burkulma sonucu yük ve rijitlikte belirgin bir azalma olmuş, kiriş dayanım ve rijitliği olması gereken düzeye inmiştir. Sözü edilen etkiler, basınç bölgesindeki beton ve donatının U-etriyeleri ile monolitiklere göre daha iyi sargılanmış olduğu onarım ve güçlendirme elemanlarında daha çok hissedilmiştir. Davranıştaki bu değişim, diriltilmiş elemanlarda daha az, sadece üst yüzüne katman eklenmiş elemanlarda ise yok denecek kadar az gerçekleşmiştir. Bilindiği gibi diriltilmiş elemanlarda kopan veya kesilen donatılar birbirlerine bindirmeli ek ile kaynaklanmıştır. Bu işlem sırasında mevcut donatı eksenini ile aynı çap ve özellikteki bindirme donatısının eksenini arasında, donatı çapı kadar bir eksantrisite oluşmuştur. Bu eksantrisite nedeniyle basınç donatısındaki burkulma diğer elemalardaki kadar ani olmadığından, diriltilmiş elemanların yük-depasman eğrisinde pek bir kamburlaşma olmamıştır. Sadece üst yüzüne katman eklenmiş elemanlarda ise alt yüzdeki bir çift donatı, yukarıda anlatılan masa gibi taşıyıcılık görevini yapamadan burkulduğu için davranışta böyle bir değişim gözlenmemiştir. Ayrıca geri yüklemeler sırasında basınca çalışan boyuna donatılardaki burkulma, ileri yüklemelerdeki basınç donatılarının burkulması kadar ani ve belirgin olmadığı için, yük-deplasman eğrisinin geri çevrimlerinde herhangi bir kambur oluşmamıştır. Donatıların daha uzun bir zamanda burkulmasına

hem bu yüzdeki donatı sayısının çokluğu hem de bu donatıların aralarındaki betona mekanik olarak yaslanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu deneylerde sık boyuna donatının sargılama üzerindeki olumlu etkileri belirgin olarak gözlenmiştir. Sık donatıların bulunduğu kenarda (kiriş üst yüzü) eleman üzerinde küçük delikler açılmış bir tüp gibi davranmış ve betondaki ezilmeler donatının iç yüzüne pek ulaşamamıştır. Üst yüzdeki kiriş boyuna donatıları ile katman boyuna donatıları arasında kalan ve U-etriyeleri ile iyice sargılanmış olan betonda ileri yüklemeler sırasında çatlaklar olmasına rağmen sargılama etkisi ile dağılma olmamıştır. Bu nedenle geri doğru yüklemelerdeki dayanım kaybı genelde, betonun ezilmesinden çok, çekme donatılarının kopmasıyla oluşmuştur. İleri doğru yüklemelerde ise kiriş alt yüzündeki boyuna donatı sayısı daha az olduğu için bu donatıların sargılama üzerindeki olumlu etkisi pek belirgin olmamıştır. Buna bağlı olarak da ileri doğru yüklemelerde dayanım kaybı genelde betonun ezilmesi ile oluşmuştur.

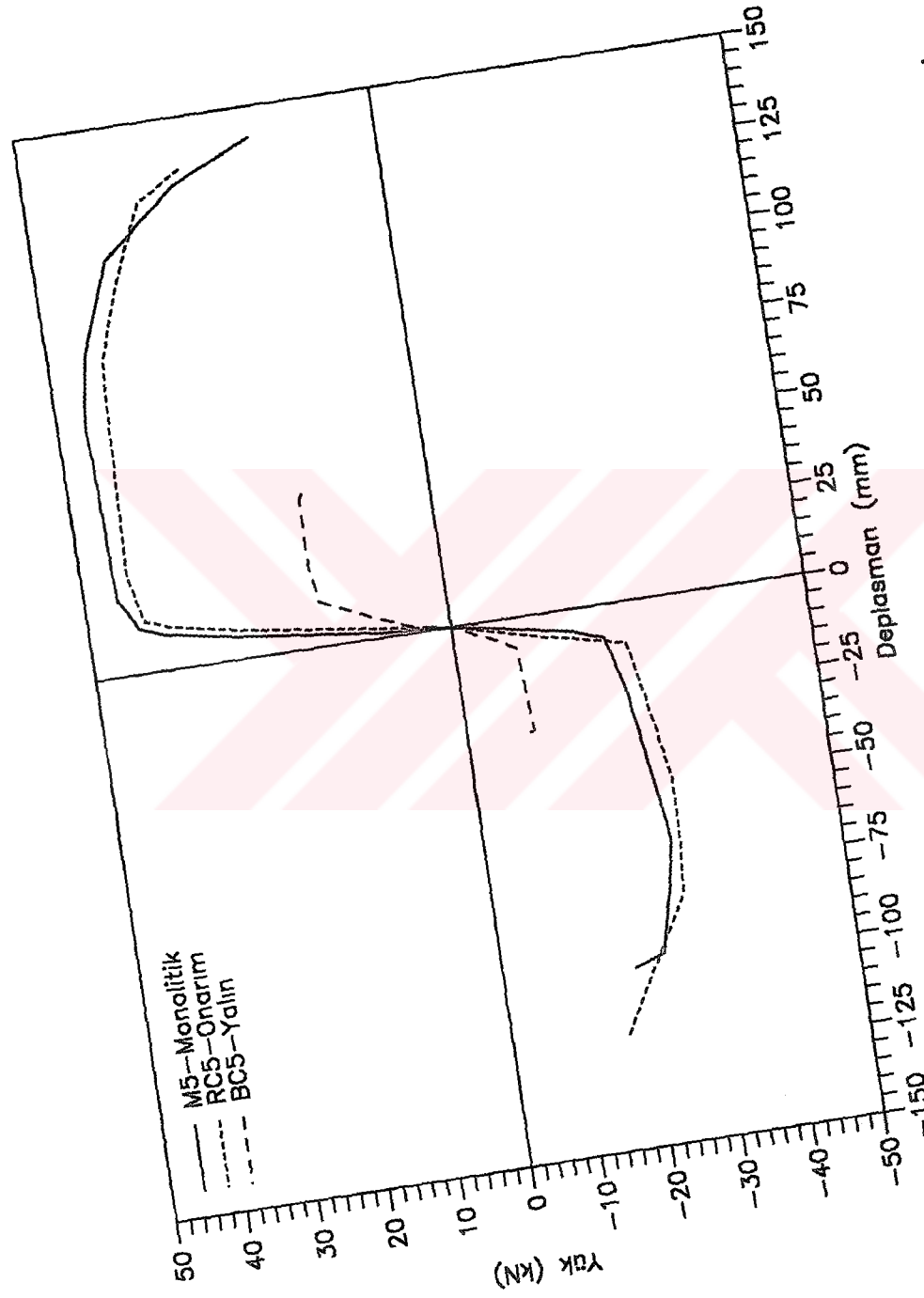
Deney elemanlarının tümünde katman donatısının kenetleme yöntemleri başarılı olmuştur. Hem yeni boyuna donatının epoksili olarak ankrajında hem de mekanik olarak kenetlemesinde hiç bir sorun yaşanmamış ve tam olarak sürekli donatı davranışı elde edilmiştir. Ayrıca yeni katman betonu ile eski beton arasında süreklilik ve yük aktarımını sağlamak amacıyla kullanılmış olan U-etriyeleri de, geçmiş çalışmalarda kullanılan “U” veya “Z” donatılarında olduğu gibi, oldukça başarılı olmuştur. Eski beton ile yeni beton arasında tam bir aderans sağlanmış ve herhangi bir problem yaşanmamıştır.

Genel olarak uygulanan onarım ve güçlendirme yönteminden başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ancak diriltme işlemi uygulanmış olan elemanlarda dayanım kayıpları erkenden başlamış ve bu elemanlarda yeterli bir süneklik elde edilememiştir.

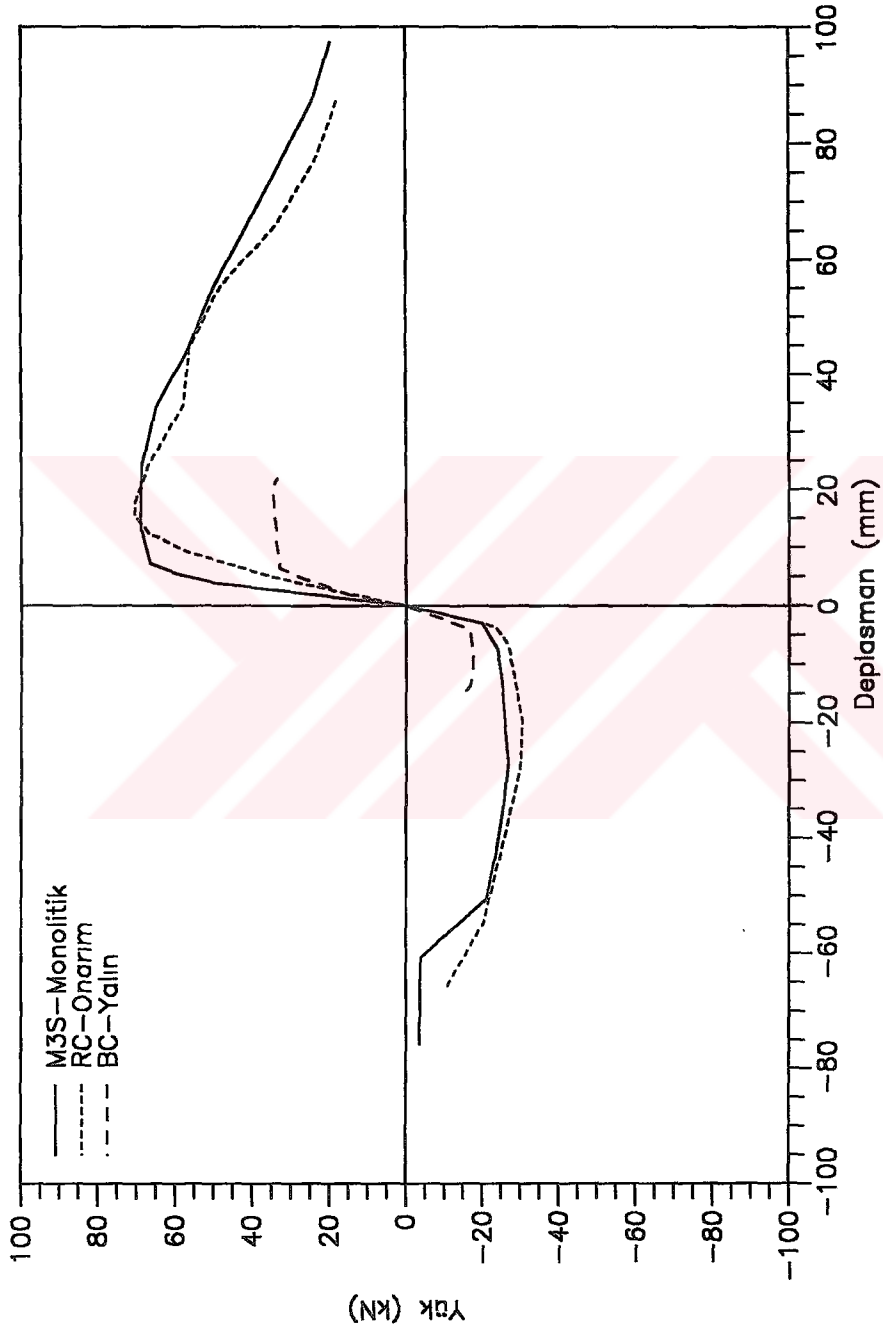
6.1.1. Onarılmış elemanlar

Onarım elemanlarının birinde (RC5) diğerlerine göre daha büyük bir kesme açıklığı kullanılmış ve bu elemana iki yüzünden onarım uygulanmıştır. Diğer elemanlarda sadece üst yüze onarım uygulanmıştır. Sırasıyla bu elemanlar; sürekli donatılı RC, mekanik kenetlemeli RM ve epoksi ankrajlı RE'dir.

Bir yüzünden onarılmış olan RC elemanı dışındaki tüm onarılmış elemanlar monolitik eleman davranışına dayanım, rijitlik ve süneklik açısından kabul edilebilir ölçüde yaklaşmışlardır. Elemanların tümünde öngörölmüş monolitik eleman dayanımına ulaşılmıştır. Sadece RC5 elemanının ileri çevrimdeki dayanım monolitikten yaklaşık 3 kN daha az, geri çevrimde ise 3 kN daha çok olmuştur (Şekil 6.1). Monolitiğin ileri çevrimdeki dayanımının yaklaşık olarak %7 si kadar olan bu farklılığın, iki yöndeki dayanım farkının bir birine zıt işaretle eşit olması nedeniyle, RC5 elemanının donatı kafesinin betonlama sırasında bir miktar kaymış olabileceği izlenimi doğurmuştur. Bu çalışmada onarım uygulanan ilk elemanlardan biri, sadece tek (üst) yüzünden onarılmış olan RC deney elemanıdır. Bu eleman dayanım, süneklik ve rijitlik bakımından beklendiği kadar iyi bir davranış gösterememiştir (Şekil 6.2). Yapılan incelemeler sonunda sadece bir yüzünden onarılmış elemanlarda katman eklenmeyen tarafın beton onarımının çok önemli olduğu görölmüştür. Bu onarımın iyi yapılamaması durumunda buradaki betonun erkenden ezilmesiyle onarım yönteminin etkinliğini önemli ölçüde yitirebileceği anlaşılmıştır. Yalın elemanı (BC) benzerlerine göre yaklaşık aynı hasarı görmüş olan RC elemanında da böyle bir durum yaşanmıştır. Bu elemanda onarım işlemi uygulanırken katman eklenmeyen taraftaki beton, yumuşak örselemeler ile temizlenmiş ve buna bağlı olarak bu yüzde betonlanması gereken sadece küçük bir boşluk oluşmuştur. Betonlama sırasında bu yüz ile kalıp arasındaki küçük boşluğun betonla doldurulup sıklaştırılması güçleşmiştir. Vibratör kullanılmasına rağmen bu boşluk ancak ince ve dayanıksız malzemeye sahip betonla doldurulabilmiştir. Bu nedenle diğer onarım elemanlarında ezilme



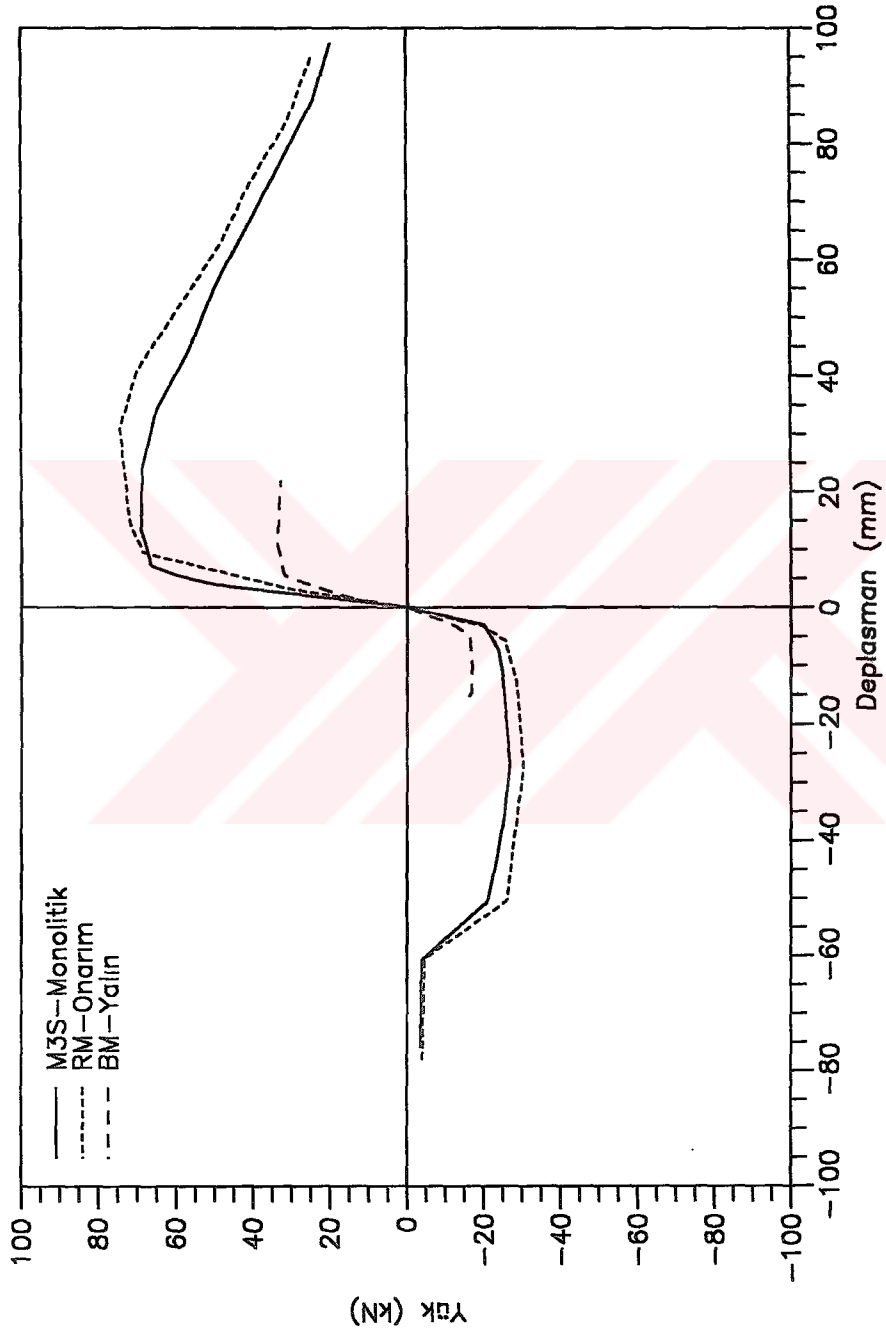
Şekil 6.1. BC5, RC5 ve M5 deney elemanlarının yük-deplasman zarf eğrileri



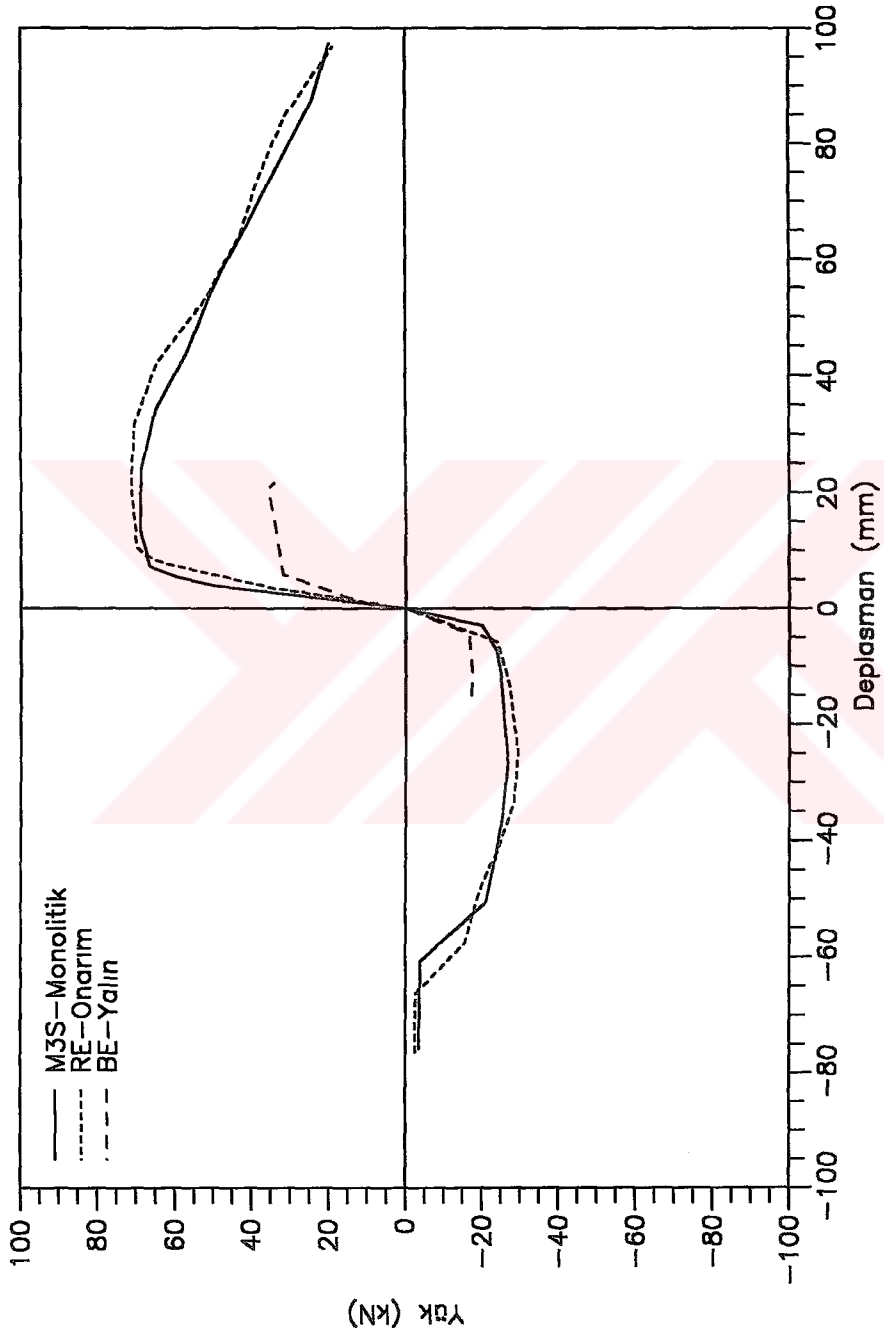
Şekil 6.2. BC, RC ve M3S deney elemanlarının yük-deplasman zarf eğrileri

ve burkulma 5. çevrimlerde olmasına rağmen RC elemanında ezilme 3. çevrimde, burkulma ise 4. çevrimde gerçekleşmiştir. Buna bağlı olarak da ileri yönde öngörülen dayanıma ulaşılmasına rağmen eleman bu dayanımı koruyamadan erkenden dayanım kaybetmeye başlamıştır. Geri yönde ise söz konusu bölge çekme tarafında kaldığından önemini yitirmiş ve RC elemanı monolitik elemana yakın bir davranış sergilemiştir. Bunun üzerine bundan sonraki onarım elemanlarında (RE ve RM) katman eklenmeyen taraftaki çürük beton iyice temizlenip çıkarılmış ve betonlamaya daha elverişli hale getirilmiştir. RC den tek farkları sadece kenetleme yöntemi olan RM ve RE elemanları monolitiğe kabul edilebilir ölçüler içinde yakın bir davranış sergilemişlerdir (Şekil 6.3, 6.4). Dayanım açısından epoksi ankrajlı RE elemanı monolitik kadar başarılı olmuştur. Mekanik kenetlemeli RM ise monolitikten daha büyük dayanımlara ulaşmıştır. RM nin dayanımında görülen bu artışın nedenleri, daha sonra, güçlendirilmiş eleman olan SM ile birlikte irdelenecektir. RE ve RM den edinilen bulgularla, RC deki başarısızlığın onarım yönteminden değil de onarım yönteminin hatalı uygulamasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Beklendiği gibi onarılmış elemanların elastik bölgedeki eğilme rijitliği monolitik eleman rijitliğinden daha az olmuştur. Rijitliğin düşük olmasındaki nedenlerden biri boyuna donatılardaki kalıcı deformasyonlardır. Ancak diğer çok daha önemli bir neden hasar görmüş olan yalın elemanlardaki çatlaklardır. Onarım sırasında bu çatlakların betonla doldurulamamış olması eğilme rijitliğini önemli ölçüde etkilemiştir. Elemanların çatlak dağılımı ve aralığı onarılmış elemanların kendi aralarındaki eğilme rijitliği benzerliğini de etkilemiştir. Ayrıca bir yüzünden katman eklenerek onarılmış elemanlarda katman eklenmeyen yüzdeki beton onarımının da rijitliği önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Buna rağmen rijitlikteki bu azalmanın, RC elemanı dışında, kabul edilebilir ölçüler içinde kaldığı görülmüştür. Yukarıda anlatılan nedenlerden dolayı onarılmış RC elemanında elastik bölgedeki eğilme rijitliği monolitiğin yaklaşık olarak yarısı kadar olmuştur.



Şekil 6.3. BM, RM ve M3S deney elemanlarının yük-deplasman zarf eğrileri

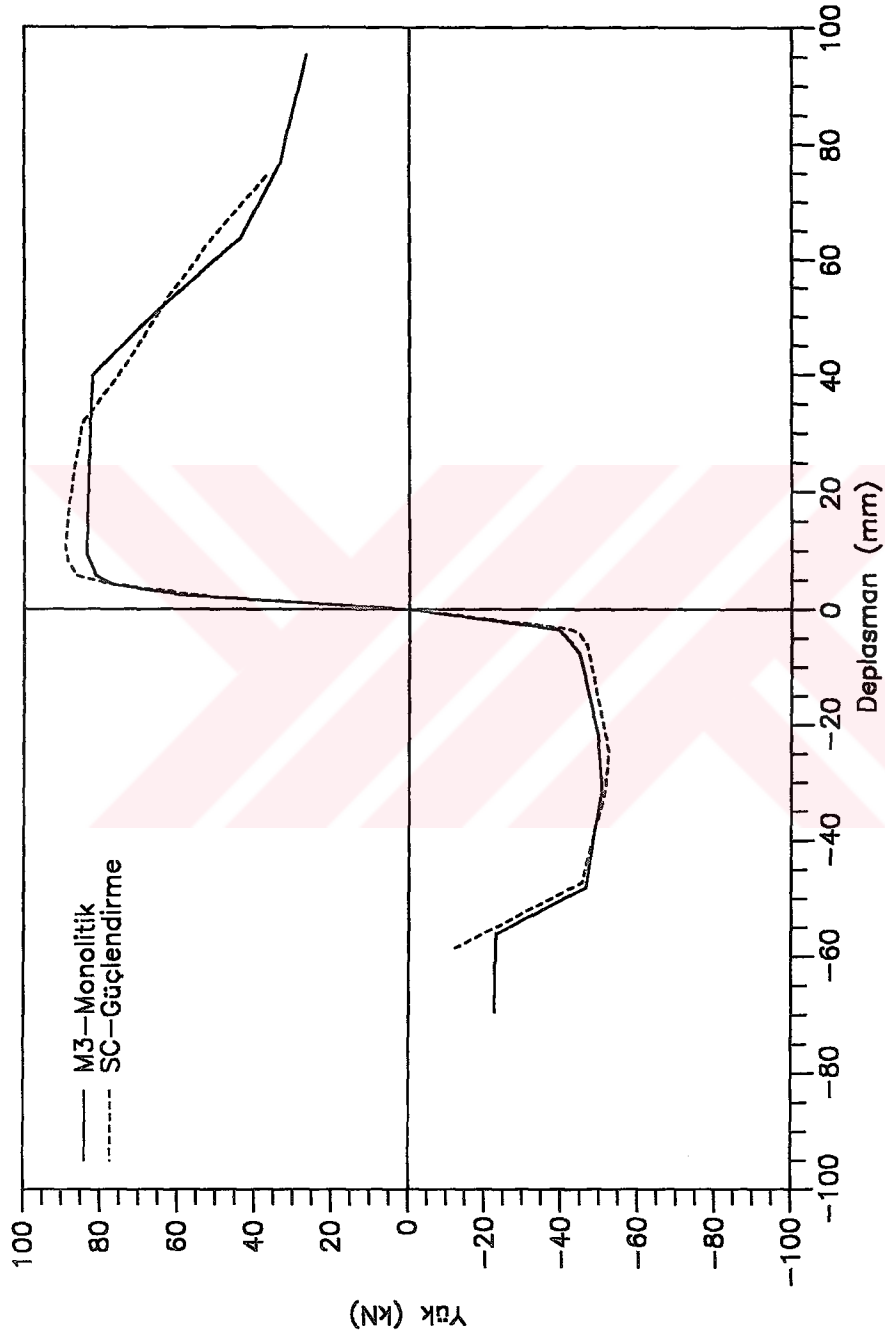


Şekil 6.4. BE, RE ve M3S deney elemanlarının yük-deplasman zarf eğrileri

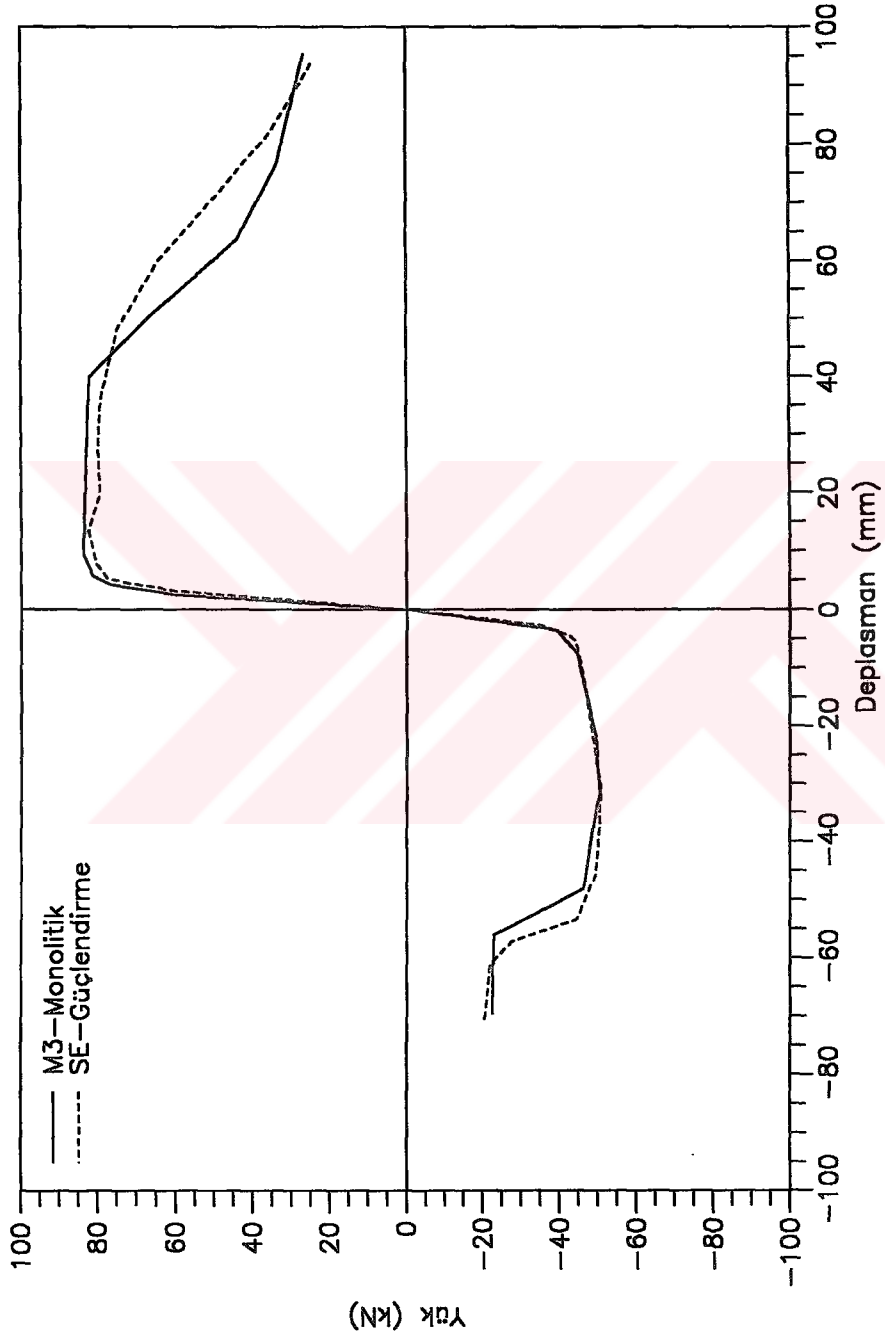
6.1.2. Güçlendirilmiş elemanlar

Güçlendirilmiş tüm elemanlarda güçlendirme işlemi iki yüzden uygulanmıştır. Bu elemanlarda aynı güçlendirme yöntemi ile değişik kenetleme yöntemleri beraber uygulanmıştır. İlki sürekli donatılı (SC), ikincisi mekanik kenetlemeli (SM) ve üçüncüsü epoksi ankrajlı (SE) olmak üzere üç deney elemanı test edilmiştir.

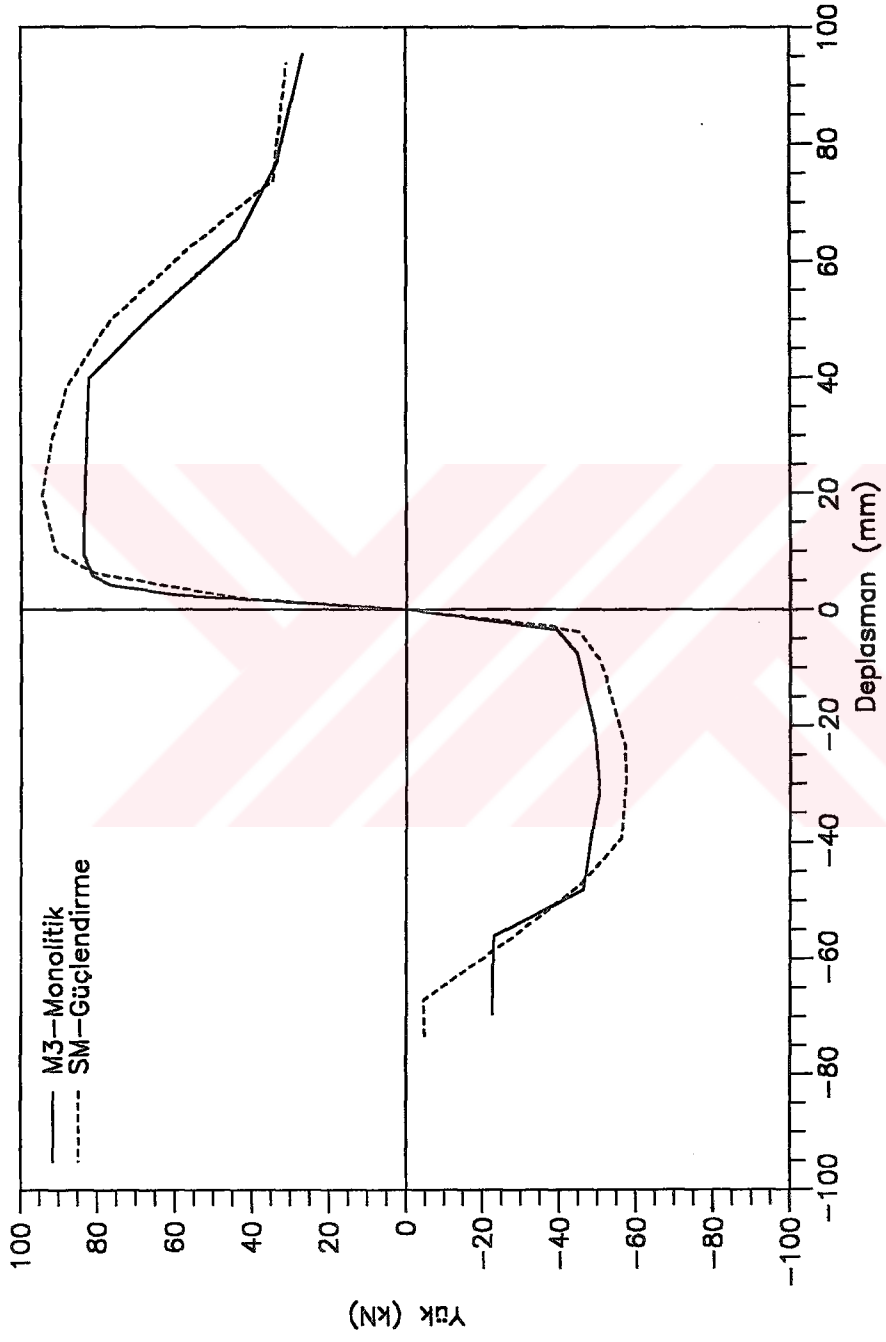
Uygulanan güçlendirme ve kenetleme yöntemlerinde dayanım, rijitlik ve süneklik açısından oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Sürekli donatılı SC ile epoksi ankrajlı SE elemanları, geri çevrimlerde monolitik eleman ile hemen hemen aynı deformasyonlarda aynı dayanıma ulaşmışlardır. İleri çevrimlerde ise SC monolitik elemana göre biraz fazla, SE ise biraz az yük almıştır (Şekil 6.5 ve 6.6). Buna karşın SC nin her çevrimdeki dayanım kaybı monolitiğe göre daha hızlı, SE nin ise daha yavaş olmuştur. Ancak dayanım ve davranışlardaki bu değişikliklerin yöntemle ilgisi olmayıp yapım hatalarından (biraz da tesadüfi) kaynaklanmış olduğu düşünülmektedir. Mekanik kenetlemeli SM elemanı hem ileri hem de geri çevrimde monolitik eleman (M3) dayanımından %14 daha fazla yük taşımıştır (Şekil 6.7). Dayanımlardaki bu artışlar mekanik kenetlemede kullanılmış olan L-profillerden kaynaklanmıştır. M3'e göre kesit özellikleri değişmemesine rağmen, SM'de kullanılan 110 mm yüksekliğindeki L-profillerden dolayı konsol dibinde olması gereken plastik mafsal L-profillerin üst ucunda oluşmuştur. Bir başka deyişle SM elemanındaki konsol boyu, M3'e göre kısalmıştır. Doğal olarak monolitiğe göre kesiti değişmediği halde konsol boyu kısalmış olan SM elemanında, kirişi taşıma gücüne ulaştıracak olan yük konsol boyu ile ters orantılı olarak artmıştır. Monolitik elemandaki (M3) konsol boyunun güçlendirilmiş elemandaki (SM) konsol boyuna oran $900\text{mm}/790\text{mm}=1.14$ olup bu değer dayanımda görülen artışla aynıdır. Ancak dayanım oranlarındaki bu artışın genellenemeyeceği ve kiriş boyu arttıkça dayanımdaki bu farklılığın azalacağı açıktır. Aslında, bir önceki alt bölümde bahsedilen, bir yüzünden onarılmış RM



Şekil 6.5. SC ve M3 deney elemanlarının yük-deplasman zarf eğrileri



Şekil 6.6. SE ve M3 deney elemanlarının yük-deplasman zarf eğrileri



Şekil 6.7. SM ve M3 deney elemanlarının yük-deplasman zarf eğrileri

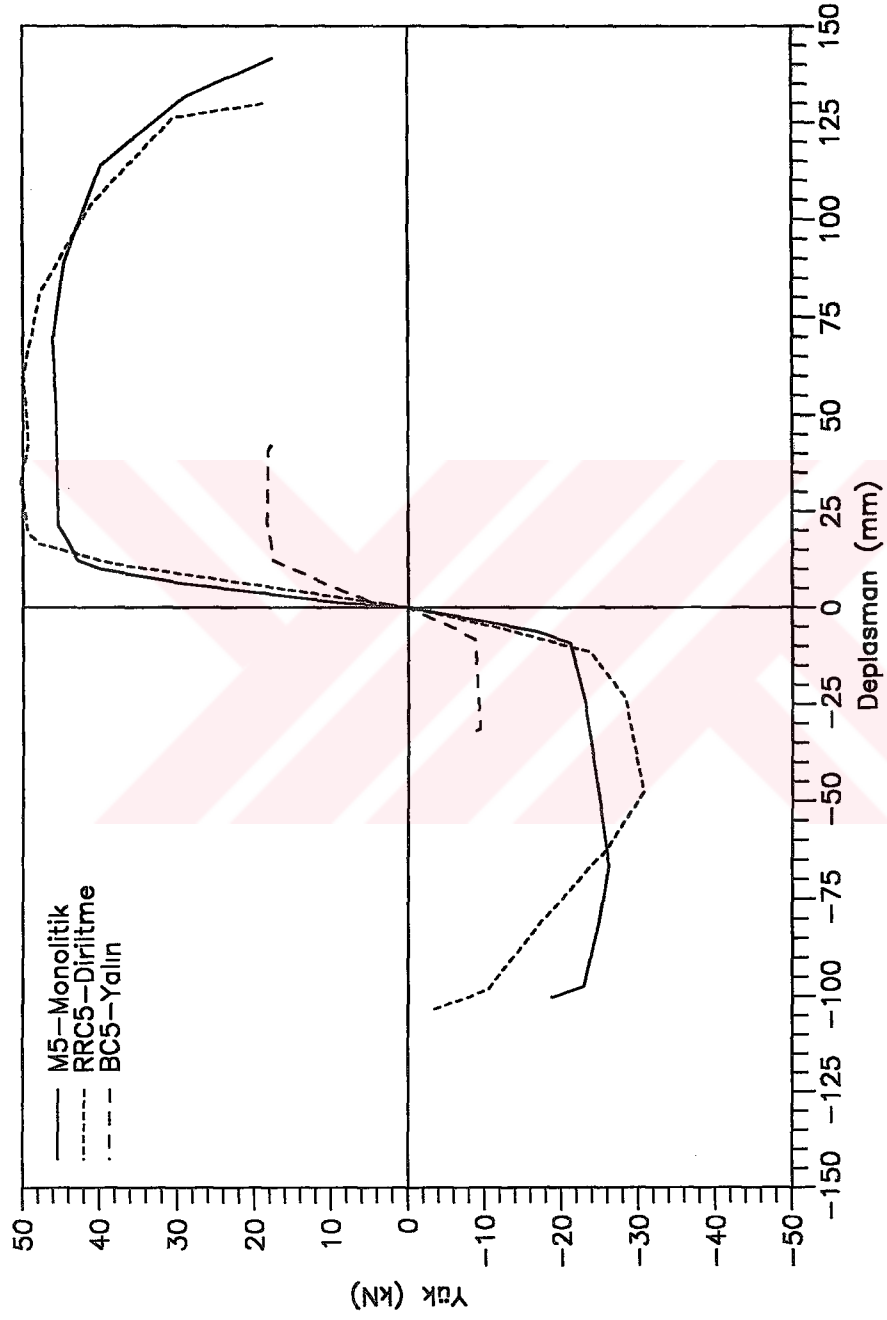
elemanında da dayanımında benzer artışlar olmuştur. İleri yönde yük uygulanırken çekme tarafında kalan L-profillerin etkisi ile dayanım SM kadar olmasa da %10 kadar artmıştır. Dayanımdaki artışın SM elemanındaki kadar olmaması tek yüzde L-profil kullanılmış olmasıdır. Bir yüzünde L-profil olan RM elemanının, iki yüzünde L-profil olan SM elemanı ile profilsiz elemanlar arasında bir yerde olacağı açıktır. İlginç olan RM elemanının geri yöndeki yüklemelerinde de dayanımında artış gözlenmiş olmasıdır. Bu da akmaya çalışan kesitin, hem tek taraftaki L-profiliden dolayı hem de ileri yöndeki yüklemelerde basınç donatılarındaki burkulmaların konsol dibinden yukarı doğru ötelenmesinden dolayı, akmanın konsol dibinde değil de biraz yukarıda gerçekleşmesinden kaynaklanmıştır.

Güçlendirilmiş olan elemanlar elastik bölgedeki eğilme rijitlikleri açısından da oldukça başarılı olmuşlardır. Onarılmış elemanlara göre çok daha rijit davranmış olan güçlendirilmiş elemanların eğilme rijitlikleri monolitiğe göre çok az daha düşük olmuştur. Sürekli donatılı SC elemanı ile monolitik elemanın elastik bölgedeki eğilme rijitliği hemen hemen aynı olmuştur. Epoksi ankrajlı SE elemanının eğilme rijitliği ise monolitiğe göre önemsenmeyecek kadar küçük olmuştur. Mekanik kenetlemeli SM elemanı da dayanımın yaklaşık %50 sine kadar monolitik ile aynı rijitliği göstermiştir. Ancak bundan sonra rijitlikte belirgin fakat kabul edilebilir ölçüde bir düşme olmuştur. Mekanik kenetlemeli SM ve RM elemanlarında kolona art germe ile sıkı bir şekilde bağlanmış ve yeterince güçlü olarak tasarlanmış olan L-profillere kaynaklı boyuna donatıların kiriş yan yüzündeki hizasında kaldıraç etkisi ile çatlaklar oluşmuştur. Dayanım yükünün yaklaşık olarak %50 sinde meydana gelen bu çatlakların oluşmasıyla yukarıda sözü edilen rijitlikte düşmeler gözlenmiştir. Bir yüzünde profil bulunan RM elemanındaki rijitlik değişimi kayma deformasyonlarının da etkisi ile SM ye göre daha çok olmuştur.

