

**BETONARME KİRİŞLERDE ÇATLAKLARIN EPOKSİ
ENJEKSİYONU İLE ONARIMININ EĞİLME RİJİTLİĞİ ÜZERİNDEKİ
ETKİSİ**

Altan YAVUZCAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAYIS 2008
ANKARA**

Altan YAVUZCAN tarafından hazırlanan 'Betonarme Kirişlerde Çatlakların Epoksi Enjeksiyonu ile Onarımının Eğilme Rijitliği Üzerindeki Etkisi' adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Bengi AYKAÇ
Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

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

Prof. Dr. Hüsnü CAN
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Dr. Bengi AYKAÇ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Kurtuluş SOYLUK
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Hanifi TOKGÖZ
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Özgür ANIL
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 30/04/2008

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

Prof. Dr. Nermin ERTAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Altan YAVUZCAN

BETONARME KİRİŞLERDE ÇATLAKLARIN EPOKSİ ENJEKSİYONU İLE ONARIMININ EĞİLME RİJİTLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Altan YAVUZCAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Mayıs 2008

ÖZET

Bu deneysel çalışmada, tersinir yük etkisiyle hasara uğratılmış betonarme kirişlerde oluşan çatlaklar epoksi enjeksiyonu ile onarıldıktan sonra, bu onarımın eğilme rijitliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneylerde eğilme rijitlikleri, yük-deplasman grafiklerinin çıkış kollarının eğimlerinden hesaplanmıştır.

Yapılan sınırlı sayıda deneyden, çatlakları epoksi ile onarılmış kirişlerde eğilme rijitliğinin geri kazanımının, uygulama kalitesine ve çatlak genişliğine büyük ölçüde bağlı olduğu görülmüştür. Uygulama orta genişlikteki çatlaklarda genellikle başarılı olmuş ve eğilme rijitliğinde artımlar gözlenmiştir. Küçük çatlaklarda, epoksi enjeksiyonu başarılı bir şekilde uygulanamadığından, eğilme rijitliğinde belirgin bir artış olmamıştır. Büyük çatlaklarda ise; sıkışabilen epoksi kalınlığı arttığı için, eğilme rijitliğindeki artışın donmuş epoksinin elastisite modülüne bağlı olabileceği görülmüştür.

Bilim Kodu : 911.1.444

Anahtar Kelimeler : betonarme kiriş, epoksi, eğilme rijitliği, çatlak onarım

Sayfa Adedi : 152

Tez Yöneticisi : Dr. Bengi AYKAÇ

**THE EFFECT OF REPAIRING CRACKS WITH EPOXY INJECTION ON
BENDING STIFFNESS OF REINFORCED CONCRETE BEAMS**

(M. Sc. Thesis)

Altan YAVUZCAN

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
May 2008**

ABSTRACT

In this experimental study, the cracks which occur in predamaged RC beams, exposed to reversed cyclic loading, are repaired by epoxy injection and its effect on flexural stiffness is investigated. The flexural stiffness is calculated from the initial tangent of the load-displacement curves throughout the study.

Results of the experiments indicate that recovery in flexural stiffness of cracked RC beams repaired by epoxy injection is mainly related with the quality of application and crack width. Satisfactory results and increase in flexural stiffness have been achieved for mid-level cracks. However, in case of minor cracks, due to poor application of epoxy injection, any increase in flexural stiffness could not be achieved. In case of large cracks where the amount of the injected epoxy is large, the observed increase in the flexural stiffness is believed to be related with the elasticity modulus of hardened epoxy.

Science Code : 911.1.444

Key Words : reinforced beam, epoxy, bending stiffness, crack repair

Page Number : 152

Adviser : Dr. Bengi AYKAÇ

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada esas teşkil eden deneyler Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmayı ve deney düzeneklerini planlayan, değerli katkılarıyla beni yönlendiren hocam sayın Dr. Bengi AYKAÇ'a, çalışmalarımızda bize çok önemli destekte bulunan sayın Dr. Sabahattin AYKAÇ'a, bölüm asistanlarından Eray ÖZBEK ve Şule BAKIRCI ER'e içtenlikle teşekkür ederim.

Deney elemanlarının güçlendirilmesinde malzeme ve işçilik konusunda hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan, her türlü desteği sağlayan jeoloji mühendisi sayın Erdoğan Öner ve firması Bazalt Yapı'ya sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca deney çalışmaları sırasında yardımlarını esirgemeyen laboratuvar çalışanı sayın Uzman Faruk OGÜN'e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Beni bugünlere getiren, eğitimim için her türlü fedakarlığı gösteren anneme ve babama, her zaman bana destek olan ağabeyime sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. AMAÇ VE KAPSAM	3
2.1. Amaç	3
2.2. Kapsam.....	4
3. GEÇMİŞTE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	5
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	10
4.1. Deney Elemanları	10
4.2. Malzeme Özellikleri.....	16
4.3. Deney Düzeni.....	17
4.3.1. Deney döşemesi... ..	17
4.3.2. Yükleme düzeni... ..	18
4.3.3. Ölçüm düzeni.....	18
4.4. Epoksi Enjeksiyonu	21
4.5. Ölçümlerin Değerlendirilmesi	22
4.5.1. Deplasman ölçümlerinin değerlendirilmesi.....	22

Sayfa

4.5.2. Eğilme rijitliklerinin hesabı.....	24
4.5.3. Çatlak genişliğinin hesabı... ..	24
5. DENEYLER.....	26
5.1. SS1 ve RSS1 Deneyleri	27
5.2. SS2 ve RSS2 Deneyleri	31
5.3. SS3 ve RSS3 Deneyleri	35
5.4. SM1 ve RSM1 Deneyleri	39
5.5. SM2 ve RSM2 Deneyleri	41
5.6. SM3 ve RSM3 Deneyleri	44
5.7. SB1 Deneyi	48
5.8. SB2 ve RSB2 Deneyleri	49
5.9. SB3 ve RSB3 Deneyleri	52
6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	55
6.1. Davranış ve Dayanım	55
6.1.1. 1. Tip kirişler.....	55
6.1.2. 2. Tip kirişler.....	60
6.1.3. 3. Tip kirişler.....	64
6.2. Deney Elemanlarının Eğilme Rijitliği	67
6.2.1. 1. Tip kirişler.....	67
6.2.2. 2. Tip kirişler.....	72
6.2.3. 3. Tip kirişler.....	76
6.3. Deney Elemanlarında Gözlenen Çatlak Genişliği	80
7. SONUÇLAR.....	98

	Sayfa
KAYNAKLAR	100
EKLER	102
EK-1 Çatlak haritaları	103
EK-2 Deney elemanlarına ait yük-çatlak genişliği grafikleri.....	112
EK-3 Deney elemanlarına ait fotoğraflar	144
ÖZGEÇMİŞ	152

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Deney elemanlarının özellikleri	4
Çizelge 3.1. Ortalama beton basınç dayanımları	16
Çizelge 6.1. Deney elemanlarının ileri ve geri yönde eğilme rijitlikleri oranları	79
Çizelge 6.2. Deney elemanlarında ileri ve geri yüklemelerde oluşan toplam eğilme çatlağı genişlikleri.....	97

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. 1. Tip Kiriş	13
Şekil 4.2. 2. Tip Kiriş	14
Şekil 4.3. 3. Tip Kiriş	15
Şekil 4.4. Deney döşemesi, yükleme ve ölçüm düzeni	20
Şekil 4.5. Deney elemanlarının deformasyon bileşenleri	23
Şekil 5.1. SS1 ve RSS1 deney elemanlarına ait yük-deplasman ilişkisi	30
Şekil 5.2. SS2 ve RSS2 deney elemanlarına ait yük-deplasman ilişkisi	34
Şekil 5.3. SS3 ve RSS3 deney elemanlarına ait yük-deplasman ilişkisi	38
Şekil 5.4. SM1 ve RSM1 deney elemanlarına ait yük-deplasman ilişkisi	40
Şekil 5.5. SM2 ve RSM2 deney elemanlarına ait yük-deplasman ilişkisi	43
Şekil 5.6. SM3 ve RSM3 deney elemanlarına ait yük-deplasman ilişkisi	47
Şekil 5.7. SB1 Deney elemanına ait yük-deplasman ilişkisi	49
Şekil 5.8. SB2 ve RSB2 deney elemanlarına ait yük-deplasman ilişkisi	51
Şekil 5.9. SB3 ve RSB3 deney elemanlarına ait yük-deplasman ilişkisi	54
Şekil 6.1. SS1 ve RSS1 deney elemanlarına ait yük-deplasman eğrileri	57
Şekil 6.2. SS2 ve RSS2 deney elemanlarına ait yük-deplasman eğrileri	58
Şekil 6.3. SS3 ve RSS3 deney elemanlarına ait yük-deplasman eğrileri	59
Şekil 6.4. SM1 ve RSM1 deney elemanlarına ait yük-deplasman eğrileri ...	61
Şekil 6.5. SM2 ve RSM2 deney elemanlarına ait yük-deplasman eğrileri ...	62
Şekil 6.6. SM3 ve RSM3 deney elemanlarına ait yük-deplasman eğrileri ...	63
Şekil 6.7. SB2 ve RSB2 deney elemanlarına ait yük-deplasman eğrileri	65

Şekil	Sayfa
Şekil 6.8. SB3 ve RSB3 deney elemanlarına ait yük-deplasman eğrileri	66
Şekil 6.9. SS1 ve RSS1 rijitlik değişimi	69
Şekil 6.10. SS2 ve RSS2 rijitlik değişimi	70
Şekil 6.11. SS3 ve RSS3 rijitlik değişimi	71
Şekil 6.12. SM1 ve RSM1 rijitlik değişimi	73
Şekil 6.13. SM2 ve RSM2 rijitlik değişimi	74
Şekil 6.14. SM3 ve RSM3 rijitlik değişimi	75
Şekil 6.15. SB2 ve RSB2 rijitlik değişimi	77
Şekil 6.16. SB3 ve RSB3 rijitlik değişimi	78
Şekil 6.17. SS1 ve RSS1 elemanlarına ait yük-toplam çatlak genişliği grafikleri	82
Şekil 6.18. SS2 ve RSS2 elemanlarına ait yük-toplam çatlak genişliği grafikleri	84
Şekil 6.19. SS3 ve RSS3 elemanlarına ait yük-toplam çatlak genişliği grafikleri	86
Şekil 6.20. SM1 ve RSM1 elemanlarına ait yük-toplam çatlak genişliği grafikleri	88
Şekil 6.21. SM2 ve RSM2 elemanlarına ait yük-toplam çatlak genişliği grafikleri	90
Şekil 6.22. SM3 ve RSM3 elemanlarına ait yük-toplam çatlak genişliği grafikleri	92
Şekil 6.23. SB2 ve RSB2 elemanlarına ait yük-toplam çatlak genişliği grafikleri	94
Şekil 6.24. SB3 ve RSB3 elemanlarına ait yük-toplam çatlak genişliği grafikleri	96

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
L	Kiriş boyu
b_w	Kiriş genişliği
h	Kiriş yüksekliği
Ø	Düğümün (kolon-kiriş birleşiminin) dönme açısı
dn	‘Dn’ LVDT’sinden ölçülen deplasman
dv	Deney elemanının rijit ötelenmesi
dθ	Düğümdeki dönmeden dolayı, d1 doğrultusunda oluşan deplasman
dnet	Kiriş ucunun düşey yöndeki net deplasmanı
c	D10 ile D11 eksenleri arasındaki dik uzaklık (500 mm)
M_{cr}	Elemanın çatlama momenti
M_n	Elemanın nominal moment dayanımı
Kısaltmalar	Açıklama
G.Ü.M.M.F	Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi
LVDT	Doğrusal değişken diferansiyel dönüştürücü

1. GİRİŞ

Betonarme yapıların taşıyıcı sistemlerinde deprem, vb. etkilere meydana gelen hasarların onarılmamaları önemli ekonomik kayıplar yaratmaktadır. Birçok yapı onarılabilecek halde iken yıkılmakta veya hasarlı haliyle kullanılmaktadır. Bu bilinçsizlik ve ihmalkarlık her iki durumda da zararlı sonuçlar doğurmaktadır.

Mevcut betonarme yapıların büyük bölümünde beton basınç dayanımları projelendirilme sırasında öngörülen değerden düşük, donatılar günümüz yönetmeliklerinin öngördüğü şartlardan uzaktır. Bu eksiklikler düşey taşıyıcı elemanların aksel yük, kesme kuvveti, taşıma kapasiteleri ve sünekliklerini olumsuz etkilemekte ve bunun sonucunda yapıların deprem karşısındaki davranışı öngörülenden çok daha başarısız olabilmektedir [1].

Genelde; yapının kullanım amacının değişmesi, proje hatası, uygulama hatası, yetersiz işçilik gibi nedenlerden dolayı yapının Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliğe [2] göre yetersiz kaldığı görülebilir. Bir değişiklik veya bir hata olmasa bile, bakımsız bir yapıda eskime yüzünden yükleri taşıma yetersizlikleri oluşabileceğinden, eski bir binanın bu açıdan incelenmesi gerekir [3].

Onarım ve güçlendirme işlemleri, yapının özelliğine, elemanların yer ve durumuna bağlı olarak olağan yüklerin altında ya da eleman askıya alınarak yapılmaktadır.

Bir hasar sonrasında yapılan ve yapı etkinliğini en az hasar öncesi düzeye ya da bunun biraz üstüne getirmeyi amaçlayan işlemlere “onarım” denir. Yapıda hasar söz konusu değilken yapılan iyileştirilme işlemlerine ise “güçlendirme” denir.

Yapı elemanlarının, örneğin bir kirişin, üzerindeki yükler kaldırılmış veya bu yüklerin etkilerinin büyük ölçüde azaltılmış olarak onarılmasına veya güçlendirilmesine “yüksüz onarım veya güçlendirilme” denir. Mevcut yüklerin altında yapılan onarım veya güçlendirme işlemine ise “yük altında onarım veya güçlendirme” denir.

Bu çalışmada eğilme etkisindeki betonarme kirişlerin yüksüz olarak onarılıp, deprem kuvvetlerini benzeştiren, tersinir yükler altındaki rijitliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla üç farklı tipte üçer adet olmak üzere toplam dokuz adet deney elemanı hazırlanmıştır.

Yapılan yüklemeler sonucunda oluşan çatlaklar epoksi enjeksiyonuyla onarılmış ve onarılmış kirişlere benzer deplasmanlar yaptırılmıştır. Deneylerin sonucunda da onarım öncesinde ve sonrasında kirişlerin eğilme rijitliğindeki değişiklikler incelenmiştir.

2. AMAÇ VE KAPSAM

2.1. Amaç

Düşey yükler altında hasar görmüş olan betonarme kirişlerin onarımında kullanılan yöntemlerden biri de epoksi enjeksiyonu ile çatlakların doldurulmasıdır. Bu yöntemdeki amaç; betonarme elemanda çatlaklar nedeniyle oluşan süreksizliği, çatlaklara dayanımı betondan çok daha yüksek olan epoksi malzemesini enjekte ederek ortadan kaldırmak ve elemanı hasarsız haldeki dayanımına ulaştırmaktır.

Yapı elemanlarında çatlamadan sonra atalet momentleri ve ona bağlı olarak da moment dağılımlarında önemli değişikliklerin meydana geldiği durumlar vardır [4]. Yapılan deneyler teorik çözümlerin, elemanda oluşan çatlaklardan sonra geçerliliklerini büyük ölçüde kaybettiklerini göstermiştir [5]. Sistem hesaplarında kullanılacak çatlamış kesit rijitliklerinin hesabı için, yönetmeliklerde genellikle çatlamamış kesit rijitliklerinin bir katsayı ile çarpılarak küçültülmesi önerilmektedir [6]. Örneğin ACI 318 Amerikan beton yönetmeliğinde [7], bu katsayı kirişlerde 0,35, kolonlarda ise 0,70 olarak verilmiştir. ACI 318 [7] ve TS500 [8] betonarme standartlarında basit eğilme hali için önerilen formüllerde yeralan çatlamış kesit rijitliğinin bilinmesine gerek vardır. Ancak bu yöntemle onarılmış bir elemanda hangi katsayı kullanılacağı bilinmediği için bu çalışma tasarlanmıştır.

Bu çalışmada hasar görmüş betonarme kirişlerdeki çatlakların epoksi enjeksiyonu yöntemiyle onarıldıktan sonra depremi benzeştiren tersinir yükler altındaki davranışları incelenmiş ve epoksi enjeksiyonunun eğilme rijitliğine olumlu etkisi olup olmadığı araştırılmıştır.

2.2. Kapsam

Bu deneysel çalışmada; laboratuvar olanakları göz önüne alınarak 9 deney elemanı yapılmıştır. Her tipteki deney elemanlarına az, orta ve çok hasar verildikten sonra elemanlar epoksi enjeksiyonu ile onarılmışlardır. Elemanların donatıları ve verilen hasar miktarları Çizelge 2.1’de verilmiştir. Onarımın öncesinde ve sonrasında elemanların eğilme rijitlikleri arasındaki değişimler incelenmiştir.

Çizelge 2.1. Deney elemanlarının özellikleri

	Deney Elemanı Adı	Eleman Geçmişi		Donatı Oranı			Hasar Oranı		
		Hasarsız	Onarılmış	Güçlü Yön	Zayıf Yön	Etriye	Az	Orta	Çok
Hasar Öncesi Elemanlar	SS1	X		3 ϕ 8	2 ϕ 8	ϕ 4/10	X		
	SS2	X		3 ϕ 8	2 ϕ 8	ϕ 4/10		X	
	SS3	X		3 ϕ 8	2 ϕ 8	ϕ 4/10			X
	SM1	X		3 ϕ 14	2 ϕ 14	ϕ 4/10	X		
	SM2	X		3 ϕ 14	2 ϕ 14	ϕ 4/10		X	
	SM3	X		3 ϕ 14	2 ϕ 14	ϕ 4/10			X
	SB1	X		5 ϕ 14	3 ϕ 14	ϕ 6/14	X		
	SB2	X		5 ϕ 14	3 ϕ 14	ϕ 6/14		X	
	SB3	X		5 ϕ 14	3 ϕ 14	ϕ 6/14			X
Hasar Sonrası Elemanlar	RSS1		X	3 ϕ 8	2 ϕ 8	ϕ 4/10	X		
	RSS2		X	3 ϕ 8	2 ϕ 8	ϕ 4/10		X	
	RSS3		X	3 ϕ 8	2 ϕ 8	ϕ 4/10			X
	RSM1		X	3 ϕ 14	2 ϕ 14	ϕ 4/10	X		
	RSM2		X	3 ϕ 14	2 ϕ 14	ϕ 4/10		X	
	RSM3		X	3 ϕ 14	2 ϕ 14	ϕ 4/10			X
	RSB2		X	5 ϕ 14	3 ϕ 14	ϕ 6/14		X	
	RSB3		X	5 ϕ 14	3 ϕ 14	ϕ 6/14			X

3. GEÇMİŞTE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Betonarme yapı elemanlarının, yapı kimyasalları kullanılarak onarımlarına ilişkin araştırmaların başlıcaları aşağıda verilmiştir.

Betonarme Elemanların Polimer Yapıştırıcı Kullanarak Çelik Levhalarla Takviyesi

Betonarme kirişlerin yapıştırılmış çelik levhalarla onarımını, bu şekilde elde edilen kompozit elemanların davranış ve dayanımlarını incelemek ve Türkiye’de var olan polimer yapıştırıcıların kullanılabilirliğini araştırmak üzere yapılan deneysel bir çalışmadır. 200 mm x 300 mm kesitli 4000 mm uzunluğundaki dört tane deney elemanı eşit mesafelerde iki tekil yükle yüklenerek çatlatılmış daha sonra iki tanesi farklı polimer yapıştırıcı kullanılarak çelik levhalarla takviye edilmişlerdir. Deney modellerinin bir tanesinde “özel plastik çelik, Special no.1” adlı polimer yapıştırıcı, diğerlerinde ise CIBA-GEIGY firması mamüllerinden “Ep-No” adlı yapıştırıcı kullanılmıştır. Çalışmada yapıştırıcıların nitelikleri de deneysel olarak araştırılmış ve elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir [9].

- Takviye levhalarının tamamen yapıştırılması yerine kısmen yapıştırılması yeterli olmaktadır.
- Takviyeli kirişlerden “özel plastik çelik, special no.1” ile yapıştırılan deney modeli çelik levhanın akması ile, “Ep-No.1” ile yapıştırılan deney modeli ise yapıştırıcı yetersizliği nedeniyle kırılmıştır. Yük altında deformasyon durumlarına göre “special no.1” sünek, “Ep-No. 1” ise gevrek davranış göstermektedir. Bu tür takviyelerde Türkiye’de imal edilen “özel plastik çelik, special no.1” adlı polimer yapıştırıcı kullanılabilir. “Ep-No” adlı polimer yapıştırıcı ise çeliğe yapıştırma gücü yetersiz olması nedeniyle kullanılamamıştır.

- Bu yöntemle aşırı çatlamış kirişler eski rijitliklerine getirilebilmektedir. Ayrıca onarılan kiriş normal betonarme kiriş gibi davranmış ve klasik hesaplarla boyutlandırılma yapılabileceği görülmüştür.

Reçine Enjeksiyonu İle Onarılmış Betonarme Kirişlerin Statik ve Tersinir Yükler Altında Davranışı

Sentetik reçine enjeksiyonu ile onarılmış betonarme kirişlerin statik ve tersinir yükler altında onarım etkinliğini ve sonuçlarını ortaya çıkarmak amacıyla yapılmış deneysel bir çalışmadır. Beş tanesi eğilmedeki çekme çatlaklarının incelenmesinde, beş tanesi de kesme çatlaklarının incelenmesi amacıyla kuvvetli boyuna donatı ve göreceli olarak az enine donatı konularak hazırlanan on tane deney modeli kullanılmıştır. 150 mm x 250 mm kesitli, 1400 mm boyundaki deney modelleri tersinir yüklerle kırılma noktasına kadar yüklenmişler, hasara uğratıldıktan sonra onarılıp, yine aynı yük dizileri ile hasara uğratılmışlardır. Araştırmacıların çalışma sonucu elde ettikleri bulgular şöyle özetlenebilir [10].

- Tek yönlü statik yükler altında enjeksiyonun başarılı bir şekilde uygulanabilmesi durumunda, numunelerin eğilme özelliği normal kirişe oldukça yakındır.
- Tek yönlü statik yükler altında etkili onarım için bir takım şartlar bulunmaktadır. Eğer çatlak genişliği fazla ise reçine kullanımı yük altında olmalıdır. Eğer çatlak genişliği az ise (0,1 mm'den az), kirişin rijitliği üzerine reçinenin katkısı olmayacaktır. Ancak bu durumda çatlakların onarımı kirişin kullanılabilirliğini olumlu yönde etkileyecektir.
- Tek yönlü statik yükler altında eğilme çatlaklarının genişliğine bağlı olarak rijitliklerinde küçük bir azalma görülmüş ancak daha büyük kırılma yükü sergilemişlerdir.

- Tek yönlü statik yükler altında kesme çatlaklarının onarıldığı modellerde onarım daha etkili olmuş, onarılmış modeller eskisinden daha kuvvetli ve rijit davranmışlardır.
- Tersinir yükler altında, reçinenin olumlu katkısı ile ilgili belirti yoktur. Hatta reçine yeni çatlaklara neden olmuştur.
- Tersinir yükler altında kirişlerin deplasmanı arttığı halde, dikkat çekecek boyutta enerji kaybı gözlenmemiştir.

Betonarme Kirişlerde Epoksi Enjeksiyonu İle Yapıştırılan Çelik Levhalar

Hasar görmüş betonarme kirişlerin epoksi ile çelik levhalar yapıştırılarak onarılmasının sonuçlarının araştırıldığı bu çalışmada onaltı adet deney elemanı kullanılmıştır. Deney modelleri, mesnetleri ve birbirlerine eşit mesafede iki eşit tekil yük uygulanarak denenmişlerdir. Bu çalışmada ele alınan parametreler ise şöyledir [11].

- Onarım öncesi kirişlerin hasar derecesi
- Donatı oranı
- Çatlak onarımının genel davranışa etkileri
- Çelik levhanın sadece epoksi ile yapıştırılması veya çelik levhanın epoksi ile yapıştırılmasından sonra metal çubuklar ile kirişe perçinlenmesi.

Bu çalışmada elde edilen başlıca sonuçlar şunlardır:

- Düşük dayanıma sahip çelik levhanın kullanılması durumunda, çelik levha yapıştırılarak onarılan kirişlerin taşıma gücünün, normal kirişlerde kullanılan yöntemle hesaplanabileceği görülmüştür.

- Onarılmış kiriş ile normal kiriş aynı taşıma gücüne ulaşmıştır. Ancak çatlakların kontrol altında tutulması ve kirişlerin kullanılabilirliği açısından onarılan kirişin daha iyi bir davranış sergilediği görülmüştür.
- Kiriş modellerinin ikisinde farklı kırılma mekanizması oluşmuştur. Bu modellerde çelik levha betondan sıyrılmıştır. Bunun için enjeksiyonla beraber çelik levhanın metal çubuklar ile kirişe perçinlenmesi uygundur. Ancak bu kez kullanılacak metalin boyutları ve yerleşim düzeni problemi olacaktır. Bu sorun çözümlenirse uygulama daha da emniyetli olacaktır. Çelik levha metal ile kirişe bağlandığında daha emniyetli sonuç elde edilmektedir.

Betonarme Kirişlerin Epoksi Kullanarak Çelik Plaka Yapıştırma Yöntemi İle Onarım ve Güçlendirilmeleri

Betonarme kirişlerin eğilme taşıma güçlerinin epoksi ile çelik plaka yapıştırılarak onarım ve güçlendirilmesini amaçlayan bu deneysel çalışmada dokuz adet deney elemanı kullanılmıştır. 150 mm x 250 mm kesitli deney elemanı 2800 mm açıklıktadır. Deney modellerinin epoksi ile çelik plaka yapıştırılarak onarım ve güçlendirilmesini plaka ucunun boşa bırakılması, plaka uçlarının kirişe kaynaklanması, plaka uçlarının eğik veya düz başlıklarla kirişe epoksi ile yapıştırılması, güçlendirme ve onarım durumlarının davranışa etkileri incelenmiştir [12].

Deney sonuçları şu şekilde özetlenmiştir:

- Epoksi kullanılarak çelik plaka yapıştırma yöntemi ile betonarme kiriş onarım ve güçlendirmesi başarıyla gerçekleştirilebilmektedir.
- Plaka olabildiğince uzatılarak, plakanın iki ucunun eski donatılara kaynaklanması veya başlıklarla kirişe yapıştırılması gerekmektedir.

- Plaka yapıştırılmasında ve özellikle başlık düzenlemede işçilik büyük önem taşımaktadır. Kötü işçilik amaçlanan dayanımın sağlanamaması ve dolayısıyla gevrek davranışa neden olabilmektedir.
- Plaka kalınlığı arttırılarak istenen dayanımın sağlanabileceği düşünülmektedir. Ancak plaka kalınlaştıkça yapıştırıcı ve başlık daha önem kazanmakta ve gevrek davranışa yol açmaktadır.
- Bu yöntemin kullanılmasında korozyon ve yangın için önlem alınmalıdır. Plaka çeliğinin açıkta olması nedeniyle yüksek ısı epoksi ve plaka çeliği davranışı açısından büyük sorunlar doğurabilir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Deney Elemanları

Deney kirişlerinin boyut ve sayıları, laboratuvar koşulları içerisinde gerçekleştirilebilecek ve olağan durumları yansıtabilecek şekilde seçilmiştir. Bu çalışmada aynı boyutlarda fakat farklı donatılara sahip üç tip kiriş kullanılmıştır. Her bir tip için üç eleman olmak üzere toplam dokuz adet deney elemanı kullanılmıştır. Deney elemanlara kesmeye karşı yeterli dayanıma sahiptir ve sadece eğilme çatlağı oluşacak şekilde tasarlanmıştır. Bu elemanlar yüklenip hasar verildikten sonra, onarılıp yeniden yüklenmiştir.

Elemanların isimlerinde ortada bulunan harf donatı oranını (S: az, M: orta, B: çok), sonundaki rakam ise hasar seviyesini (1: az, 2: orta, 3: çok) belirtmektedir. Onarımdan sonra elemanların isimlerinin başına R harfi getirilmiştir.

- a) 1. Tip Kirişler (SS1, SS2, SS3)
- b) 2. Tip Kirişler (SM1, SM2, SM3)
- c) 3. Tip Kirişler (SB1, SB2, SB3)

Deneylerde kullanılan dokuz elemanın da boyutları aynıdır. Kiriş boyu $L=2150$ mm, kiriş genişliği $b_w=150$ mm ve kiriş yüksekliği $h=300$ mm olarak seçilmiştir. Konsol şeklinde hazırlanan deney elemanları genişliği 300 mm, yüksekliği 1200 mm ve derinliği 500 mm olan betonarme blokla monolitik olarak hazırlanmıştır. Betonarme blokta ise elemanı platforma monte edebilmek için üstten ve alttan 20 cm içeride iki adet $\phi 60$ lık montaj deliği bırakılmıştır.

Elemanlarda boyuna donatı için en az donatılı kirişe karar verilirken; ülkemizde kullanılan şartname ve yönetmeliklerde belirtilen minimum koşullarını sağlayacak şekilde donatı seçilmiştir [2,8]. Çok donatılı elemanın

boyuna donatısına karar verilirken dengeli donatı oranının %85'i alınmıştır [13]. Orta donatıya karar verilirken ise iki miktar arasında donatı seçilmiştir. Deney elemanlarında etriye yerleştirilirken de yine belirtilen yönetmelikler ve şartnamelerdeki asgariyi sağlayacak ve elemanda kesme sorunu çıkmayacak şekilde tasarım yapılmıştır [2,8].

Deney elemanlarında $\phi 4$, $\phi 6$, $\phi 8$, $\phi 14$ ve $\phi 16$ 'lık donatılar kullanılmıştır. S420 dayanımına sahip bu donatıların $\phi 4$ ve $\phi 6$ 'lık dışındakileri nervürlü donatıdır. Konsol şeklinde hazırlanan deney elemanlarının tümünde yeterli aderans boyunun sağlanabilmesi amacıyla boyuna donatılar konsol dibindeki 500x1200x300 mm boyutlarındaki betonarme bloğa yeterince ankre edilmiştir. Tüm elemanlarda kirişlerde 1,5 cm, betonarme blokta ise 3 cm paspayı kullanılmıştır.

Deney elemanları hazırlanırken sacdan üretilen kalıplar kullanılmıştır. 4 mm kalınlığında sac levhalardan uygun ölçülerde kesilerek hazırlanan kalıp tamamen modüler olarak tasarlanmıştır ve defalarca kullanılabilecek niteliktedir. Gerekli görülen yerlerde deformasyon yapmasını engellemek amacıyla dış yüzüne boydan boya 'L' şeklinde köşebentler kaynaklanmıştır.

Beton karışım hesabıyla C25 sınıfı olması amaçlanan beton üretilmiş ve hazırlanan kalıplara vibratörle sıkıştırılarak dökülmüştür. Her beton dökümünde yeterli sayıda silindir numune alınarak nemli ortamda saklanmıştır.

Ayrıca elemanların prizini daha hızlı almaları ve soğuk hava koşullarından etkilenmemeleri için "YKS Priz Hızlandırıcı-Antifreeze" kullanılmıştır. 100 kg çimento için 3,5 kg kullanılan bu katkı maddesi beton karakteristik dayanımını olumlu veya olumsuz yönde etkilememektedir [14].

1. Tip Kiriş

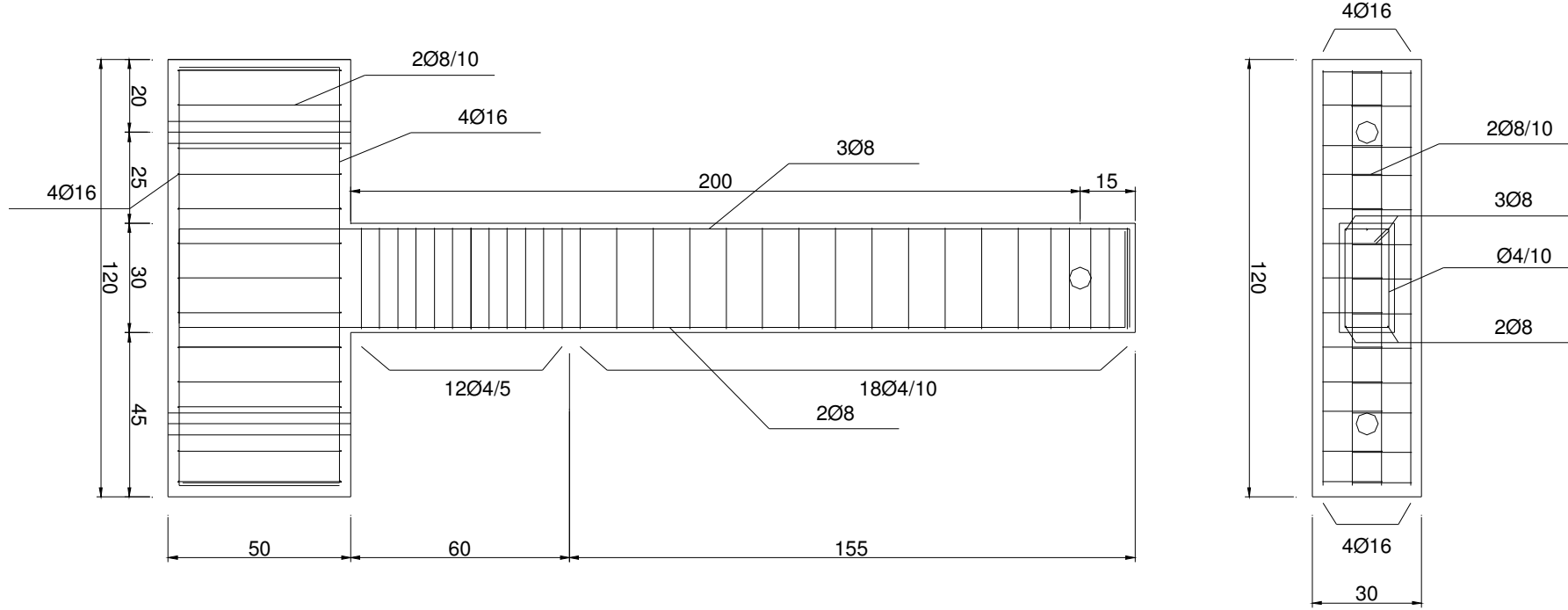
En az donatıya sahip olan bu kirişte üstte 3 ϕ 8, altta ise 2 ϕ 8'lik boyuna donatı kullanılmıştır. Etriye olarak da ϕ 4/10, sıklaştırma bölgesinde ise ϕ 4/5 donatı kullanılmıştır. Betonarme blokta iki yüzde 4 ϕ 16 ana donatı, diğer yönde ise 2(ϕ 8/10) dört kollu etriye kullanılmıştır (Şekil 3.1).

