

**ONARILMIŞ / GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME KOLONLARDA
MANTO ALANININ DAVRANIŞA ETKİSİ**

134126

Yağmur KOPRAMAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Ocak 2003
ANKARA**

134126
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yağmur KOPRAMAN tarafından hazırlanan ONARILMIŞ/
GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME KOLONLARDA MANTO ALANININ
DAVRANIŞA ETKİSİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun
olduğunu onaylarım.



Prof.Dr. Hüsnü CAN
Tez Yöneticisi

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

Başkan : Prof. Dr. Ergin ATIMTAY



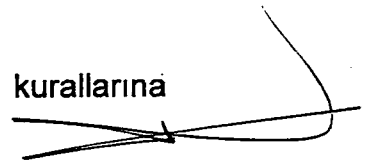
Üye : Prof. Dr. Hüsnü CAN



Üye : Prof. Dr. Sinan ALTIN



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



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. AMAÇ VE KAPSAM	4
3. LİTERATÜRDE KOLONLARIN ONARIM VE GÜÇLENDİRİLMESİNE YÖNELİK ÇALIŞMALAR.....	6
3.1. Eksenel Yük Altında Mantolanmış Kolon Davranışı.....	6
3.2. Betonarme Kolonların Onarımı ve Güçlendirilmesi.....	10
3.3. Eksenel Yüklü Kolonlarda Genişleyebilen Metal Ağı'nın Kayma ve Sargı Donatısı Olarak Kullanılması	13
3.4. Donatı Kenetlenme Yöntemlerinin Mantolanmış Kolon Üzerindeki Etkileri.....	14
3.5. Betonarme Kolonların Komşu İki Yüzden Manto İle Onarımı ve Güçlendirilmesi.....	16
3.6. İki, Üç ve Dört Yüzünden Mantolanmış Kolonların Eksenel Yük Altında Davranışı	17
3.7. Onarılmış Betonarme Kolon Davranışı ve Dayanımı	18
3.8. Fretli Manto İle Onarılmış/Güçlendirilmiş Betonarme Kolonların (Spiralli ve Dairesel Etriyeli) Eksenel Yük Altındaki Davranışı.....	20
3.9. Mantolama Yöntemi İle Güçlendirilmiş/Onarılmış/Diriltilmiş Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kolonların Eksenel Yük Altında Davranışı	20
4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	24
4.1. Deney Elemanı İlkeleri.....	24
4.2. Deneylerin Adlandırılması ve Deney Elemanları	27
4.3. Deney Düzeneği	38
4.3.1. Yükleme düzeneği	38
4.3.2. Ölçüm düzeneği.....	39
4.4. Eksenel Yüklerin Normalizasyonu	46
4.5. Malzeme	52
4.5.1. Beton	52

4.5.2.	Çelik donatı.....	55
4.6.	Deneyler	55
4.6.1.	S1-1 Deneyi.....	55
4.6.2.	S1-2 Deneyi.....	61
4.6.3.	S2-1 Deneyi.....	65
4.6.4.	S2-2 Deneyi.....	69
4.6.5.	S3-1 Deneyi.....	73
4.6.6.	S3-2 Deneyi.....	78
4.6.7.	S4 Deneyi.....	82
4.6.8.	S5 Deneyi.....	87
4.6.9.	S6 Deneyi.....	91
4.6.10.	B4 Deneyi.....	96
4.6.11.	B5 Deneyi.....	100
4.6.12.	B6 Deneyi.....	104
4.6.13.	R4 Deneyi.....	108
4.6.14.	R5 Deneyi.....	112
4.6.15.	R6 Deneyi.....	116
4.6.16.	M1 Deneyi	120
4.6.17.	M4 Deneyi	124
5.	DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	128
5.1.	Deney Elemanlarının Dayanım Özellikleri	150
5.2.	Deney Elemanlarının Eksenel Rijitlik Özellikleri	153
5.3.	Deney Elemanlarının Enerji Tüketim Kapasitelerinin Değerlendirilmesi	154
5.4.	Deney Elemanlarının Sünekliklerinin Değerlendirilmesi.....	167
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	169
6.1.	Sonuçlar	169
6.2.	Öneriler.....	170
	KAYNAKLAR.....	171
	ÖZGEÇMİŞ	173

i

**ONARILMIŞ VE GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME KOLONLARDA
MANTO ALANININ DAVRANIŞA ETKİSİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Yağmur KOPRAMAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak, 2003**

ÖZET

Eksenel yük altında betonarme kolonların onarılması ve güçlendirilmesinde mantolama sıkça kullanılan bir yöntemdir. Bu teknik gerek ülkemizde ve gerekse de teknoloji bakımından daha gelişmiş olan ülkelerde de yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Mantolama tekniğinin etkinliğini araştırmak üzere bu çalışmada, onarılacak/güçlendirilecek olan betonarme kolonların geometrisi ve manto alanı parametreleri deneysel olarak test edilmiştir. Dört kenarından da kesitleri büyütülen kare ve dikdörtgen kesitli kolonlarda manto kalınlığının davranışı nasıl etkilediği araştırılmıştır. Deney sonuçları kullanılarak, her bir kolon için yük-birim deformasyon eğrisi çizilmiştir. Kolon davranışı hakkında önemli ipucu verecek olan dayanım, rijitlik, süneklik ve enerji yutma kapasitesine dair bulgular grafik ortamına aktararak, görsel karşılaştırma imkanı sunulmuştur. Çalışma sonucunda manto alanı ve kolon geometrisi parametrelerinin mantolama üzerindeki etkisi ortaya konmuş ve ileride yapılması muhtemel olan deneysel çalışmalara değerli bilgi aktarımı sağlanmıştır.

Bilim kodu : 624.03.01
Anahtar kelimeler : Güçlendirme, Onarım, Mantolama, Eksenel yük, Betonarme, Kolon, Parametre
Sayfa adedi : 170
Danışman : Prof.Dr. Hüsnü CAN

**THE EFFECT OF JACKET AREA ON THE BEHAVIOUR OF
REPAIRED/STRENGTHENED REINFORCED CONCRETE COLUMNS**

M.Sc. Thesis

Yağmur KOPRAMAN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

January, 2003

ABSTRACT

Jacketing is the most popular method in the rehabilitation of the reinforced concrete columns under axial loading. Not only in Turkey, but also in the other tecnologically developed countries, this repairment/strengthening technique is wide spread used. In this study, the effectiveness of this method is investigated by experimantally testing of two parameters. Namely, column section geometry and jacket thickness. The specimens was enlarged by four sides to understand how jacket layer thickness rules on the behaviour on the column. By using experimental data, load vs. unit deformation curves are plotted for each of the specimens. Thus, the parameters, strength, rigidity, ductility and energy absorbtion capacity, which determines the behaviour of the reinforced column is interpreted.

At the end of this study, the effect of the parameters column section geometry and jacket area on the jacketing method is stated, and valueable foreground data is maintained for further experimental studies.

Science code : 624.03.01

**Keywords : Strengthening, Repair, Jacketing, Axial
load, Reinforced concrete, Column,
Parameter**

Number of pages : 170

Adviser : Prof.Dr. Hüsnü CAN

TEŞEKKÜR

Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiş bu çalışmanın tamamlanmasındaki katkılarından dolayı, çalışmalarımın planlayıcı ve yöneticisi değerli hocalarım Sayın Prof.Dr. Hüsnü CAN'a, Yüksek Lisans çalışmamın her aşamasında maddi ve manevi katkılarını esirgemeyen Sayın Dr. Sabahattin AYKAÇ ve Arş. Gör. Sayın Bengi AYKAÇ'a, yardımlarını esirgemeyen Yapı Mekaniği Laboratuvarı uzmanı Sayın Faruk OGÜN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Deney grupları, eleman adları ve deney elemanlarının kesit özellikleri.	5
Çizelge 4.1. Deney elemanlarının kesit, boyuna donatı ve kesme donatısı özellikleri.	26
Çizelge 4.2. Deney elemanlarının ortalama beton basınç dayanımları	54
Çizelge 4.3. Deneylerde kullanılan donatıların akma dayanımları	55
Çizelge 5.1. Deney elemanların dayanım ve birim deformasyon özellikleri.....	152
Çizelge 5.2. Deney elemanlarının birbirine göre kıyaslamalı rijitlik tablosu.	155
Çizelge 5.3. Deney elemanlarının tükettiği deformasyon enerjisinin kıyaslamalı tablosu.	155
Çizelge 5.4. Deney elemanlarına ait, iç ölçüm düzeneğinden alınan okumaların ortalamasıyla hesaplanan süneklik oranları.....	168
Çizelge 5.5. Deney elemanlarına ait, dış ölçüm düzeneğinden alınan okumaların ortalamasıyla hesaplanan süneklik oranları.	168

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Deney elemanının boyutları ve donatısı.....	9
Şekil 3.2. Deney düzeneği.	9
Şekil 3.3. Deney elemanlarının boyutları ve deney düzeneği.....	12
Şekil 3.4. Deneylerin düzenlenmiş moment-eğrilik ilişkisi.	13
Şekil 3.5. Deneylerin moment-deformasyon ilişkisi.....	15
Şekil 3.6. Deneylerin moment – eğrilik ilişkisi.	16
Şekil 3.7. Deney ve ölçüm düzeni.....	23
a)Yüklemeye çerçevesinin şematik genel görünüşü.....	23
b)Ölçüm düzeninin şematik genel görünüşü.....	23
Şekil 4.1. Yüzleri pürüzlendirilmiş yalın kolon elemanları.....	25
Şekil 4.2. S1 deney elemanının şematik görünüşü ve donatı planı.	28
Şekil 4.3. S2 deney elemanının şematik görünüşü ve donatı planı.	29
Şekil 4.4. S3 deney elemanının şematik görünüşü ve donatı planı.	30
Şekil 4.5. S4 ve R4 deney elemanının şematik görünüşü ve donatı planı.....	31
Şekil 4.6. S5 ve R5 deney elemanının şematik görünüşü ve donatı planı.....	32
Şekil 4.7. S6 ve R6 deney elemanının şematik görünüşü ve donatı planı.....	33
Şekil 4.8. B4, B5 ve B6 deney elemanının şematik görünüşü ve donatı planı.....	34

Şekil 4.9.	S1, S2, S3 elemanlarının yükleme öncesi fotoğrafları.....	35
Şekil 4.10.	S4, S5, S6 elemanlarının yükleme öncesi fotoğrafları.....	35
Şekil 4.11.	S1, S2, S3 deney elemanlarının manto betonu dökümünden önceki fotoğrafları.....	36
Şekil 4.12.	S4, S5, S6 deney elemanlarının manto betonu dökümünden önceki fotoğrafları.....	36
Şekil 4.13.	M1 ve M4 elemanlarının donatısının boydan görünüşü,.....	37
Şekil 4.14.	M1 ve M4 elemanlarının donatısının kesitten görünüşü.	37
Şekil 4.15.	Yük düzeni	41
Şekil 4.16.	Yükleme düzeneğinin düzeçlenmesi.....	42
Şekil 4.17.	Kullanılmasından vazgeçilen deformasyon ölçüm düzeneği.....	42
Şekil 4.18.	Geliştirilmiş ölçüm düzeneğinin bir fotoğrafı.....	44
Şekil 4.19.	Geliştirilen ölçüm düzeneğinin detaylı bir çizimi.	45
Şekil 4.20.	Temsili bir kolon kesiti	47
Şekil 4.21.	Genel olarak donatı gerilmesi – kolon eksenel yükü grafiği.....	51
Şekil 4.22.	Yükleme öncesi S1-1 deney elemanı.....	58
Şekil 4.23.	Deney sonrası S1-1 elemanın dört yüzden görünümü.....	59
Şekil 4.24.	S1-1 deney elemanın deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi.	60
Şekil 4.25.	Yükleme öncesi S1-2 deney elemanı.....	62
Şekil 4.26.	Deney sonrası S1-2 elemanın dört yüzden görünümü.....	63

Şekil 4.27.	S1-2 deney elemanın deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi.	64
Şekil 4.28.	Yüklemeye öncesi S2-1 deney elemanı.....	66
Şekil 4.29.	Deney sonrası S2-1 elemanın dört yüzden görünümü.....	67
Şekil 4.30.	S2-1 deney elemanın deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi.	68
Şekil 4.31.	Yüklemeye öncesi S2-2 deney elemanı.....	70
Şekil 4.32.	Deney sonrası S2-2 elemanın dört yüzden görünümü.....	71
Şekil 4.33.	S2-2 deney elemanın deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi.	72
Şekil 4.34.	Yüklemeye öncesi S3-1 deney elemanı.....	75
Şekil 4.35.	Deney sonrası S3-1 elemanın dört yüzden görünümü.....	76
Şekil 4.36.	S3-1 deney elemanın deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi.	77
Şekil 4.37.	Yüklemeye öncesi S3-2 deney elemanı.....	79
Şekil 4.38.	Deney sonrası S3-2 elemanın dört yüzden görünümü.....	80
Şekil 4.39.	S3-2 deney elemanın deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi.	81
Şekil 4.40.	Yüklemeye öncesi S4 deney elemanı.....	84
Şekil 4.41.	Deney sonrası S4 elemanın dört yüzden görünümü.....	85
Şekil 4.42.	S4 deney elemanın deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi.	86
Şekil 4.43.	Yüklemeye öncesi S5 deney elemanı.....	88
Şekil 4.44.	Deney sonrası S5 elemanın dört yüzden görünümü.....	89

Şekil 4.45.	S5 deney elemanın deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi.	90
Şekil 4.46.	Manto katmanı ve yalın kolon ara yüzündeki kesme etkisi ile kopan saplama çubuğu.	92
Şekil 4.47.	Yüklemeye öncesi S6 deney elemanı.	93
Şekil 4.48.	Deney sonrası S6 elemanın dört yüzden görünümü.	94
Şekil 4.49.	S6 deney elemanın deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi.	95
Şekil 4.50.	Yüklemeye öncesi B4 deney elemanı.	97
Şekil 4.51.	Deney sonrası B4 elemanın dört yüzden görünümü.	98
Şekil 4.52.	B4 deney elemanın deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi.	99
Şekil 4.53.	Yüklemeye öncesi B5 deney elemanı.	101
Şekil 4.54.	Deney sonrası B5 elemanın dört yüzden görünümü.	102
Şekil 4.55.	B5 deney elemanın deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi.	103
Şekil 4.56.	Yüklemeye öncesi B6 deney elemanı.	105
Şekil 4.57.	Deney sonrası B6 elemanın dört yüzden görünümü.	106
Şekil 4.58.	B6 deney elemanın deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi.	107
Şekil 4.59.	Yüklemeye öncesi R4 deney elemanı.	109
Şekil 4.60.	Deney sonrası R4 elemanın dört yüzden görünümü.	110
Şekil 4.61.	R4 deney elemanın deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi.	111

Şekil 4.62.	Yükleme öncesi R5 deney elemanı.....	113
Şekil 4.63.	Deney sonrası R5 elemanın dört yüzden görünümü.....	114
Şekil 4.64.	R5 deney elemanın deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi.	115
Şekil 4.65.	Yükleme öncesi R6 deney elemanı.....	117
Şekil 4.66.	Deney sonrası R6 elemanın dört yüzden görünümü.....	118
Şekil 4.67.	R6 deney elemanın deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi.	119
Şekil 4.68.	Yükleme öncesi M1 deney elemanı	121
Şekil 4.69.	Deney sonrası M1 elemanın dört yüzden görünümü.....	122
Şekil 4.70.	M1 deney elemanın deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi.	123
Şekil 4.71.	Yükleme öncesi M4 deney elemanı	125
Şekil 4.72.	Deney sonrası M4 elemanın dört yüzden görünümü.....	126
Şekil 4.73.	M4 deney elemanın deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi.	127
Şekil 5.1.	S1-1 deney elemanın ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi.....	130
Şekil 5.2.	S1-2 deney elemanın ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi.....	131
Şekil 5.3.	S2-1 deney elemanın ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi.....	132
Şekil 5.4.	S2-2 deney elemanın ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi.....	133
Şekil 5.5.	S3-1 deney elemanın ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi.....	134

Şekil 5.6.	S3-2 deney elemanın ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi.....	135
Şekil 5.7.	S4 deney elemanın ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi.....	136
Şekil 5.8.	S5 deney elemanın ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi.....	137
Şekil 5.9.	S6 deney elemanın ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi.....	138
Şekil 5.10.	B4 deney elemanın ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi.....	139
Şekil 5.11.	B5 deney elemanın ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi.....	140
Şekil 5.12.	B6 deney elemanın ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi.....	141
Şekil 5.13.	R4 deney elemanın ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi.....	142
Şekil 5.14.	R5 deney elemanın ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi.....	143
Şekil 5.15.	R6 deney elemanın ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi.....	144
Şekil 5.16.	M1 deney elemanın ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi.....	145
Şekil 5.17.	M4 deney elemanın ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi.....	146
Şekil 5.18.	Güçlendirilmiş S1 ve monolitik M1 elemanlarının normalize edilmiş yük - toplam birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması.....	147
Şekil 5.19.	Güçlendirilmiş S4 ve monolitik M4 elemanlarının normalize edilmiş yük - toplam birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması.....	148
Şekil 5.20.	Onarılmış R4 ve monolitik M4 elemanlarının normalize edilmiş yük - toplam birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması.....	149

Şekil 5.21.	Monolitik referans elemanları ile mantolanmış deney elemanlarının rijitliklerinin karşılaştırılması.	156
Şekil 5.22.	Boyutları aynı oranda artırılmış S1-S4, S2-S5, S3-S6 kolon çiftlerinin güçlendirme deneyleri sonundaki rijitlik artışları.	157
Şekil 5.23.	Mantolanarak onarılan R4, R5 ve R6 deney elemanlarındaki rijitlik artışının yalın elemanlarla kıyaslaması.	158
Şekil 5.24.	Onarılmış R4, güçlendirilmiş S4 ve monolitik M4 elemanlarının enerji tüketim kapasitesi – birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması.	159
Şekil 5.25.	Güçlendirilmiş S1 ve monolitik M1 elemanlarının enerji tüketim kapasitesi – birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması.	160
Şekil 5.26.	Güçlendirilmiş S1-1, S2-1 ve S3-1 elemanlarının enerji tüketim kapasitesi – birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması.	161
Şekil 5.27.	Güçlendirilmiş S1-2, S2-2 ve S3-2 elemanlarının enerji tüketim kapasitesi – birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması.	162
Şekil 5.28.	Güçlendirilmiş S4, S5 ve S6 elemanlarının enerji tüketim kapasitesi – birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması.	163
Şekil 5.29.	Onarılmış R4, R5 ve R6 elemanlarının enerji tüketim kapasitesi – birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması.	164
Şekil 5.30.	Onarılmış R5 ve güçlendirilmiş S5 elemanlarının enerji tüketim kapasitesi – birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması.	165
Şekil 5.31.	Onarılmış R6 ve güçlendirilmiş S6 elemanlarının enerji tüketim kapasitesi – birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması.	166

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada tez metni içerisinde kullanılmış simgeler ve kısaltmalar aşağıda sunulmuştur:

Simgeler	Açıklama
A_c	Kolon kesit alanı ($b \times h$)
A_{cc}	Yalın kesit alanı
A_{cj}	Manto alanı
A_s	Donatı enkesit alanı
b	Kolon kısa kenar uzunluğu
E_c	Betonun elastisite modülü
E_s	Çeliğin elastisite modülü (2×10^5 N/mm ²)
f_c	Beton dayanımı
f_{cc}	Yalın kesit beton dayanımı
f_{cj}	Manto beton dayanımı
f_{cN}	Beton basınç değeri için kabul edilen normalizasyon değeri ($f_{cN} = 20$ MPa)
k_N	Normalizasyon katsayısı.
N_i	Herhangi bir anda kolonun taşıdığı toplam eksenel yük
N_{in}	Herhangi bir anda kolonun taşıdığı normalize edilmiş toplam eksenel yük
N_c	Betonun taşıdığı eksenel yük
N_{cN}	f_{cN} 'ye göre normalize edilmiş betonun taşıdığı eksenel yük.
N_{yN}	Kolonun akma anında taşıdığı normalize edilmiş toplam eksenel yük
N_{oN}	N-ε eğrisinde kolonun taşıdığı normalize edilmiş maksimum toplam eksenel yük
$N_{0.85N}$	Kolonun süneklik sınırında taşıdığı normalize edilmiş toplam eksenel Yük

Simgeler	Açıklama
δ	Deformasyon
ϵ	Birim deformasyon
$(\epsilon)_{iç}$	İç ölçüm düzeneğinden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan birim deformasyon
$(\epsilon)_{dış}$	Dış ölçüm düzeneğinden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan birim deformasyon
ϵ_{co}	σ - ϵ eğrisinde maksimum gerilmeye karşılık gelen birim deformasyon
ϵ_i	Herhangi bir anda kolon birim deformasyonu
ϵ_o	N- ϵ eğrisinde maksimum eksenel yüke karşı gelen birim deformasyon
ϵ_y	Donatı akma birim deformasyonu
ϕ	Donatı çapı
ρ	Donatı oranı
σ_s	Donatı gerilmesi
σ_{cc}	Yalın kesitin beton gerilmesi
σ_{cj}	Mantolanmış beton gerilmesi

Kısaltmalar

G.Ü.M.M.F.	Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi
LVDT	Doğrusal deplasman ölçer. (<u>L</u> inear <u>V</u> ariable <u>D</u> isplacement <u>T</u> ransducer)

1. GİRİŞ

Yakın geçmişimizde yaşadığımız doğal afetlerden kendi payımıza çıkardığımız dersler, yapıların insana daha iyi bir sığınak olabilmesi yolunda bize ışık tutmuştur. 1970'lerde yurdumuzda hız kazanan deneysel çalışmalar, yapılar hakkındaki mevcut standartları iyileştirmiş ve yeni şartnamelerin geliştirilmesine ortam hazırlamıştır. Bu çalışmalar sonucunda, tam olarak bilinemeyen betonarme davranışı hakkında daha çok ipucu elde edilmiş ve malzeme biliminin de ilerlemesiyle, insanoğlu daha güvenle barınabileceği yapılara kavuşabilmiştir.

Çağdaş yapı sistemlerinde, betonarme davranışının daha iyi bilinmesi, yeni birtakım taşıyıcı sistem düşüncelerini de ortaya çıkarmıştır. Yeni sistemler eski tip yapılarda güvensizlik yaratan birçok durumun iyileştirilmesini sağlamıştır. Birçok binanın dinamik deprem kuvveti altında göçmesi, sistem üzerinde iyileştirmelerin yapılması gerekliliğine işaret ettiği gibi betonarmede donatı detaylarının da önemli rol oynadığını ortaya koymuştur.

Ancak bu kadar değişime uğramış olan yapı sistemlerinde taşıyıcı elemanların işlevleri aynı kalmıştır. Basitçe düşündüğümüzde kirişler hâlâ döşeme yüklerini taşımakta, kolonlar ise kirişlerden aldıkları düşey yükleri ve yapıda sismik yüklemeler etkisinde meydana gelişen yatay yükleri taşımakta, temeller ise bina yüklerini kolonlar vasıtası ile alıp güvenle zemine aktarmaktadır. Bu yük aktarım mekanizması zaman içerisinde yapı sistemlerinde değişime uğrayacak bir içeriğe sahip değildir. Ancak bu yük aktarım mekanizmasını meydana getiren taşıyıcı elemanlar geliştirilmiş ve duyulan ihtiyaç üzerine perdeler, çelik profilden imal edilmiş harici taşıyıcı sistemler vb. gibi yeni taşıyıcı elemanlar sistemlere dahil edilerek yapılar güvenli hale getirilmişlerdir.

Eski tip yapıların ise bu kapsam altında yeniden gözden geçirilmesi

yurdumuzda bir gündem teşkil etmiş, yapılan birçok deneysel çalışmada mevcut sistemlerin rehabilitasyonu konu olarak seçilmiştir. Bu amaç doğrultusunda yapının yukarıda da değinildiği gibi, yükün taşıtılmasında en önemli unsur olan kolonların tasarımı ve rehabilitasyonu üzerinde daha çok çalışılmıştır.

Enerji tüketebilme kapasitesi daha gelişmiş olan yapılar günümüzde şartname ve standartlar ışığında kolay bir şekilde inşa edilebilmektedir. Ancak, üzerinde daha çok mesai sarf edilmesi gereken konu hiç şüphesiz ki, yapıların taşıma kapasitelerinin onarım / güçlendirme metotlarıyla daha üstün bir seviyeye çıkarılmasıdır. Gerek yapının geçmişindeki yıkımlar, yapının kullanım amacının değişmesi ve gerekse de değişen şartnamelere yapının uygun hale getirilmesinin gerekliliği gibi nedenlerden dolayı binalarda yetersizlikten bahis edilebilmektedir. Taşıma kapasitesi sorununun yanı sıra, yapının sismik etki sırasındaki titreşim periyodu veya yapı elemanlarındaki aşırı deformasyon yapması gibi diğer kullanım sorunları da yapıda rehabilitasyon gerektirmektedir. Yapının güçlendirilmesi, yıkılıp tekrar yapılması ile ekonomik bakımdan karşılaştırıldığında ucuz çözüm tercih edileceğinden, çoğunlukla yapı rehabilitasyonu uygulanmaktadır. Rehabilitasyon, genel olarak taşıyıcı elemanların davranışını iyileştirmeye yönelik olan herhangi bir işin adıdır. Bu kapsamda onarım, güçlendirme veya hasar durumuna göre diriltme olabilmektedir Uygulanan tekniklerin basit açıklamaları ise şu şekilde yapılabilir.

Güçlendirme, hasar görmemiş fakat yetersizliği anlaşılmış olan elemanın kesit taşıma gücünü istenilen düzeye çıkartmak için yapılan iyileştirme işlemine denir. Onarım, ise hasar görmüş elemanın kesit taşıma gücünü eski düzeye veya istenilen düzeye çıkartmak için yapılan iyileştirme işlemine denir. Diriltme ise, taşıyıcı eleman olarak hemen hemen tüm fonksiyonunu yitirmiş bir elemanda taşıma gücünün elemana tekrar kazandırılmasını amaçlayan bir iyileştirmedir.

Sunulan araştırmaya konu olarak, mantolamanın hasar verilmemiş ve hasarlı, dikdörtgen ve kare kesitli betonarme kolonlar üzerindeki etkisi seçilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerle onarılmış ve güçlendirilmiş kolon davranışı ve manto katmanının dayanıma etkisi irdelenmiştir.



2. AMAÇ VE KAPSAM

Bu çalışmada amaç giriş bölümünde de değinildiği gibi mantolama yöntemi ile kesitleri büyültülmüş kolonların davranışının incelenmesidir. Bu yöntem uygulanırken mevcut kolonun dört köşesine de ilave boyuna donatı ve kolon boyunca yalın kolon donatısı ile aynı sargı donatısı konularak betonarme bir kabuk oluşturulmuş ve kolon kesiti üç farklı oranda büyültülmüştür. Bu oranlar hem dikdörtgen kesitli, hem de kare kesitli kolonlar için benzer olacak şekilde kolon kesitleri seçilmiştir. İki farklı tip kolon geometrisi için de benzer olarak dar tip manto için $A_{cj}/A_{cc}=0.8$, normal tip manto için $A_{cj}/A_{cc}=1.0$ ve geniş tip manto için ise $A_{cj}/A_{cc}=1.8$ oranları karakteristik olarak yakalanmaya çalışılmıştır. Bu oranların deney sonunda, amaca yönelik davranış bakımından anlamlı sonuçlar vermeye yeterli olduğu görülmüştür.

Üç farklı manto alanı belirlendiği için her bir kesit için üçer adet yalın kolon imal edilmiştir. Ancak onarım grubu deneylerinde kare kesitli kolonlar için manto parametreleri denenmemiştir. Bunun başlıca sebebi kare ve daire kesitli elemanlar üzerinde mantolama yönteminin, dikdörtgen kesitli kolonlara kıyasla daha çok uygulanmış olmasıdır (Cısdık, 1998; Ünsal 1998). Bu sebeple onarım grubu için sadece dikdörtgen kesitli kolonlara mantolama uygulanmıştır. Güçlendirme grubu deneylerinde ise kare ve dikdörtgen kesitli kolonlar tam takım olarak denenmiştir. Bu deney elemanlarına ilave olarak birisi kare diğeri ise dikdörtgen kesitli, normal tip mantolu iki adet de monolitik (tek döküm) eleman imal edilmiştir. Monolitik elemanlar deney elemanlarına bir referans oluşturmak üzere deney kapsamına dahil edilmiştir. Bu deneyler kapsamında on dört adet deney elemanı test edilmiştir. Deneyde yer alan deneyler ve deney elemanlarının kesit özellikleri Çizelge 2.1. 'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Deney grupları, eleman adları ve deney elemanlarının kesit özellikleri.

Eleman No	Yalın Kesit (mm)	Yalın h/b	Mantolanmış Kesit (mm)	Mantolanmış h/b	Kesit Geometrisi	Acj / Acc
GÜÇLENDİRME GRUBU DENEYLERİ	S1	120x120	170x170	1.00	Kare	1.01
	S2	120x120	160x160	1.00	Kare	0.78
	S3	120x120	200x200	1.00	Kare	1.78
	S4	90x160	140x210	1.54	Dikdörtgen	1.04
	S5	90x160	130x200	1.50	Dikdörtgen	0.81
	S6	90x160	170x240	1.41	Dikdörtgen	1.83
HASAR VERİLEN YALIN ELEMENLER	B4	90x160	---	---	Dikdörtgen	---
	B5	90x160	---	---	Dikdörtgen	---
	B6	90x160	---	---	Dikdörtgen	---
ONARIM GRUBU DENEYLERİ	R4	90x160	140x210	1.54	Dikdörtgen	1.04
	R5	90x160	130x200	1.50	Dikdörtgen	0.81
	R6	90x160	170x240	1.41	Dikdörtgen	1.83
REFERANS MONOLİTİK ELEMENLERİ	M1	---	170x170	1.00	Kare	1.01
	M4	---	140x210	1.50	Dikdörtgen	1.04

3. LİTERATÜRDE KOLONLARIN ONARIM VE GÜÇLENDİRİLMESİNE YÖNELİK ÇALIŞMALAR

Betonarme kolonların onarım ve güçlendirilmesi yaygın olarak öteden beri kullanılan bir teknik olması sebebiyle, mantolama tekniğinin etkinliği ile mantonun davranış ve dayanım üzerindeki etkileri hakkında literatürde birçok çalışmaya rastlanmıştır. Ancak bu bölümde rastlanan tüm çalışmalardan derlemeler yapmak, gereksiz hacme ve amaçtan sapmaya sebep olacağından konu ile doğrudan ilgili olanlar seçilmiştir. Teknik yazıların yanı sıra bu konu üzerinde hazırlanmış, doktora ve master tezleri de kapsam dahiline alınmıştır.

3.1. Eksenel Yük Altında Mantolanmış Kolon Davranışı

1988 yılında, master tezi olarak hazırlanan bu çalışma deneysel olarak incelenmiştir.

Bu çalışmada, değişik manto türlerinin etkinliği yalnızca eksenel yük taşıma kapasitesi bakımından incelenmiştir. Bu amaçla beş deney elemanından oluşan bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. Bunların dördü uygulama koşulları bakımından çeşitli manto türlerini yansıtırken, beşincisi ise değişik mantolama yöntemlerinin etkinliğini saptayabilmek amacıyla mantolanmış kolonlarla aynı kesit, özellik ve donatıya sahip monolitik referans elemanıdır.

Bu çalışmada kullanılan manto türleri şunlardır :

- Hasar öncesi yüksüz mantolama (Yüksüz güçlendirme mantosu). PUS
- Hasar sonrası yüksüz mantolama (Yüksüz onarım mantosu). PUR
- Hasar öncesi yük altında mantolama (Yük altında güçlendirme mantosu). PLS
- Hasar sonrası yük altında mantolama (Yük altında onarım mantosu). PLR

Bu deneyde kullanılan elemanların boyutları ve donatıları Şekil 3.1. 'de gösterilmiştir. Deney sırasında kullanılan deney düzeneği ise Şekil 3.2. 'deki gibidir.

Bu çalışmaların ardından yapılan değerlendirmeler sonucu ister yük altında, ister yüksüz yapılmış olsun güçlendirme mantosunun çok etkili olduğu, onarım mantosunun ise yüksüz yapıldığında yük altında yapılanaya göre daha fazla etkili olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda elde edilen bilgiler güçlendirme ve onarım mantosu için aşağıdaki gibi derlenmiştir.

Güçlendirme Mantosu : Deney elemanlarının eksenel yük taşıma kapasiteleri, gerek yük altında ve gerekse yüksüz durumda olsun, yapılan güçlendirme mantosu ile önemli ölçüde artmıştır. Güçlendirilmiş manto deney elemanları ile monolitik (bir döküm) elemanlar arasında eksenel yük taşıma kapasiteleri açısından %10-20 arası bir fark vardır ki, bu da deneyin başarı sağladığını göstermiştir. İster yüklü durumda olsun, isterse de yüksüz durumda olsun, güçlendirilmiş elemanların rijitliği, süneklik ve enerji tüketimleri de monolitik elemanla benzeşmektedir. Ayrıca güçlendirme mantosu uygulanmış elemanlarda aşırı deformasyonlar oluşmamıştır.

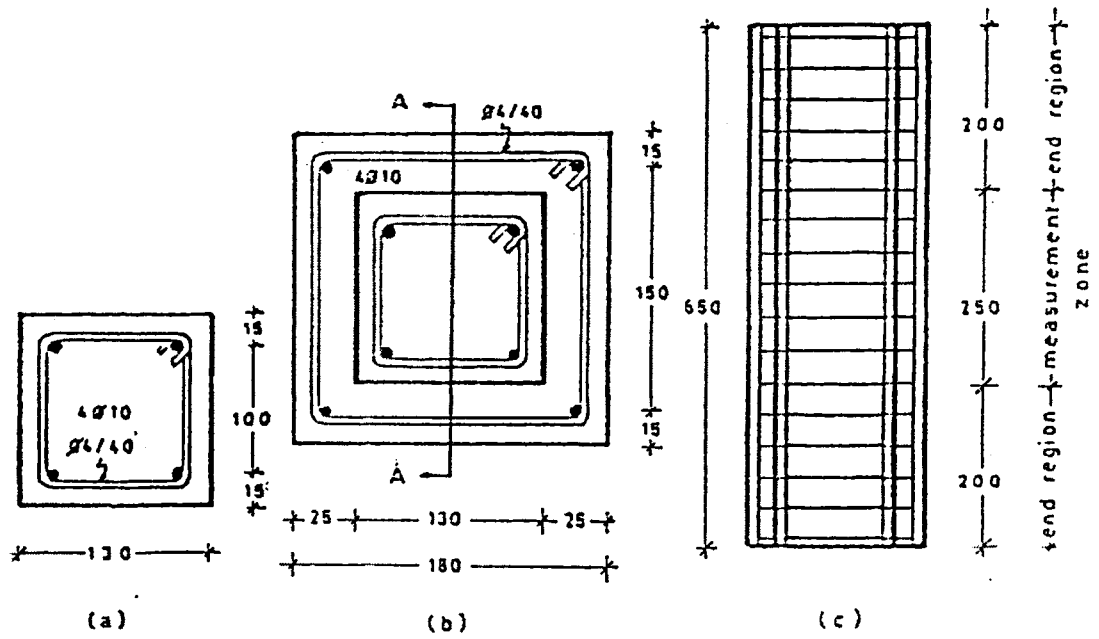
Onarım Mantosu : Yüksüz durumda yapılan onarım mantosu ile monolitik deney elemanının dayanımının %70-80'ine ulaşılmış olmasına rağmen yüklü durumda yapılan onarım mantosu aynı performansı sergileyememiş ve bu onarım mantosu monolitik deney elemanı dayanımının sadece %50'sine ulaşabilmiş ve sadece manto yük almıştır.

Onarımları yapılmış elemanların süneklikleri, enerji tüketimleri ve benzer şekilde rijitlikleri, monolitik ve güçlendirilmiş elemanlara göre gerek yük altında gerekse de yüksüz durumda daha azdır. Ayrıca onarılmış elemanlarda tekrar yükleme sonucu aşırı deformasyonlar gözlenmiştir.

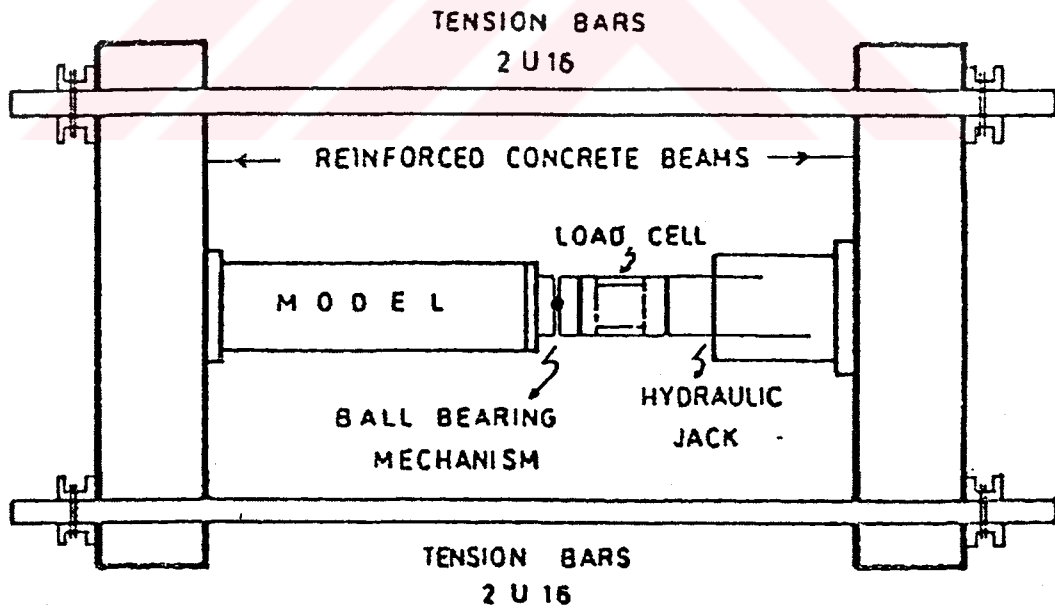
Bu deneyler neticesinde, güçlendirme mantosunun gerek yük altında

gerekse de yüksüz durumda uygulanmasıyla başarı elde edilirken aynı sonuç onarım mantosu için geçerli olmamıştır. Onarım mantosu sadece yüksüz durumda başarı sağlayabilmiş, yüklü durumda uygulandığında etkili olmamıştır [1].





Şekil 3.1. Deney elemanının boyutları ve donatısı.



Şekil 3.2. Deney düzeneği.

3.2. Betonarme Kolonların Onarımı ve Güçlendirilmesi

1991 yılında doktora tezi olarak Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde yapılmıştır.

Bu çalışmada, mantolanarak onarılmış yada güçlendirilmiş betonarme kolonların eksenel yük ve tek eğrilikli eğilme altındaki davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Beş deney elemanından üçü tek düze yük yada tersinir yük altında test edildikten sonra bu elemanlar mantolanıp yeniden test edilmiştir. Yapılan mantolamaya göre yalın deney elemanındaki hasara bağlı olarak onarım ve güçlendirme mantosu adı verilmiştir. Bu elemanlara ek olarak iki monolitik referans elemanı da test edilmiştir. Bu çalışmanın deney elemanları ise şunlardır ;

- Monotonik yük altında onarılmış eleman, SP-12
- Monotonik yük altında monolitik eleman, SP-MM
- Tersinir yük altında güçlendirilmiş eleman, SP-22
- Tersinir yük altında onarılmış eleman, SP-32
- Tersinir yük altında monolitik eleman, SP-MC

Bu deneyde kullanılan deney elemanlarının boyutları ve deney düzeneği Şekil 3.3. 'de gösterilmiştir.

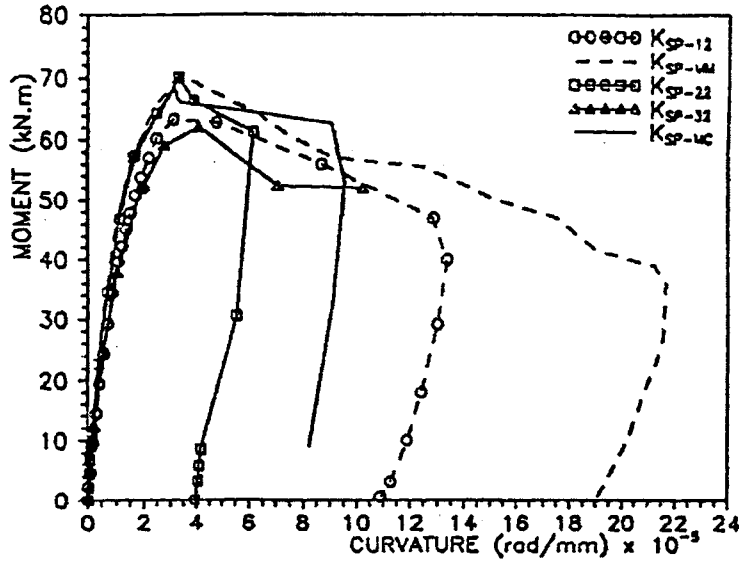
Bu deneyler sonucu elde edilen sonuçta ; güçlendirilmiş mantolu elemanların hem monotonik hem de tersinir yükler altında monolitik referans elemanı kadar iyi davrandığını göstermiştir. Onarım gören mantolu elemanlarda ise hem rijitliğin hem de dayanımın monolitik referans elemanına göre daha küçük olduğu gözlenmiştir. Deney sonuçları hakkında daha detaylı bilgi şu şekildedir.

Güçlendirme Mantosu : Mantolama yoluyla güçlendirilmiş elemanların rijitliği

ile tek döküm monolitik elemanın rijitliği maksimum yüke kadar benzerlik göstermiştir. Ayrıca monotonik ve tersinir yüklere karşı, manto ilave boyuna donatılarının, kiriş gövdelerine mekanik olarak bağlanmış korniyerlere kaynaklanması olumlu bir davranış sergilemiştir. Güçlendirme mantosu uygulanmış elemanların enerji tüketimlerinin tek döküm elemana göre daha az olduğu görülmüştür. Aynı şekilde bu elemanların süneklikleri de, tek döküm elemana göre daha düşük çıkmıştır.

Onarım Mantosu : Gerek monotonik ve gerek tersinir yükler altında onarılmış elemanlar, tek döküm eleman dayanımının %90'ına ulaşmışlardır. Onarılan elemanlara ait enerji tüketme kapasiteleri, referans elemanına göre daha düşük değerlerde çıkmıştır. Benzer şekilde aynı elemanların yine referans elemanına göre süneklikleri de küçüktür. Referans elemanı ile karşılaştırıldığında onarılmış elemanların rijitliğinin tek döküm elemanlara göre %20 daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca önemli bir bulgu olarak, maksimum yüke kadar göbek betonu ile mantodan okunan deformasyonlar aynı iken, bu yük seviyesinden sonra aynı okumaların alınamaması, maksimum yük seviyesinden sonra göbek ve manto betonu arasındaki kaynaşmanın bozulduğunu göstermiştir.

Bu deneylere ait moment-eğrilik ilişkisinin grafiği Şekil 3.4. 'de gösterilmiştir. Son olarak, yapılan bu araştırmadan, gerek tersinir ve gerek monotonik yük altında yapılmış olsun, güçlendirme mantolarının, kolonlarda başarıyla uygulanabileceği, buna karşı onarım mantolarının aynı başarıyı sergileyemedikleri sonucuna varılmıştır [2].



Şekil 3.4. Deneylerin düzenlenmiş moment-eğrilik ilişkisi.

3.3. Eksenel Yüklü Kolonlarda Genişleyebilen Metal Ağı'nın Kayma ve Sargı Donatısı Olarak Kullanılması

Deneyssel bir dizi çalışma ile eksenel yüklü kolonların ekzantrik yükleme altında onarım ve güçlendirilmesini incelemiştir.

Dört basit kolon ekzantrik yüklemeye tabi tutulmuştur. Elemanlardan iki tanesi 130 mm x 230 mm kesitli ve 650 mm uzunluğundadır. Bu elemanlarda 4 ϕ 10'luk boyuna donatı kullanılmıştır. Diğer ikisi ise 160 mm x 160 mm kare kesitli ve 4 ϕ 12 boyuna donatıya sahip 1m uzunlukta imal edilmiştir. Bu elemanlarda ϕ 4/10 kesme donatısı kullanılmıştır. Eksenel yük altında, basit kolon gibi hasar meydana gelene kadar yükleme yapılmıştır. Daha sonra tüm elemanlardaki hasar görmüş beton kısım temizlenerek çıkarılmıştır. Hasar görmüş kolonların enine donatılan EMM (Expanding Metal Mesh) kullanılarak onarılmıştır. İlk iki örnekten bir tanesinin kesiti 180 mm x 180 mm'ye çıkarılmış, diğeri ise 175 mm x 175 mm'ye 4 ϕ 10'luk boyuna donatı kullanılarak çıkarılmıştır. Diğer ikisi, 4 ϕ 12'lik demir kullanılarak 230 mm x 230

mm'ye çıkarılmıştır.

Eksenel yük altında hasar görmüş kolonların mantolama yoluyla onarımı yük kaldırıldıktan sonra, yüksüz koşullarda yapılmıştır. Onarıldıktan sonra tekrar teste tabi tutulan kolonlarda, sargı donatısı olarak Genişleyen Metal Ağı'nın (EMM) kullanımının etkin bir çözüm olmadığı sonucuna varılmıştır [3].

3.4. Donatı Kenetlenme Yöntemlerinin Mantolanmış Kolon Üzerindeki Etkileri

1991 yılında master tezi olarak hazırlanan bu çalışma bir önceki deneyin elemanları üzerinde yapılmıştır.

Bu deneysel çalışmada, çeşitli donatı ankraj yöntemlerinin mantolanmış kolon davranışına etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışma, beş adet kolon modeli ile (Dört tanesi onarılmış, bir tanesi monolitik referans) eksenel yük ve tersinir eğilme altında gerçekleştirilmiştir. Mantolanan kolon modellerine aşağıdaki ankraj yöntemleri uygulanmıştır :

- Sürekli manto donatısı, RRC
- Epoksi ile kenetlenmiş manto donatısı, RRE
- Mekanik kenetleme (kelepçe ile), KRM
- Manto donatısının giriş yüzeyinde kesilmesi, RRD

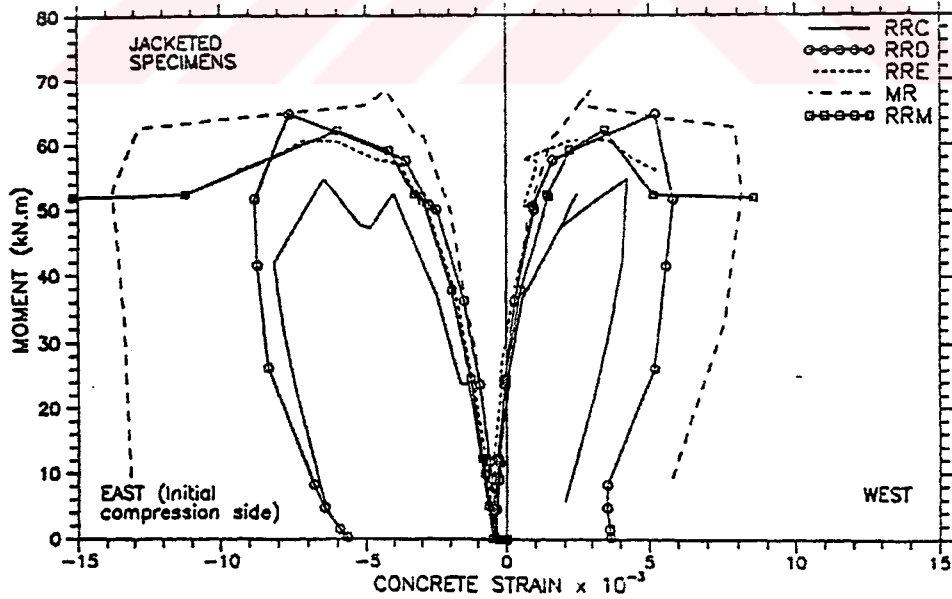
Ayrıca sözü edilen ankraj yöntemlerini karşılaştırmak için monolitik referans elemanı da deneye tabii tutulmuştur.

Elde edilen deney verileri ile kolon modellerinin moment - deformasyon Şekil 3.5. 'de, moment-eğrilik Şekil 3.6. 'da gösterilmiştir.

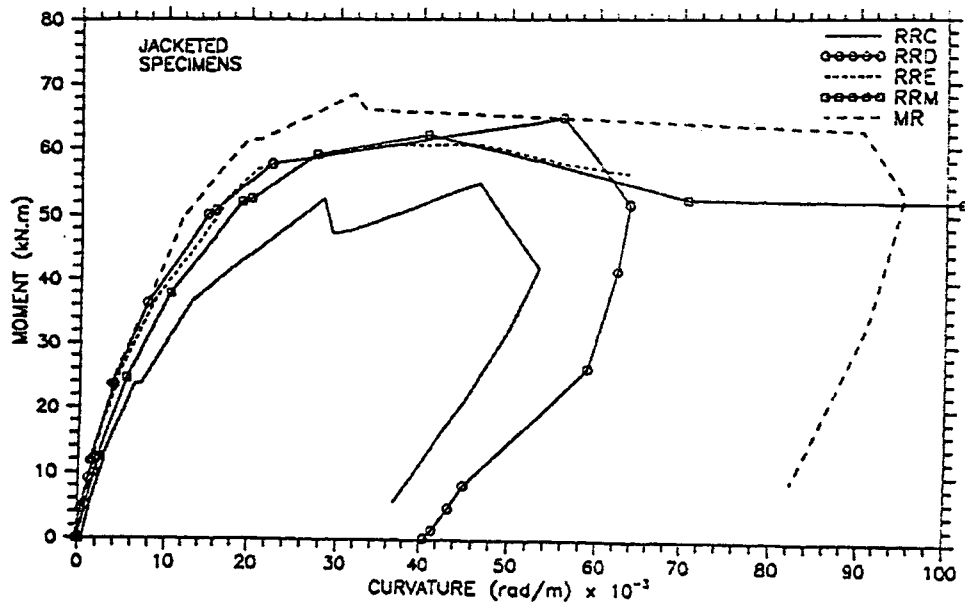
Çalışmada elde edilen bulgular şunlardır :

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

Tüm bu işlemlerin sonucunda, epoksi ve mekanik yöntemle ankre edilen mantolanmış kolonların iyi davranış sergiledikleri izlenimi edinilmiştir. Boyuna donatının süreksiz olması durumunda ise ; elde edilen sonuçlar fazla güven verici olmadığı gözlemlenmiştir [4].



Şekil 3.5. Deneylerin moment-deformasyon ilişkisi.



Şekil 3.6. Deneylerin moment – eğrilik ilişkisi.

3.5. Betonarme Kolonların Komşu İki Yüzden Manto İle Onarımı ve Güçlendirilmesi

Yapılarda mantolanarak onarım ve güçlendirmenin dört yüzden yapılamadığı durumlarda, komşu iki yüzden mantolamanın etkinliğini araştırmıştır. Deney elemanlarında yüklemeler hem eksenel hem de yük eski kolonun merkezine yüklenecek şekilde ekzantrik biçimde uygulanmıştır.

Deneyler sonucunda yalın kolon dayanımlarının, güçlendirme mantosu yapıldığı durumlarda %20, onarım mantosu yapıldığı durumlarda %16 arttığı tespit edilmiştir. Bu şekilde onarım ve güçlendirme mantosu yapılmış elemanların süneklik ve enerji tüketimleri ise, tek döküm referans elemanına göre düşüktür. Monolitik elemanla karşılaştırıldığında, güçlendirme mantosu yapılmış elemanlar referans eleman dayanımının %89'una, onarım mantosu yapılmış elemanlarda referans eleman dayanımının %86'sına ulaşmıştır. Bu açıdan bakıldığında komşu iki yüzden mantolamanın, onarım ve

güçlendirmede başarı sağladığı sonucuna varılmıştır.

Güçlendirme ve onarım yapılmış kolonlar rijitlik yönünden ele alındığında, bu kolonların rijitliğinin tek döküm monolitik kolonlara ait rijitliğin %90'ına ulaştığı görülmüştür.

Mantolama sırasında sargı donatısı olarak kullanılan etriyenin mantolamanın başarısında son derece etkili olduğu, şayet mümkünse, kolonun arka yüzündeki pas paylarının da sıyrılarak bütün kolonu çevreleyen güçlü ve kapalı bir etriyenin mantolamanın başarısını artıracak sonucuna varılmıştır [5].

3.6. İki, Üç ve Dört Yüzünden Mantolanmış Kolonların Eksenel Yük Altında Davranışı

İki, üç ve dört yüzünden mantolanabilen kolonların, yüksüz mantolandıktan sonra, tekdüze eksenel yükler altında oluşan davranış ve dayanımını incelemiştir. Çalışmada, mantolanmış kolonların dayanım düzeyi, dayanım artışı, süneklik, rijitlik ve enerji tüketme kapasitesi gibi faktörler ele alınmıştır.

Deneyisel çalışmanın bütününde, komşu iki yüzünden, üç yüzünden ve dört yüzünden mantolanan üç deney dizisi kapsamında, yalın, monolitik, onarılmış ve güçlendirilmiş olmak üzere toplam on iki deney elemanı denenmiştir. Bütün deney elemanlarında manto boyuna donatılan z-demirleri ve kaynaklı birleşim yoluyla mevcut boyuna donatılara bağlanmış, ayrıca manto içine yerleştirilen etriyelerle mevcut kolonun çevresinde ikinci bir sargılama yapılmıştır.

Deney elemanlarına uygulanan yükleme, elemanın yapıdaki yerleşim pozisyonu göz önüne alınarak gerçek davranışı benzeştirecek türde planlanmıştır. Bu nedenle komşu iki yüzünden ve üç yüzünden mantolanmış

kolonlarda yükleme yalın deney elemanının (eski kolonun) kesit merkezine uygulanmıştır. Bu sayede bu tür mantolu kolonların (simetrik olmayan mantolama), eksenel/eksantrik yükleme altındaki davranışları incelenebilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen bulgular aşağıdaki gibi olmuştur:

Dört yüzünden mantolanmış kolonlar : Kolonların dört yüzünden yapılan güçlendirme mantosu ile monolitik kesit kapasitesinin %92'sine, onarım mantosu ile de %88'ine ulaşılabilmiştir. Bununla birlikte dört yüzünden mantolanmış (onarılmış ve güçlendirilmiş) kolonlar genel olarak dayanım, rijitlik ve süneklik yönüyle başarılı bir davranış sergilemişlerdir.

Üç yüzünden mantolanmış kolonlar : Üç yüzünden mantolanmış kolonlarda güçlendirme mantosuyla monolitik kesit kapasitesinin %90'ına onarım mantosuyla %82'sine ulaşılabilmiştir. Onarılmış ve güçlendirilmiş kolonların rijitlik ve süneklikleri monolitik kolona yakın olmakla beraber, enerji tüketimlerinde belli bir azalma görülmüştür.

Komşu iki yüzünden mantolanmış kolonlar : Komşu iki yüzünden mantolanarak güçlendirilmiş kolonda monolitik kolonun %89'u, onarılmış kolonda %86'sı oranında dayanım elde edilmiştir. Mantolanmış kolonların (güçlendirme ve onarım) süneklik ve enerji tüketimleri monolitik kolona kıyasla düşük çıkmakla beraber, bu elemanlar rijitlik açısından iyi bir davranış sergilemiştir. Deneysel çalışmanın bütününde ise, komşu iki yüzünden ve üç yüzünden mantolanmış kolonların, dayanım ve süneklik açısından, dört yüzünden mantolanmış kolonlara kıyasla daha düşük değerler sergilediği görülmüştür [6].

3.7. Onarılmış Betonarme Kolon Davranışı ve Dayanımı

Bu çalışmanın temel amacı mantolanmış betonarme kolonların sismik

hareketlerin benzeşimi olan tersinir yükler altında davranış ve dayanımını incelemektir. Deney elemanlarında kenetleme yöntemi, mantolama türleri ve elemanların eksenel yük altında ve yüksüz olarak davranışları ana değişken olarak alınmıştır. Deney elemanlarında üç tip kenetlenme yöntemi (sürekli, mekanik, epoksili) kullanılmıştır. Manto türleri (güçlendirme, onarım ve diriltme), yükleme ise (eksenel yüklü ve yüksüz) iki değişken olarak ele alınmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi olmuştur:

Manto donatısının sürekli formda kenetlendiği durum : Bu durumda ki elemanlar, referans olarak dökülen tek döküm elemanla aynı davranışı sergilemiştir. Ayrıca bu mantolama şekli ile onarım sonucunda elde edilen dayanımda tek döküm elemanla aynıdır.

Manto donatısının epoksili ankraji durumu : Bu durumdaki elemanların maksimum dayanımları, tek döküm elemandan fazla çıkmıştır. Ancak etrafındaki epoksiden kurtulup sıyrılabilen nervürlü donatılar, bu elemanlarda düğüm noktasının yani kolon-kiriş birleşimlerinin, kısa sürede hasar görmesine sebep olmuştur. Manto donatısı olarak düz demir kullanıldığında ise bu olumsuz durum gözlenmemiş, aderansın kaybolması sonucu düz demir epoksinin içinden sıyrılmıştır. Bu surette eleman kısa bir süre içinde kendini bırakmış, yük taşıyamaz hale gelmiştir.

Manto donatısının mekanik olarak kenetlendiği durum : Bu durumdaki elemanların başarısı büyük oranda kullanılan malzemelere bağlıdır. Kullanılan saplamaların, profillerin, somunların malzemeye özellikleri yöntemin başarısında etkilidir. Bunun yanı sıra imalattaki işçiliğin iyi olması da zorunludur. Bütün bu faktörlerin olumlu olduğu durumda, bu yöntemle onarım ve güçlendirme yapılmış kolonların dayanım ve davranış şekilleri, eksenel eğilme altında tek döküm elemanın dayanım ve davranışı ile aynıdır.

Bu sonuçların yanı sıra, manto ilave boyuna donatısı ve mevcut boyuna donatılan birbirine bağlayan z-şekilli demirlerin, bu demirlerin aralığının,

kaynaklanış biçimlerinin de dayanım ve davranışı son derece etkilediği görülmüştür [7].

3.8. Fretli Manto İle Onarılmış/Güçlendirilmiş Betonarme Kolonların (Spiralli ve Dairesel Etriyeli) Eksenel Yük Altındaki Davranışı

Eksenel yükler altındaki kolonlarda, fretli mantolamanın, onarım ve güçlendirme amaçlı kullanılabilirliğini test etmiştir. Araştırma, fretli ve daireseletriyeli iki farklı tipteki kolon üzerinde yapılmıştır. Deneyler sonucunda her iki tip kolonda da mantolamayla birlikte yalın kolon taşıma gücünün en az %60-80 arttığı, başlangıçtaki gevrek davranışın sünekleştiği saptanmıştır. Elde edilen verilerle kolonlara ait yük-birim deformasyon eğrileri çizilmiş, yapılan değerlendirmeler neticesinde, fretli mantolamanın betonarme kolonların onarım ve güçlendirilmesinde güvenle kullanılabileceği sonucuna varılmıştır [8].

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

Bu çalışma yukarıda anlatılan mantolama yönteminin dikdörtgen kesitli kolonlara uygulanmasıyla davranış ve dayanım üzerinde olabilecek değişiklikleri araştırma amacıyla yapılmıştır.

Araştırmada ele alınan yalın kolon 90 mm x 160 mm kesitinde olup uzun kenarın kısa kenara oranı $h/b = 1.8$ 'dir. Bu kolonun kesiti mantolamadan sonra 140 mm x 210 mm olacak şekilde büyütülerek kolon kesiti yaklaşık olarak iki katına çıkartılmıştır. Bu son durumdaki h/b oranı ise 1.5 tir. Çalışmada ele alınan kolonların tamamında bu kesit ve oranlar sabit tutulmuştur. Ayrıca manto ve yalın kısmın boyuna ve enine donatılan da eşit olacak şekilde çalışma boyunca sabit tutulmuştur.

Mantolama yönteminin söz konusu dikdörtgen kesitli kolonlarda davranış ve dayanımını incelemek amacıyla beş deney elemanı üzerinde dokuz deney yapılmıştır. Yalın elemanlara onarım, güçlendirme, diriltme işlemleri uygulanmıştır. Ayrıca sonuçları kıyaslayabilmek için de mantolanmış kesit ile aynı boyut ve donatıya sahip fakat bir döküm olarak hazırlanmış olan birde monolitik eleman denenmiştir.

Elemanlara mantolama işlemi kolonlarda yük yok iken uygulanmış ve elemanlar konsantrik yükler altında denenmiştir.

Deney elemanı kolonlara onarım, güçlendirme ve diriltme mantoları yüksüz koşullar altında ve bütün yüzlerde tatbik edilmiştir. Yapılmış olan çalışmada kullanılan deney ve yük düzeni Şekil 3.7 'de gösterilmiştir.

Yapılan çalışmada deneysel veriler ışığında şu sonuçlara varılmıştır.

- Dikdörtgen kesitli kolonların mantolanarak onarım/güçlendirilmesi ile geçmişteki çalışmalarda yapılmış olan kare kesitli kolonların mantolanarak onarımı/güçlendirilmesi sonucu elde edilen yeni kolonun davranışları arasında bir farklılık gözlenmemiş ve her iki kolonun da aynı davrandığı görülmüştür.
- %100 kesit ve donatı artışı olmasına rağmen ancak güçlendirilmiş eleman monolitik eleman dayanımının %100'üne ulaşmıştır. Onarılmış elemanlarda ortalama olarak monolitik eleman dayanımının %95'ine, diriltilmiş elemanda ise (ağır hasardan sonra onarılmış) monolitik eleman dayanımının %90'ına ulaşılmıştır.
- Tüm elemanların eksenel rijitlikleri monolitik eleman rijitliğinden daha düşük olmuştur. Güçlendirilmiş eleman, monolitik eleman rijitliğinin %90'ına ulaşmıştır. Onarılmış elemanlarda bu oran %60 ila %70 civarında olmuştur. Diriltilmiş eleman rijitliği ise monolitik eleman

rijitliğinin ancak %55'ine ulaşabilmiştir.

- Eleman süneklikleri monolitik kolon ile kıyaslandığında güçlendirilmiş eleman sünekliği monolitik kolon sünekliğinin %80'ine ulaşmıştır. Onarılmış ve diriltilmiş elemanlar ise monolitik eleman sünekliğinin ancak %50 - 60'ına ulaşabilmiştir. Genel olarak monolitik dahil tüm elemanlar konsantrik yüke maruz betonarme kolonlara özgü bir davranış ile yeterli bir süneklik gösterememişlerdir.
- Monolitik elemandan daha az olmasına rağmen aradaki farkın çok küçük olduğu ve tüm elemanların yeterli enerji tüketme kapasitesine sahip olduğu görülmüştür [9].



4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Deney Elemanı İlkeleri

Deneysel çalışmada deney elemanı bazında dikkat edilen unsurlar şöyledir :

- Manto, eleman yüksüzken, elemanın dört yüzüne de eşit kalınlıkta uygulanmıştır.
- Yalın kolon ile manto katmanı arasında aderans sadece yalın kolon yüzeyinin pürüzlendirilmesi ile sağlanmıştır (Şekil 4.1)
- Onarım grubu deneylerinde manto katmanının dökümünden önce yalın kolonun hasarlı bölgeleri hafif örselemeler ile sökülmüştür.
- Manto boyuna donatıları herhangi bir şekilde yalın kolon boyuna donatıları ile bağlanmamıştır.
- Elemana yük konsantrik ($e=0$) olacak şekilde uygulanmıştır. Deneyde varılacak sonuçlara temel teşkil edecek olan bu koşulun sağlanabilmesi için bölüm 4.3.1 de anlatılacağı gibi yükleme çerçevesi deneylerden sonra düzeçlenmiştir.

İmalat ve deney aşamasında yukarıda maddeler halinde belirtilen ilkelere bağlı kalınmıştır. Bunlara ilave olarak, deney elemanları arasında boyutların seçilmesinde şu noktalara dikkat edilmiştir.

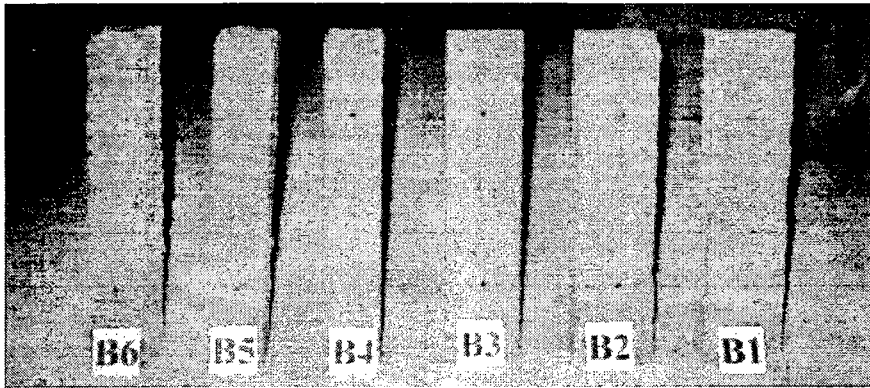
- Bütün deney elemanlarının boyu 50 cm olarak imal edilmiştir. Bu seçimin başlıca sebebi birbirine bağlanamamış boyuna donatıların burkulma riskini azaltmaktır.
- Deney elemanlarının boyutları yükleme çerçevesinin izin ölçüde seçilmiştir. Bu sebeple kesiti en geniş elemanın kesit boyutları 170 mm x 240 mm'dir.
- Çalışmada manto alanının yalın kesit alanına oranı (A_{ci}/A_{cc}) üzerinde çalışıldığı için kesit seçiminde hassas davranılmıştır. Gerek dikdörtgen,

gerekse de kare kesitli elemanlarda karakteristik 0.8, 1.0, 1.8 oranlarına olabildiğince sadık kalınmıştır.

