

**BETONARME KENAR KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN
GÜÇLENDİRİLMESİ**

ŞULE BAKIRCI ER

**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2010

ANKARA

ŞULE BAKIRCI ER tarafından hazırlanan BETONARME KENAR KOLON KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN GÜÇLENDİRİLMESİ adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hüsnü CAN
Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Öğr. Gör. Dr. Sabahattin AYKAÇ
Ortak Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Tekin GÜLTOP
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Hüsnü CAN
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet Emin TUNA
Mimarlık Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi
Doç. Dr. Ahmet YAKUT
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Orhan DOĞAN
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

Tarih 01/07/2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Şule BAKIRCI ER

**BETONARME KENAR KOLON KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN
GÜÇLENDİRİLMESİ
(Doktora Tezi)**

Şule BAKIRCI ER

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Temmuz 2010**

ÖZET

Ülkemizde “kolon + kirişli” betonarme sistemlerin yapımı sırasında en sık yapılan hatalardan biri de kolon sargı donatılarının kolon kiriş birleşim bölgesinde devam ettirilmemesidir. Deprem sırasında düğümlerdeki bu zayıf bölgelerde mafsallar oluşmakta binalarda kısmen ya da tamamen göçmelere neden olabilmektedir. Özellikle kenar kolon-kiriş birleşim bölgelerinde bu durum daha da önemli olmaktadır. En azından bir yüzünden kuşatılmamış olan kolon ucu, düğümdeki etriye yetersizliğinden/yokluğundan dolayı kiriş alt/üst yüzeyinden kurtulmakta ve buna bağlı olarak yapı yıkılmaktadır. Benzer davranışa sargı donatısı eksik ya da uygun olmayan iç kolonlarda da rastlanmaktadır. Yurdumuzdaki onarım/güçlendirme çalışmaları genellikle eleman (kolon, kiriş, perde vb.) üzerinde yoğunlaştığı için bu konuda yapılmış kapsamlı araştırmalara rastlanmamıştır. Yabancı kaynaklarda da kapsamlı ve uygulanabilir çalışmalara pek rastlanmamıştır. Oysa özellikle bu yüzden yıkılmış ya da hasar görmüş bina sayısı azımsanmayacak kadar çoktur. Bu nedenle kenar kolon-kiriş birleşimlerinin güçlendirilmesine yönelik kapsamlı bir deneysel çalışma yapılmıştır. Çalışmada bir kenar kolon-kiriş birleşimi, döşeme ve dik yönde saplanan kirişlerle beraber ele alınmış ve bunun için yeni bir deney sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemde eleman uçlarında depremden ve düşey yüklerden oluşan kuvvetlerin tamamı (kesme kuvveti, eksenel yük ve eğilme momenti) oluşturulabilmektedir. Bu anlamda da söz konusu çalışma diğer

Çalışmalardan farklılaşmaktadır. Glendirmelerde yerli ve ucuz malzemelerin kullanımına özellikle zen gösterilmiştir. Başlıca 7 tip güçlendirme tekniği araştırılmış ve 23 adet 1/2 ölçekli deney elemanı test edilmiştir. Araştırmanın sonunda, kolon kiriş birleşimlerinin güçlendirilmesinde oldukça etkili, kolay uygulanabilen ve çok ucuz güçlendirme yöntemleri geliştirilebilmiştir.

Bilim Kodu :911.1.144

Anahtar kelimeler :Betonarme birleşim, kolon, kiriş, onarım, düğüm bölgesinde güçlendirme

Sayfa Adedi :289

Tez Yneticileri :Prof. Dr. Hsn CAN

ğr. Gr. Dr. Sabahattin AYKA

STRENGTHENING OF EDGE REINFORCED CONCRETE BEAM TO COLUMN CONNECTIONS

(Ph. D. Thesis)

Şule BAKIRCI ER

**GAZI ÜNİVERSİTESİ
İNSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

July 2010

ABSTRACT

One of the most common mistakes made in our country in the construction of reinforced concrete “column+beam” systems is the discontinuity of the column stirrups inside the column-beam intersection region. During earthquakes, the formation of hinges at these weak regions of the nodes may cause total or partial collapse of the structure. This situation is more important especially at the edge column-beam intersection regions. The column tips not encircled at least at one of its faces, split from the beams bottom/top surfaces due to the lack/absence of stirrups at the nodes. This behavior is also observed in interior columns with insufficient or not proper stirrups. No other extensive study on this issue is found, as the repair/strengthening studies in our country are generally focused on structural members (column, beam, shear wall, etc.). Not many extensive and applicable studies are found in the literature. On the other hand, the number of collapsed or damaged buildings because of this issue is not negligible. Thus, an extensive experimental study focused on the strengthening of corner column-beam connections was planned. In this study, an edge column-beam connection was considered together with the slab and the beams attached in the transverse direction. Also, all of the forces at the member ends (shear force axial load and bending moment) caused by earthquake and vertical loads were generated using a new loading system. In this manner the study differs from other studies too. In strengthenings it was especially taken care of using native and cheap materials.

Mainly 7 strengthening techniques were investigated. 23 specimens with a scale of 1/2 were tested. At the result of the study for the strengthening of beam to column connection, several effective, easy, applicable and cheap methods were developed.

Science Code : 911.1.144

Key words :Reinforced concrete connection, column, beam, repair, strengthening of reinforced concrete connection.

Page Number :289

Advisers :Prof. Dr. Hüsnü CAN
Dr. Sabahattin AYKAÇ

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının deneyleri Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu laboratuvarın kurulmasında ve bugüne kadar geliştirilmesinde büyük emekleri, fedakarlıkları olan ve beni yetiştiren değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Dr. Sabahattin AYKAÇ'a sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bu tez çalışmasının yapılmasında desteklerinden dolayı değerli hocam ve tez danışmanlarımdan biri olan Sayın Prof. Dr. Hüsnü CAN'a teşekkürlerimi sunarım. Değerli katkılarıyla destek olan Tez İzleme Komitesi üyeleri Prof. Dr. Mehmet Emin TUNA ve Doç. Dr. Ahmet YAKUT'a teşekkür ederim. Doktora çalışmam sırasında destek olan aileme teşekkür ederim. Bu tez TÜBİTAK 106M417 nolu projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkürlerimi sunarım. Deney elemanlarının hazırlanması ve deneylerin yapımı sırasında yardımlarından dolayı laboratuvar sorumlusu uzman Faruk OGÜN'e, Araştırma görevlisi arkadaşlarım Eray ÖZBEK'e, Mahmut Cem YILMAZ'a, bitirme projesi öğrencilerine, yazıların düzenlenmesinde yardımlarından dolayı Araş. Gör. Meryem BÖCEK'e ve Araş. Gör. Özge BİCAN'a ayrıca bana destek olan tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Amaç	3
2.2. Kapsam	5
2.3. Geçmişte Yapılan Çalışmalar	6
3. GEREÇ ve YÖNTEM.....	12
3.1. Deneysel Çalışma	12
3.1.1. Deney elemanı ilkeleri.....	12
3.1.2. Deney elemanları	14
3.1.3. Malzeme dayanımları.....	37
3.1.4. Deney düzeni	38
3.1.5. Ölçümlerin değerlendirilmesi	42
4. BULGULAR	48
4.1. Deneyler	48
4.1.1. RC1-R2 deneyi	51

Sayfa

4.1.2. RC2 deneyi	57
4.1.3. WC1a deneyi.....	64
4.1.4. WC1b deneyi	70
4.1.5. WC1c deneyi.....	77
4.1.6. WC1d deneyi	83
4.1.7. WC2d deneyi.....	89
4.1.8. WJ1 deneyi.....	94
4.1.9. WJ2 deneyi	100
4.1.10. A1 deneyi.....	106
4.1.11. A2 deneyi.....	113
4.1.12. B1 deneyi	120
4.1.13. B2 deneyi	127
4.1.14. C1 deneyi	133
4.1.15.C2 deneyi	139
4.1.16.D1 deneyi	145
4.1.17.D2 deneyi	152
4.1.18.E1 deneyi	158
4.1.19.E2 deneyi	164
4.1.20.F1 deneyi	170
4.1.21.G2 Deneyi	176
4.2. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	183
4.2.1. Davranış ve dayanım	186
4.2.2. Moment – eğrilik ilişkisi	221

Sayfa

4.3. Deney Elemanlarının Eğilme Rijitliği	228
4.4. Deney Elemanlarının Enerji Tüketme Kapasitesi	240
4.5. Deney Elemanlarının Süneklik Kapasitesi	246
5. TARTIŞMA / SONUÇ ve ÖNERİLER	249
KAYNAKLAR.....	255
EKLER.....	258
EK-1 Deprem Resimleri.....	259
EK-2 Konu ile ilgili yapılan çalışmalara ait örnek resimler.....	262
EK-3 Deney elemanlarına ait resimler.....	267
ÖZGEÇMİŞ.....	289

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Deney elemanlarının özellikleri	16
Çizelge 3.2. Ortalama donatı dayanımları	37
Çizelge 3.3. Ortalama beton dayanımları.....	38
Çizelge 4.1. Elemanların ileri ve geri plastik çevrimlerde en büyük yüklerinin aynı çevrimlerdeki referans eleman yüklerine oranları.....	220
Çizelge 4.2. Tüketilen kümülatif enerjiler	241
Çizelge 4.3. Deney elemanlarına ait bazı büyüklüklerin karşılaştırılması.....	248

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1.	Referans elemanı (RC1 –R2) donatı detay çizimleri.....21
Şekil 3.2.	Referans elemanı (RC2) donatı detay çizimleri.....22
Şekil 3.3.	WJ1 elemanı donatı detay çizimleri.....23
Şekil 3.4.	WC1a elemanı donatı detay çizimleri.....24
Şekil 3.5.	WC1b elemanı donatı detay çizimleri.....25
Şekil 3.6.	WC1c elemanı donatı detay çizimleri.....26
Şekil 3.7.	WC1d elemanı donatı detay çizimleri.....27
Şekil 3.8.	WC2d elemanı donatı detay çizimleri.....28
Şekil 3.9.	WJ2 elemanı donatı detay çizimleri.....29
Şekil 3.10.	A1 ve A2 elemanları donatı detay çizimleri.....30
Şekil 3.11.	B1 ve B2 elemanları donatı detay çizimleri.....31
Şekil 3.12.	C1 ve C2 elemanları donatı detay çizimleri.....32
Şekil 3.13.	D1 ve D2 elemanları donatı detay çizimleri.....33
Şekil 3.14.	E1 ve E2 elemanları donatı detay çizimleri.....34
Şekil 3.15.	F1 ve G2 elemanları donatı detay çizimleri.....35
Şekil 3.16.	Birleşim Bölgesi Güçlendirme Detayları.....36
Şekil 3.17.	Yük ve Ölçüm Sistemi ($N_g=0$).....40
Şekil 3.18.	Yük ve Ölçüm Sistemi ($N_g=150$ kN).....41
Şekil 4.1.	RC1 –R2 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük toplam deplasman grafikleri.....54
Şekil 4.2.	RC2 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük toplam deplasman grafikleri.....61

Şekil	Sayfa
Şekil 4.3.	WC1a elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük toplam deplasman grafikleri.....67
Şekil 4.4.	WC1b elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük toplam deplasman grafikleri.....74
Şekil 4.5.	WC1c elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük toplam deplasman grafikleri.....80
Şekil 4.6.	WC1d elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük toplam deplasman grafikleri.....86
Şekil 4.7.	WC2d elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük toplam deplasman grafikleri.....91
Şekil 4.8.	WJ1 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük toplam deplasman grafikleri.....97
Şekil 4.9.	WJ2 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük toplam deplasman grafikleri.....103
Şekil 4.10.	A1 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük toplam deplasman grafikleri.....109
Şekil 4.11.	A2 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük toplam deplasman grafikleri.....117
Şekil 4.12.	B1 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük toplam deplasman grafikleri.....124
Şekil 4.13.	B2 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük toplam deplasman grafikleri.....130
Şekil 4.14.	C1 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük toplam deplasman grafikleri.....136
Şekil 4.15.	C2 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük toplam deplasman grafikleri.....142
Şekil 4.16.	D1 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük toplam deplasman grafikleri.....149
Şekil 4.17.	D2 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük toplam deplasman grafikleri.....155

Şekil	Sayfa
Şekil 4.18.	E1 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük toplam deplasman grafikleri.....161
Şekil 4.19.	E2 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük toplam deplasman grafikleri.....167
Şekil 4.20.	F1 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük toplam deplasman grafikleri.....173
Şekil 4.21.	G2 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük toplam deplasman grafikleri.....179
Şekil 4.22.	Eksenel yüksüz zayıf elemanların zarf eğrilerinin referans elemanla karşılaştırılması.....189
Şekil 4.23.	RC2 elemanı yük sehim grafiği.....190
Şekil 4.24.	WJ1 elemanı yük sehim grafiği.....191
Şekil 4.25.	WC1a elemanı yük sehim grafiği.....192
Şekil 4.26.	WC1b elemanı yük sehim grafiği.....193
Şekil 4.27.	WC1c elemanı yük sehim grafiği.....194
Şekil 4.28.	WC1d elemanı yük sehim grafiği195
Şekil 4.29.	Eksenel yüklü zayıf elemanlarla referans eleman zarf eğrilerinin karşılaştırılması.....196
Şekil 4.30.	WJ2 elemanı yük sehim grafiği.....197
Şekil 4.31.	WC2d elemanı yük sehim grafiği.....198
Şekil 4.32.	Referans eleman, A1, B1 ve D1 elemanları zarf eğrileri204
Şekil 4.33.	A1 elemanı yük sehim grafiği.....205
Şekil 4.34.	B1 elemanı yük sehim grafiği.....206
Şekil 4.35.	D1 elemanı yük sehim grafiği207
Şekil 4.36.	Referans eleman, A2, B2 ve D2 elemanları zarf eğrileri208
Şekil 4.37.	A2 elemanı yük sehim grafiği.....209

Şekil	Sayfa
Şekil 4.38.	B2 elemanı yük sehim grafiği.....210
Şekil 4.39.	D2 elemanı yük sehim grafiği.....211
Şekil 4.40.	Referans eleman, C1, E1 ve F1 elemanları zarf eğrileri212
Şekil 4.41.	C1 elemanı yük sehim grafiği213
Şekil 4.42.	E1 elemanı yük sehim grafiği.....214
Şekil 4.43.	F1 elemanı yük sehim grafiği215
Şekil 4.44.	Referans eleman, C2, E2 ve G2 elemanları zarf eğrileri216
Şekil 4.45.	C2 elemanı yük sehim grafiği217
Şekil 4.46.	E2 elemanı yük sehim grafiği218
Şekil 4.47.	G2 elemanı yük sehim grafiği219
Şekil 4.48.	RC1 –R2 elemanı moment – eğrilik ilişkisi223
Şekil 4.49.	RC2 elemanı moment – eğrilik ilişkisi223
Şekil 4.50.	A1 elemanı moment – eğrilik ilişkisi224
Şekil 4.51.	A2 elemanı moment – eğrilik ilişkisi224
Şekil 4.52.	B1 elemanı moment – eğrilik ilişkisi224
Şekil 4.53.	B2 elemanı moment – eğrilik ilişkisi225
Şekil 4.54.	D1 elemanı moment – eğrilik ilişkisi225
Şekil 4.55.	D2 elemanı moment – eğrilik ilişkisi225
Şekil 4.56.	C1 elemanı moment – eğrilik ilişkisi226
Şekil 4.57.	C2 elemanı moment – eğrilik ilişkisi226
Şekil 4.58.	E1 elemanı moment – eğrilik ilişkisi226
Şekil 4.59.	E2 elemanı moment – eğrilik ilişkisi227
Şekil 4.60.	F1 elemanı moment – eğrilik ilişkisi227

Şekil	Sayfa
Şekil 4.61.	G2 elemanı moment – eğrilik ilişkisi227
Şekil 4.62.	RC1 –R2 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği229
Şekil 4.63.	RC2 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği229
Şekil 4.64.	WC1a elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği230
Şekil 4.65.	WC1b elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği230
Şekil 4.66.	WC1c elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği231
Şekil 4.67.	WC1d elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği231
Şekil 4.68.	WC2d elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği232
Şekil 4.69.	WJ1 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği232
Şekil 4.70.	WJ2 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği233
Şekil 4.71.	A1 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği234
Şekil 4.72.	A2 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği234
Şekil 4.73.	B1 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği.....235
Şekil 4.74.	B2 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği.....235
Şekil 4.75.	C1 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği236
Şekil 4.76.	C2 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği236
Şekil 4.77.	D1 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği237
Şekil 4.78.	D2 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği237
Şekil 4.79	E1 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği238
Şekil 4.80.	E2 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği.....238
Şekil 4.81.	F1 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği239
Şekil 4.82.	G2 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği239

Şekil	Sayfa
Şekil 4.83.	WC1a, WC1b, WC1c, WC1d ve WJ1 elemanları enerji tüketme kapasiteleri242
Şekil 4.84.	WC2d ve WJ2 elemanları enerji tüketme kapasiteleri243
Şekil 4.85.	A1, A2, B1, B2, D1 ve D2 elemanları enerji tüketme kapasiteleri.....244
Şekil 4.86.	C1, C2, E1, E2, F1 ve G2 elemanları enerji tüketme kapasiteleri...245

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. RC1-R2 deney elemanından genel bir görünüş.....	55
Resim 4.2. RC1-R2 elemanından kiriş ve düğüm bölgesi hasarı.....	56
Resim 4.3. RC2 deneyinden genel bir görünüş.....	62
Resim 4.4. RC2 elemanında kiriş hasarı ve kirişte oluşan plastik mafsall.....	63
Resim 4.5. WC1a deney elemanından genel bir görünüş.....	68
Resim 4.6. WC1a elemanında düğüm bölgesi ve kolon hasarı.....	69
Resim 4.7. WC1b deneyinden genel bir görünüş.....	75
Resim 4.8. WC1b elemanında üst kolon, düğüm ve alt kolon hasarı.....	76
Resim 4.9. WC1c deneyinde alt kolon düğüm ve üst kolonda oluşan hasarlar....	81
Resim 4.10. WC1c elemanında düğüm bölgesi hasarı.....	82
Resim 4.11. WC1d elemanından genel bir görünüş.....	87
Resim 4.12. WC1d elemanında düğüm ve kolonda oluşan hasar.....	88
Resim 4.13. WC2d deneyinden genel bir görünüş.....	92
Resim 4.14. WC2d elemanında düğüm ve alt kolon hasarı.....	93
Resim 4.15. WJ1 elemanının deneyden sonraki görünüşü.....	98
Resim 4.16. WJ1 elemanında düğüm bölgesi hasarı ve dökülen düğüm bölgesi betonu.....	99
Resim 4.17. WJ2 deneyinden genel bir görünüş.....	104
Resim 4.18. WJ2 elemanında düğüm bölgesinin durumu.....	105
Resim 4.19. A1 deney elemanından genel bir görünüş.....	110
Resim 4.20. A1 elemanında oluşan düğüm bölgesi hasarı.....	111
Resim 4.21. A1 elemanında sabit pim civarında oluşan hasar.....	112

Resim	Sayfa
Resim 4.22. A2 deney elemanından genel bir görünüş.....	118
Resim 4.23. A2 elemanında oluşan düğüm bölgesi hasarı.....	119
Resim 4.24. B1 deneyinden genel bir görünüş.....	125
Resim 4.25. B1 elemanında düğüm bölgesinde oluşan hasar.....	126
Resim 4.26. B2 elemanı deneyinden genel bir görünüş.....	131
Resim 4.27. B2 elemanında oluşan düğüm bölgesi hasarı.....	132
Resim 4.28. C1 elemanı deneyinden genel bir görünüş.....	137
Resim 4.29. C1 elemanında kirişte oluşan hasar.....	138
Resim 4.30. C2 elemanı deneyinden genel bir görünüş.....	143
Resim 4.31. C2 elemanı düğüm bölgesinin deney sonundaki görünüşü.....	144
Resim 4.32. D1 elemanı deneyinden genel bir görünüş.....	150
Resim 4.33. D1 elemanında düğüm bölgesinden çıkan U etriye kolları.....	151
Resim 4.34. D2 elemanının deneyden sonraki görünüşü.....	156
Resim 4.35. D2 elemanında düğüm bölgesi hasarı.....	157
Resim 4.36. E1 deneyinden genel bir görünüş.....	162
Resim 4.37. E1 elemanında deneyden sonra düğüm bölgesinin görünüşü.....	163
Resim 4.38. E2 elemanı deneyinden genel bir görünüş.....	168
Resim 4.39. E2 elemanında kirişte oluşan hasar.....	169
Resim 4.40. F1 elemanı deneyinden genel bir görünüş	174
Resim 4.41. F1 elemanının deneyden sonra düğüm bölgesinin görünüşü.....	175
Resim 4.42. G2 deney elemanının kolonunun kesmeye karşı güçlendirilmesi....	180
Resim 4.43. G2 elemanı deneyinden genel bir görünüş.....	181

Resim	Sayfa
Resim 4.44. G2 elemanında deneyden sonra düğüm bölgesinin görünüşü ve kirişte oluşan hasar.....	182

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgelerin açıklamaları aşağıda sunulmuştur.

Simge	Açıklama
A_c	Kolon veya kirişin kesit alanı
$D1, D2, \dots$	Elektronik deplasman ölçerlere (LVDT) verilen ad
d	Kiriş etkili yüksekliği
d_i	“Di” 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)
d_{85}	Deney elemanının yük-deplasman zarf eğrisinin, referans eleman dayanımının % 85’inden geçen yatay doğruyu ikinci kez kestiği noktadaki deformasyon
$d_{85Ref.}$	Referans eleman dayanımının % 85’inden geçen yatay doğrunun referans 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
f_{ck}	28 günlük betonun karakteristik basınç dayanımı
ϕ	Donatı çapı
k_i	i. ölçüm bölgesindeki eğrilik
L	Kolon eksenine ile D1 adlı LVDT eksenine 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_{Ref}	Referans 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

Yapılarda yaygın olarak kullanılan taşıyıcı sistemlerden biri de, kolon ve kirişlerden oluşan betonarme çerçeve sistemlerdir. Kolon ve kirişlerin birleştiği bölgeler, birleşim bölgesi veya düğüm bölgesi olarak adlandırılır. Büyük deprem kuvvetleri altında, taşıyıcı sistemin bütünlüğü birleşim bölgelerinin kendisinden beklenen fonksiyonu sağlamasına bağlıdır. Birleşim bölgesindeki etriyeler, bu bölgedeki kesme kuvvetini karşılar, ya da yük taşımasını sağlar ve boyuna donatıların aderansını artırır [1].

Kolon-kirişli betonarme sistemlerin yapımı sırasında en sık yapılan hatalardan biri kolon sargı donatılarının (etrijelerinin) kolon-kiriş birleşim bölgesinde devam ettirilmemesidir. Deprem sırasında zayıf olan bu birleşim bölgelerinde mafsallar oluşmakta ve bu durum binada kısmen ya da tamamen göçmelere neden olabilmektedir. Özellikle kenar kolon-kiriş birleşim bölgelerinde durum daha da önemli olmaktadır. Düğümdeki etriye yokluğundan dolayı birleşime bağlı kolon ucu, kiriş alt/üst yüzünden sıyrılıp kurtulmakta ve buna bağlı olarak yapı yıkılmaktadır. Bir başka yıkılma türü ise ağır hasar görmüş birleşimin mekanizmaya dönüşmesi sonucunda ortaya çıkabilmektedir.

Deprem etkisi ile elastik ötesi şekil değiştirmelerle zorlanan betonarme yapının kolon-kiriş düğüm noktasının içinde, büyük kesme kuvvetleri oluşmaktadır. Kolon etrijelerinin düğüm içerisinden geçirilerek üst kolona devam ettirilmediği birleşimler, büyük kesme kuvvetleri altında hemen hemen yalın bir kütle gibi davranmaktadır. Bunun sonucu düğüm noktası dağılmaktadır. Depremin oluşturduğu kesme kuvvetlerinin altında, düğüm noktasında kesme kırılması istenmez. Çünkü kesme kırılması ile deprem enerjisi tüketilememektedir [2].

Yapıların birleşim bölgelerinin yeterli taşıma gücüne sahip olmadığının belirlenmesi durumunda yapılacak işlem bu bölgeleri güçlendirerek yeterli kapasiteye ulaştırmaktır. Güçlendirme ve onarım kavramları birbirinden farklıdır. 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 [3].

Bu çalışmada öncelikle kenar kolon-kiriş sistemini test edebilecek yeni bir deney sistemi geliştirilmiş, daha sonra kenar kolon-kiriş birleşimlerinin güçlendirilmesine yönelik tekrarlanır-tersinir yükler altında kapsamlı bir deneysel çalışma yapılmıştır. Çözümü gerçekten zor olan bir problem bu çalışmada ele alınmış ve çalışma sonunda pratik, uygulaması kolay aynı zamanda bir o kadar da etkili bir güçlendirme metodu geliştirilebilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlardan etkili olan güçlendirme yöntemlerinin ufak değişikliklerle iç kolon kiriş birleşimlerine de uygulanabileceği açıktır. Güçlendirme işlemlerinde yerli ve ucuz malzemeler kullanılmasına özellikle özen gösterilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Amaç

“Kolon-kiriş” birleşim bölgesinde en sık yapılan hatalardan biri kolon etriyelerinin birleşim bölgesinde devam ettirilmemesidir. Yapılan araştırmalarda eski yapıların (2000 öncesi) büyük bir kısmında düğüm bölgesinde kolon etriyelerinin devam ettirilmediği görülmüştür. Yeni yapılarda da aynı yapım hatasına sıkça rastlanmaktadır. Düğüm bölgesi yeterince ve uygun sargılanmamış kolon uçlarında depremler sırasında mafsallar oluşmakta ve kolonlar yatay rijitlikleri olmayan pandüller gibi davranmaktadır. Kenar kolon-kiriş birleşim bölgelerinde ise durum daha da önemli olmaktadır. Böyle bir kenar kolon, pandülden çok kiriş altına yerleştirilmiş (uçları kirişe göre yatay göreceli hareketlere karşı sabitlenmemiş) dikme olarak bilinen elemanlar gibi davranmaktadır.

Deprem sırasında kolon ucunu, birleşime bağlayacak etriyeler olmadığı için kolon ya kiriş altından dışarı çıkmakta ve bina yıkılmakta ya da kolon kiriş altından binanın içine doğru kaçmakta ve döşemeyi zımbalamaktadır. 2003 Bingöl depreminde bu şekilde yıkılmış birçok binaya rastlanmıştır, Ek 1.1-1.4 ve 1.6. Benzer göçmelere diğer depremlerde de rastlanmıştır.

Kolon etriyesi yetersiz ya da uygun yapılmamışsa durum daha da önemli olmaktadır. Bina aşağı doğru çökmeye başladığında kolon boyuna donatıları direnç gösteremeyen eksik ya da uygun olmayan etriyeleri sökerek/kopartarak çıkartmaktadır, Ek 1.5.

Bugüne kadar bu şekilde çökmüş birçok bina olmasına rağmen konu üzerine pek dikkat çekilmemiştir. Konu ile ilgili olarak yerli ve yabancı literatürde kapsamlı ve uygulanabilir çalışmalara pek rastlanmamıştır. Oysa özellikle bu yüzden yıkılmış ya da hasar görmüş bina sayısı azımsanmayacak kadar çoktur.

Bu nedenle bu çalışmada zayıf kenar kolon-kiriş birleşimlerinin güçlendirilmesi için yeni ve uygulanabilir tekniklerin depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yük altındaki davranışının araştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada olabildiğince yerli ve ucuz malzemelerin kullanımı da amaçlardan biridir.

Çalışmada bir kenar kolon-kiriş birleşimi, döşeme ve dik yönde saplanan kirişlerle beraber ele alınarak üç boyutlu sayılabilecek bir model oluşturulmuştur. Böylelikle ortaya koyulan güçlendirme yöntemlerinin uygulanabilir olması sağlanmıştır. Konu ile ilgili olarak yapılmış olan çalışmaların birçoğunun; düğüme dik yönde saplanan kiriş ve döşemeler düşünülmediği için uygulanabilir olmadığı görülmüştür.

Ayrıca geçmişte yapılmış çalışmalarda eleman uçlarında depremden ve düşey yüklerden oluşan kuvvetlerin sadece bir kısmının ele alınabildiği görülmüştür. Bu çalışmada eleman uçlarında depremden ve düşey yüklerden oluşan iç kuvvetlerin tamamı (kesme kuvveti, eksenel yük ve eğilme momenti) geliştirilen yeni bir yükleme sistemi ile oluşturulabilmiştir. Böylelikle gerçek yapıdakine daha çok benzeyen bir model oluşturularak davranışın daha iyi anlaşılması sağlanmıştır. Bu anlamda da söz konusu çalışma diğer çalışmalardan farklılaşmaktadır.

2.2. Kapsam

Bu deneysel çalışmada kenar kolon kiriş birleşimlerinin güçlendirilmesine yönelik geliştirilen yeni güçlendirme yöntemlerinin etkinliğini, davranış ve dayanım üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla bir dizi deney yapılmıştır. Laboratuvar olanakları dikkate alınarak 2 tanesi hazırlık aşamasında yapılmış, toplam 23 deney elemanı üzerinde deney yapılmış, olabildiğince çok değişken araştırılmış ve en etkili yeni güçlendirme yöntemleri ortaya konulmuştur.

Çalışmada ele alınan parametreler aşağıda verilmiştir.

1. İşlem Türü,
 - Referans Eleman
 - Zayıf Eleman
 - Güçlendirme Elemanı
2. Güçlendirme Bölgeleri
 - Düğüm Bölgesi
 - Düğüm Bölgesi+Alt Kolon+Üst kolon
3. Kolon Eksenel Yüğü
4. Güçlendirme Araçları,
 - U-etriye
 - Bulon+lama
 - Bulon+profil

2.3. Geçmişte Yapılan Çalışmalar

Kolon-kiriş birleşimlerinin güçlendirilmesi ile ilgili bir çok araştırma yapılmıştır. Daha çok kolon-kiriş birleşiminin kesme ve eğilme kapasitesini artırmaya yönelik olan bu çalışmalar 3 grupta incelenmiştir:

Lifli betonla güçlendirme yöntemi

Kompozit liflerle güçlendirme yöntemi

Çelik profil, kelepçe, ankraj ve ankraj donatısı ile güçlendirme yöntemi

Lifli betonla güçlendirme

Gustavo J. Parra-Montesinos, Sean W. Peterfreund, ve Shih-Ho Chao'nun çalışması [4]:

Bu çalışmada, kolon-kiriş birleşiminde etriye ihtiyacını karşılamak ve birleşim problemlerini gidermek amacıyla yüksek performanslı, lifli beton kullanılmış ve deprem yüklemesi altında elemanlar test edilmiştir. Deney elemanlarının plastik mafsallaşma bölgesinde hiç etriye kullanılmamıştır. Beton karışımında hacimsel olarak %1,5 oranında yüksek yoğunluklu polyetilen lif kullanılmıştır. Bu kapsamda, bir kolona iki yandan saplanmış kirişlerin bulunduğu 2 büyük ölçekli deney elemanı üretilmiş ve tekrarlı yükler altında denenmiştir. Birleşim bölgeleri sırayla 7,3 MPa ve 9,3 MPa kesme gerilmelerine maruz kalmıştır.

Deney sonuçları bu tür birleşimin tatmin edici olduğunu ve bu tekniğin oluşabilecek hasarlara karşı oldukça toleranslı davrandığını göstermiştir. Deneylerin sonunda sadece deney elemanlarının birleşim bölgelerinde ufak çaplı hasarlar meydana geldiği belirlenmiştir.

A. G. Tsonos'un çalışması [5]:

Bu çalışmada, kolon kiriş birleşim bölgesinde yüksek performanslı çelik lif katkılı beton kullanarak tekrarlı yükler altında elemanların davranışları incelenmiştir. Deney sonuçları dayanım, süneklik ve rijitlik açısından değerlendirilmiştir. Sonuçta önerilen

güçlendirme yöntemleriyle dayanım üç katına, enerji tüketimi 20 katına çıkartılmıştır.

Mustafa Gencoğlu ve İlhan Eren'in çalışması [6]:

Bu çalışmada, birleşim bölgesindeki yatay donatıların genelde sıklığına, bu durumun da çoğu zaman yetersiz işçilik kalitesi sebebiyle yanlış imalata yol açtığına dikkat çekilmiştir. Bundan dolayı malzeme olarak çelik lif katkılı beton kullanarak birleşim bölgelerinin kolay bir yöntemle iyileştirilmesine çalışılmıştır. Bunun için 1/1 ölçekli, 4 eleman üzerinde deneyler yapılmıştır. İki eleman sadece sık yerleştirilmiş etriyelerden oluşturulmuştur. Diğer iki elemanda ise etriyelerin miktarı azaltılarak çelik lif katkılı beton kullanılmıştır. Deney elemanları tekrarlı yükler altında denenmiş ve sonuçlar dayanım, hasar ve süneklik açısından değerlendirilmiştir. Sonuçta birleşim bölgelerinde çelik lif katkılı beton kullanımıyla, gerçekte kullanılması gereken etriyelerin azaltılabileceği kanısına varılmıştır.

Kompozit liflerle güçlendirme

Paul J. Granata ve Azadeh Parvin'in çalışması [7]:

Bu çalışmada, kolon kiriş birleşim bölgelerinin karbon liflerle güçlendirilmesine çalışılmıştır. Yapılan ölçekli çalışmada bölgenin eğilme kapasitesi önemli ölçüde artırılmıştır.

Ze-jun Geng, Michael J. Chajes, Tsu-Wei Chou ve David Yen-Cheng Pan'in çalışması [8]:

Bu çalışmada kolon kiriş birleşim bölgelerinin sünekliğinin artırılması üzerinde durulmuştur. Bunun için karbon şeritler düğüm noktasına yakın bölgede sarılmış ve bunların daha sağlam tutturulmasını sağlamak amacı ile çelik profiller ve ankrajlar kullanılmıştır. 19 deney elemanı tekrarlı yüklemeler altında denenmiştir. Deneyler sonucunda önemli ölçüde süneklik ve %170 dolaylarında taşıma gücü arttırılmıştır.

Mustafa Gençoğlu, İlhan Eren ve Turgay Atınç'ın çalışması [9]:

Bu çalışmada, hasarlı kenar kolon birleşim numuneleri, üç farklı yöntemle güçlendirilmiş ve her bir yöntemde farklı güçlendirme malzemesi kullanılmıştır. Bu malzemeler, epoksi reçinesi enjeksiyonu, karbon elyafli laminantlar (CFRP) ve tekstiller ile çelik lamalardır. Güçlendirilen numuneler, güçlendirme öncesindeki yükler gibi tersinir tekrarlı yüklere maruz bırakılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar, numunelerin dayanımlarına, oluşan çatlak dağılımlarına, enerji yutma miktarlarına ve güçlendirme maliyetlerine ve imalat süresine göre değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelere göre, çelik lamalarla güçlendirilen ikinci numunenin, daha uygun sonuçlara sahip olduğu belirlenmiştir.

Abhijit Mukherjee ve Mangesh Josh'in çalışması [10]:

Bu çalışmada, kolonları eksenel yüklü, kolon-kiriş birleşim bölgelerinin karbon ve cam liflerle sargılanıp güçlendirilmesine çalışılmıştır. Değişken olarak karbon şeritlerin konfigürasyonları alınmıştır. Deneyler dinamik aktuatorlerle deplasman kontrollü yapılmıştır. Sonuçta elemanların davranışında rijitlik ve enerji tüketimi açısından olumlu gelişmeler olmuştur.

T. El-Amoury ve A. Ghobarah'ın çalışması [11]:

Bu çalışmada, kolon-kiriş birleşim bölgelerinin cam liflerle sargılanıp kesmeye karşı güçlendirilmesine çalışılmıştır. Biri referans üç eleman tekrarlı yükler altında denenmiştir. Referans elemanı gevrek kesme kırılması gösterirken güçlendirilen elemanlar daha sünek davranış göstermiştir.

A. Ghobarah ve A. Said'in çalışması [12]:

Bu çalışmada Lifli Polimer ile onarılmış (FRP) kolon kiriş birleşimleri sunulmuştur. Düğüm bölgesinin kesme kapasitesini artırmak ve plastik mafsalin kirişte oluşmasını sağlamak hedeflenmiştir. Çalışmada 1/1 ölçekli bir dış kolon kiriş birleşim bölgesi modellenmiş ve FRP ile onarılmıştır. Kullanılan kompozit tabaka sisteminin sünek olmayan kolon kiriş birleşim bölgelerinin kesme kapasitelerini artırmada etkili oldukları görülmüştür. Elemanın onarımdan önceki ve sonraki davranışı

karşılaştırılarak sunulmuştur. Mevcut betonarme kolon kiriş birleşimlerini mantolayarak kesme kapasitelerini artırmada tasarım metodu önerilmiştir.

A. Ghobarah ve A. Said'in Çalışması [13]:

Bu çalışmanın amacı kompozit malzemeler kullanarak kolon-kiriş birleşim bölgesinin kesme kapasitesini arttırmak olmuştur. Güçlendirilen elemanlar tekrarlı yükler altında denenmiştir. Kompozit liflerin ve malzemelerin uygulama tekniği sayesinde elemanların kesmeden göçmesi engellenmiş ve kesme güvenliği artırılmıştır.

Jianchun Li, Bijan Samali, Lin Ye ve Steve Bakoss'un çalışması [14]:

Bu çalışmada, kolon-kiriş birleşim bölgelerinin karbon liflerle sargılanıp kesmeye karşı güçlendirilmesine çalışılmıştır. Deney sonuçları kullanılan teknik ve malzemenin dayanım ve rijitliği oldukça arttırdığını göstermiştir.

Kien Le-Trung, Kihak Lee, Jaehong Lee, Do Hyung Lee ve Sungwoo Wooc'un çalışması [15]:

Bu çalışmanın amacı karbon lifli kumaş kullanarak kolon-kiriş birleşim bölgesinin kesme güvenliğini ve sünekliğini artırmak olmuştur. Deney değişkeni olarak karbon kumaşın sargılama biçimi ele alınmıştır. 1/3 ölçekli sekiz deney elemanı tekrarlı yükler altında denenmiştir. Deney sonuçları dayanım ve sünekliğin arttırıldığını göstermiş, ayrıca çapraz bağlama yöntemi diğer ele alınan yöntemlerden daha başarılı olmuştur.

Azadeh Parvin ve Shanhong Wu'nun çalışması [16]:

Bu çalışmada, karbon lifli kumaşın uygulama açısı değişken alınmış, sünekliğe ve kesme kapasitesine etkisi sonlu elemanlar analizi ile incelenmiş, deneysel çalışmalarla kıyaslanmıştır. Sonuçta yatayla yapılmış $\pm 45^\circ$ 'lik açının ve üst üste yapılan 4 kat uygulamanın daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Ayman S. Mosalliam, P. R. Chackrabarti ve Ernie K. Lau'nun çalışması [17]:

Bu çalışmada, hasarlı kolon kiriş birleşimlerinin polimer kompozitlerle onarım ve

rehabilitasyonu üzerinde durulmuştur. Bunun için ½ ölçekli 6 deney elemanı test edilmiştir. Elemanların öncelikle göçme durumuna kadar hasar alması sağlanmış daha sonra onarım ve rehabilitasyon çalışmaları yapılmıştır. Onarım işleminde karbon lif, epoksi enjeksiyonu, cam lifi kullanılmıştır. Yapılan incelemelerde, dayanımda artışlar gözlenmiş ve süneklik oranı referans elemanına göre %42 arttığı belirlenmiştir.

Çelik profil, kelepçe, ankraj ve ankraj donatısı ile güçlendirme yöntemi

Bilal S. Hamad, Rania Al Hammoud, Jacob Kunz'un çalışması [18]:

Bu çalışmada, kolon kiriş birleşiminde sonradan eklenen donatıların ankraj performansı incelenmiştir. 18 tane 1/1 ölçekli numune test edilmiştir. Değişken olarak demir donatının çapı (12 ve 14 mm), beton basınç dayanımı (12 MPa ve 14 MPa), ankraj derinliği (150, 250, 290 mm) ele alınmıştır. Ankraj derinliği 150 mm olan elemanlarda aderans çözülmesiyle beraber donatılar sıyrılmıştır. Ancak ankraj harcıyla sonradan eklenen donatıların aderansının bir döküm referans elemanlarından daha kuvvetli olduğu sonucuna varılmıştır. Ankraj derinliği 150 mm'den fazla olan elemanlarda ise en yüksek dayanımın kancalı bir döküm referans elemanına oranla daha az olduğu gözlenmiştir.

A. Said, ve M. Nehdi'nin çalışması [19]:

Bu çalışmada kolon-kiriş birleşim bölgeleri çelik kelepçelerle güçlendirilmiştir. Çalışmada biri referans elemanı olmak üzere 2 adet 1/1 ölçekli eleman test edilmiştir. Çalışmanın sonunda uygulanan rehabilitasyon tekniğinin oldukça başarılı olduğu görülmüştür.

W. T. Lee , Y. J. Chiou, ve M. H. Shihe'nin çalışması [20]:

Bu çalışmada, kolon-kiriş birleşim bölgelerinin karbon lif ve köşebentlerle sargılanıp kesmeye karşı güçlendirilmiştir. Gerçek boyutlarda biri referans elemanı olmak üzere 3 eleman tekrarlı yükler altında denenmiştir. Deney sonuçları mekanik ankrajların karbon kumaşın sıyrılmasını engellediğini göstermiş, böylece süneklik, dayanım ve rijitlikte önemli artışlar sağlanmıştır.

Preeda Chaimahawan ve Amorn Pimanmas'ın çalışması [21]:

Bu çalışmada kolon kiriş birleşim bölgeleri düzlemsel üçgen ve dikdörtgen elemanlar üretilerek genişletilmeye çalışılmıştır. 3 adet deney elemanı 1/3 ölçeğinde üretilmiş ve tekrarlanan yükler altında denenmiştir. Bu genişletmelerle plastik mafsallın kolon yüzünden uzaklaşması sağlanmış böylece düğümün kesmeden taşıma gücüne ulaşması engellenmiştir. Referans elemanı gevrek kesme kırılması gösterirken güçlendirilen elemanlar sünek eğilme davranışı göstermiştir. Sonuçta dayanım, rijitlik, enerji tüketimi ve süneklik açısından oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

A. Ghobarah , Tarek S. Aziz ve Ashraf Biddah'ın çalışması [22]:

Bu çalışmada 1970'lerde tasarlanan kolon kiriş birleşimi incelenmiştir. Bu birleşimlerin kesme dayanımı ve sünekliklerini artırmak amacıyla birbirine paralel girintili çıkıntılı çelik ile birleşim bölgesi mantolanmıştır. 4 tane büyük ölçekli kiriş-kolon birleşimi çevrimsel yük altında test edilmiştir. Bu 4 elemandan bir tanesi mevcut birleşimi, bir tanesi geçerli yönetmelik detaylarını, iki tanesi de iyileştirilmiş birleşimleri temsil etmektedir. Deney elemanında düğüm ve kolon etriye miktarı, sadece kolon veya kolon ve kirişin her ikisinin mantolanması değişken olarak alınmıştır. Test sonuçları mantolanmış düğümlerin kesme kapasitelerinin, kolon-kiriş birleşim bölgeleri için geçerli tasarım önerilerine benzer yaklaşımla tahmin edilebileceğini göstermiştir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Deneysel Çalışma

3.1.1. Deney elemanı ilkeleri

Bu deneysel çalışmanın amacı sargılanmamış (etrikesiz) kolon-kiriş birleşim bölgesine sahip betonarme elemanları, yerli ve ucuz malzemelerle güçlendirmek, güçlendirilen elemanların depremi benzeştiren yükler altında davranışını belirlemek ve bu yeni güçlendirme yöntemlerinin etkinliğini araştırmaktır. Deney elemanlarının bir kısmı düğüm davranışını belirlemeye yönelik hazırlanmıştır. Davranış belirlemeye yönelik olan elemanlar; güçlendirme yapılmamış, referans, zayıf düğüm, zayıf düğüm+kolon elemanlarıdır. Güçlendirme elemanları ise düğüm bölgesi tamamen etrikesiz olarak üretilmiş elemanlardır.

Çalışmada, bir dış kenar zemin kat kolonunun üst ucundaki birleşim bölgesi, birleşime düzlem içinde ve dışında bağlanan kiriş ve döşemeler ile birlikte incelenmiştir. Düzlem içindeki kolon ve kirişler moment sıfır noktasına kadar ele alınmıştır. Birinci kat kolon ve kirişinde moment sıfır noktasının eleman ortasında olduğu varsayılmıştır. Zemin kat kolonunda ise olabildiğince büyük kesme kuvvetleri elde etmek için gerçek yapılarda olduğu gibi moment sıfır noktasının kolon ortasından kirişe doğru kaydığı göz önüne alınmıştır. Zemin kat kolonunun moment sıfır noktası prototip olarak ele alınan “Bingöl Çeltiksuyu Yatılı Bölge Okulu” nun yapısal analizinden bulunmuştur.

Çalışmada bir kenar kolon-kiriş birleşimi, döşeme ve dik yönde saplanan kirişlerle beraber ele alınarak üç boyutlu sayılabilecek bir model oluşturulmuştur. Böylelikle ortaya koyulan güçlendirme yöntemlerinin uygulanabilir olması sağlanmıştır. Konu ile ilgili olarak yapılmış olan çalışmaların birçoğunun; düğüme dik yönde saplanan kiriş ve döşemeler düşünülmediği için uygulanabilir olmadığı görülmüştür. Bu nedenle kolon ve kiriş uçlarında oluşan kesme kuvvetleri ve eksenel yükler prototipten oransal olarak hesaplanmış ve tek noktadan sisteme uygulanan yükün

yukarıda belirtilen tüm uç kuvvetlerini oransal olarak oluşturacak bir yükleme sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemde sadece kiriş ucundaki eksenel yük kendi doğrultusunda düğüme kadar kaydırılmıştır. Planlanmış olan yük ve ölçüm düzeni Şekil 3.17 ve 3.18’de gösterilmiştir. Sisteme çift etkili krikos (itme/çekme krikosu) ile, genliği giderek artan, tersinir yinelenir yükler uygulanmıştır. Uygulanan yükün büyüklüğü yük hücresi ile ölçülmüş diğer iç kuvvetler ise izostatik olan sistemde denge denklemleri ile bulunmuştur.

Laboratuvar olanakları göz önünde bulundurularak deney elemanlarının $\frac{1}{2}$ ölçekli olmasına karar verilmiştir. Deney elemanları olabildiğince gerçek yapıdaki gibi üretilmiş ve gerçek yapıda görülen yapım kusurları da aynen tekrarlanmıştır. Çalışmada birleşim bölgesini olabildiğince zorlamak için oldukça çok donatılı bir kiriş ($\rho=0,0161$, $\rho_b=0,0136$) seçilmiş ve hem kiriş hem de kolon boyuna donatıları ($\rho=0,013$) tüm elemanlarda sabit tutulmuştur [23-25].

Çalışmada öncelikle davranışını belirginleştirmeye yönelik deneyler yapılmıştır. Bu grupta birleşim bölgesinde etriyesi olmayan ve kolon etriyesi çeşitli aralıklarda olan elemanlar (W-grubu) test edilmiştir. Daha sonra güçlendirme elemanları deneyleri yapılmış ve referans elemanla karşılaştırılmıştır. Deney elemanlarının bazılarında ölü eksenel yükü temsil etmek için 150 kN değerinde sabit bir eksenel yük uygulanmıştır ($N/A_c \cdot f_{ck}=0,18$, $N/A_c \cdot f_{c_mevcut}=0,36$). [24, 26]. Bundan önceki çalışmalarda ele alınan kolon-kiriş sistemleri genellikle kolon uçlarından mesnetlenmiş ve kiriş ucuna kesme kuvveti uygulanarak test edilmiştir. Buna bağlı olarak, davranış üzerinde önemli etkileri olabilecek, kolon eksenel yükleri ile kolonlar arasındaki kesme kuvveti farkı ihmal edilmiştir. Bilindiği gibi deprem yüklerinden dolayı kolon ve kirişlerde kesme kuvvetleri, eksenel yükler ve momentler oluşmaktadır. Deprem sırasında kolonda oluşabilecek olası eksenel çekme yükleri de kirişin kolon uçları arasından çıkmasını kolaylaştırmaktadır. Dolayısıyla davranış üzerinde önemli etkileri olabilecek bu kuvvetlerin ihmal edilmesi değerlendirmelerde önemli yanlışlıklara yol açabilecektir. Bu nedenle, bu çalışmada öncelikle kenar kolon-kiriş sistemini biraz daha gerçeğe yakın bir biçimde test edebilecek, yeni bir deney sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen

yeni sistemde depremden ve düşey yüklerden dolayı kolon ve kiriş uçlarında oluşan iç kuvvetlerin tamamı (kesme kuvveti, eksenel yük ve moment) tek noktadan uygulanan bir yükün aynı oranlarda eleman uçlarına dağılması sağlanarak oluşturulabilmiştir. Böylece gerçek yapıdakine çok daha benzeyen bir model oluşturularak davranışın daha iyi anlaşılması sağlanmıştır. Sisteme büyüklüğü yük hücresi ile ölçülen, tersinir-yinelenir yükler uygulanmıştır. Elemanlarda oluşan iç kuvvetler ise denge denklemleri ile bulunmuştur. Kiriş uç sehimi, rijit ötelenmeler ve çeşitli deformasyon ölçümleri için toplam 11 adet LVDT kullanılmış ve tüm ölçümler bir bilgisayara aktararak deneyin gelişimi bilgisayardan izlenmiştir.

3.1.2. Deney elemanları

23 deney elemanı hazırlanmış ve bu deney elemanları ile 23 deney yapılmıştır. Bu deneylerden 2 tanesi hazırlık aşamasında yapılmış ve gözlenen aksaklıklar giderilerek diğer deney elemanları hazırlanmış ve test edilmiştir. Anlatımlar ve değerlendirmeler kısmında hazırlık aşamasında yapılan 2 deney elemanına ait detaylar verilmemiştir. Çizelge 3.1’de deney elemanlarının adları ve ele alınan parametreler verilmiştir.

Deney elemanlarının isimlendirilmeleri aşağıda verilmiştir.

-İlk bir/iki harf, eleman türünün İngilizce baş harfini belirtmektedir.

RC: Referans Elemanı (Referance Column)

WJ: Zayıf düğüm (Weak Joint)

WC: Zayıf kolon ve zayıf düğüm (Weak Column)

-Takip eden rakam kolonda ölü yük olup olmadığını göstermektedir. Bu rakam “1” ise kolona etki ettirilen bir sabit eksenel yük yoktur. Bu rakamın “2” olması kolona 150 kN değerinde sabit bir eksenel yük uygulandığını göstermektedir.

-Takip eden küçük harfler kolon etriyelerinin düğüm bölgesine mesafelerini göstermektedir.

a: Düğümden sonraki ilk etriyenin düğüme mesafesi 150 mm

b: Düğümden sonraki ilk etriyenin düğüme mesafesi 150 mm, üst kolondaki 2. etriye de 150 mm'de

c: Düğümden sonraki ilk etriyenin düğüme mesafesi 250 mm

d: Düğümden sonraki ilk etriyenin düğüme mesafesi 250 mm, üst kolondaki ikinci etriye 250 mm'de

-Takip eden "R" harfi ve rakam herhangi bir nedenle deneyin tekrarlandığı durumlarda kullanılmıştır, (R1: 1. tekrar, R2: 2. tekrar gibi)

Çizelge 3.1. Deney elemanlarının özellikleri

Eleman		Eleman Türü	Güçlendirme Bölgeleri	Kolon Etriyesi	Düğümde Etriye	Kolon Eksenel Yüğü (kN)	Güçlendirme Tekniğı
No	Adı						
1	RC1-R2	Referans	Yok	$\phi 6/50$	$\phi 6/5$	0	Yok
2	WJ1	Zayıf	Yok	$\phi 6/50-100$	Yok	0	Yok
3	WC1a	Zayıf	Yok	$\phi 6/50-150$	Yok	0	Yok
4	WC1b	Zayıf	Yok	$\phi 6/50-150$	Yok	0	Yok
5	WC1c	Zayıf	Yok	$\phi 6/50-250$	Yok	0	Yok
6	WC1d	Zayıf	Yok	$\phi 6/50-250$	Yok	0	Yok
7	A1	Güçlendirme	Düğüm+Alt ve Üst Kolon	$\phi 6/50$	Yok	0	Bulon+U profil
8	B1	Güçlendirme	Düğüm	$\phi 6/50$	Yok	0	Bulon+U profil
9	C1	Güçlendirme	Düğüm	$\phi 6/50$	Yok	0	Bulon+U+ L profil
10	D1	Güçlendirme	Düğüm	$\phi 6/50$	Yok	0	U etriye
11	E1	Güçlendirme	Düğüm	$\phi 6/50$	Yok	0	Bulon+U+ L profil
12	F1	Güçlendirme	Düğüm+kuşatılmamış bölge	$\phi 6/50$	Yok	0	Bulon+U+ L profil+çelik plaka
13	RC2	Referans	Yok	$\phi 6/50$	$\phi 6/5$	150	Yok
14	WJ2	Zayıf	Yok	$\phi 6/50$	Yok	150	Yok
15	WC2d	Zayıf	Yok	$\phi 6/50-250$	Yok	150	Yok
16	A2	Güçlendirme	Düğüm+Alt ve Üst Kolon	$\phi 6/50$	Yok	150	Bulon+U profil
17	B2	Güçlendirme	Düğüm	$\phi 6/50$	Yok	150	Bulon+U profil
18	C2	Güçlendirme	Düğüm	$\phi 6/50$	Yok	150	Bulon+U+ L profil
19	D2	Güçlendirme	Düğüm	$\phi 6/50$	Yok	150	U etriye
20	E2	Güçlendirme	Düğüm	$\phi 6/50$	Yok	150	Bulon+U+ L profil
21	G2	Güçlendirme	Düğüm+alt ve üst kolon+kuşatılmamış bölge	Yok	Yok	150	Bulon+U+ L profil+çelik plaka

Kolon donatısı tüm deney elemanlarında kolonun iki yüzünde $5\phi 10$ olmak üzere toplam $10\phi 10$ olarak hazırlanmıştır. Kiriş üst donatısı tüm elemanlarda $6\phi 12$, alt donatısı ise WJ1 elemanında $3\phi 12$ olmak üzere diğer tüm elemanlarda $4\phi 12$ 'dir. Kiriş etriyesi tüm elemanlarda $\phi 6/50$ mm'dir. F1 ve G2 elemanlarında kiriş etriyesi 2h bölgesinde $\phi 6/25$ mm, diğer bölgelerde $\phi 6/50$ mm olarak düzenlenmiştir. Döşeme donatıları tüm elemanlarda ızgara şeklinde alt ve üst ızgara olarak $\phi 4$ donatıdan hazırlanmıştır.

Döşeme üst donatısı $\phi 4/110$ mm, alt donatısı ise $\phi 4/220$ mm'dir. Çalışmada ele alınan parametreler Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bu parametrelere ait ayrıntılar aşağıda sunulmuştur.

1. *Eleman Türü:*

Eleman türü; referans, zayıf ve güçlendirme olarak sınıflandırılmıştır. Referans elemanı karşılaştırma yapabilmek amacıyla şartname ve yönetmeliklere uygun olarak hazırlanmış elemandır. Zayıf elemanlar; kolonda düğüm bölgesi etriyesiz, kolon etriyeleri eksik ve kiriş etriyeleri tam olan, davranışı belirlemeye yönelik hazırlanmış elemanlardır. Güçlendirme elemanları ise düğüm bölgesinde kolon etriyesi olmayan, bunun dışında kolon ve kiriş etriyeleri tam olan, düğüm bölgesine güçlendirme işlemleri yapılan elemanlardır.

2. *Güçlendirme Bölgeleri:*

Referans ve zayıf elemanlarda güçlendirme işlemleri yapılmamıştır. Diğer elemanlarda ise i) sadece düğüm bölgesine, ii) düğüm bölgesi ve düğüm bölgesinin alt ve üstündeki 100 mm'lik bölgelere, iii) Düğüm bölgesi ve düğümdeki kuşatılmamış bölgelere, iv) Düğüm bölgesi, kuşatılmamış bölgelere, alt ve üst kolona güçlendirme işlemleri yapılmıştır. Bu güçlendirmelere ait detay çizimleri şekil 3.1-3.16'da verilmiştir.

3. *Kolon etriyesi:*

Kolon etriye aralığı eleman türlerine göre farklılık göstermektedir. Referans elemanlarında etriye kolon boyunca $\phi 6/50$ mm'dir. Güçlendirme elemanlarından F1 ve G2'de düğüm bölgesi etriyesiz üretilmiştir. Diğer güçlendirme elemanlarında şekil 3.16'da görüleceği gibi C1, C2, F1 ve G2 hariç düğüm bölgesi, düğüm bölgesinin alt ve üstündeki 50 mm'lik bölgeler dahil kolonda 400 mm'lik bölge etriyesiz olarak hazırlanmıştır. Zayıf elemanlarda düğüm bölgesi etriyesizdir. Ayrıca

Çizelge 3.1’den görüleceği gibi zayıf elemanlar alt ve üst kolonda ilk etriyelerin düğüme mesafesine göre farklılık göstermektedir.

4. *Düğüm etriyesi:*

Referans elemanları hariç diğer tüm elemanlar, düğüm bölgesi etriyesiz olarak üretilmiştir.

5. *Kolon Eksenel Yüğü:*

Kolonda düşey ölü yüklerden kaynaklanan eksenel yüğü temsil etmek amacıyla, elemanlar iki gruba ayrılmıştır. Eleman adının yanında 1 indisi olan elemanlar; kolonda düşey ölü yükten kaynaklanan eksenel yüğü olmayan elemanlar, 2 indisi olanlar ise kolonda düşey ölü yükten kaynaklanan eksenel yüğü olduğu elemanlardır. Eksenel yüğü elemanlara, kolon başlarına yerleştirilen rijit plakalardan geçirilen bulonlar aracılığıyla 150 kN eksenel yüğü verilmiştir.

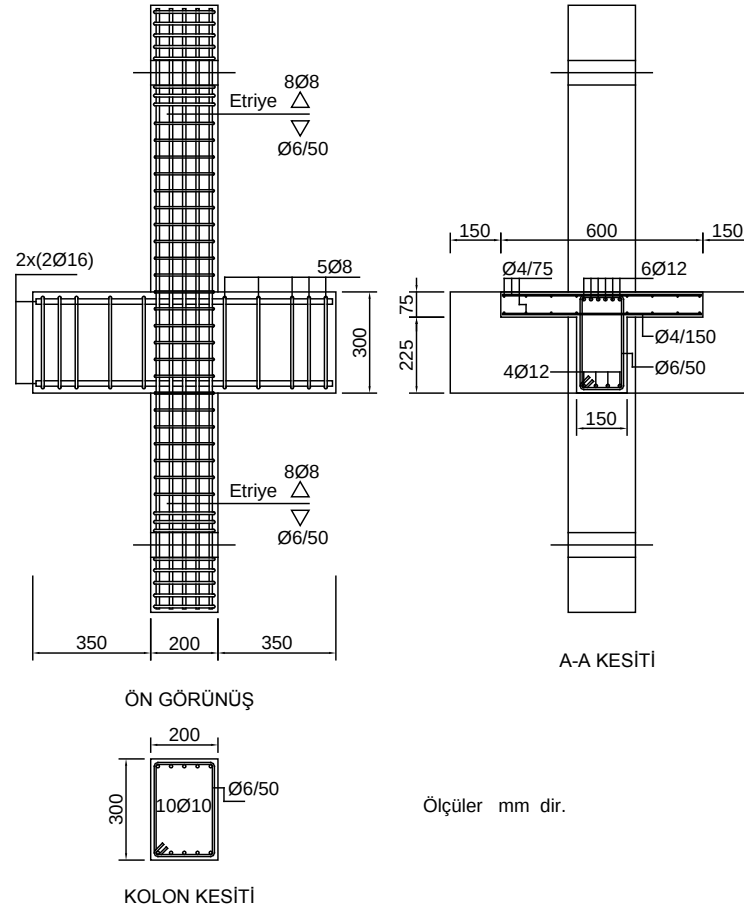
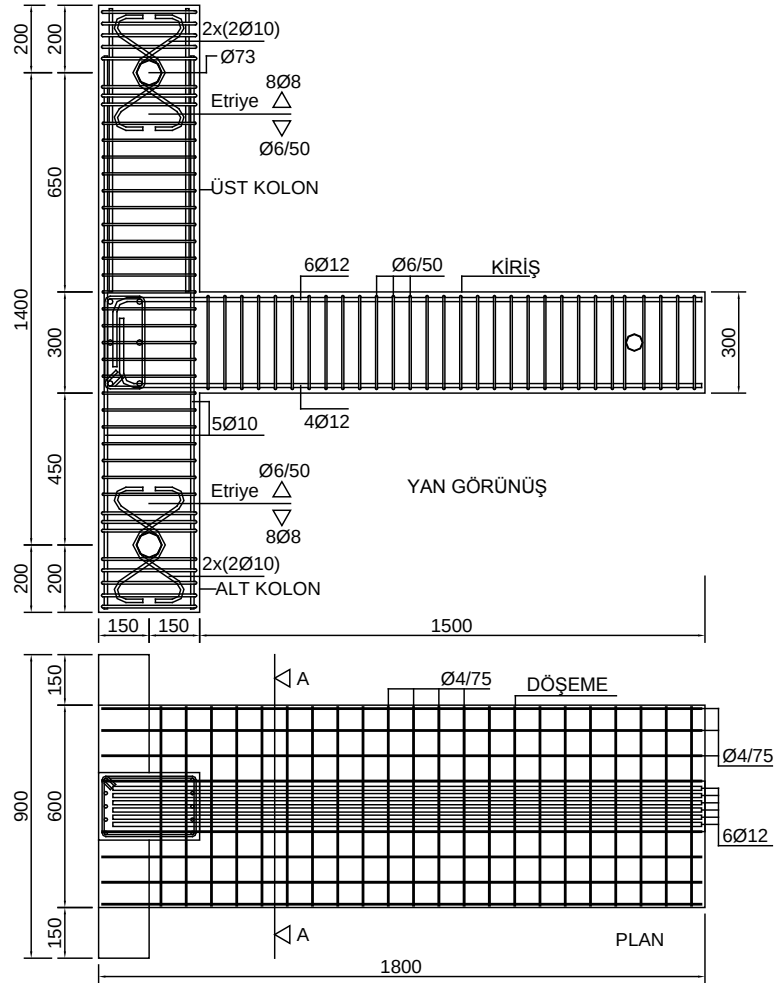
A-tipi güçlendirme tekniğinde alın kirişi ile kenar kolonlara dış yüzden u-profiller yerleştirilmiştir. Bu profiller birleşim bölgesine, alın kirişine ve kolonlara bulonlarla ankre edilmiştir. Birleşim bölgesindeki ankraj bulonları, aynı zamanda bu bölgede oluşan kesme kuvvetlerini alabilmesi için olabildiğince uzun tutulmuştur. Kullanılan bulonlar 8 mm’lidir. Bu bulonlar için gerçek yapıda delikler açılacaktır. Deney elemanında donatı sık olduğu, sonradan delme sırasında elemanda hasarlar oluşacağı için yukarıda tariflendiği şekilde uygulanmıştır. Gerçek bir yapıda bu elemandaki kadar sık donatı olmayacağından bu uygulama daha kolay olacaktır. Ayrıca döşeme üst yüzüne ve kiriş alt yüzüne U50 profil parçalar 8 mm’lik bulonlar kullanılarak bağlanmıştır.

B-tipi güçlendirme tekniği de A-tipinin benzeri olup bu yöntemde sadece alın kirişinin dış yüzü üzerinde u-profiller kullanılmış ve bu profiller alın kirişine ve birleşime benzer olarak ankre edilmiştir. D-tipi güçlendirmede ise dış yüzden geçen kolon boyuna donatıları “u” şeklinde hazırlanmış olan etriyeler ile birleşim bölgesine

bağlanmıştır. Bu elemanda da birleşim bölgesindeki kesme kuvvetlerine karşı u-etriyelerin bacakları, birleşim bölgesinde olabildiğince uzun tutulmuştur.

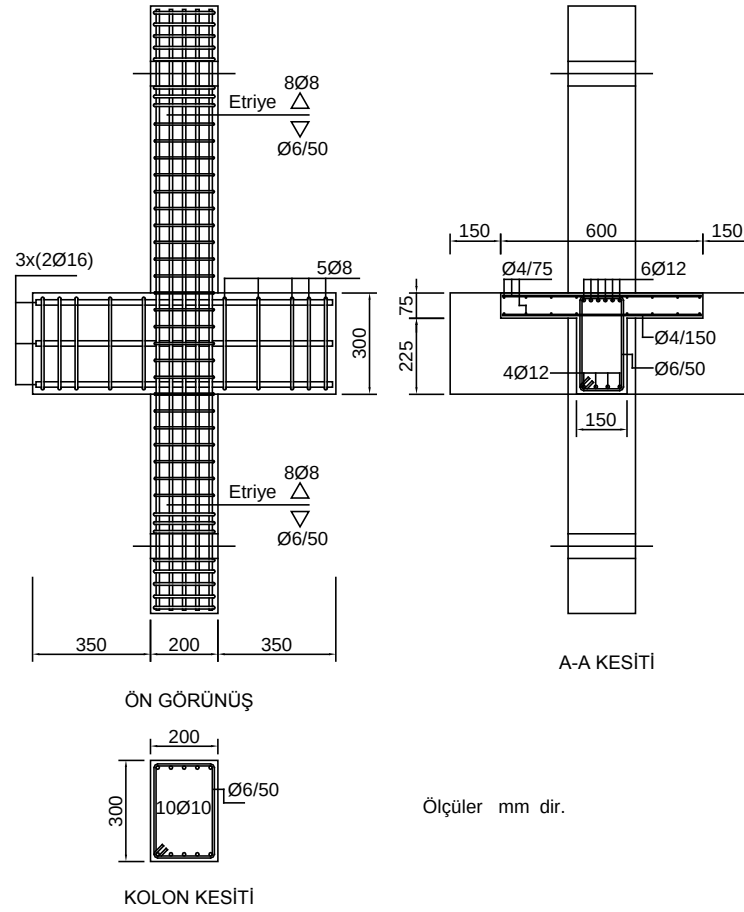
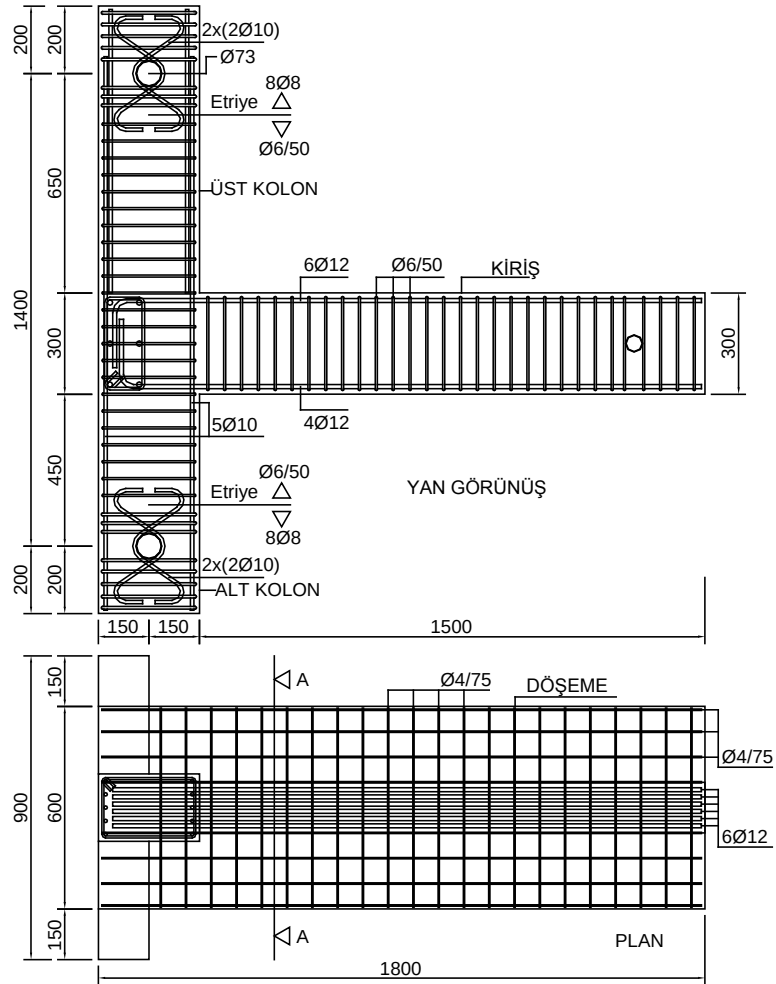
C-tipi güçlendirme tekniğinde, alın kirişi üzerine birbirine paralel ve boyları kolon genişliğinden biraz daha uzun u-profiller yerleştirilmiştir. Daha sonra bu profillerin uçlarındaki ve alın kirişi üzerindeki deliklerden bulonlar geçirilmiştir. Bulonların diğer uçları ise ana kiriş gövdesine bağlanmış olan L-profillere ard germeli olarak sıkıştırılmıştır. (Her bir bulondaki ard germe kuvveti 10 kN'dur). Böylece hem kolon boyuna donatıları baskılanarak burkulmaları ve/veya kolon yüzünden ayrılmaları önlenmiş hem de ard germeli bulonların birleşim bölgesindeki kesme kuvvetlerini alması ve birleşim bölgesini sargılaması sağlanmıştır. E-tipi güçlendirme tekniği, C-tipi ile oldukça benzerdir. Bu yöntemde u-profiller yerine lamalar kullanılmıştır. Şekil 3.16 incelendiğinde C-tipi güçlendirme tekniği kolon içinde herhangi bir işlem gerektirmediğinden daha kolay uygulanabileceği görülmektedir. F-tipi güçlendirme tekniği de C-tipi ile oldukça benzerdir. F-tipinde, C-tipinden farklı olarak kolon yan yüzündeki kuşatılmamış dikdörtgen bölgeler karşılıklı olarak çelik levhalar ile birbirlerine ard germeli olarak bağlanmıştır. Levhaların boyutları kuşatılmamış dikdörtgen bölgeleri kapsayacak ölçülerdedir (150x225 mm). (Levhalarından geçirilen her bir bulondaki ard germe kuvveti 10 kN'dur). Böylece birleşim bölgesi her üç ekseninde de baskılanarak oldukça etkili bir sargılama sağlanmıştır. G-tipi güçlendirme elemanı aslında F-tipi ile tamamen aynı olup bu elemanın kolonları da kesmeye karşı sonradan eklenen etriyelerle güçlendirilmiştir. C ve E tipi güçlendirmelerde 150x225 mm'lik kuşatılmamış dikdörtgen bölgelerin beton yüzeyleri pürüzlendirilerek, 25 mm kalınlığında beton ile örtülmüştür. F ve G tipi güçlendirmelerde ise kuşatılmamış dikdörtgen bölgelerde bulonlara ard germe verildikten sonra çelik plakaların üstleri 25 mm beton ile kaplanmıştır. (Kullanılan bulonlar üzerinde yapılan deneylerde tek somunun 30 Nm'de çift somunun 36 Nm'de sıyrıldığı tespit edilmiştir. Bu nedenle güvenli tarafta kalacak tork değeri ile (max 16 Nm ile) 8 mm'lik bulonlara ard germe verilmiştir). G tipi güçlendirme elemanının kolonu da kesmeye karşı güçlendirilmiştir. G2 elemanın alt ve üst kolonda eksik olarak hazırlanan etriyeler tamamlanmıştır. Bunun için önce etriyesi olmayan bölgelerin etriye gelecek 20 mm genişlikteki örtü betonu kaldırılmıştır. Daha sonra U şeklinde hazırlanmış etriyeler

kolona her iki kısa doğrultusundan karşılıklı yerleştirilmiştir. Üst üste binen etriye kollarına yaklaşık 50 mm boyunda kaynak yapılmıştır. Kaynak yapılırken etriyelerin kolon yüzüne oturmasına dikkat edilmiştir. Bu etriyelerin üstleri tekrar beton ile kaplanmıştır. Tüm deney elemanlarına ait donatı detayları, boyut ve kesitleri, Şekil 3.1-Şekil 3.15’te verilmiştir. Güçlendirme detay çizimleri Şekil 3.16’da sunulmuştur.



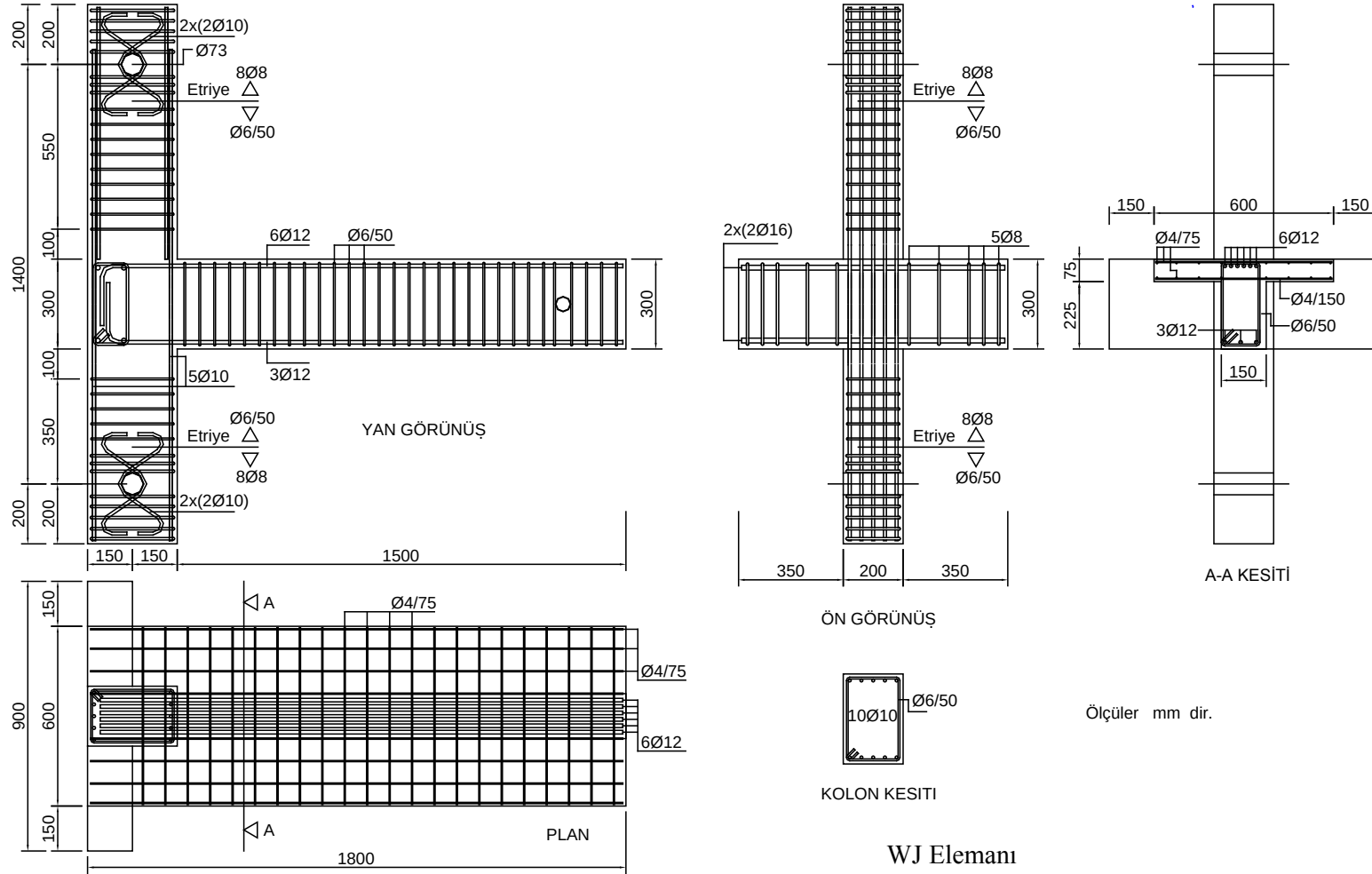
Referans (RC1-R2) elemanı

Şekil 3.1. Referans elemanı (RC1-R2) donatı detay çizimleri

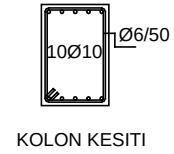
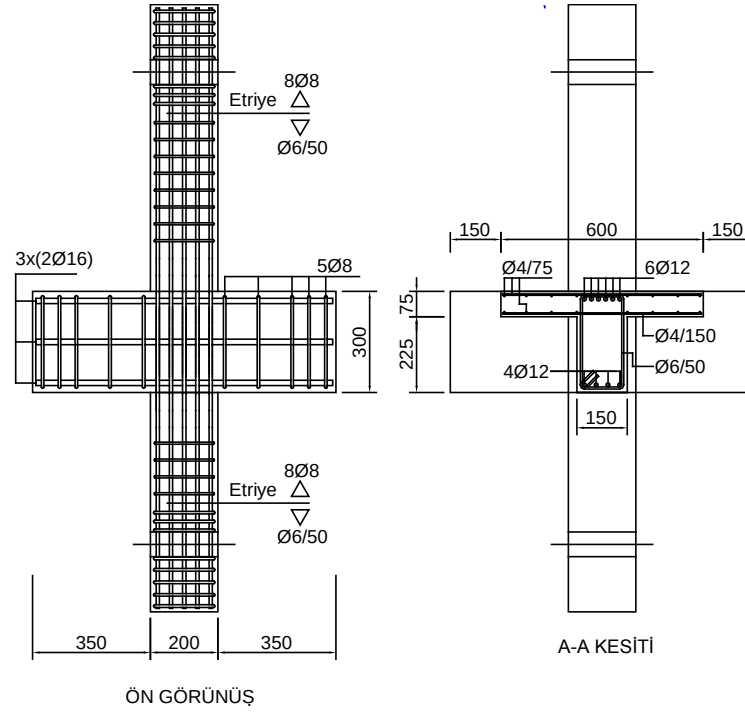
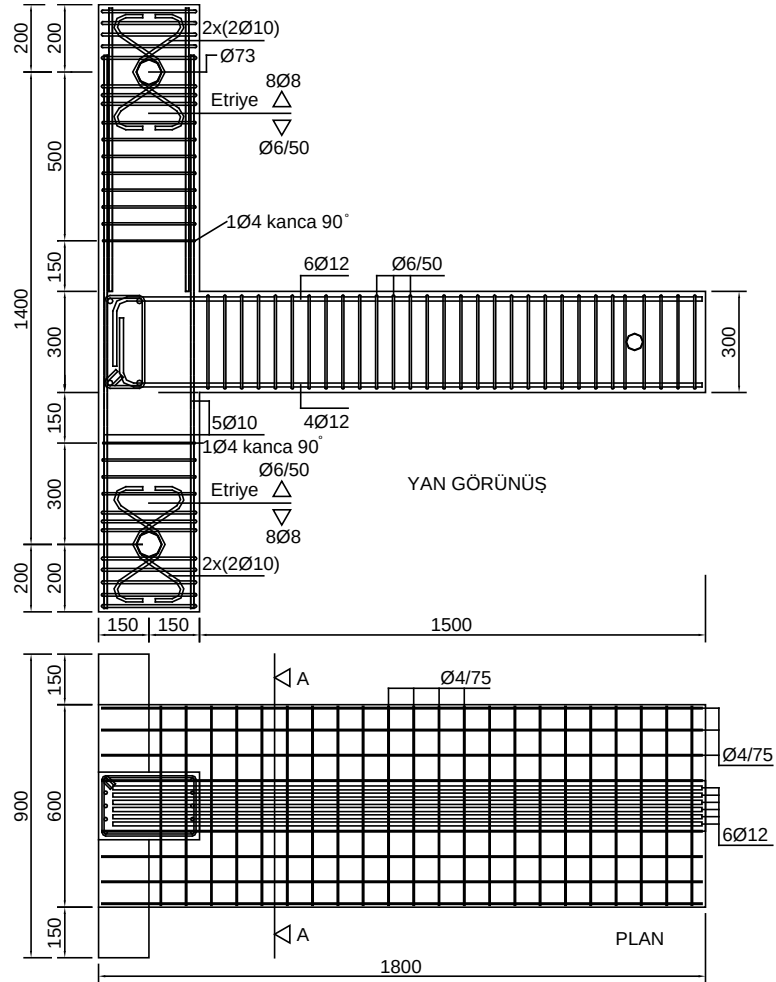


Referans (RC2) elemanı

Şekil 3.2. Referans elemanı (RC2) donatı detay çizimleri



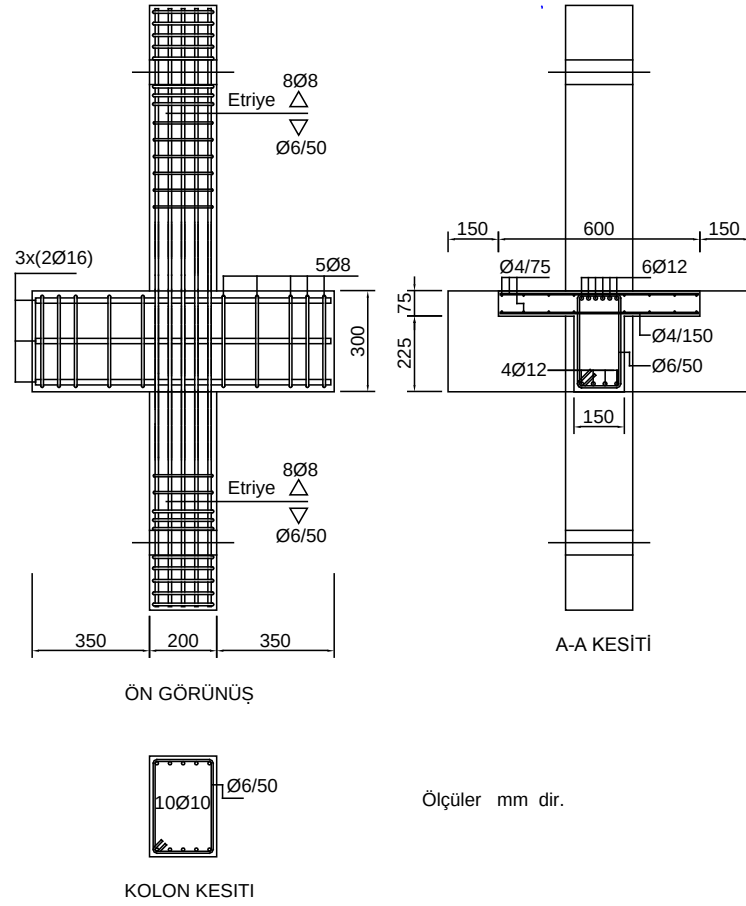
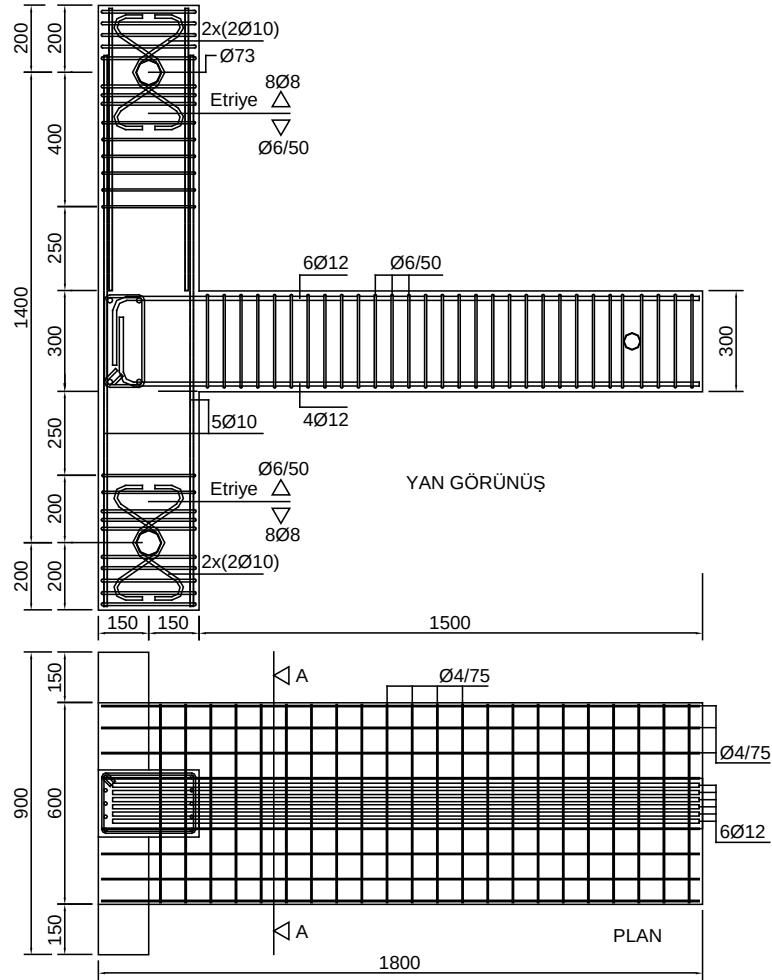
Şekil 3.3. WJ1 elemanı donatı detay çizimleri



Ölçüler mm dir.

WC1a Elemanı

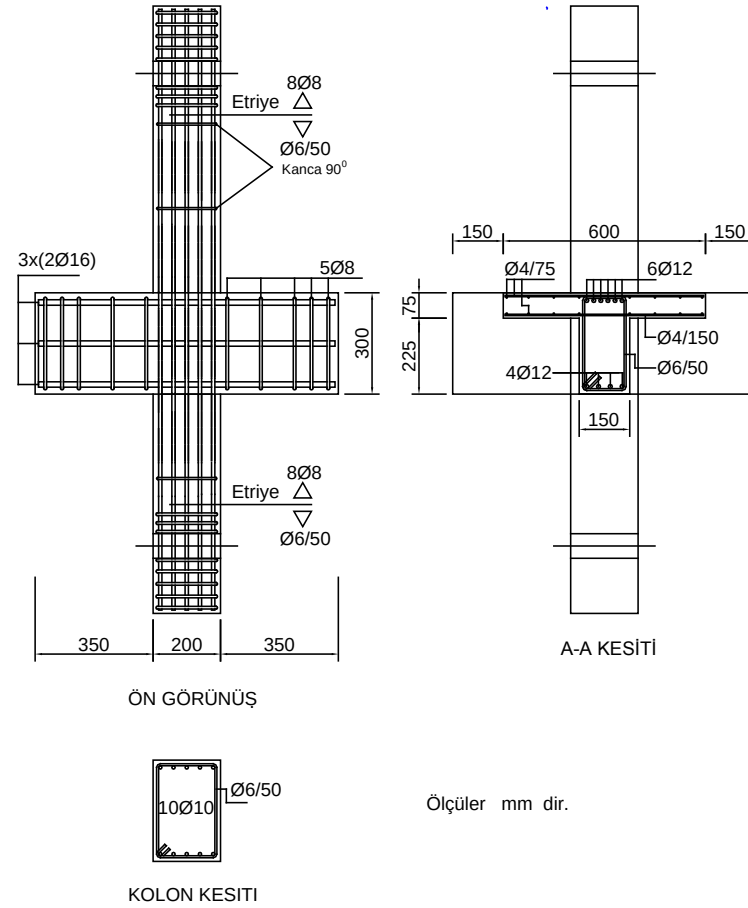
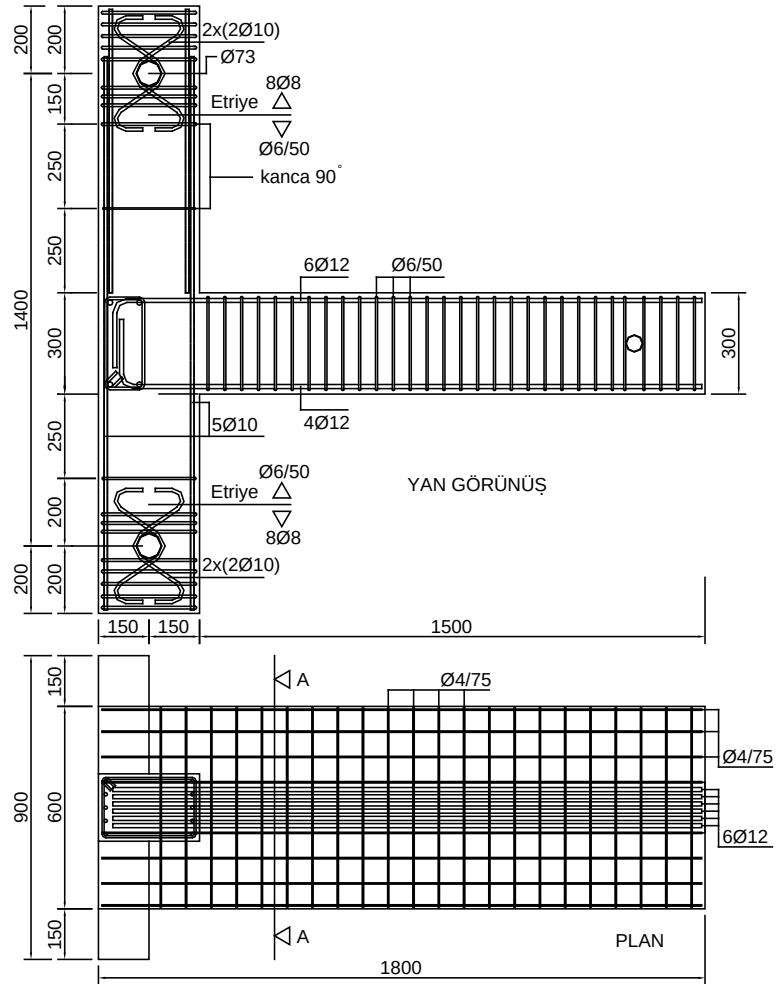
Şekil 3.4. WC1a elemanı donatı detay çizimleri



Ölçüler mm dir.