2. Tip Kiriş

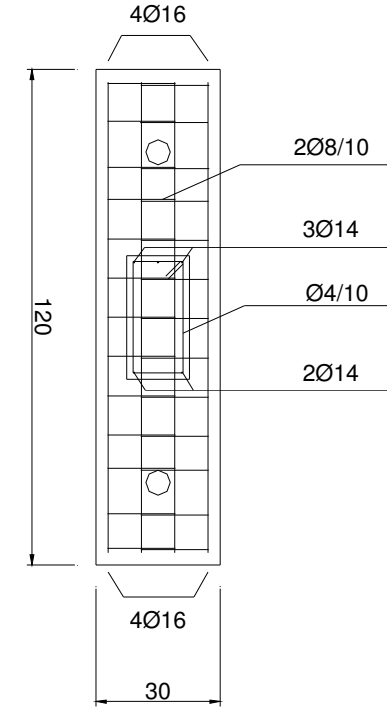
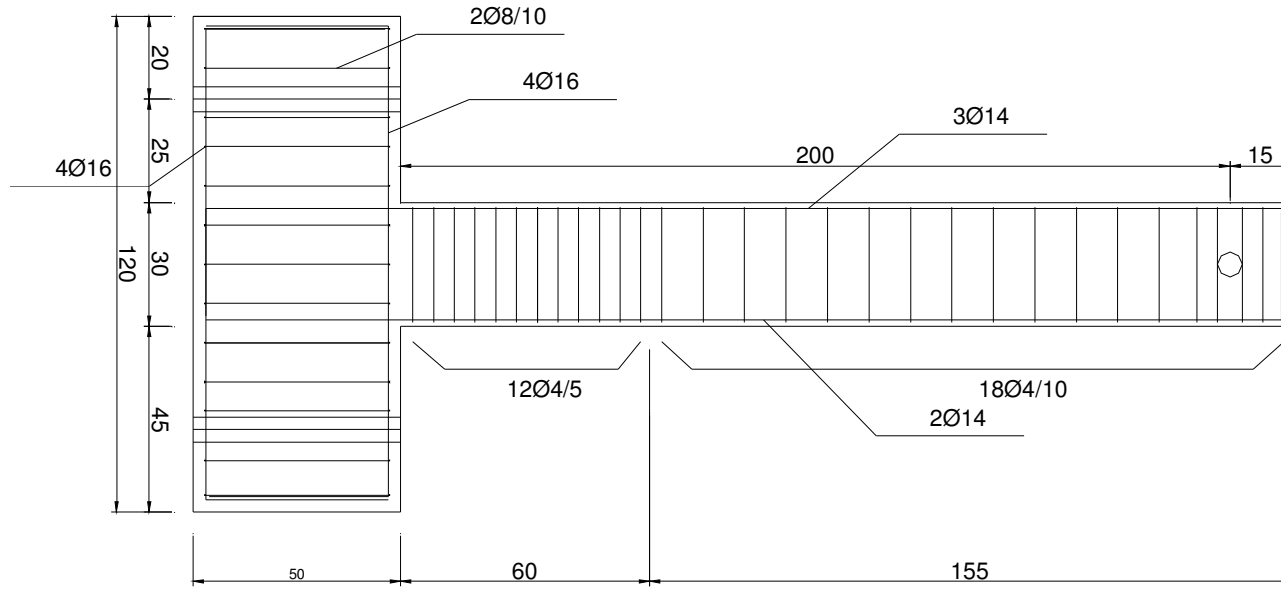
Aynı aralıklarda ve aynı çapta etriye kullanılan bu kirişte boyuna donatı olarak 1. Tip'de kullanılan ϕ 8 yerine ϕ 14 kullanılmıştır. Betonarme blokta kullanılan donatı ise aynıdır (Şekil 3.2).

3. Tip Kiriş

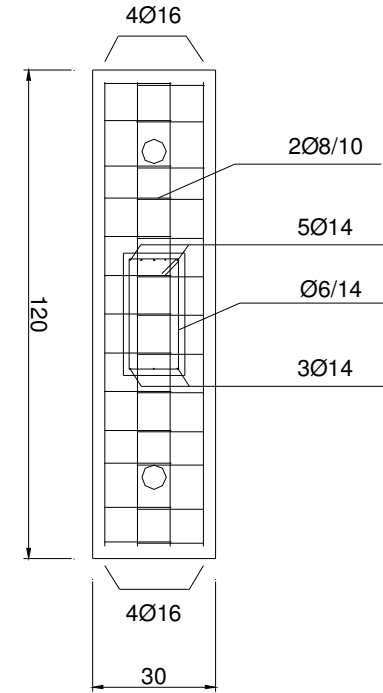
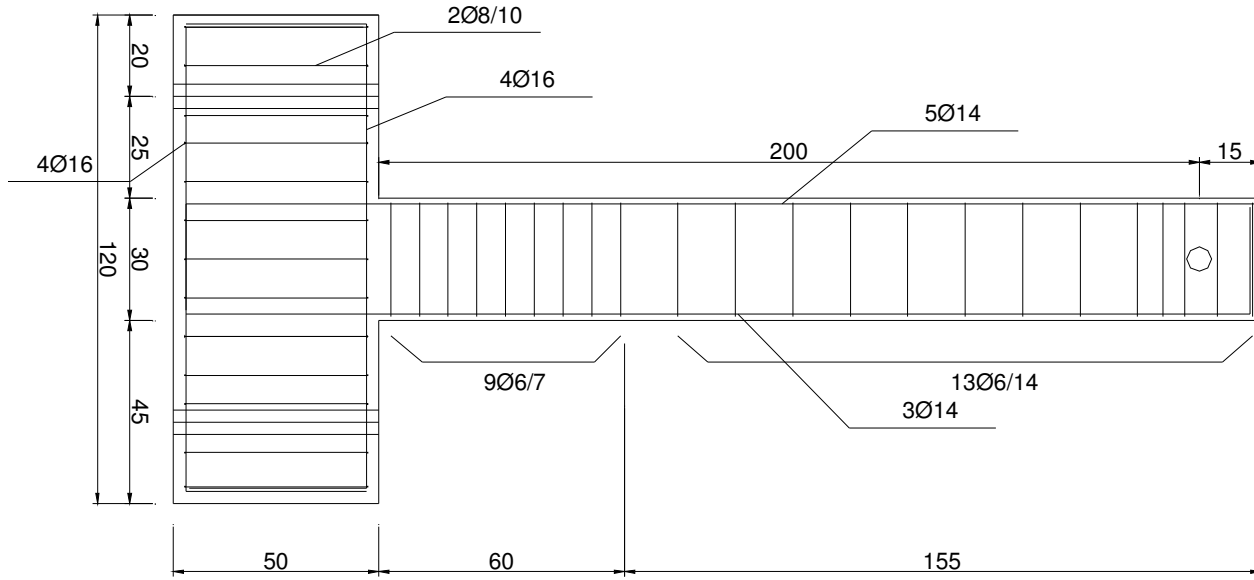
Bu tip kirişlerde ise kirişlerin boyuna donatısı üstte 5 ϕ 14, altta ise 3 ϕ 14 olarak seçilmiştir. Etriye olarak da ϕ 6/14, sıklaştırma bölgesinde ise ϕ 6/7 donatı kullanılmıştır. Betonarme blokta kullanılan donatı ise bu tip elemanlarda da değişmemiştir (Şekil 3.3).



Şekil 4.1. 1. Tip kiriş



Şekil 4.2. 2. Tip kiriş



Şekil 4.3. 3. Tip kiriş

4.2. Malzeme Özellikleri

Deney elemanları hazırlanırken, her beton dökümü sırasında yeterli sayıda 150 x 300 mm boyutlarında silindir numune alınmıştır. Numuneler uygun kür ortamında deney gününe kadar saklanmış ve deney günü silindir numunelerin basınç dayanımları ölçülmüştür. Elde edilen ortalama beton basınç dayanımları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Deney elemanlarında kullanılan donatı çeliklerinden alınan numunelerin ortalama akma dayanımı 420 MPa olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.1. Ortalama beton basınç dayanımları

Deney Kirişlerinin Tipi	fck (MPa)
1. Tip Kiriş 1. Eleman (SS1, RSS1)	26
1. Tip Kiriş 2. Eleman (SS2, RSS2)	26
1. Tip Kiriş 3. Eleman (SS3, RSS3)	24
2. Tip Kiriş 1. Eleman (SM1, RSM1)	23
2. Tip Kiriş 2. Eleman (SM2, RSM2)	28
2. Tip Kiriş 3. Eleman (SM3, RSM3)	23
3. Tip Kiriş 1. Eleman (SB1)	20
3. Tip Kiriş 2. Eleman (SB2, RSB2)	25
3. Tip Kiriş 3. Eleman (SB3, RSB3)	30

Elemanlarda ezilen bölümlerin tamirinde ve çatlakların kapanmasında Sikadur-31 tiksotropik, iki bileşenli epoksi reçine yapıştırıcı ve tamir harcı kullanılmıştır. Bu malzeme epoksi reçine ve özel olarak seçilmiş yüksek dayanımlı dolgu maddelerinin kombinasyonundan oluşur. Hamur kıvamındadır ve uygulaması oldukça kolaydır. Birçok kullanım alanı vardır. Bunlardan bazıları beton tamirati, çatlak ve yüzey koruma, demir filizi ekimidir. Malzeme ile ilgili bazı teknik bilgiler ise şöyledir:

- Basınç dayanımı: 40-45 N/mm² (24 saat), 60-70 N/mm² (10 gün)
- Çekme dayanımı: 15-20 N/mm²
- Yapışma: 15 N/mm² (çeliğe), 3.0-3.5 N/mm² (betona)
- Eğilme dayanımı: 30-40 N/mm²
- Elastisite modülü: 4300 N/mm²

Elemanlarda çatlaklara yapılan enjeksiyon malzemesi ise Sikadur-52 düşük viskoziteli enjeksiyon reçinesidir. İki bileşenli ve solventsizdir. Beton elemanların birbirine yapıştırmak, boşluk ve çatlakları doldurmak, su geçişine karşı bariyer olmak gibi farklı kullanım amaçları vardır. Çatlak enjeksiyonlarında en fazla 5 mm çatlak genişliğine kadar uygulanabilir. A ve B bileşenlerinin 2:1 oranında düşük hızda bir karıştırıcı ile en az 3 dakika karıştırılması ile hazırlanır. Malzeme ile ilgili bazı teknik özellikler ise şöyledir:

- Basınç dayanımı: 53 N/mm² (10 gün)
- Çekme dayanımı: 25 N/mm² (10 gün)
- Yapışma: 10 N/mm² (çeliğe), 4 N/mm² (betona)

4.3. Deney Düzeni

4.3.1. Deney döşemesi

Deneyler G.Ü.M.M.F Yapı Mekaniği Laboratuvarında bulunan deney döşemesinde yapılmıştır. Deney döşemesinin üzerinde gerektiğinde deney elemanlarını monte edebilmek için payandalarla desteklenmiş bir duvar bulunmaktadır. Deney elemanı ve diğer yardımcı elemanların deney döşemesine bağlanabilmesi amacıyla hem deney döşemesinde hem de duvarda uygun büyüklükte ve aralıkta delikler bırakılmıştır (Şekil 4.4).

4.3.2. Yükleme düzeni

Daha önce de belirtildiği gibi deney elemanlarının eğilme rijitliği incelenecektir. Bu nedenle konsol kirişin dibindeki 500 x 1200 x 300 mm betonarme bloğun deliklerinden geçirilen 2 adet saplama döşeme duvarındaki deliklerden de geçirildikten hemen sonra her saplama döşeme öngerilme verilmiş böylece deney elemanının konsol kiriş olarak çalışması sağlanmıştır.

Konsol ucuna; bir ucu deney döşemesine, diğer ucu ise kirişin serbest ucundan 150 mm içeriye mafsallı olarak bağlanmış çift etkili bir hidrolik krik o ile yükler uygulanmıştır. Kiriş serbest ucuna uygulanan yükler ise kiriş ucuna yerleştirilmiş yük hücresi yardımıyla elektronik bir göstergeden okunmuştur (Şekil 4.4).

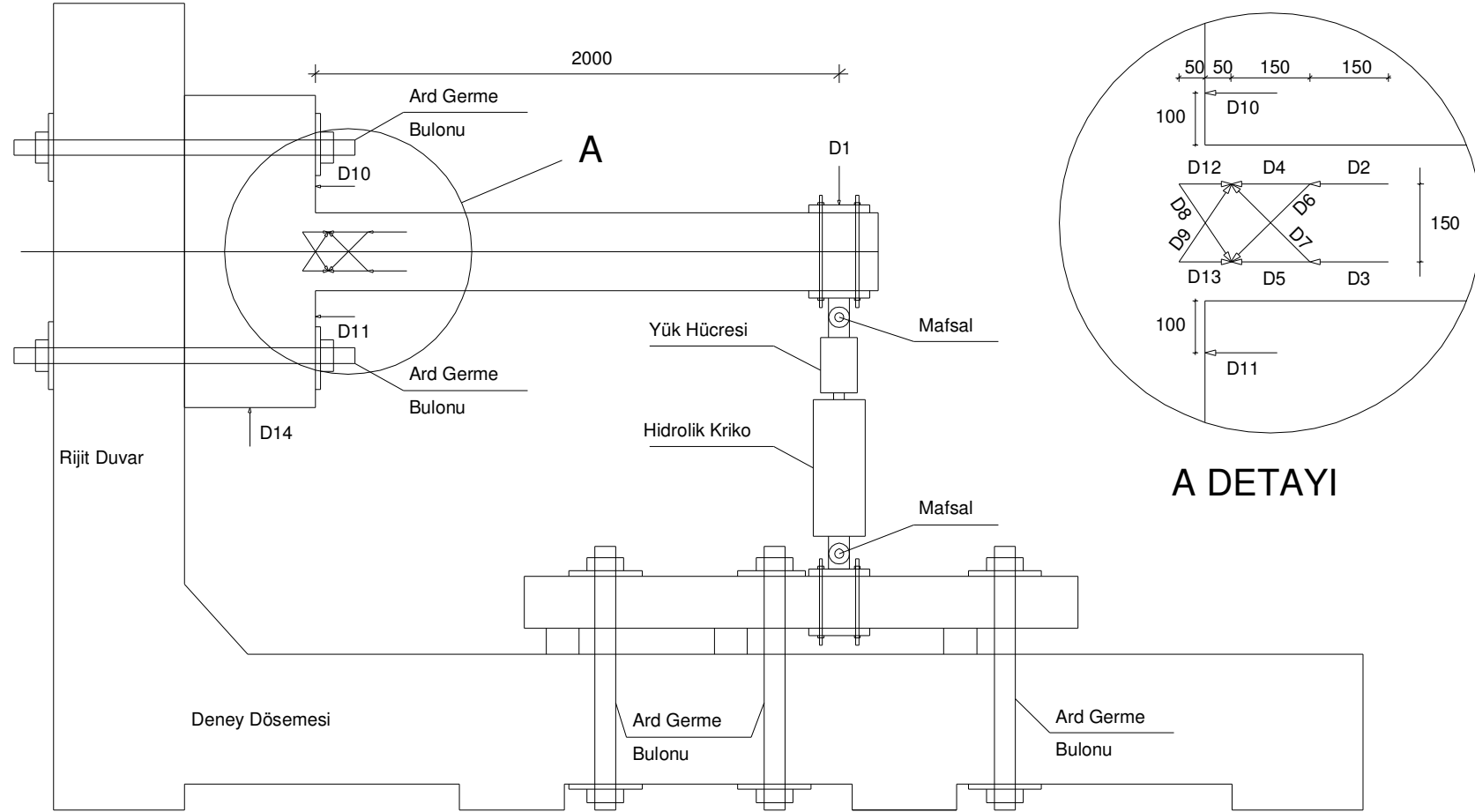
4.3.3. Ölçüm düzeni

Deneylerde farklı yön ve doğrultulardaki deformasyonları ölçmek üzere elektronik deplasman ölçerler (LVDT) kullanılmıştır. Bu LVDT'lerden alınan ölçümler bir bilgisayar programı yardımıyla kaydedilmiştir. Ayrıca bu program yardımıyla deneyler sırasında elemana ait yük-deplasman eğrileri takip edilebilmiştir. Ölçüm sisteminde toplam 14 adet LVDT kullanılmış ve her LVDT'ye 'D' ile başlayan ve sonunda LVDT numarası olan bir ad verilmiştir. Ölçüm sisteminde rijit ötelenmeleri ve konsol uç deplasmanını ölçen LVDT'ler (D1, D10, D11, D14) deney elemanı dışına mesnetlendirilmiştir. Diğer LVDT'ler ise deney elemanına ankre edilmiş olan ölçüm çubuklarına bağlanmıştır (Şekil 4.4). Deney elemanı üç ölçüm bölgesine ayrılmış ve eleman üzerine mesnetlenmiş olan LVDT'ler bu bölgelere yerleştirilmiştir. Deney elemanından alınan ölçümler aşağıdaki amaçlar için kullanılmıştır.

- D1: Kiriş uç deplasmanı
- D2 ve D3 : 3. bölge çatlak genişliği hesabı

- D4 ve D5 : 2. bölge çatlak genişliği hesabı
- D10 ve D11 : rijit düğüm dönmesi
- D12 ve D13 : 1. bölge çatlak genişliği hesabı
- D14 : düşey yönde rijit ötelenmelerin hesabı

D6, D7, D8 ve D9 ölçümleri elemandaki kayma deformasyonlarını ölçmek için yerleştirilmiştir. Ancak tezin kapsamında bu deformasyonların değerlendirilmesine gerek görülmemiştir.



Şekil 4.4. Deney döşemesi, yükleme ve ölçüm düzeni

4.4. Epoksi Enjeksiyonu

Epoksi enjeksiyonu için tüm dünyada kullanılan ve ülkemizde de geniş bir pazar payına sahip olan Sika firmasının ürünleri kullanılmıştır. Enjeksiyon işlemi ise profesyonel bir uygulayıcı bayii olan Bazalt Yapı tarafından yapılmıştır.

Epoksi enjeksiyonundan önce çatlaklar basınçlı hava ile iyice temizlenmiştir. Enjeksiyon yapılacak çatlağa enjeksiyon plakası yerleştirilmeden önce plakanın deliğinin denk geleceği yer keski ile kama biçiminde yontulmuştur. Hazırlanan Sikadur-31 malzemesi ile plakalar çatlakların üzerine uygun bir biçimde yapıştırılıp kenarları iyice sıvanmıştır. Çatlakların yüzeyi ve betondaki hasarlı bölgeler de yine bu malzeme ile kapatılmıştır. Bu işlemdeki amaç yüksek basınçla enjekte edilen epoksinin plakanın kenarlarından veya çatlaklardan çıkmasını önlemek ve hasarlı bölgelerin tamiridir.

Bu malzeme dayanımını kazandıktan sonra epoksi enjeksiyonuna geçilebilir. Yaklaşık 24 saat sonra eleman enjeksiyona hazır hale gelir. Plakaların deliklerine enjeksiyon memeleri sıkıca vidalanarak monte edilir. Bu memeler yüksek basınçla enjekte edilen Sikadur-52 malzemesinin içeri girişine izin verirken, enjeksiyon sonrası dışarı çıkışına izin vermeyecek şekilde tasarlanmıştır. Memeler de monte edildikten sonra tek bileşenli bir pompa ve özel enjeksiyon tabancası ile yaklaşık 50 bar basınçla epoksi enjekte edilir. Enjeksiyon işlemine çatlak içindeki basınç kompresördeki basınca eşit olana kadar devam edilir. Basınç eşitlenince kompresörün uyarısı ile işlem durdurulur. Böylelikle epoksi enjeksiyonu tamamlanmış olur. Epoksi enjeksiyonu ile ilgili resimler Ek-3'de verilmiştir.

Enjeksiyon işlemi geniş çatlaklarda sorunsuz bir şekilde yapılmıştır. Ancak yaklaşık 0,5 mm'den küçük çatlaklara enjeksiyon yapılamamıştır. Epoksi enjeksiyonu genellikle 0,5 mm ile 5 mm arasındaki çatlaklar için başarı ile uygulanır. Daha geniş çatlaklarda; büzülme, sünme ve sıcaklık etkilerini

azaltmak için ek bir doldurucu malzemenin kullanılması önerilir. Çok geniş çatlaklarda çatlak ince kumla doldurulduktan sonra epoksi enjeksiyonu uygulanır [15]. Epoksi enjeksiyonu binaların, köprülerin, barajların ve diğer betonarme yapıların onarımında da kullanılmaktadır [16].

4.5. Ölçümlerin Değerlendirilmesi

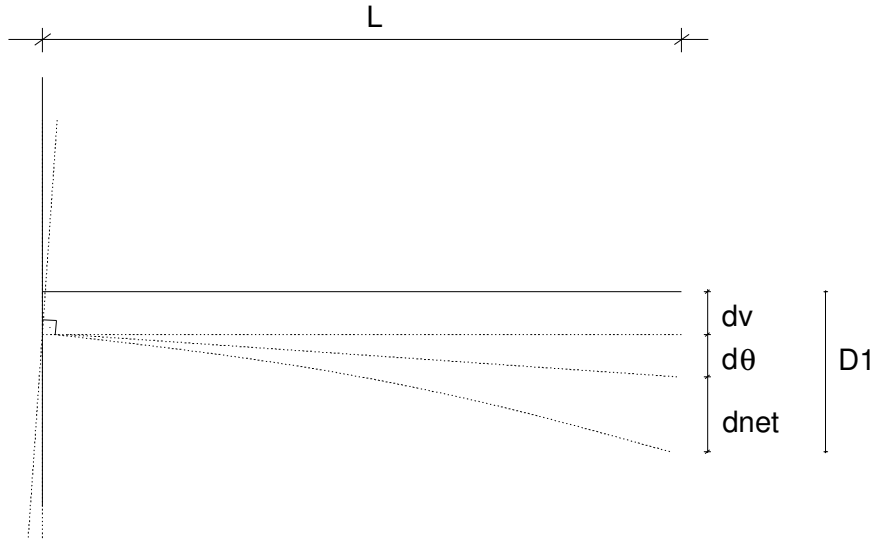
Deney elemanlarına ait beton basınç dayanımlarının farklı olması nedeniyle, deney elemanlarının aynı paydada değerlendirilebilmesi için normalizasyon yapılması gerekmektedir. Fakat bilindiği üzere, eğilmeye çalışan elemanlarda beton basınç dayanımlarındaki değişiklikler eleman taşıma gücünü hemen hemen etkilememektedir [17]. Bu yüzden de bu çalışmada normalizasyon uygulanmamıştır.

4.5.1. Deplasman ölçümlerinin değerlendirilmesi

Madde 4.4.3' de belirtildiği gibi kirişin düşey doğrultudaki uç deplasmanının ölçümünde D1 adlı LVDT kullanılmıştır. Ancak betonarme bloğun mesnetlerindeki boşluklardan dolayı deney elemanı düşey yönde küçük ötelenmeler yapacaktır. Ayrıca betonarme blokta rijit dönmeler de gözlenebilmektedir. Söz konusu iki deplasmanın kiriş davranışı ve dayanımı üzerinde bir etkisi olmamasına rağmen D1 adlı LVDT'den ölçülen deplasmana bu iki deplasman da dahildir. Bu nedenle deney sonuçlarının değerlendirilmesinde D1'den ölçülen deplasmanlar yerine kiriş ucundaki net deplasmanlar göz önünde bulundurulmuştur. Şekil 4.5'de herhangi bir deney elemanının, ileri yükleme sırasında oluşan deformasyonları bileşenlerine ayrılarak gösterilmiştir. Bu şekilde gösterilmiş olan semboller aşağıda açıklanmıştır.

- $\emptyset$: düğümün (kolon-kiriş birleşiminin) dönme açısı
- $d1$: 'D1' LVDT'sinden ölçülen deplasman
- dv : deney elemanının rijit ötelenmesi

- $d\theta$: düğümdeki dönmeden dolayı, d1 doğrultusunda oluşan deplasman
- d_{net} : kiriş ucunun düşey yöndeki net deplasmanı
- L : kolon ekseni ile 'D1' ekseni arasındaki dik uzaklık



Şekil 4.5. Deney elemanlarının deformasyon bileşenleri

Şekilde de açıkça görüldüğü gibi, kiriş ucundaki net deplasman, 'D1' LVDTsinden ölçülen deplasman ile, rijit ötelenme ve rijit dönme hareketlerinden dolayı 'D1' doğrultusunda oluşan deplasman farkına eşittir. Aşağıda net deplasmanın bulunmasıyla ilgili formüller verilmiştir. Deneyler sırasında kullanılan tüm LVDT'lerin ölçüm çubukları için içeri girdiğinde (+) değerler okunmuş, dışarı doğru çıktığında ise (-) değerler okunmuştur.

$$dv = D14$$

$$d\theta = (D10 - D11)L / c$$

$$d_{net} = D1 - (dv + d\theta)$$

Bu eşitliklerde tanımlanmış olan terimler aşağıda verilmiştir.

- D_i : i. LVDTden ölçülen deplasman

- c : D10 ile D11 eksenleri arasındaki dik uzaklık (500 mm)

Bu yöntemle hesaplanan net deplasmanlar kirişin toplam deplasmanı ile hemen hemen aynı sonuçları vermektedir. En büyük toplam deplasman ile net deplasman farkı 0,55 mm olarak ölçülmüştür. Bu yüzden toplam deplasman, net deplasman olarak kabul edilmiş ve grafikler bu kabule göre çizilmiştir.

4.5.2. Eğilme rijitliklerinin hesabı

Elemanın rijitlik değişimlerini belirlemek amacıyla ileri ve geri çevrimlerdeki eğilme rijitlikleri bulunmuştur. Teoride eğilme rijitliği moment-eğrilik ilişkisidir. Ancak betonarmenin davranışında oluşabilecek farklılıklar nedeniyle bu ilişki kullanılmamıştır [18]. Bunun yerine eğilme rijitliğinin bir ölçüsü olarak hesaplarda daha gerçekçi olan yük-net deplasman grafiklerinin eğimleri kullanılmıştır. Eğrilik ile momentin, yük ve net deplasmana bağlı değerler olduğundan bu yöntemle de rijitlik hesaplanabilmektedir. Normalde her çevrimde hesaplanan rijitliğin, o ana kadar ileri ve geri yönde yapılmış olan deformasyonların mutlak değerce kümülatif toplamına göre çizilmesi gerekmektedir. Ancak tüm deney elemanlarında deplasman kontrollü yükleme yapılmış, onarımdan önce ve onarımdan sonra aynı deplasmanlar yaptırılmıştır. Bu nedenle eğilme rijitliği ölçüsünün değişimi, kümülatif deplasmanlar yerine, basitçe çevrim sayısına göre çizilmiştir. Rijitlikler kayma deformasyonlarının azalıp sistemin yeniden yük almaya başladığı eğiminden hesaplanmıştır.

4.5.3. Çatlak genişliğinin hesabı

Elemanlarda oluşacak hasarın daha iyi gözlemlenebilmesi için üç ayrı bölgede ölçümler alınmıştır. Ölçüm düzeni ile ilgili detaylar Bölüm 4.3.3' de anlatılmıştır. Her bölgeye çatlakları ölçmesi için kiriş eksenine paralel olmak üzere, alta ve üste LVDT'ler yerleştirilmiştir. Bu LVDT'lerden okunan ölçümler

o bölgedeki eğilme çatlak genişliğine eşit olacaktır. Bulunan bu değerlerle, her deney elemanına ait 1. Bölge, 2. Bölge, 3. Bölge ve toplam eğilme çatlak genişliğini yüke bağlı bir biçimde anlatan grafikler çizilmiştir. Çatlak ölçümünde kullanılan deplasmanlar ve açıklamaları aşağıda verilmiştir.

İleri Yüklemelerde:

- D13: 1. bölgede ileri kiriş alt yüzünde oluşan eğilme çatlakları
- D5: 2. bölgede ileri kiriş alt yüzünde oluşan eğilme çatlakları
- D3: 3. bölgede ileri kiriş alt yüzünde oluşan eğilme çatlakları

Geri Yüklemelerde:

- D12: 1. bölgede ileri kiriş üst yüzünde oluşan eğilme çatlakları
- D4: 2. bölgede ileri kiriş üst yüzünde oluşan eğilme çatlakları
- D2: 3. bölgede ileri kiriş üst yüzünde oluşan eğilme çatlakları

5. DENEYLER

Deney için hazırlanan numuneler serbest ucundan ileri ve geri yüklenerek kirişin alt ve üst yüzünde hasar verilmiştir. Her kiriş tipi için az, orta ve çok hasarlı olacak şekilde yüklemeler yapılmıştır. Düzenekte kullanılan toplam stroke boyu 200 mm olduğu için bunun 120 mm'si ileri yönde ve 80 mm'si geri yönde kullanılacak şekilde ayarlanmıştır. Yüklemeler deformasyon kontrollü yapılmış olup hasar seviyeleri de aşağıdaki şekilde gruplandırılmıştır.

- Az hasarlı kirişler : $120/3=40$ mm ileri deplasman
80/3=27 mm geri deplasman
- Orta hasarlı kirişler : $120/2=60$ mm ileri deplasman
80/2= 40 mm geri deplasman
- Çok hasarlı kirişler : 120 mm ileri deplasman
80 mm geri deplasman

Ancak bu deplasman kriterlerini sınırlayan durumlar da ortaya çıkmıştır. Bunlar betonun ezilmesi ve donatının burkulması veya kopması durumlarıdır. Deney sırasında bu olumsuzluklar da göz önüne alınarak yükleme yapılmıştır.

Bu bölümde deneyler anlatılmıştır. Aynı elemana ait onarım öncesi ve onarım sonrası deneyler bir arada verilmiştir. Deneyler sırasında davranış ve dayanımda gözlenen değişiklikler olabildiğince dikkatli bir şekilde izlenmiş ve tüm ayrıntıları ile, gerekmedikçe yorumsuz olarak sunulmuştur. Her deneyin anlatıldığı kısımdan hemen sonra, deney elemanına ait yük-deplasman eğrileri verilmiştir. Hasarsız elemanlarda oluşan çatlakların haritası Ek-1 de verilmiştir. Deney elemanları ile ilgili resimler ise Ek-3 de verilmiştir. Her çevrimdeki gelişmeler sıralı olarak verilmiştir. Ancak önemli bir olayın

olmadığı çevrimler atlanmıştır. Deney elemanları, kirişler yatay ve güçlü yüzleri altta olacak şekilde yerleştirilmiştir. Deneyler elemanların deney döşemesi üzerindeki konumlarına göre anlatılmıştır. İleri çevrimlerde deplasmanlar (+), geri çevrimlerde ise (-) olarak anılmıştır.

5.1. SS1 ve RSS1 Deneyleri

- İşlem Türü : Referans Kiriş (SS1), Onarılmış Kiriş (RSS1)
- Eleman Geçmişi : Yok (SS1), Az Hasarlı Kiriş (RSS1)
- Deney Tarihi : 26.01.2008 (SS1), 27.03.2008 (RSS1)

1. İleri Yükleme

SS1 elemanında 7 kN yük altında ve 8 mm deplasman halinde konsol dibinden 10 cm ileride ilk çatlak gözlenmiştir. Çatlakla birlikte elemanın eğilme rijitliğinde de değişim gözlenmiştir. İkinci çatlak 21 mm deformasyon halinde konsol dibinden 25 cm ileridedir. 10 kN yük ve 23 mm deplasman durumunda yeni bir çatlak daha gözlenmiştir. Deplasman değeri 25 mm ye ulaştığında yük yaklaşık 14 kN olarak ölçülmüş ve ilk ileri çevrim sona erdirilmiştir. Çevrim sonunda konsol dibinden 10 cm ilerideki ana çatlak genişliği 0,8 mm, yüksekliği ise 0,9h, 25 cm ilerideki çatlak genişliği 0,2 mm olarak ölçülmüştür.