Deney elemanının davranışında etkin olan donatılandırma sırasında dikkat edilen tasarım kuralları ise aşağıdadır.

- Hem manto katmanında, hem de yalın kolonda boyuna donatı olarak $4\phi 10$ kullanılmıştır. Bu şekilde normal manto oranına sahip elemanlarda yalın halde $\rho=0.022$ olan donatı oranı mantolandıktan sonra da korunmuştur.
- Kayma donatısı elemanın beklenen davranışı gösterebilmesinde ana faktör olduğu için tasarımı ve yerleştirmesine özen gösterilmiştir. Deney elemanının iki ucunda oluşturulan sargı bölgesi sayesinde, alt ve üst uçlar rijitleştirilmiştir. Böylece daha az sargı donatısı bulunan ölçüm bölgesinde kayma düzleminin oluşumu garantiye alınmıştır. Kayma donatısı, deney elemanlarında tıpkı boyuna donatı gibi hem manto katmanında, hem de yalın kolonda değiştirilmeyen bir faktördür. Rijit bölgede $\phi 6/15$, ölçüm bölgesinde ise $\phi 4/50$ sargı donatısı kullanılmıştır.

Bu noktaya kadar anlatılmış olan deney elemanlarına ait boyut ve donatılandırma ilkeleri Çizelge 4.1. 'de özetlenmiştir.



Şekil 4.1. Yüzleri pürüzlendirilmiş yalın kolon elemanları

Çizelge 4.1. Deney elemanlarının kesit, boyuna donatı ve kesme donatısı özellikleri.

Eleman No	Yalın Kolon Boyutları (mm)	Mantolanmış Kolon Boyutları	A_{ej} / A_{cc}	Kolon Boyu (mm)	Ölçüm Bölgesi Ortalama Uzunluğu	Yalın Kolon Boyuna Donatısı	Manto Katmanı Boyuna Donatısı	Manto Katmanı Kesme Donatısı *	Yalın Kolon Kesme Donatısı *
S1	120x120	170x170	1.01	500	270	4 ϕ 10	4 ϕ 10	ϕ 4/50	ϕ 4/50
S2	120x120	160x160	0.78	500	270	4 ϕ 10	4 ϕ 10	ϕ 4/50	ϕ 4/50
S3	120x120	200x200	1.78	500	270	4 ϕ 10	4 ϕ 10	ϕ 4/50	ϕ 4/50
S4	90x160	140x210	1.04	500	270	4 ϕ 10	4 ϕ 10	ϕ 4/50	ϕ 4/50
S5	90x160	130x200	0.81	500	270	4 ϕ 10	4 ϕ 10	ϕ 4/50	ϕ 4/50
S6	90x160	170x240	1.83	500	270	4 ϕ 10	4 ϕ 10	ϕ 4/50	ϕ 4/50
B4	90x160	---	---	500	270	4 ϕ 10	---	ϕ 4/50	ϕ 4/50
B5	90x160	---	---	500	270	4 ϕ 10	---	ϕ 4/50	ϕ 4/50
B6	90x160	---	---	500	270	4 ϕ 10	---	ϕ 4/50	ϕ 4/50
R4	90x160	140x210	1.04	500	270	4 ϕ 10	4 ϕ 10	ϕ 4/50	ϕ 4/50
R5	90x160	130x200	0.81	500	270	4 ϕ 10	4 ϕ 10	ϕ 4/50	ϕ 4/50
R6	90x160	170x240	1.83	500	270	4 ϕ 10	4 ϕ 10	ϕ 4/50	ϕ 4/50
M1	---	170x170	1.01	500	270	4 ϕ 10	4 ϕ 10	ϕ 4/50	ϕ 4/50
M4	---	140x210	1.04	500	270	4 ϕ 10	4 ϕ 10	ϕ 4/50	ϕ 4/50

* Tabloda gösterilmiş olan kesme donatısı ölçüm bölgesinde kullanılmıştır. Kolonun rijit uç bölgesinde kullanılan etriye ϕ 6/15'tir.

4.2. Deneylerin Adlandırılması ve Deney Elemanları

Bu çalışma 14 adet test elemanını kapsamaktadır. Çalışmada onarım ve güçlendirme olmak üzere iki farklı grup vardır. Ancak bu iki gruba da dahil edilemeyecek referans elemanlarının da olduğu hatırlanmalıdır. Yurt dışı makaleler ile notasyon olarak benzerlik sağlanabilmesi için eleman adlandırması uygulanan yöntemin İngilizce karşılıklarının baş harfleri kullanılarak yapılmıştır. Aşağıda elemanların isimlendirmeleri, hangi gruba ait oldukları ve kesit özellikleri detaylı bir biçimde sunulmuştur.

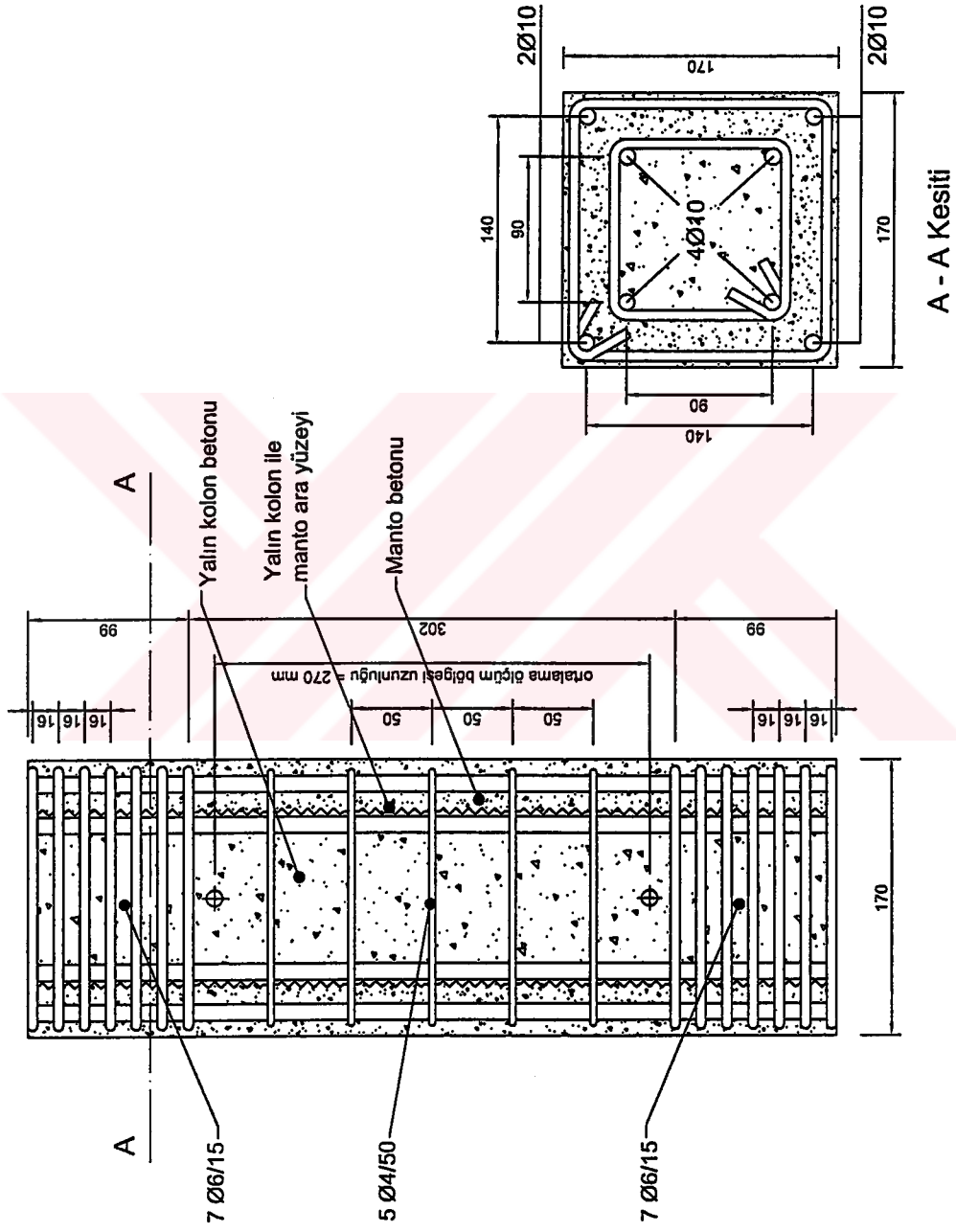
B4, B5, B6 : Yalın (Bare) kolon elemanlarıdır.

S1, S2, S3, S4, S5, S6 : Güçlendirme (Strengthen) grubu deney elemanlarıdır. Deneyler sırasında ölçüm düzeneğinin yetersizliği anlaşıldığından yapılmış olan ilk üç test iptal edilmiştir. İptal edilen deney elemanları S1-1, S2-1, S3-1 notasyonu ile adlandırılmıştır. Tekrarlanan elemanlarda ise S1-2, S2-2, S3-2 adlandırılması yapılmıştır. Grubun diğer elemanlarında ise herhangi bir notasyon değişikliği yoktur.

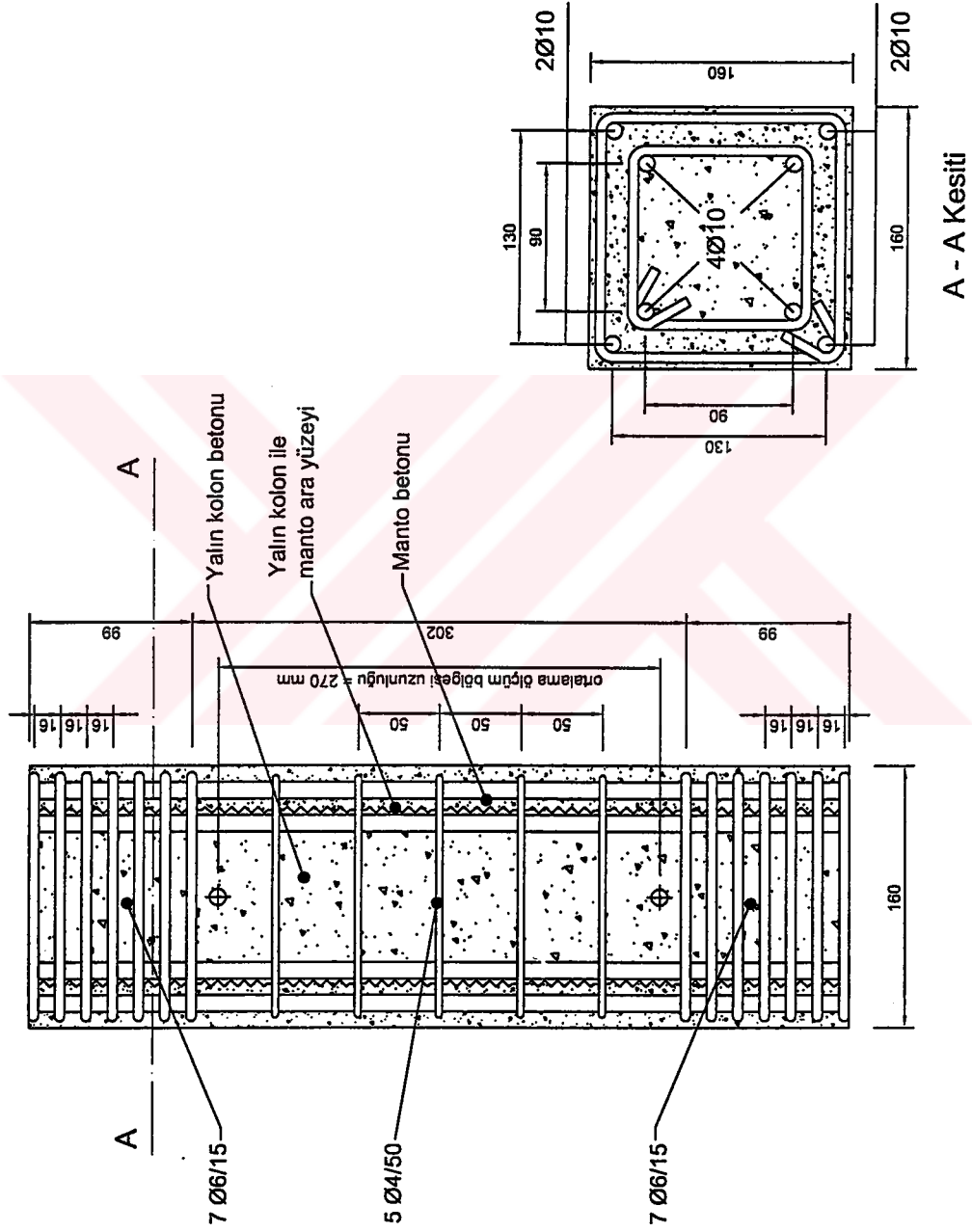
R4, R5, R6 : Onarım (Repair) grubuna ait elemanlardır. Hafif hasar verilen B4, B5, B6 yalın kolonlarının değişik oranlarda mantolanmasıyla elde edilmişlerdir.

M1, M4 : Bir döküm (Monolithic) elemanlardır. Bu elemanlar S ve R deney gruplarına referans elemanı olarak kullanılmıştır.

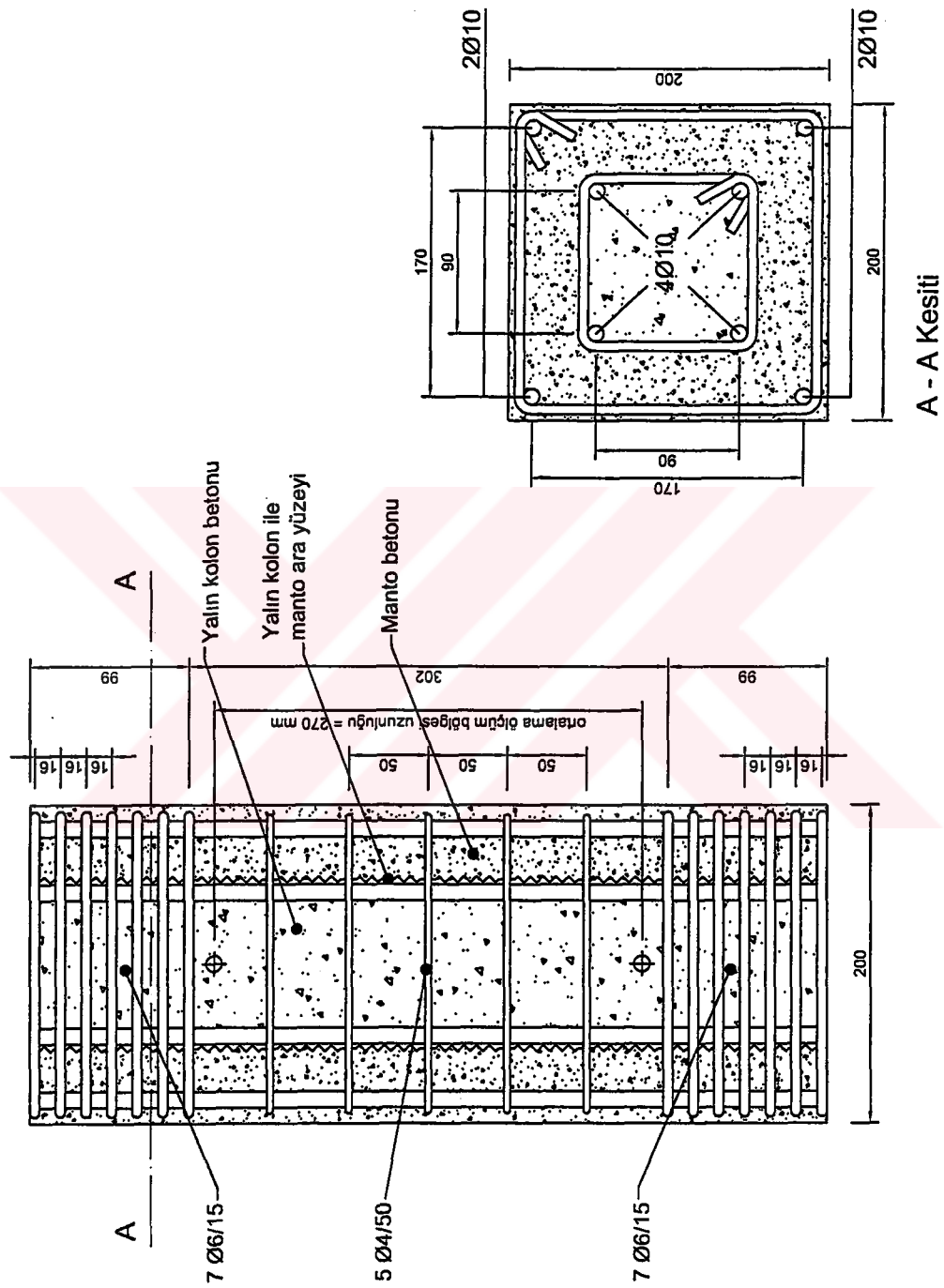
Şekil 4.2...4.14. 'de detaylı olarak bütün kolonların çizimleri ve değişik aşamalarda hasar öncesi çekilmiş resimleri sunulmuştur.



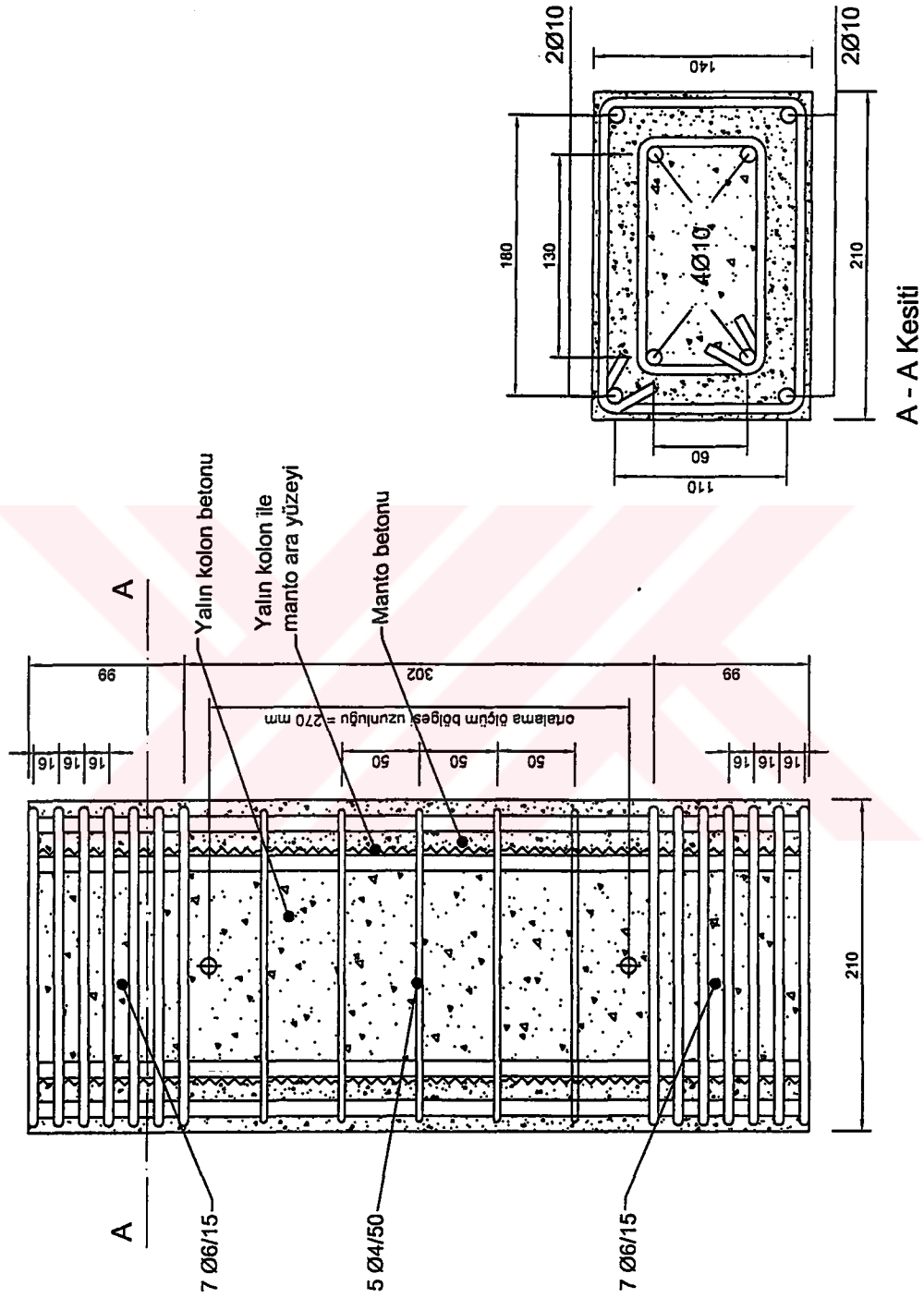
Şekil 4.2. S1 deney elemanının şematik görünümü ve donatı planı.



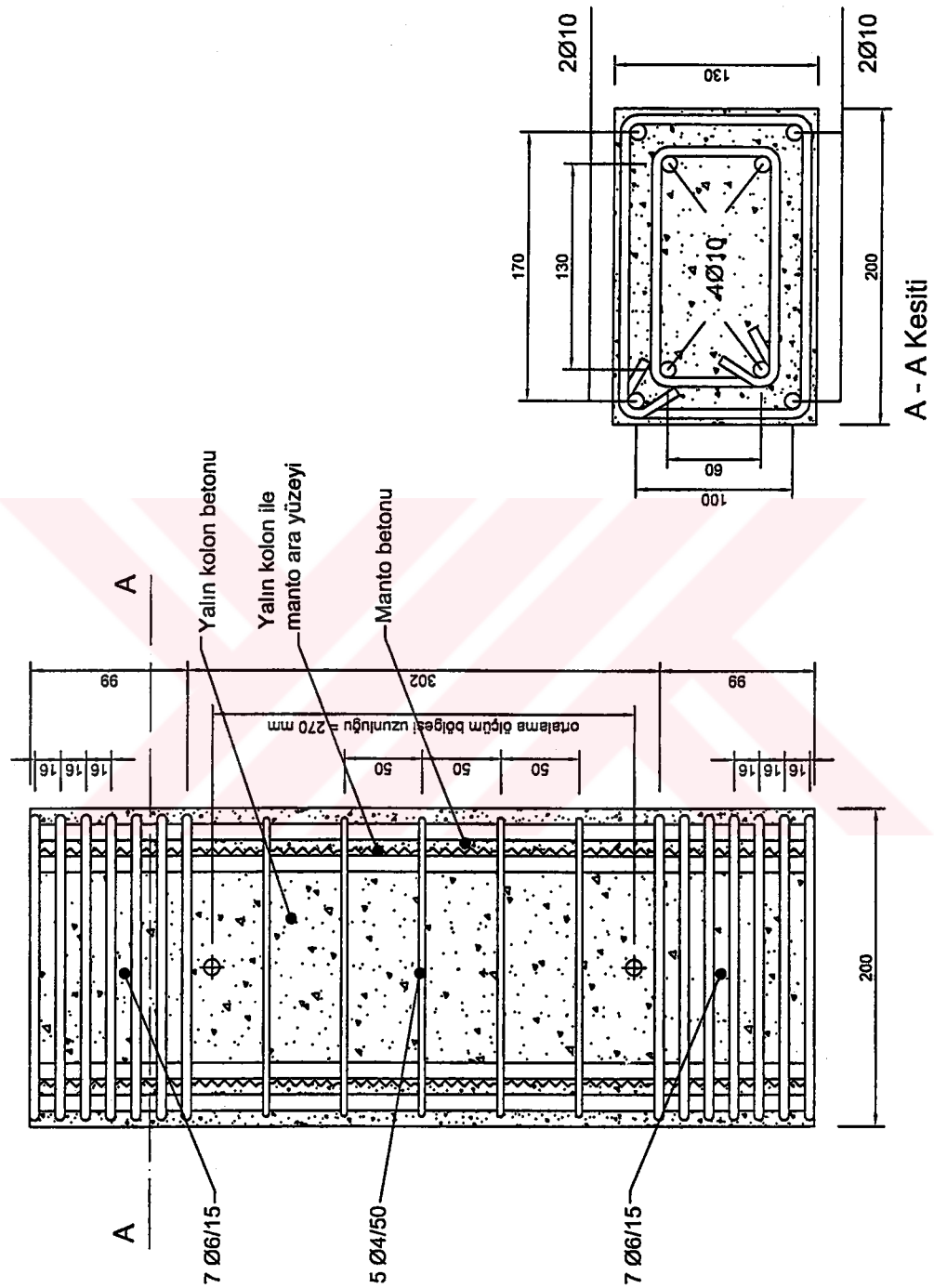
Şekil 4.3. S2 deney elemanının şematik görünümü ve donatı planı.



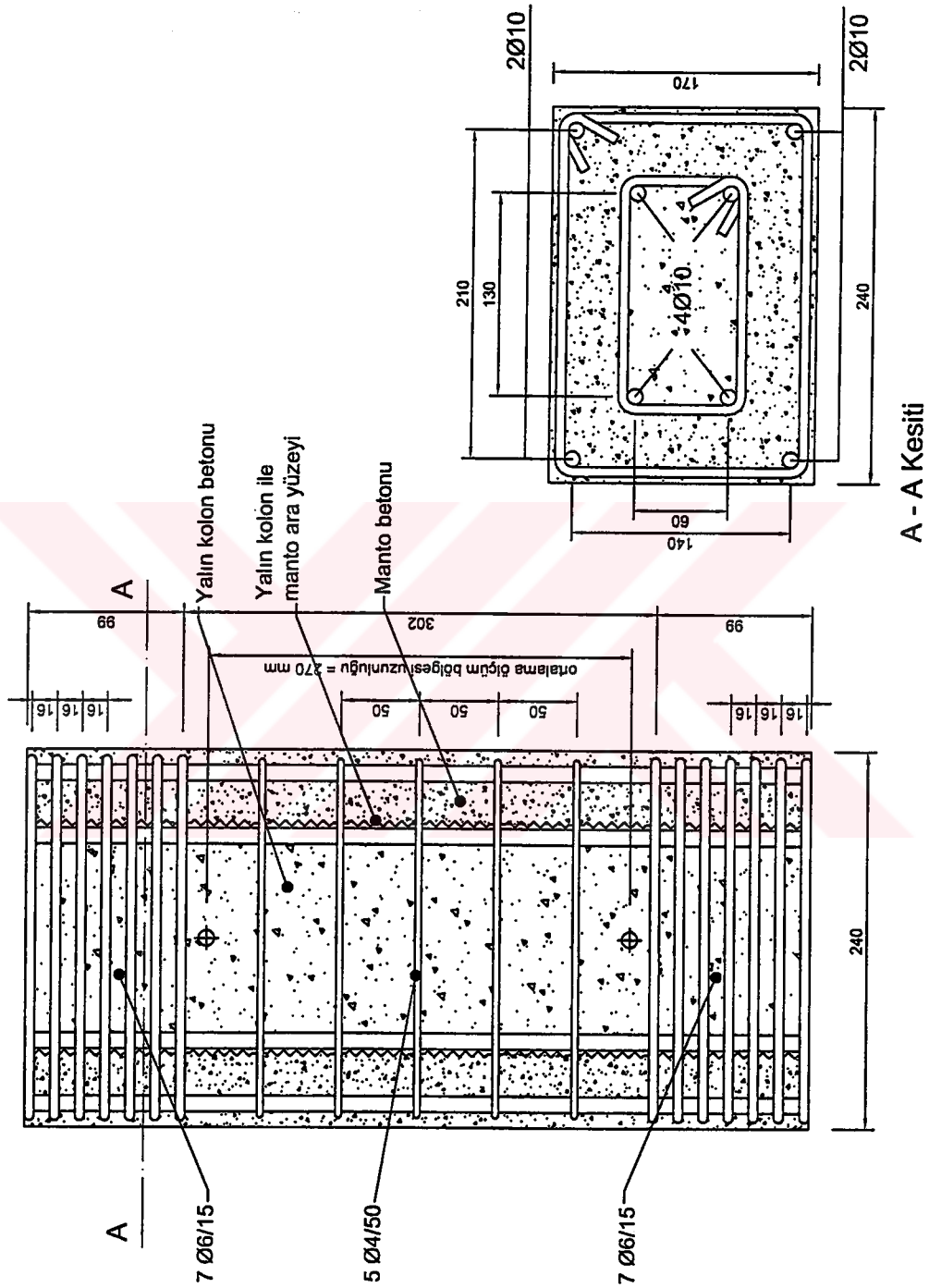
Şekil 4.4. S3 deney elemanının şematik görünümü ve donatı planı.



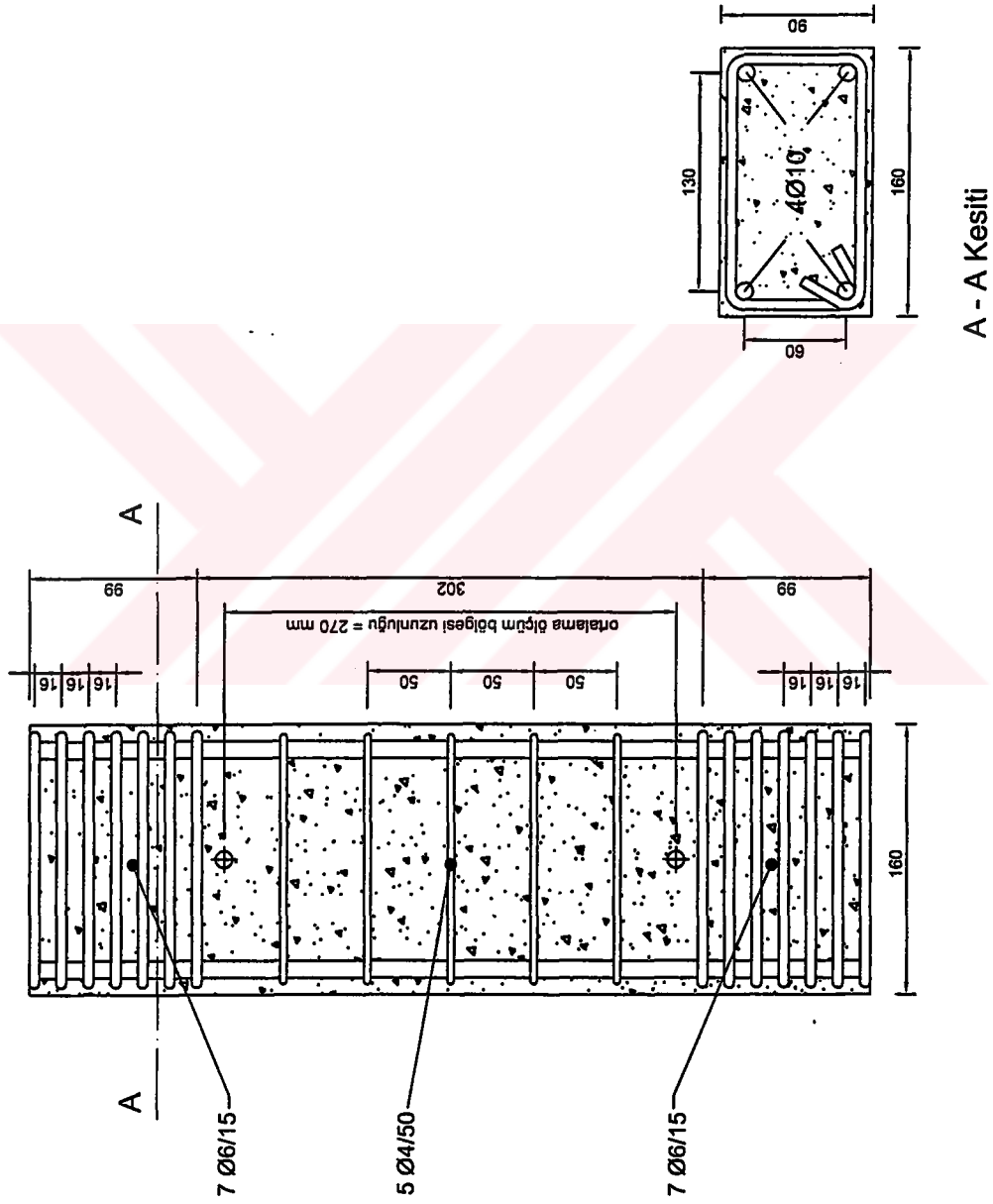
Şekil 4.5. S4 ve R4 deney elemanının şematik görünümü ve donatı planı.



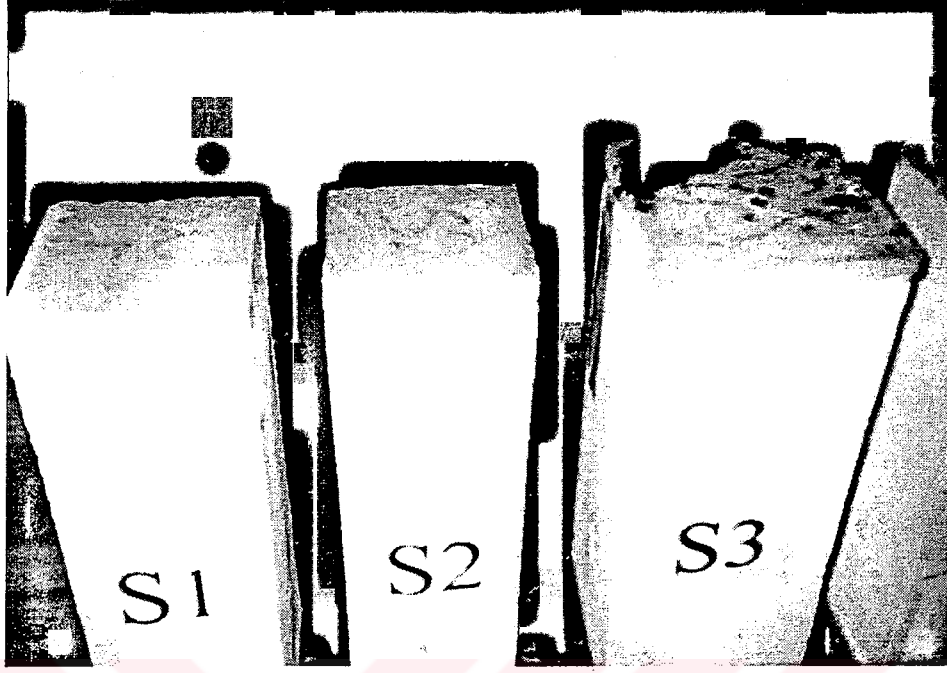
Şekil 4.6. S5 ve R5 deney elemanının şematik görünümü ve donatı planı.



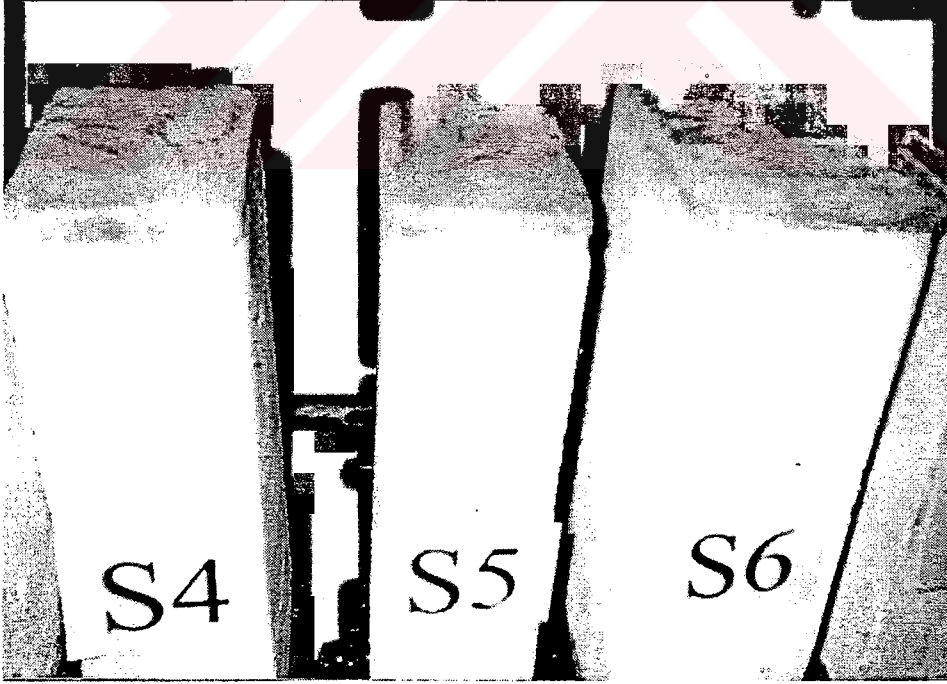
Şekil 4.7. S6 ve R6 deney elemanının şematik görünümü ve donatı planı.



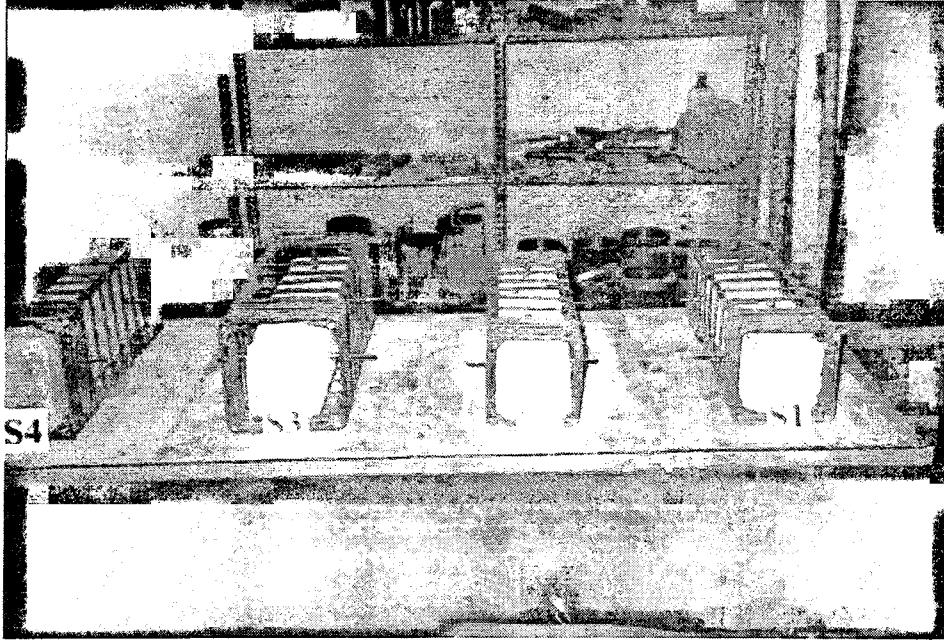
Şekil 4.8. B4, B5 ve B6 deney elemanlarının şematik görünümü ve donatı planı.



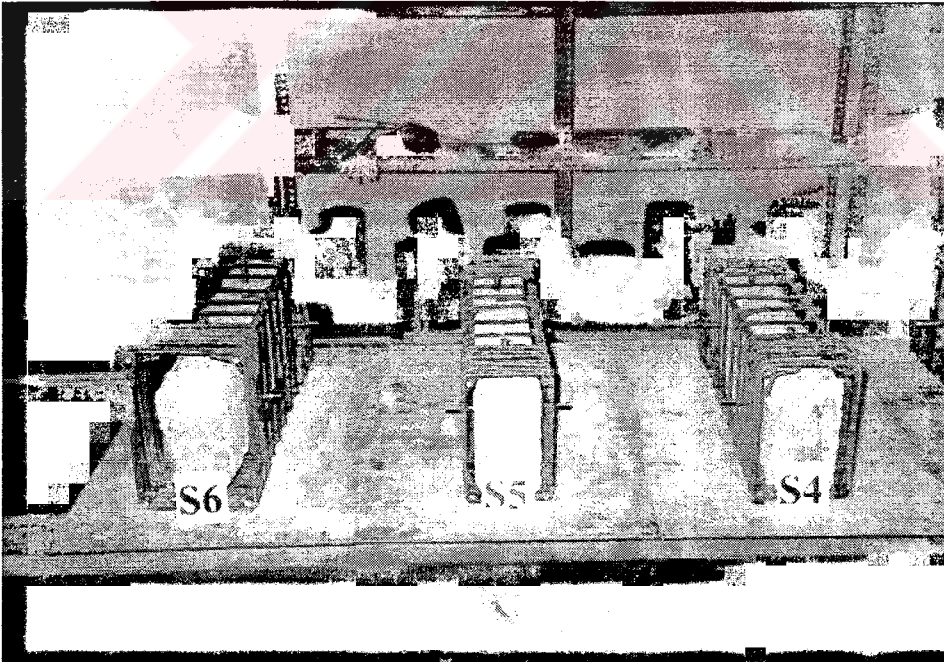
Şekil 4.9. S1, S2, S3 elemanlarının yükleme öncesi fotoğrafları.



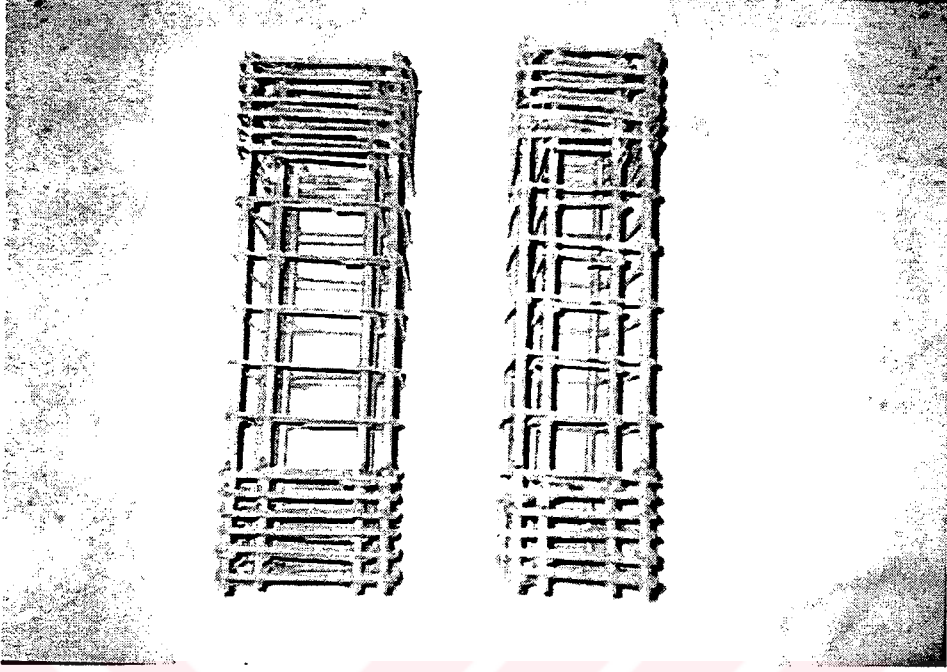
Şekil 4.10. S4, S5, S6 elemanlarının yükleme öncesi fotoğrafları.



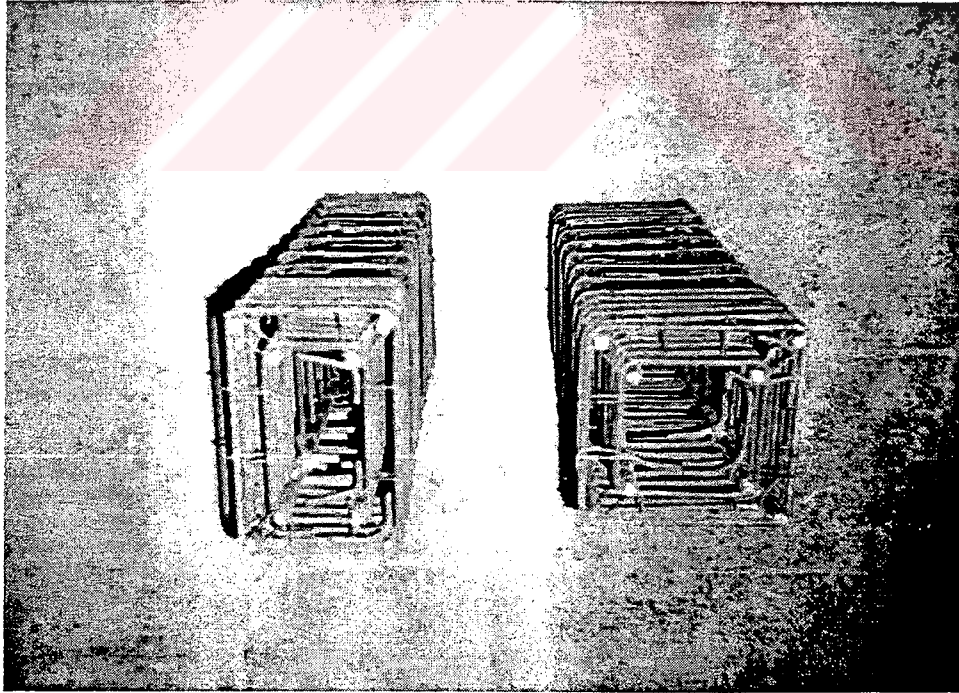
Şekil 4.11. S1, S2, S3 deney elemanlarının manto betonu dökümünden önceki fotoğrafları.



Şekil 4.12. S4, S5, S6 deney elemanlarının manto betonu dökümünden önceki fotoğrafları.



Şekil 4.13. M1 ve M4 elemanlarının donatısının boydan görünüşü.



Şekil 4.14. M1 ve M4 elemanlarının donatısının kesitten görünüşü.

4.3. Deney Düzeneği

Deney sırasında gerek yükün istenilen şekilde test elemanına uygulanabilmesi ve gerekse de test elemanının verdiği tepkilerin ölçülebilmesi için kurulu düzeneğin tümü deney düzeneği başlığı altında incelenecektir.

Deneyler Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakóltesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Yükleme ve ölçüm düzeneklerinin temini tamamen Üniversite imkanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4.3.1. Yükleme düzeneği

Düzeneğin ana elemanı olan yükleme çerçevesi 2 m yüksekliğindedir. Çerçevenin üst ve alt kafalarında 400x400x100'lük kütük bulunmaktadır. Çerçeve de dört adet 100x100x10 köşebent profil kolon vazifesi görmektedir. Çerçevenin birleşim bölgeleri çift taraflı 10 mm'lik kaynak dikişi kullanılarak sabitlenmiştir. Düşey doğrultuda olabildiğince düzgün olan çerçevenin alt ve üst kafasındaki rijit plakalar da birbirine olabildiğince paraleldir.

Çerçevenin iç yüksekliği 180 cm'dir. Düzenekte bulunan yük ölçer, kriko ve deney elemanına ilave olarak yaklaşık 45 cm'lik rijit çelik plakalar dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Dolgu malzemesinin 15 cm'si krikonun üzerinde 30 cm'si ise bütün düzeneğin altında kullanılmıştır. Krikonun üzerinde bulunan ve düşey eksen etrafında dönebilen çelik başlık kriko yükünün elemana kademeli olarak aktarılabilmesi için kesit alanı elemana doğru artan plakalardan imal edilmiştir. Bu başlığın imal edilmesinin en önemli sebebi ise çerçeve de veya deney elemanın kafasında bulunabilecek bir eğriliğin, elemanın düşey eksen etrafında döndürölmesi ile giderilebileceğinin düşünölmesidir. Bu fikrin, mevcut küçük eğrilikleri

giderilmesinde ve yükün deney elemanının iki kafasına da düzgün bir şekilde etki ettirilmesinde başarılı olduğu görülmüştür. Sistemde olabildiğince az dolgu malzemesi kullanılmasına dikkat edilmiştir. Kullanılan dolgu malzemesinin yük iletiminde başarılı olabilmesi için dolgu malzemelerinin ebatlarının sistemdeki diğer elemanların ebatları ile uygun olmasına dikkat edilmiştir. Yük konsantrik bir biçimde uygulanacak olmasına rağmen, yüksek eksenel kuvvet seviyelerine çıkıldığında, elemanın da aşırı deformasyonu sebebi ile sistemin düşey eksenenden kaykılabilceği düşünülmüştür. Bunu bir dereceye kadar önleyebilmek için yükleme sistemine yaklaşık olarak çerçevenin orta bölgesi içerisinde bir yerden krika çevresini dört koldan saran bilezik şeklinde bir kararlılık bağı yapılmasına karar verilmiştir. Bu bağ krikoya, sistemde 1~1.5 cm deplasman olduğunda temas etmekte ve sistemin daha fazla düzlemden kaçmasını engellemektedir. Ayrıca şu da belirtilmelidir ki, bu bağ sistemin kaykılmasını önlemiş olmasına rağmen, yükün iletiminde herhangi bir şekilde olumsuz bir etki yapamayacak kadar da etkisiz bir eleman olmuştur. Şekil 4.15. 'de anlatılan yükleme düzeninin detaylı bir çizimi sunulmuştur. Bu bölümde ifade edilmesi gereken bir diğer nokta ise, kararlılık bağı yardımı ile yükleme düzeninin mükemmel bir biçimde düzeçlenebilmesidir. Krika üzerine yerleştirilen döner rijit plaka üzerinde işaretli bulunan yükün etki noktası, şakul yardımı ile çerçevenin üst kafasında bulunan yükleme düzeneğinin orta noktası ile karşılaştırılmış ve yükleme doğrultusunu ortalayacak şekilde yerleştirilen deney elemanına çok iyiye yakın doğrulukta eksenel yük uygulanabilmiştir. Düzeçleme safhası ise Şekil 4.16. 'da gösterilmiştir.

4.3.2. Ölçüm düzeneği

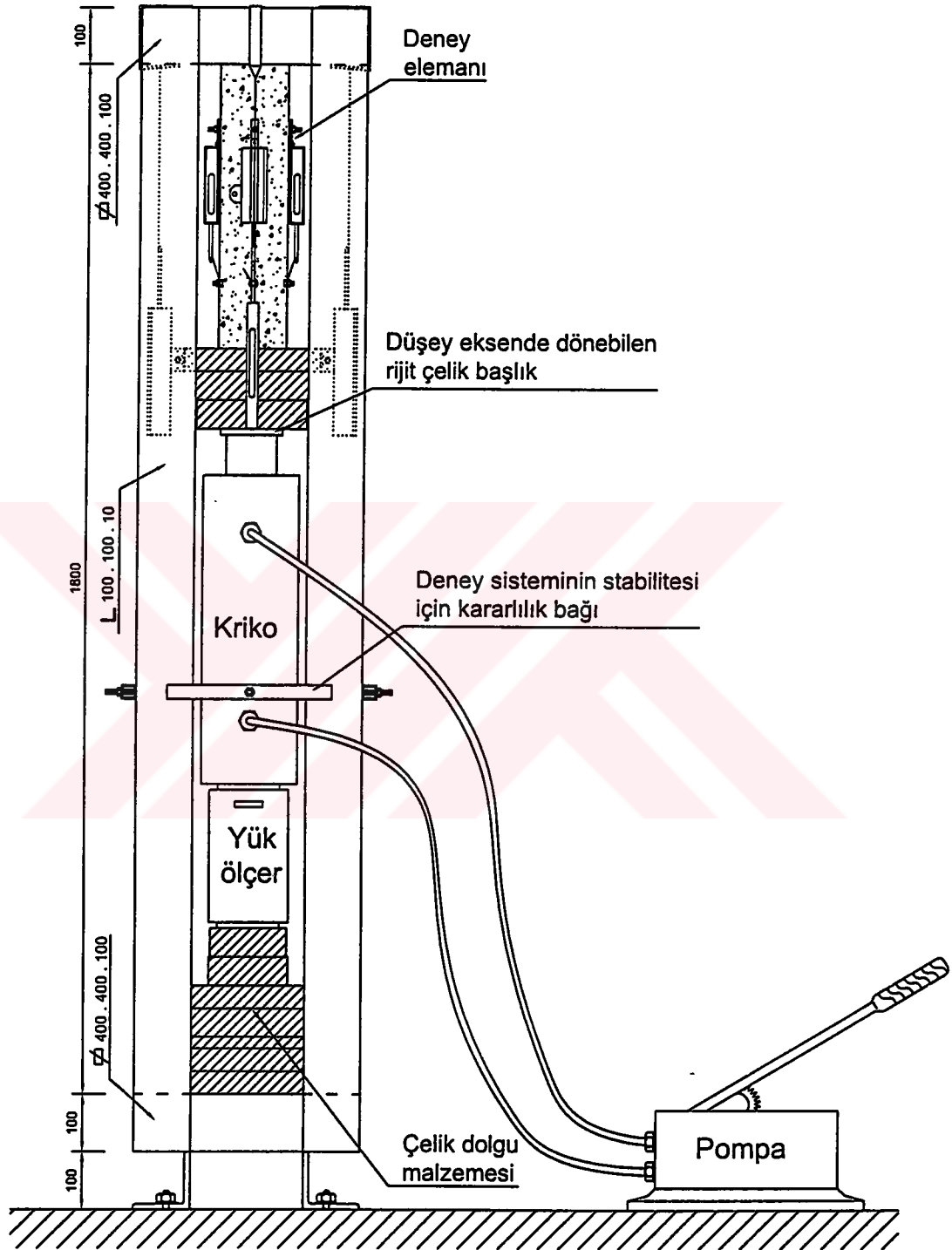
Deneyler sırasında deformasyonları kaydedebilmek için iki farklı deformasyon ölçüm düzeneği kullanılmıştır. Kullanılan ilk düzenek, deneylerin sonucunu vermesiyle zorunlu olarak değiştirilmiş ve geliştirilerek son halini alabilmiştir. S1-1, S2-1 ve S3-1 deney elemanlarında ilkel

deformasyon ölçüm düzeneği kullanılmıştır. Bu elemanların davranışlarına dair bilginin elde edilmesinde bilimsellikten uzak yaklaşımlar gerekebileceğinden daha sağlıklı ölçümlerin yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla, ölçüm sisteminde yapılan gözden geçirmeler, gayet başarılı olmuş ve elemanların davranışları hakkında yeterli bilginin elde edilmesi imkanını vermiştir.

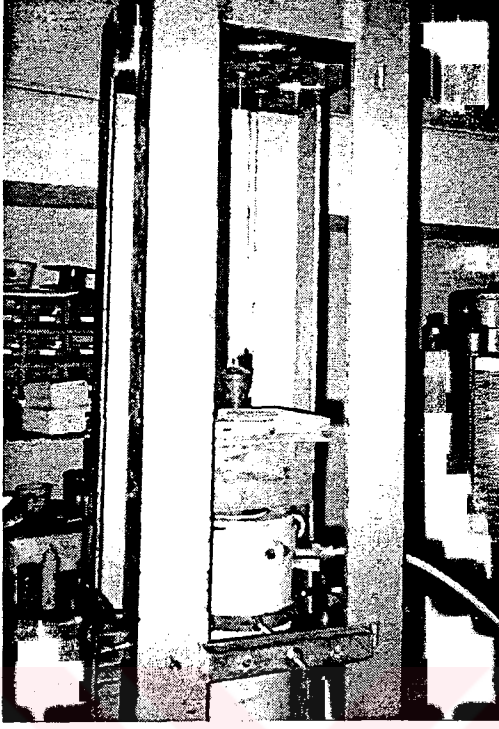
4.3.2.1. İlkel deformasyon ölçüm düzeneği

Bu düzenek gayet hassas bir şekilde hazırlanmasına rağmen ancak deneyler sırasında görülen bazı eksik ve hatalı yönleri bakımından tek olarak kullanımı terk edilmiştir. Bu düzeneğin bir fotoğrafı Şekil 4.17. 'de verilmiştir.

Bu düzenek sadece deney elemanının ölçüm bölgesi içerisinde alınan deformasyonları kaydetmektedir. Elemanın dört yüzünde de ölçüm bölgesi içerisinde LVDT'ler bulunmaktadır. Ölçülen deformasyonlar 50 mm'lik LVDT'ler yardımı ile 30 kanallı tarayıcı-okuyucuya aktarılmaktadır. LVDT elemanın üst ve alt ölçüm bölgesi sınırında bulunan iki adet saplama çubuğu vasıtası ile elemana monte edilmiştir. LVDT üst ölçüm bölgesinde eleman yüzünden yaklaşık olarak 10~15 mm mesafede yerleştirilmiştir. Alt ölçüm bölgesi sınırında ise LVDT, saplamaya eleman üst yüzünden saz teli ile tutturulmuştur. Böylece ölçümlerde saplama çubuğunun kesme etkileri altında bükülmesinden dolayı yanlış okuma alınmayacaktır. Ancak alt ölçüm bölgesi sınırında beton yüzünden alınan okumalar tepe noktasının aşılmasından sonra beton kabarması sebebiyle güvenilirliğini kaybetmiştir. Hatta ileri deformasyonun meydana geldiği durumlarda LVDT'yi çubuğa bağlayan ince çelik tel kopmuş ve okuma alınması mümkün olamamıştır. Dolayısıyla eksik ve yanlış bilgilerin telafisi ancak tahmin yaparak mümkün olabilmektedir. Bu sebepten dolayı bu ölçüm sistemi kullanılarak denenen elemanların geometrik ve donatı bakımından özdeşi imal edilmiş, deneyler tekrarlanmıştır.



Şekil 4.15. Yük düzeni



Şekil 4.16. Yükleme düzeneğinin düzeçlenmesi.



Şekil 4.17. Kullanılmasından vazgeçilen deformasyon ölçüm düzeneği

4.3.2.2. Geliştirilmiş deformasyon ölçüm düzeneği

Bu düzeneğe ilk düzeneğe üzerinde yapılan iyileştirmeler sonucunda, deneylerin tümünde başarı ile hizmet vermiştir. Ne var ki, iki düzeneğinde kendi içinde eksiklikleri bulunmaktadır. Bu sebeple ilk düzeneğten tamamen vaz geçilememiştir. Eleman taşıma gücüne erişinceye kadar ilk düzeneğe gayet iyi fikir verdiği için, bu ölçüm düzeneğinin çekirdeğini belli bir noktaya kadar ilk ölçüm düzeneği oluşturmaktadır. Geliştirilmiş düzenekte, ilk sisteme ilave olarak dıştan da okuma alınması sağlandığı için sürekli ve güvenli okumalar temin edilebilmiştir. Ancak bu düzeneğinin okumalarında tüm eleman boyu etkili olduğundan, ölçüm bölgesinin dışında meydana gelen deformasyonlar da istemsiz olarak kaydedilmiştir. Fakat, rijit bölge deformasyonlarının ölçüm bölgesi deformasyonları ile kıyasladığında ihmal edilebilecek seviyede olduğu unutulmamalıdır. Bu sebeple, betonun sarılma etkisinden dolayı ezilmeler ve büyük deformasyon ölçüm bölgesi içerisinde oluşmakta ve rijit bölge deformasyonları davranışın analiz edilmesi sırasında çok yanlış değerler vermemektedir. Elemanların kendi içerisinde kıyaslamasında ise ideale çok yakındır. Geliştirilen deformasyon ölçüm düzeneğinde dört adedi elemanın ölçüm bölgesi içerisinde eleman yüzünden deformasyon okuyan, diğer dört tanesi de elemanın alt ve üstünde bulunan iki rijit çelik plaka arasında dıştan yerleştirilmiş 100 mm'lik LVDT'den oluşan toplam sekiz adet LVDT'den oluşmaktadır. Eleman tepe noktasını aştıktan sonra da sağlıklı ölçümlerin alınabilmesi sebebiyle gerek kıyaslamalar gerekse de eleman bazındaki hesaplamalarda dış ölçümlerden okunan değerler kullanılmıştır. Ancak iç ölçüm bölgesi değerleri de onlara bir kıyas teşkil edebilmesi sebebiyle birlikte sunulmuştur. Şekil 4.18 ve Şekil 4.19 'da kullanılan ölçüm düzeneği detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

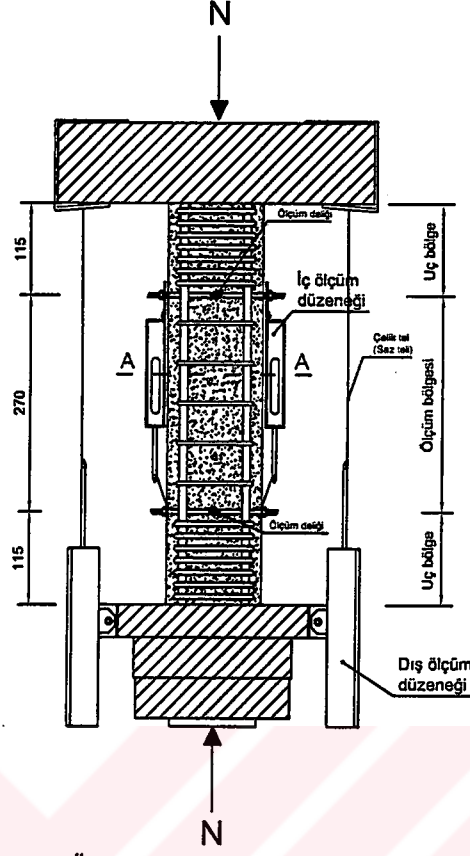
4.3.2.3. Yük ölçüm düzeni

Deney sırasında elemanlara 2000 kN 'luk bir hidrolik krika ile yük

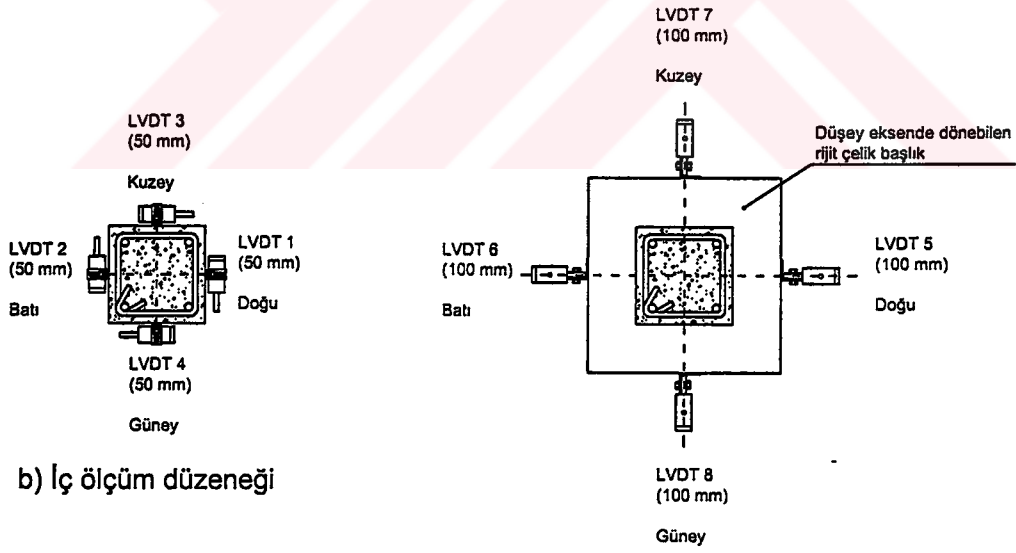
uygulanmıştır. Uygulanan yük yine 2000 kN basınç kapasiteli bir yük ölçer ile tarayıcı-okuyucuya iletilmiş ve bilgisayara kaydedilmiştir.



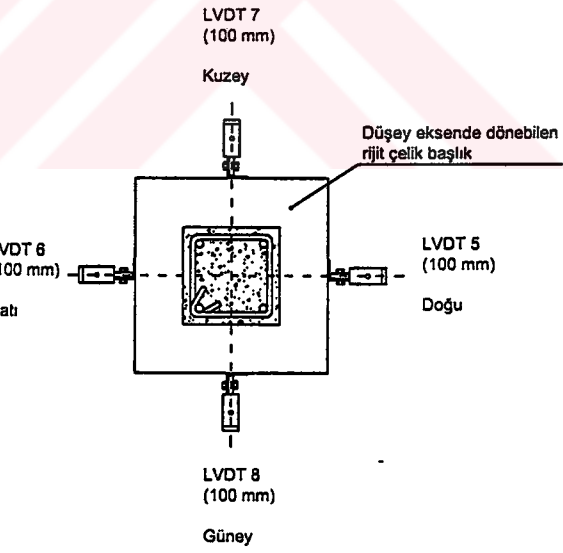
şekil 4.18. Geliştirilmiş lm düzeneğinin bir fotoğrafı.



a) Ölçüm düzeneği genel görünüşü



b) İç ölçüm düzeneği



c) Dış ölçüm düzeneği

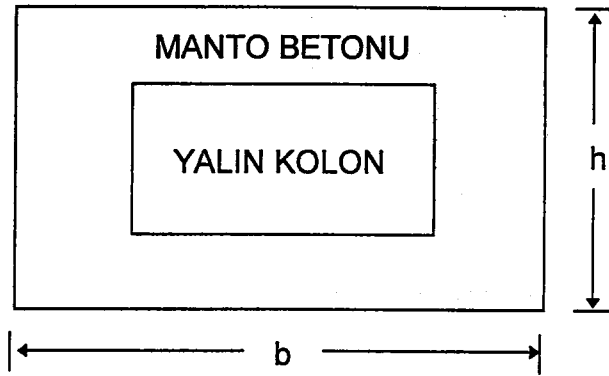
A-A kesiti

Şekil 4.19. Ölçüm düzeni.