WC1c Elemanı

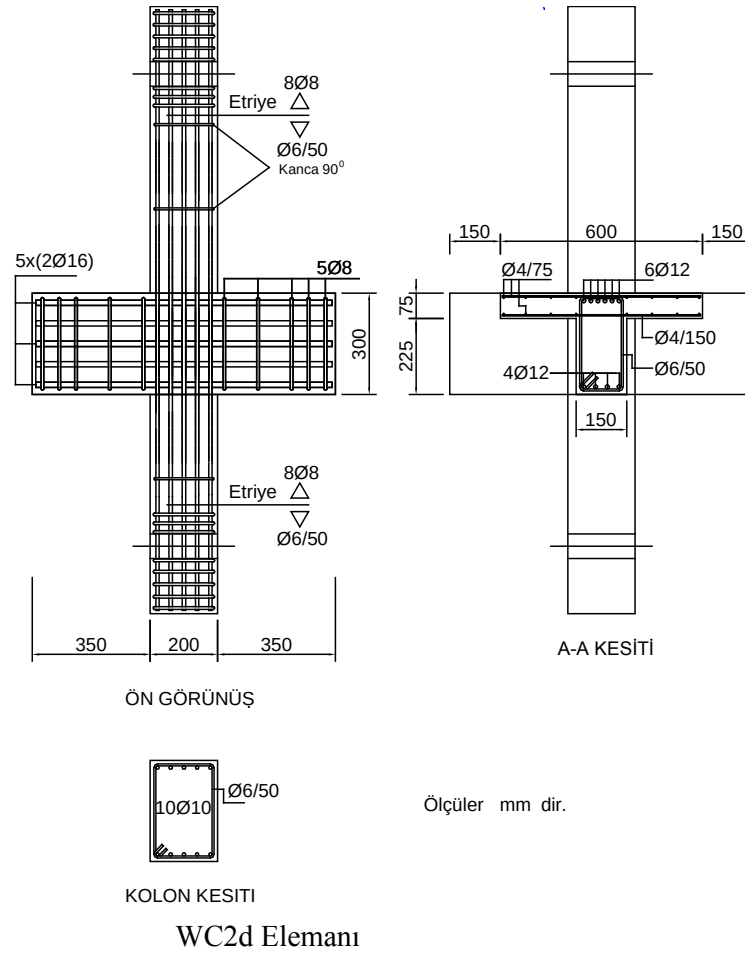
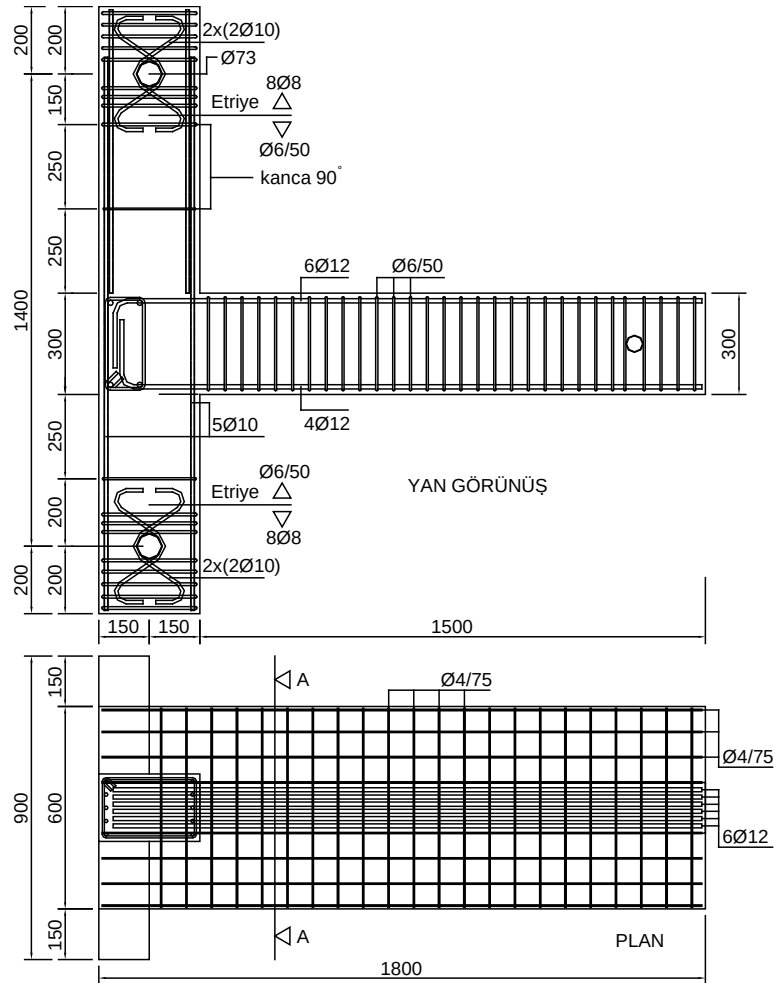
Şekil 3.6. WC1c elemanı donatı detay çizimleri



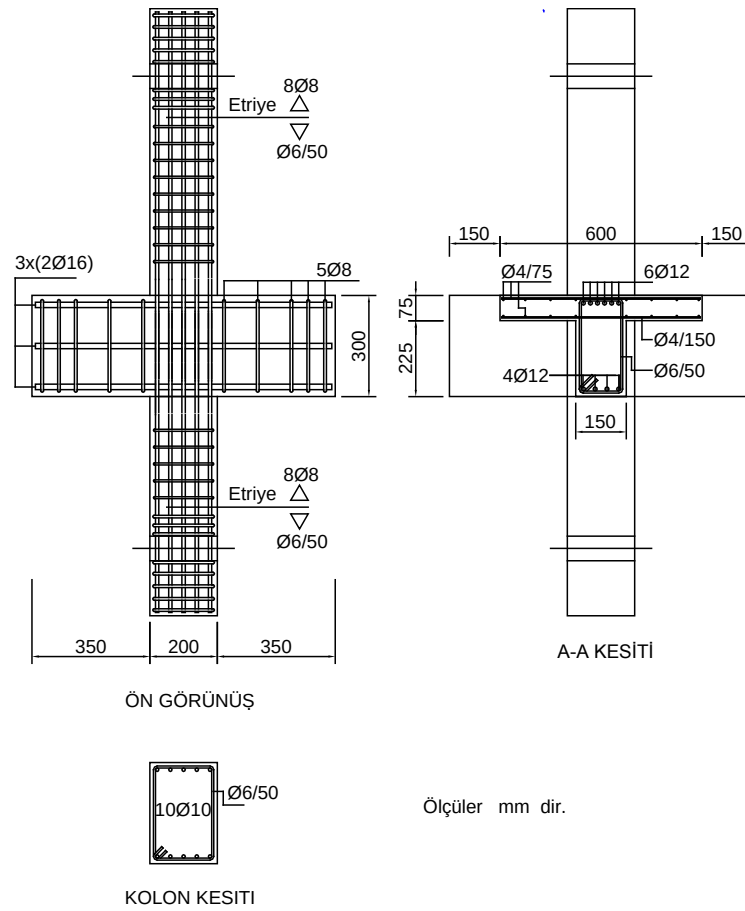
Ölçüler mm dir.

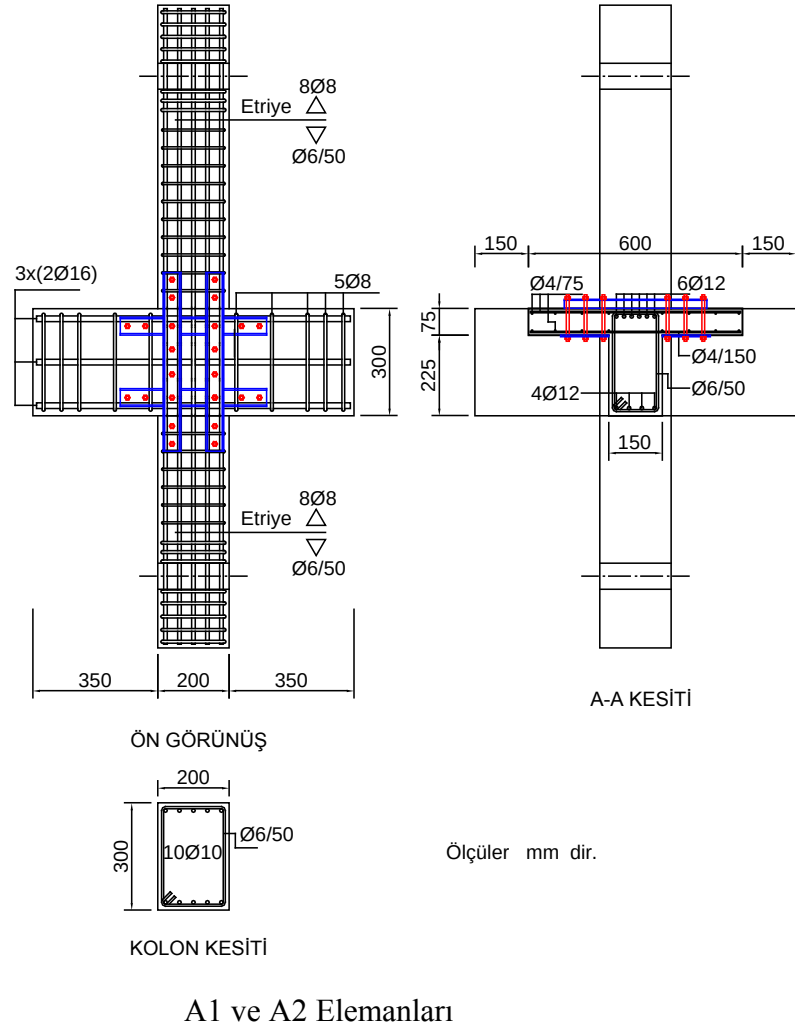
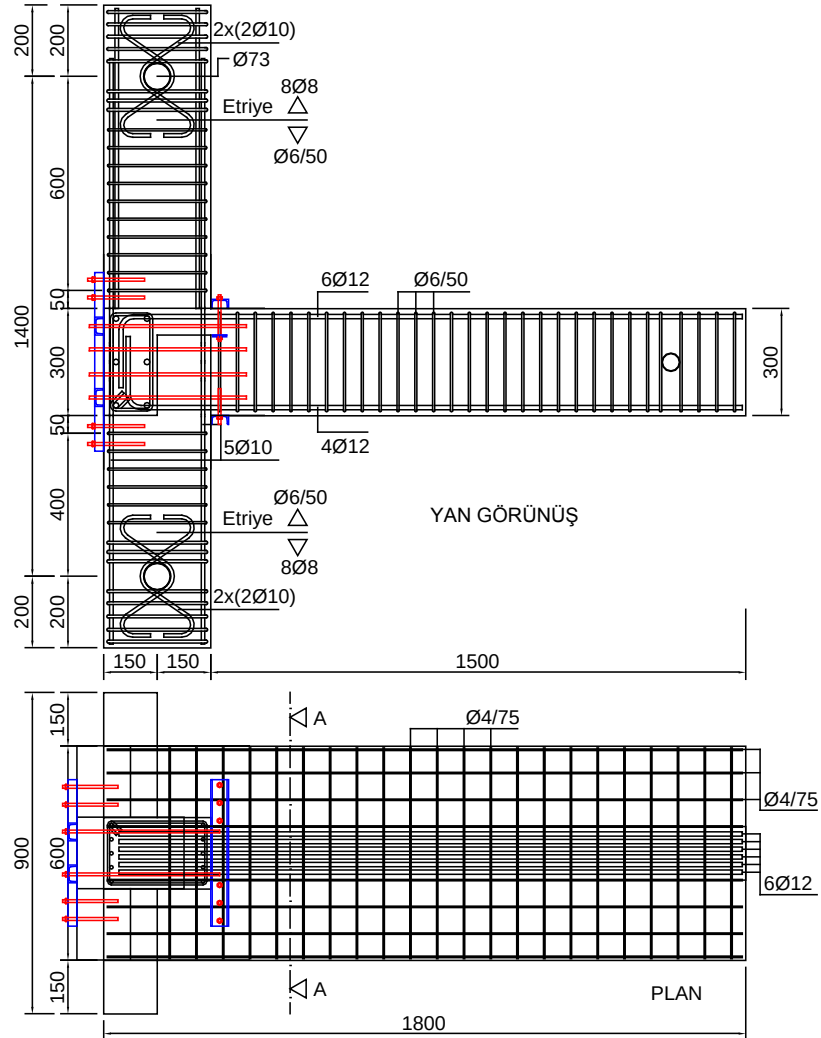
WC1d Elemanı

Şekil 3.7. WC1d elemanı donatı detay çizimleri

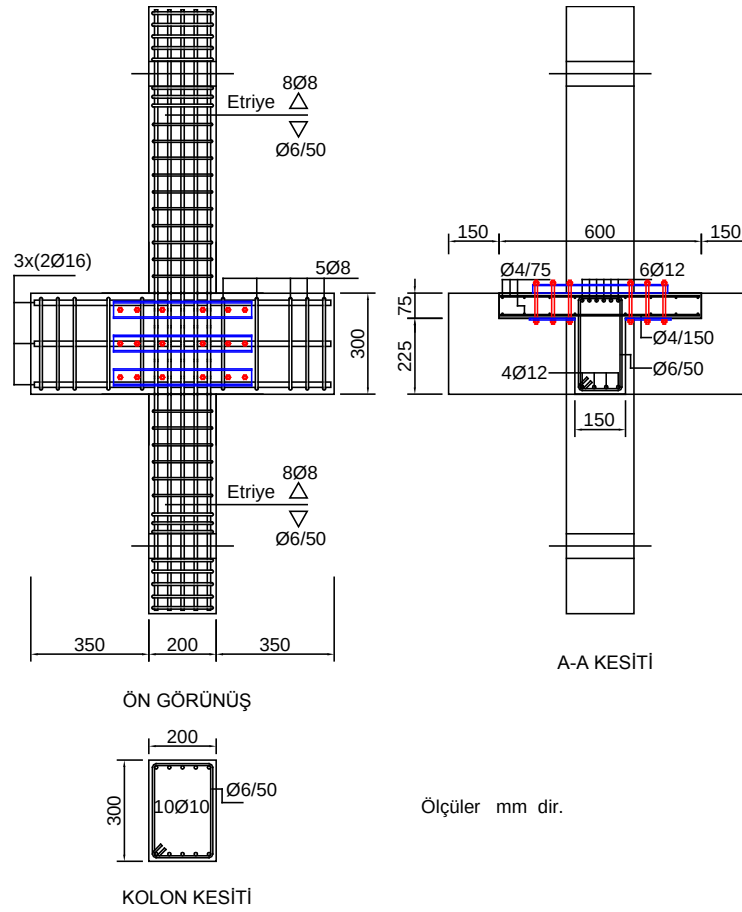
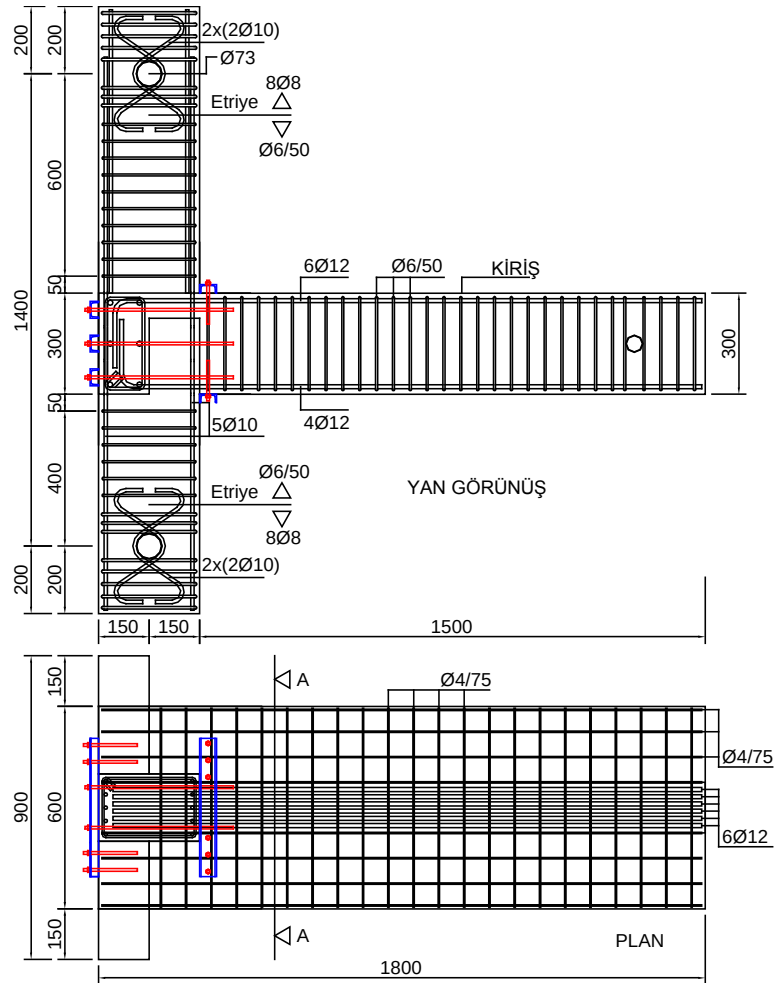


Şekil 3.8. WC2d elemanı donatı detay çizimleri



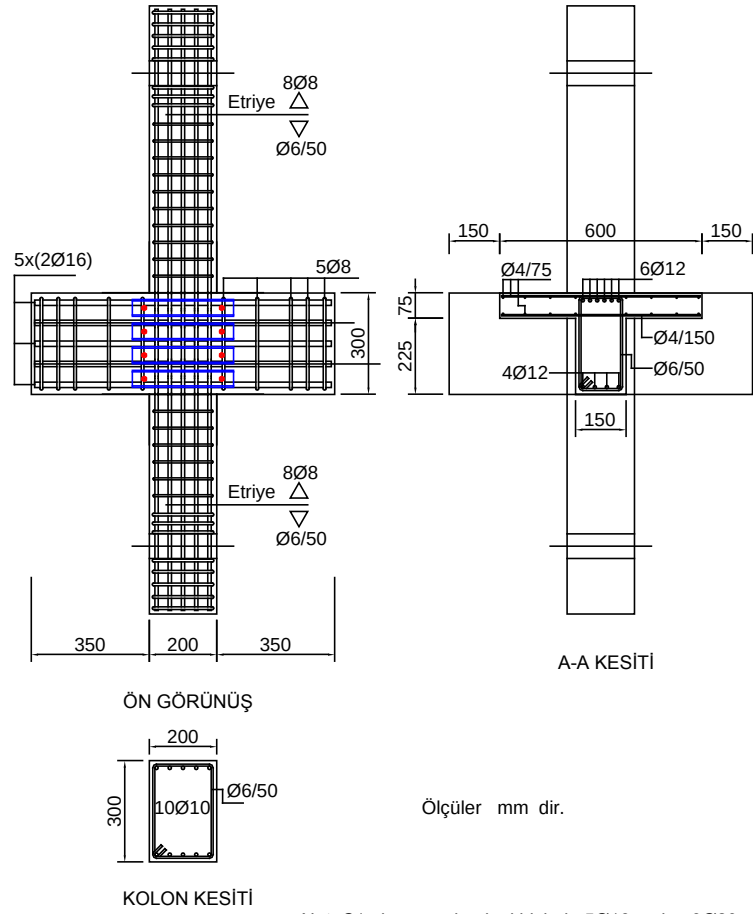
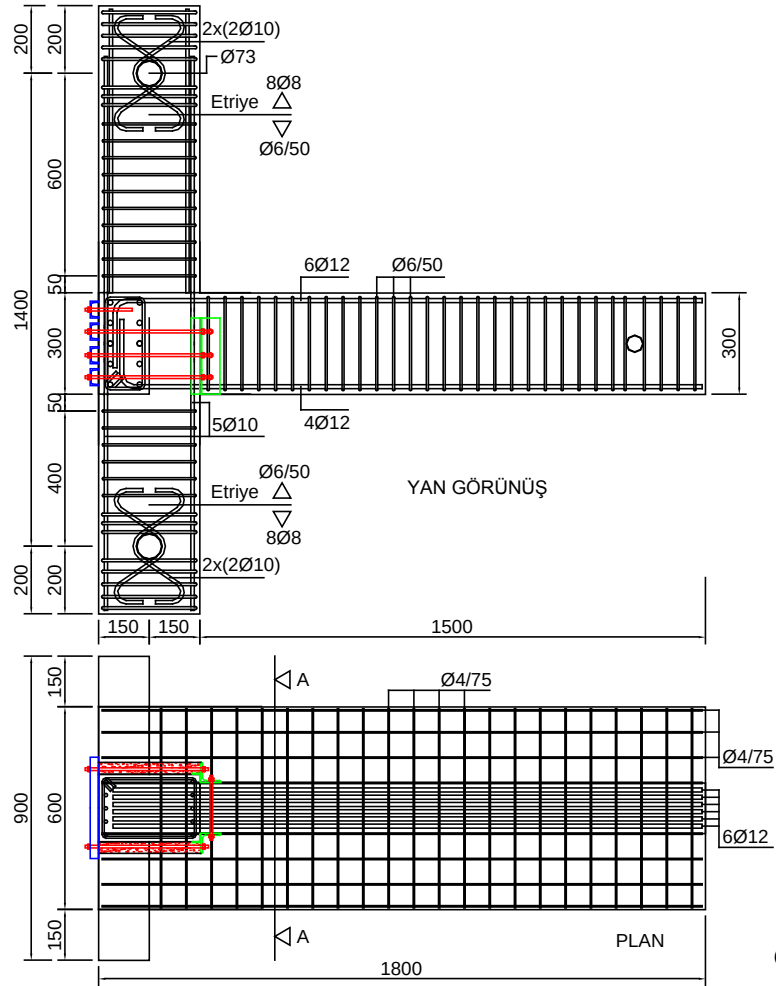


Şekil 3.10. A1 ve A2 güçlendirme elemanları donatı detay çizimleri



B1 ve B2 Elemanları

Şekil 3.11. B1 ve B2 güçlendirme elemanları donatı detay çizimleri

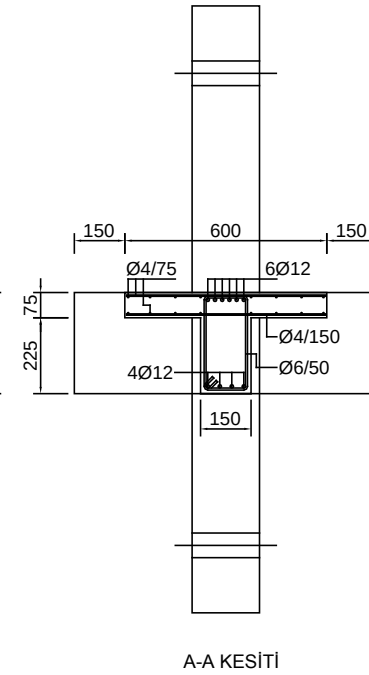
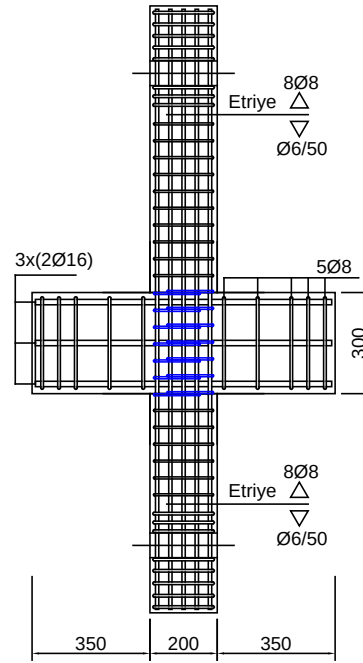
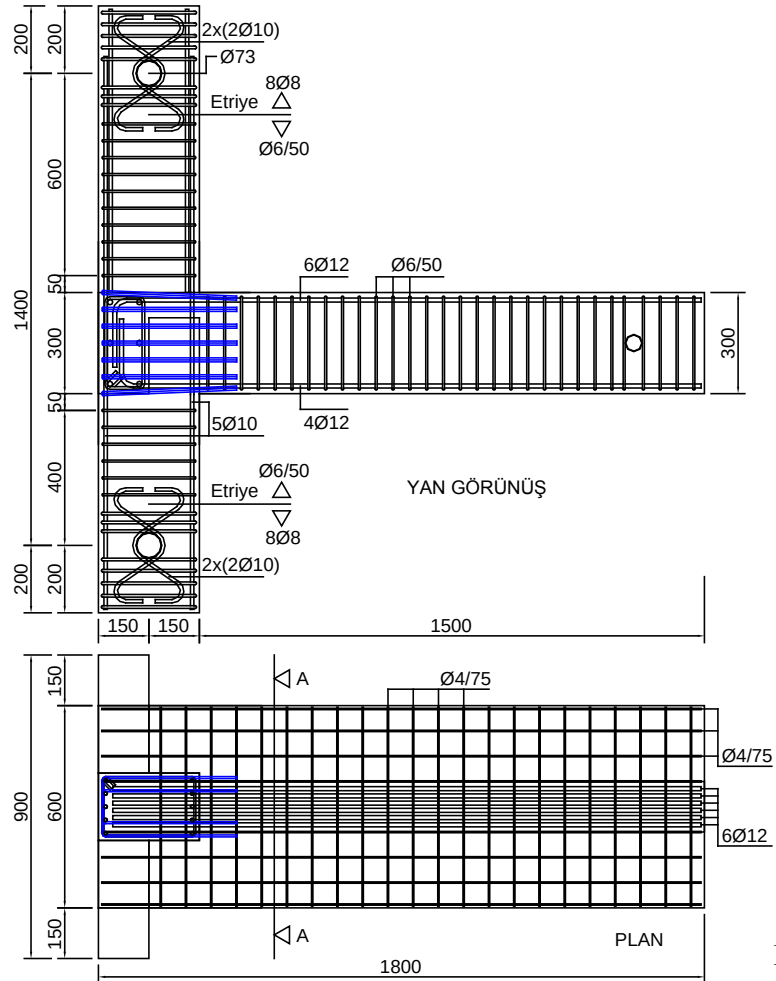


Ölçüler mm dir.

Not: C1 elemanında alın kirişinde 5Ø16 yerine 3Ø20 donatı kullanılmıştır.

C1 ve C2 Elemanları

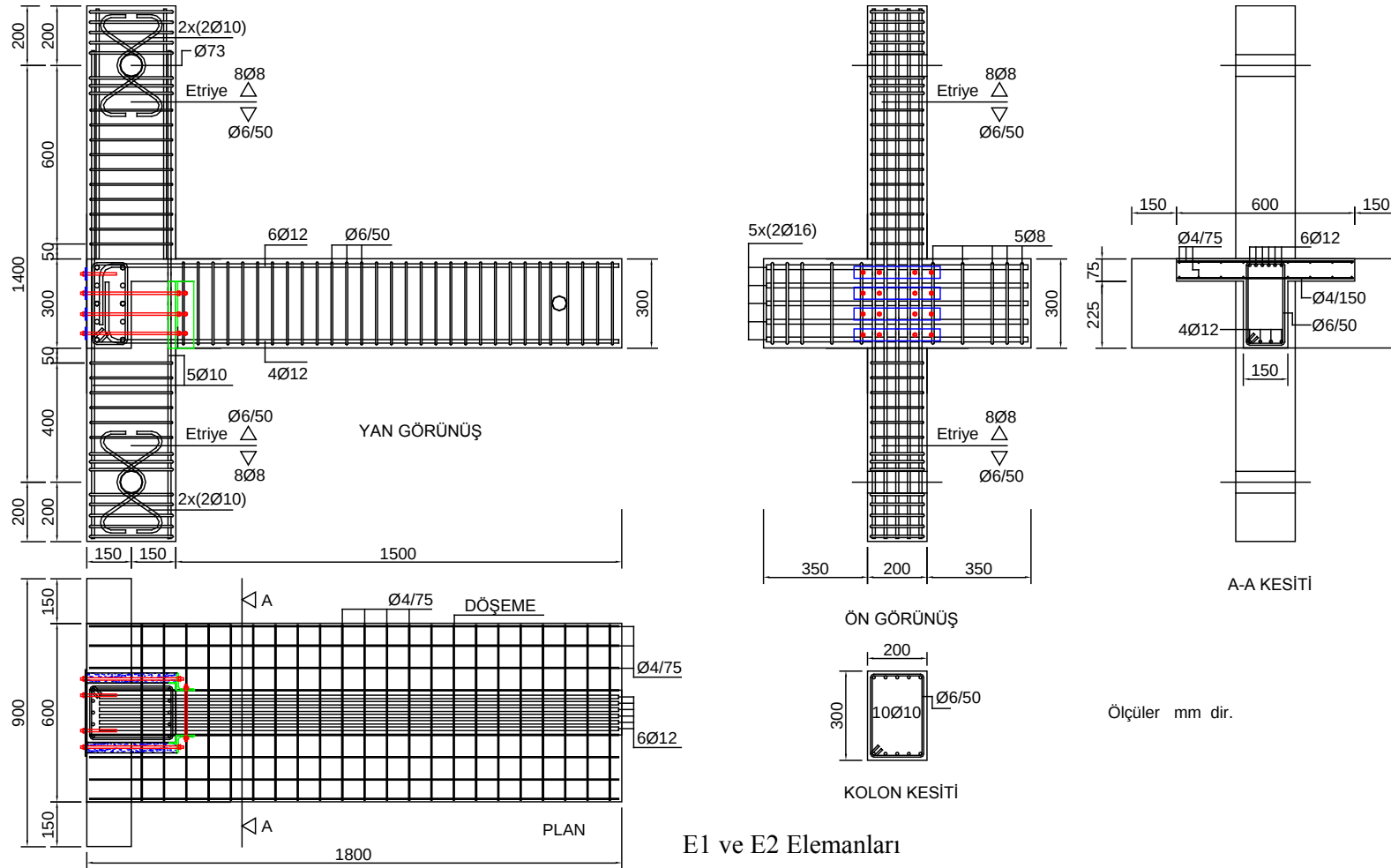
Şekil 3.12. C1 ve C2 güçlendirme elemanları donatı detay çizimleri



Ölçüler mm dir.

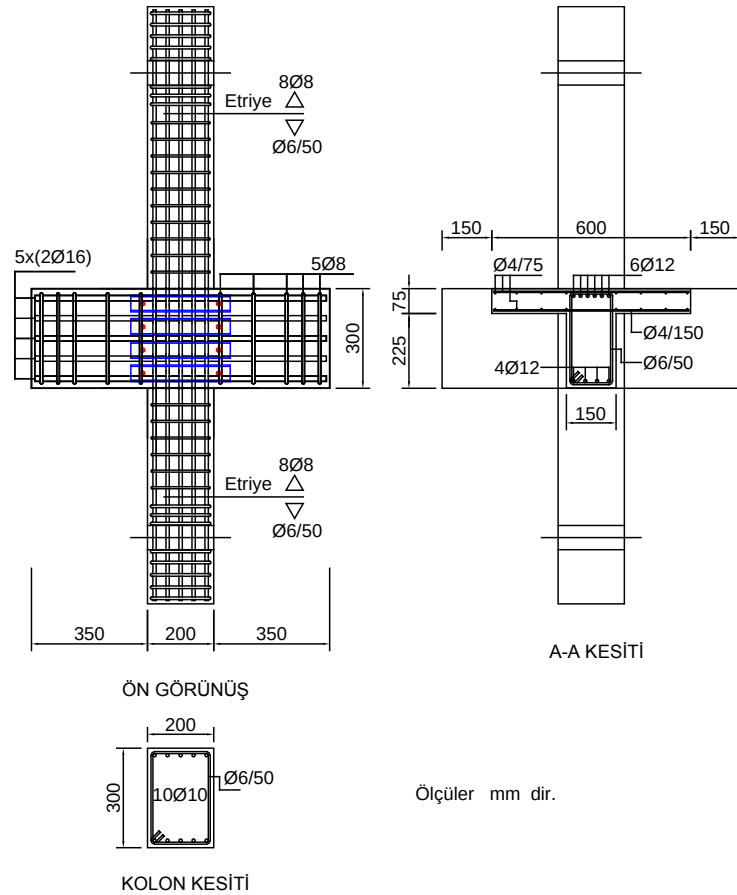
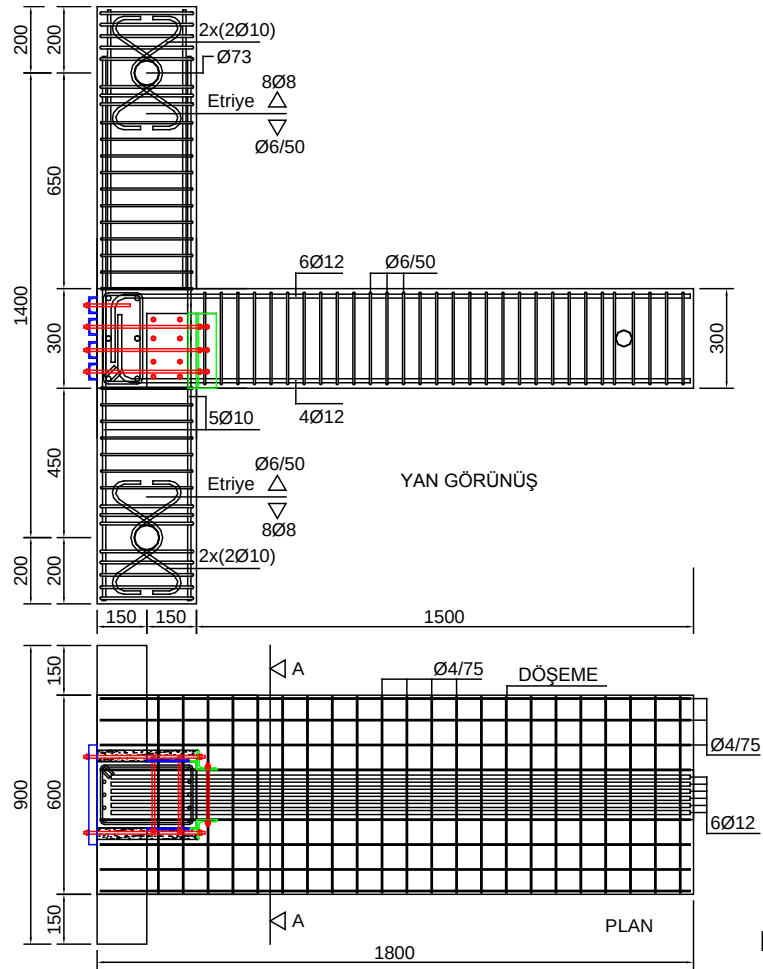
D1 ve D2 Elemanları

Şekil 3.13. D1 ve D2 güçlendirme elemanları donatı detay çizimleri



E1 ve E2 Elemanları

Şekil 3.14. E1 ve E2 güçlendirme elemanları donatı detay çizimleri

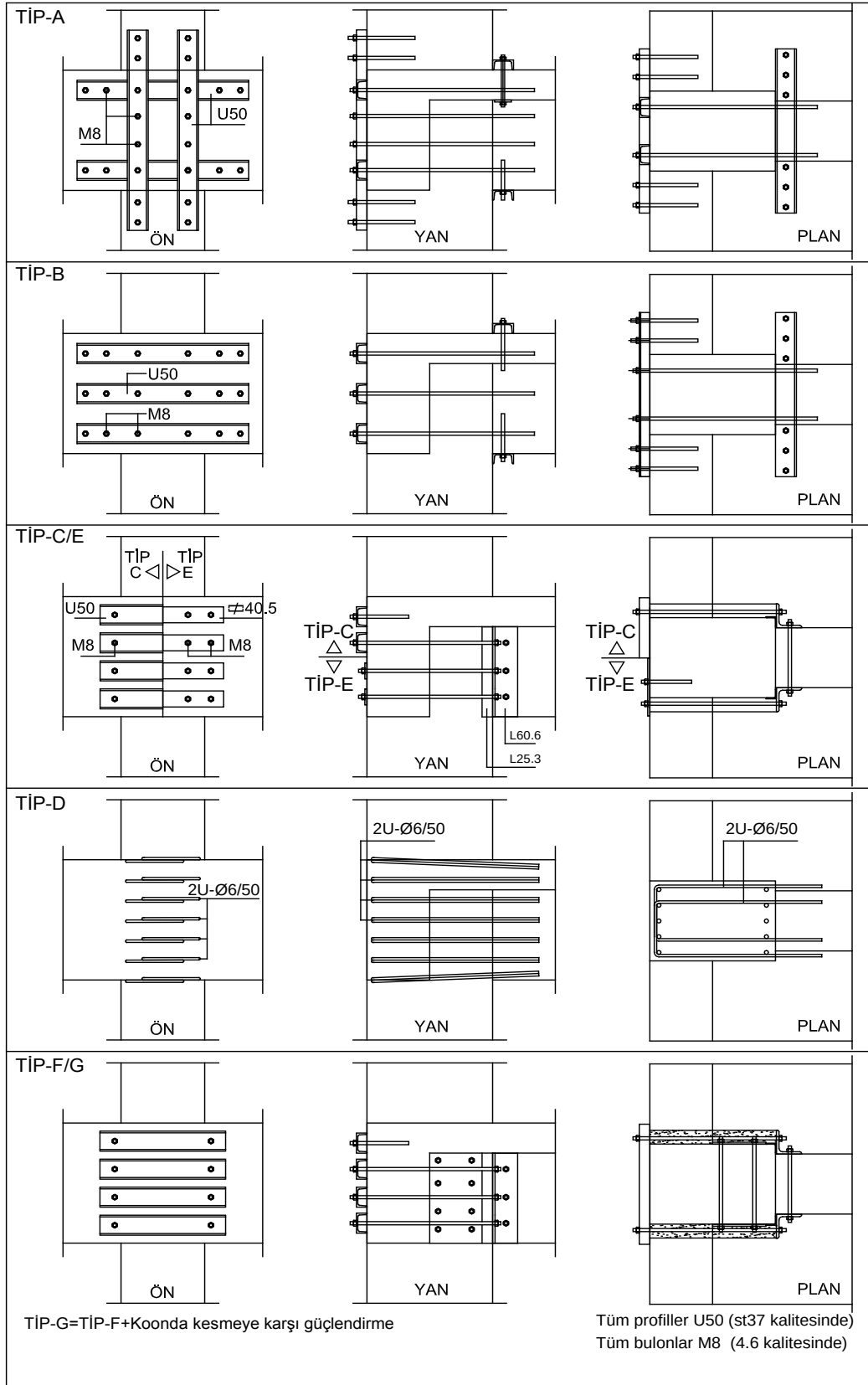


F1 ve G2 Elemanları

Not: G2 elemanın kolonu U şeklinde kaynaklı etriyelerle güçlendirilmiştir.

Ölçüler mm dir.

Şekil 3.15. F1 ve G2 güçlendirme elemanları donatı detay çizimleri



Şekil 3.16. Birleşim bölgesi güçlendirme detayları

3.1.3. Malzeme dayanımları

Donatı dayanımları

Deney elemanları için gerekli tüm donatı, dayanım ve özelliklerinde farklılıkları önlemek amacıyla tek seferde alınmıştır. Tüm elemanlarda aynı donatılar kullanılmış ve bu donatılar hiç değiştirilmemiştir. Kullanılan farklı çaptaki donatılardan yeterli sayıda numune alınmış ve bu numunelere çekme deneyleri uygulanmıştır. Çekme deneyleri sonucunda tüm numune grupları arasında dayanım farklılıklarının çok az olduğu belirlenmiştir. Çizelge 3.2’de donatıların ortalama akma dayanımları ile kopma ortalama dayanımları sunulmuştur. Tüm deney elemanlarında etriye olarak S220, boyuna donatı olarak S420 sınıfı çelikler kullanılmıştır.

Beton dayanımları

Beton dökümü sırasında her deney elemanından yeterli sayıda 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğinde standart silindir numuneler alınmış ve bu numuneler deney elemanının bulunduğu kür ortamında ve aynı şartlarda bulunmuşlardır. Çizelge 3.3’te tüm deney elemanlarının ortalama beton dayanımları gösterilmiştir. Deney elemanlarının beton dayanımları referans elemanları dışında 6-18 MPa arasında değişim göstermiştir.

Çizelge 3.2. Ortalama donatı dayanımları

Donatı Çapı ϕ (mm)	Donatı Sınıfı	Akma Dayanımı f_y (MPa)	Kopma Dayanımı f_u (MPa)
6	S220	250	250
10	S420	420	450
12	S420	420	450
16	S420	430	500

Çizelge 3.3. Ortalama beton dayanımları

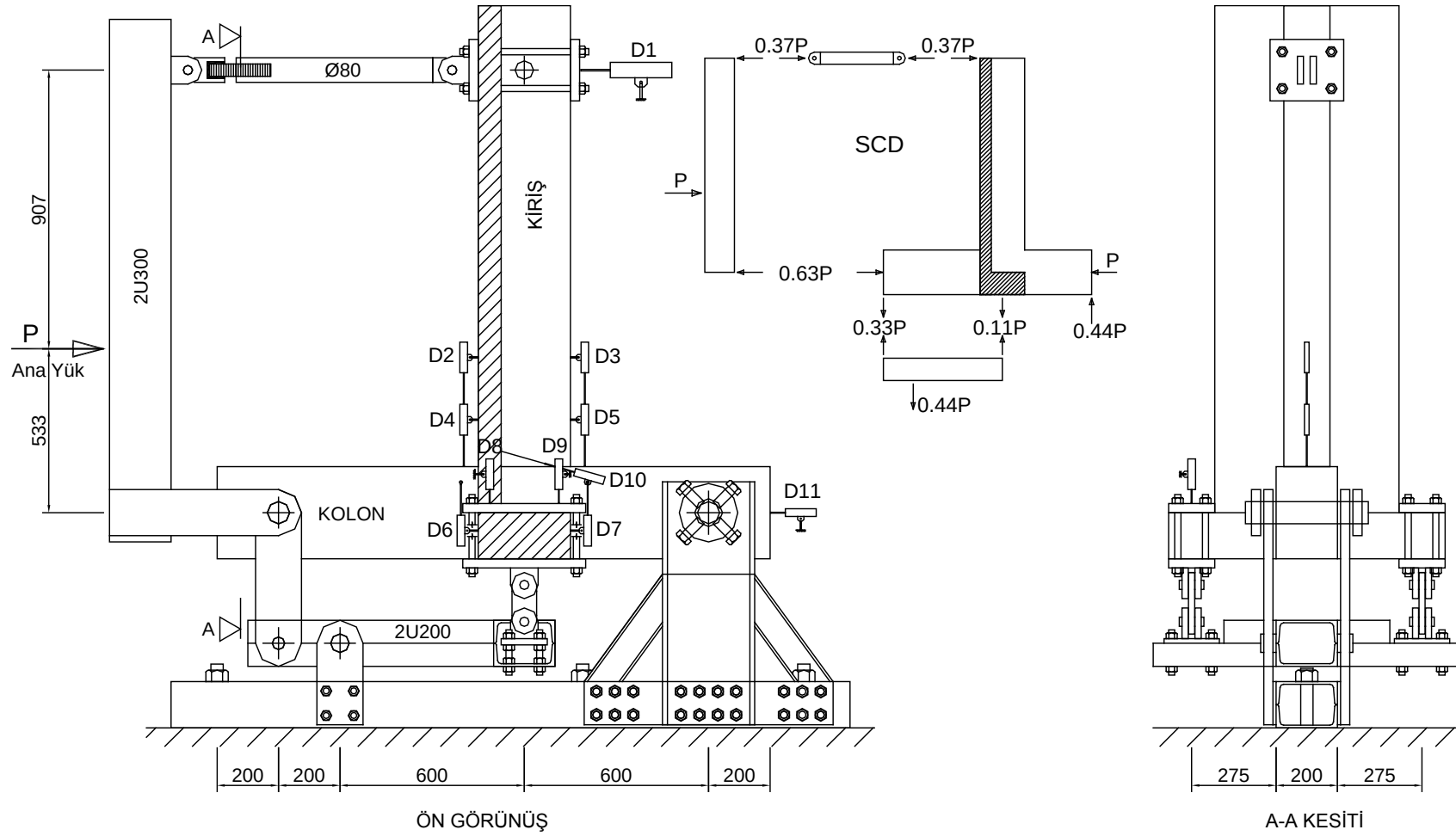
Eleman Adı	f_c (MPa)	Eleman Adı	f_c (MPa)	Eleman Adı	f_c (MPa)	Eleman Adı	f_c (MPa)
RC1-R2	27	WJ1	6	A1	9	A2	11
RC2	22	WC1a	10	B1	9	B2	10
		WC1b	12	C1	8	C2	12
		WC1c	13	D1	12	D2	11
		WC1d	16	E1	12	E2	8
		WJ2	13	F1	16	G2	10
		WC2d	18				

3.1.4 Deney düzeni

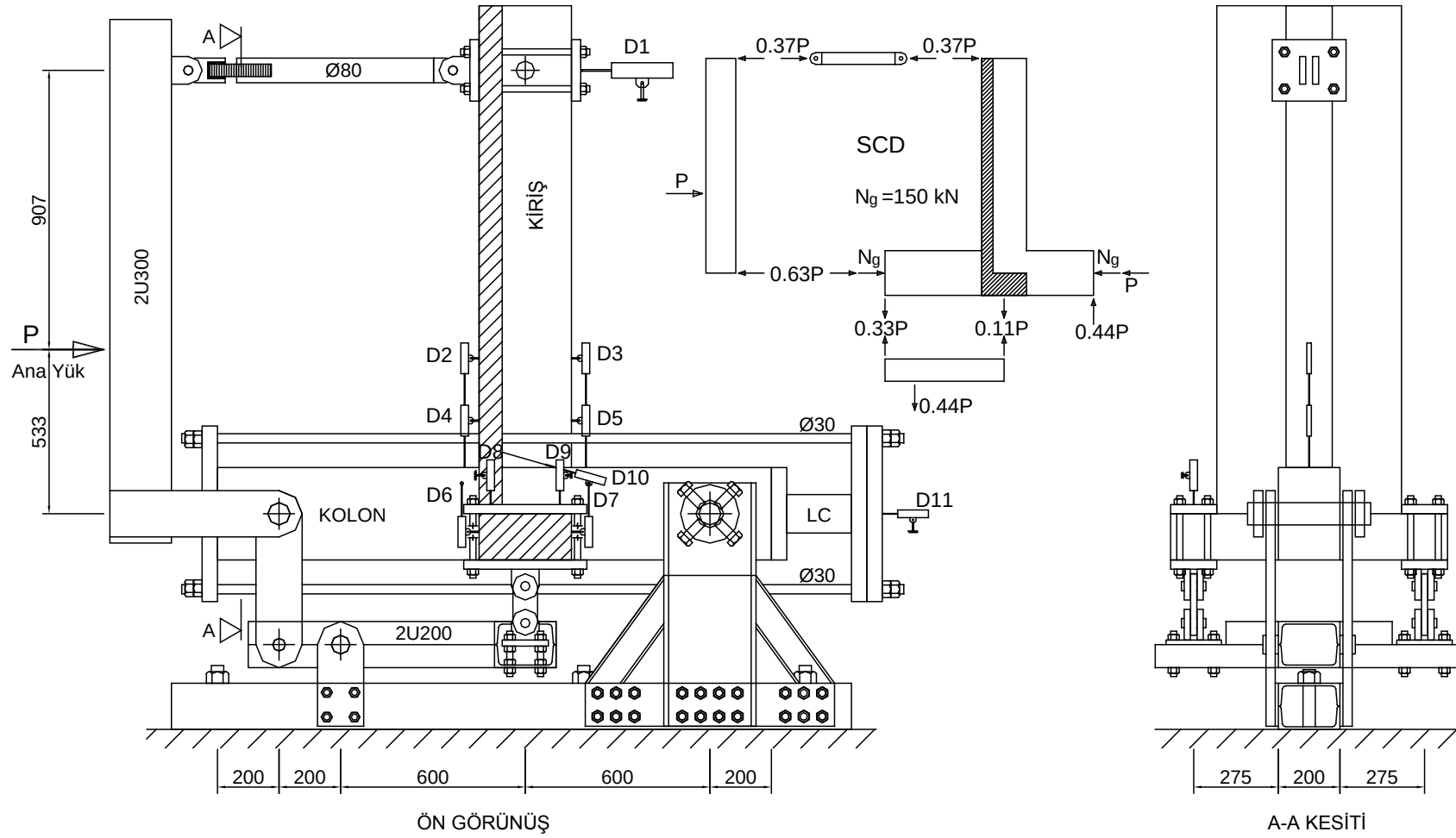
Yükleme düzeni

Bu çalışma kapsamındaki deneyler Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünün Yapı Mekaniği Laboratuvarında güçlü deney döşemesi üzerinde yapılmıştır. Deney döşemesi 400 mm kalınlıklı rijit bir döşeme ve 400 mm kalınlıklı güçlü bir duvardan oluşmaktadır. Kolaylıklar sağlaması amacıyla deney elemanları gerçek yapıdakine göre 90° döndürülerek deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Bu şekilde kolonlar yatay, kiriş ise tablalı kısmı solda kalacak şekilde düşey konumlandırılmıştır. Elemanın yerleştirildiği yükleme sistemi, deney döşemesine ard germe bulonları ile sıkı bağlanmıştır. Deney elemanı kolon uçlarındaki mafsallarla yükleme sistemine bağlanmıştır. Bu mafsallarda deney düzeneğinden ve kolon uçlarındaki deliklerden geçirilmiş çelik pimler kullanılmıştır. Deney elemanlarından bir gruba düşey yüklerden kaynaklanan ölü yükleri temsil etmek amacıyla kolona ilave eksenel yük uygulanmıştır. Deney elemanına yükleme yapabilmek için bir ucu rijit duvara, diğer ucu ise yük hücresine bağlı (Load Cell (LC)) çift etkili hidrolik krikon kullanılmıştır. Krikonun genliği (strok) kirişe ileri ve geri yönde yeterli deformasyonu yaptıracak şekilde düzenlenmiştir. Yük okumaları krikon ile kiriş arasına yerleştirilen ve hem çekmeye hem basınca çalışan bir yük

hücresi ile yapılmıştır. Deney sistemine verilen yük değerleri bir okuyucu-tarayıcıdan geçtikten sonra bilgisayara aktarılmıştır. Krikonun rijit duvara bağlı ucu ile yük hücresinin deney elemanına bağlı ucu mafsallı olarak yapılmıştır. Bu şekilde yük eksenine dik yönde kuvvet oluşması önlenmiştir. Yük ve ölçüm düzeni Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Yük ve ölçüm sistemi ($N_g=0$)



Şekil 3.18. Yük ve ölçüm sistemi ($N_g=150 \text{ kN}$)

Ölçüm düzeni

Deney elemanlarının çeşitli yön ve doğrultudaki deplasmanlarını ölçmek amacıyla, 0,01 mm'ye kadar olan değişimleri ölçebilen, elektronik deplasman ölçerlerden (LVDT) yararlanılmıştır. Bu LVDT ler aracılığıyla alınan deplasman verileri, veri okuyucudan geçtikten sonra bilgisayara kaydedilmiştir. Deney elemanına verilen toplam yük ile kirişte 1 numaralı LVDT hizasındaki deplasman değişimi deney sırasında grafik olarak bilgisayar ekranından takip edilebilmiştir. Ölçümler için 11 adet LVDT kullanılmıştır. Her LVDT'ye 'D' ve numara verilmiştir. Konsol uç deplasmanını ölçen LVDT; D1, rijit ötelenmeleri ölçen LVDT; D11 ve düğüm bölgesindeki dönmeyi belirlemek için kullanılan LVDT ler; D8, D9 deney elemanı dışına, rijit döşeme üzerine mesnetlenmiştir. Diğer LVDT'ler deney elemanı betonuna ankre edilmiş çubuklara bağlanmıştır. Deney elemanı, kiriş üzerinde iki ölçüm bölgesine ayrılmıştır.

D1	:Kiriş uç deplasmanı
D2 ve D3	:2. bölge eğrilik hesabı
D4 ve D5	:1. bölge eğrilik hesabı
D6 ve D7	:Alt ve üst kolon düşey yer değiştirmeleri
D8 ve D9	:Rijit düğüm dönmesi
D10	:Kayma deformasyonu hesabı
D11	:Rijit yatay ötelenme

3.1.5. Ölçümlerin değerlendirilmesi

Deplasman ölçümlerinin değerlendirilmesi

Kiriş ucundaki net deplasmanların hesabı

Kirişin yatay doğrultudaki uç deplasmanını ölçen LVDT D1'dir. Kirişe mesnetlik görevi yapan kolonlar sonsuz rijit olmadığı için yük altında kolon-kiriş birleşiminde rijit dönmeler olacaktır. Bunun yanı sıra kolon mesnetlerindeki boşluklar nedeniyle da deney elemanında, küçük de olsa, yatay yönde rijit ötelenme olacaktır. Bu iki

deplasmanın kiriş davranış ve dayanımı üzerinde bir etkisi yoktur. Ancak D1 adlı LVDT'den alınan deplasman ölçümü içerisinde bu iki deplasman da bulunmaktadır. Üzerinde durulması gereken deplasman kirişin yapmış olduğu kayma ve eğilme deformasyonlarının toplamından oluşan net deplasmandır. Deney sonuçları değerlendirilirken doğrudan D1'den alınan deplasmanlar dikkate alınmamış, bunun yerine kiriş ucunda oluşan net deplasmanlar esas alınmıştır. Kullanılan semboller aşağıda verilmiştir.

- θ :Düğümün (kolon-kiriş birleşiminin) dönme açısı
 d_1 : 'D1'adlı LVDT'den ölçülen deplasman
 d_h :Deney elemanının rijit yatay ötelenmesi
 $d\theta$:Düğümdeki dönmeden dolayı, d_1 doğrultusunda oluşan deplasman
 d_{net} :Kiriş ucunun yatay yöndeki net deplasmanı (eğilme + kayma)
 L :Kolon eksenini ile kiriş yük eksenini arasındaki dik uzaklık ($L=1440$ mm)

Kiriş ucundaki net deplasman, D1'den ölçülen deplasman ile rijit ötelenme ve dönme hareketlerinden dolayı D1 doğrultusunda oluşan deplasmanın farkına eşittir. LVDT'lerin ölçüm çubukları içeri doğru girdiğinde (+) değerler okunmuş, dışarı doğru çıktığında (-) değerler okunmuştur. Net deplasmanın bulunması

$$\tan\theta \approx \theta = d\theta/h \quad (3.1)$$

$$\theta = (d_8 - d_9)/c \quad (3.2)$$

$$d\theta = h\theta = (d_8 - d_9)/(L/c) \quad (3.3)$$

$$d_{net} = d_1 - d_{11} - [(d_8 - d_9)/(L/c)] \quad (3.4)$$

Bu eşitliklerde tanımlanmamış olan terimler aşağıda verilmiştir.

$d_1, \dots, d_{11}$: Sırasıyla D1, D8, D9, D11 adlı LVDT 'lerden ölçülen deplasmanlar.

c : D8 ile D9 eksenleri arasındaki dik uzaklık (190 mm).

Deney elemanlarının yük deplasman grafiklerinin zarf eğrileri de net deplasmanlara göre çizilmiştir.

Moment- eğrilik ilişkisinin hesabı

Eleman üzerinde iki bölge için moment ve eğrilik ilişkisi verilmiştir. Moment-eğrilik grafikleri çizilirken, eğrilik ölçümü alınan noktadaki moment değerinin dikkate alınması gerekir. Ancak burada her bir bölgenin momenti yerine, bölgeler arası karşılaştırma ve yorumların daha kolay yapılabilmesi için ele alınan kirişin kolon yüzündeki momenti kullanılmıştır. Eğrilik, birim boy başına düşen, rölatif dönme açısının radyan cinsinden ifadesidir. Deneysel çalışmalarda eğriliği belirlemek için seçilen iki kesit arasındaki dönme açısı radyan olarak bulunduktan sonra bu açı iki kesit arasındaki uzunluğa bölünerek eğrilik bulunur [3]. LVDT lerin işaretleri göz önünde tutularak her iki bölge için hesaplanan eğrilik bağıntıları aşağıda verilmiştir.

$$\theta_1 = \frac{d_5 - d_4}{a} \text{ olmak üzere } k_1 = \frac{\theta_1}{b} = \frac{d_5 - d_4}{ab} \quad (3.5)$$

$$\theta_2 = \frac{d_3 - d_2}{a} \text{ olmak üzere } k_2 = \frac{\theta_2}{b} = \frac{d_3 - d_2}{ab} \quad (3.6)$$

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.

(elemanların tümünde $a \approx 90$ mm)

b : Eğrilik hesabı yapılan bölgenin kiriş üzerindeki yüksekliği.

(1. bölgede $b=160$ mm, 2. bölgedeki $b=460$ mm)

Eğilme Rijitliklerinin Hesabı

Deney elemanlarının ileri ve geri çevrimlerdeki eğilme rijitlikleri, rijitlik değişimlerini belirlemek amacıyla bulunmuştur. Teorikte 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 eğriliği önemli ölçüde değiştirebilmektedir. Probleme bu açıdan bakıldığında ölçülerek hesaplanan eğriliğin gerçek eğriliği 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 durumun bir sakıncası olmayacaktır [3].

Çalışmada her yarım çevrimin rijitliği, o çevrimde ulaşılan en büyük yükün %70'ine kadar olan kısımdaki yük artımların, deplasman artımlarına oranları ile bulunan parçasal eğimlerin ortalamaları alınarak hesaplanmıştır.

Enerji Tüketme Kapasitelerinin Hesabı

Toplam enerji değişmez ancak başka enerjilere dönüşür. Bu kural fiziğin temel kurallarından birisidir. 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 dönüştürülebilir 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. Dönüştürülebilir enerji, plastik bölgenin uzunluğu ile genelde doğru orantılıdır. Bu nedenle taşıyıcı sistem elemanlarının enerji tüketebilme kapasiteleri oldukça önemlidir. Fizik kurallarına göre enerji yapılan işe, iş ise kuvvet ile ilk konuma göre kat edilen yolun

çarpımına eşittir [3]. Bu noktadan yola çıkarak deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri, elemana ait yük deplasman eğrisinin her çevrimde kapsadığı alanların kümülatif olarak toplanmasıyla elde edilmiştir. Tüketilen bu enerji miktarlarının değişimi ise o ana kadar yapılmış olan kümülatif kalıcı deplasmanlara bağlı olarak çizilmiştir.

Aşağıda enerji tüketimi hesabı yapılırken kullanılan bağıntılar verilmiştir.

$$E_n = \sum_{i=1}^n E_i$$

$$D_n = \sum_{i=1}^n D_i$$

n : Hesap yapılan çevrimin numarası

E_n : Hesap yapılan çevrime kadar tüketilen toplam enerji

i : i. Çevrim ($i \leq n$)

E_i : Sadece i. çevrimde tüketilen enerji

D_n : Hesap yapılan çevrime kadar olan kalıcı deplasmanların toplamı

D_i : Sadece i. çevrimde, ileri ve geri yönlerdeki kalıcı deplasmanların toplamı

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 tanımdan yola çıkarak dayanımda önemsiz miktardaki kayıplar olası kabul edilmektedir [3].

Mühendislikte dayanımdaki %15-%20'lik kayıplar genellikle önemsiz kabul edilmektedir. Bu çalışmada %15'lik sınır temel alınmıştır. Süneklik oranı yük-

deplasman ilişkisinden veya moment-eğrilik ilişkisinden bulunabilir. Yük-deplasman ilişkisinden bulunan sünekliğe deplasman sünekliği, moment-eğrilik ilişkisinden bulunan sünekliğe 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 edilmemektedir. Bu nedenle bu çalışmada deplasman süneklikleri hesaplanmıştır [3]. Bunun için önce, ele alınan deney elemanına ait yük-deplasman zarf eğrisinde referans eleman dayanımının % 85 ine karşı gelen yatay bir doğru çizilmiş ve bu doğrunun zarfı kestiği ikinci noktadaki deformasyon bulunmuştur. Daha sonra bu deformasyonun elemana ait akma deformasyonuna bölünmesi ile süneklik oranı belirlenmiştir. Zarfın %85 yatay doğrusunun tamamen üstünde kaldığı durumlarda ise süneklik oranı ulaşılan en büyük deformasyonun akma deformasyonuna oranından bulunmuştur.

4. BULGULAR

4.1. 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 ait yük ve deplasman geçmişi çevrimlere göre verilmiştir. Ardından yük-deplasman grafikleri sunulmuş ve deneyle ilgili resimler verilmiştir. Ayrıca bazı deneylere ait resimler de Ekler kısmında verilmiştir. Her çevrimdeki gelişmeler sıralı olarak anlatılmış, önemli bir olayın gözlenmediği çevrimler atlanmıştır. Deney elemanları, kirişler düşey konumda ve tablalı yüzleri (güçlü yüz) solda kalacak şekilde deney döşemesine yerleştirilmiştir. (Bkz. Şekil 3.17. ve Şekil 3.18.) Deneyler elemanların deney döşemesi üzerindeki konumuna göre anlatılmıştır. Anlatımlarda zaman zaman eksen ve açılar kullanılmıştır. Bu tanımlamalarda x-ekseni kolon eksenine ile y-ekseni ise kiriş eksenine ile aynı doğrultuda seçilmiştir. X-ekseninin pozitif yönünden başlayıp saat yönünün tersindeki açılar pozitif, saat yönündeki açılar negatif alınmıştır. Deney elemanında belirtilen çatlak konum ve açıları bu yönler esas alınarak verilmiştir. İleri çevrimlerdeki kiriş ucuna uygulanan yük ve deplasmanlar pozitif, geri çevrimdekiler ise negatif olarak tariflenmiştir.

Yük-deplasman eğrilerinde deney elemanının yük almamaya başladığı noktalar akma noktası olarak adlandırılmıştır. Ancak buradan çekme donatısının her zaman aktığı anlamı çıkartılmamalıdır. Bazı elemanlarda dayanım kaybı çekme donatısı akmadan çok daha önce, düğümün mekanizmaya dönüşmesi, kesme kırılması, donatı sıyırılması vb. nedenlerle başlamıştır.

Deneylerin ilk çevrimlerinde büyük ölçüde yük kontrollü yükleme yapılmıştır. Akma gerçekleşikten sonra ise yüklemeye deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir.

Yük geçmişi grafikleri, her çevrimde ulaşılan en büyük yüklere göre çizilmiştir. Deney elemanında akma gerçekleşinceye kadar öngörülen bir yük senaryosuna uyulmuştur. Akmadan sonra ise öngörülen deplasman senaryosuna uyulmaya çalışılmıştır. Buradan yola çıkılarak verilen yük ve deplasman geçmişleri grafikleri birbirinden bağımsız olmayıp, yük geçmişi grafikleri her çevrimde ulaşılan en büyük yük ile, deplasman geçmişi grafikleri ise her çevrimde ulaşılan en büyük deplasman ile çizilmiştir.

Bu kısımda verilen yük-deplasman grafiklerindeki yük değeri, sisteme uygulanan toplam yüküdür. Deplasman değeri ise kolon yüzünden 900 mm (WC1a ve WC1b Elemanlarında kolon yüzünden 800mm) mesafede yerleştirilen LVDT'den (D1) okunan değerlerdir. D1 adlı LVDT'nin kapasitesi yeterli olmadığı için kiriş uç deplasmanı ölçümü kiriş ucundan alınamamıştır. Değerlendirmeler aşamasında ise yük olarak, toplam yükten kiriş ucuna iletilen kesme kuvveti ele alınmış, deplasman olarak da kiriş uç deplasmanı kullanılmıştır. Kiriş uç deplasmanı, ölçüm yapılan nokta ile kiriş ucu arasındaki bölgenin doğrusal kaldığı varsayımı ile yapılmıştır.

Deney elemanlarının anlatımında standart bir ifadelendirme yapabilmek amacıyla elemanda bazı adlandırmalar yapılmıştır. Bu adlandırmalar aşağıda verilmiştir:

<i>Alt kolon</i>	:Yapıdaki konuma göre düğüm bölgesinin altında kalan kolon
<i>Üst kolon</i>	:Yapıdaki konuma göre düğüm bölgesinin üstünde kalan kolon
<i>Alın kirişi</i>	:Yüklemenin yapıldığı kirişe dik doğrultuda ve yapıdaki konuma göre dış cephedeki kiriş
<i>Dikdörtgen bölge</i>	:Alın kirişi tarafından kuşatılmamış kolon iç yüzü ile alın kirişi iç yüzü arasında kalan 150x225 mm boyutlarındaki birleşim bölgesi
<i>Döşeme sıfır çatlağı</i>	:Üst kolon iç yüzü ile döşeme üst yüzü arasında oluşan çatlak
<i>V-çatlak</i>	:Alt kolon ile alın kirişi alt yüzü arasında veya üst kolon ile döşeme üst yüzü arasında V-şeklinde oluşan kesme çatlağı.
<i>Ön yüz</i>	:Deney sistemindeki konuma göre elemanın ön yüzü

Arka Yüz :Deney sistemindeki konuma göre elemanın arka yüzü

Kulakçıklar :Alın kirişinin döşemeden taşan sol ve sağ parçaları

Deneyle anlatılırken kullanılan hasar tipi tanımları aşağıda sunulmuştur.

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 basınç donatılarında burkulma başlangıcı orta hasar olarak tanımlanmaktadır.

Ağır hasar: Çekme donatılarında kopma veya kopmaya yakın büyük deformasyonlar, basınç donatılarında belirgin burkulma, sargılanmış (etkiye içindeki) betonda ezilme ve betonda önemli kesit kayıpları, etriyelerde kopma veya açılma, ağır hasar olarak tanımlanmaktadır [3].

Deneyle sırasında, yük ve deplasman ölçümleri alınmış ve bu ölçümler ile,

Yük deformasyon

Moment-eğrilik

Enerji tüketimi

Rijitlik değişimi

İlişkileri grafiksel olarak çizilmiş ve,

Dayanım ve dayanım azalması

Süneklik

Enerji tüketimi

Rijitlik değişimi

gibi konularda değerlendirmelerde bulunulmuştur. Elde edilen sonuçlar ulaşılmış hedeflenen referans eleman davranış ve dayanımları ile karşılaştırılmıştır.

4.1.1. RC1-R2 deneyi

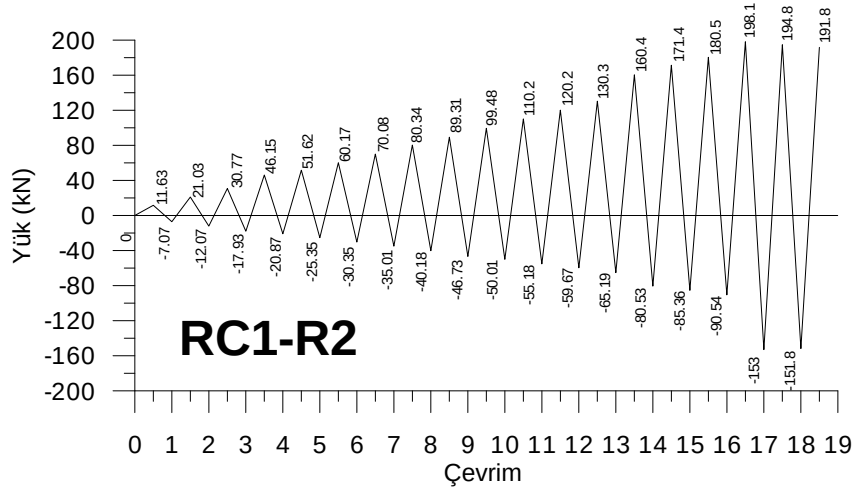
<i>Eleman Türü</i>	: Referans Elemanı
<i>Güçlendirme</i>	: Yok
<i>Deney Tarihi</i>	: 27/06/2008
<i>Güçlendirme Tipi</i>	: Yok

Açıklama: Bu elemandan önce hazırlık aşamasında RC1 ve RC1-R1 elemanları hazırlanmıştır. Bu iki elemandaki eksiklikler giderilerek RC1-R2 elemanı hazırlanmıştır.

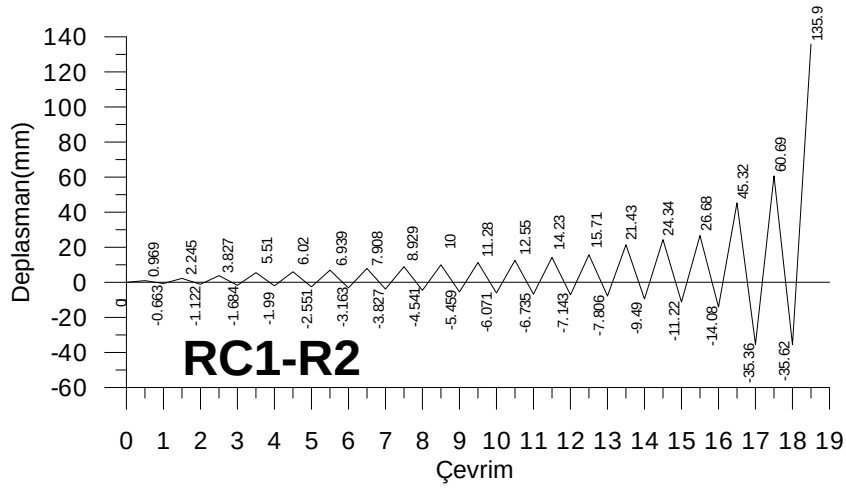
İlk çatlak 4. ileri çevrimde ($P \leq 40$ kN) kirişte, kolon yüzünden 240 mm yukarıda kılcal bir eğilme çatlağı olarak gözlenmiştir. 4. geri çevrimde kiriş kolon ara kesitinde kılcal eğilme çatlağı oluşmuştur. Ayrıca kirişte, kolon iç yüzünden yaklaşık 450 mm yukarıda kılcal bir çatlak görülmüştür. Bu aşamada döşeme alt yüzünde de bir çatlak oluşmuştur. 5.-6.-7. ileri çevrimlerde sırasıyla döşemede sıfır çatlağı, üst kolon iç yüzünden 170 mm ve 300 mm yukarıda kılcal çatlaklar gözlenmiştir. 7. geri çevrimde ($P \leq 35$ kN) dikdörtgen bölgede, sağ alt köşeden sol üst köşeye ilerleyen 0,1 mm genişlikli çatlak gözlenmiştir. Kirişte kolon yüzünden 50 mm-700 mm-900 mm yukarıda kılcal çatlaklar oluşmuştur. 10. ileri çevrimde ($P=100$ kN) dikdörtgen bölgede bir çatlak gözlenmiştir. Bu çatlak dikdörtgen bölgenin alt kenarının ortasından başlamış, 45° açıyla sağ üst köşeye doğru ilerlemiştir. Genişliği 0,2 mm gözlenmiştir. 11. ileri çevrimde alt kolonun alın kirişiyle birleştiği yerde kılcal çatlak oluşmuştur. Üst kolonda da kolon iç yüzünden başlayan ve kolon dış yüzüne doğru ilerleyen kılcal çatlak görülmüştür. Döşeme çatlak genişlikleri artmıştır. 11. geri çevrimde dikdörtgen bölgedeki sağ alt köşeden başlayan çatlakta gelişme olmuştur. Alt kolonun düğüme yakın bölgesinde 0,2 mm genişlikli bir V çatlak oluşmuştur. 12. geri çevrimde alt kolonda kiriş alt yüzüne 150 mm mesafede kirişe doğru yönelen bir V çatlak gelişmiştir. Ayrıca kiriş alt yüzüne 250 mm uzaklıkta başlayan ve kirişe doğru ilerleyen 0,25 mm genişlikli bir eğimli çatlak gözlenmiştir. Kiriş-kolon ara kesitinde 0,5 mm'lik bir çatlak oluşmuştur. Kiriş çatlakları bu aşamada sırasıyla kolondan kirişin serbest ucuna doğru 50 mm'de 0,4 mm, 250 mm'de 0,4 mm, 500

mm’de 0,3 mm, 700 mm’de 0,2 mm, 900 mm’de 0,2 mm gözlenmiştir. Üst kolonda da bir çatlak oluşmuştur. Bu çatlak döşeme üst yüzüne 250 mm mesafede 0,1 mm’lik eğilme çatlaktır. 13. ileri çevrimde üst kolon döşeme ara kesitindeki çatlak yaklaşık 1 mm’ye ulaşmıştır. Kirişte, kiriş alt yüzünün döşemeyle birleştiği köşeden 500 mm ve 700 mm yukarıda, biri 60° açıyla alt kolona doğru, diğeri -40° açıyla devam eden iki tane kesme çatlak oluşmuştur. İlerleyen çevrimlerde dikdörtgen bölge ve kiriş çatlak aralıklarında artışlar gözlenmiştir. 16. ileri çevrimde döşeme alt yüzünün alın kirişiyle birleştiği bölgede, döşeme üstünde 0,5 mm’lik çatlak gözlenmiştir. Kirişteki kesme çatlaklarında gelişme olmuştur. Dikdörtgen bölgedeki +45°’lik çatlak sayısı 2 adet belirlenmiştir. Bu çatlardan biri dikdörtgen bölgenin alt kenarının ortasından başlayıp 45° ile sağa yukarı doğru devam eden eski çatlak, ikinci çatlak ise dikdörtgen bölgenin sol alt köşesinden başlayıp yine diğer çatlakla paralel sağa yukarı doğru ilerleyen çatlaktır. 16. geri çevrimde kirişte bir kesme çatlak oluşmuştur. Bu çatlak kolon iç yüzünden kirişe doğru 600 mm’de +30° lik açıda ve 0,6 mm genişlikte görülmüştür. Kiriş alt yüzü ile alt kolon ara kesitindeki çatlak genişliği 1 mm olmuştur. Ayrılma bu aşamada kirişin kolondan ayrılması olarak görülmüştür. 170 kN’da döşemenin alın kirişiyle birleştiği bölgede çatlaklar belirlenmiştir. 18. geri çevrimde ($P \leq 90$ kN) kiriş kolon ara kesitindeki çatlaklarda akma olacağına işaret olan dallanmalar ve köklenmeler görülmüştür. Alt kolon üst yüzünde bir çatlak belirlenmiştir. Bu çatlak daha önce oluşan kesme çatlaklarının devamı olmuştur. Bu çatlakın kiriş alt yüzüne mesafesi 250 mm gözlenmiştir. Aynı zamanda çatlaklar kolon etriyelerine paralel gelişmiştir. 190 kN’da akma gerçekleşmiştir. 192 kN’da kiriş alt kolon ara kesitinde ezilme olmuştur. Alt kolonda bu aşamada birkaç tane kesme çatlak oluşmuştur. Bu çatlakların genişliği 0,9-1 mm’ye ulaşmıştır. Üst kolon döşeme ara kesitindeki çatlak genişliği 3 mm olmuştur. Üst kolonun döşemeye birleştiği kenarın dış köşesinden kolonun iç yüzüne doğru, yaklaşık 135° açıyla ilerleyen kesme çatlak görülmüştür. -145 kN’da elemanda geri yönde de akma gerçekleşmiştir. -150 kN’da alt kolonda önemli sayılabilecek kesme çatlakları oluşmuştur. Bu çatlaklardan biri kiriş alt yüzünden kolona doğru 120 mm’den başlamış, kenar kirişe doğru yaklaşık 1,2 mm genişlikle ilerleyen çatlaktır. Bu aşamada plastik mafsallın kirişte olduğu belirginleşmiştir. Dikdörtgen bölgedeki sağ alt köşeden sol üst köşeye giden çatlakla paralel, yaklaşık kenar kirişe doğru 70 mm

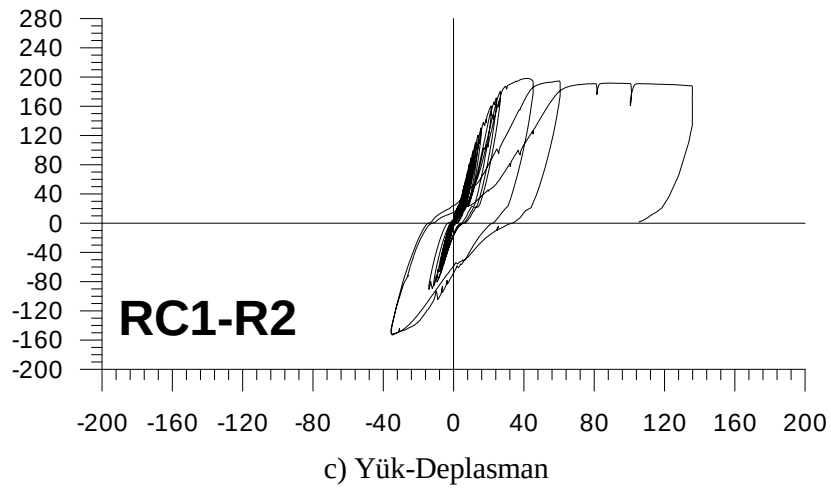
mesafede bir çatlak gelişmiştir. 2. gelişen kesme çatlağı bu aşamada 1,5 mm aralıkta gözlenmiştir. 185 kN'da mafsal bölgesinin kirişte 150 mm'lik bölge olduğu görülmüştür. Dikdörtgen bölgede birbirine paralel çatlaklar belirlenmiştir. Bu aşamada dikdörtgen bölgenin beton örtüsünün kabardığı belirlenmiştir. Üst kolondaki kesme çatlağı alın kirişinin iç yüzünden başlamış, kolonun iç yüzüne doğru 45° açıyla ilerlemiştir ve kolonun iç yüzüne döşeme yüzünden 300 mm sonra ulaşmıştır. -65 kN'a giderken yükleme duvarına yükleme sistemini bağlayan dişlinin içinden geçtiği U profilin ezdiği belirlenmiştir. Bu durum plastik mafsal kirişte oluştuktan sonra gerçekleşmiştir. Başarılı bir deney olmuştur. Plastik mafsal kirişte 100-150 mm'lik bölgede görülmüştür.



a) Yük geçmişi



b) Deplasman geçmişi



c) Yük-Deplasman

Şekil 4.1. RC1-R2 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük-toplam deplasman grafikleri



Resim 4.1. RC1-R2 elemanı deneyinden genel bir görünüş



Resim 4.2 RC1-R2 elemanında kiriş ve düğüm bölgesi hasarı

4.1.2. RC2 deneyi

<i>Eleman Türü</i>	: Referans Elemanı
<i>Güçlendirme</i>	: Yok
<i>Deney Tarihi</i>	: 08/08/2008
<i>Güçlendirme Tipi</i>	: Yok

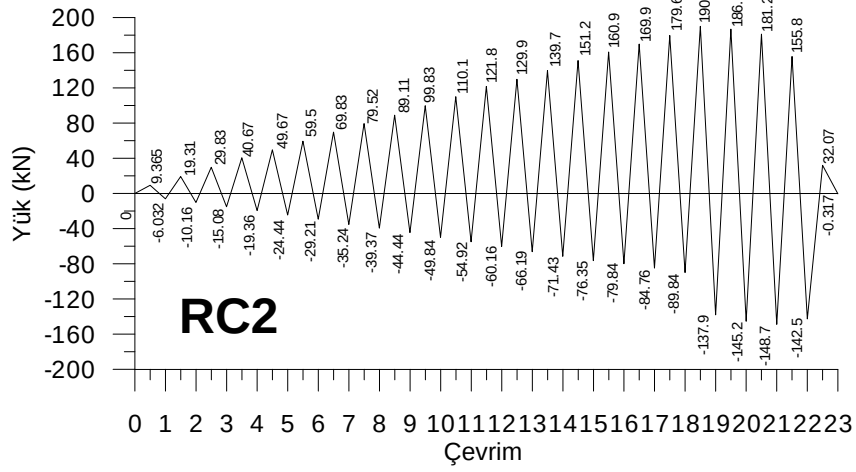
Açıklama: Eksenel yüklü elemanların referans elemanıdır. Kolon başlarına yerleştirilen rijit plakalardan 4 tane 30 mm'lik bulon geçirilmiş ve bu bulonlara ard germe verilmiştir. Böylece kolonda eksenel yük oluşturulmuştur. Eksenel yük 2 türlü ölçülmüştür: 1) Kolon başlığıyla rijit plakalar arasına yerleştirilen yük hücresi ile ölçülmüştür. Bu ölçüm esas alınmıştır. 2) Aynı zamanda 30 mm'lik bulonlar torkmetre ile sıkılmıştır. Yük hücresinden ölçülen değer ile torkmetre ile verilen değer uyumlu olduğu gözlenmiştir.