RSS1 elemanında ilk çevrim sonrası mevcut onarılamayan kılcal çatlakların bir miktar belirginleştiği gözlenmiştir.

1. Geri Yükleme

SS1 elemanında -5 kN yük ve -7 mm deplasman anında üst yüzde ilk çatlak gözlenmiştir. -7 kN yük ve -12 mm deplasman durumunda ilk çevrim durdurulmuştur. Çevrim sonunda bu çatlağın ana çatlakla birleştiği ve

genişliğinin 0,8 mm olduğu gözlenmiştir. Konsol dibinden 25 cm ilerideki çatlak genişliği ise 0,4 mm olarak ölçülmüştür.

RSS1 elemanında ise yine mevcut çatlakların korunduğu ve yeni çatlakların oluşmadığı görülmüştür.

2. İleri Yükleme

SS1 elemanında ikinci çevrim yaklaşık 10 kN yük ve 32 mm deplasman anında sona erdirilmiştir. Çevrim sonunda konsol dibinde 1 mm genişliğinde çatlak oluştuğu gözlenmiştir. Ana çatlağın genişliği ise 1,5 mm'ye ulaşmıştır. Kiriş üzerinde diğer çatlakların genişliği ise 0,2 mm ve daha az olarak görülmüştür.

RSS1 elemanında ise çevrim sonunda ana çatlak genişliğinin 1,5 mm olduğu gözlenmiştir.

2. Geri Yükleme

SS1 elemanında -5 kN yük ve -20 mm deplasman anında çevrim sona erdirilmiştir. Bu esnada konsol dibindeki çatlak kiriş yüksekliğinde ve 1 mm genişliğinde gözlenmiştir. İlk ana çatlak 1 mm, ikinci ana çatlak 1 mm ve konsol dibinden 30 cm ileride oluşan üçüncü ana çatlak ise 0,4 mm genişliğinde olmuştur. Diğerleri kılcal olarak gözlenmiştir.

RSS1 elemanında ise çevrim sonunda ilk ana çatlak epoksi üzerinden de gözlenebilmiştir.

3. İleri Yükleme

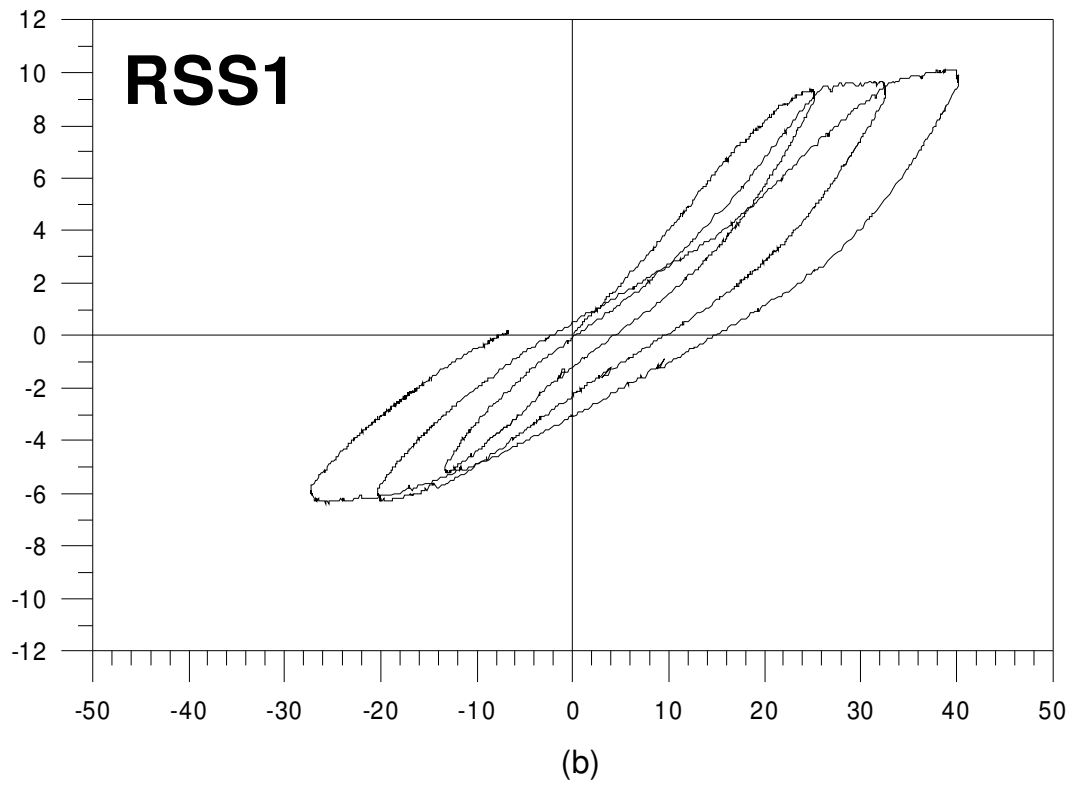
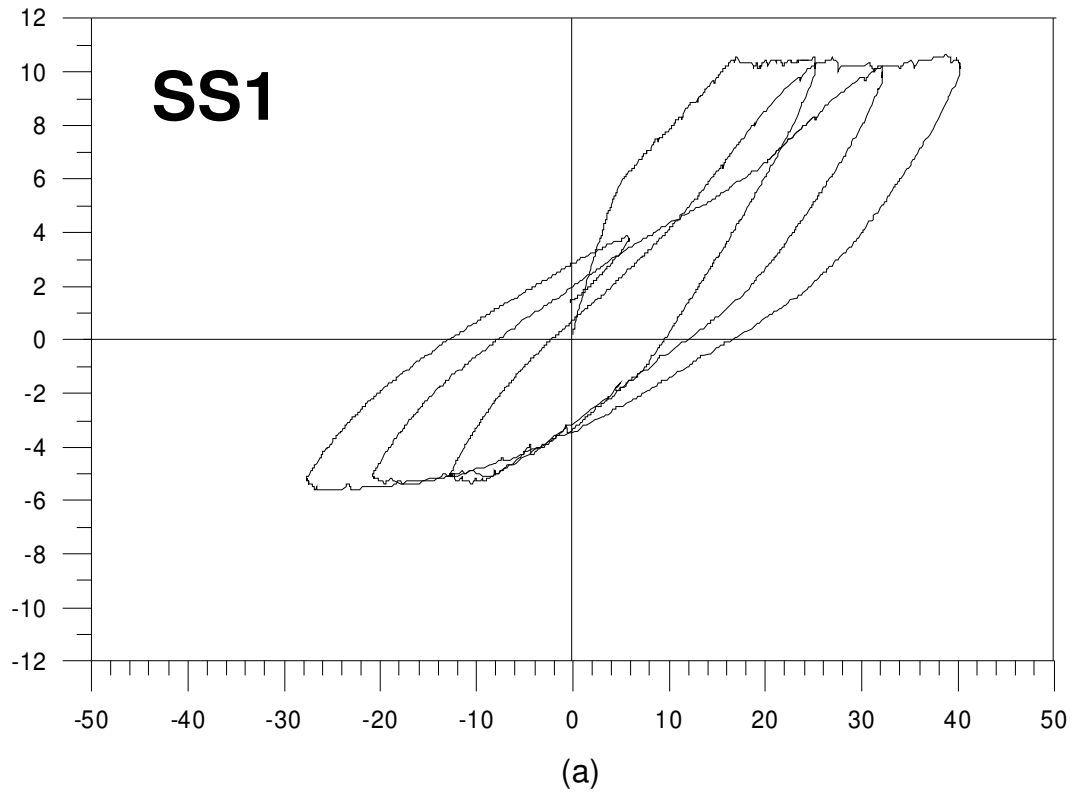
SS1 elemanında son ileri çevrim bittiğinde deplasman değeri 40 mm ve yük ise yaklaşık 10 kN olmuştur. Konsol dibindeki çatlak genişliği 1,5 mm ye, ilk ana çatlak 2 mm ye ulaşmıştır.

RSS1 elemanında konsol dibinde çatlak genişliği 1 mm olarak gözlenmiştir. İlk ana çatlak epoksinin üzerinden de devam etmiş, ikinci ana çatlak 2 mm civarında görülmüştür. Elemanda yeni kılcal çatlaklar oluşmuştur.

3. Geri Yükleme

SS1 elemanında -5 kN ve -27 mm de sona erdirilen bu çevrimde genişliği 2 mm olan iki ana çatlak gözlenmiştir. Üçüncü ana çatlak 0,5 mm genişliğinde, diğerleri ise kılcal olmuştur.

RSS1 elemanında ise son çevrimde epoksi kavlayıp düşmüş ve altında 2 mm'lik çatlak görülmüştür.



Şekil 5.1. SS1 ve RSS1 deney elemanlarına ait yük-deplasman ilişkisi
 a) SS1 Deney Elemanı b) RSS1 Deney Elemanı

5.2. SS2 ve RSS2 Deneyleri

- İşlem Türü : Referans Kiriş (SS2), Onarılmış Kiriş (RSS2)
- Eleman Geçmişi : Yok (SS2), Orta Hasarlı Kiriş (RSS2)
- Deney Tarihi : 25.01.2008 (SS2), 27.03.2008 (RSS2)

1. İleri Yükleme

SS2 elemanında rijitliğin eleman henüz çatlamadan değiştiği gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak donatının bir miktar eğri olabileceği düşünülmüştür. Yaklaşık 10 kN ve 40 mm değerinde ilk çevrim sona erdirilmiştir. Yükleme sonunda konsol dibinde 1 mm genişliğinde, 0,8h yüksekliğinde çatlak oluştuğu gözlenmiştir. İkinci çatlak konsoldan 7 cm ileride ve 0,7 mm genişliğinde ve 0,9 h yüksekliğinde oluşmuştur.

RSS2 elemanında ise çevrim sonucunda konsol dibinde ve 7 cm ilerisinde yaklaşık 1 mm genişliğinde çatlaklar gözlenmiştir. Ayrıca kirişin üst yüzünde epoksida kabarmalar gözlenmiştir.

1.Geri Yükleme

SS2 elemanında ilk çatlak -5 kN yük ve -11 mm deplasman değerinde oluşmuştur. -15 mm de yükleme sona erdirilmiştir. Çevrim sonunda konsol dibinde kiriş yüksekliği boyunca genişliği 1 mm olan çatlak gözlenmiştir. İkinci çatlak ise yine kiriş yüksekliğince ve genişliği 0,3 mm olarak gözlemiştir. Diğer çatlaklar ise düzenli ve kılcal olarak devam etmektedir.

RSS2 elemanında ise eski çatlakların korunduğu ve yeni çatlakların oluşmadığı gözlenmiştir.

2. İleri Yükleme

SS2 elemanında deplasman değeri 50 mm'ye ulaştığında yükleme sona erdirilmiştir. Yükleme sonunda konsol dibinde 1,5 mm genişliğinde çatlak oluşmuştur. İkinci ana çatlak ise 1,2 mm genişliğindedir. Diğerleri 0,3 mm ve daha küçük olarak gözlenmiştir.

RSS2 elemanında ise çevrim sonunda konsol dibinde 1,2 mm, 10 cm ileride ve 30 cm ileride ise 1,5 mm genişliğinde çatlaklar gözlenmiştir.

2. Geri Yükleme

SS2 elemanında çevrim sonunda konsol dibindeki çatlak genişliği 2,5 mm olarak gözlenmiştir. İkinci ana çatlağın ise kiriş yüksekliğinde olduğu ve genişliğinin 1,5 mm olduğu görülmüştür.

RSS2 elemanında konsol dibinde kiriş yüksekliğinde çatlak gözlenmiştir. Tamir olan çatlak bölgelerinde epoksi üzerinden yaklaşık 1 mm genişliğinde çatlak oluşmuştur. Konsol dibinden 30 cm ilerideki çatlak ise 1,8 mm genişliğine ulaşmıştır.

3. İleri Yükleme

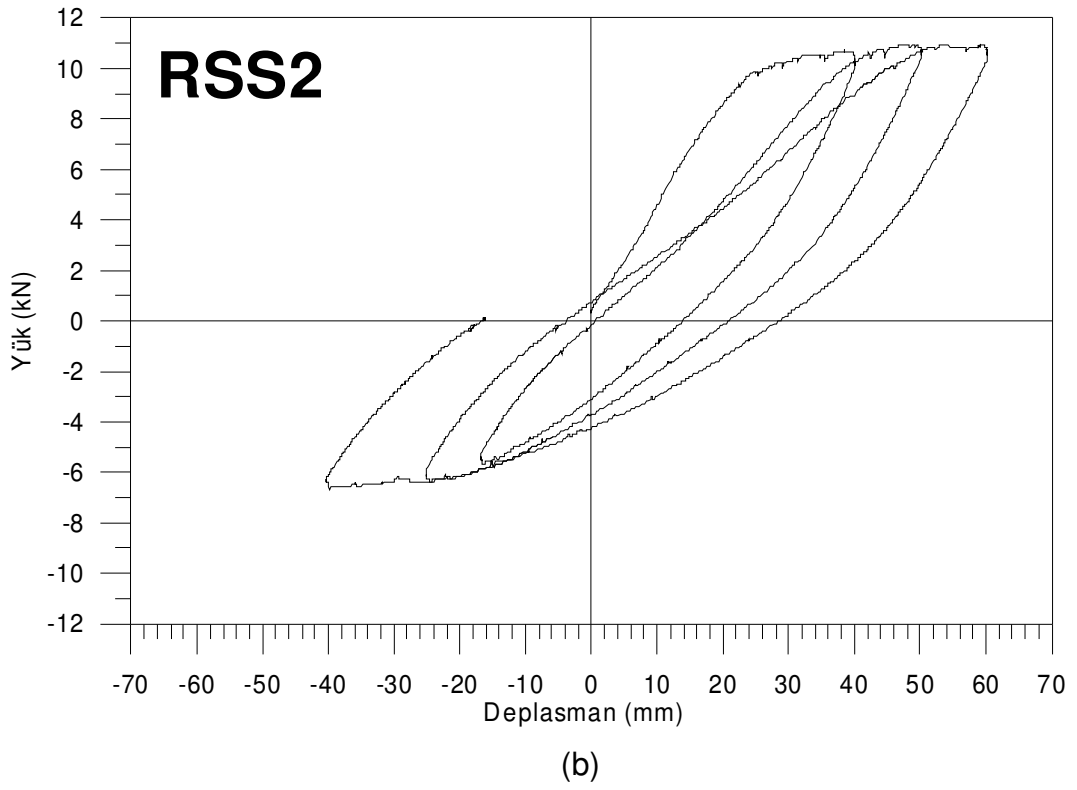
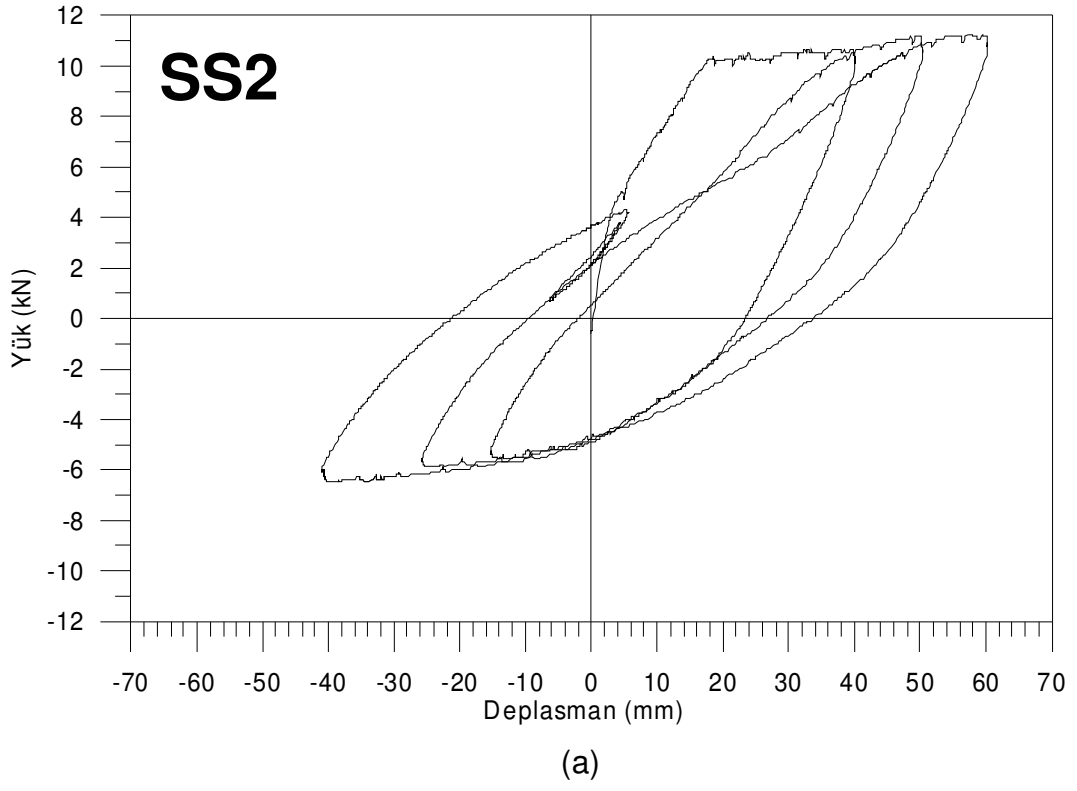
SS2 elemanında konsolda çatlak genişliği 2 mm ye ulaşmıştır. Kirişteki ikinci ana çatlak kökleşmiş ve gövde genişliği 1,5 mm ye ulaşmıştır. Üçüncü ana çatlak ise 0,7 mm genişliğinde ve 0,7h yüksekliğindedir.

RSS2 elemanında epoksi basınç etkisiyle kabarmıştır. Konsol dibindeki çatlak genişliği 1,8 mm, diğer iki ana çatlağın genişliği ise 2 mm olarak ölçülmüştür.

3. Geri Yükleme

SS2 elemanında konsol dibinde 3,5 mm ve onun 10 cm ilerisindeki ikinci ana çatlakta kökleşmiş olmasına rağmen 2 mm olarak ölçülmüştür. Üçüncü ana çatlak 0,4 mm genişliğindedir.

RSS2 elemanında ise konsol dibinde 1,5 mm, ikinci ana çatlakta epoksi üzerinden 1,5 mm ve üçüncü ana çatlakta ise 2,5 mm genişlik değerlerine ulaşılmıştır.



Şekil 5.2. SS2 ve RSS2 deney elemanlarına ait yük-deplasman ilişkisi
a) SS2 Deney Elemanı b) RSS2 Deney Elemanı

5.3. SS3 ve RSS3 Deneyleri

- İşlem Türü : Referans Kiriş (SS3), Onarılmış Kiriş (RSS3)
- Eleman Geçmişi : Yok (SS3), Çok Hasarlı Kiriş (RSS3)
- Deney Tarihi : 24.01.2008 (SS3), 02.04.2008 (RSS3)

1.İleri Yükleme

SS3 elemanında ilk çatlak konsol dibinden 5 cm ileride 10 kN yük, 20 mm deplasman değerinde gözlenmiştir. 11 kN yük ve 40 mm deplasman değerinde çevrim sona erdirilmiştir. Çevrim sonunda ana çatlağın 2 mm genişliğinde ve yaklaşık 0,95h yüksekliğinde olduğu gözlenmiştir. İkinci çatlak ise konsol dibinden 20 cm ileride ve 0,4 mm genişliğindedir. Diğerleri ise kılcal çatlaklardır.

RSS3 elemanında mevcut çatlakların genişlediği ve konsol dibinden 10 cm ileride epoksi üzerinde çatlak olduğu gözlenmiştir.

1.Geri Yükleme

SS3 elemanında -5 kN yük ve -8 mm deplasman değerinde konsol dibinden 33 cm ötede üst yüzde çatlak oluşmuştur. -5 kN yük ve -20 mm deplasman anında ise ikinci çatlak oluşmuştur. -5.5 kN ve -24 mm deplasmana ulaşıldığında konsol dibinde çatlak oluşmuştur. -30 mm deplasmanda çevrim sona erdirilmiştir. Ana çatlak genişliği 2 mm ye ulaşmıştır.

RSS3 elemanında ise; çevrim sonunda konsol dibinde 1 mm genişliğinde çatlak gözlenmiştir. Ayrıca yeni çatlaklar da oluşmuştur.

2. İleri Yükleme

SS3 elemanında 11,3 kN yük ve 60 mm deplasman değerine ulaşıncaya kadar çevrim sona erdirilmiştir. Konsol dibinden 5 cm ilerideki çatlak genişliği 2,5 mm'ye ve 20 cm ilerideki çatlak genişliği ise 1,5 mm ye ulaşmıştır. Diğer eğilme çatlakları ise 0,2 mm ve daha küçüktür.

RSS3 elemanında çevrim sonunda 30 cm ileride 1 mm genişliğinde çatlak gözlenmiştir. Tamir olan bölgede epoksi üzerinde ciddi çatlaklar gözlenmiştir.

2. Geri Yükleme

SS3 elemanında -6 kN yük ve -45 mm deplasman değerinde çevrim sona erdirilmiştir. Ana çatlak genişliği 3 mm ye, ikinci ana çatlak genişliği 1,2 mm ye ulaşmıştır. Diğer çatlaklar ise düzenli ve kılcal seviyede kalmıştır.

RSS3 elemanında ise konsol dibinden 5 cm ileride, epoksi üzerinde kiriş yüksekliğinde 1,5 mm genişliğinde bir çatlak gözlenmiştir.

3. İleri Yükleme

SS3 elemanında 12 kN yük ve 80 mm deplasman değerine ulaşıncaya kadar çevrim sona erdirilmiştir. Ana çatlak sayısı hala iki olarak kalmıştır ve bu çatlaklarda kökleşmeler başlamıştır. Genişlikleri ise yaklaşık 3 mm ve 2 mm'dir.

RSS3 elemanında çevrim sonunda konsol dibinde 2 mm genişliğinde çatlak gözlenmiştir. Kiriş üst yüzünde ise ezilme gözlenmiştir.

3. Geri Yükleme

SS3 elemanında -6.6 kN yük ve -60 mm deplasman değerinde çevrim sona erdirilmiştir. Ana çatlak genişliği 4 mm'ye, ikinci ana çatlak genişliği 2,5 mm

ye ulaşmıştır. Elemanda konsol dibinden 35 cm ileride 0,7h yüksekliğinde genişliği 1 mm olan üçüncü bir ana çatlak gözlenmiştir.

RSS3 elemanında ise bütün hasar epoksili bölgede gözlenmiştir.

4. İleri Yükleme

SS3 elemanında 12 kN yük ve 100 mm deplasman değerine ulaşılınca çevrim sona erdirilmiştir. Ana çatlak sayısı hala üç olarak kalmıştır ve bu çatlaklarda kökleşmeler başlamıştır. Genişlikleri ise yaklaşık 3 mm, 2,5 mm ve 1 mm dir.

RSS3 elemanında çevrim sonunda üst yüzde epoksinin kavlayıp betonun döküldüğü gözlenmiştir.

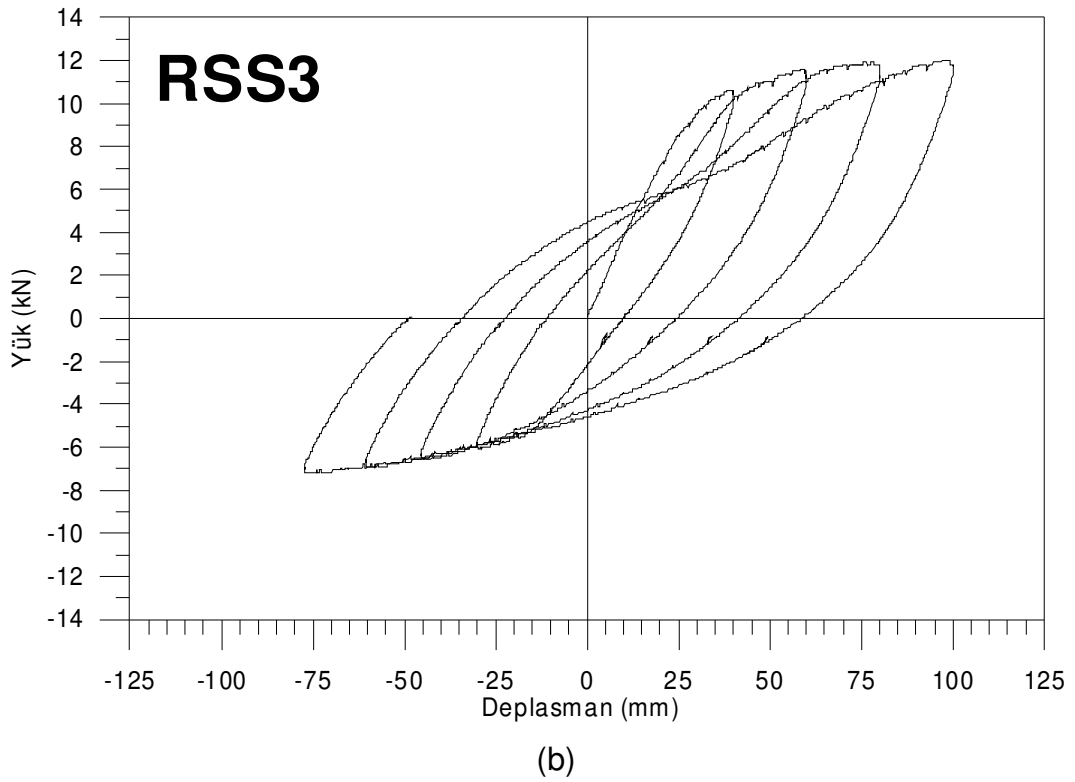
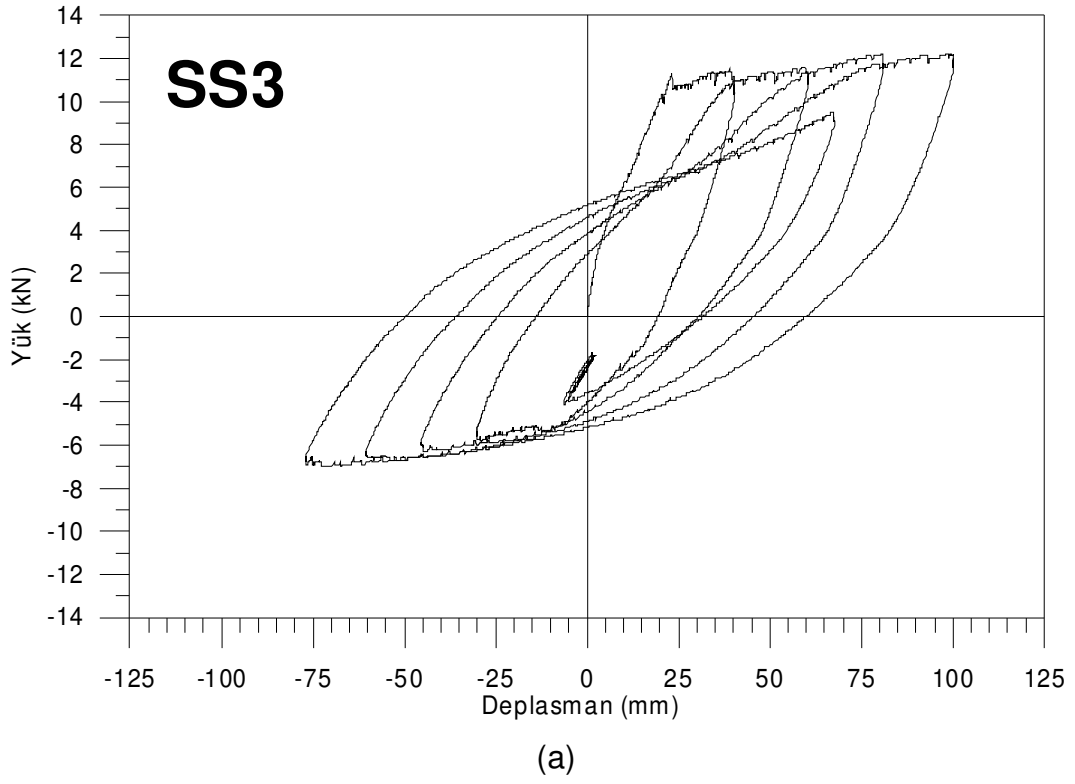
4. Geri Yükleme

SS3 elemanında -6,8 kN yük ve -77 mm deplasman değerinde çevrim sona erdirilmiştir. Stroke boyu bittiği için maksimum değer olan 80 mm ye ulaşamamıştır. Çevrim sonunda ana çatlak kökleşmiş haldedir ve genişliği 6 mm'ye ulaşmıştır. İkinci ana çatlak 3 mm, üçüncü ana çatlak ise 2 mm genişliğindedir.

RSS3 elemanında betonda ve epokside büyük hasarlar oluşmuştur.

5. İleri Yükleme

SS3 elemanında ileri yükleme sırasında 89 kN yük ve 62 mm deplasman değerine ulaşıldığında konsol dibinde çok büyük hasarlar oluştuğu için deneye son verilmiştir.



Şekil 5.3. SS3 ve RSS3 deney elemanlarına ait yük-deplasman ilişkisi

a) SS3 Deney Elemanı

b) RSS3 Deney Elemanı

5.4. SM1 ve RSM1 Deneyleri

- İşlem Türü : Referans Kiriş (SM1), Onarılmış Kiriş (RSM1)
- Eleman Geçmişi : Yok (SM1), Az Hasarlı Kiriş (RSM1)
- Deney Tarihi : 19.02.2008 (SM1), 16.03.2008 (RSM1)

1.İleri Yükleme

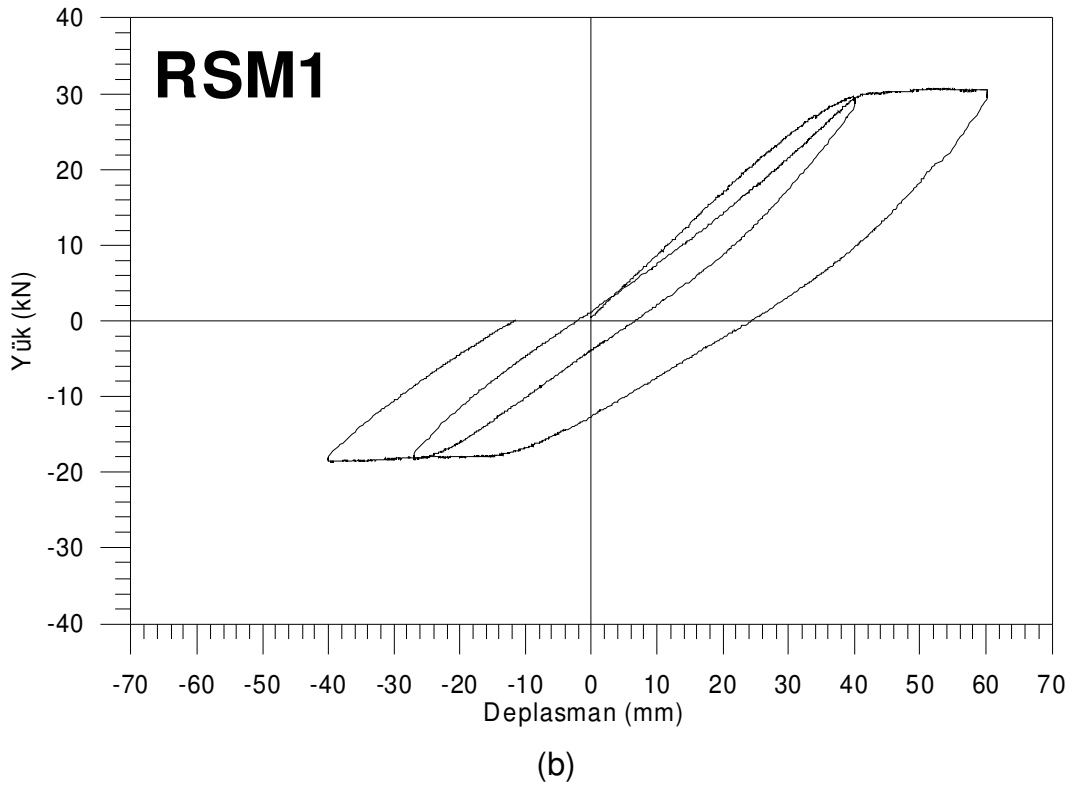
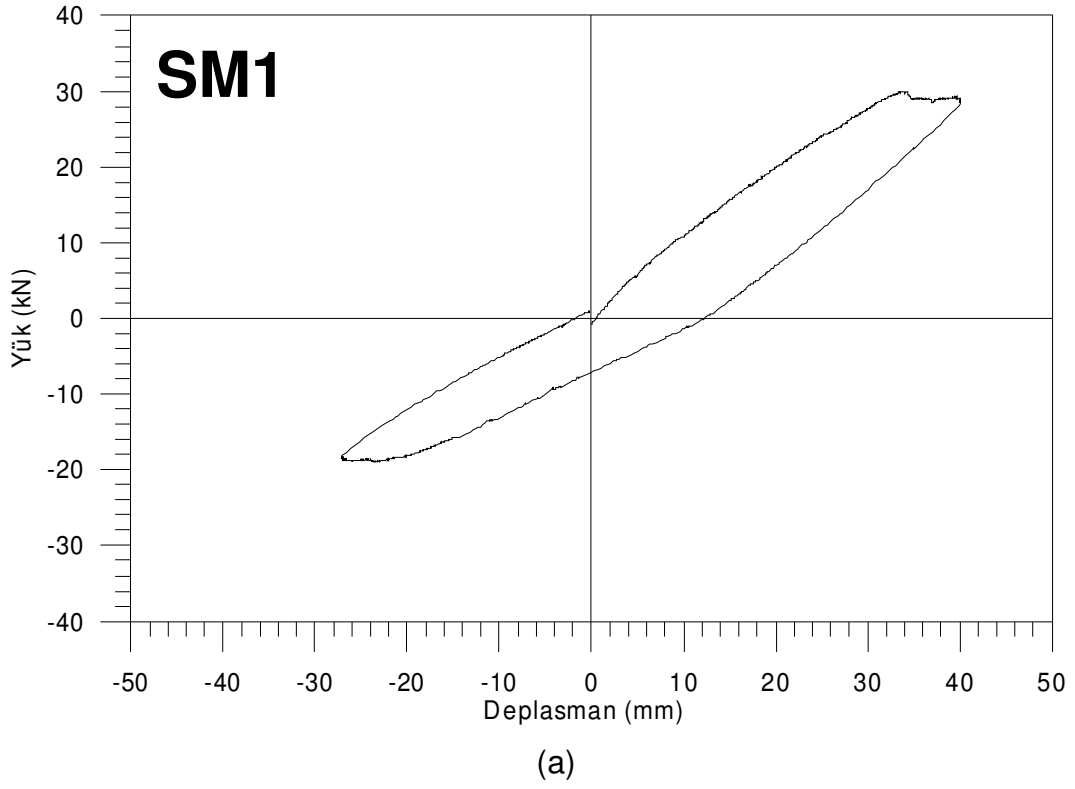
SM1 elemanında 15 kN yük ve 15 mm deplasmanda konsol dibinden 8 cm ileride ilk çatlak olmuştur. İkinci çatlak ise 22 kN yük ve 22 mm deplasman değerinde konsol dibinden 35 cm ileride oluşmuştur. İlk çevrim 29 kN yük ve 40 mm deplasmanda sona ermiştir. Çevrim sonunda ilk ana çatlak yaklaşık 1 mm, diğer çatlaklar ise 0,2 mm ve daha küçük ölçülmüştür.