4.4. Eksenel Yüklerin Normalizasyonu

Betonarmenin davranışının birçok faktöre bağlı olduğu bilinmektedir. Bu sebeple birçok parametrenin etkisinin tartışılabilceği deneysel çalışmalarda irdelenecek olan parametrelerin daha yalın bir şekilde ortaya konması gereklidir. Beton homojen bir malzeme olmayıp, dayanımı birçok bağımsız faktör etkisinde farklı olabilmektedir. Bunun sonucu olarak malzeme özelliği değişiminden dolayı elemanların dayanımlarının da beklenen değerlerden sapma göstereceği kesindir. Analitik ve teorik sonuçların karşılaştırılması bu faktörler altında bir miktar hata payının bulunduğu gerçeğini ortaya çıkarmaktadır. Ne var ki, malzeme dayanımlarının kesin olarak birbirine denk olduğu bilinmeyen iki farklı deney elemanının davranışları arasındaki mukayese sonucunda kesin bir kanıya varma imkanı mühendislik açısından mümkün değildir. Bu noktadan hareketle, ilk önce yapılmış olan çalışmada, deneysel veriler mantıklı ve bilimsel bir temele oturtulmuş bir süzgeçten geçirilmiştir. Daha sonra ise normalize edilmiş bu deneysel veriler yardımı ile eleman davranışı grafik ortamına aktarılmıştır. Bu şekilde çalışmada etkisi araştırılan parametrelerin, eleman davranışını ne şekilde etkilediği daha net bir şekilde yorumlanabilmiştir. Çalışmada test edilen elemanların beton dayanımı BS20 ($f_c=20$ MPa) ve donatı dayanımları ise $f_y=365$ MPa olarak düzeltilmiş ve elemanların malzeme dayanımları birbirine denk hale getirilmiştir. Verilerin süzülmesinde kullanılmış olan betonarme için normalizasyon yöntemi Dr. Sabahattin AYKAÇ (G..M.M.F.) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem ayrıca Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde 1999 yılında yapılmış olan Zafer BYKKUşOğLU'nun Yüksek Lisans Tezi'nde de kullanılmıştır. Bu normalizasyon yönteminin teorisi, kesiti şekil 4.20 'de temsil edilen mantolanmış kolonun kesiti üzerinden anlatılacaktır.

Yöntemin ıkış noktası, herhangi bir kolonun taşıdığı eksenel kuvvetin, kesit düzlemindeki donatının ve betonun ayrı ayrı taşıdığı yüklerin toplamı olduğudur.



Şekil 4.20. Temsili bir kolon kesiti

Bu ilke aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir.

$$N = N_s + N_c \quad (4.1)$$

Daha sonra detayları açıklanmak üzere,

$$N_s = A_s \cdot \sigma_s \quad (4.2)$$

donatının taşıdığı eksenel kuvvetin bu aşamada Eş. 4.2 olduğunu kabul edelim

Bu ifadelerden betonun taşıdığı eksenel kuvvet eşitliğinin diğer tarafına atılırsa,

$$N_c = N - A_s \cdot \sigma_s = N - N_s \quad (4.3)$$

ifadesi elde edilir. N_c eksenel yükünde hem yalın kolonun hem de manto alanının katkısı vardır. Bu katılım şu şekilde ifade edilebilir,

$$N_c = N_{cc} + N_{cj} = A_{cc} \cdot \sigma_{cc} + A_{cj} \cdot \sigma_{cj} \quad (4.4)$$

Yukarıdaki ifadede yalın kolon ve manto betonu gerilmesinin, beton fayanımları f_{cc} ve f_{cj} cinsinden ifadeleri elde edilirken, geniş kabul görmüş Hognestad ve Kent&Park gerilme - birim deformasyon modelleri kullanılmıştır. Bu modellerden herhangi birinin kullanılmasıyla gerilmeler şu şekilde yazılabilir,

$$\sigma_{cc} = f_{cc} \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{co,yalın}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co,yalın}} \right)^2 \right] \quad (4.5)$$

$$\sigma_{cj} = f_{cj} \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{co,manto}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co,manto}} \right)^2 \right] \quad (4.6)$$

Yukarıdaki ifadede yalın ve manto bölgeleri için kullanılan ε_{co} genelde birbirine çok yakındır ve yaklaşık olarak 0.002 olduğu kabul edilebilir. Böylece, Eşitlik 4.5 'in Eşitlik 4.6 'ya oranlanması ile,

$$\frac{\sigma_{cc}}{\sigma_{cj}} = \frac{f_{cc}}{f_{cj}} \quad (4.7)$$

denkliği elde edilir. Bu ifade kullanılarak;

$$\sigma_{cc} = \sigma_{cj} \frac{f_{cc}}{f_{cj}} \quad (4.8)$$

elde edilir. Eşitlik 4.8 'den bulunan σ_{cc} , Eşitlik 4.4 'de yerine konursa,

$$N_c = A_{cc} \frac{f_{cc}}{f_{cj}} \sigma_{cj} + A_{cj} \sigma_{cj} \quad (4.9)$$

Bu ifade sadeleştirilirse,

$$N_c = \sigma_{cj} \left(A_{cc} \frac{f_{cc}}{f_{cj}} \sigma_{cj} + A_{cj} \right) \quad (4.10)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlikten σ_{cj} çekilirse,

$$\sigma_{cj} = \frac{N_c}{A_{cc} \frac{f_{cc}}{f_{cj}} + A_{cj}} \quad (4.11)$$

elde edilir. Betonun taşıdığı normalize edilmiş olan aksenal yük N_{cN} yalın ve manto betonlarının f_{cN} dayanımlarına göre normalize edilmiş yüklerinin toplamı olacaktır:

$$N_{cN} = N_{cc} \frac{f_{cN}}{f_{cc}} + N_{cj} \frac{f_{cN}}{f_{cj}} \quad (4.12)$$

4.12 no'lu eşitliği açılırsa,

$$N_{cN} = A_{cc} \sigma_{cc} \frac{f_{cN}}{f_{cc}} + A_{cj} \sigma_{cj} \frac{f_{cN}}{f_{cj}} \quad (4.13)$$

Eşitlik 4.8 'i eşitlik 4.13 'de yerine koyarsak;

$$N_{cN} = \frac{f_{cN}}{f_{cc}} \sigma_{cj} (A_{cc} + A_{cj}) \Rightarrow N_{cN} = \frac{f_{cN}}{f_{cc}} \sigma_{cj} A_c \quad (4.14)$$

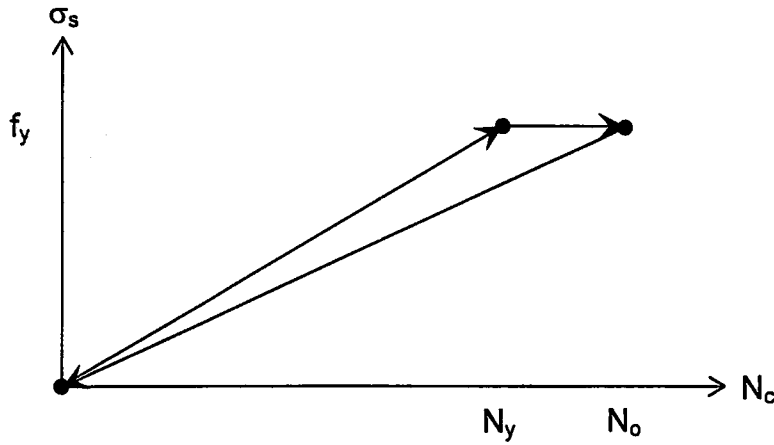
Eşitlik 4. 11 'i de Eşitlik 4.14 'de yerine koyarsak;

$$N_{cN} = N_c \frac{A_c f_{cN}}{\underbrace{A_{cc} f_{cc} + A_{cj} f_{cj}}_{k_N}} \Rightarrow N_{cN} = k_N N_c \quad (4.15)$$

Buradaki k_N notasyonu gösterilen ifade normalizasyon katsayısıdır.

Eşitlik 4.15 'de yer alan A_{cj} bileşeni ise kolonun imal edildikten sonraki kesit alanıdır. Ancak imalattan sonra kolonda herhangi bir kalıp hatası oluşmuş ise, bu hata A_c bileşenine yansıtılmayacaktır.

Betonun normalizasyonu sırasında $N_s = A_s \cdot \sigma_s$ ile ifade edilen donatının taşıdığı aksenal yükün bilindiği kabul edilmiştir. Ancak bu yük şu şekilde bulunmalıdır. Donatı betona göre daha bilinen bir davranış gösterdiği için, elemanın birim deformasyonu kullanılarak malzeme özellikleri bilinen donatının gerilmesini bulup ve donatı alanı ile bu gerilme çarpılarak N_s 'in bulunması akla yatkın bir yöntem gibi gelmektedir. Ancak bu yöntem özellikle yükün çok küçük olduğu başlangıçta tutarsızlıklara neden olabilir. Eşitlik 4.3 'den de görüleceği gibi yükün küçük olduğu başlangıçta çoğu zaman $N_c < 0$ çıkar ki bu da mantıksızdır. Ayrıca tepe noktası geçildikten sonra donatılardaki deformasyon burkulmalar şeklinde meydana gelir ki bu çoğu zaman göz ardı edilmektedir. Eleman taşıma gücüne ulaştığı noktadan sonra $\sigma_s = \epsilon_s E_s$ denklemi ile hesap yapılırsa donatı aktıktan sonra deformasyon durumuna bakılmaksızın çelikte hep $\sigma_s = f_y$ denkliği olduğu varsayılır ki bu da burkulma etkisinden dolayı oluşan deformasyonların kısalma olarak düşünülmesinden dolayı geçerliliğini kaybeder. Bu dezavantajları sebebiyle hesaplamalarda donatı gerilmesi aşağıda anlatılan alternatif bir metot kullanılarak hesap edilmiştir. Anlatımın kolay kavranabilmesi için Şekil 4.21 'de donatının herhangi bir andaki gerilmesi $\sigma_s - N_c$ grafiği üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.21. Genel olarak donatı gerilmesi – kolon eksenel yükü grafiği

Şekil 4.21. 'in yorumlanması şu şekildedir:

$N \leq N_y$ için;

Donatı gerilmesi $\sigma_s = \frac{N}{N_y} f_y$ ifadesi ile elde edilir.

$N_y < N < N_o$ aralığında,

Donatı gerilmesinde $\sigma_s = f_y$ eşitliği geçerlidir..

Tepe noktasının aşılmasından sonra, bir başka deyişle $\varepsilon > \varepsilon_o$ durumunda ise,

donatı gerilmesi $\sigma_s = \frac{N}{N_o} f_y$ ifadesine uyduğu kabul edilmiştir.

Yukarıda belirtilen durumların her birisi için donatının taşıdığı kuvvet ise, Eşitlik 4.2 'de daha önce de verilmişti.

Normalize edilmiş beton dayanımı ve yukarıda üç farklı bölge için hesaplanan donatı gerilmelerinin kullanılması ile kolonun taşıdığı normalize edilmiş olan eksenel kuvvetin son ifadesi aşağıda Eşitlik 4.16 ile verilmiştir.

$$N_{Ni} = N_{C_{Ni}} + N_{Si} \quad (4.16)$$

4.5. Malzeme

4.5.1. Beton

Deney elemanlarında kullanılan betonun, kalıba kolay yerleştirilebilir, ve yüksek mukavemetli olmasına özen gösterilmiştir. Bu özelliklerin değişik dökümlerde de tekrarlanabilmesi için, deney elemanlarının dökümünde uygun bulunan bir karışım oranı standart olarak kullanılmıştır. Bu sebeple değişik karışımlar yapılmış ve 28 günlük mukavemetini aldıktan sonra kırılmıştır. Sonuçta işlenebilirlik özellikleri farklı iki adet karışım kullanılmasına karar verilmiştir.

Bu karışımlar basit olarak aşağıdaki gibidir:

Yalın kolon elemanlarında kullanılan beton karışımı

Karışımında su/çimento oranı 0.75 olacak şekilde miktarlar ayarlanmıştır. Yaş betonun 1 m³ 'ünün yaklaşık olarak ağırlığının 23 kN olduğu kabul edilmiştir. Beton 400 dozlu olarak imal edilmiştir. Bu karışımın 1 m³ 'ündeki malzeme miktarları şöyledir:

Çimento	:	4 kN
Su	:	3 kN
Kum	:	16 kN

Manto katmanında kullanılan beton karışımı

Bu karışımda da su/çimento oranı 0.75 olarak kabul edilmiş ve malzeme ile ilgili aynı varsayımlar yapılmıştır. Farklı olarak ile, karışımda 450 dozlu beton kullanılmıştır. Bu karışımın 1 m³ 'ündeki malzeme miktarları ise şu şekildedir:

Çimento	:	4.5 kN
Su	:	3.38 kN
Kum	:	15.12 kN

Malzemeler, karışım için hazırlanırken, 1 N hassasiyetle tartılmıştır. Ancak, yukarıda verilen karışım oranlarının tüm elemanlarda sabit tutulmasına rağmen karışımlarda görülen dayanım farklılıkları ise gayet olağan karşılanmıştır. Bu beklenen sonuç ise, önceki bölümde anlatılmış olan normalizasyon yöntemi ile giderilmiştir.

Elemanlar betonları dökülürken her beton karışımından, en az yedi adet silindir numunesi alınmasına gayret edilmiştir. Silindir numuneleri standart olarak kabul edilen ölçülerde olup, 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğindedir. Numuneler deney elemanı ile aynı vibrasyona tabii tutularak kalıba yerleştirilmiştir. Bununla birlikte numune dayanımlarının eleman dayanımlarını temsil edebilmesi amacıyla, elemanlarla aynı yerde ve koşulda muhafaza edilmişlerdir.

Silindir numuneleri, 28 günlük mukavemetini aldıktan sonra, yükü kontrollü olarak uygulayabilen bir preste kırılmıştır. Numunelere ait hesaplanmış basınç dayanımları Çizelge 4.2. 'de sunulmuştur.

Çizelge 4.2. Deney elemanlarının ortalama beton basınç dayanımları

Eleman Adı	Mevcut Kolon (MPa)	Manto Kolonu (MPa)
S1,S2,S3	18.8	18.9
S4,S5,S6	19.4	23.9
R4, R5, R6	18.8	18.9
S1-1, S2-1, S1-3	19.4	23.9
M1,M4	23.0	23.0

Bu dayanım değerleri, kırılmış olan bütün silindir numunelerinin ortalama pres yükleri¹ ile hesaplanmıştır. Ayrıca elemanlarının tümüne başlık yapılmış ve tüm kesit alanının prese temas etmesi sağlanmıştır.

4.5.1.1. Kum

Beton karışımında dane çapı 0-7 mm arasında değişen kum kullanılmıştır. Karışımlarda belirlenen su/çimento oranını muhafaza edebilmek için kum tamamen kurutularak kullanılmıştır.

4.5.1.2. Çimento

Elemanlarda malzeme özelliği önemli rol oynadığı için deneylerde kullanılacak olan çimentonun aynı özellikleri taşımasına özen gösterilmiştir. Karışımlarda TS 10156 katkı çimento (KÇ 32.5) kullanılmıştır. Stoklama, ve kullanım sırasında dikkatli olunmuş, malzemenin özelliğini bozabilecek her türlü ortam şartları ve yabancı madde karışına dair önlem alınmıştır.

¹ Ortalama pres yükleri hesaplanırken, değerler arasında çok yüksek ve çok düşük olanları atılmıştır.

4.5.2. Çelik donatı

Bütün deney elemanlarında düz yüzeyli çelik donatı (BÇ-la) kullanılmıştır. Deney elemanlarının yapımında, boyuna donatı olarak Ø10 kullanılmıştır. Etriye olarak da kolon orta bölgesinde Ø4, kolon uç bölgelerinde ise Ø6 'lık donatı kullanılmıştır. Deney elemanlarının tümünde aynı donatılar kullanılmıştır. Kullanılan bu donatılardan yeterli sayıda numune alınarak ortalama akma dayanımları belirlenmiştir. Çizelge 4.3

Çizelge 4.3. Deneylerde kullanılan donatıların akma dayanımları

Donatı Çapı (mm)	Donatı Akma Dayanımı (MPa)
Ø 4	450
Ø 6	362
Ø 10	365

4.6. Deneyler

4.6.1. S1-1 Deneyi

Deneyin genel seyri şu şekilde cereyan etmiştir.

İlk önce doğu yüzünde kendini badana kabarması şeklinde belli etmeye başlayan yükleme etkisi, yükteki artma ile beraber daha sonra sırası ile elemanın batı ve kuzey yüzünde ölçüm bölgesinde çok ince denilebilecek genişlikte olan çatlakların gelişimi ile etkisini göstermiştir. Kabarma ilk olarak 154 kN seviyesinde belli etmiştir. Yükleme başarılı bir şekilde ölçüm bölgesi içinde etkili olurken, alt ve üst ölçüm bölgesi dışında da ezilme belirtileri devam etmiştir. Eleman 713 kN eksenel yük altında 0.07 mm deplasman yaptığı ana kadar önemli bir hasar görmemiştir. Kolon 870 kN eksenel kuvvet

taşımakta iken güney-doğu köşesinde, kuzey ve batı yüzündeki ölçüm bölgesi dışında kabuk betonunda ezilme gözlemlenmiştir.

Tepe noktası aşıp elemanın taşıdığı yük 685 kN olduğunda ezilmenin iç tarafa başka bir değişle ölçüm bölgesi içine ilerlemesiyle birlikte, güney, batı, doğu yüzünde belirgin ezilme hatta kabarma tespit edilmiştir.

Elemanın iyi bir davranış göstererek ölçüm bölgesi içerisinde beklenen göçmenin başlamasıyla kolon yüzüne ölçüm hasasiyetinin sağlanabilmesi amacıyla yaklaştırılmış olan LVDT'ler betondaki kabarmanın artması sebebiyle yerleştirme düzenini kaybetmiştir. Bu sebepten dolayı 550 kN civarında bir eksenel kuvvet kayıt edildiğinde deplasman negatif ölçülmüştür. Bu kayıt sırasında deneye ara verilmiş, ölçümleri güvenilirliğini kaybeden LVDT'ler olabildiğince düzeltilerek, ölçüm düzeneği iyileştirilmeye çalışılmıştır. Bu düzeltmeden sonra deneye devam edilmiştir.

Eleman yüklemeye devam edildiğinde kaybettiği yükün bir miktarını geri kazanmış yaklaşık olarak 3.57 mm deformasyon ve 589 kN eksenel kuvvet aldığı anda güney-doğu köşesi ölçüm bölgesi içerisinde donatının burkulduğu gözlemlenmiştir. Daha sonra bu burkulmanın 562 kN seviyesinde daima ölçüm bölgesi içerisinde kalan yükleme etkileri artarak güney-batı köşesindeki boyuna donatının burkulması ile devam ettiği gözlemlenmiştir.

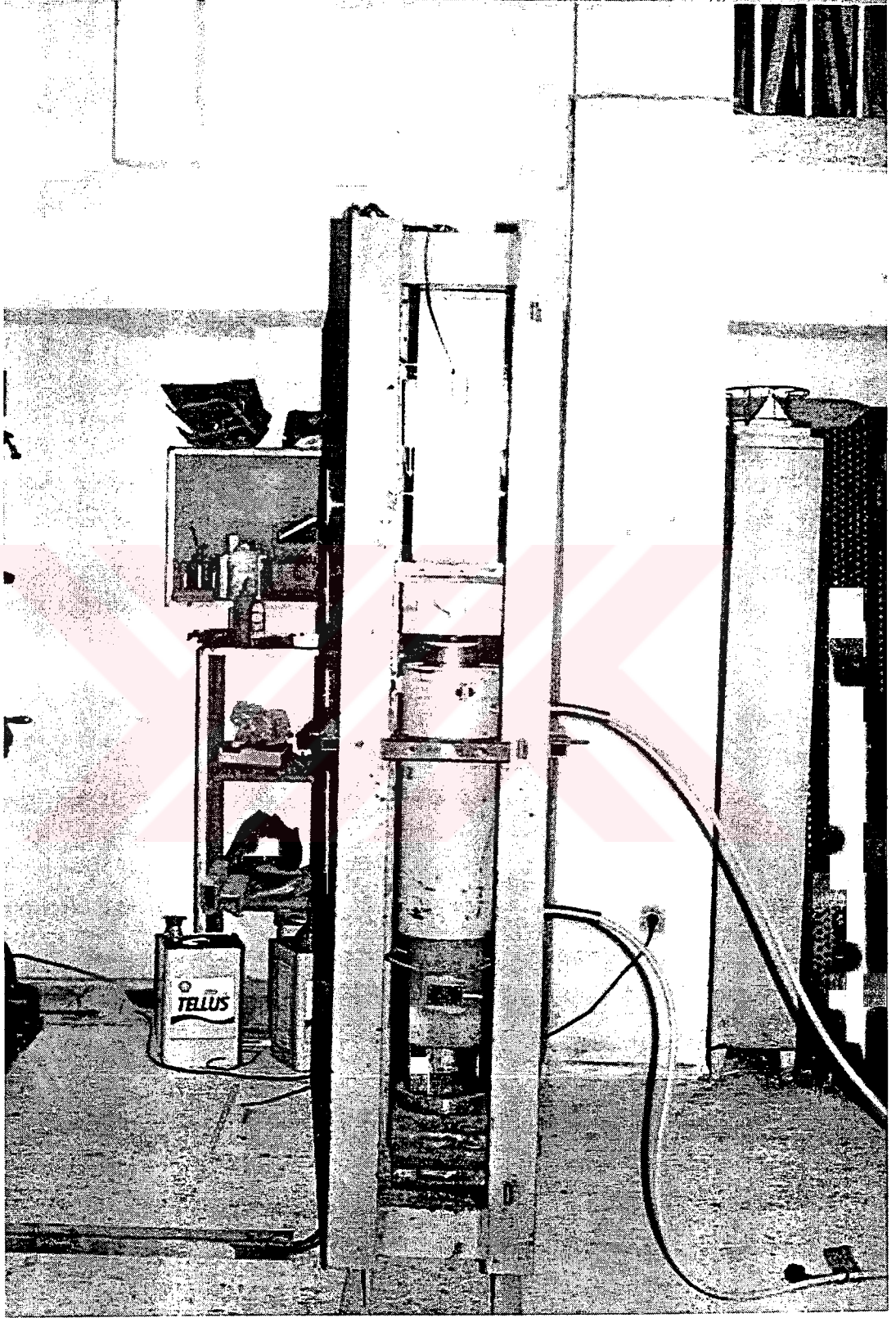
Ölçüm bölgesinde bu gözlemler yapılmakta iken, yüklenin rijit olan başlıklardaki etkisinin sadece kabuk betonunun ezilmesi ile sınırlı kaldığı görülmüştür.

Eleman 403 kN yük taşımakta iken kuzey ve güney kenarlarını birleştiren ölçüm saplamasının alt uçtan koptuğu tespit edilmiştir. 375 kN taşınmakta iken tüm köşelerdeki donatıların burkulduğu gözlemlenmiştir.

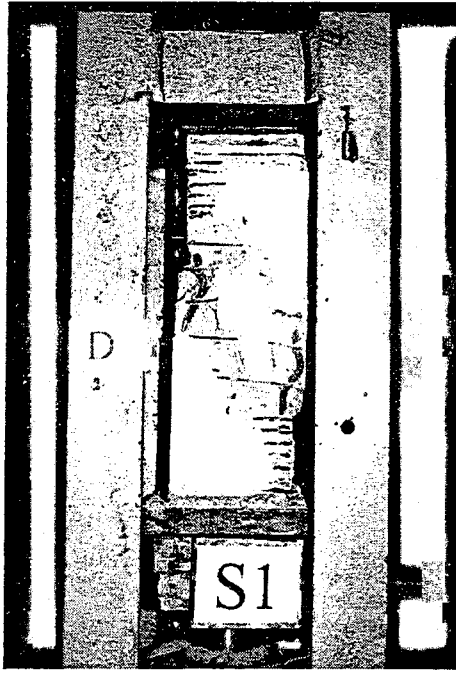
40 mm'lik bir aksenal deformasyon yapan kolonun artık yük taşıyamaz hale gelmesi sebebiyle deneye son verilmiştir. Deney sırasında elemanda hiçbir etriyede açılması veya kopma olmamıştır. Dolayısıyla deney başarılı ile sonuçlanmış göçme beklendiği gibi gelişmiştir. Göçmeye sebep olan kayma düzlemi ise elemanını güney ve batı yüzünde gelişmiş ve yatayla 45^0 'lik açı yapmıştır.

Deney elemanına ait yükleme öncesi ve sonrası fotoğraflar Şekil 4.22. ve 4.23. 'de, deney elemanının $P-\epsilon$ grafiği ise Şekil 4.24. 'de sunulmuştur.





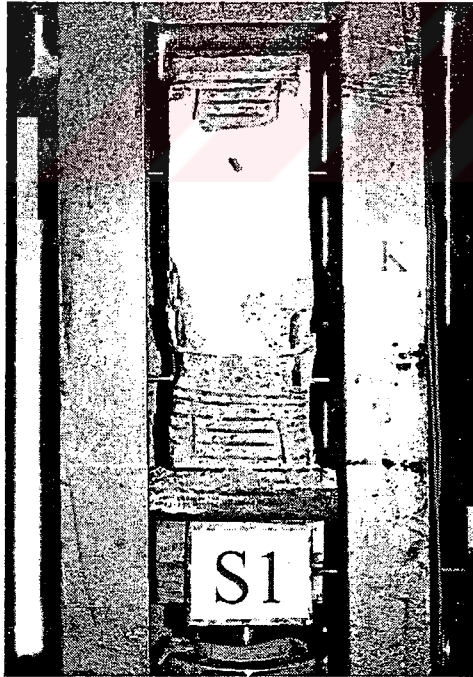
Şekil 4.22. Yükleme öncesi S1-1 deney elemanı



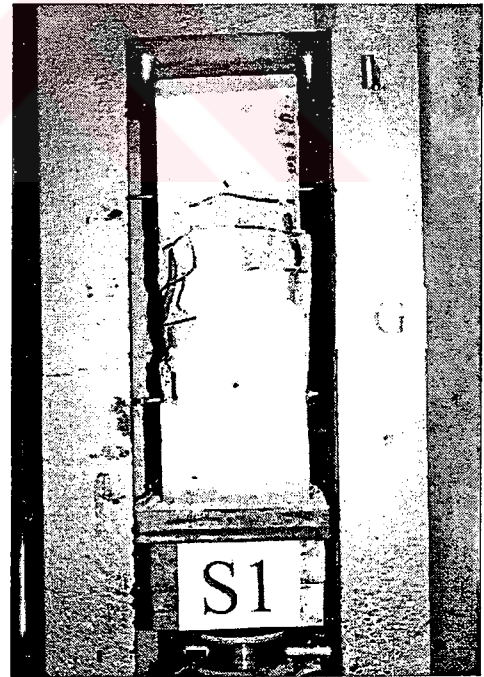
a) Doğu yüzü



b) Batı yüzü

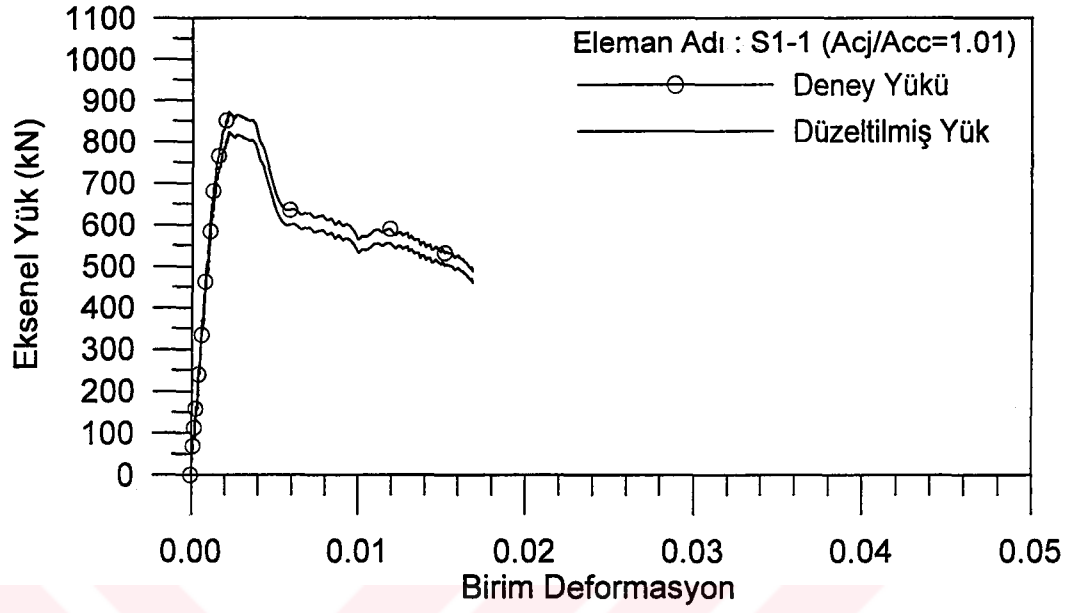


c) Kuzey yüzü

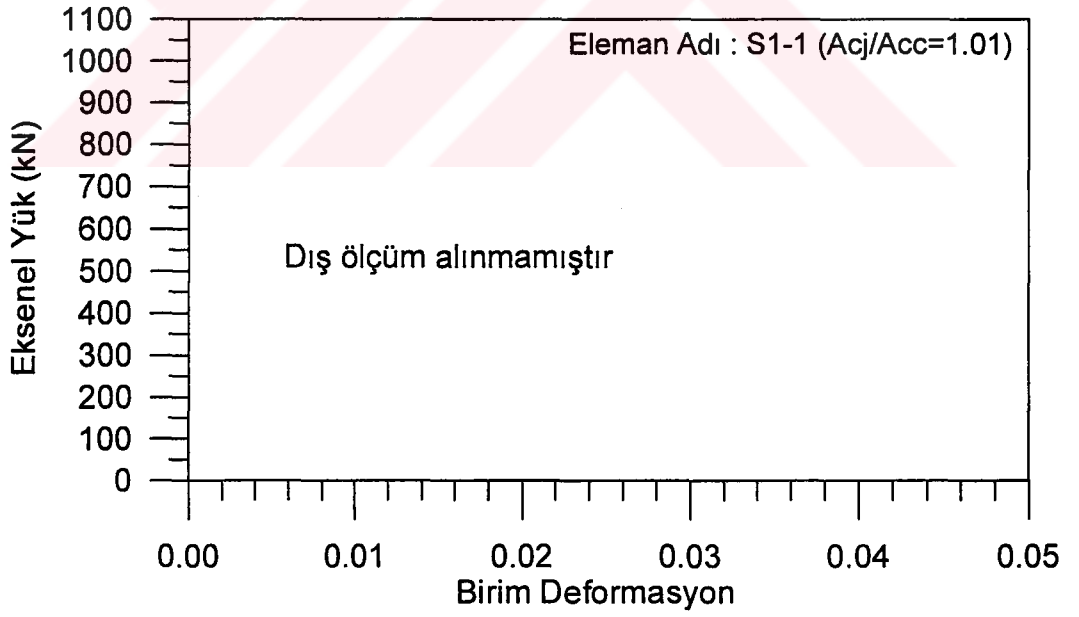


d) Güney yüzü

Şekil 4.23. Deney sonrası S1-1 elemanın dört yüzden görünümü.



a) İç ölçüm bölgesi



b) Dış ölçüm bölgesi

Şekil 4.24. S1-1 deney elemanının deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi (bu deney S1-2 olarak tekrarlanmıştır)

4.6.2. S1-2 Deneyi

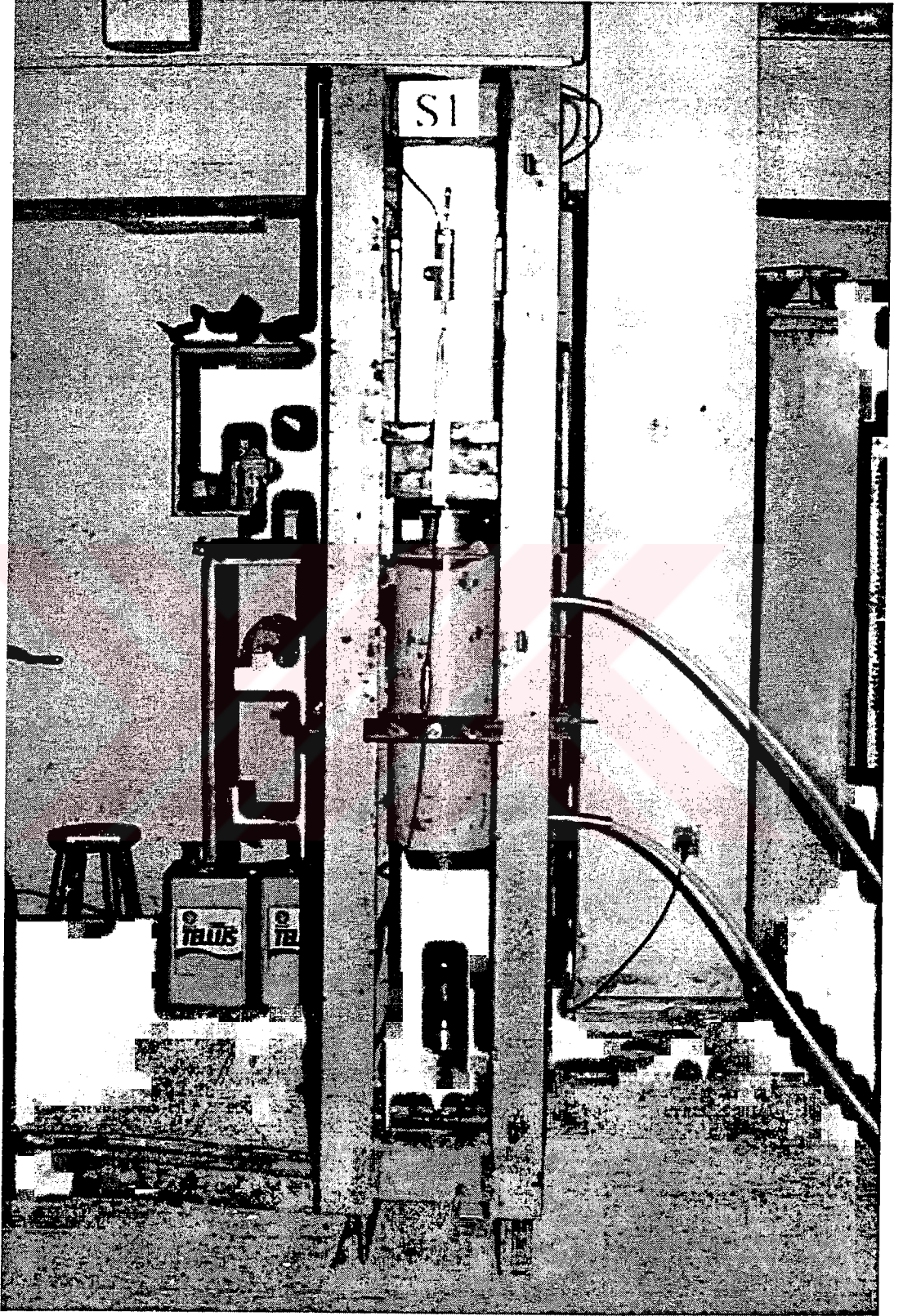
S1, S2, S3 deney elemanlarının iyi derece davranış göstermesine rağmen ölçüm düzeneğinde meydana gelen olumsuzluklar bu deneylerin tekrarlanması durumunu beraberinde getirmiştir. Bu sebeple tekrarlanan bu deneyler S1-2, S2-2, S3-2 olarak adlandırılmıştır.

S1-1 deneyinde test edilmiş eleman ile tamamen özdeş olacak şekilde imal edilmeye çalışılmış olan bu elemanın deneyi aşağıdaki gibi olmuştur.

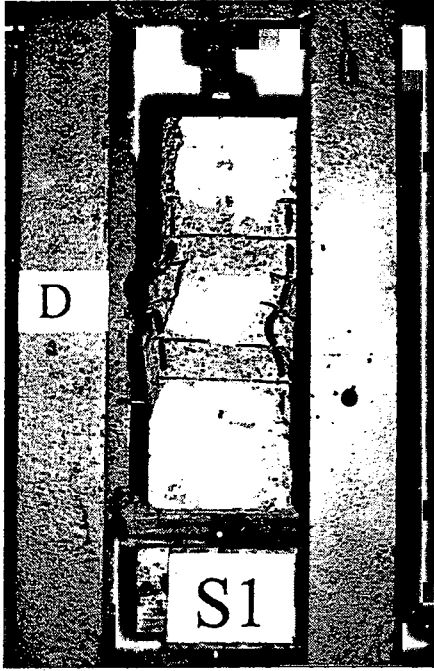
Eleman 429 kN eksenel yük seviyesine kadar herhangi bir hasar göstermemiş, fakat bu noktadan sonra güney yüzünden başlayan badana kabarmaları ile elemanda hasar etkileri görülmeye başlanmıştır. 630 kN yükünde elemanda 2.83 mm eksenel deformasyon meydana gelmiş ve batı yüzünde ölçüm bölgesi dışında bulunan alt ve üst rijit bölgelerde ezilme kendini belli etmiştir. Bu ezilme doğrudan elemanın ölçüm bölgesi içine ilerlemiştir. Eleman 768 kN eksenel yüke karşılık 4.31 mm deformasyon yaptığı anda, ölçüm bölgesi içinde ani bir göçme meydana gelmiştir.

Güney-doğu ölçüm bölgesi içerisindeki donatı 7.55 mm deformasyon altında, kuzey-doğu köşesindeki donatı ise 9.19 mm deformasyon gerçekleştiğinde s şeklinde burkulmuştur. Daha sonra güney-batı köşesinde ölçüm bölgesi içinde boyuna donatı burkularak kayma düzlemi oluşmuştur. Oluşan kayma düzlemi yatayla 45° 'lik açı yaparak doğu yüzünde ölçüm bölgesi üst kısmından başlayarak, batı yüzünde ölçüm bölgesi alt kısmına doğru ilerlemiştir.

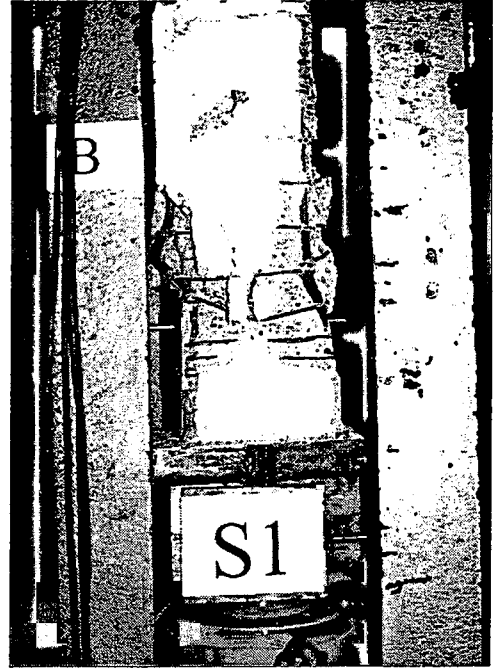
Deney elemanına ait yükleme öncesi ve sonrası fotoğraflar Şekil 4.25. ve Şekil 4.26. 'da, deney elemanının P-ε grafiği ise Şekil 4.27. 'de sunulmuştur.



Şekil 4.25. Yükleme öncesi S1-2 deney elemanı



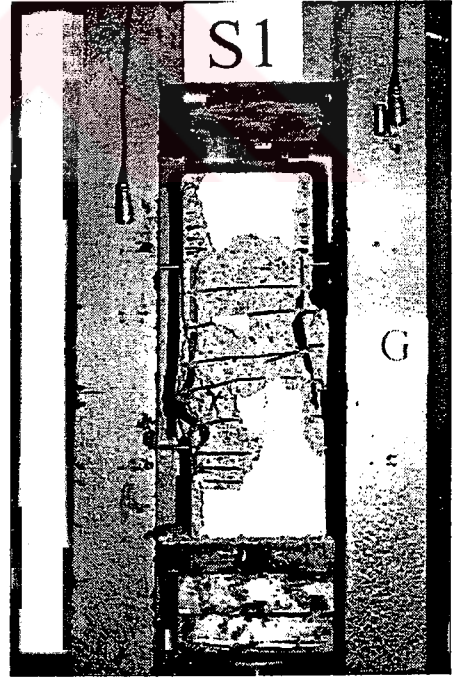
a) Doğu yüzü



b) Batı yüzü

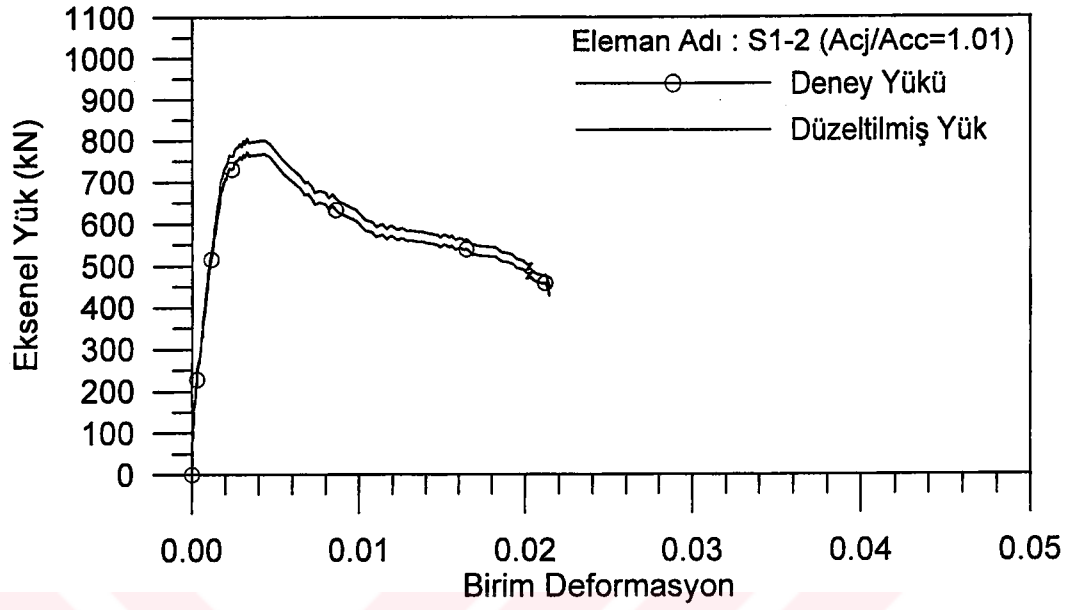


c) Kuzey yüzü

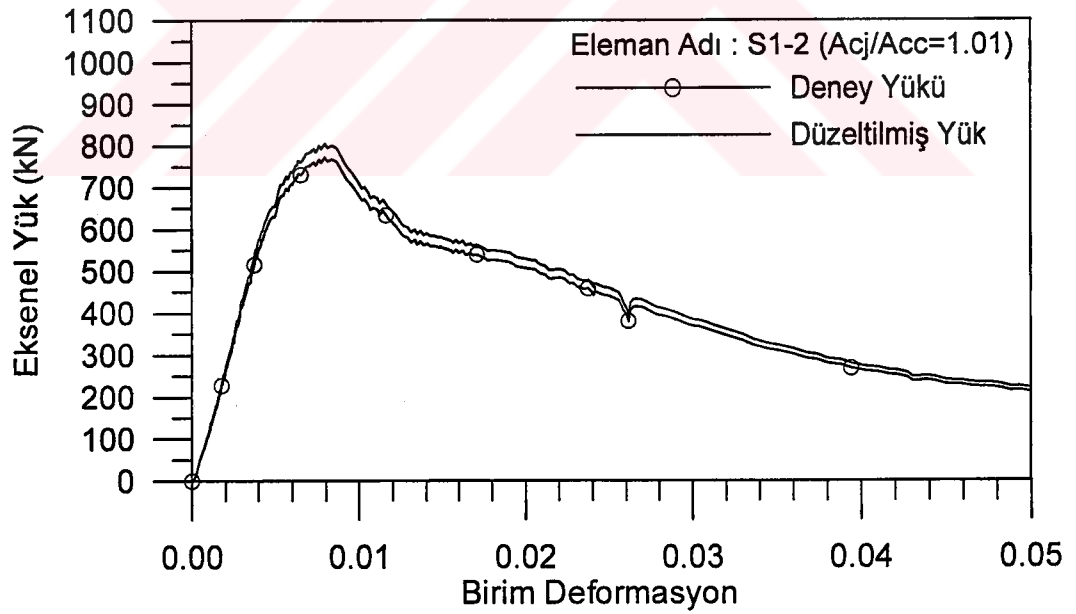


d) Güney yüzü

Şekil 4.26. Deney sonrası S1-2 elemanın dört yüzden görünümü.



a) İç ölçüm bölgesi



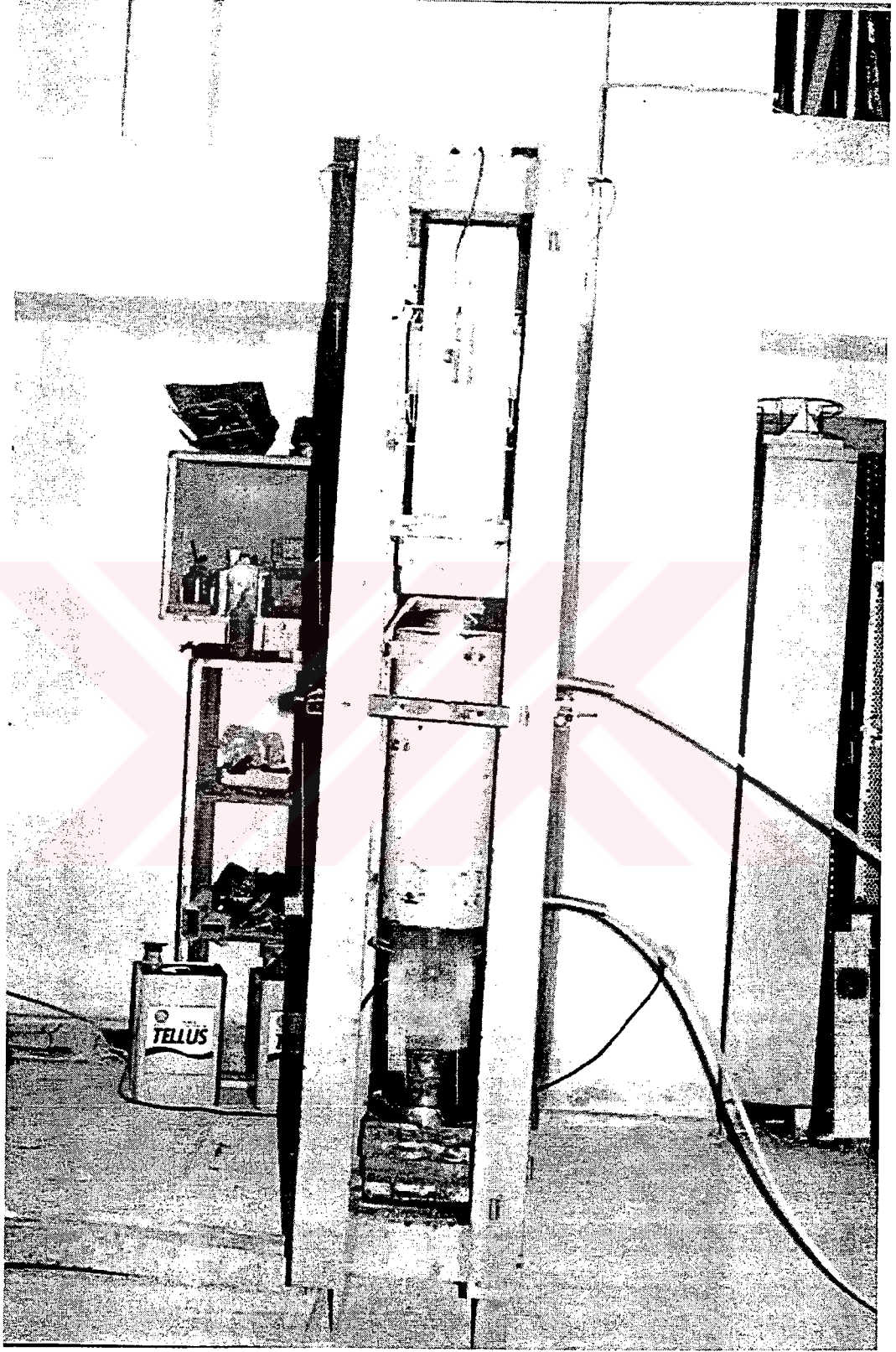
b) Dış ölçüm bölgesi

Şekil 4.27. S1-2 deney elemanının deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi

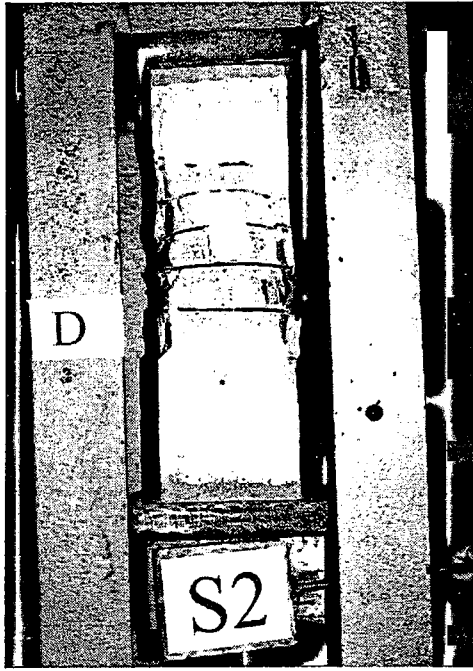
4.6.3. S2-1 Deneyi

Elemanda henüz ciddi bir deformasyon olmamışken, 275 kN'luk eksenel kuvvet altında, elemanın batı yüzünde ölçüm bölgesi içerisinde badanada çatlaklar gelişmeye başlamıştır. Bu yükleme etkileri eksenel kuvvetin 420 kN'un üzerine çıkmasıyla, rijit bölge dışında olmak üzere üst başlıkta kuzey-batı ve güney-batı uçlarında ezilme ile kendini göstermiştir. Eleman 790 kN'luk eksenel kuvvet taşımakta iken doğu yüzünde ölçüm bölgesi üst sınırında başlıkta ezilme meydana gelmiştir. 795 kN'a çıkıldığında ise batı yüzünde ölçüm bölgesi alt sınırında kabuk betonunun dökülmesine sebep olan bir ezilme meydana gelmiştir. 779 kN seviyesinde ise elemanın doğu, güney ve kuzey yüzünde ölçüm bölgesi içerisinde ezilme oluşmuş, beklenen göçme tipi gözlemlenmiştir. Tepe değerini aşılmasından sonra donatıların burkulması, 430 kN'luk eksenel kuvvet ve yaklaşık olarak 0.5 mm'lik eksenel deformasyon mertebesinde meydana gelmiştir. Boyuna donatılar ilk önce kuzey-doğu, daha sonra ise kuzey-batı köşesinde burkulmuştur. Deneye elemanın taşıma gücü 150 kN yüke ininceye kadar devam edilmiştir. Birçok yüzden alınan ölçümlerin güvenilirliği kalmadığı için, batı ve doğu yüzlerindeki LVDT'lerin ölçüm düzeneğinde kopma meydana gelmesi sebebiyle, deneye son verilmesi kararı alınmıştır. Deney sırasında gerek betondaki deformasyonun sebep olduğu kabarmalar gerekse de, simetrik gerçekleşmeyen göçme elemanın dört yüzünde alınan ölçümlerin sağlıklı olamayacağı düşündürmüştür. Bu sebeple deney sırasında, bazı aralıklarla ölçüm düzeneğinde meydana gelen olumsuzluklar düzeltilmeye çalışılmıştır. İyileştirilemeyen LVDT'ler sökülerek sistemden ayrılmıştır. Elemanda güney ve kuzey yüzlerinde yaklaşık 45°'lik bir kayma düzlemi oluşmuştur. Elemanda herhangi bir etriye açılması veya kopma gözlemlenmemiştir. Fakat ciddi bir deformasyon olduğu saptanmıştır.

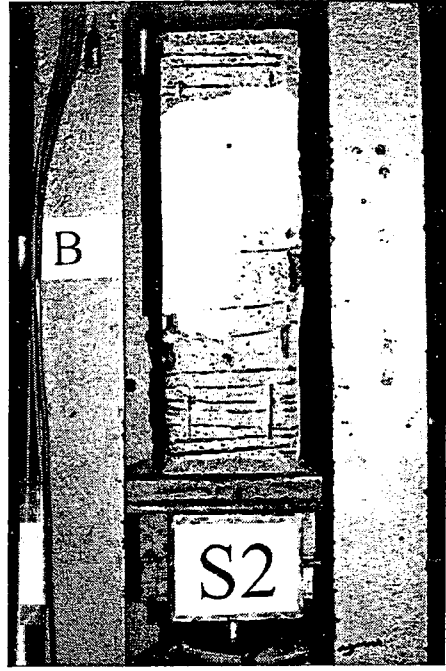
Deney elemanına ait yükleme öncesi ve sonrası fotoğraflar Şekil 4.28. ve Şekil 4.29. 'da, deney elemanının P-ε grafiği ise Şekil 4.30. 'da sunulmuştur.



Şekil 4.28. Yükleme öncesi S2-1 deney elemanı



a) Doğu yüzü



b) Batı yüzü

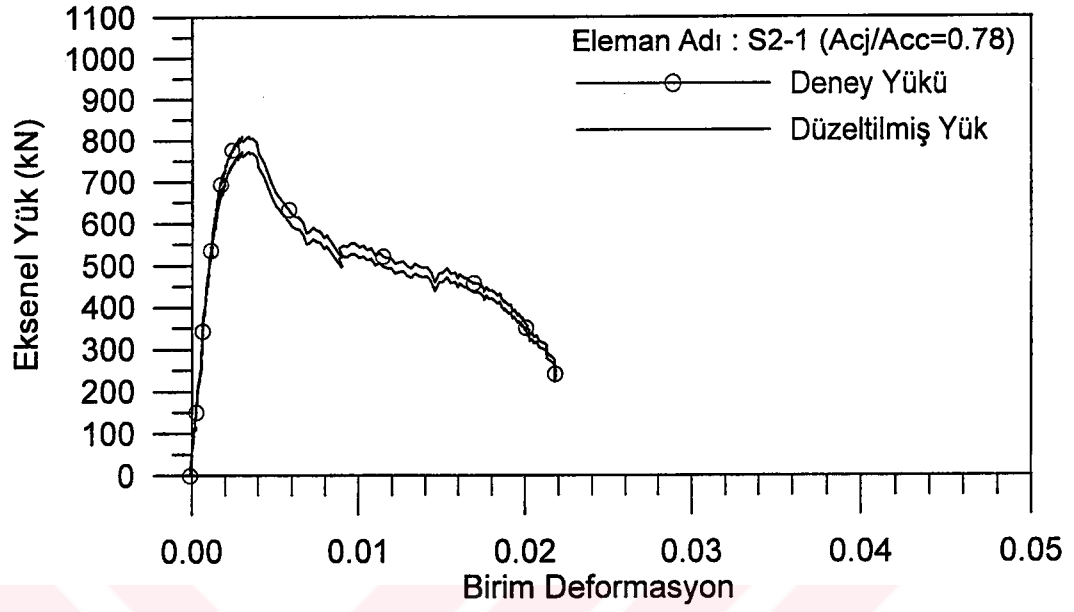


c) Kuzey yüzü

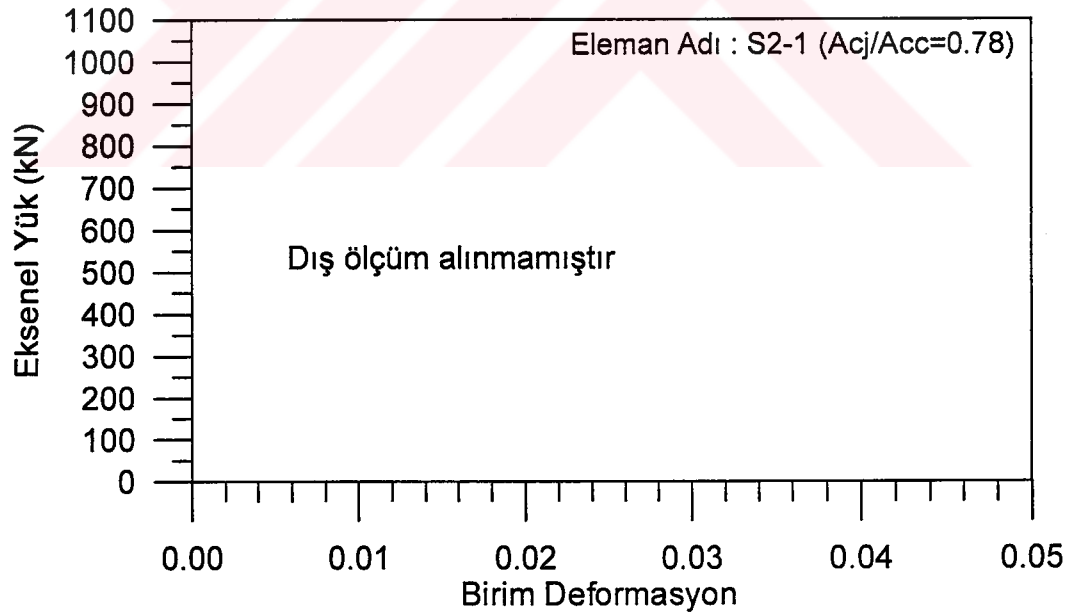


d) Güney yüzü

Şekil 4.29. Deney sonrası S2-1 elemanın dört yüzden görünümü.



a) İç ölçüm bölgesi



b) Dış ölçüm bölgesi

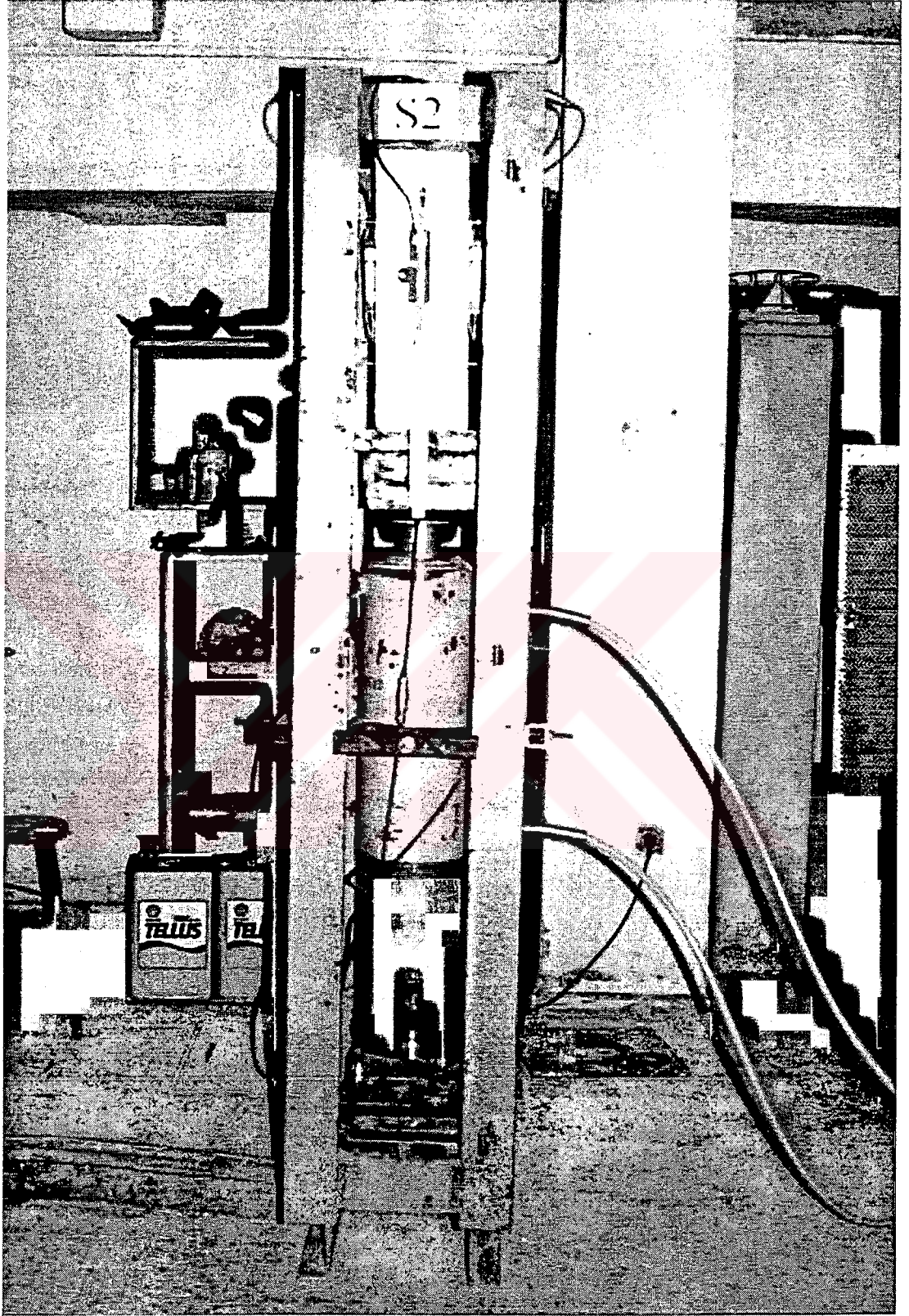
Şekil 4.30 S2-1 deney elemanının deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi (bu deney S2-2 olarak tekrarlanmıştır)

4.6.4. S2-2 Deneyi

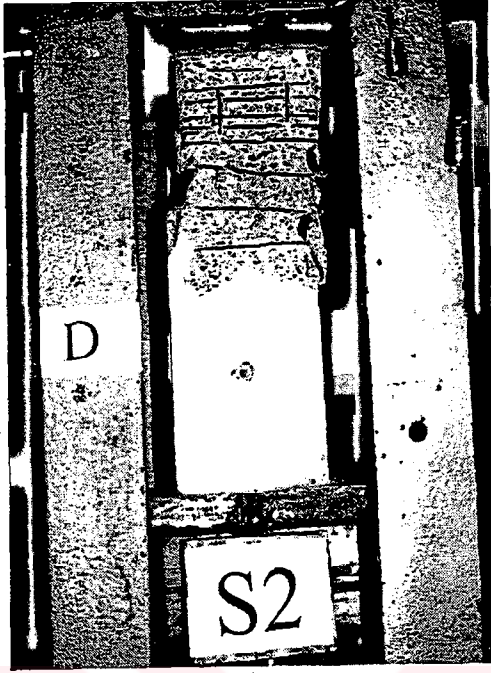
Etriye hizasında badana kabarmaları 377 kN'a karşılık 2.14 mm deformasyon altında oluşmuştur. Ezilme ilk önce doğu yüzünde ölçüm bölgesi dışında üst rijit bölgede 594 kN'luk eksenel kuvvet altında meydana gelmiştir. 705 kN ve 4.19 mm deformasyon okunduğu anda eleman dayanım kaybetmeye başlamıştır. Tepe noktasının aşılması ile başlayan boyuna donatılardaki burkulma 395 kN da güney-doğu köşesinde daha sonra güney-batı köşesinde bulunan donatı burkulmuştur.

Elemanın göçmesine doğu yüzünde üst kısımdan başlayıp batı alt kısma doğru ilerlemiş olan ölçüm bölgesi içindeki kayma düzlemi sebep olmuştur. Buna ilave olarak eleman kendi eksenini etrafında hafif bir burulma da yapmıştır. Elemana ağır hasar verilmiş olmasına rağmen sağlıklı bir şekilde 30 mm'lik deformasyon ölçülebilmektedir. Bu noktada elemana ait karakteristik bir davranış gözlemlenmediği için deneye son verilmiştir.

Deney elemanına ait yükleme öncesi ve sonrası fotoğraflar Şekil 4.31. ve Şekil 4.32. 'de, deney elemanının P- ϵ grafiği ise Şekil 4.33. 'de sunulmuştur.