İleri 60 kN'da ilk kılcal çatlak döşeme üzerinde, kolon iç yüzünden 50 mm uzaklıkta, ard germe bulonu için delik açılan yerde gözlenmiştir. -30 kN'da kirişte kolon iç yüzünden 530 mm yukarıda, ve kiriş-kolon ara kesitinde kılcal eğilme çatlakları oluşmuştur. 70 kN'da kolon yüzünden 370 mm yukarıda 2. kılcal döşeme çatlağı gözlenmiştir. 100 kN'da döşemedeki çatlak sayı ve aralıklarında artışlar olmuştur. Bu çatlaklardan 50 mm'deki 0,5 mm, 260 mm'deki 0,1 mm, 360 mm'deki 0.15 mm, 480 mm'deki 0,2 mm, 570 mm'deki 0,2 mm gözlenmiştir. 10. geri çevrimde ($P \leq 50$ kN) kirişte, alt kolonun iç yüzünden 360 mm yukarıda $+45^\circ$ ile sabit pime doğru ilerleyen kesme çatlağı oluşmuştur. 110 kN'da kiriş döşeme ara kesitinden 300 mm yukarıda başlayan -45° ile kirişe doğru ilerleyen, kesme çatlağı oluşmuştur. Çatlağın başlangıç genişliği 0,3 mm gözlenmiş sonra aralığının hızla azaldığı belirlenmiştir. Kirişte diğer bir kesme çatlağı yine kiriş-kolon ara kesitinden 450 mm yukarıda, 0,2 mm aralıkta oluşmuştur. -55 kN'da kiriş yan yüzünde 180 mm'de 0,2 mm genişliğinde kesme çatlağı daha görülmüştür. 120 kN'da dikdörtgen bölgede sol alt köşeden başlayan ve sağ üst köşeye giden 0,5 mm genişlikli ani gelişen bir çatlak belirlenmiştir. Kirişteki en büyük çatlak genişliği 280 mm'de oluşan 0,4 mm'lik kesme çatlağıdır. 130 kN'da kirişte yeni kesme çatlakları gözlenmiştir. Bu aşamada

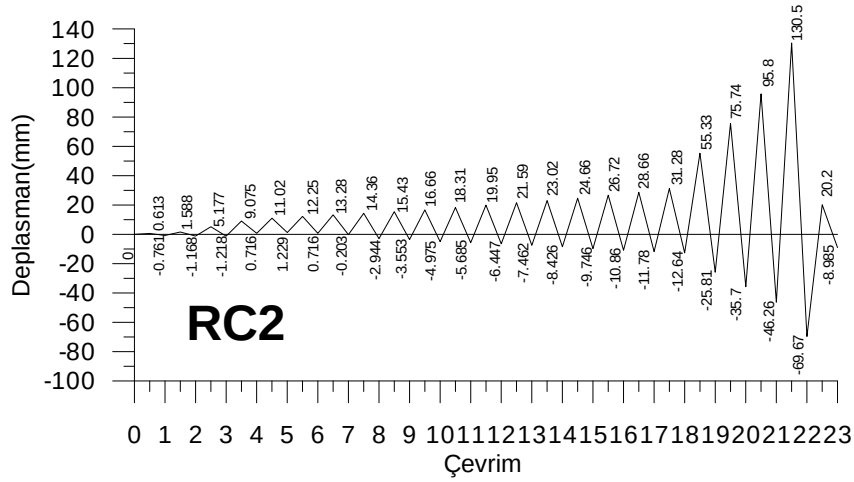
kirişte gözlenen tüm kesme çatlakları kiriş döşeme ara kesitinden 280 mm’de 0,5 mm, 420 mm’de 0,5 mm ve yeni oluşan 880 mm’de 0,4 mm, 950 mm’de 0,3 mm belirlenmiştir. Dikdörtgen bölgedeki çatlak genişliği 0,6 mm olmuştur. -65 kN’da dikdörtgen bölgenin sağ üst köşesinden yaklaşık 80 mm soldan başlayıp, sağ kenara paralel düşey ilerleyen çatlak görülmüştür. Kiriş-alt kolon ara yüzündeki çatlak 0,8 mm olmuştur. En büyük kesme çatlağı 0,35 mm’dir. 140 kN’da dikdörtgen bölgedeki çatlak genişliği 0,9 mm ve tek çatlaktır. Kirişte 880 mm’deki kesme çatlağı kiriş ortasına kadar -45° açıyla ilerlemiştir. 150 kN’da dikdörtgen bölgedeki çatlak ve elemandaki en büyük kesme çatlağı 1 mm olmuştur. Burada 4 tane 280 mm, 420 mm, 580 mm ve 900 mm’de kesme çatlakları belirlenmiştir. Döşeme kolon iç yüzü ara kesitinde çatlak genişliği 0,3 mm olmuştur. -75 kN’da kolon-kiriş ara kesitine 400 mm mesafede başlayan ve 45° açıyla aşağı doğru ilerleyen bir çatlak görülmüştür. Genişliği 0,5 mm’dir. Dikdörtgen bölgede 0,2 mm genişlikli, sol üst köşeden başlayarak alt kenarın ortasına ulaşan yeni bir çatlak belirlenmiştir. 160 kN’da alın kirişinin döşeme ile kesiştiği yerde de 0,4 mm genişlikli bir çatlak gözlenmiştir. -80 kN’da üst kolonda V çatlak görülmüştür. 170 kN’da kirişte 300 mm’deki çatlaktan sonraki en büyük kesme çatlağı 900-950 mm’deki çatlak olmuştur. Çatlak genişliği 1,2 mm’dir. 180 kN’da dikdörtgen bölgedeki çatlak genişliği 1,5 mm görülmüştür. Bu çatlak tek ve sol alt köşeden sağ üst köşeye ilerlemiştir. Sol alt köşedeki çatlak döşeme alt yüzü ile alın kirişi iç yüzü ara kesitinde devam etmiştir, genişliği burada da 1 mm görülmüştür. Kirişteki en büyük kesme çatlağı en üstte 900 mm’de, yatayla 60° açı yapmış ve 1,2 mm genişlikte tespit edilmiştir. -90 kN’da 3 adet kesme çatlağı belirlenmiştir. Bu çatlaklar kirişte kolon iç yüzüne 400 mm’de 1 mm, 640 mm’de 0,8 mm, 900 mm’de 0,7 mm genişliklere ulaşmışlardır. Alt kolon yan yüzdeki çatlak 0,6 mm olmuştur. 186 kN’da akma gerçekleşmiştir. Kirişin kolonla birleştiği yerde betonda paspayı kadar ezilme görülmüştür. Burada belirgin bir değişiklik gözlenmiştir. Kirişin alt kolonla birleştiği ara kesitte döşeme alt yüzünden başlayıp basınç bölgesine doğru ilerleyen bir çatlak belirlenmiştir. Başka bir ifadeyle döşeme boydan boya çatlamıştır. Basınç bölgesi yüksekliği, (tarafsız eksen derinliği) bu aşamada 100 mm olmuştur. Yeni gelişen kesme çatlakları görülmüştür. Üst kolon yan yüzünde çok küçük bir kesme çatlağı oluşmuştur. Bu çatlak 50x50 mm boyutlarındadır. -95 kN yükte iken akma gerçekleşinceye kadar yüklemeye devam

edilmiştir. -135 kN’da alt kolonda önceki kesme çatlağına 10 mm paralel mesafede yeni bir kesme çatlağı oluşmuştur. Her iki kesme çatlağının genişliği de 0,6 mm gözlenmiştir. Kirişte kolon yüzünden 200-250 mm mesafede plastik mafsall etkileri belirginleşmiştir. 183 kN’da deney elemanı eğilme taşıma gücüne ulaşmıştır. Paspayı betonu elle dökülmüştür. Buna rağmen boyuna donatı görülmemiştir. Alt kolon-kiriş ara kesitindeki çatlak, kiriş yan yüzüyle döşemenin kesiştiği yerdeki çatlak 3 mm belirlenmiştir. Dikdörtgen bölgede sol alt köşeden sağ üst köşeye ilerleyen ana çatlak 2 mm olmuştur. Bu çatlağa paralel başka çatlaklar da görülmüştür. Bu çatlakların dikdörtgen bölgedeki beton örtüyü dökerek nitelikte olduğu belirlenmiştir. Kesme çatlakları artık sabit kalmıştır. En büyüğü 1,5 mm genişlikte belirlenmiştir. Döşeme çatlaklarında artış görülmüştür. Üst kolon iç yüzü ile döşeme ara kesitindeki çatlak, alın kirişi ile döşemenin kesiştiği düzlemdeki çatlak ve kolon iç yüzünden 50 mm yukarıdaki çatlak da 5 mm aralığa ulaşmıştır. Diğer çatlakların oldukça sınırlı olduğu görülmüştür. -144 kN’da plastik bölgenin yine 200 mm’de olduğu belirlenmiştir. Kirişte bu aşamada 3 tane çatlak gözlenmiştir. Bu çatlaklardan bir tanesi kiriş kolon ara kesitinde 2 mm, diğerleri de yine 200 mm’lik bölgede kesme çatlağı şeklinde ve 2-3 mm genişliktedir. Bu çatlaklardan dolayı kolondaki hasarın kirişe göre bu aşamada daha önemsiz olduğu görülmüştür. 178 kN’da dikdörtgen bölgede birçok çatlak oluşmuştur. Buradaki kabukta çok az dökülme belirtisi görülmüştür ancak bu aşamada çok sağlam olduğu belirlenmiştir. Betondaki ezilme bu aşamada paspayında sınırlı kalmıştır, boyuna donatı gözükmemiştir. Sadece bir etriye görülmüştür. Plastik bölge 300 mm’de belirlenmiştir. Kiriş üst bölgelerindeki kesme çatlakları sınırlı kalmıştır. En büyük çatlak genişliği bu aşamada 300 mm’lik bölgede 3 mm belirlenmiştir. Dikdörtgen bölgedeki en büyük çatlak 2 mm olmuştur. Kolondaki kesme çatlakları bu aşamadan sonra önemini yitirmiştir, çünkü plastik mafsallın kirişte oluşmasıyla kolon kesme çatlaklarının ilerlemesi sınırlanmıştır. -145 kN’da kirişte plastik mafsall bölgesi oldukça hasar görmüştür. Alt kolondaki kesme çatlağı genişliğinde artış olmuş, aralığı 2,5 mm belirlenmiştir. 145 kN’da kirişte ezilme iç bölgeye kadar ilerlemiştir. Kiriş basınç donatılarının 4’ü de burkulmuştur. Burkulan donatılardan biri etriyelerden birini zorlamıştır. 136 kN’da deney elemanına ileri yönde yük hücresinin kapasitesi kadar deformasyon yaptırılmıştır. Hasar kesin olarak kirişte oluşmuştur. Dikdörtgen bölgenin hala iyi olduğu gözlenmiştir. Döşemedeki

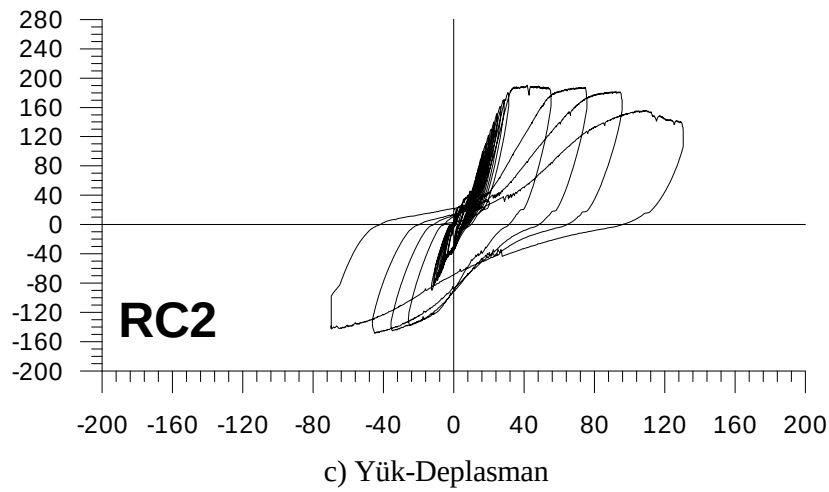
çatlakların her 3'ünün aralığı da 10 mm'ye yaklaşmıştır. Bunlardan biri kolon iç yüzü ile döşeme ara kesitindeki, diğeri alın kirişi ile döşeme ara kesitindeki ve, bir diğeri ise 50 mm yukarıdaki çatlaklardır. Üst kolonda herhangi bir hasar oluşmamıştır. Alt kolonda daha önce oluşan önemsiz bir kesme çatlağı görülmüştür. Bu çatlak bu aşamada 1,2 mm aralıkta belirlenmiştir. -138,5 kN'da kirişte sargı bölgesinin içinde de ezilme oldukça belirginleşmiştir. Alt kolondaki kesme çatlağı bu aşamada 4 mm genişliğe ulaşmıştır. İki kolon doğrusallığı korunmuştur. Kolonda bir deformasyon görülmemiştir. En son geri yüklemede rijitlikte azalmalar olduğu için döşeme betonunun da ezildiği belirlenmiştir. Deney sonunda döşeme üstündeki ezilmiş beton kabarmıştır. Üst yüzdeki kiriş donatılarının dışa doğru burkulması, döşeme üstündeki örtü betonunun kabarmasına yol açmıştır. Burada üst yüzdeki döşeme donatılarında da burkulma görülmüştür.



a) Yük geçmişi



b) Deplasman geçmişi



c) Yük-Deplasman

Şekil 4.2. RC2 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük-toplam deplasman grafikleri



Resim 4.3. RC2 elemanı deneyinden genel bir görünüş



Resim 4.4. RC2 elemanında kiriş hasarı ve kirişte oluşan plastik mafsall

4.1.3. WC1a deneyi

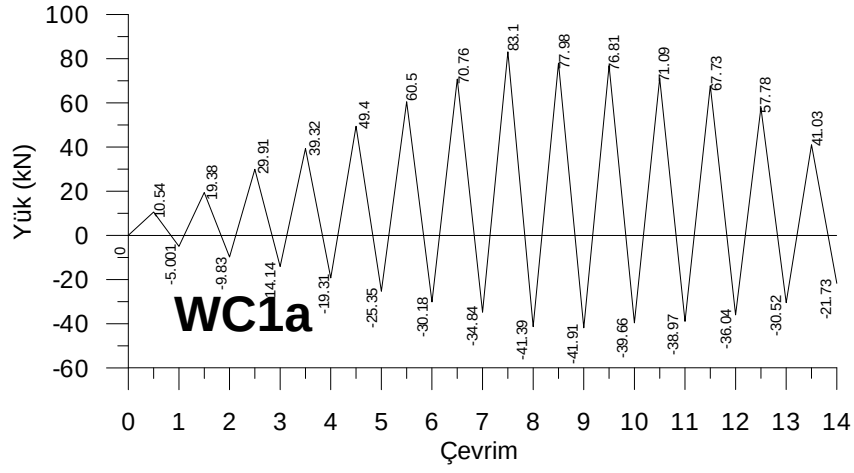
<i>Eleman Türü</i>	: Zayıf kolon+ düğüm elemanı
<i>Güçlendirme</i>	: Yok
<i>Deney Tarihi</i>	: 26/02/2008
<i>Güçlendirme Tipi</i>	: Yok

Açıklama :WC serisinin ilk elemanıdır. Düğüm bölgesi ve düğüm bölgesinden sonraki 150 mm'lik bölgeler etriyesiz üretilmiştir. LVDT 1 eksen kolon yüzünden 800 mm mesafededir.

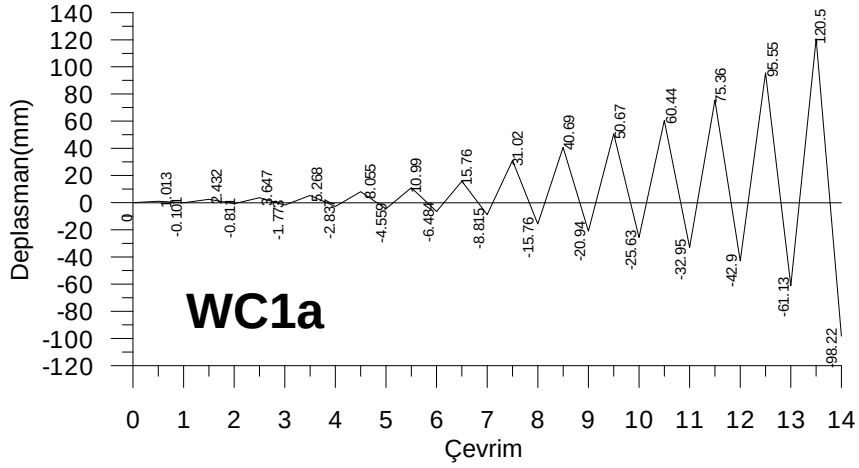
3. ileri çevrimde üst kolon-döşeme ara kesitinde, döşemeyi boydan boya geçen 0,3 mm'lik çatlak oluşmuştur. 3. geri çevrimde döşeme alt yüzünde alın kirişinin iç yüzünden 420 mm yukarıda kılcal çatlak görülmüştür. Kiriş-alt kolon ara kesitinde de kılcal çatlak oluşmuştur. 4. ileri çevrimde döşeme üzerinde yeni çatlaklar gözlenmiştir. 4. geri çevrimde kiriş kolon ara kesitindeki çatlak düğüme doğru ilerlemiştir. Düğümdeki çatlak 0,2 mm gözlenmiştir. Üst kolonun yan yüzünde, kolonun döşemeyi kestiği bölgede 0,2 mm'lik bir çatlak görülmüştür. 5. ileri çevrimde, düğümde oluşan çatlak nedeniyle yükte bir istikrarsızlık olmuştur. 50 kN'da düğüm bölgesinde biri çapraz, diğeri yatay iki çatlak oluşmuştur. Alın kirişinin iç yüzünün döşemeyi kestiği ara kesitte 0,5 mm'lik bir çatlak görülmüştür. Alt kolonda alın kirişinin kolonu kestiği ara kesitte boyu 75-80 mm olan kılcal çatlak oluşmuştur. 5. geri çevrimde alt kolonun üst ucunda, kiriş alt ucundan başlayıp alın kirişine kadar ilerleyen kılcal çatlak görülmüştür. 6. ileri çevrimde üst kolonun yan yüzünde birkaç çatlak daha oluşmuştur. Üst kolonun iç yüzünün döşemeyi kestiği noktada ve döşeme düzlemine 80 mm mesafeden başlayıp kolonun iç yüzünü 45° ile kesen bir çatlak belirlenmiştir. Üst kolonun alt ucunda dış yüze yakın benzer çatlaklar oluşmuştur. 3. geri çevrimde kiriş-alt kolon ara kesitindeki çatlak genişliği yaklaşık 1,5 mm'ye ulaşmıştır. Bu çatlak kirişin içine doğru 30-40 mm devam edip dikdörtgen bölgeye ilerlemiştir. Dikdörtgen bölgede çok belirgin olmayan sol üst köşeden sağ alt köşeye ilerleyen bir çatlak görülmüştür. Alt kolonun üst ucunda V şeklinde bir çatlak oluşmuştur. Bu çatlak kiriş alt yüzünden yaklaşık 80 mm

mesafede ve 45° içeri ilerlemiştir. 7. ileri çevrimde dikdörtgen bölgede sağ üst köşeden sol alt köşeye ilerleyen çatlak döşemenin kenar kirişi boyunca devam etmiştir. Alt kolondaki V çatlağın ucu yaklaşık olarak alın kirişinin deneydeki konumuna göre sağ üst köşesine doğru yönelmiştir. 8. ileri çevrimde dikdörtgen bölgedeki çapraz çatlaklar birbirine paralel ve 3-4 tane olmuştur. Genişlikleri 2-3 mm gözlenmiştir. Alın kirişinin döşemeyi kestiği yerdeki çatlak 4 mm olmuştur. Bu çevrimdeyken yük 80 kN'dan 70 kN'a düşmüştür. Alt kolonun üst ucundaki çatlakta gelişme olmuştur. Bu çatlak alın kirişinin dış yüzünden başlamış ve çatlak genişliği ortalama 1,5 mm gözlenmiştir. Alt kolonun üst ucundaki V çatlak düğümdeki çapraz çatlaklarla birleşmiştir. Üst kolonun alt ucundaki V çatlakta gelişmeler olmuştur. Burada 80 mm'lik bölgede bir çok V çatlak gözlenmiştir. Alt yüzde de kabarmalar görülmüştür. 8. geri çevrimde dikdörtgen bölgedeki çatlakların birbirine dik olduğu belirlenmiştir. Kolonda önemli bir çatlak görülmüştür. Bu çatlak yapıdaki konuma göre kirişin alt yüzünden kolonun iç yüzü boyunca 200 mm mesafede ilerleyerek buradan 45° ile alın kirişine doğru devam etmiştir. Alın kirişinin iç yüzünü yaklaşık olarak 20 mm aşağıdan kesmiştir. Çatlak genişliği 1 mm belirlenmiştir. Kiriş alt yüzündeki çatlak genişliği 2,5-3 mm olmuştur. Bu çatlak düğümün içine doğru ilerlemiştir. Kiriş bu aşamada doğrusal gözlenmiştir. Üst kolonun alt ucunun yan yüzündeki çatlaklarda ilerlemeler görülmüştür ancak arka yüzden bakıldığında üst kolonun alt ucunun yan yüzünden 25 mm mesafede boyu 150 mm olan bir çatlak belirlenmiştir. 77 kN'da dikdörtgen bölgenin oldukça hasarlı olduğu belirlenmiştir. Kiriş alt yüzünde derinliği 5 mm olan ezilme görülmüştür. Arka yüzde alt kolonun üst ucunda, iç ve dış yüzünde boyuna donatıyı takip eden, 100 mm boyunda çatlak belirlenmiştir. -41 kN'da alt kolonun üst ucundaki çatlak oldukça belirginleşmiştir. Bu çatlak arka yüzde alt kolonun iç yüzü ile kiriş alt yüzü ara kesitinden 200 mm mesafede ilerlemiş buradan sola yukarı doğru 45° lik açı yapmıştır. Genişliği 2 mm ve kolona uzaklığı 30-40 mm gözlenmiştir. Bu çatlak ön yüzden görülmüştür. Başka bir deyişle çepeçevre olmuştur. İleri 50 mm'de üst kolonun alt ucunda, dış yüzde boyuna donatıyı takip eden 150 mm boyunda çatlak görülmüştür. Düğümdeki

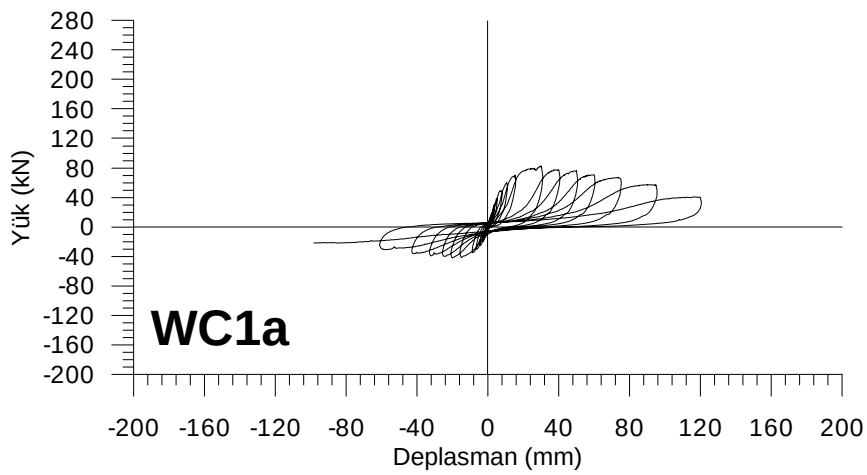
dikdörtgen bölgenin betonu dökülmüştür. Boyuna donatılar görülmüştür. Arka yüzden bakıldığında üst kolonun iç yüzünün döşemeyi kestiği noktadaki çatlak kolon yüzünü takip ederek yaklaşık 110 mm mesafede ilerlemiştir. -39 kN'da alt kolonun, üst ucuna göre çok daha hasarlı olduğu görülmüştür. İleri 60 mm deformasyona giderken kolon alt ucundaki çatlak genişliği 6 mm olmuştur. 70 kN ve 60 mm deformasyonda kiriş alt yüzündeki ezilme sınırlı kalmıştır. Alt kolonun üst ucunun yan yüzündeki çatlak yani alın kirişinin altını takip eden çatlak genişliği 3-4 mm olmuştur. 65 kN yük ve 75 mm deformasyonda düğümün oldukça hasarlı olduğu üst kolonun alt ucundaki çatlağın yaklaşık 8-10 mm ve iç yüzden yan yüze doğru da yaklaşık 150 mm olduğu belirlenmiştir. Bu noktada alt kolonun üst ucunda ezilmeler olmuştur. Ezilme kirişten çok kolonda olmuştur. Alt kolonun üst ucundaki çatlak genişliği 3-4 mm gözlenmiştir. Savunulan tez doğrulanmıştır. Sadece düğümde etriyesi eksik olan elemanda hasarın büyük kısmı düğümün içinde oluşmuştur. Burada ise kolon etriyesi de kısmen eksik olduğundan hasar büyük ölçüde alt ve üst kolon uçlarında oluşmuştur. Bir noktadan sonra kolondaki hasar o kadar büyük olmuştur ki kirişin boyuna donatıları geri yüklemede, kolonun ezilmeyen kısmından sıyrılmış ve sistem stabilitesini yitirmiştir. Alt kolonun üst ucu ile üst kolonun alt ucu arasındaki göreceli kayma o kadar büyük olmuştur ki gerçek bir yapıda böyle bir kolonun bina altında durması neredeyse imkansızdır. Ayrıca bir yüzdeki kolon donatılarının önemli kaldıraç etkisi görülmüştür.



a) Yük geçmişi



b) Deplasman geçmişi



c) Yük-Deplasman

Şekil 4.3. WC1a elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük-toplam deplasman grafikleri



Resim 4.5. WC1a elemanı deneyinden genel bir görünüş



Resim 4.6. WC1a elemanında düğüm bölgesi ve kolon hasarı

4.1.4. WC1b deneyi

<i>Eleman Türü</i>	: Zayıf kolon+düğüm elemanı
<i>Güçlendirme</i>	: Yok
<i>Deney Tarihi</i>	: 07/05/2008
<i>Güçlendirme Tipi</i>	: Yok

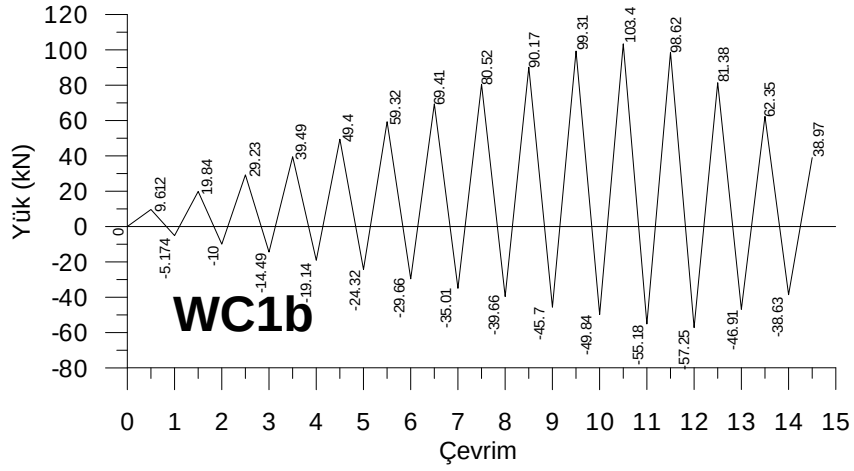
Açıklama: Bu elemanda düğüm bölgesi, üst kolonun alt ucu ve alt kolonun üst ucundaki 150 mm'lik bölgeler etriyesiz yapılmıştır. Ayrıca üst kolondaki ikinci etriye aralığı da 150 mm olarak hazırlanmıştır.

İlk çatlak -15 kN'da kiriş kolon ara kesitinde 0,15 mm gözlenmiştir. Dikdörtgen bölgede -45° açı yapan 0,1 mm'lik bir çatlak oluşmuştur. 40 kN'da döşemede, yapıdaki konuma göre üst kolonun iç yüzünün döşemeyi kestiği kenara paralel, genişliği 0,15 mm olan çatlak oluşmuştur. -20 kN'da kiriş alt yüzü ile alt kolon iç yüzü arasındaki ara kesitteki çatlak genişliği 0,3 mm görülmüştür. 50 kN'da dikdörtgen bölgede -45° lik çatlak kapanmıştır. Üst kolonun iç yüzü ile döşeme ara kesitinde de 0,2 mm'lik çatlak oluşmuştur. 58 kN'da üst kolonun iç yüzünden döşemeye doğru 170 mm ileride 0,1 mm'lik 2. bir çatlak görülmüştür. 60 kN'da dikdörtgen bölgede beklenen +45°'lik çatlak oluşmuştur. Bu çatlak diğerine dik yönde ve genişliği 0,5 mm belirlenmiştir. Alın kirişinin kolona birleştiği bölgede bir çatlak görülmüştür. Dikdörtgen bölgedeki +45°'lik çatlak sağ üst köşeden sol alt köşeye kadar ilerlemiştir. Sol alt köşeden de alın kirişinin döşemeyi kestiği ara kesitte boylu boyunca devam etmiştir. -30 kN'da kirişte, kolon iç yüzünden 420 mm uzaklıkta kılcal eğilme çatlağı görülmüştür. 70 kN'da kirişte 170 mm yukarıdaki çatlak genişliği 0,2 mm, boyu yaklaşık 100 mm olmuştur. Döşemenin alın kirişini kestiği bölgede de 0,5 mm genişlikli bir çatlak oluşmuştur. Alın kirişi ile döşeme ara kesitindeki çatlak genişliği 0,8 mm gözlenmiştir. 80 kN'da üst kolonun döşemeyi kestiği bölgenin yan yüzünden başlayan ve geçmiş deneylerde de gözlenen neredeyse yatay bir çatlak oluşmuştur. Dikdörtgen bölgedeki +45°'lik çatlağa paralel çatlaklar

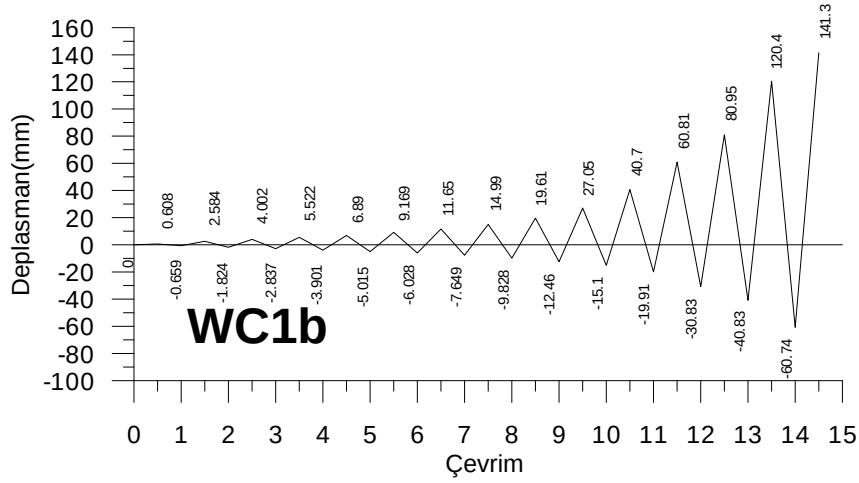
görülmüştür. Alın kirişi ile döşeme ara kesitindeki çatlak 1-1,2 mm olmuştur. Alın kirişinin alt yüzü ile kolon yan yüzü ara kesitindeki çatlak boyu 120 mm görülmüştür. -40 kN'da kirişte kesme çatlağı karakterinde bir çatlak gözlenmiştir. Bu çatlak daha önce eğilme çatlağı karakterindeki, kolon yüzünden 120 mm mesafedeki çatlaktır. Ayrıca 250 mm'de yine sağa doğru ilerleyen 45° eğimli çatlaklar görülmüştür. Kirişte 420 mm, 650 mm ve 840 mm yukarıda eğilme çatlakları oluşmuştur. Kiriş alt yüzünden kolona doğru 100 mm mesafede başlayan, kolonun yan yüzünden de görünen bir çatlak belirlenmiştir. Bu çatlak V şeklinde + bir eğimle dikdörtgen bölgenin sağ alt köşesine kadar ilerlemiştir. Üst kolonun iç yüzünde kolonun köşesine 100 mm mesafede başlamış ve kolon genişliğinin ortasına kadar V şeklinde devam eden çatlak oluşmuştur. Üst kolonun alt ucunun döşemeyi kestiği tarafta yan yüzden kolları yukarı V şeklinde birtakım çatlaklar görülmüştür. Dikdörtgen bölgede paralel çatlaklar oluşmuştur. Alt kolonda yan yüzde, bir kısmı profilin altına gizli kalmış, pim civarından başlayıp düşük bir eğimle kolonun kirişi kestiği ara kesite doğru ilerleyen 1,2 mm genişlikli, arka yüzden de görünen bir çatlak oluşmuştur. Arka yüzde de yine pimden kolon kiriş ara kesitine kadar devam etmiştir. Arka yüzden alın kirişinin alt yüzünün kolonu kestiği ara kesitteki çatlak burada çok daha belirgin görülmüştür. Genişliği 1,5 mm boyu da 150 mm belirlenmiştir. Arka dikdörtgen bölgede de yine çapraz çatlaklar gözlenmiştir. -45 kN'da dikdörtgen bölgedeki -45°'lik çatlak genişliği 0,8 mm olmuştur. Alt kolondaki V çatlak; kiriş alt yüzüne yaklaşık 100-120 mm mesafeden başlamış, sonra dikdörtgen bölgenin sol alt köşesine 1,2 mm genişlikle ulaşmıştır. Alt kolonda kiriş alt yüzüne 100 mm mesafede, kolonun dar doğrultusunda V çatlağın devamı bir çatlak görülmüştür. Arka yüzden bakıldığında pimden başlayıp kolon kiriş ara kesitine ilerleyen çatlak geri çevrimde oluşmasına rağmen burada da gözlenmiştir. Geri yüklemede çatlağın geniş tarafı kiriş tarafında 1,5 mm görülmüştür. Yalnız ileri çevrimde bu çatlağın geniş tarafı pim tarafında belirlenmiştir. 90 kN'da 27 mm deformasyonda akma gerçekleşmiştir. Kolon yan yüzünde pimden kolon kiriş ara kesitine ilerleyen çatlak genişliği 1,5-2 mm'ye ulaşmıştır. Dikdörtgen bölgedeki +45°'lik çatlaklar 2,5-3 mm gözlenmiştir. Alın kirişinin döşeme ile ara kesitindeki çatlak 3.5 mm olmuştur. Üst kolon-döşeme ara kesitindeki çatlak 1,5-2 mm görülmüştür.

Üst kolonun döşeme ile 90° 'den büyük açı yaptığı, alt kolonun kirişle 90° 'den küçük açı yaptığı görülmüştür. 101 kN'da alın kirişi döşeme ara kesitindeki çatlak 6 mm olmuştur. Dikdörtgen bölgede hafif kabarmalar gözlenmiştir. Pimden kolon kiriş ara kesitine giden çatlak 2,5 mm belirlenmiştir. Kiriş alt yüzünde ezilme belirtisi olmuştur. Alt kolona deneydeki konuma göre üstten bakıldığında kolon iç yüzünde birtakım çatlaklar görülmüştür. Bu çatlaklar kolon eksenine paralel, kimi yerde kolonu dik kesmiştir. Döşemenin alın kirişini kestiği üst yüzden bakıldığında buradaki çatlak da 3 mm görülmüştür. Döşeme üzerindeki diğer çatlaklar sınırlı kalmıştır. Bu durum hasarların düğümde ve kolonlarda yoğunlaşmaya başladığını göstermiştir. -55 kN'da kolon kiriş ara kesitindeki çatlak 4 mm olmuştur. 95 kN'da düğümün oldukça hasarlı olduğu görülmüştür. Dikdörtgen bölge kabarmıştır. Kiriş alt yüzünde ezilme belirginleşmiştir. Aynı zamanda alt kolonun üst ucunda kiriş alt yüzünden 100-150 mm mesafedeki betonda da ezilme görülmüştür. Başka bir deyişle kolonun basınca çalışan bölgesinde de ezilme olmuştur. Alın kirişinin kolonu kestiği bölgede de çatlaklar oluşmuştur. Bu çatlaklar 3-4 mm'lik çatlaklardır. Alın kirişinin döşemeyi kestiği bölgedeki çatlak genişliği 8 mm olmuştur. Üst kolonda ön yüzde kolon genişliğini ortalayan bir çatlak oluşmuştur. Bu çatlak yaklaşık döşeme üst yüzünden başlayıp 400 mm ilerlemiştir. Genişliği yer yer 0,8 mm olmuştur. Kolon yan yüzünde de üst donatının hizasında aderansı andıran çatlaklar belirlenmiştir. Bu çatlaklar z şeklinde görülmüştür. Üst kolonun döşemeyi kestiği bölgenin yan yüzünde ezilmeler görülmüştür. Bu ezilmeler alt kolonda oluşan ezilmelere çapraz olarak gelişmiştir. Deney elemanında akmanın kolon uçlarında olduğu görülmüştür. Plastik mafsalları hem kolon uçlarında hem de düğümün içinde oluşmuştur. 55 kN'da dikdörtgen bölge kabuk betonu oldukça kabarmıştır. Alt kolonda, alt kolonla alın kirişinin birleştiği bölgeye 20 mm mesafede başlayan bir çatlak görülmüştür. Bu çatlak alın kirişinin kenarına paralel olarak, alt yüzden alın kirişini takip etmiştir. Alt kolonda kirişin alt yüzünde 150 mm'lik bölgede ezilme belirlenmiştir. Alt kolonun boyuna donatıları bu aşamada görülmüştür. Üst kolonun dış kenarındaki ezilme belirginleşmiştir. Burada kolondaki ezilmeler alt kolonun sol üst köşesinde, üst kolonun sağ alt köşesinde belirginleşmiştir. Arka yüzden bakıldığında dikdörtgen bölge betonu dökülmüştür. Arka yüzden dikdörtgen bölgedeki kabuk alındığında

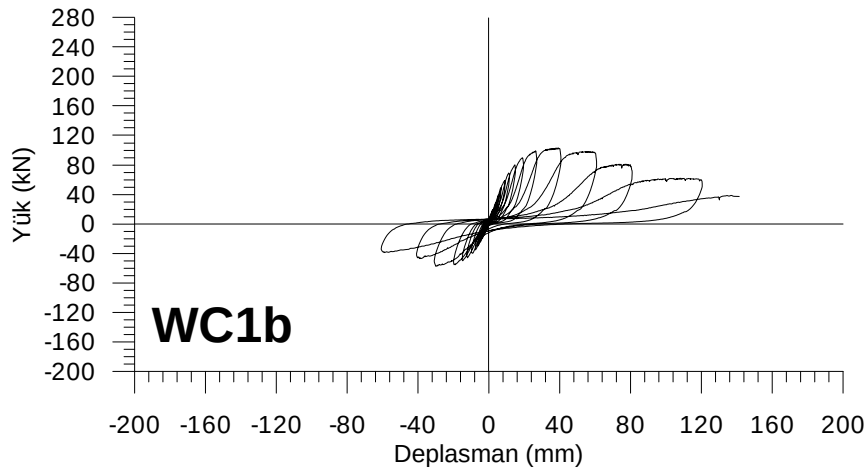
kolon donatısındaki burkulma görülebilmıştır. Kolon donatısındaki burkulma boyu 300 mm tesbit edilmiştir. -45 kN’da alt kolonun yan yüzündeki V çatlak genişliği 5-6 mm olmuştur. Bu çatlağı kesen tek etriye bu aşamada çatlağın ilerlemesini engellemiştir. Ön yüzdeki dikdörtgen bölge de elle dökülmüştür. Burada da donatının döşeme alt yüzü ile ilk etriye arasında burkulduğu gözlenmiştir. 60 kN yük çevriminden sonra geri çevrim yapılmıştır. Alt kolonun etriyesi açılmıştır. Kolonun düğüm altından veya üstünden aniden çıkmamasının nedenleri: 1) yükün yarı dinamik olması 2) Kolonda düğümden sonraki ilk etriye 150 mm ileride de olsa yine de son ana kadar kesme kuvveti alması 3)En önemli etkenlerden bir tanesi de kolon iç yüz boyuna donatılarının ortadaki 3 tanesinde önemli kadıraç etkisi olarak belirlenmiştir. Burada kolonlar kirişin altından çıkmıştır. Deformasyon şekli de bu aşamada kolonların kiriş altından çıktığını göstermiştir. Deney elemanı düzeltilip deneye son verilmiştir.



a) Yük geçmişi



b) Deplasman geçmişi



c) Yük-Deplasman

Şekil 4.4. WC1b elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük-toplam deplasman grafikleri



Resim 4.7. WC1b deneyinden genel bir görünüş



Resim 4.8. WC1b elemanında üst kolon, düğüm ve alt kolon hasarı

4.1.5. WC1c deneyi

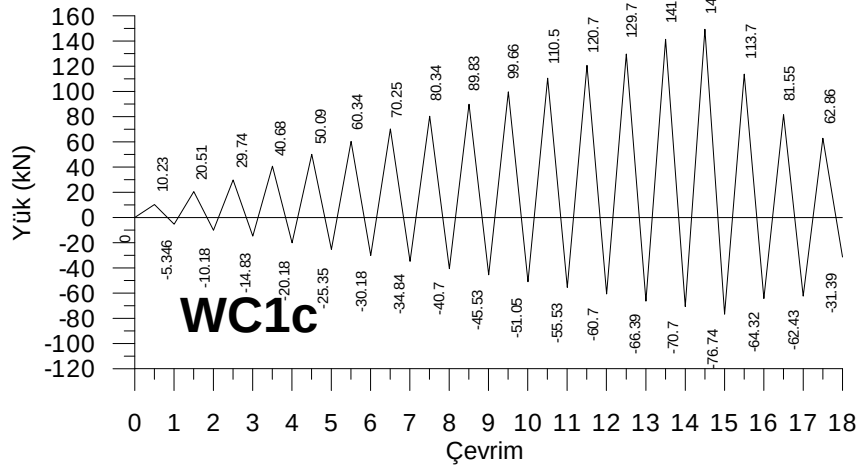
<i>Eleman Türü</i>	: Zayıf kolon+düğüm elemanı
<i>Güçlendirme</i>	: Yok
<i>Deney Tarihi</i>	: 30/05/2008
<i>Güçlendirme Tipi</i>	: Yok

Açıklama: Bu elemanda düğüm bölgesi etriyesizdir. Adlandırmanın sonundaki c harfi bu serinin 3. elemanı anlamındadır. Elemanda kolon etriyesi, WC1a ve WC1b'ye göre daha seyrek yapılmış, uygulamadaki durum yansıtılmaya çalışılmıştır.

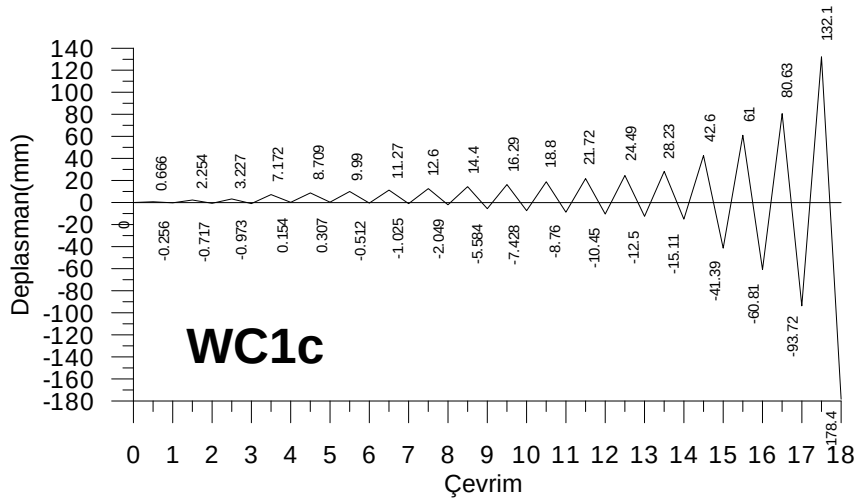
-30 kN'da kirişte kolon yüzünden 300 mm yukarıda kılcal eğilme çatlakları oluşmuştur. 70 kN'da üst kolon döşeme ara kesitinde döşemede 0,1 mm'lik çatlak görülmüştür. -35 kN'da kiriş-kolon ara kesitinde kılcal çatlak oluşmuştur. 90 kN'da dikdörtgen bölgede ön yüzde çatlak görülmüştür. Çatlak dikdörtgen bölgenin sol alt köşesinden başlamış ve 45° ile dikdörtgen bölgenin sağ üst köşesine ulaşmıştır. Uygulamada sünme etkisiyle düğümde etriye yoksa, bir zaman sonra düğüm ve yakın bölgesindeki ortalama 1000 mm'lik bölgede paspayı kendiliğinden ya düşmekte ya da kabarmaktadır yani betonun etkisi yok olmaktadır. Bundan önceki elemanlarda bu durumu modellemek ve düğüm bölgesine betonun etkisini yok etmek için strafor kullanılmıştır. Bu elemanda kullanılmamıştır. Dolayısıyla burada bu sağlam paspayının bile bu aşamaya kadar oldukça olumlu etkisi görülmüştür. Davranıştaki farkın büyük sebebi buradaki paspayı olmuştur. -45 kN'da dikdörtgen bölgede çok ince bir çatlak görülmüştür. Alt kolonun kenar kirişle birleştiği kesitten başlayan ve alt kolonun dış kenarıyla yaklaşık 60° açı yapan bir kılcal çatlak oluşmuştur. Arka yüzde de dikdörtgen bölgede ön yüzdeki çatlakla benzeri bir çatlak gözlenmiştir. 100 kN'da kolon iç yüzünden 300 mm içeride döşemede 0,1 mm, 450 mm'de 0,1 mm ve 600 mm'de de aynı çatlaklar oluşmuştur. -50 kN'da alt kolonda çatlakta önemli bir gelişme olmuştur. Bu çatlak alt kolonun dış kenarının alt kirişinin dış kenarıyla birleştiği köşeden başlamış ve 45° ile alt kolona ulaşmış,

ulaştığı noktada kiriş alt yüzüne 220 mm mesafede belirlenmiştir. Bu çatlak bu aşamadaki genişliği 0,6 mm gözlenmiştir. Dikdörtgen bölgede de yeni çatlaklar oluşmuştur. Arka yüzden bakıldığında dikdörtgen bölgenin sol alt köşesinden 50 mm sağdan başlayan ve 45° ile sağ üst köşeyi bulan 0,5 mm'lik bir çatlak görülmüştür. Bu çatlakla paralel 80 mm mesafede sol tarafta paralel bir çatlak daha belirlenmiştir. Kiriş kolon ara kesitindeki çatlak 0,8-1 mm olmuştur. 110 kN'da dikdörtgen bölgedeki çatlak açıklığı 1 mm gözlenmiştir. Üst kolonda kolon döşeme ara kesitinde ve yan yüzden aşağı doğru yaklaşık 50 mm ilerleyen 0,5 mm açıklıklı bir çatlak oluşmuştur. Bunun dışında üst kolonda bir V çatlak görülmüştür. Bu V çatlak döşeme üst yüzünden mesafesi 300 mm belirlenmiştir. Diğer ucu ise kolon iç yüzünden yaklaşık 200-250 mm mesafede 0,2 mm açıklıktadır. -55 kN'da alt kolondaki çatlak yaklaşık 1 mm görülmüştür. Dikdörtgen bölgede de ön yüzden bakıldığında, yaklaşık sağ alt köşeden başlayan ve sol üst köşeye ilerleyen 0,3 mm'lik bir çapraz çatlak oluşmuştur. 120 kN'da kenar kiriş döşeme ara kesitinde iç yüzde 2 mm'lik çatlak gözlenmiştir. Dikdörtgen bölgede diğer çatlakla paralel, sol alt köşeden 60 mm içeride başlayıp yaklaşık sağ üst köşeye ilerleyen 2. bir çatlak görülmüştür. Üst kolonun iç yüzünde de, döşemede 200 -220 mm'de başlayan ve yukarı doğru 0,3 mm genişlikli çatlak belirlenmiştir. -60 kN'da alt kolondaki V çatlak dallanmıştır. -30 kN'da daha önce dikdörtgen bölgede oluşan iki paralel çatlak 1 mm açıklıkta görülmüştür. Bu durum hasarın kolona yöneldiğini göstermiştir. 140 kN'da üst kolonun döşeme üst yüzünden 200 mm mesafedeki çatlak genişliği 0,6 mm belirlenmiştir. Kirişte döşeme ile kiriş yan yüzünün ara kesitinden 260 mm, 550 mm ve 900 mm'de 0,2 mm 'lik kesme çatlakları görülmüştür. Dikdörtgen bölgede 2 tane ana çatlak, bir de arada ufak paralel 1 mm'lik çatlaklar görülmüştür. -70 kN'da yeni ana çatlak kolondaki çatallaşmadan oluşan çatlak olmuştur. Bu çatlak arka yüzden de hemen hemen aynı gözlenmiştir. Alt kolon ön yüzde gözükmemekle birlikte kiriş alt yüzünden devam eden düzlem boyunca çatlamıştır. Bu çatlak derinliği 50 mm belirlenmiştir. Bu çatlak kiriş alt yüzüyle kolon ara kesitindeki çatlaktır. Daha önce bu çatlak kirişe doğru ilerlemiştir. Artık bu aşamadan sonra kolona doğru ilerlemiştir. 50 mm derinlikte ve 2 mm genişlikte gözlenmiştir. Üst kolonda önemli bir hasar görülmüştür. Bu hasar V şeklinde belirginleşmiştir. Kolon iç yüzünden 180 mm'de başlamış, yaklaşık 45° ile üst kolon iç yüzüne doğru 250-

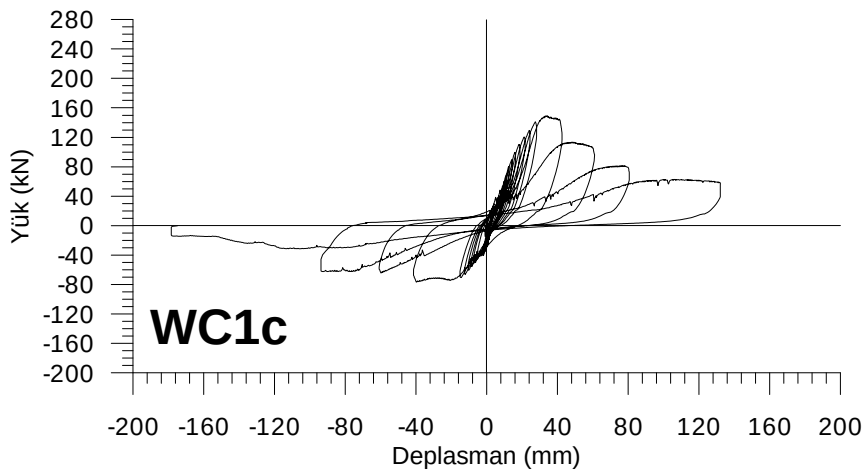
260 mm mesafede boyuna donatıya ulaştığı anda bu çatlak yataylaşmıştır. Yaklaşık 150 mm ilerlemiştir. Buradaki çatlak 5 mm olmuştur. Dikdörtgen bölgedeki çatlak genişliği 3 mm görülmüştür. Arka yüzde de üst kolondaki çatlak 5 mm olmuştur. -40 kN'da alt kolondaki V çatlak genişlemiştir. Bu çevrimde yük deplasman grafiğinde yatay hareket başlamıştır. -72 kN ve -40 mm'de alt kolondaki kırık gerçekleşmiştir. Bu aşamada kolon büyük ölçüde kaldırıcı etkisiyle kendini tutmuştur. Burada 5 tane boyuna donatının kaldırıcı etkisi belirlenmiştir. Kaldırıcı kolu: 70 mm'dir. Kırılma gerçekleşmiştir. Buradaki çatlak 15 mm görülmüştür. Alın kirişinin iç yüzünün bir kısmının da kabuğu dökülmüştür. Buradaki kırık çok net gözlenmiştir. 102 kN'da üst kolon da artık belirgin olarak kırılmıştır. Tabi ki üst kolon ve alt kolonda bahsedilen V çatlaklar kesme çatlaklarıdır. Bu V çatlakların kolları yukarı doğru görülmüştür. -60 kN'da elemanda kolon kesme dayanımı yitirilmiştir. Sadece kaldırıcı etkisiyle kendini tutabilmiştir. Kaldırıcı etkisi bir yüzde, çok sağlamdır. Alt yüzde betonda herhangi bir ayrılma görülmemiştir. Diğer yüzde ise tam dayanım olduğu belirlenmiştir. 60 kN'da üst kolonun yan yüzünde donatı etkisine paralel, 4 mm'lik bir çatlak oluşmuştur. Benzer çatlak arka yüzden bakıldığında da görülmüştür. Düğüm bölgesindeki paspayı henüz dökülmeye başlamıştır. 70,3 mm'de eleman bu aşamada dayanımını yarı yarıya yitirmiştir. 57 kN'da hasar da aslında düğüme doğru da ilerlemiştir. İleri 100 mm deformasyona gidilmiştir. Üst kolonda bindirmelerden dolayı kaldırıcı dayanımı alt kolona göre en az iki kat fazla olmuştur. Buradaki donatılar düşey düzlemde üst üste binmiştir. Nervürlerdeki dişlerden dolayı tek bir parça gibi davranmıştır. Donatı uçları betona gömülü olduğu için temas yüzeyinde hareket olmamıştır. Bu aşamaya kadar dikdörtgen bölgede bir hasar olmuştur ama düğümde çok belirgin bir hasar oluşmamıştır. Hasarın yaklaşık % 99'u alt ve üst kolonlarda gerçekleşmiştir. Alt yüzde kısmen pas payı dökülmüştür. Deneyin ilerleyen aşamalarında kiriş donatısı kolondan sıyrılmıştır. Eleman düzeltilip düşeyliği sağlanıp deneye son verilmiştir.



a) Yük geçmişi



b) Deplasman geçmişi



c) Yük-Deplasman

Şekil 4.5. WC1c elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük-toplam deplasman grafikleri



Resim 4.9. WC1c deneyinde alt kolon düğüm ve üst kolonda oluşan hasarlar



Resim 4.10. WC1c elemanında düğüm bölgesi hasarı

4.1.6. WC1d deneyi

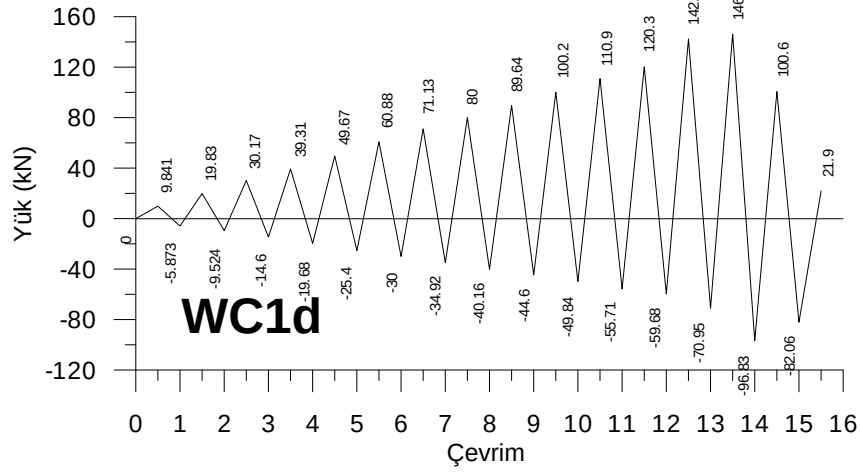
<i>Eleman Türü</i>	: Zayıf Kolon+düğüm elemanı
<i>Güçlendirme</i>	: Yok
<i>Deney Tarihi</i>	: 22/10/2008
<i>Güçlendirme Tipi</i>	: Yok

Açıklama: Bu elemanda düğüm bölgesi etriyesizdir. Adlandırmanın sonundaki d harfi bu serinin 4. elemanı anlamındadır. Bu elemanda kolon etriyesi WC1a, WC1b ve WC1c'ye göre daha seyrek hazırlanmıştır.

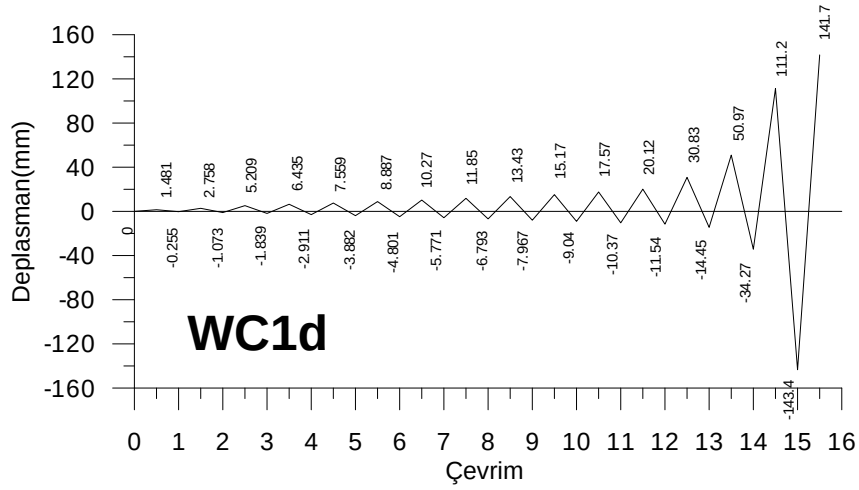
40 kN'da döşeme üst yüzünün üst kolon iç yüzü ile kesiştiği doğrultuda 0,1 mm'lik ilk çatlak görülmüştür. Alt kolonun yan yüzünün alın kirişinin alt yüzü ile kesiştiği ara kesitte dış yüzden başlayan ve alın kirişinin alt yüzünün ortalarına kadar ilerleyen 0,2 mm'lik bir çatlak oluşmuştur. -25 kN'da dikdörtgen bölgede 0,1 mm'lik bir çatlak görülmüştür. Kiriş alt yüzündeki çatlak boyu 40-50 mm belirlenmiştir. Kiriş alt yüzünden 400-650 mm mesafede kılcal eğilme çatlakları oluşmuştur. Üst kolonun yan yüzü ile döşeme ara kesitinde, boyu 100-150 mm, genişliği 0,5-0,7 mm bir çatlak oluşmuştur. Arka yüzde dikdörtgen bölgedeki çatlak daha belirgin olmuştur. Arka yüzden bakıldığında dikdörtgen bölgenin sol alt köşesinden başlayıp, sağ üst köşesine doğru ilerlemiş, tam ulaşamamıştır. Açıklığı 0,1 mm belirlenmiştir. -30 kN'da dikdörtgen bölgede sağ alt köşeden sol üst köşeye ilerleyen 0,1 mm'lik bir çatlak belirlenmiştir. Bu çatlağın yan yüzdeki boyu 50 mm olmuştur. Üst kolonun döşeme ara kesitindeki çatlak 0,8-0,9 mm gözlenmiştir. 70 kN'da dikdörtgen bölgedeki çatlak dikdörtgen bölgenin alt kenarının yaklaşık ortalarından başlayıp +45° açıyla sağ üst köşeye ulaşmıştır. Döşeme üst yüzünde kolon iç yüzünden döşemeye doğru 160 mm'de 0.1 mm'den küçük yeni çatlak oluşmuştur. -35 kN'da alt kolon yan yüzünde bir çatlak görülmüştür. Bu çatlak dikdörtgen bölgenin sağ kenarı boyunca ilerlemiştir. Kirişteki diğer çatlaklar alt kolon –kiriş ara kesitinden 420 mm'deki 0.1 mm'den küçük, 650 mm'deki 0,1 mm eğilme, çok hafif kesme karakterinde gözlenmiştir. 80 kN'da dikdörtgen bölgedeki çapraz çatlakların sayısında değişiklik olmuştur. Bir tanesi tam olarak sol alt köşeden sağ üst köşeye

doğru yönelmiş ama bu diyagonelin ortalarına kadar gelmiştir. Diğer çatlak dikdörtgen bölgenin alt kenarının ortalarında başlamıştır. Bu çatlak da diğerine paraleldir. Her iki çatlak 0,4 mm gözlenmiştir. Kiriş yan yüzünde görülebilen bir tane çatlak belirlenmiştir. Bu çatlak kolon iç yüzü-döşeme ara kesitinden 400 mm yukarıda ölçülmüştür. Ezilme+kesme karakterinde ve 0,1 mm genişlikte görülmüştür. 620 mm'de boyu oldukça sınırlı 0,1 mm'lik bir çatlak belirlenmiştir. Üst kolon döşeme ara kesitindeki çatlak 0,6 mm olmuştur. Kolona en yakın çatlak genişliği 0,5 mm gözlenmiştir. -40 kN'da kolon yan yüzünde, kiriş alt yüzünden 300 mm sonra başlayan ve 45° açıyla ilerleyen ama çok belirgin olmayan bir çatlak görülmüştür. Kiriş yan yüzündeki diğer çatlaklardan en büyüğü 0,3 mm olmuştur. 90 kN'da kolon üst yüzündeki çatlak kolon yan yüzünden 100 mm ilerlemiştir. Alın kirişinin iç yüzünün döşemeyi kestiği ara kesitte 0,3 mm civarında çatlak oluşmuştur. Döşemedeki en büyük çatlak 0.4 mm olmuştur. Sayısında pek değişiklik olmamıştır. -45 kN'da dikdörtgen bölgenin sağ kenarındaki çatlakta gelişme gözlenmiştir. Alt kolonun yan yüzünde bir çatlak daha oluşmuştur. Bu çatlak kiriş alt yüzünden 160-170 mm sonra başlamıştır. Yan yüzde düşeyle yaklaşık 60° ile 100 mm-150 mm ilerlemiştir. Kiriş yan yüzündeki diğer çatlaklardan en büyüğü 0,3 mm olmuştur. 100 kN'da üst kolon döşeme ara kesitindeki çatlak 1 mm görülmüştür. Dikdörtgen bölgedeki 2 çatlaktan birisi ön plana çıkmıştır. Sol alt köşeden sağ üst köşeye ilerleyen çatlak 1 mm olmuştur. Bu çatlak köşeden döşeme alt yüzüyle alın kirişinin iç yüzünün ara kesitini keserek boydan boya ilerlemiştir. Alt kolon alın kirişi ara kesitindeki çatlak genişliği 1.5 mm, boyu hala 150 mm belirlenmiştir. -50 kN'da alt kolon iç yüzünde, kiriş alt yüzüne 270 mm mesafede ve kiriş alt yüzüne paralel 0,1 mm'den küçük çatlak oluşmuştur. Bu çatlak yan yüzde de devam etmiştir. Düşeyle açısı yaklaşık 70°'gözlenmiştir. 110 kN'da kirişte kirişin yan yüzü ile döşeme ara kesitinden 220-410-620-850 mm yukarıda kesme çatlakları görülmüştür. İlk çatlak 0,3-0,4 mm civarında yukarı doğru azalmıştır. Arka dikdörtgen bölge yaklaşık ön dikdörtgen bölgeye benzer gözlenmiştir. 120 kN'da üst kolonda 0,5 mm'lik bir V çatlak oluşmuştur. Bu çatlak döşeme üst yüzünden 150 mm sonra başlamış ve 45° açı ile kolon yan yüzünden döşemeye yaklaşmıştır. V çatlak arka yüzden de görülmüştür. 140 kN'a giderken 140 kN'dan önce akma gerçekleşmiştir. Eleman kolon ve düğümünden taşıma gücüne ulaşmıştır. 140 kN'da üst kolonda ani ve gevrek

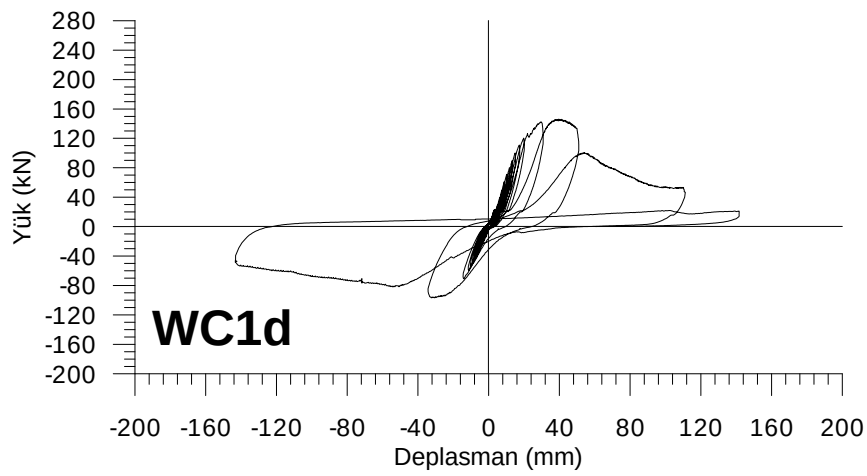
bir çatlak oluşmuştur. Bu çatlak kolon yan yüzünün döşemeyi kestiği ara kesitte başlamıştır. Bu çatlak döşeme üst yüzüne 200 mm mesafede başlayıp kolon yan yüzünde ilerledikten sonra yatayla 30° eğimle sol pimin üst kenarına kadar ulaşmıştır. Çatlak genişliği 3 mm olmuştur. Kolonun üst yüzünde de çatlaklar oluşmuştur. Alt kolonun dış donatısı hizasında az da olsa aderans çözülmesi belirtisi gözlenmiştir. -70 kN'da alt kolon yan yüzündeki çatlaklar bu aşamada sınırlı kalmıştır. Dikdörtgen bölgede baklava dilimi şeklinde çatlaklar oluşmuştur. Kiriş yan yüzündeki en büyük çatlak 0,3-0,4 mm ve kesme çatlağı olarak belirlenmiştir. Üst kolon yan yüzü ile döşeme ara kesitindeki çatlak 2 mm olmuştur. 150 kN'a giderken, 125 kN'da kolon iç yüzündeki çatlakların buradaki etriye kancasının açılmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. (250 mm ve 400 mm'deki etriye kancalarının açıldığı düşünülmüştür). Kolon yan yüzündeki çatlak genişliği 50 mm olmuştur. Kiriş alt yüzünde betonda ezilme görülmüştür. -95 kN'da alt kolonda da bir V çatlak oluşmuştur. Çatlak kiriş alt yüzüne 160 mm mesafede başlamış ve alın kirişinin iç alt köşesine ulaşmıştır. Alt kolonun dış boyuna donatılarında aderans çözümleri, çatlakları görülmüştür. Alt kolonun iç yüzündeki boyuna donatılarda da benzer çatlaklar olmuştur. Alt kolonun üst yüzünde de çatlaklar görülmüştür. Bu çatlakların etriyelerden kaynaklanan çatlaklar olduğu düşünülmüştür. Kiriş kolon ara kesitindeki çatlak 4-5 mm olmuştur. Bu deney, kırılmanın kolondan ve düğümden olmak üzere 2 şekilde mümkün olduğunu göstermiştir. İkinci etriye açılmıştır. Bu aşamada yükte birden bire düşüş olmuştur ama kolonun kiriş altından ani olarak çıkamamasının sebebi; burada bindirme bölgesinin donatısı çift sıra, alt alta konduğu için atalet momentinin büyüklüğü olmuştur. 10 tane boyuna donatının kaldırma etkisi söz konusudur. Bu aşamada artık düğüm hasar gördüğü için kolonu zorlayamamıştır.



a) Yük geçmişi



b) Deplasman geçmişi



c) Yük-Deplasman

Şekil 4.6. WC1d elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük-toplam deplasman grafikleri



Resim 4.11. WC1d elemanından genel bir görünüş



Resim 4.12. WC1d elemanında düğüm ve kolonda oluşan hasar

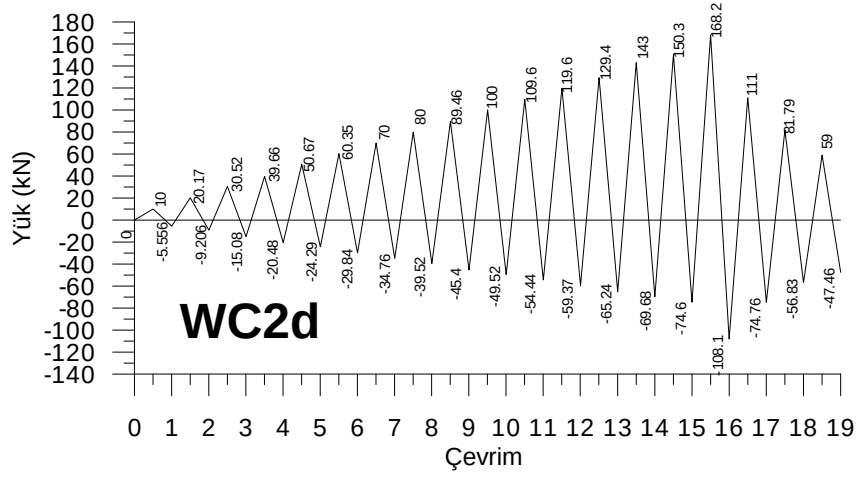
4.1.7. WC2d deneyi

<i>Eleman Türü</i>	: Zayıf kolon+düğüm elemanı
<i>Güçlendirme</i>	: Yok
<i>Deney Tarihi</i>	: 05/03/2009
<i>Güçlendirme Tipi</i>	:Yok

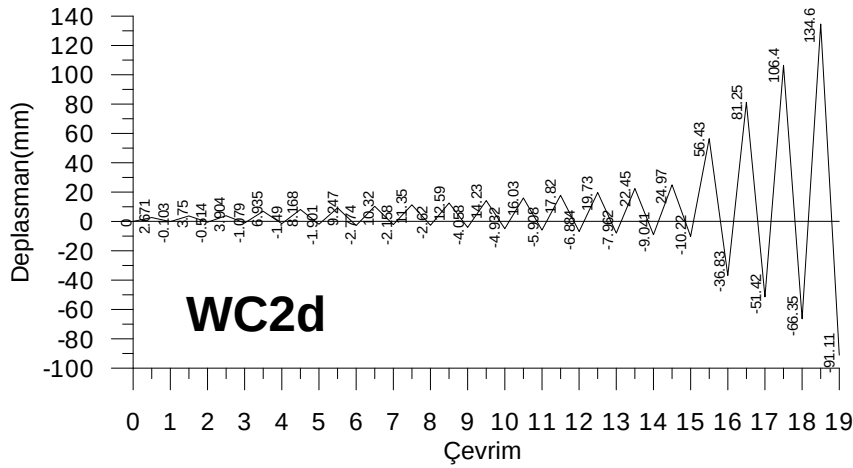
Açıklama: Deney elemanı WC1d elemanına benzerdir. Farklı olarak kolonda eksenel yük mevcuttur.

3. geri çevrimde kirişte kolon yüzünden 300 mm yukarıda 0,1 mm'lik çatlak görülmüştür. 4. ileri çevrimde kirişte 370 mm'de ve döşemede kolon yüzünden 50 mm yukarıda çatlak belirlenmiştir. 6. geri çevrimde 170 mm ve 200 mm'de başlayan kılcal kesme çatlağı oluşmuştur. 9. ileri çevrimde dikdörtgen bölgede sağ üst köşeden sol alt köşeye ilerleyen 0,15 mm'lik çatlak oluşmuştur. Döşeme alt yüzündeki çatlaklarda artış belirlenmiştir. Alın kirişinin iç yüzünden 170 mm yukarıda 0,4 mm'lik, 570 mm yukarıda 0,3 mm'lik, 800 mm yukarıda 0,2 mm'lik çatlaklar gözlenmiştir. 9. geri çevrimde dikdörtgen bölgede sol kenarının ortasından başlayan ve alt kenarın ortasına ilerleyen 0,2 mm'lik çatlak oluşmuştur. 10. ileri çevrimde dikdörtgen bölgedeki çapraz çatlak sol alt köşeden sağ üst köşeye ulaşmıştır. Genişliği 0,6 mm belirlenmiştir. Kolon yan yüzüyle alın kirişinin alt yüzü arasında 0,3 mm'lik boyu 100 mm olan çatlak görülmüştür. Üst kolon döşeme ara kesitinde çatlak belirlenmiştir. 10. geri çevrimde giriş çatlaklarının sabit kalması, hasarın düğüme yöneldiğini düşündürmüştür. 11. ileri çevrimde üst kolonda iç boyuna donatıyı takip eden 0,2 mm'lik boyu 50 mm olan çatlak oluşmuştur. 12. ileri çevrimde kolon yan yüz alın kirişi alt yüz ara kesitindeki çatlak genişliği 0,8 mm, boyu 120 mm olmuştur. Döşeme giriş yan yüz ara kesitinde 140 mm'de 0,3 mm'lik kesme çatlağı görülmüştür. Alın kirişi iç yüzü ile döşeme ara kesitinde dikdörtgen bölgedeki çatlağın devamı çatlak belirlenmiştir. Çekme yüzündeki çatlaklar döşeme alt yüzünden gözlenmiştir. 14. ileri çevrimde üst kolon alt yüzünde dış kenara paralel bir çatlak belirlenmiştir. 14. geri çevrimde ($P \leq 70$ kN) alt kolon yan yüzünde V çatlak oluşmuştur. Bu çatlak alın kirişinin alt yüzünün iç kenarından başlamış ve alt

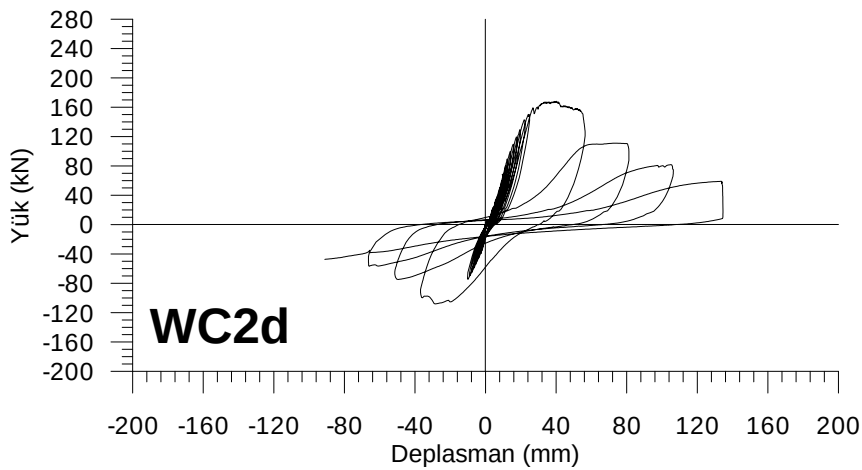
kolonun iç kenarına ulaşmıştır. Kiriş alt yüzüne mesafesi 100-120 mm, aralığı 0,2 mm olmuştur. 16. ileri çevrimde deney elemanı 160 kN yük almıştır ancak üst kolondaki kesme kırılmasından, taşıma gücünü yitirmiştir. Düğümde de beklenildiği gibi büyük hasar oluşmuştur. Bu hasar, kolon yan yüzünün döşemeyi kestiği kenarın (bu kenar 300 mm civarında) yaklaşık ortasından başlayan ve küçük bir açıyla kolon iç yüzünü 600 mm'de bulan 7 mm 'lik bir çatlaktır. Üst kolon iç boyuna donatısındaki çatlak boyu ani bir artışla 250 mm, aralığı 1-2 mm olmuştur. Üst kolonun dış kenara yakın bölgelerinde ezilmeler görülmüştür. Dış boyuna donatı hizasında da yaklaşık olarak 140-150 mm'lik bölgede çatlaklar belirlenmiştir. Düğümde dikdörtgen bölgede sol alt köşeden sağ üst köşeye giden çatlak ve kabarmalar şeklinde hasarlar görülmüştür. Dikdörtgen bölgedeki en büyük çatlak 4 mm olmuştur. Alın kirişi alt yüzü ile alt kolon yan yüzü ara kesitindeki çatlak 3-4 mm, çatlak boyu 150 mm olmuştur. Kiriş alt yüzünün köşelerinde, betonda ezilme olmuştur. Yük bu aşamada 132 kN'a düşmüştür. Geri çevrim yapılmıştır. Üst kolonda oluşan kesme hasarı bu kez alt kolonda oluşmuştur. Alt kolonda alın kirişinin alt yüzünün iç kenarından başlayan ve alt kolonun iç yüzüne küçük bir açıyla ulaşan çok büyük bir çatlak oluşmuştur. Çatlak genişliği 8 mm belirlenmiştir. Bu çatlak kolon iç yüzüne 400 mm'de ulaşmıştır. Dikdörtgen bölgedeki çatlak 3-4 mm olmuştur. 105 kN yükte iki kolon doğrusallığını yitirmiştir. En büyük çatlak 10 mm gözlenmiştir. Düğüm bölgesinde de 5-6 mm genişlikli birçok çatlak belirlenmiştir. Alt kolonun yan yüzünün alın kirişinden ayrıldığı çok net görülmüştür. İleri 78 kN yükte kolon donatılarında aderans kaybı gözlenmiştir. Düğümdeki kabuk betonu ve alt kolonun iç yüzündeki pas payı tamamen dökülmüştür. Kolon etriyesi ve düğüm etriyesi eksik olduğu için kolon ve düğümden kapasitesine ulaşmıştır. Birçok durumda önce kolonda büyük ve ağır hasarlar oluşmuş, sonra da düğümde ağır hasarlar oluşmuştur. Daha sonra düğümdeki hasar oldukça artmış ve düğüm bölgesi içindeki beton dökülmüş ve düğüm bölgesinde boşluk oluşmuştur.



a) Yük geçmişi



b) Deplasman geçmişi



c) Yük-Deplasman

Şekil 4.7. WC2d elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük-toplam deplasman grafikleri



Resim 4.13. WC2d deneyinden genel bir görünüş



Resim 4.14. WC2d elemanında düğüm ve alt kolon hasarı

4.1.8. WJ1 deneyi

Eleman Türü : Zayıf düğüm elemanı

Güçlendirme : Yok

Deney Tarihi : 15/01/2008

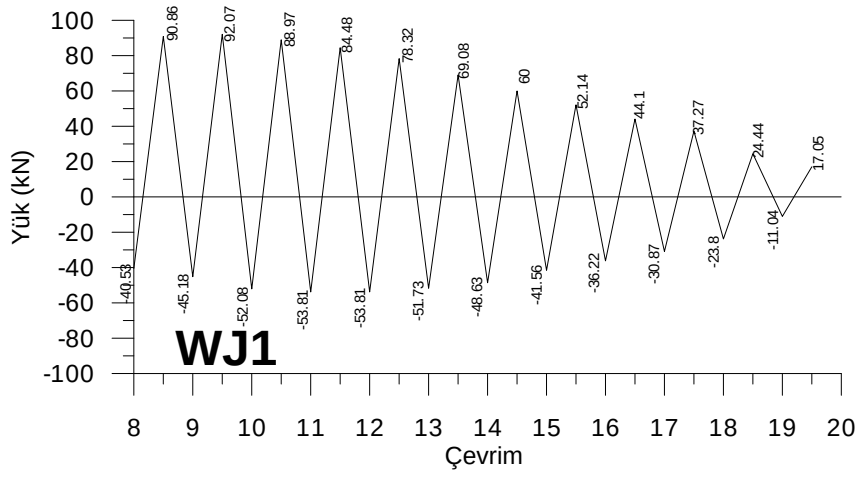
Güçlendirme Tipi :Yok

Açıklama: Zayıf elemanlardandır. Kolonda, üst kolon+düğüm+alt kolonda toplam 500 mm'lik bölge etriyesiz olarak üretilmiştir.

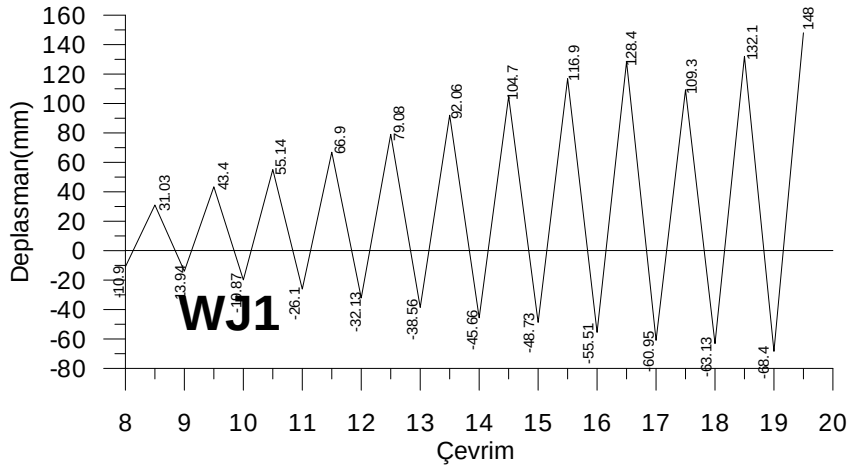
30 kN'da ana kirişte çok ince bir çatlak gözlenmiştir. Ayrıca döşemede sıfır çatlağı ve kolon yüzünden 160 mm yukarıda döşeme üzerinde kılcal çatlaklar oluşmuştur. Döşeme üst yüzündeki çatlak döşeme alt yüzüne de geçmiş, döşeme boydan boya çatlamıştır. -20 kN'da kiriş alt yüzü ile alt kolon ara kesitinde kılcal çatlak oluşmuştur. Bu çatlak kolonu takip ederek yaklaşık döşeme altına kadar ilerlemiştir. 50 kN'da gerçek yapıya göre alt kolonun dış yüzünde çatlak gözlenmiştir. Bu çatlak alın kirişin kolonu kestiği yerden başlamış ve yaklaşık alın kirişin yüksekliği kadar devam etmiştir (150 mm). Arka yüzde de bu çatlaklar görülmüştür. Üst kolonda oluşan çatlak uzunluğu bu aşamada 100 mm olmuştur. U şeklinde yani kolonun iç yüzünün döşemeyi kestiği yerde boydan boya ilerlemiştir. Kolon kenarlarında ise yaklaşık 100 mm ve kılcal düzeyde görülmüştür. -25 kN'da düğümde çapraz çatlaklar oluşmuştur. Bu çatlaklar x eksenine -45° açı yapmıştır. Arka yüzden düğüme bakıldığında da düğümde çok düzenli olmayan bir takım çatlaklar gözlenmiştir. 60 kN'da kolon iç yüzünün döşemeyi kestiği bölgedeki çatlak aynı doğrultuda döşemede boydan boya ilerlemiştir. -30 kN'da kiriş alt yüzünde yeni eğilme çatlakları gözlenmiştir. Kirişte, kolon iç yüzünden 70 mm yukarıda eğilme+kesme, 200 mm yukarıda ise eğilme karakterinde çatlaklar oluşmuştur. Düğümde yine birtakım çatlaklar gözlenmiştir. 70 kN'da döşemenin alın kirişini kestiği bölgede, alın kirişi boyunca ani bir çatlak gelişmiştir. Düğümde tipik çapraz çatlak gözlenmiştir. Bu çatlak kolon üst yüzüne x eksenine yerleştirildiğinde y eksenine

göre 225°'lik açı yapmıştır. Alın kirişiyle kolonun kesiştiği yerdeki çatlak genişliği 0,8 mm, derinliği 150 mm gözlenmiştir. Arka yüzde kolonun alın kirişini kestiği bölgede oluşan çatlak daha belirgin olmuştur. 80 kN'da düğümdeki çatlak genişliği artmıştır. -40 kN'da kiriş alt yüzündeki çatlak genişliği 1,5 mm olmuştur. Bu aşamada alt kolonda kirişin alt yüzünden başlayarak sağa doğru yaklaşık 150 mm ileride kolonda başlamış ve yatayla 60° açıyla kolonun içine doğru ilerlemiştir. Çatlakla kolon arasındaki açı dar açı olarak görülmüştür. Bu çatlak alın kirişinin ortalarına ulaşmıştır. Arka yüzde düğümde yine birtakım çatlaklar oluşmuştur. Arka yüzde, üst kolonun yan yüzünden başlayan bir çatlak belirlenmiştir. Bu çatlak döşeme üst yüzünü takip etmiştir, 2 mm genişlikte, uzunluğu ise dış kenardan başlamış ve yaklaşık 200 mm kadar içeri ilerlemiştir. Ön yüzden bakıldığında üst kolonun döşeme üzerindeki çatlağı arka yüzdeki kadar belirgin olmasa da görülmüştür. 85 kN'da kirişin alt yüzünün kolonu kestiği yerde ezilme belirlenmiştir. Döşeme üstündeki ana kirişte kolonun döşemeyi kestiği yerde döşeme boyunca yatay ilerleyen, 1,5 mm genişlikli bir çatlak oluşmuştur. -45 kN yükte iken bu aşamadan sonra deformasyon kontrollü gidilmesine karar verilmiştir. 85 kN'da düğümdeki hasar oldukça fazla gözlenmiştir. Kiriş alt yüzündeki ezilmenin hala sınırlı olduğu belirlenmiştir. Alt kolonda önemli bir çatlak oluşmuştur. 88 kN'da düğüm bölgesi betonu bir miktar ezilip dökülmüştür. Burada etriyesiz boyuna donatı görülmüştür. Arka yüzde de aynı durum oluşmuştur. Üst kolonun döşemeyi kestiği yerdeki çatlak 3-4 mm olmuştur. 83 kN'da alt kolonun alın kirişini kestiği yerdeki çatlak 5 mm genişliğe ulaşmıştır. Üst kolonun döşemeyi kestiği yerdeki çatlak genişliği de 3-4 mm olmuştur. Kolon doğrultusunda bir miktar bozulma gözlenmiştir. Hasarlar, kolonun döşeme yüzünden ayrılmaya çalıştığını göstermiştir. Bu aşamaya kadar hedeflenen taşıma gücüne ulaşamamanın en büyük nedeni düğümde ağır hasar oluşması olmuştur. Burada 90 kN'a çıkılmıştır ancak düğümün içinde ezilmeler olmuştur. Kolonda da çatlaklar oluşmuştur ama beklenen akma henüz görülememiştir. Kolonda etriye ilavesinden kurtulmak için kolon iyi etriyeli yapılmış, düğüm ise etriyesiz yapılmıştır. Dolayısıyla da taşıma gücüne düğümden ulaşılmıştır. Düğüm hasar görmeye başlayınca kirişteki tüm çatlaklar sabit kalmıştır. -30 kN'da LVDT'nin kapasitesinden dolayı LVDT 1'in kolon üstüne mesafesi 650 mm'ye ayarlanmıştır. -91 mm'ye giderken geri yüklemede de kirişin yük aldığı, ileri

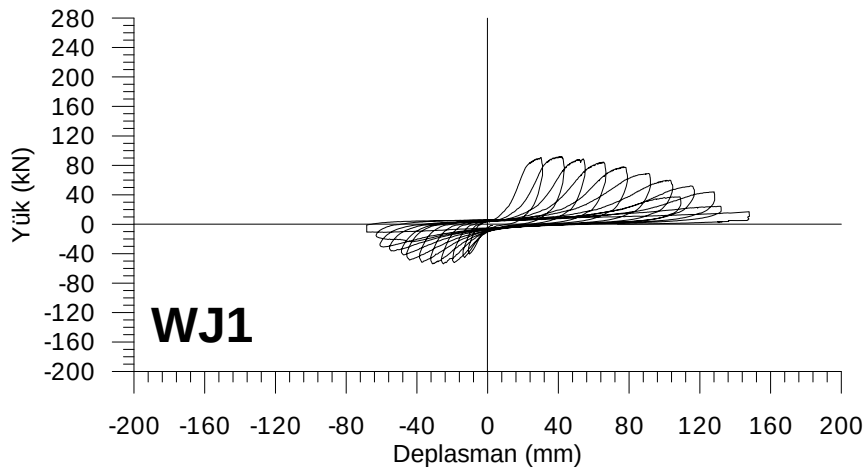
yüklemede de kirişin yük aldığı, sadece düğüm boş olduğu için uçlardan yük aktaramadığı belirlenmiştir. Kolon etriyesi tam yapılmıştır, ayrıca kaldıraç etkisi de mevcuttur. Düğüm bölgesi betonu dökülmüştür. Düğüm bölgesi pas payı betonunun kabarması, kolonun basınç yüzünde gözlenmiştir. Deney elemanı düzeltilip deneye son verilmiştir.



a) Yük geçmişi



b) Deplasman geçmişi



c) Yük-Deplasman

Şekil 4.8. WJ1 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük-toplam deplasman grafikleri



Resim .4.15. WJ1 elemanın deneyden sonraki görünüşü



Resim 4.16. WJ1 elemanında düğüm bölgesi hasarı ve dökülen düğüm bölgesi betonu

4.1.9. WJ2 deneyi

Eleman Türü : Zayıf düğüm elemanı

Güçlendirme : Yok

Deney Tarihi : 22/09/2008

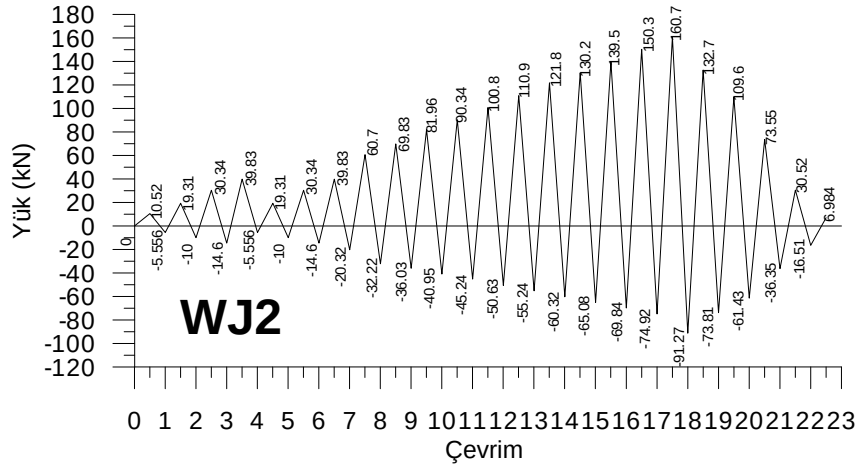
Güçlendirme Tipi : Yok

Açıklama: Düğüm bölgesi, alt kolon ve üst kolondaki 100 mm'lik bölge dahil toplam 500 mm'lik bölge etriyesiz olarak üretilmiştir. Kolonda düşey yüklerden kaynaklanan eksenel yükü temsil eden toplam 150 kN eksenel yük uygulanmıştır.