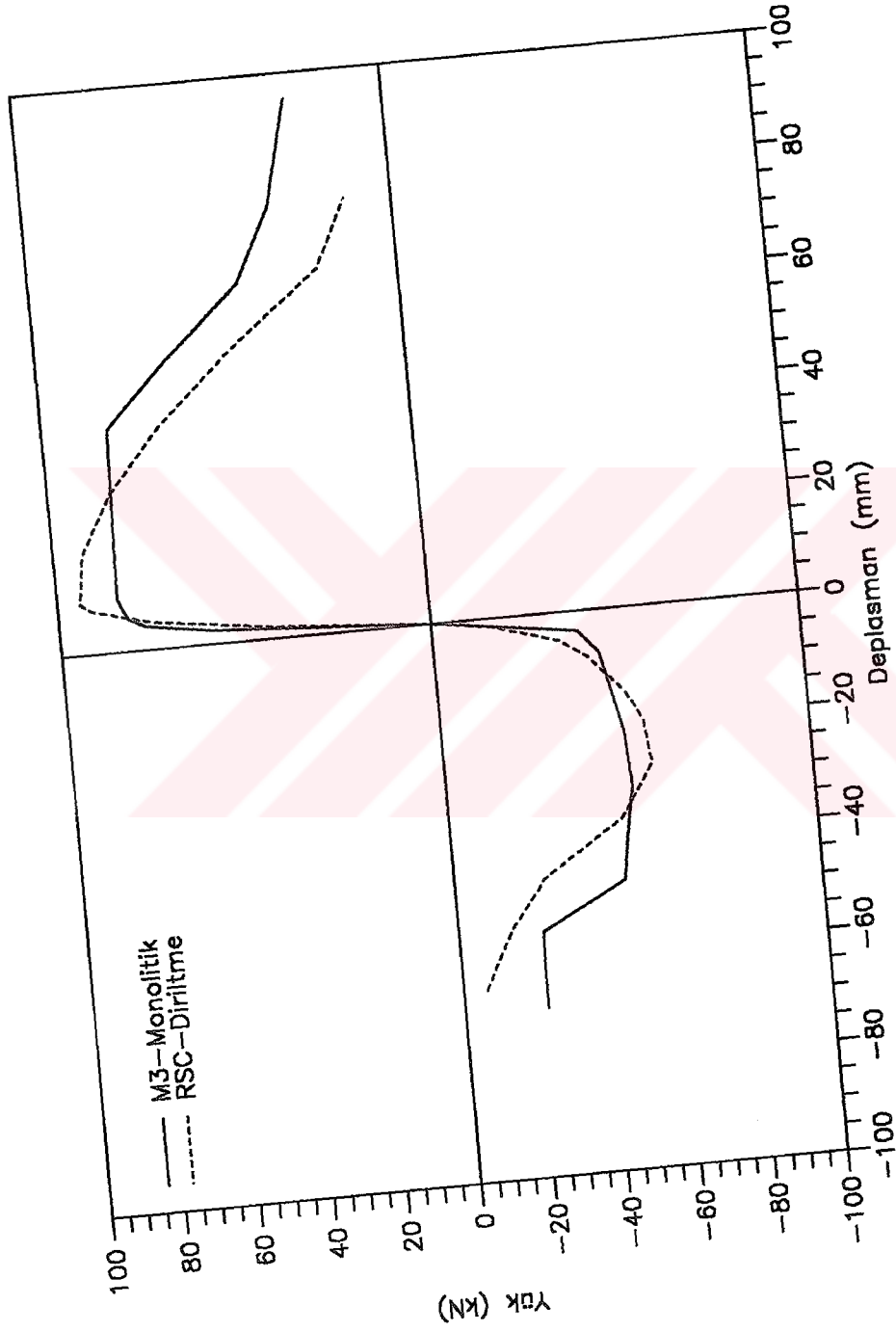
6.1.3. Diriltiilmiş elemanlar

Deney elemanlarından dördüne ağır hasar verildikten sonra diriltme işlemi uygulanmıştır. Bu elemanlar sırasıyla kesme açıklığı $a/d \cong 5$ olan RRC5, güçlendirme sonrası diriltiilmiş eleman RSC, onarım sonrası diriltiilmiş eleman RRC ve onarım sonrası diriltiilmiş epoksi ankrajlı eleman RRE'dir. Geçmiş deneyleri RC5 (iki yüzünden onarım) ve SC (iki yüzünden güçlendirme) olan RRC5 ve RSC deney elemanlarına diriltme işlemi uygulanırken herhangi bir yeni donatı eklenmemiştir. Sadece bükülmüş olan etriye ve boyuna donatılar düzeltilmiş ve kopan veya kesilen boyuna donatılar aynı çap ve özellikteki donatılarla bindirmeli (bindirme boyu her bir tarafta 60 mm) olarak kaynaklanmıştır. Geçmiş deneyleri RC (bir yüzünden onarım) ve RE (bir yüzünden onarım) olan RRC ve RRE deney elemanlarında ise diriltme işlemi uygulanırken yukarıdaki işlemlere ek olarak alt yüze de içinde yeni donatı bulunan yeni bir beton katman eklenmiştir. Deney elemanları ağır hasar görmüş oldukları için genelde konsol dibindeki 350-400 mm lik bölgedeki ezilmiş veya parçalanmış olan beton tümünden çıkartılarak bu bölge yeniden betonlanmıştır.

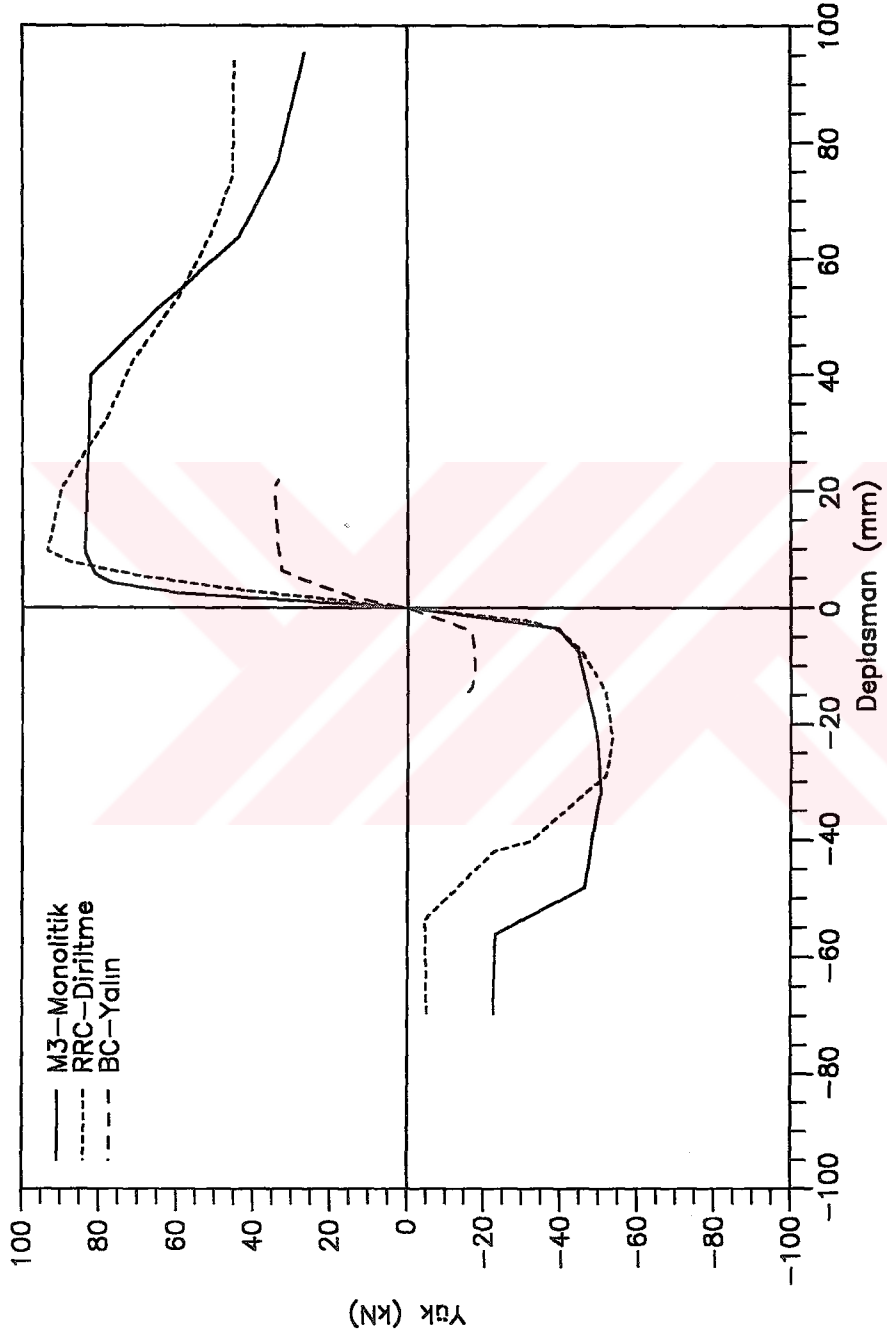
Diriltiilmiş deney elemanlarının tümü monolitik eleman dayanımına ulaşmıştır. Hatta çekme donatılarının pekleşme bölgesine girmesiyle monolitik eleman dayanımlarından daha büyük dayanımlara ulaşmıştır. Ancak elemanların çoğunda ulaşılmış olan bu dayanımlar korunamamış ve monolitik elemana göre hızlı bir dayanım kaybı olmuştur (Şekil 6.8-6.11). Sadece RRC5 elemanının (Şekil 6.8) ileri çevrimleri ile RRE elemanının (Şekil 6.11) geri çevrimlerindeki dayanım kaybı, diğerlerine göre, monolitiğe biraz daha yakın olmuştur. Çizelge 6.1 de tüm elemanların plastik çevrimlerdeki



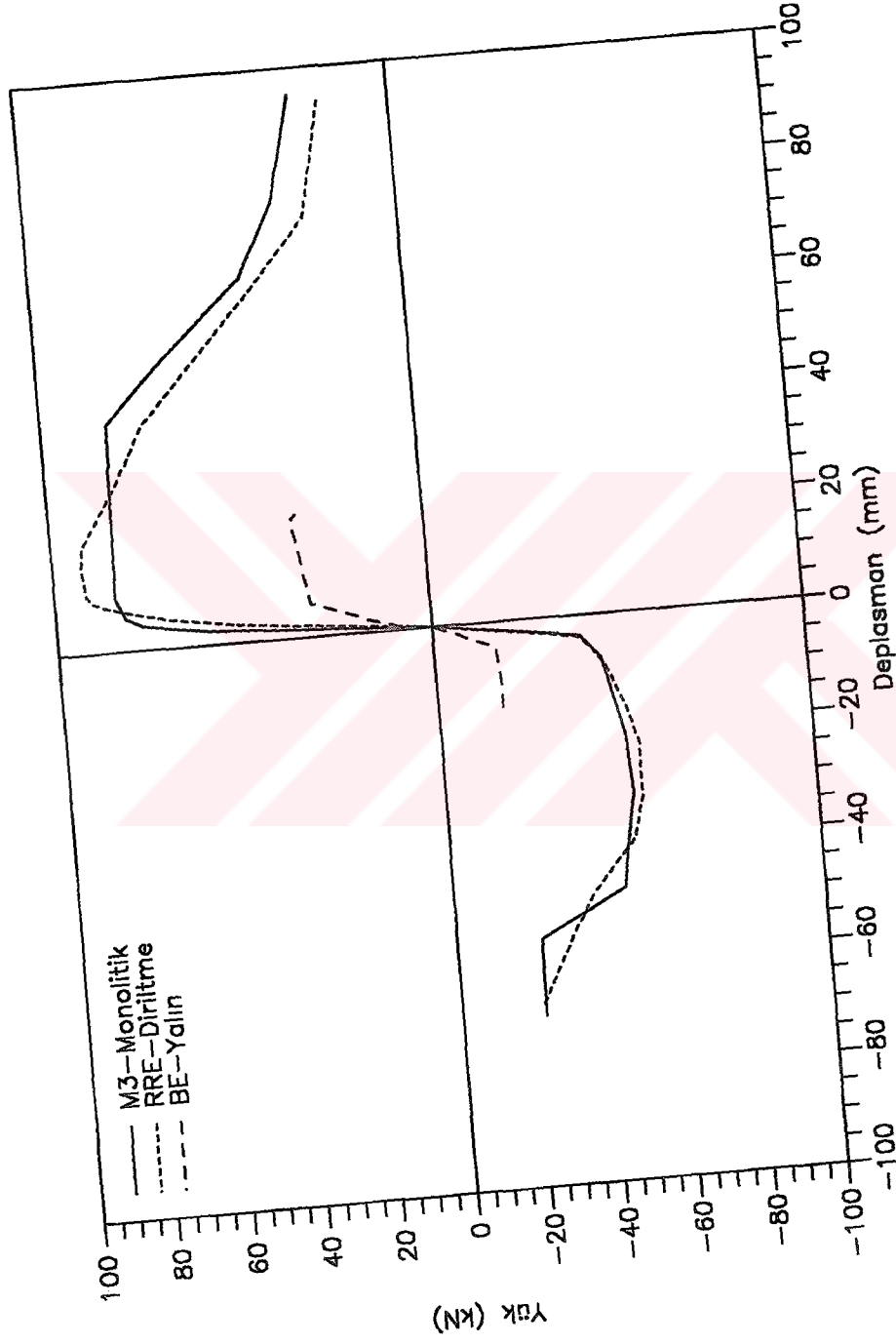
Şekil 6.8. BC5, RRC5 ve M5 deney elemanlarının yük-deplasman zarf eğrileri



Şekil 6.9. RSC ve M3 deney elemanlarının yük-deplasman zarf eğrileri



Şekil 6.10. BC, RRC ve M3 deney elemanlarının yük-deplasman zarf eğrileri



Şekil 6.1.1. BE, RRE ve M3 deney elemanlarının yük-deplasman zarf eğrileri

maksimum yüklerinin, aynı çevrimlerdeki monolitik eleman yüklerine oranları verilmiştir. Diriltilmiş elemanlardaki hızlı dayanım kayıpları bu çizelgede de açıkça görülmektedir. Dayanımdaki bu hızlı düşüşün nedenlerinden biri diriltme işleminde eski donatıların değiştirilmeden kullanılmasıdır. Geçmiş deneylerinde büyük kalıcı deformasyonlara uğratılmış olan donatılar daha fazla deforme olamadan kopmuş ve dayanımda kayıplar olmuştur. Diğer bir neden deforme olmuş etriyelerdir. Ağır hasardan sonra düzeltilmiş olan etriyelerde de önemli kalıcı deformasyonlar olduğu görülmüştür. Eskiden boyuna donatıların hemen dışından dolaşan etriyelerin diriltme işlemi için düzeltildiklerinde boyuna donatı ile aralarında 10-20 mm kadar boşluklar olduğu görülmüştür. Buna bağlı olarak etriyeler sargılama görevlerini eskisi kadar etkin bir şekilde yapamamış ve kesme kuvvetlerinin etkisi ile zayıf sargılı elemanlarda erken dayanım kaybı başlamıştır. Hatta kesme açıklığı diğerlerine göre daha büyük olan RRC5 elemanında bile zayıf sargılamadan ötürü önemli kesme hasarları oluşmuştur. Kopmuş veya kesilmiş olan donatıların bindirmeli ekleri de erken dayanım kaybına yol açan nedenlerden biri olmuştur. Bu bindirmeli ekler, hem sağladığı kolaylıklardan ötürü hem de boyuna donatılar arasındaki net mesafeyi azaltmamak amacıyla, boyuna donatıların iç yüzünde yapılmıştır. Bindirmeli ekte kullanılan donatı eksenini ile mevcut donatı eksenini arasında çap kadar bir eksantrisite oluşmuş ve ileri doğru yük uygulanırken bu eksantrisite nedeniyle boyuna donatılar olması gerekenden daha önce burkularak dayanımda kayıplara yol açmışlardır. Ayrıca bindirme donatılarının kesik uçlarının geri çekme sırasında betona mekanik olarak yaslanmasıyla bindirme bölgelerindeki kiriş yan yüzlerinde çatlaklar ve kabarmalar olmuştur. Bu bölgedeki beton örtüsünü yitirmiş olan boyuna donatılar daha da erken burkulmuş ve dayanım kaybını hızlandırmıştır. Diriltilmiş elemanların elastik bölgesindeki eğilme rijitliğinde beton ve

boyuna donatıların deformasyon geçmişi önemli olmuştur. Elemanların tamamının elastik bölgedeki eğilme rijitliği monolitiğe göre daha az olmuştur. Diriltilmiş eleman rijitlikleri, güçlendirilmiş elemanlara göre de beklendiği gibi daha az olmuştur. Ancak diriltilmiş elemanlar, onarılmış elemanlar ile kıyaslandığında bir genelleme yapmanın pek mümkün olmadığı görülmüştür. Örneğin RRC5 elemanı ile RC5 elemanı aynı rijitliği göstermiş , RRE elemanı RE'ye göre daha az rijit davranmış, buna karşın RRC elemanı RC'den daha rijit davranmıştır. Eğilme rijitliklerinin zaman zaman onarılmış eleman rijitlikleri ile aynı veya daha fazla bir rijitlik göstermesinde donatıların deformasyon geçmişi ile diriltme işlemi sırasında değiştirilen beton hacminin miktarı önemli bir etken olmuştur. Genel olarak değiştirilen beton hacmi arttıkça rijitlik de artarak monolitiğe yaklaşmıştır. Bu nedenle diriltilmiş eleman RRC'nin eğilme rijitliği, onarılmış eleman RC'den daha fazla olmuştur. Ayrıca güçlendirme sonrası diriltilmiş olan RSC elemanındaki yalın donatılar, onarılmış elemanların yalın kısımlarına göre bir kez daha az test edilmiş oldukları için bu elemanın elastik bölgedeki eğilme rijitliği diğer elemanlara göre daha büyük olmuştur.

6.2. Moment-Eğrilik İlişkisi

Deney elemanlarının çeşitli kesitlerinde hesaplanmış olan moment ile eğrilik arasındaki ilişkiye, betonarmenin kendine özgü davranışından ötürü, gerçek ilişki gözü ile bakmak çoğu zaman çok yanıltıcı olabilir. Betonarme model deneylerinde eğrilik ölçümü alınacak bölgenin uzunluğuna karar vermek oldukça önemli bir problemdir. İlk bakışta eğriliğin belirli bir kesitte hesaplanıyor olması nedeniyle ölçüm bölgesi uzunluğunun bu kesiti içine alacak olabildiğince küçük bir bölge seçilmesi mantıklı gibi görünebilir. Ancak bu durumda seçilmiş olan bölge içinde çatlak oluşması ihtimali ölçüm bölgesinin uzunluğuyla doğru orantılı olarak azalır. Bilindiği gibi ölçümsel eğrilik hesaplarında eğrilik değerlerini etkileyen en önemli parametre ölçüm bölgesi içindeki çatlak sayısı ve genişliğidir. Çatlakların ölçüm bölgesi içinde oluşmasını garantilemek için ölçüm bölgesini geniş tutmak da bir çözüm değildir. Bu durumda bölge içindeki aynı çatlakları kapsayacak şekilde ölçüm bölgesinin uzunluğu değiştirilse bile, ölçüm bölgesinin sınırları arasındaki dönme açısı sabit kalacaktır. Bu açının ölçüm bölgesi uzunluğuna oranı olan eğrilik ise, ölçüm bölgesinin uzunluğu ile ters orantılı olarak, değişecektir. Probleme bu açıdan bakıldığında ölçülerek hesaplanan eğriliğin gerçek eğriliği ne derece temsil edebileceği tartışılabilir bir konudur. Özellikle kesme kuvveti etkilerinin önemli olduğu kirişlerde, ölçüm bölgesi sınırlarının dışına çıkan eğik çatlaklar, problemi daha da zorlaştıracaktır. Bu nedenle ölçümsel eğrilik hesapları, analitik değerlerle karşılaştırmadan çok, eleman üzerindeki çatlak dağılımı hakkında fikir edinmek ve elemalar arası kıyaslama yapmak için kullanılmalıdır.

Eleman üzerinde daha önce tanımlanmış olan üç bölge için (M5’de iki bölge) moment ve eğrilik ilişkisi çizilmiştir. Eğrilik ölçümü alınan bu bölgelerden birincisinin yüksekliği 50 mm olup kolon yüzüne en yakın olanıdır. Birinci ölçüm bölgesinin üstündeki diğer iki bölgenin her birinin yüksekliği ise 150

mm dir. Bu alt bölümün sonunda her elemanın üç bölgesi için çizilmiş olan momen-eğrilik ilişkileri topluca gösterilmiştir (Şekil 6.12-6.29). Bu grafiklerin çiziminde, her bir bölgenin momenti yerine, bölgeler arası karşılaştırma ve yorumların daha kolay yapılabilmesi için kolon yüzündeki kiriş momenti kullanılmıştır. Verilen şekillerden de görülebileceği gibi moment-eğrilik ilişkisi her zaman beklenen şekilde gelişmemiştir. Bu gibi durumların nedenleri olabildiğince açıklanmaya çalışılmıştır.

Bazı elemanlarda, olması gerektiği gibi, momentin en büyük olduğu birinci ölçüm bölgesinde en büyük eğrilik, momentin en küçük olduğu üçüncü ölçüm bölgesinde ise en küçük eğrilik ölçülmüştür (Şekil 6.13, 6.16, 6.17, 6.18, 6.20, 6.21, 6.24, 6.27). Ancak dirtilmiş olan elemanların hepsinde (Şekil 6.15, 6.19, 6.22, 6.29) ve mekanik kenetlemeli elemanlarda (Şekil 6.23, 6.25), ikinci ölçüm bölgesindeki eğrilik birinci ölçüm bölgesine göre daha büyük olmuştur. Epoksi ankrajlı elemanlarda ise birinci ve ikinci ölçüm bölgesindeki eğrilikler yaklaşık aynı mertebeden olmuştur (Şekil 6.26, 6.28). 5. Bölümde anlatıldığı gibi dirtilmiş elemanların geçmiş deneylerinde kiriş alt yüzündeki donatılarda kopmalar olmuştur. Donatılardaki bu kopmalar, kolon yüzünden değil de, tersinir yükler altında burkulup düzelen donatıların, zayıflamış olan, burkulma noktalarından olmuştur. Burkulma noktaları ise ilki kolon yüzünden 50 mm, ikincisi 150 mm mesafede olan etriyelerin genelde ortasında oluşmuştur. Kolon yüzünden uzaklığı 100 mm kadar olan bu kopma noktaları ikinci ölçüm bölgesi içinde kalmaktadır. Bölüm 6.1.3 de ayrıntılı olarak anlatıldığı gibi kopan veya kesilen donatılar bindirmeli ek ile kaynaklanmıştır. Bindirme donatısı ile mevcut donatı eksenini arasında çap kadar eksantrisite oluşmuş ve bu eksantrisiteden dolayı dirtilmiş elemanların ikinci bölge içindeki betonlarında erkenden ezilme olmuş, birinci bölgedeki beton ise göreceli olarak sağlam kalmıştır. Bu nedenle dirtilmiş olan elemanların ikinci ölçüm bölgesinde, birinci ölçüm bölgesine göre daha büyük eğrilikler ölçülmüştür. Mekanik kenetlemeli güçlendirilmiş elemanda (SM) ise mekanik

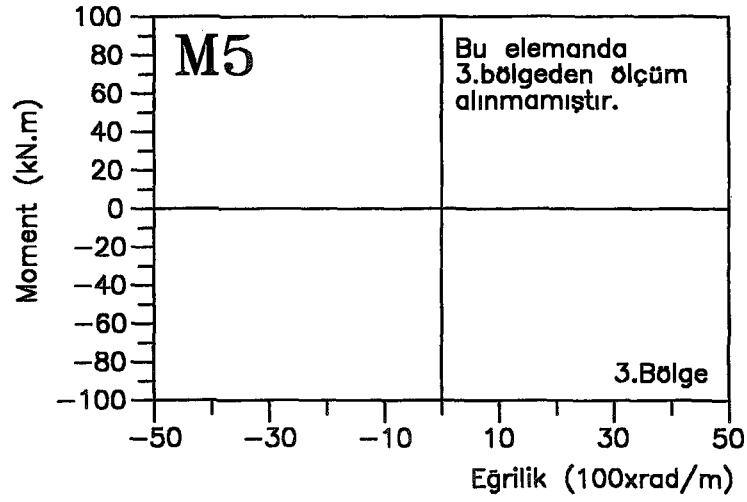
kenetlemede kullanılan 110 mm yüksekliğindeki L-profillerden dolayı iki profil arasındaki beton oldukça sağlam kalmış ve betondaki ezilme L-profillerin düşey flanşlarının üst ucuna ötelenerek ikinci bölge içinde gerçekleşmiştir. Sadece bir yüzünde L-profil bulunmasına rağmen onarılmış elemanda da (RM) ezilme ikinci ölçüm bölgesi içinde gerçekleşmiştir. Buna bağlı olarak da bu elemanların ikinci ölçüm bölgesindeki eğrilikleri birinci ölçüm bölgesine göre daha büyük olmuştur. Ancak yukarıdaki nedenler olmaksızın kesme açıklığı $a/d \leq 5$ olan monolitik elemanın ikinci ölçüm bölgesindeki eğriliği birinci ölçüm bölgesine göre daha büyük olmuştur (Şekil 6.12). Onarılmış eleman RC5’de ise her iki bölgedeki eğrilik yaklaşık aynı mertebededir (Şekil 6.14). Belkide böyle bir sonuca ikinci ölçüm bölgesi uzunluğunun birinci ölçüm bölgesi uzunluğuna göre üç kat daha büyük olması sebep olmuştur. Bu uzunluğa bağlı olarak ikinci ölçüm bölgesi içindeki olası çatlak sayısı birinci bölgeye göre daha çok olmuş ve buna bağlı olarak da bu bölgedeki eğrilik birinci ölçüm bölgesine göre daha fazla olmuştur (?).

Kesme açıklığı küçük olan elemanların 1. ölçüm bölgesinin geri yöndeki eğrilik değerleri, beklendiği gibi, ileri yöndeki eğrilik değerlerinden daha büyük olmuştur (Şekil 6.16-6.19, 6.26 ve 6.28). Bilindiği gibi uygulanan momentin eğilme rijitliğine oranı olan eğriliğin, rijitliği daha büyük olan ileri yönde daha az olması doğaldır. Ancak elemanların tamamı için veya diğer bölgeler için durum aynı olmamıştır. Bu türden tutarsızlıklara her iki yöndeki çatlak dağılımının ve/veya kesme çatlaklarının neden olduğu düşünülmektedir. Özellikle ölçüm bölgesinin içinden başlayıp dışına çıkan ve kesit boyunca devam eden kesme çatlaklarındaki açılmalar bir yönde ölçülebilmiş iken diğer yönde yük uygulandığında aynı ölçüm bölgesi içinde ölçülememiştir. Bir yüzünden onarılmış olan elemanların da ileri yöndeki eğrilikleri geri yöndeki eğriliklerden daha büyük olabilmıştır (Şekil 6.21(c), 6.25(b) ve 6.28(b)). Bu elemanlardan özellikle RC’nin birinci ölçüm bölgesi içinde ölçülen ileri yöndeki eğrilik değerleri geri yöndekilere göre çok daha büyük olmuştur.

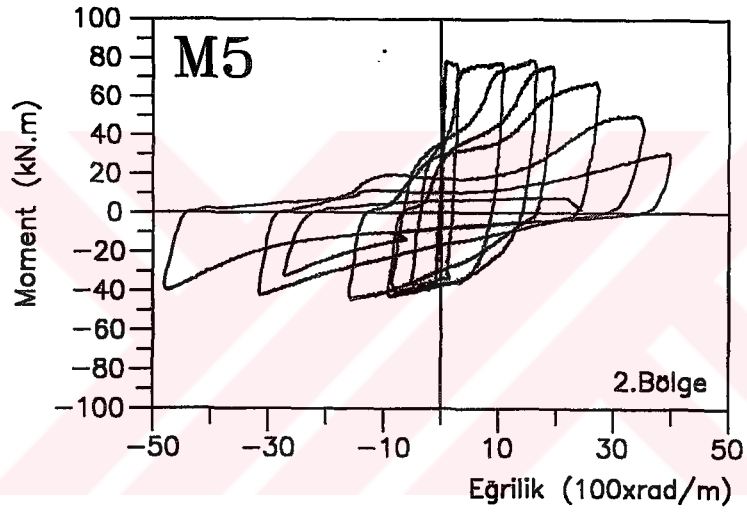
Böyle bir davranış, bölüm 6.1.1 de ayrıntılı olarak anlatılan, katman eklenmemiş taraftaki ezilmiş betonun gerektiği kadar sağlam onarılamamasından kaynaklanmıştır. Birinci bölge sınırları içinde kalan söz konusu taraftaki onarım betonunun erkenden ezilmesiyle bu bölgede, ikinci ölçüm bölgesine göre daha büyük dönmeler, dolayısıyla eğrilikler, oluşmuştur.

En küçük eğrilikler tüm elemanların üçüncü ölçüm bölgesinde oluşmuştur. RRC5 ve RSC dışındaki tüm diriltilmiş elemanların üçüncü bölgesinden ölçülmüş olan eğrilikler diriltme öncesi deneylerden elde edilen eğriliklerden daha büyük olmuştur. RRC5 ile RSC'nin üçüncü ölçüm bölgesinde ise RRC5'de RC5'e göre daha küçük, RSC'de ise SC ile yaklaşık aynı mertebeden eğrilikler oluşmuştur. Benzeri elemanların tersine bir davranış göstermiş olan bu elemanların diriltme işlemi sırasında yenilenen beton hacmi diğerlerine göre biraz daha fazla olduğu için (özellikle RRC5 de) bu elemanların üçüncü ölçüm bölesindeki eğrilikleri geçmiş deneylerine göre daha az olmuştur. Ayrıca mekanik kenetlemeli elemanlarda (SM ve RM) kullanılmış olan 110 mm yüksekliğindeki L-profillerden dolayı kiriş gibi çalışan konsol boyu aynı miktarda kısalmış ve oluşan hasarlar kiriş ucuna doğru ötelenmiştir. Buna bağlı olarak da bu elemanların üçüncü ölçüm bölgesinde benzerlerine göre daha büyük eğrilikler oluşmuştur.

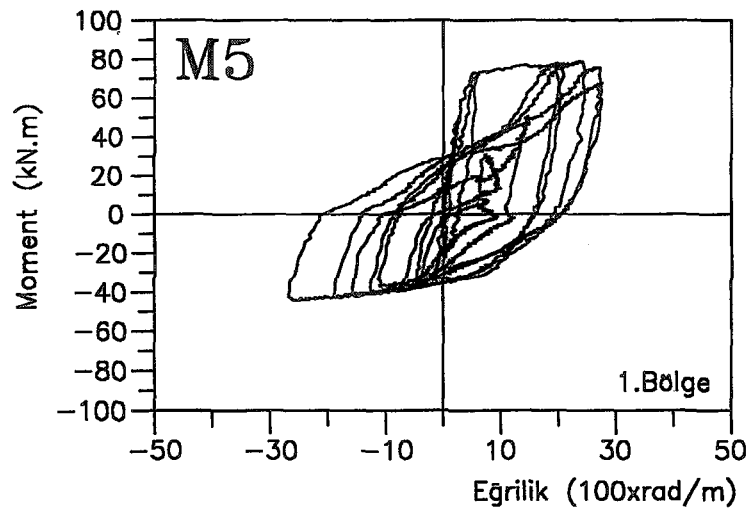
Diriltilmiş kirişler ile SM, RM ve SE dışındaki tüm elemanların ikinci ölçüm bölgesinin, ileri yöndeki eğriliklerinin başlangıç kısımlarında, olması gerekene ters yönde eğrilikler ölçülmüştür (Bkz. ilgili şekiller). Özellikle ilerleyen çevrimlerde daha belirgin olan bu eğriliklere, geri yükleme sırasında ikinci ölçüm bölgesi içinde oluşan ve yatayla yaklaşık 45 derece açı yapan ana kesme çatlakları neden olmuştur. İleri yükleme sırasında eleman bu çatlak düzlemi boyunca ve çatlak kapanıncaya kadar yukarı doğru kaymış ve olması gerekene ters yönde eğrilik ölçümleri alınmıştır. Ancak bu çatlaklar kapandıktan sonra eğrilikler tekrar yön değiştirmiştir.



a) Üçüncü bölge

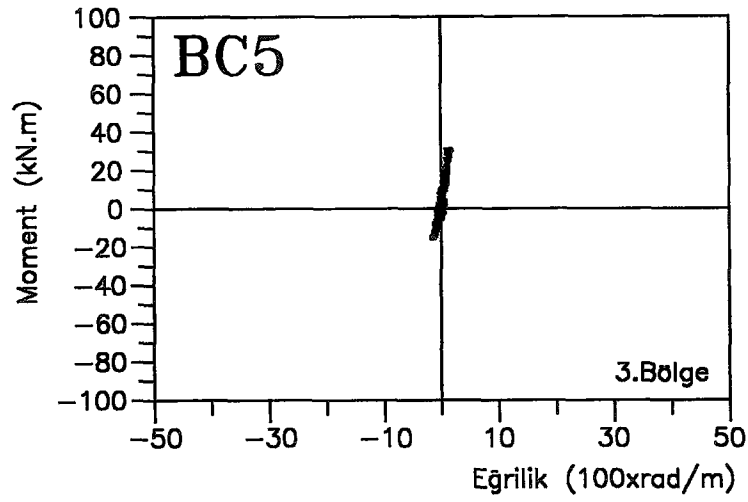


b) İkinci bölge

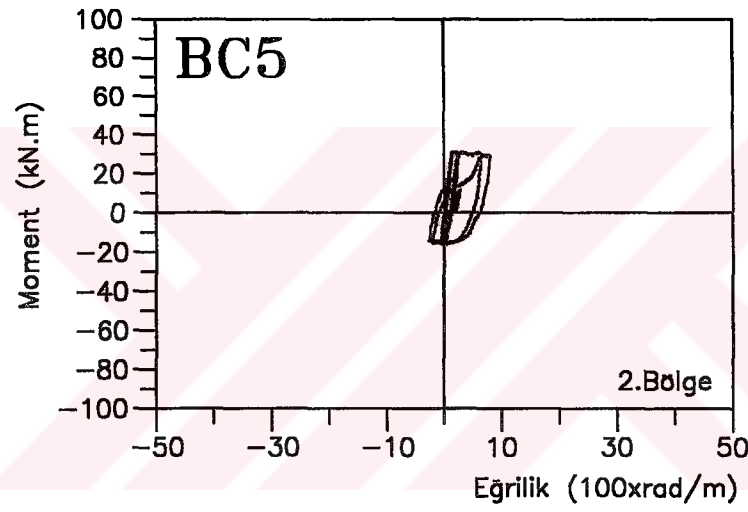


c) Birinci bölge

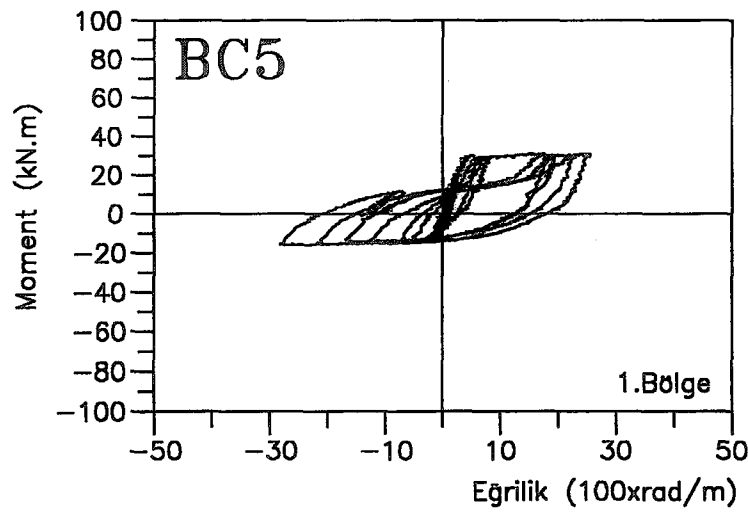
Şekil 6.12. M5 deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi



a) Üçüncü bölge

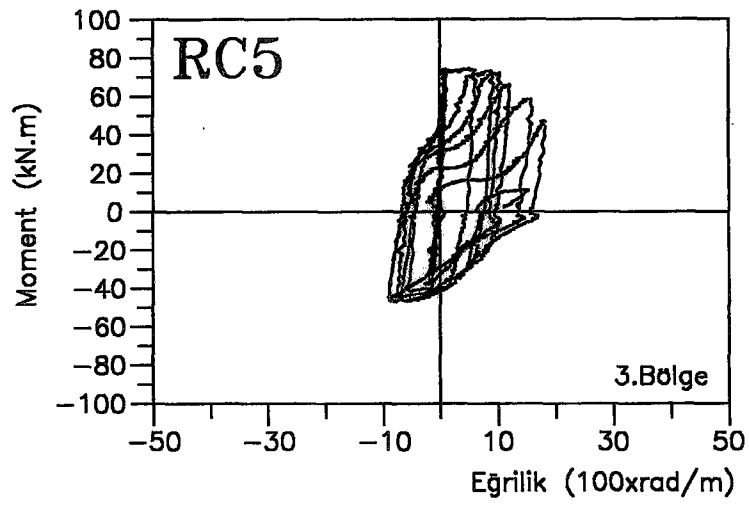


b) İkinci bölge

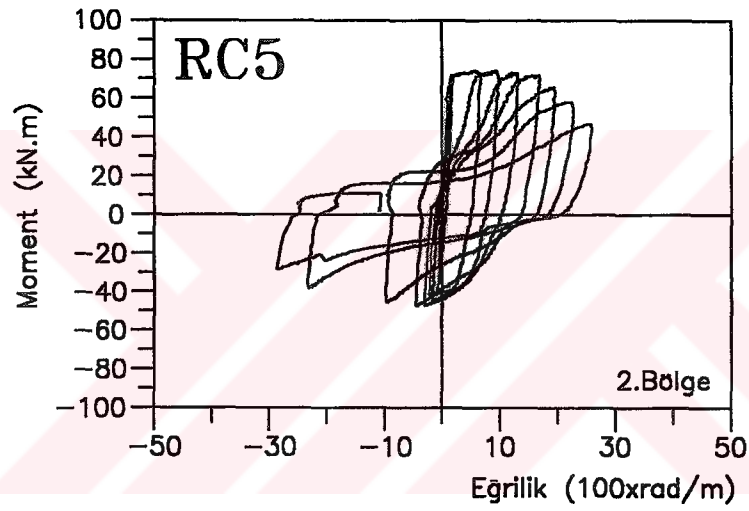


c) Birinci bölge

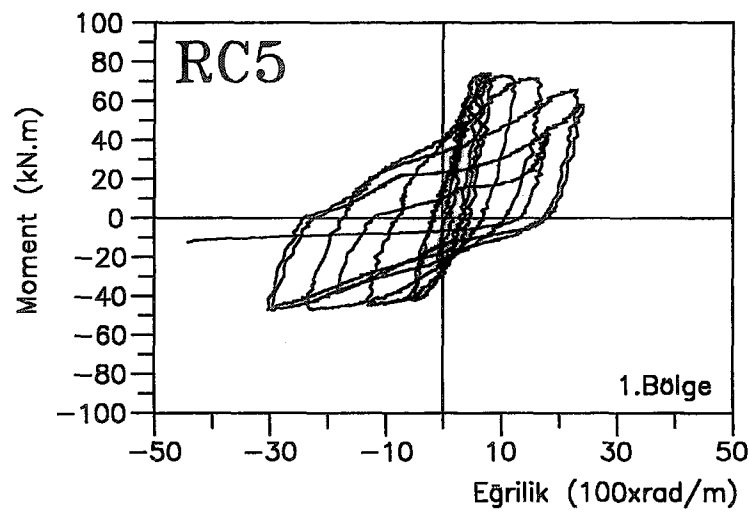
Şekil 6.13. BC5 deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi



a) Üçüncü bölge

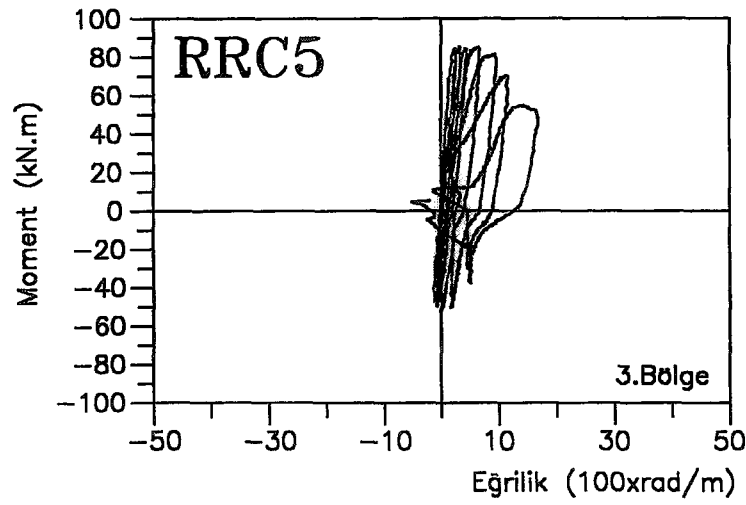


b) İkinci bölge

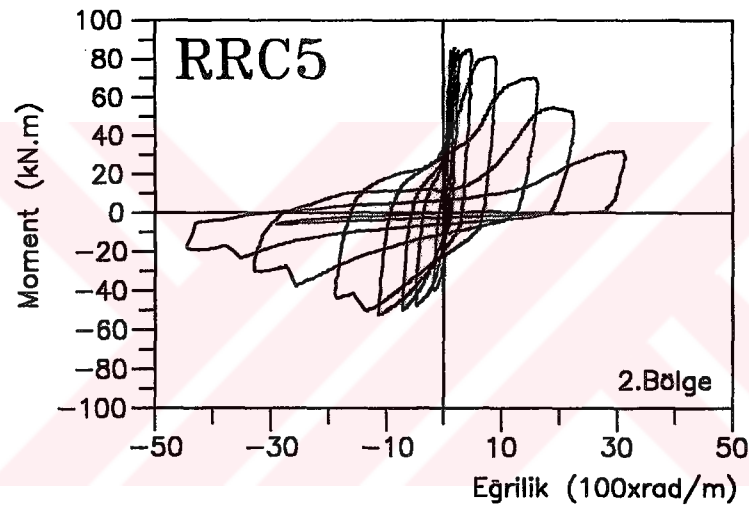


c) Birinci bölge

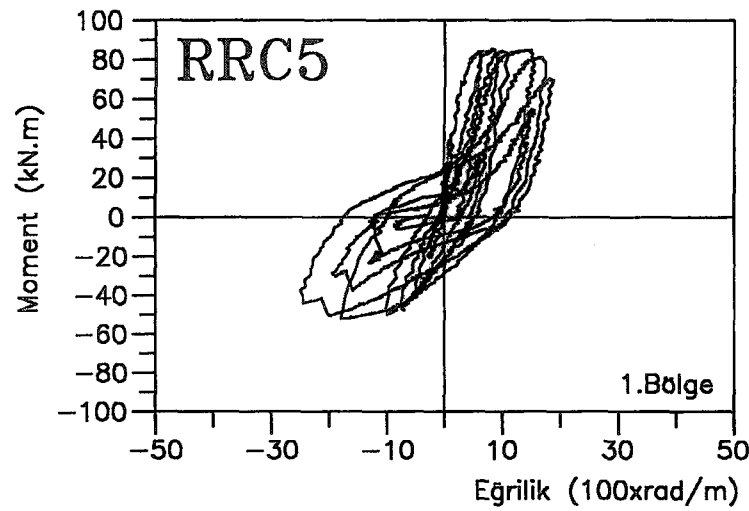
Şekil 6.14. RC5 deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi



a) Üçüncü bölge

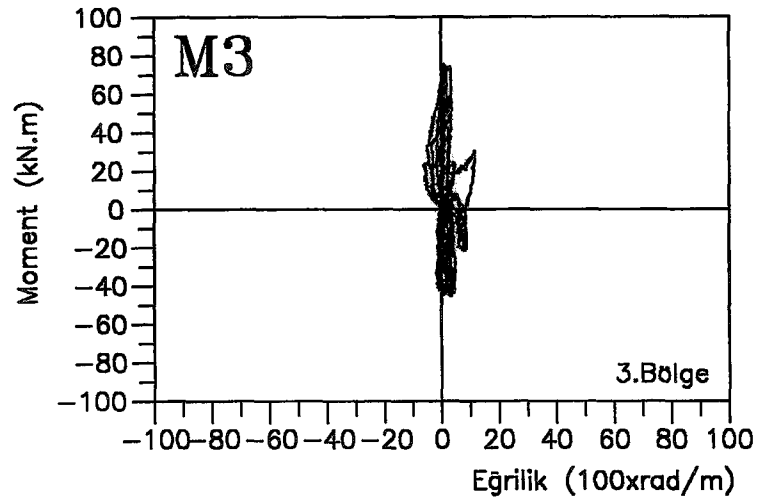


b) İkinci bölge

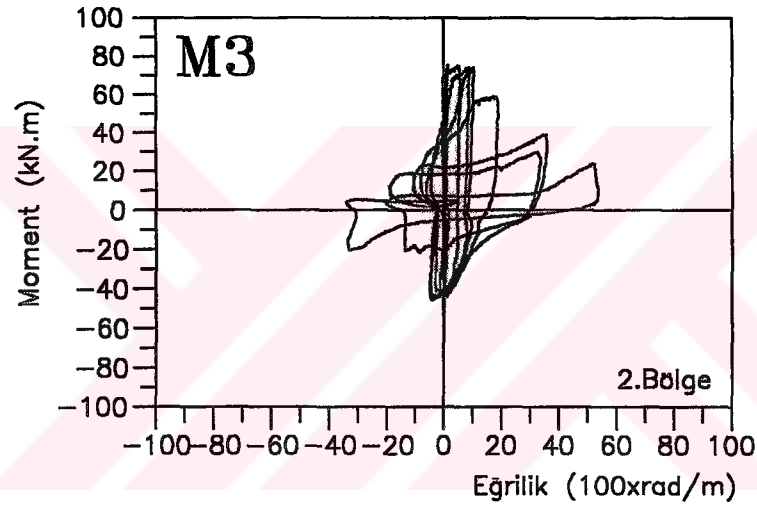


c) Birinci bölge

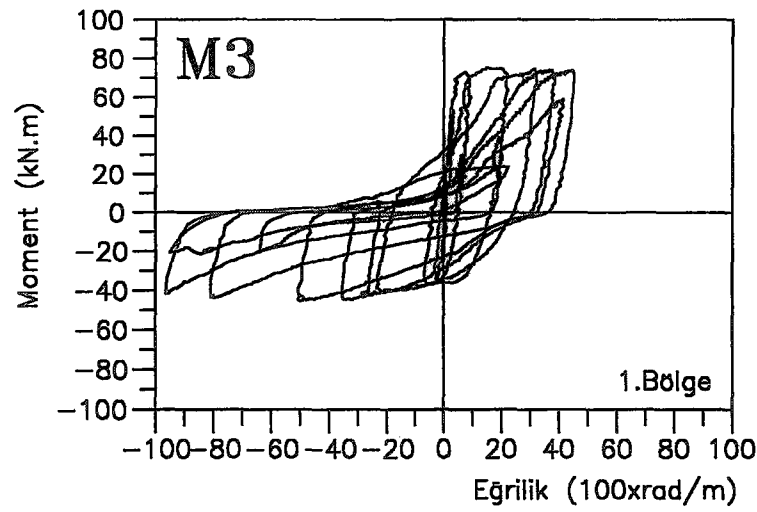
Şekil 6.15. RRC5 deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi



a) Üçüncü bölge

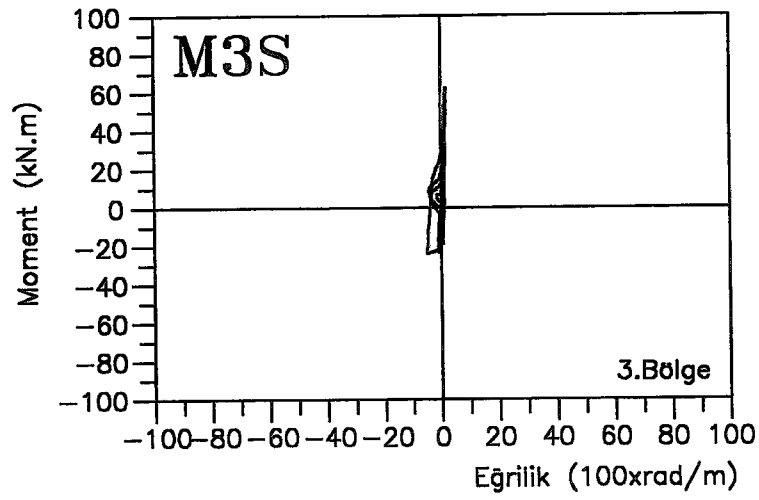


b) İkinci bölge

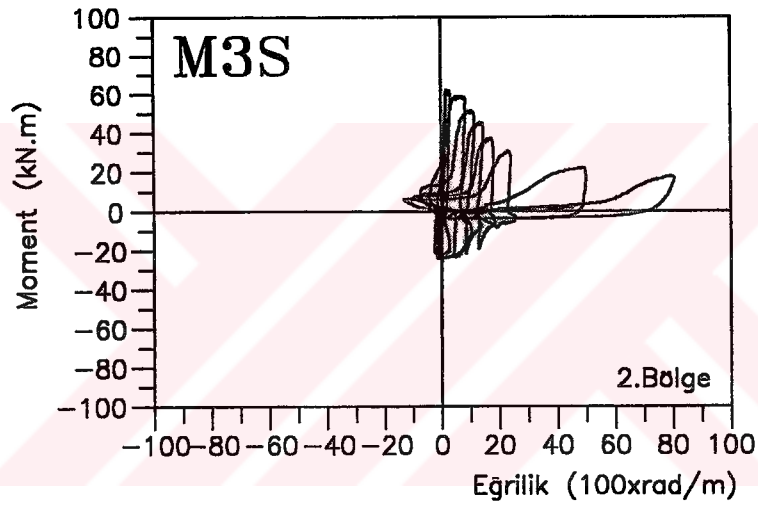


c) Birinci bölge

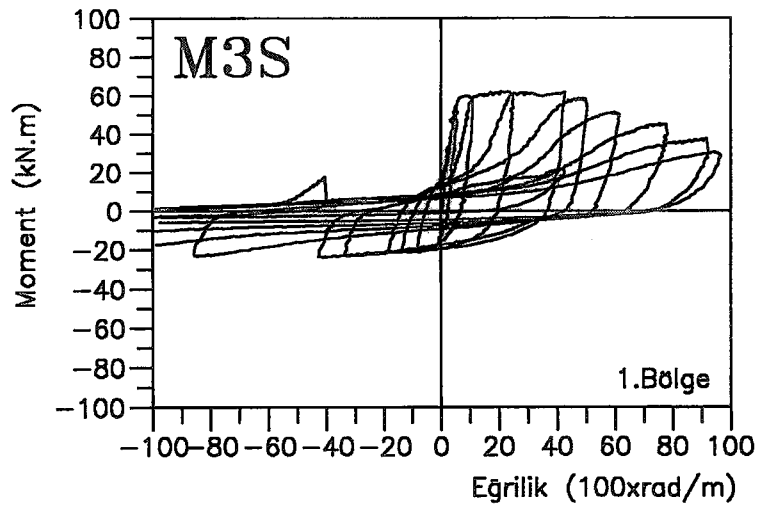
Şekil 6.16. M3 deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi



a) Üçüncü bölge

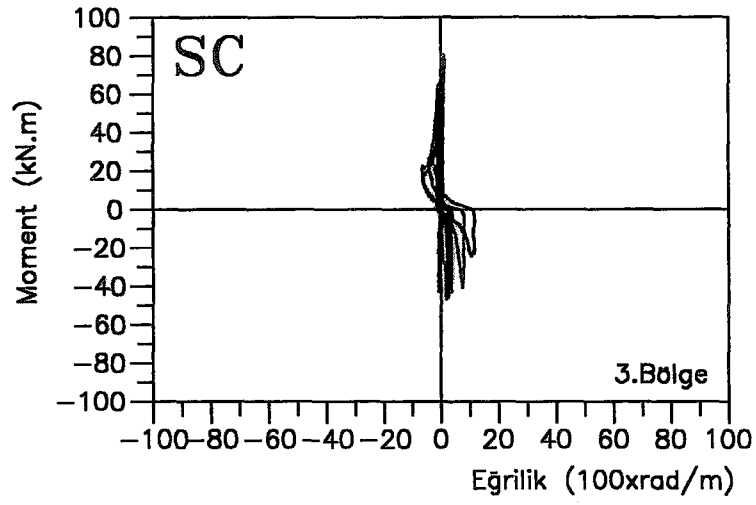


b) İkinci bölge

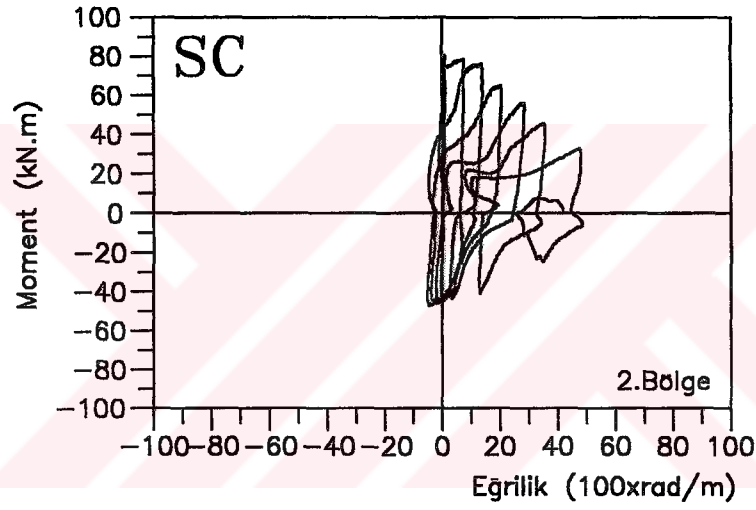


c) Birinci bölge

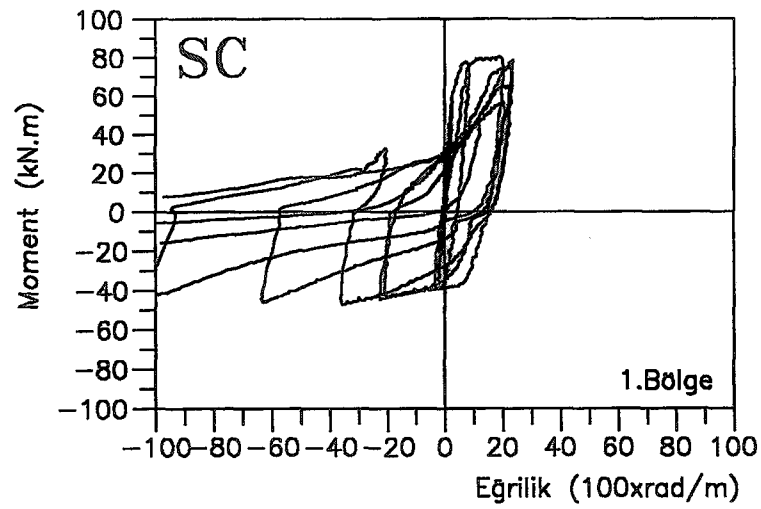
Şekil 6.17. M3S deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi



a) Üçüncü bölge

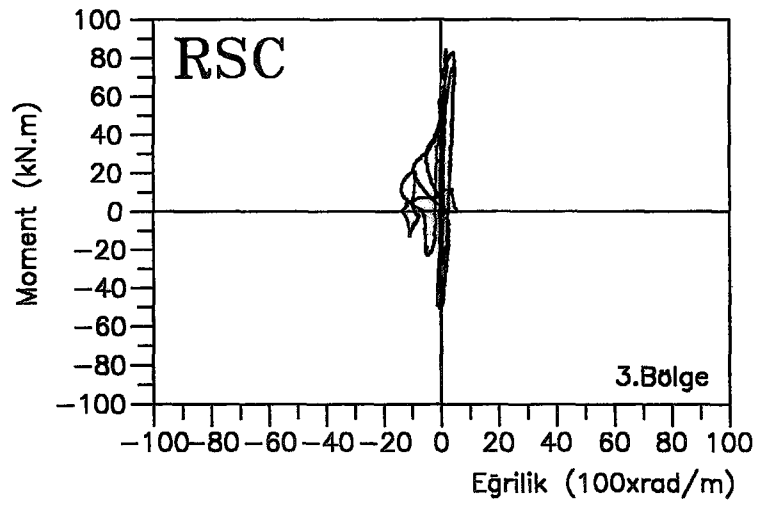


b) İkinci bölge

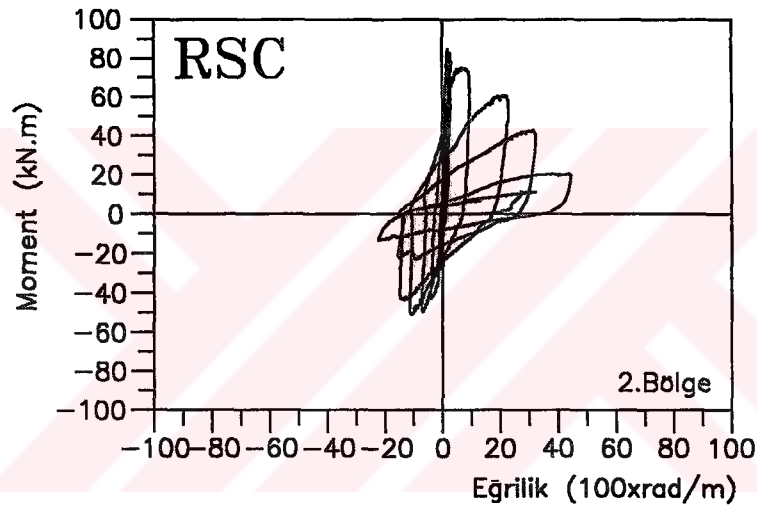


c) Birinci bölge

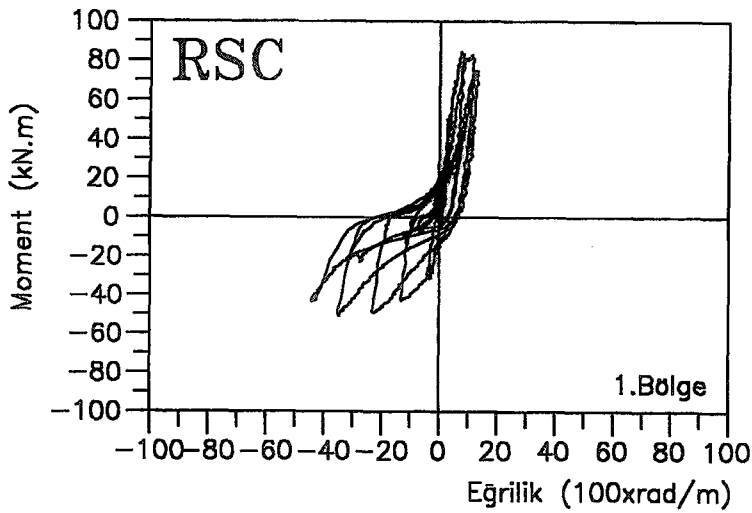
Şekil 6.18. SC deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi



a) Üçüncü bölge

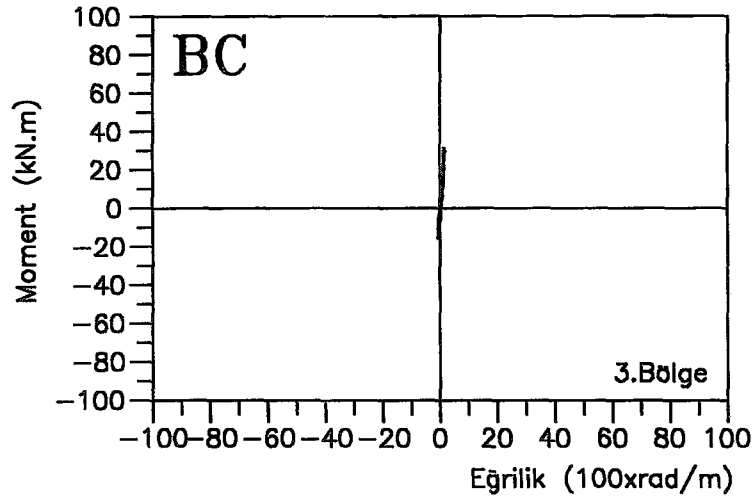


b) İkinci bölge

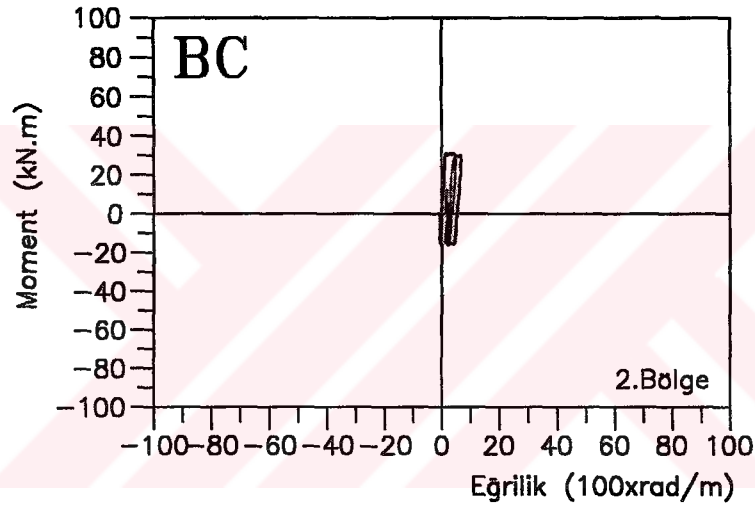


c) Birinci bölge

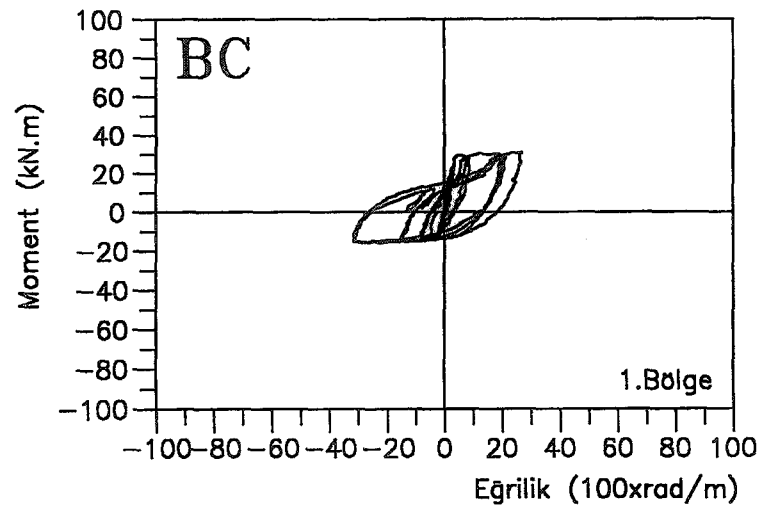
Şekil 6.19. RSC deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi



a) Üçüncü bölge

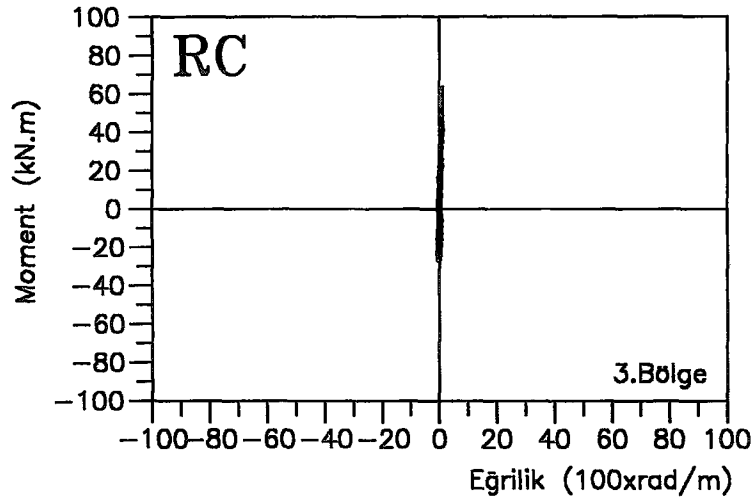


b) İkinci bölge

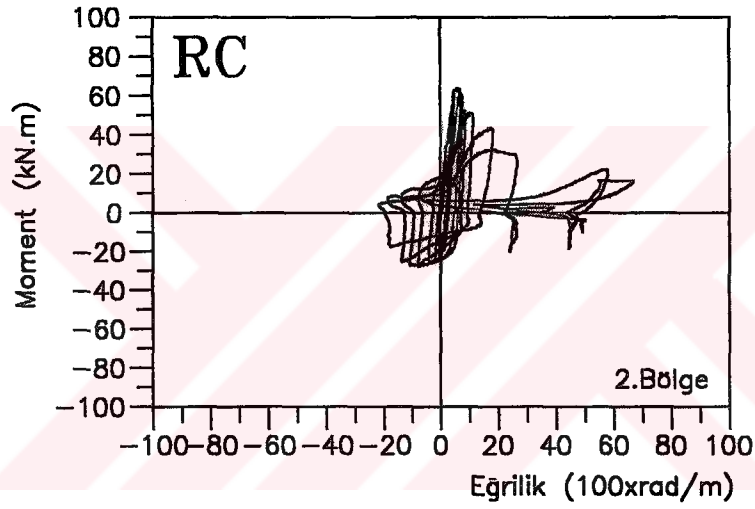


c) Birinci bölge

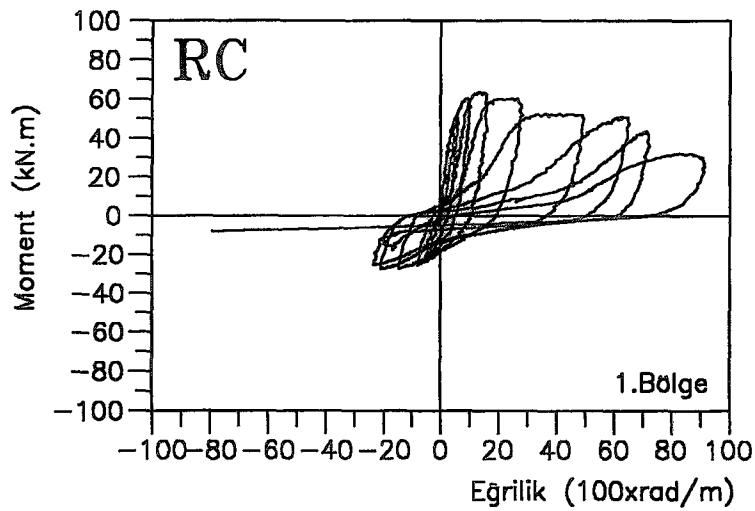
Şekil 6.20. BC deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi



a) Üçüncü bölge

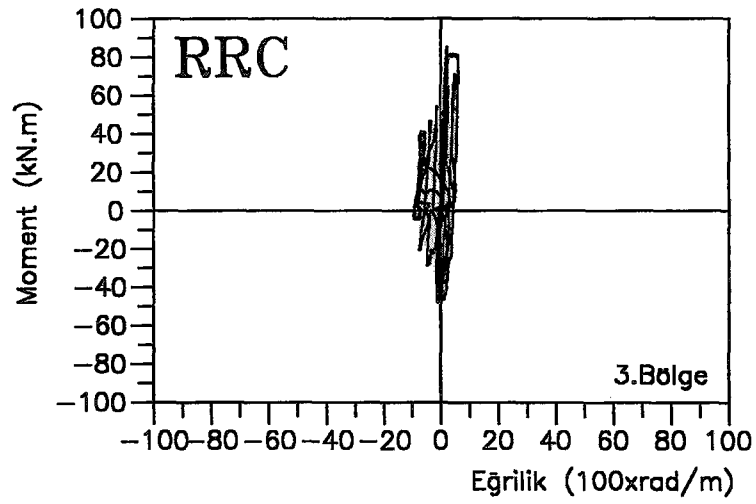


b) İkinci bölge

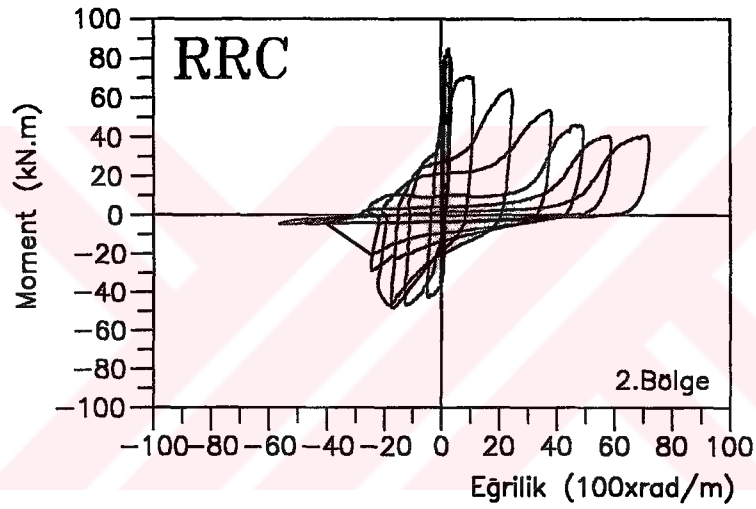


c) Birinci bölge

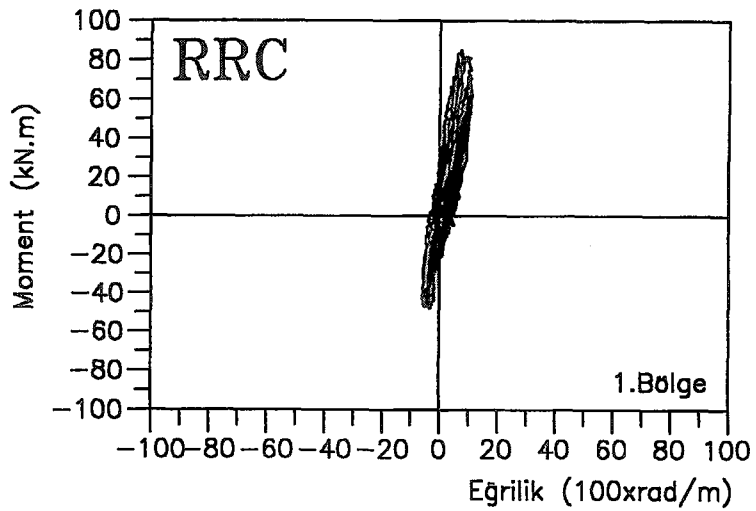
Şekil 6.21. RC deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi



a) Üçüncü bölge

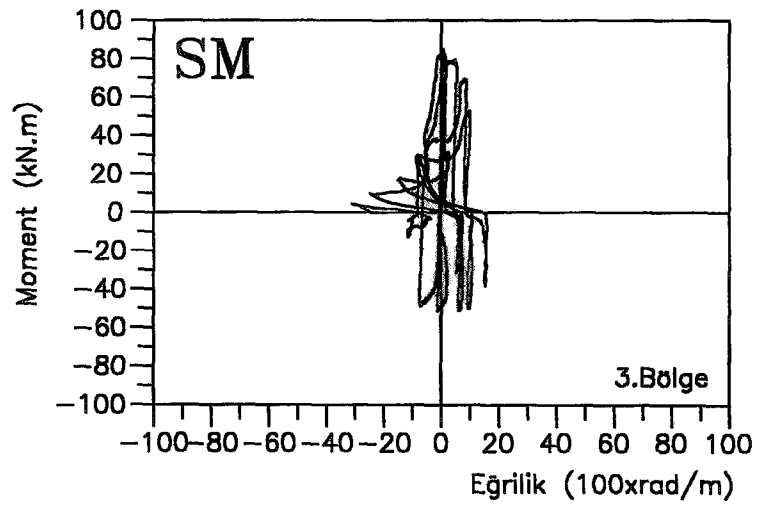


b) İkinci bölge

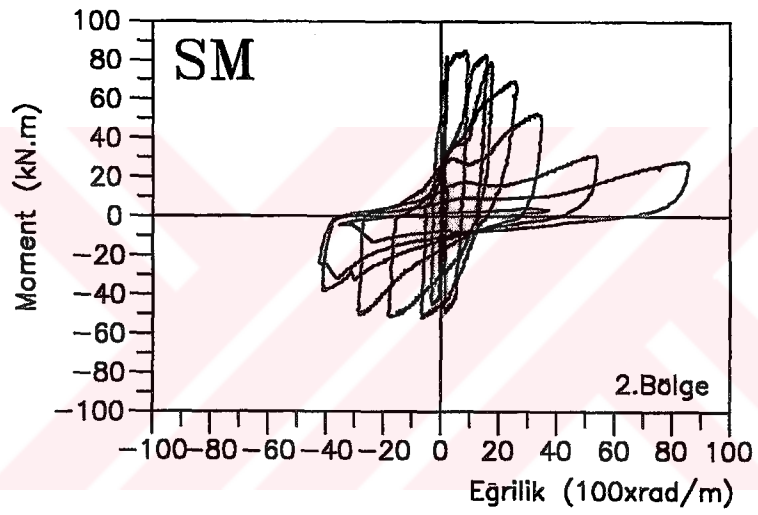


c) Birinci bölge

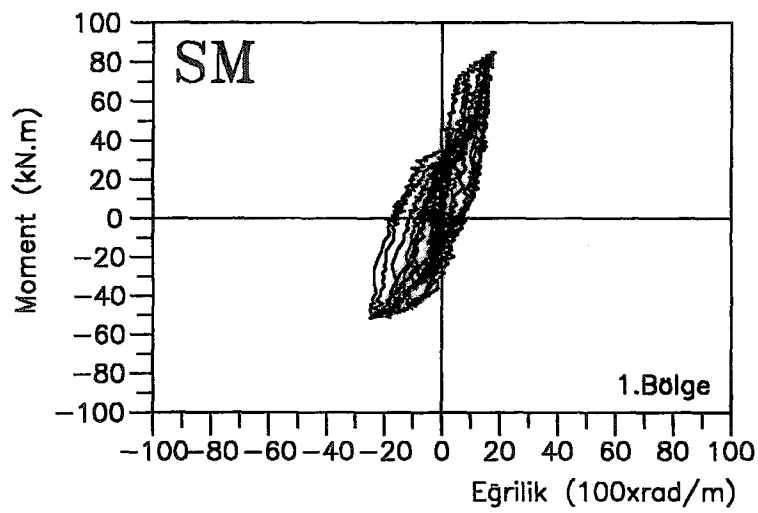
Şekil 6.22. RRC deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi



a) Üçüncü bölge

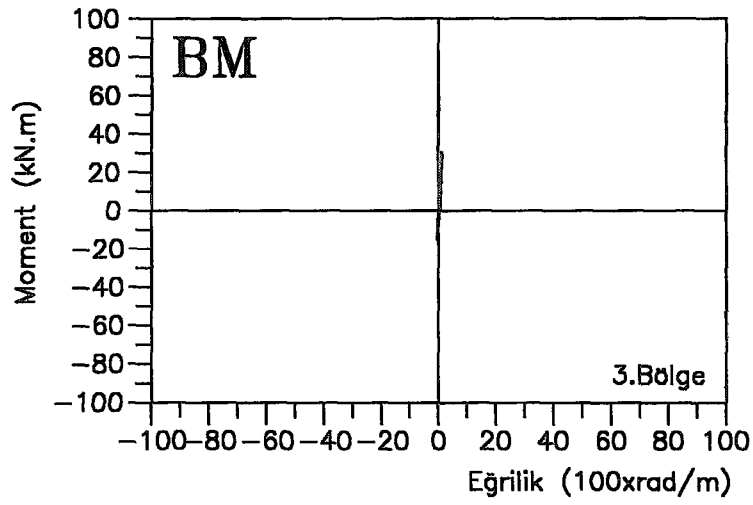


b) İkinci bölge

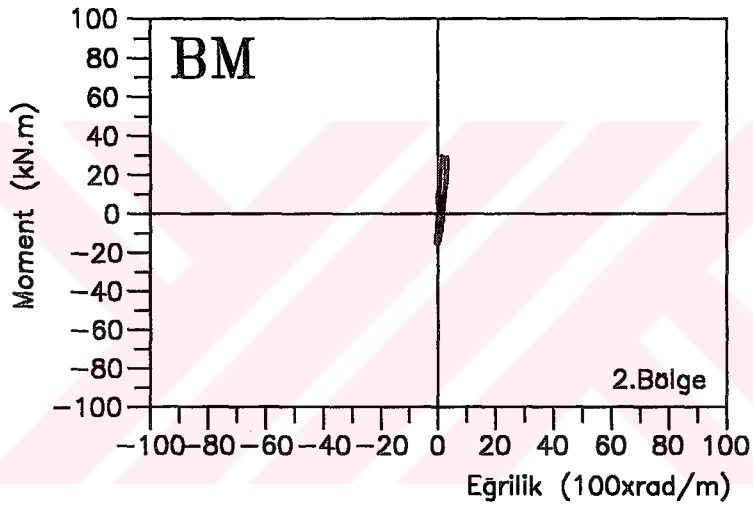


c) Birinci bölge

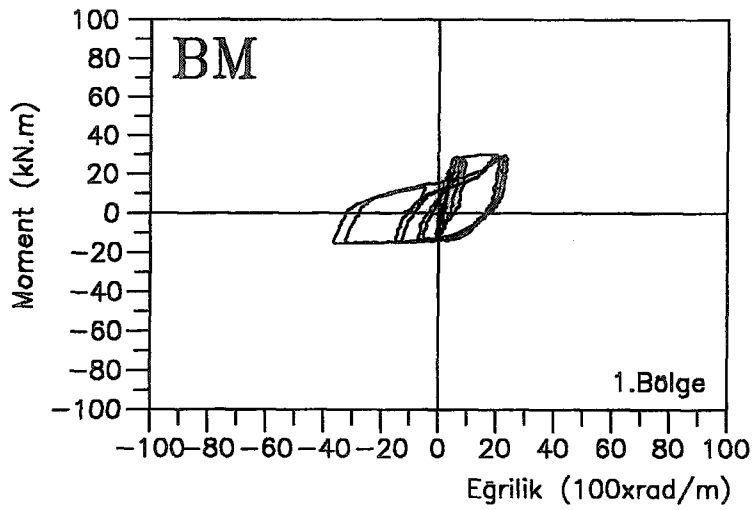
Şekil 6.23. SM deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi



a) Üçüncü bölge

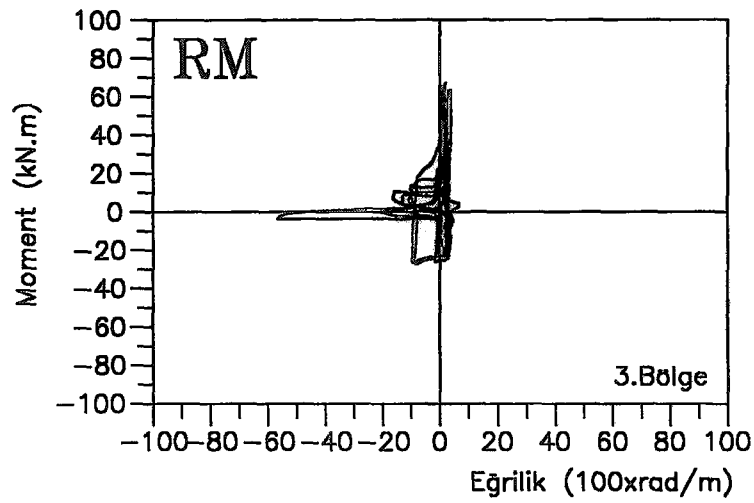


b) İkinci bölge

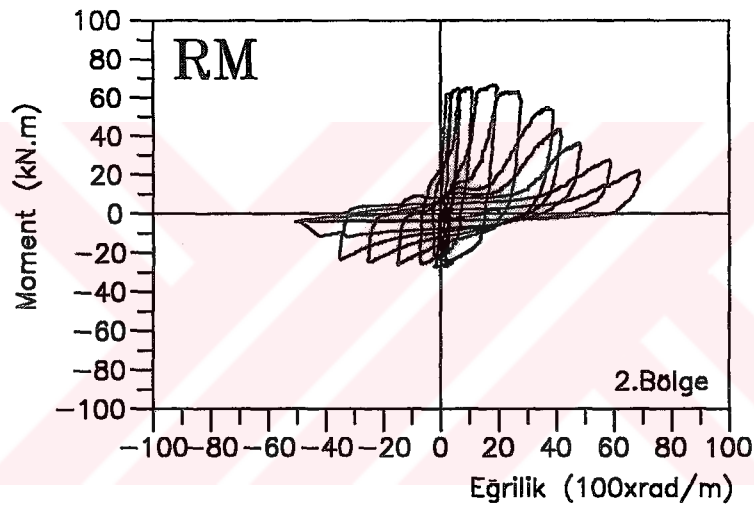


c) Birinci bölge

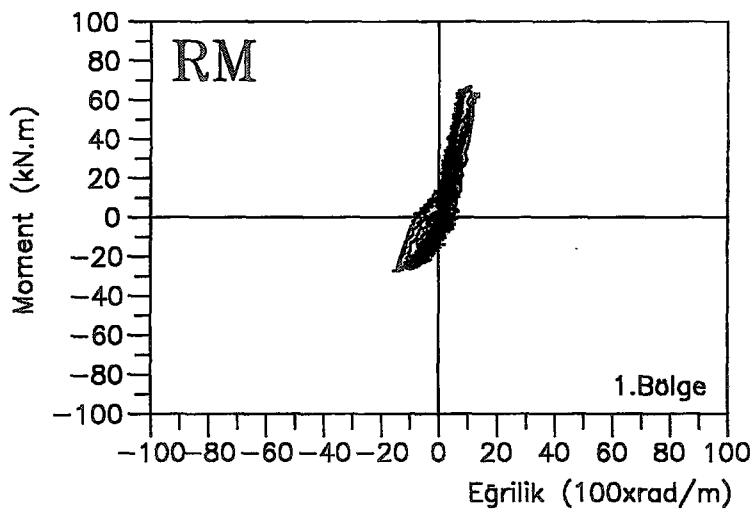
Şekil 6.24. BM deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi



a) Üçüncü bölge

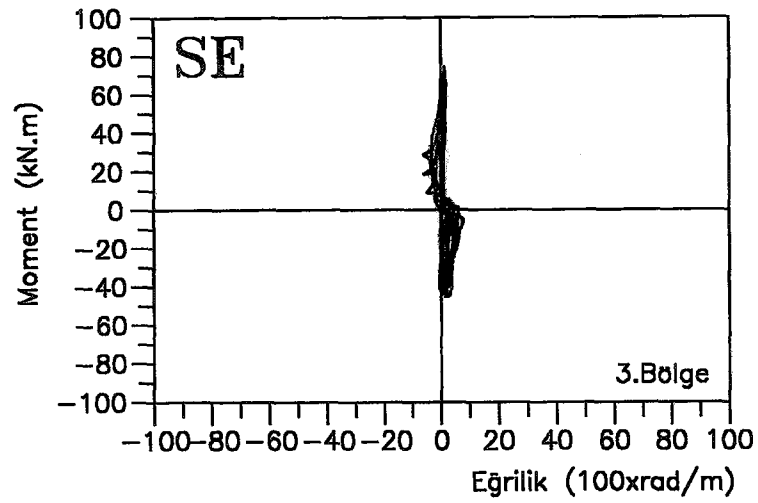


b) İkinci bölge

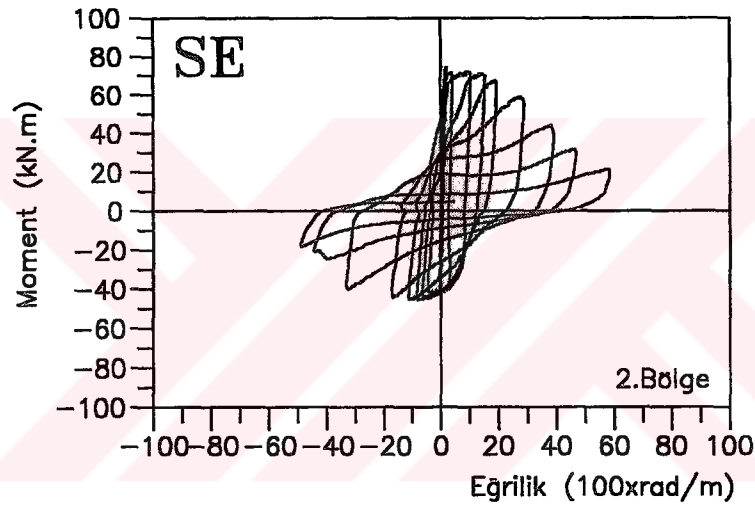


c) Birinci bölge

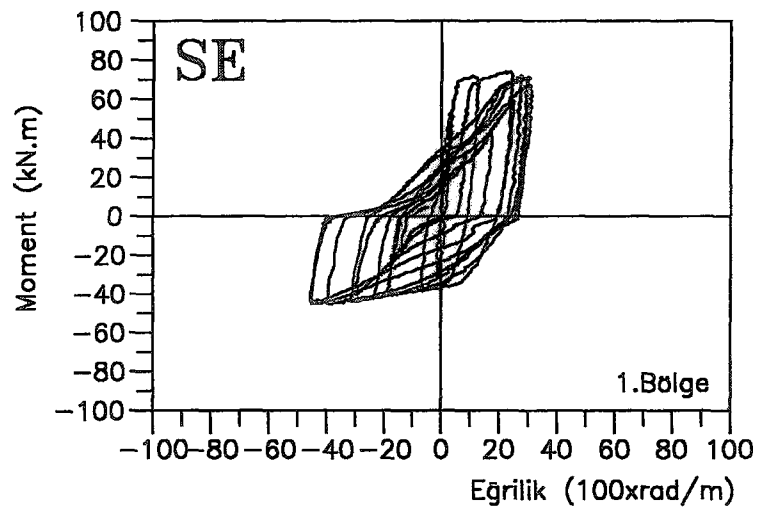
Şekil 6.25. RM deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi



a) Üçüncü bölge

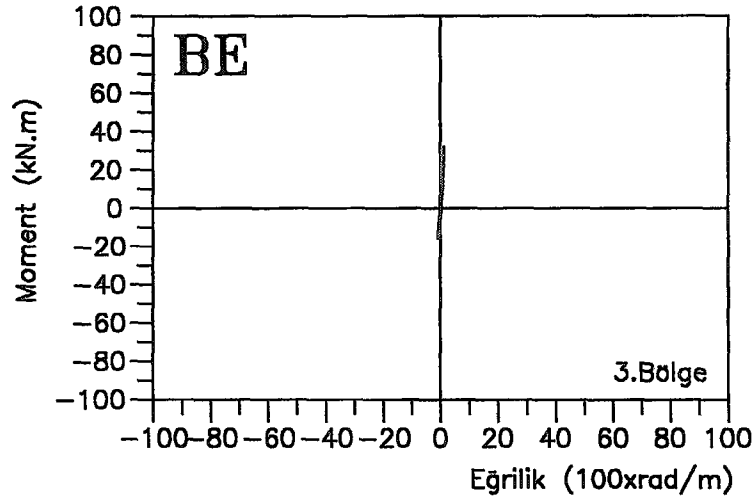


b) İkinci bölge

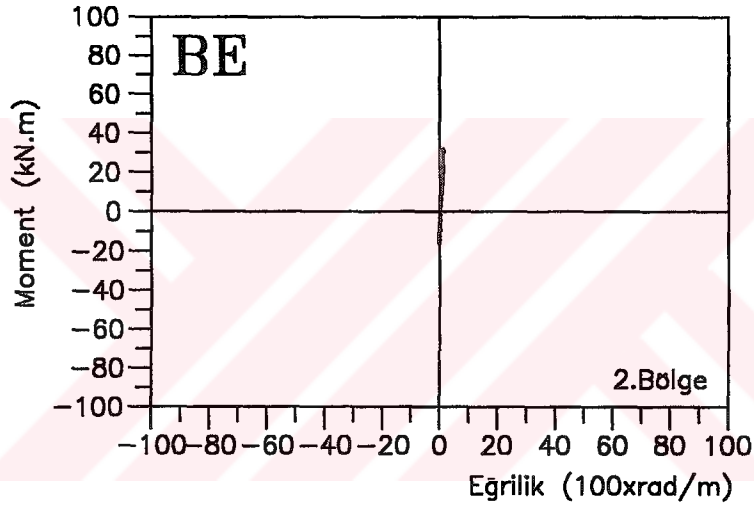


c) Birinci bölge

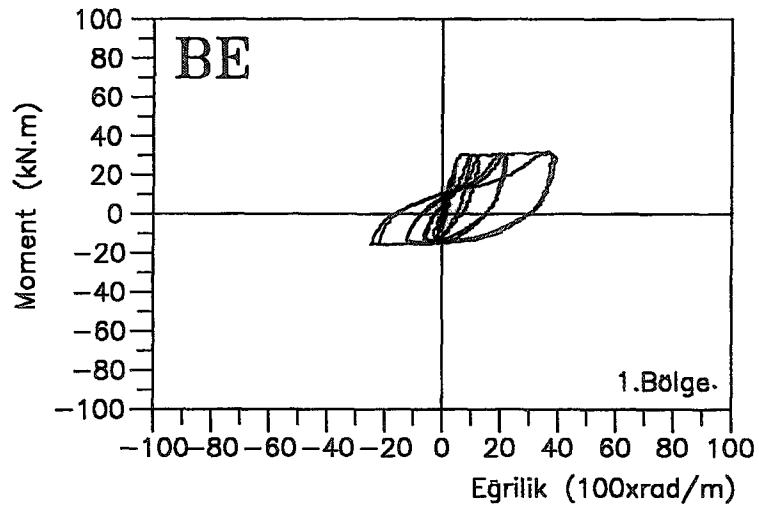
Şekil 6.26. SE deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi



a) Üçüncü bölge

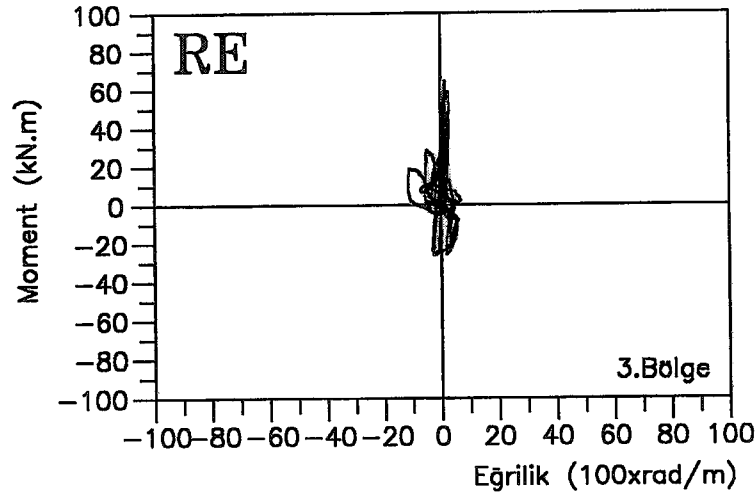


b) İkinci bölge

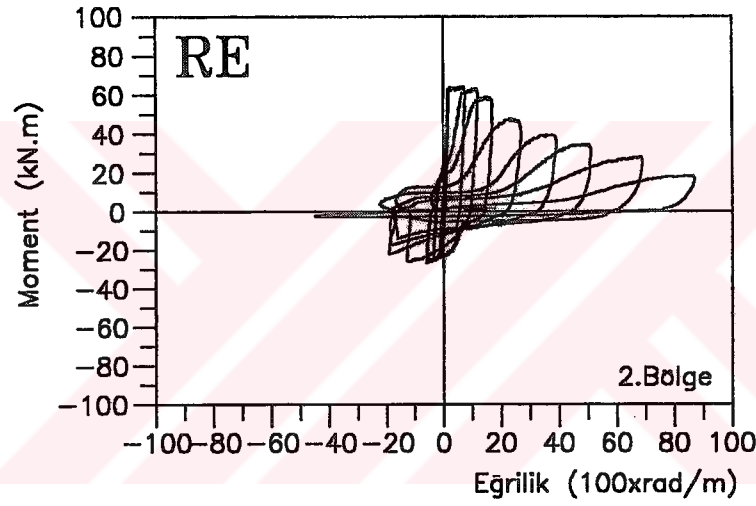


c) Birinci bölge

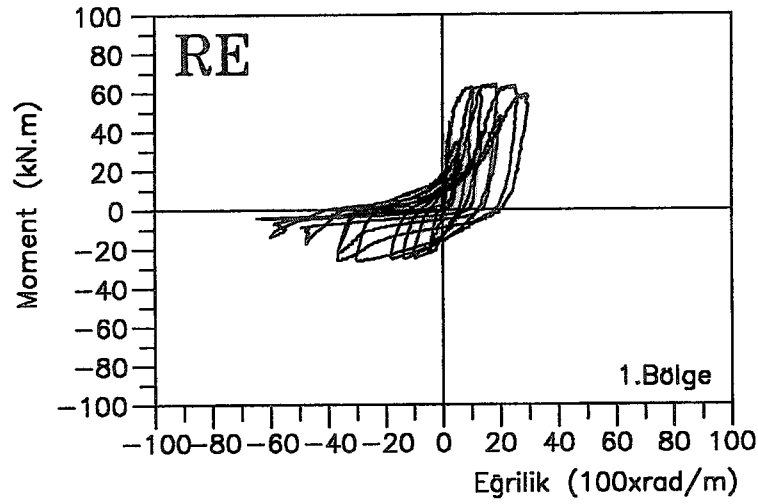
Şekil 6.27. BE deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi



a) Üçüncü bölge

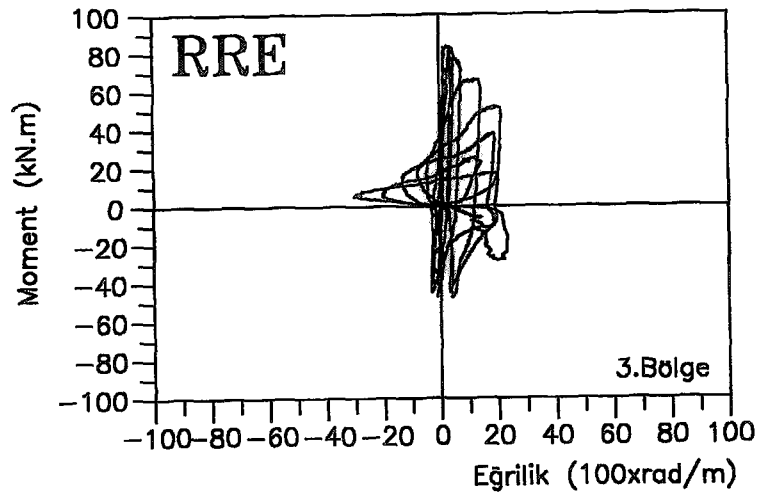


b) İkinci bölge

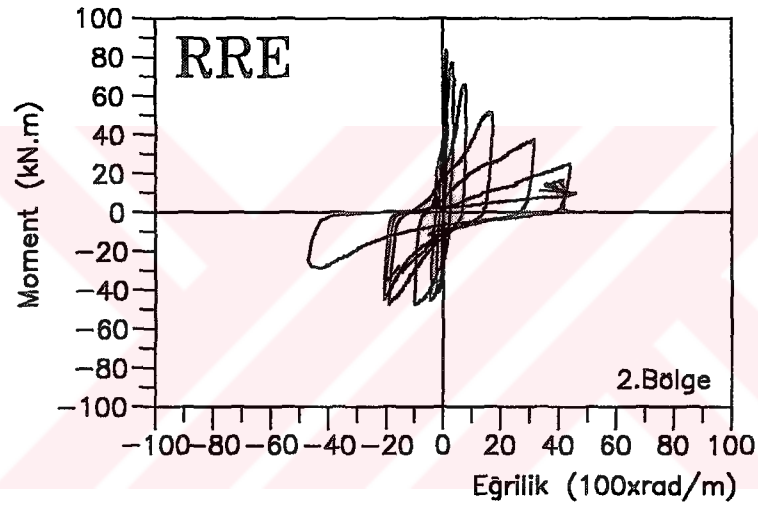


c) Birinci bölge

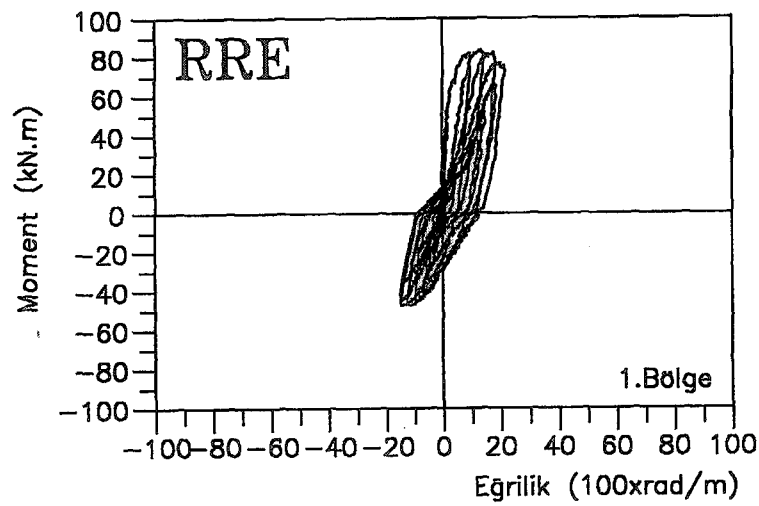
Şekil 6.28. RE deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi



a) Üçüncü bölge



b) İkinci bölge



c) Birinci bölge

Şekil 6.29. RRE deney elemanının moment-eğrilik ilişkisi

6.3. Yük-Kayma Deformasyonu İlişkisi

Laboratuvar olanaklarından dolayı, deney elemanlarının sadece birinci ve ikinci ölçüm bölgesindeki kayma deformasyonları ölçülebilmektedir. Bu bölgelerden alınan ölçümler ile birinci ve ikinci bölgedeki kayma açıları ve yatay kayma deformasyonları hesaplanmıştır. Bilindiği gibi kiriş ucunda hesaplanmış olan yatay yöndeki net deplasman, eğilme ve kayma deformasyonlarının toplamıdır. Her iki ölçüm bölgesindeki yatay kayma deformasyonlarının toplamı, kiriş ucundaki yatay net ötelenmeden çıkartılarak kirişin eğilme deformasyonları bulunmuştur. Her elemanın birinci ve ikinci ölçüm bölgesindeki kayma açılarının kesme kuvvetine (yüke) göre değişimleri ile eğilme deformasyonlarının yüke göre değişimleri grafik olarak oluşturulmuş ve Şekil 6.30-6.47’de sunulmuştur. Bu grafiklerdeki eğilme deformasyonları ile eğilme ve kayma deformasyonlarının toplamından oluşan net deplasman aynı eksen takımı üzerinde çizilerek, bu ikisinin farkı olan kayma deformasyonları hakkında da fikir edinilmiştir.