RSM1 elemanında ise konsoldan 5 cm ileride yeni bir çatlak gözlenmiştir.

1.Geri Yükleme

SM1 elemanında -9 kN ve -4 mm deplasman değerinde ilk çatlak gözlenmiştir. -18 kN ve -27 mm deplasman da çevrim sona ermiştir. Konsol dibinden 5 cm ileride 0,4 mm genişliğinde, 20 cm ileride de 0,2 mm genişliğinde bir çatlak oluşmuştur.

RSM1 elemanında ise bazıları yeni olmak üzere kılcal çatlaklar görülmüştür. Bu elemanda donatıdaki akmanın belirgin olmadığı gözlenmiştir. Bunu netleştirmek için bir çevrim daha yapmaya karar verilmiştir.



Şekil 5.4. SM1 ve RSM1 deney elemanlarına ait yük-deplasman ilişkisi
 a) SM1 Deney Elemanı b) RSM1 Deney Elemanı

5.5. SM2 ve RSM2 Deneyleri

- İşlem Türü : Referans Kiriş (SM2), Onarılmış Kiriş (RSM2)
- Eleman Geçmişi : Yok (SM2), Orta Hasarlı Kiriş (RSM2)
- Deney Tarihi : 30.01.2008 (SM2), 18.03.2008 (RSM2)

1. İleri Yükleme

SM2 elemanında ilk çatlak konsol dibinden 2 cm ileride 16 kN yük, 15 mm deplasman değerinde gözlenmiştir. İkinci çatlak 32 cm ileride, üçüncü çatlak ise 47 cm ileride kılcal düzeyde oluşmuştur. 28 kN yük ve 40 mm deplasman değerinde çevrim sona erdirilmiştir. Çevrim sonunda konsol dibinde 0,8 mm genişliğinde ve 0,7h yüksekliğinde çatlak gözlenmiştir. Diğerleri ise kılcal çatlaklardır.

RSM2 elemanında ise plakaların kalktığı ve epoksinin kavlamaya başladığı gözlenmiştir.

1. Geri Yükleme

SM2 elemanında konsol dibinde kiriş yüksekliğince 1 mm genişliğinde çatlak gözlenmiştir. Diğer çatlaklar ise kılcaldır.

RSM2 elemanında ise önemli bir gelişme gözlenmemiştir.

2. İleri Yükleme

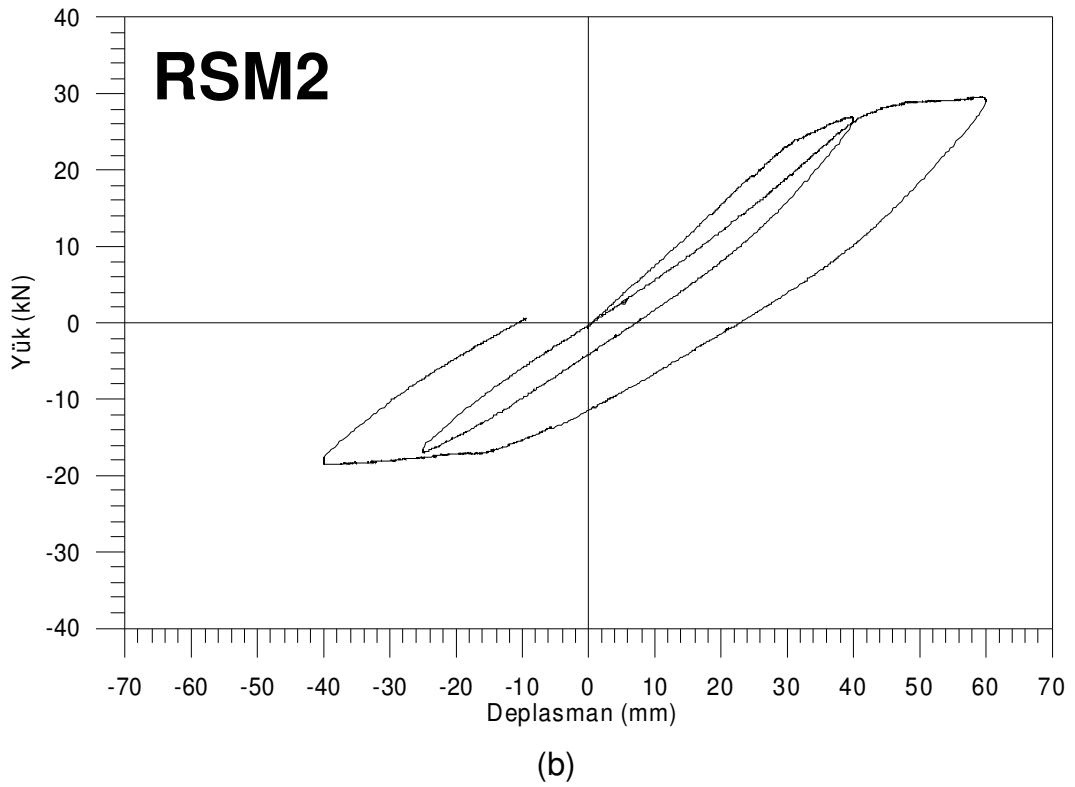
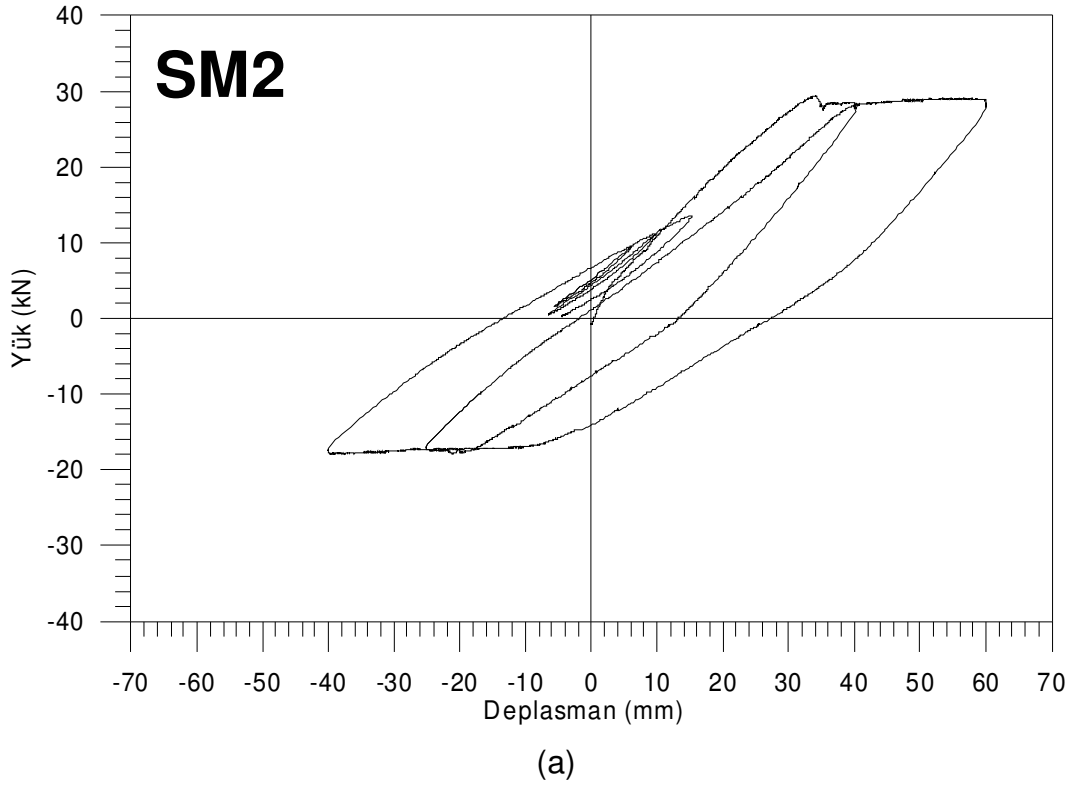
SM2 elemanında 28 kN yük ve 60 mm deplasman değerinde durdurulan ikinci çevrimde genişliği 2,5 mm olan ana çatlakta dört adet kök gözlenmiştir. Konsol dibinden 15 cm ileride ise 0,6 mm genişliğinde ikinci çatlak oluşmuştur.

RSM2 elemanında ise çevrim sonunda epokside kabarmalar gözlenmiştir. Beton üst yüzünde de bir miktar ezilme oluşmuştur.

2. Geri Yükleme

SM2 elemanında çevrim sonunda konsol ana çatlak genişliği 3,5 mm ye ulaşmıştır.

RSM2 elemanında rijit bloktan bir parça beton ayrılmıştır. Betonda önemli ezilmeler oluşmuştur.



Şekil 5.5. SM2 ve RSM2 deney elemanlarına ait yük-deplasman ilişkisi

a) SM2 Deney Elemanı

b) RSM2 Deney Elemanı

5.6. SM3 ve RSM3 Deneyleri

- İşlem Türü : Referans Kiriş (SM3), Onarılmış Kiriş (RSM3)
- Eleman Geçmişi : Yok (SM3), Çok Hasarlı Kiriş (RSM3)
- Deney Tarihi : 26.01.2008 (SM3), 23.03.2008 (RSM3)

1. İleri Yükleme

SM3 elemanında ilk çevrim 29 kN yük ve 60 mm deplasman anında sona erdirilmiştir. Çevrim sonunda konsol dibinde 1 mm genişliğinde çatlak, 5 cm ileride kiriş yüksekliğinde 2,5 mm çatlak gözlenmiştir. Elemanda düzgün yayılı bir biçimde kılcal çatlaklar gözlenmiştir.

RSM3 elemanında 24 kN yük ve 37 mm deplasman anında yan yüzden bir parça epoksi kavlamıştır. Çevrim sonunda üstteki epoksi altında çatlaklar oluşmuş ve enjeksiyon memesi kopmuştur. Konsol dibinde 1 mm genişliğinde çatlak gözlenmiştir.

1. Geri Yükleme

Elemanda -45 mm deplasmanda durdurulan bu çevrimde konsol dibinde 1,5 mm genişliğinde, 5 cm ileride ise 3 mm genişliğinde çatlaklar gözlenmiştir.

RSM3 elemanında ise konsol dibinde 2 mm, 20 cm ileride ise 3 mm genişliğinde çatlak gözlenmiştir.

2. İleri Yükleme

SM3 elemanında 28 kN yük ve 80 mm deplasman değerinde durdurulan ikinci çevrimde konsol dibinden 5 cm ilerideki çatlak genişliği 3,5 mm'ye çıkmıştır. Betonda ezilmeler görülmüştür.

RSM3 elemanında ise konsol dibinden 20 cm ileride kırılmalar gözlenmiştir. Eleman üst yüzünde ezilmeler gözlene de epoksili bölge yük taşımaya devam etmektedir.

2. Geri Yükleme

SM3 elemanında -19 kN yük ve -60 mm deplasman değerinde durdurulan ikinci çevrimde konsol dibinden 5 cm ilerideki çatlak genişliği 5 mm ye çıkmıştır. Konsol dibinden 18 cm ileride üçüncü bir ana çatlak gözlenmiştir. Betonda hafif ezilmeler görülmüştür.

RSM3 elemanında ise konsol dibinde ayrılma oldukça belirgindir. Kiriş çekme bölgesinde elemandan ayrılmıştır.

3. İleri Yükleme

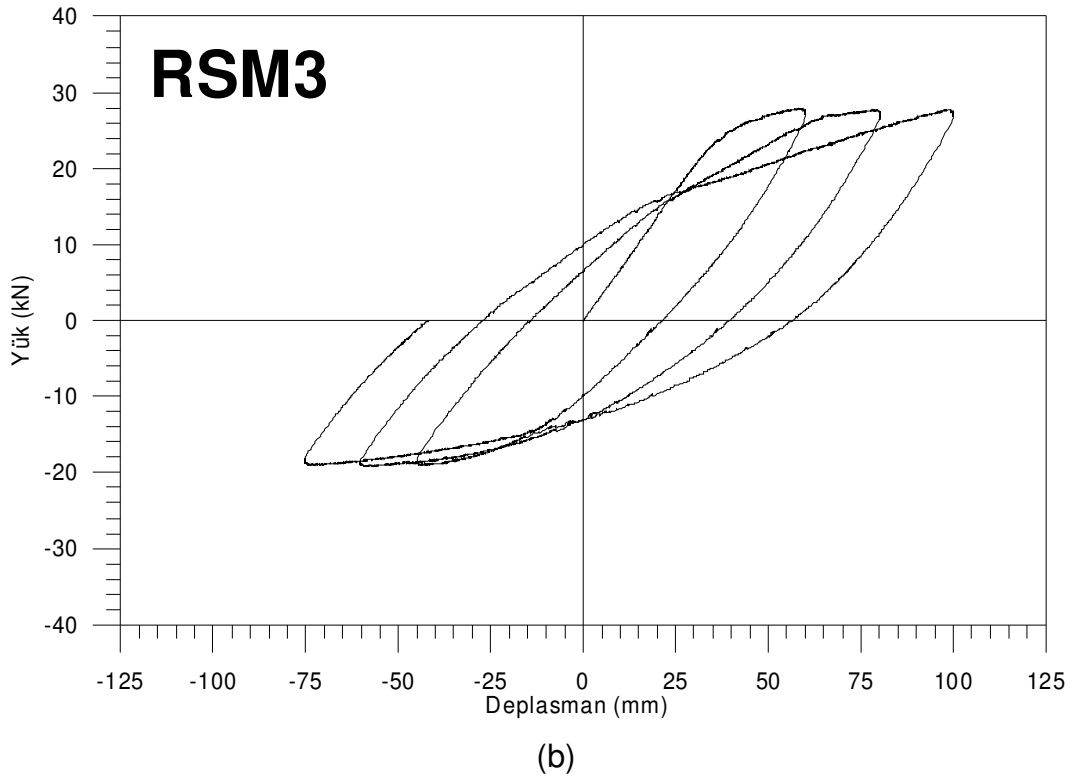
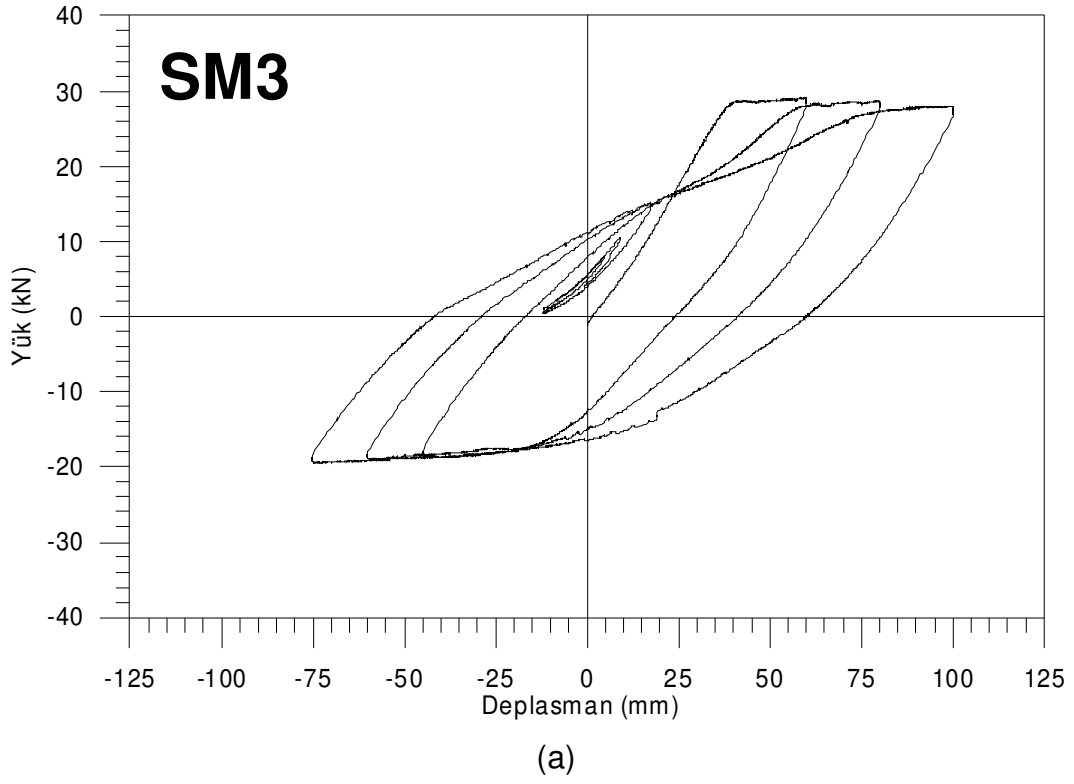
SM3 elemanında 28 kN yük ve 100 mm deplasman değerinde durdurulan ikinci çevrimde konsol dibinden 5 cm ilerideki çatlak genişliği 4 mm'ye çıkmıştır ve kökleşme gözlenmiştir. Betondaki önemli ezilmeler ve donatının burkulma olasılığı nedeniyle daha fazla deplasman yaptırılmamıştır.

RSM3 elemanında ise konsol dibinden 20 cm ileride kırılmalar vardır ve beton üst yüzünde 25 cm'lik bölgede ezilme gözlenmiştir.

3. Geri Yükleme

SM3 elemanında -19 kN yük ve -75 mm deplasman değerinde durdurulan üçüncü çevrimde konsol dibinden 5 cm ilerideki çatlak genişliği 5 mm'dir. Konsol dibinden 18 cm ileride ve konsol dibinde çatlak genişliği 3 mm olarak gözlenmiştir.

RSM3 elemanında ise konsol dibinden 20 cm ötede kırılma oldukça belirgindir. Epoksi çatlakların ötelenmesine neden olmuş ve bir kırılma bölgesi oluşturmuştur.



Şekil 5.6. SM3 ve RSM3 deney elemanlarına ait yük-deplasman ilişkisi

a) SM3 Deney Elemanı

b) RSM3 Deney Elemanı

5.7. SB1 Deneyi

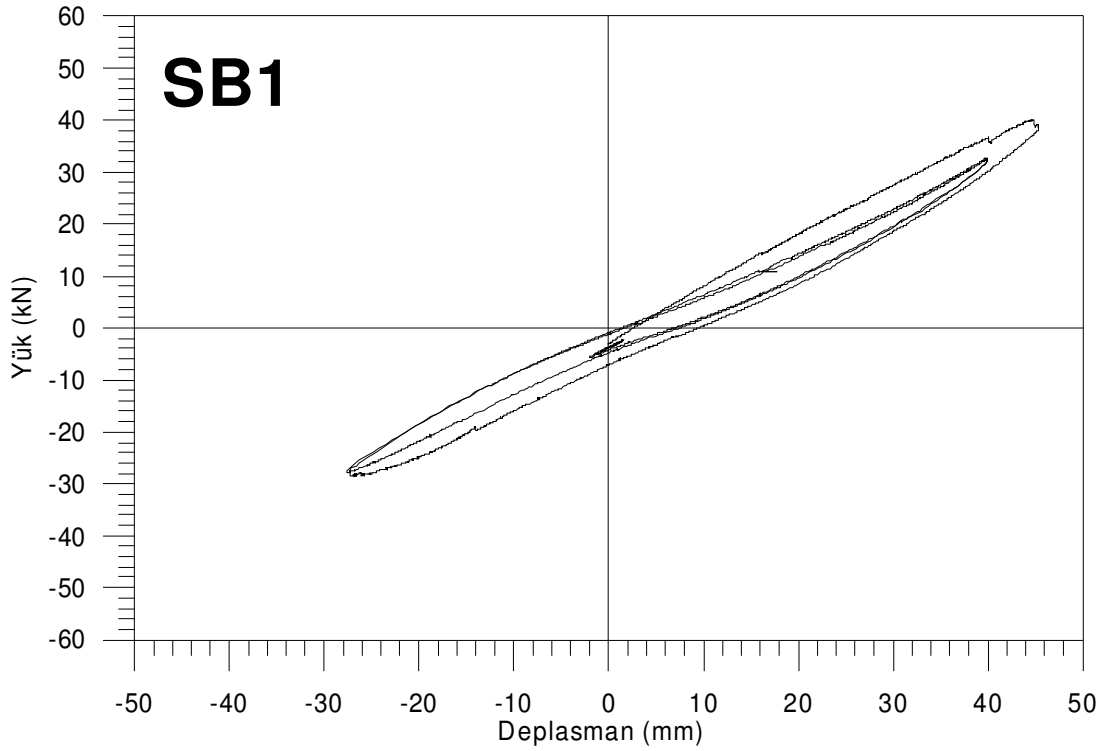
- İşlem Türü : Referans Kiriş (SB1)
- Eleman Geçmişi : Yok (SB1)
- Deney Tarihi : 23.01.2008 (SB1)

1. İleri Yükleme

Elemanda 36 kN yük ve 16 mm deplasman değerinde ilk çatlak gözlenmiştir. 39 kN yük ve 45,5 mm deplasmana ulaşıldığında çevrim sona erdirilmiştir. Konsol dibinden 15 cm ileride oluşan ilk çatlak genişliği 0,8 mm'dir. Alt yüzde ise düzenli aralıklarla 1m'lik bölgede etriye hizalarında eğilme çatlakları gözlenmiştir. Elemanda alt yüzden başlayıp rijit bloğa doğru yaklaşık 45 derece açıyla tırmanan kesme çatlakları gözlenmiştir. Bu çatlakları engellemek için aynı tipteki diğer elemanlarda saplamalarla kesme dayanımı arttırmaya karar verilmiştir.

1. Geri Yükleme

İlk çatlak -15 kN yük ve -10 mm deplasman değerinde konsol dibinden 13 cm ileride gözlenmiştir. 19 kN yük ve 13 mm deplasman değerinde konsol dibinden 4 cm ileride ikinci çatlak gözlenmiştir. 28 kN yük ve 27 mm deplasmana ulaşıldığında çevrim sona erdirilmiştir.



Şekil 5.7. SB1 deney elemanına ait yük-deplasman ilişkisi

5.8. SB2 ve RSB2 Deneyleri

- İşlem Türü : Referans Kiriş (SB2), Onarılmış Kiriş (RSB2)
- Eleman Geçmişi : Yok (SB2), Orta Hasarlı Kiriş (RSB2)
- Deney Tarihi : 21.02.2008 (SB2), 18.03.2008 (RSB2)

1. Geri Yükleme

SB2 elemanında ilk çatlak 15 kN yük ve 20 mm deplasman anında gözlenmiştir. İkinci çatlak ise konsol dibinden 25 cm ileride ve kılcaldır.

RSB2 elemanında basınç bölgesinde çok az bir miktar ezilme gözlenmiştir. Mevcut kılcal çatlakların bir miktar açıldığı görülmüştür.

1. İleri Yükleme

SB2 elemanında 42 kN yük ve 50 mm deplasmanda sona erdirilen bu çevrimde konsol dibinde 1 mm genişliğinde çatlak gözlenmiştir. Saplamalı bölgede kesme çatlağı oluşmamıştır.

RSB2 elemanında konsol dibinde ve epoksi altında çatlaklar gözlenmiştir.

2. Geri Yükleme

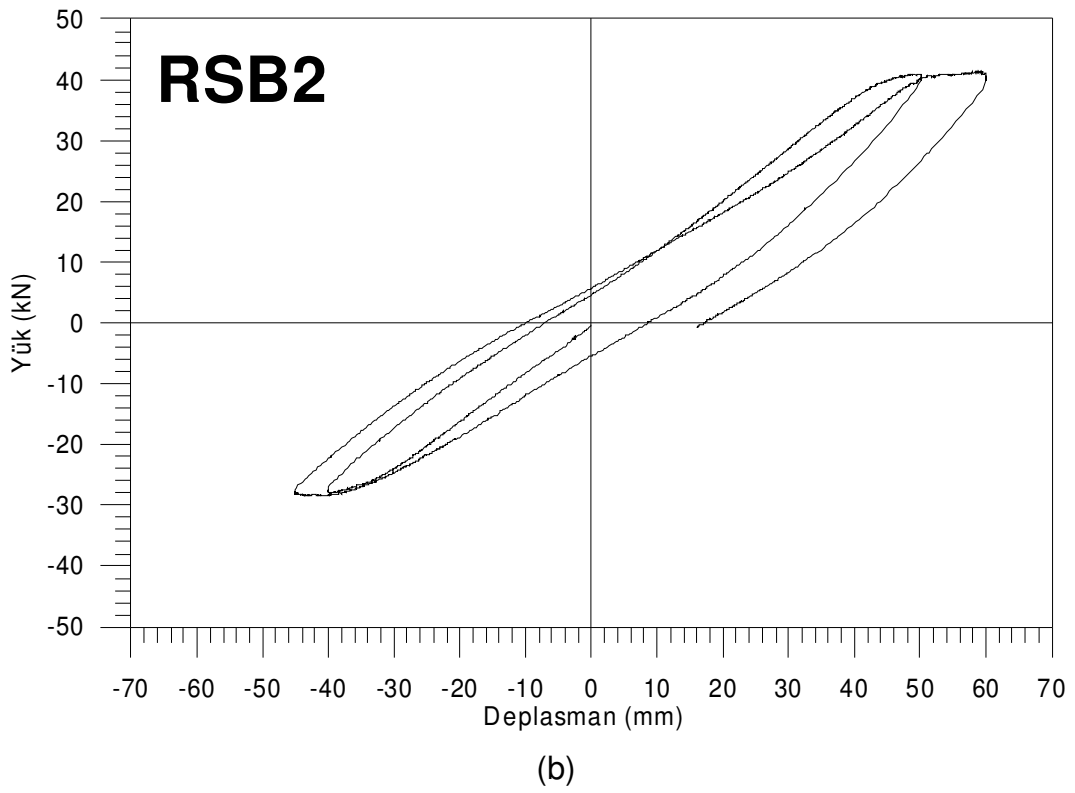
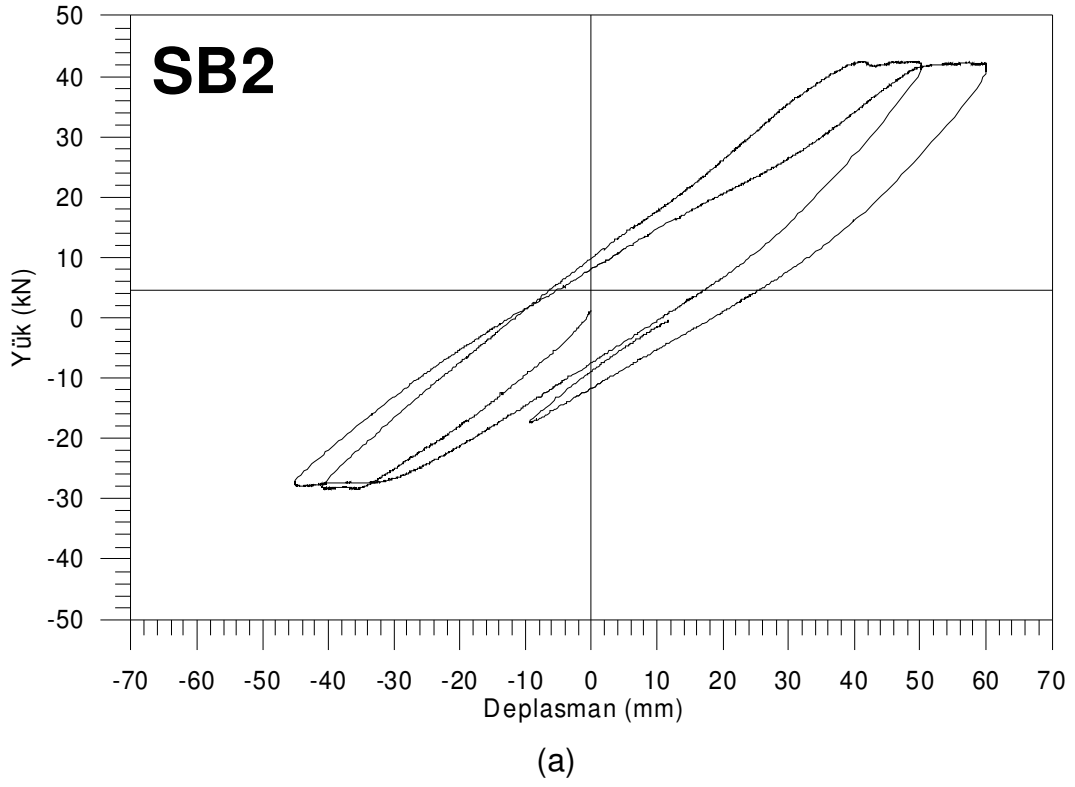
SB2 elemanında -27 kN yük ve -45 mm deplasman değerinde durdurulan ikinci çevrimde konsol dibinden itibaren 40 cm'lik bölgede önemli bir çatlak gözlenmemiştir. 70 cm ileride 0,3 mm genişliğinde kesme çatlağı gözlenmiştir.

RSB2 elemanında ise önemli bir gelişme olmamıştır.

2. İleri Yükleme

SB2 elemanında çevrim sonunda yük 42 kN, deplasman ise 60 mm'dir. Konsol dibinde genişliği 2 mm, 45 cm ileride 0,5 mm ve 70 cm ileride 0,4 mm genişlikte çatlaklar gözlenmiştir.

RSB2 elemanında rijit blokta 1 mm genişliğinde çatlak oluşmuştur. Mevcut kesme çatlakları genişlemiştir.



Şekil 5.8. SB2 ve RSB2 deney elemanlarına ait yük-deplasman ilişkisi

a) SB2 Deney Elemanı

b) RSB2 Deney Elemanı

5.9. SB3 ve RSB3 Deneyleri

- İşlem Türü : Referans Kiriş (SB3), Onarılmış Kiriş (RSB3)
- Eleman Geçmişi : Yok (SB3), Çok Hasarlı Kiriş (RSB3)
- Deney Tarihi : 23.02.2008 (SB3), 15.03.2008 (RSB3)

1. İleri Yükleme

SB3 elemanında ilk çatlak konsol dibinden 4 cm ileride 25 kN yük, 18 mm deplasman değerinde gözlenmiştir. İkinci çatlak 27 kN yük ve 21 mm deplasman anında 17 cm ileride oluşmuştur. 48 kN yük ve 60 mm deplasman değerinde çevrim sona erdirilmiştir. Çevrim sonunda ana çatlak 2 mm genişliğindedir. Diğerleri ise kılcal çatlaklardır. Saplama bölgesinde sınırlı miktarda kesme çatlakları gözlenmiştir.

RSB3 elemanında ise basınç bölgesinde epoksida ezilmeler gözlenmiştir.

1. Geri Yükleme

SB3 elemanında -15 kN yük ve +3 mm deplasman anında üst yüzde ilk çatlak oluşmuştur. Çevrim 23 kN yük ve 15 mm deplasman anında sona ermiştir. İlk ana çatlak 1 mm genişliğinde ve kiriş yüksekliğindedir. Diğer çatlaklar önemsizdir.

RSB3 elemanında ise önemli bir gelişme gözlenmemiştir.

2. İleri Yükleme

SB3 elemanında 48 kN yük ve 80 mm deplasman değerinde durdurulan ikinci çevrimde konsol dibinden 10 cm ileride 1 mm genişliğinde ikinci ana çatlak

oluşmuştur. İlk çatlak ise 2,5 mm genişliğinde ve kökleşmiş bir haldedir. Beton üst yüzünde ezilme başlamıştır.