Şekil 4.31. Yükleme öncesi S2-2 deney elemanı



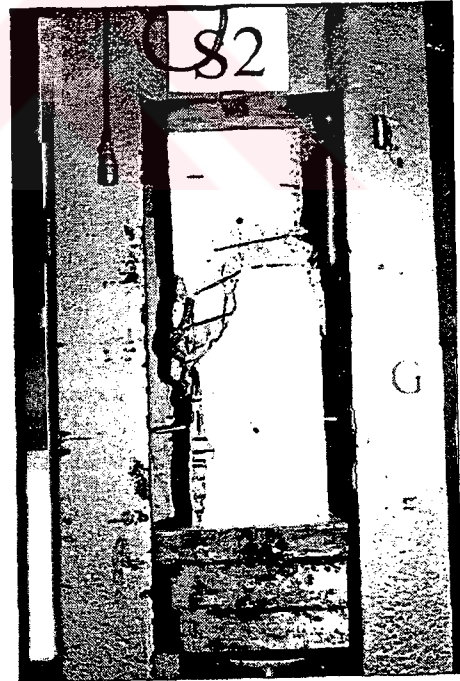
a) Doğu yüzü



b) Batı yüzü

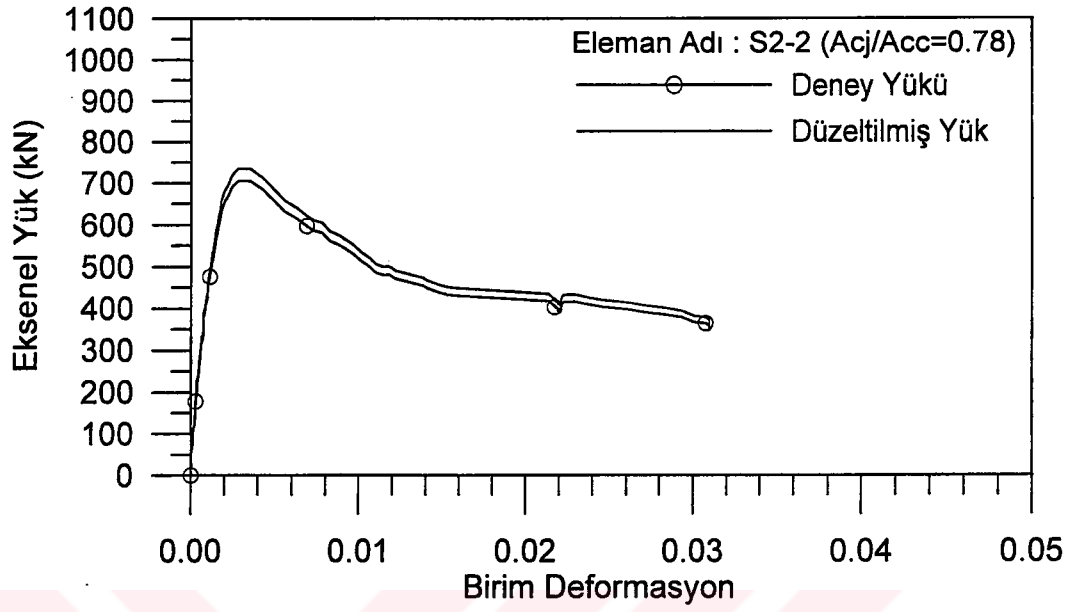


c) Kuzey yüzü

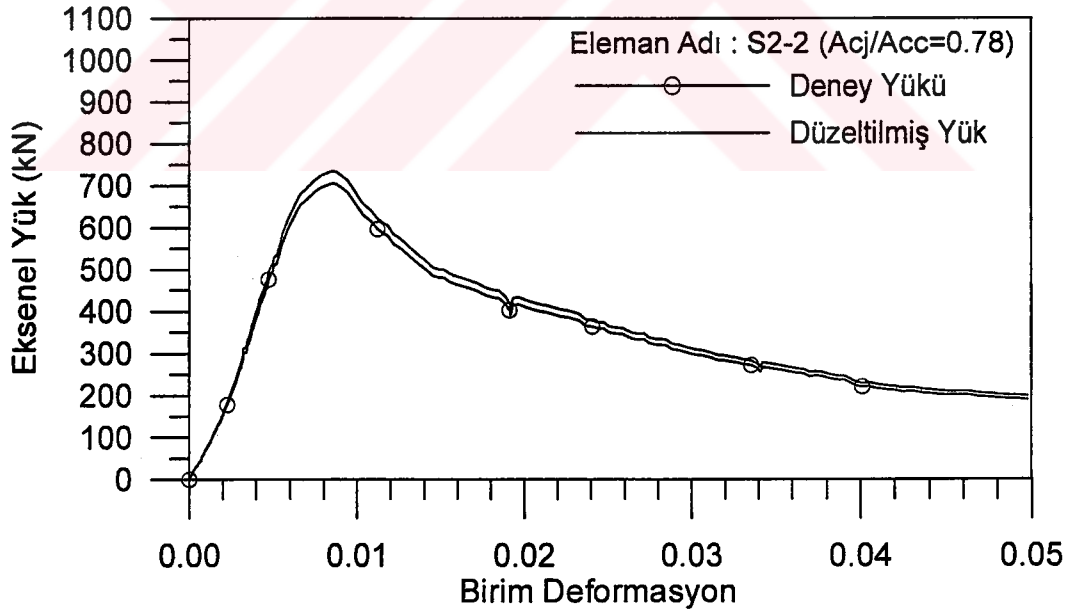


d) Güney yüzü

Şekil 4.32. Deney sonrası S2-2 elemanın dört yüzden görünümü.



a) İç ölçüm bölgesi



b) Dış ölçüm bölgesi

Şekil 4.33. S2-2 deney elemanının deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi

4.6.5. S3-1 Deneyi

Elemandaki ölçüm bölgesi içerisindeki kabarmalar yaklaşık 500 kN'luk yük altında, ilk önce güney yüzünde meydana gelmeye başlamıştır. Daha sonra yük 634 kN iken doğu yüzünde, 687 kN iken batı yüzünde kabarmalar kendilerini ilk olarak göstermeye başlamıştır. Eksenel yük 944 kN ve deformasyon 0.04 mm noktasına ulaşıldığında elemanın badana kabarmaları dışında kayda değer bir hasar görmediği, yükü taşımaya sağlam bir şekilde devam ettiği gözlemlenmiştir. Eleman üzerinde 1084 kN yük ve buna karşılık olarak eleman 0.1 mm deformasyon yapmışken, güney-doğu yüzü ölçüm bölgesi dışı alt köşe bölgesinde çok hafif ezilme başlamıştır. Ezilme kuzey-doğu köşesi ve doğu yüzünde ölçüm bölgesi dışında alt uç bölgesinde 1121 kN'luk eksenel kuvvete kadar devam etmiştir.

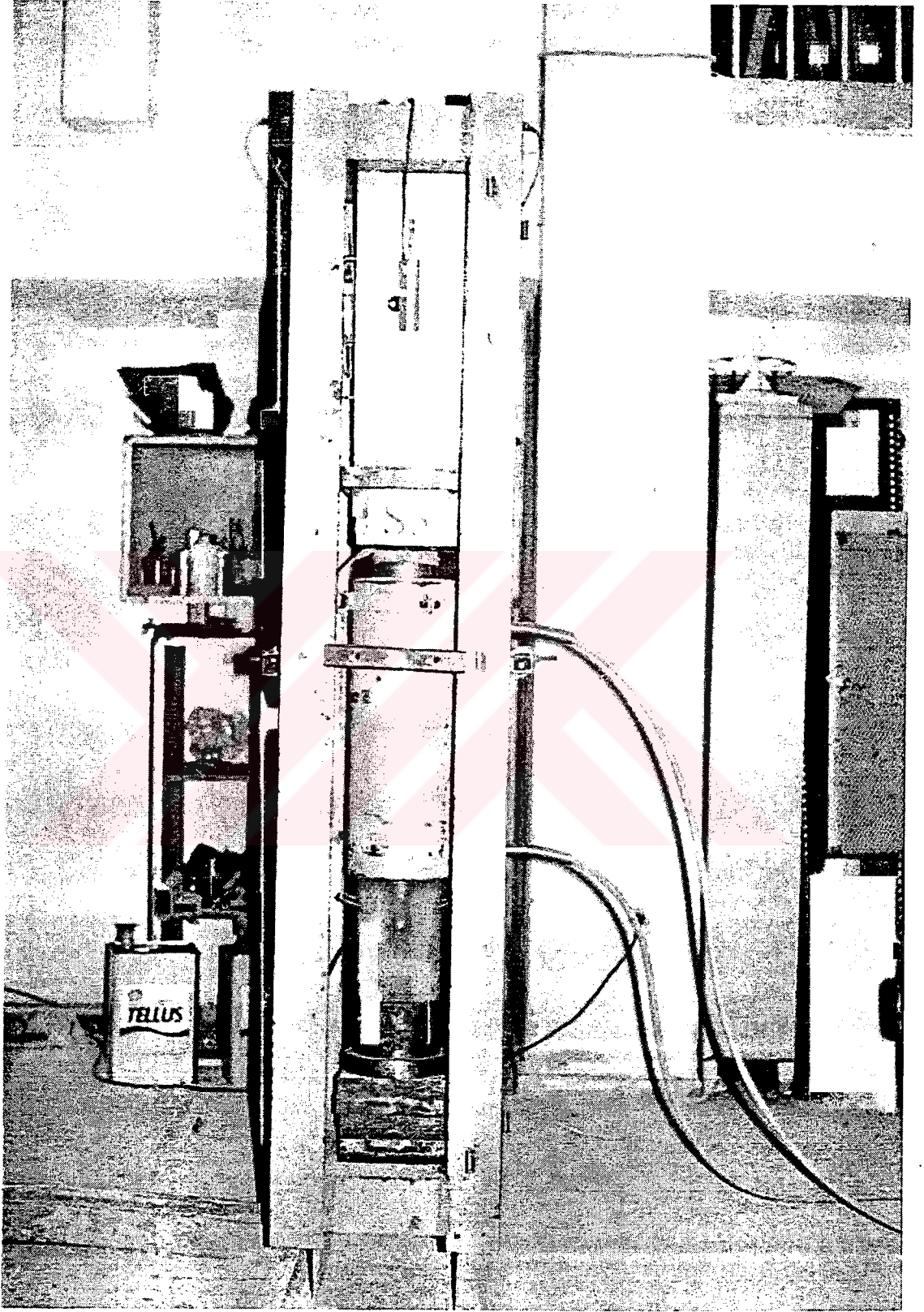
1165 kN'luk eksenel kuvvet altında elemanın kuzey yüzü ölçüm bölgesi dışında kabuk betonunda ezilme oluşmuştur. Bu noktadan sonra kuzey yüzünde meydana gelen ezilme ölçüm bölgesi içerisine ilerleyip elemanın taşıma gücünü yitirmesine sebep olmuştur. Rijit bölgede ezilmeler şeklinde başlayan göçme tipi, elemanın ölçüm bölgesi içerisinde kayma düzlemi oluşmasıyla beklenen davranışı tekrar göstermiştir. Diğer yönlerde de ölçüm bölgesi içerisinde gelişen göçme, boyuna donatıların eksenel deformasyondan dolayı burkulmasına sebep olmuş ve eksenel deformasyon yaklaşık olarak 0.07 mm ve yük 669 kN iken güney-batı köşesinde boyuna donatı burkulma gözlemlenmiştir. Yük 561 kN'a inip deformasyon 0.09 mm olduğunda ise ölçüm bölgesi içinde güney-doğu köşesinde boyuna donatılarda burkulma meydana gelmiştir. 304 kN'a erişildiğinde ölçüm düzeninde ciddi sapmaların meydana geldiği ve kayıtların güvenilir olmaktan çıktığı elemanın yük-deformasyon eğrisinden anlaşılmıştır. Bu sebeple deneye son verilmiştir.

Sonuç olarak ezilme ölçüm bölgesi içerisinde gerçekleşmiştir. Göçmeye

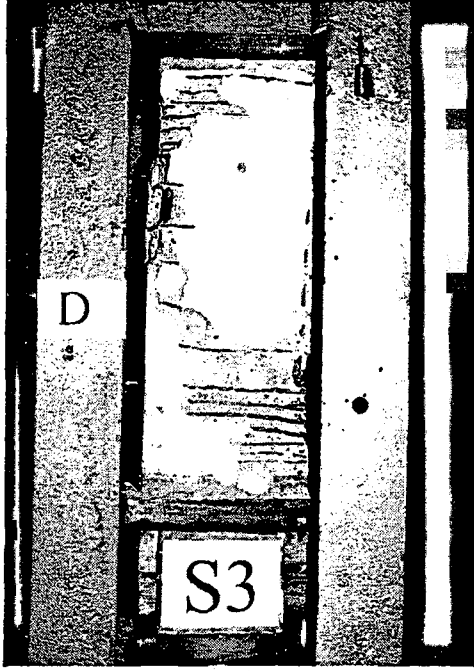
sebepe olan kayma düzlemi doğu-batı düzlemindedir. Bütün boyuna donatıların s şeklinde burkulduğu, etriyelerde deformasyonun olduğu fakat açılma ya da kopma olmadığı gözlemlenmiştir.

Deney elemanına ait yükleme öncesi ve sonrası fotoğraflar Şekil 4.34. ve Şekil 4.35. 'de, deney elemanının P- ϵ grafiği ise Şekil 4.36. 'da sunulmuştur.

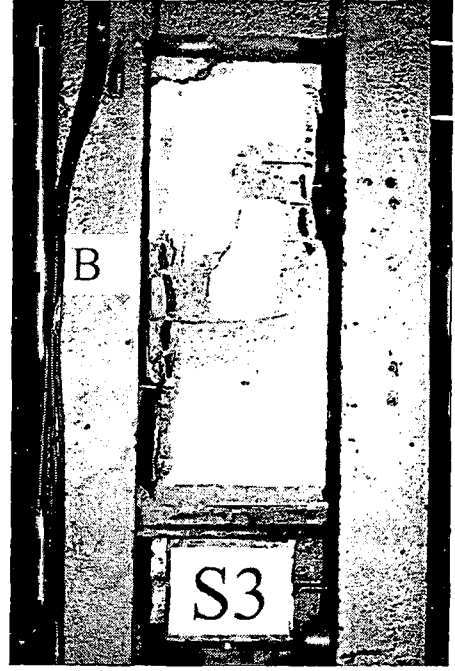




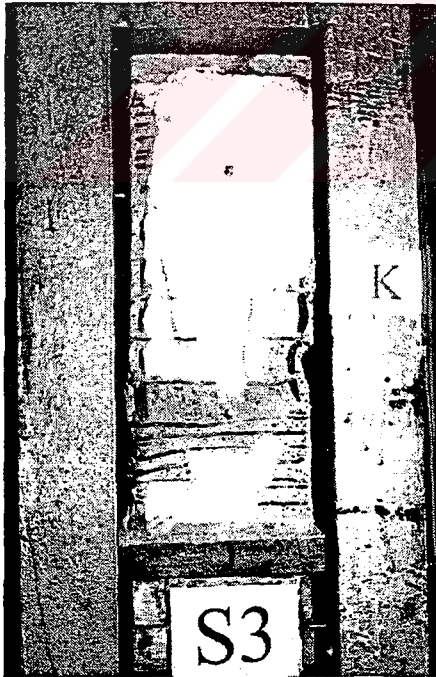
Şekil 4.34. Yükleme öncesi S3-1 deney elemanı



a) Doğu yüzü



b) Batı yüzü

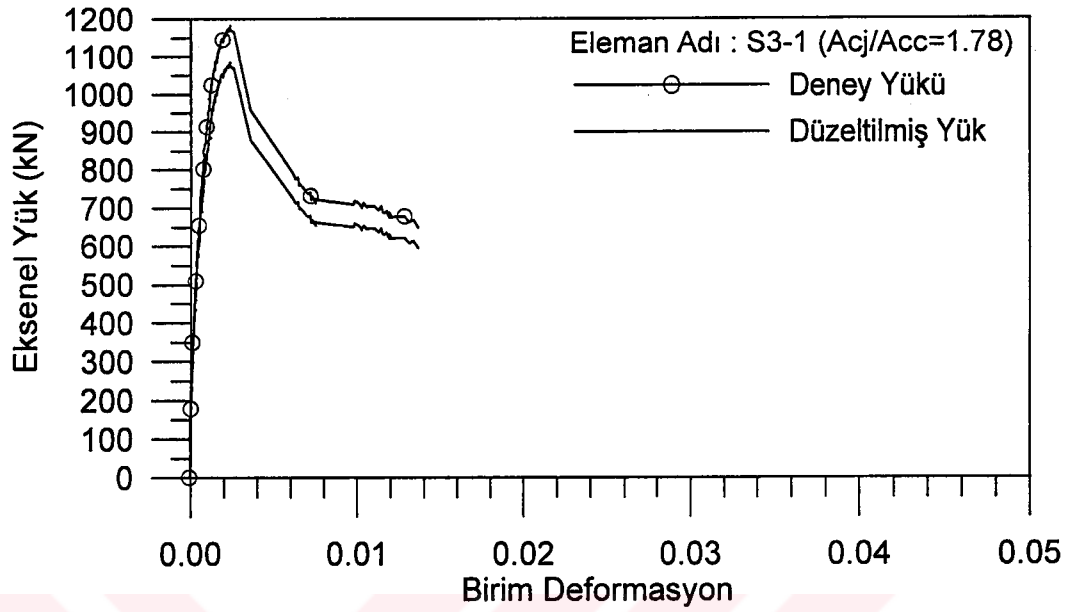


c) Kuzey yüzü

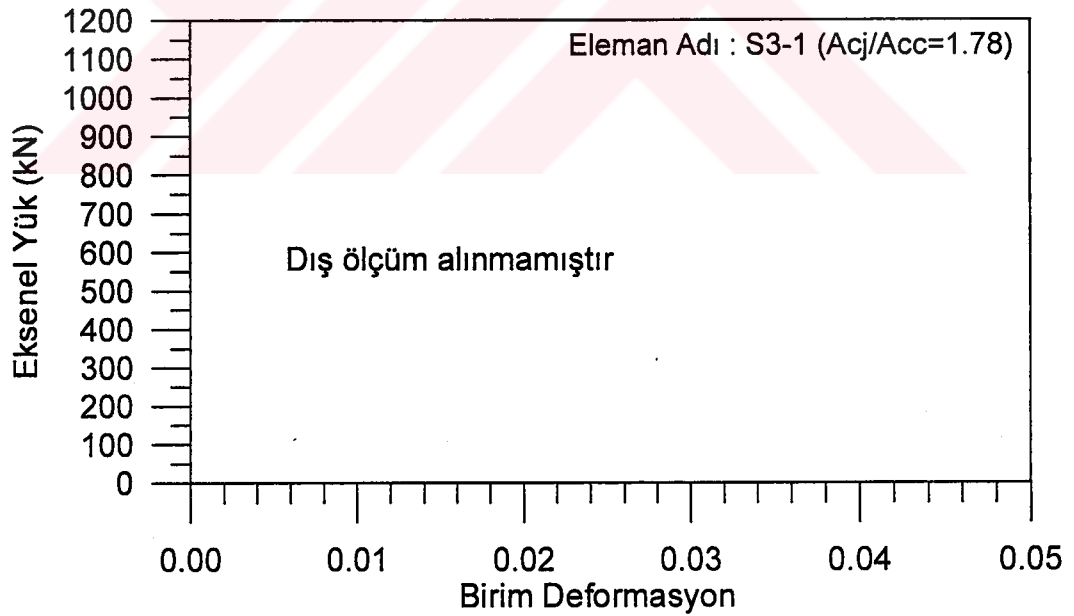


d) Güney yüzü

Şekil 4.35. Deney sonrası S3-1 elemanın dört yüzden görünümü.



a) İç ölçüm bölgesi



b) Dış ölçüm bölgesi

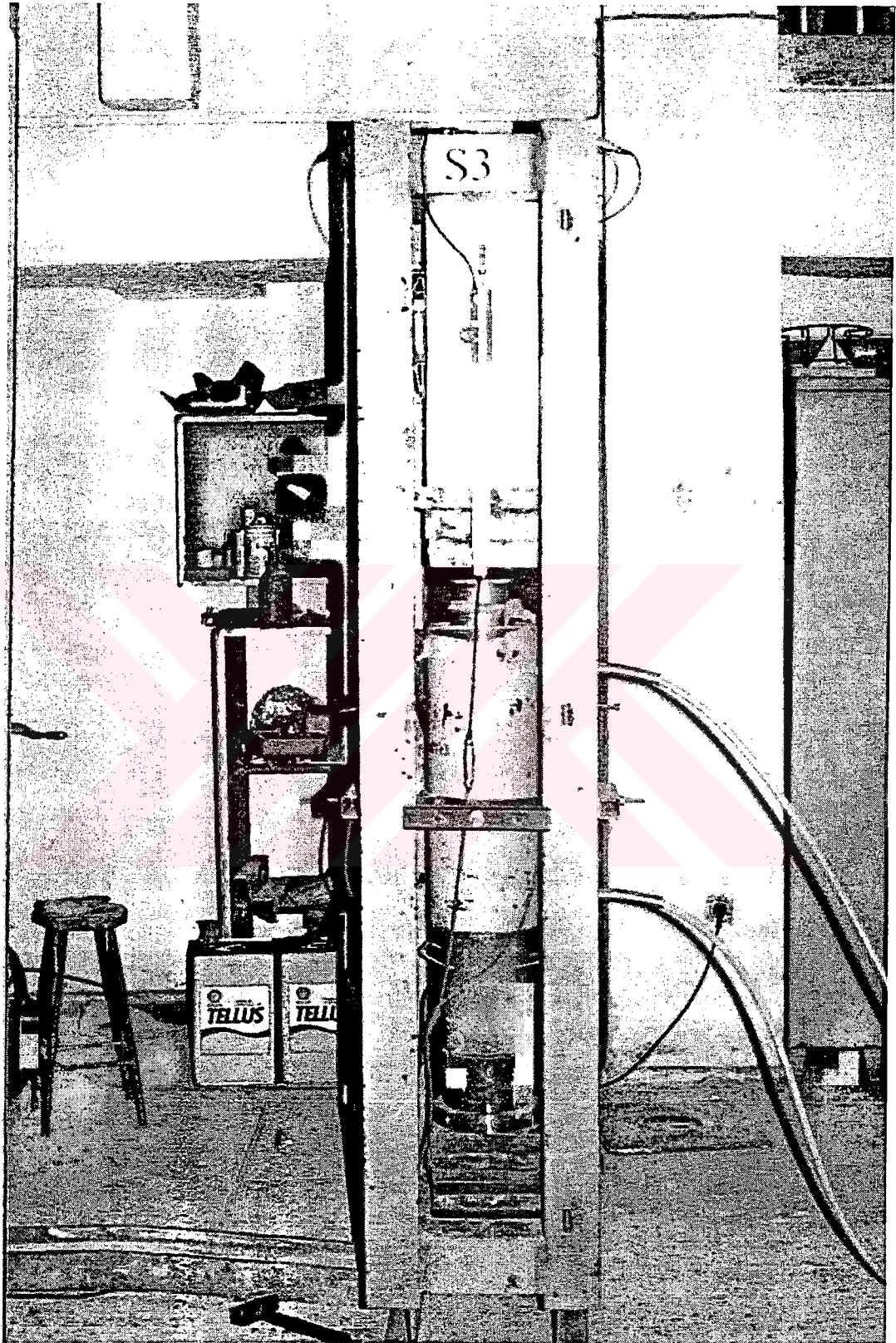
Şekil 4.36 S3-1 deney elemanının deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi (bu deney S3-2 olarak tekrarlanmıştır)

4.6.6. S3-2 Deneyi

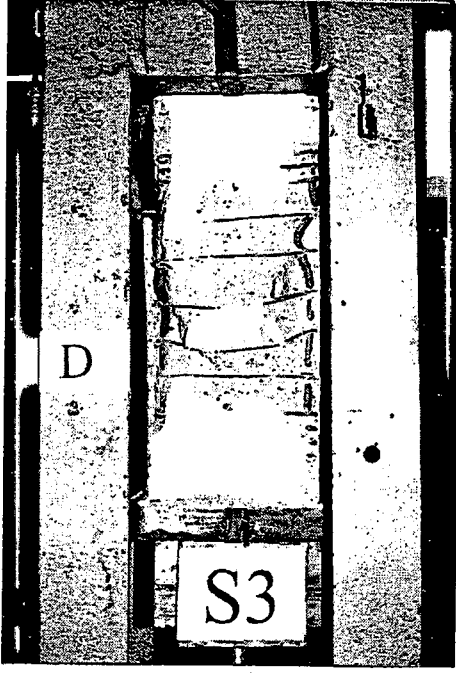
Etriye hizasında başlayan kabarmalar eksenel yük 585 kN'da iken başlamıştır. Bütün yüzlerde etriye hizasında kabarmalar meydana geldikten sonra yükün 686 kN'a çıkmasıyla elemanın rijit bölgesinin köşelerinde ezilme başlamıştır. İlk olarak güney-doğu ölçüm bölgesi dışında başlayan ezilme, 882 kN'da kuzey-batı köşesinde alt ve üst ölçüm bölgesi dışında görülmüştür. 919 kN ve 3.00 mm'lik taşıma gücü tepe noktası aşıldıktan sonra 802 kN ve 3.93 mm'lik deformasyon noktasına kadar kayma düzlemi ölçüm bölgesi içerisinde yönünü kesin olarak çizmemiş, lokal eziklikler olarak gözlemlenmiştir. Bu noktadan sonra kayma düzleminin kuzeyden bakıldığında yatayla 60⁰'lik açı yaptığı ve batı yüzünde ölçüm bölgesi dışından başlayan ezilme bölgesinin aynı yüzde ölçüm bölgesi içerisine inerek oradan da doğu yüzü ölçüm bölgesi alt sınırına doğru ilerlemiş olduğu görülmüştür. Güney-batı ve güney-doğu köşelerindeki donatıların 10.67 mm deplasman ve 553 kN eksenel yük altında burkulduğu gözlemlenmiştir.

Burkulması net bir şekilde gözlemlenemeyen diğer köşe donatıları da 40.9 t ve 15.4 mm deformasyon altında s çizerek burkulmuştur. 21.9 t ve 30 mm deformasyona ulaşıldığında deneye son verilmiştir.

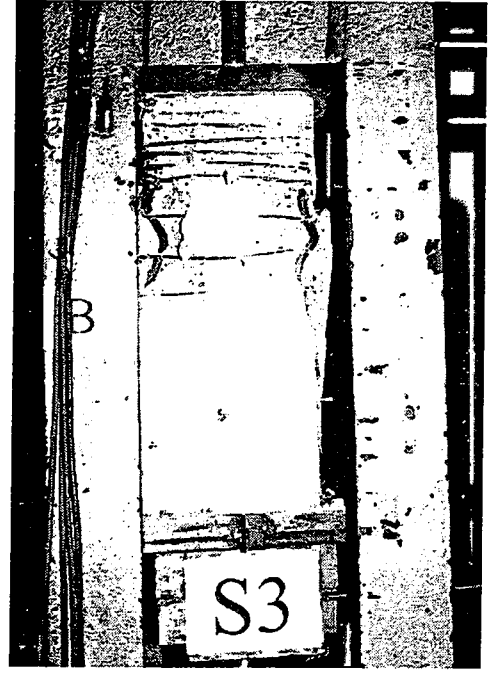
Deney elemanına ait yükleme öncesi ve sonrası fotoğraflar Şekil 4.37. ve Şekil 4.38. 'de, deney elemanının P-ε grafiği ise Şekil 4.39. 'da sunulmuştur.



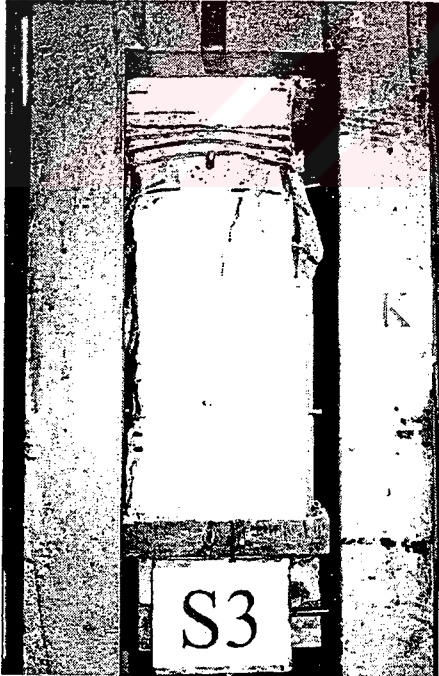
Şekil 4.37. Yükleme öncesi S3-2 deney elemanı



a) Doğu yüzü



b) Batı yüzü

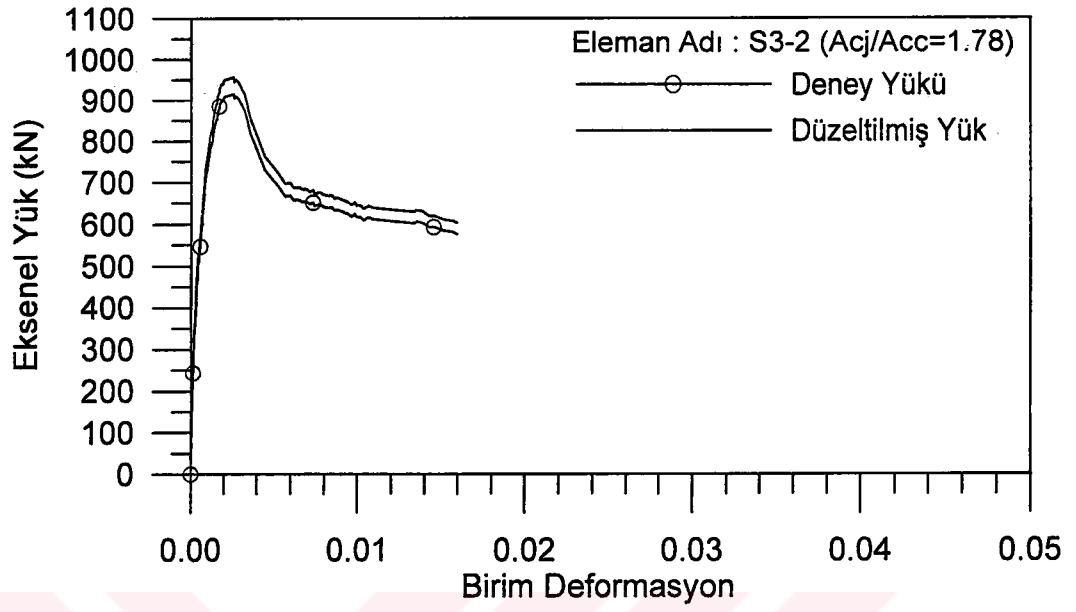


c) Kuzey yüzü

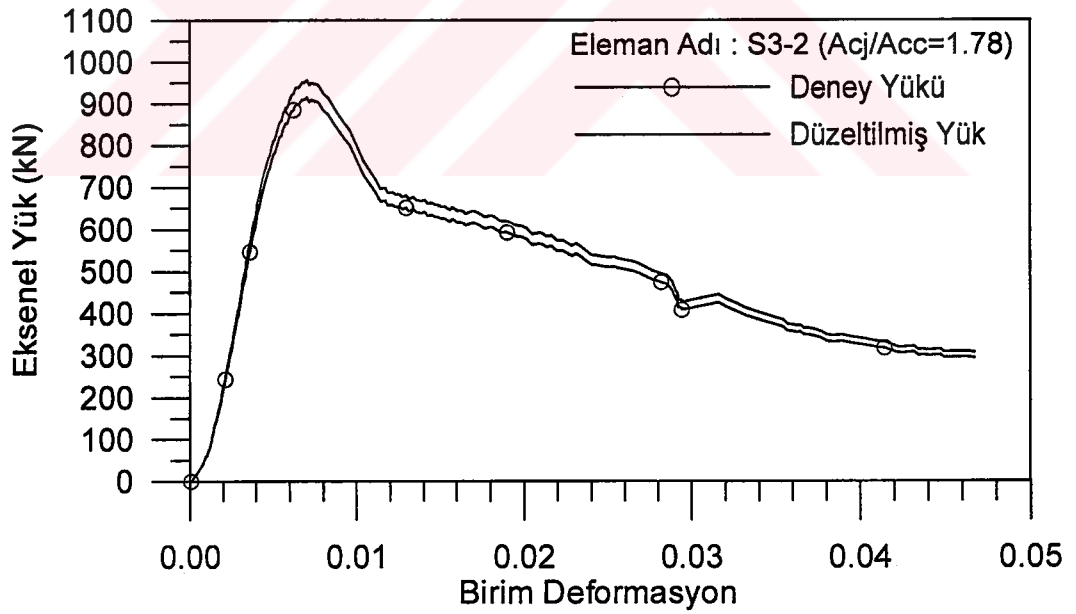


d) Güney yüzü

Şekil 4.38. Deney sonrası S3-2 elemanın dört yüzden görünümü.



a) İç ölçüm bölgesi



b) Dış ölçüm bölgesi

Şekil 4.39. S3-2 deney elemanının deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi

4.6.7. S4 Deneyi

Ölçüm bölgesi içerisindeki badana kabarmaları 254 kN altında başlamıştır. Bu kabarma etkileri daha sonra sırasıyla kuzey ve batı yüzlerinde de gelişmiştir. Yükün 361 kN seviyesine çıkmasıyla kabuk betonunda ezilme başlamıştır. İlk ezilen bölge ölçüm bölgesi dışında kuzey-batı köşesidir. Daha sonra ezilme 419 kN'da doğu yüzünde ölçüm bölgesi dışında alt bölgede, 468 kN yük altında güney-batı ölçüm bölgesi dışı alt rijit bölge köşesinde, 509 kN yük etkisinde batı yüzü ölçüm bölgesi dışında ve son olarak 691 kN'da güney yüzü ölçüm bölgesi dışı alt rijit bölgede gözlemlenmiştir.

Elemanda 5.09 mm deformasyon ve 815 kN eksenel yük olmasına rağmen ölçüm bölgesi içerisinde herhangi bir ezilme ilerleyişi olmamıştır. 846 kN yük altında 5.84 mm deformasyon yapan eleman bu tepe noktasını aşarken, kabuk betonunda ve genellikle alt rijit bölgede oluşan ezilmeler hızla ölçüm bölgesi içerisine ilerlemiştir.

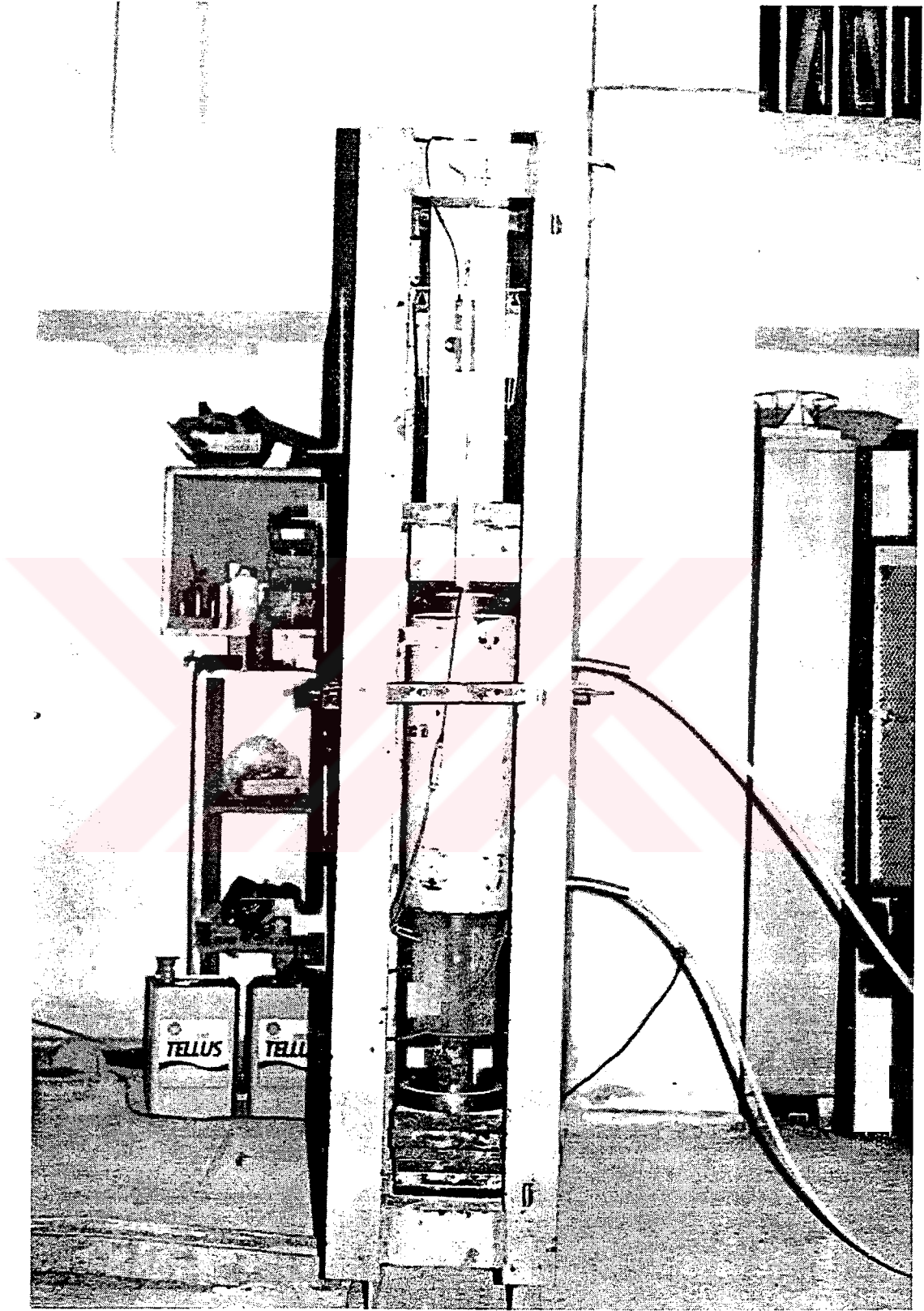
9.31 mm deformasyon yaptığı anda eleman 50 kN eksenel taşıyabildiği anda elemanın güney-doğu köşesinde ölçüm bölgesi içinde boyuna donatıda burkulma gözlemlenmiştir. 10.64 mm deformasyon yaptığı anda ise kuzey-doğu köşesindeki boyuna donatıda s şeklinde burkulma gözlemlenmiştir. 325 kN yük altında 13.71 mm deformasyon oluşmuş ve sonucunda güney-batı köşesinde ölçüm bölgesi içerisinde köşe donatısı burkulmuştur. Elemandaki son burkulma ise 215 kN yükte ve 15.36 mm deformasyon oluştuğunda kuzey-batı köşesinde gözlemlenmiştir. Burkulan donatılar elemandaki kayma düzlemini belirginleştirmiştir. Kayma düzlemi kuzey-güney yüzlerinde oluşmuştur ve yatayla 45^0 lik açı yapmaktadır.

Deney sırasında 135 kN yük ve 18.57 mm deformasyon ölçüldüğü sırada içten ölçüm alan LVDT'lerden bazılarının bağının koptuğu görülmüştür. Deneyde elemana 30 mm deformasyon yaptırılarak sonuçlandırılmıştır.

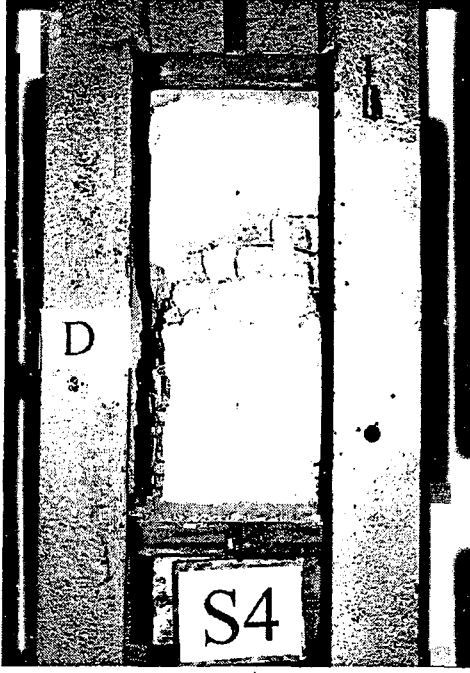
Deney sonunda ölçüm bölgesinin ortasında 1 tane manto etriyesinin açıldığı gözlemlenmiştir.

Deney elemanına ait yükleme öncesi ve sonrası fotoğraflar Şekil 4.40. ve Şekil 4.41. 'de, deney elemanının P- ϵ grafiği ise Şekil 4.42. 'de sunulmuştur. Dış ölçüm bölgesi verileri kullanılarak çizilen Şekil 4.42-b'de, deneyin ilk aşamalarında, elemanın eksenel rijitliğinin değiştiği gözlenmektedir. Bunun başlıca sebebi, elemanın iki uç noktasında, diğer bölgelere göre daha kolay ezilebilen başlıkların bulunmasıdır. Yüklemenin başlaması ile başlık betonlarının tamamen ezilerek sıkışamaz hale gelmesi arasında kaydedilen veriler, elemanın gerçek eksenel rijitliğinin daha geç ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

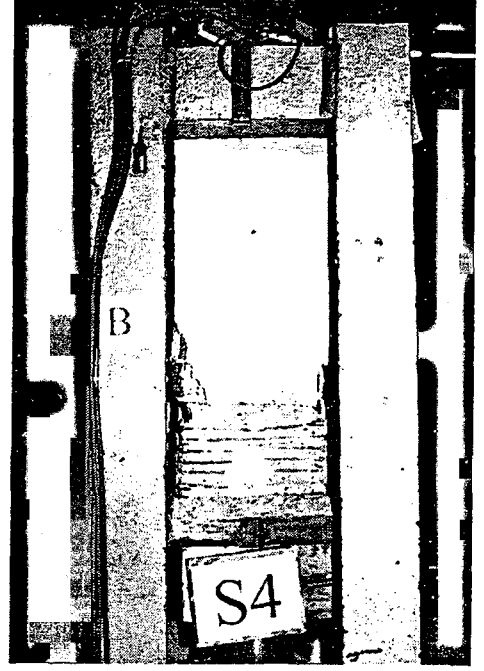




Şekil 4.40. Yükleme öncesi S4 deney elemanı



a) Doğu yüzü



b) Batı yüzü

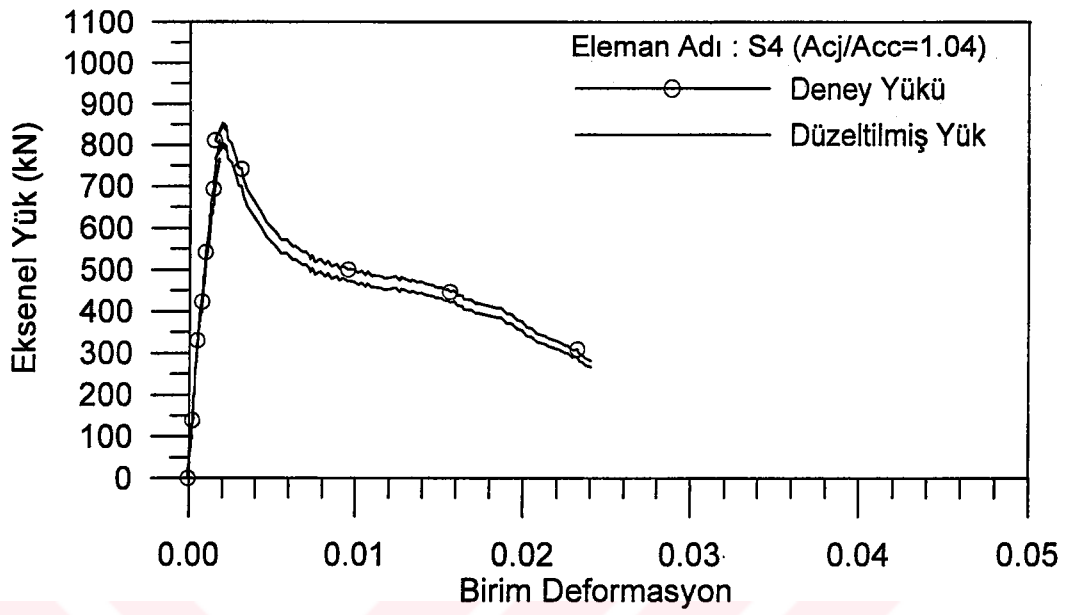


c) Kuzey yüzü

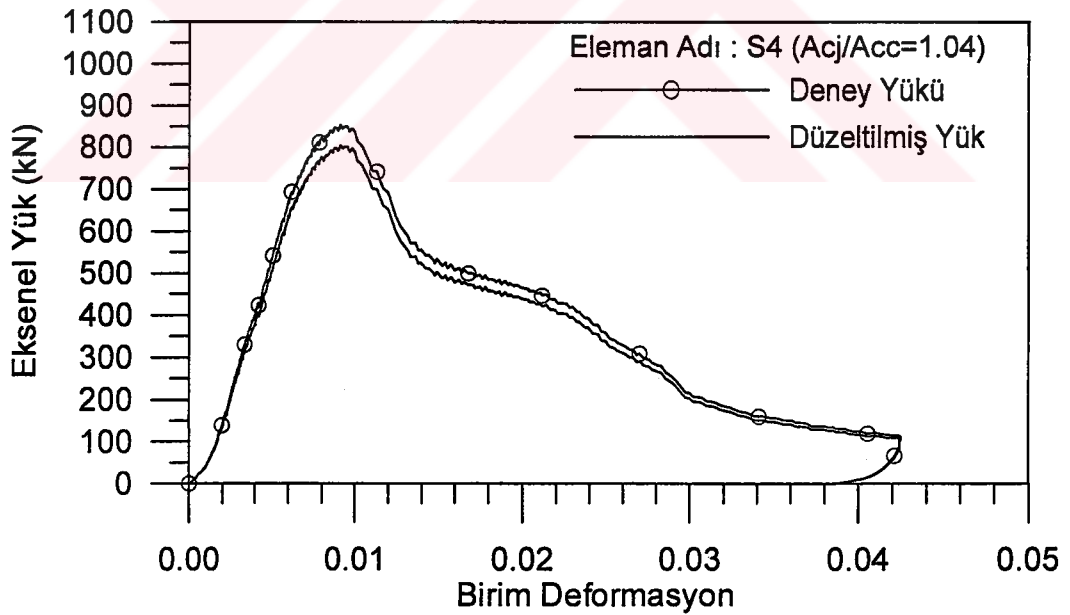


d) Güney yüzü

Şekil 4.41. Deney sonrası S4 elemanın dört yüzden görünümü.



a) İç ölçüm bölgesi



b) Dış ölçüm bölgesi

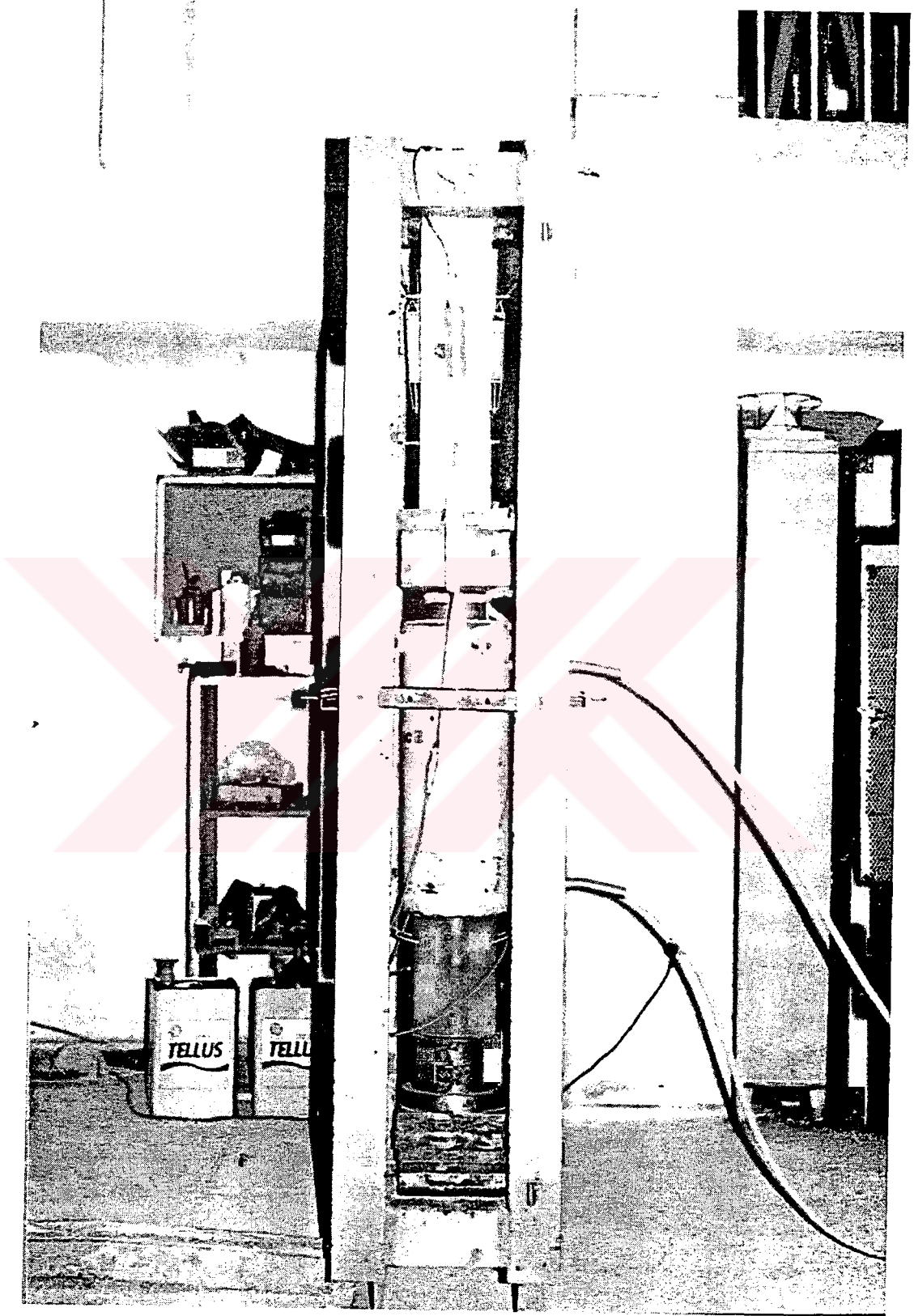
Şekil 4.42. S4 deney elemanının deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi

4.6.8. S5 Deneyi

Elemanda oluşan ilk yükleme etkisi 282 kN yük altında güney-batı köşesinde ölçüm bölgesi dışında alt bölgenin ezilmeye başlamasıdır. Erken gerçekleşen bu ezilmenin muhtemel sebebi elemanın tabanındaki bir kalıp hatasıdır. Artan yük ile bu ezilme ilerlemiştir. Bunun yerine deney normal seyrine girmiş ve ölçüm bölgesi içerisindeki etriye hizasında oluşan badana kabarmaları görülmüştür. İlk kabarma batı yüzünde 2.34 mm deformasyon ve 332 kN aksenal yük altında meydana gelmiştir. Diğer kabarma belirtileri birbiri ardı sıra eş zamanlı olarak meydana gelmiştir. 508 kN'da güney-batı köşesi ölçüm bölgesi dışı üst bölgede kabuk betonunun ezilmeye başladığı gözlemlenmiştir. Yük 743 kN'a çıktığında ise güney üst ölçüm bölgesi ve doğu üst ölçüm bölgesi dışı ezilmeye başladı. 760 kN'luk tepe noktasının aşılması ile ezilmenin hızla ölçüm bölgesi içerisine ilerlediği gözlemlenmiştir. Ezilmenin güney yüzünde ölçüm bölgesi içerisinde 45°'lik bir düzlem oluşturduğu görülmüştür. 423 kN yük altında güney-doğu ve kuzey-doğu köşesindeki donatılarda ölçüm bölgesi içerisinde burkulma gözlemlenmiştir. Yük 393 kN'a düştüğünde kayma düzleminin ilerleyerek güney yüzünde batı alt sınırına ulaştığı gözlemlenmiştir.

Elemanda 20 mm'lik deformasyon oluşmasıyla deneye son verilmiştir. Elemanda manto ve yalın kısımlarda, etriye açılması veya kopması gözlemlenmemiştir. Fakat elemanın yük-deformasyon eğrisinde görülen iniş ve çıkışlara, yükleme düzleminin pürüzlü olmasının sebep olduğu düşünülmektedir. Bu pürüzlü düzey yükün etkisi ile düzleşerek deney elemanının tepe noktasını aşmasıyla olumsuz etkisini kaybetmiştir.

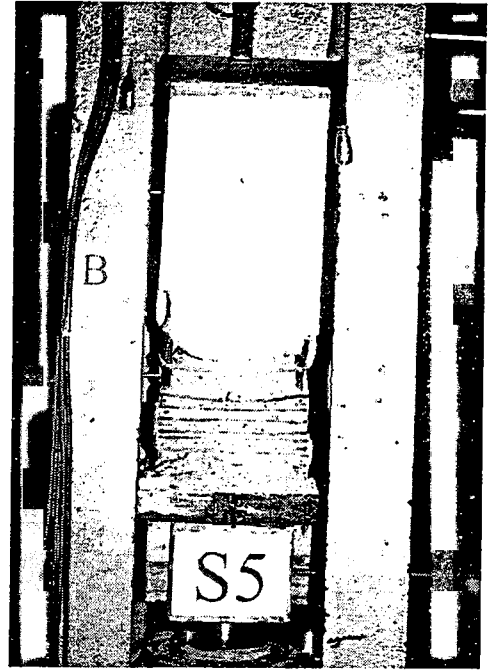
Deney elemanına ait yükleme öncesi ve sonrası fotoğraflar Şekil 4.43. ve Şekil 4.44. 'de, deney elemanının P-ε grafiği ise Şekil 4.45. 'de sunulmuştur. Şekil 4.45-b'de, elemanın aksenal rijitliğinin değiştiği gözlenmiştir. Ancak deneyin seyri sırasında anlatılmış olan uç bölgelerdeki ezilme haricinde bu değişimde başka bir etmenin rol oynamadığı düşünülmektedir.



Şekil 4.43. Yükleme öncesi S5 deney elemanı



a) Doğu yüzü



b) Batı yüzü

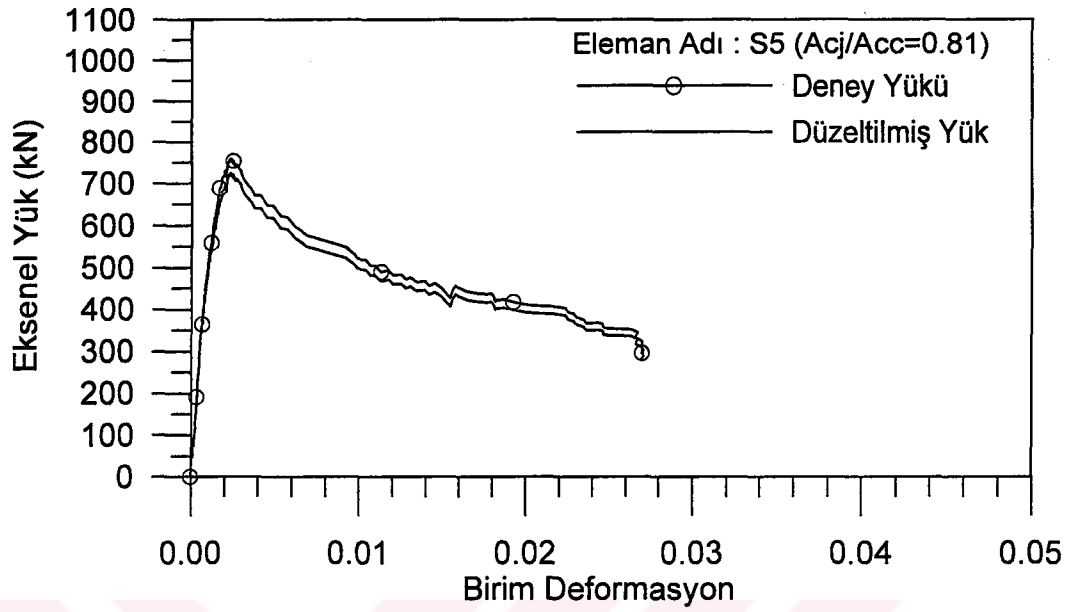


c) Kuzey yüzü

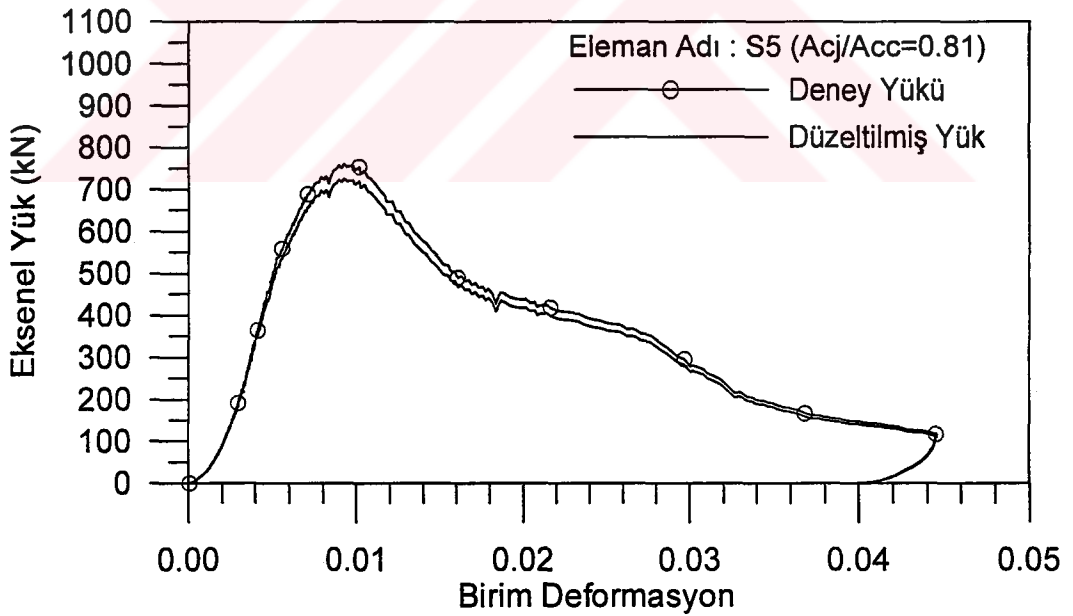


d) Güney yüzü

Şekil 4.44. Deney sonrası S5 elemanın dört yüzden görünümü.



a) İç ölçüm bölgesi



b) Dış ölçüm bölgesi

Şekil 4.45. S5 deney elemanının deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi

4.6.9. S6 Deneyi

426 kN'a ulaşıldığında elemanın güney yüzünde ölçüm bölgesi içerisinde badanada kabarmalar gözlemlenmiştir. 471 kN eksenel kuvvet etkisinde kabarma ölçüm bölgesi içerisinde kalmak şartı ile batı ve doğu yüzlerinde de başlamıştır. 654 kN'a çıkıldığında ise güney-batı köşesinde ölçüm bölgesi dışında üst bölgede ezilme başlamıştır. 777 kN'da güney yüzünde ölçüm bölgesinin üst ve alt sınırında hafif ezilme belirtileri görülmüştür. 898 kN'da güney yüzünde ölçüm bölgesi dışında ezilme başlamıştır. 959 kN'da batı yüzünde elemanın ortasından geçen yaklaşık 0.2 mm kalınlığında düşey bir çatlak görülmüştür. Eleman 3.70 mm deformasyona karşılık 1005 kN taşıyabilmiş ve tepe noktasını geçerek göçmeye başlamıştır. 766 kN'da ölçüm bölgesi içerisinde doğu ve batı yüzlerinde simetrik ezilme gözlemlenmiştir. Eleman 657 kN eksenel kuvvet taşımakta iken batı yüzünde 3 adet yaklaşık 1.5~2 mm kalınlığında düşey çatlak gelişmiştir. 588 kN'da elemanın içinden bir tıklama sesi duyulmuş fakat tespiti yapılamamıştır. 493 kN'da kuzey-doğu köşe donatısı ölçüm bölgesi içinde s çizerek burkulmuştur. 18.36 mm deformasyon ve 417 kN yük altında güney-batı ve güney-doğu köşelerindeki donatılarda ölçüm bölgesi içerisinde burkulmuştur.

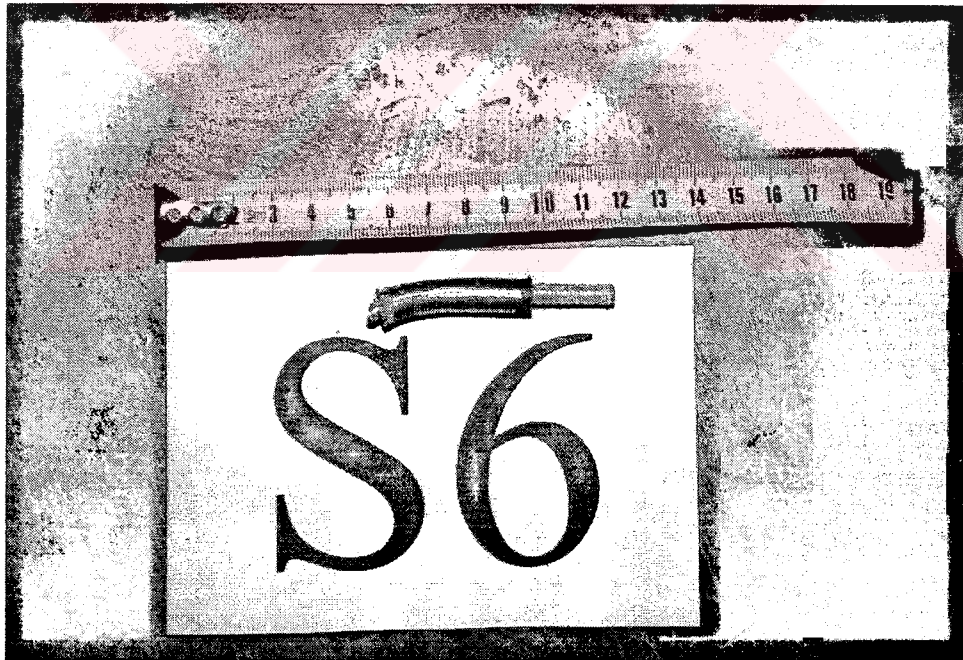
307 kN eksenel kuvvet altında 22.47 mm deformasyon yapan eleman çok hasar görmesine rağmen hâlâ çok iyi davranış gösterdiği için yüklemeye devam edilmiştir. 152 kN'da elemandan ikinci bir ses duyulmuş, bu sefer kopan etriye gözle görülebilmektedir.

Deneyde elemana 40 mm eksenel deformasyon yaptırılmıştır. Göçmeye, kuzey yüzünde üst bölgeden başlayıp güney yüzünde aşağıya doğru ilerleyen ve yatayla 45°'lik açı yapan kayma düzlemi sebep olmuştur. Deney sırasında oluşan düşey çatlaklar, bu deneyde diğer deneylere kıyasla daha başarılı konsantrik yük uygulanmış olduğunu göstermektedir. Bununla beraber katmanlar arasında farklı deformasyondan dolayı güney yüzünde alt

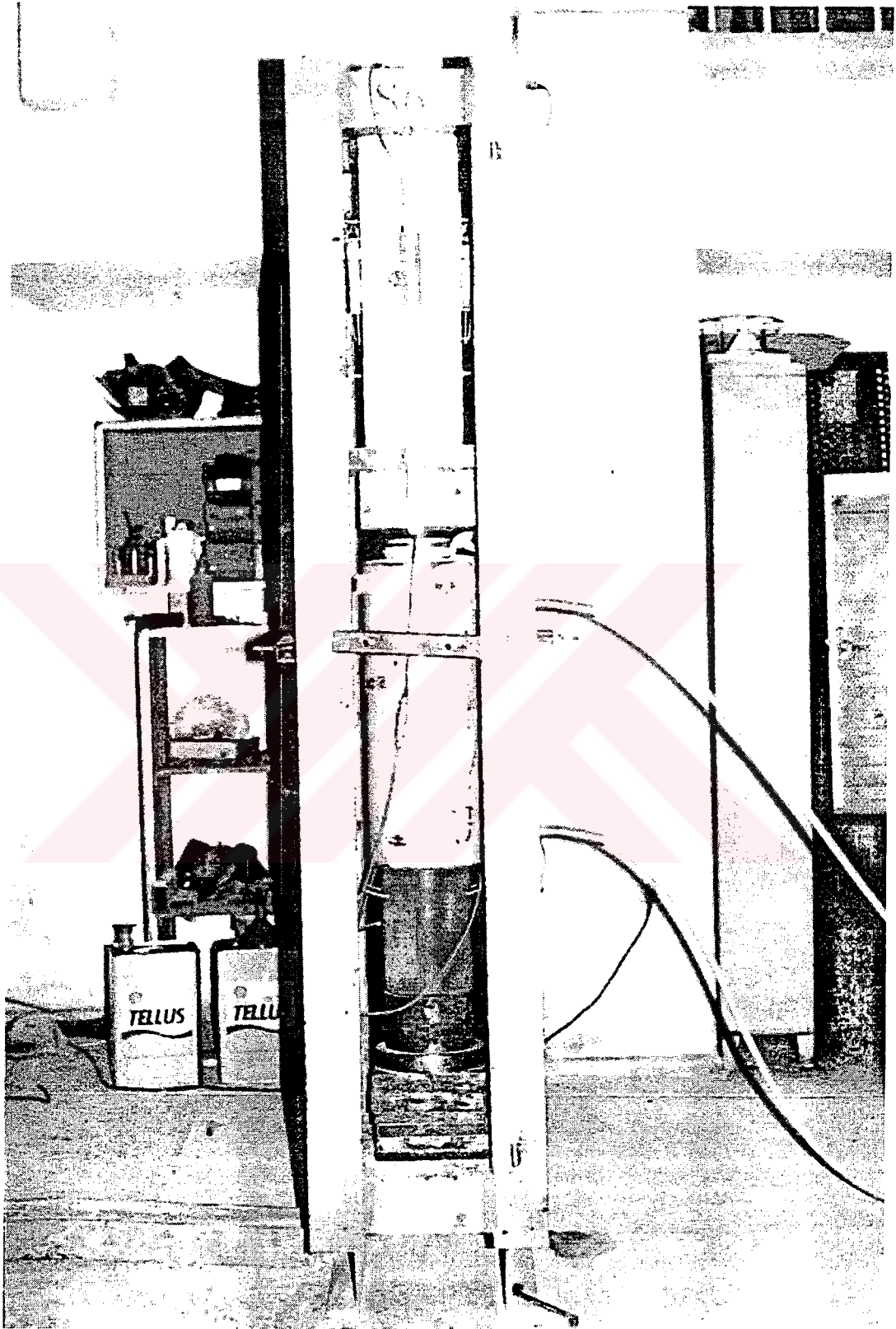
ölçüm saplamasının tam manto ile yalın kolonun birleşti ara yüzeyden kesme etkisi ile koptuğu görülmüştür (Şekil 4.46.). Deney sonunda dikkat edilen bir diğer önemli nokta ise elemanın kuzey yüzünün diğer yüzlere göre daha az hasar gördüğü ve bu sebeple elde edilen eğrinin kuzey yüzü için çok açıklayıcı olamayacağıdır.