Eğilme ve kayma deformasyonları hesaplanırken sadece birinci ve ikinci ölçüm bölgesi göz önünde tutulmuştur. Ancak deneyler sırasında, özellikle kesme açıklığı küçük olan kirişlerde bu bölgelerin dışında da önemli kayma deformasyonları olabileceği görülmüştür. Bu nedenle eğilme ve kayma deformasyonlarının ayrımı için verilmiş olan grafiklerin gerçeği tam olarak yansıtmadığı unutulmamalıdır. Zaten bu yüzden bazı elemanlarda mantıklı sonuçlar elde edilememiştir. Ayrıca deneyler sırasında kirişlerde oluşan çatlaklardan ötürü kiriş boyuna yönde 30 mm ye varan uzamalar olduğu gözlenmiştir. Kayma açılarının hesabında boyuna yöndeki bu deformasyonların etkisi ihmal edilmiştir.

Genel olarak elemanların tamamında çevrim sayısı arttıkça büyük kayma deformasyonları gözlenmiştir. Yük işaret değiştirdikten sonra deney elemanları kayma deformasyonlarının etkisi ile uzun süre pek yük almadan deformasyon yapmışlardır. Ancak, rijit sayılabilecek olan bu kayma deformasyonları tükendikten sonra elemanlar tekrar yük almaya başlamıştır. Pinching adı verilen bu bölgede elemanların yük alamamasının nedenlerinden birinin de bir önceki çevrimde burkulmuş olan ve şimdi çekmeye çalışan donatılar olduğu görülmüştür. Kayma deformasyonlarının yanı sıra bu donatılar çekme etkisi ile düzelinceye kadar elemanlar etkin olarak yük alamamışlardır. Özellikle kısa deney elemanlarının pinching bölgesinde kirişlerdeki kayma deformasyonları gözle izlenebilecek kadar belirgin olmuştur. Her çevrimdeki en büyük yüke genel olarak bir önceki çevrimin en büyük deformasyonu civarında ulaşılmıştır.

İstisna elemanlar (M3S, SC, RC) dışında genelde tüm elemanların ikinci ölçüm bölgesindeki kayma açısı birinci bölgeye göre merteye olarak daha büyük olmuştur.

Elemanlara geri yönde yük uygulanırken oluşan kesme çatlaklarının önemli bir kısmı birinci ve ikinci ölçüm bölgesi içinde oluşmuş, dolayısıyla ölçülebilmıştır. Daha büyük kuvvetlerin uygulandığı ileri yönlerde ise hem ölçüm bölgeleri dışında da kesme çatlakları oluşmuş hem de ölçüm bölgesi içindeki dik açılı çatlaklar ölçüm bölgesinin dışına çıkmıştır. Buna bağlı olarak ileri yönde oluşan kayma deformasyonlarının tamamı genelde ölçülememiştir. Bu nedenle bazı elemanlarda geri yöndeki kayma deformasyonları, kesme kuvveti daha küçük olmasına rağmen, ileri yöne göre daha büyük olmuştur.

Beklendiği gibi kesme açıklığı daha büyük olan M5, RC5 ve RRC5 elemanlarındaki kayma deformasyonları kesme açıklığı küçük olanlara göre daha az olmuştur (Şekil 6.30, 6.32 ve 6.33). Bu şekillerde diriltilmiş eleman RRC5'in geri yöndeki kayma deformasyonları, onarılmış eleman RC5'den daha az gözükmesine rağmen, gerçekte tam tersi olmuştur. RRC5'deki deforme olmuş etriyelerden dolayı etkin bir sargılama oluşmamış ve buna bağlı olarak, RC5'de olmamasına rağmen, RRC5'de önemli kesme çatlakları görülmüştür. Benzer bir durum RSC ile SC elemanı arasında da görülmüştür (Şekil 6.36 ve 6.37).

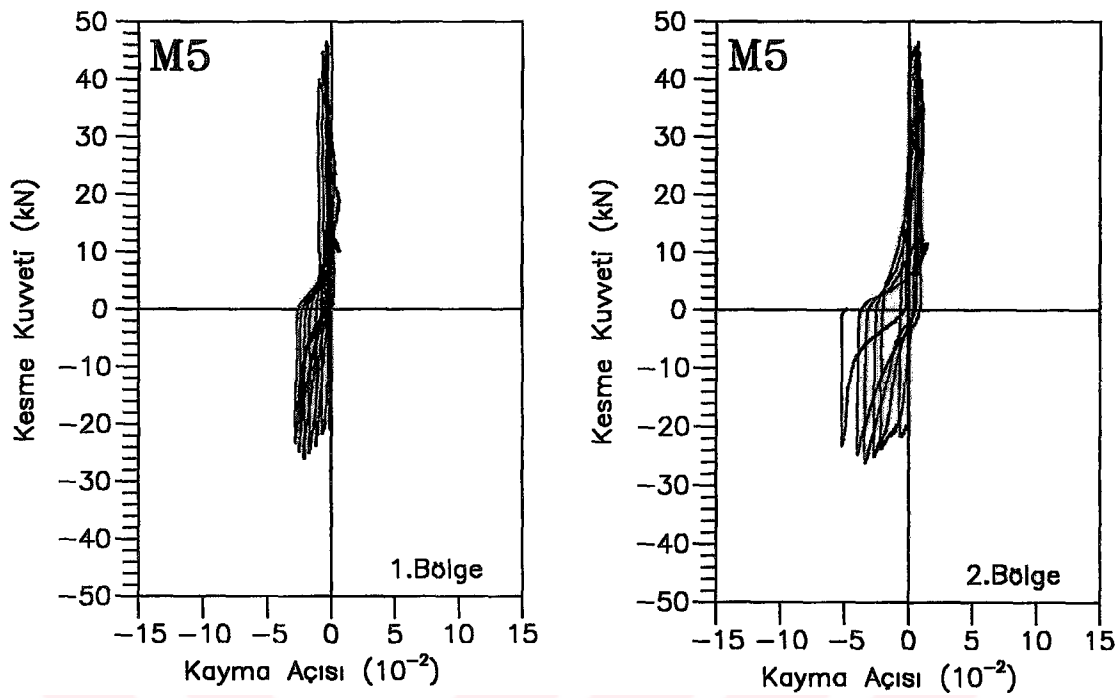
Güçlendirilmiş eleman SC ile onarılmış eleman RC'nin bazı çevrimlerinde eğilme deformasyonları, eğilme ve kayma deformasyonlarının toplamından fazla olmuştur (Şekil 6.36 ve 6.39). Böyle bir durum ancak bir önceki ters yöndeki yüklemde kalıcı kayma deformasyonları oluşmuş ise mümkündür. Deney elemanlarının bazılarında bu türden kalıcı kayma deformasyonlarının olabileceği görülmüş ve bunlardan bir tanesinin (RE) Ek-1 de fotoğrafı (Resim 13) gösterilmiştir. Ancak SE elemanında SC ve RC dekine benzer bir davranış oluşmamıştır (Şekil 6.44). Bu nedenle SC ve RC elemanlarında görülen bu değişik davranışın nedenleri pek anlaşılamamıştır.

Diriltilmiş elemanlarda kopmuş veya kesilmiş olan donatıların bindirmeli ek ile kaynaklanması ile ezilmeler konsol dibinden yukarı doğru ötelenmiştir. Ayrıca bu elemanlarda deforme olmuş etriyelerin sargılama görevini etkin olarak yapamamasından dolayı ölçüm bölgelerinin de dışında önemli kesme çatlakları oluşmuştur. Bu nedenle tüm diriltilmiş elemanların (RRC5, RSC, RRC, RRE) birinci ölçüm bölgesindeki kayma deformasyonları (Şekil 6.33, 6.37, 6.40, 6.47) kendilerinden önceki deneylerde (RC5, SC, RC, RE) aynı

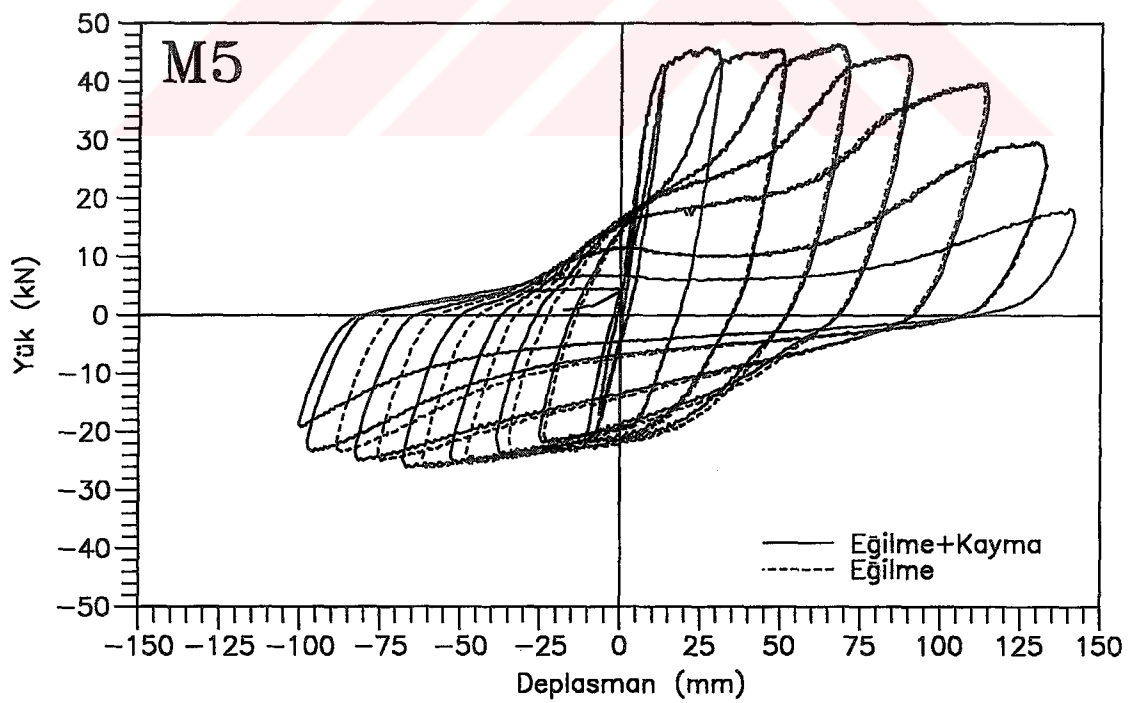
bölgeden ölçülmüş olan kayma deformasyonlarından (Şekil 6.32, 6.36, 6.39, 6.46) daha az olmuştur.

Bu çalışmada mekanik kenetleme yönteminin kayma deformasyonları üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri görülmüştür. İki yüzünden güçlendirilmiş olan, mekanik kenetlemeli, SM elemanının iki yüzündeki L-profillerin arasında kalan kısmı çok az hasar görmüştür. Ayrıca mekanik kenetlemede kullanılan L-profiller kiriş uçlarına mesnetlik yaparak davranışa olumlu katkılarda bulunmuşlardır. Buna bağlı olarak birinci ölçüm bölgesinde, onarım/güçlendirme görmüş diğer elemanlara göre, oldukça küçük kayma deformasyonları oluşmuştur (Şekil 6.41(a)). Ancak kolona sıkı bir şekilde bağlı olan L-profillerine kaynaklanmış olan boyuna donatıların kaldıraç etkisi ile, sınırlı bir bölgede de olsa, kiriş yan yüzünde donatı eksenine paralel çatlaklar oluşmuştur. Bu nedenle güçlendirilmiş eleman SM'nin ikinci ölçüm bölgesinde, birinci bölgeye göre çok daha büyük kayma deformasyonları oluşmuştur (Şekil 6.41(b)).

İlginç olan, bir yüzünden onarılmış olan mekanik kenetlemeli RM elemanı da SM'ye benzer bir davranış sergilemiştir. Sadece üst yüzünde L-profil bulunmasına rağmen bu elemanın da birinci ölçüm bölgesinde oldukça küçük kayma deformasyonları oluşmuştur (Şekil 6.43(a)). Hatta RM elemanının birinci ölçüm bölgesinde oluşan kayma deformasyonları, bu elemanın yalın kirişi olan BM elemanının aynı bölgedeki kayma deformasyonlarından çok daha küçük olmuştur (Şekil 6.42(a)). Ayrıca, RM elemanının ikinci ölçüm bölgesinin geri yöndeki kayma deformasyonları hem kaldıraç etkisi olmamasından hem de kirişin L-profile mekanik olarak yaslanmasıyla, ileri yöndeki kayma deformasyonlarına göre daha küçük olmuştur (Şekil 6.43(b)).