RSB3 elemanında ise çevrim sonunda epokside kabarmalar gözlenmiştir. Beton üst yüzünde de bir miktar ezilme oluşmuştur. Yan yüzden epoksi parçaları ayrılmıştır.

2. Geri Yükleme

SB3 elemanında çevrim sonunda -24 kN yük ve -30 mm deplasmana ulaşılmıştır. Ana çatlak kökleşmiş ve genişliği 3 mm ye ulaşmıştır. İkinci ana çatlak ise 0,8 mm genişliğindedir.

RSB3 elemanında epoksi altındaki çatlak gelişini gizlemektedir.

3. İleri Yükleme

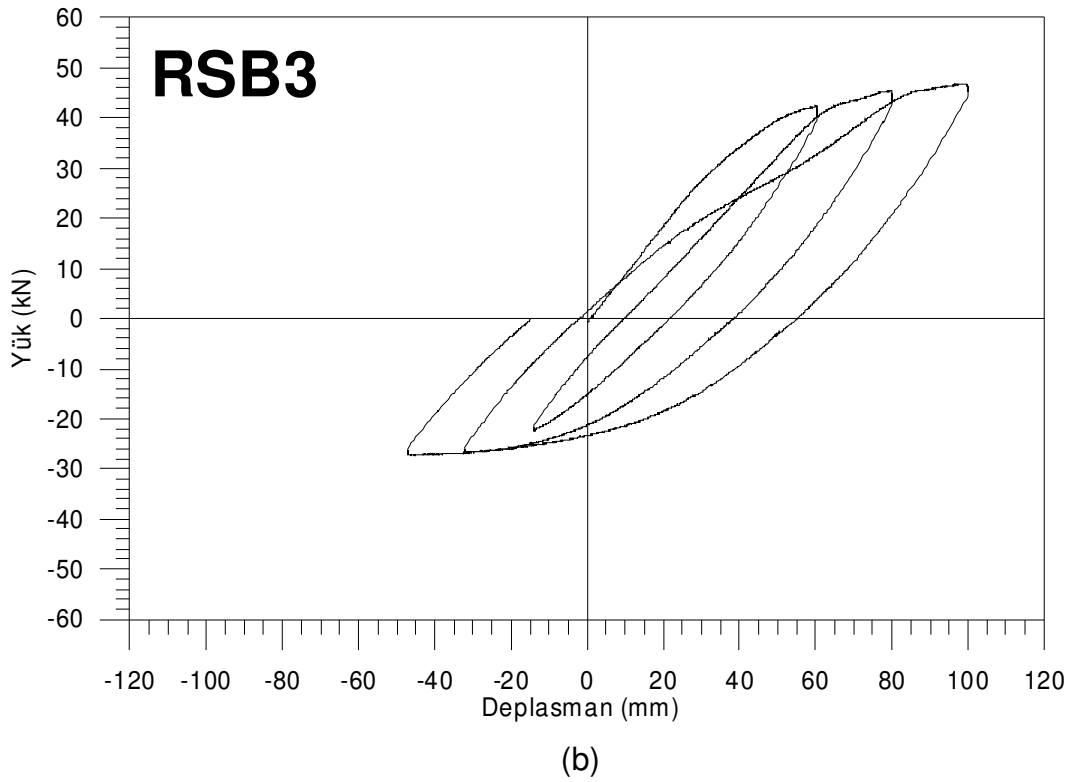
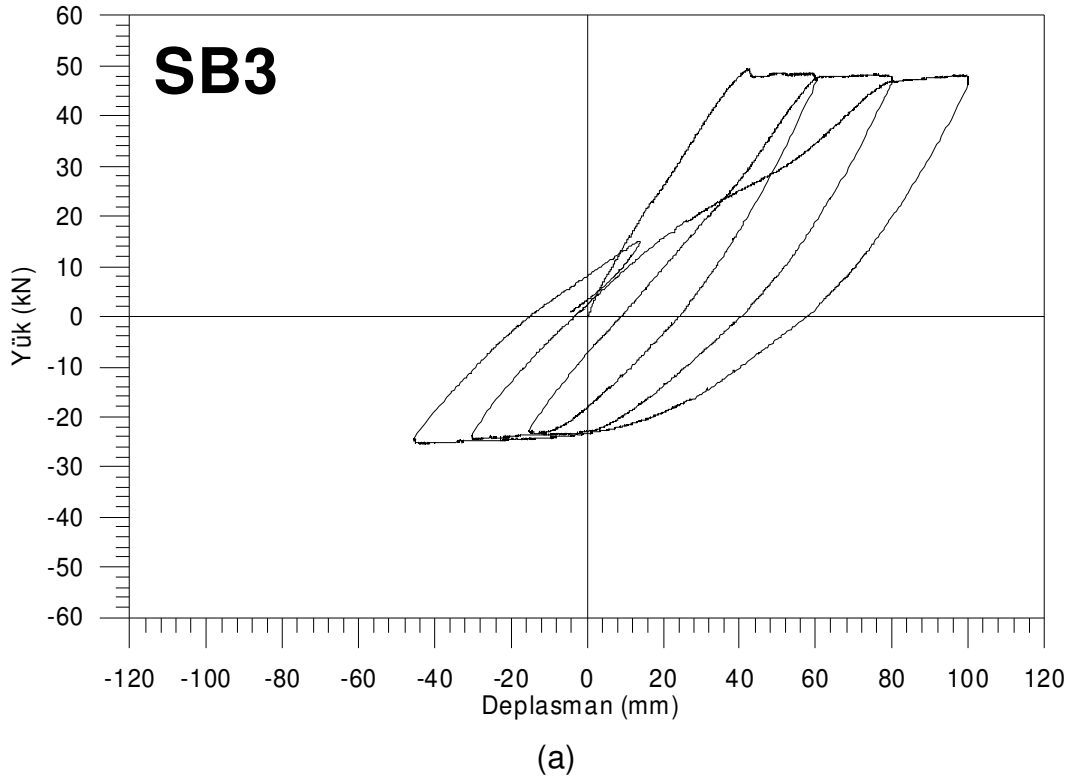
SB3 elemanında 47 kN yük ve 100 mm deplasman değerine ulaşılmıştır. Betondaki ezilmeden dolayı daha fazla ileri deplasman yaptırılmayacaktır. Ana çatlak 3 mm genişliğindedir ve üç adet köke sahiptir. İkinci ana çatlak ise 2,5 mm genişliğinde ve iki adet köke sahiptir. Diğer çatlaklar kılcal ve önemsizdir.

RSB3 elemanında çatlaklar epoksi nedeniyle görülememiştir.

3. Geri Yükleme

SB3 elemanında -25 kN yük ve -45 mm deplasman da çevrim sona erdirilmiştir. Ana çatlak 4 mm genişlikte ve 4 köklüdür. Alt yüzde ezilme yoktur ancak donatının kopma ihtimalinden dolayı deney sona erdirilmiştir.

RSB3 elemanında ise önemli bir gelişme gözlenmemiştir.



Şekil 5.9. SB3 ve RSB3 deney elemanlarına ait yük-deplasman ilişkisi

a) SB3 Deney Elemanı

b) RSB3 Deney Elemanı

6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde deney sonuçları değerlendirilmiştir. Deney elemanlarının sergilemiş olduğu belirgin davranışların nedenleri açıklanmaya çalışılmış ve tartışılmıştır. Değerlendirmeler deney elemanlarının yük-deplasman ilişkileri, eğilme rijitliği ve yük-toplam çatlak genişliği üzerinde yapılmıştır.

6.1. Davranış ve Dayanım

Deney elemanlarına ait yük-deplasman eğrileri Şekil 6.1-6.8 de gösterilmiştir. Bu şekillerde aynı elemana ait onarım öncesi ve onarım sonrası eğriler birlikte verilmiştir. Değerlendirme yapılırken elemanlar gruplara ayrılmıştır. Yük-deplasman eğrileri üzerinden elastik bölgedeki eğilme rijitliği hakkında da yorumlar yapılmıştır.

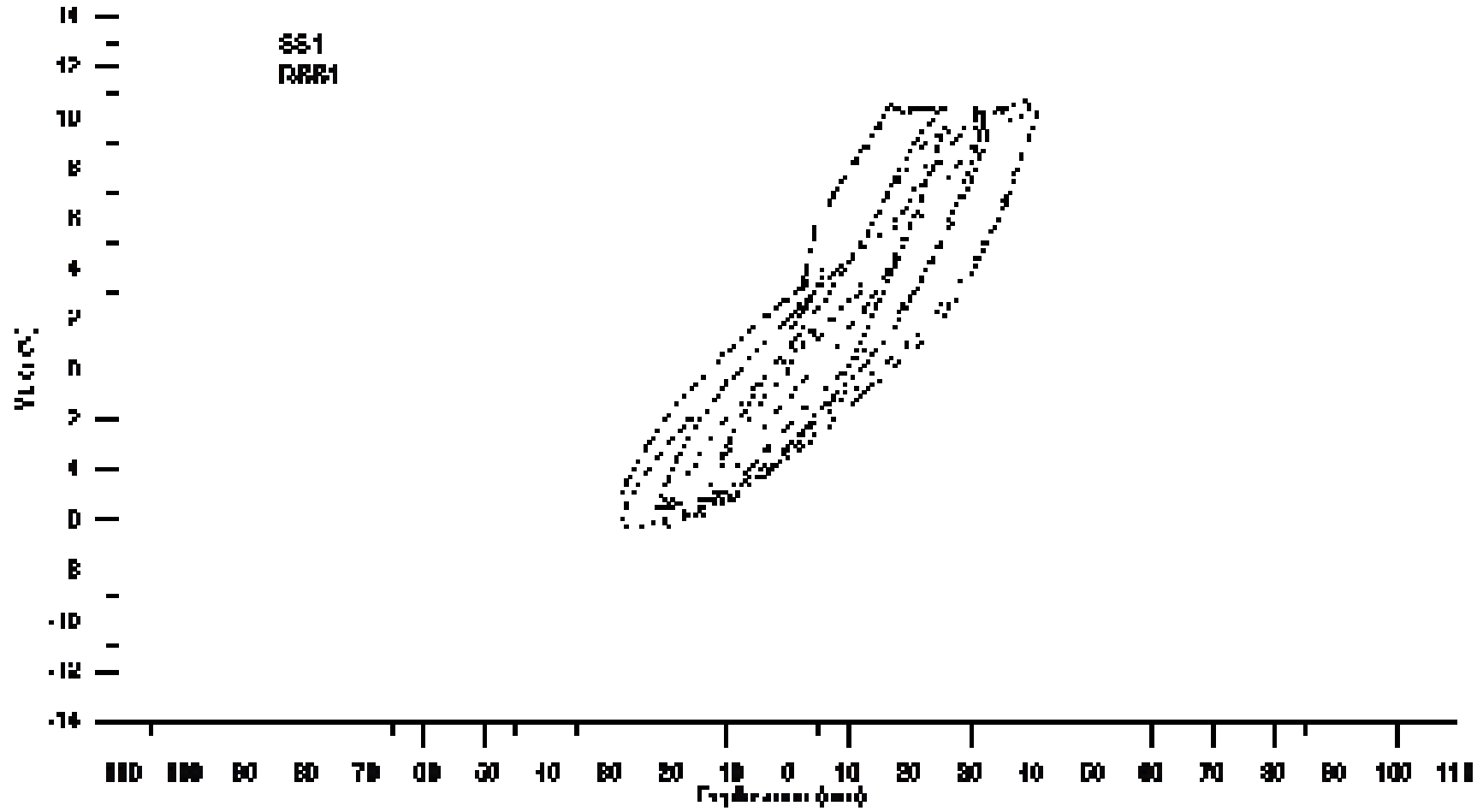
6.1.1. 1. Tip kirişler

En az donatıya sahip olan SS1, SS2, SS3 ve bu elemanların onarılmış hali olan RSS1, RSS2 ve RSS3 elemanlarında yapılan deneylerde en az hasara uğratılan SS1 elemanında ilk çatlama anından sonra eğilme rijitliğinde ani bir değişim gözlenmektedir. Onarılan RSS1 elemanı ise ilk ileri yüklemede bu değişimden sonraki rijitliğe benzer bir davranış göstermiştir. İleri yüklemelerde onarımdan önceki dayanıma ulaşamamış, ancak geri çevrimlerde daha yüksek dayanıma ulaşmıştır. Bunun nedeninin SS1 deneyinden sonra elemanda oluşan kalıcı deformasyonlar olduğu düşünülmektedir.

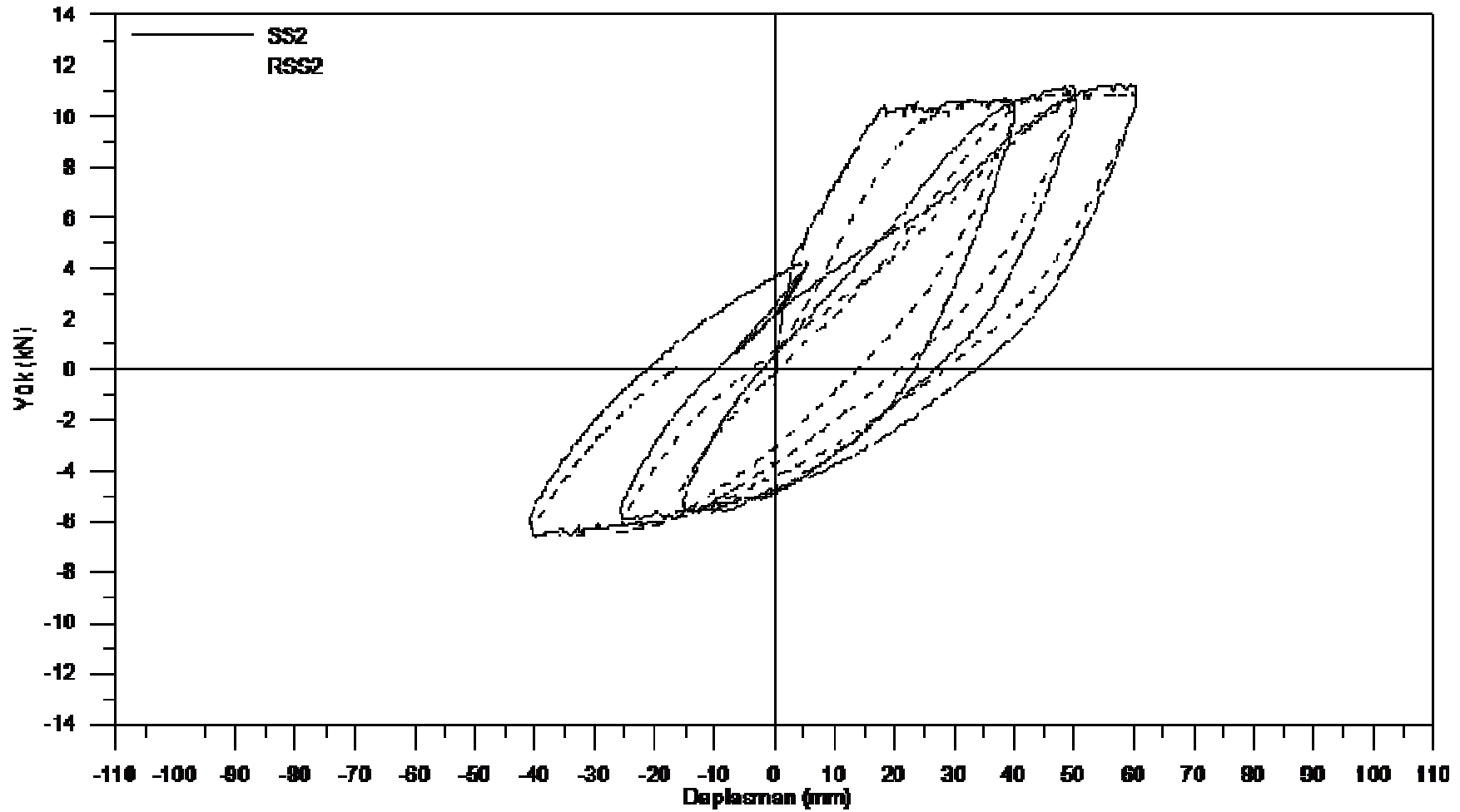
Orta hasarlı SS2 deney elemanının onarılmasıyla elde edilen RSS2 deney elemanında da onarım öncesi rijitliğe ulaşamadığı gözlenmiştir. İlk ileri yüklemenin ortalarında onarım öncesi kapasitesine ulaşan RSS2 elemanı buradan sonra onarım öncesine yakın bir davranış göstermiştir. İleri ve geri çevrimlerde maksimum yüke ulaşmıştır.

Ağır hasarlı SS3 ve onarılmış hali RSS3 elemanlarının deneylerinde ise onarılmış elemanın ilk ileri y¼klemenin hi¼bir anında onarılmamış halini yakalayamadığı, ancak ikinci ¼evrimden sonra hasarsız kirişle benzer davranışı sergilediği g¼sterilmiřtir.

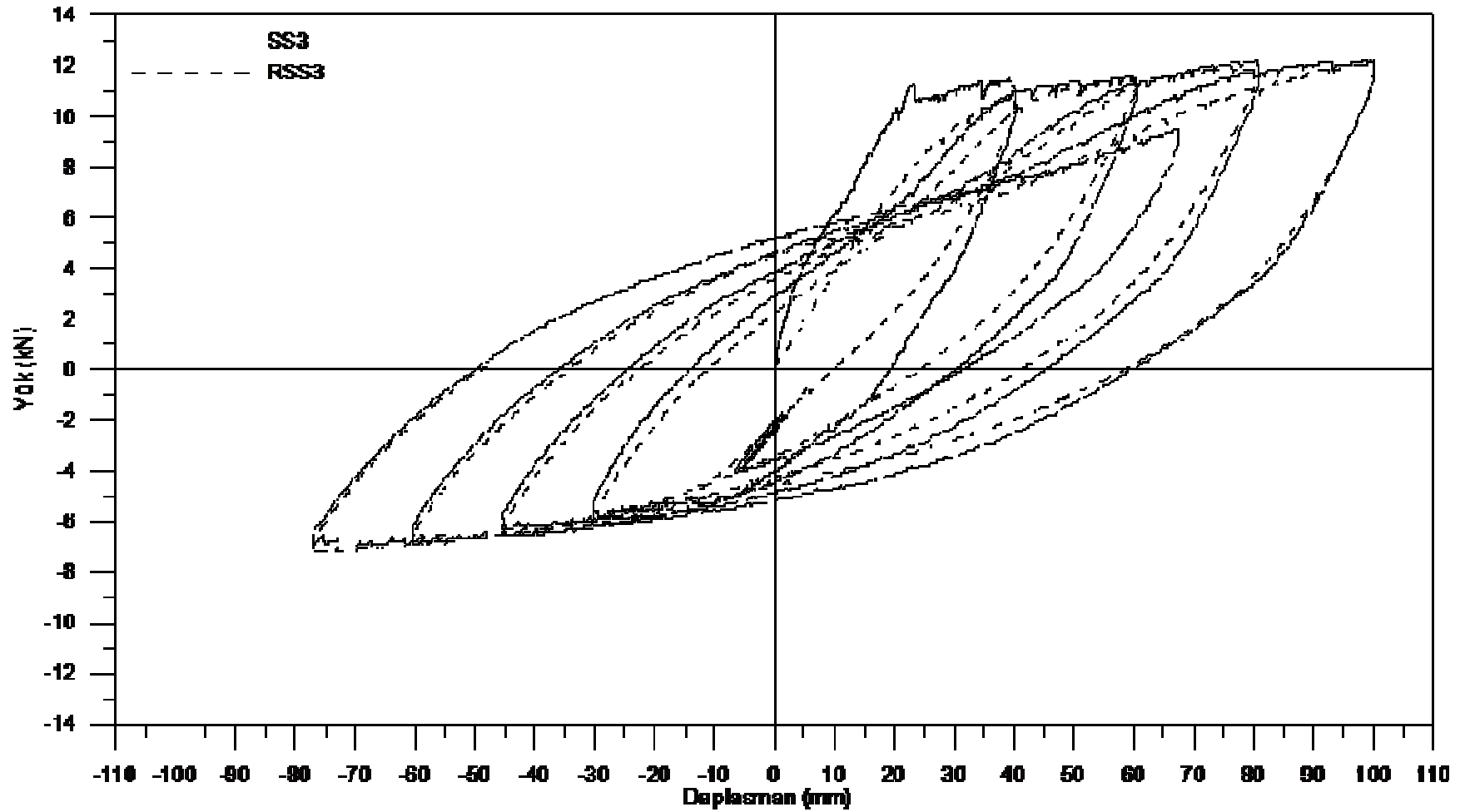
Her ¼¼ deneyden de g¼r¼leceđi gibi ¼zellikle ilk ¼evrimde aynı y¼kler altında onarılmış elemanın daha fazla deformasyon yaptığı g¼zlenmektedir. Yapılan onarım, elemanın hasarsız davranışını tekrarlamasını sağlayamamaktadır. Ancak yine de ilerleyen ¼evrimlerde davranışlar benzerlik g¼stermektedir. Bunun nedeni ilk ¼evrimde hasarsız elemandan farklı olarak onarılamayan kılcal ¼atlakların mevcut olmasıdır.



Şekil 6.1. SS1 ve RSS1 deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



Şekil 6.2. SS2 ve RSS2 deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



Şekil 6.3. SS3 ve RSS3 deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri

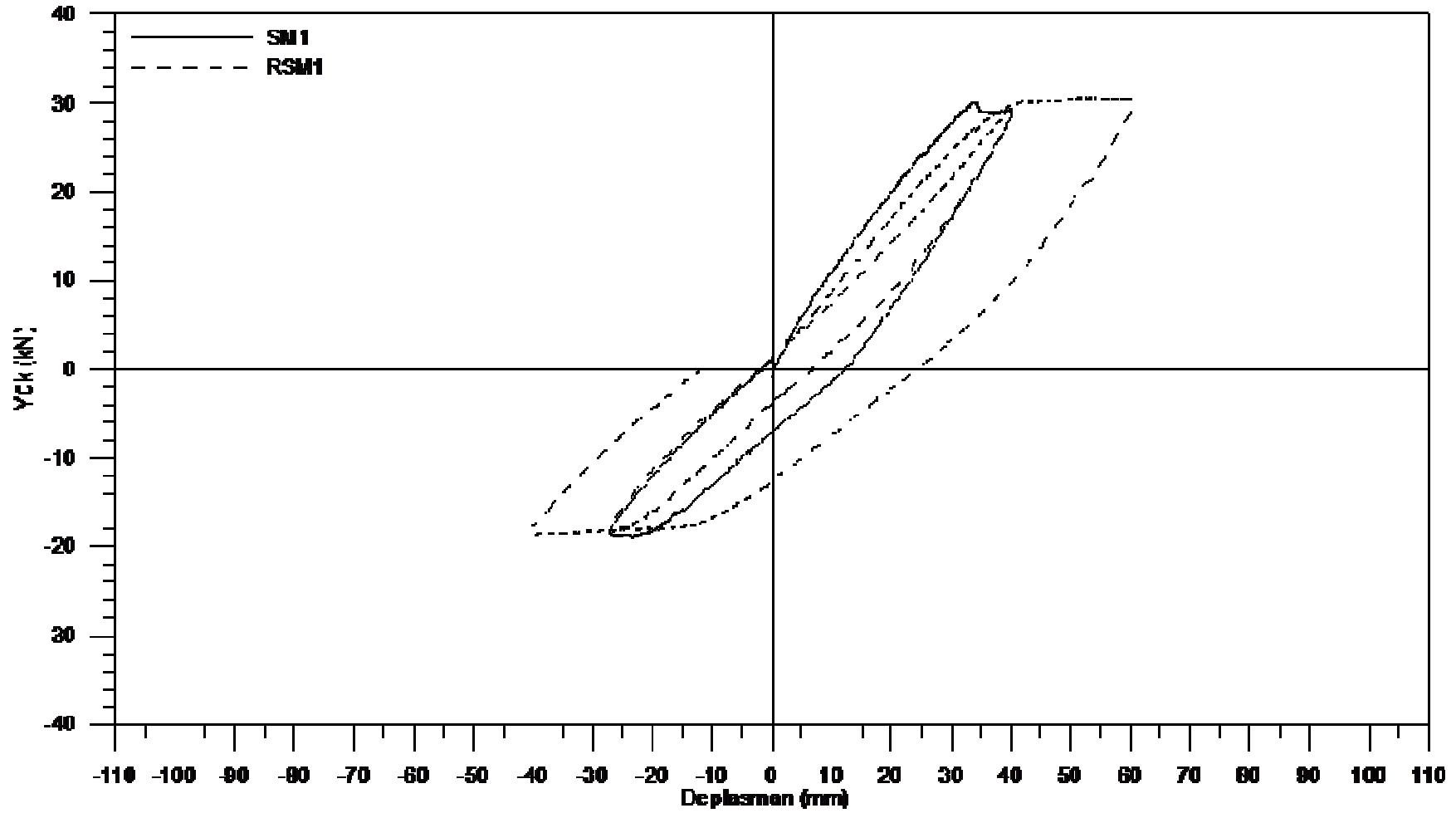
6.1.2. 2. Tip kirişler

Orta miktarda ana donatıya sahip olan SM1, SM2, SM3 ve onarılmış RSM1, RSM2 ve RSM3 elemanlarında yapılan deneylerde en az hasara uğratılmış SM1 elemanında ileri yönde oluşan çatlaklardan dolayı rijitlikteki değişim yine belirgindir. Onarılmış olan RSM1 elemanı bu değişimden sonraki davranışa benzer bir davranış göstermiştir. Geri yönde başlangıçta aynı yörüngeyi izlediği gözlenirse de, yeni oluşan kılcal çatlaklar davranışı değiştirmiştir.

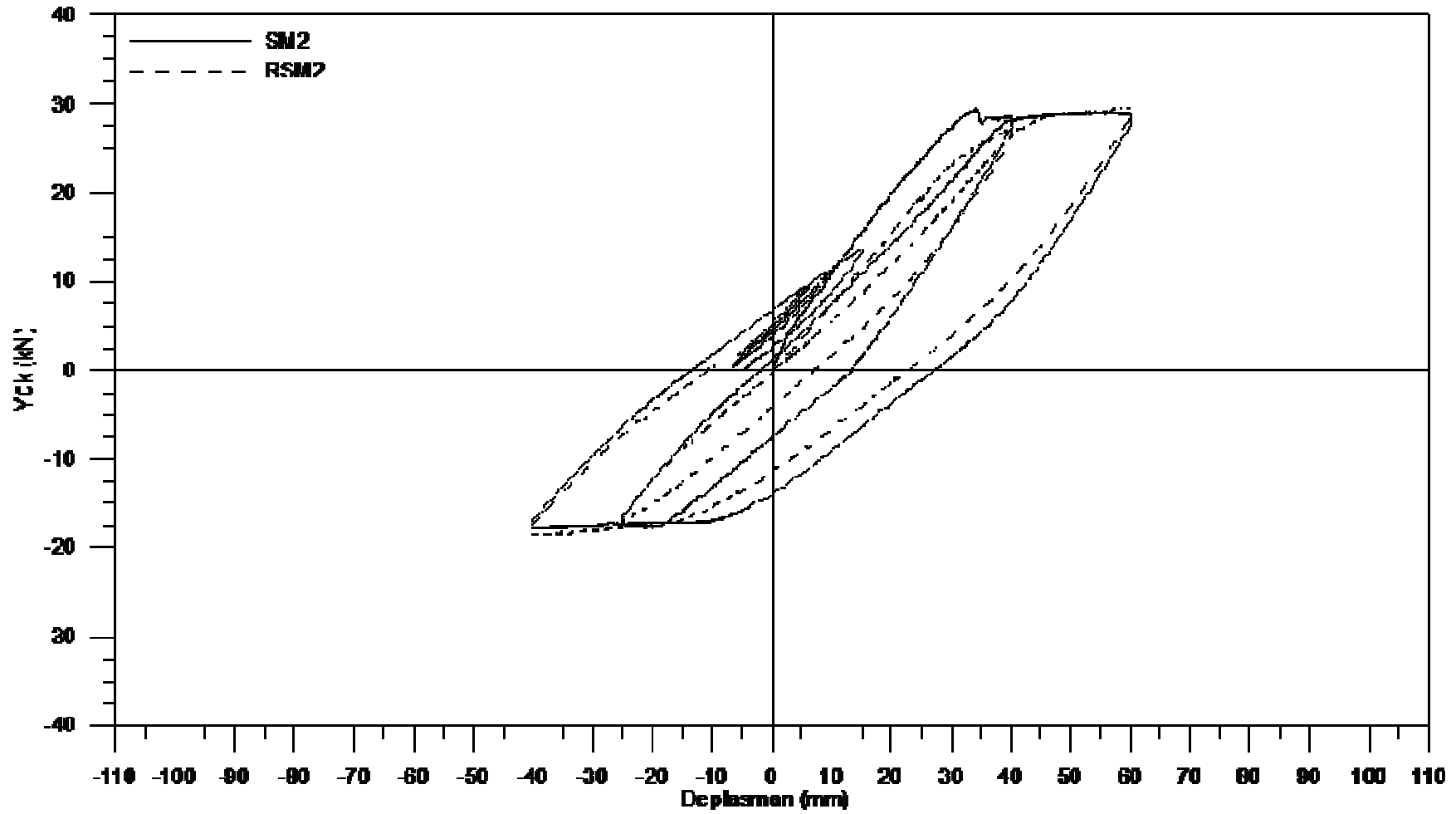
Orta hasara uğratılmış SM2 elemanı ve onarılmış hali RSM2 elemanı deneylerinde ise ilk ileri yüklemede onarılmış elemanın davranışı, hasarsız elemanda çatlak oluşumunun ardından gösterdiği davranışa benzemektedir. RSM2 elemanı ilk ileri çevrimde maksimum kapasitesine çıkamamıştır. Yaklaşık 1,5 kN daha az yük taşımış ve akma değerine ulaşamamıştır. İkinci çevrimde ise hasarsız elemana paralel bir davranış göstermiştir.

Ağır hasarlı SM3 elemanı ve onarılmış hali ve RSM3 elemanı deneylerinde ise elemanın yine onarım sonrası bir miktar ilk rijitliğe yakın bir davranış gözlenmiştir. Ancak epokside başlayan kavlamalar davranışı değiştirmiştir ve eğriyi ovalleştirmiştir. İlk ileri yüklemenin sonunda onarım öncesi kapasitesine ulaşan RSM3 elemanı, bundan sonraki çevrimlerde de yüklemenin sonlarında maksimum kapasitesine ulaşmıştır.

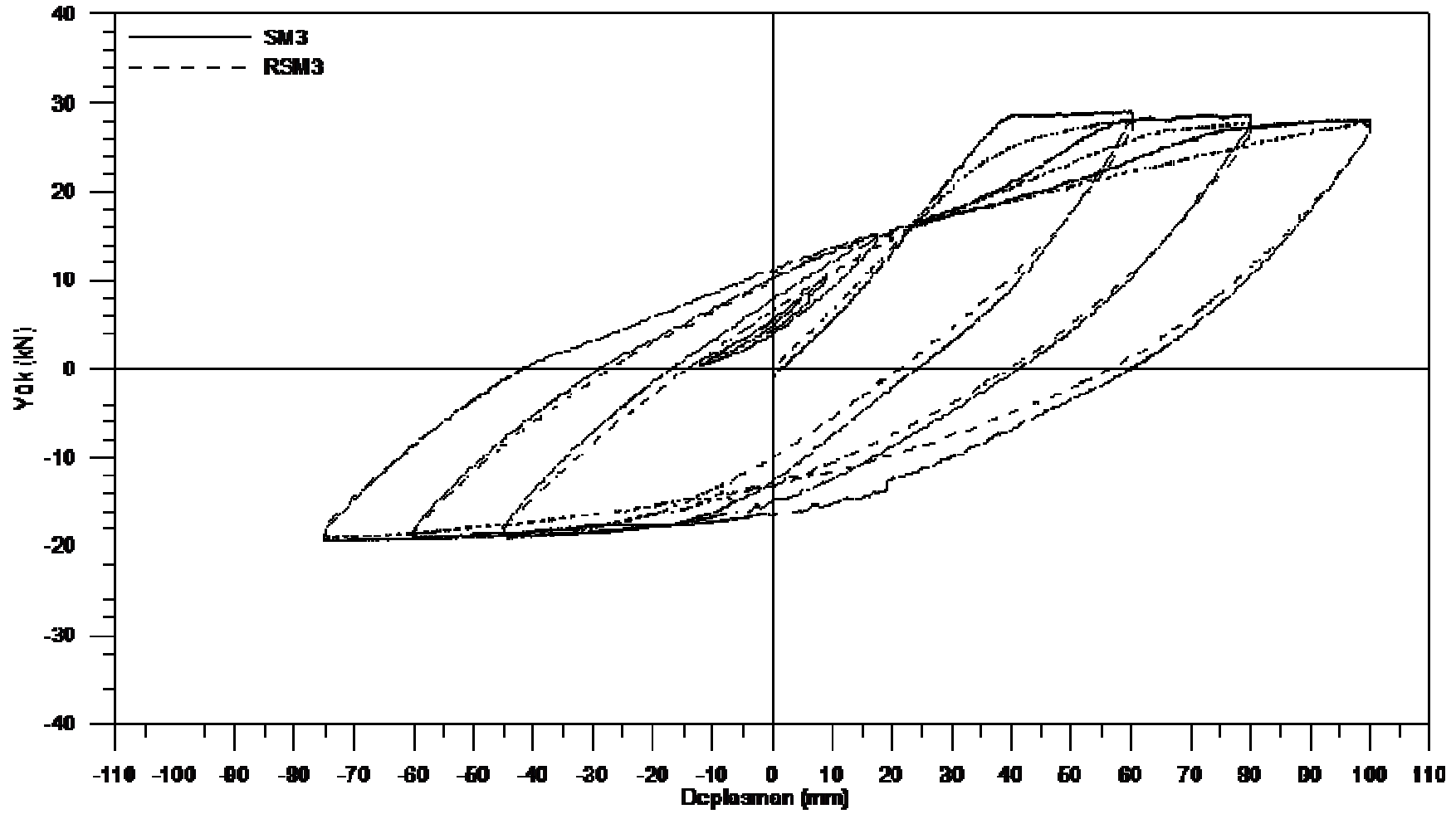
Her üç deneyden de görüleceği gibi özellikle ilk çevrimde aynı yükler altında onarılmış elemanın daha fazla deformasyon yaptığı gözlenmektedir. Onarılmış elemanlara ait eğrilerdeki ovalleşmenin nedeni ise epoksideki kavlama ve oluşan yeni çatlaklar olarak düşünülmektedir.