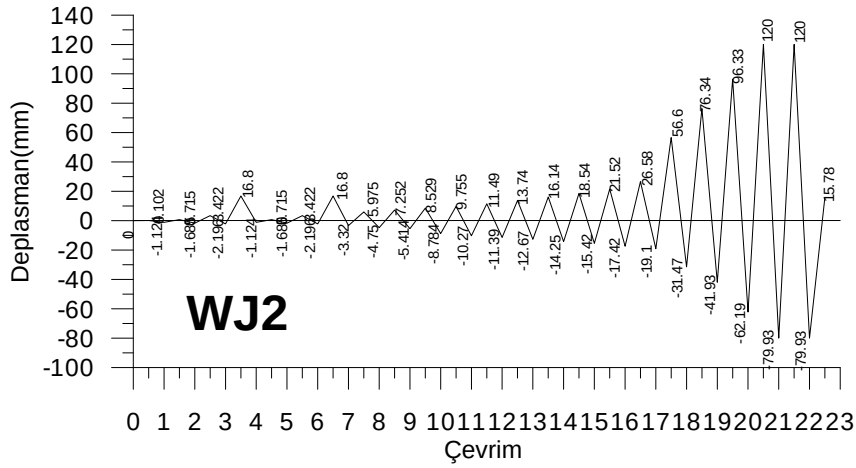
40 kN'da döşeme üst yüzünde, kolon üst yüzünden 50 mm yukarıda, 0,2 mm'lik bir çatlak görülmüştür. -25 kN'da kirişte kolon iç yüzünden 260 mm yukarıda eğimli, eğilme+kesme karakterinde bir çatlak oluşmuştur. Ayrıca kolon kiriş ara kesitinde bir çatlak görülmüştür. Kirişte 420 mm yükseklikte, eğilme çatlağı şeklinde bir başka çatlak daha oluşmuştur. 60 kN'da döşemede kolon iç yüzünden 270 mm içeride kılcal ilave bir çatlak görülmüştür. 80 kN'da döşeme kiriş yan yüz ara kesitinden 700 mm yukarıda 0,15 mm'lik kesme çatlağı oluşmuştur. Bu çatlak kirişin yaklaşık ortalarına kadar ilerlemiş, yatayla 30°'lik açı yapmıştır. Ayrıca 440 mm'de eğilme çatlağı da görülmüştür. Döşemede alın kirişinin iç yüzünden 430 mm yukarıda bir çatlak görülmüştür. Bu çatlak kirişin yan yüzüne de ulaşmıştır. -40 kN'da kolon kiriş ara kesitindeki çatlak 0,3 mm olmuştur. 90 kN'da döşeme alt yüzünde üst kolonun iç yüzünden 50 mm yukarıda 0,9 mm'lik bir döşeme çatlağı görülmüştür. Bu çatlak arka yüzde de gözlenmiştir. Döşeme üst yüzündeki 2. çatlak bu aşamada 0,2 mm olmuştur. Kirişteki çatlaklar; döşeme kiriş ara kesitinden 700 mm yukarıdaki çatlak, kirişin ortasına kadar ilerlemiş, aralığı 0,15 mm görülmüştür. Bu çatlağın ucu aynı zamanda döşemeye de ulaşmıştır. Ön yüzde bu çatlak döşemenin üst yüzünde de görülmüştür. 100 kN'da dikdörtgen bölgede birbirine paralel iki çatlak oluşmuştur. Bu çatlaklar yatayla yaklaşık 30° açı yapmıştır. Döşemede yeni çatlaklar belirlenmiştir. Bu çatlaklar baştan tariflenirse 50 mm mesafedeki 1.2 mm, 280 mm'deki 0,3 mm, 480 mm'deki 0,2 mm, 700 mm'deki 0,2 mm genişlikte görülmüştür. -50 kN'da dikdörtgen bölgede bir çatlak oluşmuştur. Bu çatlak

dikdörtgen bölgenin sağ üst köşesinden sola doğru 50 mm'de başlamış ve düşey ilerlemiştir. 110 kN'da döşeme üstündeki çatlak genişliği 1.6 mm belirlenmiştir. Dikdörtgen bölgedeki çatlak sol alt köşeden başlayıp sağ üst köşeye doğru yönelmiş ancak henüz sağ üst köşeye ulaşmamıştır. Kirişte 280 mm'de 0,3 mm'lik, 440 mm'de 0,2 mm'lik, 700 mm'de 0,3 mm'lik, 850 mm'de 0,15 mm 'lik kesme çatlakları oluşmuştur. Son iki çatlağın oldukça dik olduğu belirlenmiştir. -55 kN'da kiriş üst-kolon ara kesitindeki çatlak 2 mm'ye yaklaşmıştır. -60 kN'da dikdörtgen bölgedeki çapraz çatlak dikdörtgen bölgenin sol kenarının ortasından başlamış, -45° açıyla alt kenara ulaşmıştır. Dikdörtgen bölgenin sağ üst köşesinden 50 mm içerideki düşey çatlak genişliği 0,7 mm, kolon kiriş ara kesitindeki çatlak 2 mm, diğer yan yüz çatlaklarının ise yaklaşık sabit olduğu görülmüştür. Alt kolonun yan yüzünde bir çatlak oluşmuştur. Bu çatlak, alın kirişinin alt iç köşesinin kolonla kesiştiği bölgeden başlamış, yaklaşık kolon eksenine paralel ilerlemiştir. 130 kN'da alt kolonda daha önce oluşan, sol alt köşeden başlayıp sağ üst köşeye doğru ilerleyen çatlak alın kirişinin iç yüzü ile döşeme ara kesitine de ulaşmıştır. Üst kolonla döşeme ara kesitinde 1 mm'lik bir çatlak oluşmuştur. -65 kN'da kolon yan yüzündeki daha önce paralel olan çatlak V şeklini almaya başlamıştır. Tekrar tariflenirse bu çatlak alt kolon yan yüzü ile alın kirişinin ara kesitinden başlayıp, alın kirişinin iç kenarının 30-40 mm aşağısına kadar ulaşmıştır. Daha sonra 45° açıyla alt kolonun iç yüzüne doğru yönelmiş ama boyu bu aşamada 70-80 mm olmuştur. Dikdörtgen bölgedeki sol kenarın ortasında başlayıp -45° ile alt kenara ulaşan çatlaklar 0,5 mm genişlikte görülmüştür. 140 kN'da dikdörtgen bölgedeki çatlak genişliği 2 mm olmuştur. Bu çatlak sol alt köşeden sağ üst köşeye ulaşmıştır. -70 kN'da kolon kiriş ara kesitindeki çatlak 3 mm olmuştur. Alt kolondaki V çatlakta gelişme gözlenmiştir. Bu çatlak neredeyse kolon iç yüzüne ulaşmıştır. Tariflenirse, alın kirişinin iç köşesinden 30 mm aşağıda başlayıp 45° ile kolon iç yüzünü bulmak üzere olan çatlaktır. Genişliği 0,3-0,4 mm olmuştur. Sağ üst köşeden 50 mm soldaki düşey çatlak genişliği 1 mm gözlenmiştir. 150 kN'da, yükte bir miktar düşüş olmuştur. Kirişte çok hafif ezilme belirtisi görülmüştür. Dikdörtgen bölgedeki ve üst kolon döşeme ara kesitindeki çatlak 1,5 mm olmuştur. Döşemedeki en büyük çatlak 2 mm görülmüştür. -75 kN'da alt kolondaki V çatlak 0,6 mm olmuştur. 155 kN'da (32 mm) akma gerçekleşmiştir. Bu aşamada akma düğüm hasarından gerçekleşmiştir. 55 mm'de deney elemanı

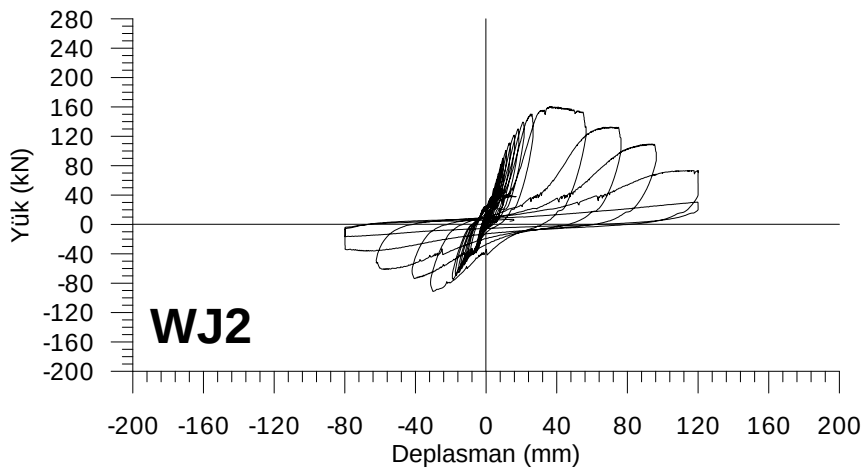
düğümünden taşıma gücüne ulaşmıştır. Dikdörtgen bölgedeki çatlak sayısı çok artmıştır. Alt kolonda bir ters V çatlak oluşmuştur. Alın kirişinde deney elemanının konumuna göre sağ üst köşeden başlayıp alt kolonun dış kenarına doğru 45° eğimle devam eden çatlak 1,5 mm olmuştur. Alın kirişi ile kolon ara kesitindeki çatlak 3 mm'ye ulaşmıştır. Boyu 100 mm olmuştur. Kirişin kolonla ara kesitinde betonda hafif ezilme çatlağı görülmüştür. Üst kolonda yeni oluşan bir V çatlak belirlenmiştir. Bu çatlak döşeme üst yüzüne yaklaşık 120 mm mesafede başlamış ve V şeklinde gelişerek üst kolonun iç yüzüne ulaşmıştır. Genişliği 0,3 mm gözlenmiştir. Arka yüzde bu durum daha belirgin görülmüştür. Boyuna donatıda aderans çözülmesi gözlenmiştir. Aynı zamanda arka yüzden bakıldığında alt kolonun dış kenarındaki donatı hizasında da çatlak belirlenmiştir. Bu bölgelerde donatılardaki çekme kuvvetlerinden dolayı aderans çözülmesi görülmüştür. -86 kN'da taşıma gücünün düğümle sınırlı olduğunun kesinleştiği, yani düğüm taşıma gücüne ulaştığı için sistemin kapasitesine ulaşmış olduğu belirlenmiştir. Alt kolondaki V çatlak 25 mm görülmüştür. Üst kolonun dış yüzündeki donatı hizasında yatay çatlak oluşmuştur. 130 kN'da alt kolonla üst kolon arasındaki doğrusallık bozulmuştur. Kesit kaybı düğümde dikdörtgen bölge içinde başlamıştır. Kiriş oldukça sağlam olduğu gözlenmiştir. Üst kolonla döşeme ara kesitindeki çatlak 5 mm olmuştur. Bu çatlak kolona doğru ilerlemiştir. Yine üst kolonun dış donatısı civarında çatlak görülmüştür. Dikdörtgen bölgedeki dik çatlağın boyuna donatıdaki çekme kuvvetlerinden oluştuğu belirlenmiştir. Alt kolondaki V çatlak kolonun iç yüzüne ulaştıktan sonra donatıyı yatay olarak takip etmiştir. 100 kN'da üst kolon döşeme ara kesitindeki çatlak 8 mm olmuştur. Kolonlar arası doğrusallık kaybolmuştur. Kiriş sağlam kalmış, hasar düğümde yoğunlaşmıştır. -58 kN'da alt kolondaki V çatlak 6 mm olmuştur. Düğüm bölgesinden geçen boyuna donatıda aderans kalmamıştır. Kiriş boyuna donatılarının düğüm içinde kalan kısmında aderans da neredeyse yok olmuştur. Geri çevrim yapılmıştır. Alın kirişi doğal bir kuşatma yapmıştır. Düğümdeki çözülme alın kirişinin olduğu yerde oluşmamıştır. Alın kirişinin iç yüzü ile kolonun iç yüzü arasındaki dikdörtgen bölgede oluşmuştur. İleri 120 mm gidilmiştir. Geri -80 mm gidilmiş ve yük boşaltılıp deneye son verilmiştir.



a) Yük geçmişi



b) Deplasman geçmişi



c) Yük-Deplasman

Şekil 4.9. WJ2 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük-toplam deplasman grafikleri



Resim 4.17. WJ2 deneyinden genel bir görünüş



Resim 4.18. WJ2 elemanında düğüm bölgesinin durumu

4.1.10. A1 deneyi

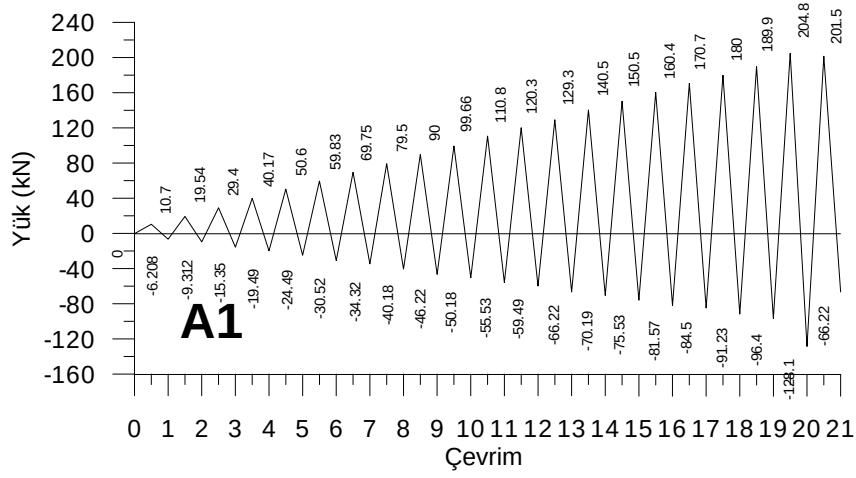
<i>Eleman Türü</i>	: Güçlendirme Elemanı
<i>Güçlendirme</i>	: Var
<i>Deney Tarihi</i>	: 01/08/2008
<i>Güçlendirme Tipi</i>	: A tipi

Açıklama: U50 profilden H şeklinde kaynaklı parça hazırlanmıştır. Bu parça yapıya göre dış cepheden alt kolon+düğüm+üst kolondaki toplam 500 mm'lik bölgeye ankraj bulonlarıyla bağlanmıştır. Bu bulonlardan düğümdeki 8 adet bulon düğüm içerisine 400 mm uzatılmıştır. Tüm bulon çapları 8 mm'dir ve bu bulonlara 5 Nm tork kuvveti uygulanmıştır.

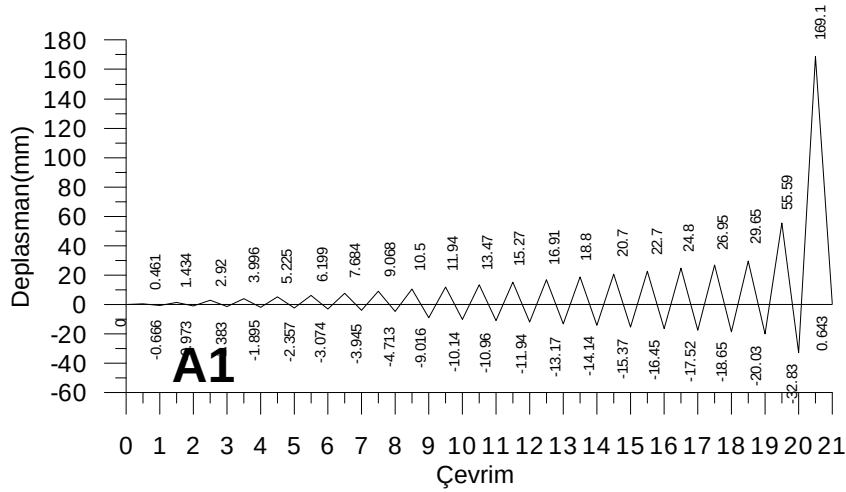
İlk çatlak -20 kN'da ana kirişte kolon yüzünden 400 mm yukarıda 0,1 mm genişliğinde eğilme çatlağı olarak gözlenmiştir. 50 kN'da döşeme üst yüzünde, kolon kiriş ara kesitinde döşeme üstündeki profilin altından gözüken kılcal çatlak oluşmuştur. 6. ileri çevrimde dikdörtgen bölgede sol alt köşeden başlayan kılcal çatlak gözlenmiştir. -30 kN yükte kirişte kirişin yan yüzü ile döşeme ara kesitinden 130 mm yukarıda ölçülen, 30° eğimle kirişin alt yüzüne doğru ilerleyen yeni bir çatlak belirlenmiştir. 7. ileri yüklemde dikdörtgen bölgedeki çatlak belirginleşmeye başlamıştır. Bu çatlak sol alt köşeden başlayıp, 60°'lik açıyla dikdörtgen bölgenin üst kenarına ulaşmıştır. Döşeme üst yüzünde üst kolonun iç yüzünden 280 mm yukarıda 0,1 mm genişliğinde yeni çatlak oluşmuştur. 8. ileri çevrimde dikdörtgen bölgedeki çatlak genişliği artmıştır. Yatayla açısı yaklaşık 65° gözlenmiştir. Bu çatlağın çok benzeri arka dikdörtgen bölgede de görülmüştür. Döşeme çatlağı, U50 profilin altına gizlenmiştir. 9. geri yüklemde dikdörtgen bölgedeki çatlakların genişliği 0,3 mm olmuştur. Alt kolonun kirişe birleştiği bölgede, derinliği 150 mm olan 0,3 mm'lik eğilme çatlağı belirlenmiştir. 10. ileri yüklemde dikdörtgen bölgedeki çatlak genişliği 0,6 mm'ye ulaşmıştır. Dikdörtgen bölgede geri yüklemde oluşan çift çatlaktan farklı olarak tek çatlak görülmüştür. 280 mm'deki döşeme çatlağı 0,15 mm, 650 mm yukarıdaki çatlak 0,1 mm'nin yarısı genişliğinde belirlenmiştir. Döşeme ile alın kirişi ara kesitinde üst yüzde 0,2 mm genişliğinde çatlak gözlenmiştir. 10. geri

yüklemede kolonda 2. bir çatlak oluşmuştur. Bu çatlak alt kolonda kiriş-kolon ara kesitine 300 mm mesafede başlayıp aşağı doğru ilerleyen, kolon üst yüzüyle dar açısı 60° olan 0,3 mm genişlikli bir çatlak olarak gözlenmiştir. 11. ileri yüklemede üst kolon döşeme üst yüzünden ayrılmıştır. Çatlak derinliği 100 mm'ye ve genişliği 0,3 mm'ye ulaşmıştır. 13. ileri yüklemede dikdörtgen bölgede ikinci bir çatlak oluşmuştur. Bu çatlak yine sol alt köşeden başlayıp sağ üst köşeden 70 mm içeriye ulaşmıştır. Genişliği 0,5 mm gözlenmiştir. Eski çatlak genişliği 0,8 mm'yi bulmuştur. 14. ileri yüklemede dikdörtgen bölgedeki her iki çatlak 0,8 mm gözlenmiştir. 150 kN yükte kılcal V çatlak oluşmuştur. V çatlak döşeme yüzünden 80 mm mesafede ve 45° ile döşemeye ulaşmış, 0,05 mm genişlikte gözlenmiştir. 15. geri yüklemede alt kolondaki çatlaklar 0,6 mm, kirişteki en büyük çatlak genişliği 0,5 mm olmuştur. Bu aşamaya kadar kirişle kolon ara kesitindeki çatlak, profil altında gizli kalmıştır, 16. ileri yüklemede kiriş yan yüzünde, döşeme alt yüzü ile kiriş yan yüzü ara kesitinden 150 mm mesafede başlayan, yatayla 30° açı yaparak kiriş ortalarına kadar ilerleyen yeni bir kesme çatlağı oluşmuştur. 280 mm yukarıda bu çatlağın paralelinde aynı açıklık ve boyda 0,5 mm'lik bir çatlak daha gözlenmiştir. Döşeme kiriş yan yüzü ara kesitinden 900 mm mesafede 0,3 mm genişlikli bir kesme çatlağı daha oluşmuştur. Tüm kiriş kesme çatlaklarının kiriş ortasına doğru ilerlediği gözlenmiştir. 18. ileri çevrimde dikdörtgen bölgede sol alt köşeden başlayıp sağ üst köşeyi bulan çatlak 1,5 mm belirlenmiştir. Bu çatlak bu bölgedeki 2. oluşan çatlaktır. Bu çatlağın devamı döşeme alın kirişinin ara kesitinde 2 mm genişlikte gözlenmiştir. İlk çatlak 0,8 mm'de sınırlı kalmıştır. Kirişte döşeme yan yüzü ara kesitinden 150 mm-270 mm-600 mm-900 mm'de dört adet kesme çatlağı oluşmuştur. Bu çatlakların tamamı kiriş ortasına kadar ilerlemiştir. En büyük çatlak genişliği 0,6 mm gözlenmiştir. 20. ileri yüklemede bu aşamaya kadar kirişte bir eğilme çatlağı gözlenmemiştir. Üst kolondaki çatlak genişliği 1,5 mm'ye, derinliği artarak 160 mm'ye ulaşmıştır. Kiriş uç deplasmanı 35 mm iken akma gerçekleşmiştir. Kirişte beton kısmında ezilme belirtisi olduğu düşünülmüştür. Basınç kısmında profilin hemen arkasında 150 mm'deki 3 mm'lik çatlak kirişin kolona saplandığı köşeye kadar ulaşmıştır. 20. geri çevrimde yük 125 kN'u aştığında -22 mm'de akma olmuştur. Deney çok iyi ilerlerken alt kolon sabit pimden kırılma görülmüştür. Deney elemanı hazırlanırken kalıbı söküldükten sonra alt kolon pim deliği bölgesine yakın beton boşlukları olduğu

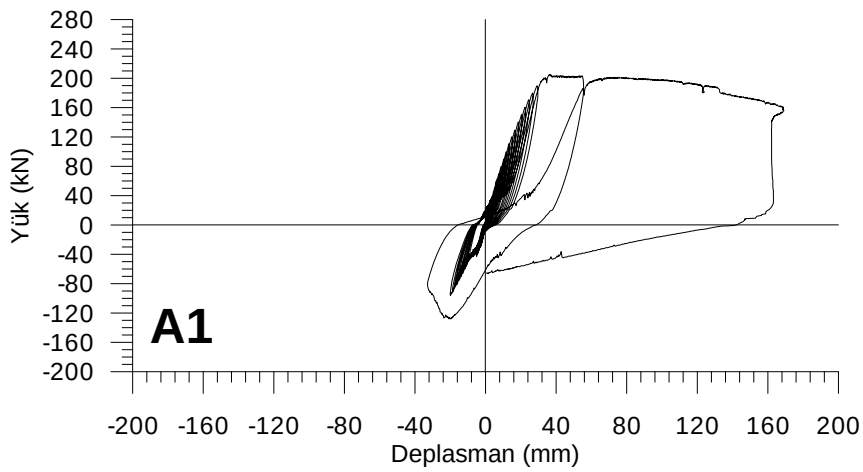
belirlenmiştir. Bu boşluklar yüksek dayanımlı betonla tamir edilmiştir. Ancak deney elemanında bu bölgede sıkıntı olmuştur. Resim 4.21. Bu olay geri çevrimde gerçekleşmiştir çünkü bu yönde kesme kuvveti daha fazla olmuştur. Bu çevrimden sonra geri çevrim yapılamamış, ileri çevrim ile devam edilmiştir. 21. ileri yüklemde 190 kN'da eleman taşıma gücüne kırıktan ulaşmıştır. Kirişteki ezilme oldukça belirginleşmiştir. Dikdörtgen bölgedeki kabuğun dökülmek üzere olduğu görülmüştür. Arka yüzden bakıldığında arka yüz göreceli olarak iyi gözlenmiştir. Üst kolonda da kesme çatlakları oluşmuştur. Bunlar paralel çatlaklardır. Kiriş içine devam eden bulonlardan bir tanesi yan yüzden kabuk betonunu kırarak dışarı çıkmıştır. Taşıma gücüne ulaşma düğümüne de yönelmiştir. Kiriş alt yüzündeki U profili bağlayan bulonlardan bir tanesi kopmuştur. Çok ileri aşamalarda taşıma gücüne ulaşım kırıktan düğümüne doğru yönelmiştir. Buna rağmen deney oldukça başarılı olmuştur. Deney elemanı 200 kN yükü almıştır. Kolon doğrusallıkları korunmuştur. Son ana kadar kolonlar arasındaki rölatif hareketleri oldukça sınırlamıştır. Diğer elemanlarda bu deformasyonda alt kolon ile üst kolon arasında kırıklık oluşmuş, doğrusallık bozulmuştur. Bu durum alındaki H profilin oldukça etkili olduğunu göstermiştir. Kiriş taşıma gücüne ulaşmıştır. Kirişteki ezilme belirginleşmiştir. Daha sonra da ezilme düğüm bölgesine ilerlemiştir. Bulonların son ana kadar kesme kuvveti alabildiği ancak sargılama görevi yapamadığı gözlenmiştir. Kiriş alt ve üst ucundaki U profillerde mekanik yaslanma sonucu bulonların kopabileceği görülmüştür. Döşeme üst ve kiriş alt yüzündeki profiller, kolonların eksene paralel hareketlerini engellemek amacıyla yerleştirilmiştir. Ancak bu görevi alındaki H profil yerine getirmiştir. Kiriş alt ve üstündeki U profillerin ve bunları bağlayan bulonların kesme kuvvetinden kopabileceği gözlenmiştir. Deneyden sonra yapılan incelemelerde kiriş alt yüzündeki profili bağlayan kenar bulonlardan birinin koptuğu belirlenmiştir.



a) Yük geçmişi



b) Deplasman geçmişi



c) Yük-Deplasman

Şekil 4.10. A1 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük-toplam deplasman grafikleri



Resim 4.19. A1 deneyinden genel bir görünüş



Resim 4.20. A1elemanında oluşan düğüm bölgesi hasarı



Resim 4.21. A1 elemanında sabit pim civarında oluşan hasar

4.1.11. A2 deneyi

<i>Eleman Türü</i>	: Güçlendirme Elemanı
<i>Güçlendirme</i>	: Var
<i>Deney Tarihi</i>	: 14/11/2008
<i>Güçlendirme Tipi</i>	: A tipi

Açıklama: A1 güçlendirmesiyle çok benzerdir. Farklı olarak kolonda 150 kN'luk eksenel yük verilmiştir.

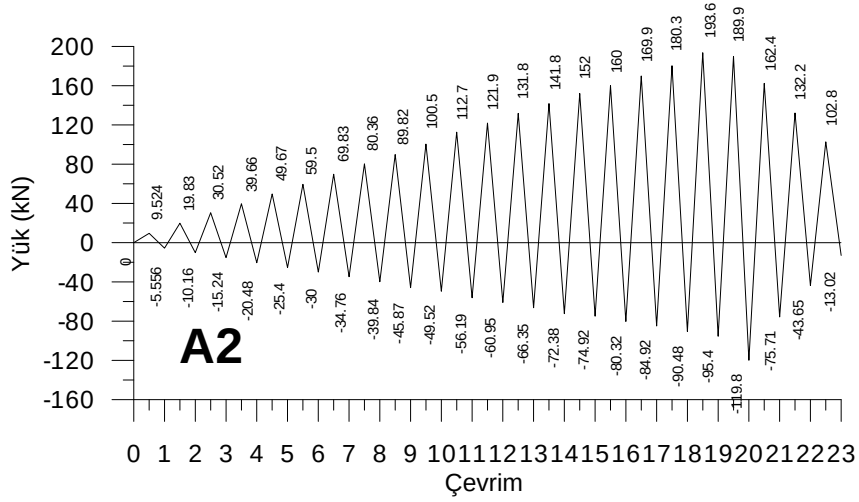
İlk çatlak 4. ileri yüklemde kolon iç yüzü ile döşeme ara kesitinde döşeme üzerinde kılcal eğilme çatlakları olarak gelişmiştir. 4. geri yüklemde kiriş yan yüzünde, kolon yüzünden 150 mm mesafede kılcal çatlak gelişmiştir. 60 kN'da döşeme üzerinde kolon iç yüzünden 500-650 mm yukarıda yeni kılcal çatlaklar oluşmuştur. -30 kN'da kolon iç yüzünden 500 mm yukarıda kiriş yan yüzünde yeni çatlak gözlenmiştir. Kiriş yan yüzündeki her iki çatlak da eğilme çatlaklarıdır. -35 kN'da kiriş yan yüzünde 250 mm ve 630 mm'de kılcal eğilme çatlakları oluşmuştur. 80 kN'da kiriş yan yüzünde, döşeme kiriş ara kesitinde kolon iç yüzünden 480 mm mesafede kılcal çatlak belirlenmiştir. Bu çatlak hem kiriş yan yüzüne hem döşeme alt yüzüne ulaşmıştır. Döşeme alt yüzünü boydan boya geçmiş, kiriş yan yüzünde ise 50 mm ilerlemiştir. 90 kN'da dikdörtgen bölgede sol alt köşeden başlayıp sağ üst köşeye varmadan ortalarda üst kenara ulaşan kılcal çatlak görülmüştür. -45 kN'da dikdörtgen bölgedeki çatlak çok ince belirlenmiştir. 100 kN'da döşeme üst yüzü ve dikdörtgen bölge çatlaklarında bir miktar artış olmuştur. Döşemede -50 kN'da dikdörtgen bölgede sol üst köşe ile sağ alt köşe arasındaki diagonal üzerinde köşelerden başlamayan, ortalarda 70-80 mm boyunda bir çatlak gözlenmiştir. 110 kN'da alın kirişi iç yüzü düzleminin döşeme iç yüzünü kestiği bölgede 0,5 mm genişlikli çatlak oluşmuştur. Dikdörtgen bölgedeki çatlak tek ve 0,4 mm belirlenmiştir. -55 kN'da dikdörtgen bölgedeki çatlak boyunda artış gözlenmiştir. Bu çatlak sol üst köşeden başlayıp sağ alt köşeye varmadan alt kenara ulaşmıştır. Genişliği 0,25 mm gözlenmiştir. Alt kolonda küçük de olsa V çatlak oluşmuştur.

Bundan önceki elemanlarda V çatlak alın kirişinin köşesinden başlamıştır. Bu elemanda farklı olarak V çatlak alt kolonun iç yüzünden 50 mm mesafede başlayıp 45° ile kolon iç yüzünü bulmuştur. 120 kN'da üst kolon yan yüzünde V şeklinde 50 mm aşağıdan başlayan 45° ile kolon üst yüzünü bulan çatlak gözlenmiştir. -65 kN'da dikdörtgen bölgedeki çatlak oldukça belirginleşmiştir. Aralığı 0,5 mm olmuştur. Alt kolon yan yüzünde, kiriş alt yüzünden 180-200 mm ileride başlayan, 45° ile alın kirişinin alt iç köşesini bulan 0,3 mm'lik çatlak oluşmuştur. Kolon boyuna donatılarındaki kuvvetler de belirginleşmeye başlamıştır. Bu kuvvetlerin etkisiyle kolonun iç yüzündeki boyuna donatı hizasında boyuna donatı eksenine dik çatlak görülmüştür. Daha sonra bu çatlakların iç yüzdeki boyuna donatıların iç kuvvetinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Kiriş yan yüzdeki çatlaklarda gelişmeler olmuştur. 160 kN'da dikdörtgen bölgede sağ üst köşeden sol alt köşeye ilerleyen paralel çatlaklar görülmüştür. -80 kN'da dikdörtgen bölgede sol üst köşeden sağ alt köşeye ilerleyen çatlğa paralel çatlaklar gözlenmiştir. 170 kN'da dikdörtgen bölgedeki çatlağın 40 mm paralelinde bir çatlak oluşmuştur. Kiriş yan yüzünde de eğime+kesme karakterinde bir çatlak oluşmuştur. Kirişte 150 mm mesafede yeni bir çatlak görülmüştür. Bu çatlağın, mafsallaşmanın kirişte başladığına işaret olduğu düşünülmüştür. 180 kN'da dikdörtgen bölgede sonradan oluşan çatlak ana çatlak olmuştur. -90 kN'da dikdörtgen bölgede bir çatlak karmaşası görülmüştür. Buna rağmen bu karmaşa çok önemli gözükmemiştir. 190 kN'da dikdörtgen bölgeye paralel kollarda 1 mm'den küçük çatlaklar görülmüştür. Üst kolondaki V çatlaklarda da kısmen gelişmeler olmuştur. Üst kolon döşeme ara kesitinde kolon yan yüzünden 30 mm'lik bir ayrılma belirlenmiştir. Üst kolonda 2. bir V çatlak oluşmuştur. Bu V çatlak yan yüzden 70 mm aşağıda yatayda 30° ile kolon iç yüzünü bulmuştur. Üst kolonun yan yüzünden 100 mm mesafede 45° ile yine dış kenarı bulan 2. bir V çatlak görülmüştür. -95 kN'da alt kolon ve üst kolonun aynı doğrultuda olduğu gözlenmiştir. Bu aşamada mafsalın kirişte oluştuğu düşünülmüştür. 182 kN'da dikdörtgen bölgenin yumuşadığı belirlenmiştir. Bu bölgedeki kabuk betonu dökülmemiştir ancak çatlaklar oluşmuştur. Düğüm, dikdörtgen bölge yumuşamış olmasına rağmen, kirişte akma belirtisi olmuştur. Döşeme üst yüzündeki ilk ana

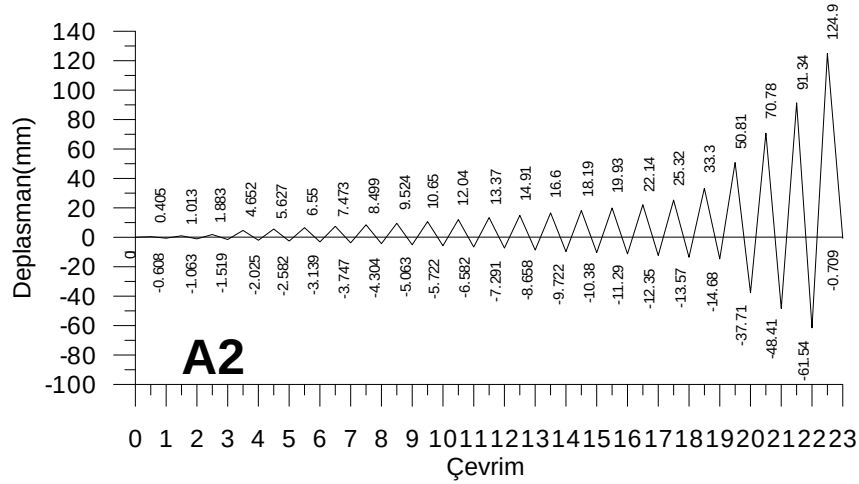
çatlak 3 mm görülmüştür. Dolayısıyla bu kadar deformasyonu donatı akmadan tolere etmesi çok zor olduğu belirtilmiştir. Üst kolondaki V çatlaklardan 70 mm’de başlayan ve yatayla 30° açı yapan çatlak genişliği 1 mm görülmüş, ancak aralığı hızla azalmış, kolon iç yüzünü bulduğu noktada çatlak genişliği 0 olmuştur. Bu aşamada arka yüzün de aynı olduğu belirlenmiştir. 50 mm deformasyon olmasına rağmen alt kolon-üst kolon deformasyonu aynıdır. Yaklaşık 120 kN’da akma olmuştur. Alt kolonda önemli bir hasar oluşmuştur. Ancak etriyeler tam 45° olduğu için bu durumu tolere edebileceği düşünülmüştür. Alt kolondaki V çatlak genişliği 3-4 mm’ye ulaşmıştır. Buna rağmen oradaki etriyenin aldığı ve bu çatlağın burada sınırlı kalabileceği düşünülmüştür. Dikdörtgen bölgedeki çatlaklar baklava dilimi şeklini almıştır. Bu bölge betonunun bu aşamada hala iyi olduğu gözlenmiştir. Alt kolonun iç yüzünün ortasında kiriş alt yüzünde başlayan bir çatlak görülmüştür. Çatlak genişliği 1,5 mm, boyu 150 mm belirlenmiştir. Çatlak genişliği hızla azalmıştır. İki kolonun doğrusallığı hala korunabilmiştir. 160 kN yükte dikdörtgen bölge oldukça hasar görmüştür. Kolondaki ilk V çatlak (50 mm’ye 50 mm olan) 2,5 mm, 2. V çatlak 1,5-2 mm gözlenmiştir. Üst kolonun dış kenarından 120 mm içeride yan yüzde, kolon eksenine paralel boyu 260-270 mm, yaklaşık yatay çatlak görülmüştür. Alın kirişinin iç yüzünde de çok hafif ezilme belirtisi olmuştur. Arka yüzden bakıldığında üst kolonun dış kenarının köşesinde de bir dökülme gözlenmiştir. Bu kadar ağır hasar olmasına rağmen 2 kolonun eksenini hala doğrultularını korumuşlardır. -66 kN’da alt kolondaki V çatlak 3-4 mm olmuştur. 125 kN’da yumuşamanın artık kesinlikle dikdörtgen bölgede olduğu belirlenmiştir. Bu aşamada düğümdeki bulonların en az bir tanesi betondaki dökülmeden dolayı görülmüştür. Kolon boyuna donatısı deforme olmuştur. Bu bölge açılmıştır. -41 kN’da dikdörtgen bölgede hasar artmıştır. Bu aşamada kiriş alt yüzündeki boyuna donatı da görülmüştür. Dikdörtgen bölgedeki bulonların üçü de görülebilmıştır. Buna rağmen bulonların içinde bulunduğu beton bölgenin betonu hala çok kötü görülmemiştir. Altındaki kabuk kaldırılmıştır (Kolondaki pas payı kaldırılmıştır). Bu aşamada kirişin alt boyuna donatısının eksenini doğrultusunda hareket ettiği ve betonun da bulonların eksenini doğrultusunda hareket ettiği gözle görülebilmıştır. 100

kN yükte ilk başa göre %50 kayıp olmuştur ama oluşan hasarlara rağmen deney elemanı oldukça iyi görünmüştür.

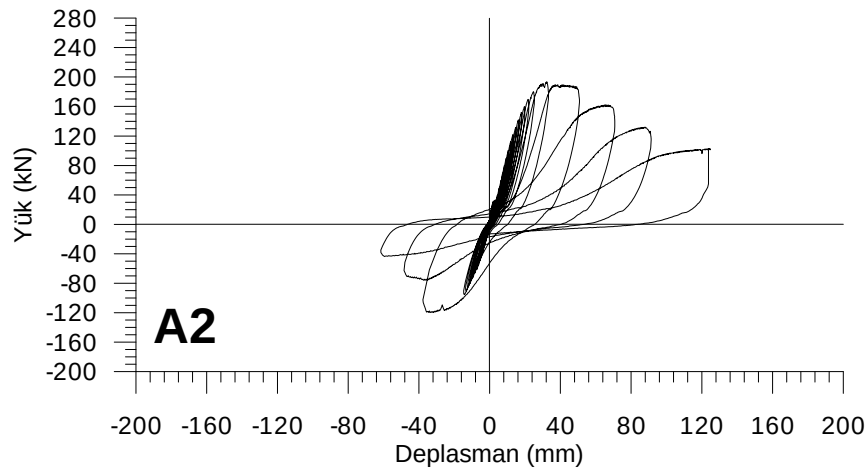
Deney elemanı kendinden beklenene göre oldukça iyi performans göstermiştir. Ayrıca A1 ve A2 elemanlarının kıyaslanmasından tekrarlı yüklemenin dayanımda önemli yük kaybına yol açtığı net bir şekilde görülmüştür. A1’de zorunlu olarak ileri gidilmek zorunda kalındığından oldukça sünek davranış gözlenmiştir.



a) Yük geçmişi



b) Deplasman geçmişi



c) Yük-Deplasman

Şekil 4.11. A2 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük-toplam deplasman grafikleri



Resim 4.22. A2 deneyinden genel bir görünüş



Resim 4.23. A2 elemanında oluşan düğüm bölgesi hasarı

4.1.12. B1 deneyi

Eleman Türü : Güçlendirme Elemanı

Güçlendirme : Var

Deney Tarihi : 17/07/2008

Güçlendirme Tipi : B Tipi

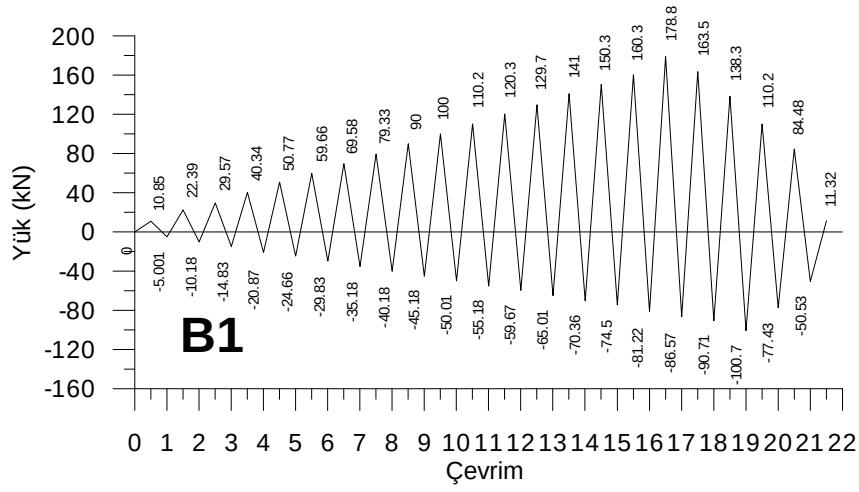
Açıklama: Alın kirişine birbirine paralel 3 sıra U50 profil ankraj bulonlarıyla bağlanmıştır. Düğüm bölgesindeki bulonlar, düğümün içine 400 mm ankre edilmiştir. Ayrıca döşeme üst yüzüne ve kiriş alt yüzüne, üst ve alt kolona 0 mesafede U50 parçalar bağlanmıştır. Bulonlardaki ard germe momenti 5 Nm'dir.

40 kN'da ilk çatlak üst kolonun iç yüzünde kolon iç yüzü ile döşeme ara kesitinden döşemeye ilerlemiş ve açıklığı 0,2 mm görülmüştür. 60 kN'da eski çatlaklara ilave çatlaklar olmuştur. Kolon yüzünden 430 mm yukarıda kirişte 15° eğimli kılcal eğilme çatlağı gözlenmiştir. -30 kN'da dikdörtgen bölgede sağ alt köşeden başlayan, üst kenarın ortasına doğru ilerleyen kılcal bir çatlak oluşmuştur. Alt kolonun yan yüzünde 0,2 mm'lik bir çatlak görülmüştür. 70 kN'da üst kolon iç yüzü ile döşeme ara kesitinde döşeme üstündeki çatlak 0,5 mm, kolon yüzünden 500 mm içerideki döşeme çatlağı 0,3 mm belirlenmiştir. Dikdörtgen bölgede alt kenarın ortasından başlamış, dikdörtgen bölgenin sağ üst köşesine ilerlemiş bir çatlak görülmüştür. Bu elemanda çatlaklar diğer elemanlardan farklı olarak köşeden köşeye değil, kenar ortasından köşeye, yahut da köşeden kenar ortasına kadar gelişmiştir. -35 kN'da dikdörtgen bölgedeki çatlak 0.2 mm genişlikte gözlenmiştir. Kiriş kolon birleşiminde eğilme çatlağı oluşmuştur. Kolon yüzünden 20 mm de, 0,1 mm, 220 mm de 0,1 mm'nin yarısı, 550 mm'de 0,5 mm'nin yarısı çatlaklar oluşmuştur. 80 kN'da dikdörtgen bölgede 2. bir çatlak daha gözlenmiştir. İlk çatlak alt kenarın ortasından sağ üst köşeye, ikincisi sol alt köşeden başlayıp, diğerine paralel ilerlemiştir. Alın kirişi ile döşeme ara kesitinde çok belirgin olmayan bir çatlak görülmüştür. Diğer çatlaklar kapanmıştır. Üst kolon iç yüzü ile döşeme ara kesitindeki çatlak 0,5-0,6 mm genişliğe ulaşmıştır. Burada yeni bir çatlak görülmüştür. Bu çatlak kolon iç yüzünden

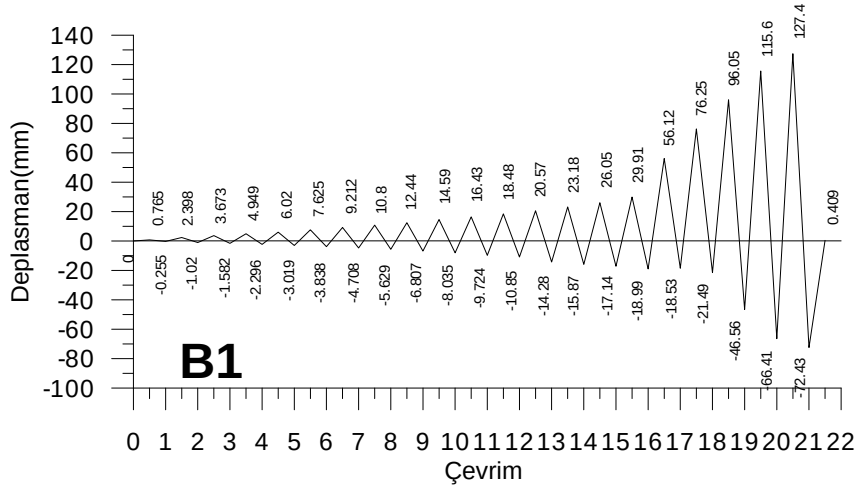
280 mm yukarıda döşeme üzerinde 0,2 mm'lik çatlaktır. 480-500 mm yukarıdaki diğer çatlak ise daha önce oluşmuştur ve 0,3 mm genişlikte gözlenmiştir. Kolon iç yüzünden 820 mm yukarıda 0,2 mm açıklıklı çatlak gözlenmiştir. -45 kN'da alt kolondaki çatlak genişliği 0,3-0,4 mm olmuştur. 100 kN'da dikdörtgen bölgedeki sol alt köşeden sağ üst köşeye ilerleyen çatlak diğerine göre daha belirginleşmiştir ancak buna rağmen bu aşamada 0,5 mm gözlenmiştir. Bu çatlağa paralel olan ve alt kenar ortasından başlayan çatlak ise 0,3 mm olarak sabit kalmıştır. Kirişteki maksimum çatlak genişliği 0,3 mm olmuştur. Üst kolonun yan yüzü ile döşeme ara kesitinde, boyu yaklaşık 100 mm, genişliği 0,4 mm olan çatlak görülmüştür. Üst kolonun iç yüzü ile döşeme ara kesitindeki çatlak 1 mm olmuştur. Alttaki profillerin bu aşamada alın kirişine katkısı olduğu gözlenmiştir. 110 kN'da dikdörtgen bölgede hakim çatlak sol alt köşeden sağ üst köşeye ilerleyen çatlak olmuştur. Genişliği 0,8 mm gözlenmiştir. Bu aşamada dikdörtgen bölge oldukça iyi durumda olduğu belirlenmiştir. -55 kN'da arka yüzdeki dikdörtgen bölgenin çatlak bakımından ön yüzle benzer olduğu görülmüştür. 120 kN'da kirişteki çatlaklarda az da olsa açılma belirlenmiştir. Döşeme alt yüzü ile kiriş ara kesitine göre 280 mm yukarıdaki 0,3 mm açıklıklı, 45° açılı çatlak kesme çatlağı karakterini almıştır. -60 kN'da dikdörtgen bölgede sağ alt köşeden üst kenar ortasına ilerleyen ve daha önce oluşan çatlak, üste doğru biraz parabolik yaklaşmıştır sonra sol üst köşeye ilerlemeye çalışmıştır. Ayrıca alt kenar ortasından başlayıp sol kenarın ortasına doğru ilerleyen 2. bir paralel çatlak belirlenmiştir. Genişlikler 0,4 mm olmuştur. Kiriş alt yüzü ile alt kolon iç yüzünün birleştiği noktadan dikdörtgen bölgenin içine doğru -135° lik açıyla boyu 40-50 mm olan bir çatlak görülmüştür. 130 kN'da arka tarafta alın kirişi ile döşeme ara kesitinde bir çatlak oluşmuştur. Arka yüzde üst kolon yan yüzünde 2 çatlak görülmüştür. Bunlardan bir tanesi döşemeye 100 mm mesafede üst kolona ilerlemiş, buradan da 45 ° eğimle V şeklinde döşemeye ulaşmıştır. Bir diğeri döşeme yüzünden 240 mm yukarıdan başlamış bu da V şeklinde döşemeye doğru ilerlemiştir. Alt kolonda önemli bir çatlak görülmüştür. Bu çatlak çapraz eğik bir çatlaktır. Ön yüzde görülmemiştir. Çatlağın yeri arka yüzde tariflenmiştir. Kiriş alt yüzü ile alt kolon iç yüzünün birleştiği yerden başlayıp alt kolonun pim bölgesi altına doğru ilerlemiştir. Yatay açısı 30°, genişliği 1 mm belirlenmiştir. 65 kN'da kolon arka yüzündeki çatlak kapanmıştır. 140 kN'da ön yüzde alın kirişinin döşemeye kesiştiği yerde üst yüzde

0,5 mm'lik çatlak oluşmuştur. Dikdörtgen bölgede sol alt köşeden sağ üst köşeye ilerleyen çatlak burada ana çatlak olmuştur. Arka yüzde ise dikdörtgen bölgenin sağ alt köşesinden sol üst köşesine ilerleyen çatlak genişliği 1,5 mm görülmüştür. 160 kN'da dikdörtgen bölgedeki çatlak genişliği 2,5 mm olmuştur. Kirişteki çatlaklar eğimlidir. Yine döşeme kiriş ara kesitinden ölçüldüğünde 280 mm'deki çatlak düşeyle yaklaşık 45° açıyla başlamıştır sonra eğimi artmıştır. Bunların dışında birçok, genişlikleri az olan kesme çatlakları görülmüştür. Üst kolondaki 2 tane V çatlakların genişliklerinde artış olmuştur. Bu çatlaklardan biri üst kolonun döşemeyi kestiği bölgeden üst kolona doğru 220 mm yönelmiş buradan üst kolonun uzun kenarı boyunca 45° açıyla 200 mm ilerlemiştir. Diğer V çatlak da 100 mm'den başlamış ve ilerlemiştir. Üst kolon üst yüzünde bir çatlak görülmüştür. Bu çatlak büyük V çatlağın başladığı yerden, üst kolonun iç yüzünden başlamış ve 45° ile karşı kenara ulaşmıştır. Bu çatlakların pandüldeki burulmadan kaynaklandığı düşünülmüştür. -80 kN'da alt kolonda ters yönde bir çatlak oluşmuştur. Çatlak alın kirişinin alt kolon yan yüzünü kestiği kenardan başlamış ve 45° ile alt kolonun üst yüzüne ulaşmıştır. İleri 35 mm'de akma belirtisi olmuştur. 172 kN'da dikdörtgen bölge oldukça hasarlı gözlenmiştir. Burada birçok çatlak oluşmuştur, en büyüğünün genişliği 3 mm gözlenmiştir. Dikdörtgen bölgenin pas payı betonu dökülmek üzere belirlenmiştir. Arka yüzde dikdörtgen bölgede tek çatlak görülmüştür. Genişliği 4-5 mm, alın kirişi ile döşeme ara kesitindeki çatlaklar 5-6 mm olmuştur. Alt kolon kiriş ara kesitinde çok az ezilme belirtisi olmuştur. Üst kolondaki büyük V çatlak genişliği 1 mm gözlenmiştir. -85 kN'da düğümdeki dikdörtgen bölgede kabukta artık eski çatlakların kapanmadığı görülmüştür. Çatlaklar baklava dilimi şeklini almıştır. Bu aşamada kolon yüzünden 500 mm yukarıdaki çatlak yatayla 30° eğimli ve genişliği 0,8 mm olmuştur. Bir çatlak da kiriş kolon ara kesitinde oluşmuştur. Ön yüzde alt kolonda da bir V çatlak görülmüştür. Bu V çatlak kiriş alt yüzünden 200 mm'de başlamış ve 45° ile alın kirişinin ortasına kadar ilerlemiştir. 155 kN'da taşıma gücüne kırıktan ulaşıldığı neredeyse kesinleşmiştir. Dikdörtgen bölgenin kabukları dökülmek üzere olduğu görülmüştür. Arka dikdörtgen bölgede kabuk tamamen dökülmüştür. 155 kN'da taşıma gücüne düğümden ulaşılmıştır. Burada üst kolon iç yüzünü ortalayan 1,5 mm civarında birkaç çatlak görülmüştür. -50 kN'da alın kirişine yerleştirilen profillerin yeterli olmamasına rağmen davranışı diğerlerine göre oldukça

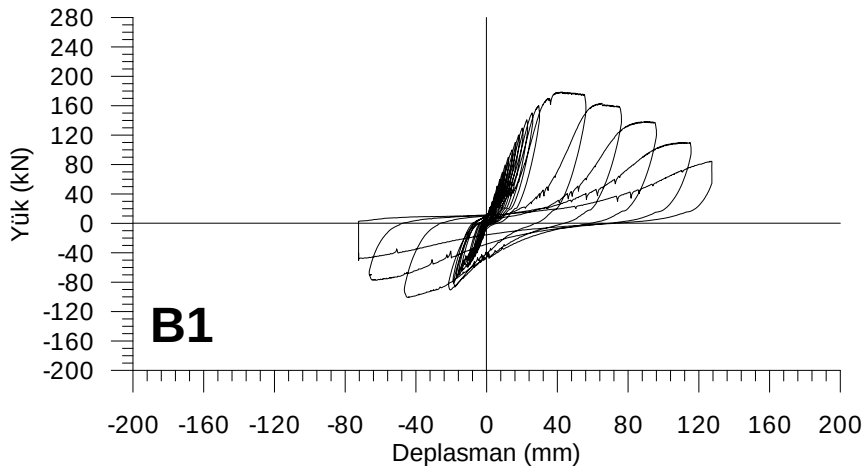
değiştirdiği görülmüştür. Zayıf elemanlarda hiçbir zaman 170 kN'a çıkılamamıştır. -90 kN'da akma gerçekleşmiştir. -100 kN'da düğüm gittikçe yumuşamış, kabuk dökülmüş ve düğümün içine doğru betonda dökülmeler başlamıştır. Bu sırada kolonun iç yüzündeki basınç donatıları her iki yandan görülmüştür. Bu donatılarda çok hafif (bombe şeklinde) burkulma belirtisi olmuştur. Alt kolonun iç yüzünde ortada 2 mm genişlikli bir çatlak görülmüştür. -75 kN'da düğüm oldukça hasar görmüştür. Buna rağmen bu eleman oldukça iyi performans göstermiştir. Plastik mafsalin kirişte oluşamamasına rağmen düğüm içindeki bulonların kirişe kadar gönderilmesi çok etkili olmuştur. Bulonların etkinliği gözlenmiştir. Aslında elemanın taşıma gücüne neredeyse kirişten ulaştığı belirtilmiştir. İleri yükleme yapılmıştır. Düğümdeki bulonların ve bu bulonların düğümden sonra 100 mm daha eleman içerisine uzatılmasının olumlu etkisi olmuştur. Genel olarak bakıldığında kiriş alt ve döşeme üst yüzüne bağlanan profillerin belirli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Bu profillerin kolonun düğüm altından veya üstünden çıkması durumunda fayda sağlaması beklenmiştir. Diğer elemanlarda hiç bu kadar yüke ulaşamamıştır. Deneyden sonra yapılan incelemelerde düğüm içine 400 mm ankre edilen bulonlardan birinin koptuğu gözlenmiştir.



a) Yük geçmişi



b) Deplasman geçmişi



c) Yük-Deplasman

Şekil 4.12. B1 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük-toplam deplasman grafikleri



Resim 4.24. B1 deneyinden genel bir görünüş



Resim 4.25. B1 elemanında düğüm bölgesinde oluşan hasar

4.1.13. B2 deneyi

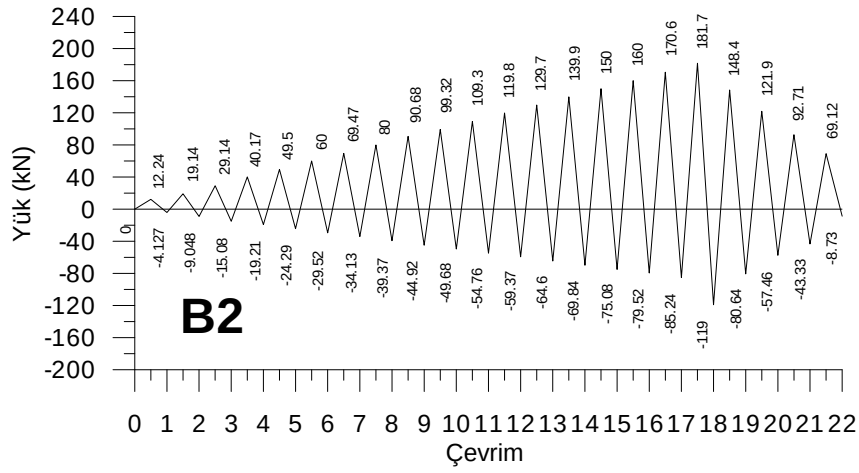
<i>Eleman Türü</i>	: Güçlendirme Elemanı
<i>Güçlendirme</i>	: Var
<i>Deney Tarihi</i>	: 26/11/2008
<i>Güçlendirme Tipi</i>	:B tipi

Açıklama: B1 elemanı güçlendirmesiyle çok benzerdir. Farklı olarak kolona 150 kN eksenel yük uygulanmıştır.

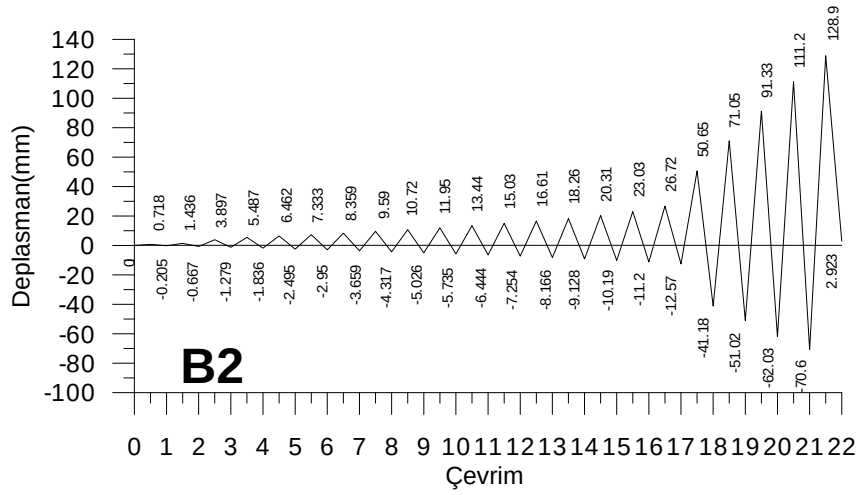
İlk kılcal çatlak 40 kN'da döşeme üst yüzünde kolon iç yüzünden 50 mm yukarıda U profilin üstünde görülmüştür. -20 kN'da kiriş yan yüzünde 150 ve 350 mm'lerde olmak üzere iki kılcal çatlak oluşmuştur. -30 kN'da kiriş yan yüzünde 600 mm'de 0.3 mm açıklıklı yeni bir çatlak görülmüştür. 70 kN'da dikdörtgen bölgede sol alt köşeden başlayıp üst kenarın ortalarına doğru 0,1 mm açıklıklı çatlak oluşmuştur. Döşemedeki çatlakların yerleri ve açıklıkları 50 mm'de 0,35 mm, 350 mm'de 0,3 mm, 500 mm'de 0,2 mm, 650 mm'de 0,2 mm görülmüştür. 80 kN'da dikdörtgen bölgedeki çatlak 0,3 mm gözlenmiştir. Kiriş yan yüzünde 120 mm'de ve 320 mm'de döşemeye ulaşan kılcal çatlak belirlenmiştir. Dikdörtgen bölgedeki çatlak sol alt köşeden döşeme alt yüzü ile alın kirişi iç yüzü ara kesitinde ilerlemiştir. Dikdörtgen bölgede sağ alt köşeden sol üst köşeye çok belirgin olmayan 0,1 mm'lik çatlak görülmüştür. -50 kN'da dikdörtgen bölgedeki çatlağın eğimi yatayla 15-20° belirlenmiştir. Alt kolon yan yüzünde küçük V çatlak oluşmuştur. Bu çatlak kiriş alt yüzünden yaklaşık 50-60 mm ileride başlamış ve 45° ile dikdörtgen bölgenin sağ kenarına ulaşmıştır. Kiriş çatlakları sırasıyla 0,7 mm, 0,2 mm, arada 0,1 mm'lik ince çatlaklar da görülmüştür. 110 kN'da üst kolonun döşemeyi kestiği yerde kolon yan yüzünden 20 mm mesafede çatlak oluşmuştur. Çatlak açıklığı 0,5 mm görülmüştür. 120 kN'da kiriş yan yüzünde 120 mm'de, 300 mm'de, 430-440 mm'de, 560 mm'de, 730 mm'de, 900 mm'de 0,3 mm'lik kesme çatlakları görülmüştür. Bu çatlaklar aniden kesme çatlaklarına dönüşmüştür. Üs kolonda oldukça az V çatlak belirtisi

gözlenmiştir. Boyutları 50 mm'ye 50 mm'lik bölgede 0,1 mm'den küçük belirlenmiştir. -70 kN'da kolon boyuna donatıları çatlak oluşturmaya başlamıştır. Kolon üst yüzündeki donatı eksenine dik yine tipik çatlak oluşmuştur. Alt kolondaki V çatlak genişliği 0,4 mm olmuştur. Kiriş yan yüzündeki maksimum eğilme çatlağı 150 mm mesafede 0,6 mm açıklıkta belirlenmiştir. Diğer çatlaklar 0.4 mm olmuştur. 160 kN'da kesme çatlakları yaklaşık 6 tane, boyları yaklaşık kiriş ortasına kadar ilerlemiş ve 200 mm ara ile 0,3-0,4 mm genişliğe ulaşmıştır.-80 kN'da dikdörtgen bölgedeki çatlak 0,7 mm görülmüştür. Alt kolondaki V çatlak 0,4 mm olmuştur. Kolon donatısının yük aldığı belirlenmiştir. Donatı eksenine dik çatlak 0,5 mm gözlenmiştir. Bu aşamada kirişte 5 tane 100 mm aralıklarla çatlaklar görülmüştür. Bu çatlakların en büyüğü kolona en yakın olan 0,7 mm'lik çatlaktır. Alt kolonun yan yüzünde küçük V çatlak dışında başka çatlak görülmemiştir. 170 kN'da dikdörtgen bölgedeki çatlak 3 mm genişlikte ve hala tek çatlaktır. -85 kN'da dikdörtgen bölgedeki çatlak genişlikleri yer yer 1 mm'ye ulaşmıştır. Alt kolonda 2. bir V çatlak oluşmuştur. Bu çatlak alın kirişinin alt yüzünün iç köşesinden başlayıp 45° ile kolon iç yüzüne ulaşmıştır. 180 kN'da akma gerçekleşmiştir. Bu aşamadan sonra deformasyon kontrollü gidilmiştir. Dügümde hasar oluşmuştur. Plastik mafsalları yine kirişte oluşmamıştır. Dikdörtgen bölgede artık birçok çatlak belirlenmiştir. Dikdörtgen bölge kabuk betonunda kabarma olmuştur. Üst kolondaki küçük V çatlak 0,8 mm gözlenmiştir. Bazı çatlaklar donatıyı takip etmiştir. Alt kolondaki V çatlak 0,8-0,9 mm olmuştur. -114 kN'da yine hasar dikdörtgen bölgede görülmüştür. Kolon üst yüzünde ortalarında da boyuna donatıyı takip eden çatlaklar oluşmuştur. 3 tane paralel çatlak belirlenmiştir. Tam ortadaki 1 mm, solundaki 1.5 mm, 50 mm'deki 0,8 mm görülmüştür. Büyük V çatlak ve küçük V çatlaklarda gelişmeler olmuştur. Büyük V çatlak 1,5 mm'ye ulaşmıştır. Bu çatlak alın kirişinin alt yüzünün iç kenarından başlamış, 45° ile alt kolona ulaşmıştır. Alın kirişinde de yine ezilmeye dair birtakım hasar belirtileri görülmüştür. Kirişin kolonu kestiği yüzeyde de bir çatlak belirlenmiştir. Bu çatlak 4 mm genişliktedir. 143 kN'da dayanım kaybının bundan önceki B1 elemanına göre daha fazla olduğu, B1 elemanında 2. plastik çevrimde 160 kN'a ulaştığı belirtilmiştir. Dikdörtgen bölgenin kabuğu dökülmüştür. Mafsalın artık dikdörtgen bölgede düğümde olduğu kesinleşmiştir. Boyuna donatının eğildiği görülmüştür. (Bu durum boyuna donatı burkulması değil, iki

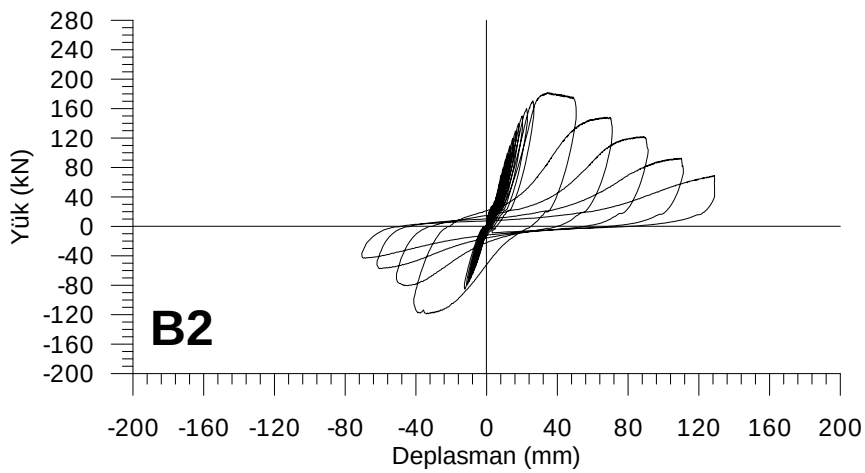
kolonun birbirine göre ötelenmesidir). -76 kN'da düğümün oldukça hasar gördüğü belirlenmiştir. Alt kolondaki V çatlaklardan küçük olanı bir eğimle büyükle birleşmiştir. Bu aşamada küçük V çatlak ön plana çıkmıştır. Küçük V çatlak genişliği 3 mm, büyük V çatlak genişliği 2 mm olmuştur. Alt kolonun iç yüzündeki donatıların yük aldığı, iç yüzdeki çatlaklardan dolayı belirginleşmiştir. 118 kN'da hasarın düğümde olduğu kesinleşmiştir. Bulonlar dikdörtgen bölgenin yüzeyindeki betonu sargılayamamıştır. Ancak düğüm bölgesinin iç kısımlarında kalan betonun oldukça sağlam olduğu görülmüştür. B1 elemanında 3. plastik çevrimde yük 130 kN'a düşmüştür. B2 elemanında ise 3. plastik çevrimde 110 kN yük belirlenmiştir. Arka yüzdeki dikdörtgen bölge betonu da kabarmıştır ama arka yüzde bulonlar görülmemiştir. 66 kN'da düğümde hasar olduğu, plastik mafsallın kirişte oluşmadığı belirtilmiştir. Alt kolonun iç yüzünde 250 mm'lik bölgede kabukta ezilme, kalkma olmuştur. Buna rağmen kolonun içinin iyi olduğu, etriyelerin yük aldığı gözlenmiştir. V çatlakların etriyelerdeki deformasyonlardan kaynaklandığı belirlenmiştir.



a) Yük geçmişi



b) Deplasman geçmişi



c) Yük-Deplasman

Şekil 4.13. B2 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük-toplam deplasman grafikleri



Resim 4.26. B2 elemanı deneyinden bir görünüş



Resim 4.27. B2 elemanında düğüm bölgesinde oluşan hasar

4.1.14. C1 deneyi

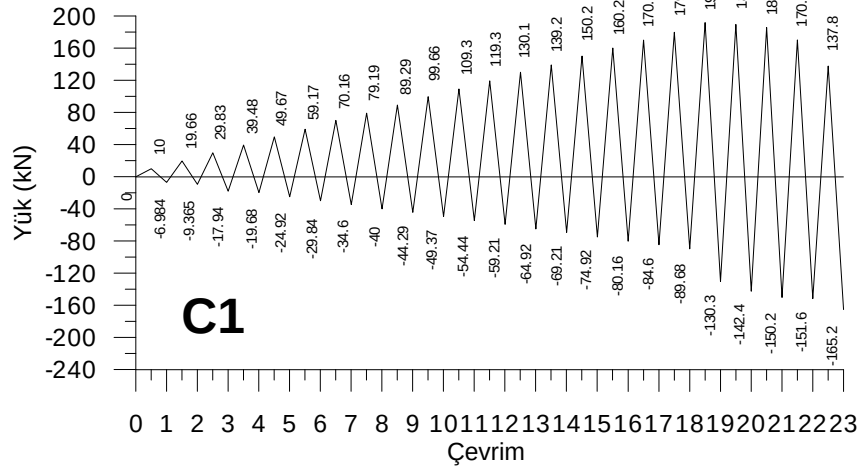
<i>Eleman Türü</i>	: Güçlendirme elemanı
<i>Güçlendirme</i>	: Var
<i>Deney Tarihi</i>	: 28/08/2009
<i>Güçlendirme Tipi</i>	:C tipi

Açıklama: Deney elemanında etriyesiz olan düğüm bölgesinin her iki kenarından 8 mm'lik ard germe bulonları geçirilmiştir. Bu bulonlar yapıya göre dış cephe tarafından alın kirişinde 4 sıra U50 profilden geçirilerek elemana hazırlanan bir L profil parça ile bağlanmıştır. Tüm bulonların üstüne 0 torkla ikinci somunlar bağlanmıştır.

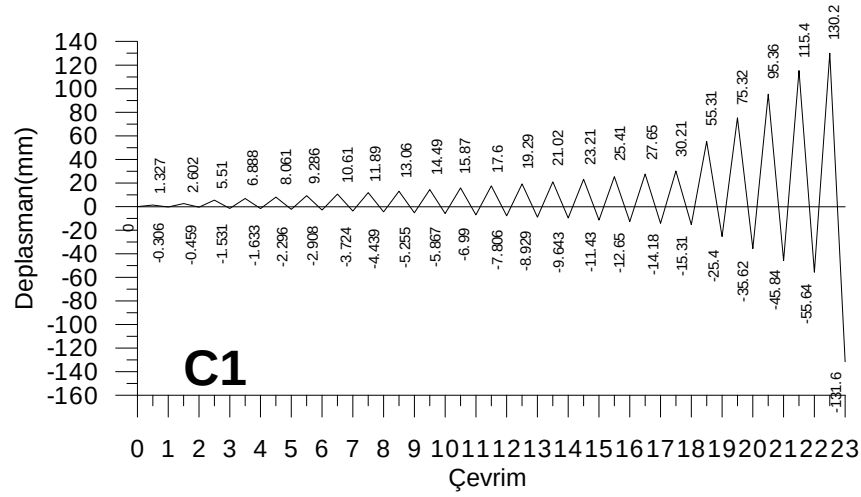
3. ileri çevrimde kiriş yan yüzünde 100-150 mm arasında ilk kılcal çatlak görülmüştür. 4. ileri çevrimde döşeme üst yüzünde üst kolon iç yüzünden 50 mm yukarıda 0.3 mm'lik çatlak oluşmuştur. 5. ileri çevrimde kirişte 400-450 mm'de döşeme alt yüzünden başlayan kılcal çatlak belirlenmiştir. 7. geri çevrimde kirişte 450 ve 150 mm'deki çatlak boyları yaklaşık kiriş yan yüzü kadar olmuştur. 8. ileri çevrimde kiriş döşeme üstündeki çatlaklar ve aralıkları 50 mm'de 0,8 mm, 150 mm'de 0,2 mm, 450 mm'de 0,1 mm'den küçük olarak belirlenmiştir. 9. geri çevrimde kiriş kolon ara kesitinde 0,5 mm'lik çatlak görülmüştür. 11. geri çevrimde alt kolon yan yüzünde 50 mm'den başlayan 45° açı yapan V çatlak oluşmuştur. 12. ileri çevrimde kiriş yan yüzünde 100 mm, 150 mm, 250 mm, 300 mm, 400 mm, 450 mm, 700 mm, 850 mm ve 1050 mm'de çatlaklar görülmüştür. 12. geri çevrimde alt kolonda iki çatlak oluşmuştur. Bu çatlaklar 100 mm'de ve kolon yan yüzünde de gözlenen 200 mm'de aralıkları 0,1 mm'lik çatlaklardır. 13. ileri çevrimde üst kolon yan yüzüyle döşeme ara kesitinde boyu ve aralığı çok belirgin olmayan bir çatlak görülmüştür. 13. geri çevrimde kirişte 250 mm'deki çatlak 45° ile kesme karakterinde kiriş yan yüzü boyunca ilerlemiştir. 15. ileri çevrimde kiriş yan yüzü çatlakları daha çok kesme karakterine dönüşmüştür. 15. geri çevrimde en büyük

kesme çatlağı 250 mm'den başlayan, 45° ile 100 mm'ye kadar ilerleyen 0,5 mm'lik çatlak olmuştur. Alt kolon yan yüzünde 200 mm'de daha önceden başlayan çatlak 45° ile 0,5-0,6 mm aralıkla alın kirişinin ortasına ulaşmıştır. 16. ileri çevrimde kiriş alt yüzünde çok az ezilme belirtisi görülmüştür. Üst kolon yan yüzünde 200 mm'den başlayıp 45° ile yan yüzden kolon ortasını bulan V çatlak oluşmuştur. Genişliği 0,4 mm gözlenmiştir. 17. ileri çevrimde arka yüz dikdörtgen bölgede bu çevrimde fark edilen, sağ alt köşeden başlayıp sol kenarın ortasına yönelmiş ve en sondaki bulonun ortasına ulaşan 0,3-0,4 mm genişlikli çatlak gözlenmiştir. Arka yüzde döşeme iç yüzü ile alın kirişi iç yüzü arasında 3 mm genişlikli çatlak görülmüştür. Bu çatlağın ön yüzde görülen aralığı 0,5 mm olmuştur. 17. geri çevrimde dikdörtgen bölgenin sağ kenarında döşeme alt yüzünden 0,8 mm kadar ayrılma olmuştur. İleri 187 kN'da akma gerçekleşmiştir. Bu aşamada beton da ezilmiştir. Kiriş betonunda ezilme boyu 100 mm, kabuk kalınlığı 5-6 mm olmuştur. Kirişte yan yüzde 100 mm'den başlayıp 45° ile aşağı ilerleyen, 2,5 mm'lik kesme çatlağı oluşmuştur. 2. Büyük kesme çatlağı ise 250 mm'de başlayıp 45° ile kiriş ortalarına kadar inen 0,9 mm'lik çatlak olmuştur. -120 kN yükte akma gerçekleşmiştir. 185 kN'da arka dikdörtgen bölge orta bulon hizasında 0,2 mm'lik çatlak görülmüştür. İleri 182 kN yükte arka dikdörtgen bölgede en büyük çatlak 1 mm genişlikli çapraz çatlak olmuştur. Kirişte ezilme derinliği 15 mm görülmüştür. Plastik mafsallık 150 mm'lik bölgede belirlenmiştir. Döşemedeki en büyük çatlak genişliği 15 mm olmuştur. -149 kN yükte plastik mafsallık 200-250 mm'lik bir bölgeye genişlemiştir. En büyük kesme çatlağı 150 mm'de 5-6 mm, 2. Büyük; 250 mm'de 3-4 mm olarak görülmüştür. Döşeme üst yüzündeki donatılardan biri burkulmuştur. Üst kolonda kayma deformasyonlarından kaynaklanan ezilme görülmüştür. İleri 160 kN'da kolonda 300 mm'ye kadar olan pas payı dökülmüştür. Kiriş alt boyuna donatıları burkulmuştur. Burkulma geniş bir bölgede olduğu için yük sehim grafiğinde deve kamburunu andıran kısımlar oluşmamıştır. Kolonlar arası doğrusallık bozulmamıştır. İleri 131 kN yükte LVDT 1'in ileri yönde kapasitesi kalmadığı için yük boşaltılmıştır. Döşümde hiçbir şekilde hasar oluşmamıştır. Kolonlar arası doğrusallıkta sapma olmamıştır. Alın kirişindeki profillerin hala sağlam oldukları tespit edilmiştir. Hasarın tamamı kirişte oluşmuştur. Plastik mafsallık yüksekliği 300 mm gözlenmiştir. Burkulma göbeği 150-200 mm'de

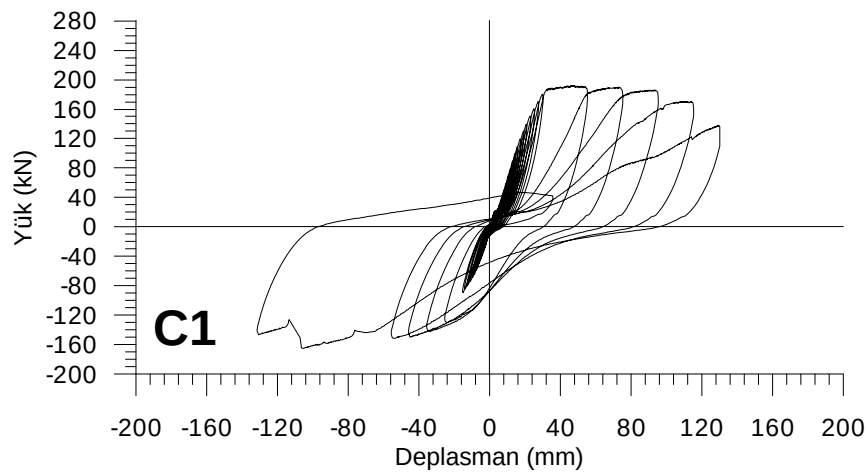
olmuştur. Geri çevrim yapılmıştır. Donatılardan biri kopmuştur. Döşeme üst yüzündeki donatılar da burkulmuştur. Deneyden sonra dikdörtgen bölgelerdeki kabuk betonları kaldırılıp bu betonların altında çatlak olup olmadığı incelenmiştir. Bir yüzdeki çatlak oldukça sınırlı, 0,1 mm genişlikte gözlenmiştir. Karşı yüzünde ise 0,5 mm'lik bir çift çapraz çatlak oluşmuştur. Uygulanan yüklerin ve deformasyonların büyüklükleri dikkate alındığında bu hasarların oldukça sınırlı olduğu görülmüştür.



a) Yük geçmişi



b) Deplasman geçmişi



c) Yük-Deplasman

Şekil 4.14. C1 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük-toplam deplasman grafikleri



Resim 4.28. C1 elemanı deneyinden genel bir görünüş



Resim 4.29. C1 elemanında kirişte oluşan hasar

4.1.15. C2 deneyi

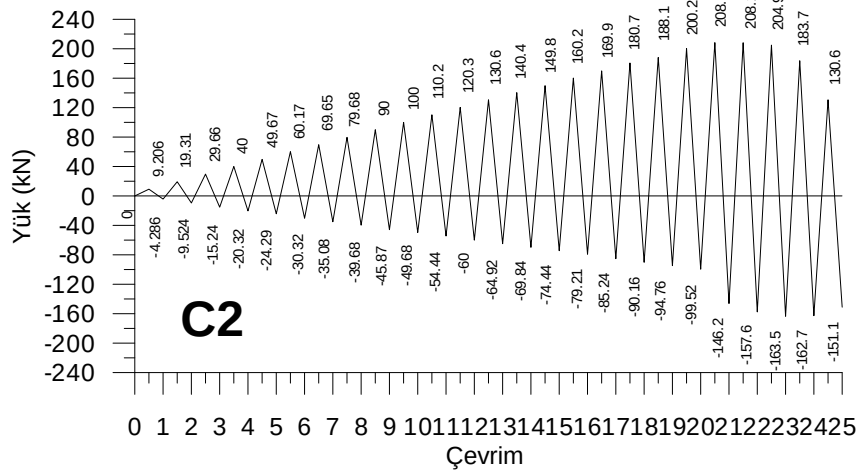
<i>Eleman Türü</i>	: Güçlendirme elemanı
<i>Güçlendirme</i>	: Var
<i>Deney Tarihi</i>	: 01/05/2009
<i>Güçlendirme Tipi</i>	:C tipi

Açıklama: C1 güçlendirmesiyle aynıdır. Farklı olarak kolona 150 kN eksenel yük verilmiştir.

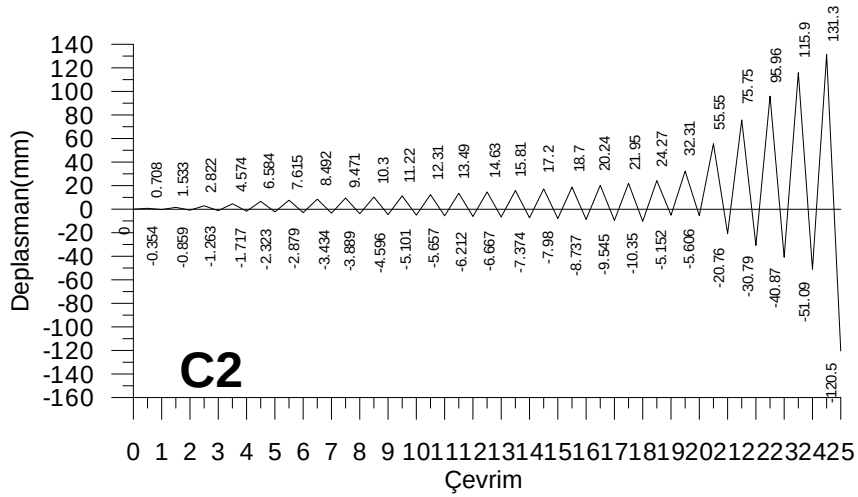
5. ileri çevrimde döşeme üst yüzünde 50 mm’de 0,3 mm’lik çatlak oluşmuştur. 5. geri çevrimde kirişte 120 mm’de kılcal eğilme çatlakları gözlenmiştir. İlerleyen çevrimlerde kiriş yan yüz ve döşeme üst yüz çatlaklarının sayısı ve aralıklarında artışlar olmuştur. 7. geri çevrimde kiriş yan yüzünde 230 mm ve 350 mm’de kesme çatlakları görülmüştür. 8. ileri çevrimde kirişte 150 mm’de 0,15 mm’lik, 450 mm’de 0,1 mm’lik çatlaklar oluşmuştur. 9. ileri çevrimde 300 mm’de 40-50 mm boyunda kiriş döşeme ara kesitinden başlayan bir kesme çatlakları gözlenmiştir. Döşeme üst yüzünde 50-320-470 mm’deki çatlaklar sırasıyla; 0,8-0,1-0,4 mm genişliklerde belirlenmiştir. 10. geri Çevrimde kirişte 250 mm, 350mm, 650 mm, 720 mm’de de kesme çatlakları belirlenmiştir. 11. ileri çevrimde üst kolon iç yüzü ile döşeme ara kesitindeki çatlak 0,2 mm olmuştur. 12. ileri çevrimde kirişteki çatlaklar kesme karakterine dönüşmüştür. 15. ileri çevrimde üst kolon iç yüzünün döşemeyi kestiği ara kesitte 40-50 mm boyunda 0,3 mm’lik çatlak oluşmuştur. 17. ileri çevrimde arka dikdörtgen bölgede sağ alt köşeden sol üst köşeye doğru olan diyagonalin ortadaki 100 mm’lik kısmında başlayan kılcal bir çatlak görülmüştür. Alın kirişi iç yüzü düzleminin döşeme üst yüzünü kestiği noktada daha önceden oluştuğu düşünülen bir çatlak gözlenmiştir. 18. ileri çevrimde arka dikdörtgen bölgedeki çatlak, sağ alt köşeye ulaşmış ancak sol üst köşeye kadar ulaşmamış, soldaki bulona kadar ilerlemiş ve 0,2 mm genişliğe ulaşmıştır. Arka yüzden üst kolonun üst donatısını takip eden 50 mm uzunluğunda 0,3 mm açıklığında bir çatlak oluşmuştur. 20. geri çevrimde alt kolonda bir V çatlak görülmüştür. İleri 205 kN yükte akma gerçekleşmiştir. Alın kirişindeki profillerin, alın kirişine büyük desteği olduğu belirlenmiştir. Kirişte

ezilme gerçekleşmiştir. 150 mm'deki kesme çatlağı 1 mm olmuştur. Kirişte 50 mm'de profilin üst hizasından içeri ilerleyen 3 mm'lik bir çatlak oluşmuştur. Arka dikdörtgen bölgedeki çatlak genişliği 0.7 mm olmuş ve sol üst köşeye ulaşmıştır. Alt kolonun üst ucunda çatlak görülmüştür. Bu çatlak alın kirişinin altından 50 mm ileride yaklaşık etriyeyi takip etmiştir. 22. geri çevrimdeyken akma gerçekleşinceye kadar yüklemeye devam edilmiştir. -145 kN yük ve -20 mm deplasmana gidilmiştir. Bu yükleme adımımda alt kolonun yan yüzünde 200X200 mm'lik 0,6-0,7 mm'lik çatlaklar oluşmuştur. Ön yüzde dikdörtgen bölgede orta bulonu takip eden bir çatlak gözlenmiştir. Bu çatlak dümdüz aşağı ilerlemiştir. Alt kolon yan yüzünde 200x200 mm boyutlarında V çatlaktan başka 250 mm'de başlayan 0,2 mm genişlikli çatlak görülmüştür. Ayrıca daha önceden 250 mm'den başlayan 50 mm'ye kadar ilerleyen 3 mm genişlikli 45°'lik ana çatlak oluşmuştur. Kolon iç yüzü ile döşeme ara kesitinde hafif ezilme belirtisi olmuştur. Döşeme donatısında burkulma görülmüştür. Arka dikdörtgen bölgede yaklaşık olarak sağ alt köşeden 50 mm yukarıda başlayan 1 mm genişlikli ve 60-70° lik, dik bir açıyla tekrar döşemeye ulaşan çatlak belirlenmiştir. Kolon çatlağı arka yüzden de görülmüştür. Ön yüzde dikdörtgen bölge sınırlarında çatlaklar oluşmuştur. Dikdörtgen bölgenin sınırlarının kolon yüzünü kestiği bölgede 1 mm'lik, dikdörtgen bölgenin alın kirişi ile kesiştiği bölgede 0,5 mm'lik, ayrıca bu aşamada dikdörtgen bölgede orta bulondan başlayan 20°'lik açıyla döşemeye ulaşan 0,2 mm'lik çatlak görülmüştür. Plastik mafsal 150 mm'lik bölge olarak görülmüştür. -156 kN'da ön dikdörtgen bölgede orta bulon hizasında 0,2 mm'den küçük çatlak oluşmuştur. Plastik mafsal yüksekliği 250 mm'ye ulaşmıştır. Üst kolon yan yüzünün döşeme üst yüzünü kestiği bölgenin ortasından başlayan, yaklaşık 60° eğimle kolonun dış kenarını bulan 0,2-0,3 mm'lik çatlak oluşmuştur. Burada bu çatlağa paralel birkaç çatlak daha belirlenmiştir. İleri 202 kN yük değerine gelindiğinde dayanımda hemen hemen hiç kayıp olmamıştır. Betondaki ezilme hala sınırlı kalmıştır. Alt kolonda alın kirişinin altından 150 mm'de başlayan, 45° ile alın kirişinin iç köşesini bulan 0.5 mm'lik bir çatlak oluşmuştur. Plastik bölge yüksekliği 300 mm olmuştur. Kirişe yan yüzden bakıldığında 2 adet kesme çatlağı görülmüştür. Bu çatlaklar 3 mm genişlikli 250 mm ve 300 mm'den başlayıp basınç bölgesine ulaşmıştır. -163 kN'da kiriş alt yüzünde boydan boya olan çatlaklardan en üstte 230 mm'deki çatlak, plastik mafsalın 250 mm'lik bölgede olduğunu doğrulamıştır. İleri

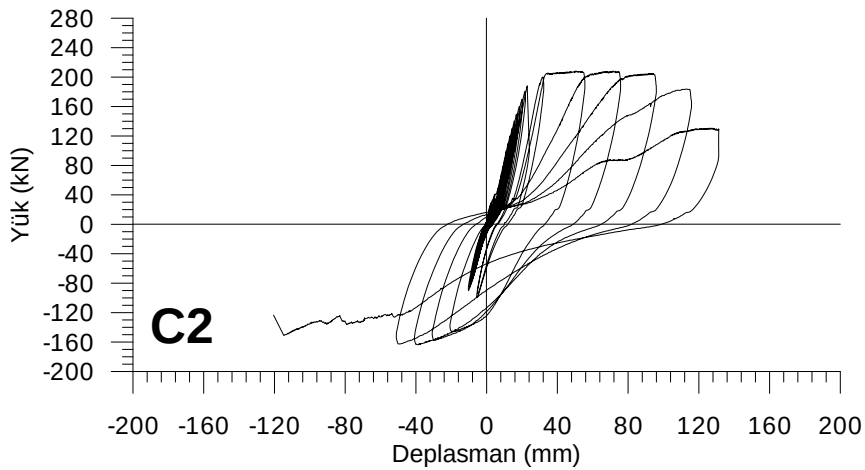
150 kN yükte kiriş alt yüzündeki boyuna basınç donatılarından ortadaki 2 donatı burkulmuştur. Etriyeler kenar donatıları tutarak burkulmalarını önlemişlerdir. Burkulmaya bağlı olarak dayanımda kayıp gözlenmiştir. Burkulmanın merkezi kolon yüzünden 150 mm mesafede belirlenmiştir. İleri 180 kN'da ezilme, donatı burkulduğu için kiriş içine doğru ilerlemiştir. Kolonlarda birtakım çatlaklar olmasına rağmen kolonlar hala sağlamlığını korumuştur. İleri plastik çevrimde donatılar burkulmaya başladığı anda yük sehim grafiğinde hafif kambur kısımlar oluşmuştur. Ancak eleman sonra tekrar yük almaya başlamıştır. Kirişte burkulan ortadaki iki donatının burkulma göbeği 150 mm olmuştur. Arka yüzdeki kenar donatı da burkulmuştur. 100 mm ve 150 mm'deki etriyeler belirgin şekilde deforme olmuştur. 200 mm'deki etriyede de bir miktar deformasyon gözlenmiştir. 0 mm ve 250 mm'deki etriyelerde neredeyse hiç deformasyon görülmemiştir. -161 kN'da kayma deformasyonunun oldukça belirgin olduğu, döşeme parçasının, çatlaktan 10-15 mm ileri kaydığı gözlenmiştir. Döşeme üst yüzündeki donatılar da burkulmuştur. Kolon doğrusallığı ve kulakçıkların doğrusallığı korunmuştur. Ezilme yaklaşık olarak kiriş ortalarına ulaşmıştır. Ağır hasarın olduğu bölge kirişteki 250 mm'lik bölgesi olmuştur. Donatıların burkulmasıyla göbekteki etriye kancası açılmıştır. -120 kN'da kiriş alt yüzünde kenardaki donatı kopmuştur. -146 kN'a gelinmiştir. Hasarın tamamı kirişte oluşmuştur. Çok başarılı, çok pratik, uygulaması kolay etkin bir yöntem geliştirilmiştir. Deneyden sonra dikdörtgen bölgelerde bulonların üstünü örten beton kabuklar kaldırılmıştır. Ön yüzde orijinal kolon yüzünde tek bir çatlak gözlenmiştir. Bu çatlak 0.1 mm'nin yarısı kadar olmuştur. Gözle ışık altında zor seçilebilmiştir. Arka yüzde ise birbirine dik 0,2 mm ve 0,1 mm'lik iki çatlak görülmüştür. Ön ve arka yüzdeki çatlak boyları 50-60 mm ile sınırlı kalmıştır. Dikdörtgen bölgenin, deneyden önceki kadar sağlam olduğu belirlenmiştir.



a) Yük geçmişi



b) Deplasman geçmişi



c) Yük-Deplasman

Şekil 4.15. C2 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük-toplam deplasman grafikleri



Resim 4.30. C2 elemanı deneyinden genel bir görünüş



Resim 4.31. C2 elemanı düğüm bölgesinin deney sonundaki görünüşü

4.1.16. D1 deneyi

<i>Eleman türü</i>	: Güçlendirme elemanı
<i>Güçlendirme</i>	: Var
<i>Deney tarihi</i>	: 20/10/2008
<i>Güçlendirme Tipi</i>	: D Tipi

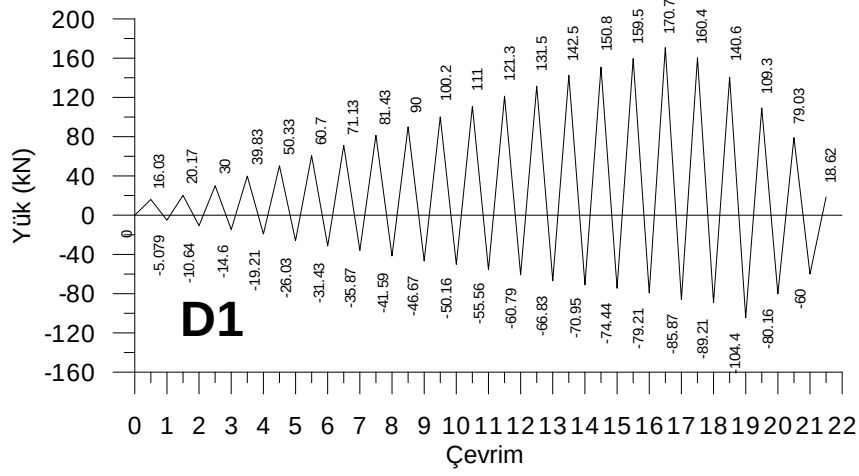
Açıklama: Bu elemanda etriyesiz bırakılan düğüm bölgesi yapıya göre kolon dış yüzünden düğüm içine ankre edilen u şeklinde bükülmüş etriyelerle güçlendirilmiştir. Etriye kollarının her biri düğüm içine doğru 400 mm uzatılmıştır.