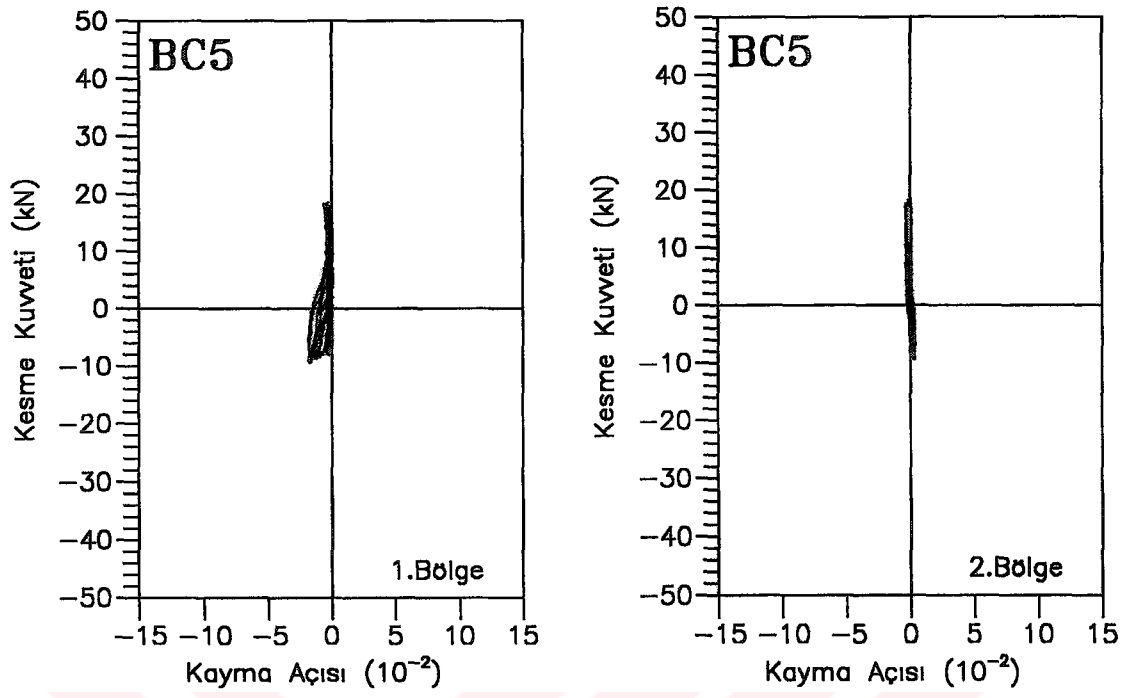


a) Birinci ve ikinci bölgedeki kayma açısı

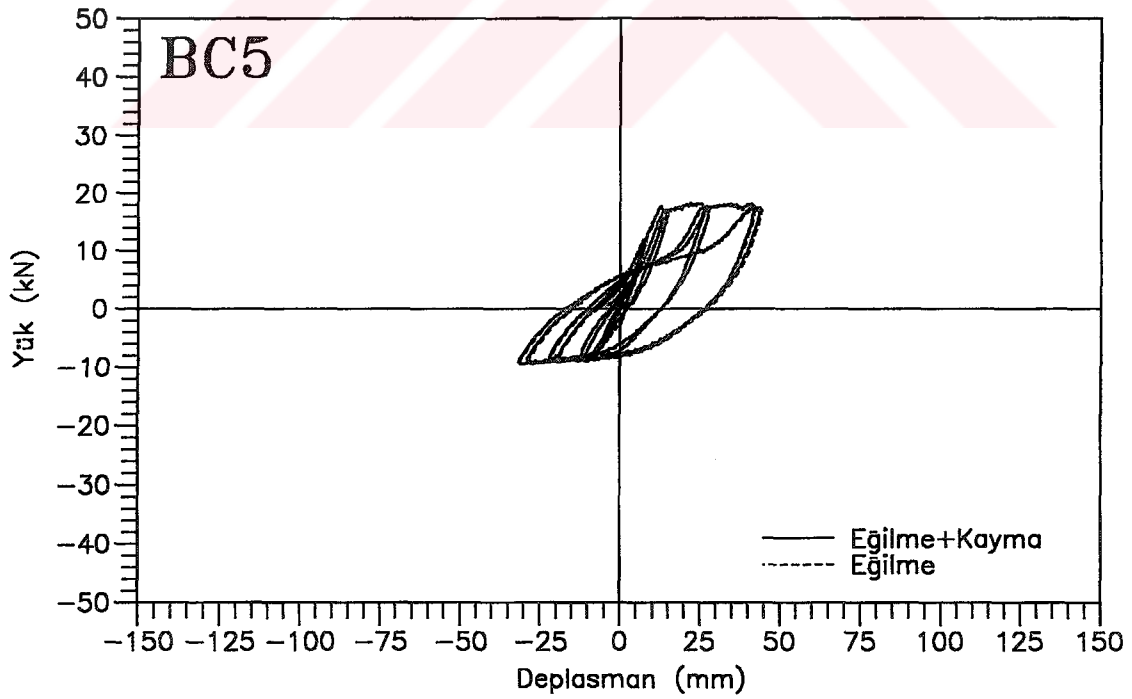


b) Deformasyon bileşenleri

Şekil 6.30. M5 Dency elemanın kayma deformasyonları

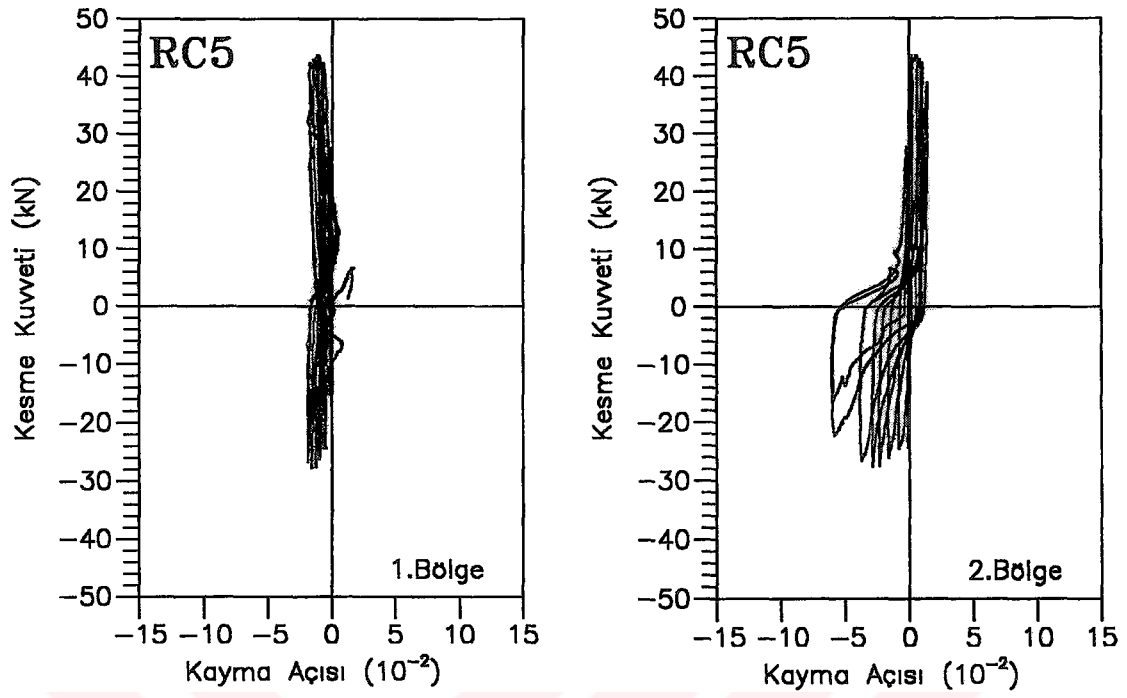


a) Birinci ve ikinci bölgedeki kayma açısı

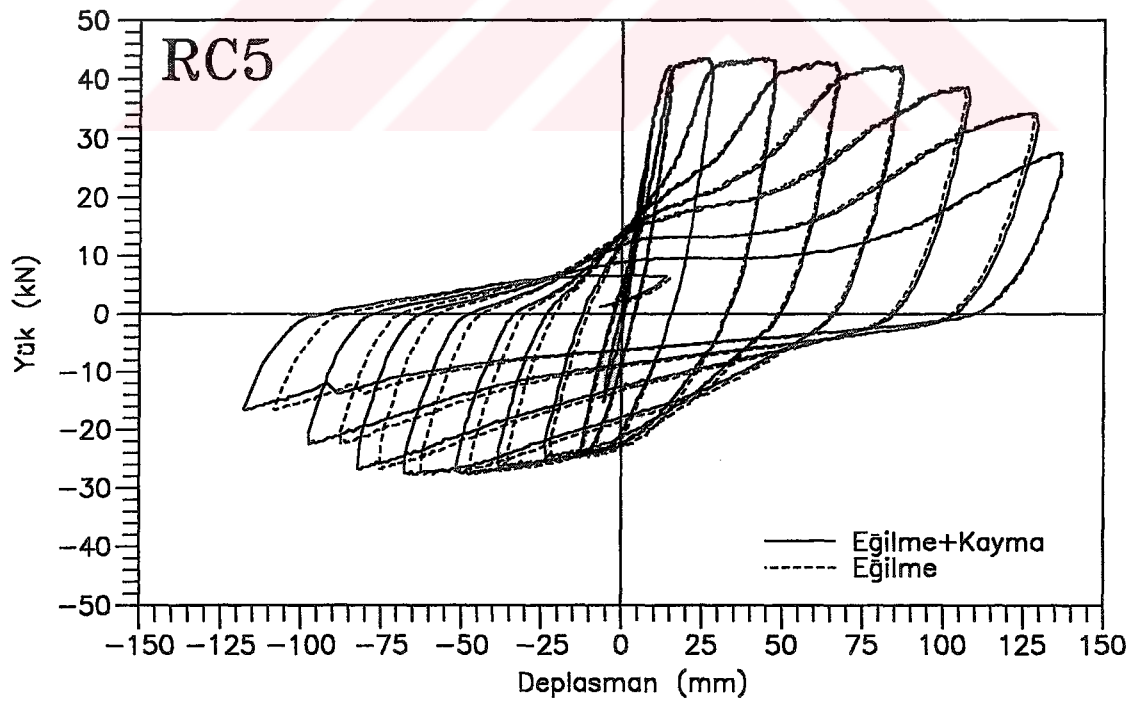


b) Deformasyon bileşenleri

Şekil 6.31. BC5 Deney elemanının kayma deformasyonları

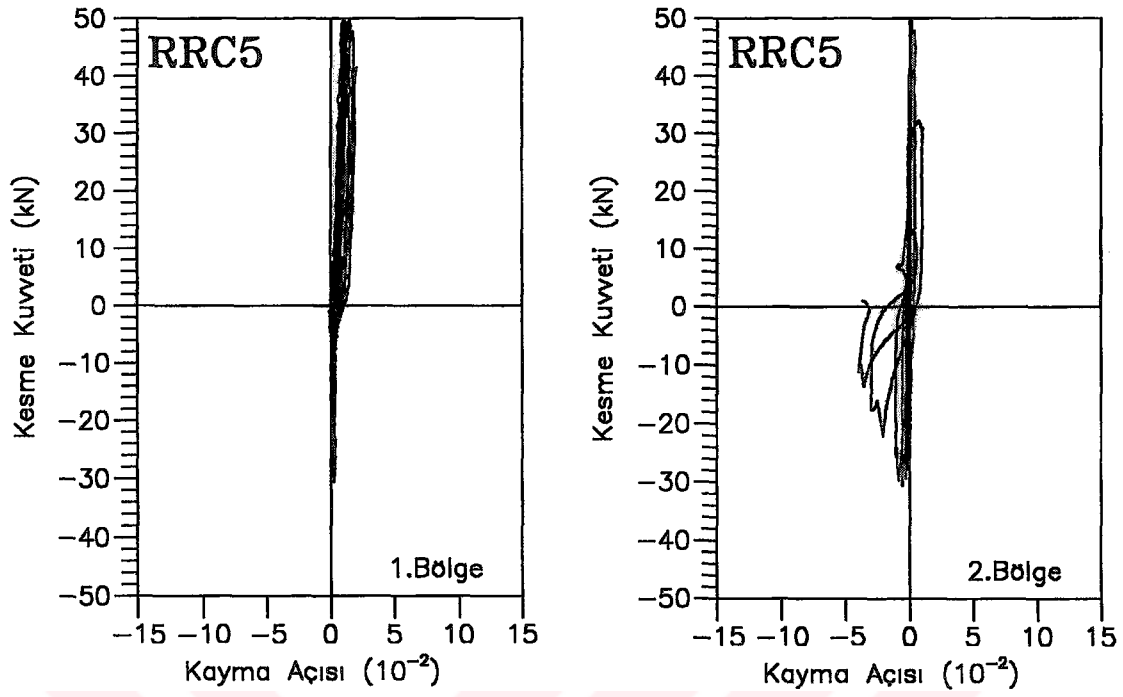


a) Birinci ve ikinci bölgedeki kayma açısı

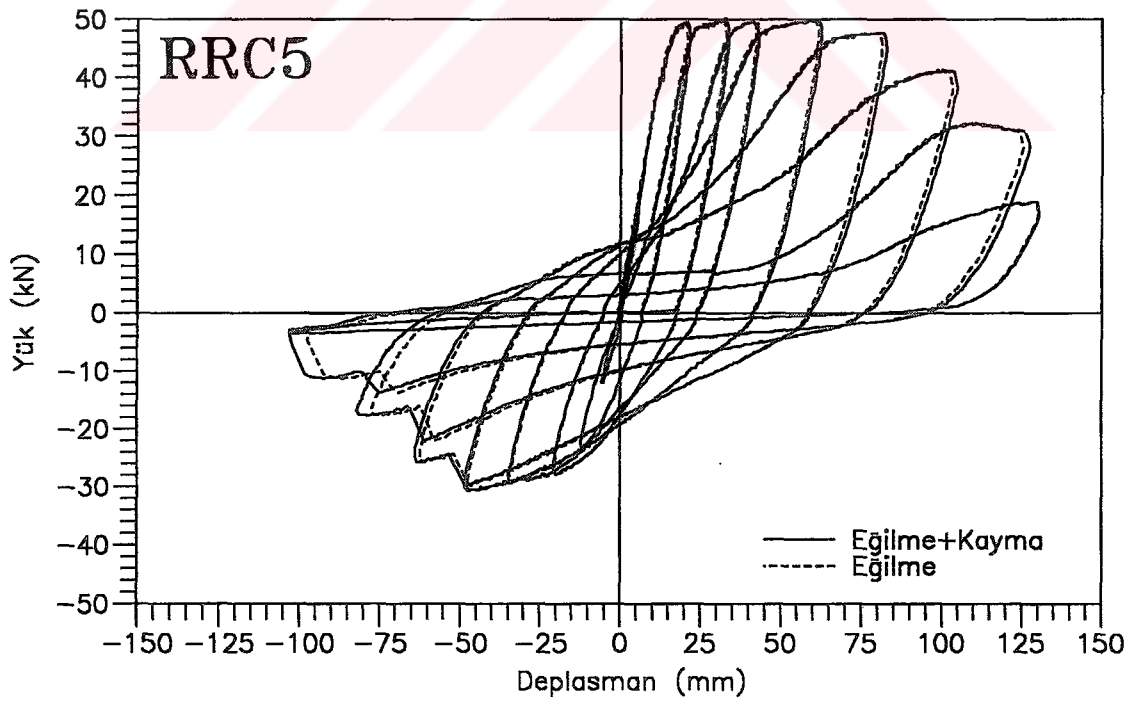


b) Deformasyon bileşenleri

Şekil 6.32. RC5 Deney elemanının kayma deformasyonları

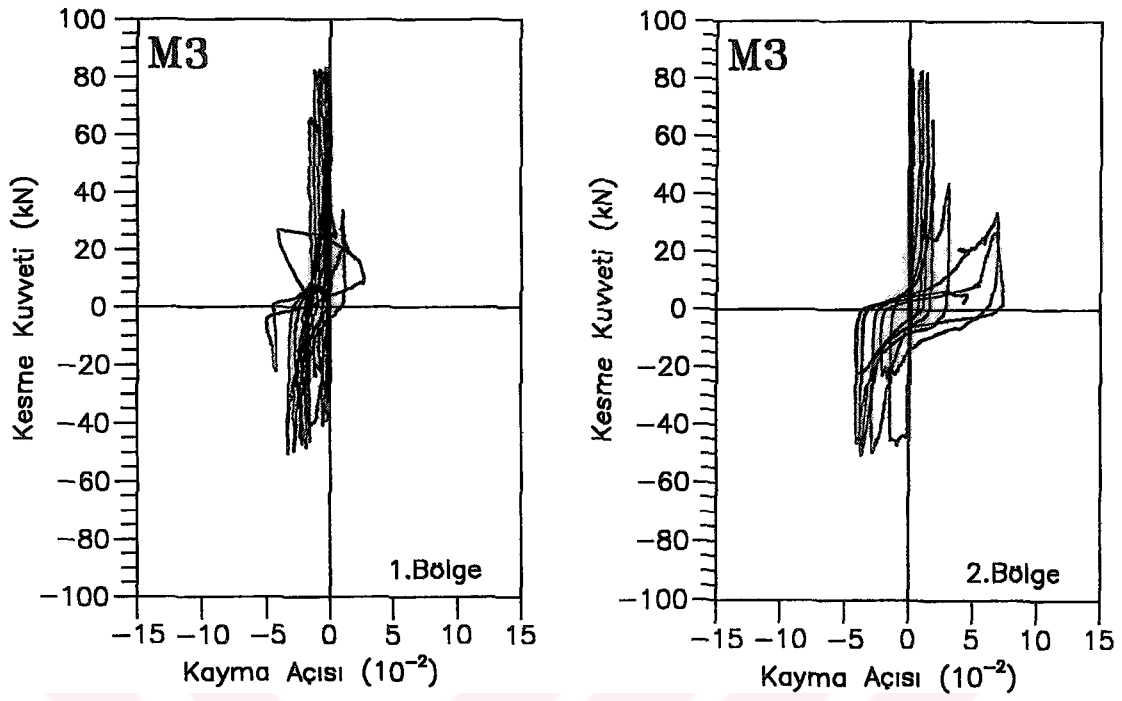


a) Birinci ve ikinci bölgedeki kayma açısı

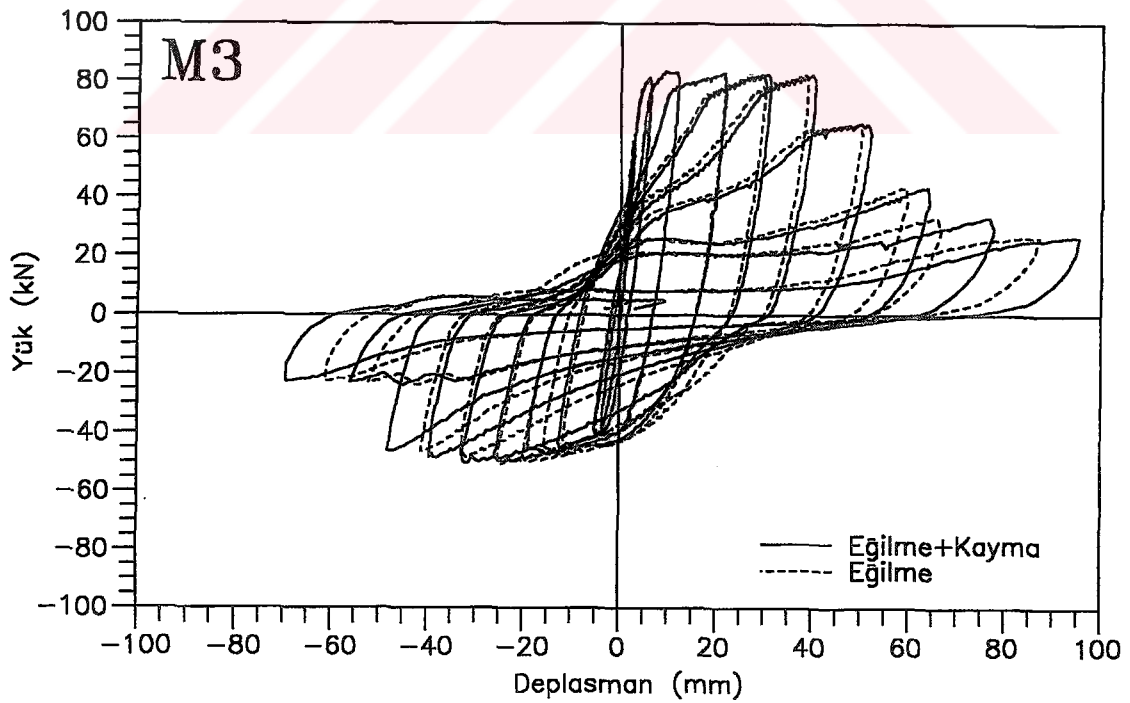


b) Deformasyon bileşenleri

Şekil 6.33. RRC5 Deney elemanının kayma deformasyonları

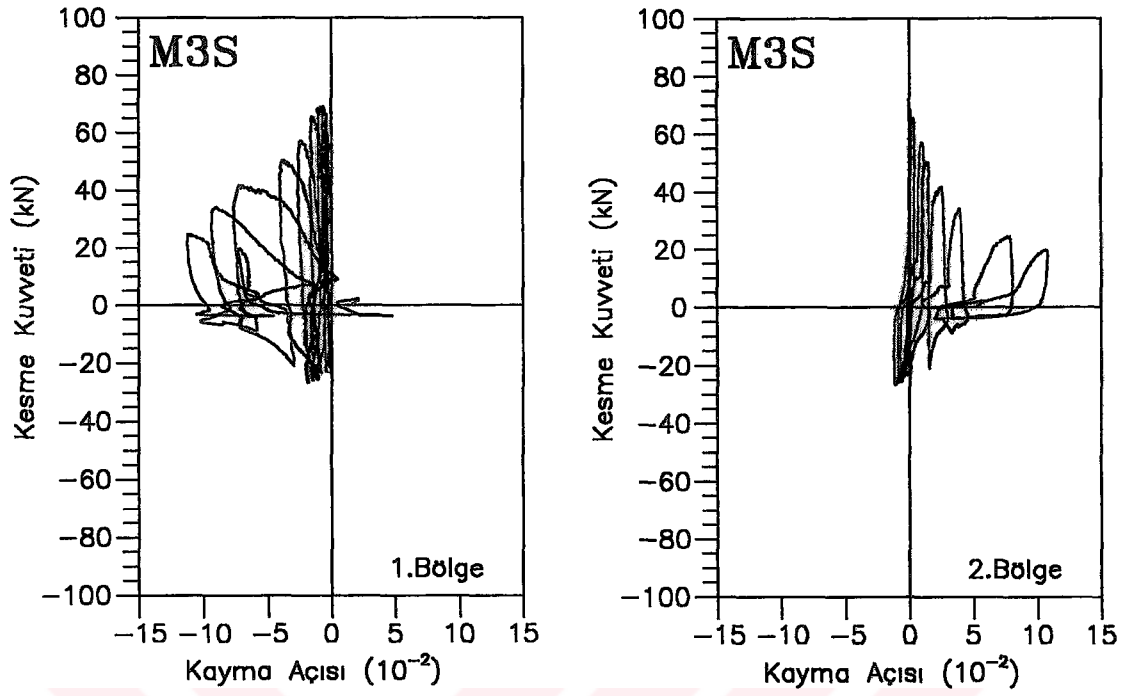


a) Birinci ve ikinci bölgedeki kayma açısı

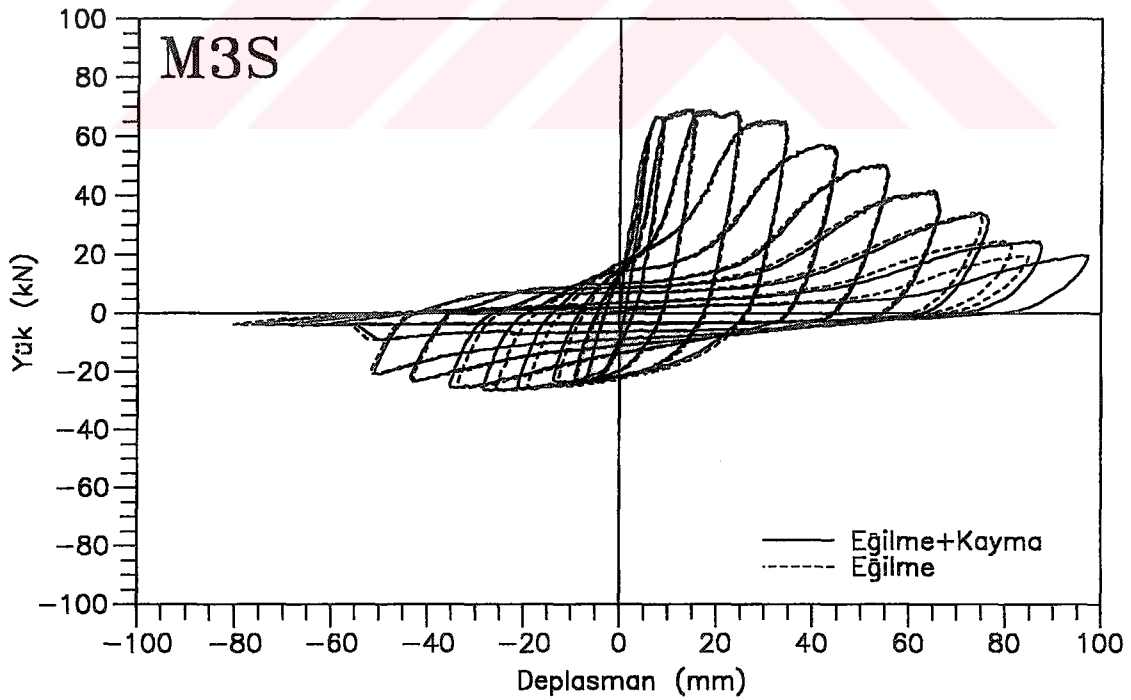


b) Deformasyon bileşenleri

Şekil 6.34. M3 Deney elemanının kayma deformasyonları

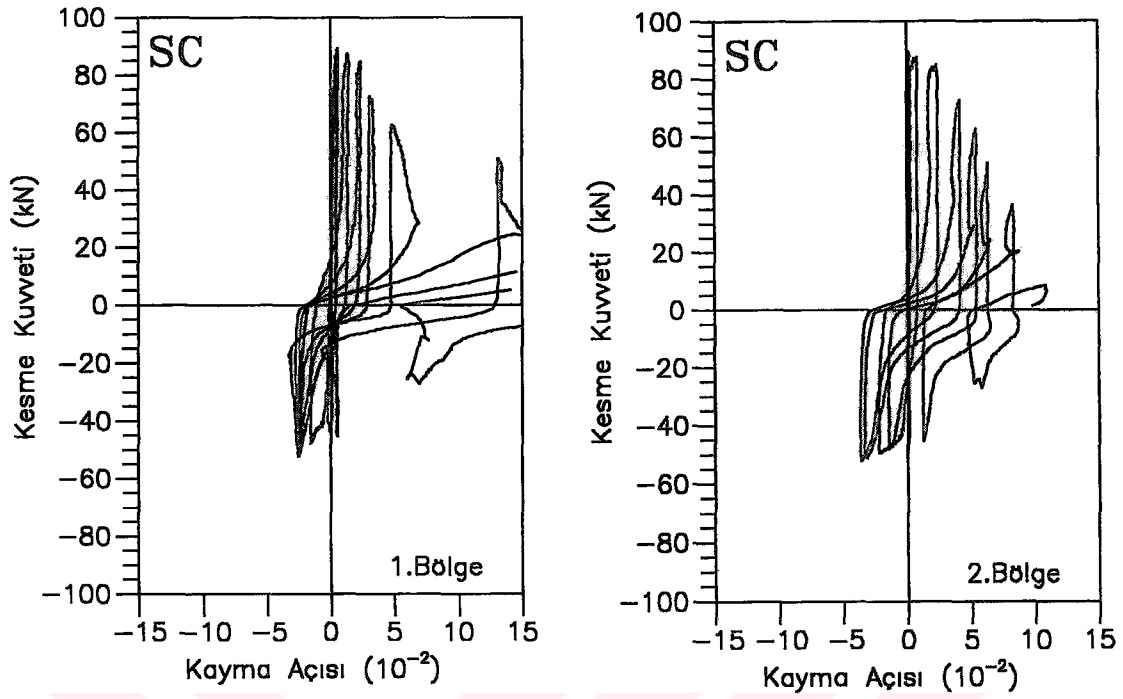


a) Birinci ve ikinci bölgedeki kayma açısı

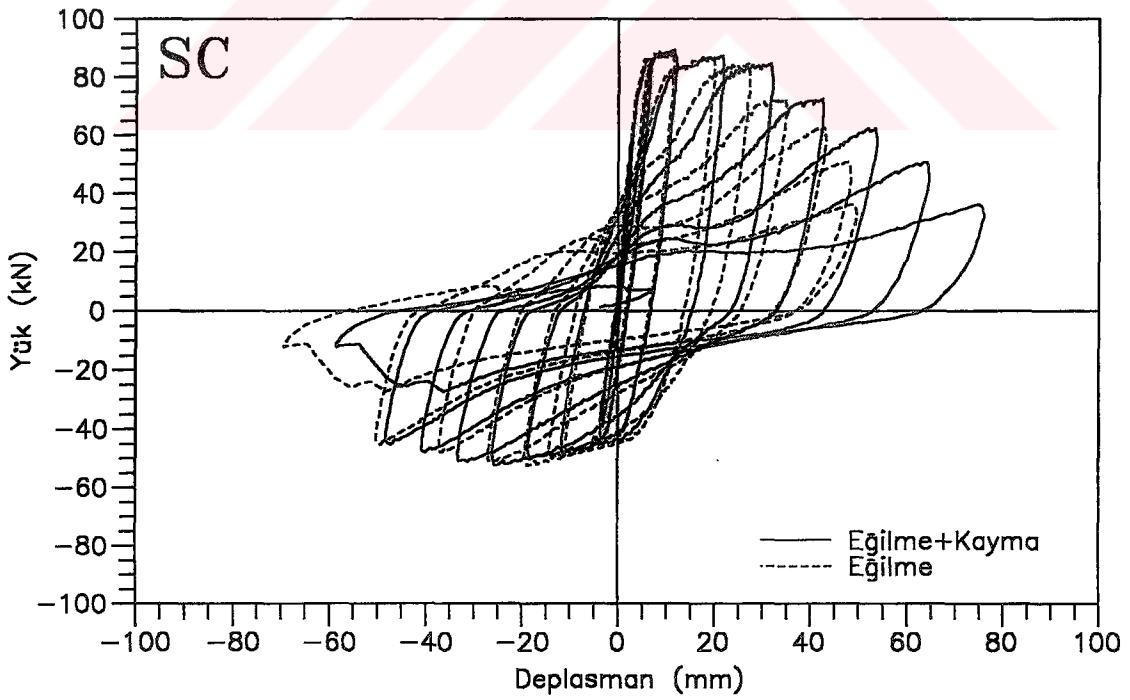


b) Deformasyon bileşenleri

Şekil 6.35. M3S Deney elemanının kayma deformasyonları

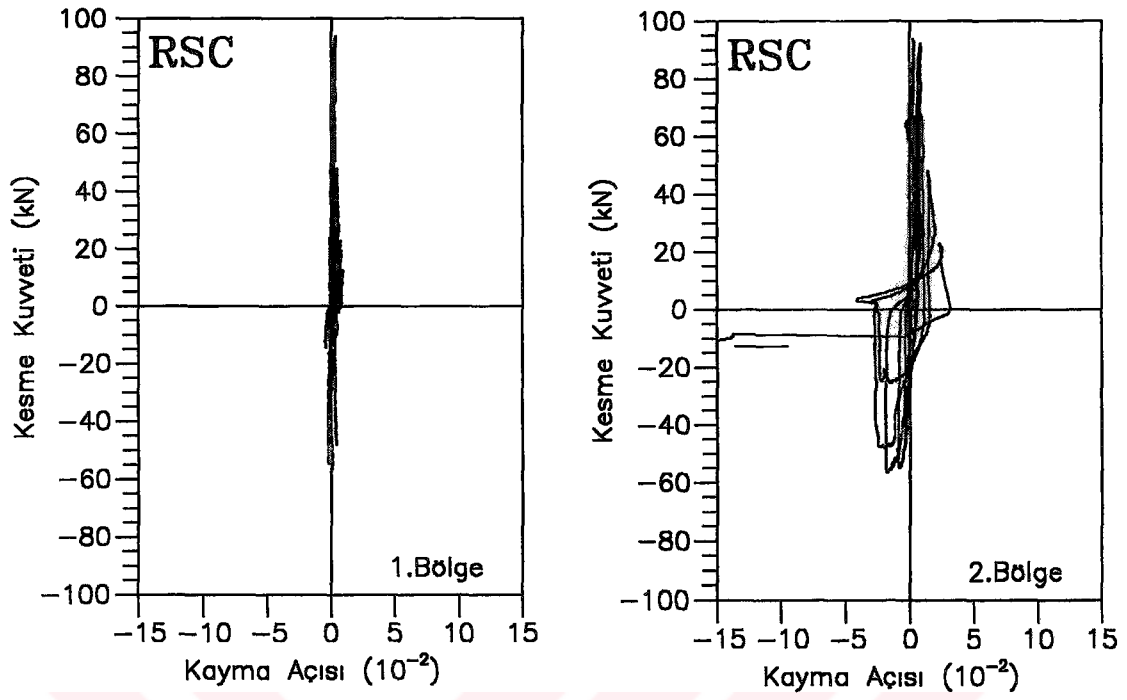


a) Birinci ve ikinci bölgedeki kayma açısı

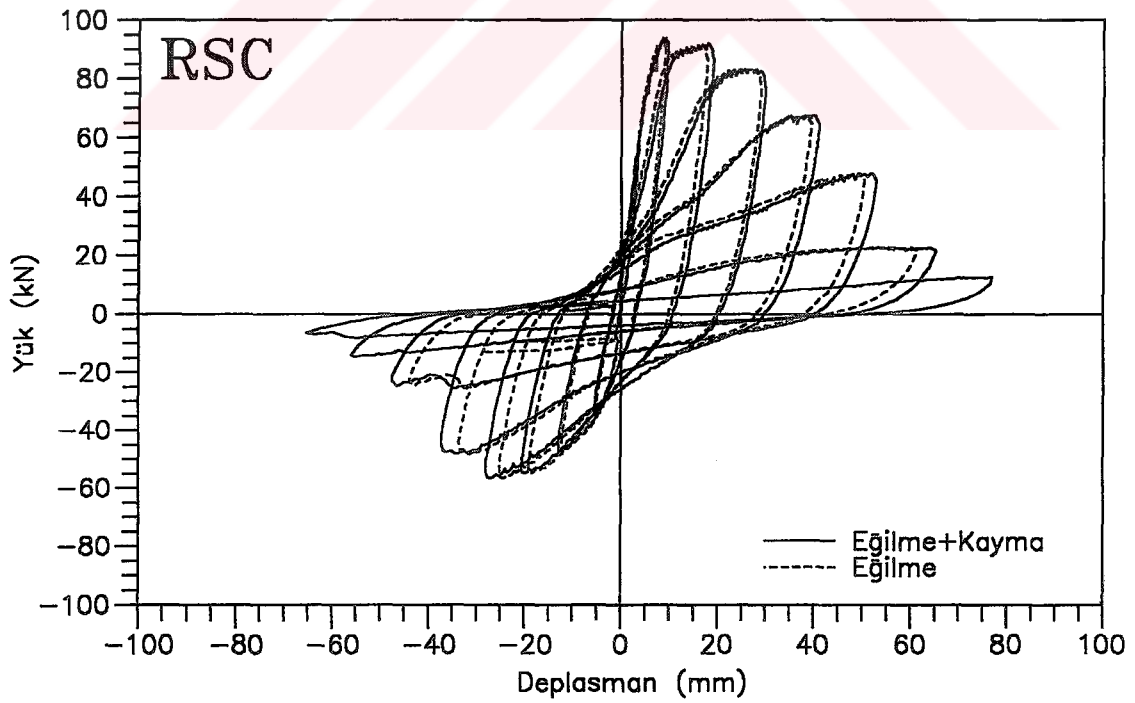


b) Deformasyon bileşenleri

Şekil 6.36. SC Deney elemanının kayma deformasyonları

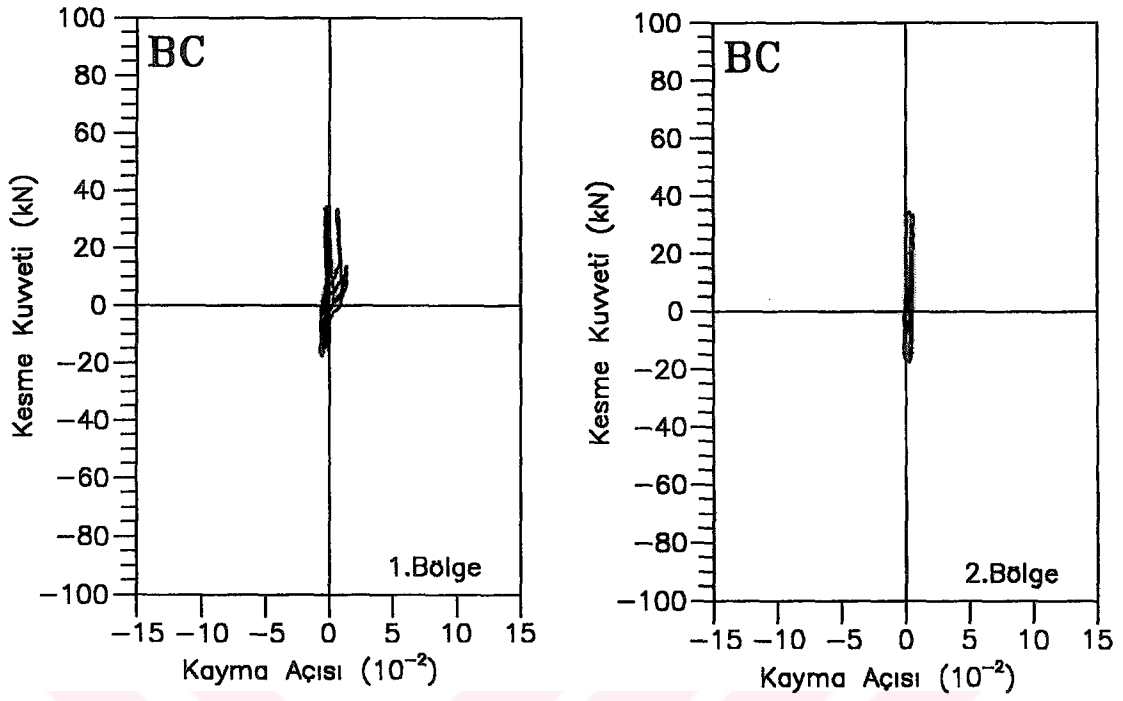


a) Birinci ve ikinci bölgedeki kayma açısı

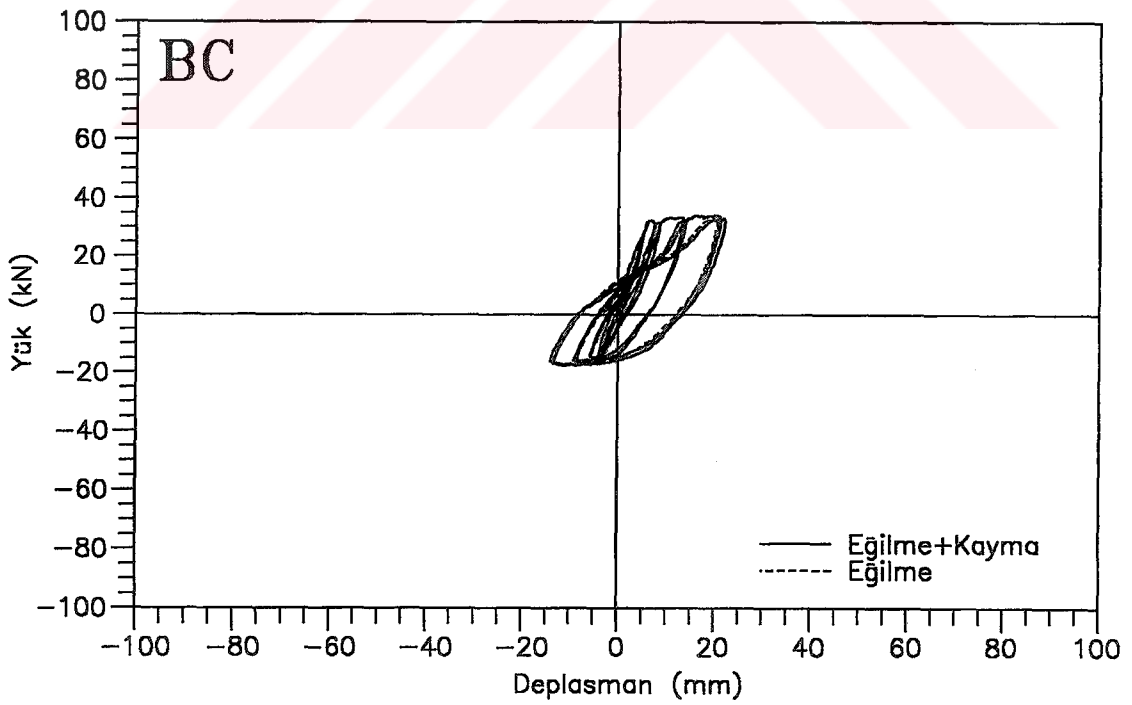


b) Deformasyon bileşenleri

Şekil 6.37. RSC Deney elemanının kayma deformasyonları

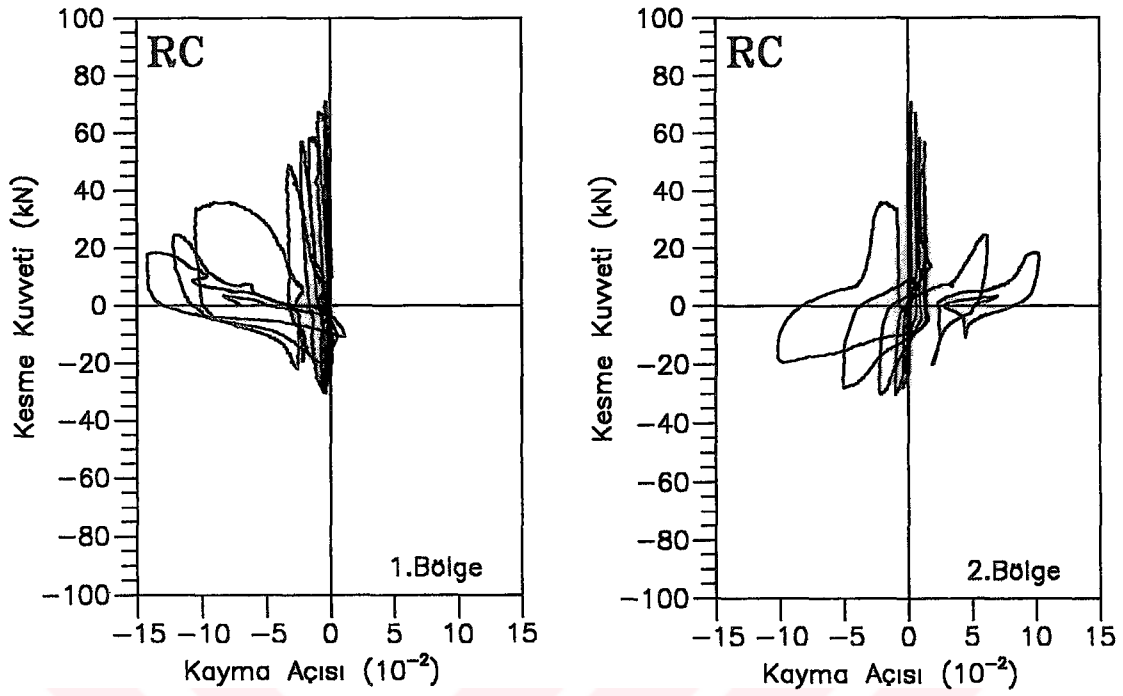


a) Birinci ve ikinci bölgedeki kayma açısı

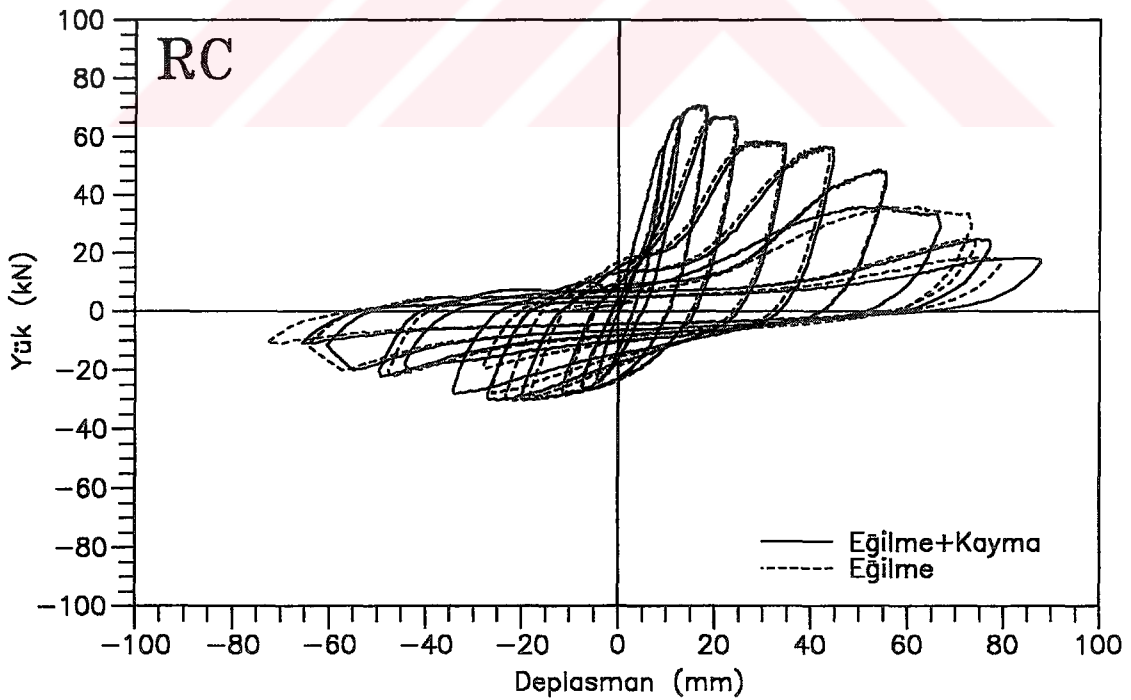


b) Deformasyon bileşenleri

Şekil 6.38. BC Deney elemanının kayma deformasyonları

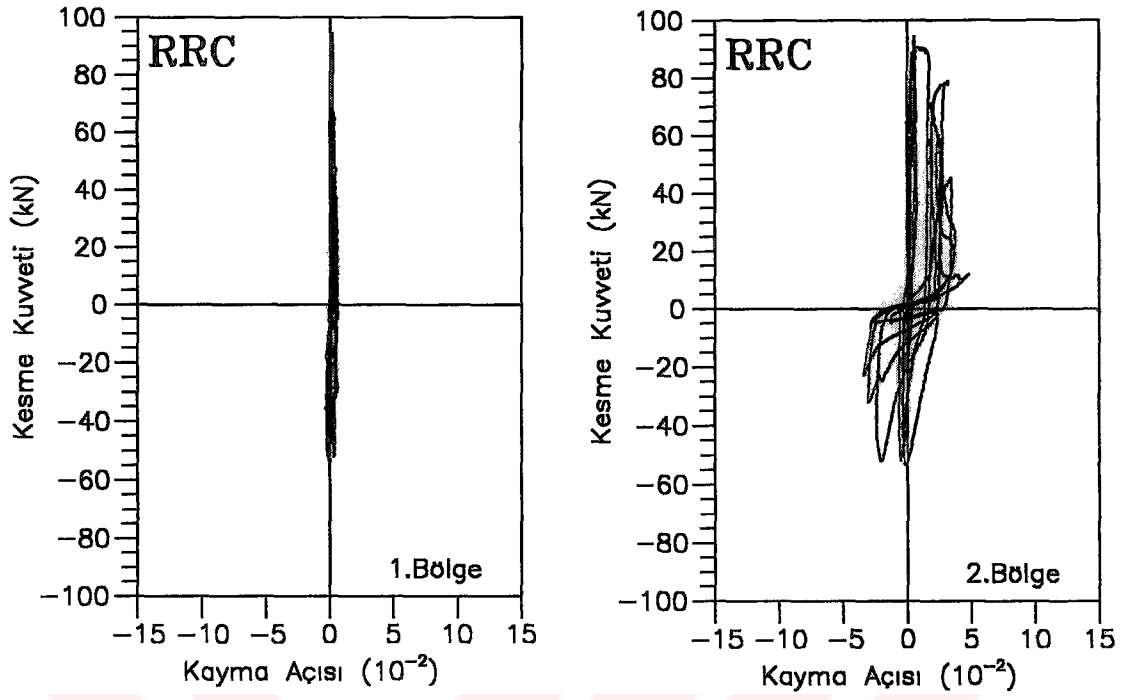


a) Birinci ve ikinci bölgedeki kayma açısı

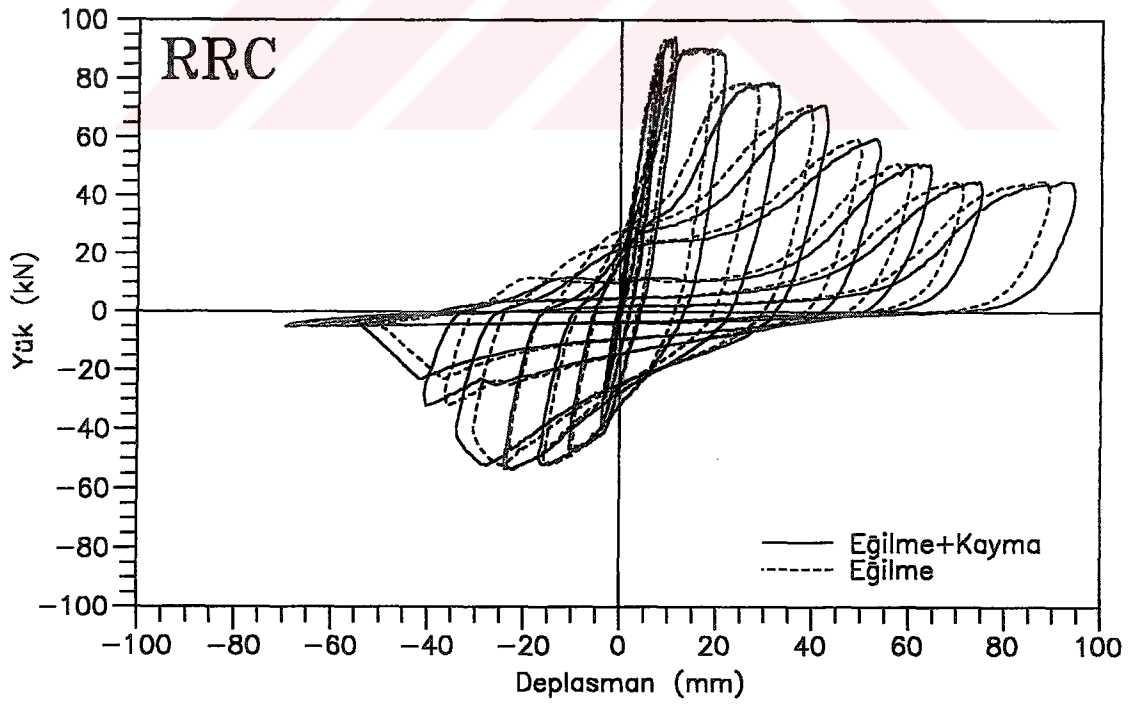


b) Deformasyon bileşenleri

Şekil 6.39. RC Deney elemanının kayma deformasyonları

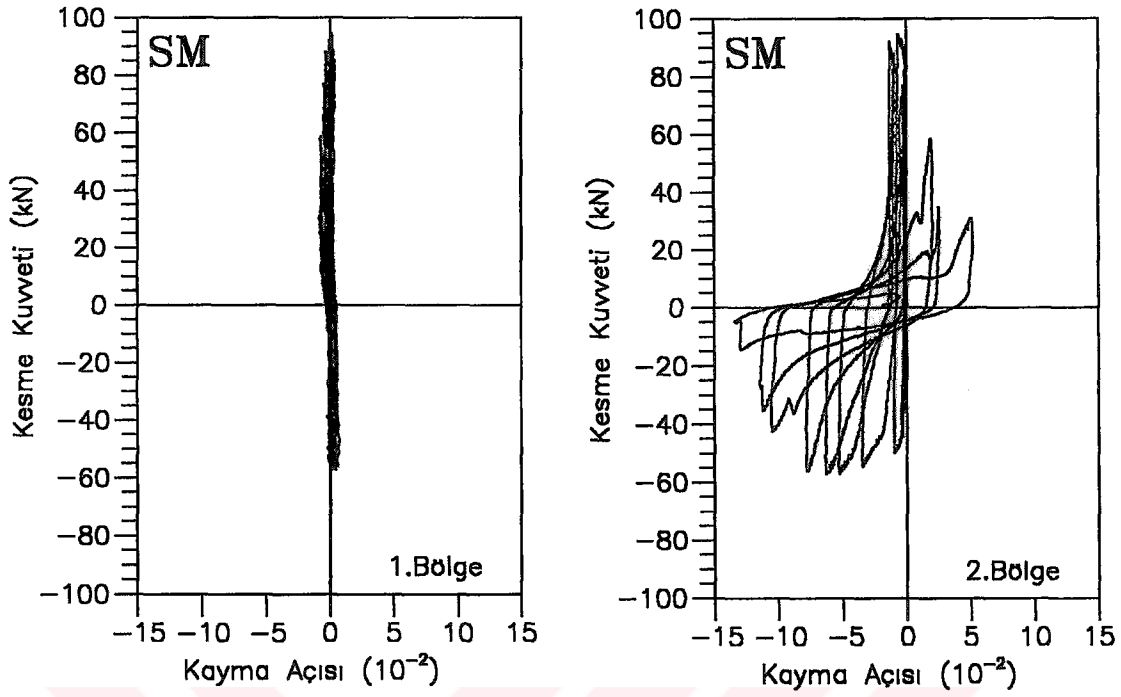


a) Birinci ve ikinci bölgedeki kayma açısı

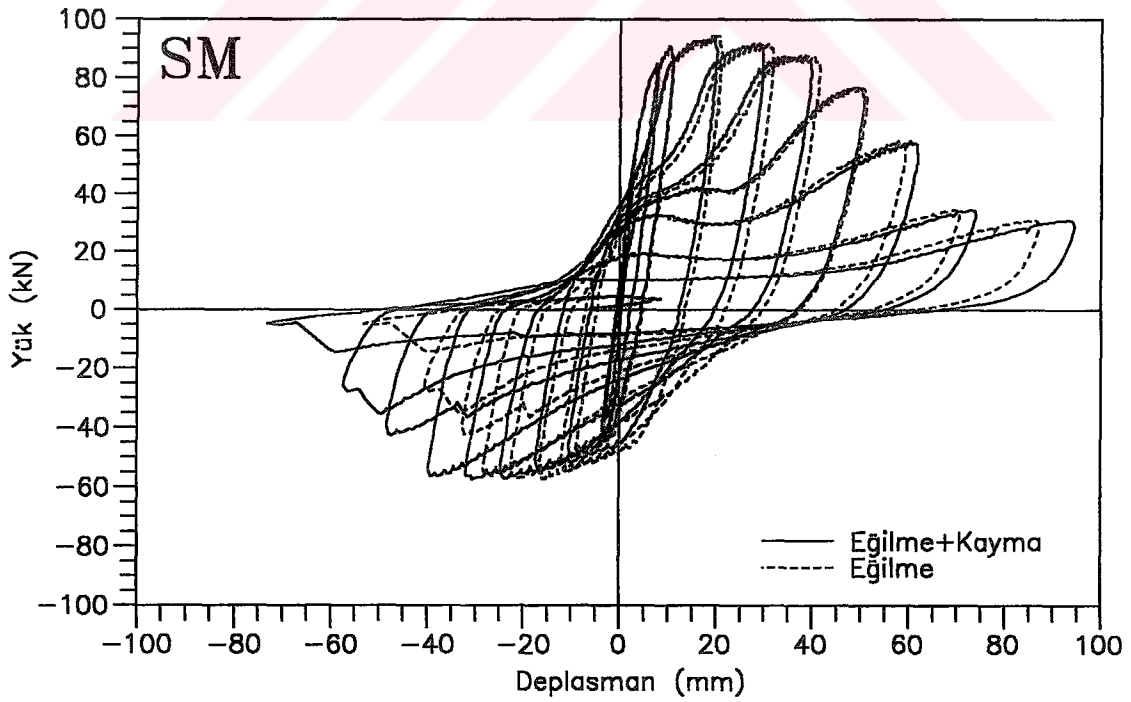


b) Deformasyon bileşenleri

Şekil 6.40. RRC Deney elemanının kayma deformasyonları

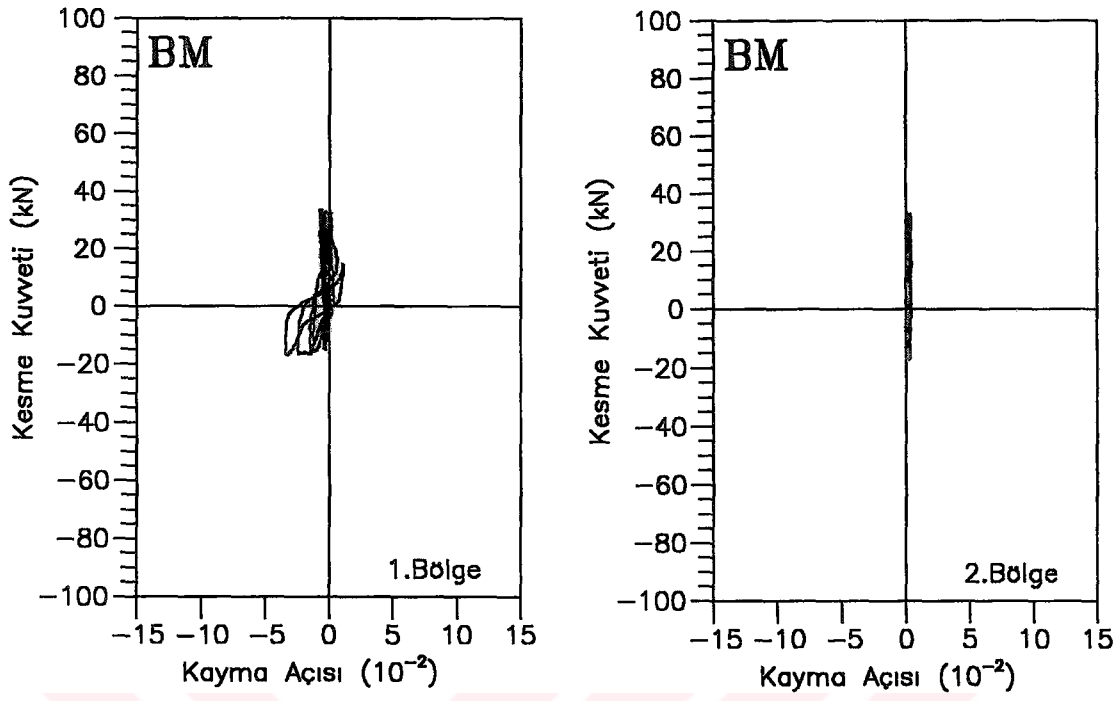


a) Birinci ve ikinci bölgedeki kayma açısı

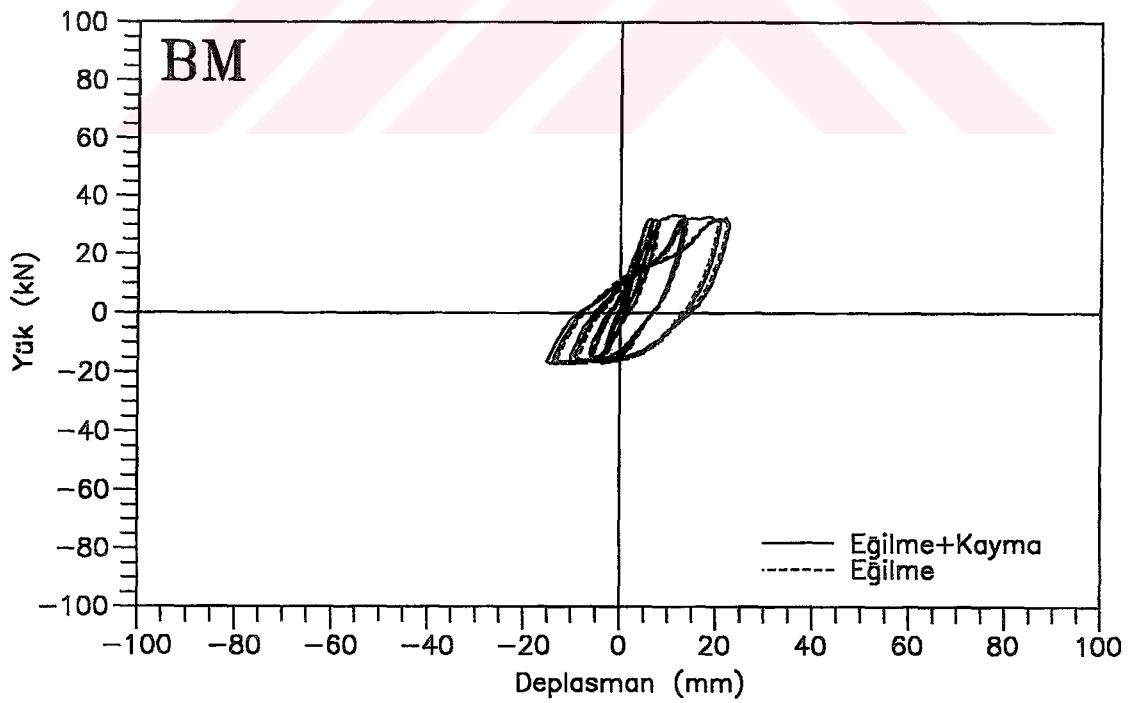


b) Deformasyon bileşenleri

Şekil 6.41. SM Deney elemanının kayma deformasyonları

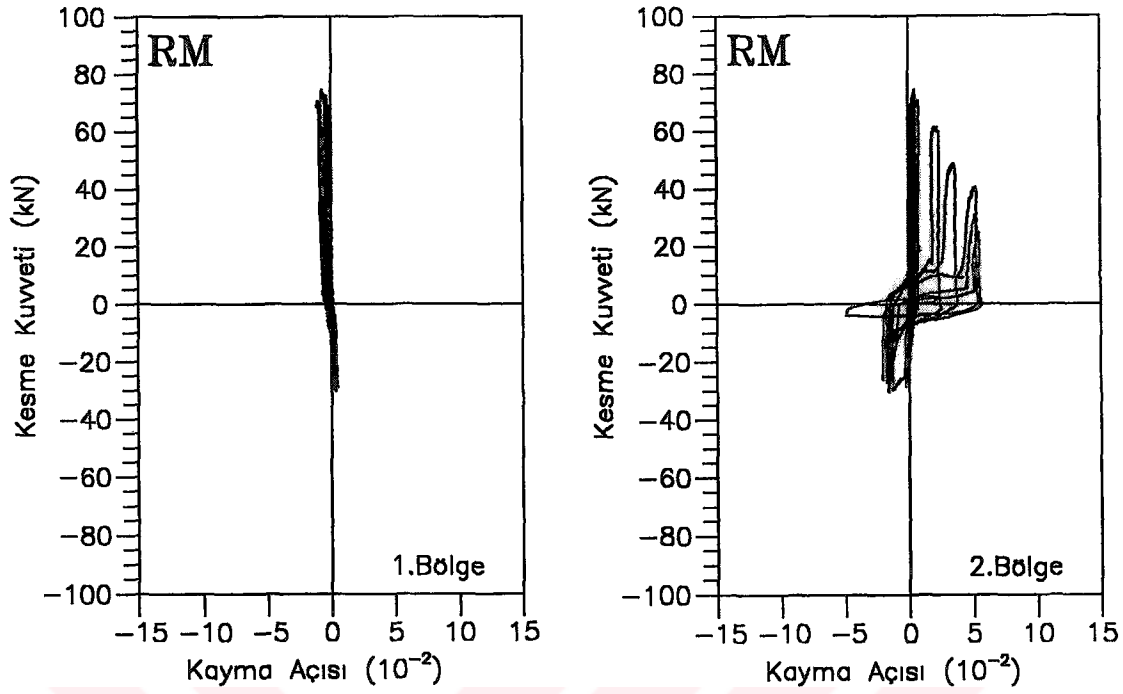


a) Birinci ve ikinci bölgedeki kayma açısı

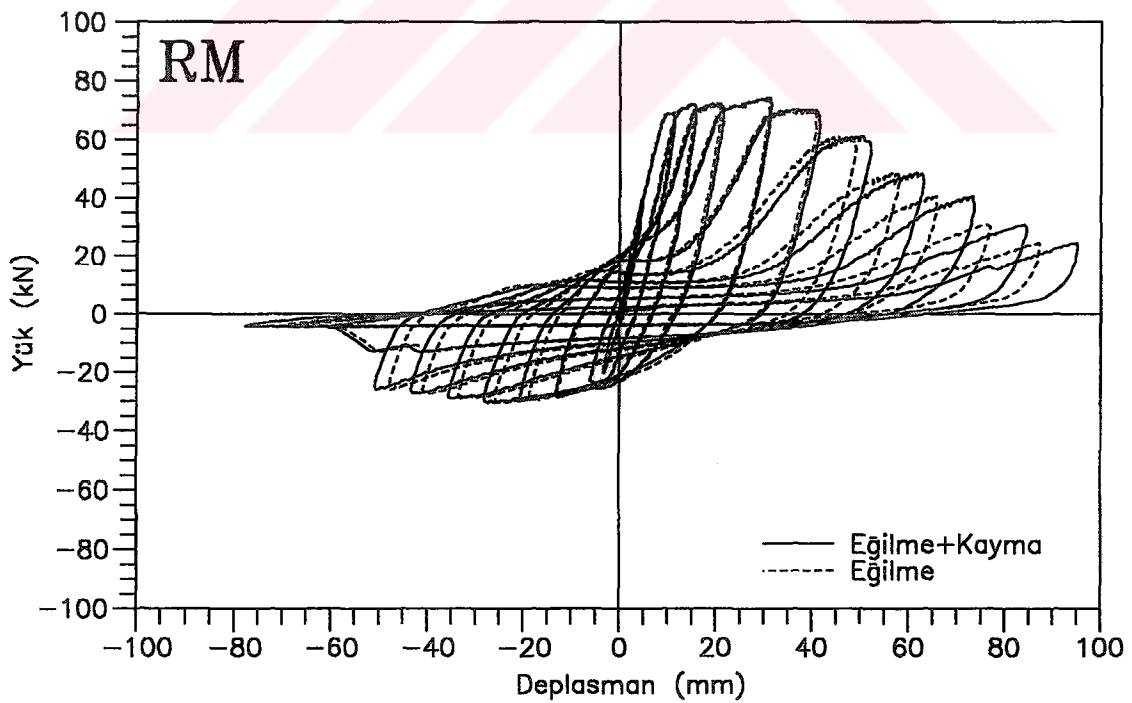


b) Deformasyon bileşenleri

Şekil 6.42. BM Deney elemanının kayma deformasyonları

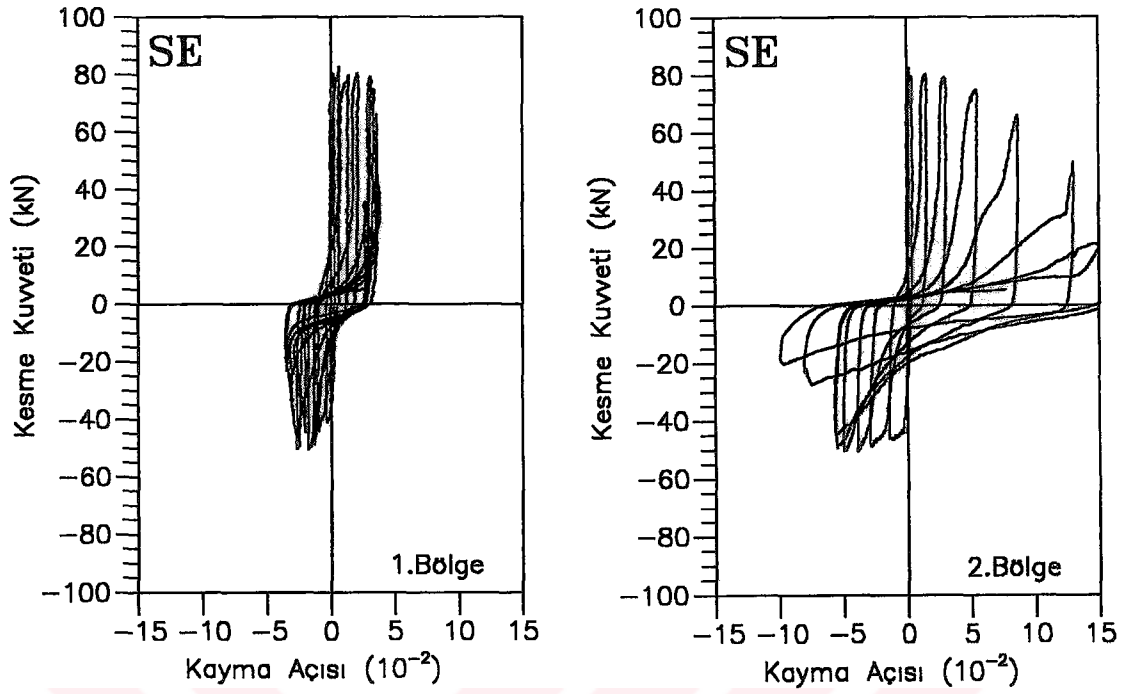


a) Birinci ve ikinci bölgedeki kayma açısı

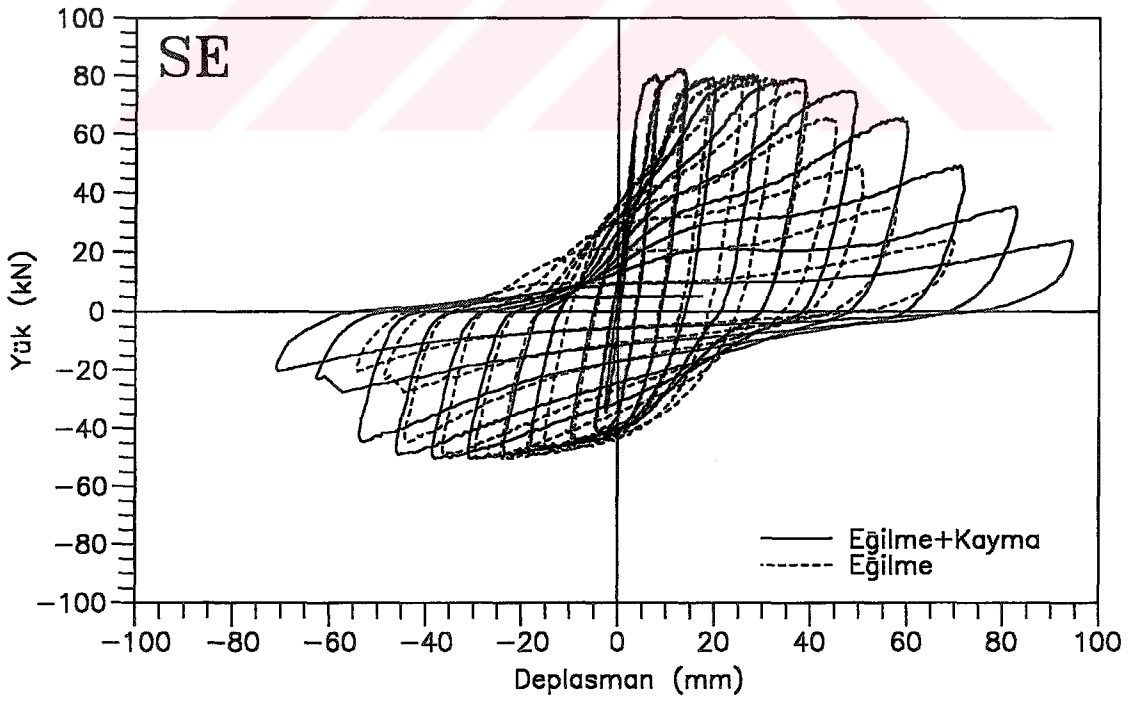


b) Deformasyon bileşenleri

Şekil 6.43. RM Deney elemanının kayma deformasyonları

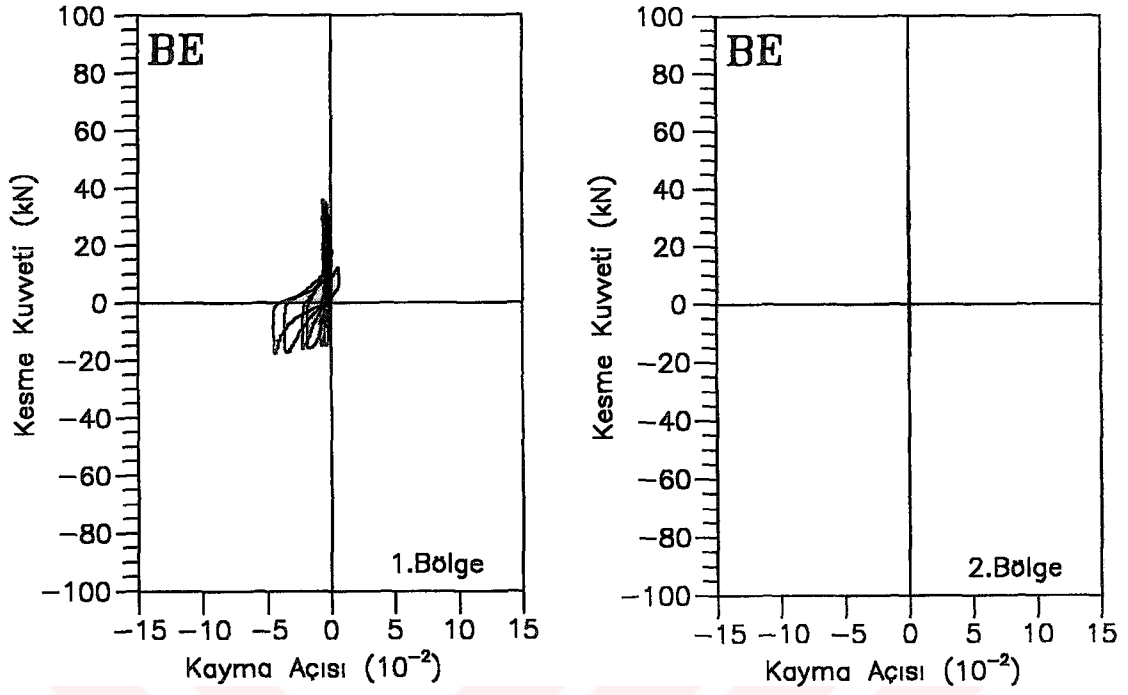


a) Birinci ve ikinci bölgedeki kayma açısı

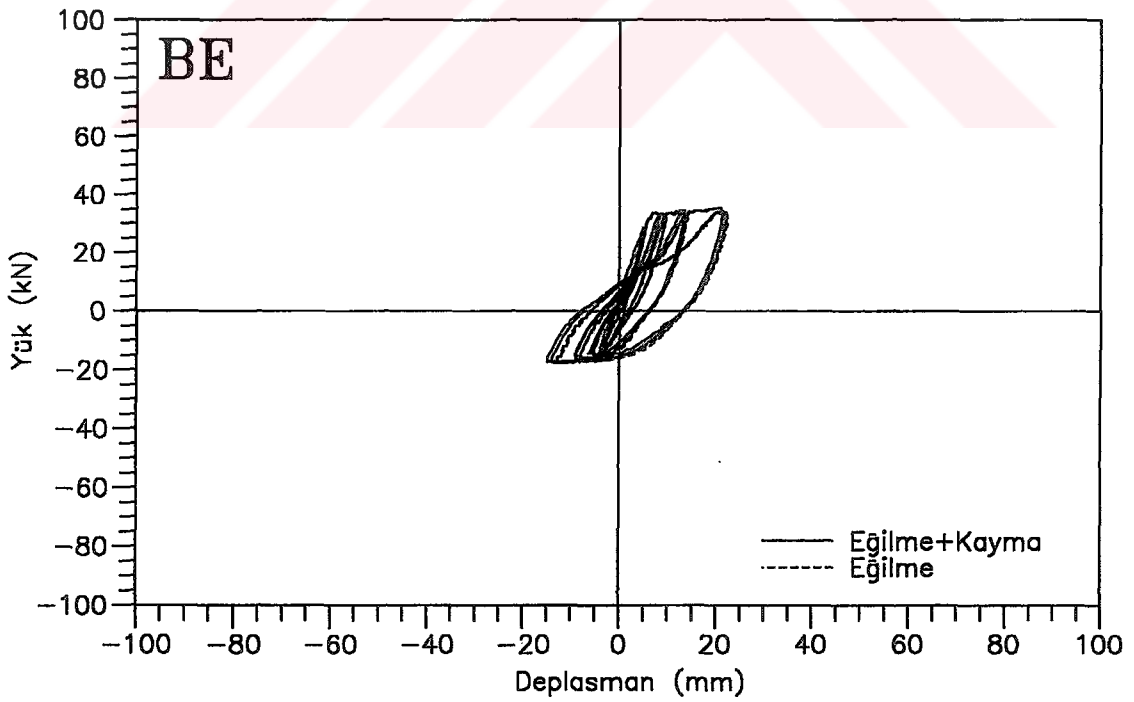


b) Deformasyon bileşenleri

Şekil 6.44. SE Deney elemanının kayma deformasyonları

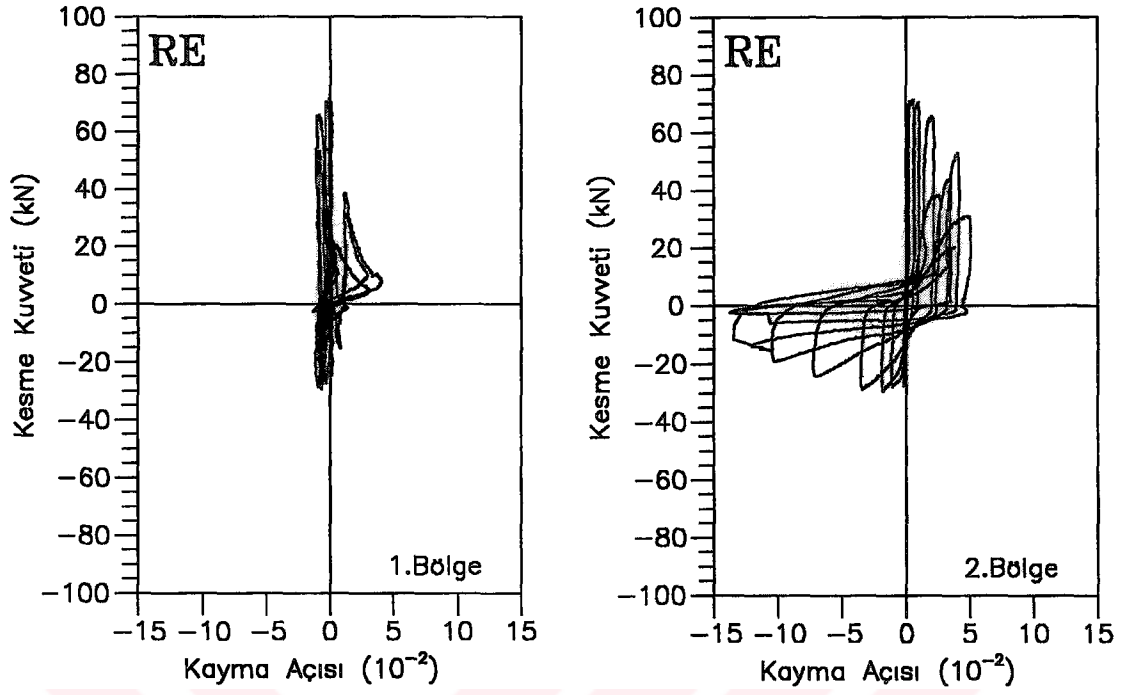


a) Birinci ve ikinci bölgedeki kayma açısı

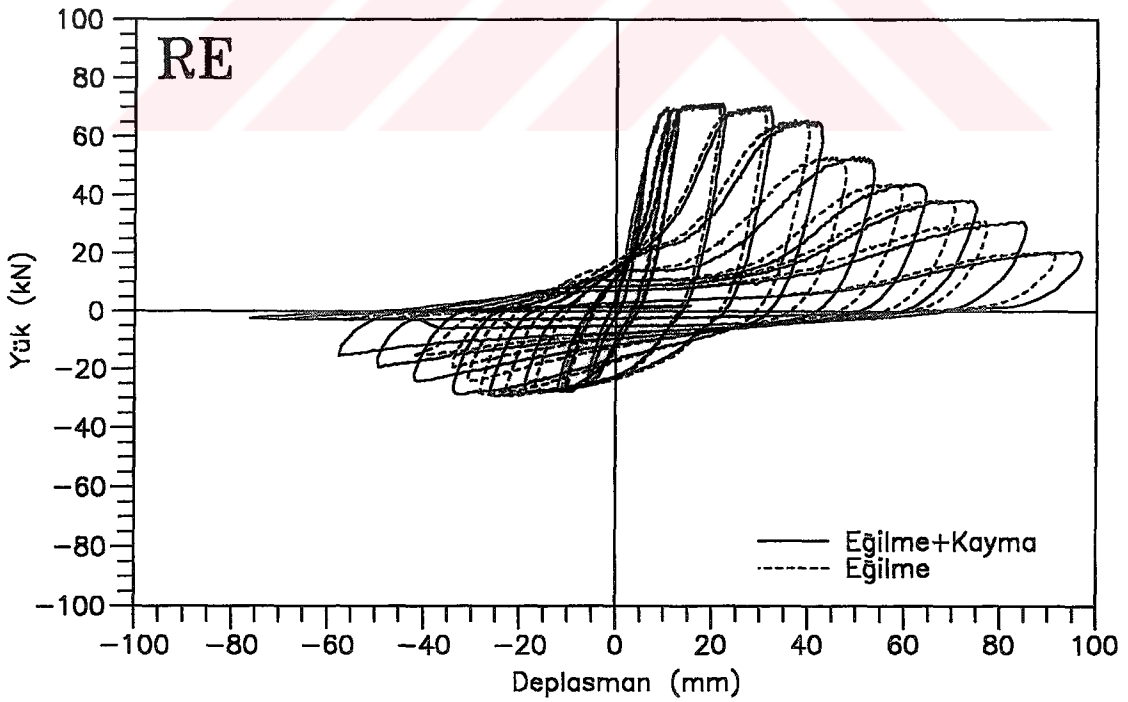


b) Deformasyon bileşenleri

Şekil 6.45. BE Deney elemanının kayma deformasyonları

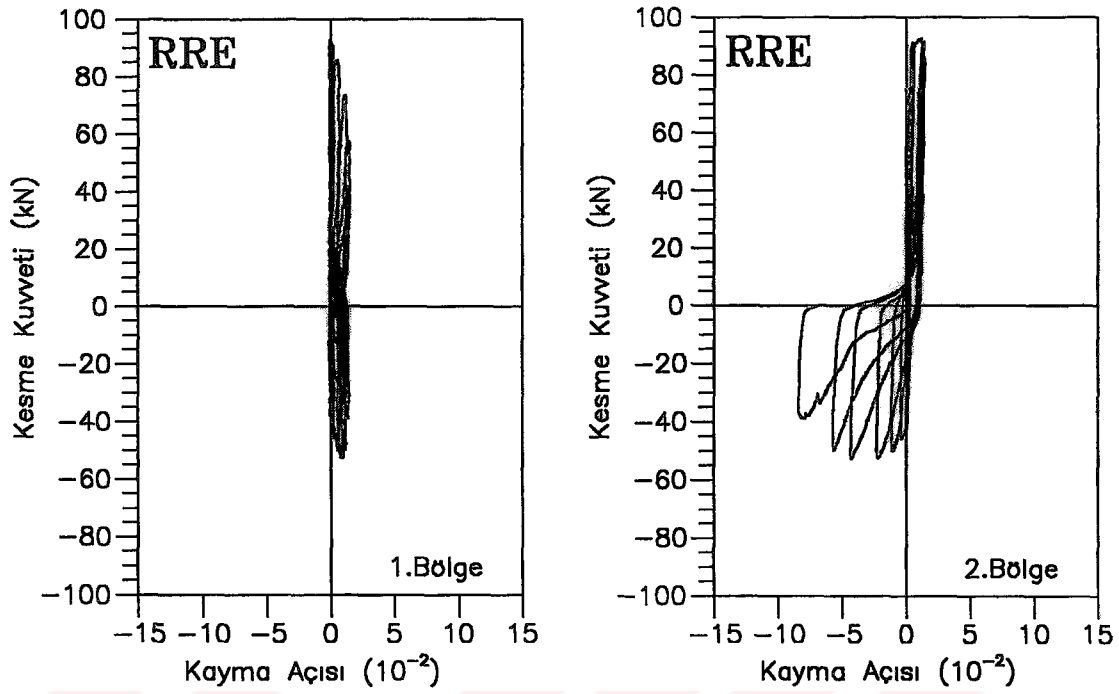


a) Birinci ve ikinci bölgedeki kayma açısı

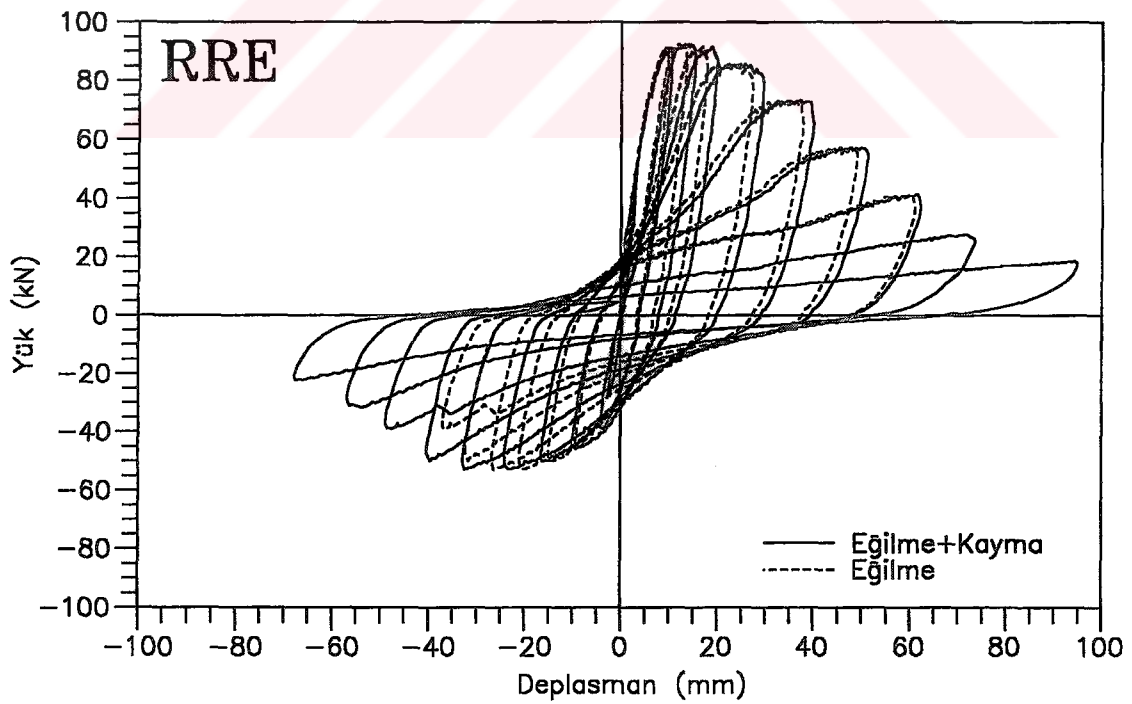


b) Deformasyon bileşenleri

Şekil 6.46. RE Deney elemanının kayma deformasyonları



a) Birinci ve ikinci bölgedeki kayma açısı



b) Deformasyon bileşenleri

Şekil 6.47. RRE Deney elemanının kayma deformasyonları

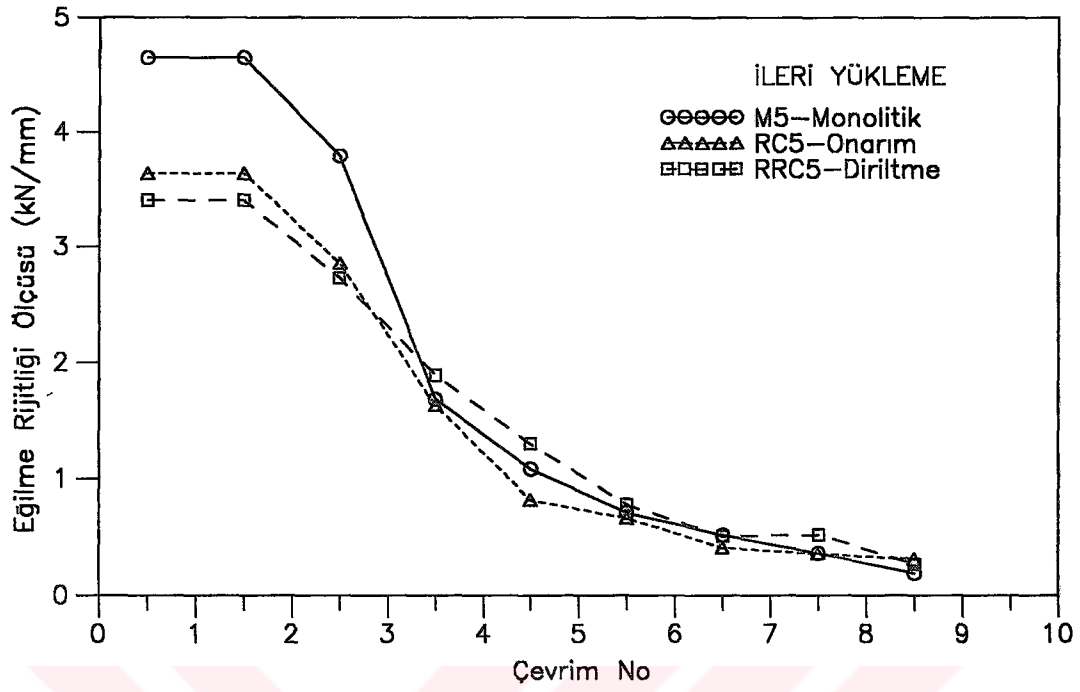
6.4. Deney Elemanlarının Eğilme Rijitliği

Deney elemanlarının eğilme rijitlikleri üzerine karşılaştırma ve yorumlarda, bölüm 4.5.2.4’de belirtilen nedenlerden dolayı, moment-eğrilik grafiklerinin eğiminden bulunan eğilme rijitlikleri kullanılmamıştır. Bunun yerine karşılaştırma ve yorumlar, eğilme rijitliğinin bir ölçüsü olan yük-deplasman grafiklerinin eğimleri üzerinden yapılmıştır. Rijitlikler kayma deformasyonlarının önemli olmadığı ilk çevrimlerde doğrudan yük-deplasman ilişkisinin doğrusal olan kısmının eğiminden bulunmuştur. Kayma deformasyonlarının belirginleştiği çevrimlerde ise eğilme rijitliği ölçüsü, rijit kayma deformasyonlarının bitip elemanın tekrar yük almaya başladığı doğrusal parçanın eğiminden bulunmuştur. Hesaplanmış olan eğilme rijitliği ölçülerinin, çevrim sayısına göre değişimleri grafik olarak belirlenmiş ve hem ileri hem de geri çerimler için Şekil 6.48-6.56’da sunulmuştur. Rijitlik hesabının daha ayrıntılı ilkeleri için Bölüm 4.5.2.4’e bakılmalıdır. Beklendiği gibi kesme açıklığı daha büyük olan uzun elemanların kesme açıklığı küçük olan kısa elemanlara göre rijitlikleri daha az olmuştur. Aynı zamanda elemanların zayıf yöndeki rijitlikleri de güçlü yöndeki rijitliklere göre daha az olmuştur. Genel olarak güçlendirilmiş elemanlar, onarılmışlardan, onarılmışlar ise diriltilmişlerden daha rijit davranmıştır. Elemanların çoğundaki ilk rijitlikler monolitiğe göre daha az olmuştur. Artan deformasyonlarla birlikte onarım, güçlendirme veya diriltme görmüş elemanların eğilme rijitlikleri ile monolitik eleman rijitlikleri arasındaki farklar gittikçe azalmıştır. Genelde güçlendirilmiş elemanlar onarılmışlara göre daha küçük deformasyonlardan sonra monolitik eleman rijitliklerine ulaşmışlardır. Güçlendirilmiş ve diriltilmiş elemanların çoğunda rijitlikte düşme olmaksızın monolitik eleman davranışına ulaşılmıştır. Onarılmış elemanlarda ise monolitik eleman davranışına ulaşılıncaya kadar rijitlikte azalmalar olmuştur. Diriltilmiş elemanların ilk anlardaki davranışlarının güçlendirilmiş elemanlara benzemesine bu elemanlarda değiştirilmiş olan beton hacminin onarılmışlara göre çok daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