Şekil 6.4. SM1 ve RSM1 deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



Şekil 6.5. SM2 ve RSM2 deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



Şekil 6.6. SM3 ve RSM3 deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri

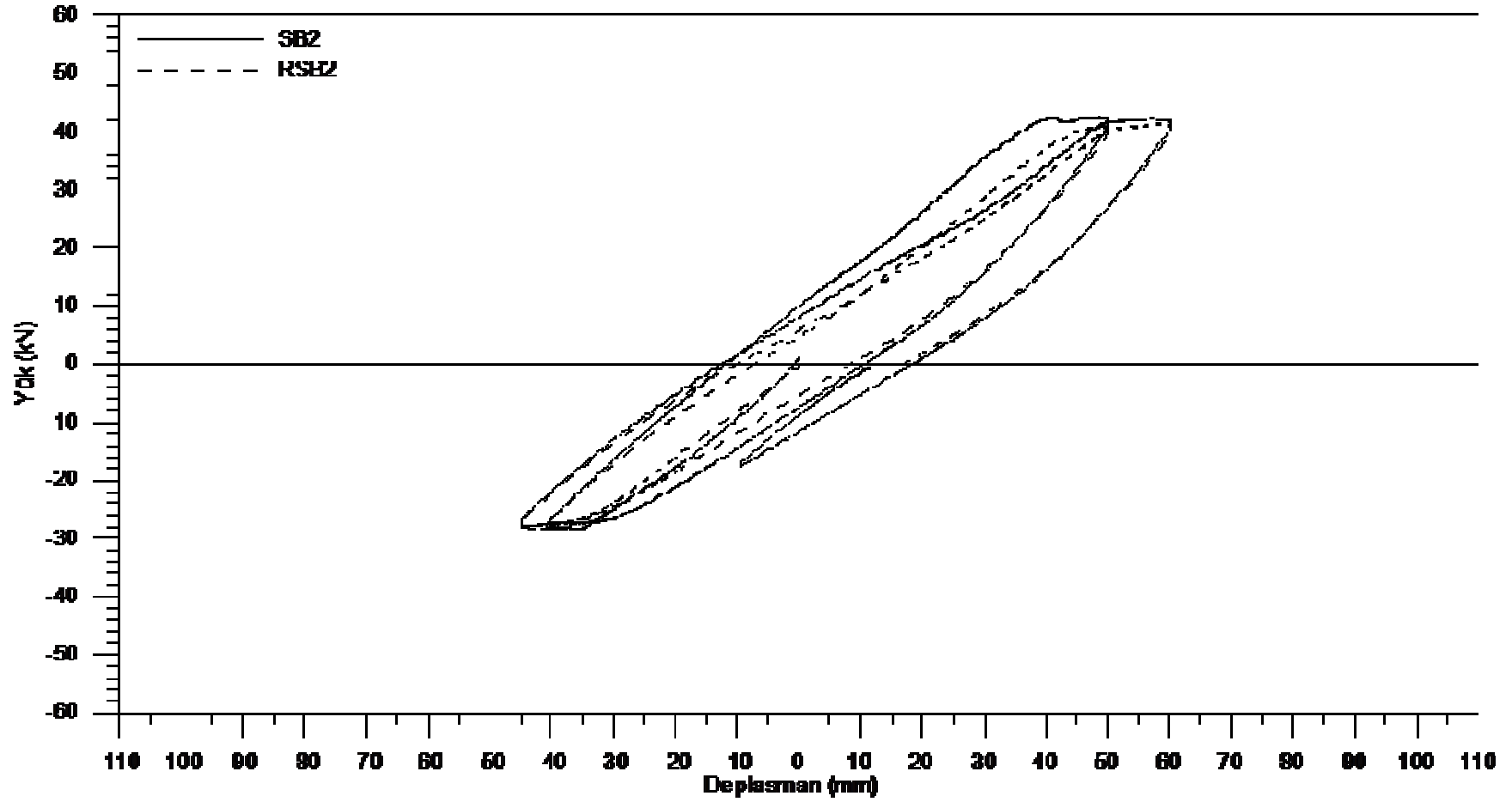
6.1.3. 3. Tip kirişler

En yoğun miktarda ana donatıya sahip olan SB1, SB2, SB3 elemanlarında yapılan deneylerde en az hasara uğratılmış SB1 elemanında sınırlı sayıda kılcal çatlak oluştuğu için onarımı mümkün olamamıştır.

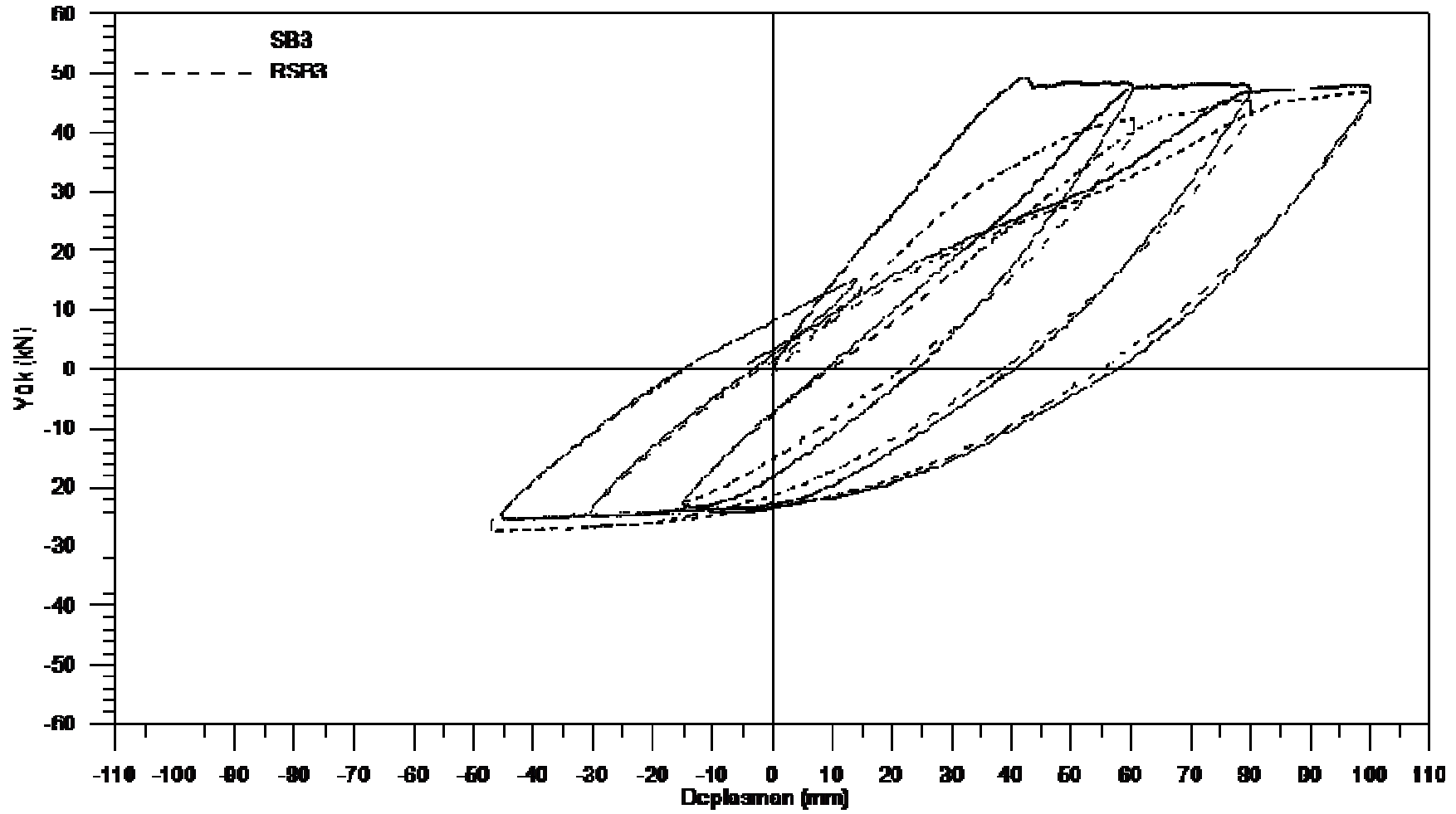
Orta hasara uğratılmış SB2 elemanı ve onarılmış hali ve RSB2 elemanı deneylerinde ise yine hasarsız rijitliğe ulaşılamamış ve ilk ileri yüklemde maksimum yüke 11 mm daha büyük deplasman değerlerinde ulaşılmıştır.

Ağır hasarlı SB3 elemanı ve onarılmış hali RSB3 elemanı deneylerinde ise onarılmış elemanın ilk ileri yüklemesinde rijitliği oldukça düşük ve azalan bir eğilim göstermiştir. İlk ileri yüklemenin sonunda maksimum yükün yaklaşık 6 kN altında kalmıştır. Bu da kapasitede %12'lik bir kayıp demektir. İkinci çevrimde de daha düşük rijitlikler gözlenmiştir. Üçüncü çevrimde onarılmış kirişin davranışı hasarsız haline bir miktar benzerlik göstermektedir. İleri çevrimlerde daha düşük fakat geri çevrimlerde daha yüksek dayanım göstermesinin nedeninin yine kirişte ilk deneyden sonra oluşan kalıcı deformasyon olduğu düşünülmektedir.

Her üç deneyden de görüleceği gibi özellikle ilk çevrimde aynı yükler altında onarılmış elemanın daha fazla deformasyon yaptığı gözlenmektedir. Onarılmış elemanlara ait eğrilerdeki ovalleşme ise diğer tiplerde olduğu gibi epoksideki kavlamadan ve yeni çatlakların oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 6.7. SB2 ve RSB2 deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



Şekil 6.8. SB3 ve RSB3 deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri

6.2. Deney Elemanlarının Eğilme Rijitliği

Karşılaştırma ve yorumlar, eğilme rijitliklerinin bir ölçüsü olan yük-deplasman grafiklerinin eğimlerinden hesaplanmıştır. Hesaplanmış olan eğilme rijitlikleri ölçülerinin çevrim sayısına göre değişimleri grafik olarak belirlenmiş ve hem ileri hem de geri çevrimler için Şekil 6.9-6.16'da verilmiştir. Elemanların zayıf yöndeki rijitliği güçlü yöndeki rijitliğine göre daha az olmuştur.

6.2.1. 1. Tip kirişler

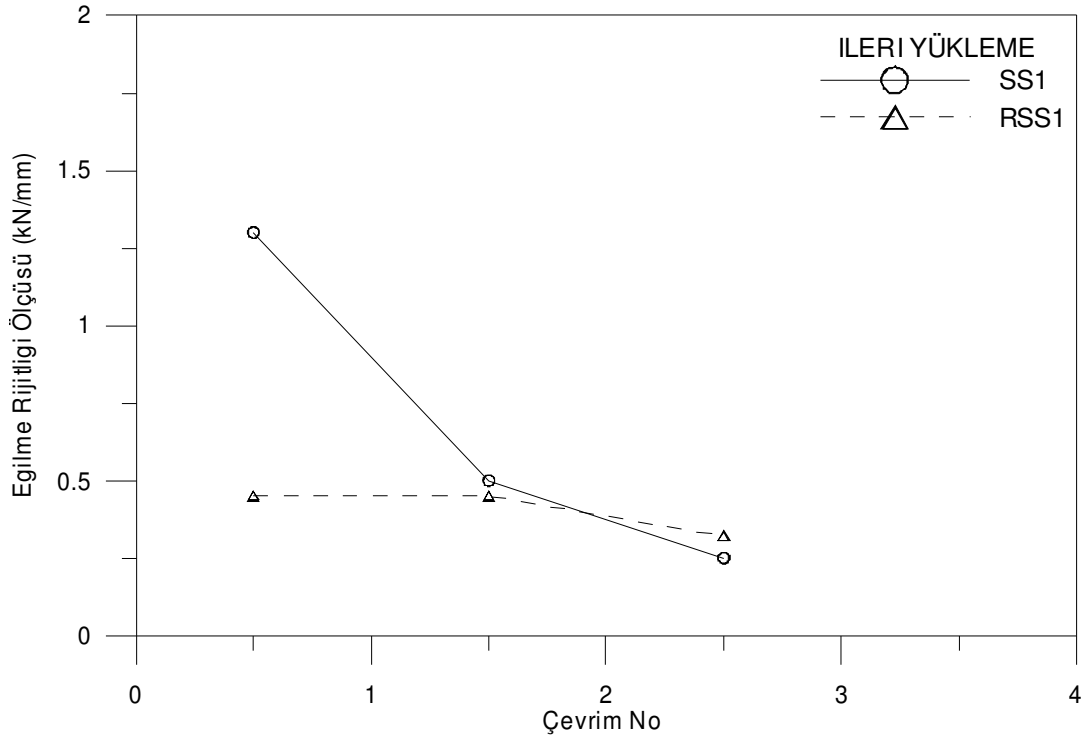
SS1 elemanında başlangıçta yüksek olan eğilme rijitliği oluşan çatlaklardan sonra ani bir değişim göstermiştir. Onarılmış eleman olan RSS1 elemanı ise oldukça düşük bir rijitlik göstermiştir. Diğer ileri çevrimlerde deplasman değerleri büyüdükçe rijitlik değerleri yaklaşmıştır. Geri çevrimlerden ilkinde de RSS1 elemanı düşük bir rijitlik göstermiştir. İkinci ve üçüncü çevrimlerde rijitlikler yakın değerlere ulaşmıştır.

RSS2 elemanında da ileri yüklemelerde yine hasarsız halinin çok altında bir rijitlik gözlenmiştir. Diğer çevrimlerde deplasman değerleri arttığında rijitlikler hasarsız haldekine yakın seviyededir. Geri yüklemelerde iki eleman arası oldukça yakın rijitlikler elde edilmiştir.

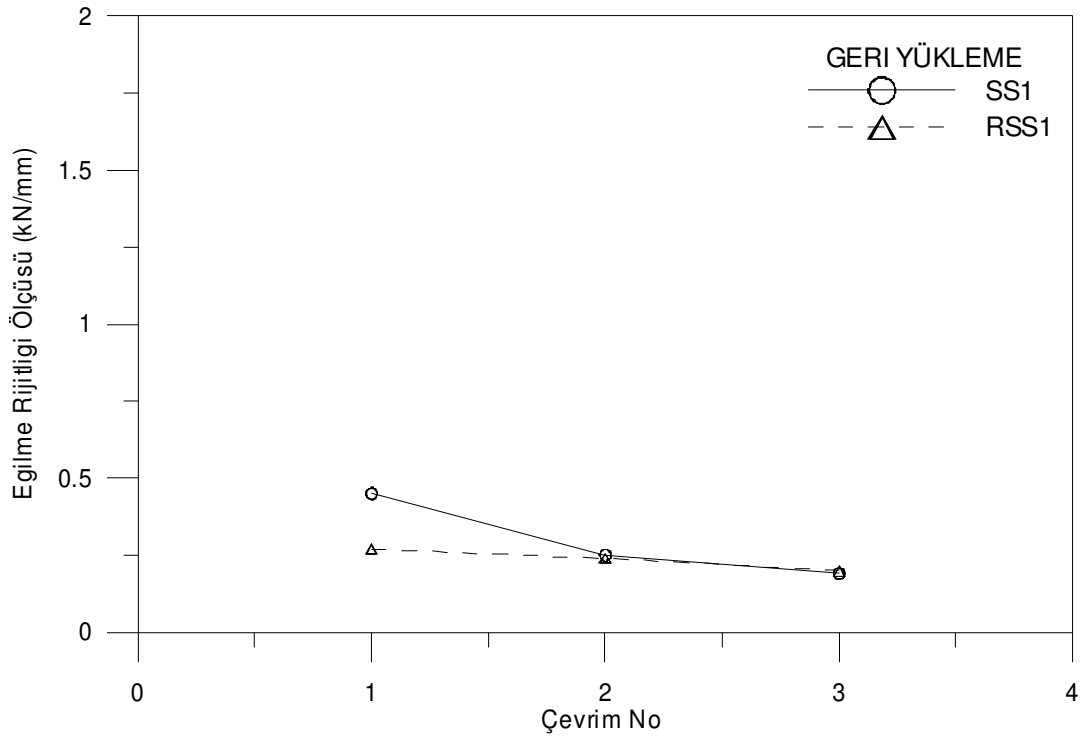
RSS3 elemanında ilk ileri yüklemelerde hasarsız elemana göre çok düşük bir rijitlik gözlenirse de sonraki üç çevrimde hemen hemen aynı rijitlik gözlenmiştir. Geri yüklemelerde de ilk çevrimde hasarsız rijitliğin altında kalınsa da sonraki üç çevrimde yine çok yakın rijitliğe ulaşılmıştır.

Az donatıya sahip olan bu tip kirişlerde gözlenen ortak davranışlardan biri hasarsız kirişte ilk çatlağın ardından rijitlikteki keskin değişimdir. Ana donatının az olması nedeniyle taşıma gücü momentinin düşük oluşu, çatlama momentine ulaşıldıktan sonra rijitliği aniden düşürmüştür. Bir diğer ortak özellik ise ilk çevrimde başta ileri olmak üzere her iki yönde de hasarsız

rijitliğin altında kalınmasıdır. Bunun nedeni ise elemanda onarılamayan kılcal çatlaklar oluşudur. Diğer çevrimlerde artık her iki elemanda da benzer çatlaklar olduğu için rijitlikler yakın değerlerde seyretmektedir.



(a)

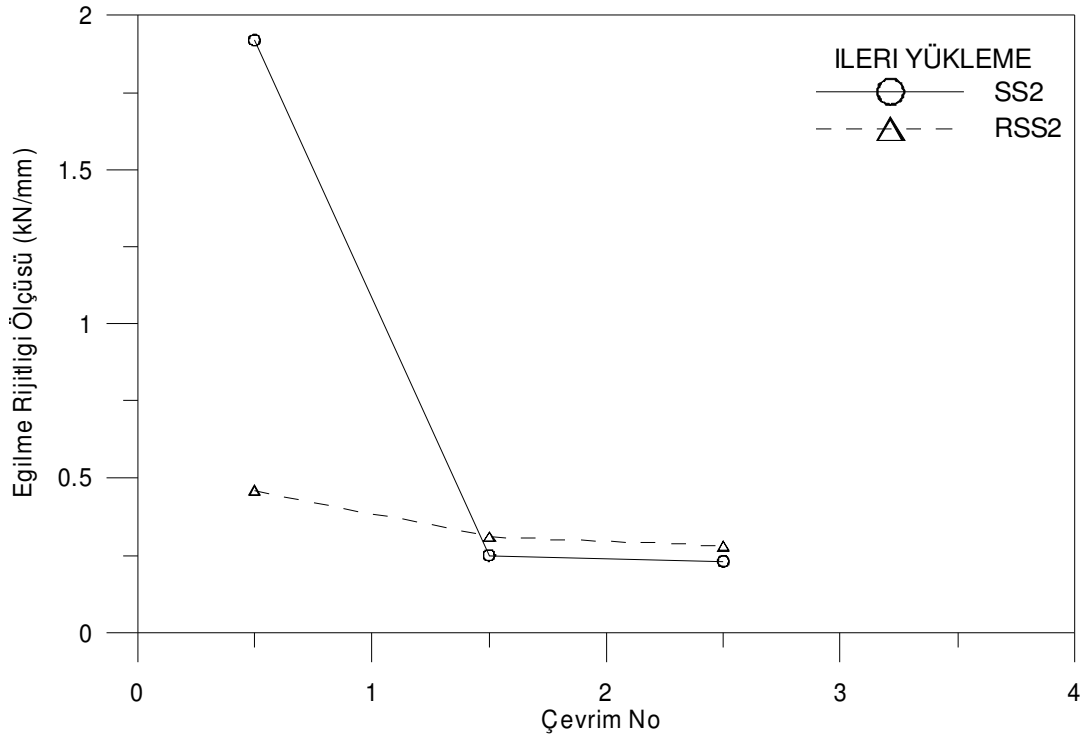


(b)

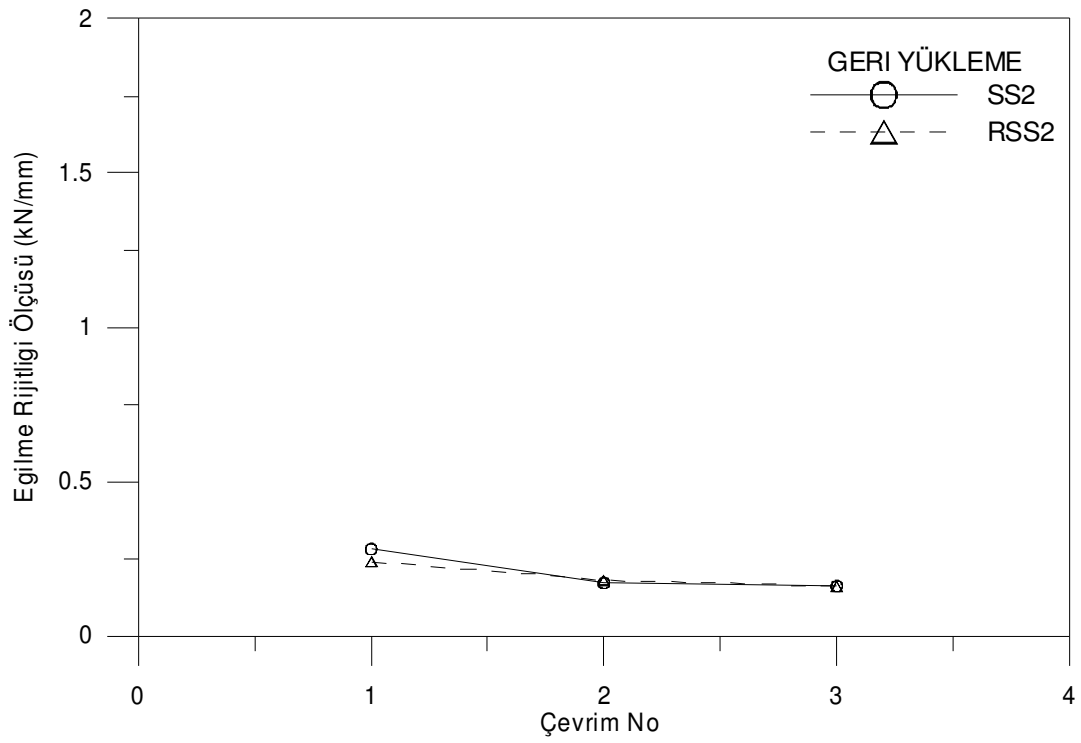
Şekil 6.9. SS1 ve RSS1 rijitlik değişimi

a) Güçlü yöndeki rijitlik değişimi

b) Zayıf yöndeki rijitlik değişimi



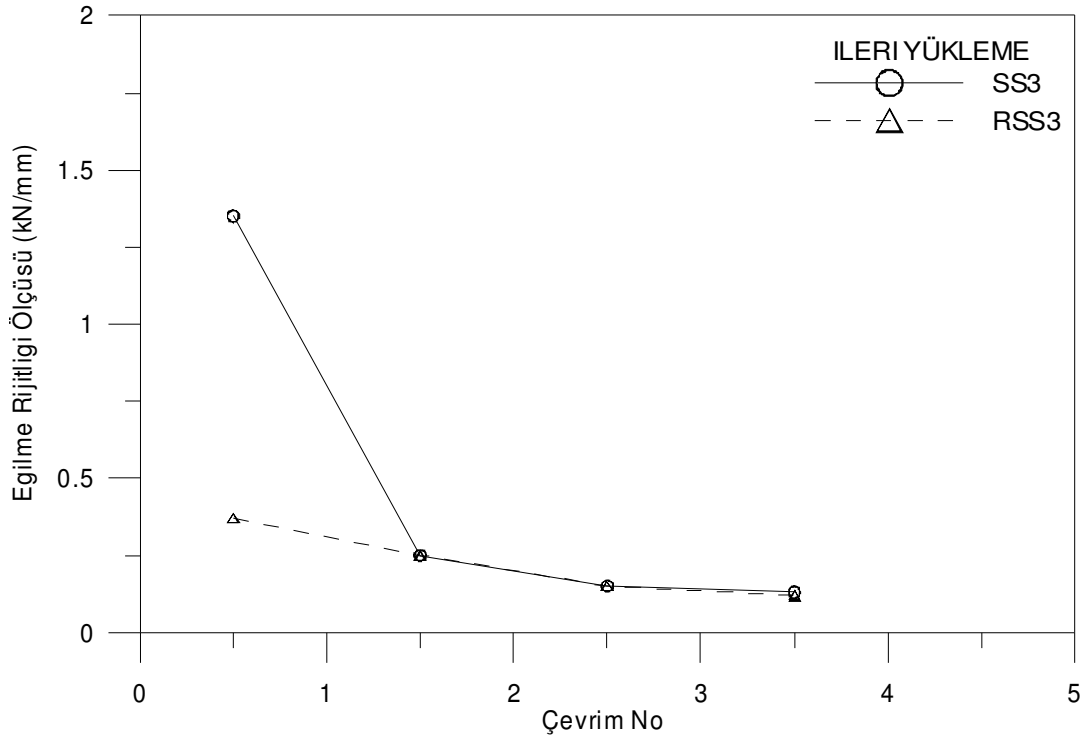
(a)



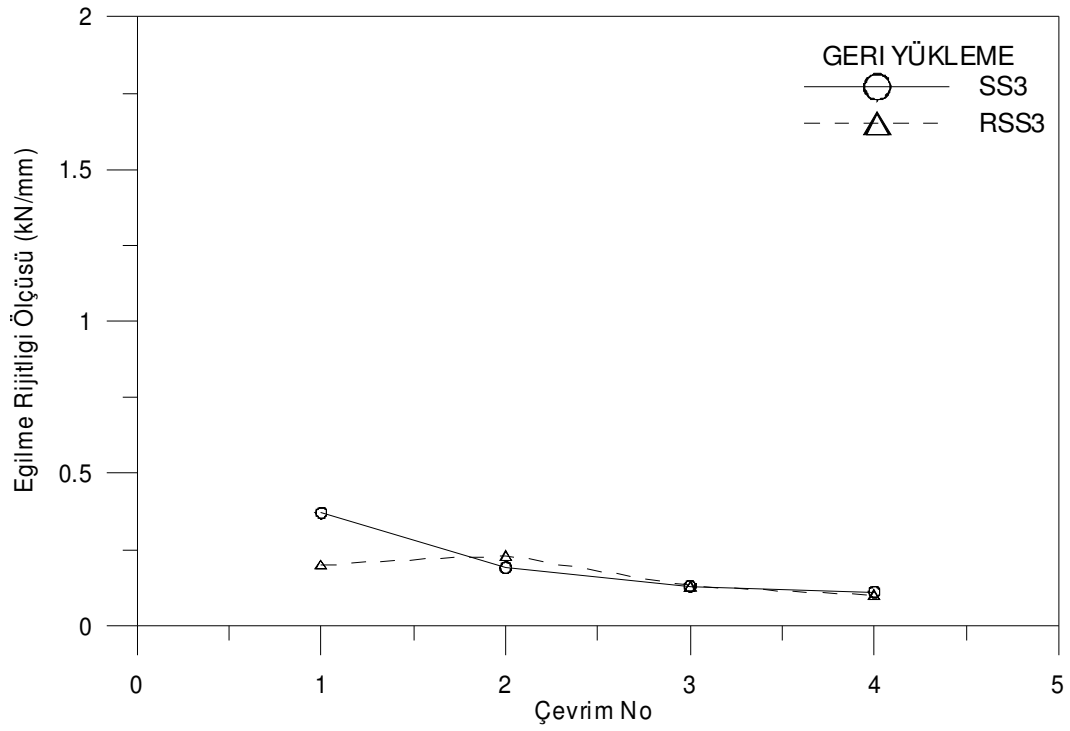
(b)

Şekil 6.10. SS2 ve RSS2 rijitlik değişimi

a) Güçlü yöndeki rijitlik değişimi b) Zayıf yöndeki rijitlik değişimi



(a)



(b)

Şekil 6.11. SS3 ve RSS3 rijitlik değişimi

a) Güçlü yöndeki rijitlik değişimi b) Zayıf yöndeki rijitlik değişimi

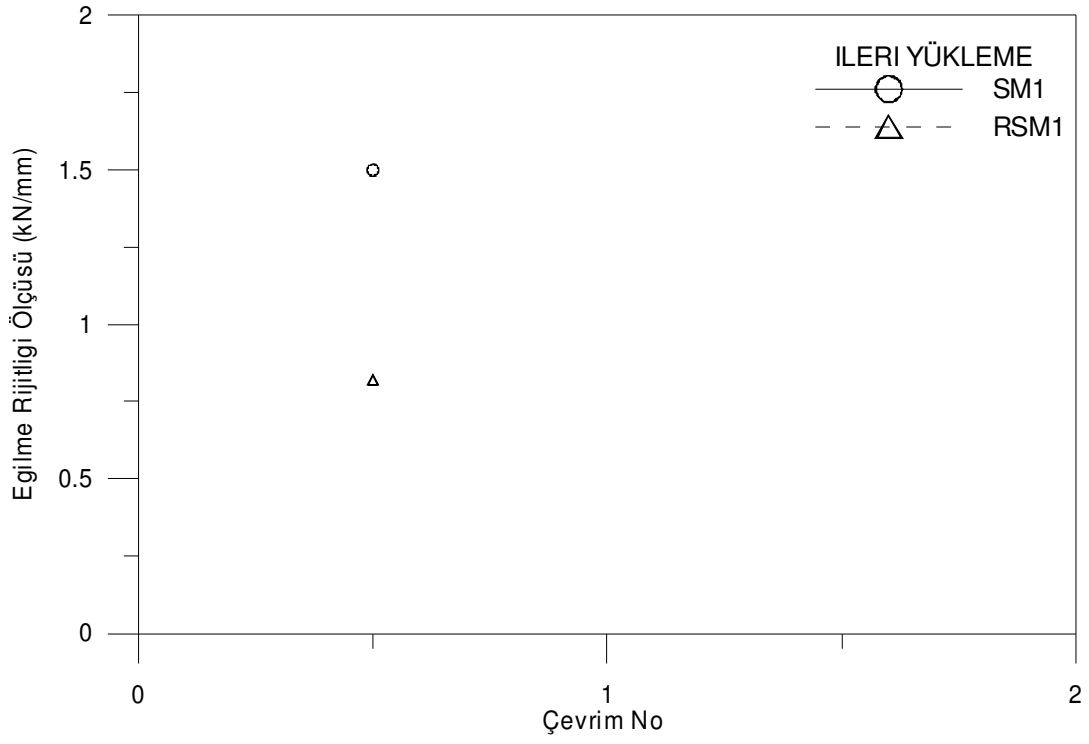
6.2.2. 2. Tip kirişler

Orta yoğunlukta ana donatıya sahip olan bu tip kirişlerden en az hasara uğratılan SM1 de ilk çatlaklardan dolayı rijitlikte oluşan değişim oldukça belirgindir. RSM1 elemanı ileri yüklemde çatlama elemanın rijitliğine yakın bir rijitlik göstermiştir. Geri yüklemde de benzer şekilde çatladıktan sonraki rijitliğe yakın değerler görülmüştür.