Deney elemanına ait yükleme öncesi ve sonrası fotoğraflar Şekil 4.47. ve Şekil 4.48. 'de, deney elemanının P- ϵ grafiği ise Şekil 4.49. 'da sunulmuştur.

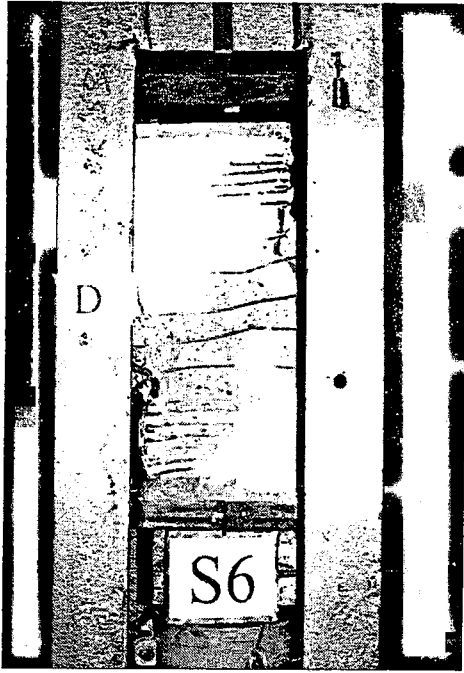
Bu elemanın Şekil 4.49-b'de verilmiş olan normalize aksenal yük - birim deformasyon grafiğinde, deney elemanın uç bölgelerinde daha az ezilme meydana gelmesi sebebiyle elemanın aksenal rijitliğinin daha az değiştiği gözlemlenmiştir.



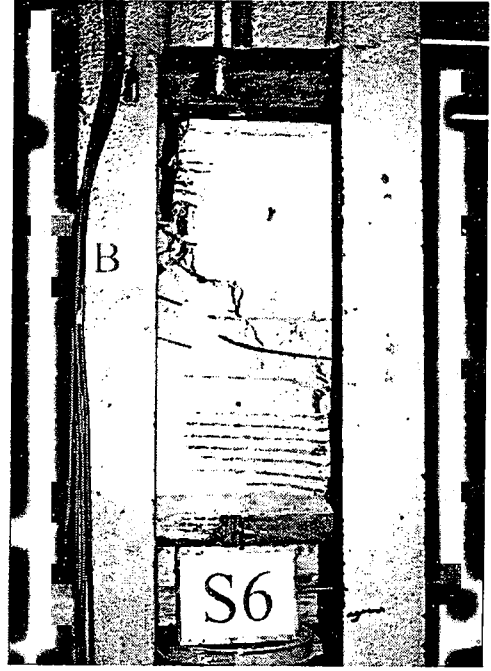
Şekil 4.46. Manto katmanı ve yalın kolon ara yüzündeki kesme etkisi ile kopan saplama çubuğu.



Şekil 4.47. Yükleme öncesi S6 deney elemanı



a) Doğu yüzü



b) Batı yüzü

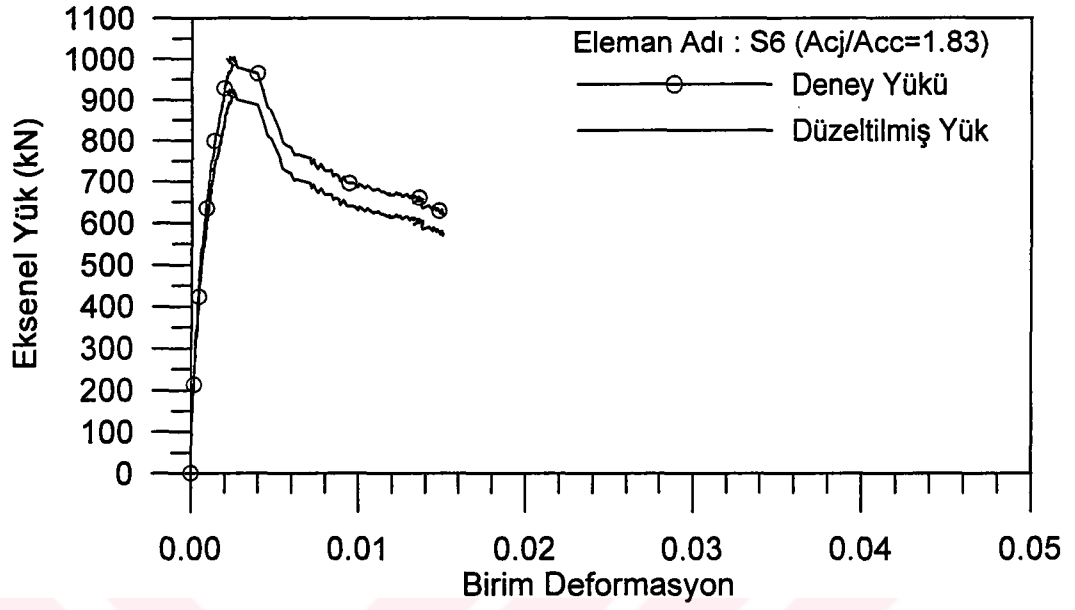


c) Kuzey yüzü

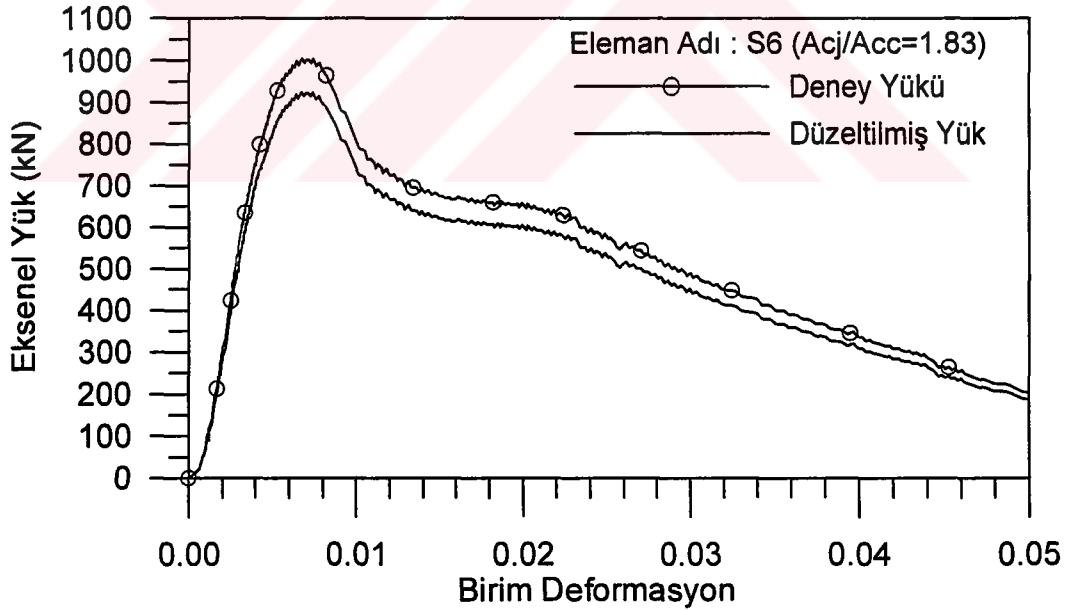


d) Güney yüzü

Şekil 4.48. Deney sonrası S6 elemanın dört yüzden görünümü.



a) İç ölçüm bölgesi



b) Dış ölçüm bölgesi

Şekil 4.49. S6 deney elemanının deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi

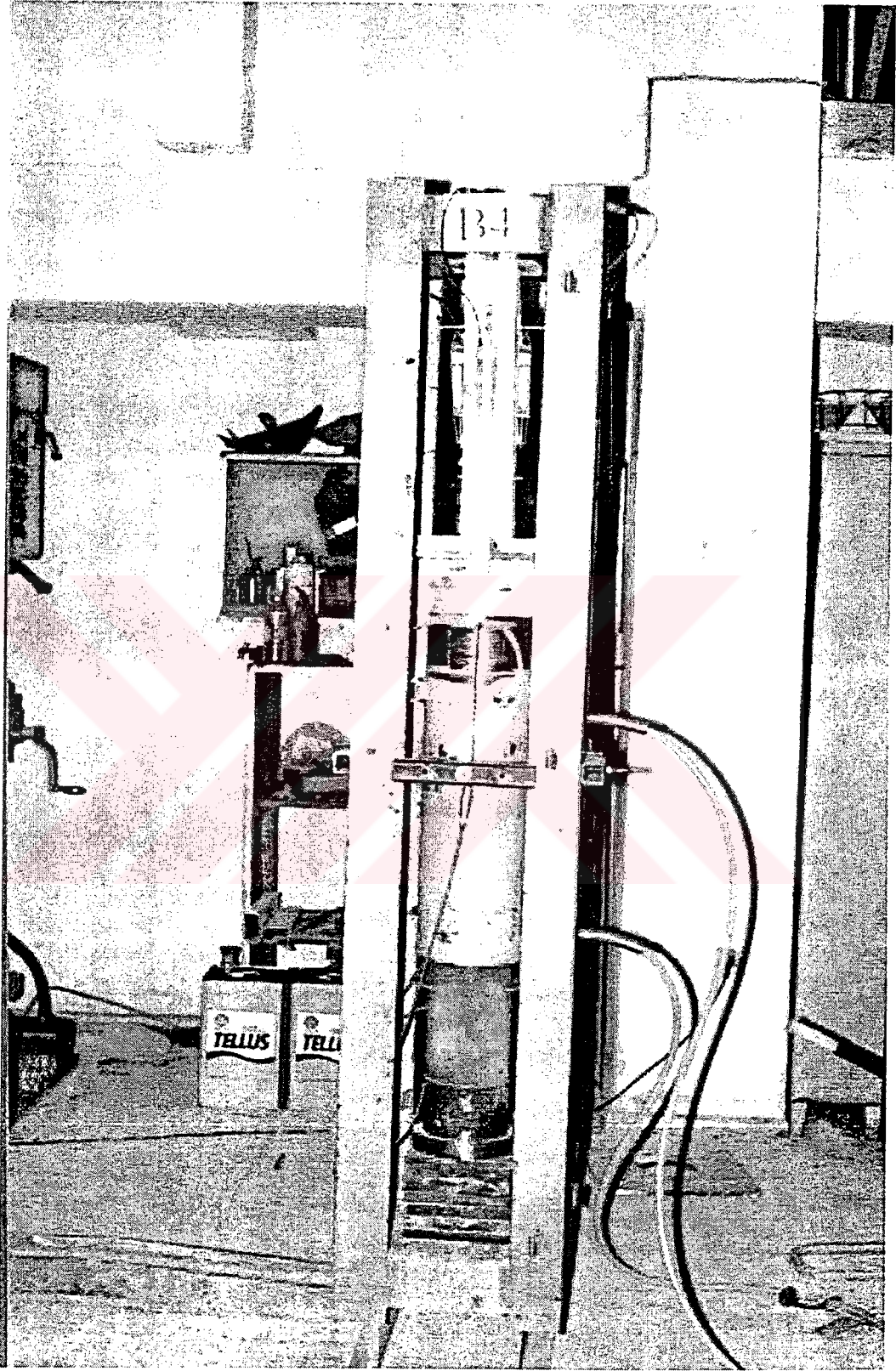
4.6.10. B4 Deneyi

Deney elemanı taşıma gücü eksenel kuvveti olan 300 kN'a 5.32 mm deformasyon altında ulaşmıştır.

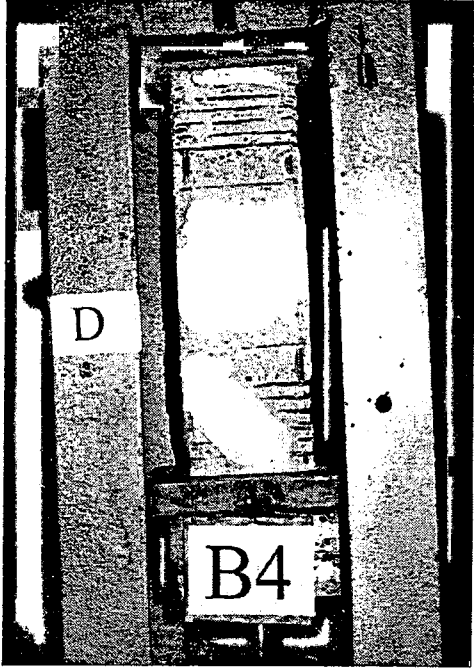
Ezilme ilk önce kendisini, ölçüm bölgesi içerisindeki etriyelerin hizasındaki badana kabarmaları ile belli etmiştir. Artan eksenel kuvvet etkisi altında rijit bölgedeki kabuk betonunda dökülmeler meydana gelmiştir. Batı yüzü alt rijit bölgesini ve doğu yüzündeki üst rijit bölgeyi birleştiren ezilme hattı elemanın taşıma gücüne ulaşmasında etkin olmuştur.

Deneyde elemana aşırı bir hasar verilmemesine özen gösterilmiştir. Boyuna donatılar güney-batı köşesi ölçüm bölgesi dışı hariç olmak üzere kabuk betonunu atmıştır. Ancak hiçbir burkulma seviyesine ulaşmamıştır. Deneye elemandaki davranışa göre son verilmiştir. Elemanda, deney sona erdiği anda 267 kN eksenel yüke karşılık 5.81 mm toplam deformasyon meydana gelmiştir.

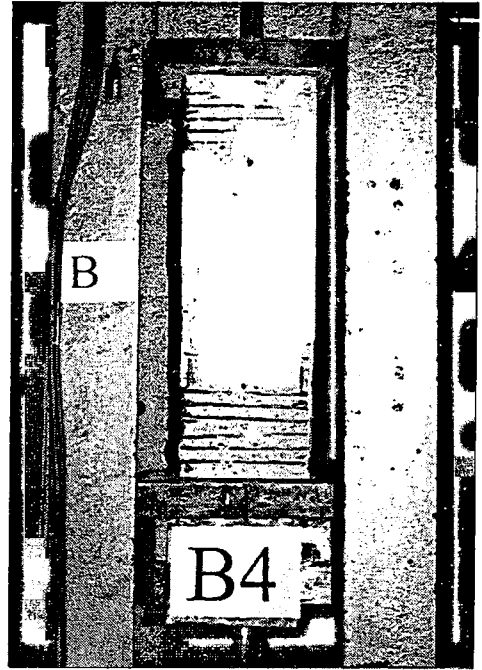
Deney elemanına ait yükleme öncesi ve sonrası fotoğraflar Şekil 4.50. ve Şekil 4.51. 'de, deney elemanının P- ϵ grafiği ise Şekil 4.52. 'de sunulmuştur.



Şekil 4.50. Yükleme öncesi B4 deney elemanı



a) Doğu yüzü



b) Batı yüzü

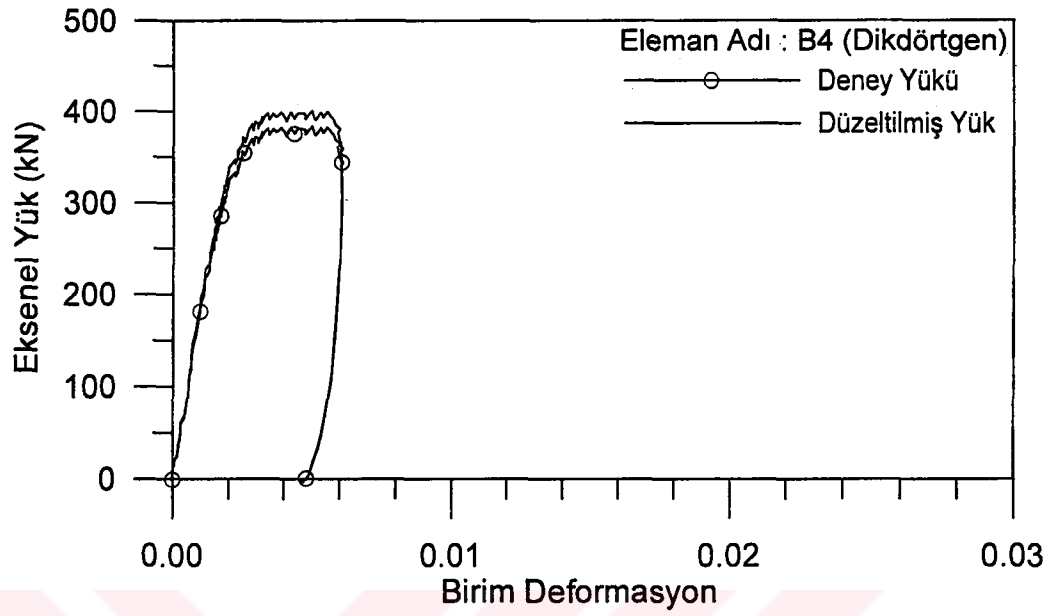


c) Kuzey yüzü

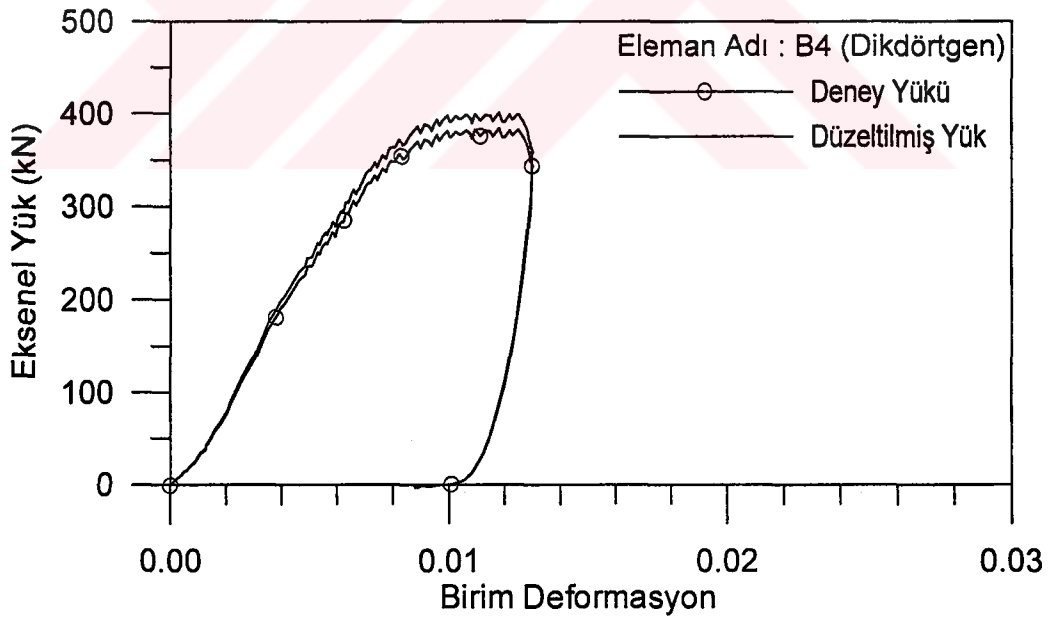


d) Güney yüzü

Şekil 4.51. Deney sonrası B4 elemanın dört yüzden görünümü.



a) İç ölçüm bölgesi



b) Dış ölçüm bölgesi

Şekil 4.52. Dikdörtgen kesitli yalın (B4) deney elemanının deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi

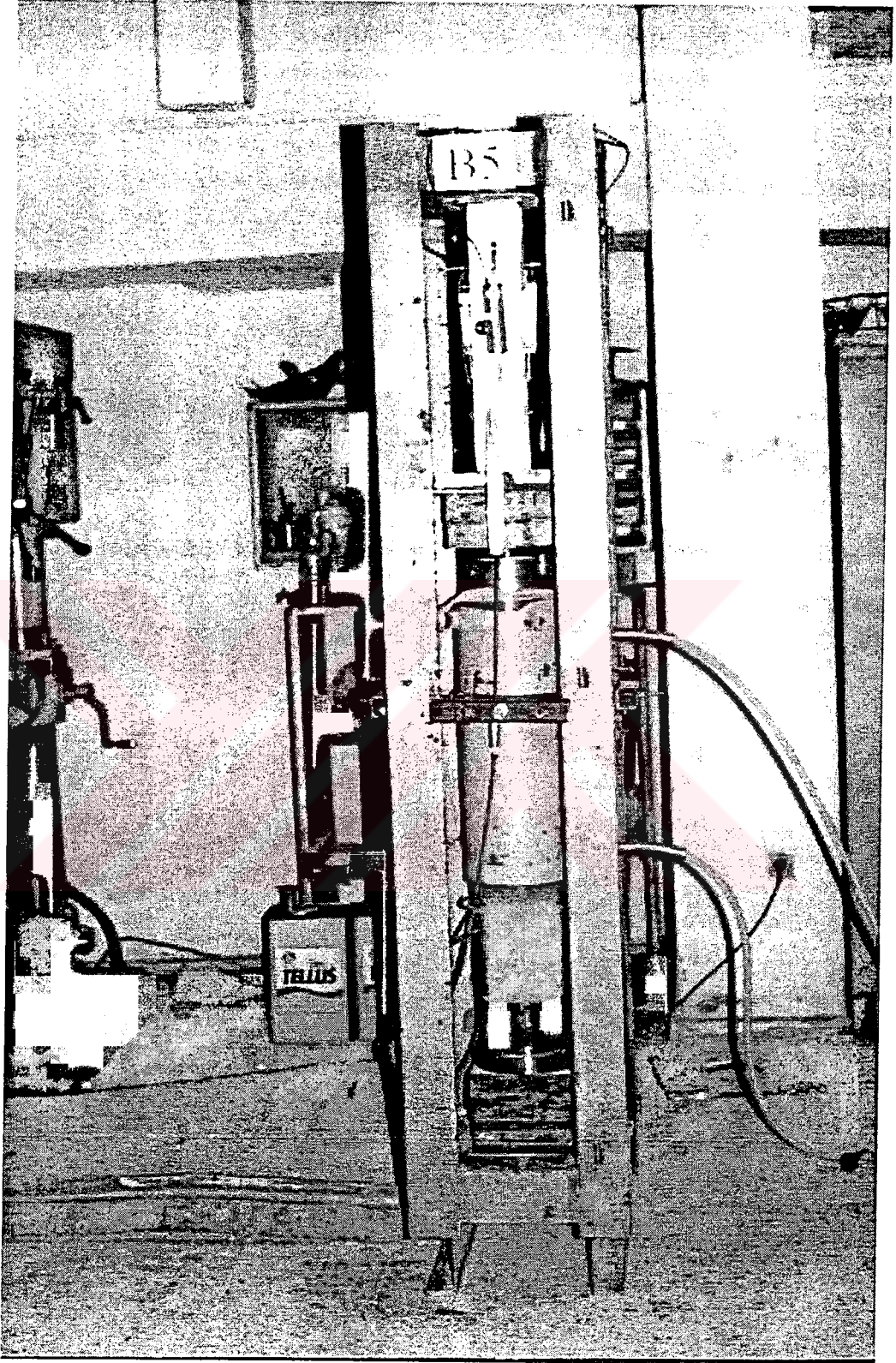
4.6.11. B5 Deneyi

Eleman elemanı taşıma gücü olan 272 kN'luk eksenel yük seviyesine eriştiği anda elemandaki toplam deformasyon 10.07 mm olarak kaydedilmiştir.

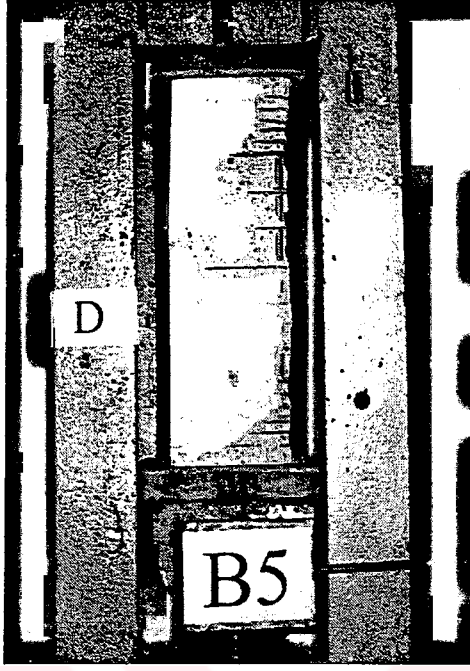
Ezilme özellikle batı, kuzey ve doğu yüzlerinde gelişmiştir. Elemanın güney yüzünde diğer bölgelere kıyasla daha az bir hasar meydana gelmiştir. Bu yüzün gördüğü hasar, ölçüm bölgesi içerisinde meydana gelen kılcal çatlaklar ve ölçüm bölgesi dışında ise güney-batı köşesindeki alt ve üst rijit bölgede kabuk betonunun dökülmesinden daha ileri gidememiştir. Diğer bölgelerde ise özellikle kuzey yüzünde kabuk betonunun büyük bir kısmı dökülmüştür. Bu elemanda aşırı bir eksenel deformasyonun meydana gelmesinin sebebi rijit bölgelerin köşelerinden aldığı erken hasarlardır. Bu sebeple elemanın taşıdığı eksenel kuvvet değeri de alt seviyede kalmıştır.

Deneyin sonlandırılmasına eleman üzerinde yapılan gözlemler neticesinde karar verilmiştir. 11.08 mm toplam deformasyon yapan eleman 222 kN yük seviyesinde iken deneye son verilmiştir.

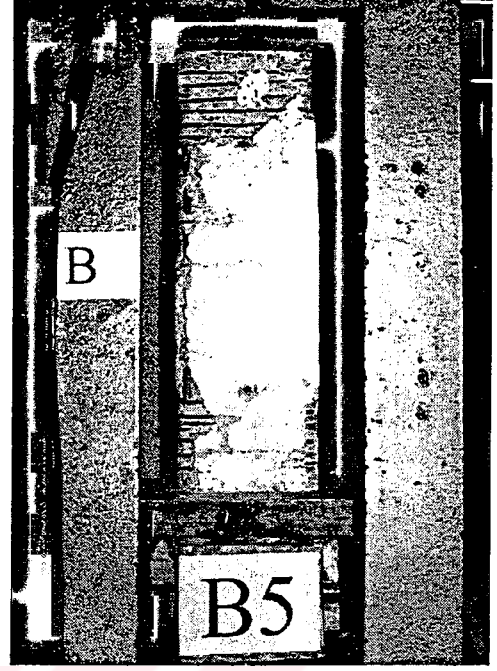
Deney elemanına ait yükleme öncesi ve sonrası fotoğraflar Şekil 4.53. ve Şekil 4.54. 'de, deney elemanının P-ε grafiği ise Şekil 4.55. 'de sunulmuştur.



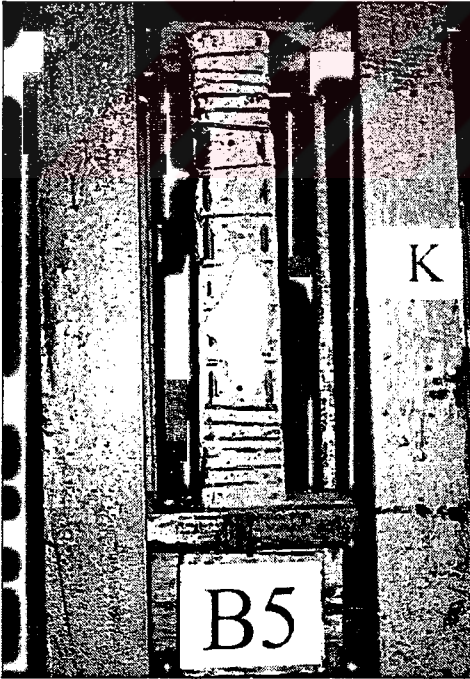
Şekil 4.53. Yükleme öncesi B5 deney elemanı



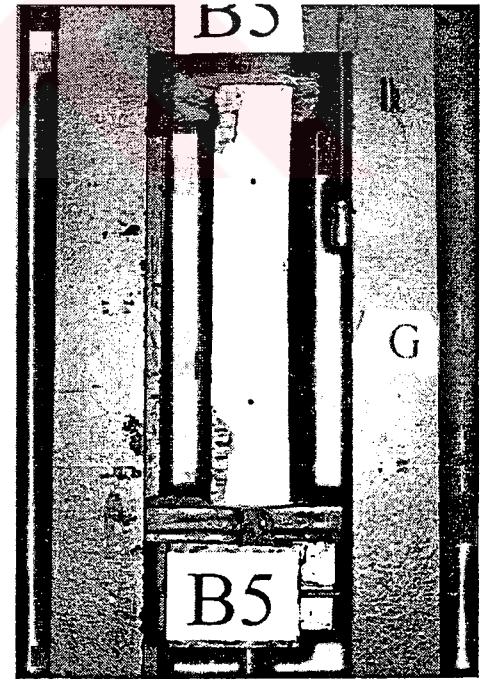
a) Doğu yüzü



b) Batı yüzü

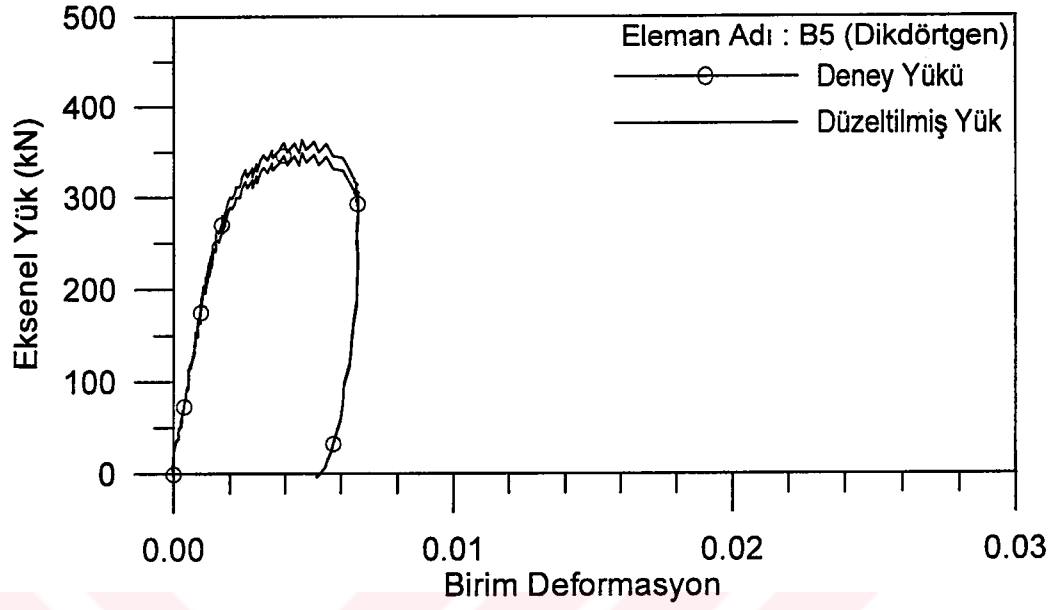


c) Kuzey yüzü

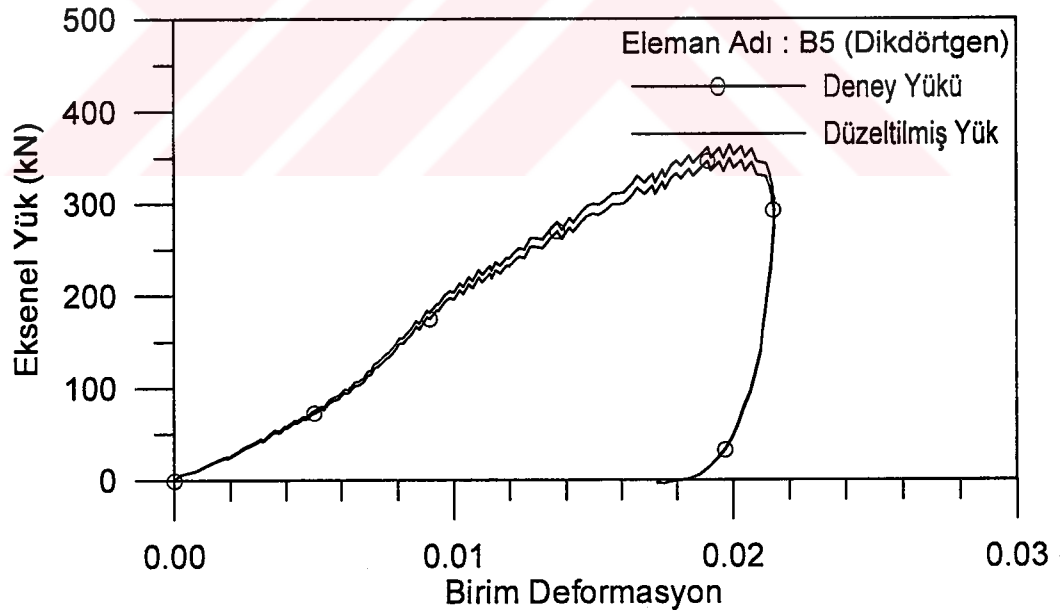


d) Güney yüzü

Şekil 4.54. Deney sonrası B5 elemanın dört yüzden görünümü.



a) İç ölçüm bölgesi



b) Dış ölçüm bölgesi

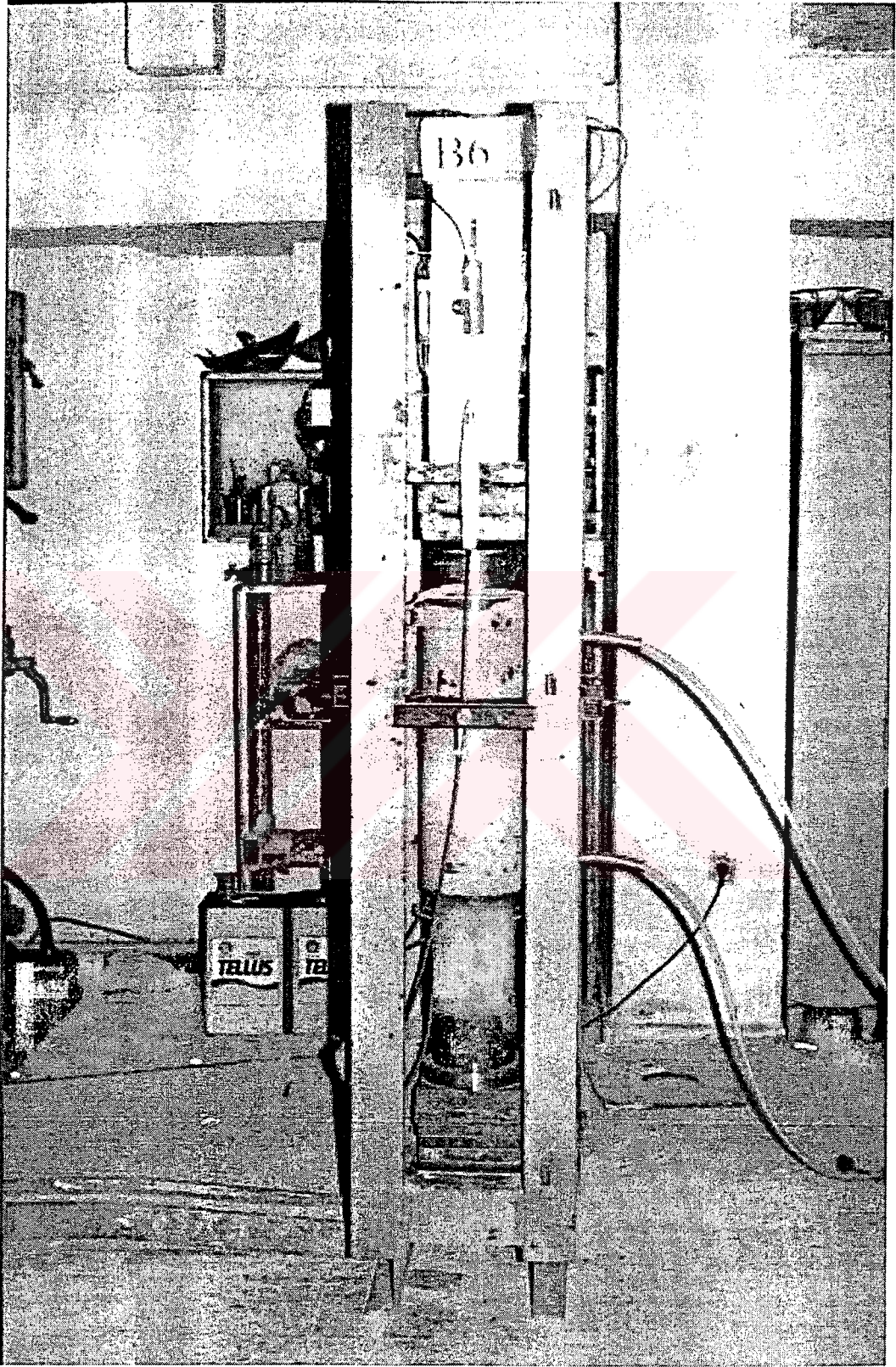
Şekil 4.55. Dikdörtgen kesitli yalın (B5) deney elemanının deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi

4.6.12. B6 Deneyi

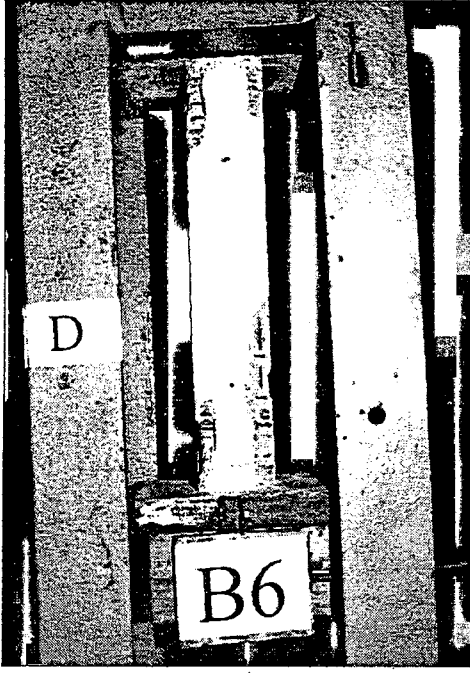
Eleman $\delta=4.80$ mm eksenel deformasyon düzeyinde taşıma gücü olan 288 kN'a ulaşmıştır.

Eleman oldukça iyi bir şekilde davranış göstermiş, dört yüzünde de benzer yükleme etkilerinin görülmesine imkan vermiştir. Ancak bu elemanda da rijit bölgenin en alt ve en üst noktalarında meydana gelen erken ezilmeler elemanın davranışına yön vermiştir. Yapılan gözlemler sonucunda boyuna donatılarda burkulma görülmemiştir. Eleman 242 kN'a karşılık, 5.30 mm deformasyona uğradığı anda deneye son verilmiştir.

Deney elemanına ait yükleme öncesi ve sonrası fotoğraflar Şekil 4.56. ve Şekil 4.57. 'de, deney elemanının P- ϵ grafiği ise Şekil 4.58. 'de sunulmuştur. Şekil 4.58-b 'deki yaklaşık 50 kN'luk eksenel yük seviyesine kadar süren kırıklık, diğer deneylerde de gözlemlenmiş olan uç bölge ezilmesinin verilere yansımastır.



Şekil 4.56. Yükleme öncesi B6 deney elemanı



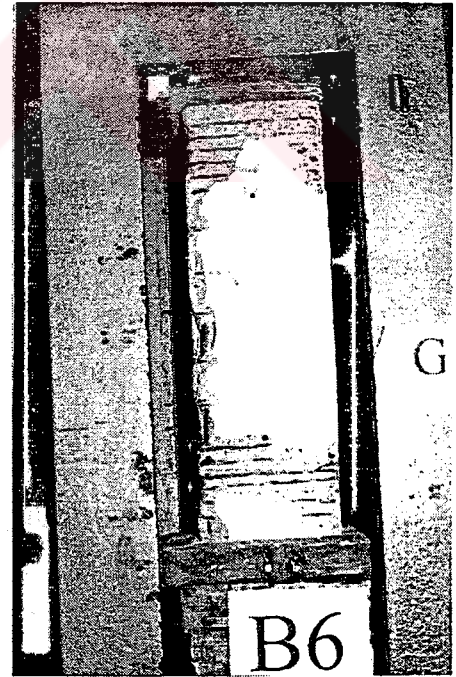
a) Doğu yüzü



b) Batı yüzü

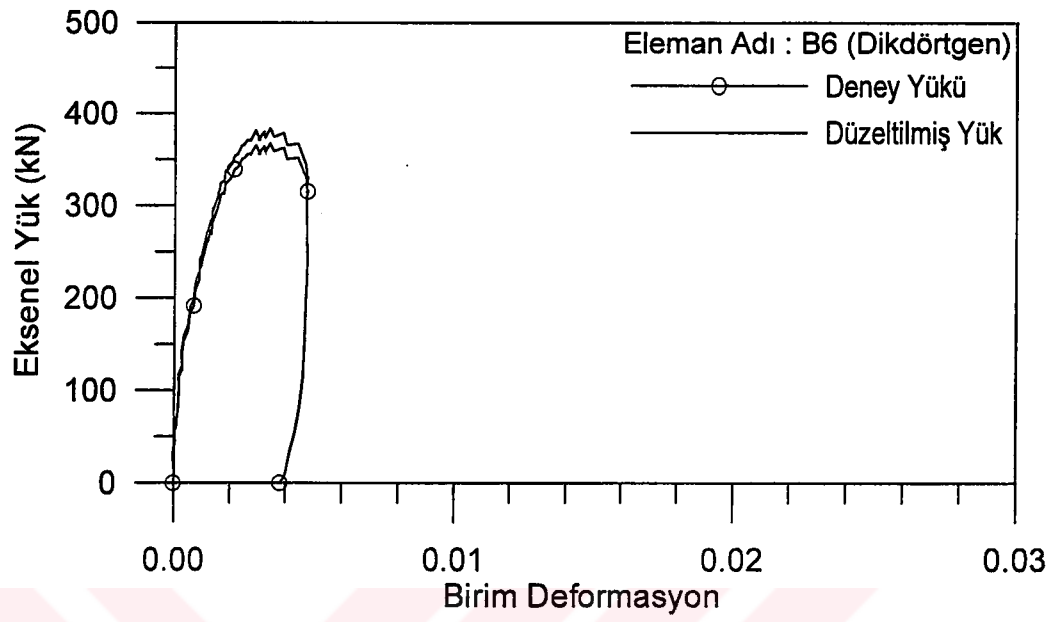


c) Kuzey yüzü

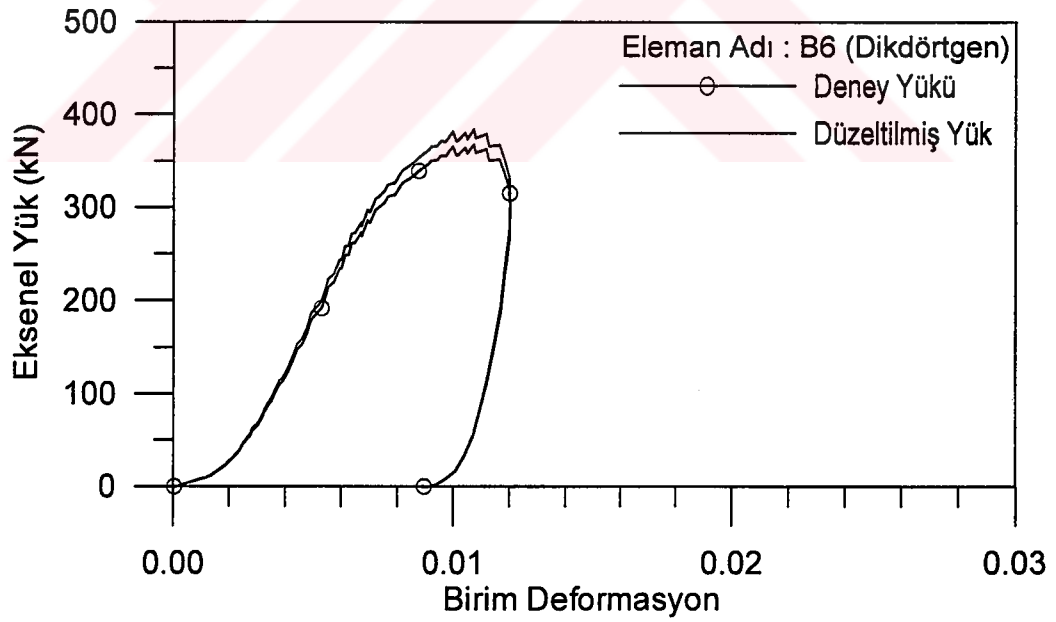


d) Güney yüzü

Şekil 4.57. Deney sonrası B6 elemanın dört yüzden görünümü.



a) İç ölçüm bölgesi



b) Dış ölçüm bölgesi

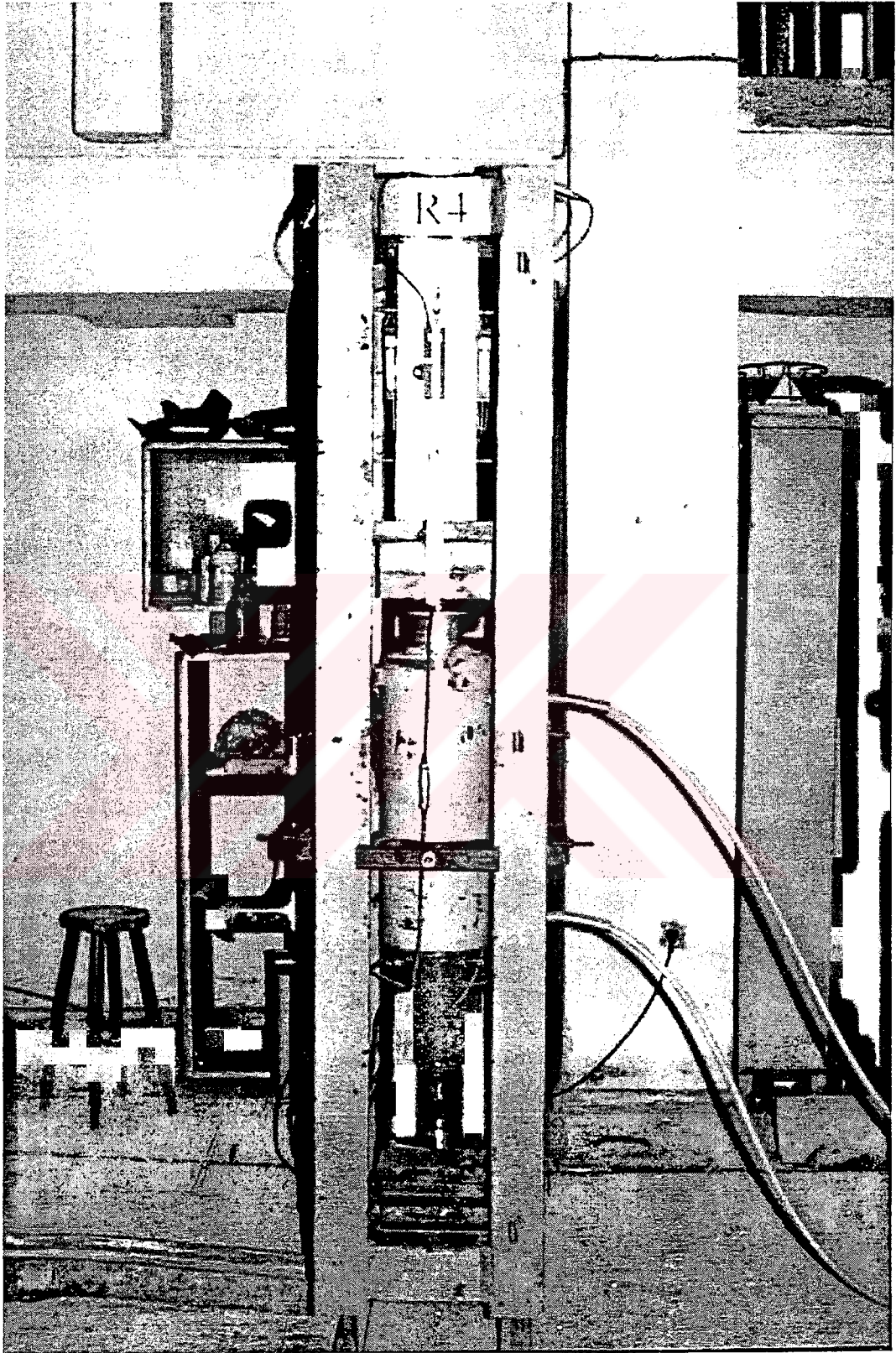
Şekil 4.58. Dikdörtgen kesitli yalın (B6) deney elemanının deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi

4.6.13. R4 Deneyi

374 kN ve 1.91 mm'lik eksenel deformasyon altında batı yüzünde ölçüm bölgesi içerisinde ve dışında badanada kabarmalar gözlenmiştir. Yük 561 kN'a çıkarıldığında kuzey-doğu köşesinde ölçüm bölgesi dışında üst bölgede ezilme görülmüştür. 626 kN'da doğu yüzünde ölçüm bölgesi dışında alt alında ezilme belirtisi gözlemlenmiştir. 722 kN eksenel yük seviyesinde başlık ve alınlarda ilerleyen ezilme orta bölgeye kaymıştır. Eleman 725 kN'luk tepe noktasını aniden aşarak dört yüzde de aynı anda orta bölge ezilmiştir. Hepsini ölçüm bölgesi içerisinde olmak üzere 9.14 mm deformasyon ve 438 kN'luk eksenel kuvvet altında kuzey-batı, güney-batı, güney-doğu ve kuzey-doğu donatıları burkulmuştur. 18.22 mm deplasman ve 187 kN yük etkisinde kuzey yüzünde bir etriyenin koptuğu görülmüştür.

Deney sonunda elemana 30 mm deformasyon yaptırılmıştır. Kayma düzlemi güney yüzden bakılınca batı üst yüzden başlayıp, doğu alt yüzde bitmektedir. Kayma düzlemi yatayla yaklaşık olarak 45°'lik açı yapmaktadır.

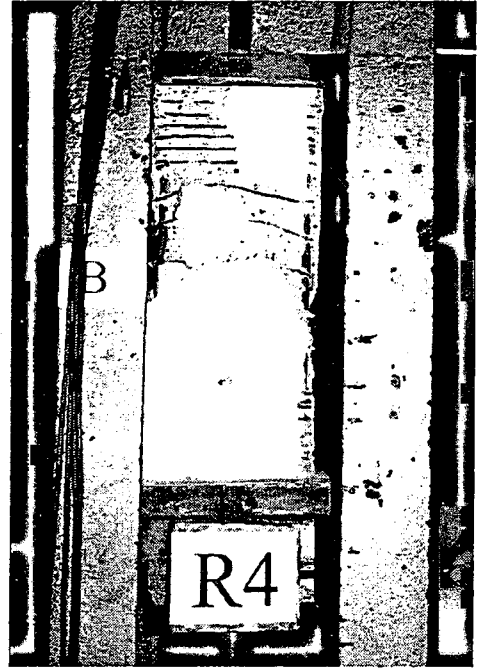
Deney elemanına ait yükleme öncesi ve sonrası fotoğraflar Şekil 4.59. ve Şekil 4.60. 'de, deney elemanının P- ϵ grafiği ise Şekil 4.61. 'de sunulmuştur.



Şekil 4.59. Yükleme öncesi R4 deney elemanı



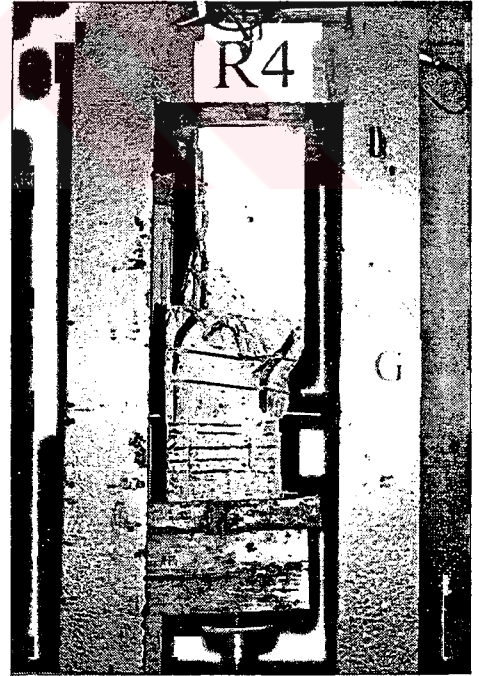
a) Doğu yüzü



b) Batı yüzü

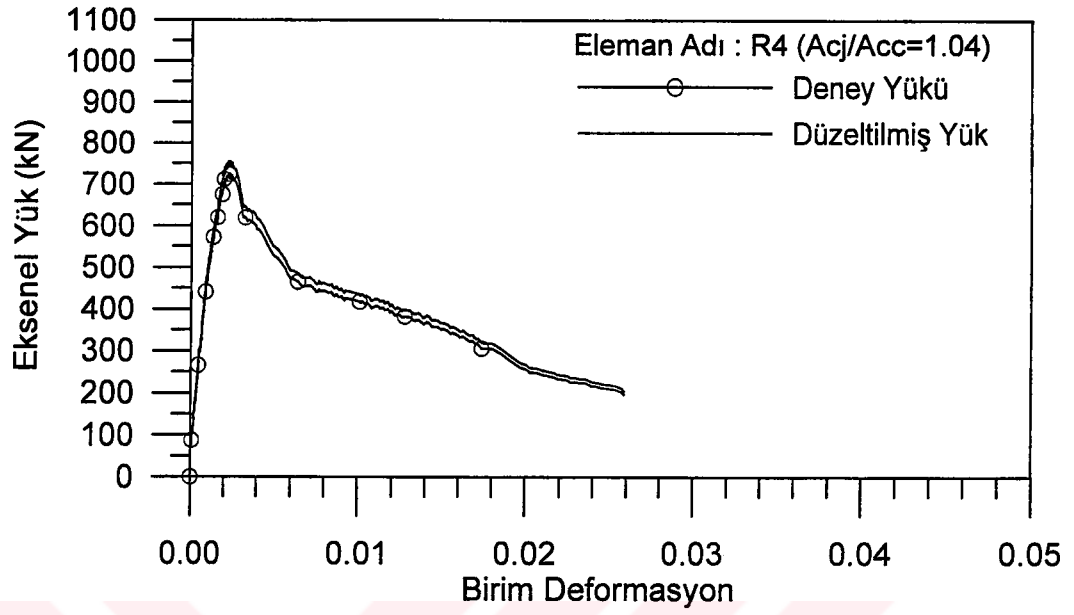


c) Kuzey yüzü

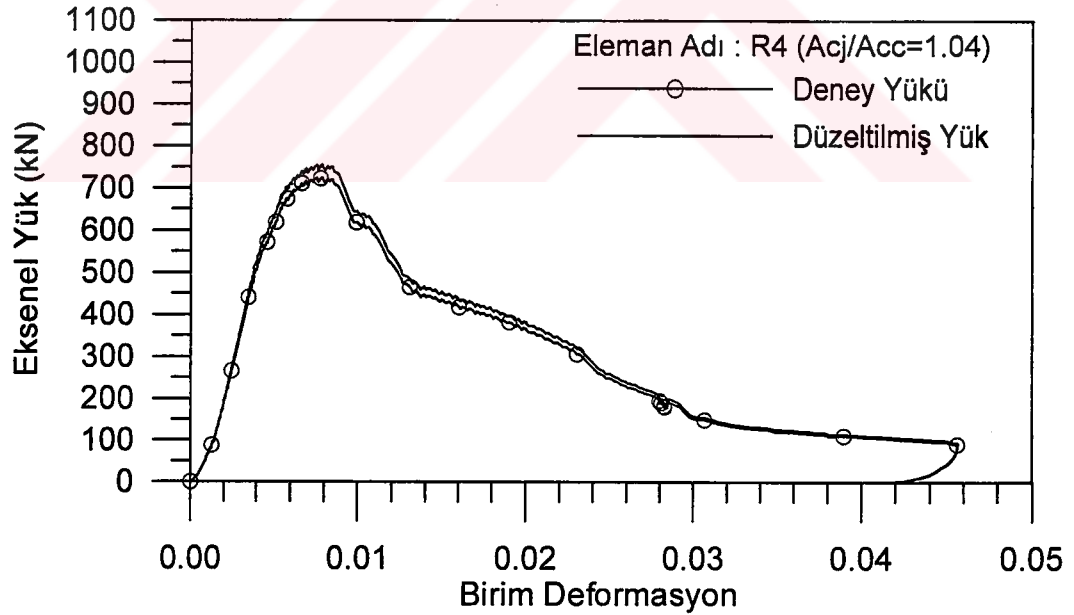


d) Güney yüzü

Şekil 4.60. Deney sonrası R4 elemanın dört yüzden görünümü.



a) İç ölçüm bölgesi



b) Dış ölçüm bölgesi

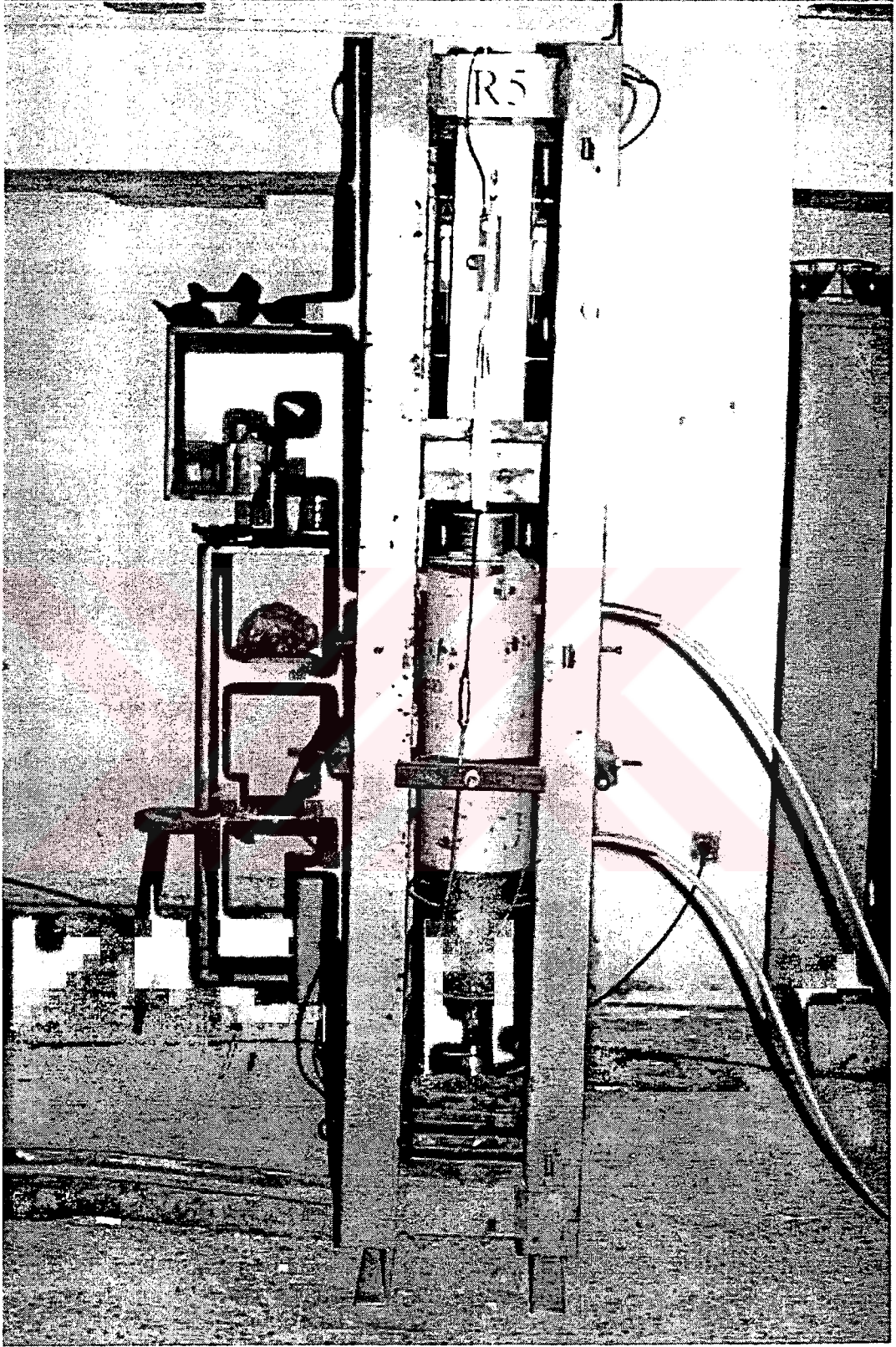
Şekil 4.61. R4 deney elemanının deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi

4.6.14. R5 Deneyi

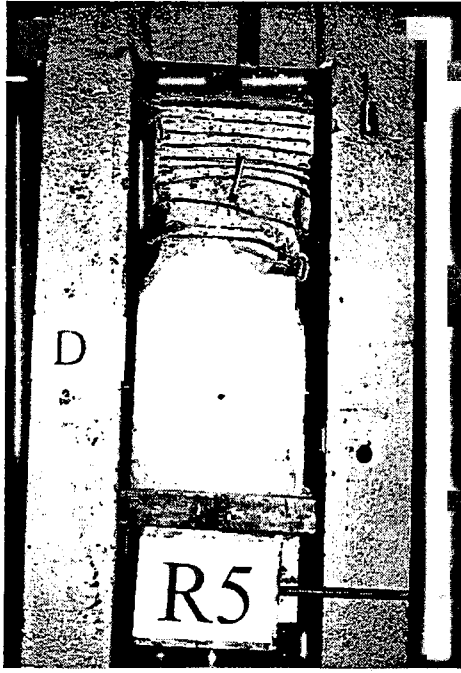
Badana kabarmaları 294 kN'luk eksenel kuvvet etkisi altında doğu yüzünde ölçüm bölgesi içinde başlamıştır. Yükün 334 kN seviyesine çıkmasıyla ezilme güney-doğu köşesinde ölçüm bölgesi dışında alt bölgede başlamıştır. Daha sonra 450 kN yük altında kuzey-doğu köşesi ölçüm bölgesi dışında ezilme görülmüştür. 564 kN'da kuzey yüzü ölçüm bölgesi dışında alt alın hafif bir şekilde ezilmiştir. Yük 615 kN'a çıktığında ise doğu yüzü ölçüm bölgesi dışında alt alın ve batı yüzü ölçüm bölgesi dışında alt bölgede ezilme gözlemlenmiştir. 694 kN ve 3.29 mm deformasyon altında tepe değerini aşan deney elemanı ani bir şekilde ezilerek göçmüştür. Ezilme ilk olarak ölçüm bölgesi dışında başlamıştır. Fakat 538 kN ve 5.52 mm deplasman okunduğu anda ezilme ölçüm bölgesi içerisinde etkili olmuştur. 404 kN'da kuzey-doğu, kuzey-batı ve güney-doğu köşelerindeki boyuna donatıların ölçüm bölgesi içerisinde burkulduğu görülmüştür. Güney-batı köşesindeki donatı ise 339 kN eksenel kuvvet altında ölçüm bölgesi içinde burkulmuştur. Elemandan sırasıyla 187.2 kN, 110 kN, 82.9 kN, 73.9 kN ve 73.3 kN'luk eksenel kuvvet değerleri sırasında 5 adet etriyenin koptuğu anlaşılmıştır. 110 kN'luk eksenel kuvvet uygulandığı sırada kopan etriyenin kuzey yüzünde ölçüm bölgesinin üst kısmındaki yalın kolon etriyesi oluştu anlaşılmıştır. Özellikle bu yüzde boyuna donatının ciddi bir şekilde burkulduğu da gözlemlenmiştir. Kopan son etriyenin de kuzey yüzünde olduğu ve ölçüm bölgesi içinde alt bölgede olduğu anlaşılmıştır.

Deney sırasında elemana 30 mm deformasyon yaptırılmıştır. Kayma düzleminin doğu yüzünde üst bölgeden başlayıp, batı yüzünde alt bölgede sona erdiği gözlemlenmiştir.

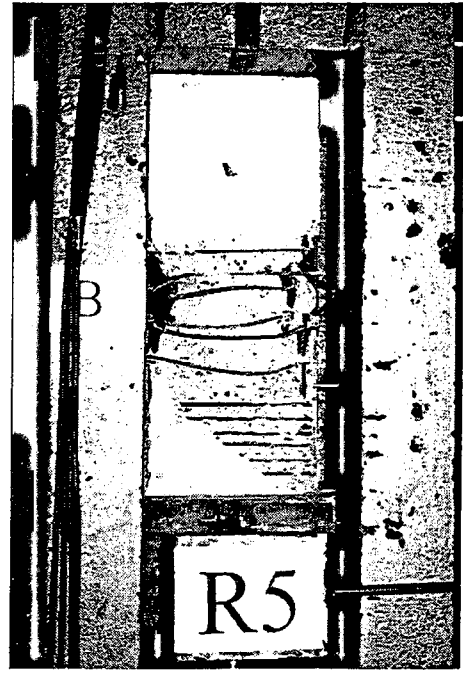
Deney elemanına ait yükleme öncesi ve sonrası fotoğraflar Şekil 4.62. ve Şekil 4.63. 'de, deney elemanının P-ε grafiği ise Şekil 4.64. 'de sunulmuştur.