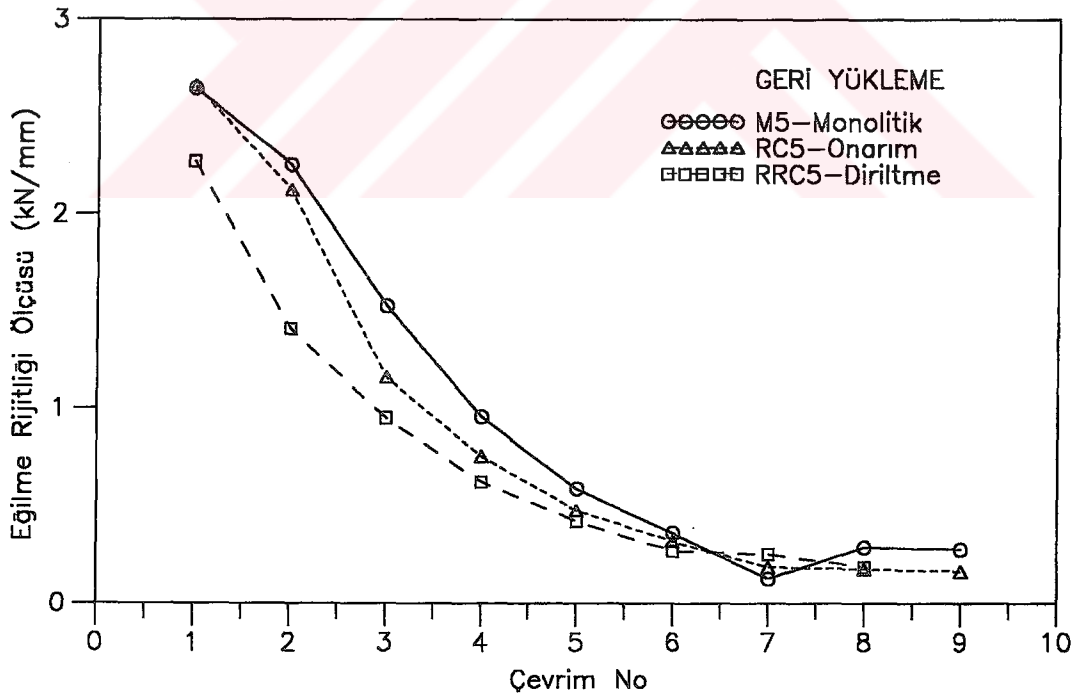
Onarılmış eleman RC5 ile diriltilmiş eleman RRC5, ileri yöndeki ilk çevrimlerde monolitiğe göre daha az rijitlik göstermiştir. RRC5'in başlangıç rijitliği RC5'den biraz daha düşük olmuştur. Ancak çevrim sayısı arttıkça bu elemanların rijitlikleri arasındaki fark da azalmış ve monolitik eleman rijitliğine yaklaşmışlardır (Şekil 6.48(a)). Geri çevrimlerde ise onarılmış eleman RC5 ile monolitik eleman rijitliği ilk birkaç çevrimde yaklaşık aynı olmuştur. Ancak artan deformasyonlarla birlikte onarılmış eleman rijitliğinde belirgin bir düşme olmuştur. Diriltilmiş eleman RRC5'in geri yöndeki rijitliği ise baştan beri hem monolitiğe hem de onarılmış elemana göre daha düşük olmuştur. Geri yöndeki eleman rijitlikleri de artan deformasyonlarla birlikte monolitik eleman rijitliğine yaklaşmıştır. Ancak, büyük deformasyonlardan sonra monolitik eleman rijitliğine ulaşılmıştır (Şekil 6.48(b)).

Güçlendirilmiş eleman SC'nin eğilme rijitliği, ileri yöndeki ilk çevrimlerde monolitiğe göre çok az daha düşük olmuştur. Ancak daha sonra az da olsa monolitikten daha büyük rijitliklere ulaşılmıştır. Diriltilmiş eleman RSC ileri yöndeki ilk çevrimlerde hem monolitikten hem de güçlendirilmiş elemandan daha az rijitlik göstermiştir. Güçlendirilmiş eleman ile diriltilmiş eleman ileri yöndeki ilk bir kaç çevrimden sonra rijitlik açısından hızla monolitik eleman davranışına yaklaşmışlardır (Şekil 6.49(a)). Güçlendirilmiş eleman SC nin geri yöndeki rijitlikleri deneyin başından sonuna kadar monolitik ile yaklaşık aynı olmuştur. Diriltilmiş eleman RSC ise baştan beri monolitiğe göre daha az bir rijitlik göstermiştir (Şekil 6.49(b)).

Bir yüzünden onarılmış eleman RC'nin katman eklenmeyen tarafındaki onarım betonunun yeterince sağlam yapılamaması ve ana çatlaklar içine beton girmemesinden dolayı henüz ilk çevrimlerde basınç bölgesindeki betonda erkenden ezilme olmuştur. Buna bağlı olarak bu elemanın ileri yöndeki eğilme rijitliği ilk çevrimlerde monolitiğe göre çok daha az olmuştur. Ancak artan deformasyonlarla birlikte çatlaklar kapanmış ve rijitlikte hızlı bir yükselme

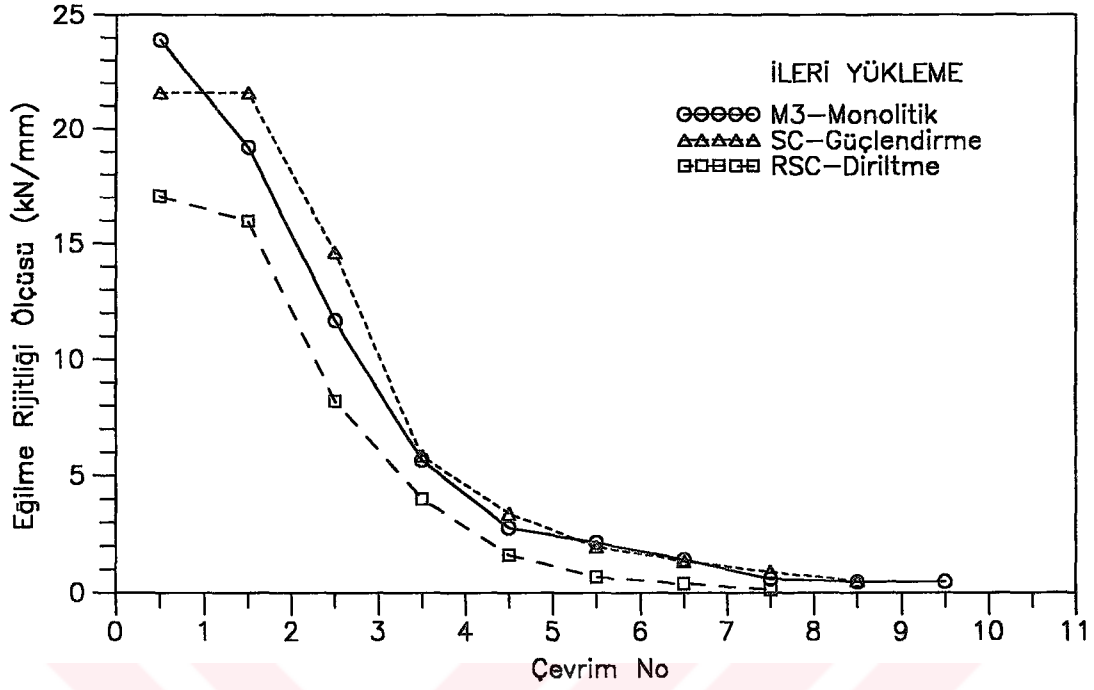


a) Güçlü yöndeki rijitlik değişimi

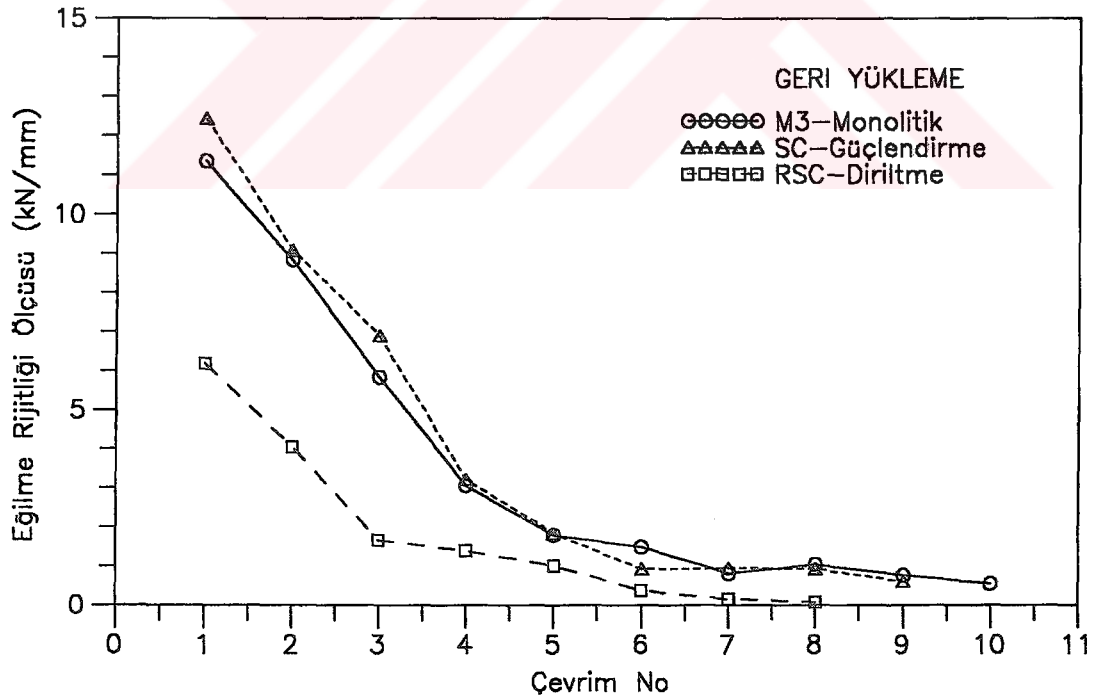


b) Zayıf yöndeki rijitlik değişimi

Şekil 6.48. RC5 ve RRC5'in monolitiğe göre rijitlik değişimi



a) Güçlü yöndeki rijitlik değişimi



b) Zayıf yöndeki rijitlik değişimi

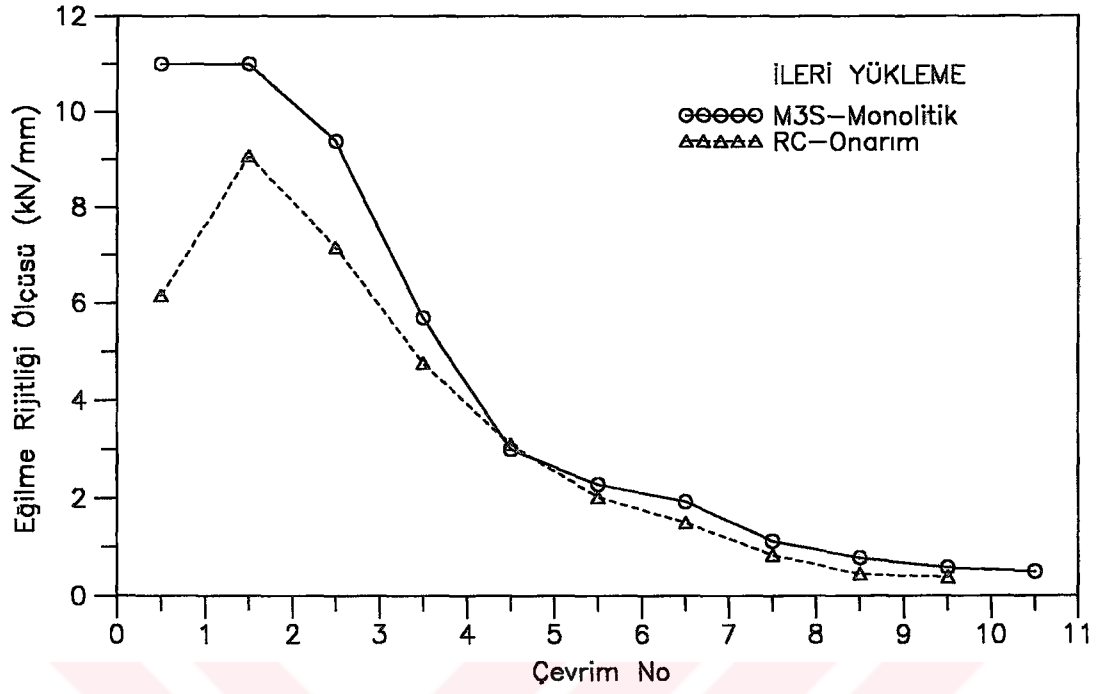
Şekil 6.49. SC ve RSC'nin monolitiğe göre rijitlik değişimi

olmuştur. Buna rağmen başlarda monolitik eleman rijitliğine ulaşamamıştır. Deney elemanına uygulanan deformasyon arttıkça rijitlikler arasındaki fark azalmış ve bir noktadan sonra monolitik ile aynı rijitlik değerleri elde edilmiştir (Şekil 6.50(a)). Geri çevrimlerde ise söz konusu onarım betonu çekme bölgesinde kaldığından önemini yitirmiş ve RC'nin ilk rijitliği monolitiğe göre biraz daha büyük olmuştur. Deneyin başlarında küçük bir bölge dışında geri yöndeki eğilme rijitlikleri monolitiğe göre biraz daha düşük olmuştur (Şekil 6.50(b)).

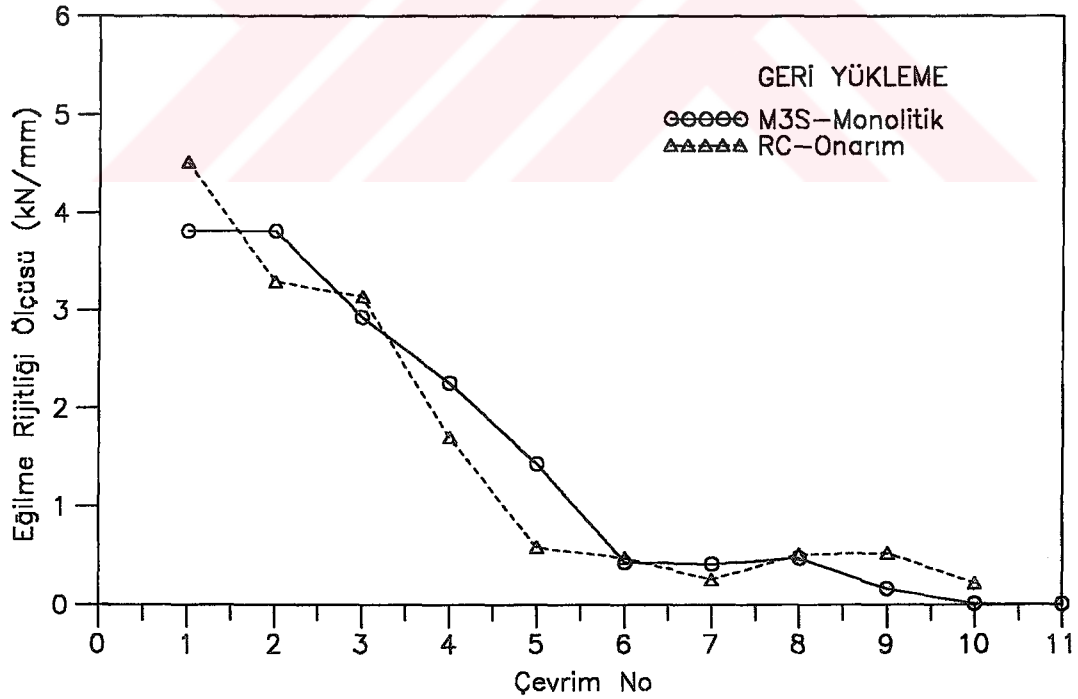
Diriltilmiş eleman RRC'nin ileri yöndeki eğilme rijitliği ilk çevrimlerde monolitiğe göre oldukça düşük olmuş ancak artan deformasyonlarla birlikte monolitik eleman rijitliğine oldukça yaklaşmıştır (Şekil 6.51(a)). Geri yönde ise deney boyunca, aradaki fark az da olsa, monolitik elemana göre daha düşük rijitlik değerlerine ulaşılmıştır (Şekil 6.51(b)).

Mekanik kenetlemeli güçlendirme elemanı SM deneyinin başlarında boyuna donatıların kaldıraç etkisi ile oluşan çatlaklar yüzünden ileri yöndeki eğilme rijitliği benzeri güçlendirme elemanlarına göre düşük olmuştur. Ancak ilerleyen deformasyonlarla birlikte aradaki fark hızla kapanmış ve monolitik eleman rijitliklerine ulaşılmıştır (Şekil 6.52(a)). Çekme yüzünde, basınç yüzüne göre yarı yarıya daha az donatı bulunan SM elemanının geri yöndeki yüklemesinde pek bir kaldıraç etkisi oluşmamıştır. Buna bağlı olarak rijitlikte düşmeler gözlenmemiş ve eleman monolitik ile yaklaşık aynı rijitlikte davranmıştır. Hatta mekanik kenetlemede kullanılmış olan L-profillerin konsol boyunu kısaltmasıyla SM elemanının geri yöndeki ilk rijitliği monolitiğe göre biraz fazla olmuştur (Şekil 6.52(b)).

Bir yüzünden onarılmış olan mekanik kenetlemeli RM elemanı da SM ile aynı davranışı göstermiştir. İleri yöndeki yüklemelerde bu elemanın basınç yüzünde elemanın mekanik olarak yaslanabileceği bir L-profil bulunmadığı

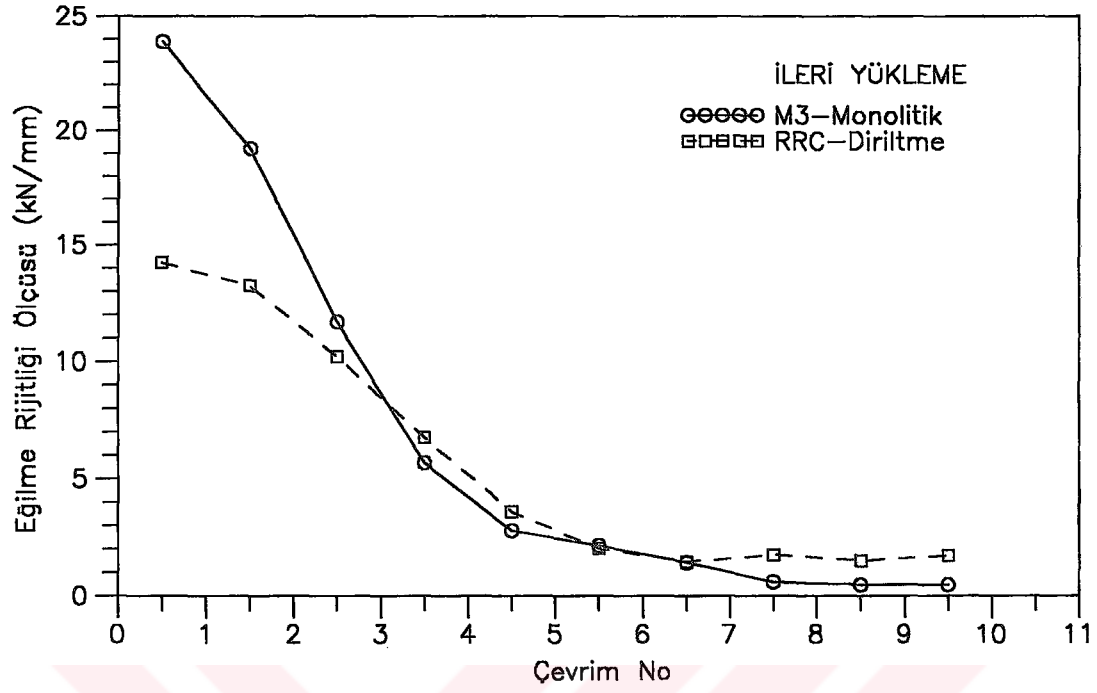


a) Güçlü yöndeki rijitlik değişimi

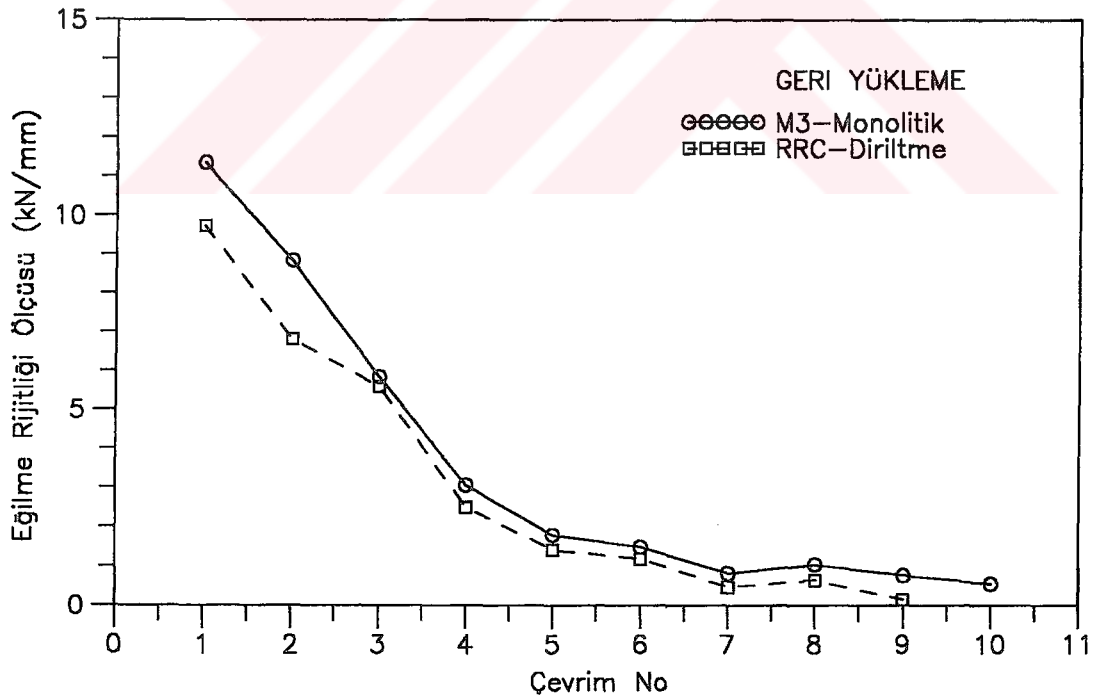


b) Zayıf yöndeki rijitlik değişimi

Şekil 6.50. RC'nin monolitiğe göre rijitlik değişimi

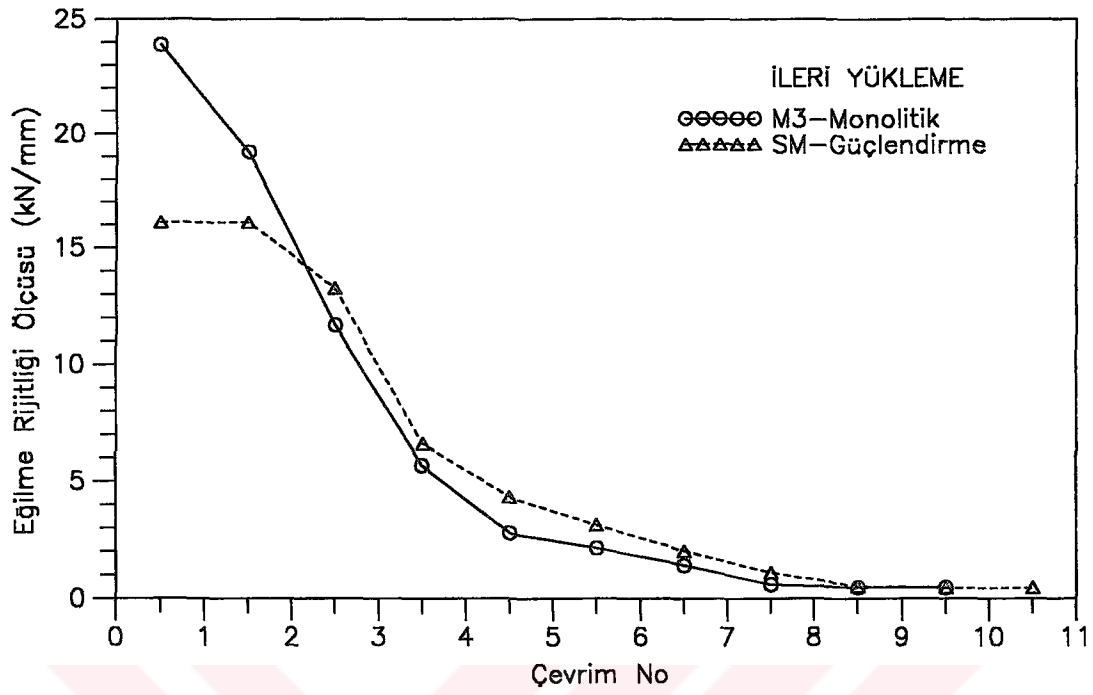


a) Güçlü yöndeki rijitlik değişimi

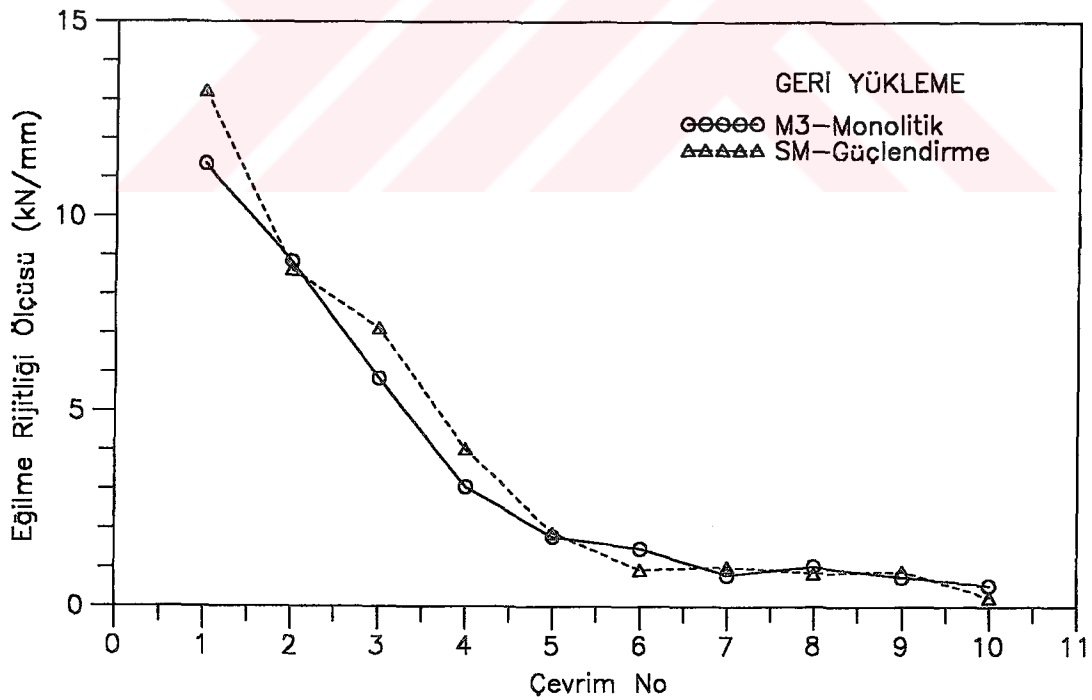


b) Zayıf yöndeki rijitlik değişimi

Şekil 6.51. RRC'nin monolitiğe göre rijitlik değişimi



a) Güçlü yöndeki rijitlik değişimi



b) Zayıf yöndeki rijitlik değişimi

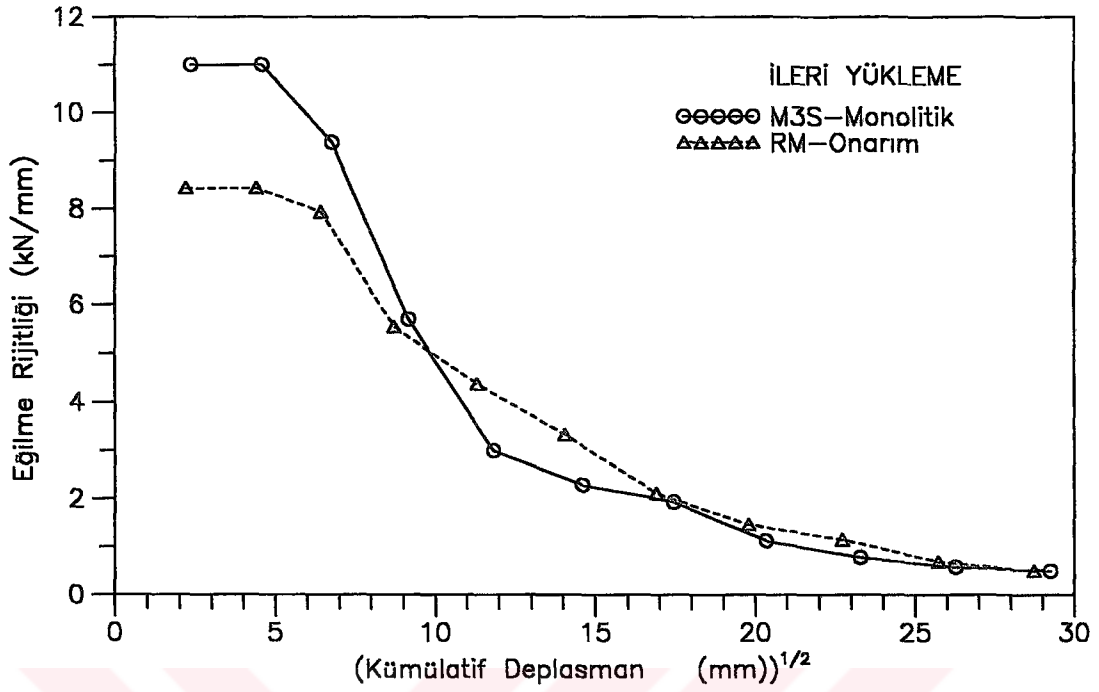
Şekil 6.52. SM'nin monolitiğe göre rijitlik değişimi

için bu elemanda boyuna donatıların kaldıraç etkisi daha fazla olmuştur. Buna bağlı olarak da RM elemanı, SM elemanına göre daha büyük deformasyonlardan sonra monolitik eleman davranışına yaklaşmıştır (Şekil 6.53(a)). Geri yönde ise çekme yüzünde L-profil bulunmadığı için elemanda hiç kaldıraç etkisi oluşmamış ve elemanın basınç yüzündeki L-profile mekanik olarak yaslanması sonucunda hem SM ye göre hem de monolitik elemana göre daha büyük ilk rijitlik değerlerine ulaşılmıştır. Artan deformasyonlarla birlikte RM nin geri yöndeki rijitliği azalarak monolitik elemandan daha düşük değerlere inmiştir (Şekil 6.53(b)).

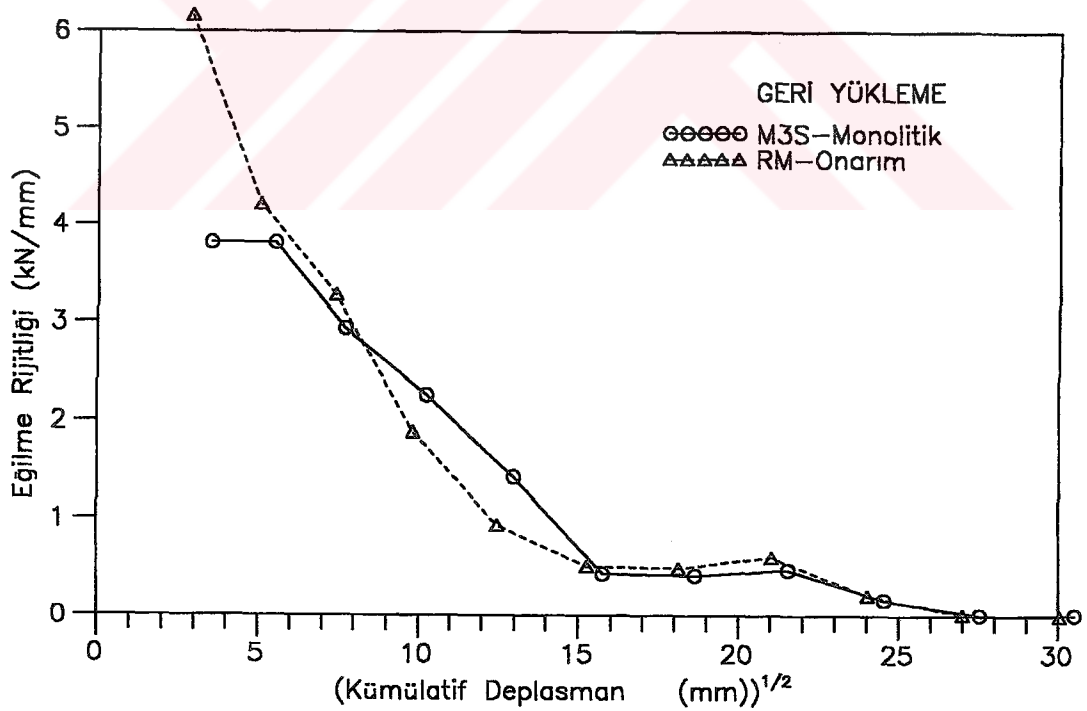
Epoksi ankrajlı güçlendirme eleman SE'nin, ileri yöndeki ilk rijitlikleri monolitiğe göre biraz düşük, geri yöndekiler ise biraz daha fazla olmuştur. Bunun dışında bu eleman, rijitlik bakımından, hem ileri hem de geri yönde monolitik ile yaklaşık aynı davranışı göstermiştir (Şekil 6.54).