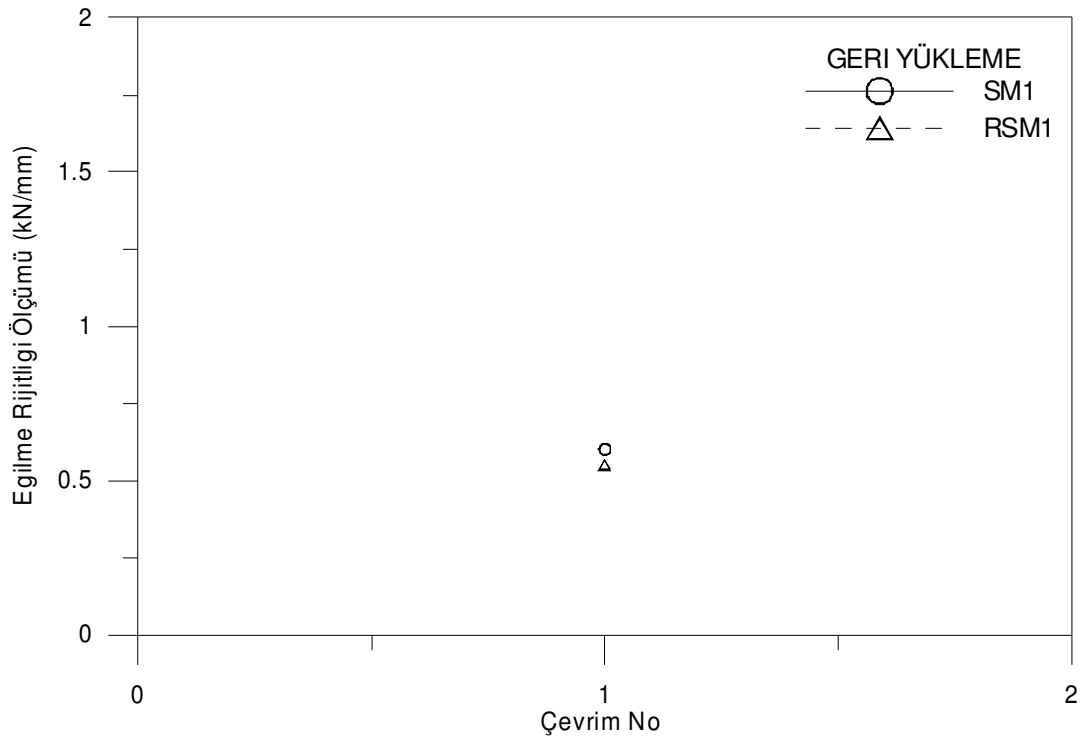
Orta hasar verilecek eleman olan SM2 de de ileri ve geri yönde çatlama anındaki rijitlik değişimi açıktır. RSM2 elemanında ileri yönde hasarsız rijitliğin altında kalırsa da geri yönde oldukça yakın değerlere ulaşılmıştır. İkinci çevrimde hemen hemen aynı rijitlikler ölçülmüştür.

Ağır hasar verilecek olan SM3 elemanın rijitliği başlangıçta bir miktar artış göstermiştir. Bunun nedeninin donatıdaki boşluğun alınmış olması düşünülmektedir. Diğer ileri çevrimlerde aynı rijitlik değerleri ölçülmüştür. Geri çevrimlerde ise hasarsız elemanın bir miktar altında rijitlik gözlenmiştir.

Genel olarak bakıldığında ilk çevrimlerde yine hasarsız elemanın rijitliğine ulaşamamış ancak deplasman arttığında benzer rijitlikler elde edilmiştir. Onarılmış elemanların rijitliklerinde gözlenen azalma eğiliminin nedeni epoksinin kabarması ve elemandan ayrılmasına bağlanmaktadır. Yeni oluşan kılcal çatlaklar da rijitliğin düşmesine neden olmaktadır.



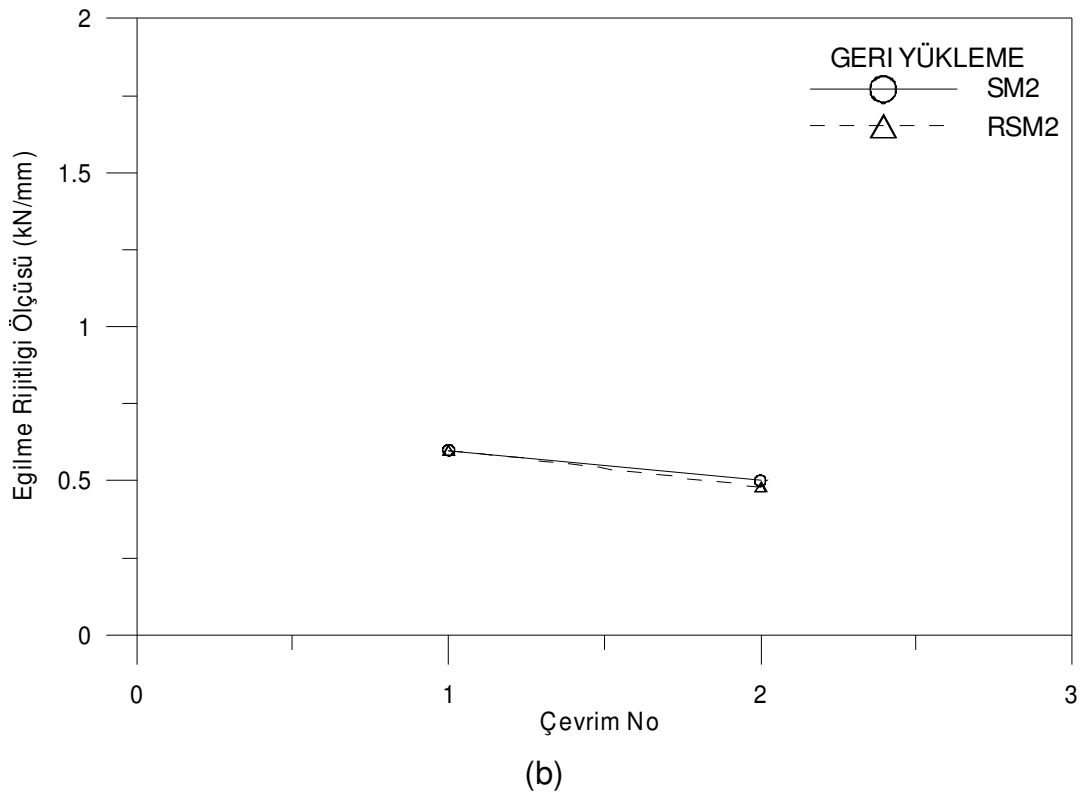
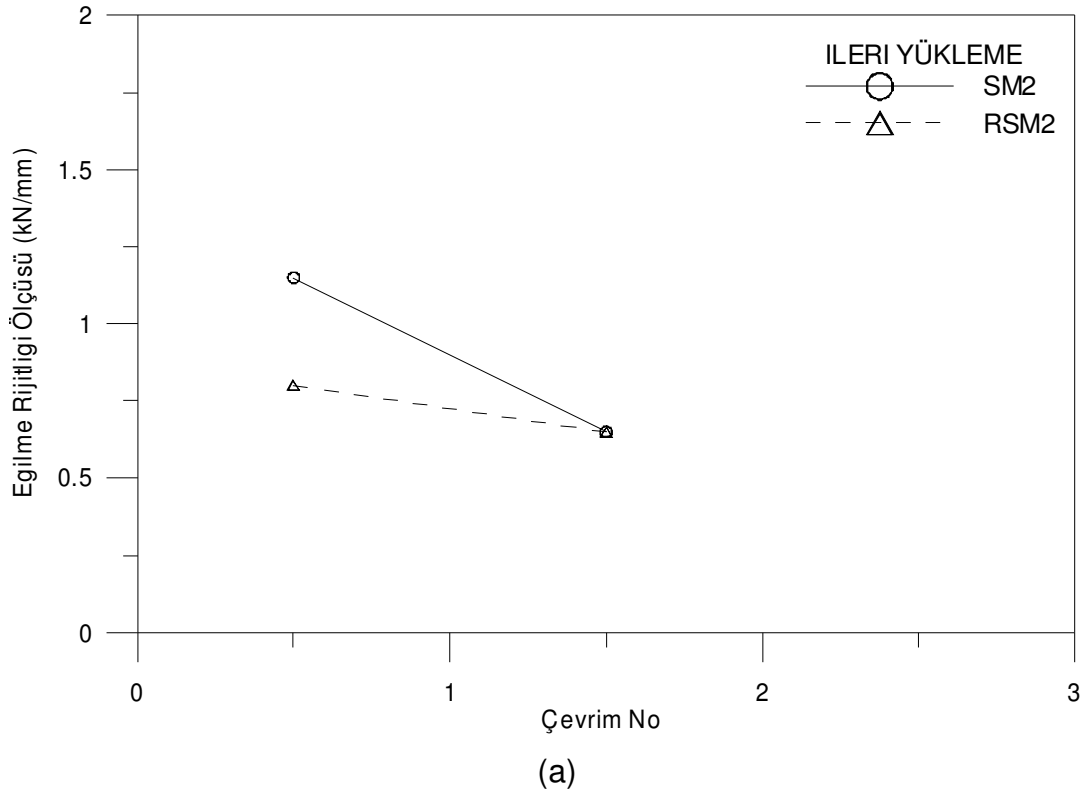
(a)



(b)

Şekil 6.12. SM1 ve RSM1 rijitlik değişimi

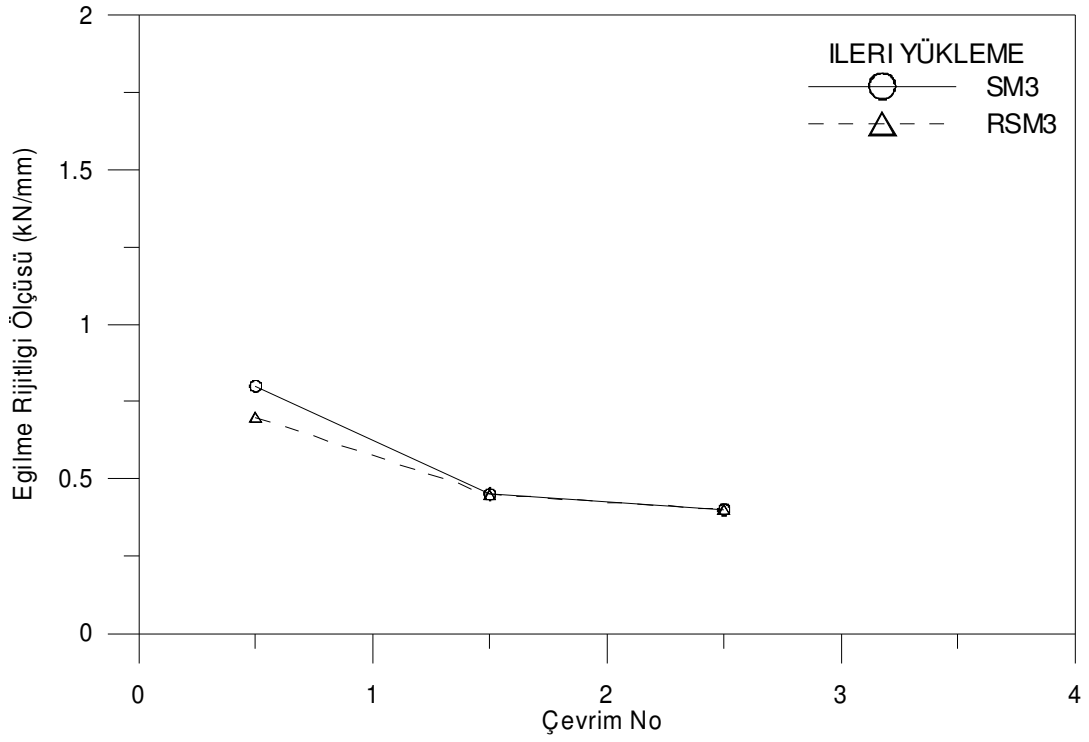
a) Güçlü yöndeki rijitlik değişimi b) Zayıf yöndeki rijitlik değişimi



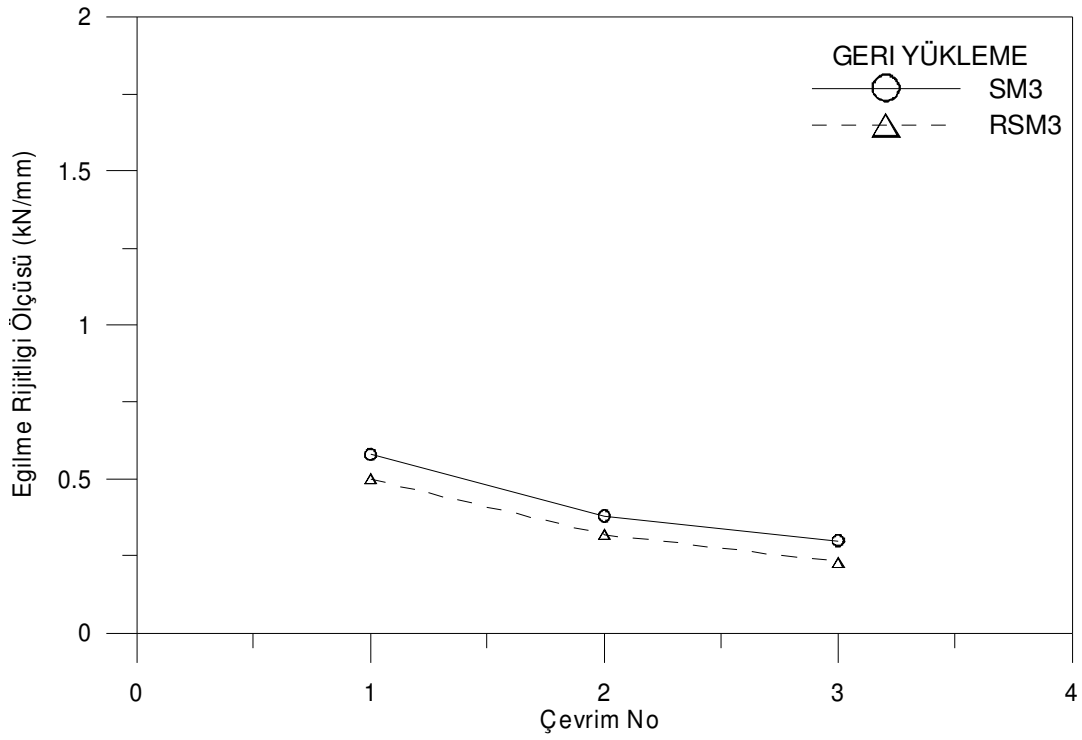
Şekil 6.13. SM2 ve RSM2 rijitlik değişimi

a) Güçlü yöndeki rijitlik değişimi

b) Zayıf yöndeki rijitlik değişimi



(a)



(b)

Şekil 6.14. SM3 ve RSM3 rijitlik değişimi

a) Güçlü yöndeki rijitlik değişimi b) Zayıf yöndeki rijitlik değişimi

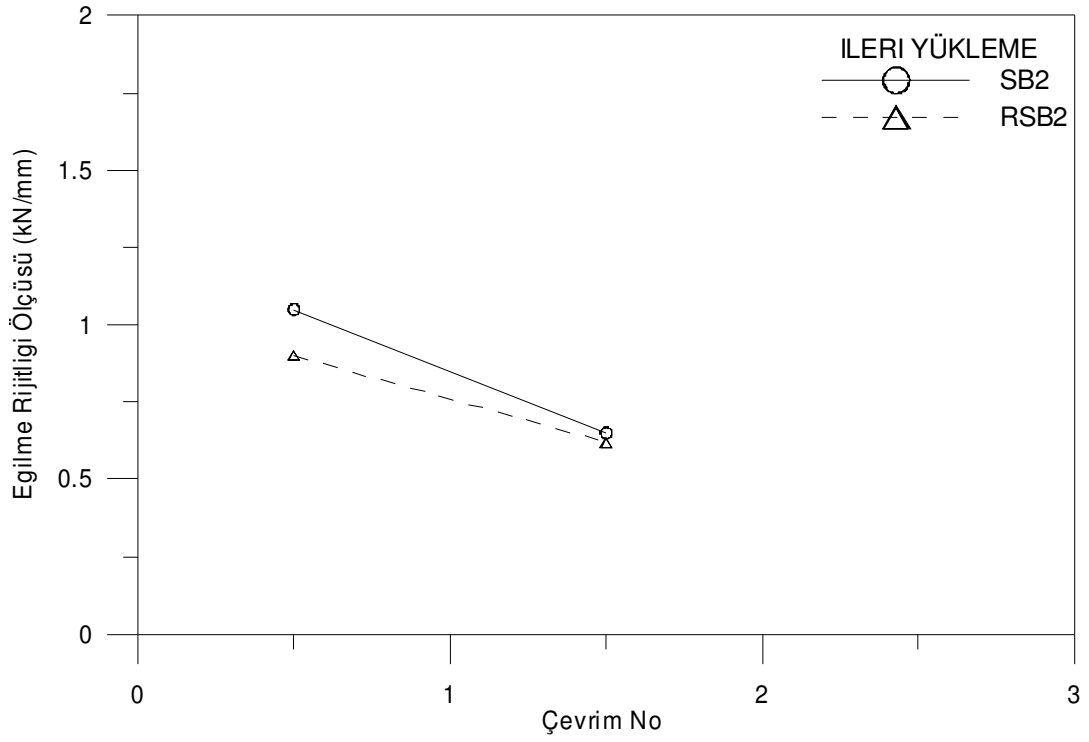
6.2.3. 3. Tip kirişler

En yoğun donatıya sahip olan bu tip kirişlerden en az hasara uğramış SB1 elemanın onarılamaması nedeniyle rijitliğinden bahsedilmemiştir.

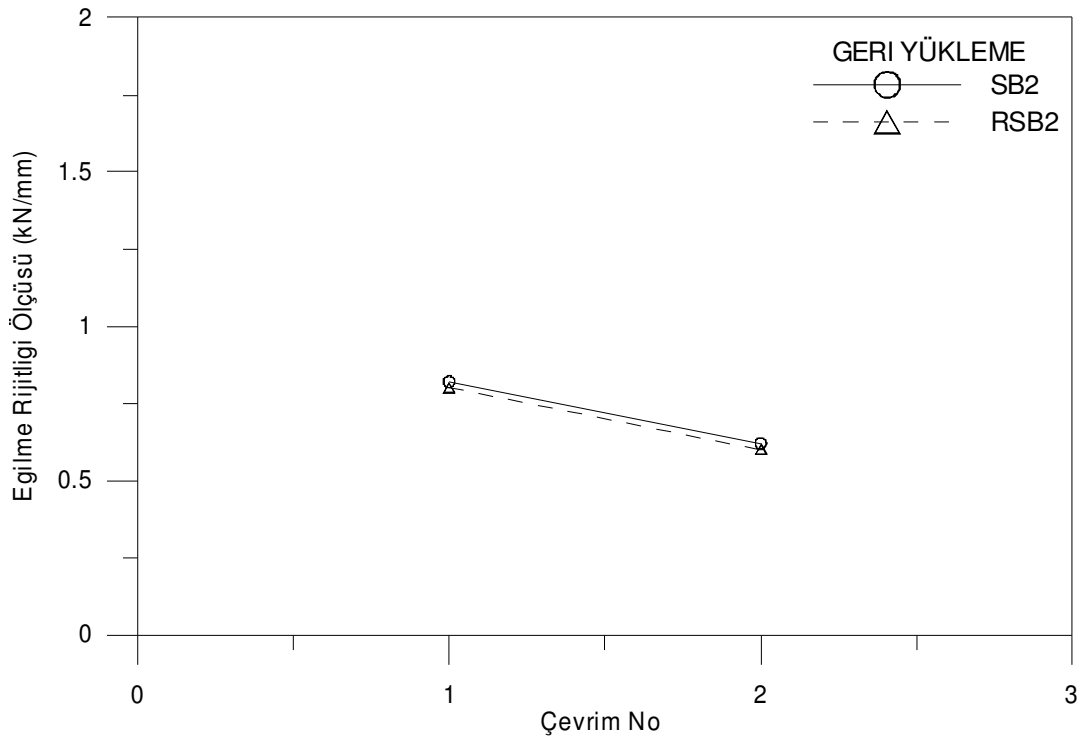
Orta hasarlı SB2 elemanında ise yine ileri ve geri yönde hasarsız rijitliğin altında kalınmıştır. RSB2 elemanında çok büyük bir tamirat olmadığından eğride ovalleşme gözlenmemiştir.

Ağır hasar verilecek olan SB3 elemanında yüksek rijitlik değerleri elde edilmiştir. Onarılan elemanda ise özellikle ilk çevrimde bu değer çok altında kalınmıştır. Rijitlik hızla azalan bir eğilim göstermiştir. Diğer çevrimlerde iki eleman da yakın rijitlikler göstermiştir.

Bu tip kirişlerde orta hasarlı elemanda yakın rijitlik değerlerine ulaşılmış gibi gözükse de ağır hasarlı kirişin ileri yüklemedeki rijitliği onarımdan sonra neredeyse yüzde elli azalmıştır.



(a)

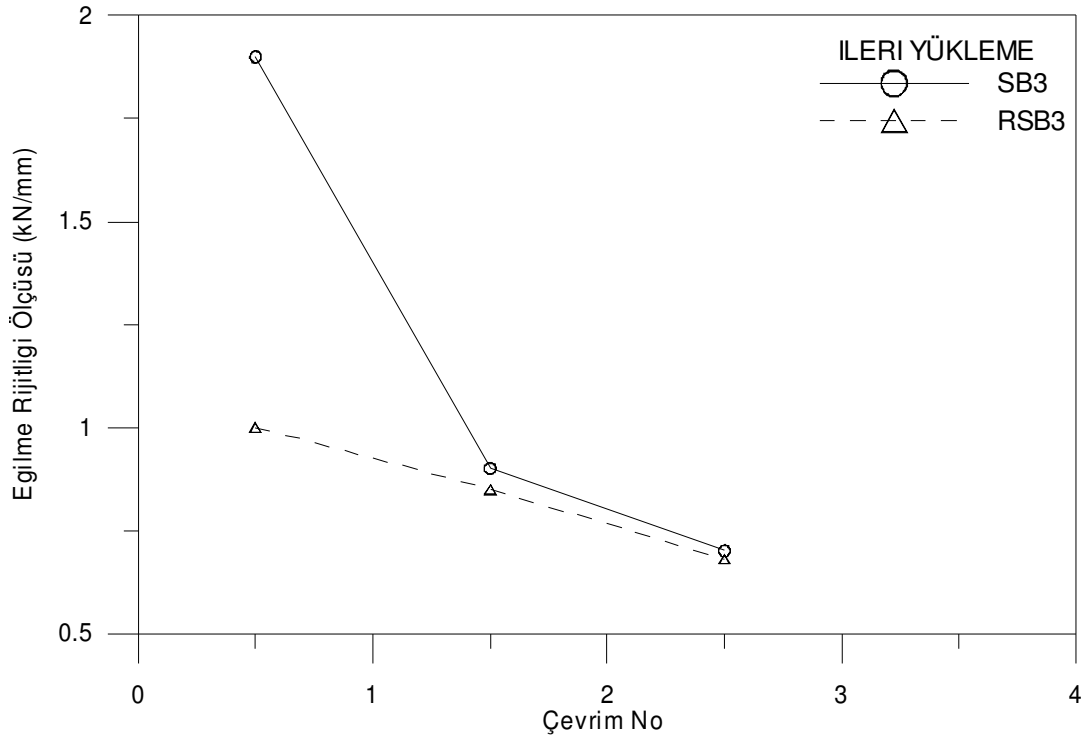


(b)

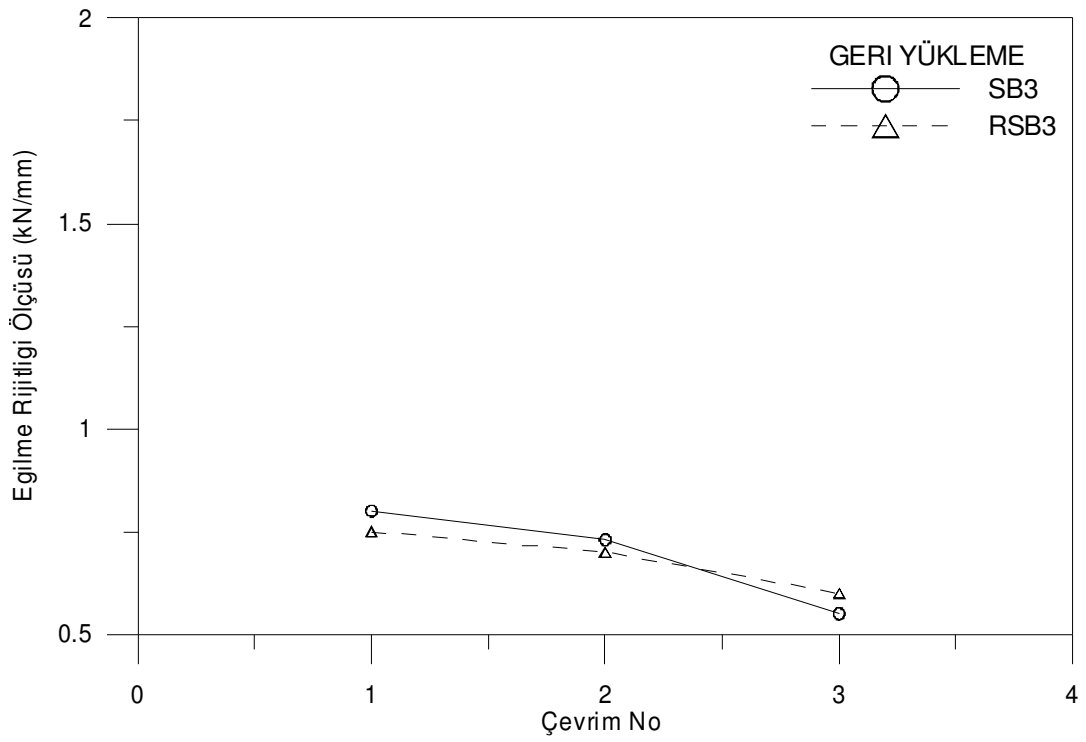
Şekil 6.15. SB2 ve RSB2 rijitlik değişimi

a) Güçlü yöndeki rijitlik değişimi

b) Zayıf yöndeki rijitlik değişimi



(a)



(b)

Şekil 6.16. SB3 ve RSB3 rijitlik değişimi

a) Güçlü yöndeki rijitlik değişimi b) Zayıf yöndeki rijitlik değişimi

Çizelge 6.1. Deney elemanlarının ileri ve geri yükleme eğilme rijitlikleri oranları

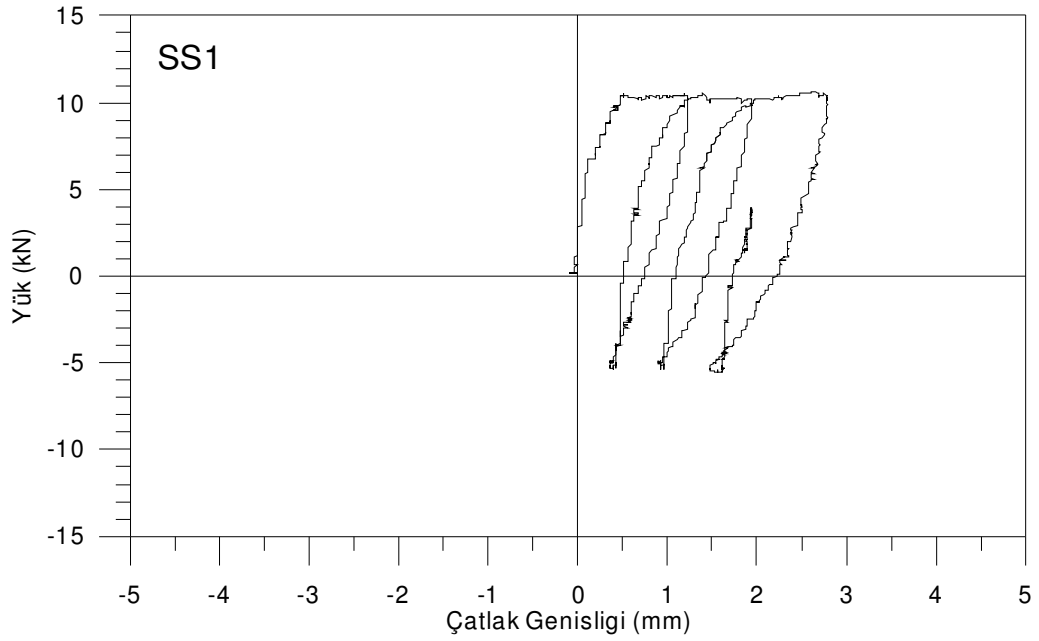
Deney Elemanı	İleri Yükleme				Geri Yükleme			
	1. Çevrim	2. Çevrim	3. Çevrim	4. Çevrim	1. Çevrim	2. Çevrim	3. Çevrim	4. Çevrim
RSS1/ SS1	0.35	0.9	1.28		0.6	0.96	1.05	
RSS2/ SS2	0.24	1.24	1.22		0.86	1.06	1	
RSS3/ SS3	0.27	1	1	0.92	0.54	1.21	1	1.1
RSM1/ SM1	0.55				0.92			
RSM2/ SM2	0.7	1			1	0.96		
RSM3/ SM3	0.88	1	1		0.86	0.84	0.77	
RSB2/ SB2	0.86	0.95			0.98	0.97		
RSB3/ SB3	0.53	0.94	0.97		0.94	0.96	1.09	

6.3. Deney Elemanlarında Gözlenen Çatlak Genişliği

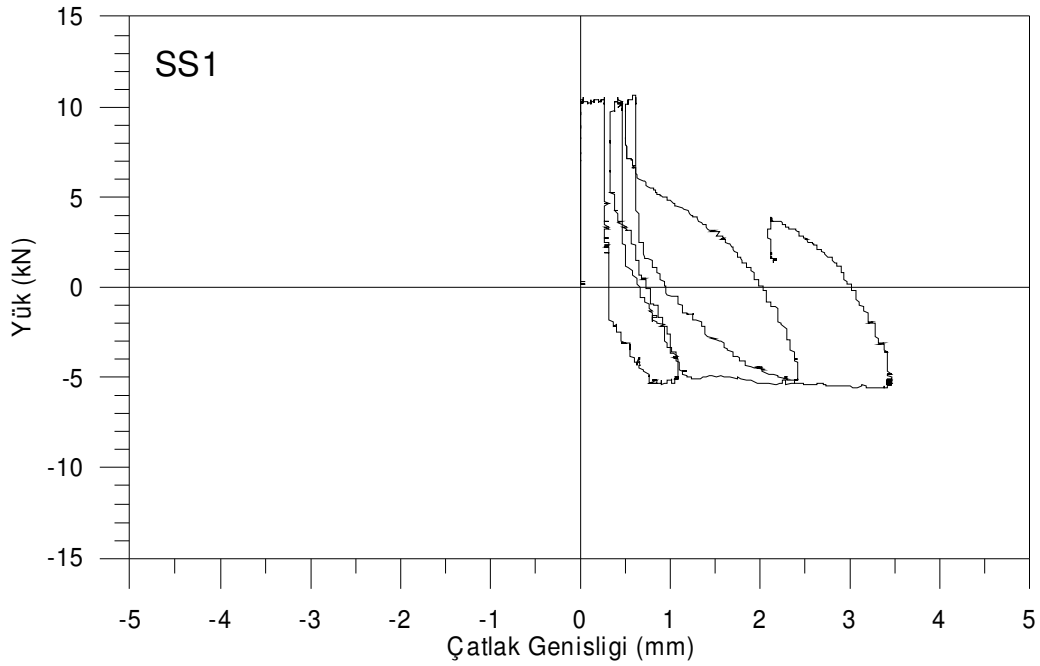
Deney elemanlarında beklendiği gibi tüm elemanlarda en az çatlak üçüncü bölgede oluşmuştur. Çatlakların büyük bölümü birinci bölgede oluşmuştur. Ancak bazı elemanlarda ikinci bölgedeki çatlak genişliği birinci bölgedekine yakın değerlere ulaşmıştır. Fakat bazı deneylerde, ölçüm bölgesine mesnetlendirilen LVDT'ler, deney anında eleman hasar görünce stabilitesini yitirmiş ve gerçekte olmayan deformasyonlar göstermişlerdir. Bu yüzden de grafiklerde aniden sıçramalar görülmüştür. Bunlar gerçek dışı ölçüm olduğu için grafik üzerinde gösterilmemiştir.

Onarılan elemanlarda da yine en az hasar üçüncü bölgede gözlemlenmiştir. Büyük hasarlar konsol dibine daha yakın bölgede oluşmuştur. Ancak yük-çatlak genişliği eğrilerinden de görüleceği üzere negatif ölçümler bulunmaktadır. Buna basınç bölgesinde epoksinin ezilmesinin neden olduğu düşünülmektedir.

Deney elemanlarının yük-toplam çatlak genişliği grafikleri Şekil 6.17-6.24'de verilmiştir. Deney elemanlarının bölgelerine ayrı ayrı çatlak grafikleri ise Ek-2 de verilmiştir. Bu elemanlara ait toplam eğilme çatlağı genişlikleri ise Çizelge 6.2'de özetlenmiştir.