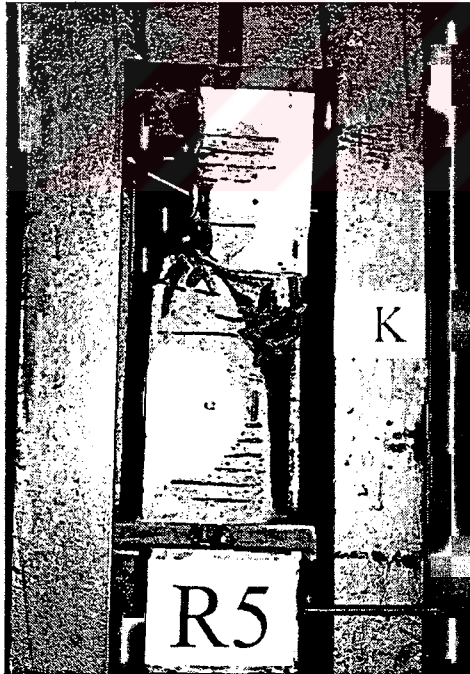
Şekil 4.62. Yükleme öncesi R5 deney elemanı



a) Doğu yüzü



b) Batı yüzü

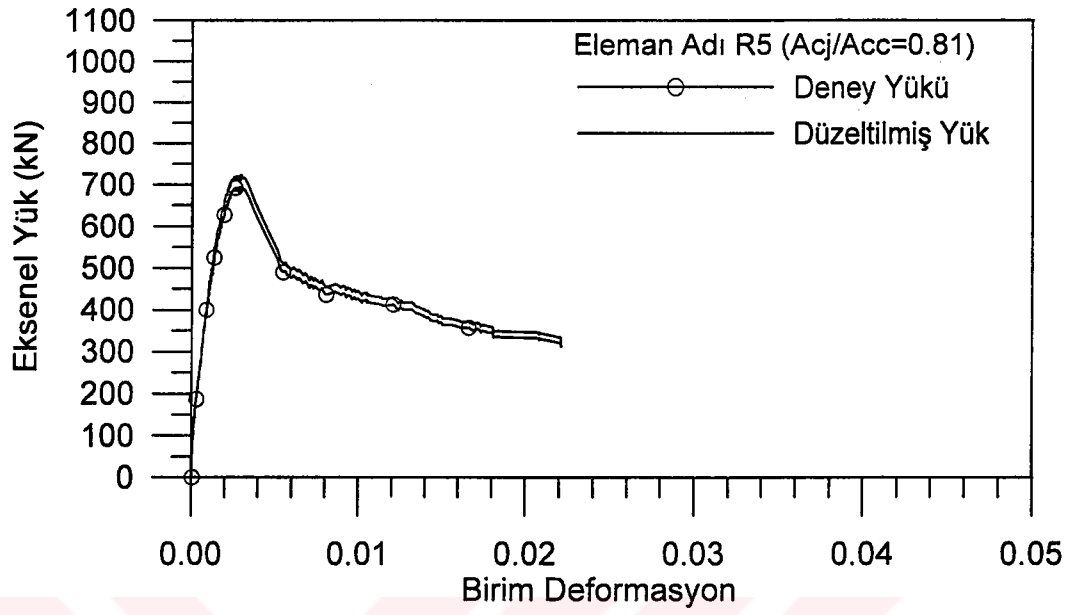


c) Kuzey yüzü

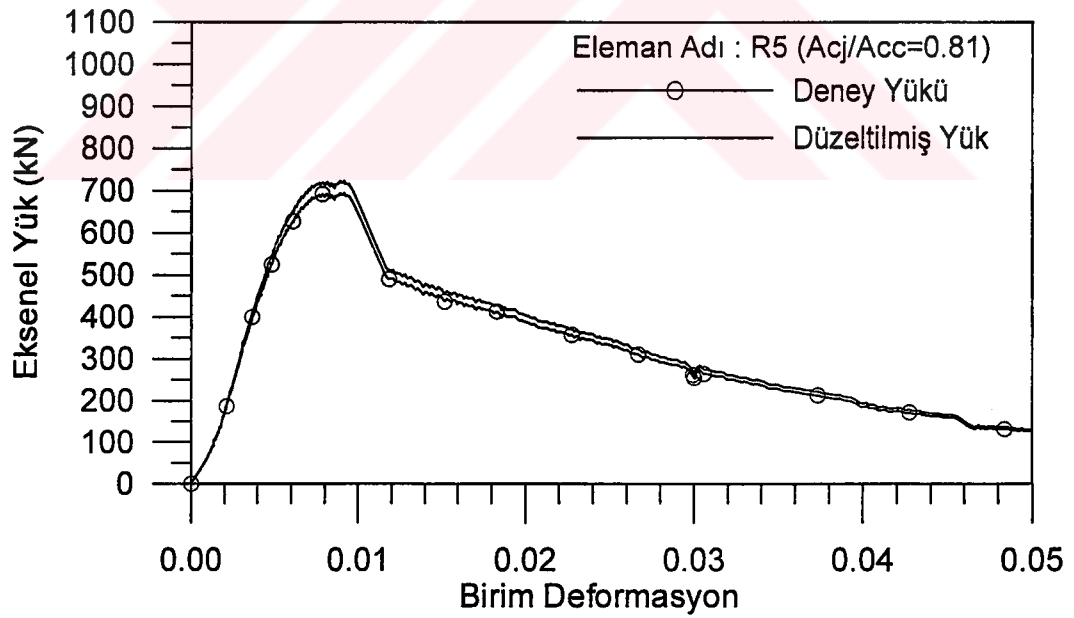


d) Güney yüzü

Şekil 4.63. Deney sonrası R5 elemanın dört yüzden görünümü.



a) İç ölçüm bölgesi



b) Dış ölçüm bölgesi

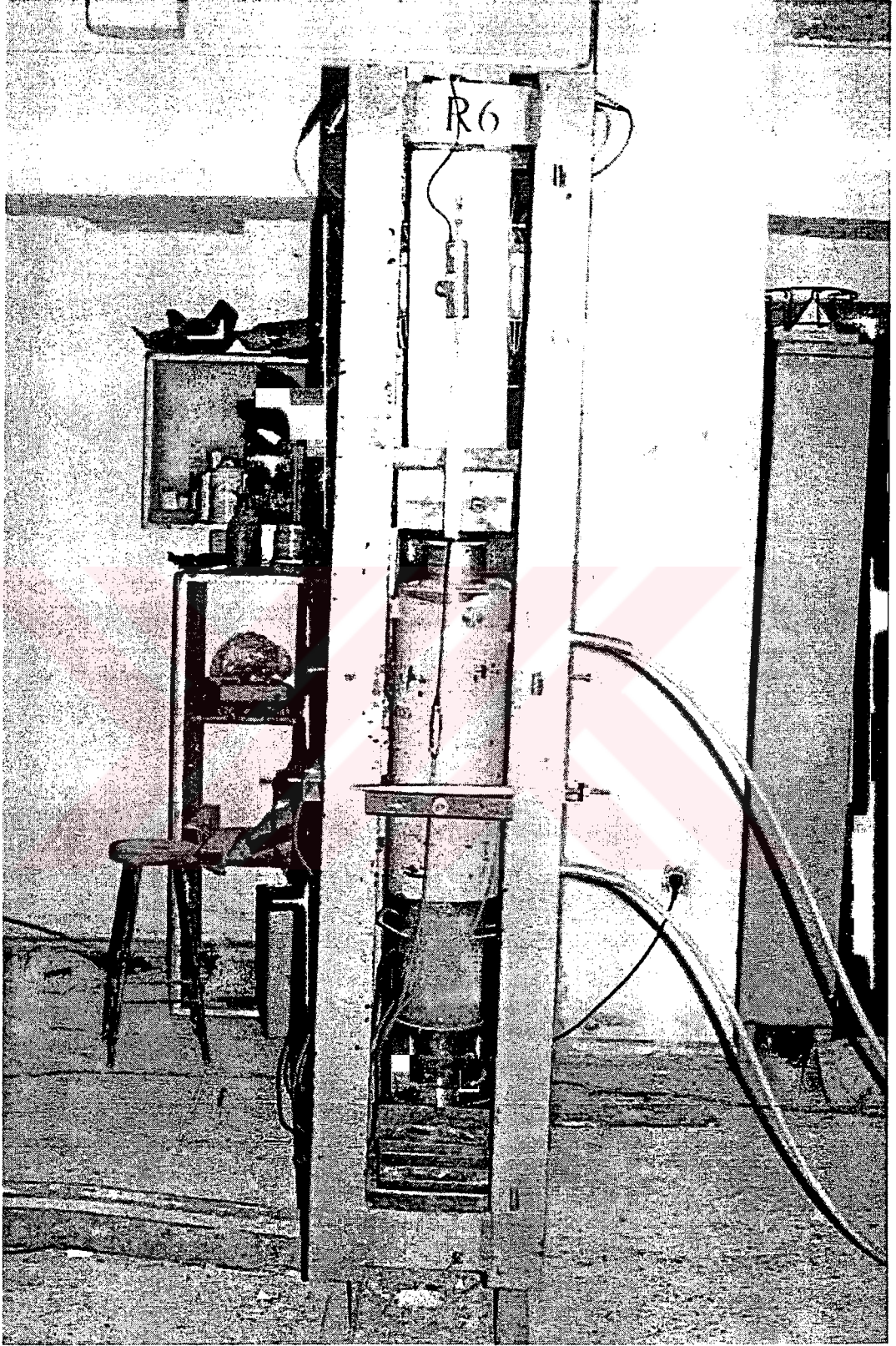
Şekil 4.64. R5 deney elemanının deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi

4.6.15. R6 Deneyi

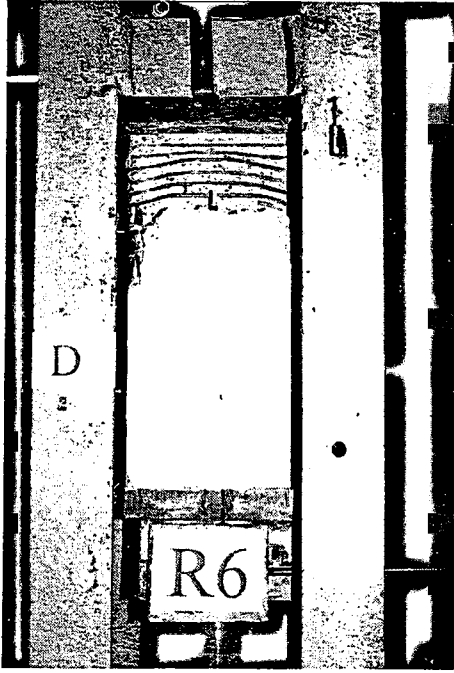
Eleman 493 kN eksenel yük değerine kadar gözle görülür herhangi bir hasar görmemiştir. Yükün 675 kN'a çıkmasıyla birlikte ölçüm bölgesi dışında ezilmeler görülmüştür. İlk ezilen bölge elemanın güney yüzündeki üst alın bölgesidir. Bunu yükün 797 kN'a çıkması sebebiyle kuzey-doğu köşesinin alt ve üst bölgeleri izlemiştir. 4.05 mm deformasyon ve 903 kN eksenel kuvvet altında tepe noktasını aşan eleman batı yüzünde ölçüm bölgesi içerisinde gerçekleşen ani ezilme dolayısıyla göçmüştür. Yaklaşık olarak elemana 800 kN'luk eksenel kuvvet etki etmekteyken elemanın güney yüzünde düşey çatlaklar gözlemlenmiştir. Bu çatlakların genişlikleri ve başlangıç noktası tespit edilememiştir. Eleman 481 kN eksenel kuvvet taşımakta iken güney-batı, kuzey-batı, kuzey-doğu ve güney-doğu ölçüm bölgesi içerisindeki köşe donatılarının burkulmuş olduğu gözlemlenmiştir. Elemana 153 kN'luk eksenel kuvvet uygulanmak iken bir tıklama duyulmuştur. Deney sonunda ezilen manto betonu alınarak sesin kaynağı araştırılmıştır. Tıklamaya, güney yüzünde yalın elemenda kayma düzlemi içerisinde bulunan bir etriyenin kopmasının sebep olduğu anlaşılmıştır. Eleman üzerinde 123 kN yük okunduğunda bir etriye daha kopmuştur. Kopan manto etriyesi zahmetsiz bir şekilde kuzey yüzünde ölçüm bölgesi içerisinde üst bölgede görülmüştür.

Elemana 30 mm deformasyon yaptırdıktan sonra deneye son verilmiştir. Kayma düzlemi doğu üst bölgede ile batı alt bölgeyi birbirine bağlayan kırıklı bir hat üstünde ilerlemiştir. Kopan etriyelerin konumları bir kez daha kayma düzleminin ilerleyişinin ve mekanizmasının etriye detaylandırması ile ilişkisini ortaya koymuştur.

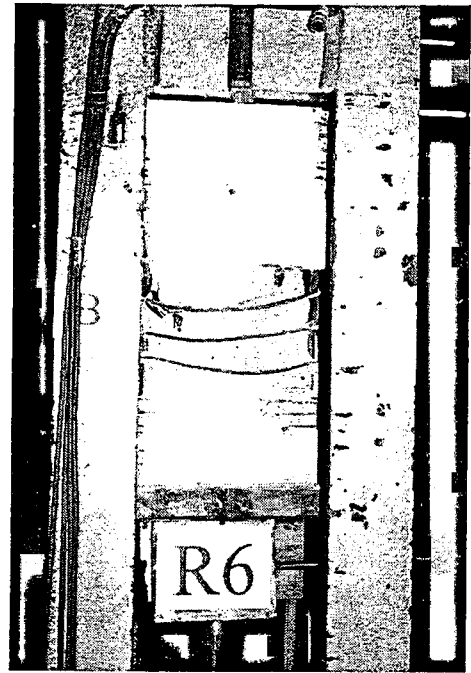
Deney elemanına ait yükleme öncesi ve sonrası fotoğraflar Şekil 4.65. ve Şekil 4.66. 'de, deney elemanının P-ε grafiği ise Şekil 4.67. 'de sunulmuştur.



Şekil 4.65. Yükleme öncesi R6 deney elemanı



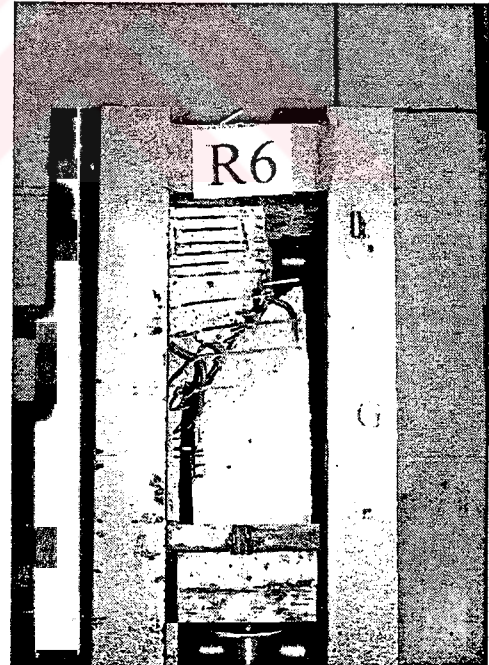
a) Doğu yüzü



b) Batı yüzü

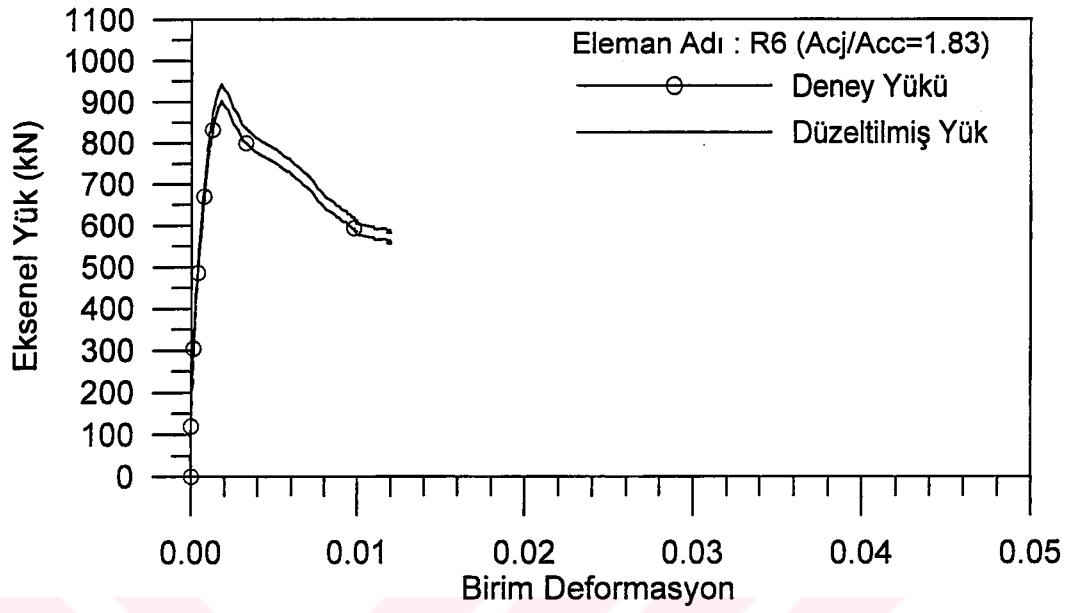


c) Kuzey yüzü

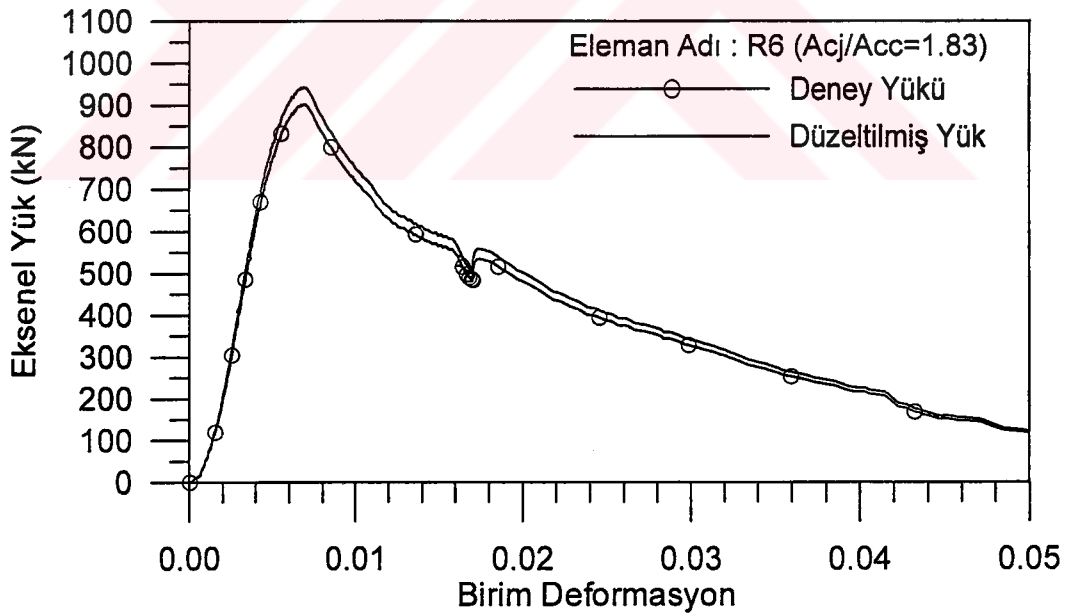


d) Güney yüzü

Şekil 4.66. Deney sonrası R6 elemanın dört yüzden görünümü.



a) İç ölçüm bölgesi



b) Dış ölçüm bölgesi

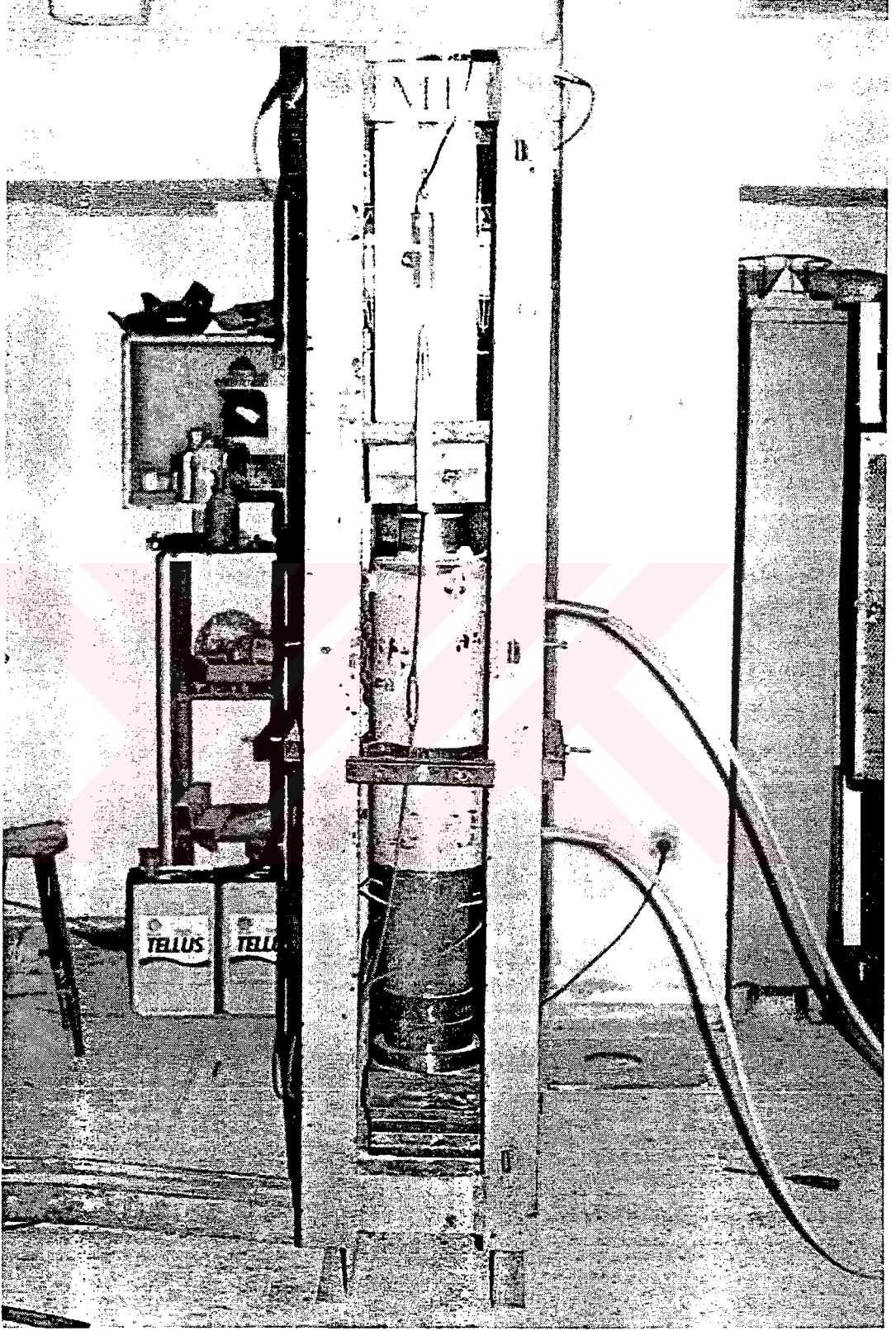
Şekil 4.67. R6 deney elemanının deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi

4.6.16. M1 Deneyi

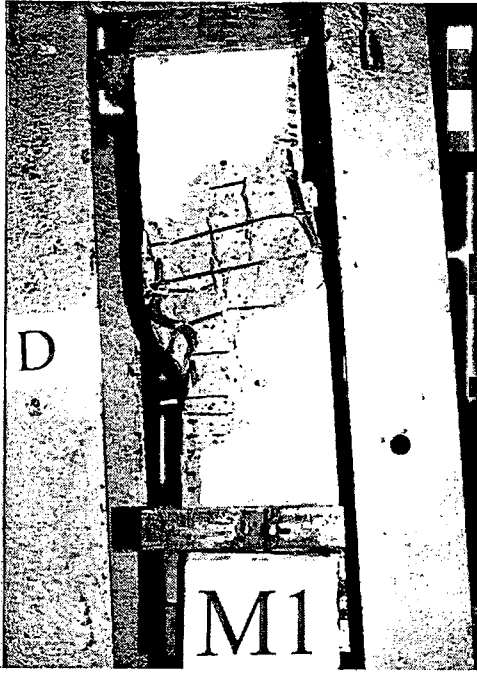
583 kN değerinde eleman henüz 2.17 mm eksenel deformasyon yapmışken güney yüzünde ölçüm bölgesi içerisinde badanada kabarma gözlemlenmiştir. Yükün 779 kN'a çıkmasıyla güney-doğu ölçüm bölgesi dışında alt köşede ezilme başlamıştır. Yük 912 kN seviyesine çıktığında ise doğu yüzünde ölçüm bölgesi dışında alt alında ezilme gözlemlenmiştir. Eleman, tepe değeri olan 918 kN değerinin aşılması ile çok ani bir biçimde taşıma gücünü yitirmiştir. Bu noktaya kadar ölçüm bölgesi dışında gelişen ezilme aniden eleman orta bölgesine sıçramış gevrek bir göçme gözlemlenmiştir. Ani bir deformasyonun meydana gelmesi sebebiyle köşelerdeki boyuna donatıların tümü eş zamanlı bir biçimde burkulmuştur. Dolayısıyla tepe noktasında 918 kN olan eksenel yük 360 kN'a düşerken, eksenel deformasyon 4.05 mm'den 11.36 mm'ye çıkmıştır. Bu gevrek kırılma aynı zamanda deneyde eksenel kuvvetin başarı ile sağlanabildiği kanısını da güçlendirmiştir.

Diğer deneylerde olduğu gibi bu deneyde de 30 mm deformasyon sınır olarak konuştur. Kayma düzlemi 45°'lik bir doğru şeklinde meydana gelmiştir. Kuzey üst bölge ile güney alt bölge arasında göçme hattı gelişmiştir. Etriyelerde herhangi bir kopma veya açılma görülmemiştir. Buna karşın gevrek davranış görülmüştür.

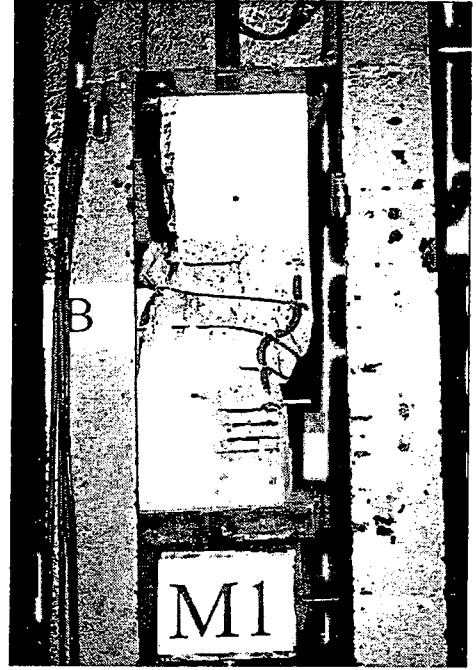
Deney elemanına ait yükleme öncesi ve sonrası fotoğraflar Şekil 4.68. ve Şekil 4.69. 'da, deney elemanının P-ε grafiği ise Şekil 4.70. 'de sunulmuştur.



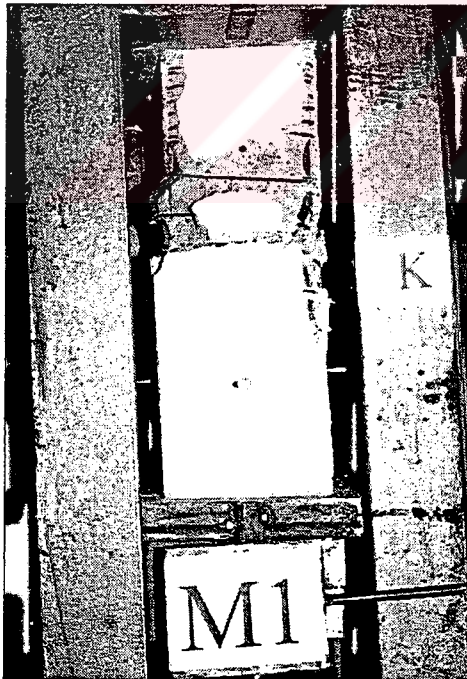
Şekil 4.68. Yükleme öncesi M1 deney elemanı



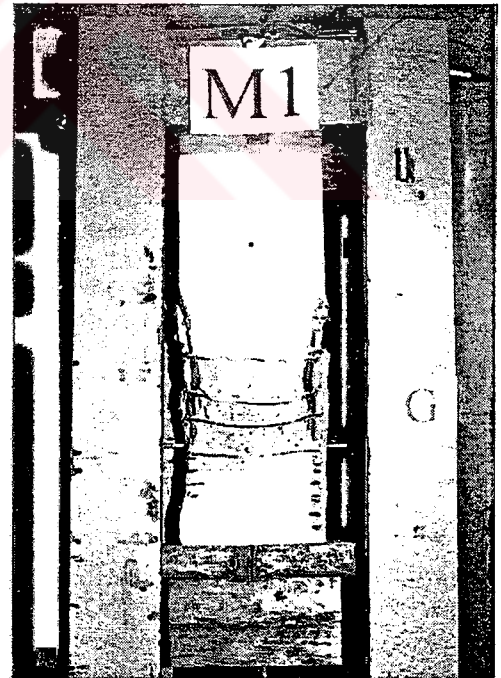
a) Doğu yüzü



b) Batı yüzü

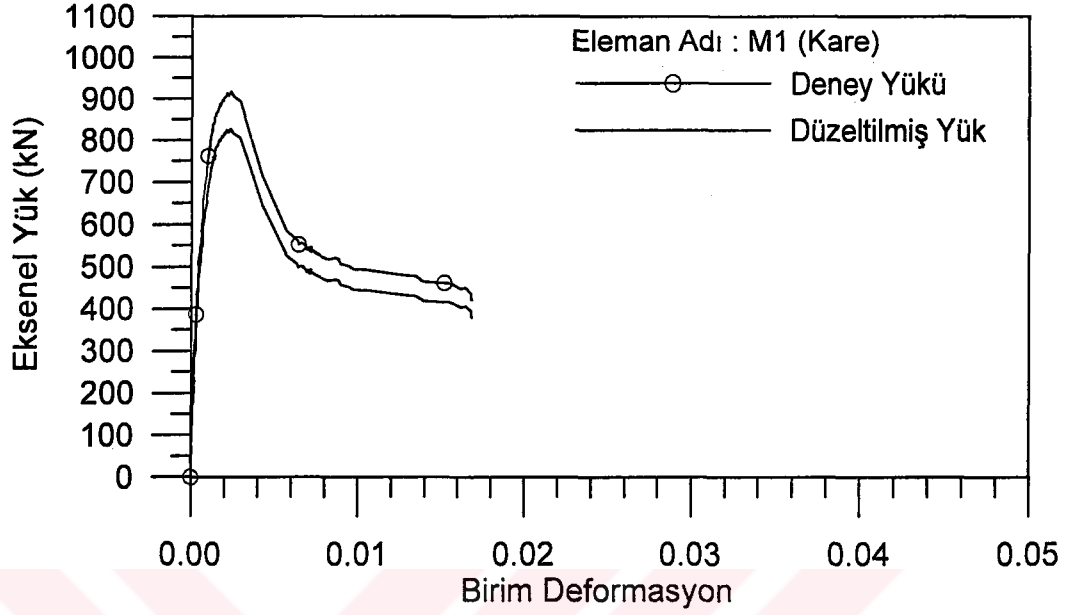


c) Kuzey yüzü

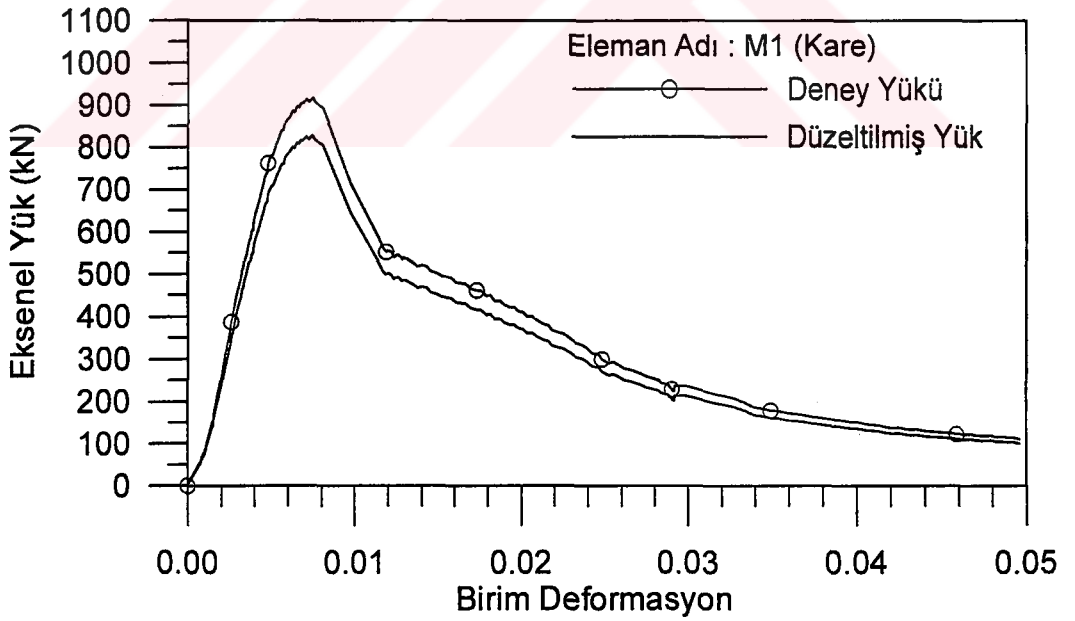


d) Güney yüzü

Şekil 4.69. Deney sonrası M1 elemanın dört yüzden görünümü.



a) İç ölçüm bölgesi



b) Dış ölçüm bölgesi

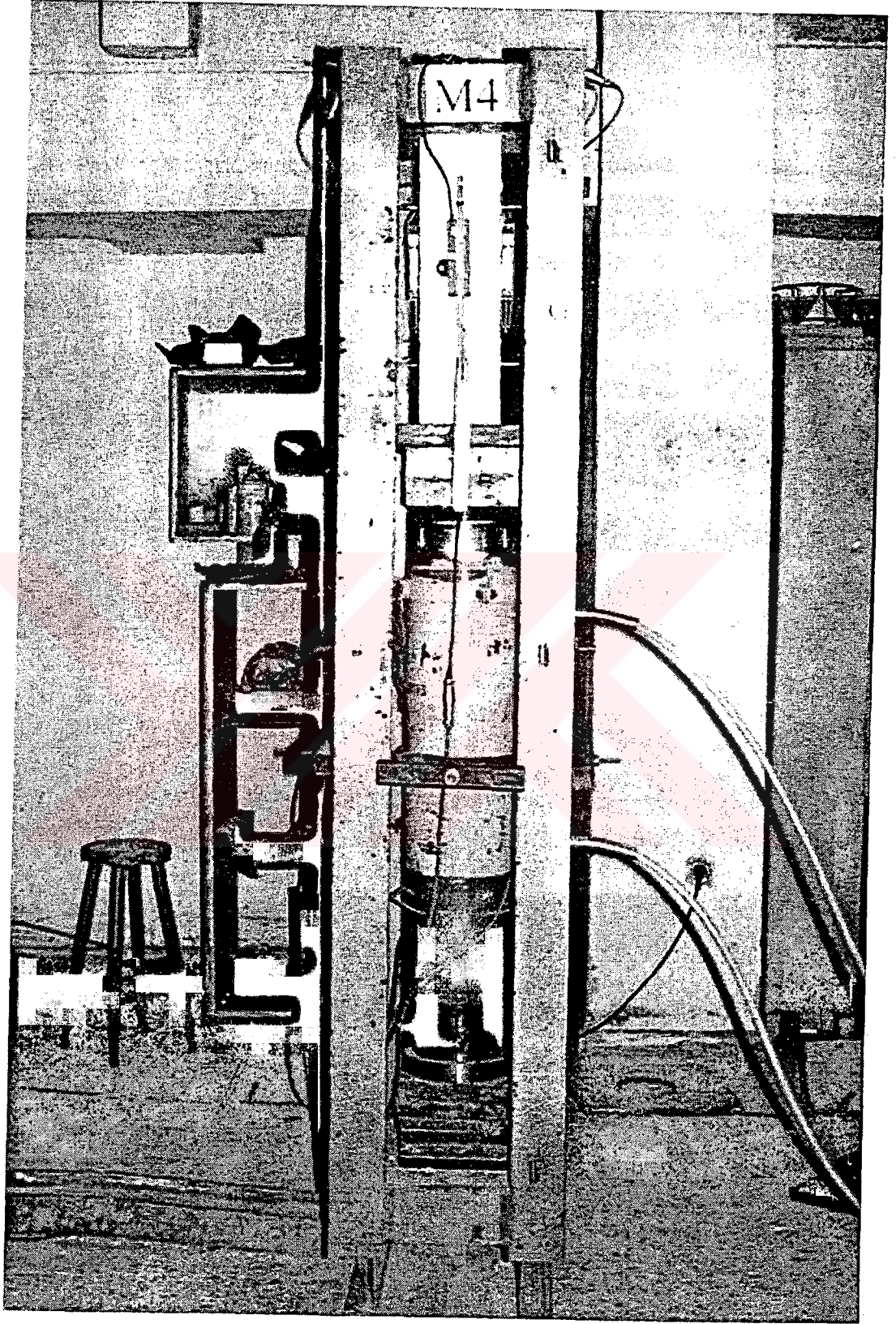
Şekil 4.70. Kare kesitli monolitik (M1) deney elemanının deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi

4.6.17. M4 Deneyi

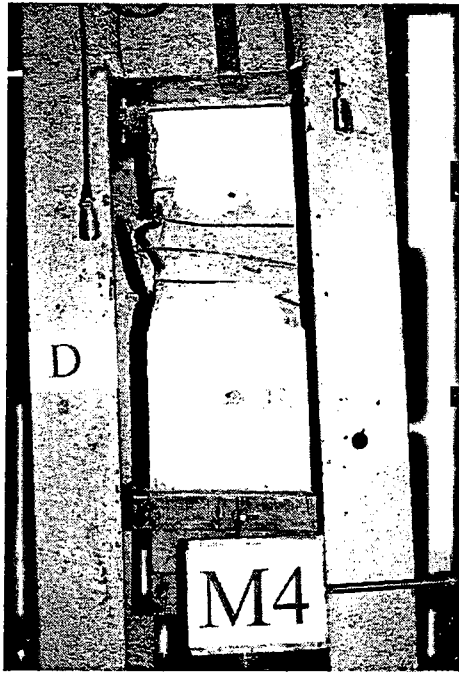
Badana kabarması ilk olarak batı yüzünde ölçüm bölgesi dışında 557 kN eksenel yük altında rijit bölgenin ezilmesi sonucu meydana gelmiştir. 610 kN'a ulaşıldığında güney-doğu ölçüm bölgesi dışında alt köşede ezilme görülmüştür. Doğu yüzünde ölçüm bölgesi dışında üst alında ezilme 775 kN'da başlamıştır. Kuzey-doğu ölçüm bölgesi dışında alt köşede 827 kN eksenel kuvvet altında ezilme gözlemlenmiştir. Bu sırada yük 865 kN seviyesinde iken ölçüm bölgesi içerisinde batı yüzünde etriye hizasında badana kabarmaları dikkat çekmiştir. 912 kN'a çıkıldığında ise güney ölçüm bölgesi dışında üst alında ezilme görülmüştür. Eleman 914 kN'da göçmeye başlamış ve aniden ölçüm bölgesi içerisinde oluşan ezilme bölgesi elemanın hızlı bir şekilde yükünde düşmeye sebep olmuştur. 482 kN'da güney-doğu, 465 kN'da kuzey-doğu ve 454 kN'da ise güney-batı ölçüm bölgesi içerisinde donatıda burkulma gözlemlenmiştir. 121 kN ve 101 kN seviyelerinde elemanın içinde tıklama sesleri duyulmuştur. Bu seslere etriye kopmasının sebep olduğu anlaşılmıştır.

Kayma düzlemi güney üst bölgeden kuzey alt bölgeyi birbirine bağlarken aynı zamanda doğu üst bölge ile batı alt bölgeyi birbiri ile birleştirmiştir. Deneye elemanın 30 mm deformasyon yapmasıyla son verilmiştir. M4 elemanı tıpkı M1 elemanı gibi gevrek davranmıştır. Dolayısı ile monolitik elemanlarda aynı tip davranışın gözlemlenebilmesi deneylerin en önemli özelliği olmuştur.

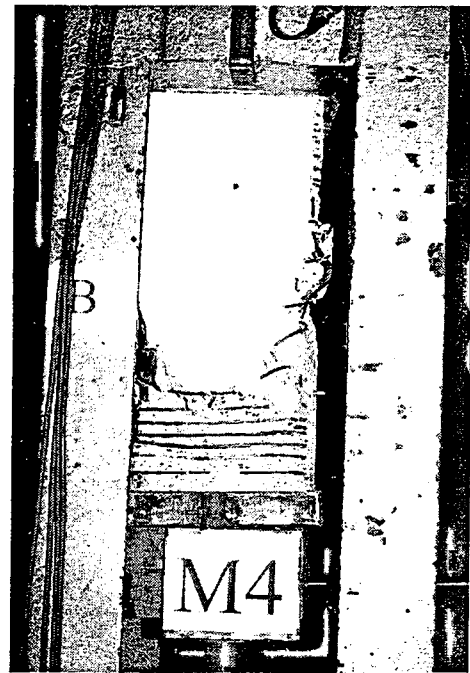
Deney elemanına ait yükleme öncesi ve sonrası fotoğraflar Şekil 4.71. ve Şekil 4.72. 'de, deney elemanının P-ε grafiği ise Şekil 4.73. 'de sunulmuştur.



Şekil 4.71. Yükleme öncesi M4 deney elemanı



a) Doğu yüzü



b) Batı yüzü

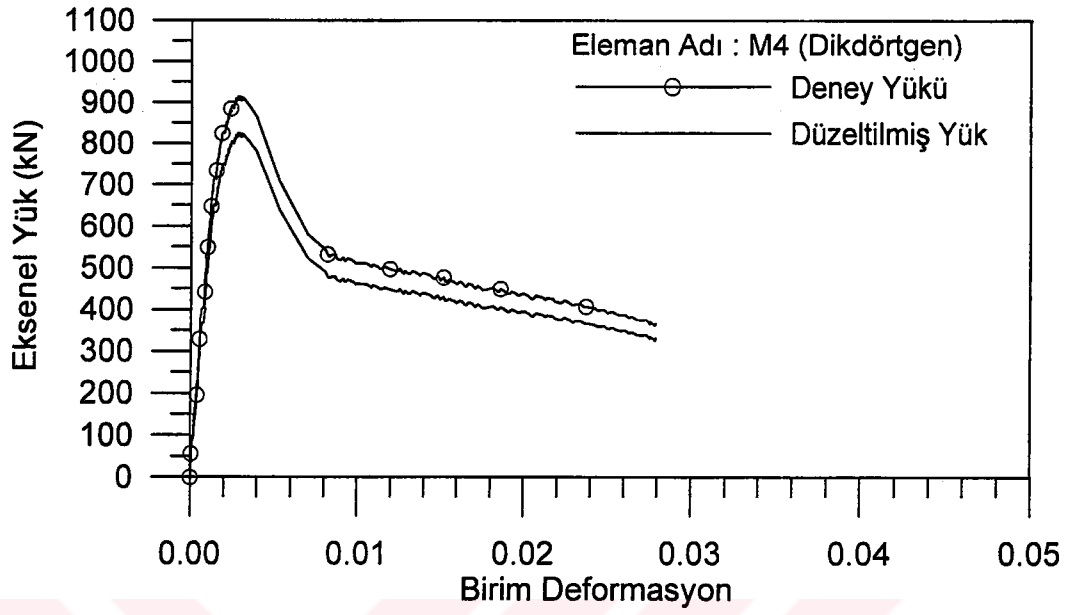


c) Kuzey yüzü

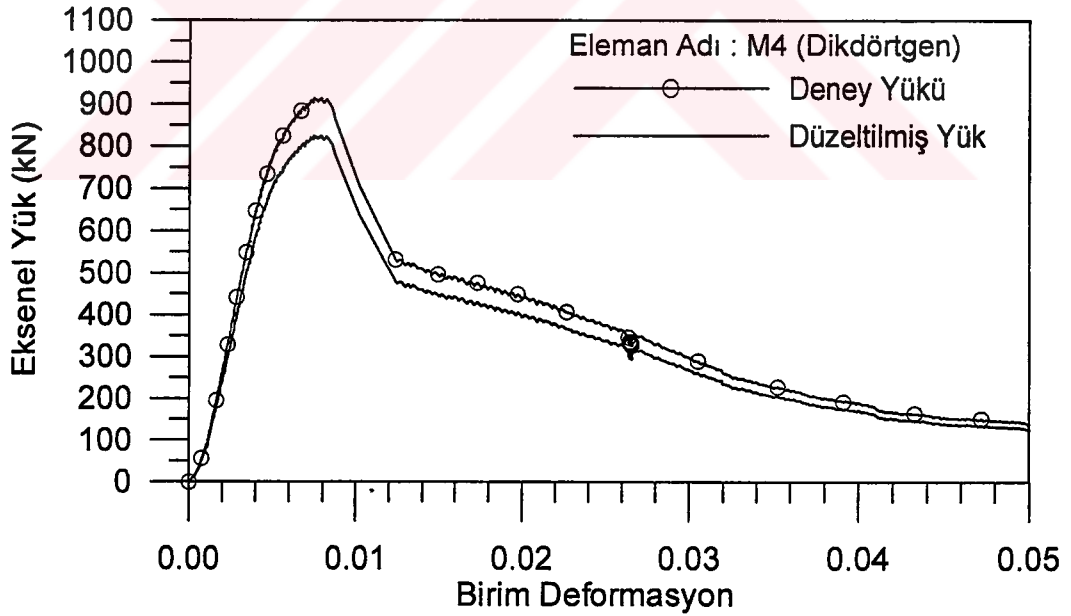


d) Güney yüzü

Şekil 4.72. Deney sonrası M4 elemanın dört yüzden görünümü.



a) Iç ölçüm bölgesi



b) Dış ölçüm bölgesi

Şekil 4.73. Dikdörtgen kesitli monolitik (M4) deney elemanının deneysel ve düzeltilmiş yük-birim deformasyon eğrisi

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

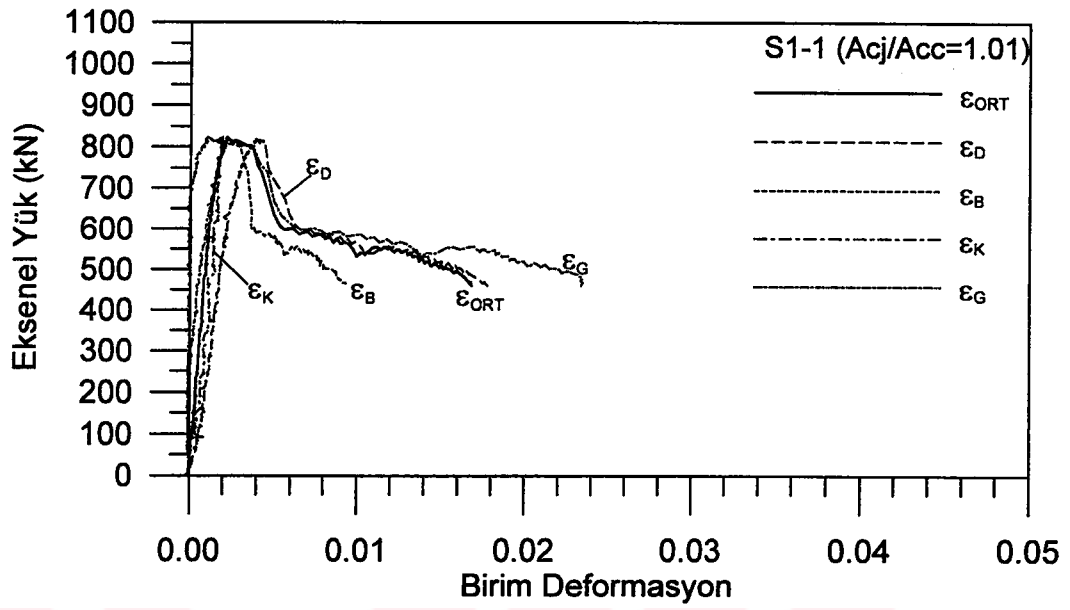
Bu bölümde deneyler sonucunda elde edilen verilerin yorumlanma kriterleri açıklanmıştır. Bölüm 4.3.2.'de de açıklandığı gibi deney elemanının dört yüzünden iç ve dış olmak üzere iki farklı ölçüm bölgesinden deplasman ölçümleri elde edilmiştir. İç ölçüm bölgesi bütün elemanlarda standart olmak üzere 270 mm sağlanmıştır. İç ölçüm sayesinde herhangi bir eleman için, $N-\epsilon$ eğrisinin tepe noktası aşılncaya kadar kararlı ve güvenilir verilerle, elemanın birim şekil değiştirmesi hesaplanabilmiştir. Ancak elemandaki hasarın ilerlemiş aşamalarında kabuk betonun kabarması istenmeyen ölçümlerin kaydedilmesine veya LVDT'nin devre dışı kalmasına sebep olmuştur. Mantıklı olmayan ölçümler dizilerden ayıklanmıştır. Bu sebepten dolayı, iç ölçüm bölgesine ait eğriler kapanamamıştır.

Bu durum karşısında, dış ölçüm verileri, iç ölçüm verilerinin olmadığı eksik bırakılan bölgeleri tamamlamıştır. Ancak dış ölçüm, elemanın toplam boyu üzerinde olan değişiklikleri göz önüne aldığından, istenmeyen fakat her elemanda meydana gelebilecek başlık ezilmeleri de kayıt edilmiştir. Bu sebeple her bir eleman için, dış ve iç ölçüm verileriyle hesaplanmış iki farklı birim şekil değiştirme hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerin kullanım bölgeleri elemanın davranışındaki değişime göre birbirinden ayrılmıştır. Eleman tepe eksenel yüküne ulaştığı ana kadar kıyaslanabilecek parametreler iç ölçüm, daha sonraki aşamalarda elemanların birbirine göre rölatif davranışlarını kıyaslayabilmek için ise dış ölçüm bilgileri kullanılmıştır.

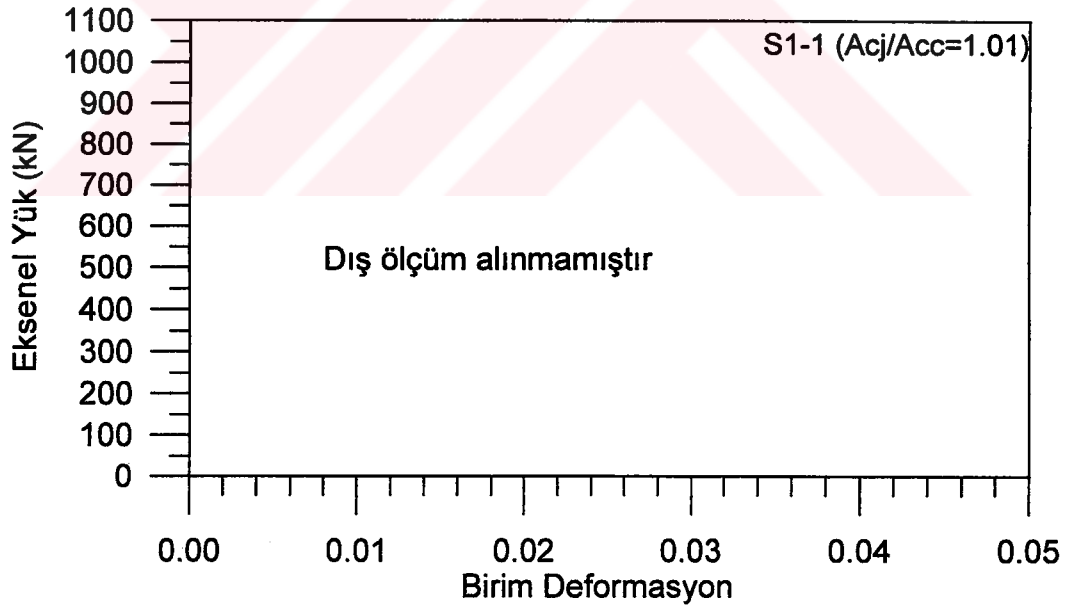
Kesit düzlemselliğinin deneylerin ileri aşamalarında da korunduğunun varsayılması sonucu, elemanın dört yüzünden alınan ölçümlerin ortalaması ile elde edilen dizinin, kolay yorumlanabilir, davranışı temsil edebilecek sürekli bir eğri oluşturduğu düşünülmüştür. Bu sebeple elemanlara ait çizilen $N-\epsilon$ eğrilerinde, iç ve dış ölçümlerin her biri için dört yüzden ölçülen deplasmanların yanı sıra hesaplanan ortalama deplasman değerleri de Şekil

5.1 – 5.17’de gösterilmiştir. Elemanların eksenel rijitlikleri ve tepe değer birim şekil değiştirmenin kapsandığı bütün yorumlar, iç ölçüm düzeneğinden elde edilen verilerle güvenilir bir biçimde yapılabilmektedir. Genel davranışı yorumlamada ve elemanları birbiri ile kıyaslamada kullanılan, tüketilen deformasyon enerjisi ve süneklik parametreleri ise dış ölçüm düzeneğinden elde edilen bilgiler ışığında hesaplanmıştır.

Onarılan ve güçlendirilen kolonlarda deney parametreleri olarak seçilen kesit geometrisi ve A_{cj}/A_{cc} oranının davranışı ne şekilde etkilediğini belirginleştirilebilmek amacıyla benzer parametreler altında toplanan elemanlar monolitik elemanlara birlikte Şekil 5.18 – 5.20’de gösterilmiştir. Görsel olarak farkları belirginleştiren bu grafiklerle birlikte, yorumlayıcı bilgiler Çizelge 5.1’de verilmiştir.

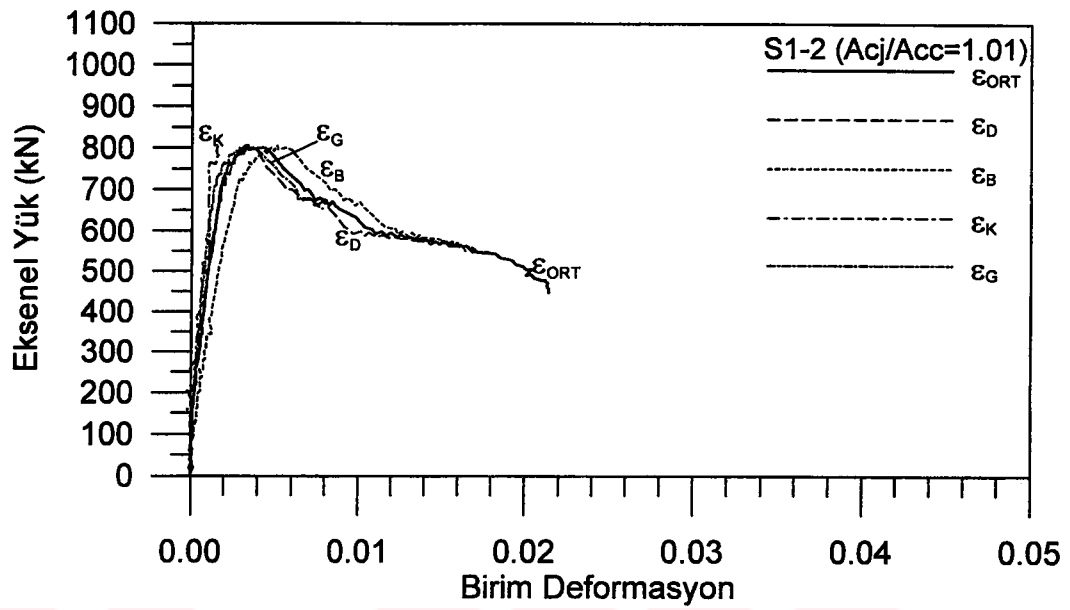


a) İç ölçüm bölgesi

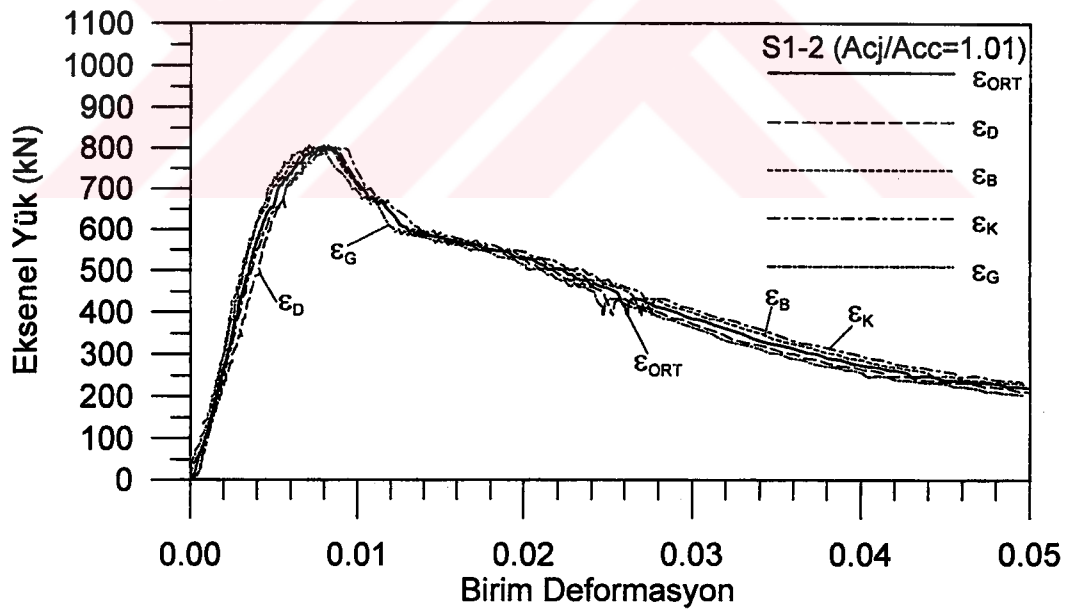


b) Dış ölçüm bölgesi

Şekil 5.1. S1-1 deney elemanının ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi (bu deney S1-2 olarak tekrarlanmıştır)

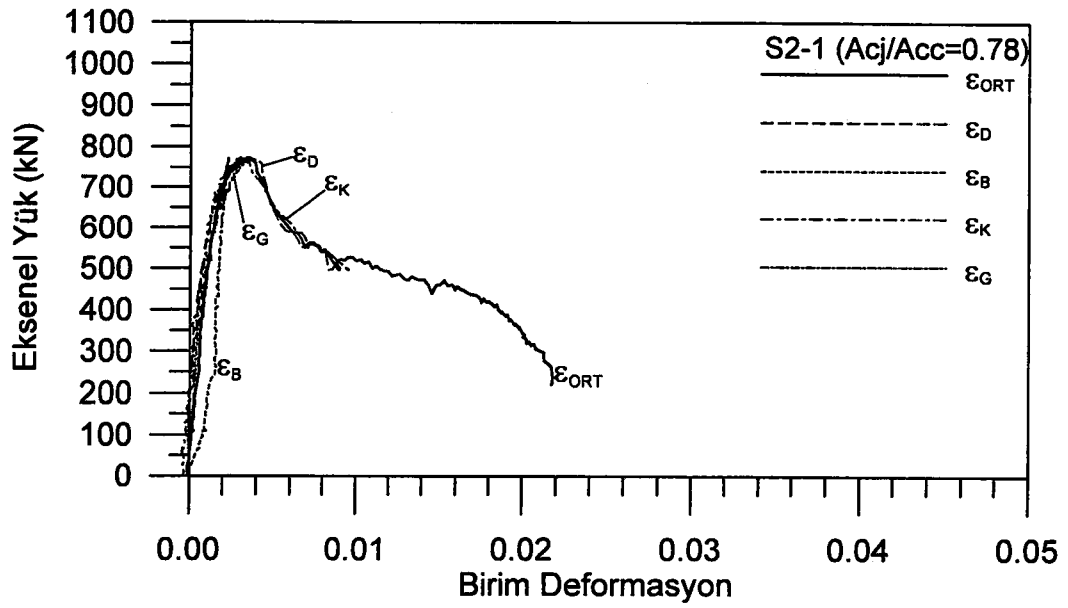


a) İç ölçüm bölgesi

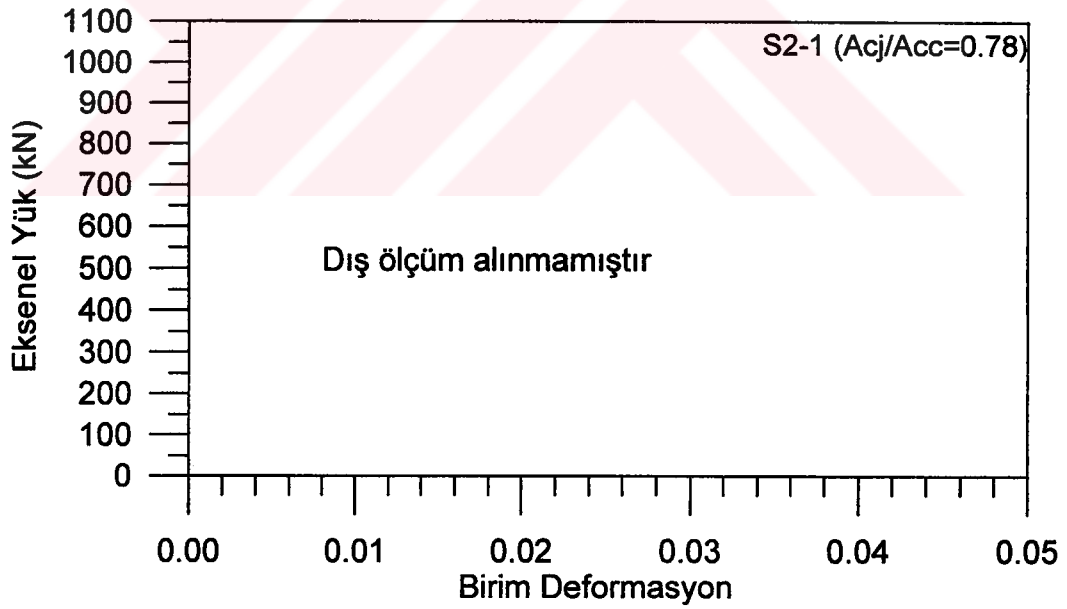


b) Dış ölçüm bölgesi

Şekil 5.2. S1-2 deney elemanının ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi

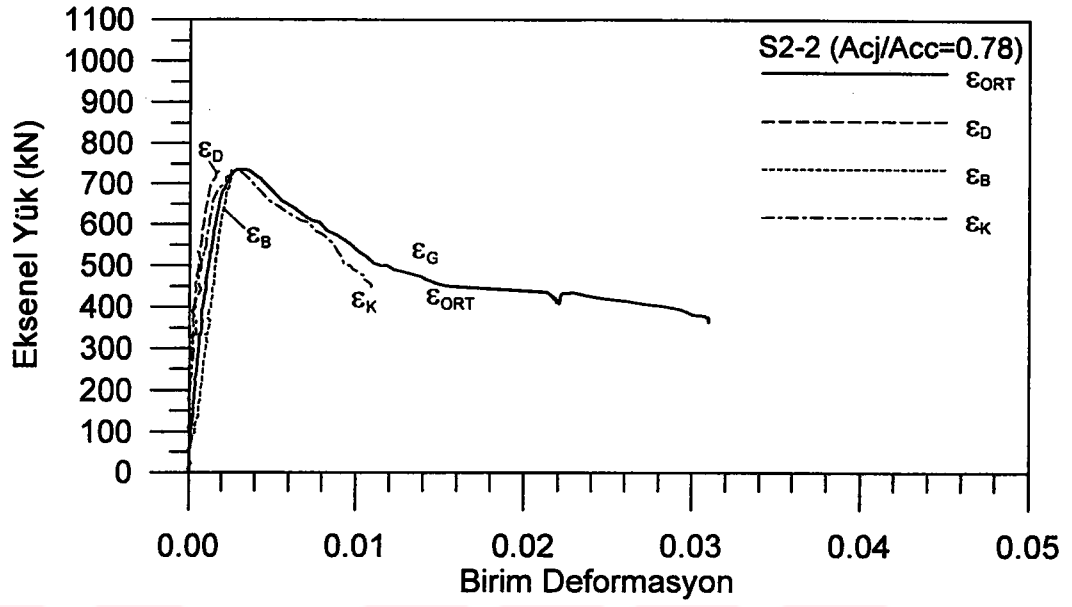


a) İç ölçüm bölgesi

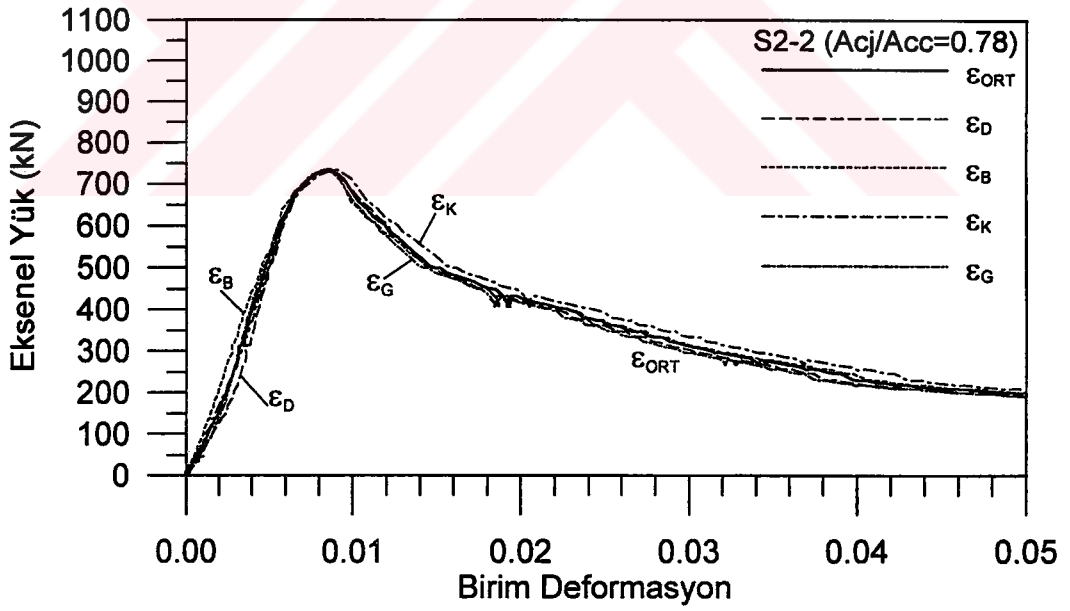


b) Dış ölçüm bölgesi

Şekil 5.3. S2-1 deney elemanının ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi (bu deney S2-2 olarak tekrarlanmıştır)

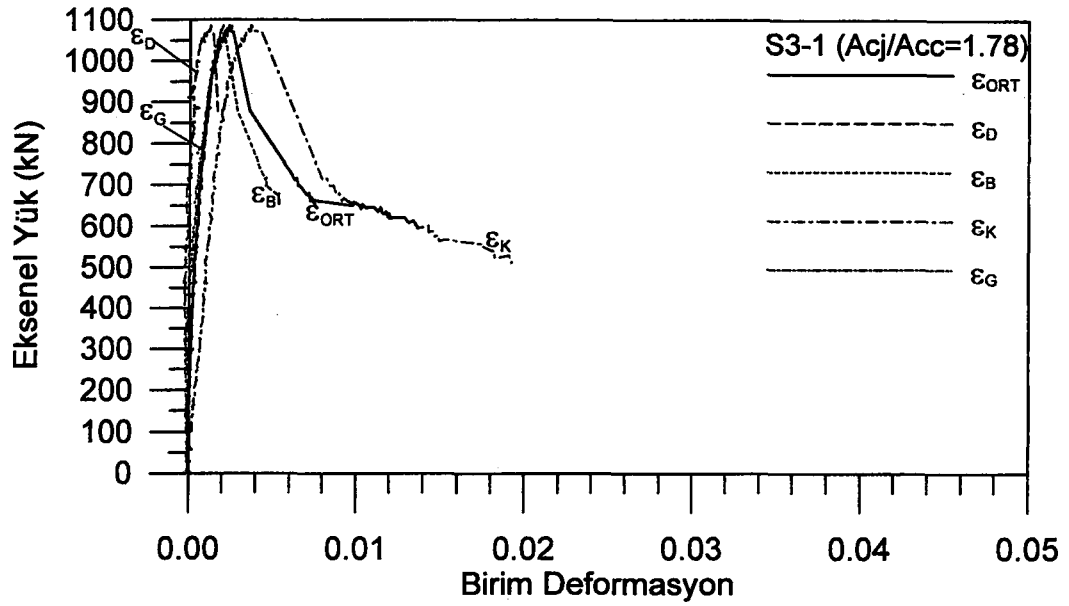


a) İç ölçüm bölgesi

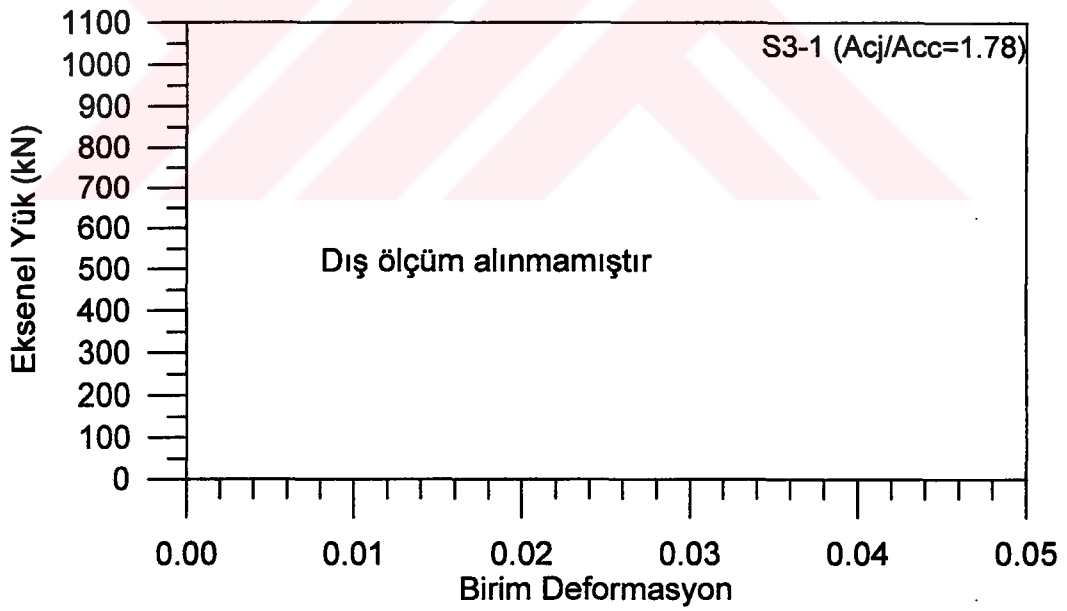


b) Dış ölçüm bölgesi

Şekil 5.4. S2-2 deney elemanının ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi

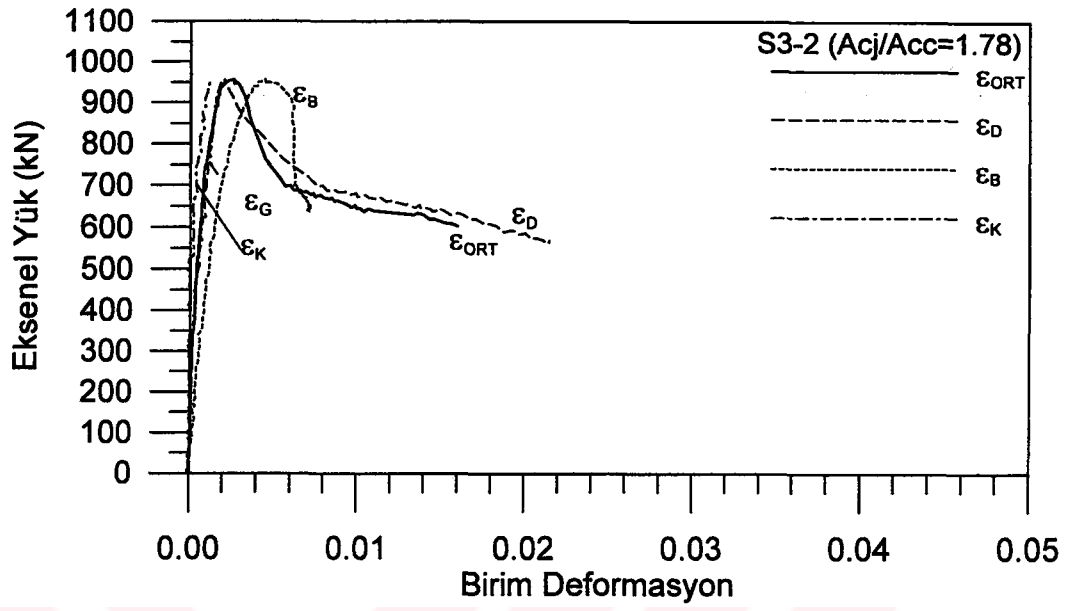


a) İç ölçüm bölgesi

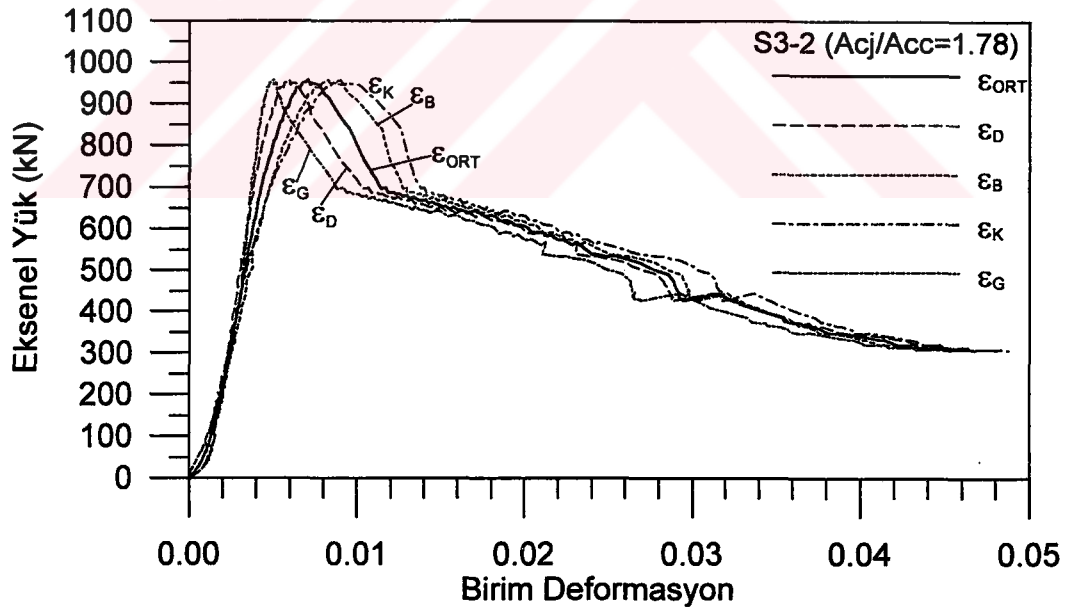


b) Dış ölçüm bölgesi

Şekil 5.5. S3-1 deney elemanının ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi (bu deney S3-2 olarak tekrarlanmıştır)

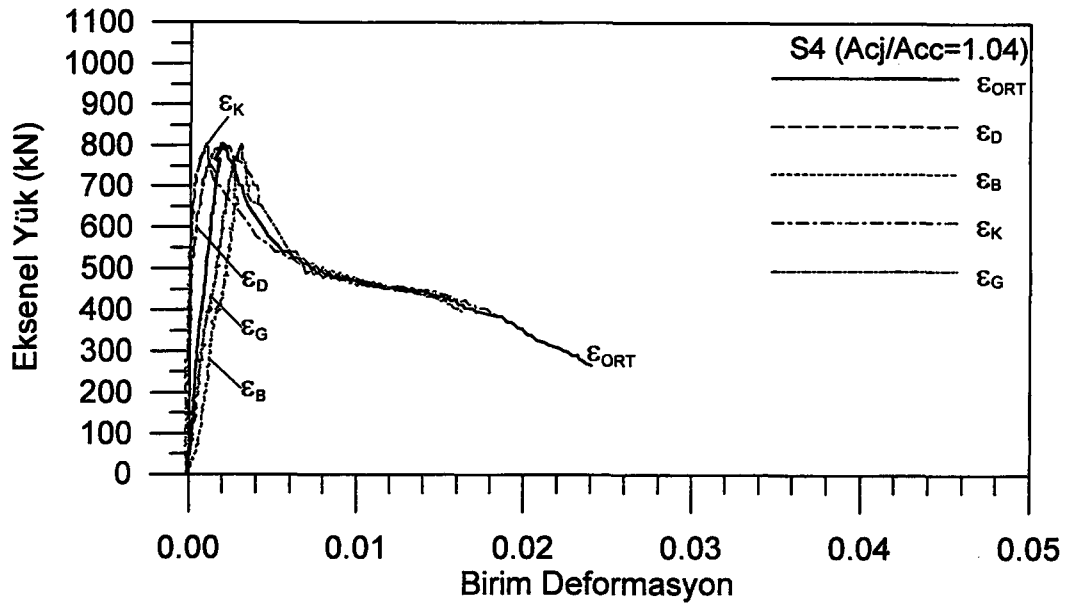


a) İç ölçüm bölgesi

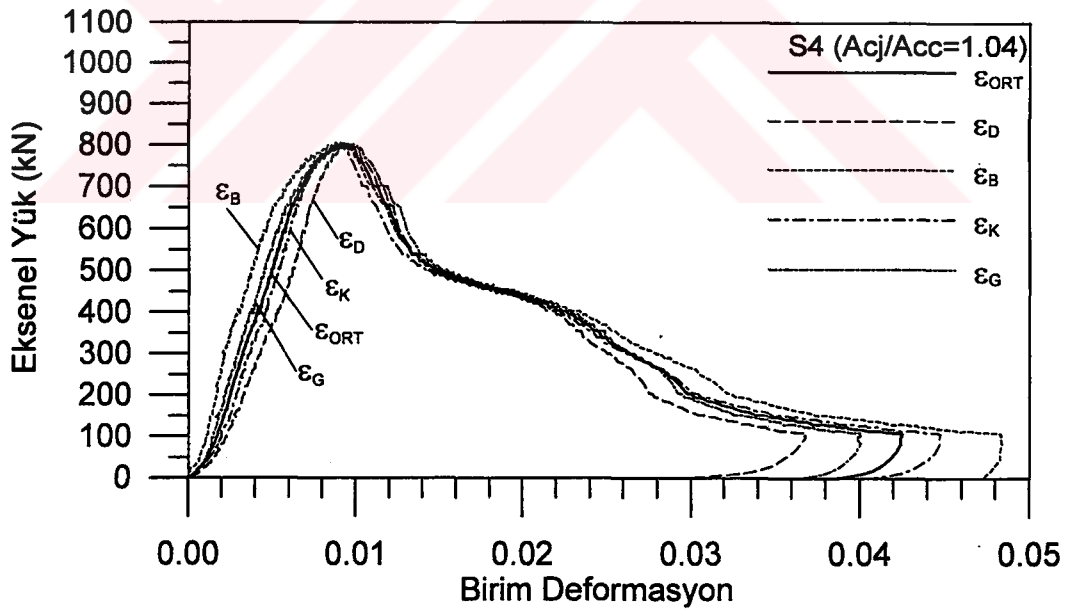


b) Dış ölçüm bölgesi

Şekil 5.6. S3-2 deney elemanının ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi

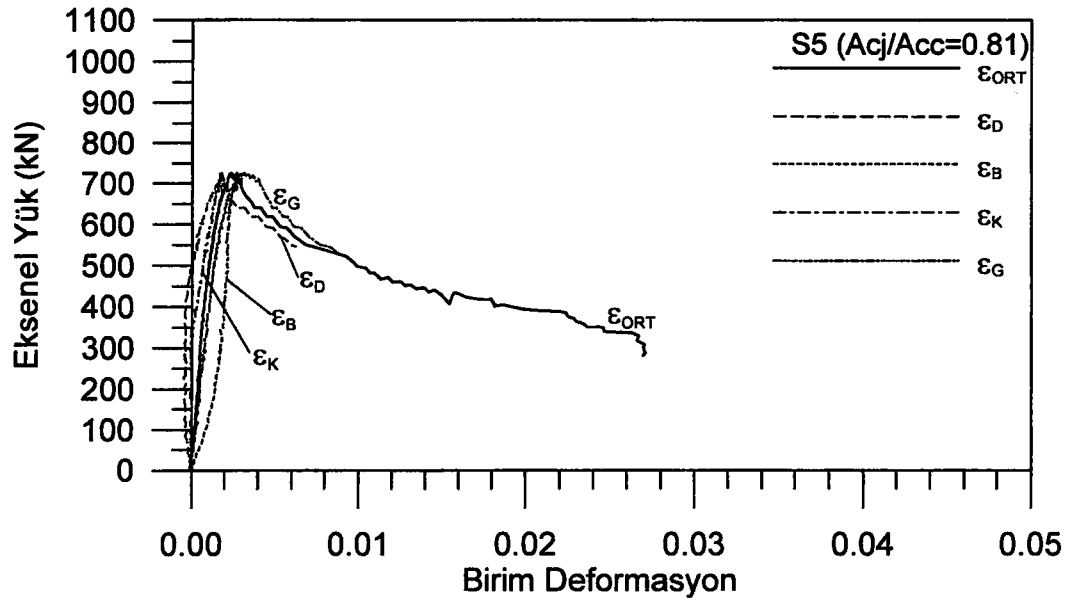


a) İç ölçüm bölgesi

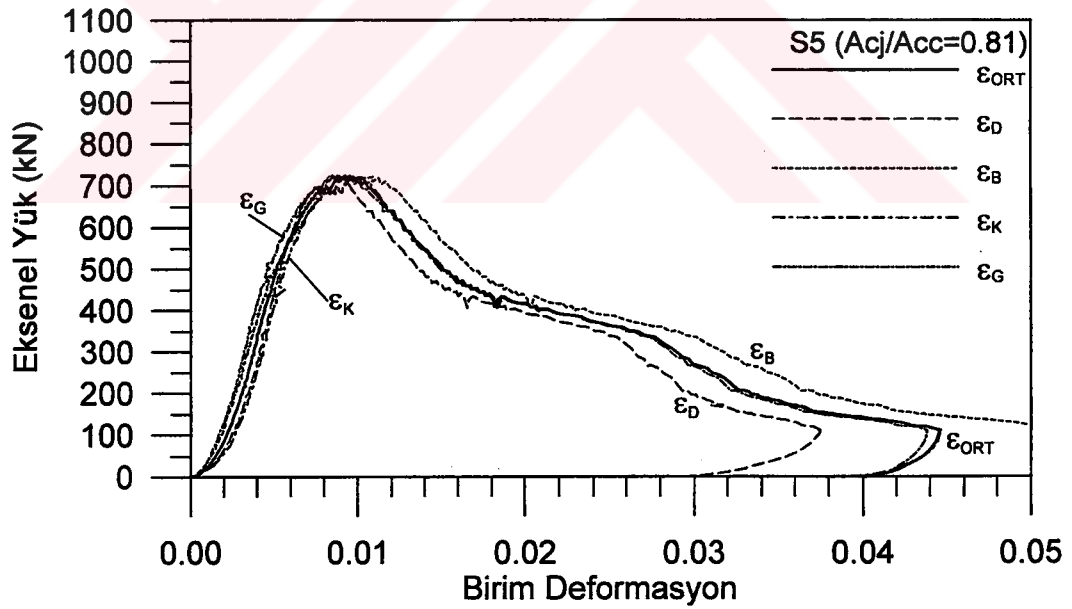


b) Dış ölçüm bölgesi

Şekil 5.7. S4 deney elemanının ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi

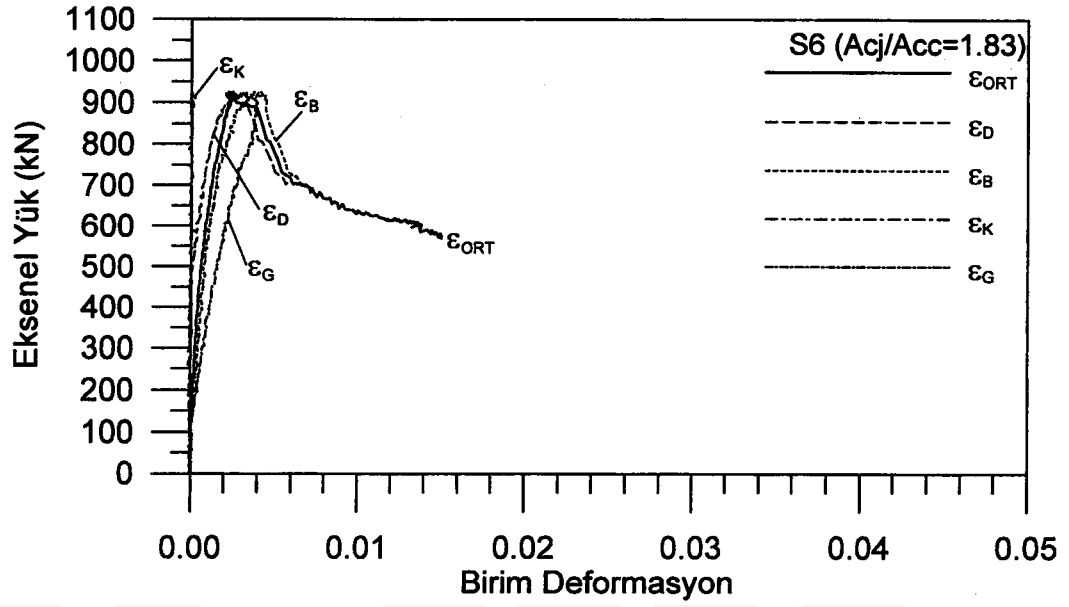


a) İç ölçüm bölgesi

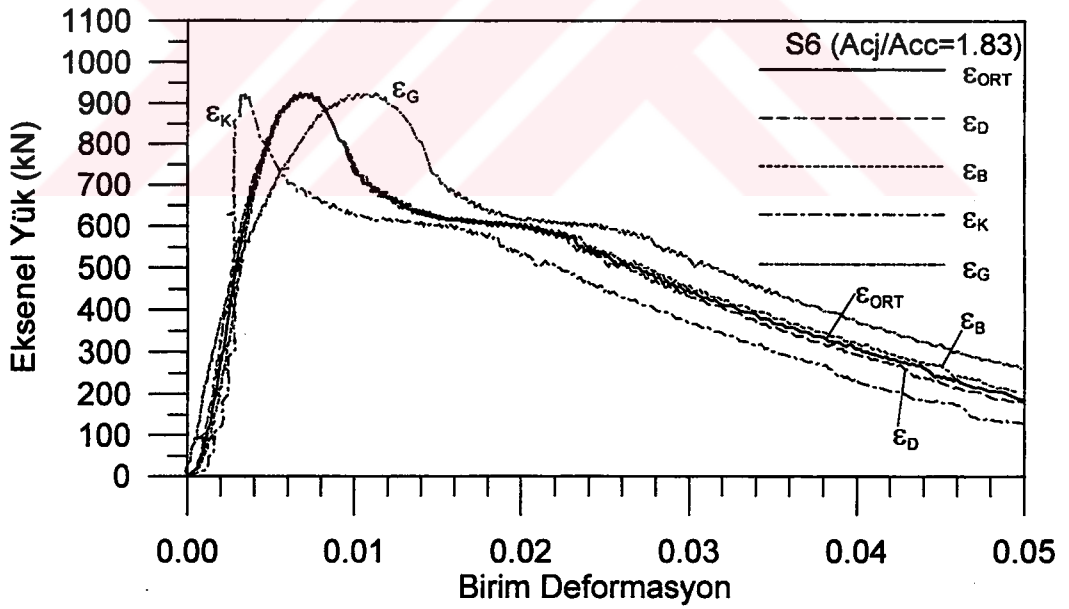


b) Dış ölçüm bölgesi

Şekil 5.8. S5 deney elemanının ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi

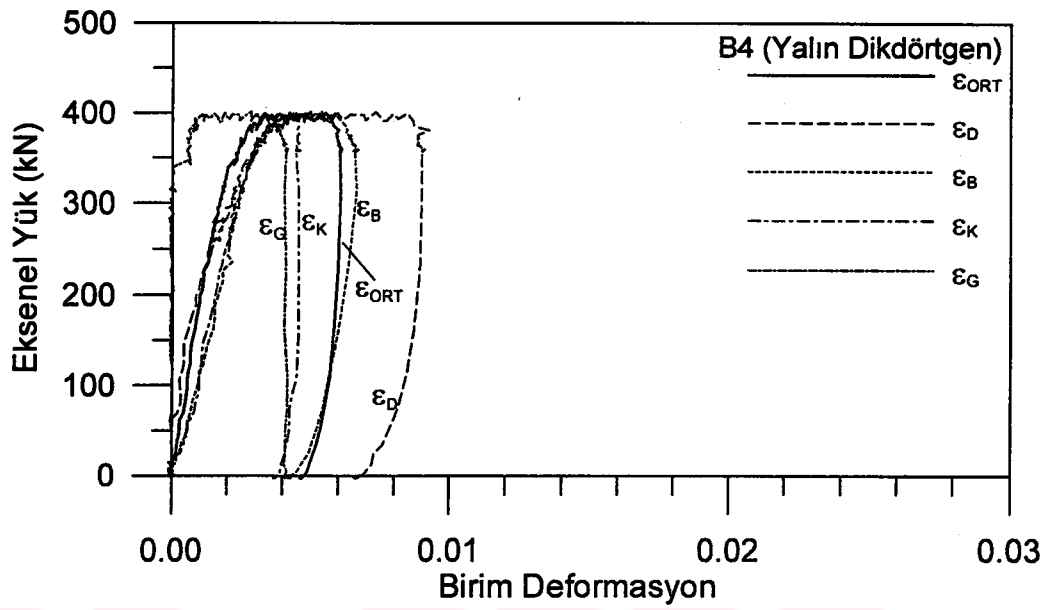


a) İç ölçüm bölgesi

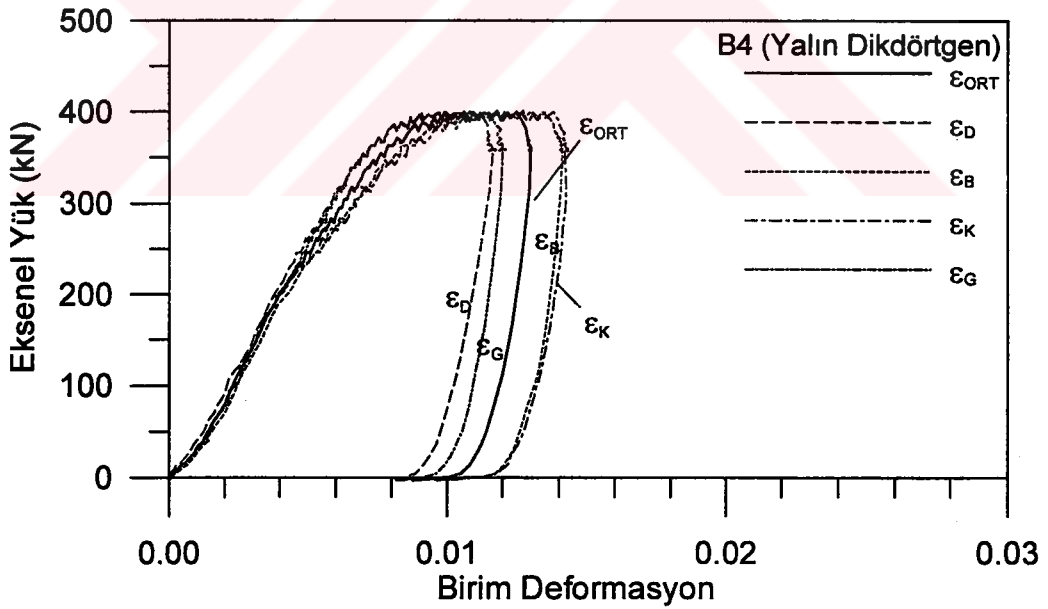


b) Dış ölçüm bölgesi

Şekil 5.9. S6 deney elemanının ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi

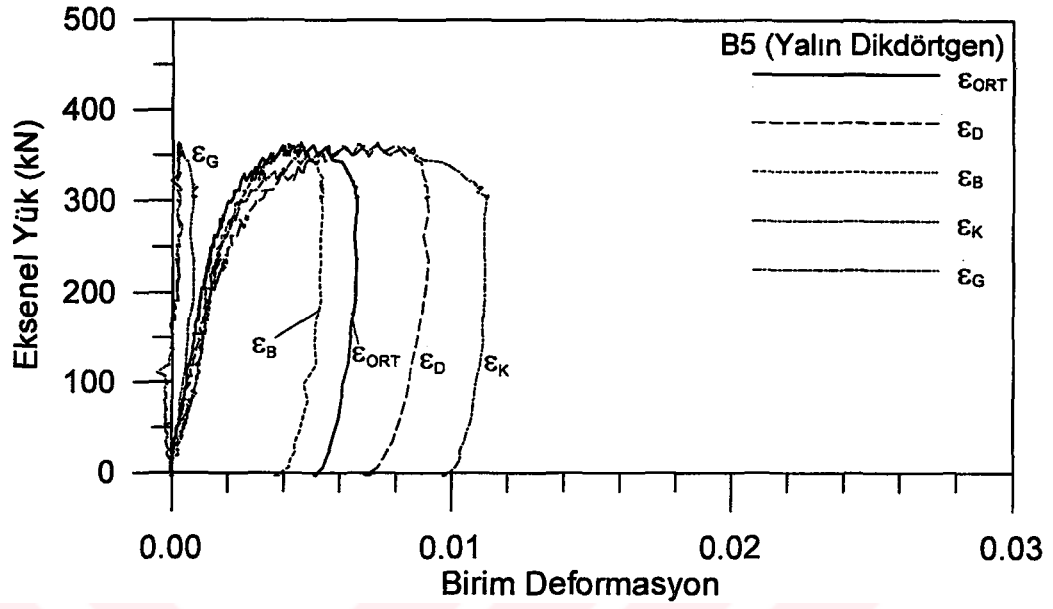


a) İç ölçüm bölgesi

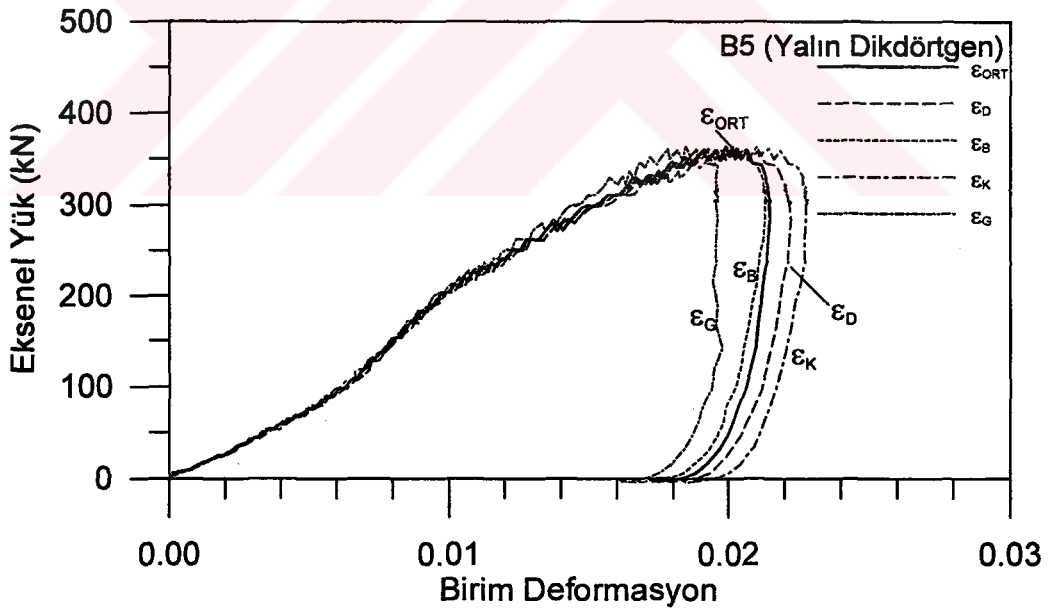


b) Dış ölçüm bölgesi

Şekil 5.10. B4 deney elemanının ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi

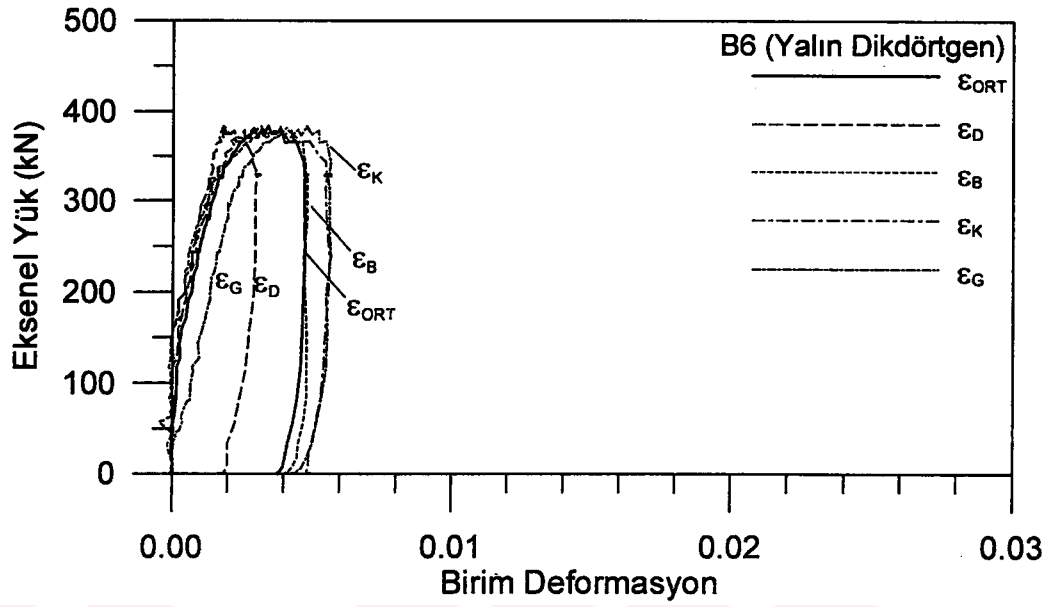


a) İç ölçüm bölgesi

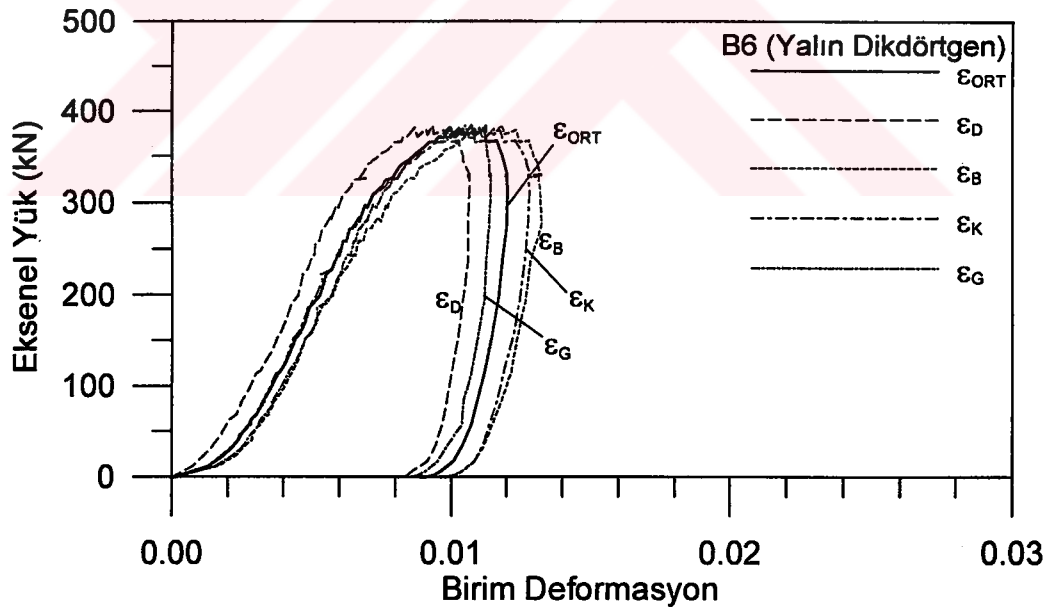


b) Dış ölçüm bölgesi

Şekil 5.11. B5 deney elemanının ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi

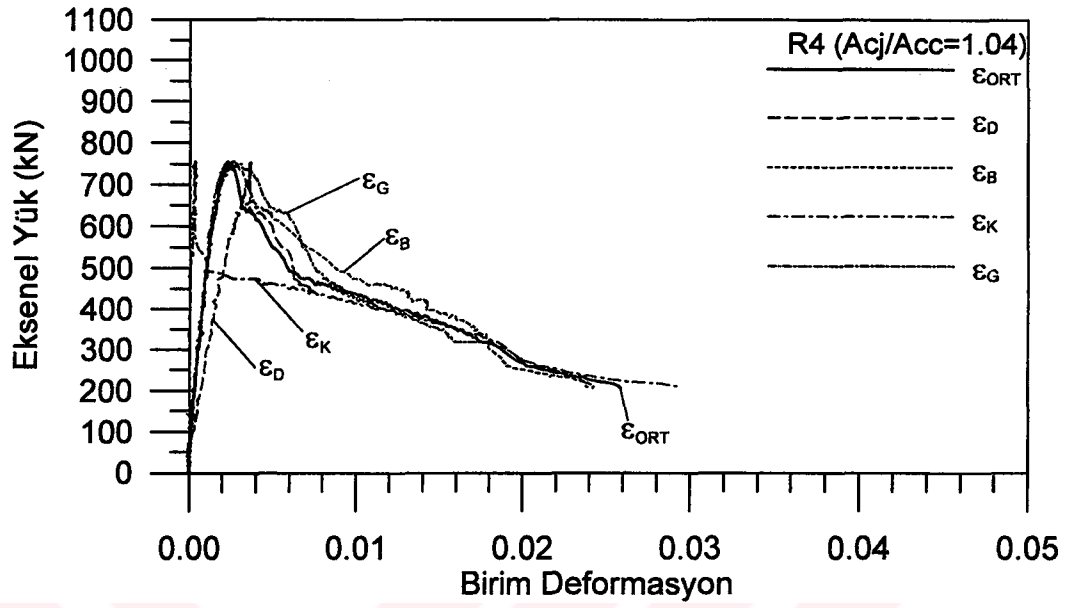


a) İç ölçüm bölgesi

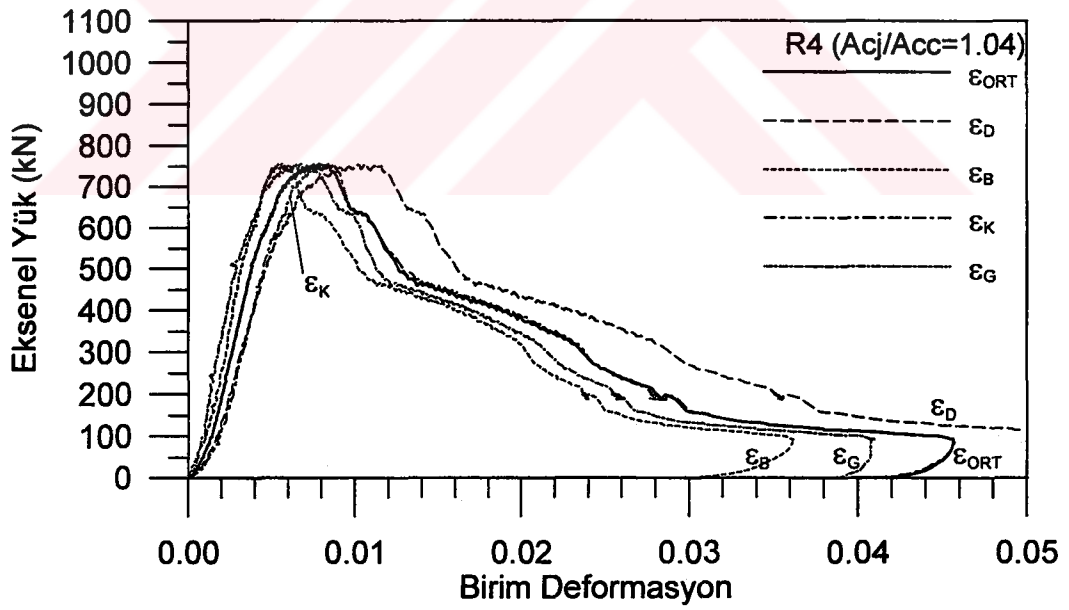


b) Dış ölçüm bölgesi

Şekil 5.12. B6 deney elemanının ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi

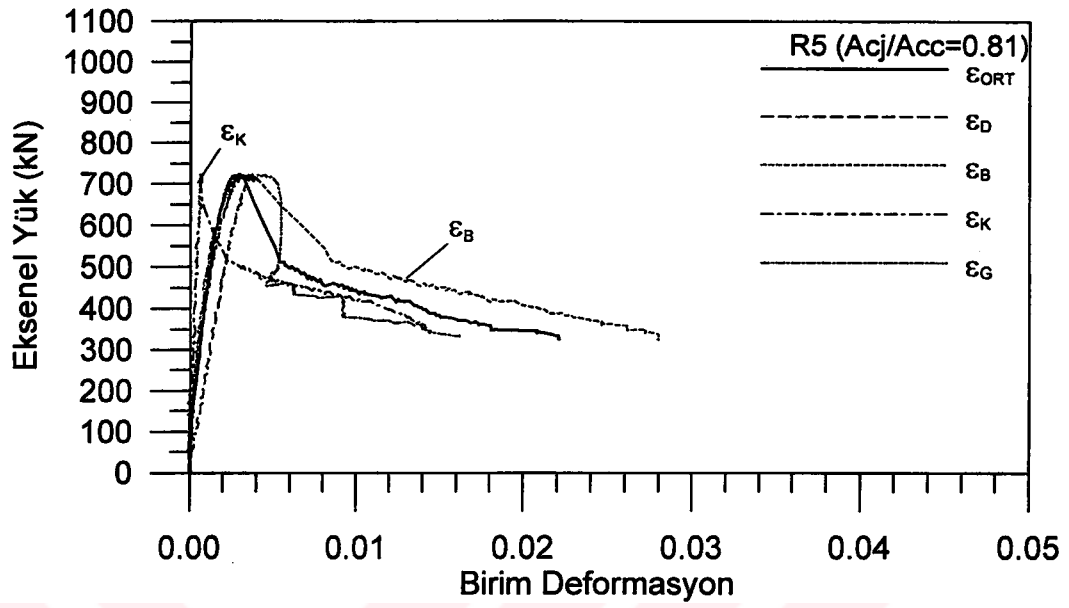


a) İç ölçüm bölgesi

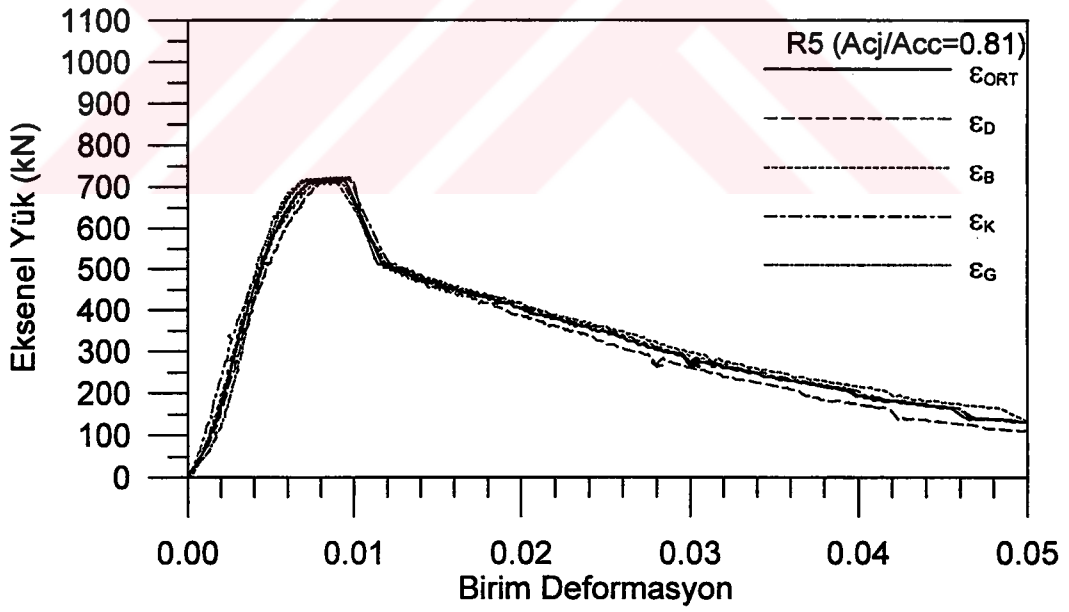


b) Dış ölçüm bölgesi

Şekil 5.13. R4 deney elemanının ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi

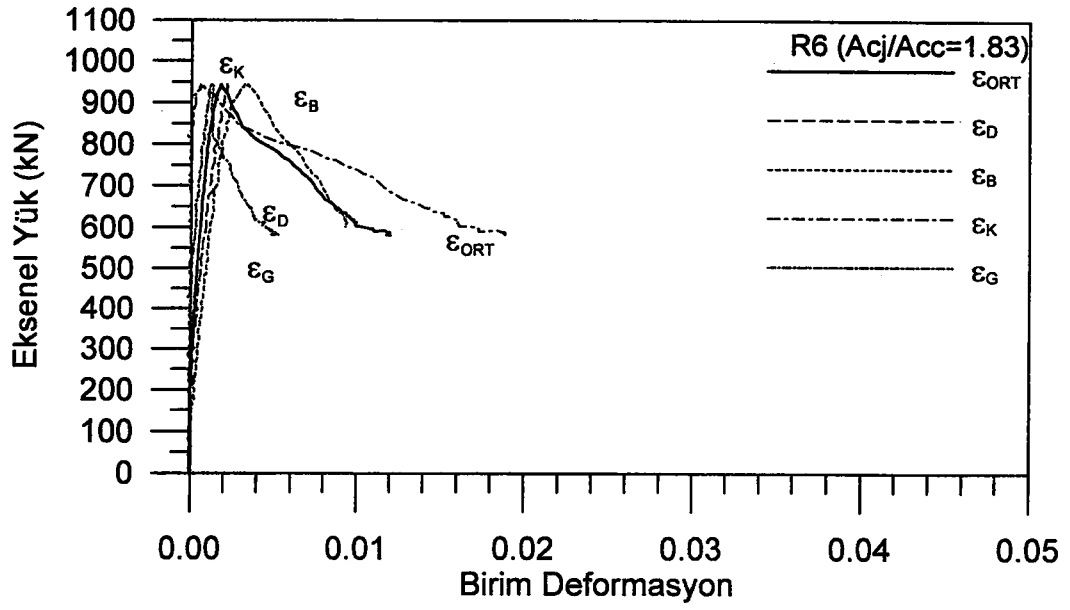


a) İç ölçüm bölgesi

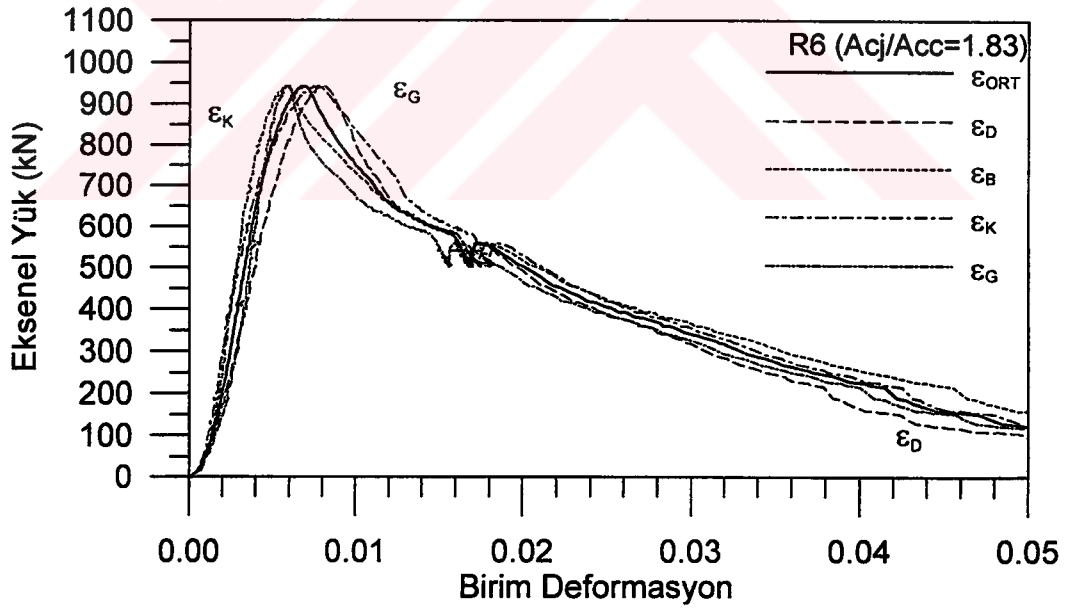


b) Dış ölçüm bölgesi

Şekil 5.14. R5 deney elemanının ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi

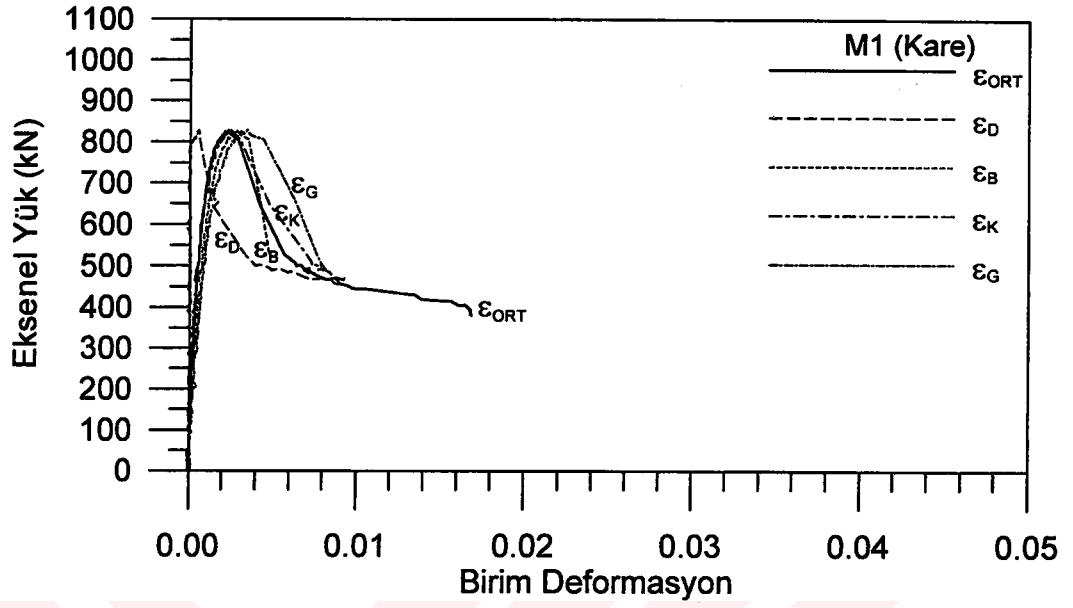


a) İç ölçüm bölgesi

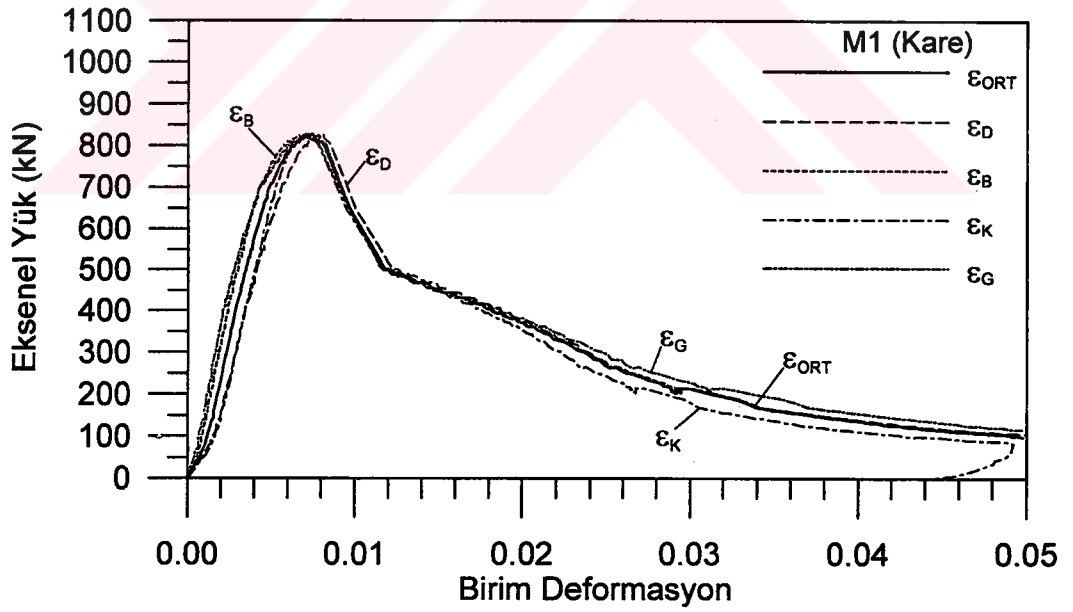


b) Dış ölçüm bölgesi

Şekil 5.15. R6 deney elemanının ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi

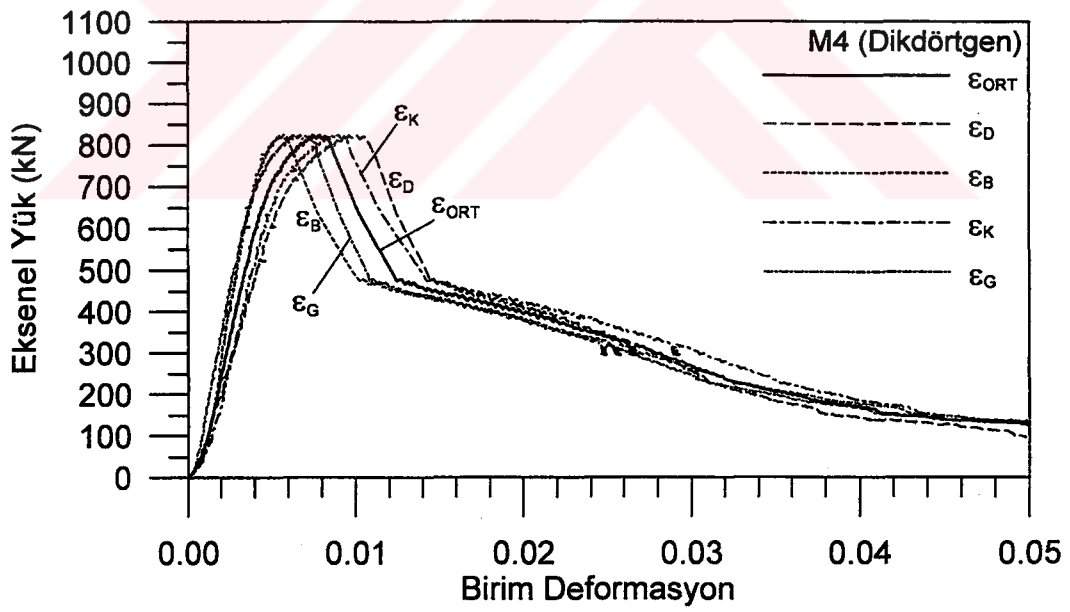
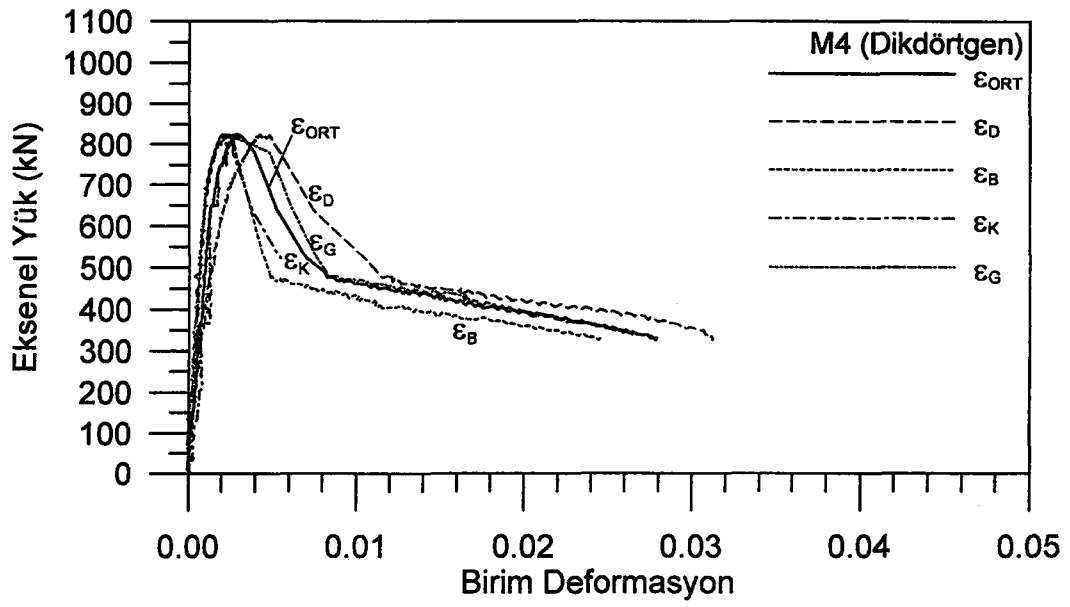


a) İç ölçüm bölgesi

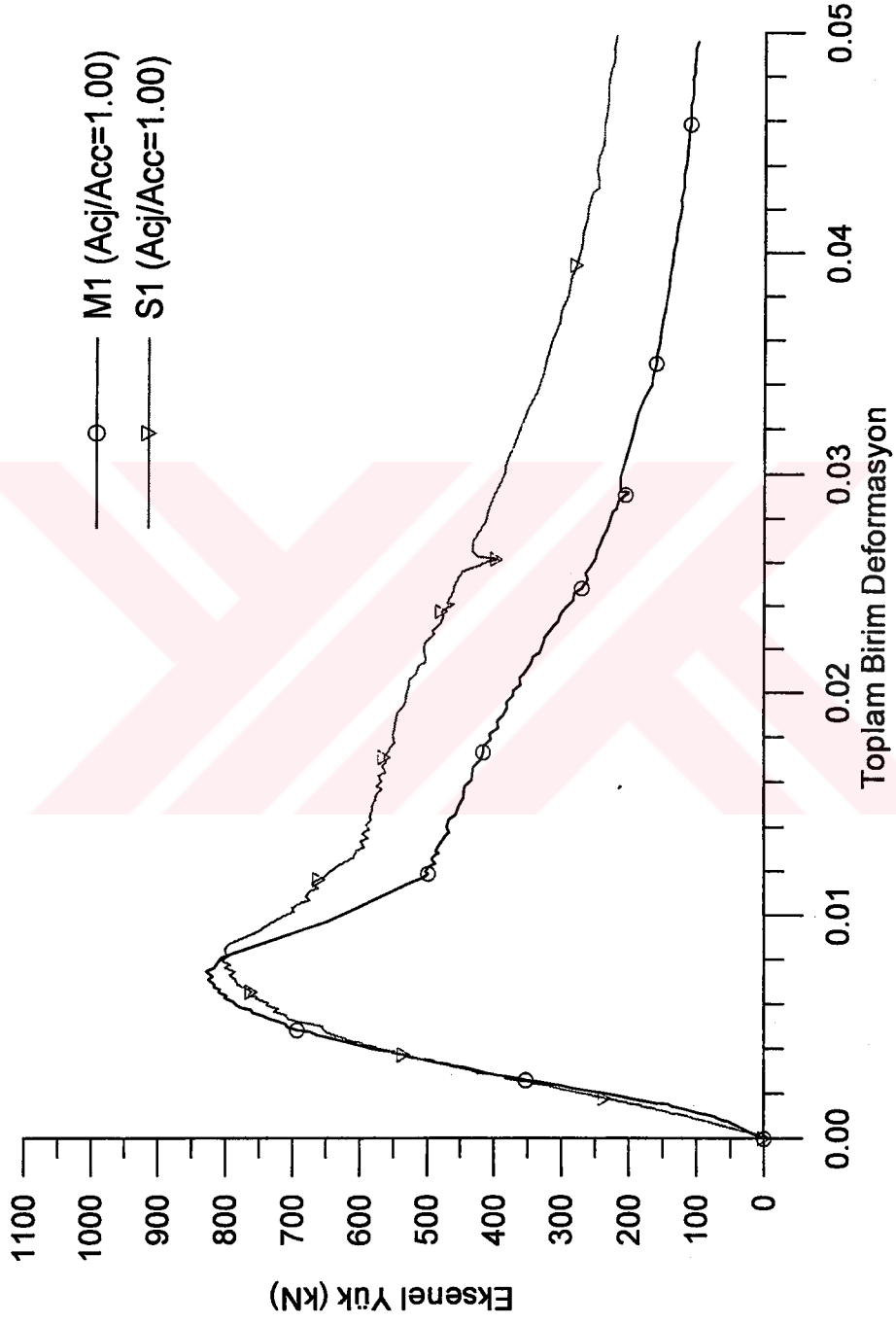


b) Dış ölçüm bölgesi

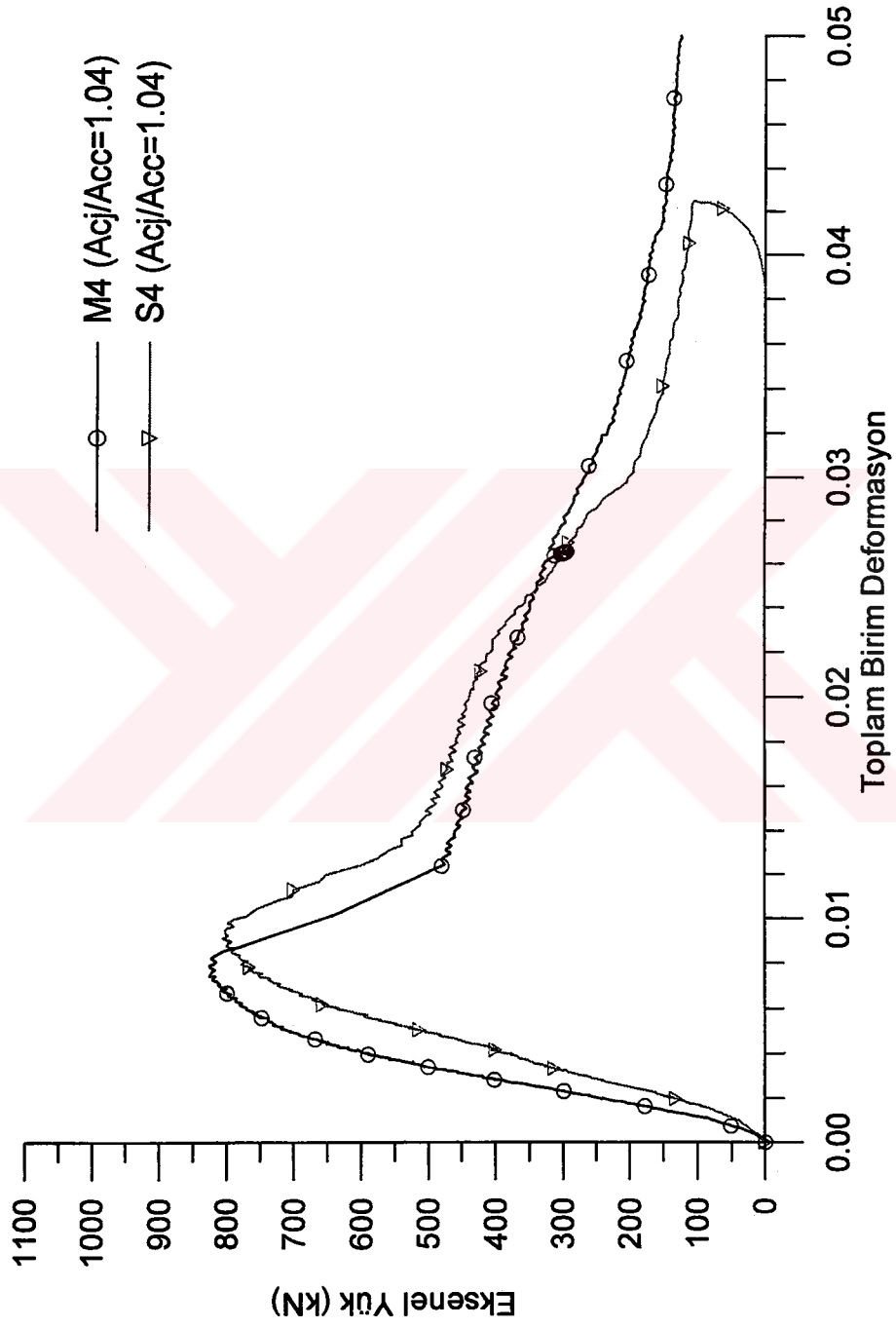
Şekil 5.16. M1 deney elemanının ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi



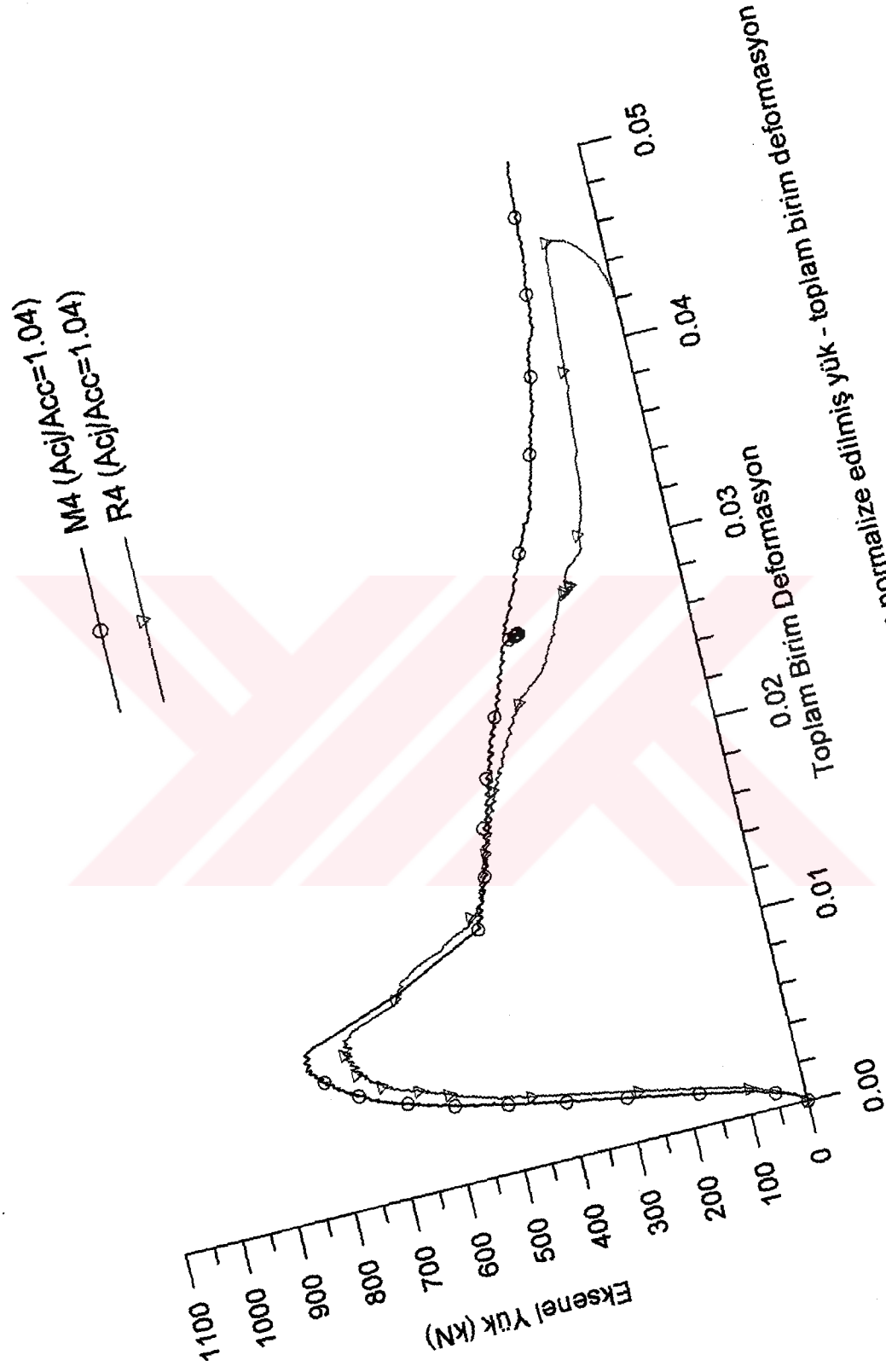
Şekil 5.17. M4 deney elemanının ortalama ve dört yüzündeki yük-birim deformasyon ilişkisi



Şekil 5.18. S1 ve M1 elemanlarının normalize edilmiş yük - toplam birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 5.19. Güçlendirilmiş S4 ve monolitik M4 elemanlarının normalize edilmiş yük - toplam birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 5.20. Onarılmış R4 ve monolitik M4 elemanlarının normalize edilmiş yük - toplam birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması

5.1. Deney Elemanlarının Dayanım Özellikleri

Deney elemanlarının akma anındaki, süneklik sınırındaki ve elemanların taşıyabildiği maksimum normalize edilmiş eksenel yük dayanımları Çizelge 5.1'de verilmiştir. Bu çizelgeye ait düşünceler ve verilerden elde edilen bulgular şunlardır.