İlk çatlak 2. geri yüklemede kirişte, kolon iç yüzünden 110 mm içeride kılcal eğilme çatlağı olarak belirlenmiştir. 5. ileri yüklemede döşeme üzerinde çatlaklar gözlenmiştir. Üst kolonun döşeme ile kesiştiği kısımda ve üst kolonun iç yüzü ile döşeme ara kesitinde kılcal çatlaklar oluşmuştur. Ayrıca yine döşeme üzerinde kolon iç yüzünden 270 mm ve 50 mm içeride kılcal çatlaklar gözlenmiştir. 60 kN yükte dikdörtgen bölgede ilk çatlak gözlenmiştir. Bu çatlak dikdörtgen bölgenin sol alt köşesinden başlayıp 45° ile dikdörtgen bölgenin üst kenarın ortasını bulan kılcal çatlak olmuştur. Kirişin yan yüzünde 110 mm’de 2.geri çevrimde oluşan çatlak, ileri çevrimde de kılcal düzeyde tespit edilmiştir. -30 kN’da kirişte kolon iç yüzünden 300 mm ve 420 mm’de kılcal çatlaklar gözlenmiştir. Dikdörtgen bölgede bir çatlak tespit edilmiştir. Bu çatlağın önceki deneylerde dikdörtgen bölgenin üst kenarında oluşan, donatıdaki çekme kuvvetlerinden kaynaklanan düşey çatlaklara benzediği görülmüştür. Alt kolonun yan yüzünde V çatlak oluşmuştur. Bu çatlak kiriş yan yüzünden 100 mm aşağıda başlamış ve alın kirişinin alt iç köşesine ulaşmıştır. 70 kN’da alın kirişinin iç yüzünün döşemeyi kestiği düzlemde döşemede çatlak gözlenmiştir. -35 kN’da kiriş yan yüzünde görünen çatlakların hepsi eğilme karakterinde belirlenmiştir. Dikdörtgen bölgedeki çatlak, dikdörtgen bölgenin sağ alt köşesinden başlamış ve dikdörtgen bölgenin üst orta kenarına ulaşmıştır. Kiriş kolon ara kesitinde kılcal çatlak oluşmuştur. 8. ileri yüklemede dikdörtgen bölgedeki çatlak aralığı artmıştır. Bu çatlak dikdörtgen bölgenin sol alt köşesinden başlamış ve bu

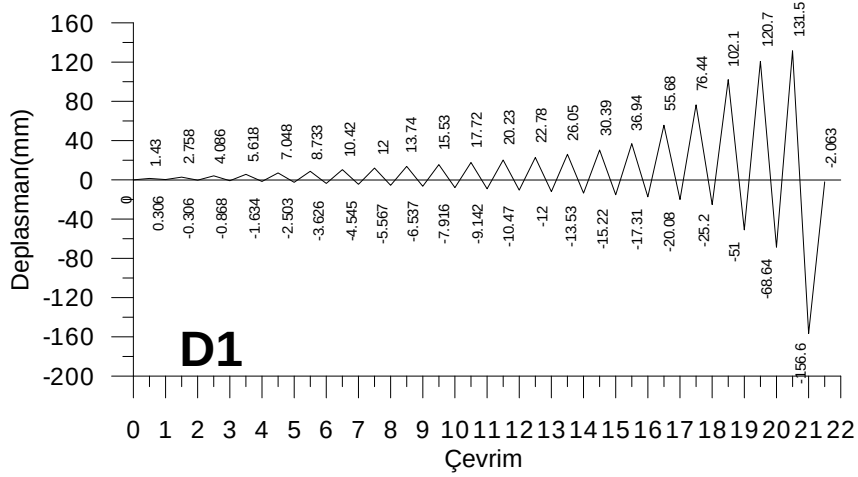
köşeden sonra alın kirişi iç yüzü ile döşemenin alt yüzü ara kesitinden ilerlemiştir. Döşemede kiriş ara kesitinden 820 mm yukarıda kılcal kesme çatlağı gözlenmiştir. Ayrıca döşemede 1050 mm de kesme çatlağı gözlenmiştir. -40 kN'da kiriş kolon ara kesitindeki çatlak aralığı 0,4 mm olmuştur. 9. ileri çevrimde dikdörtgen bölgedeki çatlak aralığı 1 mm belirlenmiştir. Bu çatlak sol alt köşeden başlayıp üst kenarın ortasına ulaşmadan kıvrılıp sağ üst köşeye ilerlemiştir. Daha sonra donatıyı takip etmiştir. Bu durum boyuna donatıda aderans çözümlerinin başladığını göstermiştir. Alın kirişinin alt yüzü ile kolon yan yüzünde 0,2 mm'lik çatlak oluşmuştur. 100 kN'da kolon iç yüzünde 250 mm ve 500 mm yukarıdaki döşeme çatlakları döşeme alt yüzüne geçmiştir. -50 kN'da alt kolonda 2. bir çatlak gözlenmiştir. Bu çatlak kiriş alt yüzünden yaklaşık 200 mm ileride başlamıştır. Kolonun yan yüzünün ortalarına kadar yaklaşık düşey ilerlemiştir. Sonra 45° açıyla alın kirişinin dış kenarının kolon dış kenarıyla kesiştiği bölgeye doğru ilerlemiştir. Diğer V çatlak genişliği 0,4 mm gözlenmiştir. Dikdörtgen bölgede 2. çatlak oluşmuştur. Bu çatlak sol üst köşeden başlayıp -45° açıyla alt kenara doğru ilerlemiştir. Ayrıca dikdörtgen bölgede kiriş alt yüzünden 50 mm içeride iç boyuna donatıya dik, 40 mm civarında çatlak gözlenmiştir. 120 kN'da kirişte yeni kesme çatlakları oluşmuştur. Yeni çatlak yan yüzle döşeme alt yüzünün ara kesitinde 300 mm'de başlamıştır. Üst kolon döşeme ara kesitindeki çatlak belirginleşmiştir. Kolonun içine doğru ilerlediği gözlenmiştir. -60 kN'da kirişte geri yüklemede kesme çatlakları oluşmuştur. Kiriş alt donatısını takip eden, boyu 50 mm'lik çatlak görülmüştür. Kiriş alt yüzünden 50 mm ve 820 mm'deki kesme çatlakları neredeyse döşeme alt yüzüne kadar ulaşmışlardır. 140 kN'da dikdörtgen bölgede ilk çatlağa paralel, ilk çatlağın altından başlayan 50-60 mm mesafede 2. bir çatlak gözlenmiştir. Arka yüzden bakıldığında dikdörtgen bölgede tek çatlak gözlenmiştir. Alt kolonda arka yüzünde bir çatlak oluşmuştur. Arka yüzdeki bu çatlak, kirişin alt yüzünün kolonu kestiği doğrultudan başlamış ve -45° açıyla kolonun dış kenarına doğru ilerlemiştir. Ayrıca pimden devam eden 0,3 mm'lik çatlak oluşmuştur. Üst kolonun arka yüzünde V çatlak görülmüştür. Bu V çatlak üst kolonun iç yüzünden dışa doğru alın kirişinin iç yüzünün bitiş noktasından başlamış ve buradan 45° açıyla üst kolonun iç yüzüne doğru ulaşmıştır. 150 kN'da dikdörtgen bölgedeki çatlak açıklıklarında artışlar gözlenmiştir. Alt kolona iç yüzden bakıldığında bir eğik çatlak gözlenmiştir. Bu çatlak kiriş alt yüzünden 150 mm

mesafede başlamış ve kirişin diğer alt yüzünde 300 mm’de kolonun karşı tarafına ulaşmış ve kolonun yan yüzünden ilerlemiştir. Üst kolon döşeme ara kesitindeki çatlak aralığı artmıştır. 160 kN’da rijitlikte bir miktar değişim olmuştur. Dikdörtgen bölge hasar almaya başlamıştır. Kiriş alt yüzünde çok az da olsa ezilme belirtisi gözlenmiştir. -80 kN’da maksimum kesme çatlağı 0,6-0,7 mm’ye ulaşmıştır. Dikdörtgen bölgedeki eski çatlaklar kapanmamıştır, yeni çatlaklarla birlikte baklava dilimi şeklini almıştır. Alt kolonda ilk oluşan V çatlağın alın kirişinin kolon yüzünü kestiği iç bölgeden başlayıp kolon iç yüzüne doğru 45° ilerlediği görülmüştür. 2. V çatlak alın kirişinin kolon yan yüzünü kestiği dış köşeden başlayıp 45° ile kolon iç yüzüne ulaşmıştır. 160 kN’da kiriş alt yüzünün kolon iç yüzüne kesiştiği noktada betonda belirgin ezilme olmuştur. 164 kN’da bu ezilmeyle eş zamanlı dikdörtgen bölgede hasarlar olduğu gözlenmiştir. -85 kN’da düğümün yeterince iyi olmamasından dolayı yükte bir düşüş görülmüştür. 156 kN’da kiriş de düğüm de taşıma gücüne ulaşmıştır. U donatıların uçları pas payı betonlarının dökülmesiyle kenarlara doğru çıkmıştır. Bu kollar, üzerlerindeki pas payları döküldüğü için yük alamamışlardır. Dikdörtgen bölge kabarmış, bu bölgedeki boyuna donatılar görülmüştür. Üst kolon döşeme ara kesitindeki çatlakta artışlar olmuştur. Bunların dışında hasar düğümde yoğunlaşmıştır. Geri 90 kN’a giderken arka yüzde de boyuna donatılar ve U etriyelerin uçları görülmüştür. Kabuk dökülmüştür ancak kolon iç bölgesi bu aşamada iç kollar sağlam olduğu için sağlam kalmıştır. Dayanımda % 15 lik kayıp belirlenmiştir. Bu aşamada iki kolon arasında deformasyon farkı pek görülmemiştir. -90 kN’da kirişteki maksimum kesme çatlağında artış olmuştur. Dikdörtgen bölgelerdeki kabuk dökülmüş veya dökülmek üzere belirlenmiştir ancak iç kollardan dolayı ezilme düğümün içine doğru pek ilerleyememiştir. 136 kN’da düğüm bölgesinde alındaki sıva kısmının en azından bir kısmı dökülmüş, burada etriyeler oldukça deforme olmuştur. Bu durum etriyelerin iyi bir sargılama basıncı sağladığını göstermiştir. Ezilme ile dikdörtgen bölgedeki kabuk tamamen dökülmüştür. Buna rağmen iç kollar bu aşamada ezilmenin içe doğru ilerlemesini engelleyememiştir. Vibratör bu kollara değdiğinde eğilmeler bükülmeler olmuş aralıklar biraz açık kalmıştır. Arka yüzün böyle olmadığı arka yüzün çok daha iyi olduğu gözlenmiştir. Yapım aşamasında U kolların delikleri açılırken olabildiğince düzgün açılması, kolların birbirine paralel olması gerektiği vurgulanmıştır. U

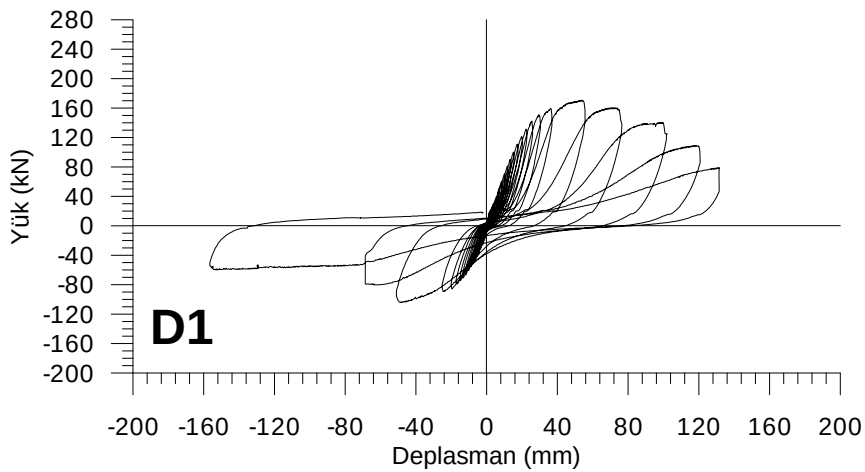
etrijelerin etkili olduğu, tam tamına monolitik bir davranış olmadığı buna rağmen U kolların ezilmenin tümünden düğüm içine geçmesini engellediğı belirlenmiştir. Bu elemandan önceki zayıf kolon+düğüm elemanlarında bu aşamalarda düğüm tümünden boşalmıştır. Burada düğümün hala çok sağlam bir bölümü gözlenmiştir. Kiriş taşıma gücüne ulaştıktan hemen sonra sistem düğümden zorlanmaya başlamıştır. Bu nedenle kayıplar devam etmiştir. Buna rağmen onarım için kabul edilebilir bir düzeyde olduğu belirlenmiştir. -100 kN’da kiriş yan yüzünde 4 adet etriyenin kollarının boşta olduğu gözlenmiştir. Bu kolların artık yük almadığı belirlenmiştir. Sadece içteki kollar yük almaya devam etmiştir. Burada yapım kalitesinin çok önemli olduğu, dış etriye kollarının kirişin içine doğru bir parça eğik yapılmasının etkili olacağı düşünülmüştür. İki kolon arasındaki doğrusallıkta bir miktar bozulmalar gözlenmiştir. Ancak bu bozulma diğer elemanlara göre çok az olmuştur. Üst kolon döşeme ara kesitindeki çatlak aralığında artış olmuştur. -72 kN’da artık geri yüklemede de dayanım kaybı başlamıştır. Bu aşamada hasar düğüme yönelmiştir. Hala U etrijelerin iç kollarının yük aldığı belirlenmiştir ama bu kollar paralel olmadıkları için etkileri sınırlı kalmıştır. İleride %15 geride %33-35’lik dayanım kaybı olmuştur.



a) Yük geçmişi



b) Deplasman geçmişi



c) Yük-Deplasman

Şekil 4.16. D1 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük-toplam deplasman grafikleri



Resim 4.32. D1 elemanı deneyinden genel bir görünüş



Resim 4.33. D1 Elemanında düğüm bölgesinden çıkan U etriye kolları

4.1.17. D2 deneyi

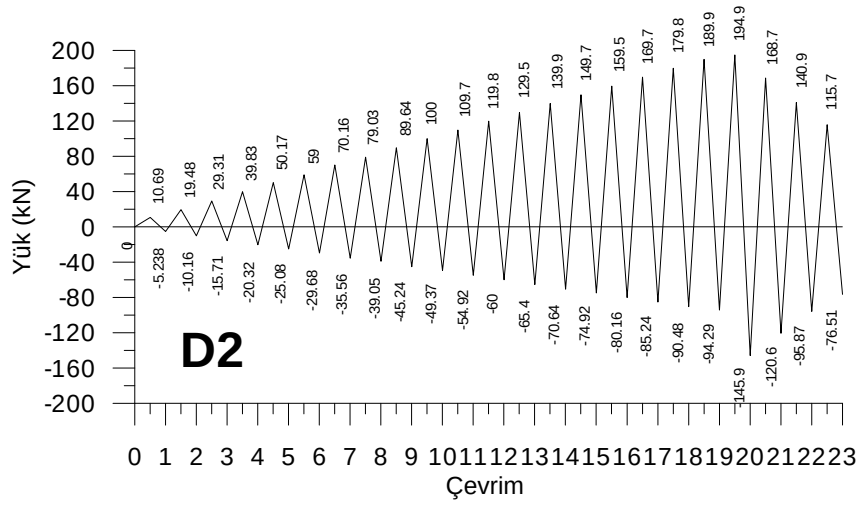
<i>Eleman Türü</i>	: Güçlendirme elemanı
<i>Güçlendirme</i>	: Var
<i>Deney Tarihi</i>	: 27/02/2009
<i>Güçlendirme Tipi</i>	:D tipi

Açıklama: D1 güçlendirmesiyle aynıdır. Farklı olarak deney elemanında kolonda eksenel yük mevcuttur.

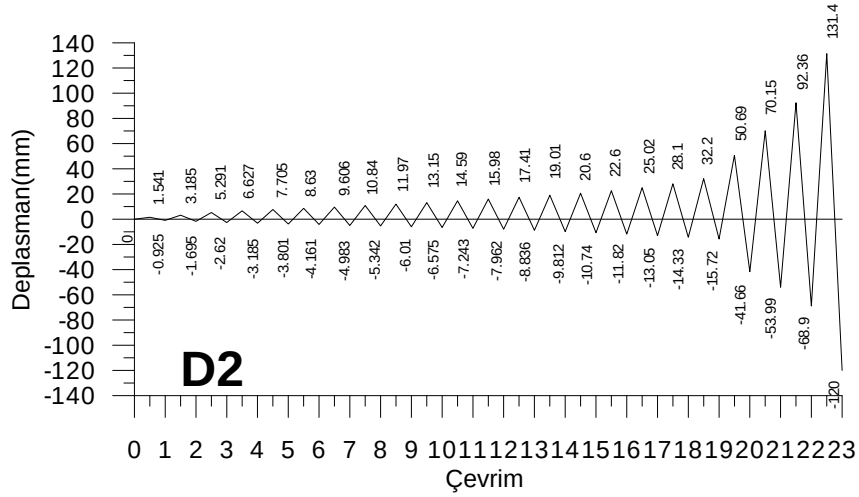
3. ileri çevrimde kirişte 150 mm’de 0.1 mm’lik eğilme çatlağı, döşeme üst yüzünde 50 mm ve 170 mm’de 0,2 mm’lik çatlak görülmüştür. 5. ileri çevrimde ($P \leq 50$ kN) dikdörtgen bölgede sol alt köşeden başlayıp boyu çok belirgin olmayan 0,1 mm’den küçük çatlak oluşmuştur. İlerleyen çevrimlerde döşeme çatlaklarının sayıları ve aralıkları artmıştır. 6. geri çevrimde kiriş çatlakları 120 mm-240 mm- 450 mm-670 mm de en büyüğü 0,15 mm olarak görülmüştür. Bu çatlaklardan en üstteki çatlak döşeme alt yüzüne ulaşmıştır. 8. ileri çevrimde alın kirişinin iç yüzünün döşemeyi üstten kestiği düzlemde 0,2 mm’lik çatlak oluşmuştur. İlerleyen ileri çevrimlerde dikdörtgen bölge çatlağının boyu ve aralığı artmıştır. Kirişte döşeme kiriş yan yüz ara kesitinden 250 mm mesafede yeni bir çatlak oluşmuştur. Boyu henüz kiriş ortalarına ulaşmamış, aralığı ise 0.3 mm belirlenmiştir. 10. ileri çevrimde dikdörtgen bölge çatlağı, alın kirişi iç yüzüyle döşeme alt yüzü ara kesitinde 0,3 mm genişlikli olarak ilerlemiştir. Kirişte 2 tane 150 mm ve 250 mm’de ikisi de 0,4 mm çatlaklar oluşmuştur. Ayrıca kirişte 440 mm’de eğilme, 570 mm’de kesme, 730 mm’de kesme olmak üzere 0,1 mm’lik çatlaklar görülmüştür. Döşeme üstünde 50 mm’de 0,7 mm, 170 mm’de 0,6 mm, 330 mm’de 0,4 mm ve 470 mm’de 0,3 mm genişlikli çatlaklar gözlenmiştir. Üst kolon iç yüzünün döşeme ara kesitinde de bir çatlak görülmüştür. 10. geri çevrimde kiriş alt yüzü ile alt kolon ara kesitinde 0,3 mm’lik çatlak oluşmuştur. 11. geri çevrimde dikdörtgen bölgede sol kenarın ortalarından başlayıp, alt kenarın ortalarına kadar ilerleyen 0,1 mm’lik çatlak oluşmuştur. Tipik çatlaklar da başlamıştır. Dikdörtgen bölgenin sağ üst köşesinden sola doğru 40 mm

mesafede başlayan ve donatıya dik olan 40 mm boyunda bir çatlak görülmüştür. 12. ileri çevrimde alın kirişi iç düzleminin döşemeyi kestiği ara kesitte 0.6 mm'lik çatlak oluşmuştur. 12. geri çevrimde donatıya paralel ve kolon iç yüzünden yaklaşık 60 mm aşağıda 0,1 mm'lik çatlak gözlenmiştir. Alt kolonda kiriş alt yüzünden yaklaşık 100 mm'de başlayıp alın kirişinin yaklaşık ortalarına kadar ilerleyen 0,2 mm'lik V çatlak gözlenmiştir. 13. ileri yüklemde dikdörtgen bölgede genişliği 1,2 mm olan, sol alt köşeden sağ üst köşeye ilerleyen tek olmayan çatlak görülmüştür. Bu çatlak aderans çatlağına benzetilmiştir. Kiriş yan yüzündeki çatlakların neredeyse tamamı kesme karakterinde gelişmiştir. En büyüğü 0,5 mm belirlenmiştir. 14. ileri çevrimde kiriş yan yüzündeki bazı çatlaklar döşeme alt yüzünü kesmiştir. Döşeme üst yüzündeki çatlakların en büyüğü 1 mm genişlikte gözlenmiştir. Diğer çatlaklar yukarı doğru küçülmüştür. 14. geri çevrimde dikdörtgen bölgedeki çatlak sol üst köşenin 50 mm altından başlayıp sağ alt köşenin 50 mm soluna kadar 0,3 mm genişlikle ilerlemiştir. 15. ileri çevrimde üst kolonda döşemeden kolona doğru 0,3 mm genişlikli 70-80 mm'de başlayıp V şeklinde tekrar yan yüzden döşemeyi bulan çatlak gelişmiştir. 16. ileri çevrimde dikdörtgen bölgede sol alt köşeden sağ üst köşeye, birbirine paralel 3 adet 2 mm'lik çatlak görülmüştür. 16. ileri yüklemde en büyük kiriş çatlağı 0,9 mm ve kesme karakterinde, diğer kesme çatlakları 0,6 mm genişlikte, üst kolon döşeme ara kesitindeki çatlak 0,8 mm belirlenmiştir. 16. geri çevrimde kiriş yan yüz çatlakları genellikle 0,5 mm-0,7 mm olmuştur. Geri 19. çevrimde dikdörtgen bölgede çatlak karmaşası olduğu, en büyük çatlağın 0,9 mm olduğu gözlenmiştir. İleri 192 kN yükte akma gerçekleşmiştir. Kiriş alt yüzünde beton belirgin şekilde ezilmiştir ancak düğüm de oldukça hasar görmüştür. Üst kolon döşeme ara kesitindeki 3 mm'lik çatlağın akmanın kirişte olduğuna işaret ettiği belirlenmiştir. Üst kolonda yeni V çatlaklar görülmüştür. Üst kolonda üst kolonun yan yüz kenarından başlayan 0,5 mm'lik çatlak 30° eğimle kolon üst yüzüne ulaşmıştır. Bu elemanın D1 elemanı ile arasındaki farkın işçilik faktöründen kaynaklandığı, eksenel yük olmadığı belirlenmiştir. U etriye kollarından biri dışarı çıkmıştır. Geri yüklemde de akma gerçekleşinceye kadar yükleme yapılmıştır. Dikdörtgen bölgede çatlak karmaşası olduğu ancak yine bu bölge betonunun katı olduğu görülmüştür. Döşeme üst yüzünde de ezilme görülmüştür. İleri 160 kN'da kirişteki ezilme ve dikdörtgen bölgedeki hasar eş zamanlı belirginleşmiştir. 140 kN yükte hasar büyük ölçüde

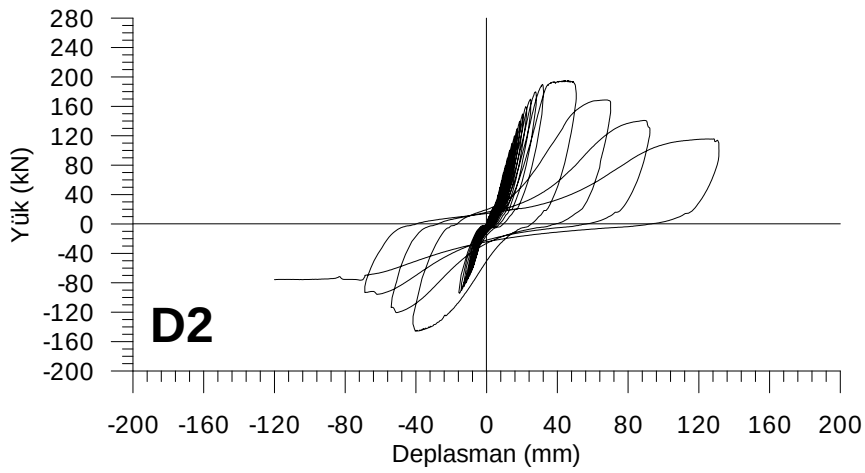
düğümüne kaymıştır. -92 kN’da dikdörtgen bölge betonu dökülmüştür, etriyelerin gergin olduğu, yük aldığı tespit edilmiştir. Ancak bu etriye kolları kolon iç yüzündeki boyuna donatıların iç yüzünden geçirilmiştir. Boyuna donatılar burkulmalara karşı tutulu değildir. Dikdörtgen bölgenin iç tarafındaki betonun bundan önceki zayıf elemanlar gibi olmadığı daha sert olduğu belirlenmiştir. Genel olarak bakıldığında U etriyelerin düzgün yapıldığı takdirde etkili olabileceği belirlenmiştir. Bundan önceki düğüm bölgesi için önlem alınmamış tüm elemanlarda bu yükleme aşamalarına gelindiğinde düğüm bölgesi betonunun tamamen döküldüğü görülmüştür. Bu elemanda düğüm kendini tutabilmiştir. Hasar büyük ölçüde düğümde oluşmuştur ama esas kırılmanın geri yüklemede kirişin kolon yüzünden ayrılmasına bakıldığında 10 mm’den fazla olduğu görülmüştür. Bu kiriş aşırı donatılı bir kiriştir. Üzerinde olabilecek en büyük yük mevcuttur. Normal şartlarda kirişte daha az donatı olması sebebiyle kirişlerde aynı miktarda U etriyelerin kullanıldığında başarılı olabileceği düşünülmüştür.



a) Yük geçmişi



b) Deplasman geçmişi



c) Yük-Deplasman

Şekil 4.17. D2 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük-toplam deplasman grafikleri



Resim 4.34. D2 elemanın deneyden sonraki görünüşü



Resim 4.35. D2 elemanında düğüm bölgesi hasarı

4.1.18. E1 deneyi

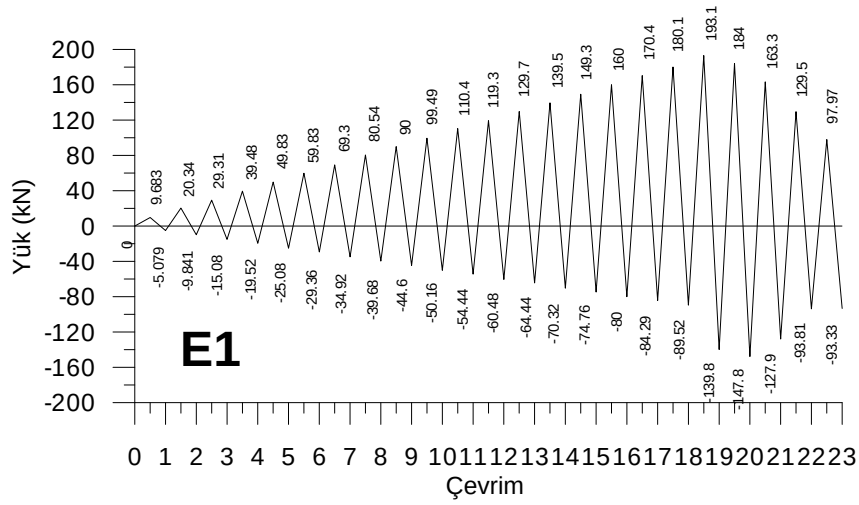
<i>Eleman türü</i>	: Güçlendirme elemanı
<i>Güçlendirme</i>	: Var
<i>Deney tarihi</i>	: 30/04/2009
<i>Güçlendirme Tipi</i>	: E tipi

Açıklama: Bu elemanda düğüm bölgesi etriyesizdir. Kolon ve kiriş etriyeleri tamdır. Alın kirişinde 4 sıra lama kullanılmıştır. Düğüm bölgesinde kolonun her iki tarafında 3'er adet 8'lik bulon (gergi çubuğu) geçirilmiştir. Üstleri beton ile kaplanmıştır. Bulonların her birinde 10 kN'luk ard germe kuvveti oluşturulmuştur. Yani düğüm bölgesi 60 kN'luk ard germe ile sargılanmıştır. Bu deneyin öncelikle eksenel yüklüsü yapılmıştır. E2 deneyi çok başarılı olmuştur. E2 elemanında kolon uçlarında kalıp söküldükten sonra boşluklar görülmüştür. Bu boşlukların eksenel yüklü elemanda sıkıntı oluşturmayaacağı düşünülmüştür. Bu nedenle öncelik E2 elemanına verilmiştir.

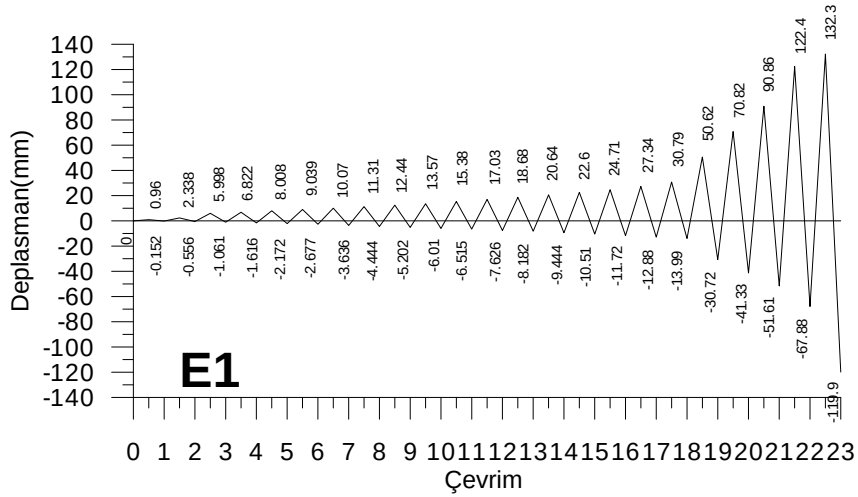
4. geri çevrimde ($P \leq 20$ kN) ilk çatlaklar kiriş gövdesinde 170 mm ve 450 mm 'de kılcal eğilme çatlakları olarak görülmüştür. 6. ileri çevrimde döşeme üst kolon ara kesitinde ve döşeme üstünde 150 mm ile 730 mm'de kılcal çatlaklar oluşmuştur. Geri 7. çevrimde ($P \leq -35$ kN) kirişte 570 mm'de kiriş alt yüzünden başlayan kiriş ortasına kadar ilerleyen kılcal kesme çatlağı gözlenmiştir. 8. geri çevrimde ($P \leq -40$ kN) alt kolon yan yüzünde kolon ucuna 50 mm mesafede yaklaşık düşey 0,1 mm'lik çatlak oluşmuştur. Bu çatlağın boyu alt kolon iç yüzünden 150 mm belirlenmiştir. Alın kirişi alt yüzünde, dikdörtgen bölge yan yüzünden 60 mm ileride 0,25 mm aralıklı boyu 30-40 mm olan bir çatlak görülmüştür. 9. ileri çevrimde döşeme alt yüzünde 120 mm, 450 mm ve 750 mm'de çatlaklar görülmüştür. 10. geri çevrimde ($P \leq 50$ kN) alt kolonda kiriş alt yüzünden 200 mm ileride, kolon iç yüzünde boydan boya ilerleyen, yan yüzde 45° ile alın kirişini bulan bir çatlak gözlenmiştir. İlerleyen çevrimlerde döşeme üstündeki çatlak aralıklarında artışlar olmuştur. 12. ileri çevrimde dikdörtgen bölgede sol alt köşeden başlayıp 45° ile sağ üst köşeye doğru ilerleyen dikdörtgen bölgenin ortasına ulaşmış 0,15 mm genişlikli bir çatlak oluşmuştur. Arka dikdörtgen bölgede de ön dikdörtgen bölgedekine benzer çatlak

gözlenmiştir. 14. ileri çevrimde dikdörtgen bölgedeki çatlak bu bölgenin ortasına kadar ilerlemiş, ortadan sonra düşey, ortadaki saplamaya paralel 0.3 mm genişliğe ulaşmıştır. 15. ileri çevrimde kiriş yan yüzünde kesme çatlakları 140-320-400-500-600-700 ve 800 mm'de genişlikleri 0,4-0,5 mm olarak belirlenmiştir. Üst kolon yan yüzünde 50x50 mm boyutlarında bu aşamada önemsiz görünen bir V çatlak oluşmuştur. Bu çatlak ön yüzde 0,1 mm arka yüzde 0,3 mm genişliktedir. 15. geri çevrimde ($P \leq -75$ kN) alt kolon yan yüzündeki kiriş alt yüzünden 200 mm mesafede başlayan çatlak 45° ile alt kolon dış yüzünün alın kirişini kestiği noktaya kadar ilerlemiş ve genişliği 0,4 mm olmuştur. 16. geri çevrimde ($P \leq -80$ kN) alt kolonun üst ucunda boyu 70-80 mm, aralığı 0,4 mm olan çatlak gözlenmiştir. 17. ileri çevrimde üst kolondaki V çatlak 100x100 mm boyutlara ulaşmıştır. 18. ileri çevrimde ($P \leq 180$ kN) dikdörtgen bölgedeki çatlak aralığı ön yüzde 1,2 mm, arka yüzde 0,9 mm olmuştur. Kirişte ezilme belirtisi görülmüştür. 189 kN yük ve 35 mm deformasyonda deney elemanında akma görülmüştür. Kiriş betonu ezilmiştir. Dikdörtgen bölgedeki çatlak aralığı 1,5 mm olmuştur. Döşeme üstündeki çatlak genişliği 4 mm'ye ulaşmıştır. -138 kN'da alt kolondaki V çatlak 1,2 mm genişliğinde, 200 mm'de başlamış ve 45° ile alın kirişine ulaşmıştır. Üst kolonda döşeme üst yüzüne 350 mm mesafede etriyeyi takip edip bir yerden sonra 45° açısı yapan bir çatlak belirlenmiştir. 180 kN'da dikdörtgen bölgedeki orta bulonun ağırlık merkezine kadar 45° ile ilerleyen çatlak orta bulonu 30-40 mm takip etmiş aralığı 1,5 mm görülmüştür. Sonra bu çatlak tekrar 45° ile profile ulaşmıştır. Döşeme alt yüzüne yakın bulonu takip eden çatlak da 1,2 mm genişlikte belirlenmiştir. Alın kirişi alt yüzüne en yakın bulonda da 0,2 mm'lik çatlak gözlenmiştir. -146 kN'da kirişteki en büyük çatlak kiriş alt yüzünden 320 mm'de başlamış, 45° ile 130 mm'de döşemeye ulaşmıştır. Genişliği 2,5-3 mm belirlenmiştir. 160 kN'da döşemeye en yakın bulonun somunu sıyrılmıştır. Somunların üst taraflarında kalan bulonlar koniktir ve payları az bırakılmıştır (2-3 mm). Bu nedenle sıyrılma kolaylaşmıştır. Kirişteki ezilme hala boyuna donatıya ulaşmamıştır. Bundan sonraki deney elemanlarında somunların üzerine 0 torkla birer somun daha ekleneceği belirtilmiştir. 126 kN'da dikdörtgen bölgenin kabuk betonundaki çatlak 8 mm görülmüştür. Arka yüzde döşemeye en yakın somun sıyrılmıştır. Sıyrılma kısmen bulondan kısmen somun dışlarından olmuştur. Arka yüzde orta bulonun somunu da düşmüştür. Bu somunun içi sıyrılmadan dolayı

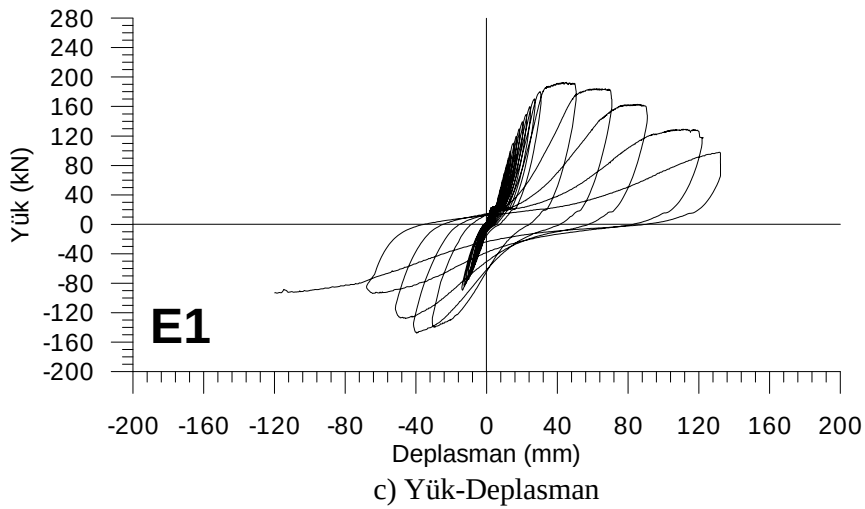
dümdüz olmuştur. Arka yüzdeki dikdörtgen bölgedeki kabuk kısmen dökülmüştür. Dikdörtgen bölgedeki bulonlarda sıyrılmadan dolayı çatlaklar düğüme doğru ilerlemeye başlamıştır. -90 kN'da orijinal dikdörtgen bölgelerde kabarmalar görülmüştür. Bu aşamada arka yüzdeki bulonların tamamının boşta olduğu görülmüştür. İki kolon arasında çok az da olsa doğrusallık farkı görülmüştür. Bulonlar büyük ölçüde işlevini yitirdiği için bu durumun doğal olduğu belirtilmiştir. Buna rağmen taşıma gücüne kırıktan ulaşılmıştır. Son anda kiriş çok yumuşamış olduğu için düğümdeki hasar sınırlı kalmıştır. -75 kN'da kiriş eksenine dik doğrultuda yaklaşık 20-30 mm'lik çatlak oluşmuştur. Arka yüzde kiriş alt yüzüne en yakın saplamanın da sıyrıldığı görülmüştür. Ön yüzdeki bulonların her üçünün de somunu düşmüştür. Geri yönde kolon doğrultusunda sapma görülmemiştir. Deney başarılı olmuştur. Uyarı niteliğinde şu sonuçlar çıkmıştır: Dikdörtgen bölgeyi sıkırtan ard germeli bulonların somunlarında (özellikle kolon eksenine dik dikdörtgen bölgeyi sıkırtan saplama somunlarında) sıyrılma olabileceği görülmüştür. Bu durumun somundan sonraki bulon paylarının biraz daha fazla bırakılmasıyla ve kontra somunla önlenebileceği düşünülmüştür. Burada kullanılan bulonlar 8 mm'lidir. Bu bulonlar üzerinde daha önceden yapılan deneylerde bulonların ve civataların standart olmadığı gözlenmiştir. Arada boşluklar olduğu için dişler tam oturmamıştır. Çap büyüdükçe bu sorunun ortadan kalkabileceği düşünülmüştür. Standart saplama kullanımının çok yararlı olacağı belirtilmiştir. Bu sıkıntılar deneyin sonlarında ortaya çıkmıştır. Plastik mafsal kırıste oluşmuştur. Bu noktada kiriş yumuşamış olduğu için artık hasar düğüme etki edememiştir. Hasar düğümde sınırlı kalmıştır. Genel olarak bakıldığında son derece başarılı bir deney olmuştur. Başarılı bir güçlendirme yöntemi oluşturulmuştur. Dikdörtgen bölgeyi sıkırtan somunlarda (ard germeli) sıyrılma (özellikle kolon eksenine dik, dikdörtgen bölgeyi sıkırtan bulonların somunlarında) olabileceği görülmüştür. Deneyden sonra kabuk betonları kaldırılmıştır. Bu kabuk betonlarında önemli çatlaklar oluşmuştur. Orijinal betonda da çatlaklar olduğu gözlenmiştir.



a) Yük geçmişi



b) Deplasman geçmişi



c) Yük-Deplasman

Şekil 4.18. E1 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük-toplam deplasman grafikleri



Resim 4.36. E1 deneyinden genel bir görünüş



Resim 4.37. E1 elemanında deneyden sonra düğüm bölgesinin görünüşü

4.1.19. E2 deneyi

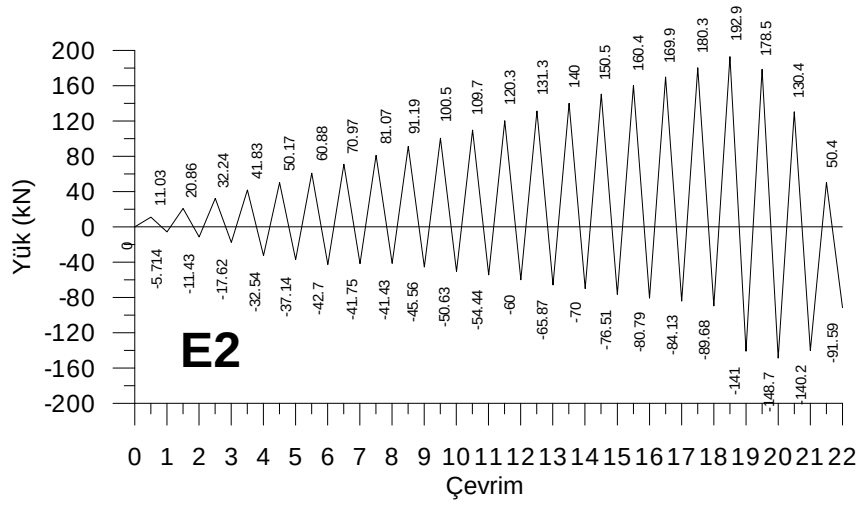
<i>Eleman türü</i>	: Güçlendirme elemanı
<i>Güçlendirme</i>	: Var
<i>Deney tarihi</i>	: 25/12/2008
<i>Güçlendirme tipi</i>	: E tipi

Açıklama: E1 güçlendirmesiyle aynıdır. Farklı olarak kolona 150 kN eksenel yük uygulanmıştır.

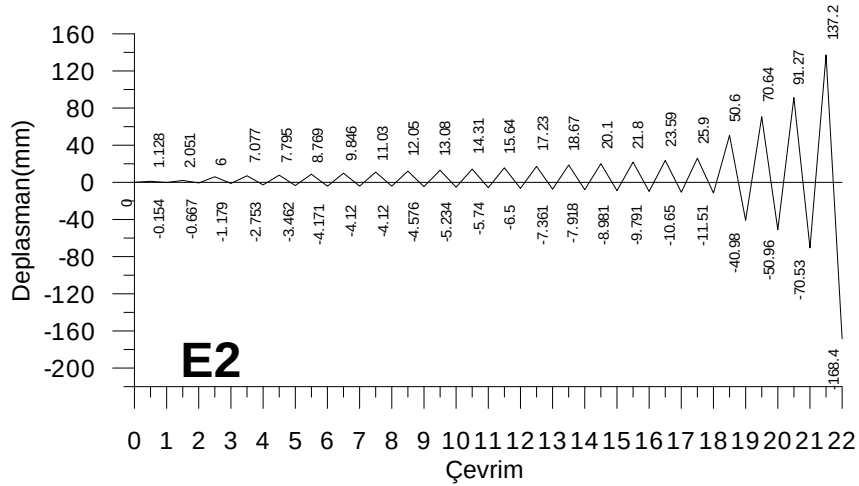
İleri 4. çevrimde ($P \leq 40$ kN) üst kolon iç yüzünden 50 mm yukarıda ilk kılcal çatlak gözlenmiştir. 37 kN'da kiriş yan yüzünde 300 mm ve 650 mm'de kesme çatlakları oluşmuştur. 6. ileri çevrimde kolon yüzünden 290 mm-470 mm- 660 mm yukarıda kılcal çatlaklar görülmüştür. 4. geri çevrimde kirişte 220 mm'de eğilme çatlağı, 350 570-700 mm'de kesme çatlağı görülmüştür. Bir tane de kirişteki köşebentin üst sınırında 0,3 mm'lik çatlak oluşmuştur. İleri 71 kN'da kiriş yan yüzünde döşeme kiriş ara kesitinden 360 mm ve 660 mm'de kesme çatlakları oluşmuştur. 100 kN'da kiriş yan yüzündeki ana kesme çatlağı döşeme kiriş ara kesitinden 400 mm yukarıda başlayıp 45° ile kiriş ortasını bulan ana kesme çatlağı 0,3 mm olmuştur. Bu çatlak bir miktar dik ilerlemiş daha sonra 45° ile kiriş ortasına ulaşmıştır. 12. ileri çevrimde kiriş yan yüzündeki ana kesme çatlağı 0,8-0,9 mm olmuştur. Bu çatlak tabliye alt yüzüne de geçmiştir. 12. geri çevrimde ($P \leq -60$ kN) kolon kiriş ara kesitindeki çatlak 0,7 mm belirlenmiştir. 13. ileri çevrimde kirişteki ana kesme çatlağının ucuyla kolon iç yüzü arasında 100 mm mesafe görülmüştür. Alın kirişinin dış köşesine 220 mm uzaklıkta kolon yan yüzüne dik, döşeme üzerinde çatlak belirlenmiştir. Üst kolon yan yüzünde 25x25 mm boyutlarında 0.1 mm'lik V çatlak gözlenmiştir. 14. ileri çevrimde kolon yan yüzünde ikinci bir V çatlak oluşmuştur. Bu çatlak boyu 70 mm'dir ve aşağıda 45° ile kolonun iç yüzüne ulaşmıştır. 16. ileri çevrimde kirişteki ana kesme çatlağı genişliği 1.2 mm olmuş ve bu çatlak neredeyse köşebentin üst ucuna ulaşmıştır. 17. ileri çevrimde dikdörtgen bölgede ilk çatlak belirlenmiştir. Bu çatlak ortadaki bulonu takip etmiş sonra bulonun ortasından sonra 90° sağa 40 mm kadar ilerlemiştir. Çatlak genişliği 0.4 mm'dir. Kiriş yan yüzündeki kesme çatlakları

ve aralıkları; 400 mm’de 1,2 mm, 500 mm’de 0,7 mm, 670 mm’de 0,7 mm, 810 mm’de 0,7 mm, 100 mm’de 0,3 mm, 107 mm’de 0,3 mm olarak gözlenmiştir. Kiriş alt yüzü ile kolon ara kesitinde çok az ezilme belirtisi olmuştur. Üst kolon yan yüz dış kenarında boyuna donatıyı takip eden boyu yaklaşık 50 mm olan 0,1 mm’lik bir çatlak görülmüştür. Arka dikdörtgen bölge de de çatlak gözlenmiştir. Bu çatlak kiriş alt yüzüne yakın olan düşey bulonu takip etmiş boyu 50-60 mm aralığı 0,1 mm olan bir çatlaktır. -85 kN’da alt kolon yan yüzünde alt kolon yan yüzünde bir V çatlak görülmüştür. -90 kN’da alt kolondaki V çatlak belirginleşmiş 50x50 mm boyutlara ulaşmış aralığı ise 0,3 mm olmuştur. 190 kN yük ve 30 mm deformasyonda akma gerçekleşmiştir. Kiriş-kolon ara kesitinde ezilme gerçekleşmiştir. Ezilme yüksekliği kirişte yaklaşık 50 mm gözlenmiştir. -140 kN’da alt kolon yan yüzünde de büyük bir V çatlak görülmüştür. Bu çatlak kolon iç yüzünden 160 mm mesafede başlayıp 45° ile kolon iç yüzüne ulaşmıştır. Çatlak genişliği yaklaşık 0,7 mm belirlenmiştir. Üst kolon yan yüzünde de eğimli bir çatlak görülmüştür. Bu çatlak kolon yan yüzünün yaklaşık ortalarından başlayıp 30° eğimle kolon dış kenarını bulmuş, dış kenarı bulmuş, dış kenarı bulduktan sonra da donatıyı takip etmiştir. Bu aşamada plastik mafsallın kirişte olduğu çok belirgin görülmüştür. Plastik mafsall bölgesi kirişte yaklaşık 200 mm’lik bölge olmuştur. Bu bölge içinde birçok çatlak görülmüştür. 70 mm deformasyon ve 173 kN yük değerinde kirişin alt yüzündeki 4 tane boyuna donatının 4 ‘ü birden burkulmuştur. Kirişteki 300 mm’lik bölgede paspayı betonu dökülmüştür. -146 kN yük değerinde alt kolondaki V çatlak 0,8-0,9 mm genişliğe ulaşmıştır. Dikdörtgen bölgedeki köşebentlerde, bulonlarda, dikdörtgen bölgede hiçbir şekilde zayıflık belirtisi görülmemiştir. 120 kN yük değerinde bu aşamaya kadar düğümde hasar olmadığı, kolonda doğrusallıklarda hiçbir şekilde bozulma olmadığı görülmüştür. Ezilme kirişin iç bölgelerine 70-80 mm kadar ilerlemiştir. Burkulan kiriş donatılarının burkulma boyu 150 mm belirlenmiştir. Güçlendirme elemanlarının tümünde kullanılan kiriş donatısı olabilecek en büyük kuvveti oluşturan kiriş donatısıdır. Donatı fazla olmasına rağmen düğümde hiçbir problem olmamıştır. İleri yüklemede basınç bölgesinde tabliye olmadığı için beton ezilmiş ve dökülmüştür. Böylece dayanım kaybı daha fazla olmuştur. Geri yüklemede tabliye basınca çalıştığı için buradaki dayanım kaybı ileri yüklemeye göre daha az olmuştur. Buradaki donatıların burkulması daha zordur. Son geri yüklemede kiriş boyuna

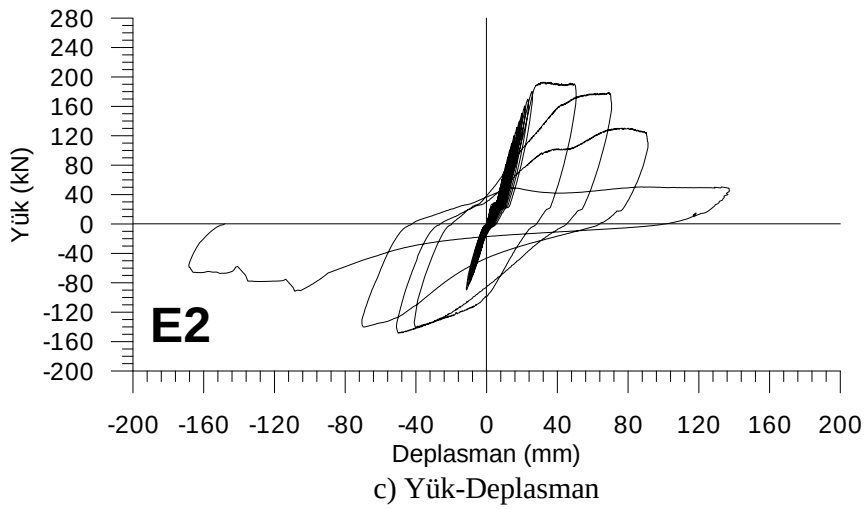
donatılarından bir tanesi kopmuştur. Son derece başarılı bir güçlendirme yöntemi geliştirilmiştir. Artık döşeme üst yüzündeki donatılar da tabi kaykılmış durumdadır. Kayma deformasyonu fazla olmuştur. Deneyden sonra dikdörtgen bölgelerdeki kabuk betonu kaldırılmış ve çatlağın orijinal yüzeye geçmediği belirlenmiştir.



a) Yük geçmişi



b) Deplasman geçmişi



c) Yük-Deplasman

Şekil 4.19. E2 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük-toplam deplasman grafikleri



Resim 4.38. E2 elemanı deneyinden genel bir görünüş



Resim 4.39. E2 elemanında kirişte oluşan hasar

4.1.20. F1 deneyi

<i>Eleman Türü</i>	:Güçlendirme elemanı
<i>Güçlendirme</i>	:Var
<i>Deney Tarihi</i>	:31/08/2009
<i>Güçlendirme Tipi</i>	:F Tipi

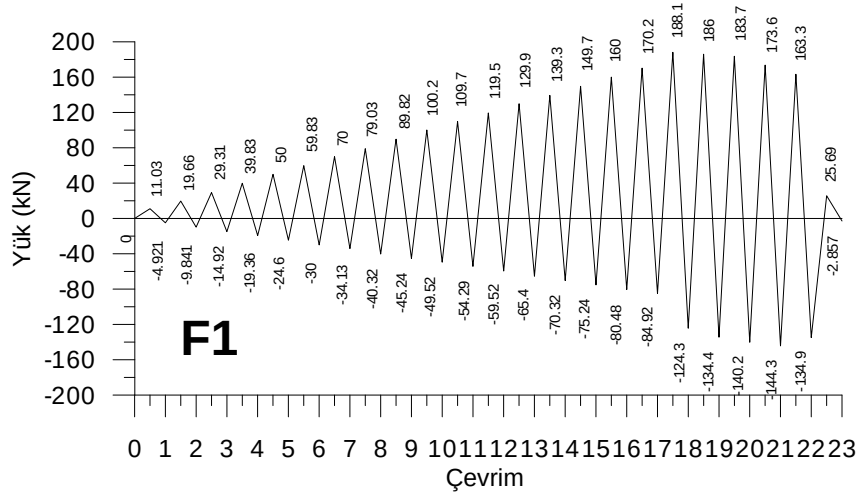
Açıklama: Deney elemanı detayı C1 elemanına benzerdir. Farklı olarak düğümdeki kuşatılmamış dikdörtgen bölgelere 5 mm kalınlıklı çelik plakalar yerleştirilmiştir. Bu çelik plakalardan geçirilen 6 adet bulona her bulonda 10 kN ard germe oluşturacak torklar uygulanmıştır (16 Nm tork kuvveti). Düğüm bölgesinde 3 eksenli gerilme altındaki eleman davranışına benzer bir sargılama uygulanmıştır. Kirişte 2h bölgesinde etriye aralığı $\phi 6/25$ mm'dir. Kiriş etriye kancaları açılmamaları için 45° ve 135° 'den fazla bükülmüşlerdir.

4. ileri çevrimde döşemede sıfır çatlağı tespit edilmiştir. 4. geri çevrimde kiriş alt yüzünde 50 mm'de kılcal çatlak oluşmuştur. İleri çevrimlerde döşeme üst yüzünde yeni çatlaklar gözlenmiştir. 5. geri çevrimde kirişte 250 mm'de kılcal kesme çatlağı belirlenmiştir. 7. geri çevrimde kolon kiriş ara kesitinde 0,3 mm'lik çatlak gözlenmiştir. 9. ileri yüklemde kiriş yan yüzünde 100 mm'de döşeme kiriş ara kesitinden başlayıp 45° ile kısa bir mesafe sonra profilin üst yüzünü bulan 0,2 mm'lik çatlak oluşmuştur. Kirişte 850 mm'deki kesme çatlağı kiriş ortasına kadar 0,2 mm genişlikte belirlenmiştir. 9. geri çevrimde alt kolon yan yüzünde 250 mm'de kolon iç yüzüne ulaşmış kılcal V çatlak gözlenmiştir. Ayrıca alt kolon yan yüzünde 0,2 mm'lik çatlak oluşmuştur. Alt kolondaki kesme çatlağı genişliği artmıştır. Bu çatlak arka yüzden de gözlenmiştir. 11. ileri çevrimde kirişte 850 mm'deki çatlak 45° ile 750 mm'ye 0,3-0,4 mm genişlikle ulaşmıştır. Kirişte 2h bölgesinde sık sargılamanın olumlu etkileri olmuştur. 14. ileri çevrimde kiriş yan yüzünde daha önce 100 mm'de oluşan 45° lik çatlağa ilave çatlaklar oluşmuştur. 200 mm'de 0,4 mm'lik bu çatlağa paralel, 350 mm'de 0,3 mm'lik çatlaklar tespit edilmiştir. Alın kirişi iç yüzü düzleminin döşemeyi kestiği yerde 0,8 mm genişlikli çatlak gözlenmiştir. 7. geri çevrimde alt kolon yan yüzündeki çatlak üst yüzde 250 mm'den başlamış alt yüzde

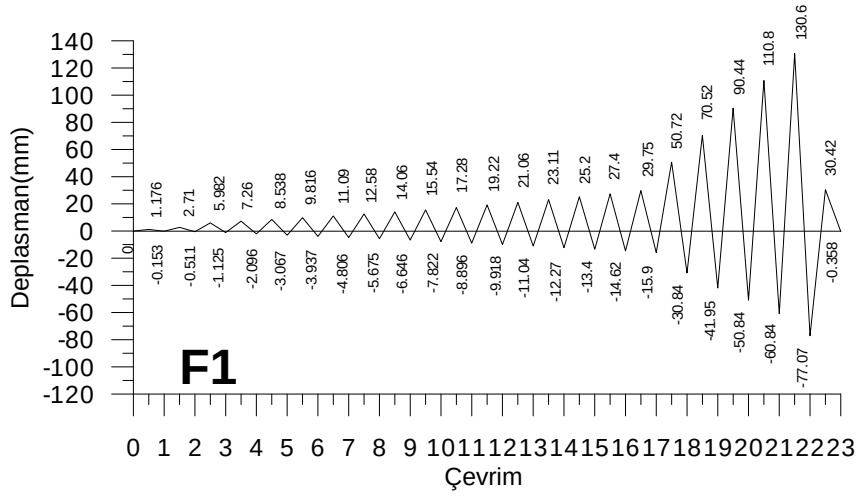
140 mm'de, boydan boya 1,2 mm açıklıkta gözlenmiştir. 15. ileri çevrimde döşeme sıfır çatlağı boydan boya 1,5 mm aralıkta görülmüştür. Bu çatlağın 0'da oluşma sebebi sık etriyenin etkisi olarak tahmin edilmiştir. 15. geri çevrimde arka yüzde, ön yüzde oluşan kesme çatlağına dik çatlak olduğu gözlenmiştir. 16. ileri çevrimde kiriş yan yüzünde 1050 mm'de 45°'den dik döşeme alt yüzü ile 30° açı yapan 0,4 mm'lik bir çatlak oluşmuştur. 16. geri çevrimde kiriş yan yüzünde 250 mm'de eğimli 0,3-0,4 mm genişlikli bir kesme çatlağı gözlenmiştir. Ayrıca 950 mm'de yatayla 20° açı yapan 0,4-0,5 mm genişlikli bir çatlak oluşmuştur. Kiriş-kolon ara kesitindeki çatlak genişliği 2-2,5 mm belirlenmiştir. Bu çatlak profilin alt yüzünden geçmiş ve kiriş içine doğru ilerlemiştir. 17. ileri çevrimde kirişte ezilme belirtisi görülmüştür. Bu aşamaya kadar kolonların doğrusallığında en ufak bir değişiklik olmamıştır. 18. ileri çevrime giderken ($P=177$ kN)'da kiriş alt yüzünde çok az ezilme olmuş, bu durum betondaki ezilmeden önce donatının aktığını göstermiştir. 185 kN'da alt kolonda üst boyuna donatıyı takip eden bir çatlak görülmüştür. Üst kolon ön ve arka yüzlerinde döşeme dış kenarından 50 mm içeride başlayıp 20° eğimle kolon iç yüzünü bulan çatlaklar oluşmuştur. -123 kN'da akma gerçekleşmiştir. Dikdörtgen bölgede döşemeye yakın ve ortadaki bulonlar doğrultusunda 0,3 mm'lik çatlaklar oluşmuştur. Bu çatlaklar arka yüzde de görülmüştür. İleri 183 kN'da kirişte 100 mm'lik bölgede ezilmenin belirginleştiği, ezilme derinliğinin 5-7 mm civarında olduğu belirlenmiştir. Kirişte konsol ucuna doğru çatlaklar sabit kalmıştır. İleri 180 kN yüklemede de kirişteki plastik mafsallık boyu 200 mm görülmüştür. Arka yüzde dikdörtgen bölgede döşemeye yakın bulon ile döşeme alt yüzü arasında kalan beton parçası üzerindeki alçı tabaka döşemenin sıkıştırması sonucu kabarmıştır. Geri 139 kN'da kirişteki plastik bölge yüksekliği 250 mm olmuştur. Bu aşamaya kadar eski elemanlarla kıyaslandığında kirişteki hasar oldukça sınırlı kalmıştır. İleri 172 kN'da kirişteki ezilme henüz etriyelere ulaşmıştır. Ezilme yüksekliği 50 mm gözlenmiştir. Alt kolon köşesindeki ezilmenin, kolon donatısı hazırlanırken kolona bağlanan Z demirden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu demir zorlanınca kolon köşesini patlatmıştır. Arka dikdörtgen bölgede kısmen hasar görülmüştür. Burada döşemeden uzak bulon doğrultusunda alın kirişinden başlayıp, 40-50 mm kadar bu bulonu takip etmiştir daha sonra sola yönelip S yapmıştır. Açıklığı 1.5 mm belirlenmiştir. Döşeme çatlaklarının en büyüğü 8-9 mm'ye ulaşmıştır. Ön dikdörtgen bölgede de arkadakine

benzer bir çatlak oluşmuştur. -143 kN yükte döşeme kolon ara kesitinde ezilme belirtisi olmuştur. 162 kN'da dikdörtgen bölgedeki hasarın çok az olduğu gözlenmiştir. -129 kN yükte D1, 70 mm'ye giderken 76 mm olmuştur. Son yapılan plastik çevrim, yük-deplasman grafiğinde bir önceki geri çevrimdeki sıçramayı belirlemek için yapılmıştır. Bu sıçramanın kiriş alt donatılarının burada oluşan çatlak etkisiyle sıyrılmasından kaynaklandığı belirlenmiştir. Deney amacına ulaşmıştır. Plastik mafsalın kirişte oluşması sağlanmıştır.

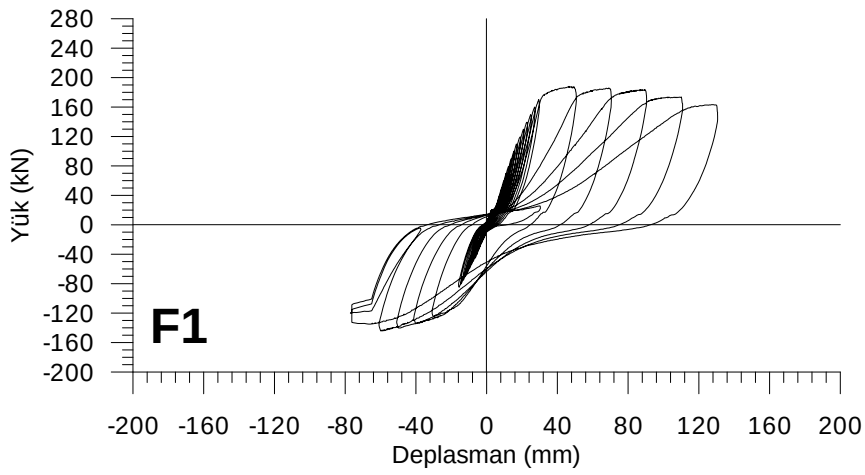
Deneyden sonra dikdörtgen bölge kabuk betonları kaldırılmıştır. Daha sonra buradaki çelik plakalar sökülmüştür. Ön dikdörtgen bölgede tam çapraz olmayan kılcal çatlaklar olduğu, arka yüzde ise hiç çatlak olmadığı görülmüştür.



a) Yük geçmişi



b) Deplasman geçmişi

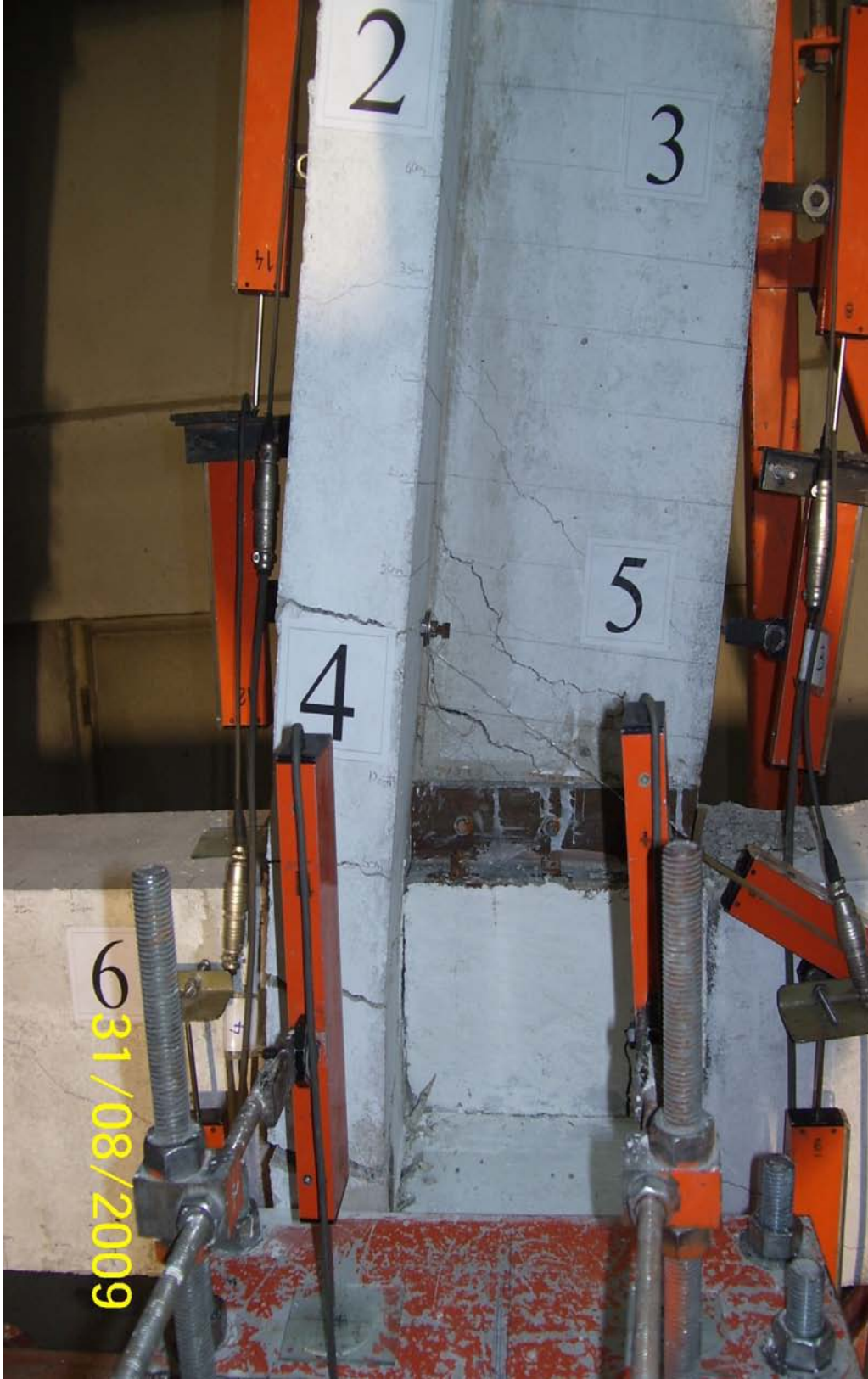


c) Yük-Deplasman

Şekil 4.20. F1 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük-toplam deplasman grafikleri



Resim 4.40. F1 elemanı deneyinden genel bir görünüş



Resim 4.41. F1 elemanında deneyden sonra düğüm bölgesinin görünüşü

4.1.21. G2 deneyi

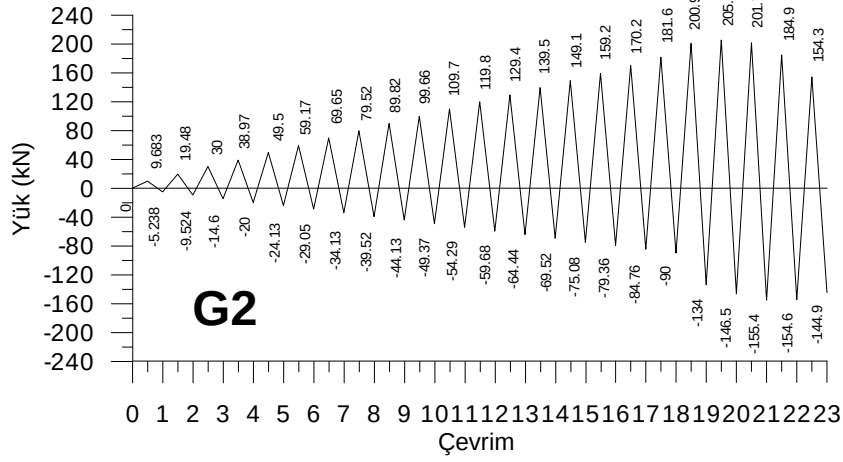
<i>Eleman Türü</i>	: Güçlendirme elemanı
<i>Güçlendirme</i>	: Var
<i>Deney Tarihi</i>	: 17/09/2009
<i>Güçlendirme Tipi</i>	:G Tipi

Açıklama: Deney elemanı detayı F1 elemanına benzerdir. Farklı olarak eksik olan kolon etriyelerini tamamlamak amacıyla U şeklinde hazırlanan etriyeler karşılıklı olarak kolona yerleştirilmiştir. Üst üste gelen etriye kollarına 50 mm kaynak yapılmıştır. Kirişte 2h bölgesinde etriye aralığı $\phi 6/25$ mm'dir. Kiriş etriye kancaları açılmamaları için 45° 'den ve 135° 'den fazla bükülmüşlerdir. Kolona 150 kN eksenel yük uygulanmıştır.

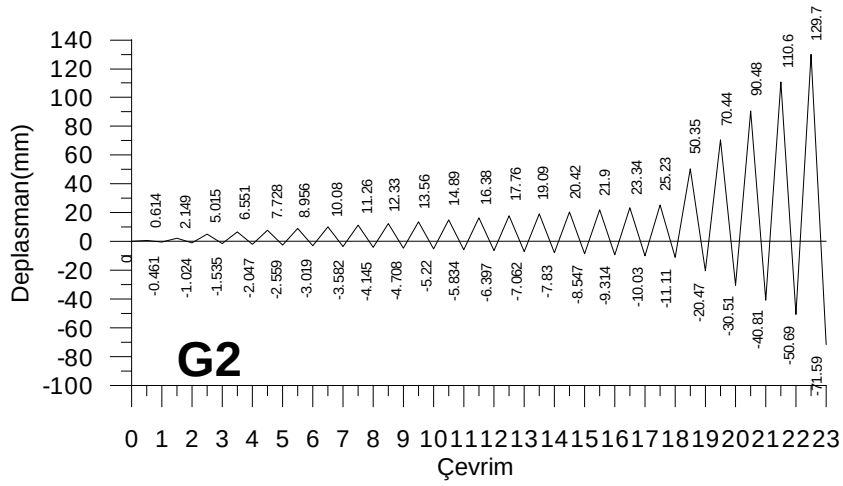
5. ileri çevrimde döşeme üst yüzünde 50 mm'de 0,3 mm'lik, 400 mm'de 0,2 mm'lik çatlaklar oluşmuştur. 3. geri çevrimde kirişte, alt yüzden başlayıp, kiriş gövdesinin ortasına kadar gelen kılcal kesme çatlağı görülmüştür. 7. ileri çevrimde kirişte 450 mm'de başlayan 45° eğimli 40-50 mm boyunda kılcal kesme çatlağı görülmüştür. Döşeme üstünde çatlak sayıları ve aralıkları artmıştır. 8. ileri çevrimde kirişte 270 mm'de kiriş ortasına kadar, yeni bir kesme çatlağı görülmüştür. 9. ileri çevrimde kirişte 850 mm'de önce 50-60 mm eğilme çatlağı olarak başlamış, sonra 45° açıyla kesme çatlağına dönüşmüş 0,3 mm'lik bir çatlak tespit edilmiştir. 11. ileri çevrimde üst kolon döşeme ara kesitinde, döşeme üzerinde 0,2 mm'lik bir çatlak oluşmuştur. 14. geri çevrimde kiriş kolon ara kesitinde 0,2 mm'lik bir çatlak görülmüştür. 15. geri çevrimde kirişteki en büyük çatlak 300 mm'de ve genişliği 0,5 mm belirlenmiştir. 16. ileri çevrimde kiriş yan yüzündeki belirgin çatlak sayısı 5 tane ve kesme çatlağı karakterinde gözlenmiştir. En büyük kesme çatlağı 300 ve 850 mm'de 0,6 mm genişlikte gözlenmiştir. Kolon döşeme ara kesitindeki ve döşemede 50 mm'deki çatlaklar 1 mm olmuştur. 18. ileri yüklemde arka dikdörtgen bölgenin alt kenarında 0,1 mm'nin yarısı kadar çatlak görülmüştür. 19. ileri yükleme yapılırken 189 kN'da akma gerçekleşmiştir. 199 kN'da kirişteki kesme çatlakları ve genişlikleri 300 mm'de 0,8 mm, 450 mm'de 0,4 mm, 600 mm'de 0,6 mm, 850 mm'de 0,4-0,5

mm olmuştur. Bu çatlakların tamamı kiriş ortasına ulaşmıştır, bazıları kiriş ortasını geçmiştir. -132 kN'da da akma gerçekleşmiştir. Kiriş kolon ara kesitinde 0,4 mm'lik çatlak görülmüştür. Ön dikdörtgen bölgede 0,1 mm'lik çatlak oluşmuştur. Ayrıca ön dikdörtgen bölgenin alt kenarı boyunca 0,2 mm'lik çatlak belirlenmiştir. Arka dikdörtgen bölgede de orta saplama hizasında 0,1 mm'nin yarısı, çatlak oluşmuştur. Arka kolonda V şeklinde bir çatlak gözlenmiştir. (İleri yüklemde hasar olmadığı sürece yük deplasman eğrisinin çıkış kolunun önceki çevrimden devam ettiği gözlenmiştir). İleri 200 kN yüklemde kirişte 150 mm ve altında 1 mm açıklıklı kesme çatlakları oluşmuştur. Kirişte basınç yüzünde ezilme başlangıcı olmuştur. Üst kolon döşeme ara kesitindeki çatlak 5 mm'ye, döşemede 50 mm'deki çatlak ise 7 mm'ye ulaşmıştır. Geri 145 kN yükte ön yüzde kolonda 200X200 mm boyutlarında 2 mm'lik bir çatlak oluşmuştur. Bu çatlak üst kenarın ortalarından başlayıp 45° ile aşağı yönelmiştir. Dikdörtgen bölgenin alt kenarında 0,5 mm'lik ayrılma görülmüştür. Geri yüklemde plastik bölge yüksekliğinin 300 mm olduğu belirlenmiştir. Bu bölge içinde 4-5 tane kesme ve eğilme çatlakları belirlenmiştir. En büyük çatlak genişliği 6 mm olmuştur. Bu çatlak kirişteki ilk bulona ulaşmıştır. Alt kolondaki V çatlak arka yüzden 1,5 mm olarak görülmüştür. İleri 182 kN'da kiriş alt boyuna donatılarında burkulma görülmüştür. Ezilme bölgesinin yüksekliği 150 mm olmuştur. Etriyeler çok sık olduğu için boyuna donatıyı zorlamış ve tutmuştur. Geri 152 kN'da üst donatıda kaykılmadan dolayı deformasyon olmuştur. (Donatıda gözlenen deformasyon burkulma değildir). Deney elemanı bu kadar deformasyon yapmış olmasına rağmen dikdörtgen bölgelerde hala hasar oluşmamıştır. Alt kolondaki 200X200 mm boyutlarındaki V çatlak 2,5 mm açıklıkta tek olarak ve ilerlemeden kalmıştır. Plastik bölge yüksekliği 300 mm olmuştur. Etriyelerin sıkı sargılaması devam etmiştir. İleri 151 kN'da LVDT 1'in kapasitesi bittiği için ileri çevrim yapılmamasına, bir geri çevrim yapılmasına karar verilmiştir. Donatıların iyice burkulmuş olmasına rağmen etriyeler boyuna donatıları sıkı bir şekilde tutmayı sürdürmüşlerdir. Dikdörtgen bölgeler hem önde hem arkada mükemmel yakın bir şekilde hasarsızdır. Plastik mafsalları kirişte oluşmuştur. Bu deney de F1 kadar belki kolon açısından F1'den daha başarılı olmuştur. Düğümde hiçbir hasar belirtisi olmamıştır. Sadece alt kolonda V çatlak oluşmuştur. Bu çatlak da deney sonunda 3 mm'ye ulaşmıştır. Deneyden sonra dikdörtgen bölgelerde sonradan yapılan kabuk

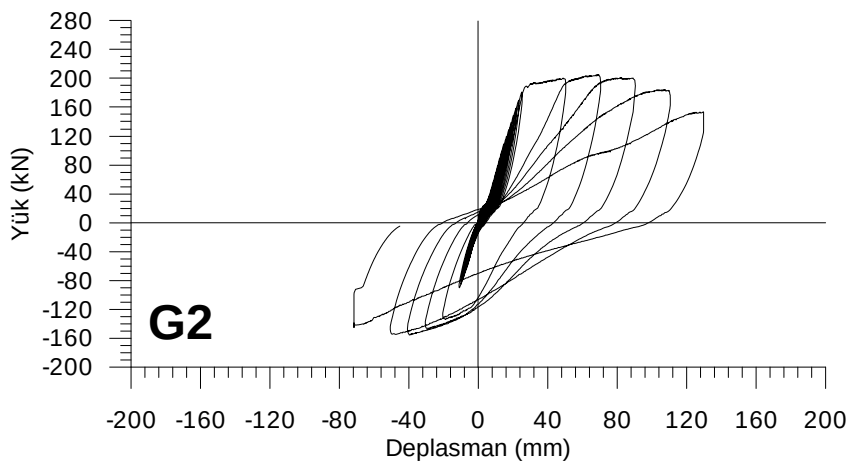
betonları kaldırılmıştır. Elemanın dikdörtgen bölgelerinde çatlak olmadığı belirlenmiştir.



a) Yük geçmişi



b) Deplasman geçmişi



c) Yük-Deplasman

Şekil 4.21. G2 elemanı yük geçmişi, deplasman geçmişi ve yük-toplam deplasman grafikleri



Resim 4.42. G2 elemanının kolonunun kesmeye karşı güçlendirilmesi



Resim 4.43. G2 elemanı deneyinden genel bir görünüş



Resim 4.44. G2 elemanında deneyden sonra düğüm bölgesinin görünüşü ve kirişte oluşan hasar

4.2. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde deney sonuçları değerlendirilmiştir. Deney elemanlarının sergilemiş olduğu belirgin davranışların nedenleri açıklanmaya çalışılmış ve tartışılmıştır. Sonuçlar referans eleman ile karşılaştırılarak, deney elemanlarının yük-deplasman, moment-eğrilik, rijitlik, enerji tüketimi ve süneklik kapasiteleri üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır.

RC1-R2 elemanı eksenel yüksüz elemanların referans elemanı, RC2 ise eksenel yüklü elemanların referans elemanıdır. RC1-R2 deneyinde deney sistemini rijit duvara bağlayan çelik profilin ezilmesine bağlı olarak deneyin belirli bir aşamasından sonra bu elemana sadece tek yönde yük uygulanabilmiştir. Dolayısıyla eksenel yüksüz elemanların RC1-R2 ile kıyaslanma imkanı kalmamıştır. Ancak hazırlık aşamasında yapılmış olan ve bazı nedenlerle değerlendirme dışı bırakılmış olan iki referans elemanı daha yapılmıştır. Bu elemanlarda, plastik mafsal kirişte olduğu sürece eksenel yükün referans eleman davranışını değiştirmedığı görülmüştür. Bu nedenle tüm elemanlar tek bir referans elemanı (RC2) ile karşılaştırılmıştır.

Genel olarak çalışma kapsamında hazırlanan güçlendirme elemanları 2 gruba ayrılabilir. Birinci grupta başarılı güçlendirme elemanları dışında kalan güçlendirme elemanları yer almaktadır. Bu elemanlar A, B, D tipi güçlendirmelere sahip elemanlardır. İkinci grupta ise başarılı güçlendirme elemanları bulunmaktadır. Bu elemanlar C, E, F ve G tipi güçlendirmelere sahip elemanlardır. İlkesel olarak her grup, kendisine benzer elemanlar içermektedir. Zaman zaman anlatımlar içinde A, B, D elemanları birinci grup, C, E, F, G elemanları ise ikinci grup olarak adlandırılmıştır. Birleşimi etriyesiz ve kolonları eksik etriyeli elemanlar ise zayıf elemanlar (W-grubu) olarak adlandırılmıştır. Ayrıca elemanların bazılarının kolonlarına ölü yüklerden kaynaklanan eksenel yükleri temsilen sabit bir eksenel yük ($N_g=150$ kN) uygulanmıştır.

Zayıf elemanlar, (W-grubu elemanlar: WJ1, WJ2, WC1a, WC1b, WC1c, WC1d, WC2d):

Bu gruptaki elemanlar, düğüm bölgesi etriyesiz ve kolonları çeşitli düzeylerde eksik etriyeli elemanların davranışını belirlemek amacıyla hazırlanmış ve test edilmişlerdir. Bu elemanlar WJ1, WJ2, WC1a, WC1b, WC1c, WC1d ve WC2d elemanlarıdır. Bu elemanların hiçbirinin birleşim bölgesinde etriye koyulmamıştır. Kolon etriyeleri ise yazılış sırasına göre gittikçe seyreltilmiştir.

Bilindiği gibi birleşim bölgesi etriyesiz yapılan kolonların birçoğunun pas payı, eksenel sünme deformasyonlarının etkisi ile zamanla dökülmekte ve dış taraftaki kolon boyuna donatılarının aderansı yok olmaktadır. Birçok durumda aynı etkilerden dolayı kolon dış boyuna donatıları burkulmaktadır. Uygulamadaki bu durumu benzeştirmek için WC1c dışındaki elemanların hiç birinde bu pas payı oluşturulmamıştır. Bu amaçla kolon dış yüzünün, birleşimi de içine alan, bir bölümüne beton dökümü sırasında strafor koyulmuştur. Ancak WC1c elemanında aynı bölgeye strafor koyulması unutulmuştur.

Birinci gruptaki güçlendirme elemanları (A, B, D):

A-tipi güçlendirme tekniğinde alın kirişi ile kenar kolonlara dış yüzden u-profiller yerleştirilmiş ve bu profiller birleşim bölgesine, alın kirişine ve kolonlara bulonlarla ankre edilmiştir. Birleşim bölgesindeki ankraj bulonları, bu bölgede oluşan kesme kuvvetlerini alabilmesi için olabildiğince uzun tutulmuştur. Ankraj bulonlarının beton içerisine gömülü boyu 400 mm'dir. Ayrıca döşeme üst yüzünde ve kiriş alt yüzünde, elemana ankraj bulonlarıyla bağlanmış U profiller yerleştirilmiştir. Bu profiller alt ve üst kolonlarının hareketlerini engellemek için kullanılmıştır. A tipi güçlendirmeye ait detay çizimleri şekil 3.10 ve şekil 3.16'da verilmiştir.

B-tipi güçlendirme tekniği de A-tipinin benzeri olup bu yöntemde sadece alın kirişinin dış yüzü üzerinde u-profiller kullanılmış ve bu profiller alın kirişine ve birleşime benzer olarak ankre edilmiştir. B tipi güçlendirmeye ait detay çizimleri şekil 3.11 ve şekil 3.16’da verilmiştir.

D-tipi güçlendirmede ise dış yüzden geçen kolon boyuna donatıları “u” şeklinde hazırlanmış olan etriyeler ile birleşim bölgesine bağlanmıştır. Bu elemanda da birleşim bölgesindeki kesme kuvvetlerine karşı u-etriyelerin bacakları, birleşim bölgesinde olabildiğince uzun tutulmuştur. D tipi güçlendirmeye ait detay çizimleri şekil 3.13 ve şekil 3.16’da verilmiştir.

İkinci gruptaki güçlendirme elemanları (C, E, F G):

C-tipi güçlendirme tekniğinde, alın kirişi üzerine birbirine paralel ve boyları kolon genişliğinden biraz daha uzun u-profiller yerleştirilmiştir. Daha sonra bu profillerin uçlarındaki ve alın kirişi üzerindeki deliklerden bulonlar geçirilmiştir. Bulonların diğer uçları ise ana kiriş gövdesine bağlanmış olan L-profillere ard germeli olarak sıkıştırılmıştır. Böylece hem kolon boyuna donatıları baskılanarak burkulmaları ve/veya kolon yüzünden ayrılmaları önlenmiş hem de ard germeli bulonların birleşim bölgesindeki kesme kuvvetlerini alması ve birleşim bölgesini sargılaması sağlanmıştır. C tipi güçlendirmeye ait detay çizimleri şekil 3.12 ve şekil 3.16’da verilmiştir.

E-tipi güçlendirme tekniği, C-tipi ile oldukça benzerdir. Bu yöntemde u-profiller yerine lamalar kullanılmış ve lamalar aynı zamanda kolona da ankre edilmiştir. Bu anlamda bakıldığında C-tipi güçlendirme tekniği kolon içinde herhangi bir işlem gerektirmediğinden daha kolay uygulanabilmektedir. Ancak E-tipinde yapı dış yüzeyindeki çıkıntı diğerlerine göre daha azdır. E tipi güçlendirmeye ait detay çizimleri şekil 3.14 ve şekil 3.16’da verilmiştir.

F-tipi güçlendirme tekniği de C-tipi ile oldukça benzerdir. F-tipinde, C-tipinden farklı olarak kolon yan yüzündeki kuşatılmamış dikdörtgen bölgeler karşılıklı olarak çelik levhalar ile birbirlerine ard germeli olarak bağlanmıştır. Böylece birleşim bölgesi her üç ekseninde de baskılanarak oldukça etkili bir sargılama sağlanmıştır. F-tipi güçlendirme elemanın kirişinde, kiriş yüksekliğinin iki katı kadar olan bir bölgede etriye aralığı diğer elemanlardaki etriye aralığının yarısı kadar yapılmıştır. Ancak buradan, diğer elemanlarda bir tasarım hatası yapılmış olduğu sonucu çıkartılmamalıdır. Bu işlem, sadece kirişin olabildiğince uzun süreli dayanıp, mevcut birleşimi ve güçlendirme elemanlarını oldukça ağır koşullar altında test etmek için yapılmıştır. F tipi güçlendirmeye ait detay çizimleri şekil 3.15 ve şekil 3.16'da verilmiştir.