Epoksi ankrajlı onarım elemanı da (RE) güçlendirme elemanı SE ile benzer bir davranış göstermiştir. Bu elemanın ileri yöndeki ilk eğilme rijitlikleri monolitikten daha düşük olmuş ve monolitik eleman davranışına, SE elemanına göre, daha büyük deformasyonlardan sonra ulaşılmıştır (Şekil 6.55(a)). Geri yöndeki ilk eğilme rijitliği monolitiğe göre biraz fazla olmasına rağmen hemen sonra rijitlikte az da olsa azalma olmuş ve monolitik eleman rijitliğinden daha düşük değerler elde edilmiştir (Şekil 6.55(b)).

Bir yüzünden onarılmış olan epoksi ankrajlı RE elemanının diğer yüzüne de epoksi ankrajlı bir katman eklenmesiyle diriltilmiş eleman RRE elde edilmiştir. Bu elemanın ileri yöndeki ilk eğilme rijitlikleri monolitiğe göre daha az olmuştur. Ancak artan deformasyonlarla birlikte hızla monolitik eleman davranışına yaklaşmıştır (Şekil 6.56(a)). Geri yönde ise başta monolitik ile aynı olan eğilme rijitliğinde hızlı bir düşme olmuştur. Rijitlikler arasındaki fark ancak deneyin sonlarına doğru azalmıştır (Şekil 6.56(b)).

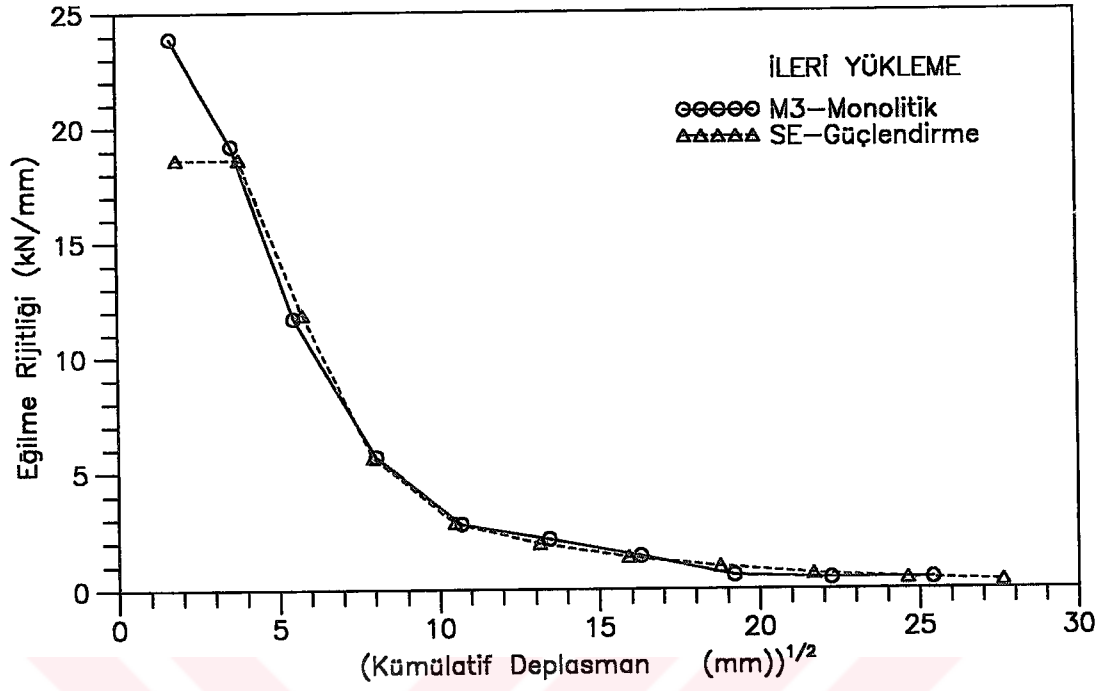


a) Güçlü yöndeki rijitlik değişimi

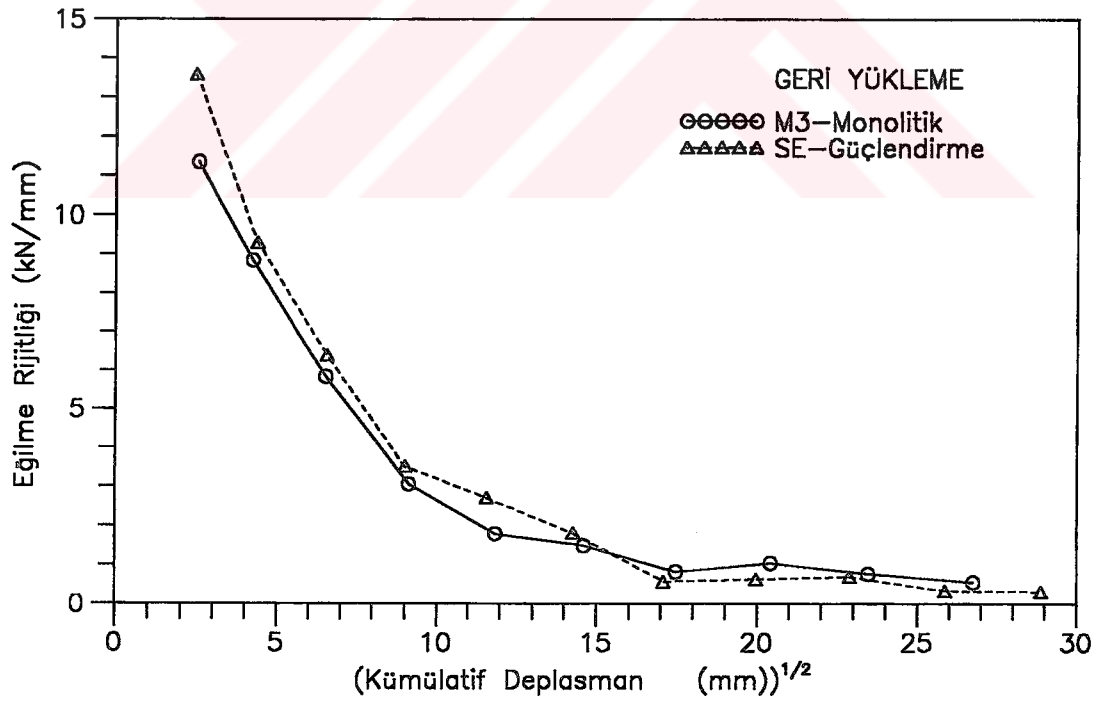


b) Zayıf yöndeki rijitlik değişimi

Şekil 6.53. RM'nin monolitiğe göre rijitlik değişimi

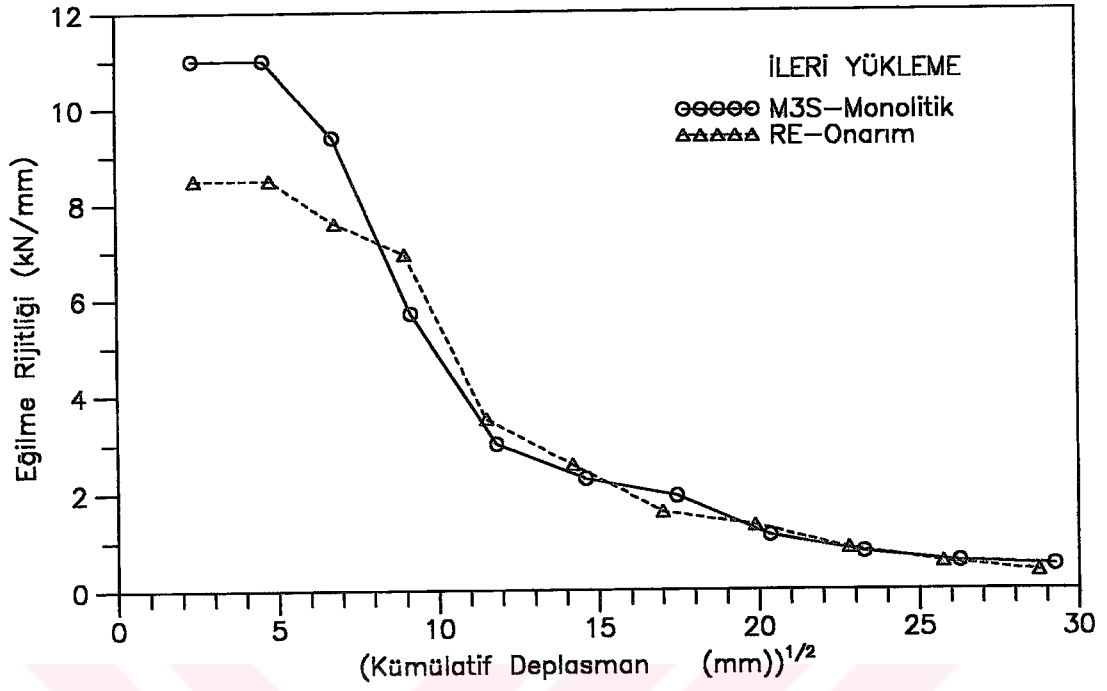


a) Güçlü yöndeki rijitlik değişimi

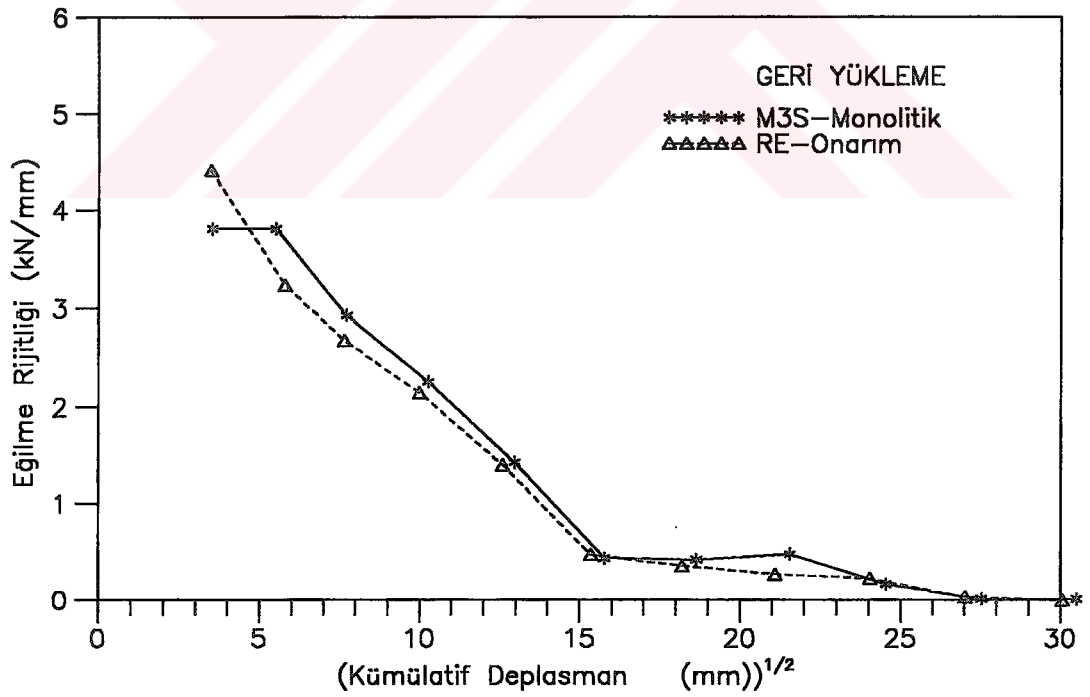


b) Zayıf yöndeki rijitlik değişimi

Şekil 6.54. SE'nin monolitiğe göre rijitlik değişimi

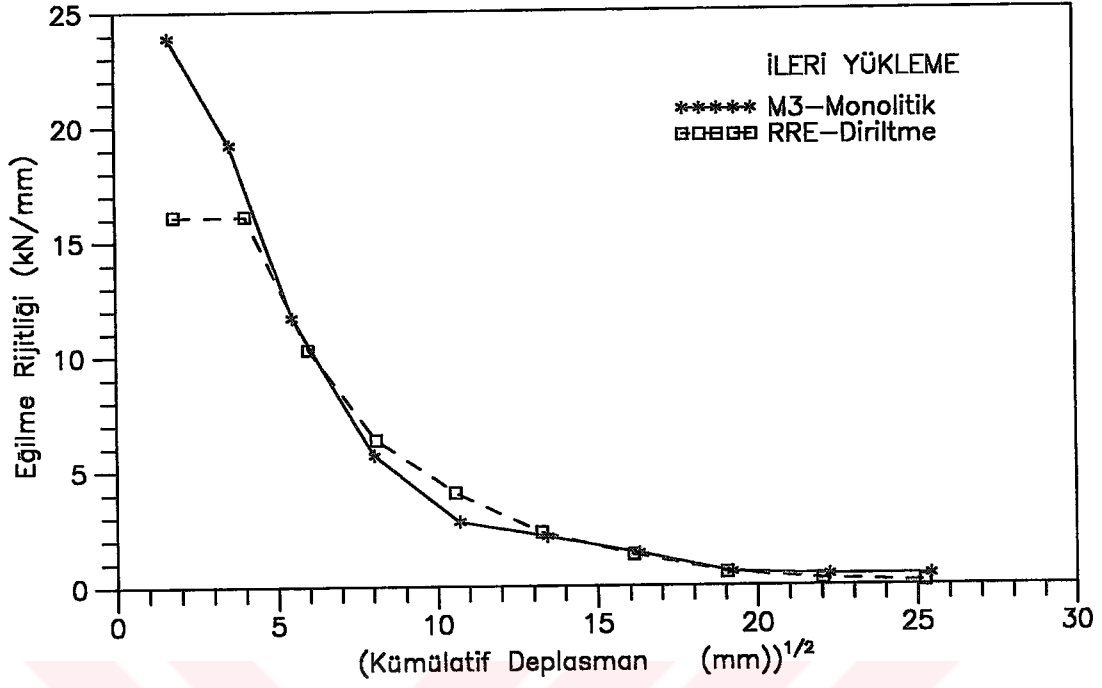


a) Güçlü yöndeki rijitlik değişimi

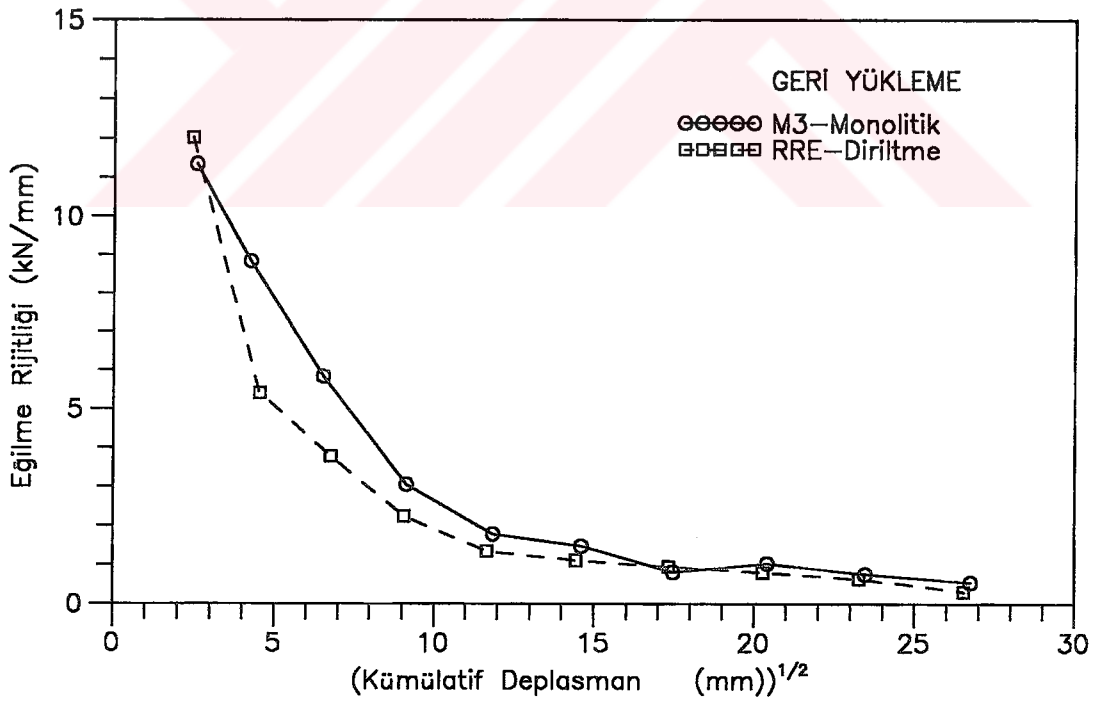


b) Zayıf yöndeki rijitlik değişimi

Şekil 6.55. RE'nin monolitiğe göre rijitlik değişimi



a) Güçlü yöndeki rijitlik değişimi



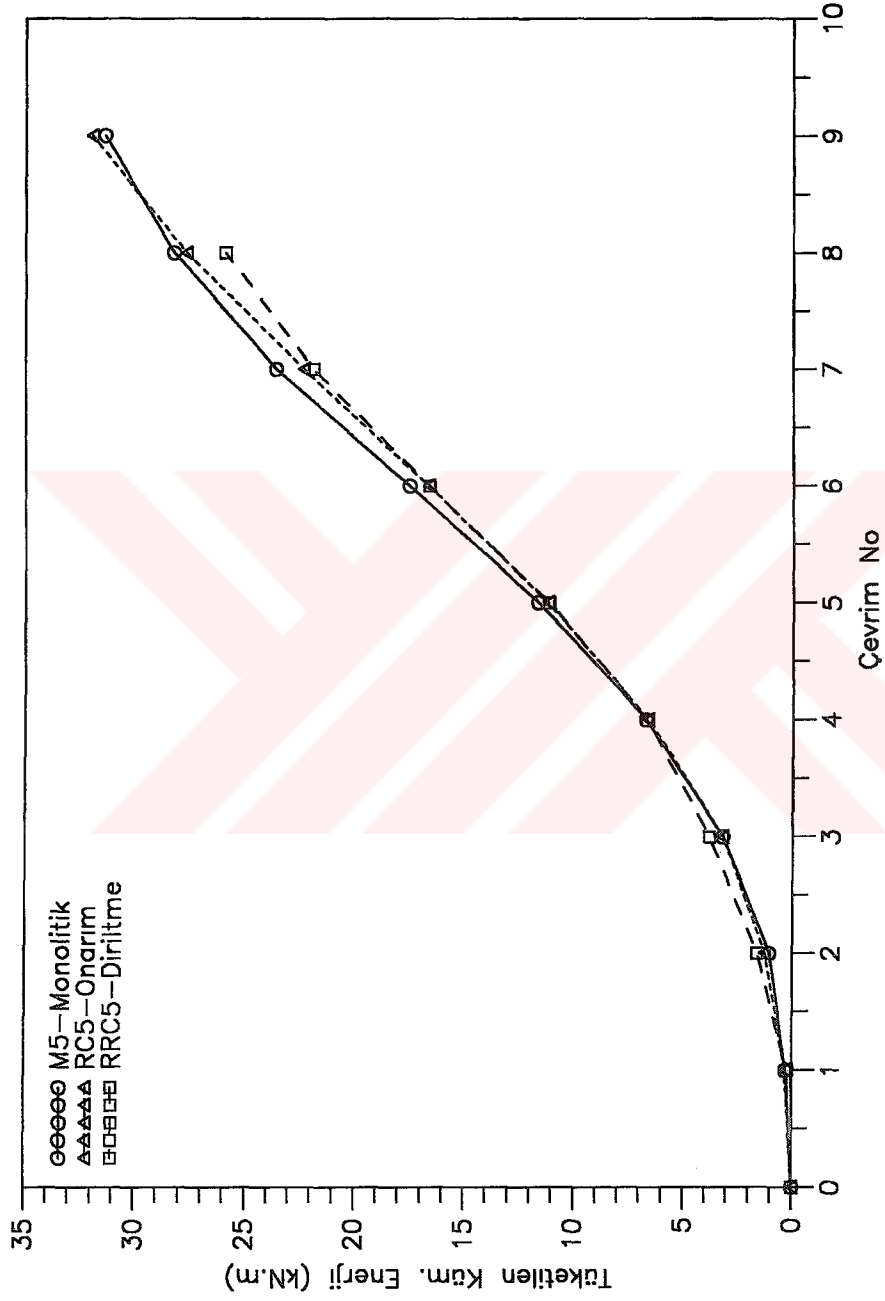
b) Zayıf yöndeki rijitlik değişimi

Şekil 6.56. RRE'nin monolitiğe göre rijitlik değişimi

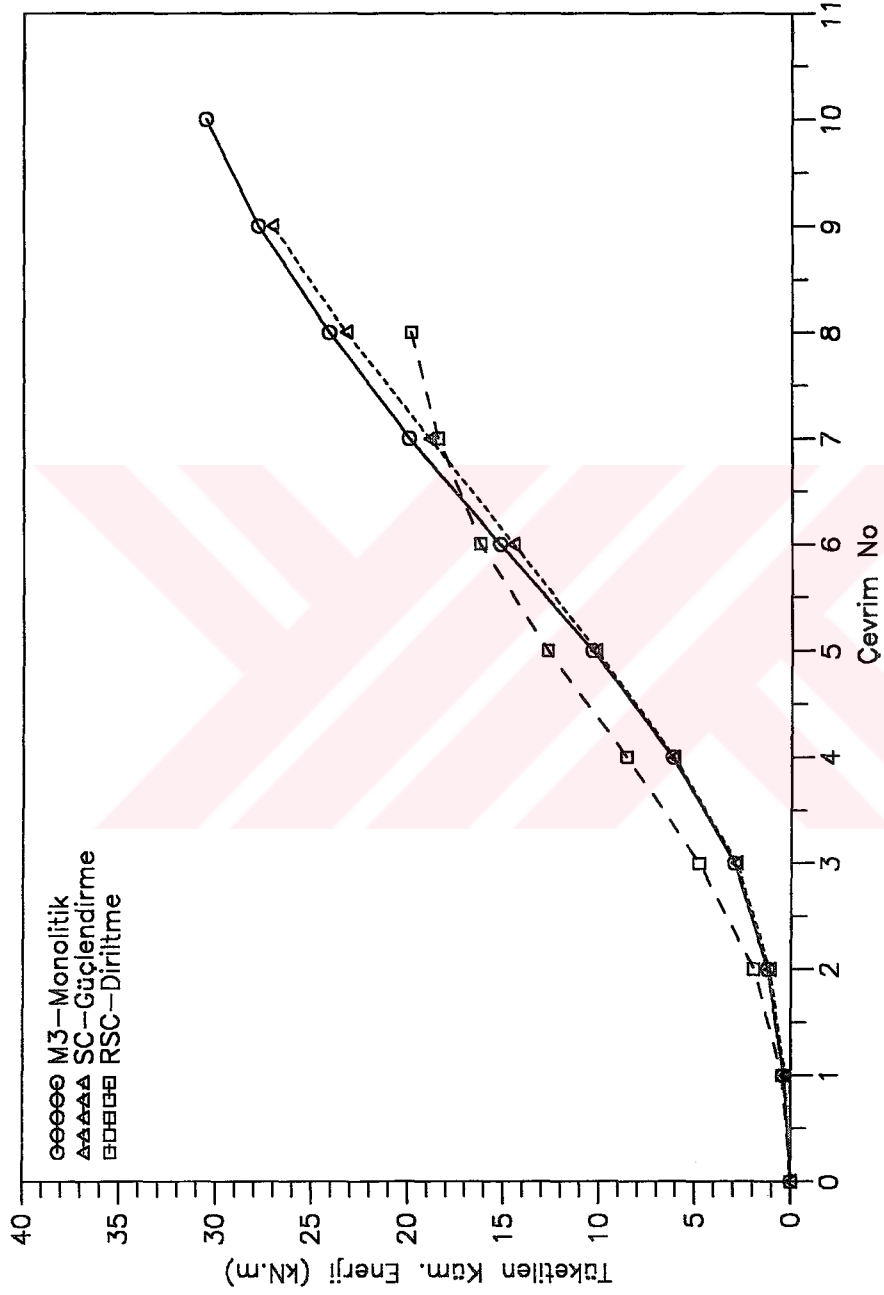
6.5. Deney Elemanlarının Enerji Tüketme Kapasitesi

Deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri, elemanlara ait yük-deplasman eğrilerinin alanlarından hesaplanmıştır. Her çevrimde tüketilen enerji miktarı, bir önceki çevrimde tüketilen enerji ile toplanarak tüketilen kümülatif enerjiler bulunmuştur. Tüketilen kümülatif enerji miktarlarının, çevrim sayısına göre değişimleri Şekil 6.57-6.65 'de sunulmuştur. Enerji hesaplarının ayrıntılı ilkeleri için Bölüm 4.5.2.5'e bakılmalıdır.

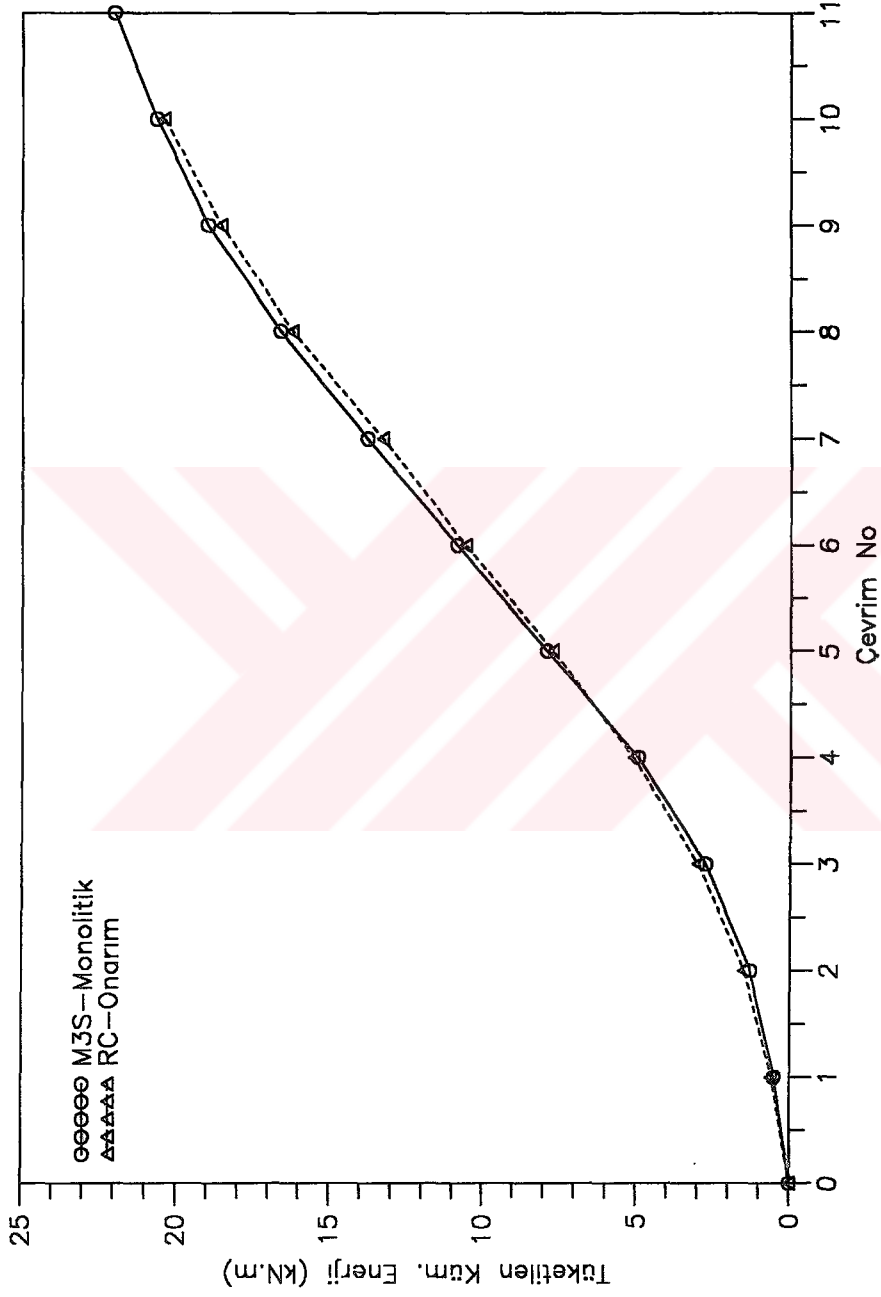
Genel olarak sürekli donatılı onarım veya güçlendirme elemanlarının hepsinin enerji tüketme kapasiteleri monolitik eleman kapasitelerine çok yakın olmuştur. Bu elemanlardan monolitik elemanın enerji tüketme kapasitesine en yakın olanı kesme açıklığı $a/d \approx 5$ olan RC5 olmuştur (Şekil 6.57-6.59). Kesme açıklığı $a/d \approx 5$ olan RRC5 dışındaki tüm diriltilmiş elemanların enerji tüketme kapasiteleri monolitik elemanlara göre çok daha düşük olmuştur. RRC5 elemanının enerji tüketme kapasitesi de monolitiğe oranla daha düşük olmasına rağmen aradaki farkın kabul edilebilir düzeyde olduğu düşünülmektedir (Şekil 6.57, 6.58, 6.60, 6.65). Mekanik kenetlemeli güçlendirme ve onarım elemanlarında (SM ve RM) kullanılmış olan L-profillerin konsol boyunu kısaltmasıyla bu elemanların yük taşıma kapasiteleri artmıştır. Buna bağlı olarak yük-deplasman eğrilerinin kapamış olduğu alanlar büyüdüğü için SM ve RM elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri monolitik elemanlara göre belirgin bir şekilde artmıştır (Şekil 6.61, 6.62). Epoksi ankrajlı güçlendirme elemanı SE ile onarım elemanı RE'nin enerji tüketme kapasiteleri ise başlarda monolitik eleman ile yaklaşık aynı olmuştur. Ancak ilerleyen çevrimlerde bu elemanlardaki dayanım kayıpları monolitik elemanlara göre daha yavaş olduğu için bu elemanların enerji tüketme kapasiteleri monolitik elemanlara göre daha fazla olmuştur (Şekil 6.63, 6.64).



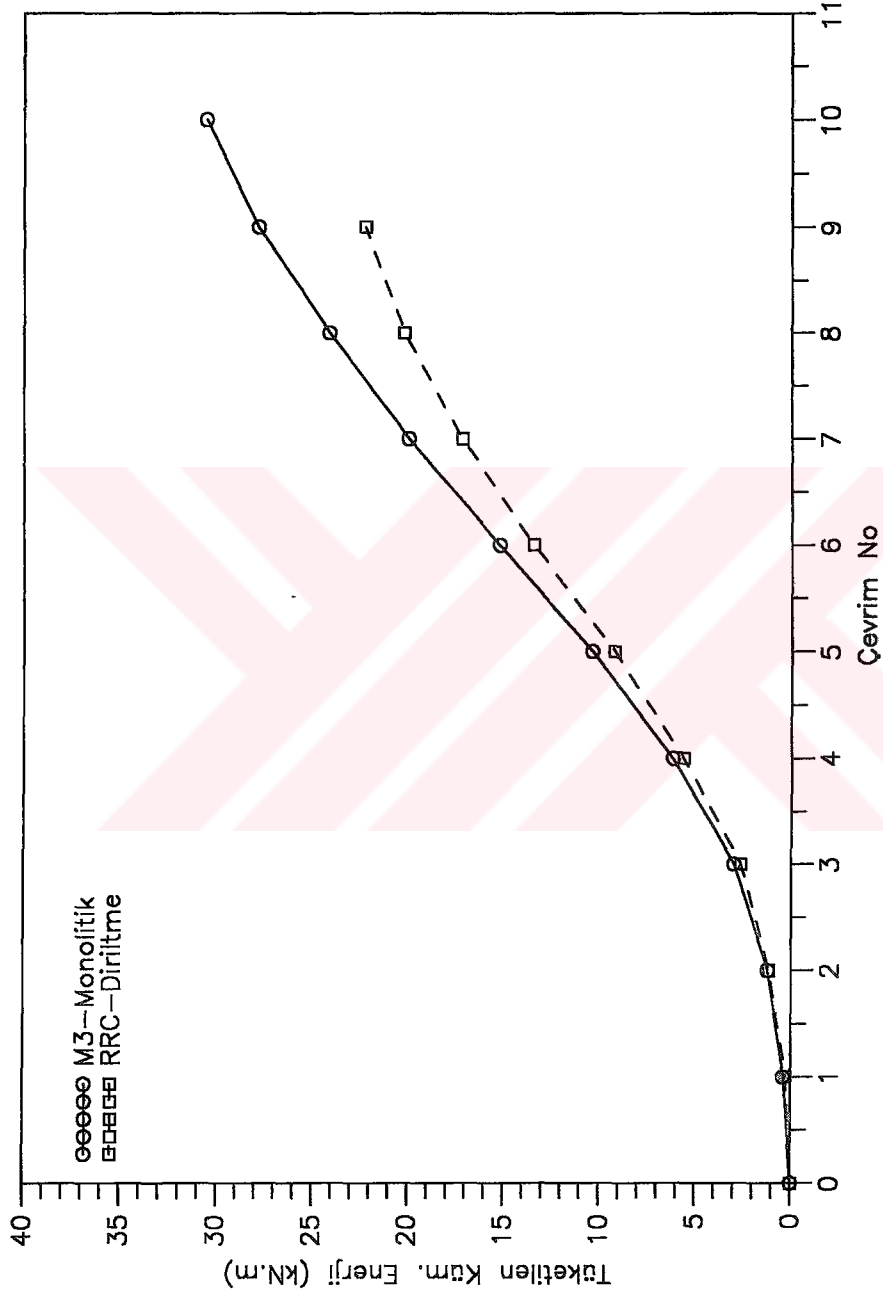
Şekil 6.57. RC5, RRC5 ve M5 deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri



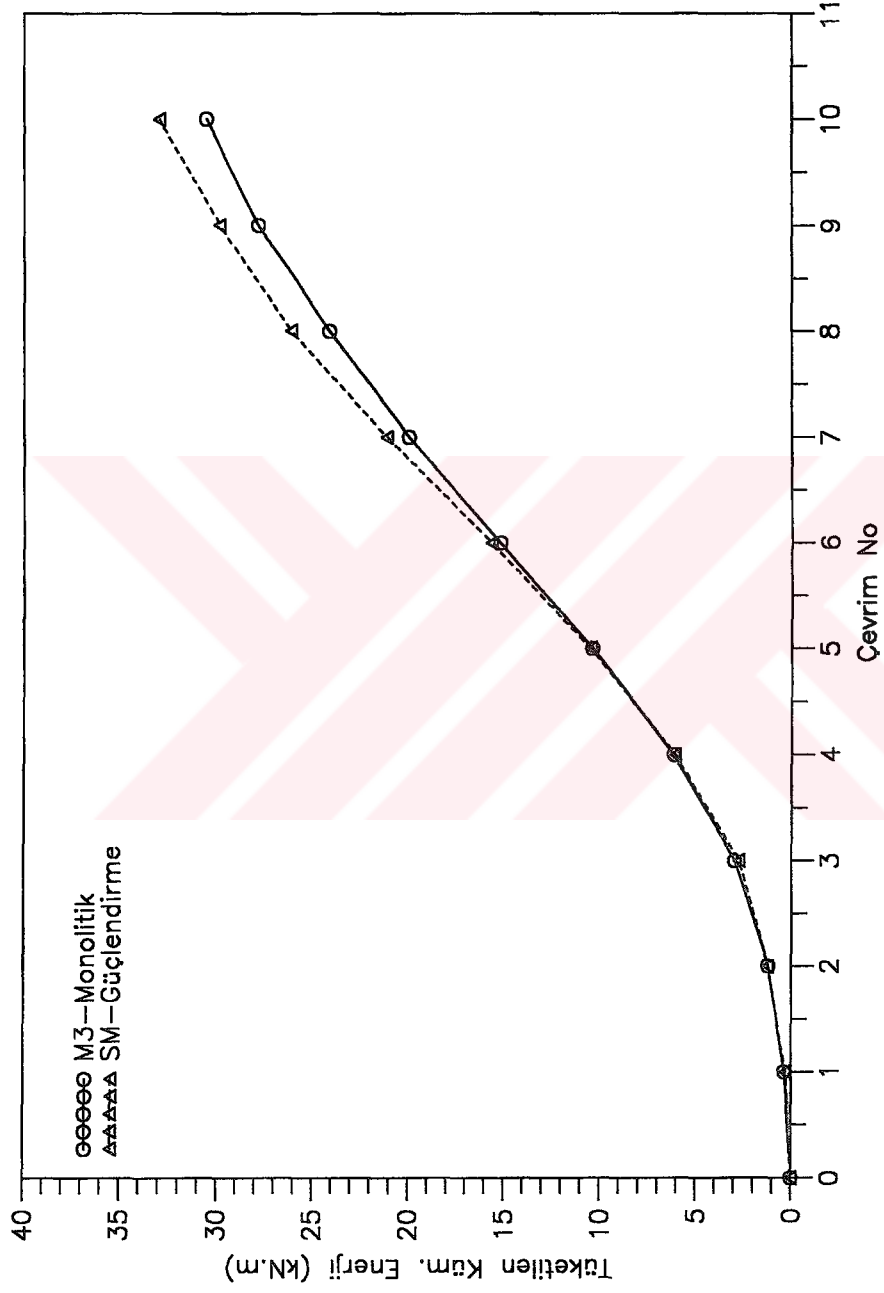
Şekil 6.58. SC, RSC ve M3 deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri



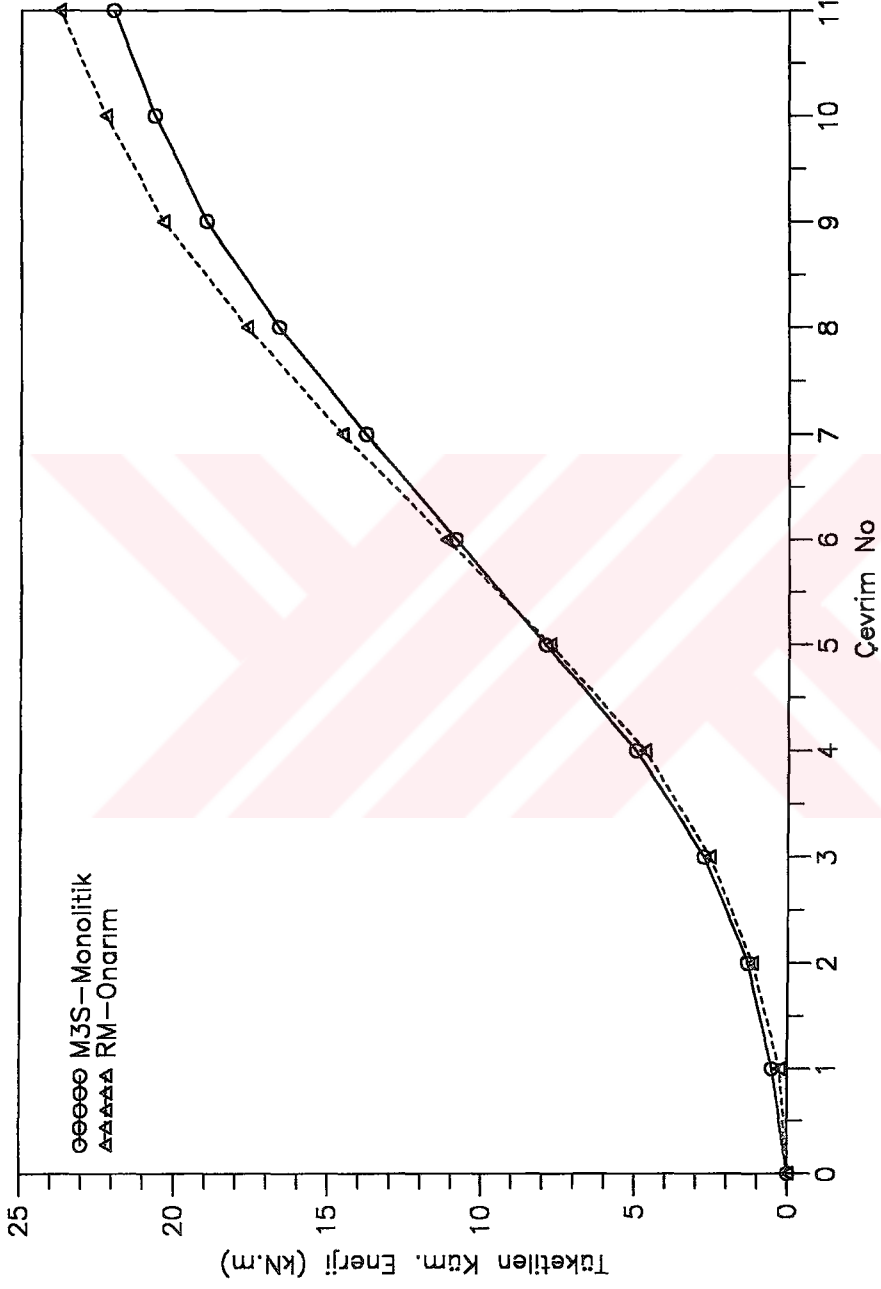
Şekil 6.59. RC ve M3S deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri



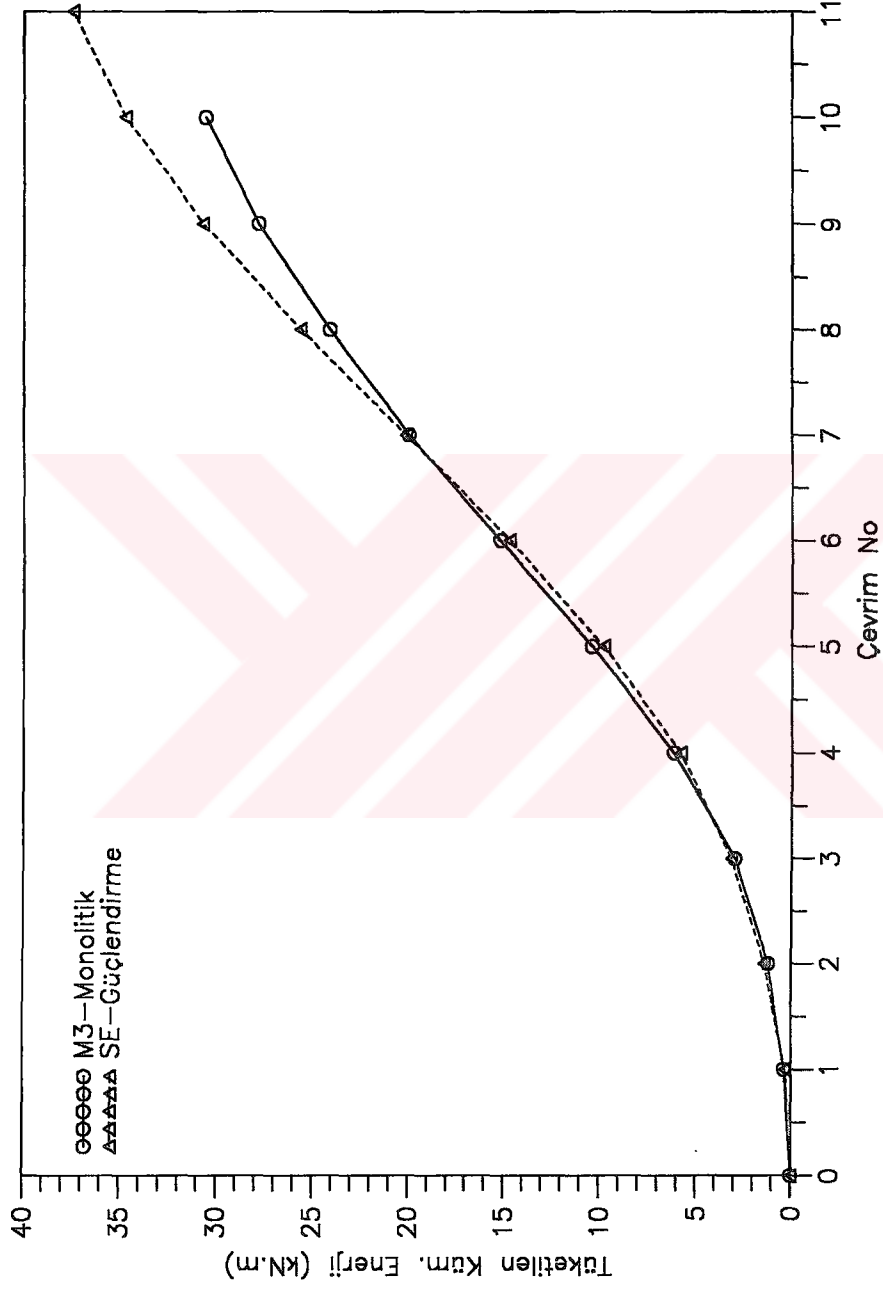
Şekil 6.60. RRC ve M3 deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri



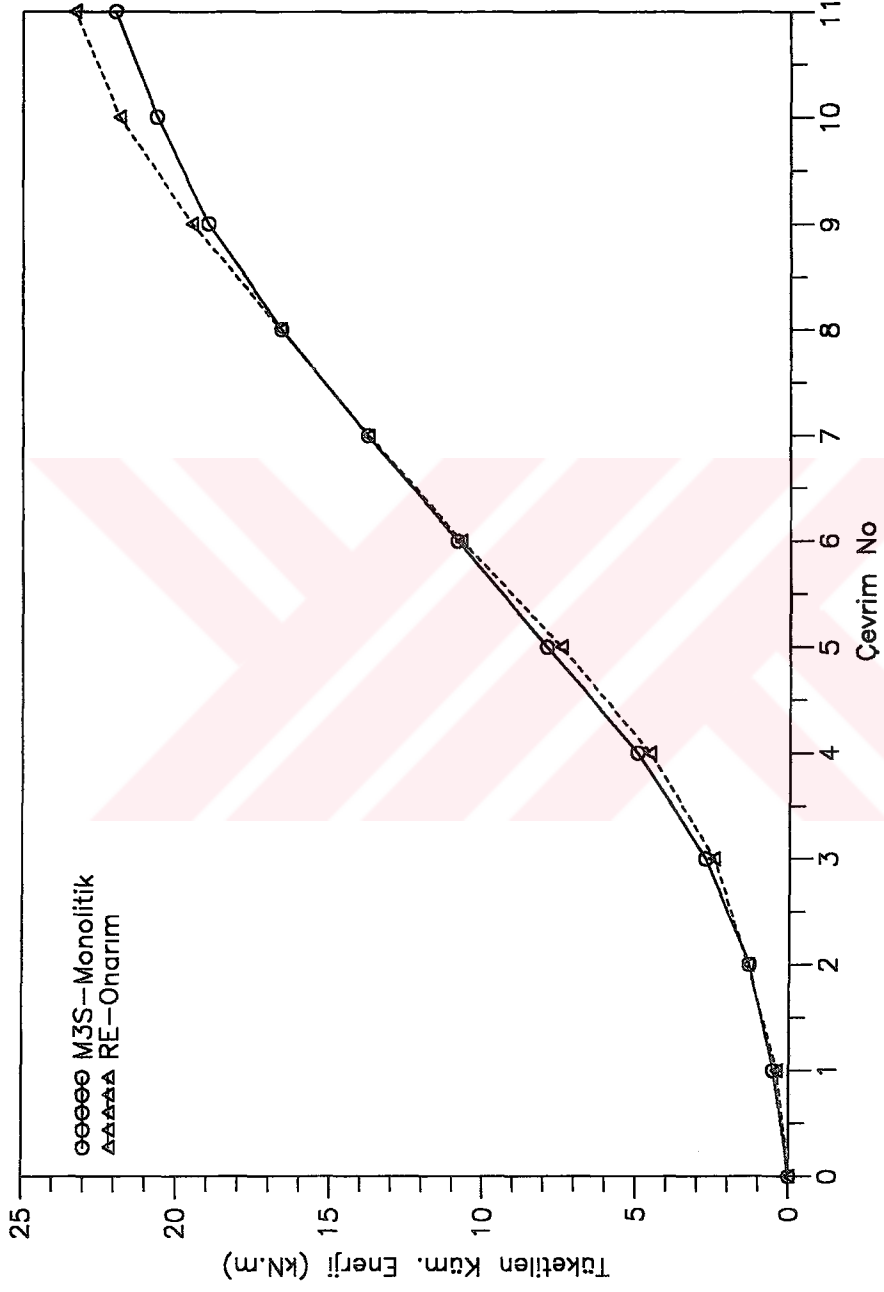
Şekil 6.61. SM ve M3 deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri



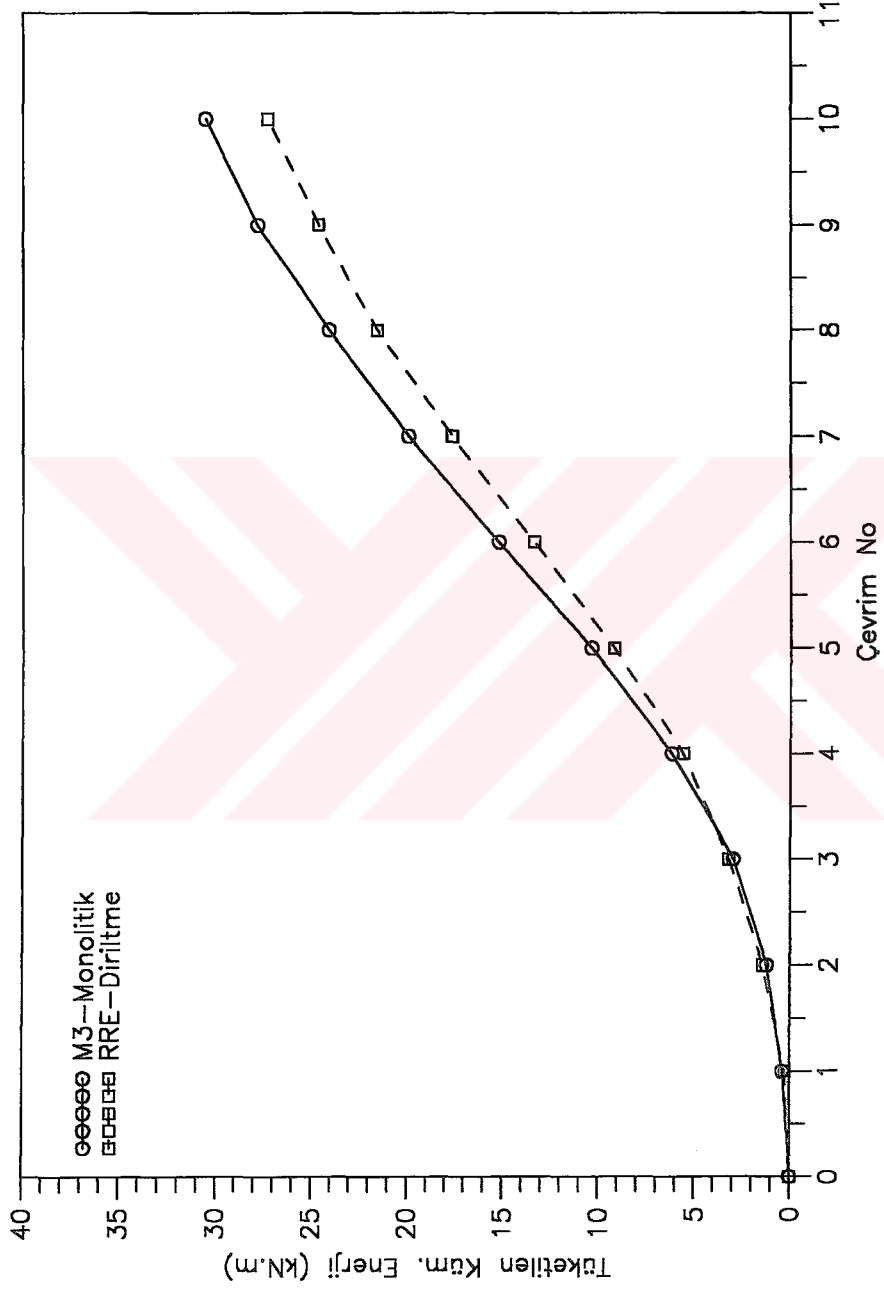
Şekil 6.62. RM ve M3S deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri



Şekil 6.63. SE ve M3 deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri



Şekil 6.64. RE ve M3S deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri



Şekil 6.65. RRE ve M3 deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri

6.6. Deney Elemanlarının Süneklik Kapasitesi

Tanım olarak süneklik, öngörülen dayanımda önemli bir kayıp olmaksızın deformasyon yapabilme yeteneğidir. Süneklik oranı ise öngörülen dayanımda önemli bir kayıp olmaksızın oluşan en büyük deformasyonun akma anındaki deformasyona oranıdır. Dayanımda %15'e kadar olan kayıpların önemsiz olduğu kabul edilmiş ve süneklik oranları buna göre hesaplanmıştır. Ayrıca tanım gereğince, süneklik ve süneklik oranları öngörülen yani monolitik eleman dayanımlara göre hesaplanmıştır. Bunun için önce, ele alınan deney elemanına ait yük-deplasman grafiğinin, monolitik eleman dayanımının %85 inden geçen yatay doğrusunu kestiği ikinci noktadaki süneklik deformasyonu (d_{85}) bulunmuştur. Daha sonra bu deformasyonun elemana ait akma deformasyonuna (d_y) bölünmesi ile süneklik oranı bulunmuştur. Bu çalışmada sadece deplasman süneklikleri göz önüne alınmıştır.

Süneklik oranının doğruluğu, büyük ölçüde, akma deformasyonu d_y 'nin doğru bir şekilde ölçülmesine bağlıdır. Ancak bu her zaman mümkün olamamıştır. Bazı elemanlarda akma noktası yeterince belirgin olmamıştır. Bu elemanlarda akma başlangıcı ile akmanın bittiği sınırlar diğerlerine göre daha uzun bir bölgede gerçekleşmiştir. Bu türden sorunlar, özellikle elastik bölgeden plastik bölgeye geçiş hatları ileri çevrimlere göre çok daha yuvarlak olan geri çevrimlerde daha çok yaşanmıştır. Ayrıca akma deformasyonlarını etkileyen önemli parametrelerden biri de elemanların ilk eğilme rijitliğidir. Monolitik elemanlarla aynı kesite sahip olmalarına rağmen özellikle onarım elemanlarında eğilme rijitliğinde önemli azalmalar olabileceği görülmüştür. Örneğin monolitiğe çok yakın davranış sergilemiş ancak eğilme rijitliği %50 daha düşük olmuş bir elemanın akma deformasyonu iki katına çıkacağından, bu elemanın monolitiğin yarısı kadar sünek davrandığını söylemek gerçeği pek yansıtmayacaktır. Bu gibi durumlarda süneklik deformasyonunun,

monolitik eleman süneklik deformasyonuna oranı, ele alınan deney elemanının sünekliği hakkında daha gerçekçi sonuçlar verecektir. Tüm deney elemanlarına ait süneklik ve akma deformasyonu değerleri hem ileri hem de geri çevrimler için Çizelge 6.2’de topluca sunulmuştur. Bu çizelgede süneklik oranlarının (d_{85}/d_y) yanı sıra, süneklik deformasyonlarının monolitik eleman süneklik deformasyonuna oranları ($d_{85}/d_{85\text{Mono.}}$) da verilmiştir. Süneklik yorumları daha çok ($d_{85}/d_{85\text{Mono.}}$) oranları temel alınarak yapılmıştır. Ayrıca, fikir vermesi açısından, elemanların zarf eğrilerinden elde edilmiş en büyük dayanımın, monolitik eleman dayanımına oranları da aynı çizelgede verilmiştir.

Bu çizelgeden de görülebileceği gibi M5, M3 ve M3S monolitik elemanlarının süneklik oranları ileri çevrimlerde sırasıyla 9.2, 10.3, 7.9 geri çevrimlerde ise 10.8, 12.9 ve 10.8 olmuştur. Bu oranlar sünek bir davranış için gerekli olan şartları rahatlıkla sağlamaktadır. Kesme açıklığı daha büyük olan elemanlar, kesme açıklığı küçük olan elemanlara göre yaklaşık 2-2.5 kat daha sünek davranmışlardır. Buna rağmen tüm onarım veya güçlendirme görmüş deney elemanları genelde yeterli bir süneklik göstermişlerdir. RC deney elemanı dışındaki tüm onarım veya güçlendirme elemanları monolitik elemanların en az %90’ı kadar sünek davranmışlardır. Bir yüzünden onarım görmüş olan RC elemanında ise önceki bölümlerde sık sık anlatıldığı gibi katman eklenmeyen taraftaki betonun yanlış uygulama ile onarılması sonucunda yeterli bir süneklik elde edilememiştir. Bu eleman oldukça düşük bir rijitlikle öngörülen dayanıma çıktıktan hemen sonra betonun ezilmesiyle hızlı bir şekilde dayanım kaybetmiştir. Genel olarak diriltme görmüş elemanların hepsinde süneklik kapasitesi, monolitik eleman süneklik kapasitesinden daha az olmuştur. Bu elemanların bazılarında monolitiğe göre süneklik kapasitesinde %30 dan fazla endişe verici azalmalar olmuştur.

Çizelge 6.2. Deney elemanlarına ait bazı büyüklüklerin karşılaştırılması

	Deney Elemanı Adı	İleri Çevrim					Geri Çevrim				
		$\frac{P}{P_{Mono.}}$	d_{gs} (mm)	d_y (mm)	$\frac{d_{gs}}{d_{gsMono.}}$	$\frac{d_{gs}}{d_y}$	$\frac{P}{P_{Mono.}}$	d_{gs} (mm)	d_y (mm)	$\frac{d_{gs}}{d_{gsMono.}}$	$\frac{d_{gs}}{d_y}$
Katman sayısı=2	M5	1.00	114.6	12.4	1.00	9.2	1.00	97.9	9.1	1.00	10.8
	RC5	0.95	104.6	14.1	0.91	7.4	1.05	98.0	11.4	1.00	8.6
	RRC5	1.09	107.5	17.7	0.94	6.1	1.17	70.2	13.4	0.72	5.2
	M3	1.00	47.3	4.6	1.00	10.3	1.00	49.2	3.8	1.00	12.9
	SC	1.07	44.1	5.8	0.93	7.6	1.04	48.2	4.0	0.98	12.1
	SM	1.13	53.1	6.3	1.12	8.4	1.13	47.0	3.8	0.95	12.4
	SE	0.98	52.0	5.2	1.10	10.0	1.00	53.8	4.7	1.09	11.4
	RSC	1.12	37.4	9.0	0.79	4.2	1.11	38.8	9.2	0.79	4.2
	RRC	1.12	42.5	9.8	0.90	4.3	1.06	33.6	4.5	0.68	7.5
	RRE	1.10	40.5	9.2	0.86	4.4	1.04	44.9	6.0	0.91	7.5
Kat. sayısı=1	M3S	1.00	41.8	5.3	1.00	7.9	1.00	45.3	4.2	1.00	10.8
	RC	1.03	33.7	12.5	0.81	2.7	1.14	48.1	4.0	1.06	12.0
	RM	1.08	52.3	9.4	1.25	5.6	1.13	52.0	4.0	1.15	13.0
	RE	1.03	47.4	9.8	1.13	4.8	1.10	43.5	6.2	0.96	7.0

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, betonarme kirişlerin onarım ve güçlendirme işlemlerinde sık sık kullanılan yöntemlerden biri olan katman ekleme tekniğinin tersinir ve tekrarlanır yükler altındaki davranışı deneysel olarak araştırılmıştır. Bu yöntemde hasar görmüş veya yetersizliği anlaşılmış kirişin bir ya da iki yüzüne içinde yeni boyuna donatı bulunan yeni bir betonarme katman eklenir. Yeni katman ile mevcut kiriş arasındaki yük aktarımı ve sürekliliği sağlamak amacıyla Z-şeklindeki bağ demirleri kullanılabildiği gibi bu çalışmada sağladığı uygulama kolaylıklarından dolayı U-şeklindeki yarım etriyeler tercih edilmiştir. Eldeki olanaklar da göz önünde tutularak araştırmanın kapsamı olabildiğince geniş tutulmuştur. Araştırmada kesme açıklığı orta ($a/d \approx 5$) ve küçük ($a/d \approx 3$) olan kirişler ele alınmış ve bu kirişlere onarım, güçlendirme veya diriltme işlemleri uygulanmıştır. Uygulanan iyileştirme yöntemi bazı kirişlerde sadece üst yüze bazılarında ise hem alt hem de üst yüzüne uygulanmıştır. Ayrıca yeni katman içindeki boyuna donatının mevcut kolona mekanik veya epoksili olarak kenetlenmesi yöntemleri de araştırma kapsamında incelenmiştir. Yapılmış olan sınırlı sayıdaki bu deneylerden elde edilen verilere dayanılarak ulaşılan başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir. Doğal olarak bu sonuçların, yapılmış olan deneylerin özellikleri ve koşulları ile sınırlı olduğu unutulmamalıdır.

- Uygulanan yöntem onarım ve güçlendirme işlemlerinde oldukça başarılı olmuştur. Diriltme işlemlerinde ise sınırlı bir başarı elde edilmiştir. Genel olarak güçlendirilmiş elemanlar onarılmışlardan, onarılmış elemanlar ise diriltilmiş elemanlardan daha iyi davranmıştır.

- Tüm deney elemanlarında amaçlanan dayanımlara ulaşılmıştır. Ancak diriltme uygulanan elemanlarda tersinir yükler altındaki dayanım kaybı erkenden başlamıştır. Ayrıca mekanik kenetleme yönteminin kullanılmış olduğu elemanlarda L-profillerden dolayı konsol boyu kısaldığı için monolitik eleman dayanımlarından daha büyük dayanımlara ulaşılmıştır. Ancak kiriş boyu uzadıkça dayanımdaki bu artış oransal olarak daha az olacağından bu konuda bir genelleme yapılmamalıdır.
- Kesme kuvveti etkilerinin daha hakim olduğu kesme açıklığı küçük ($a/d \leq 3$) kirişlerin süneklik kapasitesi, kesme açıklığı orta ($a/d \leq 5$) olan kirişlerin süneklik kapasitesinin yaklaşık olarak yarısı kadar olmuştur. Buna rağmen diriltme işlemi uygulanmış olan elemanlar dışındaki tüm kirişlerde yeterli bir süneklik kapasitesi elde edilmiştir. Diriltilmiş elemanlarda ise yeterli bir süneklik elde edilememiştir.
- Onarım işlemi uygulanmış olan tüm elemanların enerji tüketme kapasiteleri monolitik eleman kapasitelerine çok yakın olmuştur. Diriltme uygulanmış elemanların enerji tüketme kapasitesi ise özellikle kesme açıklığı küçük olan kirişlerde, monolitiğe göre belirgin olarak düşük olmuştur. Güçlendirme elemanlarının enerji tüketme kapasitesi genelde monolitik eleman kapasitesinden belirgin olarak daha büyük olmuştur. Sadece sürekli donatılı güçlendirme elemanı SC'nin enerji tüketme kapasitesi monolitiğe göre, çok az, daha küçük olmuştur.
- Bilindiği gibi diriltme işlemi sırasında kopan donatılar bindirmeli ek donatı parçaları ile birbirlerine kaynaklanmıştır. Bu işlem sırasında mevcut donatı eksenini ile aynı çap ve özellikteki bindirme donatısının eksenini arasında donatı çapı kadar bir eksantrisite oluşmuştur. Bu eksantrisiteden ötürü diriltilmiş elemanların boyuna donatısı erkenden burkulmuş ve dayanım

kaybı olması gerekenden daha erken başlamıştır. Ayrıca bindirme donatısının kesik ucunun betona mekanik olarak yük uygulaması sonucunda kiriş yan yüzünün ek bölgesindeki boyuna donatı hizasında çatlaklar oluşmuştur.

- Tüm elemanlarda monolitiğe göre daha az eğilme rijitlikleri elde edilmiştir. Ancak buna rağmen elemanların hepsinin yeterli bir eğilme rijitliğine sahip oldukları ve çevrim sayısı artıkça monolitiğe göre rijitlik farkın hızla azaldığı görülmüştür. Güçlendirme elemanlarının güçlü yöndeki ilk eğilme rijitlikleri monolitik eleman rijitliğinin %80-90 'ına ulaşmıştır (SM hariç). Onarım elemanlarının güçlü yöndeki ilk eğilme rijitlikleri ise monolitik eleman rijitliğinin %80'i civarında olmuştur (RC hariç). Onarım elemanlarındaki eğilme rijitliğinin onarım öncesi çatlak sayısı ve genişliği ile bir yüzüne katman eklenmiş elemanlarda katman eklenmeyen taraftaki betonun onarım yöntemine, büyük ölçüde bağlı olduğu görülmüştür. Değiştirilen beton hacmine bağlı olarak diriltirilmiş eleman rijitliklerinin onarılmış eleman rijitliklerinden daha büyük olabileceği görülmüştür. Ancak genelde diriltirilmiş elemanların güçlü yöndeki ilk eğilme rijitlikleri monolitik eleman rijitliğinin %60-70 'i civarında olmuştur.
- Bu çalışmada sadece bir yüzüne katman eklenerek onarılmış kirişlerde katman eklenmeyen taraftaki hasarlı betonun onarımının oldukça önemli olduğu görülmüştür. Katman eklenmeyen yüzdeki kötü bir onarımın, onarım yöntemini nedenli etkisiz kılabilceği bir yüzünden onarılmış olan RC elemanında belirgin olarak görülmüştür. Böyle bir uygulama sonucunda RC deney elemanında oldukça düşük bir rijitlik ve süneklik elde edilmiştir. Bu nedenle katman eklenmeyen tarafta, sağlam betona ulaşincaya kadar hasarlı beton çıkartılmalı ve bu bölgedeki beton iyi bir şekilde yenilenmelidir.

- Beklendiği gibi kesme açıklığı küçük ($a/d \leq 3$) olan kirişlerde, kesme açıklığı orta ($a/d \leq 5$) olanlara göre daha büyük kayma deformasyonları oluşmuştur.
- Bir kez daha sargılama donatısının dayanım ve davranış üzerindeki etkileri belirgin olarak gözlenmiştir. Kalıcı deformasyonlar etkisi ile genişleyip boyuna donatıları dış sınırlardan sarmayan etriyelerin sargılama etkisinin oldukça azaldığı görülmüştür. Kalıcı deformasyonlara uğramış fakat değiştirilmemiş etriyelerin kullanılmış olduğu diriltme elemanlarında diğerlerine göre daha zayıf bir sargılama oluşmuştur. Hatta kesme açıklığı daha büyük olan elemanda bile bu yüzden yetersiz bir sargılama oluşmuş ve eleman erkenden dayanım kaybetmeye başlamıştır.
- Yeni katman ile mevcut kiriş arasında sürekliliği ve yük aktarımını sağlamak amacıyla kullanılan U-şeklindeki yarım etriyeler oldukça başarılı olmuştur. Kesme açıklığı hem orta büyüklükte hem de küçük olan kirişlerde yeni beton ile eski beton arasında herhangi bir ayrılma ya da çatlama gözlenmemiştir.
- Katman içindeki boyuna donatının mevcut kolona L-profiller ile mekanik olarak kenetlenmesi oldukça başarılı olmuştur. Ancak mekanik kenetleme yönteminin kullanıldığı kirişlerde kaldıraç etkisi ile oluşan çatlakların, rijitlikte kabul edilebilir düzeyde de olsa (%30 dan az) ani düşmelere neden olduğu görülmüştür. Bu etkiler sadece bir yüzüne katman eklenmiş ve mekanik kenetleme yöntemi kullanılmış olan kirişlerde daha fazla olmuştur. Mekanik kenetlemede kullanılan L-profillerin, mesnet bölgesindeki kayma deformasyonlarını önemli ölçüde sınırladığı görülmüştür. Ayrıca geçmişte, L-profil kesitleri sezgisel olarak belirlenmiş

olan çalışmalarda yeterince başarılı sonuçlar elde edilememiştir. Bu nedenle L-profillerin kesitleri mutlaka hesaplanarak belirlenmelidir.

- Katman içindeki boyuna donatının mevcut kolona epoksi kullanarak kimyasal olarak ankrajı da oldukça başarılı olmuştur. Ankraj delikleri birbirlerine çok yakın olmasına rağmen ankraj bölgesinde sıyrılma ya da betonda herhangi bir ayrılma oluşmamıştır. Ancak ankrajın uygulandığı bölgedeki boyuna ve enine donatıların yeterince sık olduğu ve böyle bir ankraj yöntemine çok uygun koşullar sağladığı unutulmamalıdır. Bunun dışında epoksili ankraj yönteminin, uygulamada sık sık karşılaşılan, kolon donatılarının birbirlerine çok yakın olduğu ve/veya kolon betonunun yeterince kaliteli olmadığı durumlarda uygulanamayacağı açıktır.

7.2. Öneriler

- Onarım ve güçlendirme yöntemlerinde her ne kadar öngörülen dayanımlara ulaşılmışsa da söz konusu çalışma laboratuvar koşullarında gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle uygulamadaki koşulların laboratuvar koşulları kadar iyi olamayacağı düşüncesiyle amaçlanan dayanımlar güçlendirme elemanlarında %5-10, onarım elemanlarında ise %10-15 kadar büyük seçilmelidir.
- Bu hali ile diriltme yönteminin kullanılmasından olabildiğince kaçınılmalıdır. Ancak birinci ve ikinci deprem bölgeleri dışında olmak kaydıyla, zorunlu hallerde ve sünekliğin pek önemli olmadığı durumlarda diriltme yönteminin kullanılabileceği düşünülmektedir. Ancak bu gibi durumlarda kiriş hesap yükünün 1.5 gibi bir güvenlik sayısına bölünerek, kirişin güvenle taşıyabileceği yükün belirlenmesi önerilmektedir.

- Bu deneysel çalışmada uygulanan katman ekleme yöntemi yüksüz koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Söz konusu yöntemin yük altında uygulanması durumunda tersinir yüklere karşı davranışı özellikle onarım elemanlarında pek bilinmemektedir. Bu nedenle yük altında uygulanmış olan yöntemin tersinir yükler karşısındaki etkinliği de araştırılmalıdır.
- Hasar görmüş olan elemanlardaki çatlak sayısı ve genişliğinin, onarımdan sonraki eğilme rijitliğini önemli ölçüde etkileyebileceği görülmüştür. Bu nedenle bu çatlakların epoksi enjeksiyonu ile doldurulmasının eğilme rijitliği üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmalıdır.
- Hem onarım hem de güçlendirme elemanlarının ilk eğilme rijitlikleri monolitik elemanlara göre daha az olmuştur. Ancak mekanik kenetlemeli güçlendirme elemanları dışındaki güçlendirilmiş elemanlarda rijitlikteki bu farklılığın önemsizmeyecek kadar az olduğu görülmüştür. Onarım elemanları ile mekanik kenetlemeli güçlendirme elemanlarının ilk eğilme rijitliklerinde monolitiğe göre %30'lara varan azalmalar olabileceği görülmüştür. Bu nedenle bu türden sorunlu yapıların deformasyon kontrollerinde hasarlı elemanların eğilme rijitlikleri belirli bir oranda düşürülmelidir. Gerçek yapıdaki belirsizlikler de göz önüne alındığında hasarlı elemanların eğilme rijitliğinin %50 azaltılarak analiz yapılmasının uygun olacağı düşünülmektedir. Güvenli tarafta kalmak amacıyla, kesit tesirlerinin bulunduğu yapısal analizde ise hasarlı elemanların eğilme rijitliğinde azaltma yapılmamalıdır.
- Bu çalışmada epoksili ankrajlar, oldukça elverişli koşulların var olduğu sık donatılı bir bölgede yapılmıştır. Uygulamada her zaman bu kadar şanslı olunmayacağı açıktır. Bu nedenle epoksili donatı kenetlemesinin, ankraj bölgesinde farklı yoğunlukta boyuna ve enine donatı bulunması durumlarındaki davranış ve dayanımları da deneysel olarak araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. 1997, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, **Bayındırlık ve İskan Bakanlığı**, Ankara.
2. Şubat 1985, TS 500 Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara.
3. Tankut, T., Can, H., May 1990, Rehabilitation of concrete structures-beam strengthening, **Proceedings of the International Conference on Concrete Structures and Materials**, Tehran Iran.
4. Can, H., Tankut, T., 1990, Flexural behaviour of strengthened reinforced concrete beams, **Proceedings of the Ninth European Conference on Earthquake Engineering**, Vol.3, Moscow USSR.
5. Can, H., Tankut, T., Nisan 1991, Ağır hasar görmüş betonarme kirişlerin eğilme için onarımı, **TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi**, Cilt 2, Sayı 2, Sayfa 309-317, Ankara.
6. Tankut, T., April 1992, Seismic rehabilitation of RC structures-METU practice, **Proceedings, Effects of Earthquakes on Structures and Protective Measures Symposium**, Aleppo Syria.
7. Tankut, T., Ersoy, U., 1991, Behaviour of repaired/strengthened reinforced concrete structural members, **Proceedings, American Concrete Institute International Conference on Evaluation and Rehabilitation of Concrete Structures and Innovations in Design**, Hong Kong.
8. Can, H., Nisan 1994, Deprem etkisindeki betonarme kirişlerin onarılması, **TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi**, Cilt 5, Sayı 2, Sayfa 771-782, Ankara.
9. Ersoy, U., Tankut, T., Gülkan, P., Çıtıpıtıoğlu, E., Mayıs 1993, Betonarme yapılarda onarım/güçlendirme kursu notları, **Türkiye İnşaat Mühendisliği XII. Teknik Kongresi**, Sayfa 26-28, Ankara.
10. Can, H., Tankut, T., 9-12 Ekim 1989, Betonarme kirişlerin eğilme için güçlendirilmesi, **Bildiri Kitabı, Türkiye İnşaat Mühendisliği X. Teknik Kongresi**, Cilt II, Sayfa 559-575, Ankara.

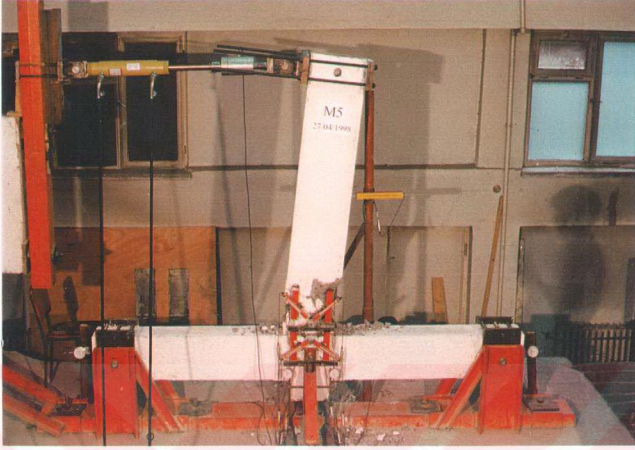
11. Can, H., Tankut, T., November 1992, Flexural repair of heavily damaged reinforced concrete beams, **Proceedings, Second International Conference on Concrete Structure and Materials, "Concrete 92"**, Tehran University, Faculty of Engineering, Tehran.
12. Gülkan, P., Eylül 1976, Onarılmış Betonarme Kolon-Kiriş Birleşimlerinin Benzeştirilmiş Deprem Etkileri Altındaki Akma sınırı Ötesi Davranışı, **Doçentlik Tezi**, ODTÜ Mühendislik Fakültesi.
13. Ünsal, T.Çetin., Şubat 1989, Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Davranış ve Dayanımları, **Yüksek Lisans Tezi**, Gazi Üniversitesi, Ankara.
14. Çelikel, T.Fırat., Şubat 1991, Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Yinelenir Yük Altındaki Davranış ve Dayanımları, **Yüksek Lisans Tezi**, Gazi Üniversitesi, Ankara.
15. Özdemir, İ., Şubat 1994, Onarılmış Betonarme Kirişlerin Tersinir Yük Altında Davranış ve Dayanımları, **Yüksek Lisans Tezi**, Gazi Üniversitesi, Ankara.
16. Arslan, M., Temmuz 1991, Betonarme Kirişlerin Epoksiyle Yapıştırılan Çelik Levhalarla Güçlendirilmesi, **Yüksek Lisans Tezi**, Gazi Üniversitesi, Ankara.
17. Göğüş, M.Haluk., Şubat 2000, Açıklık Ortasına Kolon Ekleme Yöntemiyle Betonarme Kirişlerin Onarım ve Güçlendirilmesi, **Yüksek Lisans Tezi**, Gazi Üniversitesi, Ankara.
18. Ersoy, U., 1985, Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı, **Bizim Büro Basım Evi**, Cilt 1, Sayfa 289, Ankara.
19. Cheong, H.K., MacAlevey, N., 2000, Experimental behavior of jacketed reinforced concrete beams, **Journal of Structural Engineering**, Volume 126, Issue 6, Pages 692-699.
20. Y.G. Diab, July 1998, Strengthening of RC beams by using sprayed concrete: experimental approach, **Engineering Structures**, Volume 20, Issue 7, Pages 631-643.
21. S. Dritsos, K. Pilakoutas and E. Kotsira, June 1995, Effectiveness of flexural strengthening of RC members, **Construction and Building Materials**, Volume 9, Issue 3, Pages 165-171.

22. J., Cairns and S.F.A. Rafeeqi, 9 July 1997, Behaviour of reinforced concrete beams strengthened by external unbonded reinforcement, **Construction and Building Materials**, Volume 11, Issues 5-6, Pages 309-317.
23. Ong, K.C.G., Tan, K.H., Mansur, M.A., Natarajan, S.M., September 1995, Behaviour of strengthened RC T-beams, **Magazine of Concrete Research**, Volume 47, Issue 172, Pages 189-202.
24. P. Paramasivam, C.T.E. Lim and K.C.G. Ong, 1998, Strengthening of RC beams with ferrocement laminates, **Cement and Concrete Composites**, Volume 20, Issue 1, Pages 53-65.
25. Hussain, M., Sharif, Alfarabi, Basunbul, A., Baluch, M.H., Al-Sulaimani, G.J., January-February 1995, Flexural behaviour of precracked reinforced concrete beams strengthened externally by steel plates, **ACI Structural Journal**, Volume 92, Issue 1, Pages 14-22.
26. Ziraba, Y.N., Baluch, M.H., Basunbul, I.A., Sharif, A.M., Azad, A.K., Al-Sulaimani, G.J., November-December 1994, Guidelines toward the design of reinforced concrete beams with external plates, **ACI Structural Journal**, Volume 91, Issue 6, Pages 639-646.
27. Mohammed Raoof, Jamal A. El-Rimawi and Mahmoud A.H. Hassanen, January 2000, Theoretical and experimental study on externally plated R.C. beams, **Engineering Structures**, Volume 22, Issue 1, Pages 85-101.
28. Oehlers, D.J., Ali, M.S. Mohamed, Luo, Weimin, March 1998, Upgrading continuous reinforced concrete beams by gluing steel plates to their tension faces, **Journal of Structural Engineering**, Volume 124, Issue 3, Pages 224-232.
29. H. Toutanji and M. Saafi, January 1999, Performance of concrete beams prestressed with aramid fiber-reinforced polymer tendons, **Composite Structures**, Volume 44, Issue 1, Pages 63-70.
30. S. Hanna and R. Jones, September 1997, Composite wraps for aging infrastructure: concrete beams, **Engineering Failure Analysis**, Volume 4, Issue 3, Pages 215-225.
31. Arduini, Marco, Nanni, Antonio, September-October 1997, Parametric study of beams with externally bonded FRP reinforcement, **ACI Structural Journal**, Volume 94, Issue 5, Pages 493-501.

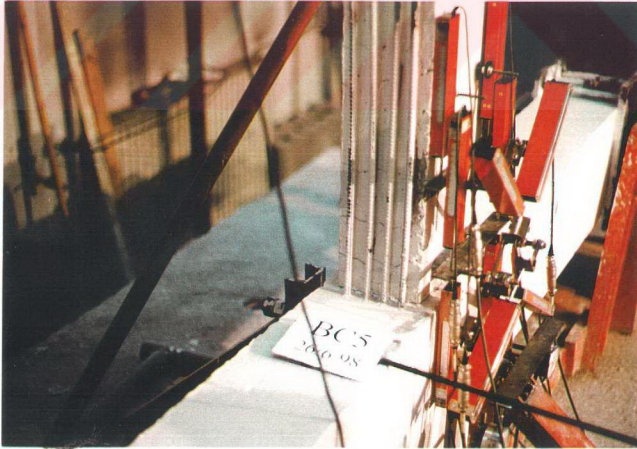
32. Nanni, Antonio, Norris, Michael S., October 1995, FRP jacketed concrete under flexure and combined flexure-compression, **Construction and Building Materials**, Volume 9, Issue 5, Pages 273-281.
33. Sharif, Alfarabi, Al-Sulaimani, G.J., Basunbul, I.A., Baluch, M.H., Ghaleb, B.N., March-April 1994, Strengthening of initially loaded reinforced concrete beams using FRP plates, **ACI Structural Journal (American Concrete Institute)**, Volume 91, Issue 2, Pages 160-168.
34. D. Kachlakev and D.D. McCurry, October 2000, Behavior of full-scale reinforced concrete beams retrofitted for shear and flexural with FRP laminates, **Composites Part B: Engineering**, Volume 31, Issues 6-7, Pages 445-452.
35. R.J. Quantrill and L.C. Hollaway, August 1998, The flexural rehabilitation of reinforced concrete beams by the use of prestressed advanced composite plates, **Composites Science and Technology**, Volume 58, Issue 8, Pages 1259-1275.
36. H.N. Garden and L.C. Hollaway, June 1998, An experimental study of the influence of plate end anchorage of carbon fibre composite plates used to strengthen reinforced concrete beams, **Composite Structures**, Volume 42, Issue 2, Pages 175-188.
37. H.N. Garden, R.J. Quantrill, L.C. Hollaway, A.M. Thorne and G.A.R. Parke, 1 June 1998, An experimental study of the anchorage length of carbon fibre composite plates used to strengthen reinforced concrete beams, **Construction and Building Materials**, Volume 12, Issue 4, Pages 203-219.
38. Norris, T., Saadatmanesh, H., Ehsani, M.R., July 1997, Shear and flexural strengthening of R/C beams with carbon fiber sheets, **Journal of Structural Engineering**, Volume 123, Issue 7, Pages 903-911.
39. Koji Takeda, Yoshiyuki Mitsui and Kiyoshi MurakamiHiromichi Sakai and Moriyasu Nakamura, 1996, Flexural behaviour of reinforced concrete beams strengthened with carbon fibre sheets, **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, Volume 27, Issue 10, Pages 981-987.
40. Chajes, Michael J., Thomson, Theodore A. Jr., Januszka, Ted F., Finch, William W.Jr., September 1994, Flexural strengthening of concrete beams using externally bonded composite materials, **Construction and Building Materials**, Volume 8, Issue 3, Pages 191-201.

EK

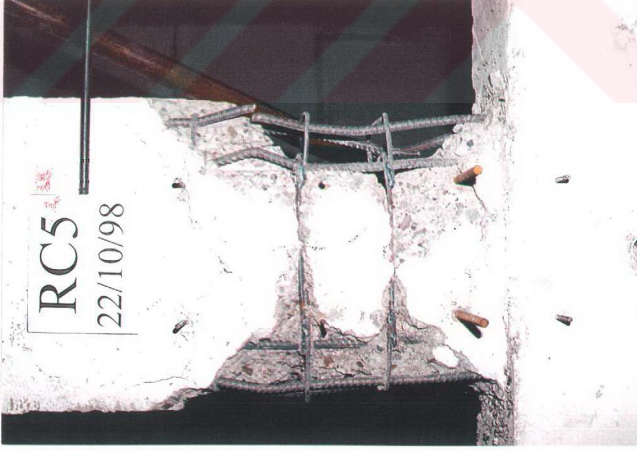
(DENEY ELEMANLARINA AİT FOTOĞRAFLAR)



Resim 1: M5 deney elemanı



Resim 2: BC5 deney elemanı



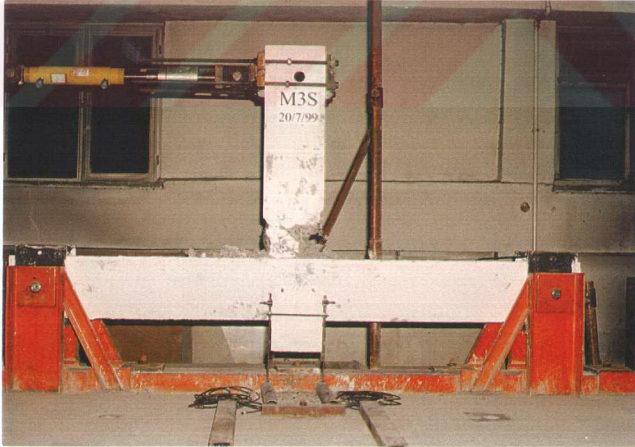
Resim 3: RC5 deney elemanı



Resim 4: RRC5 deney elemanı



Resim 5: M3 deney elemanı



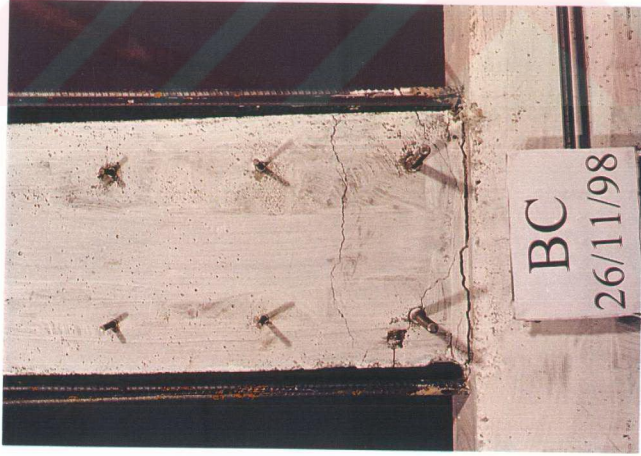
Resim 6: M3S deney elemanı



Resim 7: SC deney elemanı



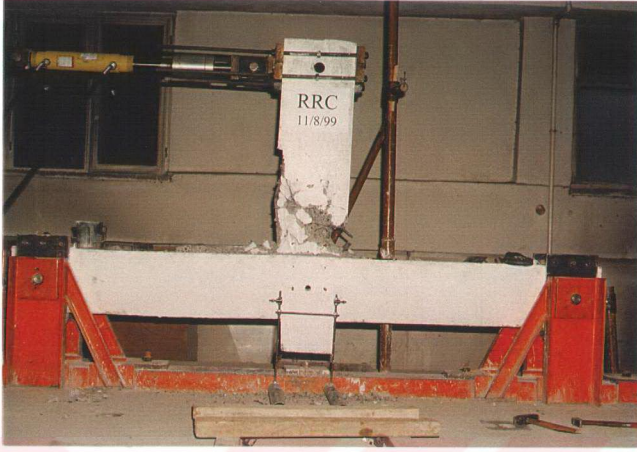
Resim 8: RSC deney elemanı



Resim 9: BC deney elemanı



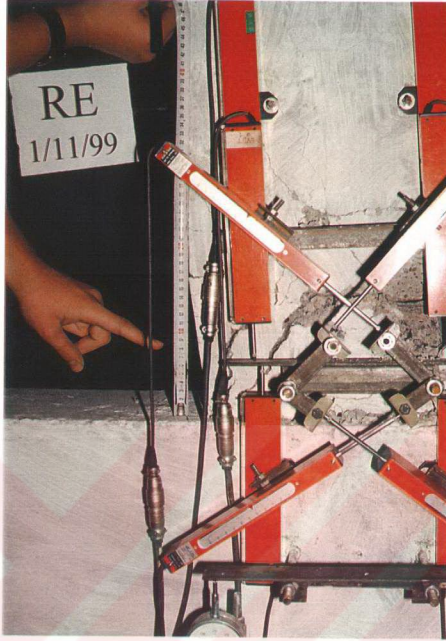
Resim 10: RC deney elemanı



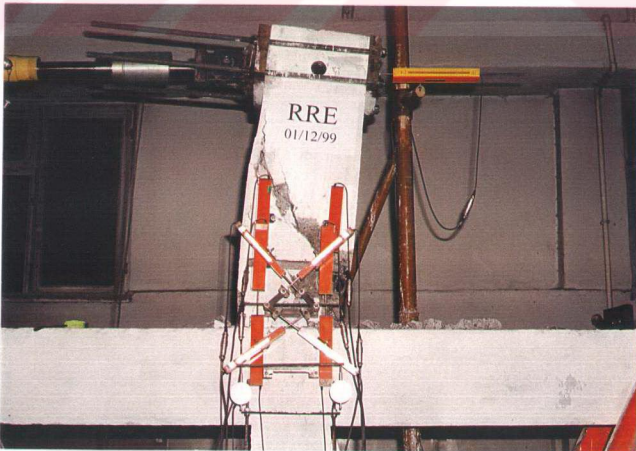
Resim 11: RRC deney elemanı



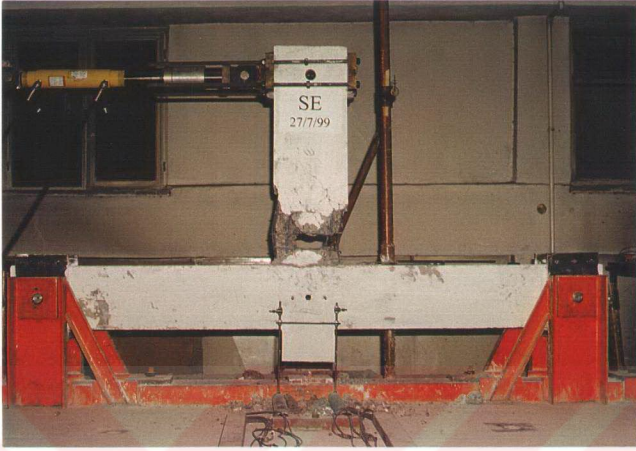
Resim 12: BE deney elemanı



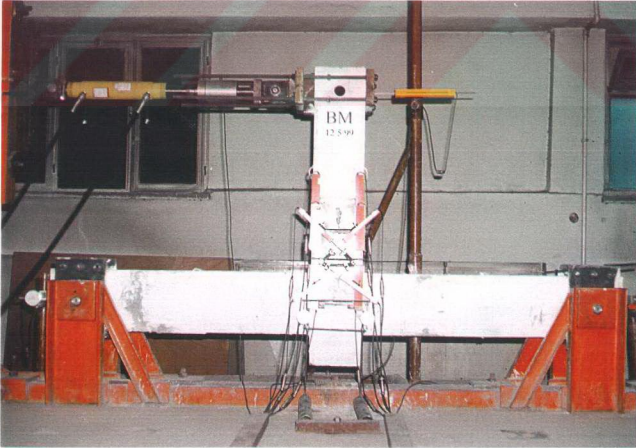
Resim 13: RE deney elemanı



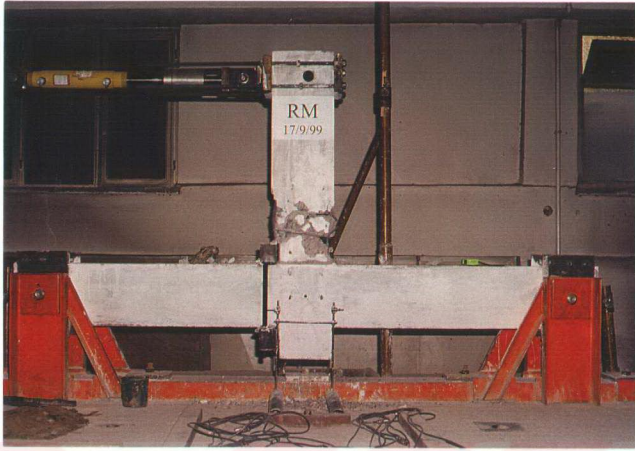
Resim 14: RRE deney elemanı



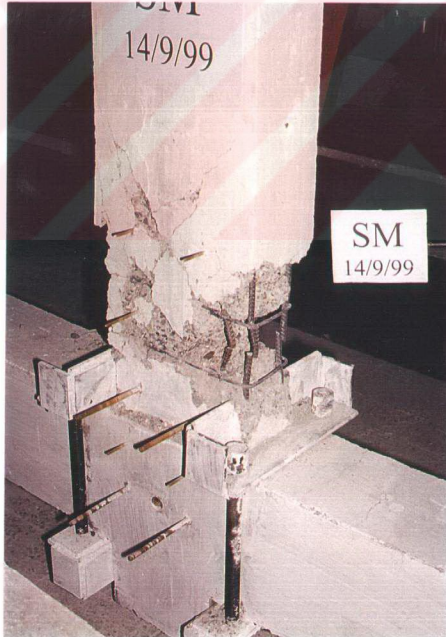
Resim 15: SE deney elemanı



Resim 16: BM deney elemanı



Resim 17: RM deney elemanı



Resim 18: SM deney elemanı

ÖZGEÇMİŞ

1965 yılında Kahraman Maraş'ın Afşin ilçesinde doğdu. 1976 yılında Mardin'in Kayapınar bucağı ilk okulundan mezun olduktan sonra Diyarbakır Anadolu Lisesi'ni devlet parasız yatılı olarak okumaya hak kazandı. 1988 yılında Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun olduktan sonra Karayolları Genel Müdürlüğünde kısa bir süre çalıştı. 1989 yılında mezun olduğu bölümde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı ve 1993 yılında yüksek lisansını Gazi Üniversitesinde tamamladı.