- Kesit geometrisi bakımından farklı olan iki onarım grubu elemanı S1-2 ve S4 hemen hemen aynı tepe yükü altında göçtüğü gözlemlenmiştir. Monolitik M1 ve M4 elemanında da aynı davranış gözlemlenmiştir. Onarım elemanlarının referans monolitik elemanlara göre dayanım kaybı yaklaşık %3 civarında olmuştur.
- Tepe yükündeki beklenen kayıp oranı, onarım ve güçlendirme elemanları arasında mantık çerçevesine oturtulamamıştır. S4 ve R4 elemanları arasında dayanım kaybı beklediği gibi gerçekleşirken, S5-R5 ve S6-R6 elemanları arasında aynı kaybı gözlemlenmek mümkün olamamıştır. Özellikle aynı parametrelere sahip, onarılan R6 elemanının, güçlendirilen S6 elemanından daha yüksek bir dayanım göstermesi açıklanamamıştır.
- Bütün deney elemanlarında, akma anındaki eksenel yüklerin, kolonun tepe yükünün yaklaşık %80'i mertebesinde olduğu gözlenmiştir. Ancak, bu noktadan hareketle bir genelleme yapılamayacağı açıktır.
- Deney elemanların tümünde, elemanın aktığı andan itibaren, süneklik sınırına ulaştığı ana kadar birim deformasyonlarında yaklaşık olarak %100'lük bir artış olduğu gözlemlenmiştir.
- Bu artışın yaklaşık olarak %30'luk bir kısmının, elemanın tepe yükünün aşıldığı andan itibaren gerçekleştiği de tablodan okunabilmektedir.
- Ancak, geriye kalan yaklaşık %70'lik birim deformasyon artışının akma anı ile tepe noktası arasında gerçekleşmiş olabileceği varsayımını Çizelge 5.1 desteklememektedir. Bu tutarsızlığın muhtemel sebebinin, dış ve iç ölçüm verileri baz alınarak hesaplanan davranış bakımından farklı bölgelerin birim deformasyon oranları, olduğu düşünülmektedir. Diğer bir

değişle, deney elemanlarında ölçüm bölgesi dışında gerçekleşen deformasyonların, bu noktada bir yargıya varılabilmesini mümkün kılmadığı görülmüştür.



Çizelge 5.1. Deney elemanlarının dayanım ve birim deformasyon özellikleri

DAYANIM VE BİRİM DEFORMASYONLAR												ORANLAR						
AKMADA				TEPE NOKTASI				SÜNEKLİK SINIRI				N _{0N}		$\frac{(\epsilon_{co})_{iç}}{(\epsilon_{cy})_{iç}}$		$\frac{(\epsilon_{0,85})_{dış}}{(\epsilon_{co})_{dış}}$		
N _{yN} [*]	(ϵ_{cy}) _{iç}	(ϵ_{cy}) _{dış}	N _{0N} [*]	(ϵ_{co}) _{iç}	(ϵ_{co}) _{dış}	N _{0,85N} [*]	($\epsilon_{0,85}$) _{dış}											
S1-2	647	0,0015	0,0047	807	0,0035	0,0083	686	0,0106										
S2-2	617	0,0016	0,0058	735	0,0028	0,0085	625	0,0110										
S3-2	776	0,0011	0,0048	961	0,0021	0,0070	817	0,0099										
S4	648	0,0013	0,0061	806	0,0021	0,0094	685	0,0114										
S5	583	0,0013	0,0061	725	0,0023	0,0093	616	0,0126										
S6	745	0,0014	0,0043	927	0,0024	0,0070	788	0,0096										
R4	600	0,0014	0,0047	756	0,0023	0,0078	643	0,0100										
R5	568	0,0015	0,0050	723	0,0030	0,0089	614	0,0106										
R6	780	0,0009	0,0048	944	0,0019	0,0068	802	0,0091										
M1	688	0,0010	0,0047	828	0,0023	0,0075	704	0,0091										
M4	663	0,0015	0,0046	825	0,0028	0,0074	701	0,0096										

* Çizelgede verilen yük değerleri kN cinsindendir.

5.2. Deney Elemanlarının Eksenel Rijitlik Özellikleri

Deney elemanlarının eksenel rijitlikleri, elemanlara ait yük-birim deformasyon eğrileri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar yapılırken yük-birim deformasyon eğrisinin çıkış bölgesinde bulunan $0 - 0.1N_{0N}$ yük aralığı ve tepe noktası bölümünde bulunan $0.85N_{0N} - N_{0N}$ yük aralığı rijitlik bölgesinin içinde bulunacağı bir kısım olarak dikkate alınmamıştır. Eğrinin çıkış kolu üzerinde geriye kalan veriler üzerinde istatistiksel olarak diziyi en iyi biçimde ifade edebilecek birinci derecen doğru geçirilmeye çalışılmıştır. İstatistiksel hesaplar Microsoft Excel programı kullanılarak yapılmıştır. Hesaplar sonucunda veri yığınının ifade edilebilme başarısı, en az %95 olarak hedeflenmiş ve bu hedefe ulaşılmıştır. Deney elemanlarına ait bu doğruların eğimleri hesaplanarak, kolonların eksenel rijitlikleri hesaplanmıştır. deney parametrelerine göre hesaplanan elemanlara ait rijitlik grafikleri Şekil 5.21 – 5.23’de sunulmuştur. Çizelge 5.2’de deney elemanlarının eksenel rijitlikleri oransal olarak hesaplanmış ve kıyaslamalı bir biçimde sunulmuştur. Bu çizelgedeki rijitlik oranları incelenerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Kare kesitli monolitik M1 elemanı ile benzer özellikte olan güçlendirilen S1-2 elemanı, monolitik elemanın rijitliğinin yaklaşık %60’ına ulaşabilmiştir.
- Dikdörtgen kesitli S4 elemanı ise özdeş monolitik elemanının rijitliğinin yaklaşık %96’sına erişebilmiştir. Onarım grubundaki R4 elemanında ise bu oran %93’tür.
- Dikdörtgen kesitli S4 elemanının, kare kesite sahip S1-2 elemanına göre %21 oranında daha rijit olduğu gözlemlenmiştir. Monolitik elemanlar kıyaslandığında ise kare deney elemanı, dikdörtgen kesitli elemana göre %37 oranında daha rijittir.
- Çizelgede dikkati çeken bir başka nokta ise R5 elemanın en düşük rijitliğe sahip olmasıdır. Bunun en basit açıklaması B5 yalın elemanının diğer yalın elemanlara göre daha fazla hasar görmüş olmasıdır.

5.3. Deney Elemanlarının Enerji Tüketim Kapasitelerinin Değerlendirilmesi

Deney elemanlarının herbirinin normalize eksenel yük - deformasyon eğrisinin altında kalan alan, elemanın eksenel yük taşıma kapasitesinin %15 kayba uğradığı yük aşamasına kadar hesaplanarak, deney elemanlarının tükettiği deformasyon enerjisi hesaplanmıştır. Hesapta kullanılan deplasman değerleri dış ölçüm düzeneğinden elde edilmiştir. Bu noktada elemanın tüm boyunun dikkate alınması, göreceli olarak diğer bir kolona göre bir avantaj oluşturmamaktadır. Öte yandan iç deformasyon değerlerinin zaten elde edilememiş olması hesaplama aşamasında başka bir seçenek de ortaya koyamamıştır. Deney elemanlarının tükettiği deformasyon enerjisinin, tekbaşına sayısal bir değer olarak, tablolanmasının, çok fazla anlam taşımayacağı düşünülmüştür. Bu sebeple, elemanların enerji tüketim kapasiteleri, elemanlar arasında birbirine göre oranlanılarak Çizelge 5.3'te sunulmuştur ve Şekil 5.24 – 5.31'de görsel olarak sunulmuştur. Çizelge 5.3'te dikkat çeken noktalar şu şekildedir.

- Güçlendirilen S4, S5 ve S6 deney elemanlarının, deney parametreleri bakımından özdeş olduğu sırası ile R4, R5 ve R6 elemanlarına göre daha fazla enerji tüketmişlerdir.
- $A_{cj}/A_{cc}=1$ oranına sahip olan kare kesitli S1-2 ve dikdörtgen kesitli S4 kolon elemanları, manto alanının kolon alanına oranının 1.8 olduğu kare kesitli S3-2 ve dikdörtgen kesitli S6 elemanlarına göre daha sünek davranmışlardır.
- Monolitik M1 ve M4 elemanlarının enerji tüketme kapasitelerinin yaklaşık olarak aynı seviyede olduğu gözlemlenmiştir. Ancak bu elemanların kapasitelerinin benzer parametrelere sahip güçlendirilen S1-2 ve S4 elemanlarından daha düşük olduğu görülmüştür.
- Mantolanarak, onarılmış ve güçlendirilmiş elemanların enerji tüketme kapasitesi bakımından monolitik elemanların kapasitesine ulaşabildiği gözlemlenmiştir. Bu sebeple enerji tüketim kapasitesi bakımından, yöntemin yeterli olduğu kanısına varılmıştır.

Çizelge 5.2. Deney elemanlarının birbine göre kıyaslamalı rijitlik tablosu.

	S1-2	S2-2	S3-2	S4	S5	S6	R4	R5	R6	M1	M4
S1-2	1,00	1,01	2,01	1,21	1,19	1,26	1,17	0,96	1,62	1,74	1,26
S2-2		1,00	1,99	1,20	1,18	1,25	1,15	0,95	1,61	1,72	1,25
S3-2			1,00	0,60	0,59	0,63	0,58	0,48	0,81	0,87	0,63
S4				1,00	0,98	1,04	0,96	0,79	1,34	1,43	1,04
S5					1,00	1,06	0,98	0,81	1,36	1,46	1,06
S6						1,00	0,92	0,76	1,29	1,38	1,00
R4							1,00	0,83	1,39	1,49	1,08
R5								1,00	1,69	1,81	1,31
R6									1,00	1,07	0,78
M1										1,00	0,73
M4											1,00

Tanımsız Bölge

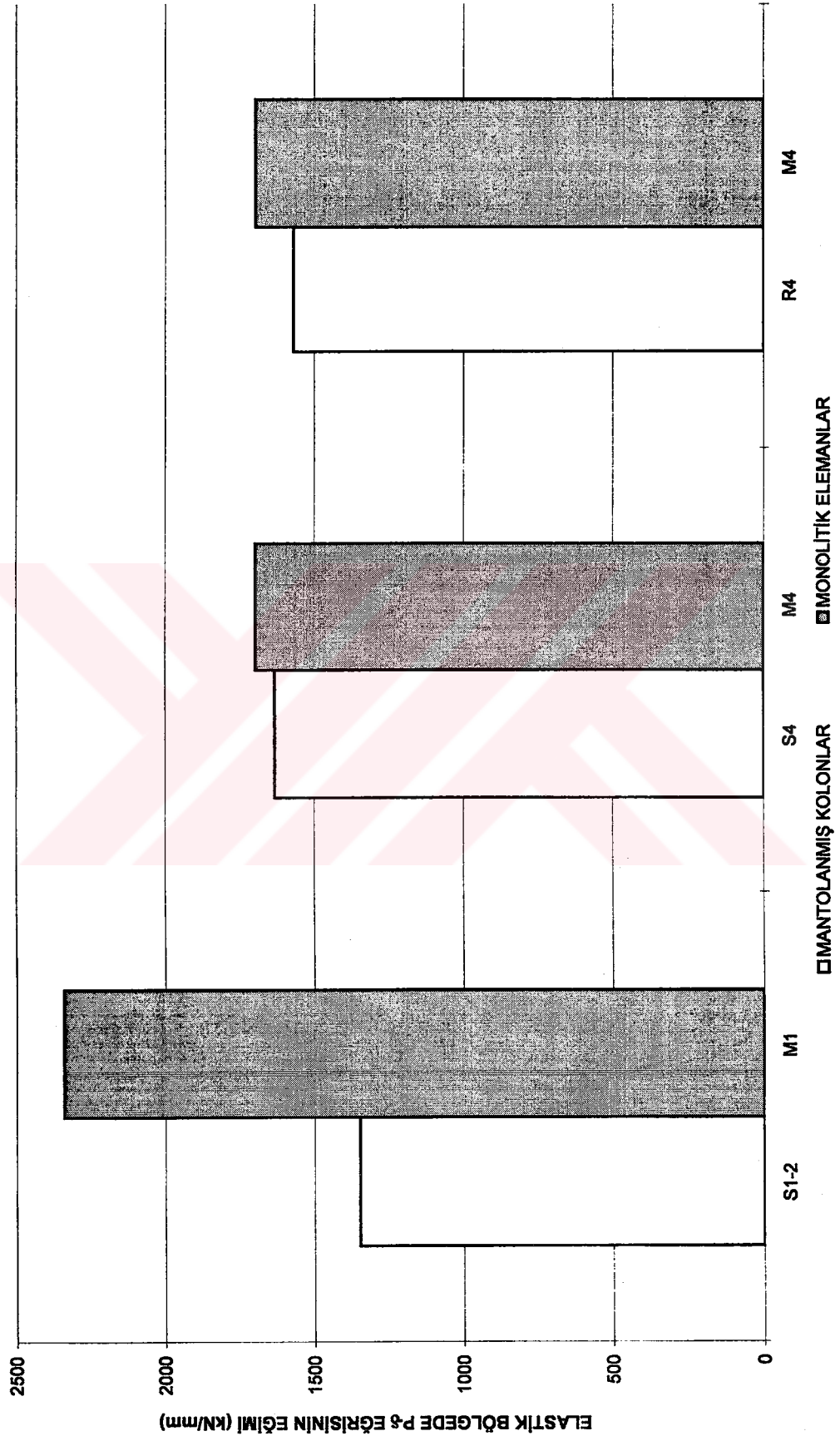
Not : Sütün başlığı pay, satır başlığı ise payda değeridir.

Çizelge 5.3. Deney elemanlarının tükettiği deformasyon enerjisinin kıyaslamalı tablosu.

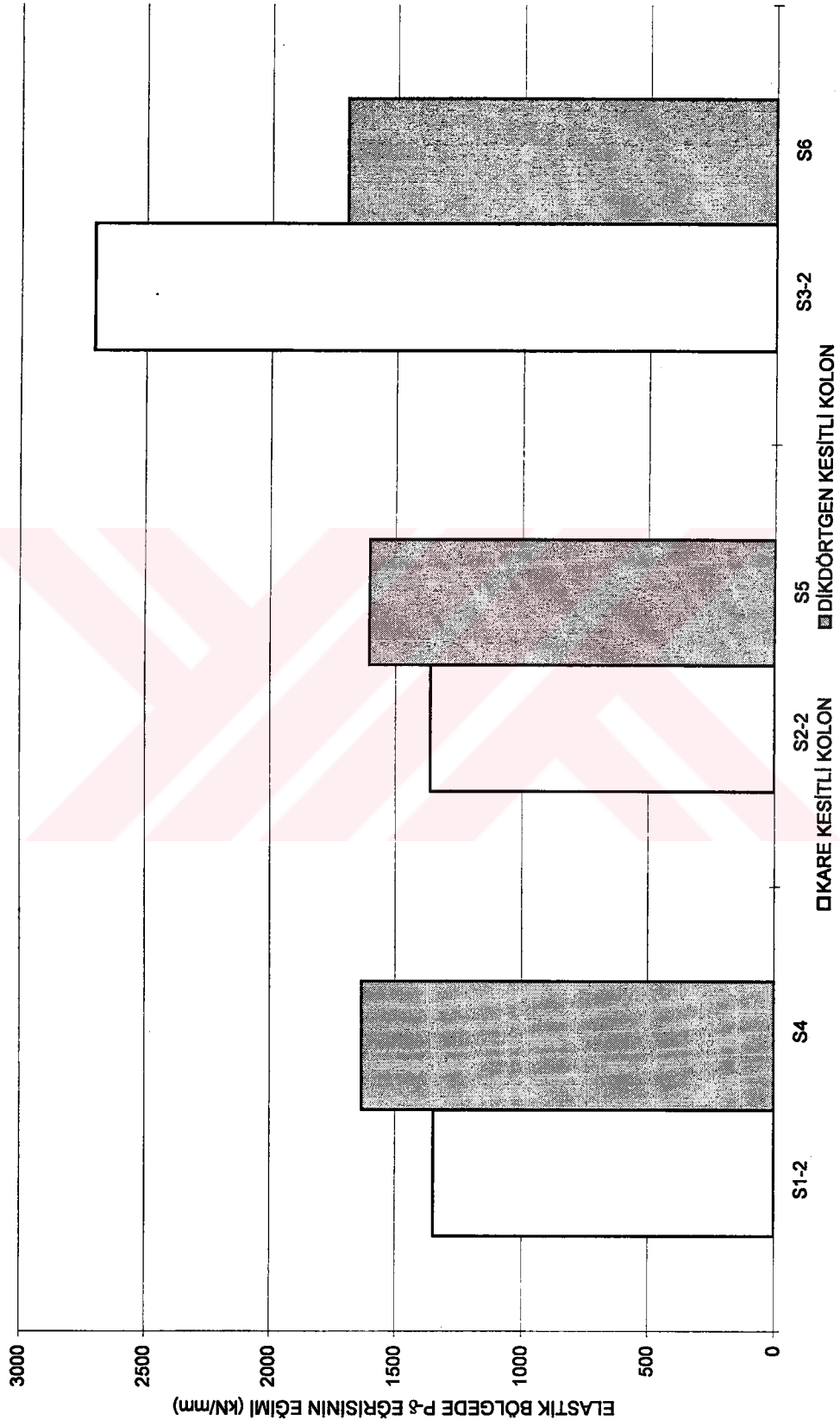
	S1-2	S2-2	S3-2	S4	S5	S6	R4	R5	R6	M1	M4
S1-2	1,00	0,88	1,04	1,04	1,08	1,14	0,85	0,90	0,91	0,89	0,96
S2-2		1,00	1,18	1,19	1,23	1,30	0,97	1,03	1,04	1,01	1,09
S3-2			1,00	1,01	1,04	1,10	0,82	0,87	0,88	0,86	0,92
S4				1,00	1,04	1,09	0,82	0,86	0,87	0,85	0,92
S5					1,00	1,05	0,79	0,83	0,84	0,82	0,89
S6						1,00	0,75	0,79	0,80	0,78	0,84
R4							1,00	1,06	1,07	1,04	1,12
R5								1,00	1,01	0,99	1,06
R6									1,00	0,98	1,05
M1										1,00	1,08
M4											1,00

Tanımsız Bölge

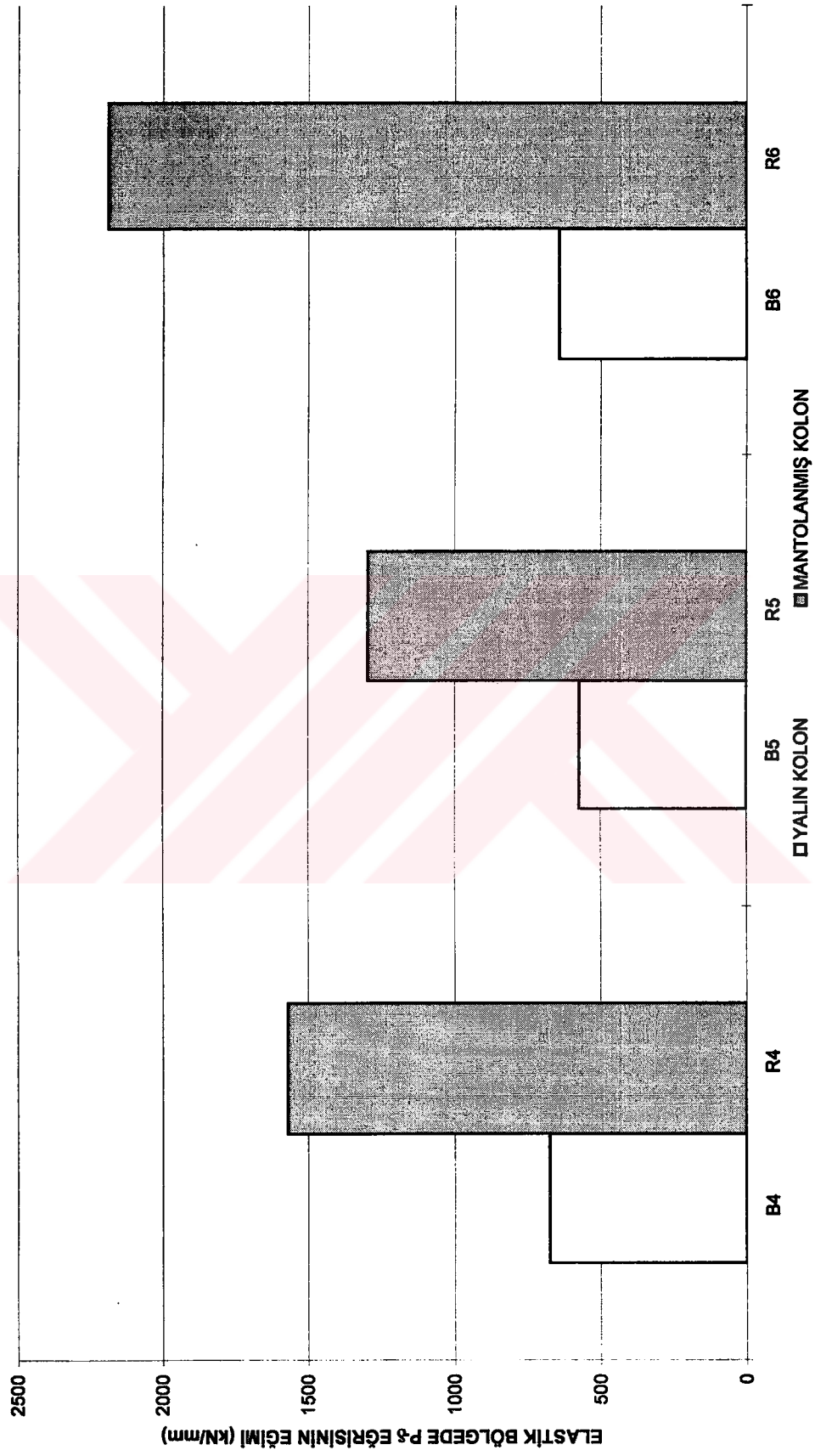
Not : Sütün başlığı pay, satır başlığı ise payda değeridir.



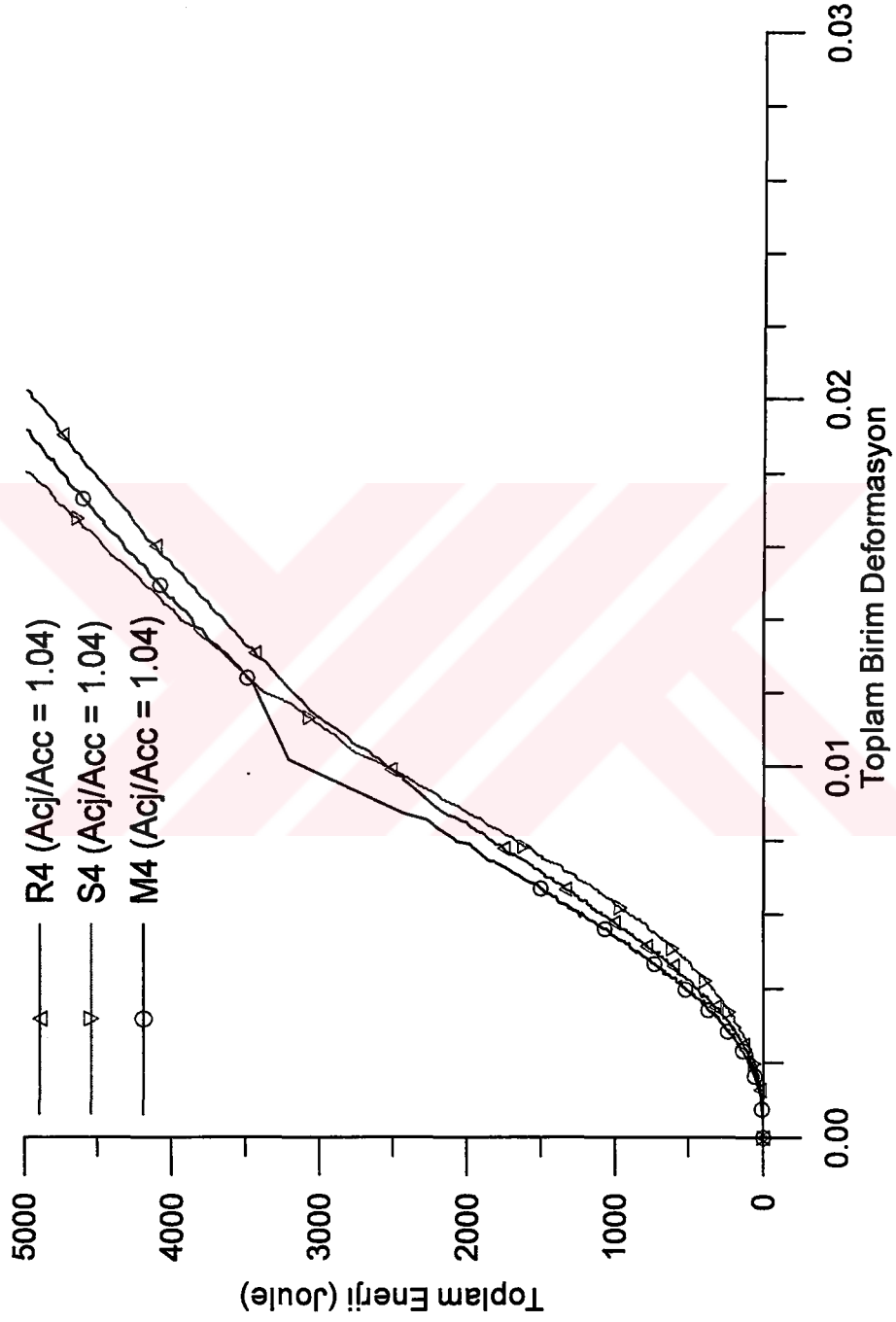
Şekil 5.21. Monolitik referans elemanları ile mantolanmış deney elemanlarının rijitliklerinin karşılaştırılması.



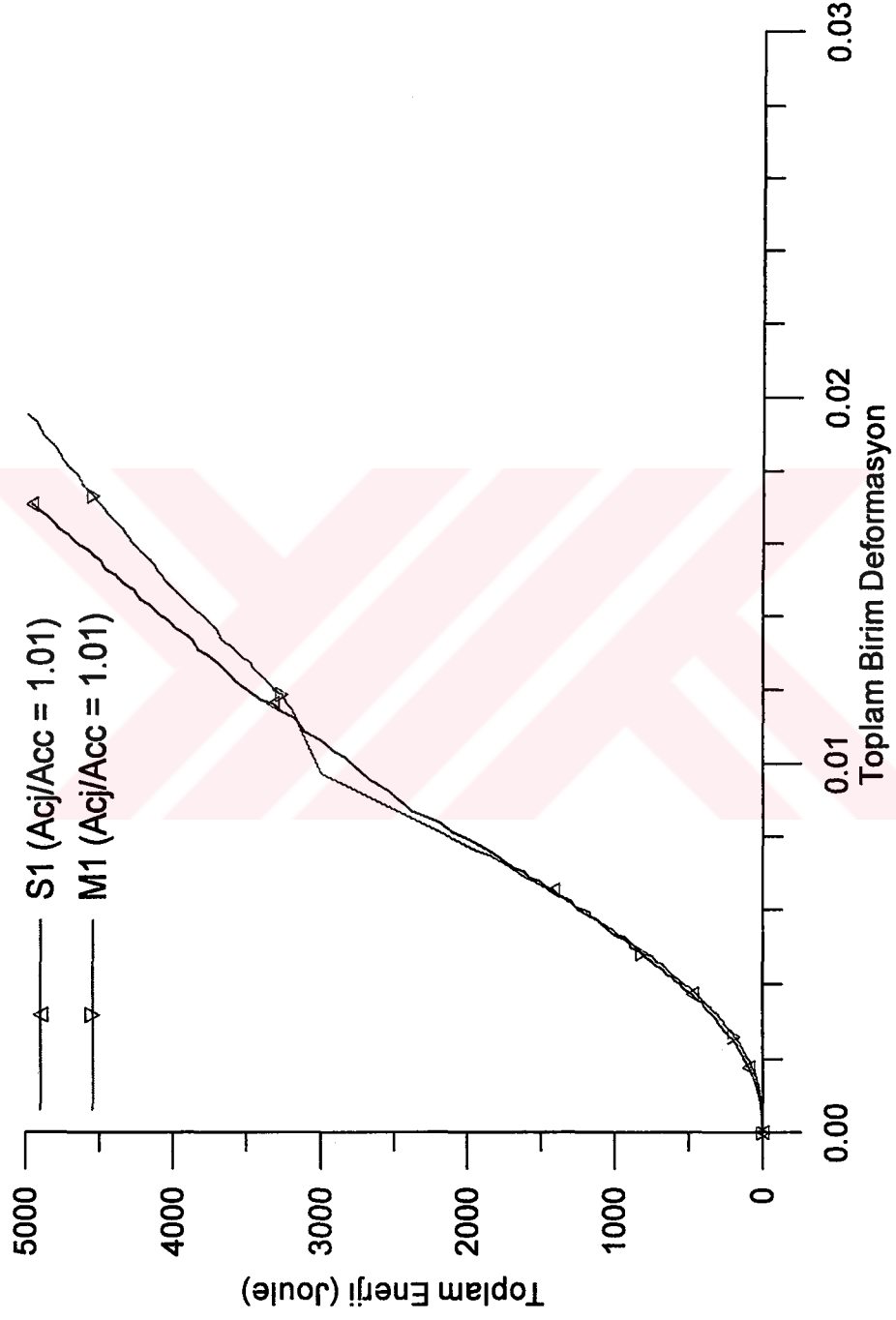
Şekil 5.22. Boyutları aynı oranda artırılmış S1-S4, S2-S5, S3-S6 güçlendirme deneylerinden elde edilen kıyaslamalı rijitlik artışları.



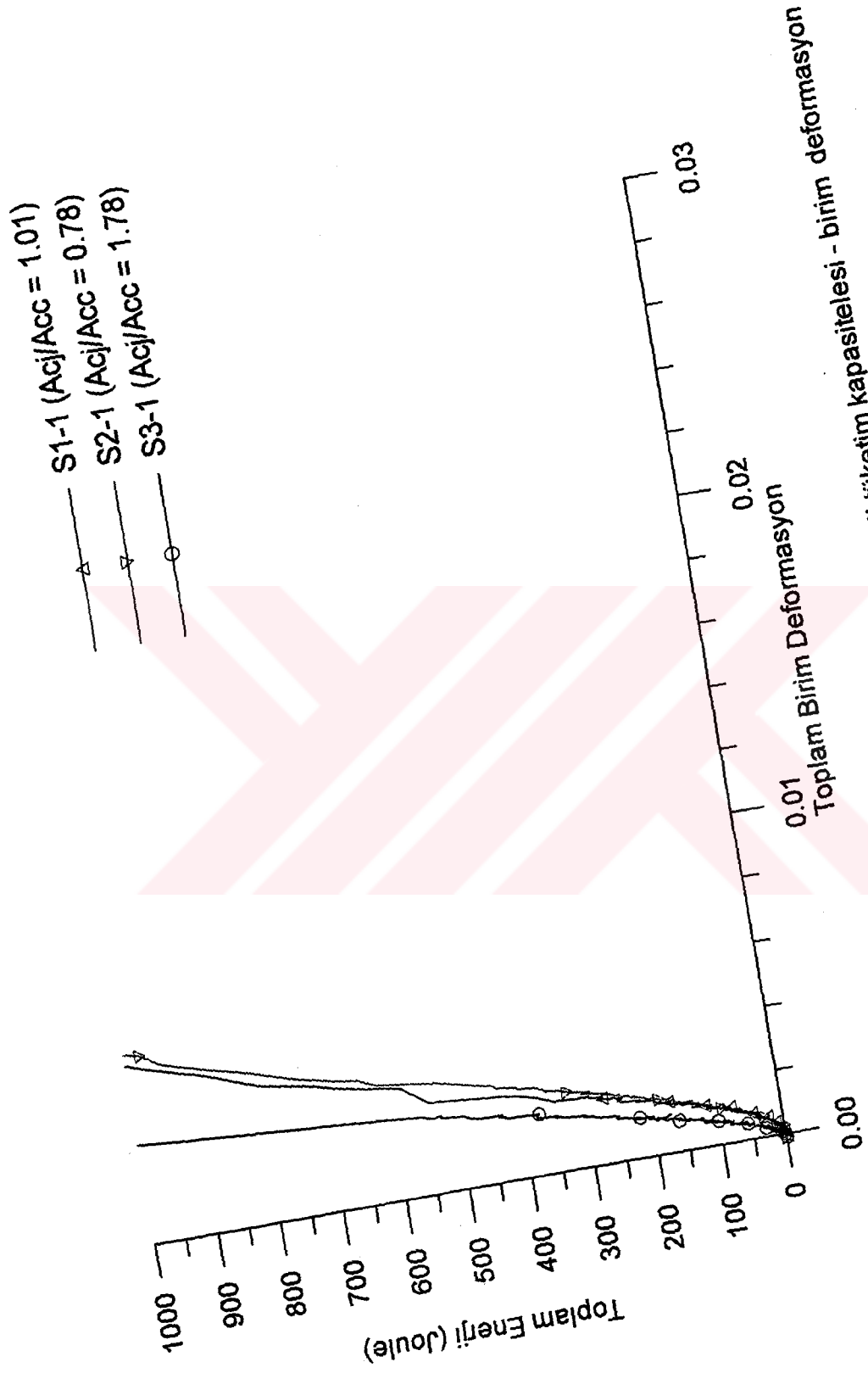
Şekil 5.23. Mantolanarak onarılan R4, R5 ve R6 deney elemanlarındaki rijitlik artışının yalın elemanlarla kıyaslaması.



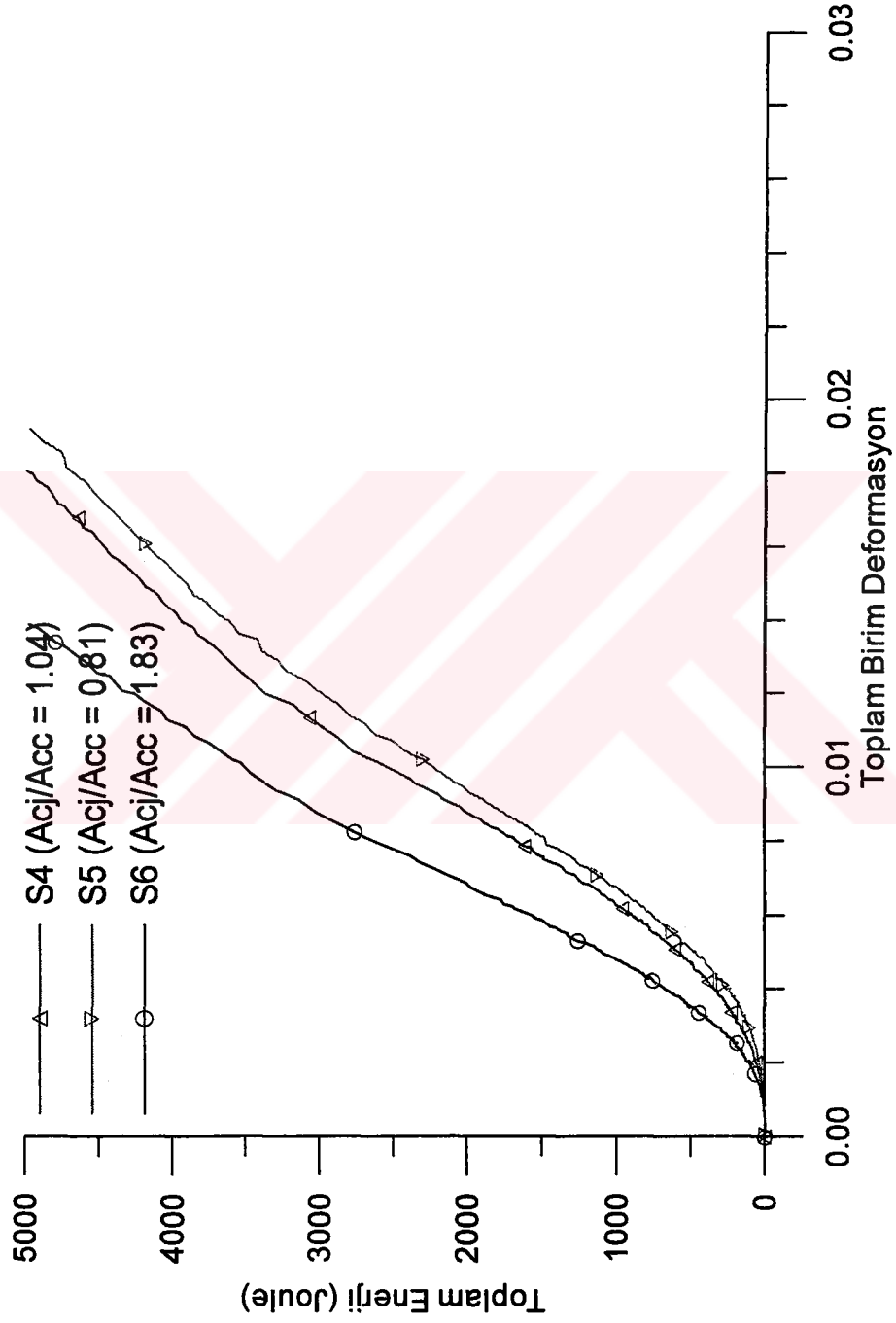
Şekil 5.24. Onarılmış R4, güçlendirilmiş S4 ve monolitik M4 elemanlarının enerji tüketim kapasitelesi - birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması



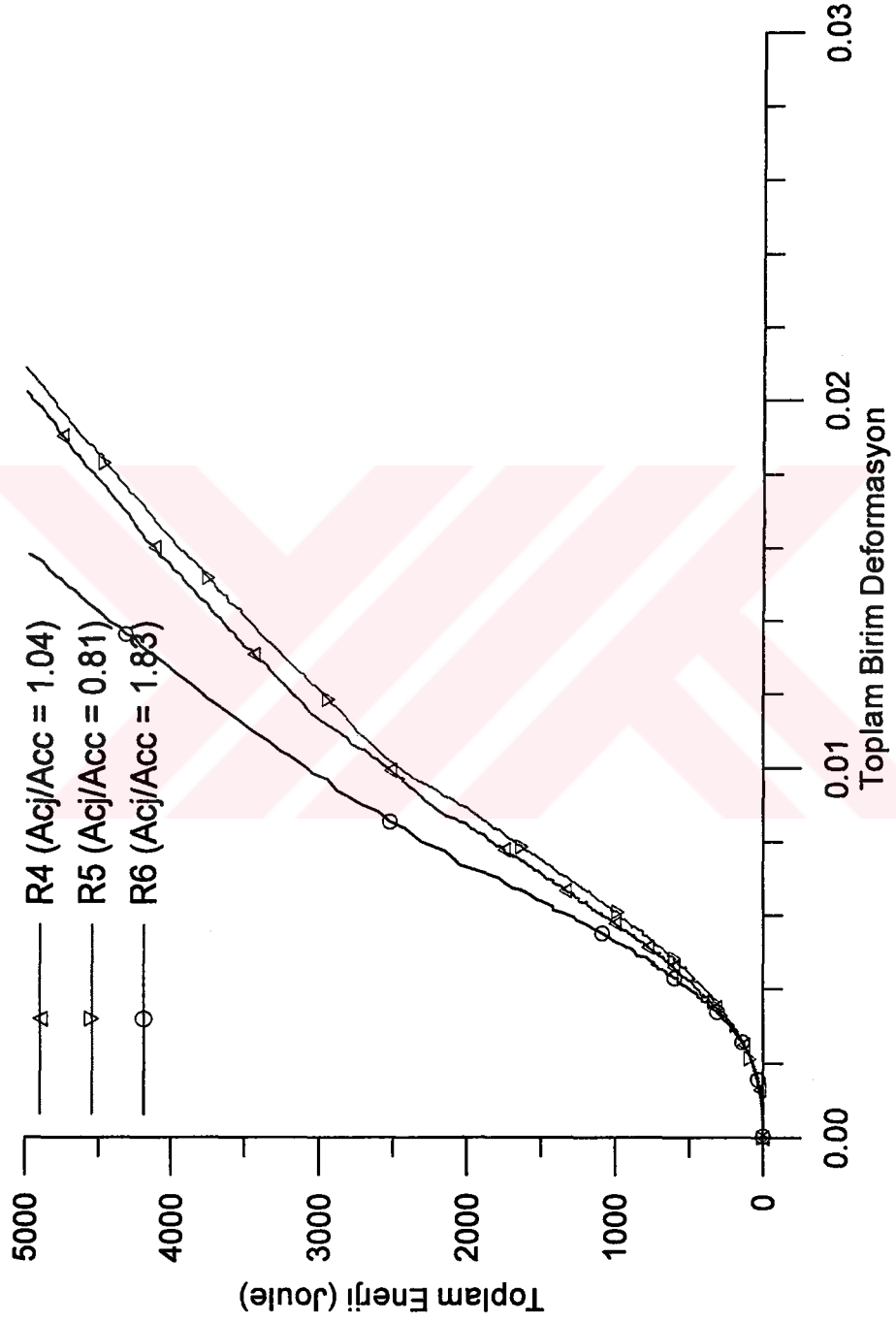
Şekil 5.25. Güçlendirilmiş S1 ve monolitik M1 elemanlarının enerji tüketim kapasitelesi - birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması



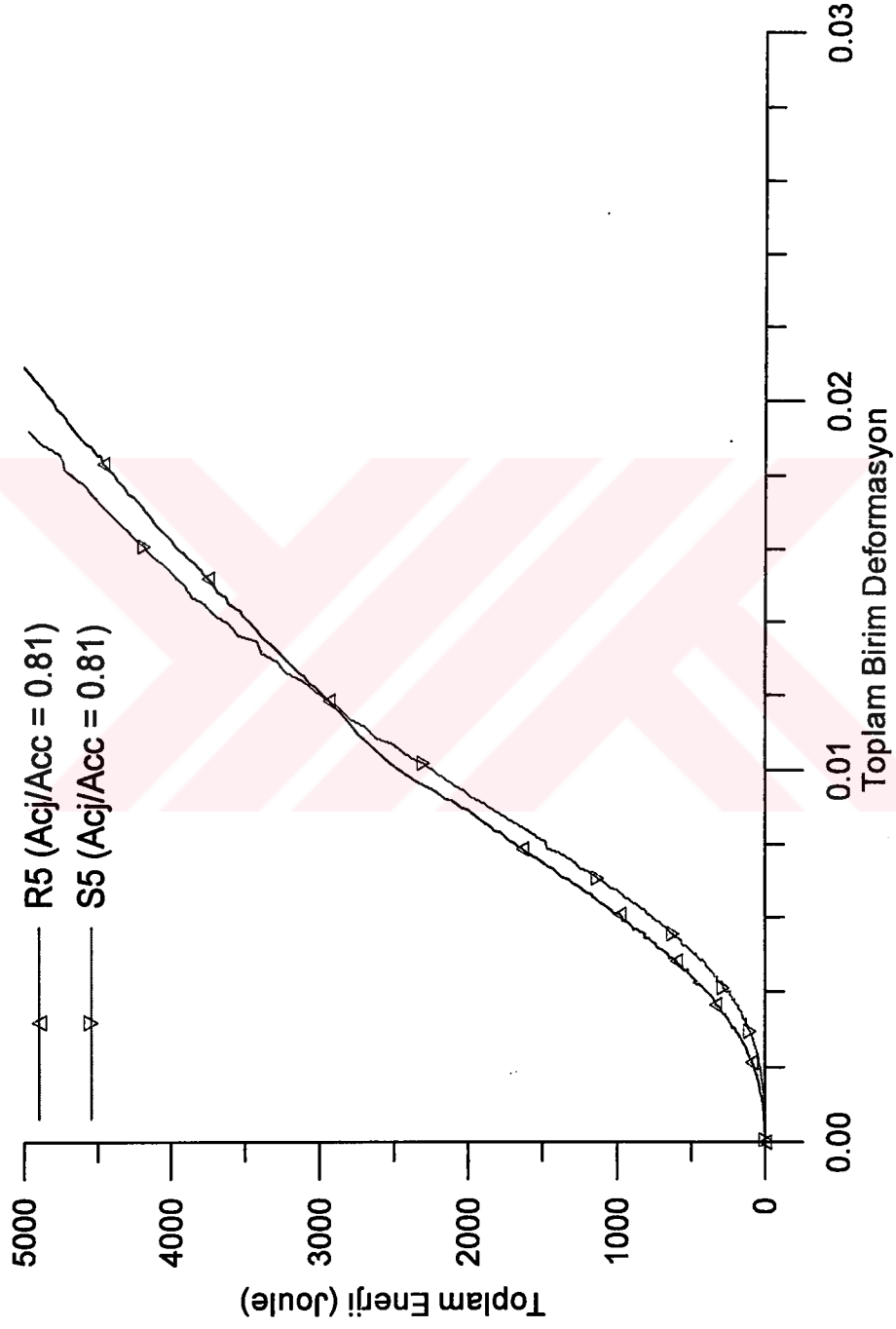
Şekil 5.26. Güçlendirilmiş S1-1, S2-1 ve S3-1 elemanlarının enerji tüketim kapasitelesini karşılaştırılması



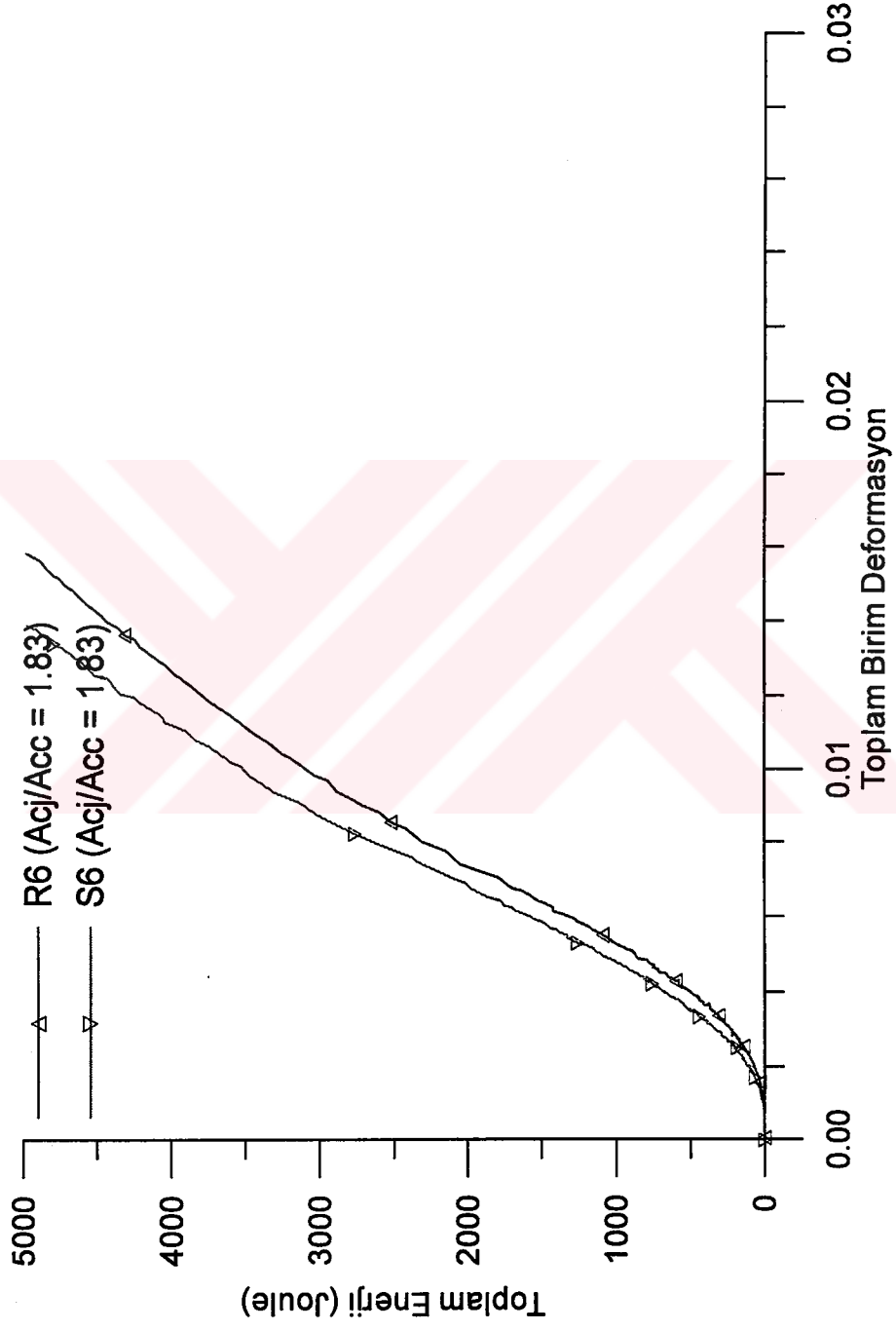
Şekil 5.28. Güçlendirilmiş S4, S5 ve S6 elemanlarının enerji tüketim kapasitelesi - birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 5.29. Onarılmış R4, R5 ve R6 elemanlarının enerji tüketim kapasitelesi - birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 5.30. Onarılmış R5 ve güçlendirilmiş S5 elemanlarının enerji tüketim kapasitelesi - birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 5.31. Onarılmış R6 ve güçlendirilmiş S6 elemanlarının enerji tüketim kapasitelesi - birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması

5.4. Deney Elemanlarının Sünekliklerinin Değerlendirilmesi

Deney elemanların süneklik sınırı, elemanın taşıma gücünün %15 kayba uğradığı nokta olarak kabul edilmiştir. Bu andaki birim şekil değiştirmenin ($\epsilon_{0.85}$), akma anındaki birim şekil değiştirmeye (ϵ_y) oranlanması ile deney elemanlarının sünekliği hesaplanmıştır. Çizelge 5.4 ve 5.5'de deney elemanların süneklik değerleri iç ve dış ölçümler olmak üzere iki farklı biçimde hazırlanmış ve birbirlerine göre kıyaslamalı olarak sunulmuştur. Dış ölçümlerin baz alındığı Çizelge 5.5'in irdelenmesi sonucunda aşağıdaki sonuca varılmıştır.

- Monolitik M1 ve M4 elemanları benzer davranış göstermişlerdir. Aynı şekilde güçlendirilen S1-2 ve S4 elemanları da aynı şekilde davranışlardır. Beklenen davranışında bu şekilde olduğu belirtilirse, iç ölçüm değerlerinin güvenilmezliği ortaya çıkmaktadır.
- S1 ve S4 elemanları monolitik benzerlerine göre yaklaşık %10 daha sünek davranmışlardır.
- Onarılan R4 elemanı ise benzeri S4'e göre %17 daha az deformasyon yapabirmiştir. Ancak $A_{cj}/A_{cc}=0.8$ ve $A_{cj}/A_{cc}=1.8$ oranına sahip onarım elemanları R5 ve R6 parametrik özdeş onarım grubu elemanları S5 ve S6'ya göre yaklaşık %9 oranında daha sünek davranmışlardır.
- Tabloda gözlemlenen, bazı beklenmeyen değerler aslında, elemanların laboratuvar şartlarında her ne kadar da konsantrik yükleme yapılması istense de, bu amaca tam olarak ulaşamadığını, aşırı hasar gören elemanlarda kayma düzleminin belirginleşmesiyle eğilme etkisinin olduğu göstermiştir. Ancak konsantrik yüklenen deney elemanlarında belirgin bir süneklik artışı beklenmediğinden, mantolama yönteminin süneklikte etkin olamaması beklenen bir netice olmuştur.

Çizelge 5.4. Deney elemanlarına ait, iç ölçüm düzeneğinden alınan okumaların ortalamasıyla hesaplanan süneklik oranları.

	S1-2	S2-2	S3-2	S4	S5	S6	R4	R5	R6	M1	M4
S1-2	1,00	1,18	1,89	1,93	1,69	1,48	0,97	1,54	1,44	1,59	1,23
S2-2		1,00	1,59	1,63	1,43	1,25	0,82	1,30	1,22	1,35	1,04
S3-2			1,00	1,02	0,90	0,79	0,52	0,82	0,77	0,85	0,65
S4				1,00	0,88	0,77	0,50	0,80	0,75	0,83	0,64
S5					1,00	0,88	0,57	0,91	0,85	0,94	0,73
S6						1,00	0,65	1,04	0,97	1,07	0,83
R4							1,00	1,59	1,48	1,64	1,27
R5								1,00	0,94	1,03	0,80
R6									1,00	1,10	0,85
M1										1,00	0,77
M4											1,00

Tanımsız Bölge

Not : Sütün başlığı pay, satır başlığı ise payda değeridir.

Çizelge 5.5. Deney elemanlarına ait, dış ölçüm düzeneğinden alınan okumaların ortalamasıyla hesaplanan süneklik oranları.

	S1-2	S2-2	S3-2	S4	S5	S6	R4	R5	R6	M1	M4
S1-2	1,00	0,99	0,87	1,06	0,89	0,97	0,88	0,97	1,04	0,90	0,97
S2-2		1,00	0,88	1,07	0,90	0,98	0,89	0,98	1,05	0,91	0,98
S3-2			1,00	1,21	1,01	1,10	1,00	1,11	1,19	1,03	1,11
S4				1,00	0,84	0,91	0,83	0,92	0,99	0,85	0,92
S5					1,00	1,09	0,99	1,09	1,18	1,01	1,09
S6						1,00	0,91	1,00	1,08	0,93	1,00
R4							1,00	1,10	1,19	1,02	1,10
R5								1,00	1,08	0,93	1,00
R6									1,00	0,86	0,93
M1										1,00	1,08
M4											1,00

Tanımsız Bölge

Not : Sütün başlığı pay, satır başlığı ise payda değeridir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, mantolanarak onarılan ve güçlendirilen, kare ve dikdörtgen kesitli kolonlar aksenal yük altında denenmiştir. Yükleme monotonik olarak uygulanmıştır. Deneysel parametreler olarak iki farklı kesit geometrisi ve üç adet manto alanının, yalın kolon alanına olan oranı (A_{cj}/A_{cc}) seçilmiştir. Manto alanı parametresi, iki farklı kesit geometrisine sahip eleman grubunda da %80, %100 ve %180 olmak üzere uygulanmıştır. Davranış bakımından farklılıkların ortaya konabilmesi bakımından seçilmiş olan farklı oranların yeterli olduğu görülmüştür. Tüm elemanlarda, mantolama işlemi eleman yüksüz halde iken yapılmıştır. Bununla birlikte mantolanarak onarılan elemanlarda, mevcut deformasyonlar geri alınarak mantolama işlemi elemanlara uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak, elemanlara ait elde edilen dayanım, aksenal rijitlik, süneklik ve tüketilen deformasyon enerjisi gibi parametrelerin incelenmesiyle aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Ancak, gerek parametrelerin fazla olması ve gerekse de verilerin elde edildiği eleman sayısının nispeten az olması sebebiyle, aşağıdaki yargılardan hareketle bir genelleme yapılmaması unutulmamalıdır.

- Dikdörtgen ve kare kesitli deney elemanı gruplarında bir davranış farklılığı gözlenmemiştir. Deney elemanlarının, geçmişteki çalışmalarda yapılmış olan deney elemanlarıyla da aynı şekilde davrandığı görülmüştür.
- Parametrik olarak farklılık içermeyen güçlendirilmiş elemanların monolitik elemanların tepe yüküne ulaşamadığı görülmüştür. Güçlendirilmiş elemanlar monolitik elemanın dayanımının ortalama olarak %97'sine ulaşabilmiştir. Onarılmış eleman ise monolitik deney elemanının dayanımının %92'sine ulaşabilmiştir.
- Monolitik elemanların aksenal rijitliklerinin, benzer parametrelere sahip diğer deney elemanlarına göre daha büyük olduğu saptanmıştır. Kare

kesitli güçlendirilmiş deney elemanı, özdeş monolitik eleman rijitliğinin yaklaşık olarak %60'ına ulaşabilmişken, dikdörtgen kesitli güçlendirilmiş eleman ise dikdörtgen kesitli benzer monolitik eleman rijitliğinin %95'ine ulaşabilmiştir. Onarılan deney elemanda ise bu oran %93 civarında gerçekleşmiştir.

- Eksenel kuvvet altında eleman davranışının sünek olması beklenmemektedir. Bu sebeple bu süneklik parametresi eleman özelliklerinden daha etkin olarak, elemanların yükleme koşulları arasındaki farklılıktan etkilenebilmektedir. Bu görüş doğrultusunda, sonuçlar irdelendiğinde, güçlendirilmiş elemanların monolitik elemanlara göre yaklaşık olarak %10 daha fazla sünek davranması olağan olarak görülmüştür. Bununla birlikte, onarılmış eleman ise monolitik eleman sünekliliğinin yaklaşık olarak %90'ına ulaşabilmiştir. Genel olarak, yukarıda da açıklandığı gibi monolitik eleman dahil hiçbir deney elemanı yeterli bir süneklik gösterememiştir.
- Yukarıda açıklanan süneklik davranışından dolayı, elemanların tükettiği deformasyon enerjisi de benzer oranda farklılık göstermiştir. Ancak elemanlar arasındaki farkların çok küçük olduğu gözlemlenmiştir. Tüm elemanlar deformasyon enerjisi tüketimi açısından yeterli bulunmuştur.

6.2. Öneriler

Yapılmış olan deneysel çalışmada, mantolanarak onarılmış/güçlendirilmiş dikdörtgen ve kare kesitli kolonlar üzerinde manto alanının, davranışa etkisi incelenmiştir. Manto alanı ve kesit geometrisi parametrelerinin irdelendiği bu çalışmada, karakteristik olarak üç alan oranı ve iki farklı kesit geometrisi parametre olarak seçilmiştir. Ancak, deney programının kapsamının genişletilerek daha çok deney elemanı üzerinde, daha geniş oran ve alan parametreleri ile çalışılması daha çok bilgi birikiminin elde edilebilmesi açısından yararlı olacaktır. Konsantrik yükler altında denenen deney elemanlarının, henüz eksantrik yükler altında nasıl davranacağı yeterince bilinmemektedir. Bu nedenle başka parametrelerin de mantolama yöntemi üzerindeki etkileri araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Aksan, B., 1988, Jacketed Column Behaviour Under Axial Load Alone, M.Sc. Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara.
2. Suleiman, R., 1991, Repair and Strengthening of Reinforced Concrete Columns, Ph.D. Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara.
3. Yanarateş, M.S., 1990, Use of Expandable Metals as Shear/Confinement Reinforcement in Concrete Members, Phase 1, Axially Loaded Columns, M.Sc. Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara.
4. Yumak, Y., 1991, Effects of Bar Development Methods On Jacketed Column Behaviour, M.Sc. Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara.
5. Can, H., 1995, Betonarme Kolonların Komşu İki Yüzden Manto İle Onarımı ve Güçlendirilmesi, TMMO Teknik Dergi, Cilt 6, Sayı 1.
6. Can, H., 1995, İki, Üç ve Dört Yüzünden Mantolanmış Kolonların Eksenel Yük Altında Davranışı, TMMO Teknik Dergi, Cilt 6, Sayı 4.
7. Demirel, Y., Can, H., Tankut, T., 1995, Onarılmış Betonarme Kolon Davranışı ve Dayanımı, **TÜBİTAK**, İnşaat Teknolojileri Araştırma Grubu, Proje No. INTAG 512, Ankara
8. Cısdık, M., 1998, Fretli Manto İle Onarılmış/Güçlendirilmiş Betonarme Kolonların (Spiralli ve Dairesel Etriyeli) Eksenel Yük Altındaki Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
9. Can, H., 1996, Komşu İki Yüzünden Mantolanmış Betonarme Kolonların Deprem Davranışı, **TMMO** Teknik Dergi, Cilt 7, Sayı 1.
10. Can, H., 1997, Çelik Korniyerler İle Güçlendirilmiş/Onarılmış Betonarme Kolonların Eksenel Yük Altında Davranışı, **TMMO** Teknik Dergi, Cilt. 8, Sayı 1.

11. Can, H., Aykaç, S., 1997, Bir Yüzünden Onarılmış / Güçlendirilmiş Betonarme Kolonların Eksenel Yük Altında Davranışı, **TMMOB Teknik Dergi**, Cilt 8, Sayı 4.
12. Ünsal, F., 1998, Betonarme Kolonların (Kare ve Fretli) Eksenel Yük Altında Fretli Manto İle Onarımı ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
13. Büyükkuşoğlu, Z., 1999, Mantolama Yöntemi İle Güçlendirilmiş/Onarılmış/ Diriltiilmiş Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kolonların Eksenel Yük Altında Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
14. TS 500, 1987, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
15. Ersoy, U., 1987, Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı, Doğan Ofset, Cilt 1, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Ankara'da doğdu. Orta öğrenimini Ankara'da Özel Yükseliş Koleji'nde tamamladı. 1995 yılında Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne girmeye hak kazandı. Lisans eğitimini 1999 yılında tamamlayarak, 2000 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans eğitime başladı. Aynı yıl Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Araştırma Görevlisi olarak atandığı görevine halen Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde devam etmektedir.