G-tipi güçlendirme elemanı aslında F-tipi ile tamamen aynı olup bu elemanın kolonları da kesmeye karşı, sonradan eklenen etriyelerle güçlendirilmiştir. G tipi güçlendirmeye ait detay çizimleri şekil 3.15 ve şekil 3.16'da verilmiştir.

4.2.1. Davranış ve dayanım

Deney elemanlarının yük-deplasman zarf eğrileri Şekil 4.22, 4.29, 4.32, 4.36-4.40 ve 4.44'te verilmiştir. Hemen arkasından da zarfı oluşturan grubun yük-sehim grafikleri ayrı ayrı verilmiştir. Bunun yanında referans elemanlara göre her plastik çevrimdeki dayanım oranları çizelge 4.1'de verilmiştir. Deney elemanları gruplara ayrılarak değerlendirme yapılmıştır. Zarf eğrilerinden yararlanılarak dayanım üzerine genel yorumlar verilmiştir. Ayrıca bu kısımda rijitliklerle ilgili genel yorumlarda da bulunulmuştur, daha geniş yorumlar ise ayrı bir bölümde sunulmuştur.

Zayıf elemanlar (W-Grubu deneyler)

Genel olarak bu elemanların (WJ1, WC1a, WC1b, WC1c, WC1d, WC2d, WJ2) referans elemanı ile zarf diyagramları karşılaştırıldığında (Şekil 4.22. ve Şekil 4.29.) tüm zayıf elemanların dayanımlarının ileri ve geri çevrimlerde referans eleman dayanımının altında kaldıkları gözlenmiştir. Referans eleman taşıma gücüne oranları

%40 (WC1a) ile % 90 (WC2d) değişim göstermiştir. İlk bakışta kolonları en seyrek etriyeye sahip elemanlardan biri olan WC2d elemanında, zayıf elemanlara göre en büyük dayanıma ulaşılması çelişki gibi gözükmemektedir. Ancak bilindiği gibi kesme dayanımını etkileyen parametrelerden biri de betonun çekme dayanımıdır. Bu elemanın beton dayanımı diğer zayıf elemanlara göre, göreceli olarak büyük olduğu için dayanımda böyle bir artış gözlenmiştir. Zaten beton kesme dayanımına ulaşıldıktan hemen sonra dayanımda hızlı kayıplar başlamıştır, Şekil 4.31.

Çizelge 4.1 incelendiğinde zayıf eleman dayanımlarının referansa göre önemli ölçüde küçük olduğu görölmektedir. WC1a ve WC1b elemanlarında ileri ve geri çevrimlerde yaklaşık sabit dayanım oranları gözlenmiştir. Diğer elemanların bazılarında ise çevrim sayısına bağlı olarak dayanımda hızlı düşüşler oluşmuştur. Birleşimi etriyesiz, ancak kolonları diğer zayıf elemanlara göre göreceli olarak iyi olan WJ1 ve WJ2 elemanlarında eleman hasarlarının büyük bir kısmı birleşim bölgesinde oluşmuştur. Bu elemanların kolonlarında önemsenebilecek düzeyde bir hasar oluşmazken, birleşim bölgesindeki beton tamamen dökülerek boşalmıştır. Diğer elemanlarda ise birleşim bölgesi ve kolonda ağır kesme hasarları oluşmuştur. Bazı elemanlarda kolon hasarları belli bir düzeye ulaştıktan sonra kiriş alt boyuna donatıları, kolonun ezildiği kısımdan sıyrılmıştır. Daha sonra da sistem stabilitesini yitirmiştir. Gerçek bir yapıda böyle bir kolonun bina altında durması neredeyse imkansızdır.

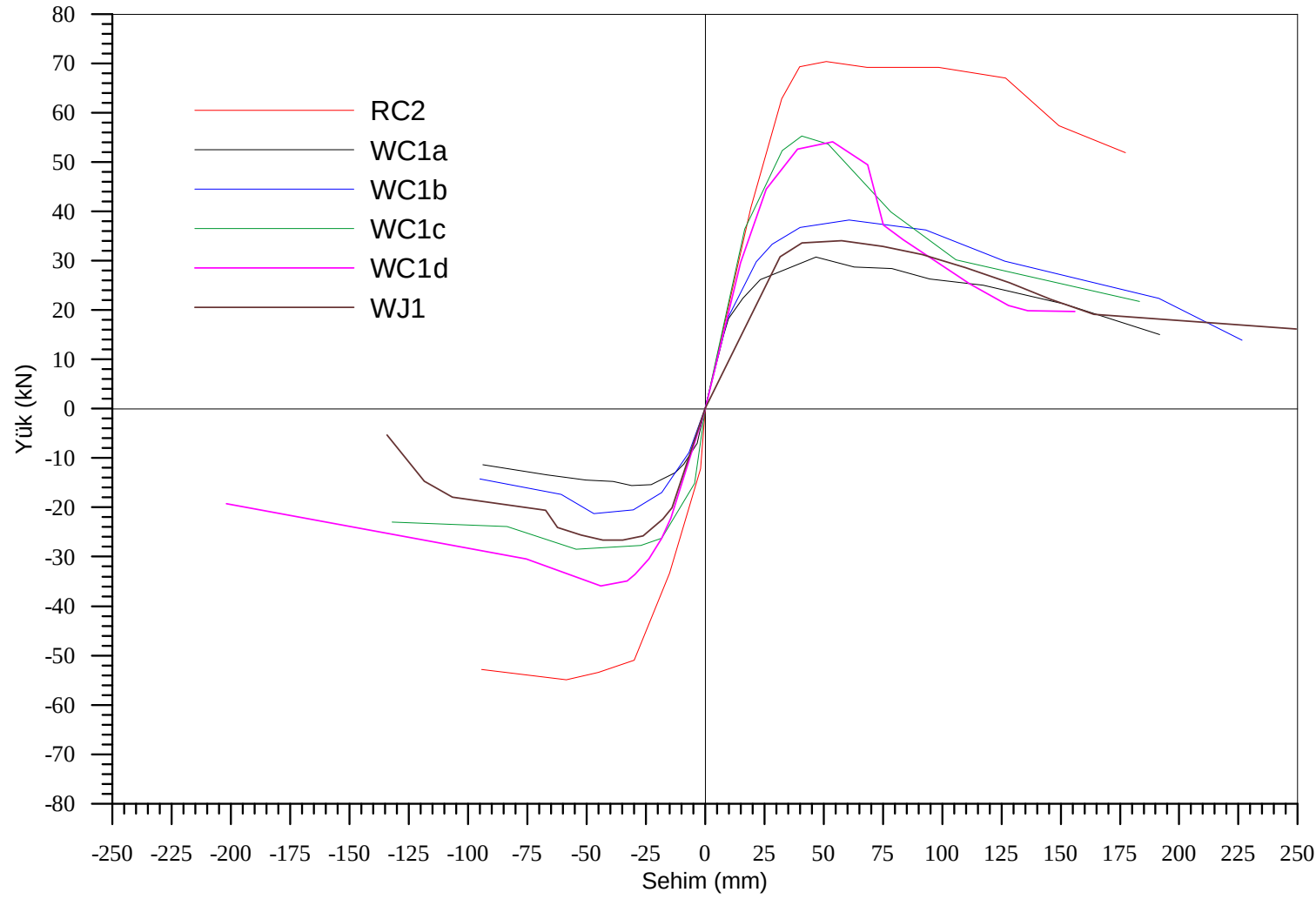
Genel olarak zayıf düğümlü ve/veya eksik etriyeli elemanların tamamında kolonlar kiriş yüzeylerinden ayrılarak önemli ölçüde çıkma eğilimi göstermişlerdir (bkz. resim 4.15.) Ancak bu elemanların hiç birinde tam bir ayrılma oluşmamıştır. Bu duruma yükün yarı dinamik olmasının yanı sıra kolon iç boyuna donatılarındaki kaldıraç etkilerinin neden olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada kolon boyuna donatılarının bindirmeli ekleri herhangi bir aderans sorunu yaşanmaması için standartlara uygun olarak yapılmıştır. Buna bağlı olarak bu bölgedeki kaldıraç etkisi azımsanmayacak kadar artmış ve bu da kolonun kiriş yüzeylerinden ayrılmasını engellemede önemli bir etken olmuştur. Oysa denetimsiz ya da yeterince denetlenmemiş eski yapıların çoğunda bindirme bölgelerinin standartlara uygunluk

açısından çok yetersiz kaldığı bilinen bir gerçektir. Dolayısıyla bu gibi yapılarda kolonların giriş altlarından sıyrılıp çıkmasının ve bir göçme yaşanmasının kaçınılmaz olduğu bilinmelidir.

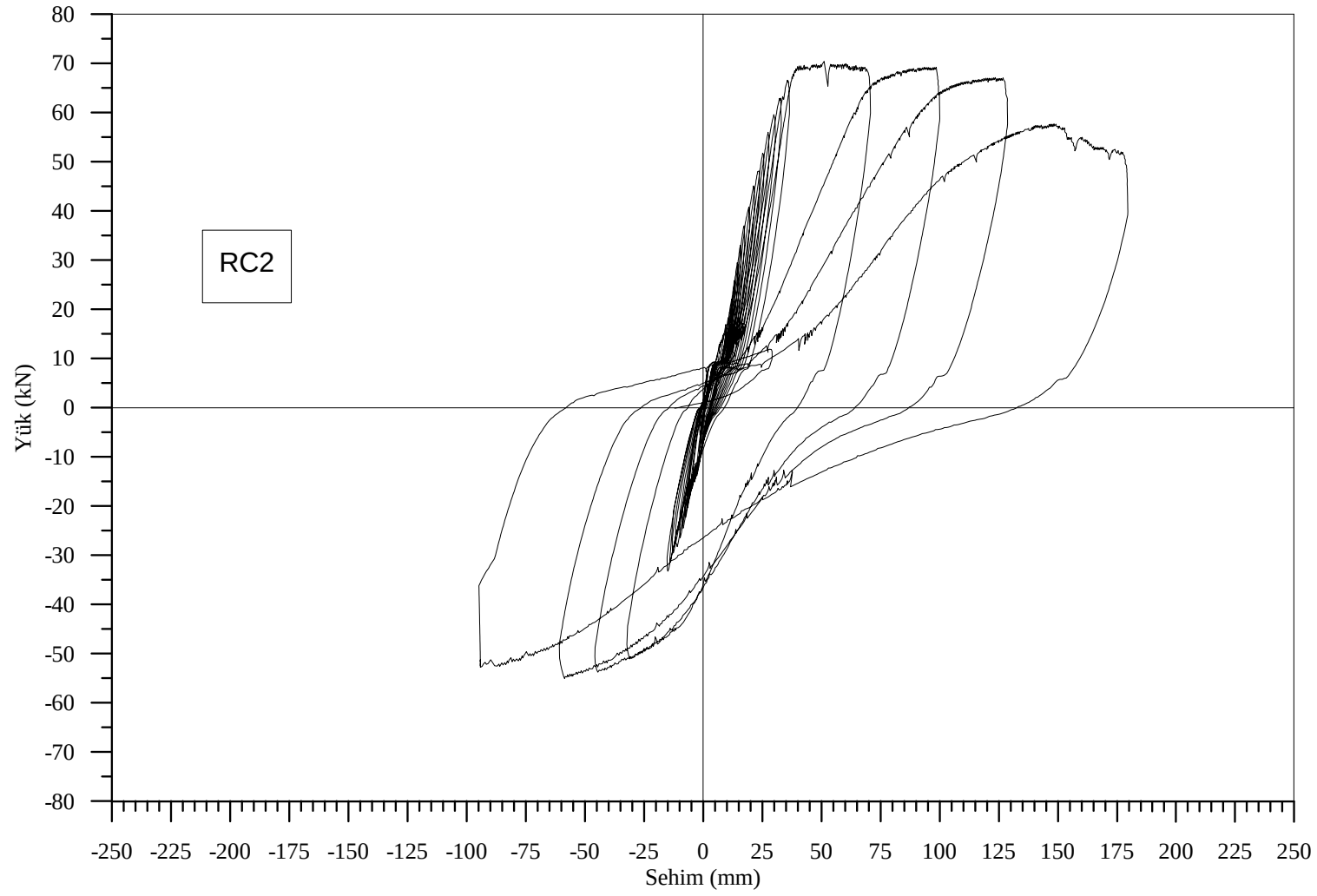
Zayıf elemanlar içinde etriyesi WC1a ve WC1b ye göre daha seyrek olmasına rağmen WC1c ve WC1d elemanlarının dayanımlarının daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 4.22). Ancak bu durum doğrudan bu elemanların beton kalitesi ile ilgili olup genellenmemelidir. WC1c 'de görülen dayanım artışının diğer bir sebebinin ise diğerlerinden farklı olarak bu elemanın dış yüzünde oluşturulan pas payının etkisi olduğu düşünülmektedir. Ayrıca eksenel yükün eleman davranışı üzerinde önemli etkileri olduğu görülmüştür. Eksenel yüklü WJ2 ve WC2d elemanlarında, basınç gerilmelerinin etkisi ile betonun kesme dayanımı önemli ölçüde artmış ve bu elemanlar, eksenel yüksüzlere göre daha büyük dayanımlara ulaşabilmiştir (Şekil 4.29). Buna rağmen zayıf elemanların hiç biri referans eleman dayanımlarına ulaşamamıştır (Şekil 4.22, 4.29).

Zayıf elemanların tamamının dayanım ve süneklik kapasiteleri referans elemanının altında kalmıştır (Şekil 4.22-4.29).

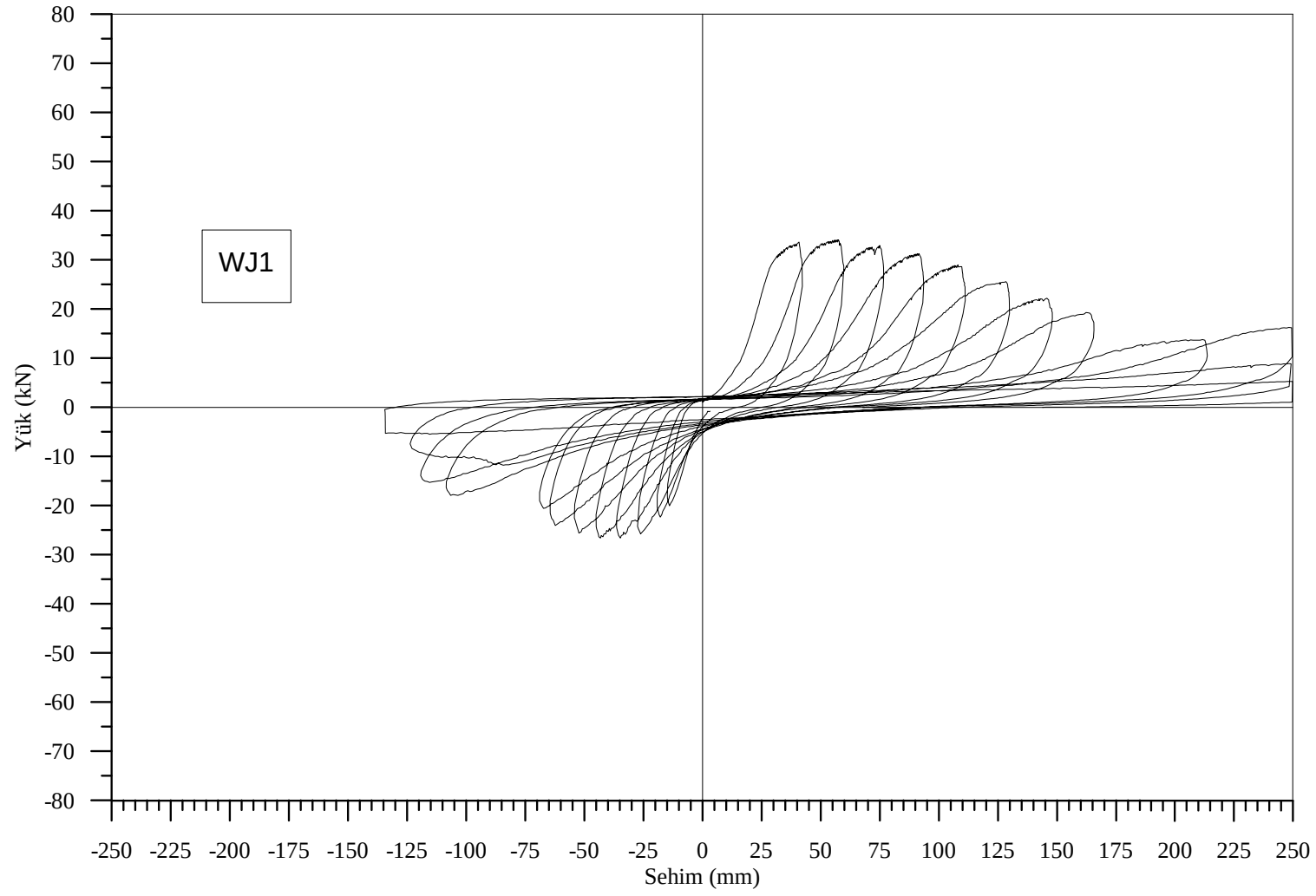
Genel olarak davranışı belirginleştirmeye yönelik W-grubu deneylerde taşıma gücü değerleri geniş bir bölgede dağılım göstermiştir. Bu elemanların tamamında giriş taşıma gücünden çok önce, birleşim taşıma gücüne ulaşmıştır. Bazı elemanlarda dayanımda %60'lara varan kayıplar gözlenmiştir. Bazı elemanlardaki taşıma gücünü ise, hem kolonlardaki kesme hasarları, hem de düğümdeki ağır birleşim hasarları birlikte belirlemiştir. Bu elemanlarda davranışın ve taşıma gücünün beton çekme dayanımı ile eksenel yük düzeyine büyük ölçüde bağlı olduğu gözlenmiştir.



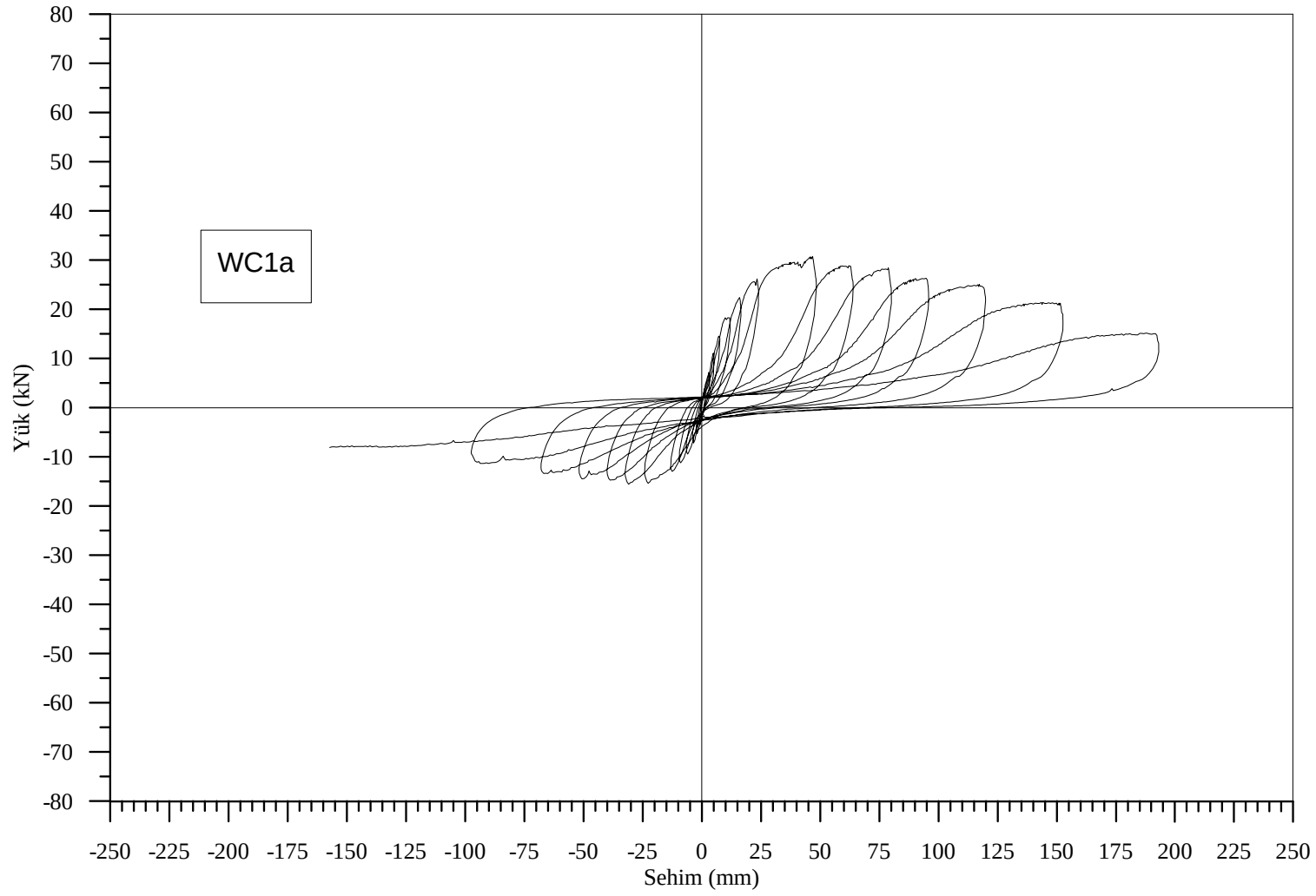
Şekil 4.22. Eksenel yüksüz zayıf elemanların zarf eğrilerinin referans elemanla karşılaştırılması



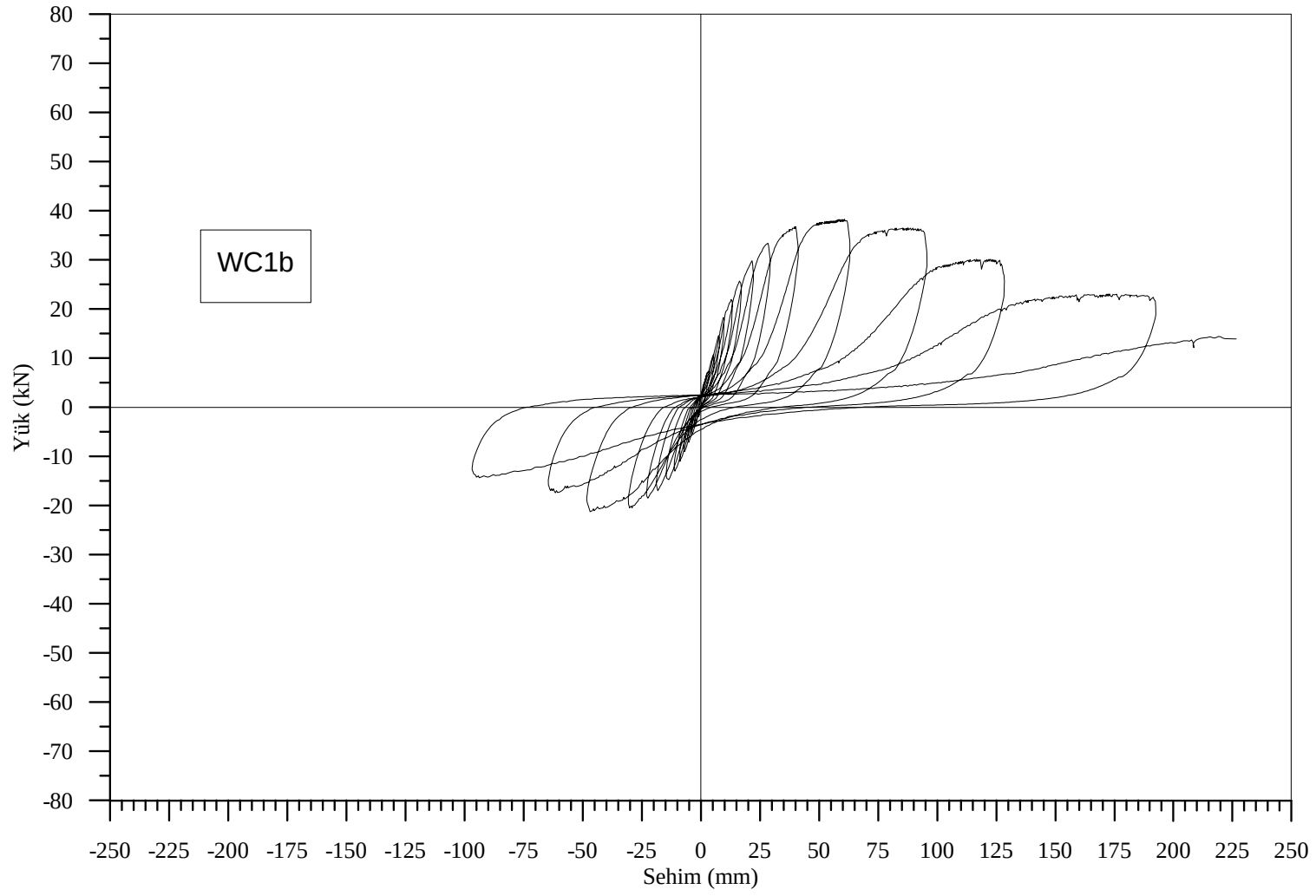
Şekil 4.23. RC2 Elemanı yük-sehim grafiği



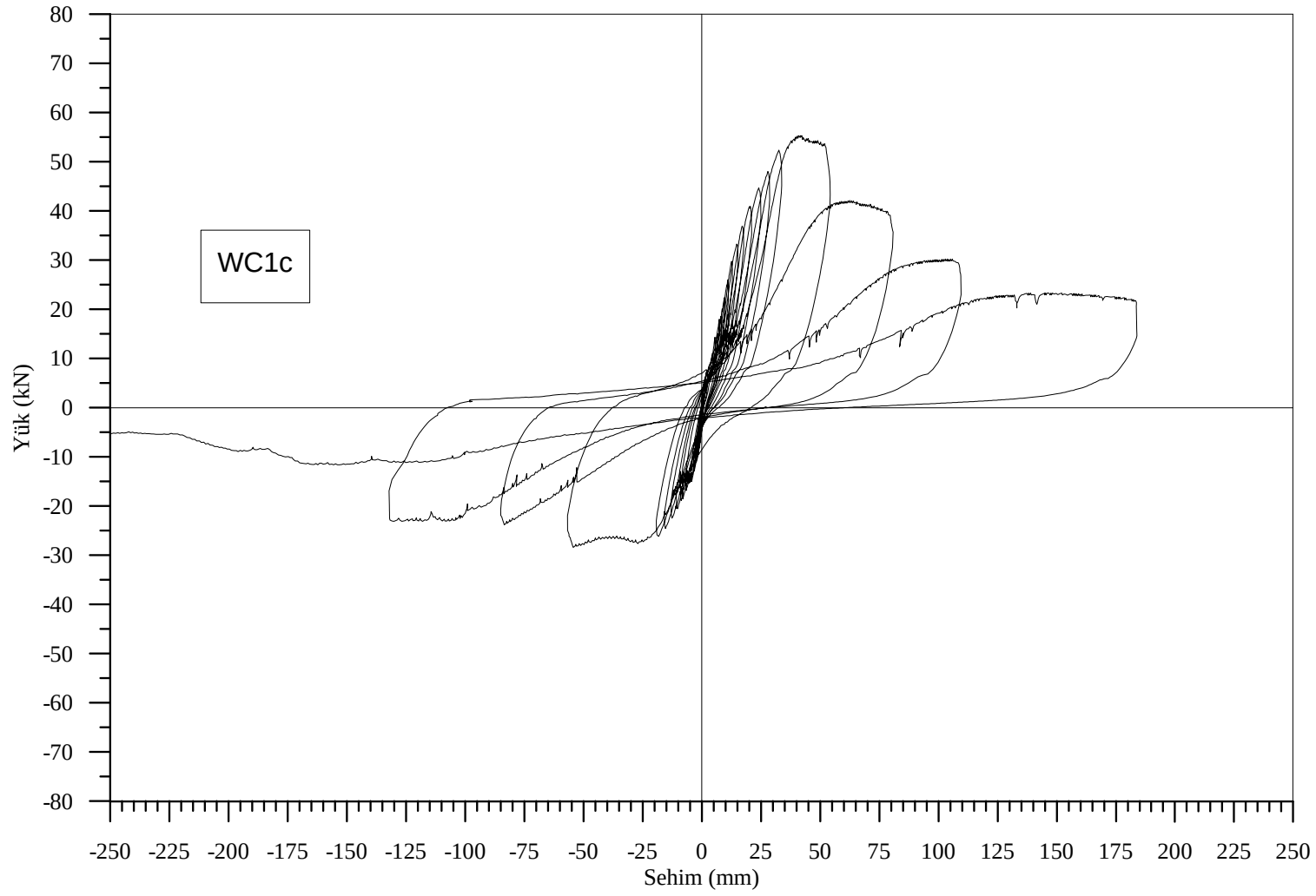
Şekil 4.24. WJ1 Elemanı yük-sehim grafiği



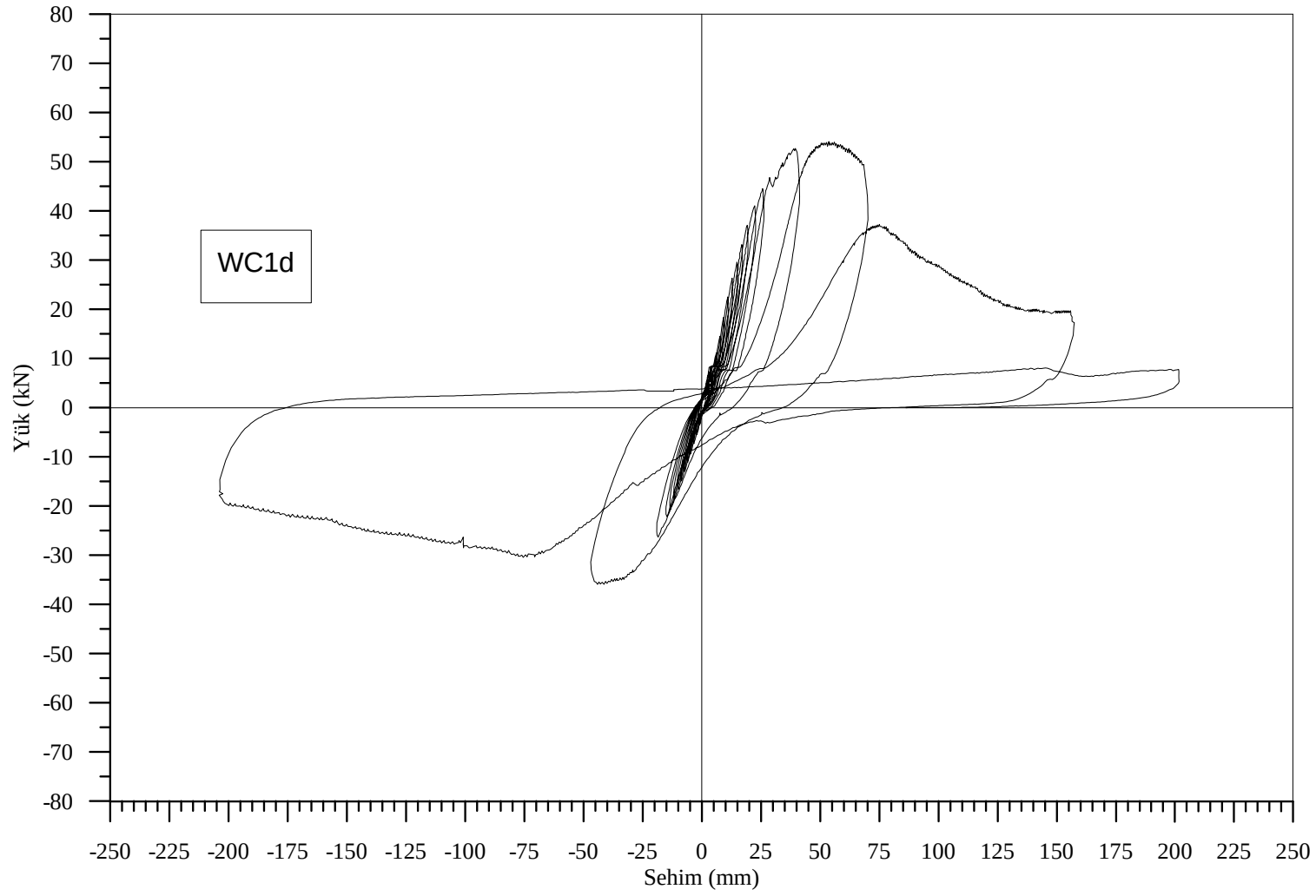
Şekil 4.25. WC1a elemanı yük-sehim grafiği



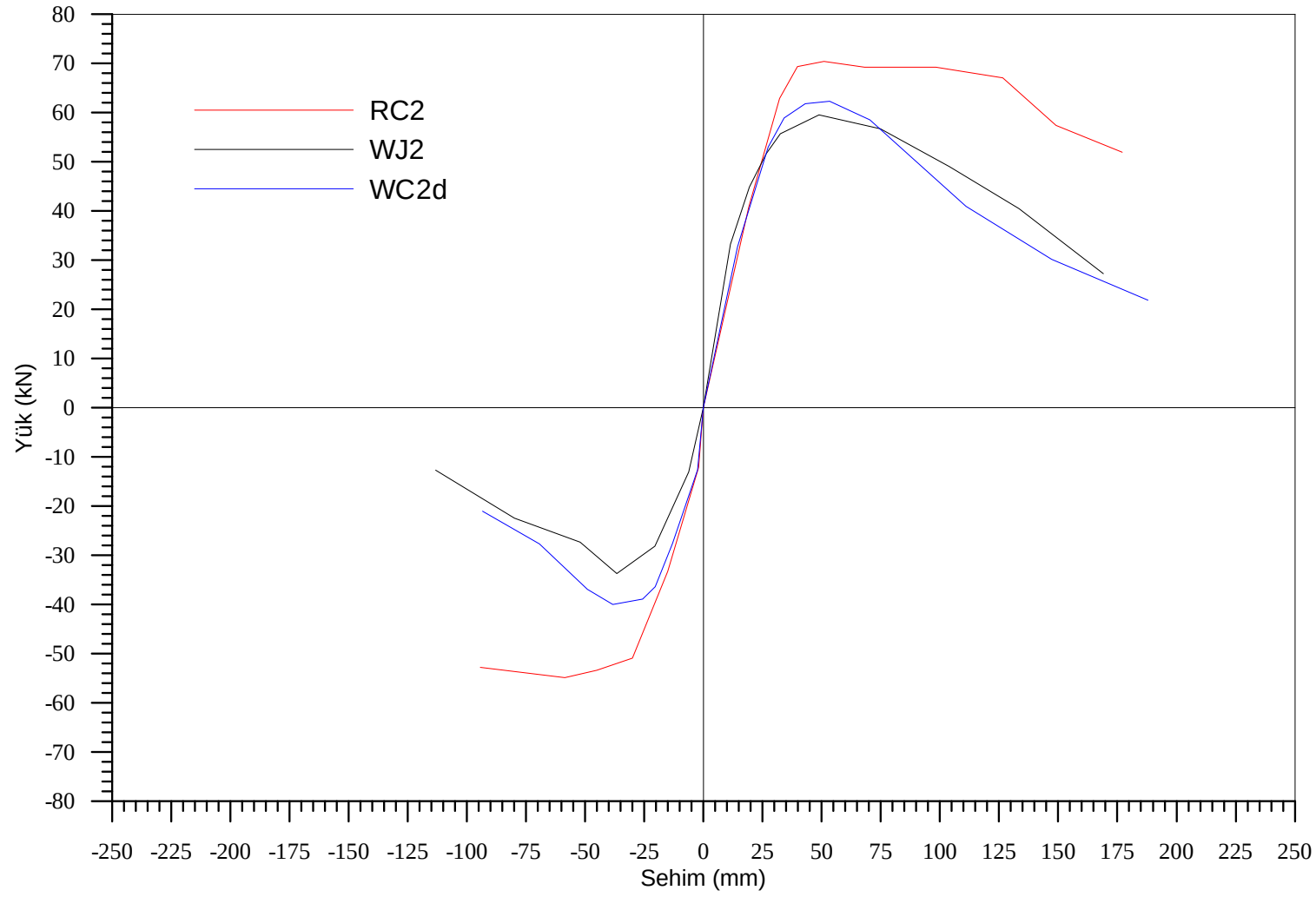
Şekil 4.26. WC1b Elemanı yük-sehim grafiği



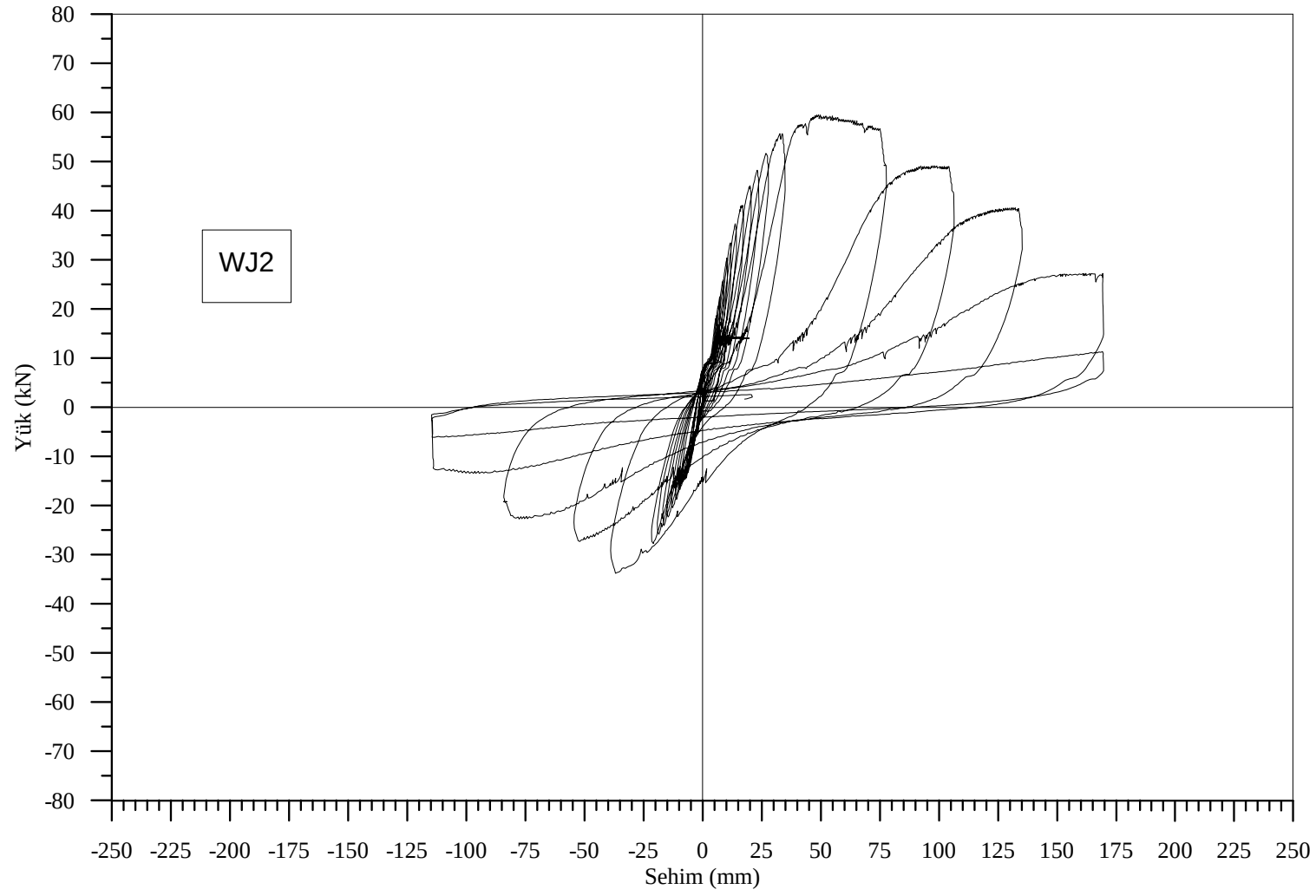
Şekil 4.27. WC1c elemanı yük-sehim grafiği



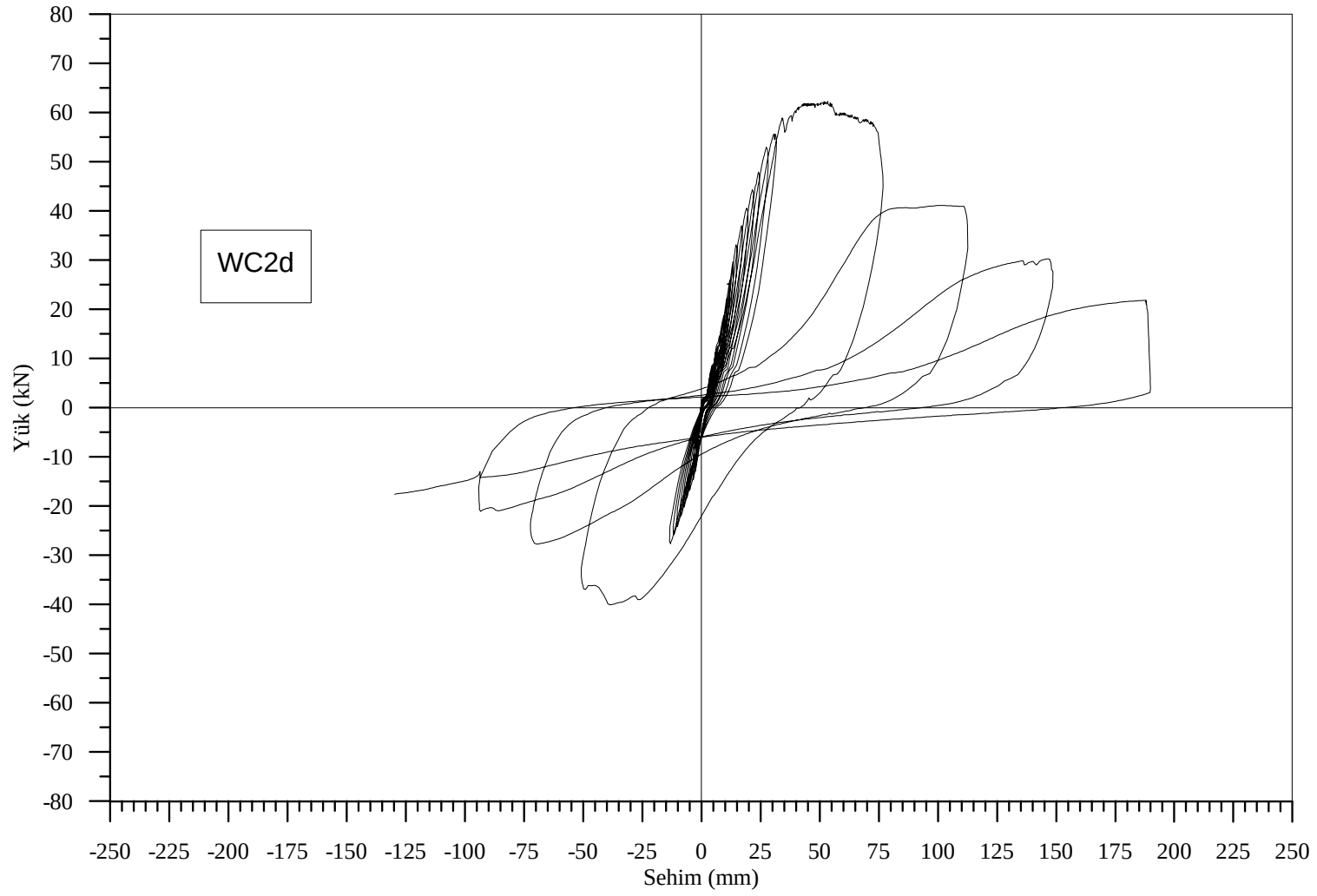
Şekil 4.28. WC1d elemanı yük-sehim grafiği



Şekil 4.29. Eksenel yüklü zayıf elemanlarla referans eleman zarf eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 4.30. WJ2 elemanı yük-sehim grafiği



Şekil 4.31. WC2d elemanı yük-sehim grafiği

Güçlendirilmiş Elemanlar

Genel olarak birinci grup elemanlarda (A, B, D) sınırlı bir başarı elde edilmiştir. Bu elemanlar birleşim bölgesinden hasar görmüş ve bu elemanlarda hedeflenen başarı düzeyine ulaşamamıştır.

Birinci gruptaki elemanlarda elemanlar büyük ölçüde referans eleman dayanımlarına ulaşabilmiştir. Bu gruptaki elemanlarda dayanım oranları (eleman/referans) 0,90 ile 1,08 arasında değişmiştir. Çok belirgin olmamakla birlikte bu gruptaki eksenel yüklü elemanlar eksenel yüksüzlere göre biraz daha yüksek dayanımlara ulaşabilmiştir. Bu gruptaki elemanlarda kullanılan güçlendirme teknikleri birleşim bölgesi betonunun dağılmasını kısmen önlemede ve her iki kolonun birbirlerine göre doğrusallığını korumada etkili olmuşlardır. Bu elemanlarda güçlendirme amaçlı olarak birleşim içine yerleştirilen 400 mm boyundaki bulonların veya etriye bacaklarının düğüm bölgesi betonunun ezilerek dağılmasını uzun süre önlemiştir. Ayrıca buradaki bulon ve etriye bacakları düğüm bölgesindeki kesme kuvvetini almada da etkili olmuşlardır. Ancak yapılan güçlendirmelerin başarılı sayılabilmesi için plastik mafsalların kırışte oluşması, düğüm bölgesinin ya hiç hasar görmemesi veya çok az hasarla deneyin tamamlaması hedef alınan temel ölçüttür. Bu anlamda bakıldığında birinci gruptaki elemanlarda, referans eleman dayanımına yaklaştıkça, hasar ya düğümde ya da kırış ve düğümde eş zamanlı gerçekleşmiştir. Başka bir ifade ile taşıma gücünün sınırdan da olsa, birleşimde gerçekleştiği görülmüştür. Bu nedenle 1. Gruptaki elemanlarda sınırlı bir başarı elde edilebilmiştir. Ancak ele alınan deney elemanı kırışlerinde oldukça çok sayılabilecek boyuna donatı kullanıldığı unutulmamalıdır. Bu nedenle bu gruptaki elemanların daha olağan donatılı kırışlerde başarılı olabileceği düşünülmektedir.

İkinci gruptaki elemanların tamamı özellikle ileri çevrimlerde referans eleman dayanımlarına ulaşmış, hatta bazıları biraz geçmiştir. Ancak araştırmada, referans eleman dayanımından daha büyük dayanımlara ulaşmasının hedeflenen başarı ölçütü olmadığı, esas hedefin birleşimden önce kırışın taşıma gücüne ulaştırılması olduğu

unutulmamalıdır. Geri çevrimlerde bazı elemanlarda %5 civarında dayanım fazlalığı, bazılarında ise %10 dan daha az dayanım kayıpları oluşmuştur, Çizelge 4.1. Ancak bu farklar çok küçük olup genellenmemelidir. Söz konusu farkların uygulanan güçlendirme tekniğine bağlı olmayıp ilgili elemanlarda kiriş betonundaki ezilmelerin erkenden başlamasından kaynaklandığı görülmüştür.

E1-elemanı hariç, bu gruptaki elemanların tamamı, hedeflenen bölgede yani kirişte hasar sonrası taşıma gücüne ulaşmışlardır. Dolayısıyla bu elemanlarda hedeflenen başarı ölçütlerine tam olarak ulaşılmıştır. *Kenar kolon-kiriş birleşimlerinin güçlendirilmesi için çok basit, çok etkili ve oldukça ucuz yöntemler geliştirilebilmiş ve bu anlamda projede amaçlanan hedefe tam olarak ulaşılmıştır.* Sadece E1 elemanında, malzemenin (bulonların ve somunların) standartlara yeterince uygun olmamasına bağlı olarak istenmeyen bir durum oluşmuştur. Bu elemanda kirişte hasar oluşmaya başlamasından hemen sonra birleşim bölgesinin güçlendirilmesinde kullanılan bulonların somunlarında sıyrılmalara gözlenmiş ve hasar son anda birleşime kaymıştır. Ancak bu durum uygulanan güçlendirme tekniği ile ilgili olmayıp, doğrudan malzeme kalitesiyle ilgilidir. Yapılan somun sıyırma deneylerinde de somun ve bulon arasındaki boşlukların gereğinden fazla olduğu ve somunların olması gereken asgari sıyırma dayanımından daha önce dişleri bozarak sıyrıldığı görülmüştür. Daha sonraki deneylerde her uçta iki adet üst üste somun (kontra somun) kullanılarak bu sorun kolay bir şekilde çözülmüştür. Yapılan somun sıyırma deneylerinde tek somunun yaklaşık 30 N.m torkta sıyrıldığı görülmüştür. Bu nedenle herhangi bir sıyırılma problemi yaşanmaması için güçlendirme amaçlı kullanılan tüm bulonların somunları 16 N.m tork ile sıkılmıştır (Sıyırma torkunun yaklaşık yarısı). 16 N.m 'lik bu moment, bulonda yaklaşık olarak 10 kN'luk bir eksenel çekme kuvvetine karşı gelmektedir. Bu kuvvetin dış dibi kesitinde oluşturduğu gerilme ise yaklaşık 300 MPa civarındadır. Dolayısıyla bu çalışmadaki gibi bir güçlendirme yöntemi kullanılacaksa, bulon çapını düşürmeksizin, kullanılacak olan bulonun akma dayanımı asgari 600 MPa olmalıdır. Bu nedenle kullanılacak olan bulonun çelik kalitesi 8.8 veya üstü olmalıdır. Çalışmada temel

alınan model ölçeği $\frac{1}{2}$ olduğuna göre, gerçek yapıda kullanılacak olan bulon çapı en az 16 mm, sıkma torku ise 128 N.m (bulon başına 40 kN) olmalıdır.

Referans elemanı (RC2) ve güçlendirme elemanlarından bazılarında (C1, C2, E2 ve G2), yük deplasman grafikleri incelendiğinde, ileri çevrimlerde kambur şeklinde kısımlar olduğu gözlenmiştir. Bu kambur kısımlar genellikle son ileri plastik çevrimlerde gerçekleşmiştir (Şekil 4.23, 4.41, 4.45, 4.46 ve 4.47). Bu elemanlarda yük deplasman grafiklerinin sözü edilen kısımlarında rijitlikte belirgin azalmalar olmuştur. Deneyler sırasında daha dikkatli yapılan gözlemler sonucu bu davranışa, son ana kadar düz kalan basınç donatılarının aniden burkulmasının neden olduğu anlaşılmıştır. Deney elemanı kirişlerinin alt yüzünde genellikle 4 adet boyuna donatı kullanılmıştır. Geri yükleme sırasında çekme etkisi ile iyice düzleşen bu donatılar, ileri yükleme sırasında, 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. Davranıştaki bu değişim plastik mafsallın kirişte oluştuğu yukarıda belirtilen güçlendirme elemanlarında gerçekleşmiştir. Ayrıca geri yüklemeler sırasında basınca çalışan boyuna donatılardaki burkulma, ileri yüklemelerdeki basınç donatılarının burkulması kadar ani ve belirgin olmamıştır. Bu nedenle yük-deplasman eğrisinin geri çevrimlerinde herhangi bir kambur kısım oluşmamıştır. Donatıların daha uzun zamanda burkulmasına, hem bu yüzdeki donatı sayısının çokluğunun hem de bu donatıların aralarındaki betona mekanik olarak yaslanmasının yol açtığı düşünülmüştür.

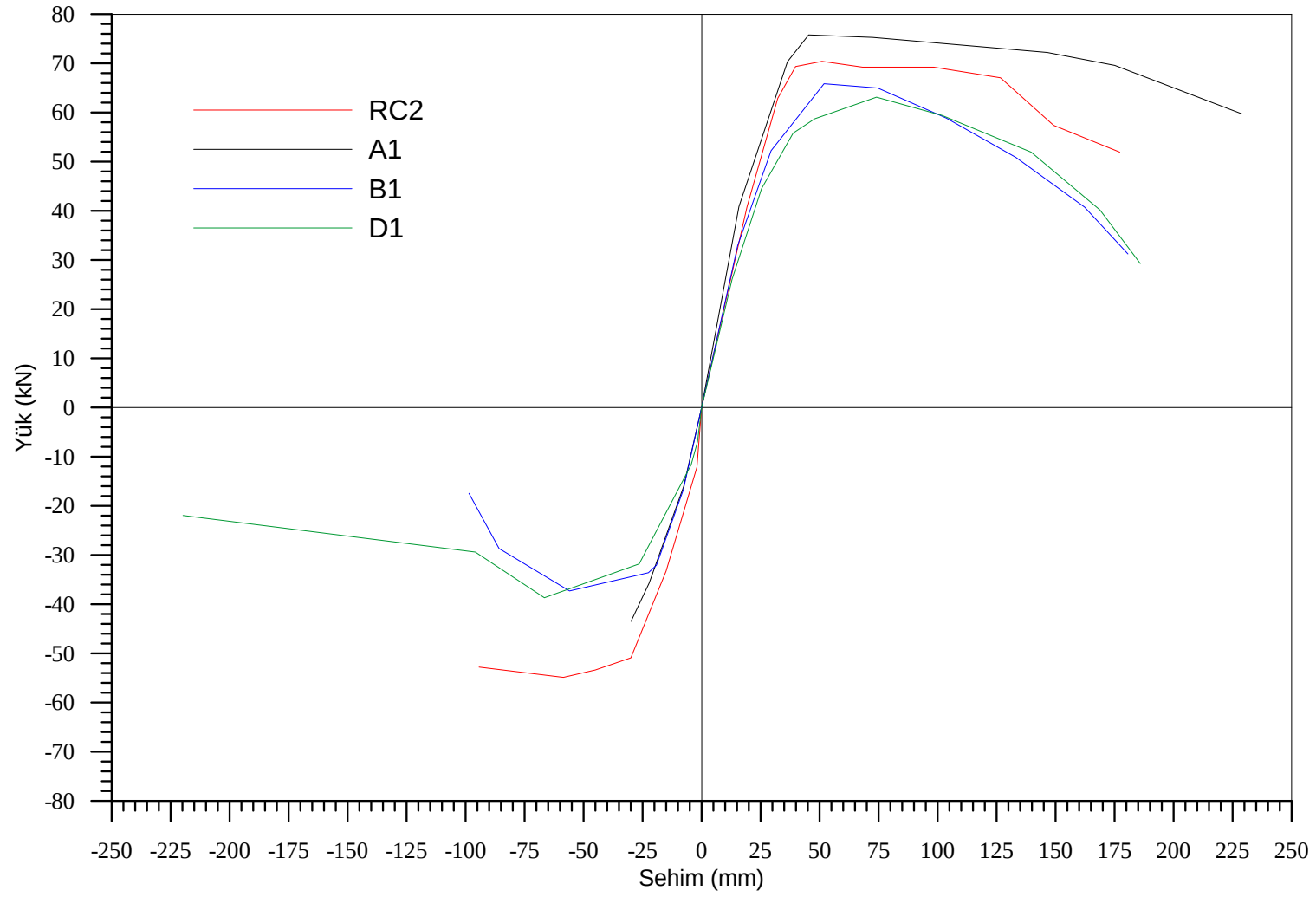
A1 elemanının beton dökümü sırasında alt kolonun alt ucundaki mesnet deliği ve civarındaki beton yeterince sıkıştırılamamış ve bu bölgedeki betonda boşluklar oluşmuştur. Kalıp söküldükten sonra bu boşlukların farkına varılmış ve bu bölgeler yüksek dayanımlı beton ile tamir edilmiştir. Buna rağmen yapılan onarım pek etkili olamamış ve geri yükleme sırasında, alt kolondaki eksenel çekme kuvvetlerinin etkisi

ile pim bölgesinde ağır hasarlar oluşmuştur (bkz. Resim 4.21). Geri yükleme yapılamadığı için, bu aşamadan sonra A1 elemanına sadece ileri yönde ve tekdüze yük uygulanmıştır. A1 elemanında kolonun kiriş altından sıyrılmasını önlemek için kiriş alt yüzüne 50 mm yüksekliğinde U-profil tespit edilmiş ve serbest konsol boyu yaklaşık %5 kısalmıştır. Buna ve burada öngörülemeyen bazı nedenlere (kiriş boyuna donatılarının ileri yöndeki taşıma gücü lehine kayması vb.) bağlı olarak A1 elemanının dayanım oranı, referansa göre %8 daha büyük olmuştur. Bu nedenle A1'deki dayanım artışı, A1'de uygulanan güçlendirme tekniğinin başarısı olarak algılanmamalıdır. Bu elemandaki dayanım kaybının diğerlerine göre daha az olmasının nedeni de uygulanan yükün tekdüze olmasına bağlanmalıdır (Şekil 4.33).

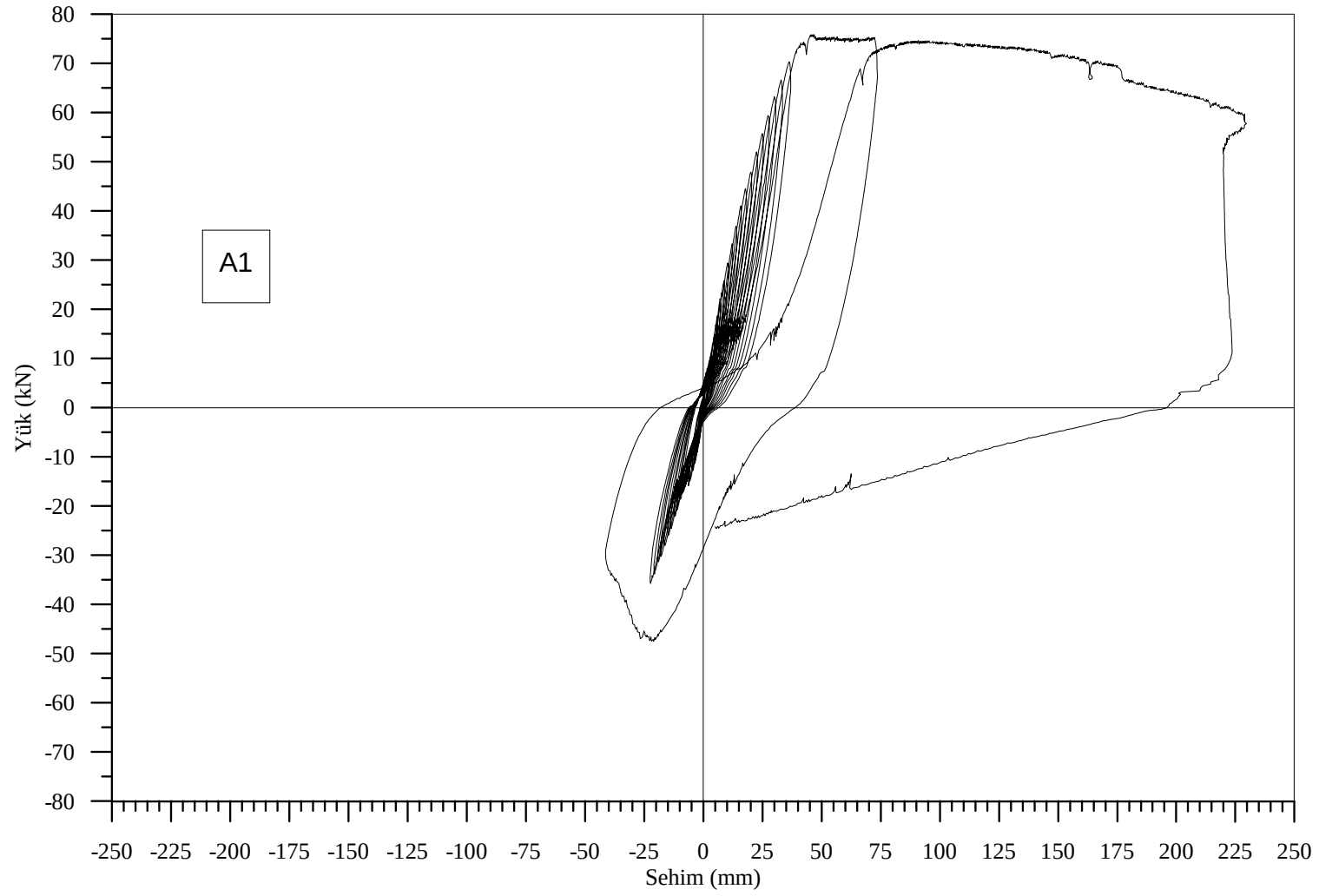
U etriyelerin kullanıldığı D tipi güçlendirmede U etriye bacakları olabildiğince uzun tutulmuştur (400 mm). Böylece etriye bacaklarının düğüm bölgesinde olabildiğince fazla kesme kuvveti alması sağlanmıştır. Deneyler sırasında bu elemanlarda, düğüm bölgesi etriyesiz elemanlara göre düğüm betonunda daha az ezilme olduğu gözlenmiştir. Zayıf düğüm ve zayıf düğüm+kolon elemanlarında düğüm bölgesi betonu tamamen dökülmüştür. Bu elemanlarda da kiriş taşıma gücüne ulaştıktan hemen sonra hasar düğüme yönelmiştir. Bu güçlendirme tekniğinde yapım kalitesinin önemli olduğu görülmüştür. D1 elemanında birleşime yerleştirilen U-etriye bacaklarının beton yüzeyine çok yakın olduğu ve etriye bacaklarının birbirlerine paralel olmadığı tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak birleşimdeki etriye kolları aderansını erkenden kaybetmiş ve referans eleman dayanımlarına ulaşamamıştır, (Şekil 4.35). Bunun üzerine D2 elemanında daha özenli bir işçilik uygulanmış ve dış yüzeylere yakın etriye bacakları hafif bir açı ile bileşim içine gömülmüştür. İşçiliğe gösterilen bu özen davranış üzerinde etkili olmuş ve D2 elemanında, D1'e göre daha büyük dayanım oranlarına ulaşılmıştır (Şekil 4.39 ve Çizelge 4.1).

Başarılı güçlendirmelerden eksenel yüksüz olan C1-E1-F1 ile referans zarf diyagramları karşılaştırıldığında (Şekil 4.40) tüm elemanların referans dayanımlarına ulaştıkları belirlenmiştir. Ayrıca deneyin sonlarına kadar yükte önemli bir kayıp olmamıştır.

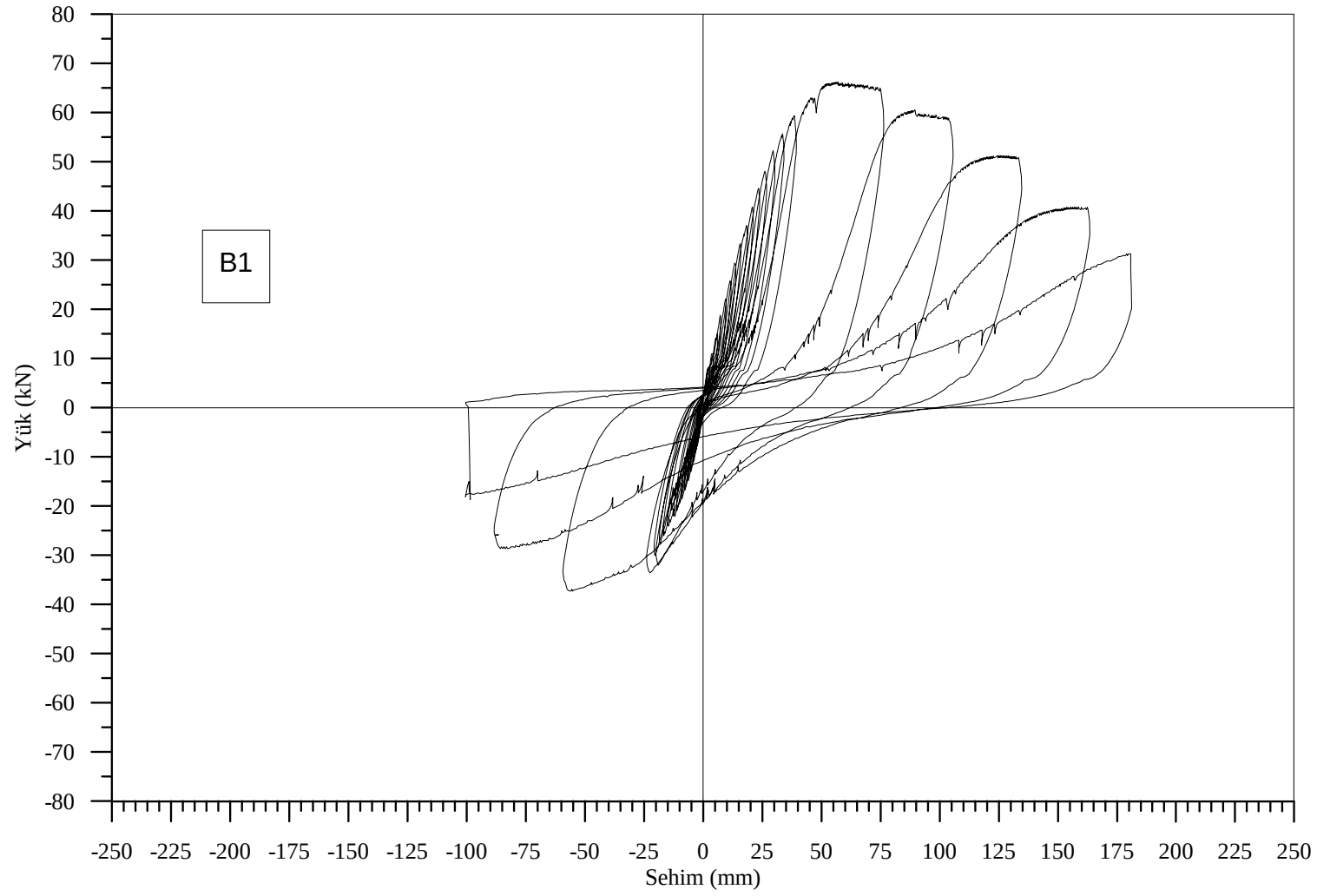
Bu elemanlarda (C, E, F ve G güçlendirmelerine sahip elemanlar) tam bir referans kiriş davranışı elde edilmiş ve tüm elemanlarda hasarlar hedeflenen bölgede yani kirişlerde oluşmuştur. Bu elemanlarda sistemin taşıma gücünü kirişler belirlemiştir. F1 elemanında yük deplasman grafiğinin son geri çevrimlerinde, kiriş alt donatılarında sınırlı da olsa aderans çözümleri oluşmuştur. Aderans çözümlerinin olduğu kısımlar yük-sehim grafiğinde de gözükmemektedir (Şekil 4.43). Kiriş alt donatılarının sıyrılmaya başlamasıyla, yükte düşmeler ve deformasyonlarda ani artışlar oluşmuştur. Bu noktadan sonra zaten son sınırlarında olan LVDT ucu boşa çıkmış ve belirli bir bölgede sehim ölçümü yapılamamıştır. Deney sonrasında kiriş alt donatılarının kolona saplandığı bölge dikkatli bir şekilde açılmış ve gerçekten de aderans çözümlerinin oluşmuş olduğu görülmüştür. Ancak burada oluşan aderans çözümleri kenetlenme boyunun yetersizliğinden kaynaklanmadığı da anlaşılmıştır. Zira kenetlenme boyu deprem yönetmeliğinde belirtilen ölçütlere uygun olarak yapılmıştır. Buradaki aderans çözülmesinin esas sebebinin, alt kolonun üst ucunda (kiriş alt donatılarının bulunduğu düzlemde) oluşan eğilme çatlaklarından kaynaklandığı anlaşılmıştır. Bu çatlakın oluşumuna bağlı olarak kiriş alt donatılarının, kolon içindeki aderans gerilmelerinin bir kısmı (kolon içinde, kolon eksenine dik kısmın aderansı) yok olmuş ve kiriş ucundaki sehimde ani bir sıçrama oluşmuştur. Ancak bu noktada LVDT kapasitesi bitmiş olduğu için sehimdeki bu sıçramalar ölçülememiştir. G2 elemanında da benzer bir durum oluşmuştur (Şekil 4.47). Bu sorunun sadece F1 ve G2’de oluşmasının diğer bir nedeninin de bu elemanlardaki sık kiriş etriyeleri olduğu düşünülmektedir. Oldukça başarılı sonuçlar alınan C1, C2, E1 ve E2 elemanlarında uygulanan güçlendirme tekniklerinin başarısını daha da ağır şartlarda test etmek için F1 ve G2 elemanlarının kirişlerinde diğerlerine göre iki kat daha fazla etriye kullanılmış (6/25 mm) ve kirişlerin olabildiğince uzun süre dayanarak birleşimi ve uygulanan güçlendirme tekniğini olabildiğince zorlaması hedeflenmiştir. Buna bağlı olarak birleşim bölgesinde bir zayıflık oluşmamış ancak birleşim bölgesi ile ilgisi olmayan sınırlı da olsa bir aderans çözülmesi meydana gelmiştir.



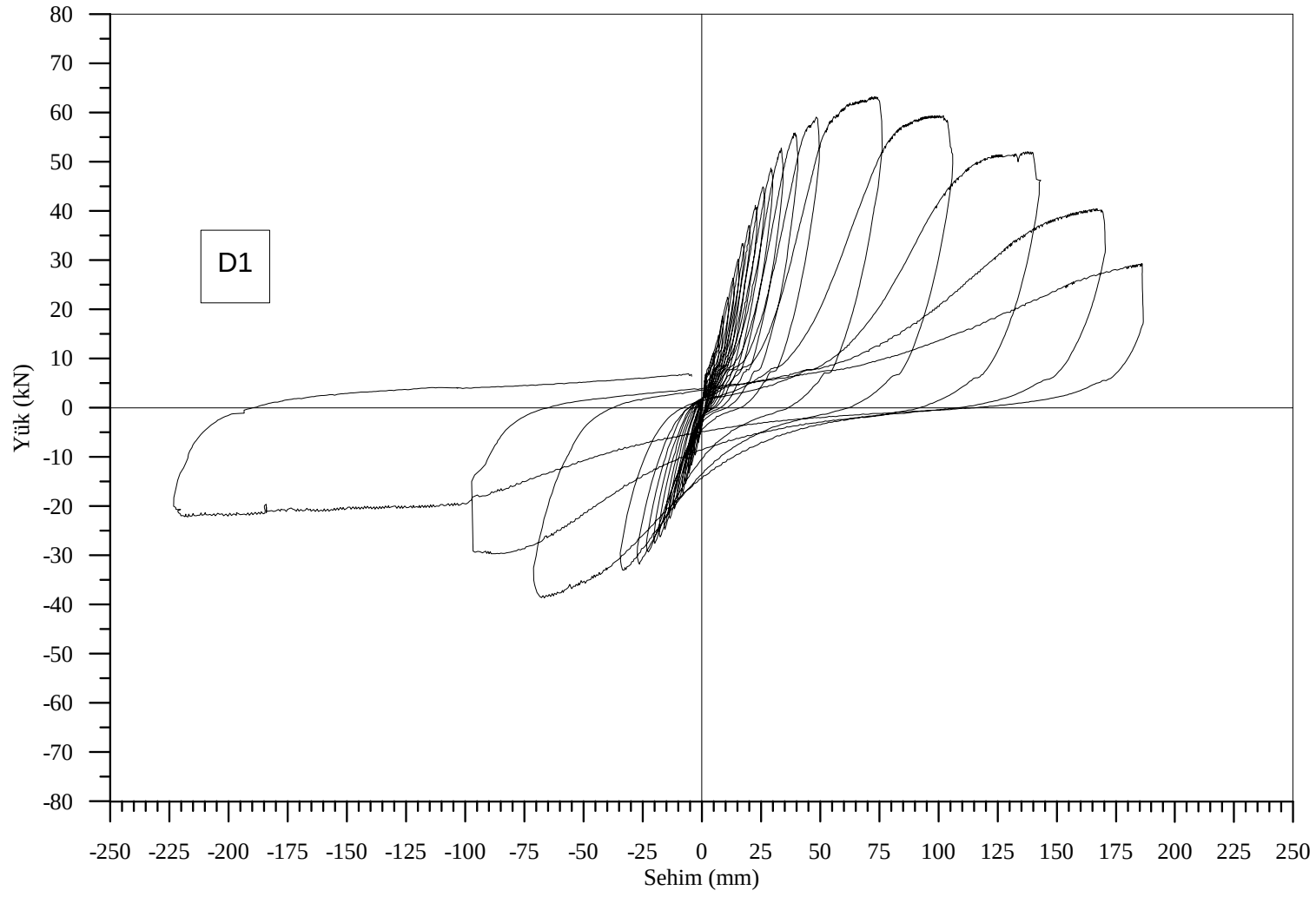
Şekil 4.32. Referans eleman, A1, B1 ve D1 elemanları zarf eğrileri



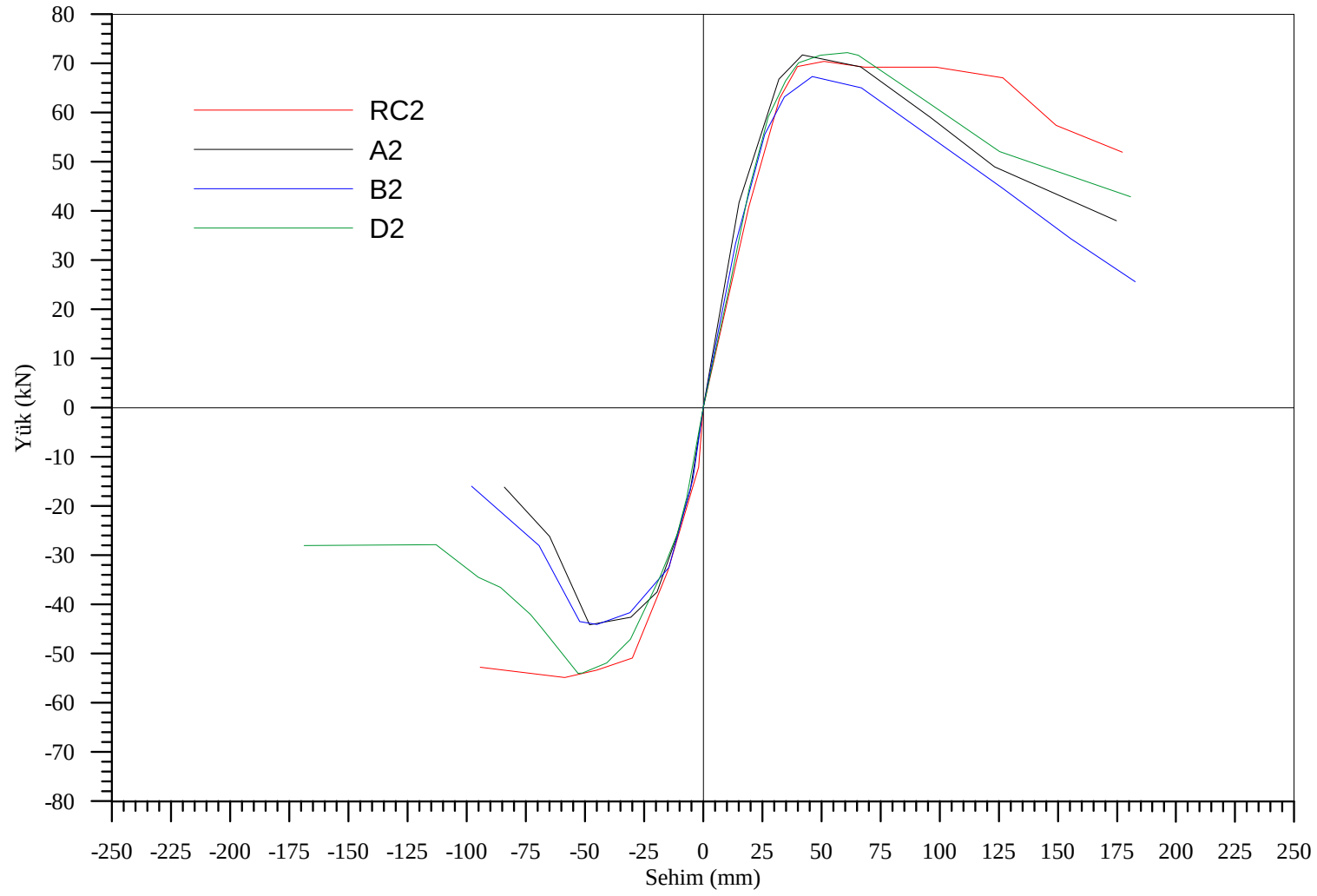
Şekil 4.33. A1 elemanı yük-sehim grafiği



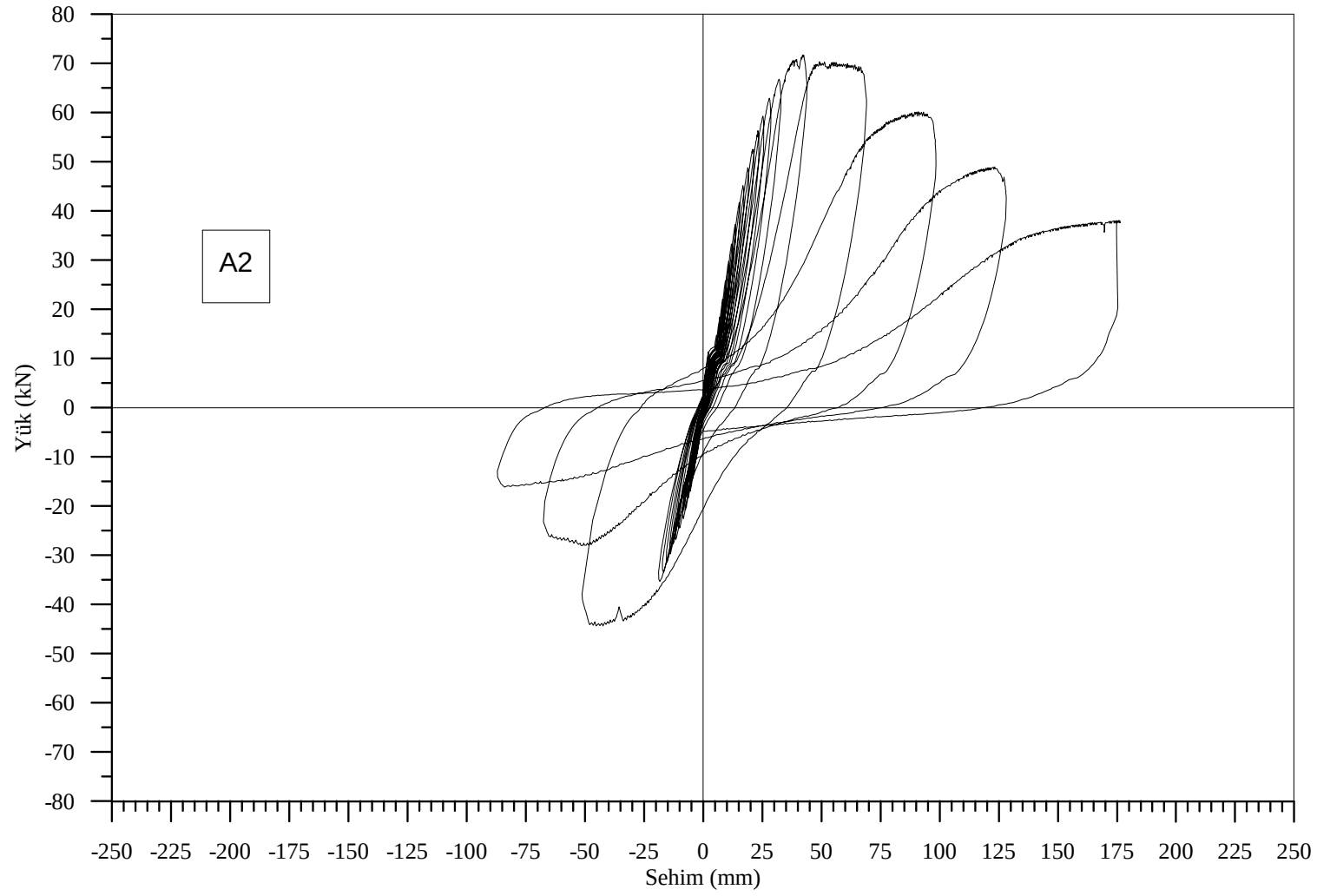
Şekil 4.34. B1 elemanı yük-sehim grafiği



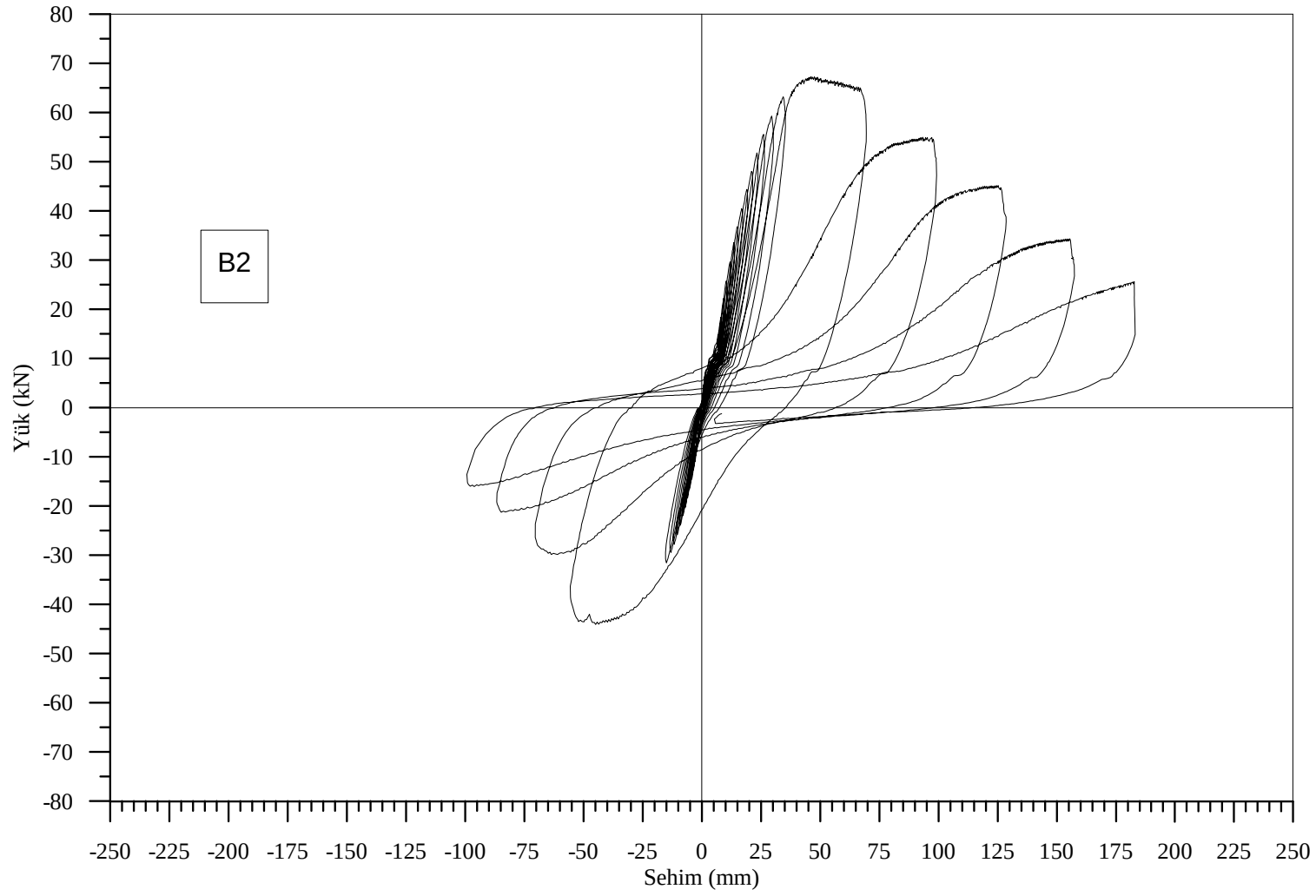
Şekil 4.35. D1 elemanı yük-sehim grafiği



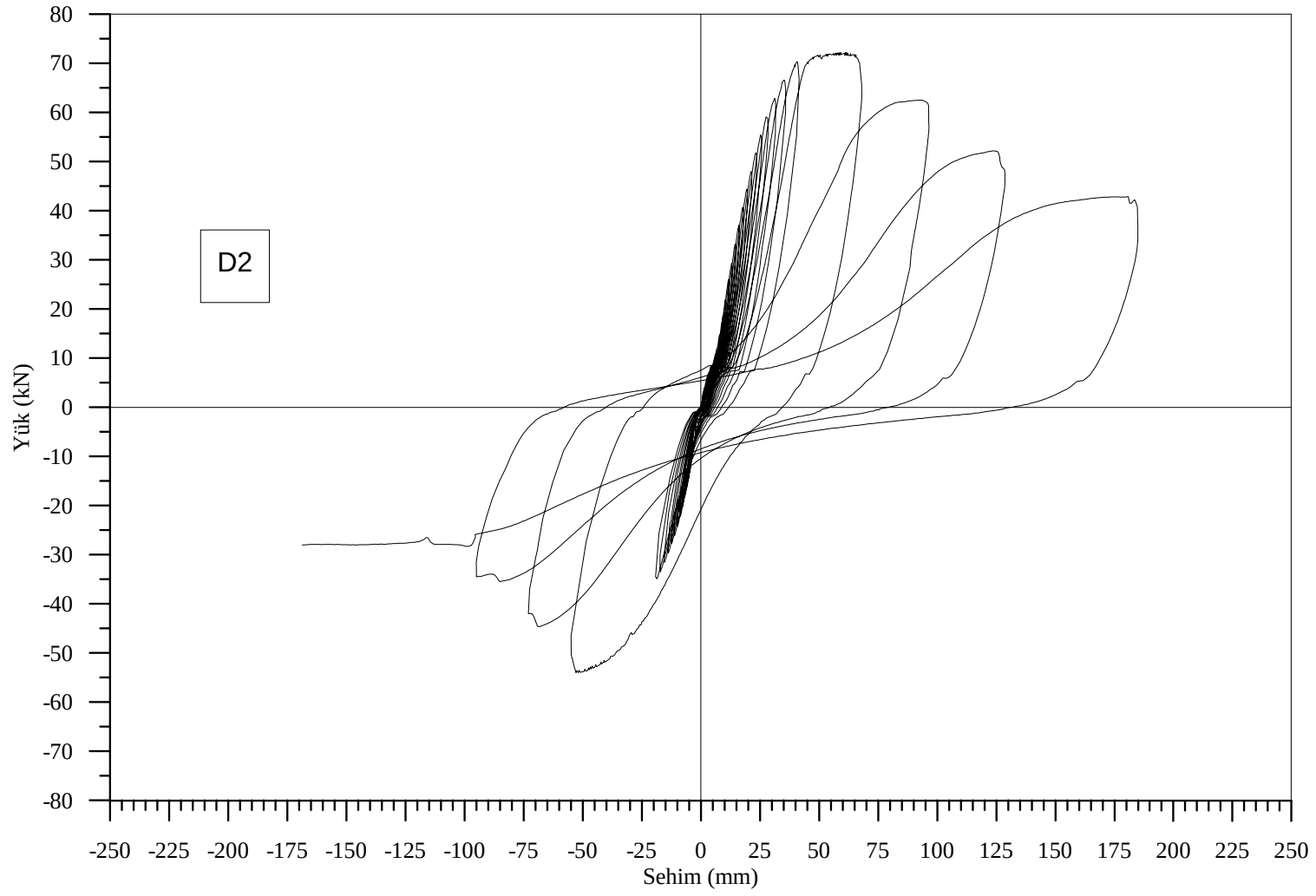
Şekil 4.36. Referans eleman, A2, B2 ve D2 elemanları zarf eğrileri



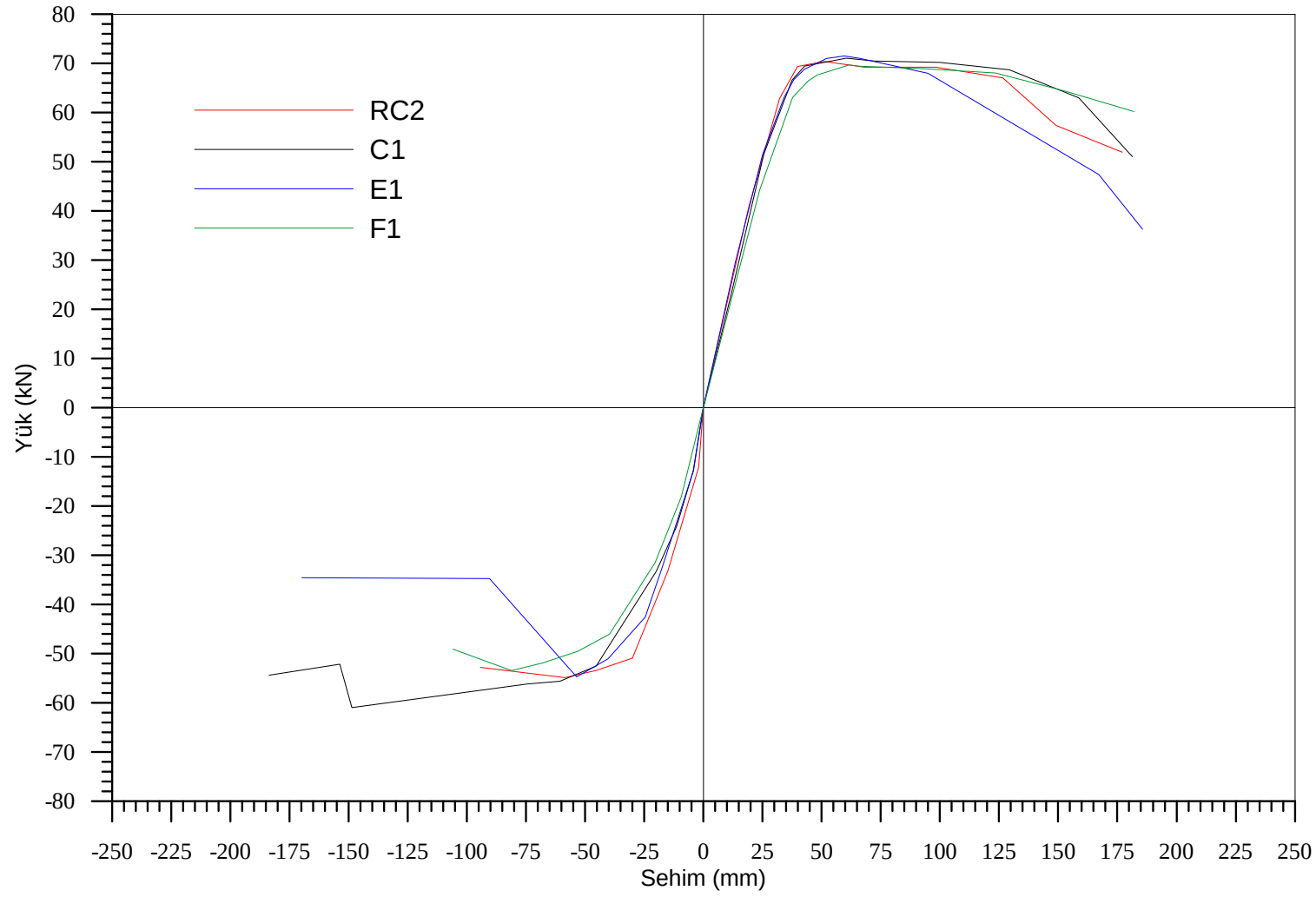
Şekil 4.37. A2 elemanı yük-sehim grafiği



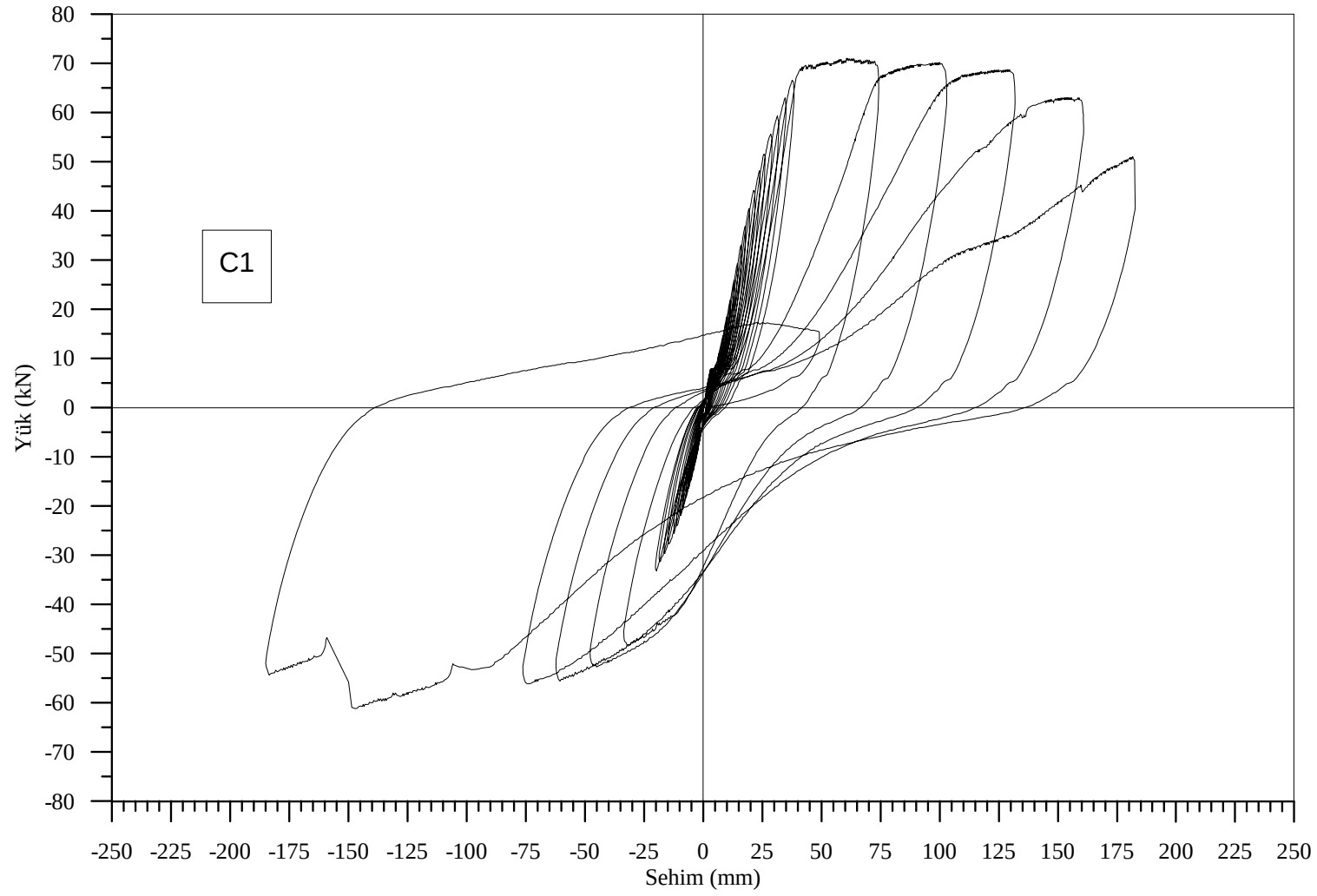
Şekil 4.38. B2 elemanı yük-sehim grafiği



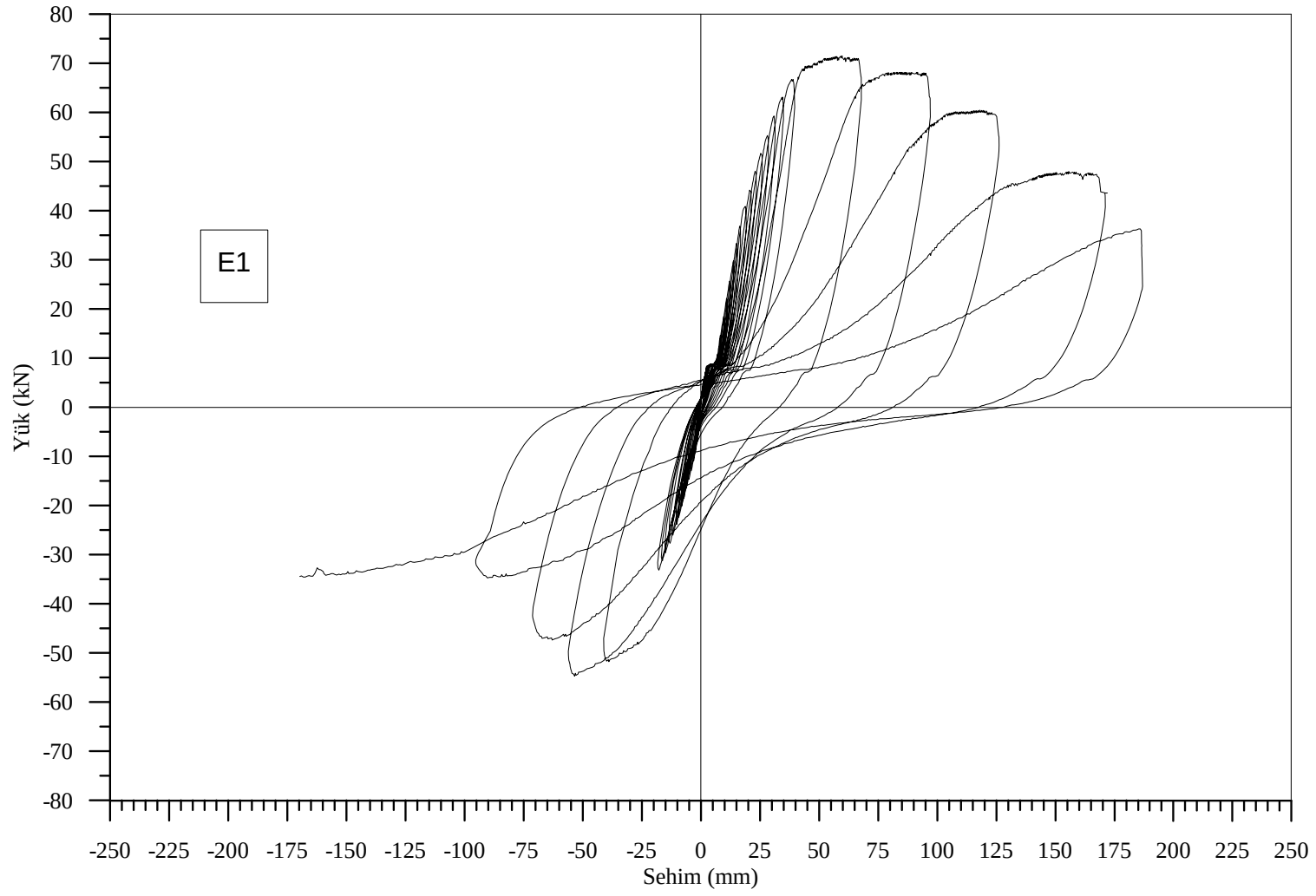
Şekil 4.39. D2 elemanı yük-sehim grafiği



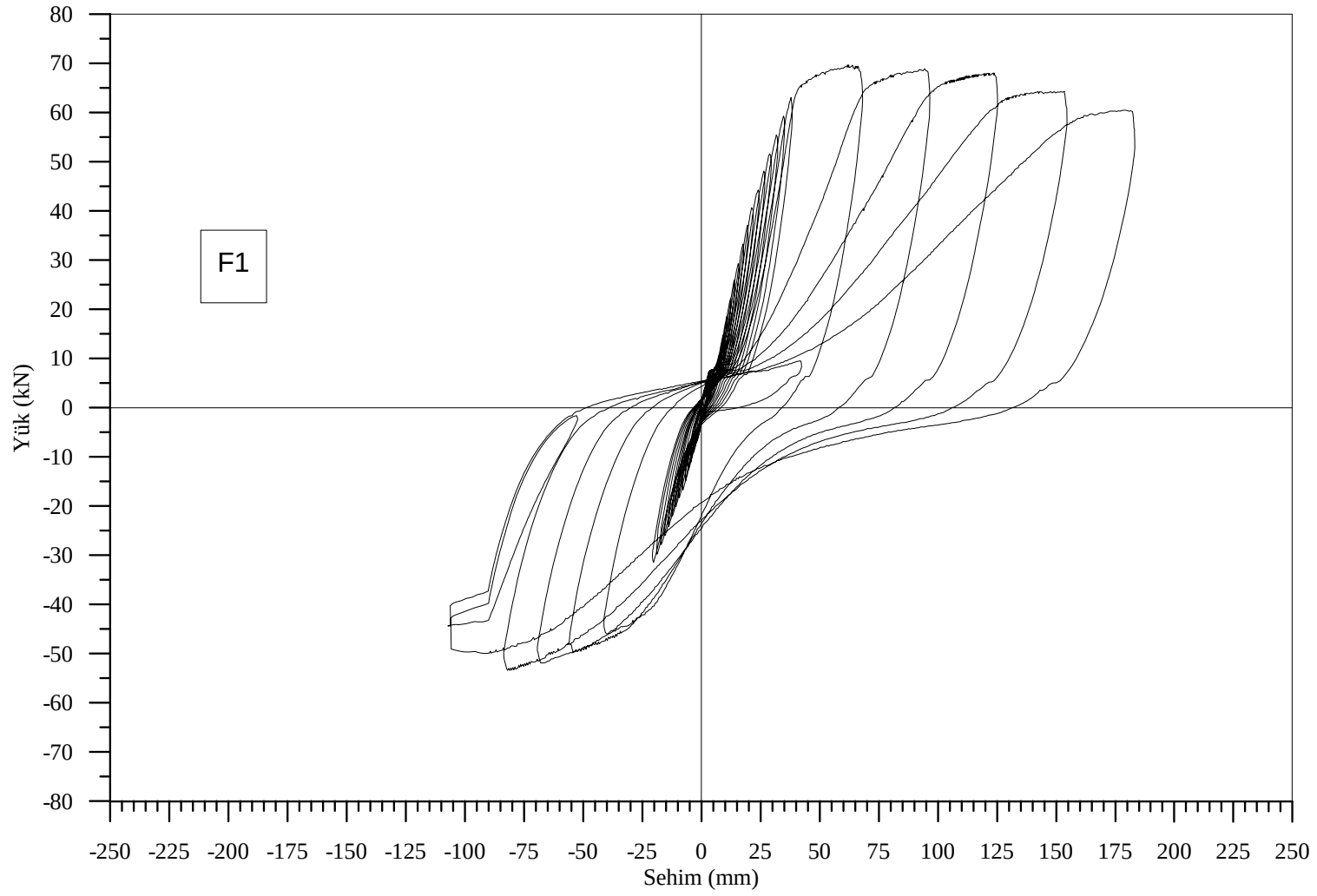
Şekil 4.40. Referans Eleman, C1, E1 ve F1 elemanları zarf eğrileri



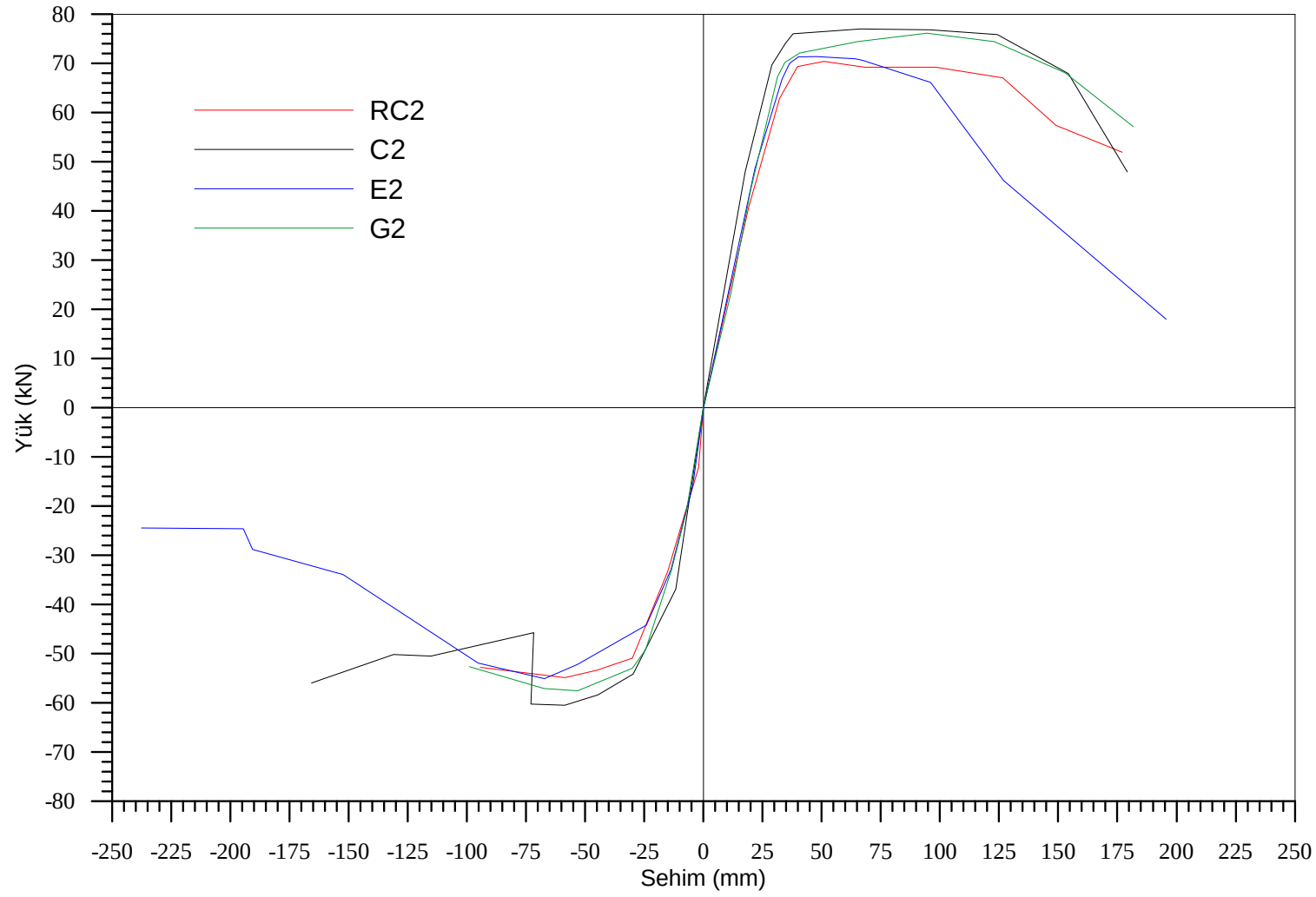
Şekil 4.41. C1 elemanı yük-sehim grafiği



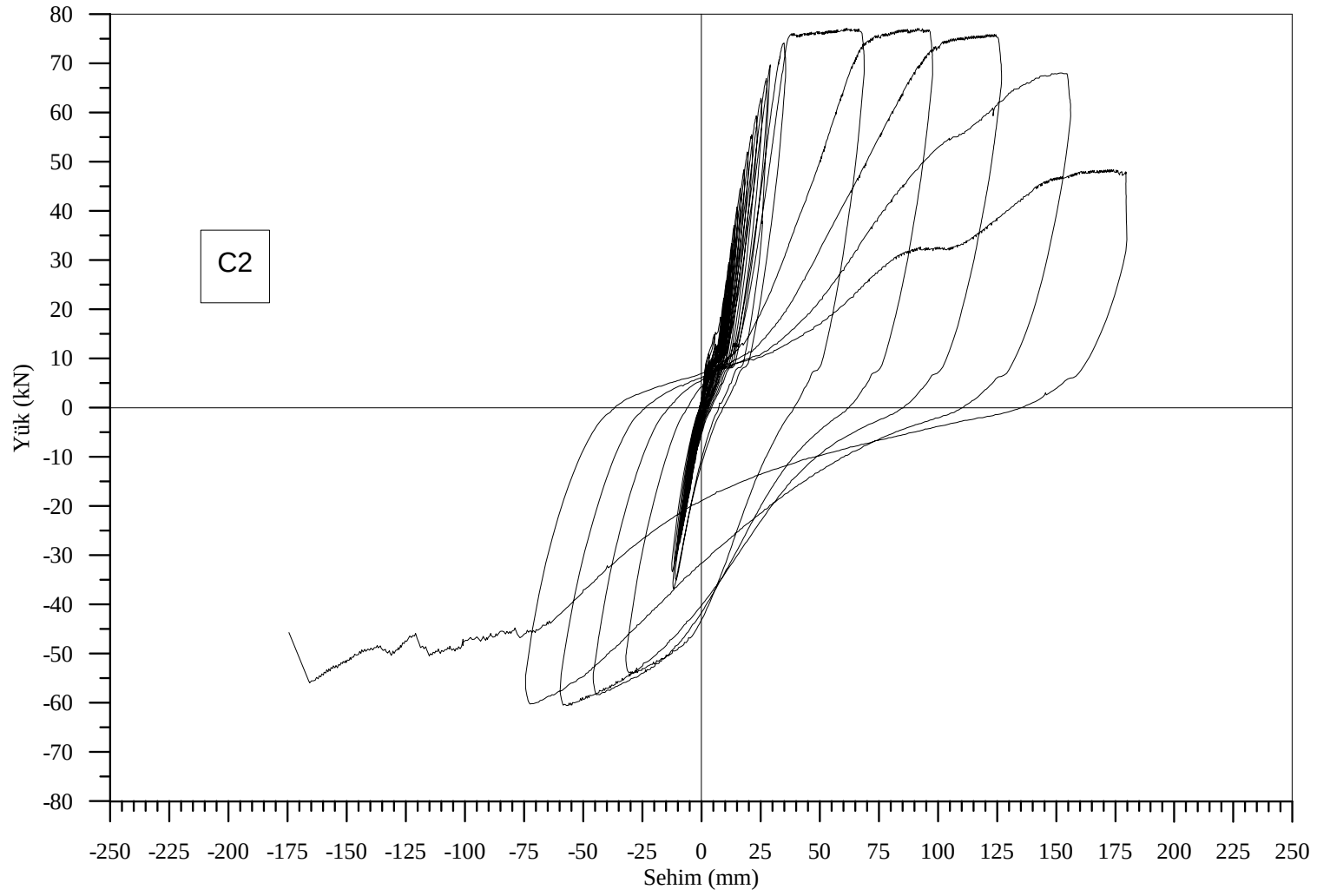
Şekil 4.42. E1 elemanı yük-sehim grafiği



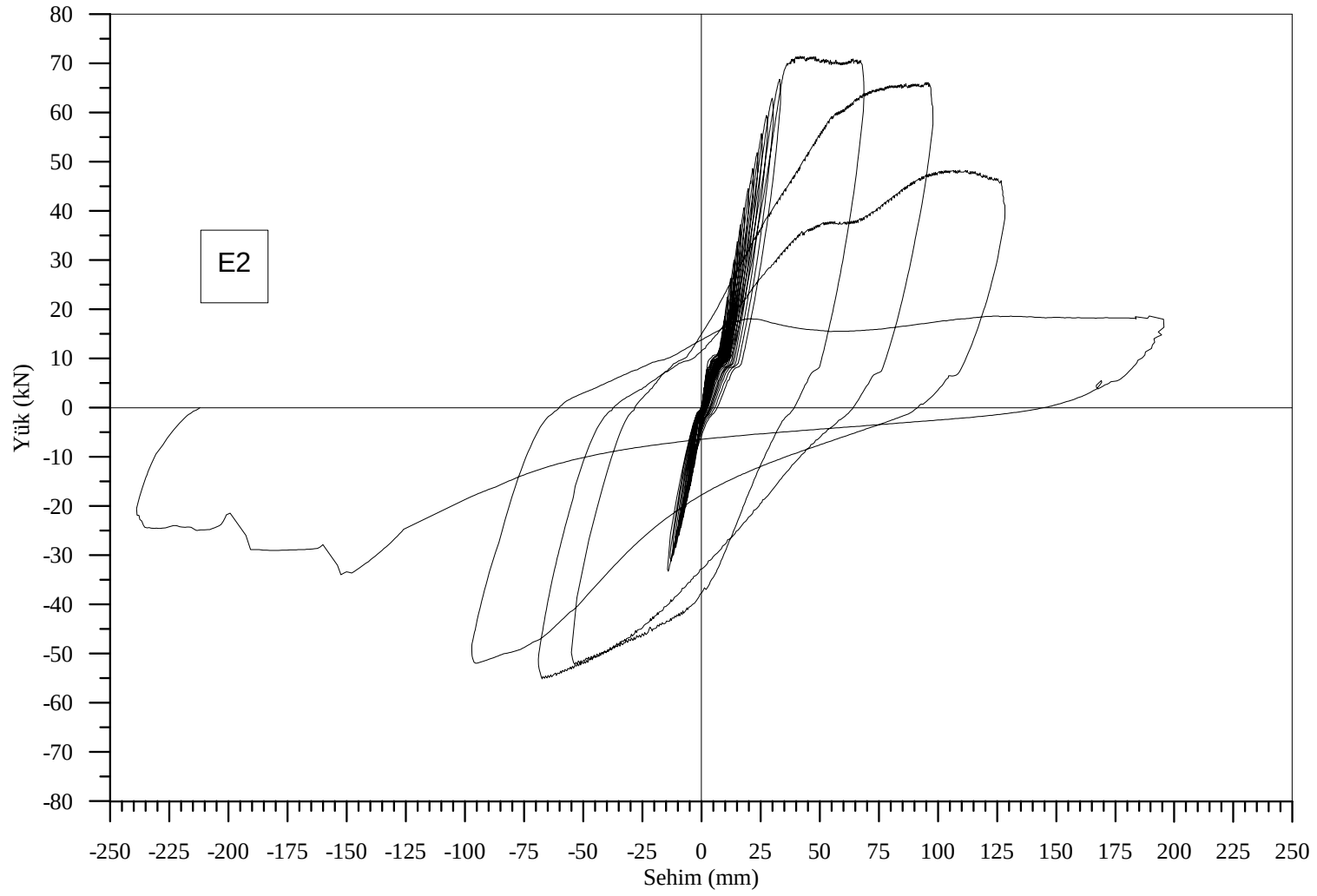
Şekil 4.43. F1 elemanı yük-sehim grafiği



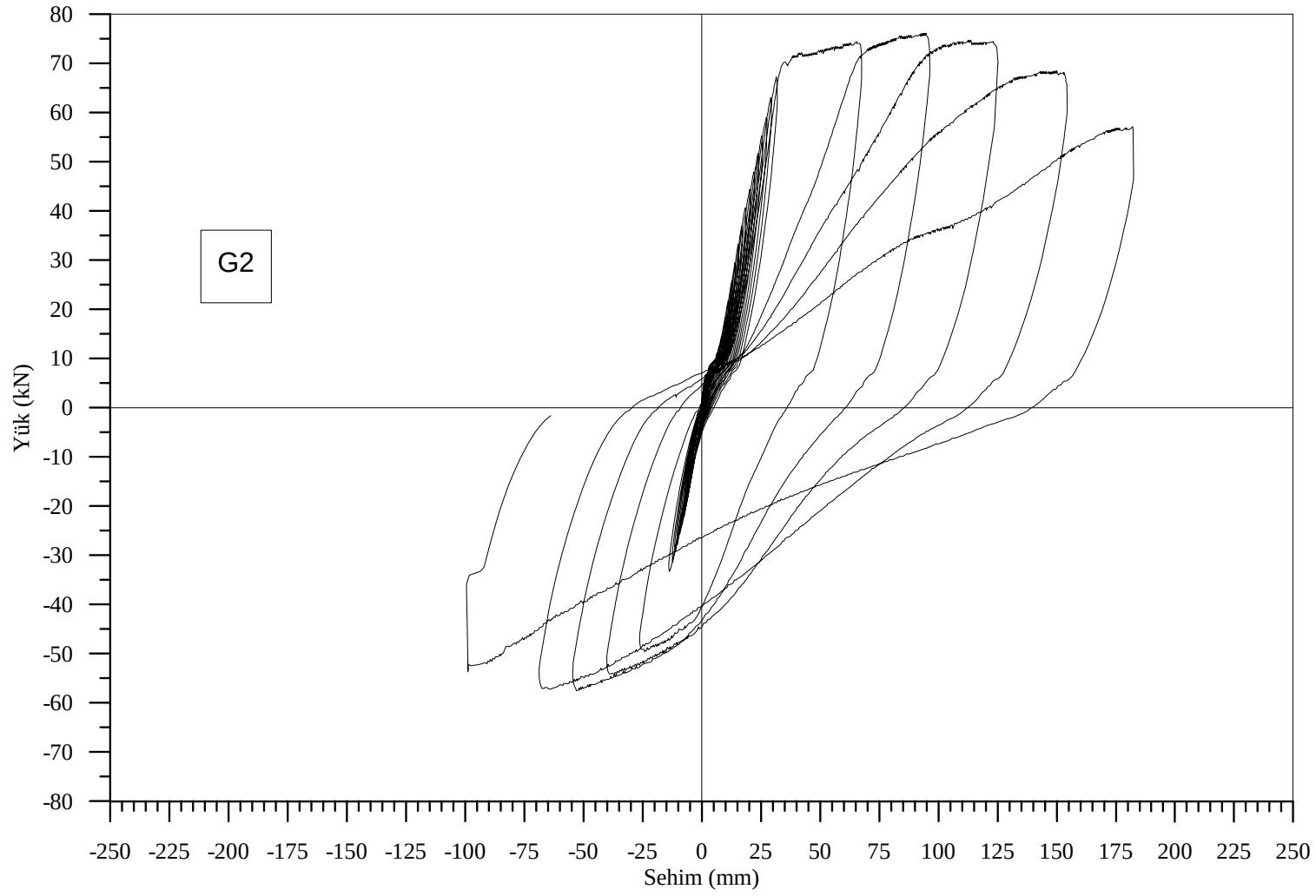
Şekil 4.44. Referans Eleman, C2, E2 ve G2 zarf eğrileri



Şekil 4.45. C2 elemanı yük-sehim grafiği



Şekil 4.46. E2 elemanı yük-sehim grafiği



Şekil 4.47. G2 elemanı yük -sehim grafiği

Çizelge 4.1. Elemanların ileri ve geri plastik çevrimlerdeki en büyük yüklerin aynı çevrimlerdeki referans eleman yüklerine oranları

	Çevrim No	RC2	WC1a	WC1b	WC1c	WC1d	WJ	WC2d	WJ2	A1	B1	D1	A2	B2	D2	C1	E1	F1	C2	E2	G2
İleri çevrimler	1	1,00	0,42	0,52	0,79	0,75	0,48	0,88	0,85	1,08	0,94	0,90	1,00	0,96	1,03	1,01	1,02	0,99	1,01	1,02	1,06
	2	1,00	0,42	0,55	0,61	0,78	0,49	0,59	0,71	1,08	0,87	0,86	0,87	0,79	0,90	1,01	0,98	1,00	1,11	0,96	1,10
	3	1,00	0,42	0,54	0,45	0,56	0,49	0,45	0,61	0,00	0,76	0,77	0,73	0,67	0,78	1,03	0,90	1,01	1,13	0,72	1,11
	4	1,00	0,46	0,52	0,40	0,14	0,54	0,38	0,47	0,00	0,71	0,70	0,66	0,60	0,74	1,09	0,83	1,12	1,18	0,32	1,19
Geri çevrimler																					
	1	1,00	0,30	0,33	0,56	0,43	0,39	0,78	0,66	0,93	0,66	0,65	0,86	0,86	1,06	0,94	1,01	0,90	1,06	1,02	0,97
	2	1,00	0,29	0,34	0,44	0,49	0,41	0,51	0,51	0,00	0,69	0,72	0,49	0,56	0,83	0,98	1,02	0,93	1,09	1,02	1,01
	3	1,00	0,27	0,37	0,42	0,65	0,47	0,38	0,41	0,00	0,52	0,53	0,29	0,39	0,64	1,01	0,86	0,94	1,10	0,94	1,05
	4	1,00	0,27	0,40	0,22	0,58	0,50	0,33	0,26	0,00	0,33	0,42	0,00	0,30	0,55	1,06	0,66	1,01	1,14	0,64	1,09

4.2.2. Moment-eğrilik ilişkisi

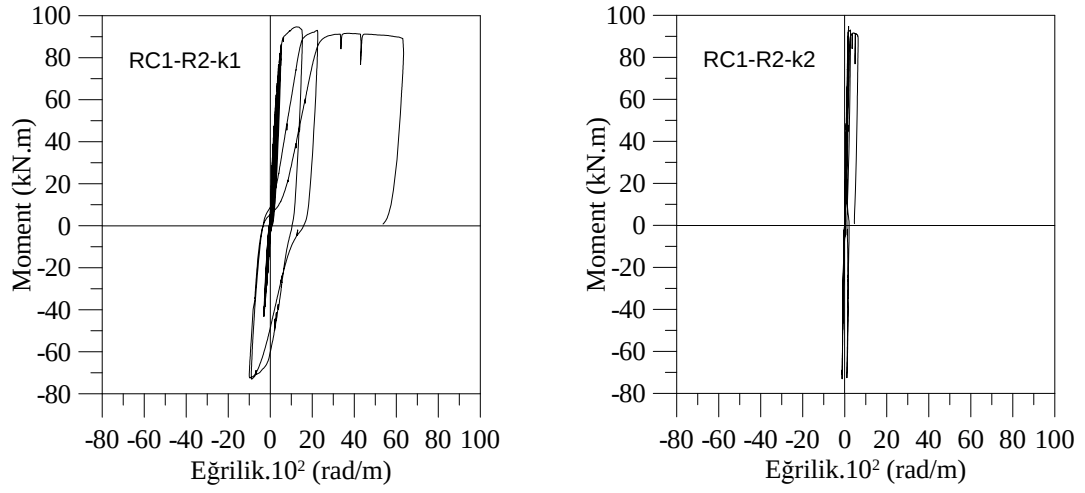
Deney elemanlarının çeşitli kesitlerinde hesaplanmış olan moment ile eğrilik arasındaki ilişkiye, betonarmenin kendine özgü davranışından ötürü gerçek ilişki gözüyle bakmak çoğu zaman çok yanıltıcı olabilir. Betonarme model deneylerinde eğrilik ölçümü alınacak bölgenin uzunluğuna karar vermek oldukça 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. 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. Bu noktadan 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 elemanlar arası kıyaslama yapmak için kullanılmalıdır [3].

Eleman üzerinde daha önce belirtilen 2 bölge için moment ve eğrilik ilişkisi grafikleri çizilmiştir. 1. Bölgenin yüksekliği kolon yüzünden 160 mm'dir. İkinci ölçüm bölgesinin yüksekliği 460 mm'dir. Bu bölümün sonunda her elemanın iki bölge için moment-eğrilik ilişkileri bir arada grafik olarak sunulmuştur. Bu grafikler çizilirken, her bir bölgenin momenti yerine, bölgeler arası karşılaştırma ve yorumların daha kolay yapılabilmesi için kolon yüzündeki kiriş momenti

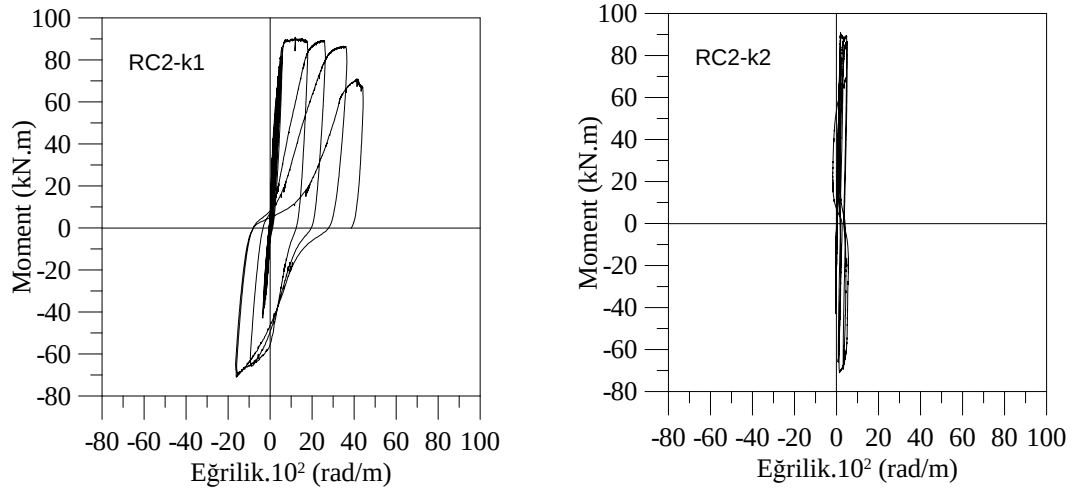
kullanılmıştır. Ancak moment-eğrilik grafikleri üzerinden yapılabilecek değerlendirmelerin sınırlı bir düzeyde kalacağı unutulmamalıdır.

Genel olarak deney elemanlarının tamamında momentin daha büyük olduğu birinci ölçüm bölgesinde büyük eğrilik, momentin daha küçük olduğu ikinci ölçüm bölgesinde ise daha küçük eğrilik değerleri belirlenmiştir (Şekil 4.48- 4.61).

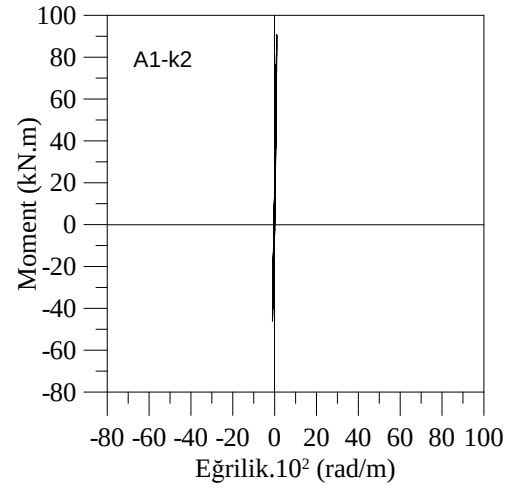
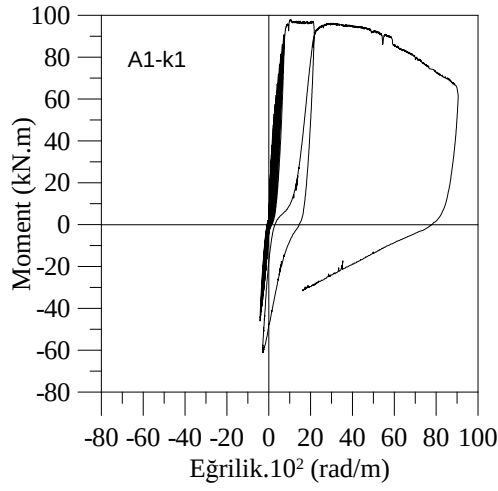
Başarılı güçlendirme elemanlarından C1-C2-E1-E2-F1-G2 elemanlarının birinci bölge eğrilik ölçümleri referans elemanına benzer bir gelişim göstermiştir, Şekil 4.56, 4.57, 4.58, 4.59, 4.60, 4.61. Güçlendirme elemanlarından C1, C2, F1 ve G2 elemanlarının ikinci ölçüm bölgesinden ölçülen eğrilik değerlerinin, diğer elemanların ikinci bölge eğriliklerinden biraz daha büyük oldukları gözlenmiştir. (Şekil 4.56, 4.57, 4.60 ve 4.61). Buradan da anlaşılabileceği gibi etkili sonuçlar vermiş olan güçlendirme tekniklerinde kiriş alt ucunda hasarlar oluşuktan sonra, hasarlar birleşimden çok, kirişin iç kesitlerine doğru yönelmiştir.



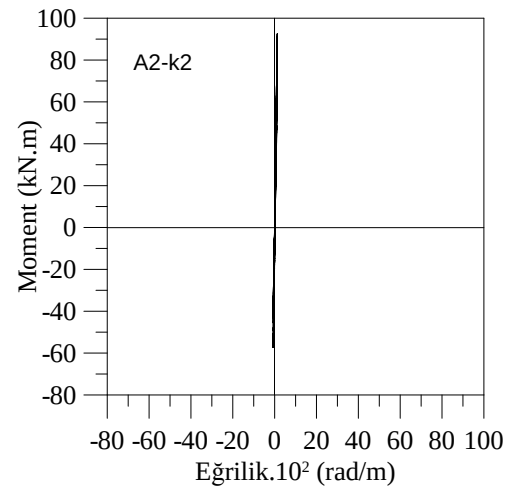
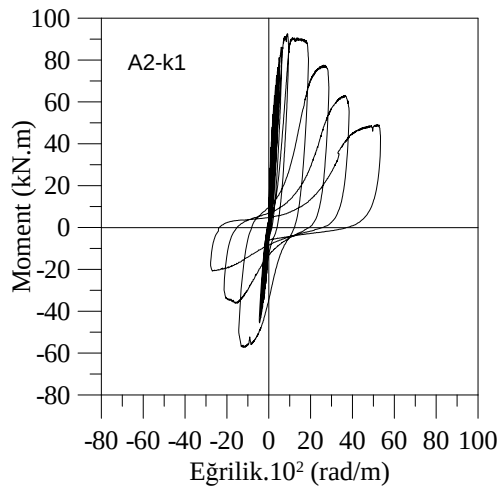
Şekil 4.48. RC1-R2 elemanı moment eğrilik ilişkisi



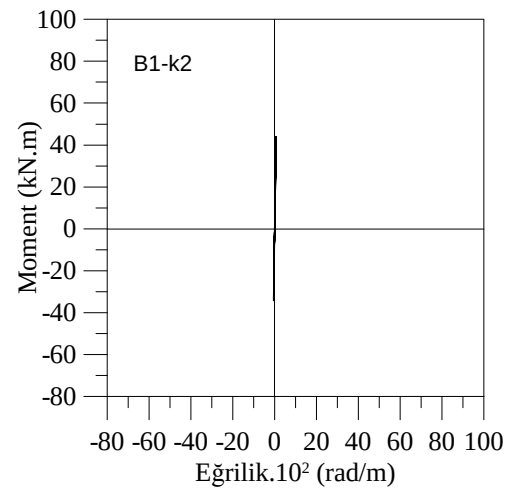
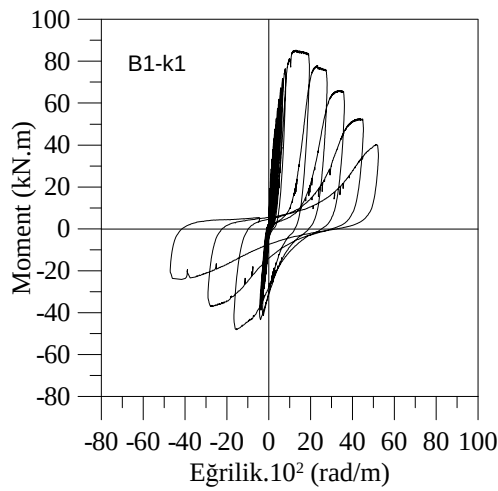
Şekil 4.49. RC2 elemanı moment eğrilik ilişkisi



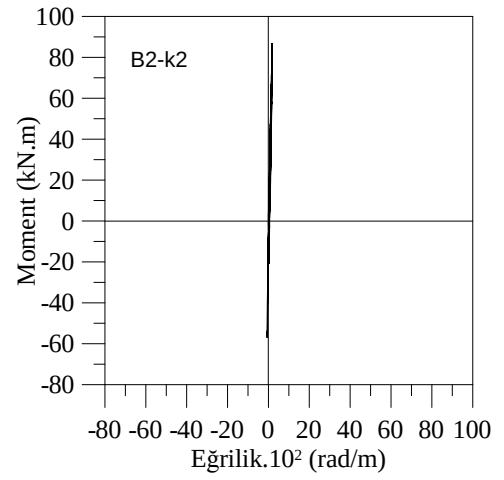
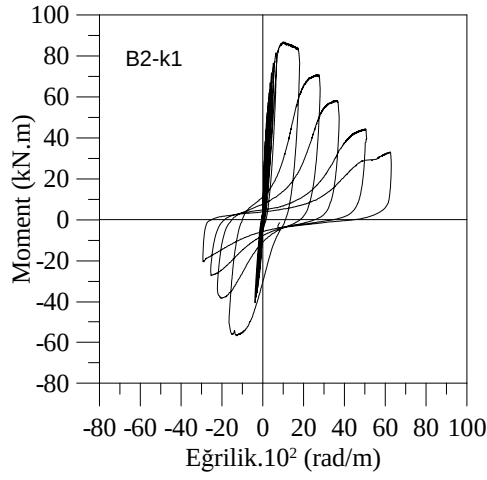
Şekil 4.50. A1 elemanı moment eğrilik ilişkisi



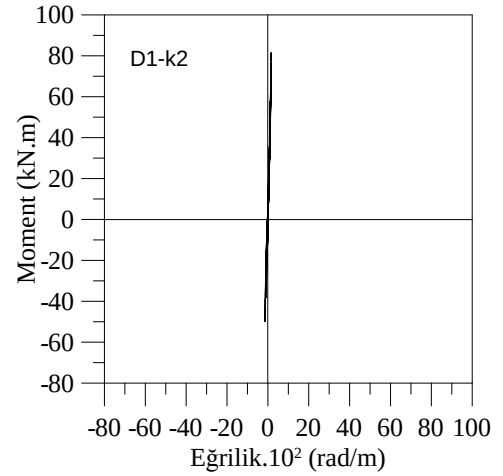
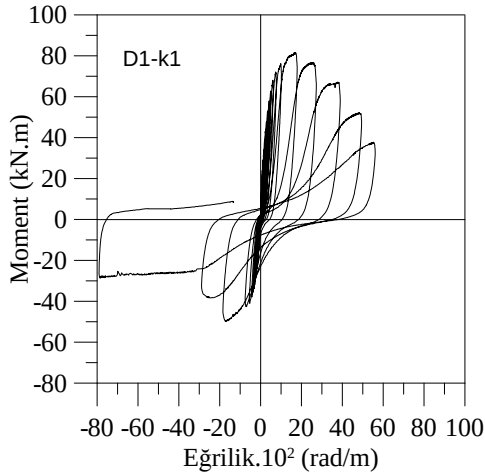
Şekil 4.51. A2 elemanı moment eğrilik ilişkisi



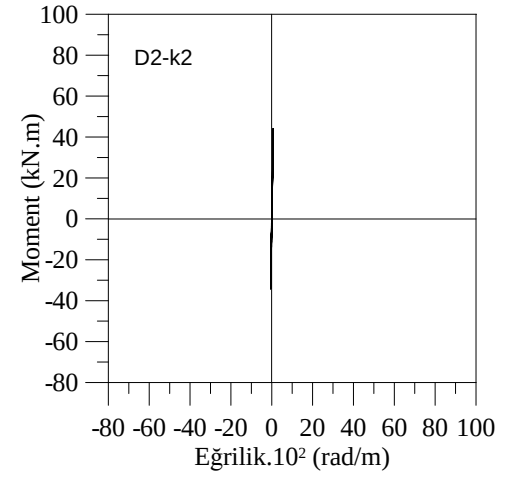
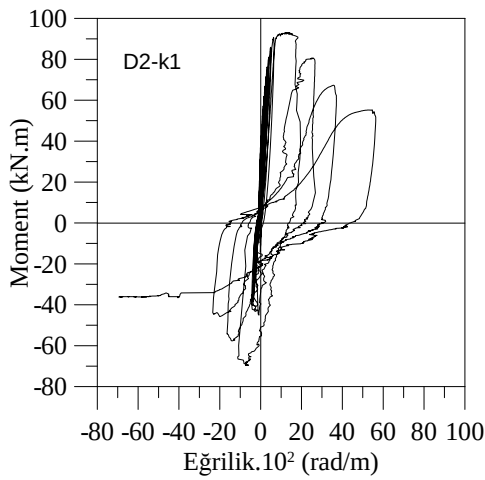
Şekil 4.52. B1 elemanı moment eğrilik ilişkisi



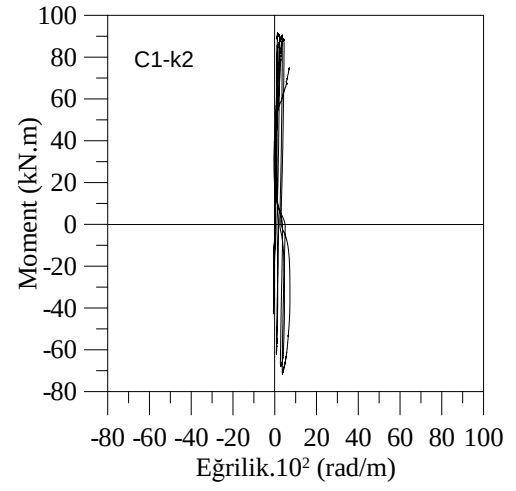
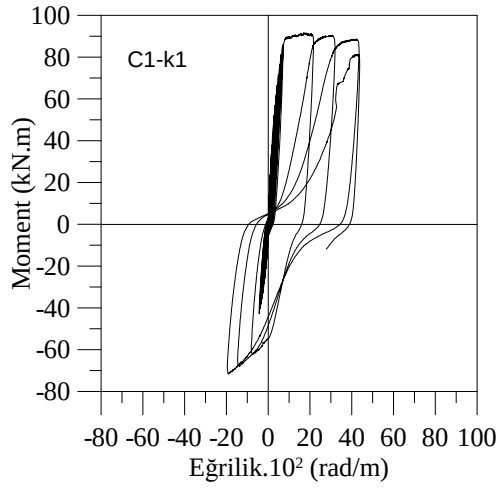
Şekil 4.53. B2 elemanı moment eğrilik ilişkisi



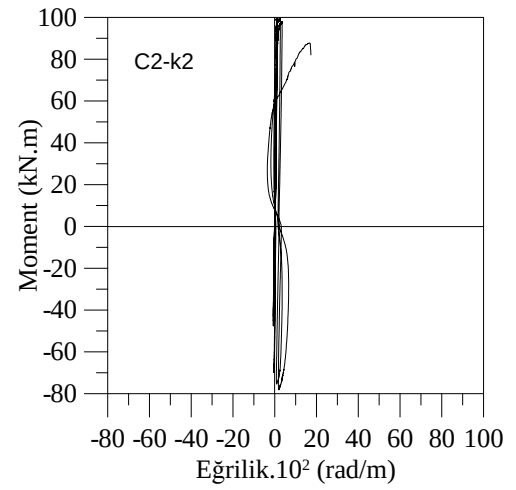
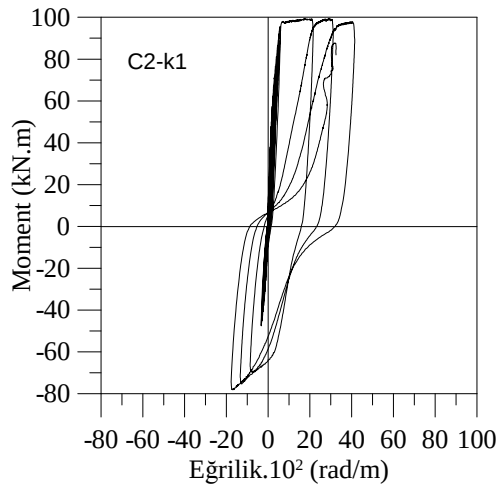
Şekil 4.54. D1 elemanı moment eğrilik ilişkisi



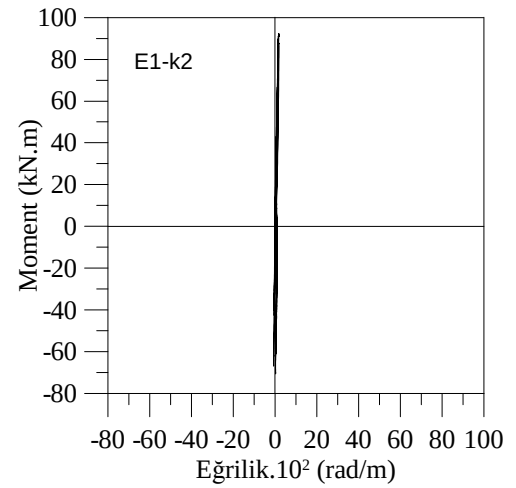
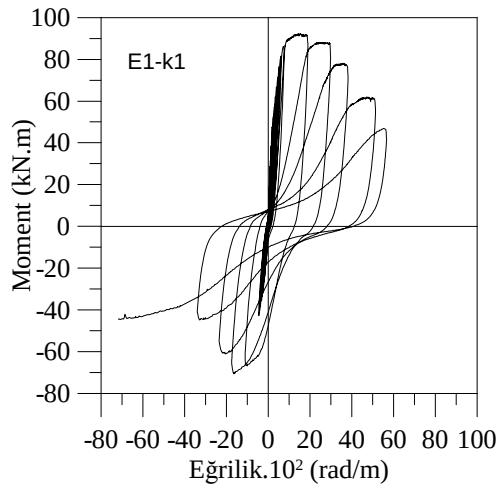
Şekil 4.55. D2 elemanı moment eğrilik ilişkisi



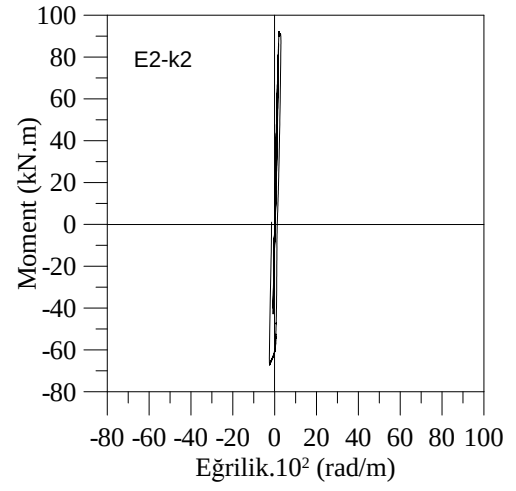
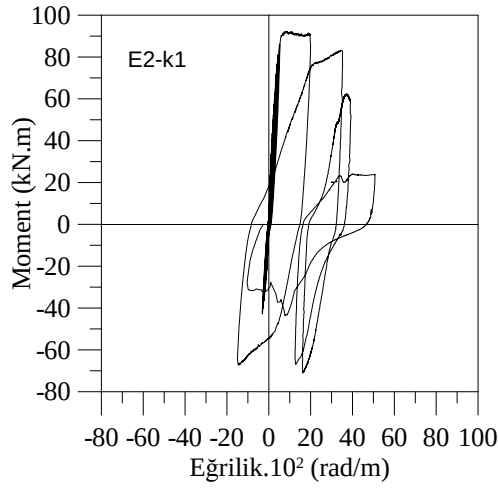
Şekil 4.56. C1 elemanı moment eğrilik ilişkisi



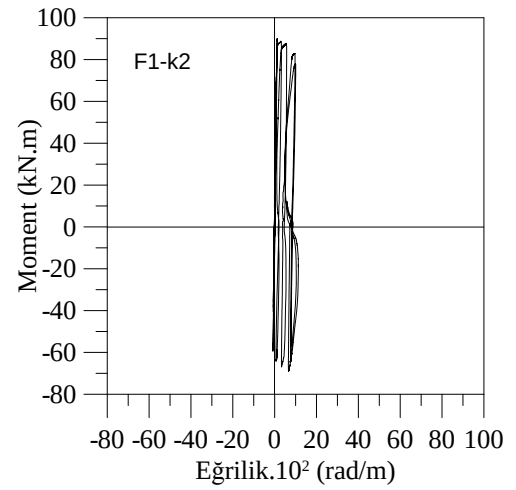
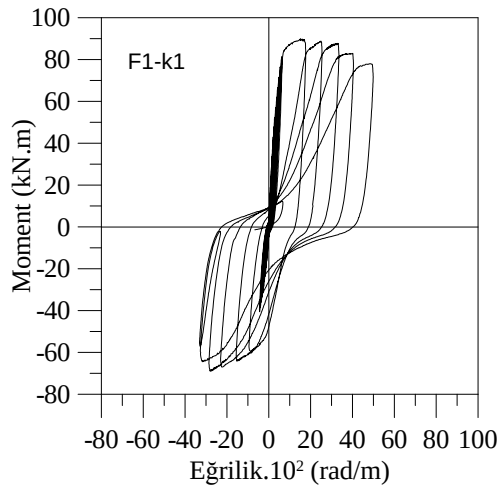
Şekil 4.57. C2 elemanı moment eğrilik ilişkisi



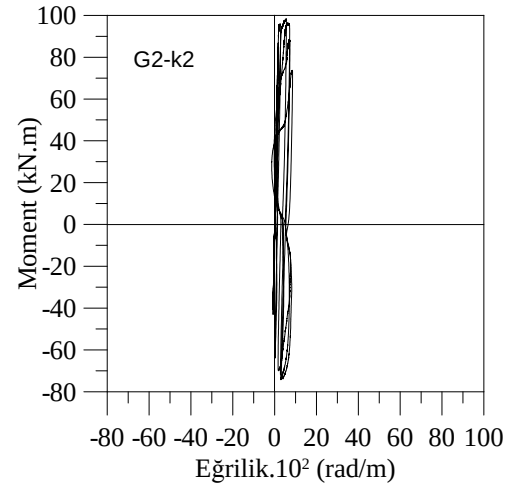
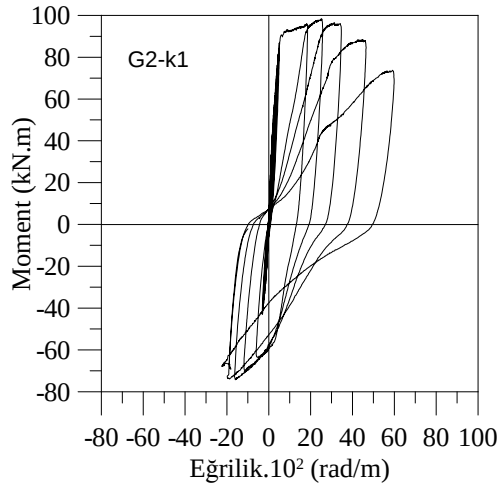
Şekil 4.58. E1 elemanı moment eğrilik ilişkisi



Şekil 4.59. E2 elemanı moment eğrilik ilişkisi



Şekil 4.60. F1 elemanı moment eğrilik ilişkisi



Şekil 4.61. G2 elemanı moment eğrilik ilişkisi

4.3. Deney Elemanlarının Eğilme Rijitliği

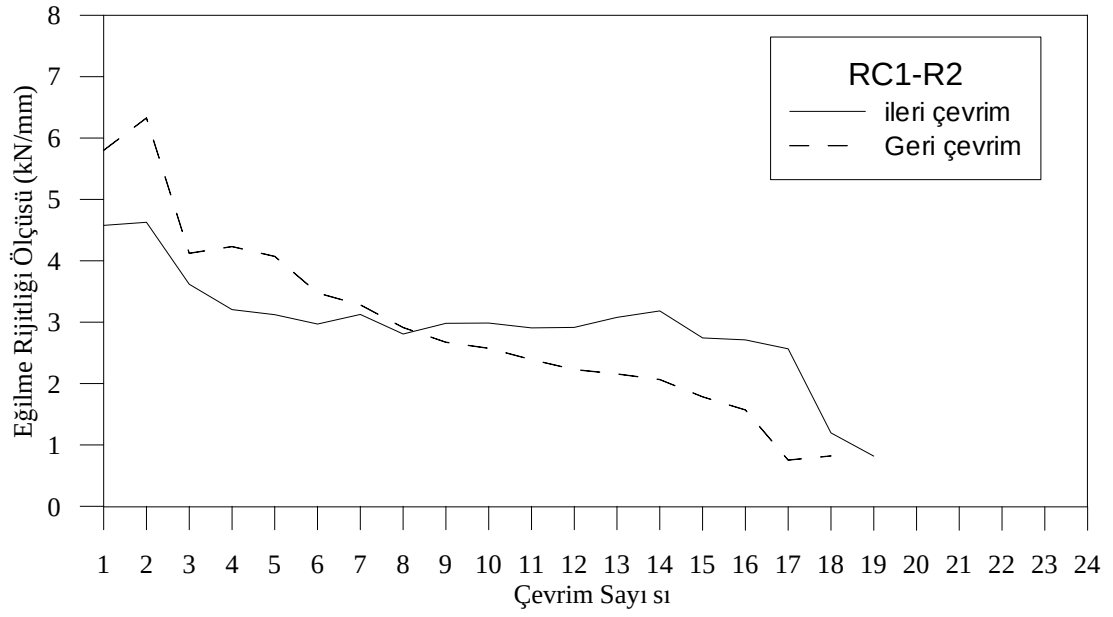
Deney elemanlarının eğilme rijitlikleri üzerine karşılaştırma ve yorumlarda moment-eğrilik grafiklerinin eğiminden bulunan eğilme rijitlikleri kullanılmamıştır. Betonarmenin kendine özgü davranışı nedeniyle elemanların çeşitli kesitlerinde ölçülen ve hesaplanan moment-eğrilik ilişkisinin, tam doğru olduğunu düşünmemek gerekir. Betonarme model deneylerinde eğrilik ölçümü alınacak bölge uzunluğunu belirlemek oldukça zordur. Eğrilik ölçümü alınan bölge içindeki çatlak sayısı ve dağılımı eğrilik üzerinde oldukça etkilidir. Bu nedenle karşılaştırma ve yorumlar, eğilme rijitliğinin bir ölçüsü olan yük-deplasman grafiklerinin eğimleri üzerinden yapılmıştır [3].

Rijitlik hesabında birçok yöntem denenmiş ancak tutarlı sonuçlar elde edilememiştir. Bunun üzerine her çevrimdeki en büyük yükün %70'ine kadar olan yük artımlarının, aynı yük artımında oluşan sehim artımlarına oranları bulunmuş, daha sonra bu oranların ortalaması alınarak her çevrime ait ortalama rijitlik değerleri bulunmuştur. Hem ileri hem de geri yöndeki rijitlik hesapları benzer şekilde yapılmış ve Şekil 4.62-4.82 de verilmiştir.

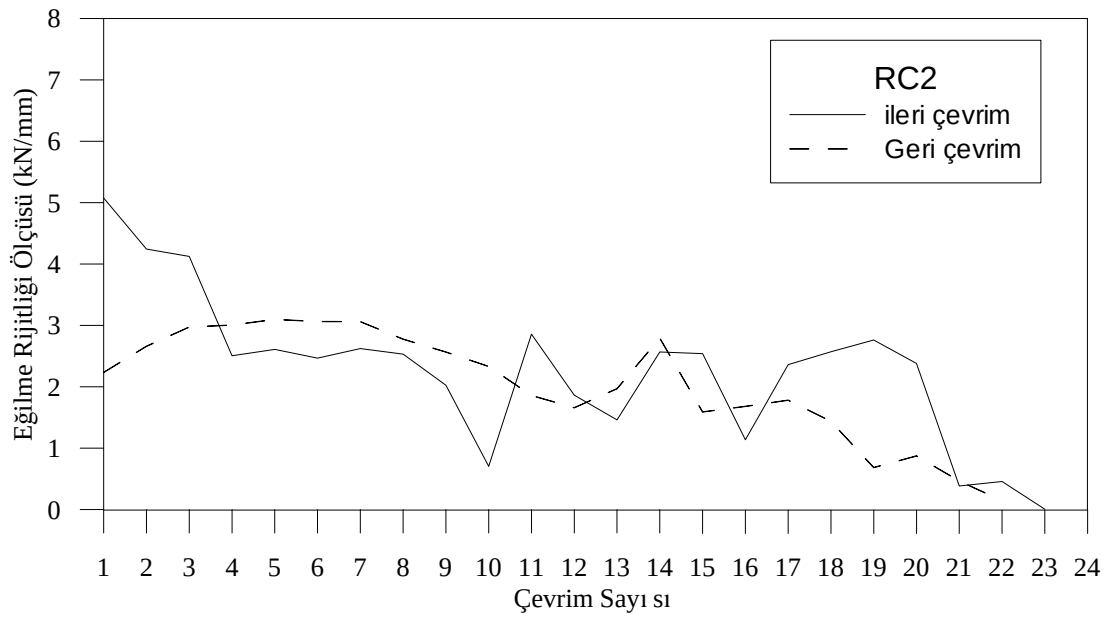
Rijitlikler çevrim sayısına bağlı olarak genellikle bir azalma eğilimi göstermişlerdir. Ancak birçok elemanda rijitlikteki azalma düzgün sayılabilecek bir şekilde gerçekleşmemiştir. Buna rağmen 2. gruptaki elemanlardaki rijitlik azalması diğerlerine göre daha az olmuştur, Şekil 4.75, 4.76, 4.79, 4.80, 4.81, 4.82.

2. Grup elemanlarından kirişleri oldukça sık etriyeli F1 ve G2 elemanları rijitliklerin korunması bakımından en iyi davranışı gösteren elemanlar olmuştur. Bu elemanlarda deneyin büyük bir bölümünde rijitlik değeri yaklaşık aynı düzeyde kalmıştır, (Şekil 4.81 ve 4.82).

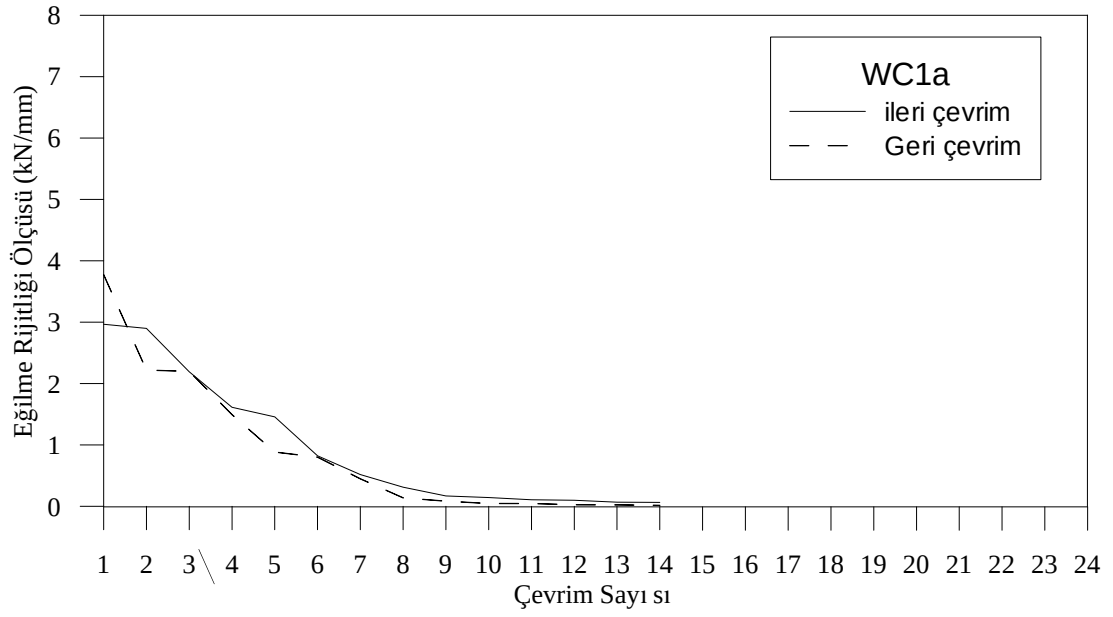
Genellikle güçlendirilmiş tüm elemanlardaki ilk rijitlikler, referans eleman rijitliği mertebesinde gerçekleşmiştir, Şekil 4.71-4.82. Zayıf elemanlarda, deneyin sonlarına doğru rijitliklerin tümünden yok olduğu görülmüştür (Şekil 4.64-4.70).



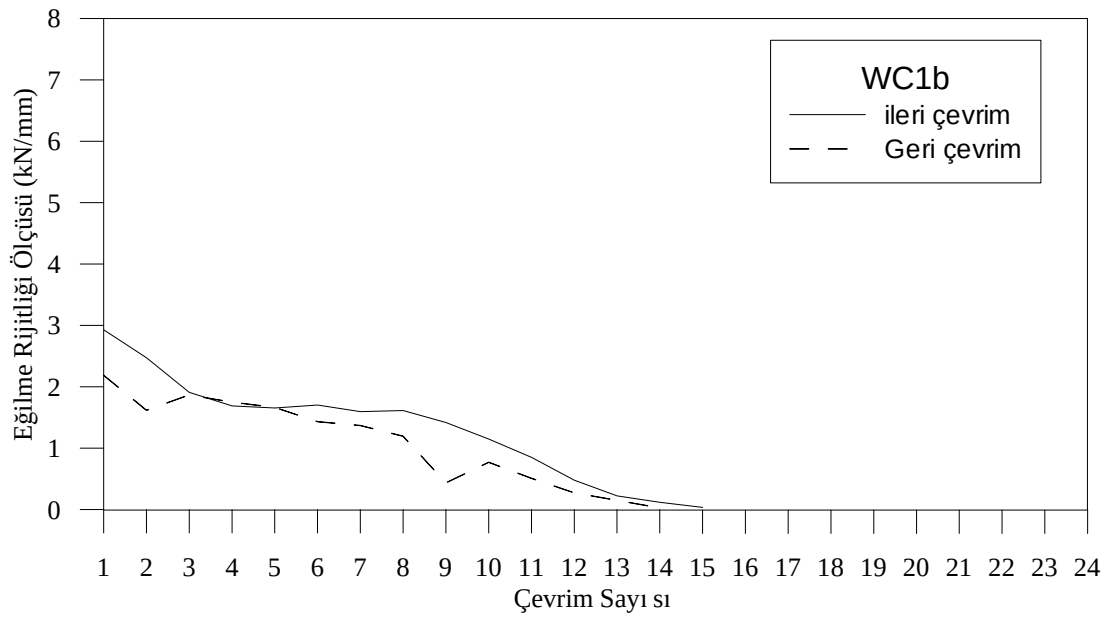
Şekil 4.62. RC1-R2 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği



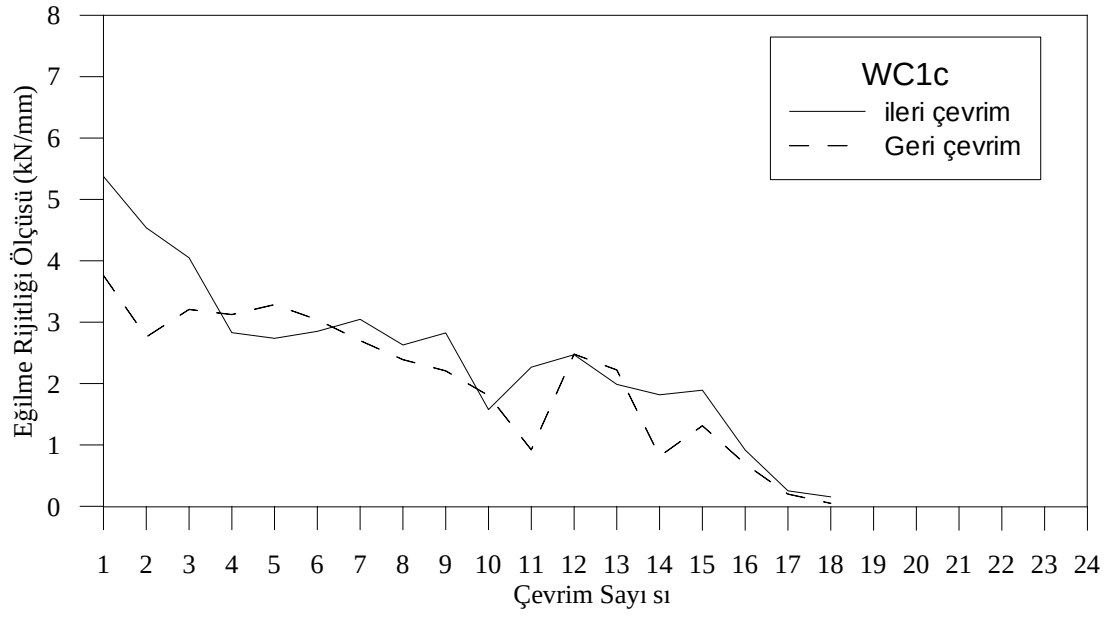
Şekil 4.63. RC2 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği



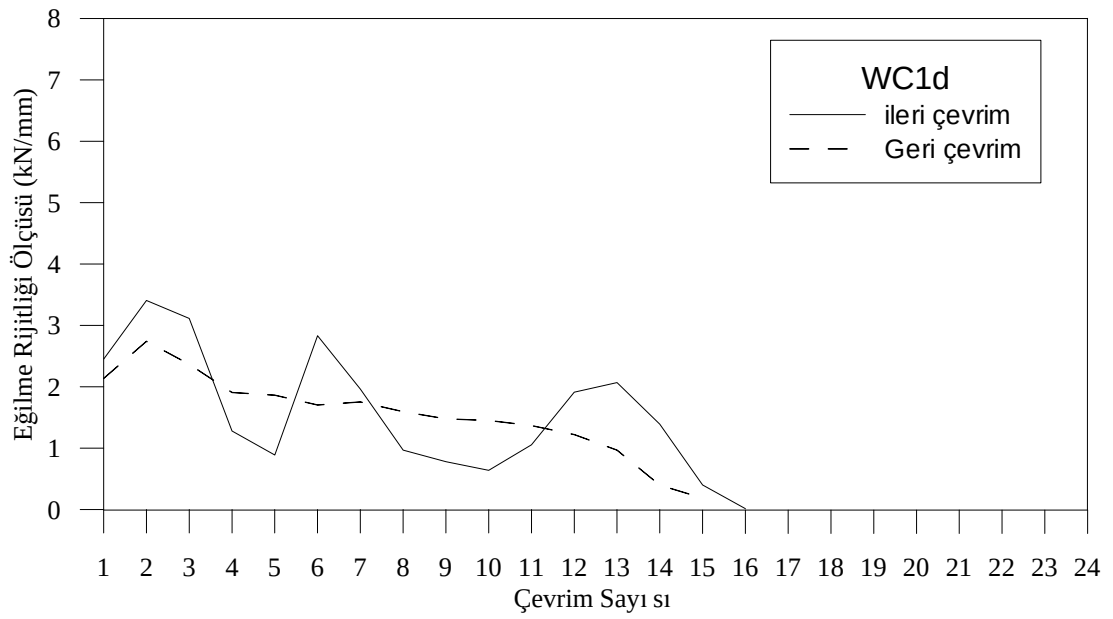
Şekil 4.64. WC1a elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği



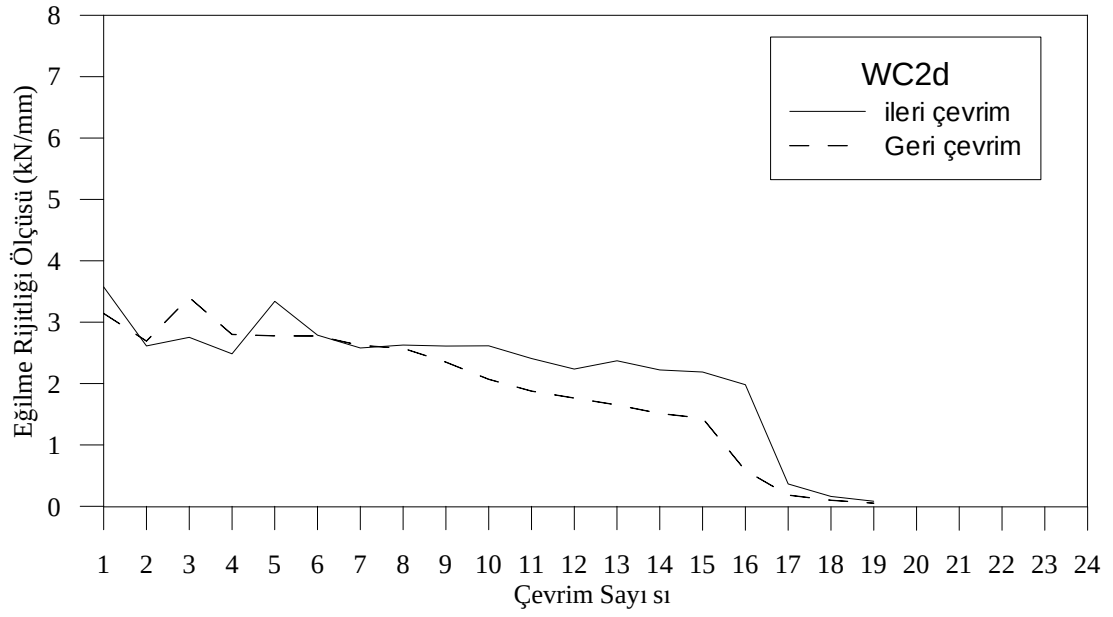
Şekil 4.65. WC1b elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği



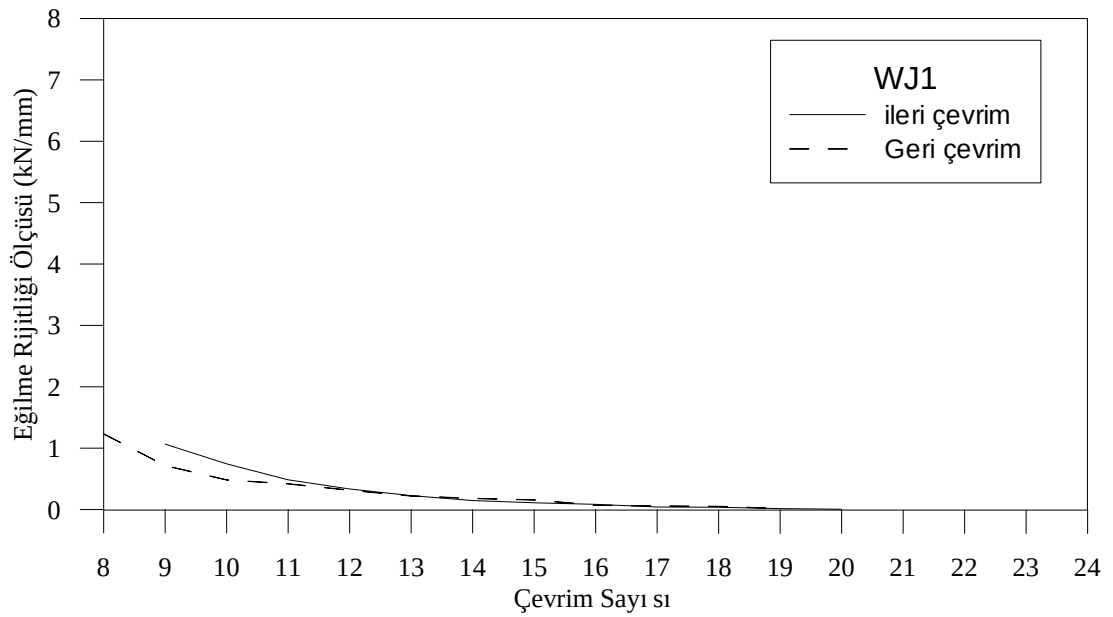
Şekil 4.66. WC1c elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği



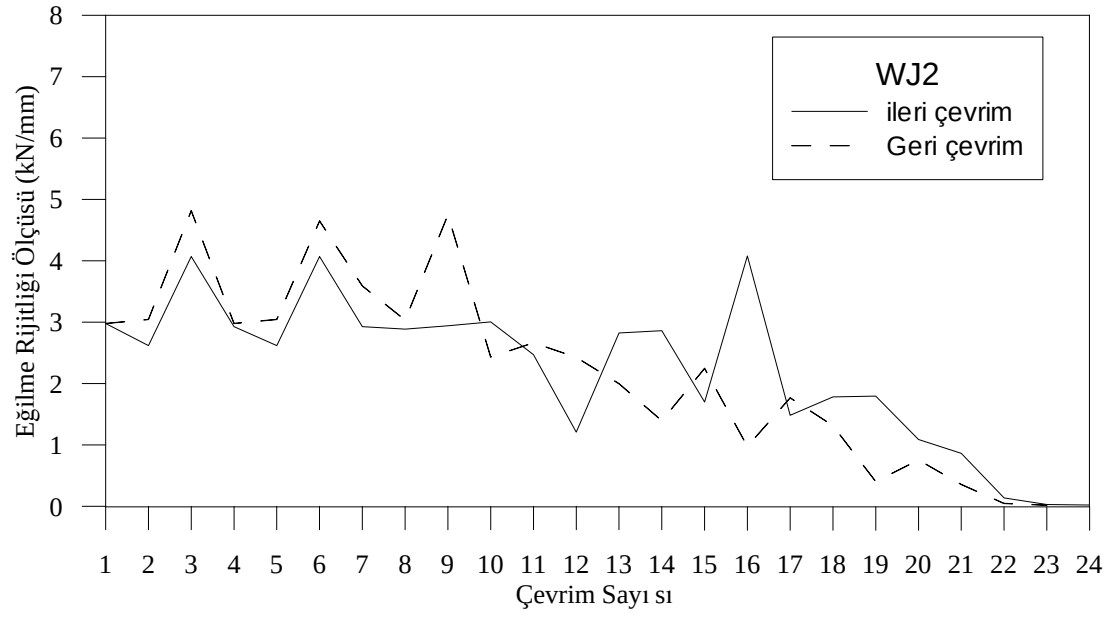
Şekil 4.67. WC1d elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği



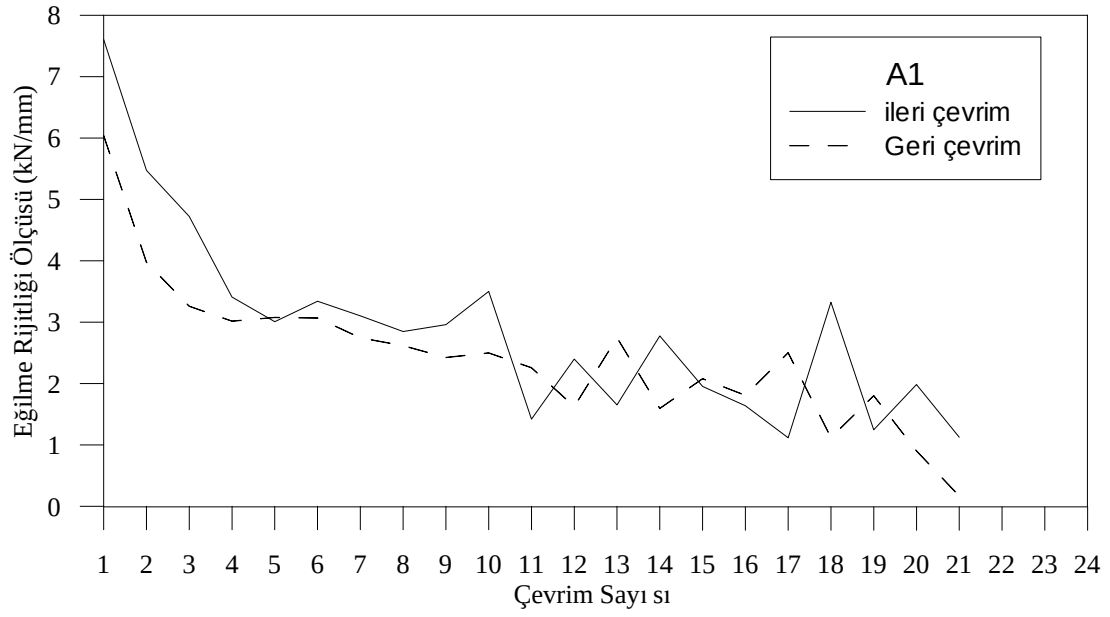
Şekil 4.68. WC2d elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği



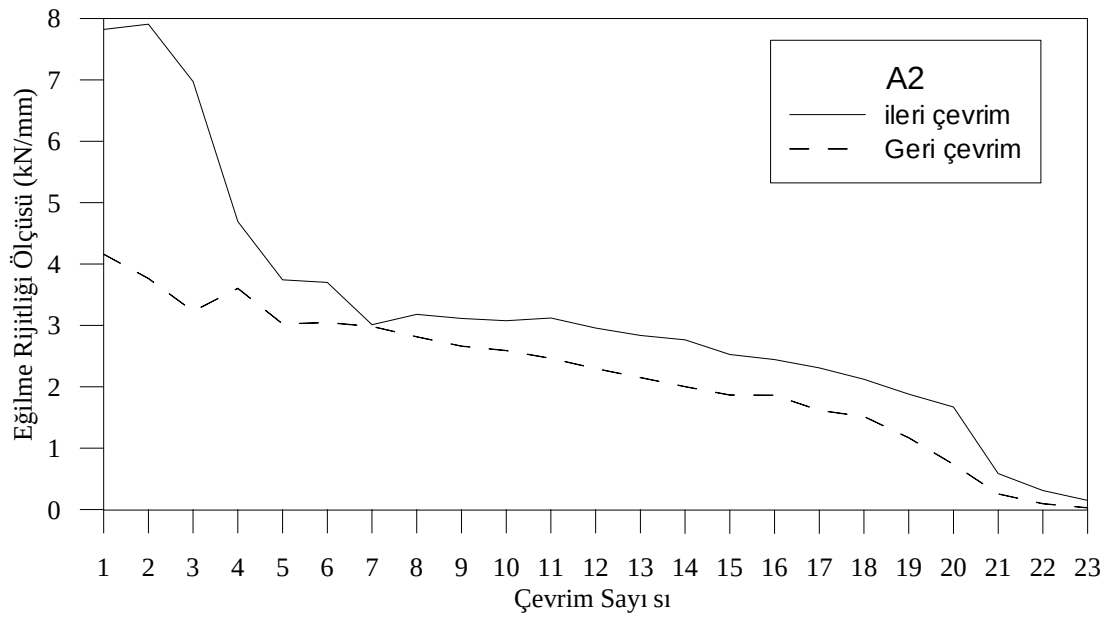
Şekil 4.69. WJ1 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği



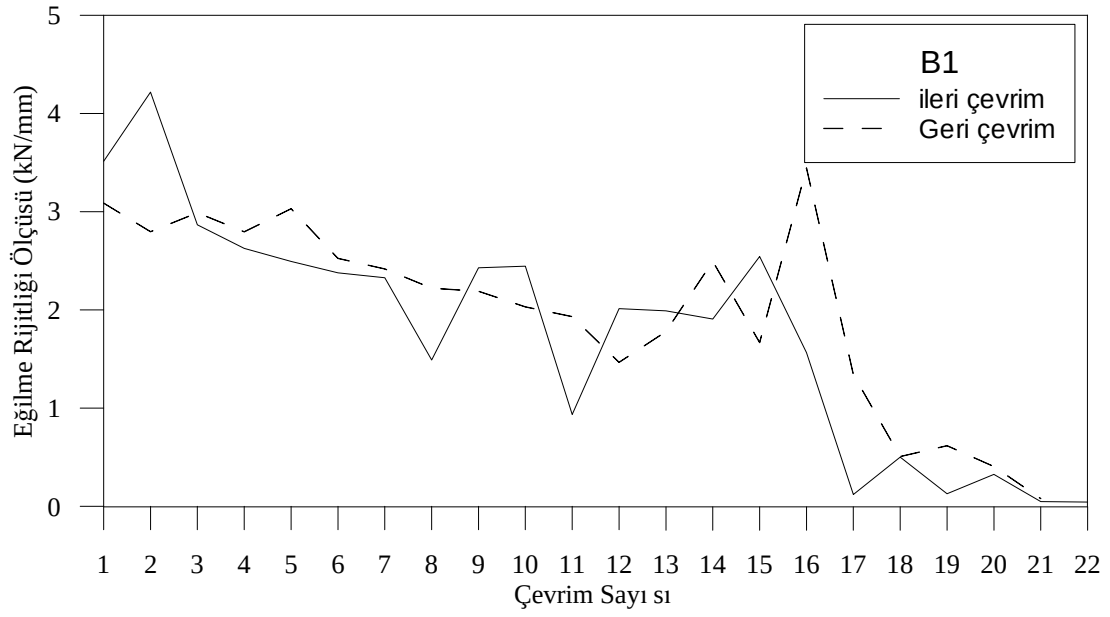
Şekil 4.70. WJ2 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği



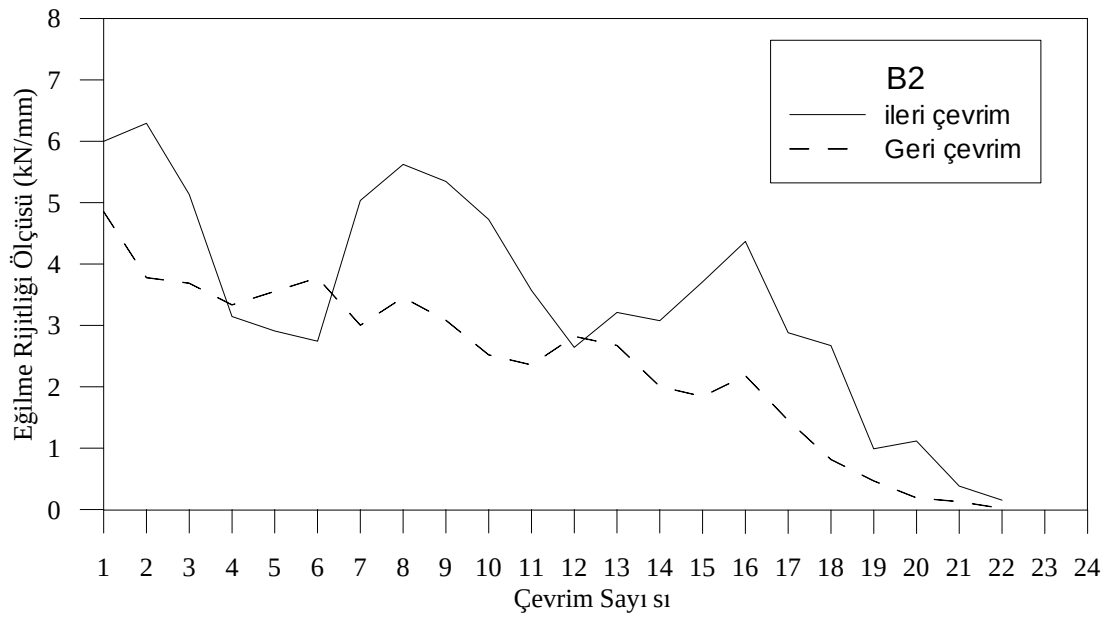
Şekil 4.71 A1 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği



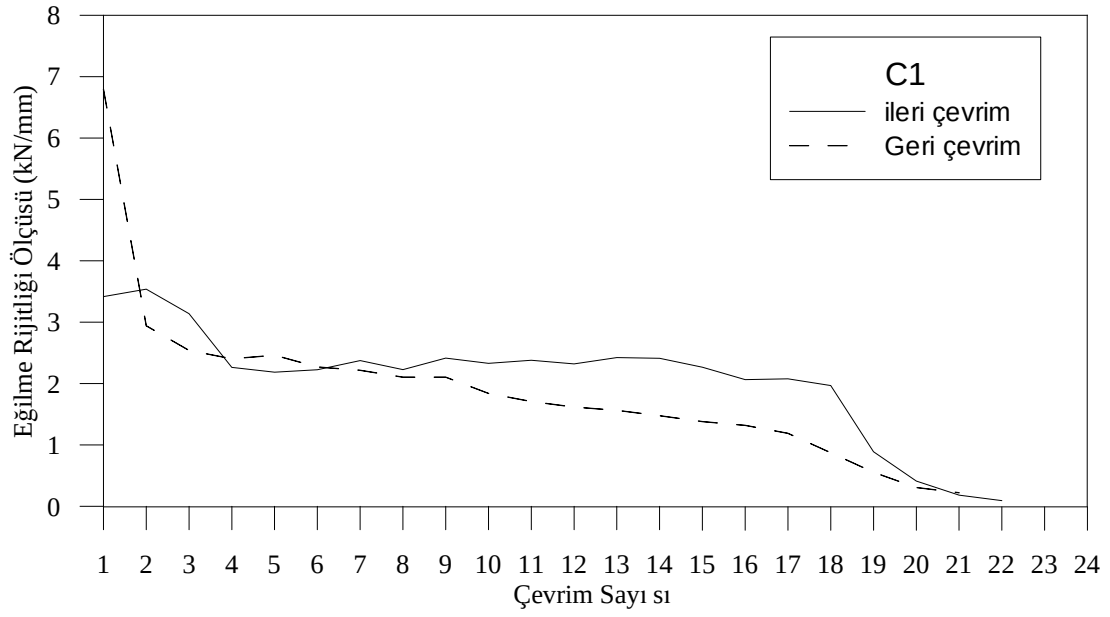
Şekil 4.72. A2 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği



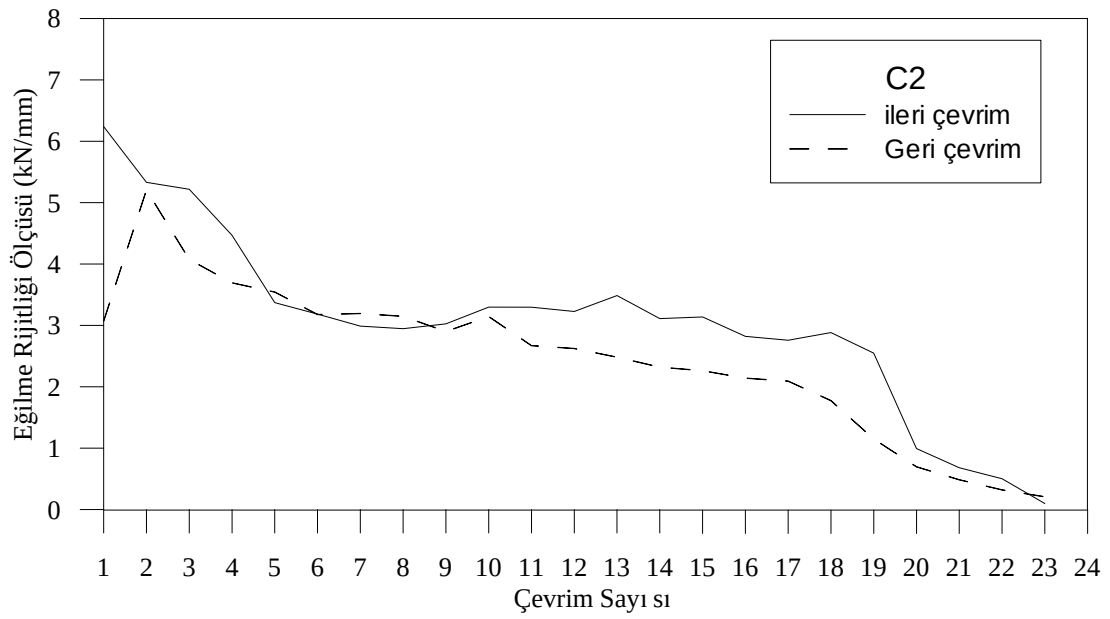
Şekil 4.73. B1 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği



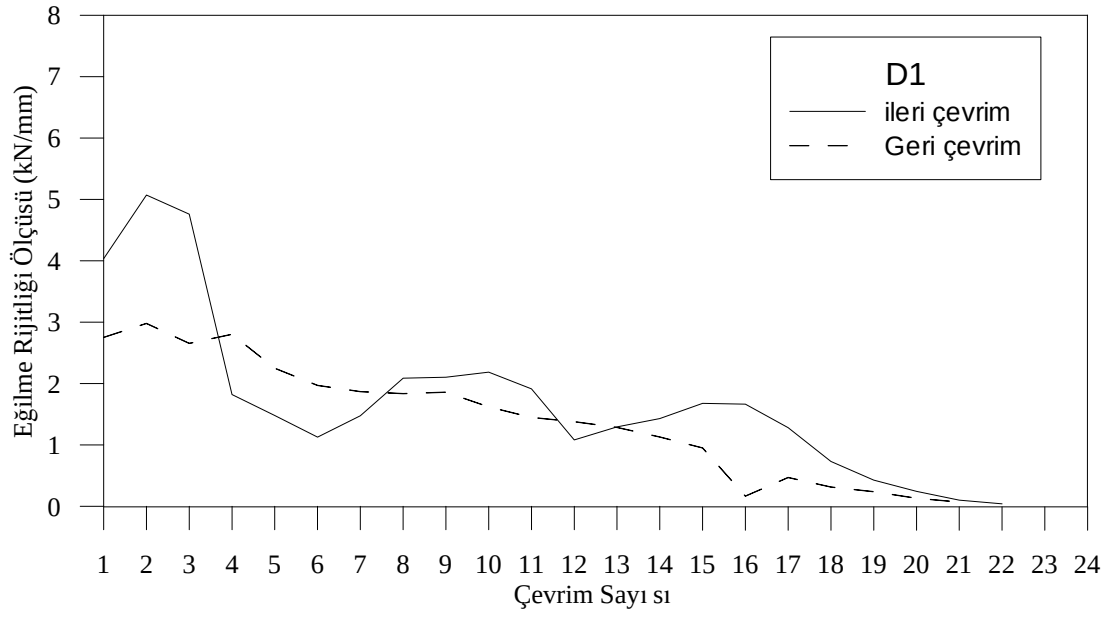
Şekil 4.74. B2 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği



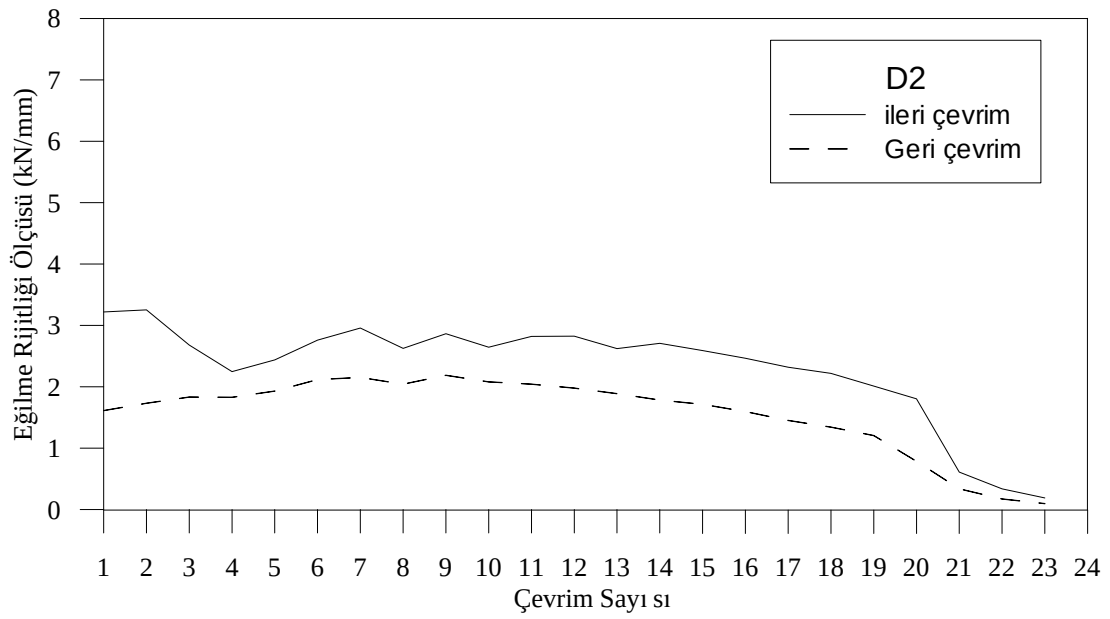
Şekil 4.75. C1 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği



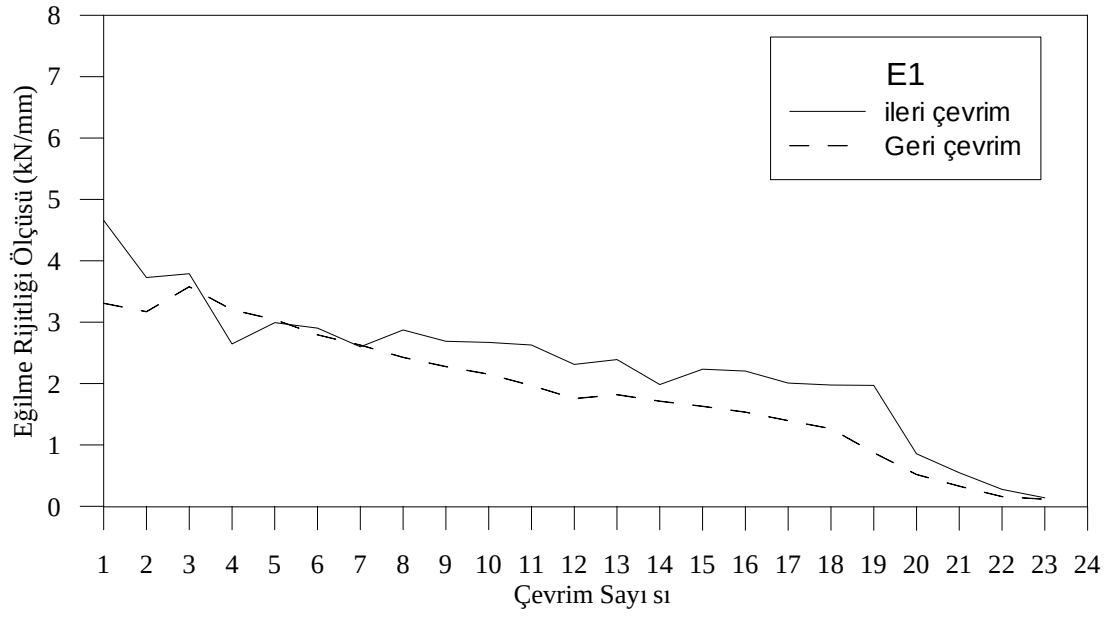
Şekil 4.76. C2 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği



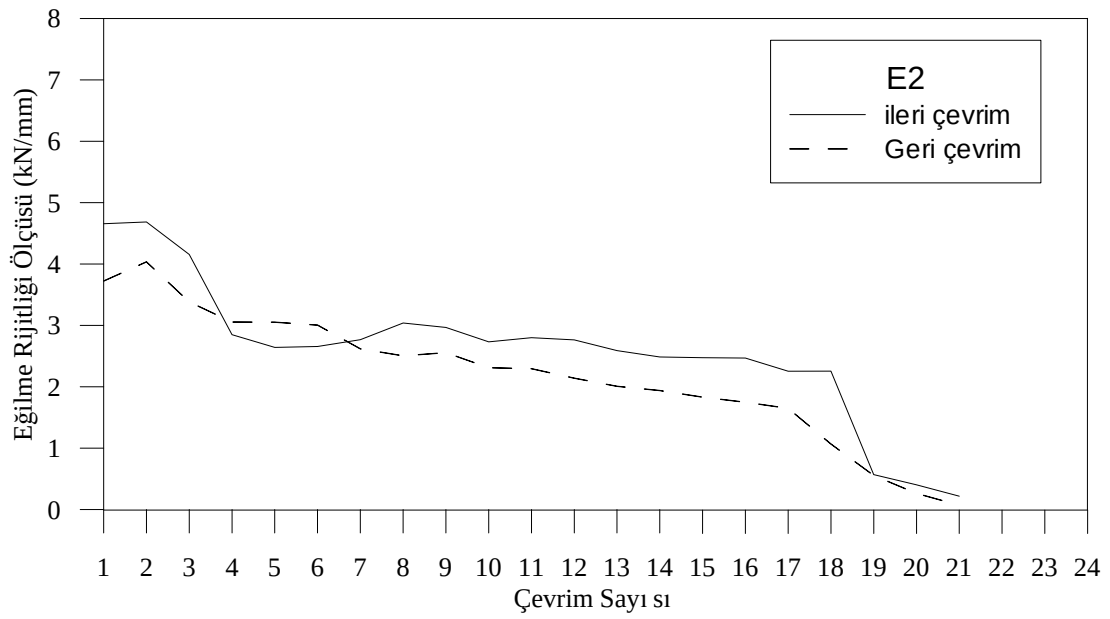
Şekil 4.77. D1 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği



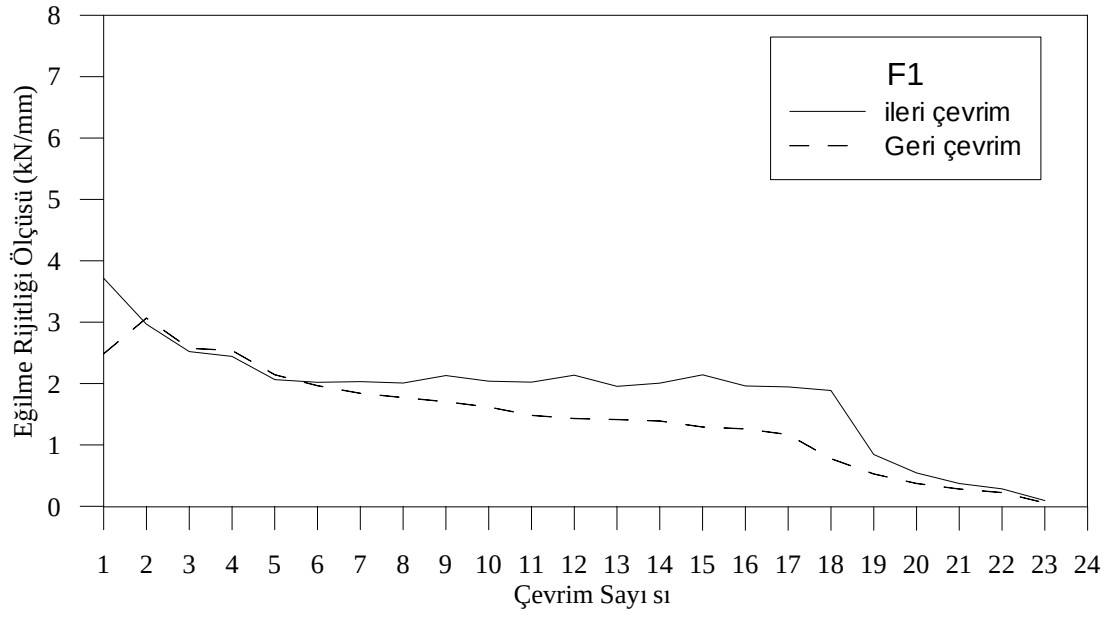
Şekil 4.78. D2 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği



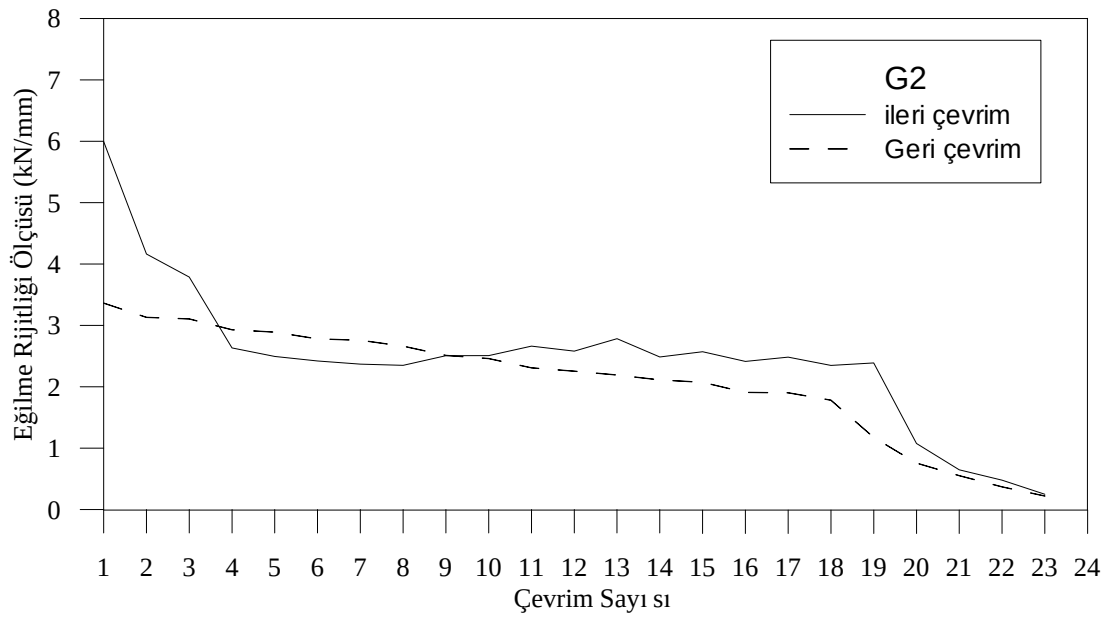
Şekil 4.79. E1 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği



Şekil 4.80. E2 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği



Şekil 4.81. F1 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği



Şekil 4.82. G2 elemanı ileri ve geri yöndeki eğilme rijitliği

4.4. 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, deplasmana göre değişimleri Şekil 4.83 - 4.86'da sunulmuştur. Enerji hesaplarının ayrıntılı ilkeleri için Bölüm 3'e bakılmalıdır.

Çizelge 4.2'de deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri, ileri yöndeki çevrim sayıları ve bu elemanların referans eleman enerji tüketme kapasitesine oranları verilmiştir.

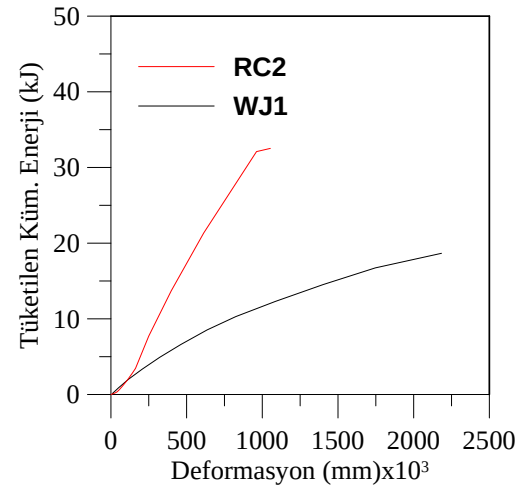
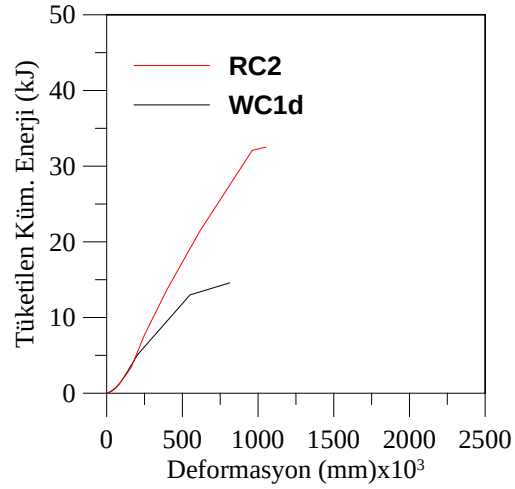
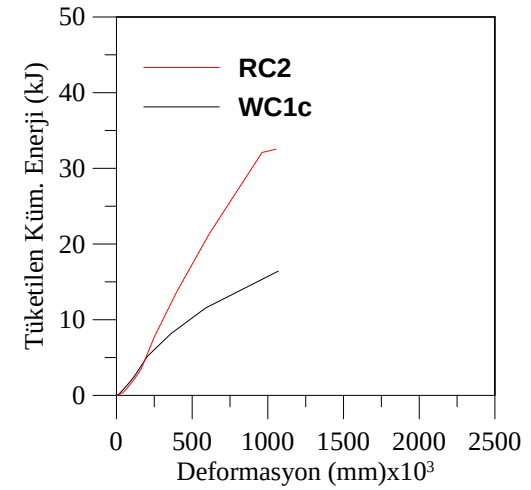
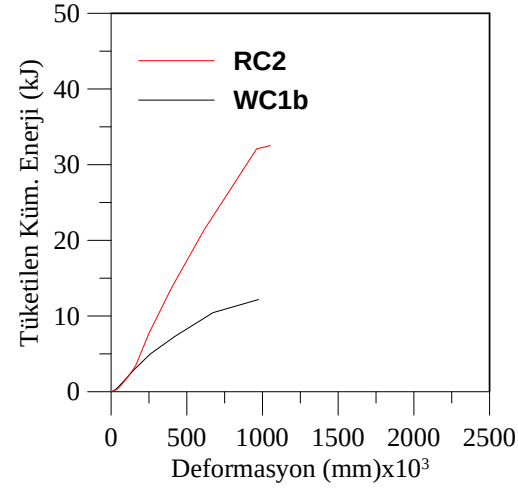
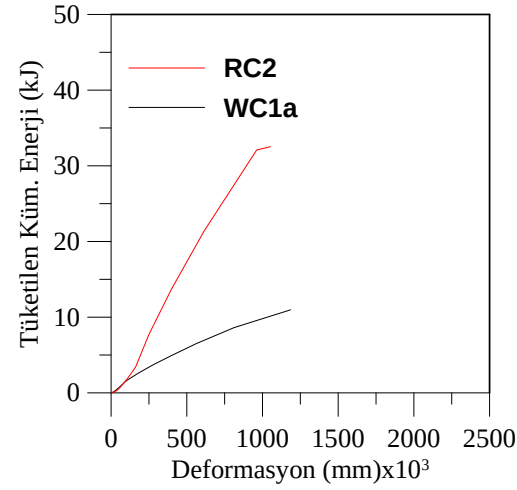
Genel olarak zayıf elemanların enerji tüketme kapasiteleri referansa göre çok daha düşük düzeylerde kalmıştır, (Şekil 4.83-4.84). Bu elemanların referansa göre enerji tüketme oranları %35 ile %60 arasında değişmiştir.

Güçlendirme elemanlarından C, F ve G tipi güçlendirme elemanlarının enerji tüketme kapasitelerinin referans eleman enerji tüketme kapasitesinden daha fazla olduğu, E1 ve E2 elemanlarının enerji tüketme kapasitelerinin ise referans eleman enerji tüketme kapasitesine yakın olduğu görülmüştür (Şekil 4.86). Diğer güçlendirme elemanları A1-A2-B1-B2-D1-D2 nin enerji tüketme kapasiteleri ise referans elemanın enerji tüketme kapasitesinin %60'ı ile % 80'i arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.85).

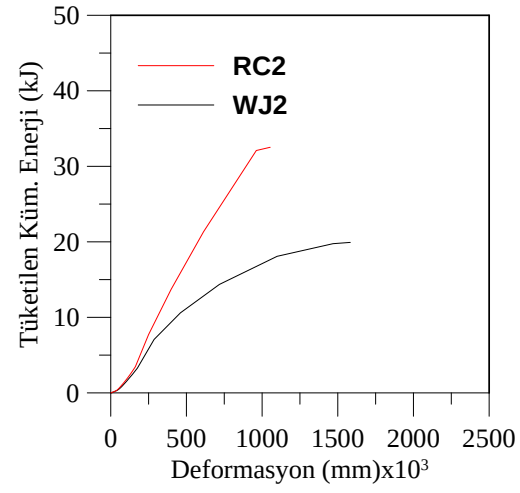
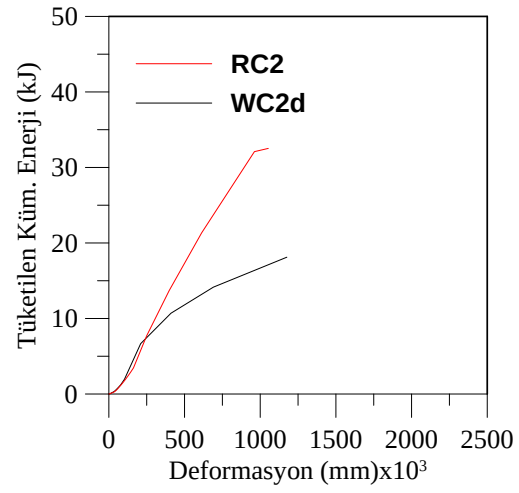
Genel olarak oldukça başarılı sonuçlar elde edilen 2. Gruptaki elemanlarda (C1, C2, E1, E2, F1, G2) yük deplasman eğrilerinin kapladığı alanlar artmış, buna bağlı olarak da bu elemanların enerji tüketme kapasitelerinde referans elemana göre belirgin artışlar olmuştur.

Çizelge 4.2. Tüketilen kümülatif enerjiler

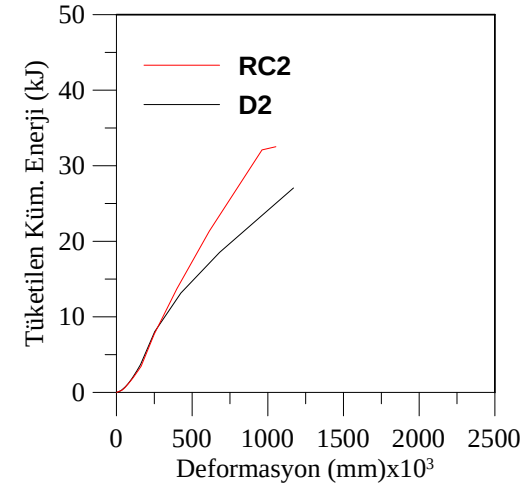
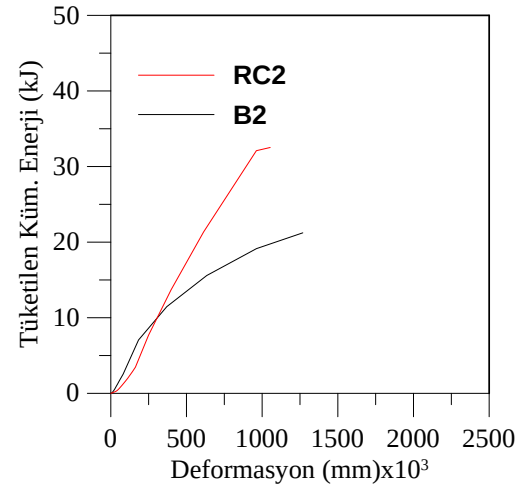
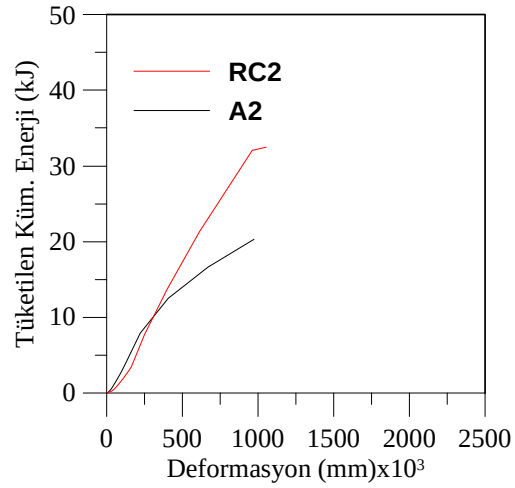
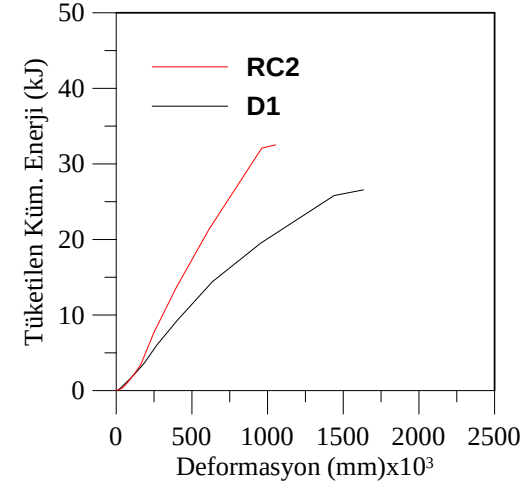
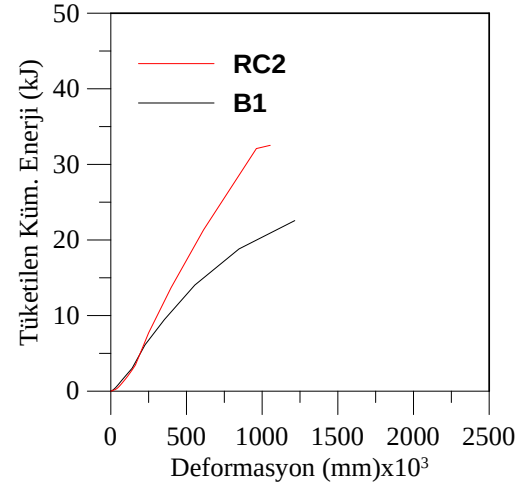
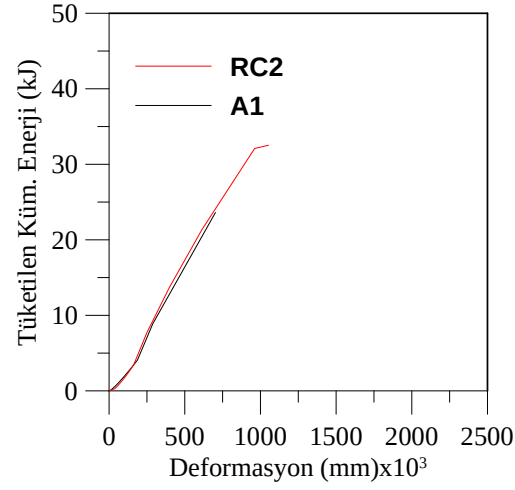
Eleman Adı	İleri yöndeki çevrim sayısı	Tüketilen Kümülatif Enerji Değerleri (kJ)	Referans eleman enerji tüketme kapasitesine oranları
RC2	23	32,5	1
WJ1	20	17,5	0,54
WC1a	14	11	0,34
WC1b	15	12	0,37
WC1c	18	16,5	0,51
WC1d	16	14,5	0,45
WC2d	19	18	0,55
WJ2	25	20	0,62
A1	21	23,5	0,72
A2	23	20	0,62
B1	22	22,5	0,69
B2	22	21,5	0,66
C1	24	43	1,32
C2	25	46	1,42
D1	22	27	0,83
D2	23	27	0,83
E1	23	33,5	1,03
E2	22	32,5	1
F1	23	31,5	0,97
G2	23	42	1,29



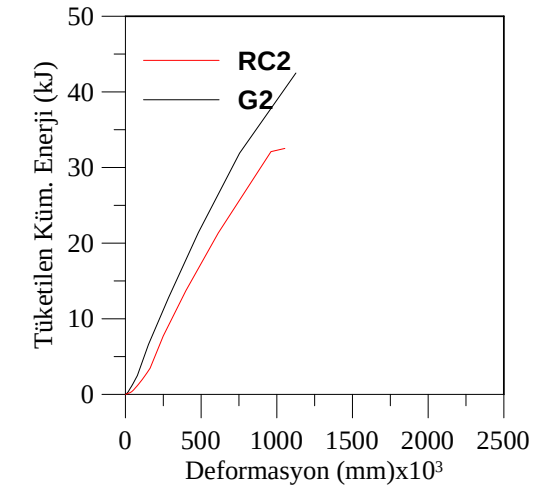
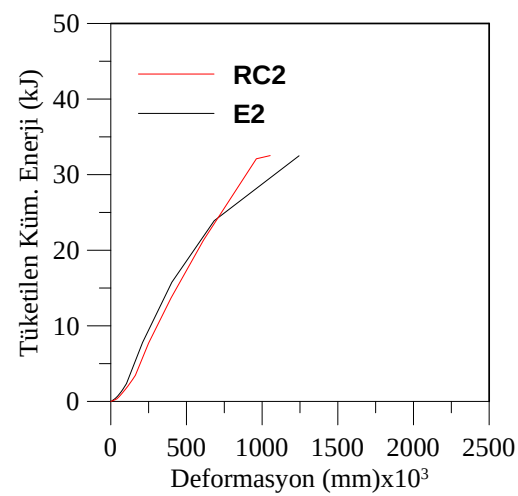
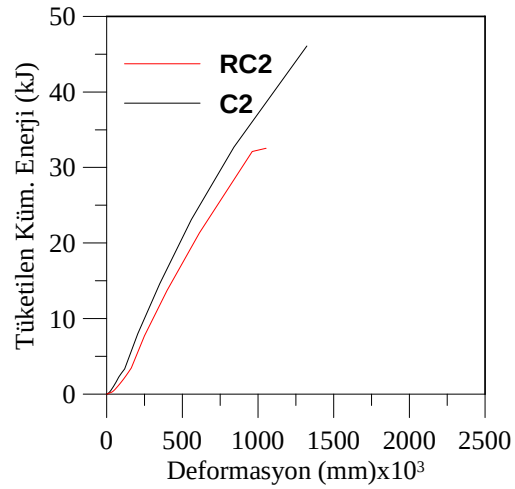
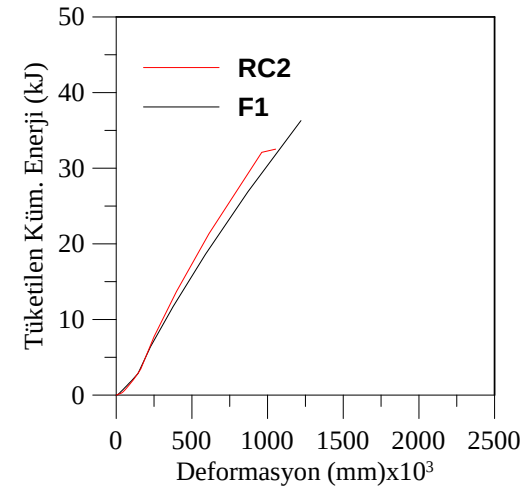
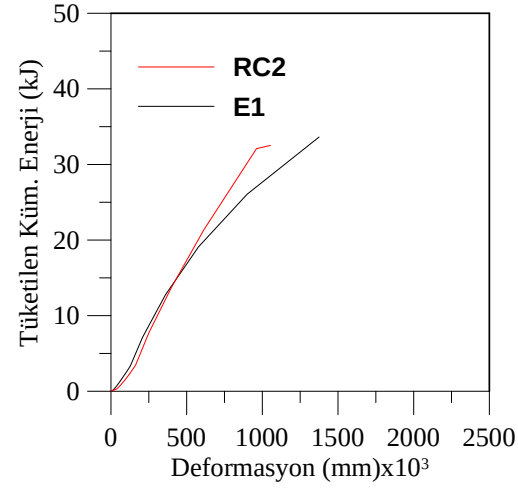
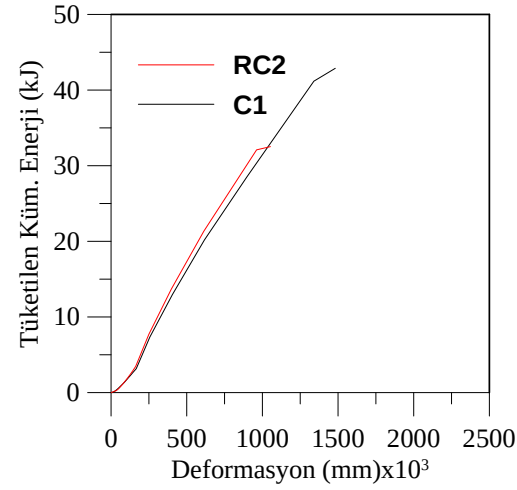
Şekil 4.83. WC1a, WC1b, WC1c, WC1d ve WJ1 elemanları enerji tüketme kapasiteleri



Şekil 4.84. WC2d ve WJ2 elemanları enerji tüketme kapasiteleri



Şekil 4.85. A1, A2, B1, B2, D1 ve D2 elemanları enerji tüketme kapasiteleri



Şekil 4.86. C1, C2, E1, E2, F1 ve G2 elemanları enerji tüketme kapasiteleri

4.5. Deney Elemanlarının Süneklik Kapasitesi

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 referans eleman dayanımına göre hesaplanmıştır. Bunun için önce ele alınan deney elemanına ait yük deplasman grafiğinin, referans eleman dayanımının (öngörülen dayanım) % 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 [3].

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. Bu nedenle bu çalışmada geri çevrimlerdeki süneklikler hesaplanmamıştır. Ayrıca akma deformasyonlarını etkileyen önemli parametrelerden biri de elemanların ilk eğilme rijitliğidir. Referansa çok yakın davranış sergilemiş ancak eğilme rijitliği %50 daha düşük olmuş bir elemanın akma deformasyonu iki katına çıkacağından, bu elemanın referans elemanının yarısı kadar sünek davrandığını söylemek gerçeği pek yansıtmayacaktır. Bu gibi durumlarda süneklik deformasyonunun, referans eleman süneklik deformasyonuna oranı, ele alınan deney elemanının sünekliği hakkında daha gerçekçi sonuçlar verecektir [3]. Tüm deney elemanlarına ait süneklik ve akma deformasyonu değerleri ileri çevrimler için Çizelge 4.3'te topluca sunulmuştur. Bu çizelgede süneklik oranlarının yanı sıra (d_{85}/d_{85Ref}) oranları temel alınarak yapılmıştır. Fikir vermesi açısından, elemanların

zarf eğrilerinden elde edilmiş en büyük dayanımın, referans eleman dayanımına oranları da hem ileri hem geri çevrimler için aynı çizelgede verilmiştir.

RC1, RC1_R1 ilk referans elemanlarıdır. Bu deney elemanlarında yaşanan bazı tersliklerden dolayı RC1_R2 referans elemanı hazırlanmıştır. Bu referans elemanında deneyin ilerleyen aşamalarında deney sisteminin rijit duvara bağlantısındaki sıkıntıdan dolayı geri yönde yeterince çevrim yapılamamıştır. Eksenel yüklü elemanlar için hazırlanan RC2 referans elemanında eksenel yükün dayanım üzerinde belirgin etkisinin olmadığı görüldüğünden, tüm kıyaslamalar RC2 referans elemanı ile yapılmıştır.

Çizelge 4.3'e bakıldığında referans eleman süneklik oranının 4 civarında olduğu görülmektedir. E1 ve E2 dışındaki 2. Grup elemanlarında süneklik oranlarının yaklaşık %10 ile %30 arasında daha büyük olduğu görülmektedir. E1 elemanında güçlendirme işlerinde kullanılan somunların sıyrılmasına bağlı olarak, E2'de ise kiriş kancalarının erkenden açılmasına bağlı olarak dayanımdaki kayıplar diğerlerine göre daha erken başlamış ve bu elemanların süneklik kapasiteleri referansa göre daha düşük düzeylerde kalmıştır. Ancak araştırmada, referans eleman süneklik kapasitesinden daha büyük sünekliklere ulaşmasının hedeflenen başarı ölçütü olmadığı, esas hedefin birleşimden önce kirişin taşıma gücüne ulaştırılması olduğu unutulmamalıdır.

Çizelge 4.3'ten birinci gruptaki elemanlarda, A1 hariç, süneklik oranlarının %15 ile %40 arasında daha az olduğu görülmektedir. A1 elemanında ise süneklik oranının referansa göre %45 daha fazla olduğu görülmektedir. Ancak buradan A1'de kullanılan güçlendirme yönteminin başarılı olduğu sonucu çıkartılmamalıdır. Bilindiği gibi A1 elemanının mesnedinde yaşanan bir sorundan dolayı, belirli bir noktadan sonra A1 elemanına hep tek yönde ve tekdüze yük uygulanmış ve buna bağlı olarak da bu elemanda daha yüksek süneklik oranlarına ulaşılmıştır.

Çizelge 4.3. Deney elemanlarına ait bazı büyüklüklerin karşılaştırılması

Deney Elemanı	İleri Çevrim							Geri Çevrim	
	P (kN)	P/P _{Ref}	d ₈₅ (mm)	dy (mm)	d ₈₅ /d _{85Ref}	d ₈₅ /dy	(d ₈₅ /dy) eleman/ (d ₈₅ /dy) ref	P (kN)	P/P _{Ref}
RC2	70,5	1,00	143	36	1,00	3,97	1	55	1
A1	76	1,08	228	40	1,59	5,70	1,4 4	47,5	0,93
A2	72	1,00	94	32	0,66	2,94	0,74	44	0,86
B1	66	0,94	99	40	0,69	2,48	0,62	37	0,66
B2	67	0,96	82	35	0,57	2,34	0,59	44	0,86
D1	63	0,9	98	39	0,69	2,51	0,63	38	0,65
D2	72	1,03	102	30	0,71	3,40	0,86	54	1,06
C1	71	1,01	164	38	1,15	4,32	1,09	61,5	0,94
C2	77	1,01	164	34	1,15	4,82	1,21	60,5	1,06
E1	72	1,02	123	40	0,86	3,08	0,78	54,8	1,01
E2	71,5	1,02	106	40	0,74	2,65	0,67	55	1,02
F1	69,7	0,99	181	40	1,27	4,53	1,14	53,5	0,9
G2	76,5	1,06	177,5	35	1,24	5,07	1,28	57,5	0,97

5. TARTIŞMA / SONUÇ ve ÖNERİLER

Betonarme yapıların yapımı sırasında sıklıkla yapılan hatalardan biri de kolon etriyelerinin birleşim bölgesi içinde devam ettirilmemesidir. Böyle bir uygulama durumunda ya birleşimde ağır hasar oluşmakta ya da mevcut kolon kiriş altından sıyrılıp çıkmaktadır. İkinci durumda binanın göçmesi kaçınılmazdır. Birinci durumda ise, eğer binada deprem yüklerini alacak yeterince perde duvar yoksa göçme yine kaçınılmaz olacaktır. Bu nedenle betonarme binaların yapımı sırasında, kolon etriyelerinin birleşim içinde devam ettirilmesi hayati derecede önem kazanmaktadır. Özellikle 2000 öncesi yapıların çok büyük bir kısmında, 2000 sonrası binaların ise azımsanmayacak bir kısmında kolon etriyelerinin birleşim bölgesinde devam ettirilmediği bilinen bir gerçektir. Bugüne kadar birleşim bölgelerinin güçlendirilmesine yönelik bir çok deneysel araştırma yapılmıştır. Ancak yapılan literatür çalışmalarında bu araştırma yöntemlerinin bir çoğunun uygulanmasının oldukça zor ya da birçok durumda mümkün olmadığı görülmüştür. Hayati derecede önemli ve tam olarak çözüme kavuşturulmamış olması nedeniyle konunun kapsamlı bir deneysel çalışma ile ele alınması kararlaştırılmış ve bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada öncelikle zayıf birleşim davranışı belirlemeye yönelik bir dizi deney yapılmıştır. Bu deneylerde birleşim bölgesi etriyesiz ve kolon etriyesi çeşitli düzeylerde olan birçok zayıf eleman üretilerek test edilmiştir. Daha sonra birleşim bölgesi için öngörülmüş çeşitli güçlendirme teknikleri ile güçlendirilmiş zayıf elemanlar test edilerek sonuçlar referans elemanların davranışları ile karşılaştırılmıştır. Elemanların birinde (G2-elemanı) birleşim bölgesinin yanı sıra kolon da kesmeye karşı güçlendirilmiştir. Çalışmada uygulanan güçlendirme teknikleri sırasıyla A, B, C, D, E, F ve G olarak adlandırılmıştır. Güçlendirme teknikleri geliştirilirken, önerilen yöntemlerin hem etkili, hem kolay uygulanabilir hem de ucuz olmasına özellikle özen gösterilmiştir.

Çalışmanın sonunda oldukça etkili, kolay uygulanabilen ve ucuz güçlendirme teknikleri geliştirilebilmiştir. Bu anlamda bakıldığında projede amaçlanan hedefe tam olarak ulaşılmıştır. Yapılmış olan birçok deneyden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- A-tipi güçlendirme tekniğinde alın kirişi ile kenar kolonlara dış yüzden u-profiller yerleştirilmiş ve bu profiller birleşim bölgesine, alın kirişine ve kolonlara bulonlarla ankre edilmiştir. Birleşim bölgesindeki ankraj bulonları, aynı zamanda bu bölgede oluşan kesme kuvvetlerini alabilmesi için olabildiğince uzun tutulmuştur. B-tipi güçlendirme tekniği de A-tipinin benzeri olup bu yöntemde sadece alın kirişinin dış yüzü üzerinde u-profiller kullanılmış ve bu profiller alın kirişine ve birleşime benzer olarak ankre edilmiştir. D-tipi güçlendirmede ise dış yüzden geçen kolon boyuna donatıları “u” şeklinde hazırlanmış olan etriyeler ile birleşim bölgesine bağlanmıştır. Bu elemanda da birleşim bölgesindeki kesme kuvvetlerine karşı u-etriyelerin bacakları, birleşim bölgesinde olabildiğince uzun tutulmuştur. Bu güçlendirme tiplerinin oldukça zor uygulanabilir olduğu görülmüş ve bu elemanlarda sınırlı bir başarı elde edilebilmiştir. Bu elemanlarda başlarda birleşim bölgesinde herhangi bir önemli hasar oluşmamış ve akma öncesi davranış referans eleman ile benzer gelişmiştir. Ancak referans eleman dayanımlarına yaklaştıkça önerilen güçlendirme tekniklerinin kuşatılmamış düğüm bölgesini sargılamada yetersiz kaldığı görülmüştür. Bu elemanlarda kirişte oluşmak üzere olan hasarlar son anda birleşim bölgesine kaymış ve eleman taşıma gücü ve sünekliğini birleşim bölgesinin dayanımı belirlemiştir. Ancak araştırmada ele alınan model kirişin oldukça sık donatılı ve birleşim bölgesinde büyük zorlamalar oluşturduğu unutulmamalıdır. Gerçekte uygulamada bu denli sık donatılı kirişlere daha az rastlanmaktadır. Bu nedenle donatıları daha seyrek olan kirişlerde A, B ve D yöntemlerinin daha kolay uygulanabileceği ve daha etkili olabileceği kanaati oluşmuştur. Buna rağmen aşağıda bahsedilen yöntemlerin hem çok daha etkili hem de çok kolay uygulanabilir olması nedeniyle birleşim bölgelerinin

güçlendirilmesinde A, B ve D-tipi güçlendirme tekniklerinin uygulanması önerilmemektedir.

- C-tipi güçlendirme tekniğinde, alın kirişi üzerine birbirine paralel ve boyları kolon genişliğinden biraz daha uzun u-profiller yerleştirilmiştir. Daha sonra bu profillerin uçlarındaki ve alın kirişi üzerindeki deliklerden bulonlar geçirilmiştir. Bulonların diğer uçları ise ana kiriş gövdesine bağlanmış olan L-profillere ard germeli olarak sıkıştırılmıştır. Böylece hem kolon boyuna donatıları baskılanarak burkulmaları ve/veya kolon yüzünden ayrılmaları önlenmiş hem de ard germeli bulonların birleşim bölgesindeki kesme kuvvetlerini alması ve birleşim bölgesini sargılaması sağlanmıştır. E-tipi güçlendirme tekniği, C-tipi ile oldukça benzerdir. Bu yöntemde u-profiller yerine lamalar kullanılmış ve lamalar aynı zamanda kolona da ankre edilmiştir. Bu anlamda bakıldığında C-tipi güçlendirme tekniği kolon içinde herhangi bir işlem gerektirmediğinden daha kolay uygulanabilmektedir. F-tipi güçlendirme tekniği de C-tipi ile oldukça benzerdir. F-tipinde, C-tipinden farklı olarak kolon yan yüzündeki kuşatılmamış dikdörtgen bölgeler karşılıklı olarak çelik levhalar ile birbirlerine ard germeli olarak bağlanmıştır. Böylece birleşim bölgesi her üç ekseninde de baskılanarak oldukça etkili bir sargılama sağlanmıştır. G-tipi güçlendirme elemanı aslında F-tipi ile tamamen aynı olup bu elemanın kolonları da kesmeye karşı sonradan eklenen etriyelerle güçlendirilmiştir. Ele alınan model kiriş oldukça sık donatılı ve birleşim bölgesi oldukça büyük zorlamalar altında olmasına rağmen C, E, F ve G tipi güçlendirme tekniklerinin son derece etkili ve oldukça kolay uygulanabilir olduğu görülmüştür. Bu tekniklerin sağladığı kolaylıklardan biri de ankraj deliklerinin ya hiç donatı olmayan ya da çok az donatı bulunan bölgelerde yapılmış olmasıdır. Bu elemanlarda tam bir referans kiriş davranışı elde edilmiş ve tüm elemanlarda hasarlar hedeflenen bölgede yani kirişlerde oluşmuştur. Bu elemanlarda sistemin taşıma gücünü kirişler belirlemiştir. Geliştirilen yöntemlerin oldukça ucuz olması da sevindirici olan diğer bir konudur. Ancak yapılan çalışmada güçlendirme işlerinde kullanılan bulon ve

somunların standartlara uygun olmadığı durumlarda somun veya bulonlarda sıyrılmalar olabileceği ve bu durumun güçlendirme yöntemini etkisiz kılabilceği belirlenmiştir. Bu durumun yaşanmaması için tüm bulon uçlarında üst üste çift somun (kontra somun) kullanılması önerilmektedir.

- C, E, F ve G tipi elemanların davranışları arasında belirgin bir fark gözlenmemiştir. Bu nedenle birleşimlerin güçlendirilmesinde bu yöntemlerin herhangi birinin kullanılabileceği düşünülmektedir. Buna rağmen beton dayanımlarının çok düşük olduğu ve/veya birleşim bölgesi içinde boşluk şüphesi olan düğümlerde, birleşimi her üç ekseninde de sargılayabilen F-tipi güçlendirme yönteminin uygulanması önerilmektedir. Aslında bu kısımda önerilen yöntemlerin hepsi bazı mimari önlemlerle gizlenebilecek durumdadır. Buna rağmen alın kirişi üzerinde güçlendirme elemanlarının oluşturduğu çıkıntılar gizlenemiyorsa veya bu çıkıntıların gözükmesi estetik kaygılarla istenmiyorsa, diğerlerine göre daha az çıkıntı oluşturan E-tipi (lamalı) güçlendirme tekniği tercih edilebilir. Ancak bu durumda kolon üzerinde de ankraj delikleri açılması gerekeceğinden kolon donatılarına zarar verilmemesine dikkat edilmelidir. Buna rağmen zorda kalınmadıkça E-tipi güçlendirme tekniğinin de seçilmemesi önerilmektedir.
- Genel olarak C, E, F ve G tipi elemanlarda hem rijitlik, hem süneklik hem de enerji tüketimi açısından referans eleman davranışlarına oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir. Ancak eksenel yüksüz E1-elemanında somun sıyrılmalarına bağlı olarak dayanım kaybı referans elemana göre daha erken başlamıştır. Eksenel yüklü E2 elemanında ise kiriş etriyelerinin açılmasına bağlı olarak yine referans elemanlara göre dayanım kaybı erkenden başlamıştır. Ancak bahsi edilen olumsuzlukların güçlendirme yöntemi ile bir ilgisi olmayıp biri doğrudan malzeme kalitesine diğeri ise kirişteki sargılayma etkisine bağlıdır. Kirişte sünek bir davranış elde edilmesi doğrudan kirişin kendisi ile ilgili olup önerilen güçlendirme teknikleri ile bir ilişkisi bulunmamaktadır. Ayrıca çalışmadaki esas hedefin kirişte sünek bir davranış

elde edilmesi olmayıp olası birleşim hasarlarının birleşimden kirişe kaydırılmasıdır. Bu gruptaki tüm elemanlarda bu hedefe ulaşılmıştır. Buna rağmen C, E, F ve G elemanlarının hepsinde yeterli bir süneklik elde edilebilmiştir.

- Bu çalışmada araştırılan güçlendirme tekniklerinin birçoğunda güçlendirme elemanı olarak bulon ve somunlar kullanılmıştır. Ancak araştırma sırasında kullanılan bulon ve somun kalitesinin ve standartlara uygunluğunun çok önemli olduğu görülmüştür. E1 adlı deney elemanında, kullanılan somun ve bulonların standartlara uygun olmadığı durumlarda güçlendirme yöntemini ne denli etkisiz kılabilceği açıkça görülmüştür. Bu elemanda kullanılan somun ve bulonlar arasında, gereğinden fazla boşluk olduğu ve somunların erkenden sıyrıldığı görülmüştür. Bu türden olumsuzlukların yaşanmaması için mutlaka standartlara uygun malzeme kullanılmalıdır. Buna rağmen yazarlar, bu türden olumsuzlukların yaşanmaması için, her bulon başında çift somun (kontra somun) kullanılmasını önermektedir.
- Burada önerilen tüm güçlendirme yöntemlerinde, somunlar mutlaka torkmetre ile sıkılmalıdır. Deneylerde bulon dış dibindeki kesitte 300 MPa eksenel gerilme olacak şekilde tork uygulanmıştır. Bu gerilme, deneylerde kullanılan bulonların eksenel yük kapasitesinin (akma veya sıyrılma) yaklaşık yarısına karşı gelmektedir. Bu nedenle gerçek yapılar üzerinde uygulanacak güçlendirme işlerinde kullanılacak bulonların eksenel yöndeki akma ve sıyrılma dayanımları en azından 600 MPa olmalıdır. Bu nedenle kullanılacak olan somun ve bulonunlar en azından 8.8 kalitesindeki (akma dayanımı 640 MPa) çelik sınıfında olmalıdır. ½ ölçekli olarak yürütülmüş olan bu çalışmada 8 mm çapında (dış çap) metrik bulonlar kullanılmıştır. Dolayısıyla gerçek yapıda kullanılacak olan bulon çapı en az 16 mm (dış çap) olmalı ve çelik kalitesini yükselterek çap düşürme yoluna gidilmemelidir. Benzer olarak bulon çapını artırarak çelik kalitesini düşürme yoluna da gidilmemelidir. Gerçek yapıda kullanılması önerilen bu çaptaki bulonun dış

dibi kesitinde 300 MPa eksenel gerilme oluşturacak sıkma torku yaklaşık 128 N.m civarında olup bu değer bulon başına yaklaşık 40 kN 'luk bir eksenel kuvvete karşı gelmektedir. Çelik kalitesinden ödün vermeden, güvenlik payını artırmak amacıyla 16 mm'den daha büyük çaplarda bulon kullanılabilir. Bu durumda uygulanması gereken tork (betonda veya güçlendirme elemanlarında herhangi bir yerel ezilme veya çatlak oluşmaması için) bulon başına 40 kN eksenel yük oluşturacak şekilde hesaplanmalıdır. Araştırmada ele alınan model ölçeği $\frac{1}{2}$ olduğuna göre gerçek yapıda kullanılacak olan malzeme ölçüleri çalışma içinde belirtilen ölçülerin 2 ile çarpımından bulunmalıdır (örneğin U50 profil yerine U100 profil, 40x5 mm'lik lama yerine 80x10 mm lik lama kullanılması gibi). Uygulamada bulon sayısı ve aralıkları deprem şartnamesinde birleşim bölgeleri için tanımlanan koşullara göre belirlenmelidir. Ancak alın kirişi üzerine açılacak olan delik aralıklarının uygulama işlemlerini zorlaştıracak kadar yakın olması durumunda etriye oranları sağlanmak koşulu ile düğüm bölgesindeki bulon aralığının dolayısıyla alın kirişi üzerine açılacak delik aralığının 150 mm'ye kadar (kuşatılmış birleşimler için izin verilen değer) çıkartılabileceği deneyler sırasında gözlenmiştir. Ancak hiçbir durumda 16 mm'den küçük bulon çapı kullanılmamalı ve herbir yüzde en az 3 bulon kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Celep, Z., Kumbasar, N., “Betonarme Yapılar”, **Sema Matbaacılık**, İstanbul, 641 (1998).
2. Atımtay, E., “Depremde Çökmeyen Bina Nedir? Nasıl Projelendirilir?”, **Ajans-Türk Gazetecilik Matbaacılık İnşaat San. A.Ş.**, Ankara, 502 (2009).
3. Aykaç, S., “Onarılmış/Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Deprem Davranışı”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara**, 2-3, 49, 51-53, 185, 229, 242, 252-253 (2000).
4. Montesinos, G. J. P., Peterfreund, S. W., Chao S. H., “Highly Damage-Tolerant Beam-Column Joints Through Use of High-Performance Fiber-Reinforced Cement Composites”, **ACI Structural Journal**, 102-S50: 487-495 (2005).
5. Tsonos A.G., “Lateral Load Response of Strengthened Reinforced Concrete Beam to Column Joints”, **ACI Structural Journal**, 96-S6:46-56 (1999).
6. Gençoğlu, M., Eren İ., “An Experimental Study on the Effect of Steel Fiber Reinforced Concrete on the Behavior of the Exterior Beam-Column Joints Subjected to Reversal Cyclic Loading”, **Turkish J. Eng. Env. Sci TUBİTAK**,26: 493-502 (2002).
7. Granata P. J., Parvin A., “An experimental study on Kevlar strengthening of beam-column connections”, **Composite Structures**, 53: 163-171 (2001).
8. Geng, Z. J., Chajes, M. J., Chou, T. W., Cheng Pan, D. Y., “The retrofitting of Reinforced Concrete Column to Beam connections”, **Composites Science and Technology**, 58: 1297-1305 (1998).
9. Gençoğlu, M. Eren, İ., Atınç, T., “Hasarlı Betonarme Kenar Kiriş-Kolon Birleşimleri İçin Farklı Güçlendirme Yöntemlerinin İncelenmesi”, **Beşinci Ulusal Deprem mühendisliği Konferansı**, Bildiri No: AT-109, İstanbul, 2003.
10. Mukherjee A., Joshi M., “FRPC reinforced concrete beam-column joints under cyclic excitation”, **Composite Structures**, 70: 185–199 (2005).
11. El-Amoury, T., Ghobarah, A., “Seismic rehabilitation of beam–column joint using GFRP sheets”, **Engineering Structures**, 24: 1397–1407 (2002).
12. Ghobarah, A., Said, A., “Seismic rehabilitation of beam-column joints using FRP laminates”, **Journal of Earthquake Engineering**, 5(1): 113-129, (2001).

13. Ghobarah, A., Said, A., “Shear Strengthening of beam-column joints”, **Engineering structures**, 24: 881-888 (2002).
14. Li, J., Samali, B., Ye, L., Bakoss S., “Behaviour of concrete beam–column connections reinforced with hybrid FRP sheet”, **Composite Structures**, 57: 357–365, (2002).
15. Le-Trung, K., Lee, K., Lee, J., Lee, D. H., Woo, S., “Experimental study of RC beam–column joints strengthened using CFRP composites”, **Composites**, Part B 41: 76–85 (2010).
16. Parvin, A. Wu, S., “Ply angle effect on fiber composite wrapped reinforced concrete beam–column connections under combined axial and cyclic loads”, **Composite Structures**, 82: 532–538 (2008).
17. Mosallam, A. S., Chackrabarti, P. R., “Concrete Connections”, **Civil Engineering**, 69: 43-45 (1999).
18. Hamad., B. S., Al Hammoud, R., Kunz, J., “Evaluation of Bond Strength of Bonded-In or Post-Installed Reinforcement”, **ACI Structural Journal**, 103-S22: 207-218 (2006).
19. Said, A.,Nehdi, M., “Rehabilitation of RC frame joints using local steel bracing”, **Structure and Infrastructure Engineering**, 4 (6): 431-447 (2008).
20. .Lee, W. T., Chiou, Y. J., Shih M. H., “Reinforced concrete beam–column joint strengthened with carbon fiber reinforced polymer”, **Composite Structures**, 92: 48–60 (2010).
21. Chaimahawan, P., Pimanmas, A., “Seismic retrofit of Substandard beam-column joint by planar joint expansion”, **Materials and Structures**, 42: 443-459 (2009).
22. Ghobarah, A. A., T.S. and Biddah, A., “Rehabilitation of Reinforced Concrete Frame Connections Using Steel Jacketing”, **ACI Structural Journal**, 94-S26: May-June: 283-294 (1997).
23. Ersoy U., “Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı”,Cilt 1, **Evrım Yayınevi ve Ticaret Ltd. Şti.** İstanbul, 191-219, 221-291 (1985).
24. Aykaç S., Bakırcı Er, Ş., “Betonarme Kenar Kolon Kiriş Birleşimlerinin Güçlendirilmesi ve Yeni bir Deney Sistemi”, **Sakarya 1. Uluslararası Deprem Sempozyumu**, 486-497 (2009).
25. TS 500, “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”, **Türk Standartlar Enstitüsü**, 22-24 (2000).
26. “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007”, **TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi**, 2. Baskı, 47-54 (2007).

27. Mukherjee, A., Joshi, M., “FRPC reinforced concrete beam-column joints under cyclic excitation”, *Composite Structures*, 70: 185-199 (2005).

EKLER

EK-1. Deprem Resimleri



Resim 1.1. Depremde yapının dış cephesinde düğümden ayrılan kolon



Resim 1.2. Yapının dış cephesinde düğüm bölgesinden çıkan kolon

EK-1. (Devam) Deprem Resimleri



Resim 1.3. Yapının dış cephesinde düğüm bölgesinden çıkan kolon



Resim 1.4. Yapının diğer yöndeki dış cephesinde düğüm bölgesinden çıkan kolon

EK-1. (Devam) Deprem Resimleri

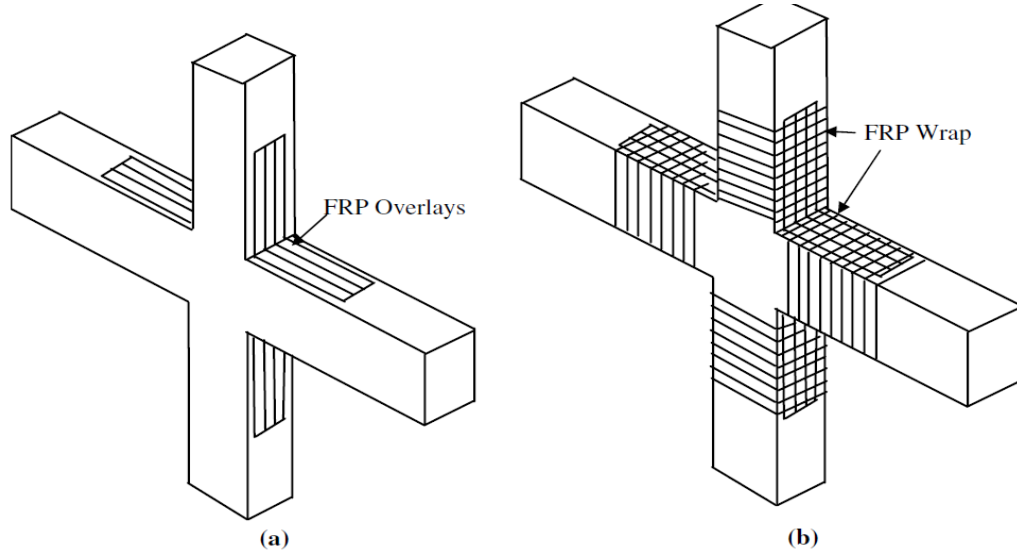


Resim 1.5. Yapının diğerk yöndeki dış cephesinde düğüm bölgesinden çıkan kolon

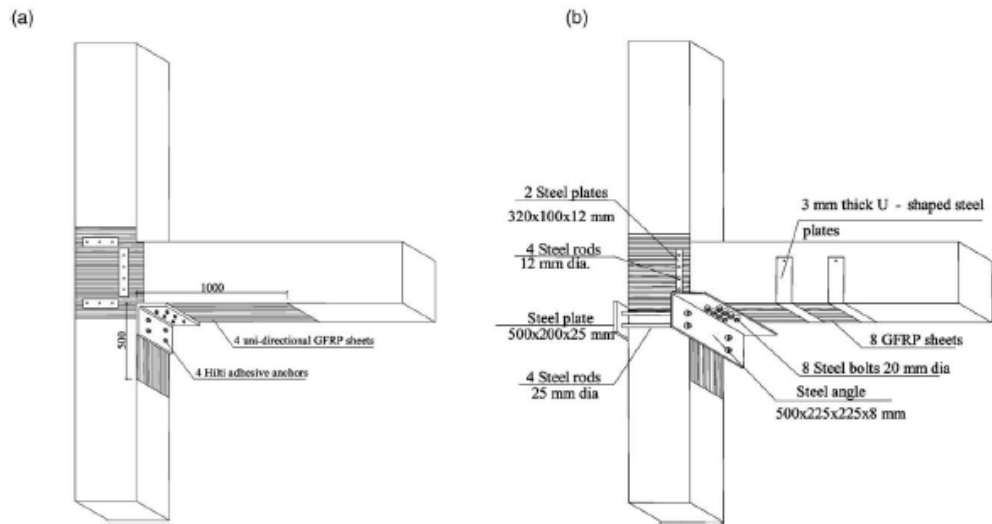


Resim 1.6. Kolonun düğüm bölgesinden ayrılıp döşemeyi zımbalaması

EK-2. Konu ile ilgili yapılan çalışmalara ait örnek resimler

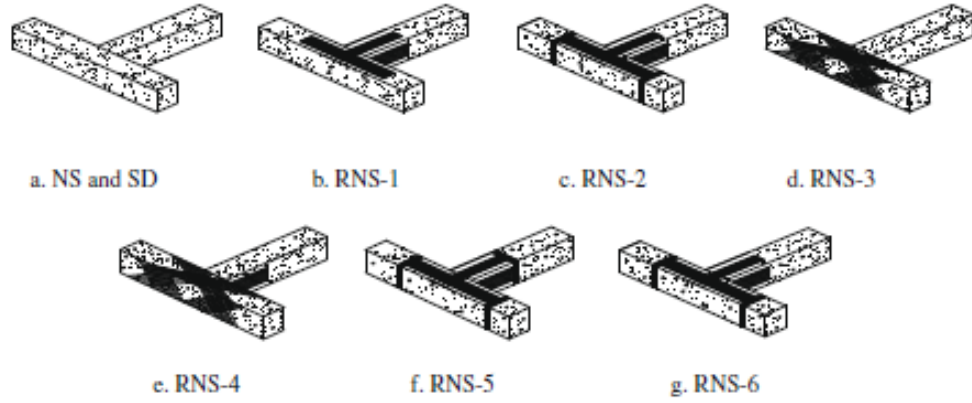


Resim 2.1. Abhijit Mukherjee ve Mangesh Joshi'nin çalışması [27]

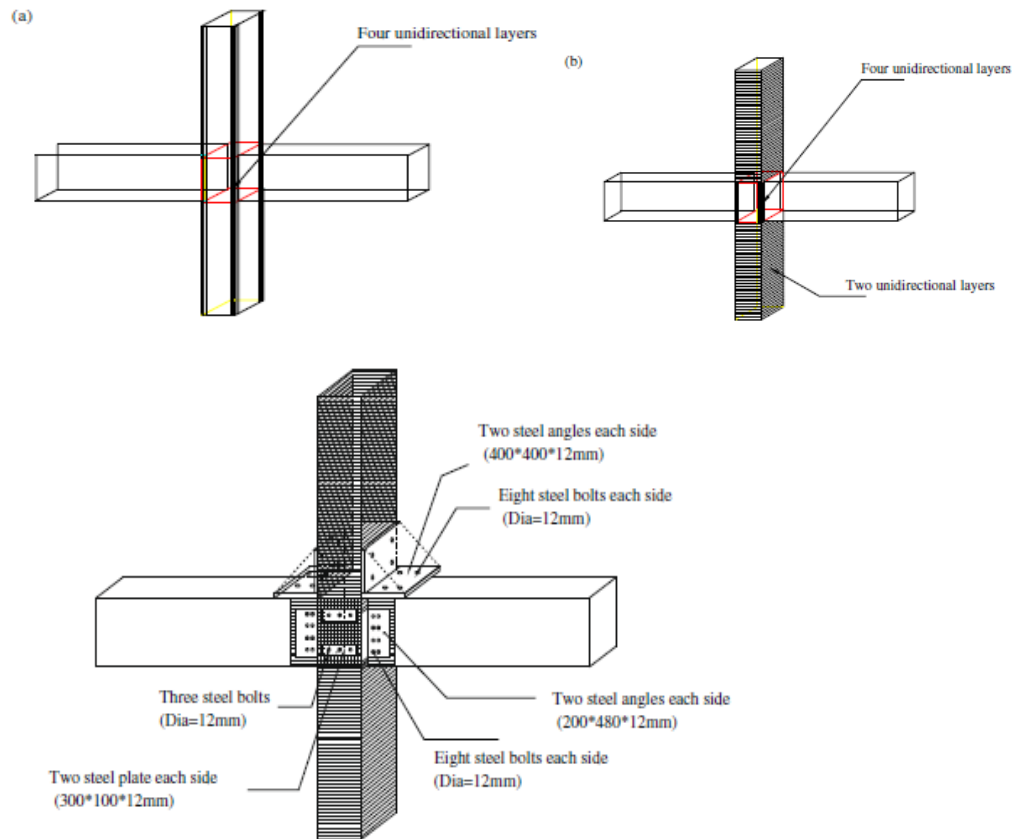


Resim 2.2. T. El Amoury ve A. Ghobarah'ın çalışması

EK-2. (Devam) Konu ile ilgili yapılan çalışmalara ait örnek resimler

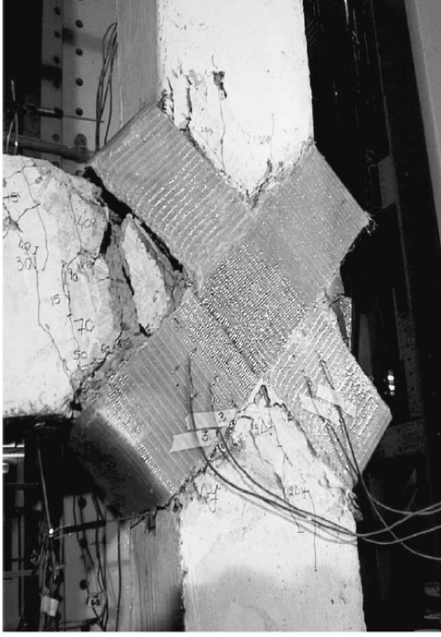


Resim 2.3. Le Trung, Kihak Lee, Jaehong Lee, Do Hyung Lee ve Sungwoo Woo'nun çalışması



Resim 2.4. W.T. Lee, Y.J. Chiou ve M. H. Shih'in çalışmalarına ait resimler

EK-2. (Devam) Konu ile ilgili yapılan çalışmalara ait örnek resimler



Resim 2.5. Ahmed Ghobarah ve A. Said'in çalışmalarından bir resim



Resim 2.6. Ahmed Ghobarah ve A. Said'in çalışmalarından farklı bir resim

EK 2. (Devam) Konu ile ilgili yapılan çalışmalara ait örnek resimler

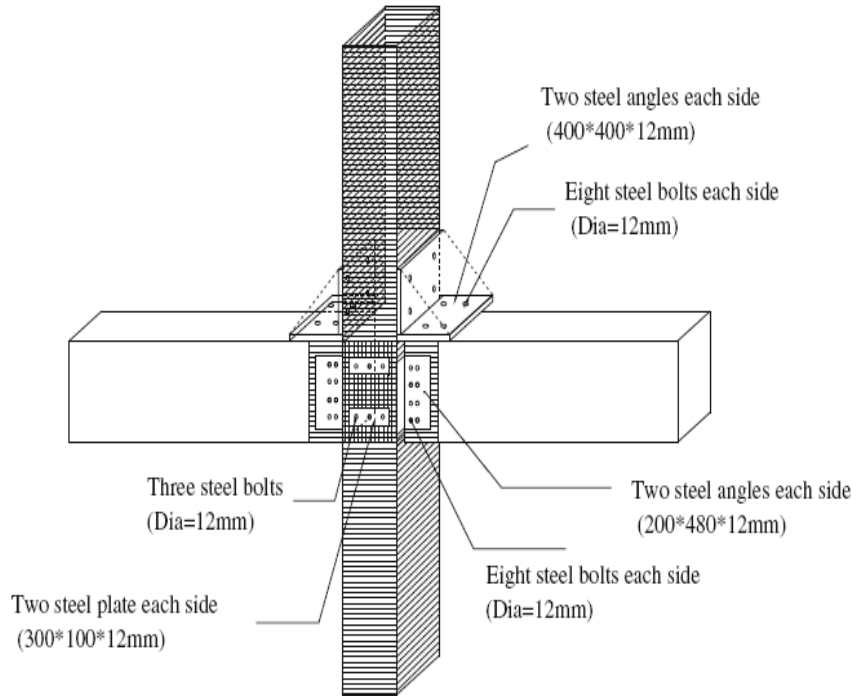


Resim 2.7. Ahmed Ghobarah ve A. Said'in çalışmalarından farklı bir resim

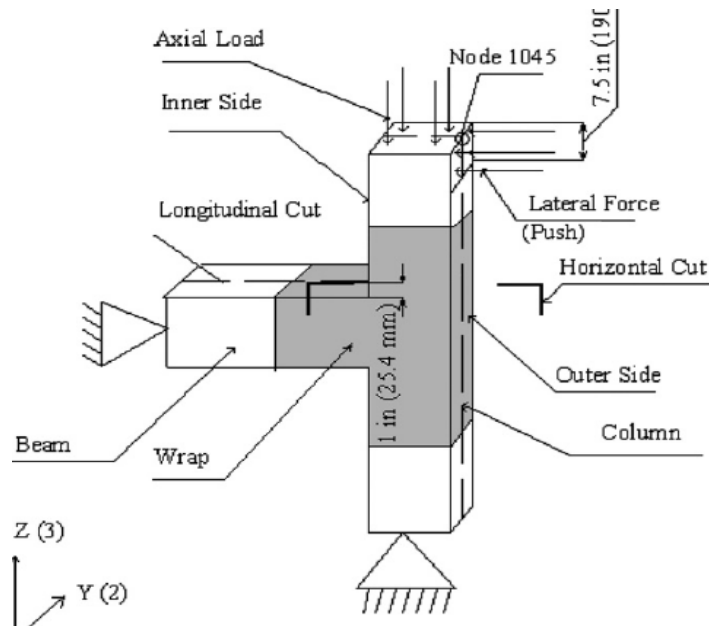


Resim 2.8. T. El-Amoury ve A. Ghobarah'ın çalışmalarından bir resim

EK 2. (Devam) Konu ile ilgili yapılan çalışmalara ait örnek resimler

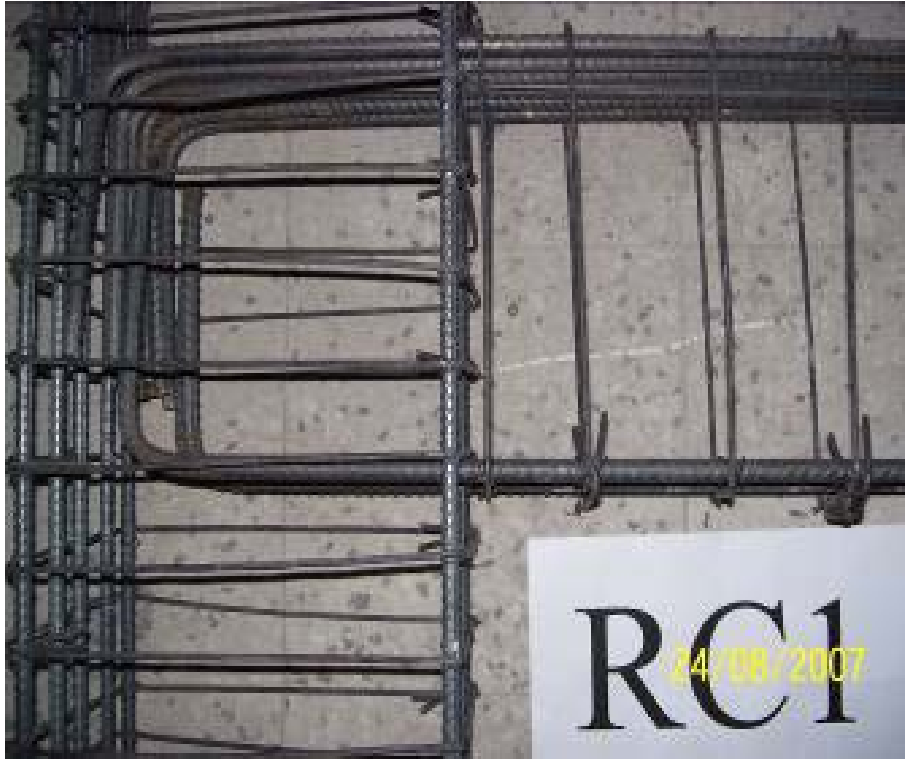


Resim 2.9. W.T. Lee, Y.J. Chiou ve M. H. Shih'in çalışmasına ait resim



Resim 2.10. Azadeh Parvin ve Shanhong Wu'nun çalışmasına ait resim

EK 3. Deney elemanlarına ait resimler



Resim 3.1. RC1 Elemanı kolon kiriş birleşim donatısı



Resim 3.2. Deney elemanı kiriş ve döşeme donatıları

EK 3. (Devam) Deney elemanlarına ait resimler



Resim 3.3. Kirişi deney sistemine bağlamak amacıyla döşeme delikleri için aparatlar



Resim 3.4. Kolonda bırakılan deliklerin etrafında alınan önlemler

EK 3. (Devam) Deney elemanlarına ait resimler



Resim 3.5. Zayıf elemanlarda kolondaki etriyesiz bölgeler



Resim 3.6. Yükleme Sistemi

EK 3. (Devam) Deney elemanlarına ait resimler



Resim 3.7. RC1 elemanında sabit pim deliği civarında alt kolondaki yarıma



Resim 3.8. İleri çevrimlerden bir görünüş

EK 3. (Devam) Deney elemanlarına ait resimler



Resim 3.9. RC2 elemanı kiriş üst donatılarının burkulması



Resim 3.10. WJ1 elemanının deney tamamlandıktan sonraki son durumu

EK 3. (Devam) Deney elemanlarına ait resimler



Resim 3.11. WC1a elemanında üst kolonun döşemeden ayrılması



Resim 3.12. WC1b elemanı üst kolonun döşemeden ayrılması

EK 3. (Devam) Deney elemanlarına ait resimler



Resim 3.13. WC1c elemanında kolon sargılarının yetersizliğiyle kolonda çatlak



Resim 3.14. WC1c elemanı deneyin ilerleyen aşamaları

EK 3. (Devam) Deney elemanlarına ait resimler



Resim 3.15. WC1c elemanında alt kolon iç yüz pas payı betonunun dökülmesi



Resim 3.16. WC1d elemanı üst kolon hasarı

EK 3. (Devam) Deney elemanlarına ait resimler



Resim 3.17. WC2d elemanında alt kolonda oluşan hasar



Resim 3.18. WC2d elemanında düğüm betonunun ezilerek dökülmesi

EK 3. (Devam) Deney elemanlarına ait resimler



Resim 3.19. A tipi güçlendirmelerde düğüm bölgesine kolonun dış cephesinden bağlanan H profil parça



Resim 3.20. A1 elemanı düğüm bölgesinden bir görünüş

EK 3. (Devam) Deney elemanlarına ait resimler



Resim 3.21. A1 elemanında ana kirişte plastik mafsal oluşmasıyla döşemede görülen çatlaklar



Resim 3.22. B1 güçlendirmesinde düğüm bölgesinin dış cepheden görünüşü

EK 3. (Devam) Deney elemanlarına ait resimler



Resim 3.23. D tipi güçlendirme elemanı



Resim 3.24. Deney elemanı geri çevrimlerden bir görünüş

EK 3. (Devam) Deney elemanlarına ait resimler



Resim 3.25. C ve E tipi güçlendirmelerde beton kaplanmadan önceki görünüm

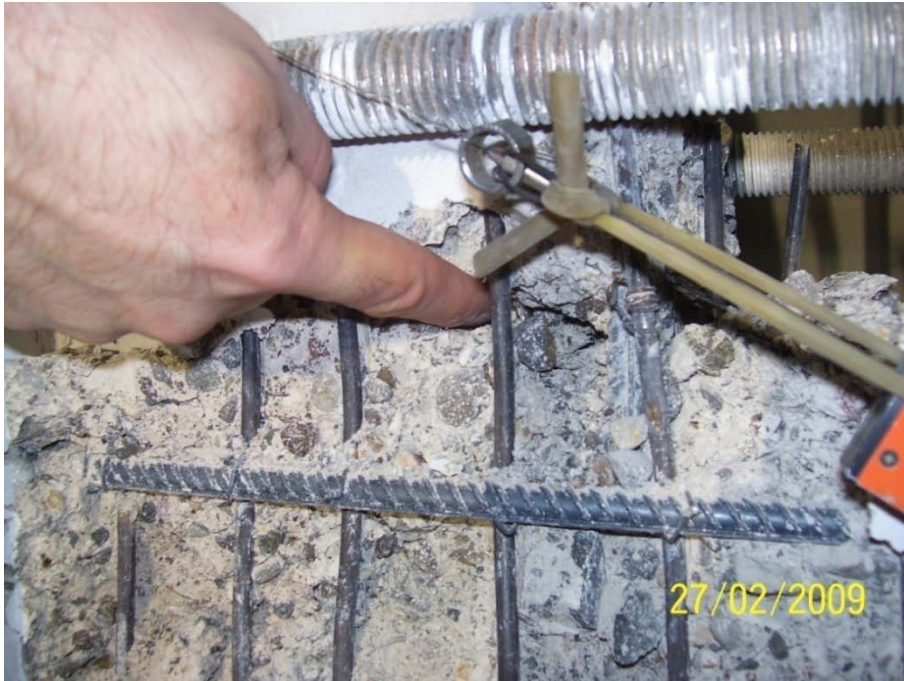


Resim 3.26. E tipi güçlendirmelerin yapıya göre dış cephe tarafından görüşleri

EK 3. (Devam) Deney elemanlarına ait resimler



Resim 3.27. E2 elemanında kiriş alt donatılarının burkulması



Resim 3.28. D2 elemanında kiriş ve kolon betonunda ezilme

EK 3. (Devam) Deney elemanlarına ait resimler



Resim 3.29. D2 elemanında kiriş alt yüzünden çıkan U etriye kol uçları



Resim 3.30. E1 elemanında somun sıyrılmasına bağlı olarak birleşim bölgesinde oluşan hasarlar

EK 3. (Devam) Deney elemanlarına ait resimler



Resim 3.31. E1 elemanının bulonlarındaki sıyrılmalar ve birleşim hasarı



Resim 3.32. E1 elemanında sıyrılan somunların dış kenardan görünüşü

EK 3. (Devam) Deney elemanlarına ait resimler



Resim 3.33. C2 Elemanında Kiriş Ve Döşeme Üst Donatılarının Burkulması



Resim 3.34. F1 ve G2 elemanlarında düğümdeki kuşatılmamış bölgeye bağlanan kapaklar

EK 3. (Devam) Deney elemanlarına ait resimler



Resim 3.35. F1 ve G2 elemanlarında düğümdeki kuşatılmamış bölgenin üzerine yapılan sıva



Resim 3.36. G2 elemanının kolonuna güçlendirme sonrası yapılan sıva

EK 3. (Devam) Deney elemanlarına ait resimler



Resim 3.37. C1, C2, F1 ve G2 güçlendirmelerinin dış cepheden görünüşü



Resim 3.38. F1 ve G2 güçlendirmelerinde kuşatılmamış bölgedeki çelik plakalar ve ard germe bulonları

EK 3. (Devam) Deney elemanlarına ait resimler



Resim 3.39. F1 güçlendirmesinde kabuk betonu ve çelik plaka kaldırıldıktan sonra düğüm bölgesi ön yüz görünüşü



Resim 3.40. F1 güçlendirmesinde kabuk betonu ve çelik plaka kaldırıldıktan sonra düğüm bölgesi arka yüz görünüşü

EK 3. (Devam) Deney elemanlarına ait resimler



Resim 3.41. G2 güçlendirmesinde kabuk betonu ve çelik plaka kaldırıldıktan sonra düğüm bölgesi ön yüz görünüşü



Resim 3.42. G2 güçlendirmesinde kabuk betonu kaldırıldıktan sonra düğüm bölgesi ön yüz görünüşü

EK 3. (Devam) Deney elemanlarına ait resimler



Resim 3.43. G2 elemanında deneyden sonra düğüm bölgesi kabuk betonunun görünüşü



Resim 3.44. F1 ve G2 elemanlarında dikdörtgen bölgelerin güçlendirilmesi

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı :BAKIRCI ER, Şule
 Uyruğu :T. C.
 Doğum tarihi ve yeri :09.10.1978
 Medeni hali :Evli
 Telefon :(0312) 582 32 55
 Faks :(0312) 231 92 23
 e-mail :sbakirci@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece

Yüksek lisans	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Kırıkkale Üniversitesi/İnşaat Müh. Bölümü	2003
Lisans	Kırıkkale Üniversitesi/İnşaat Müh. Bölümü	2000
Lise	K.Maraş Çukurova Elektrik Anadolu Lisesi	1996

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2001-2004	Kırıkkale Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2004-2010	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Aykaç, S., Bakırcı Er, Ş., “Tuzlu Suyun Beton Basınç Dayanımına Etkisi”, **Journal of Engineering And Environmental Science**, 1(2): 50-52, 2009.
2. Aykaç S., Bakırcı Er, Ş., “Betonarme Kenar Kolon Kiriş Birleşimlerinin Güçlendirilmesi ve Yeni bir Deney Sistemi”, **Sakarya 1. Uluslararası Deprem Sempozyumu**, 486-497 (2009).