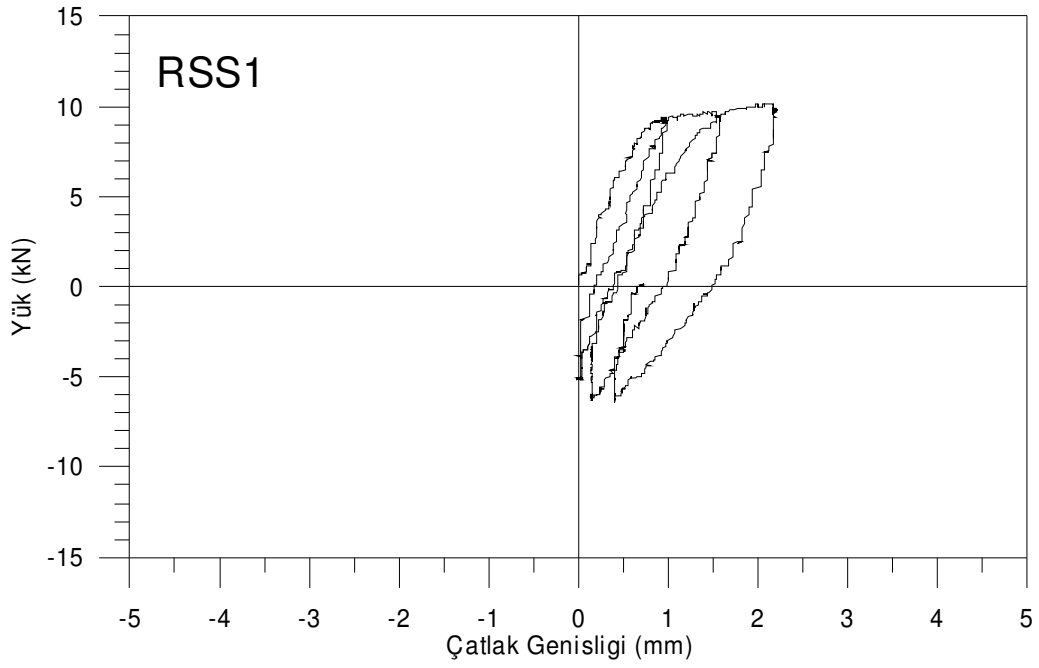


(a)

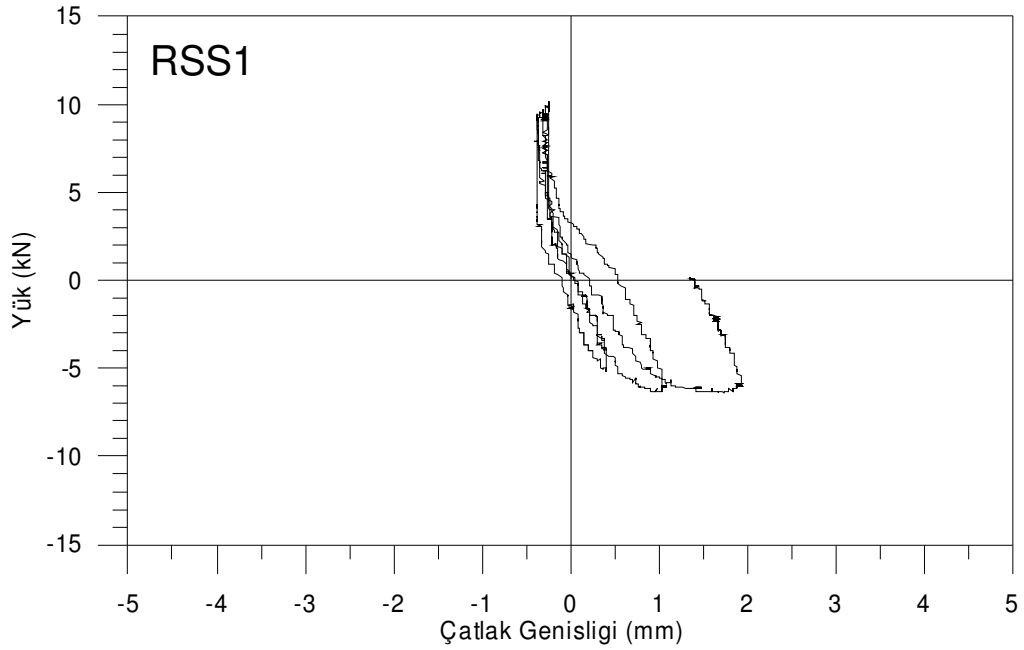


(b)

Şekil 6.17. SS1 ve RSS1 elemanlarına ait yük-toplam çatlak genişliği grafikleri
 a) SS1 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
 b) SS1 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
 c) RSS1 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
 d) RSS1 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği



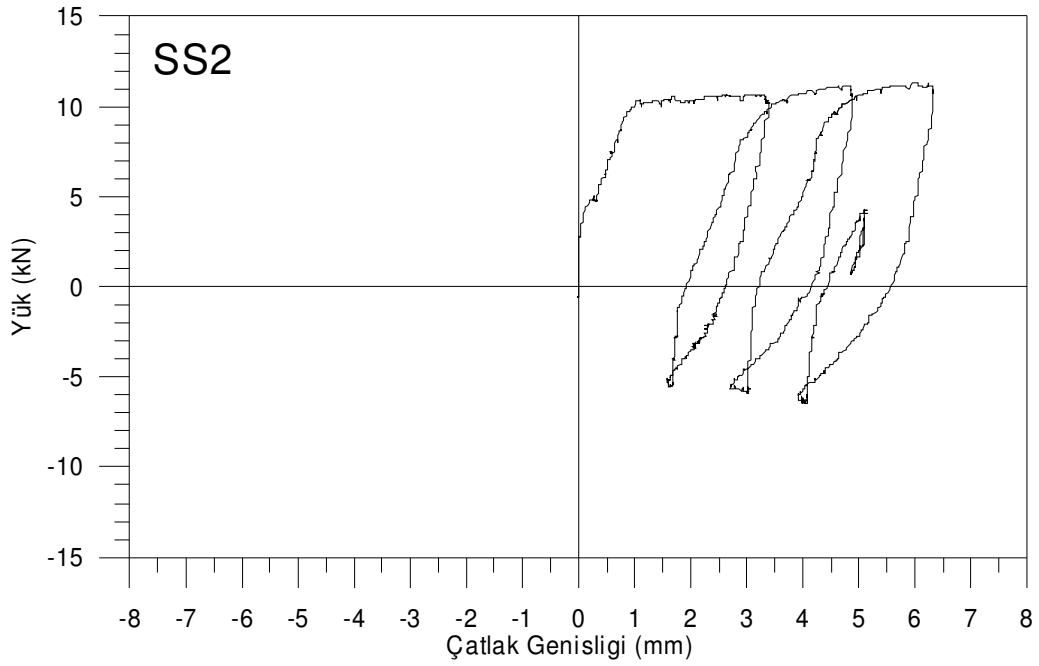
(c)



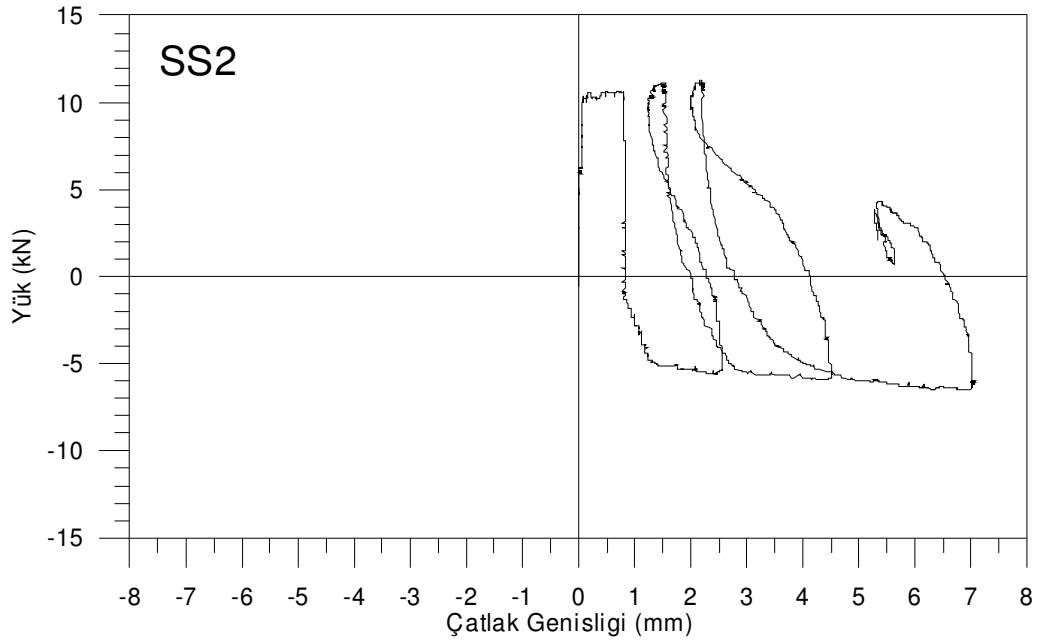
(d)

Şekil 6.17. (Devam) SS1 ve RSS1 elemanlarına ait yük-toplam çatlak genişliği grafikleri

- a) SS1 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
- b) SS1 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
- c) RSS1 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
- d) RSS1 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği

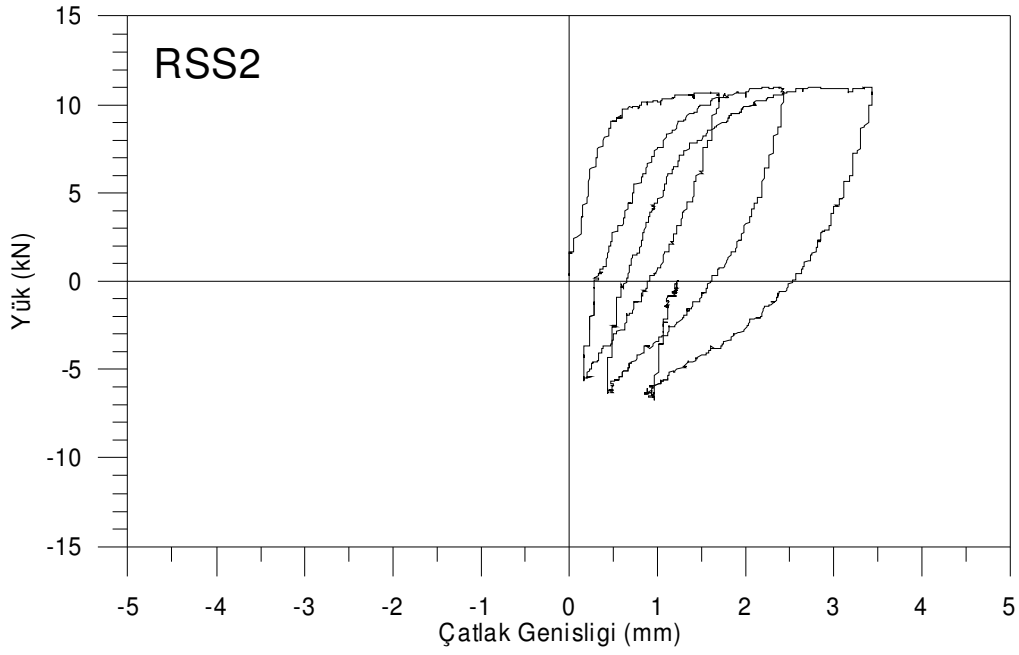


(a)

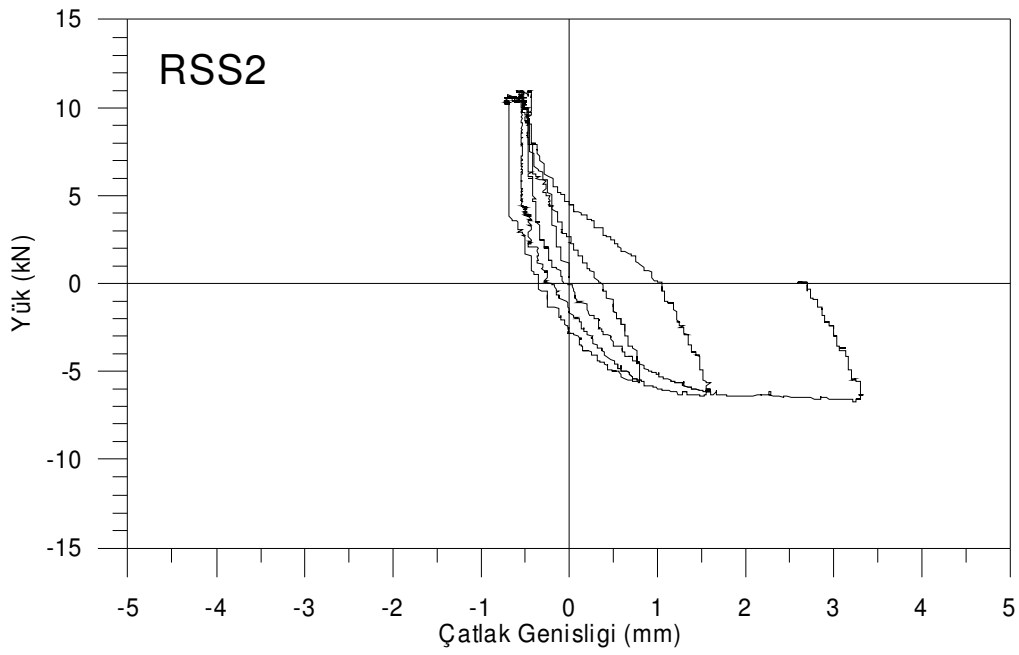


(b)

Şekil 6.18. SS2 ve RSS2 elemanlarına ait yük-toplam çatlak genişliği grafikleri
 a) SS2 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
 b) SS2 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
 c) RSS2 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
 d) RSS2 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği



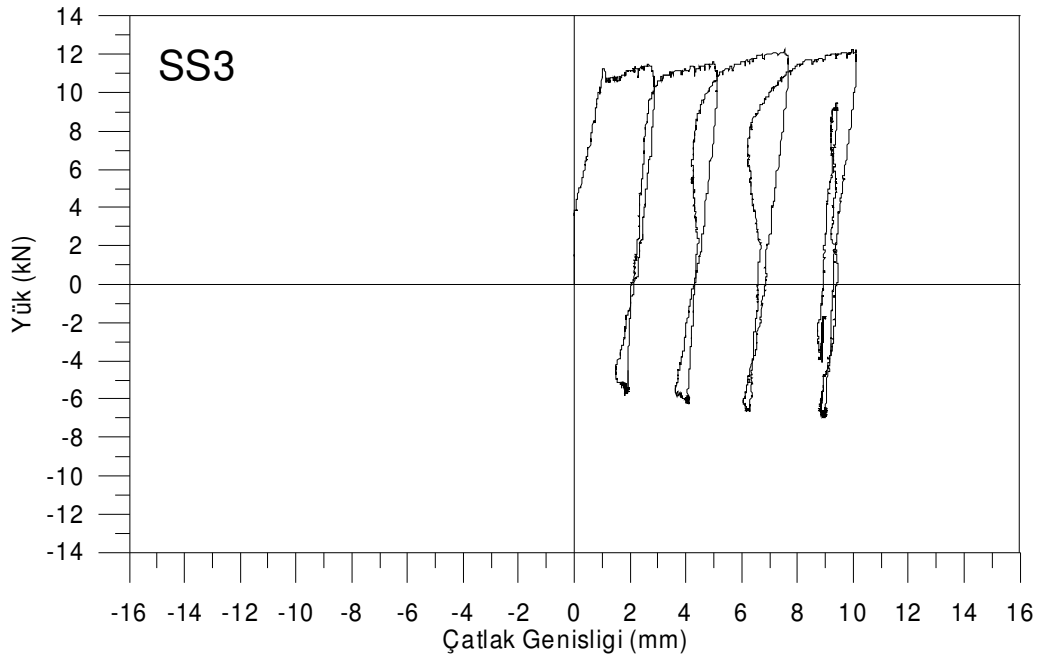
(c)



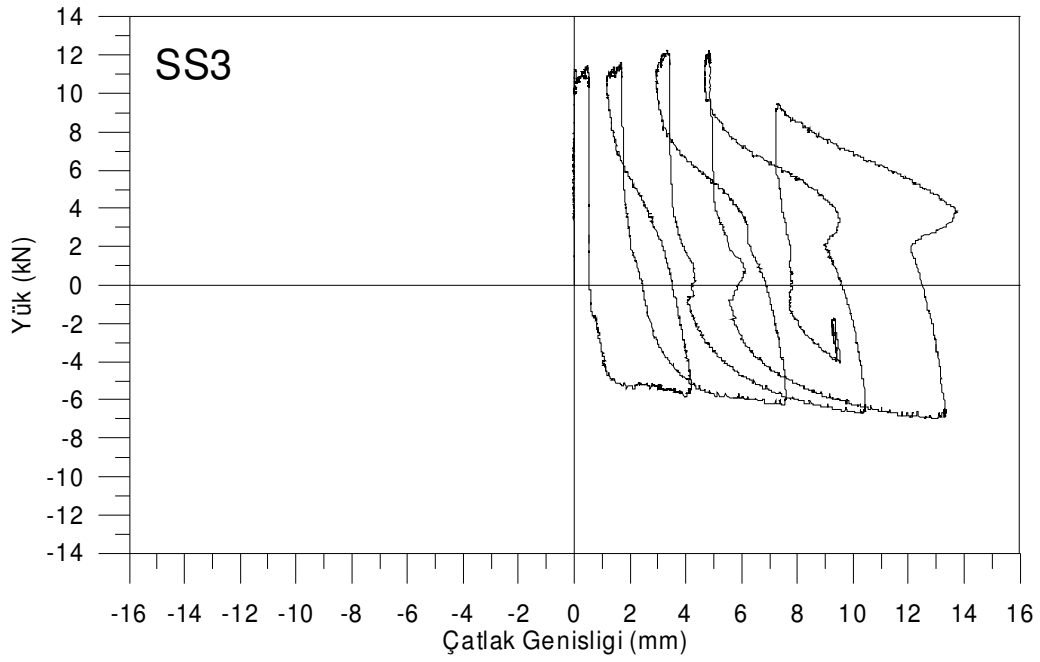
(d)

Şekil 6.18. (Devam) SS2 ve RSS2 elemanlarına ait yük-toplam çatlak genişliği grafikleri

- a) SS2 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
- b) SS2 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
- c) RSS2 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
- d) RSS2 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği

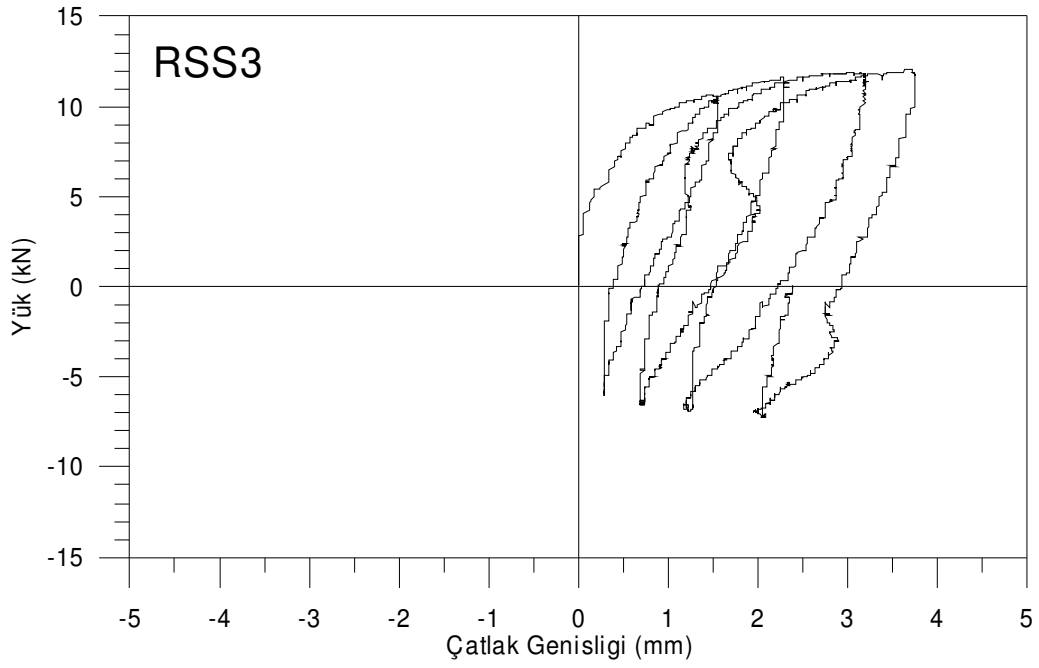


(a)

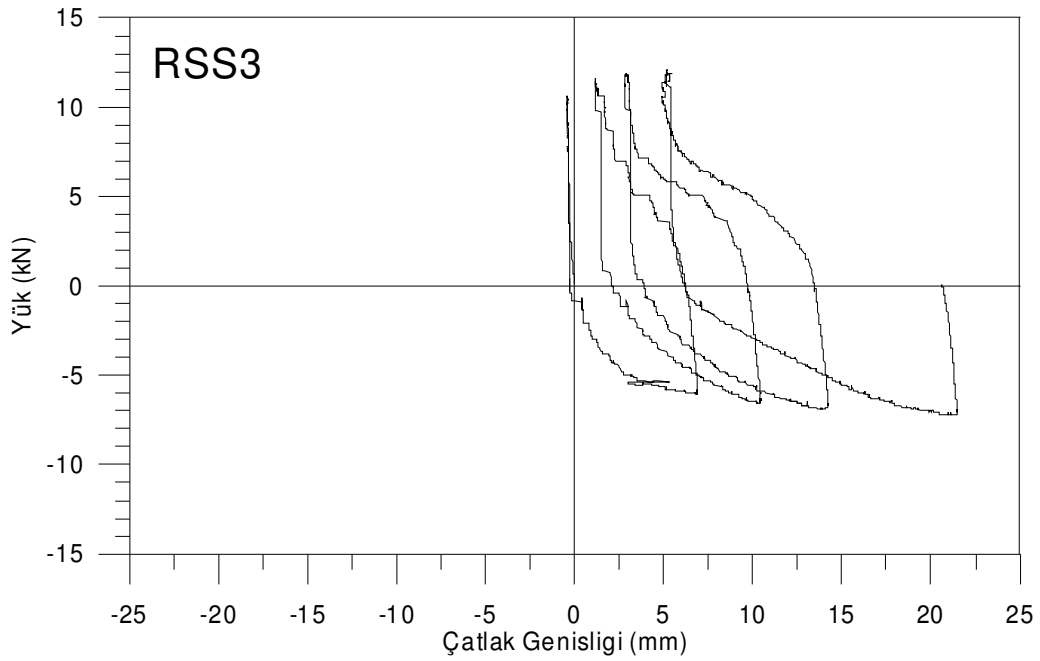


(b)

Şekil 6.19. SS3 ve RSS3 elemanlarına ait yük-toplam çatlak genişliği grafikleri
 a) SS3 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
 b) SS3 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
 c) RSS3 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
 d) RSS3 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği



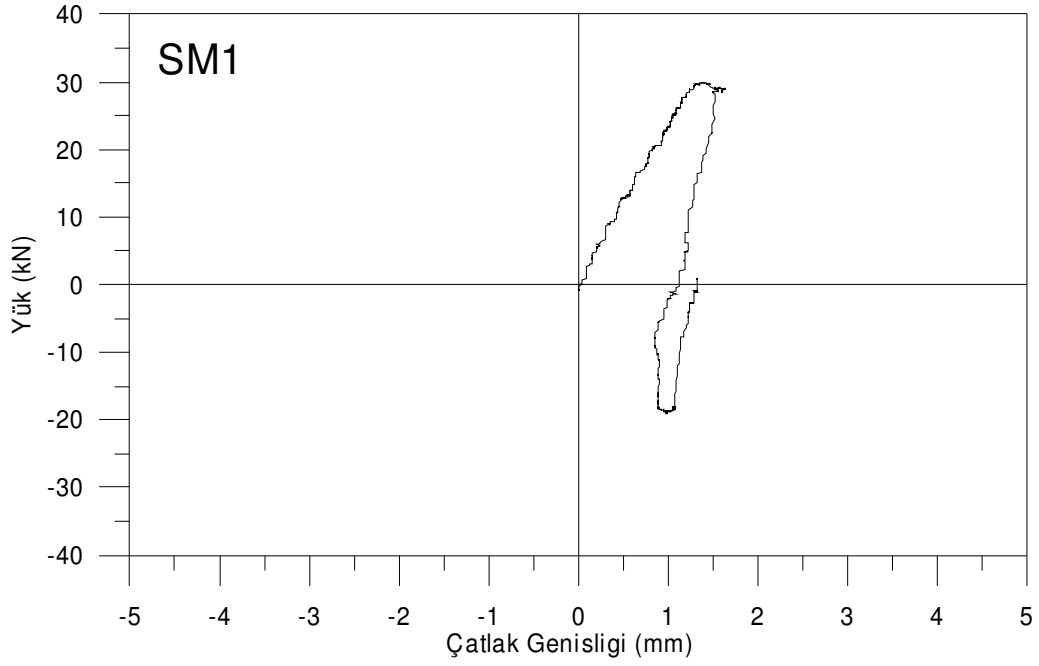
(c)



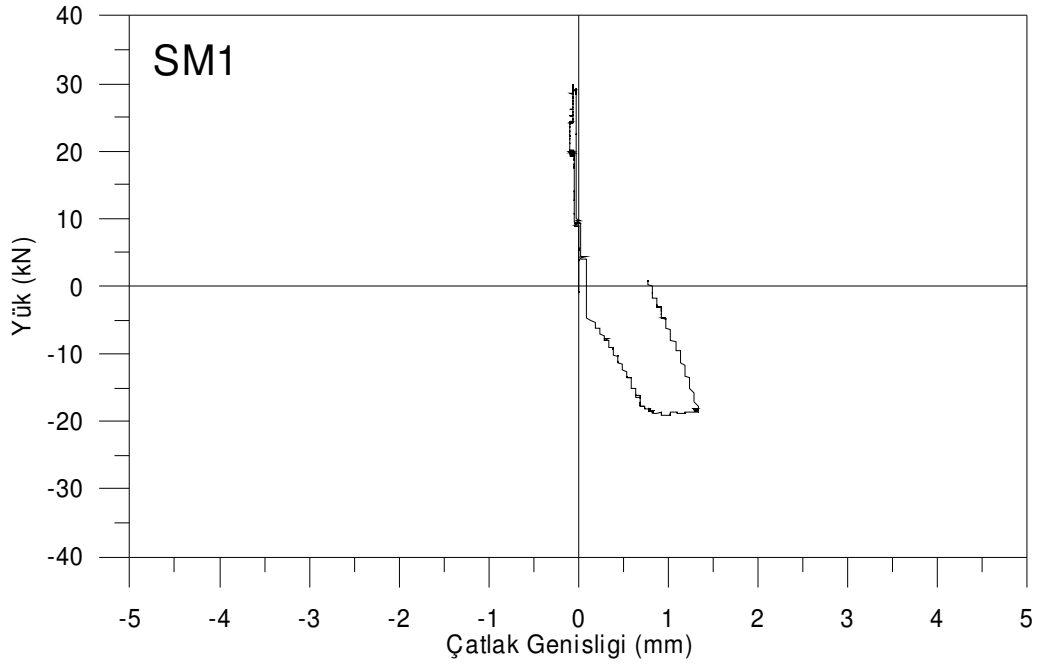
(d)

Şekil 6.19. (Devam) SS3 ve RSS3 elemanlarına ait yük-toplam çatlak genişliği grafikleri

- a) SS3 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
- b) SS3 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
- c) RSS3 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
- d) RSS3 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği

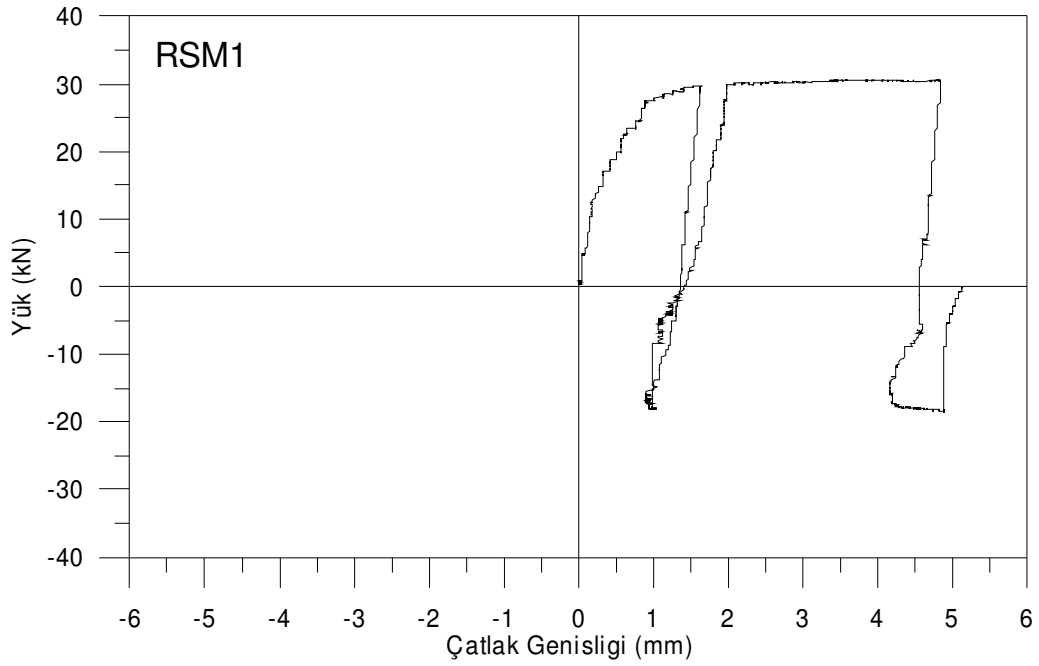


(a)

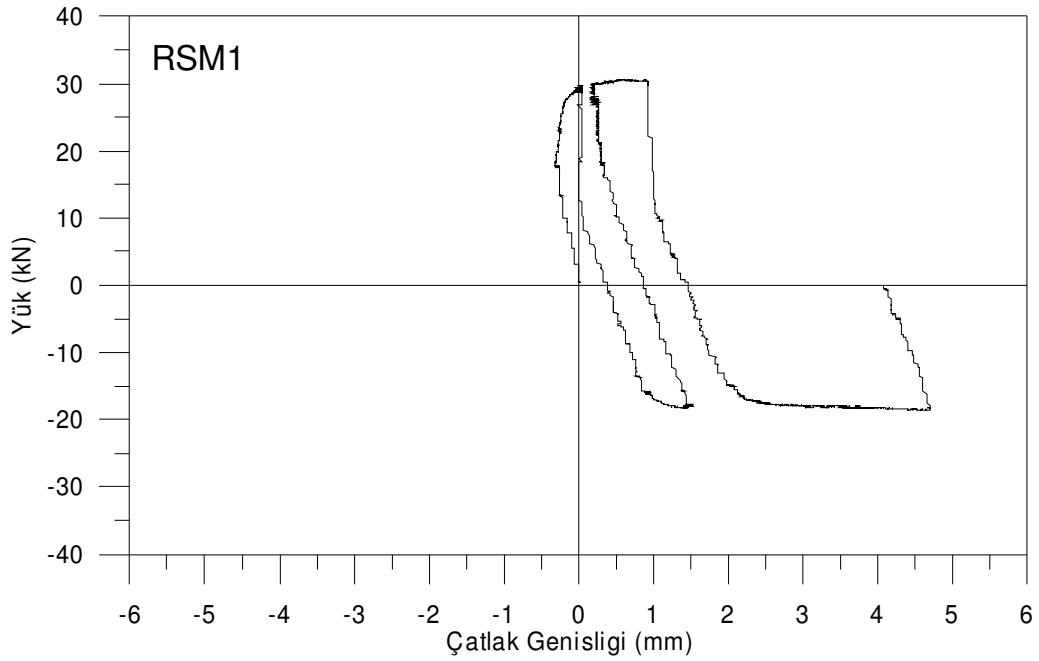


(b)

Şekil 6.20. SM1 ve RSM1 elemanlarına ait yük-toplam çatlak genişliği grafikleri
 a) SM1 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
 b) SM1 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
 c) RSM1 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
 d) RSM1 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği



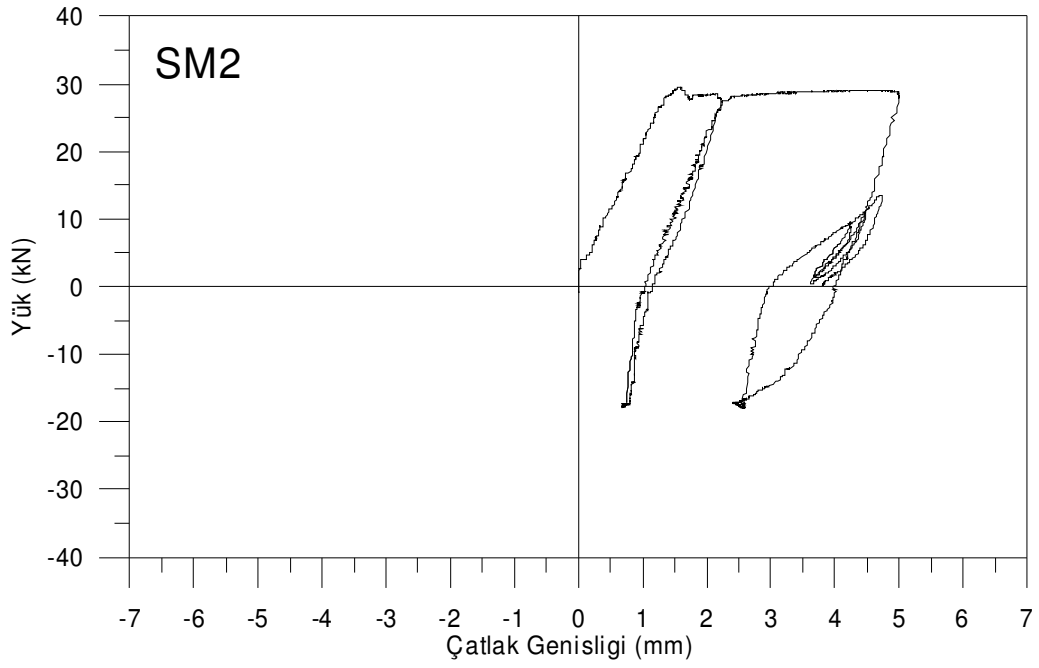
(c)



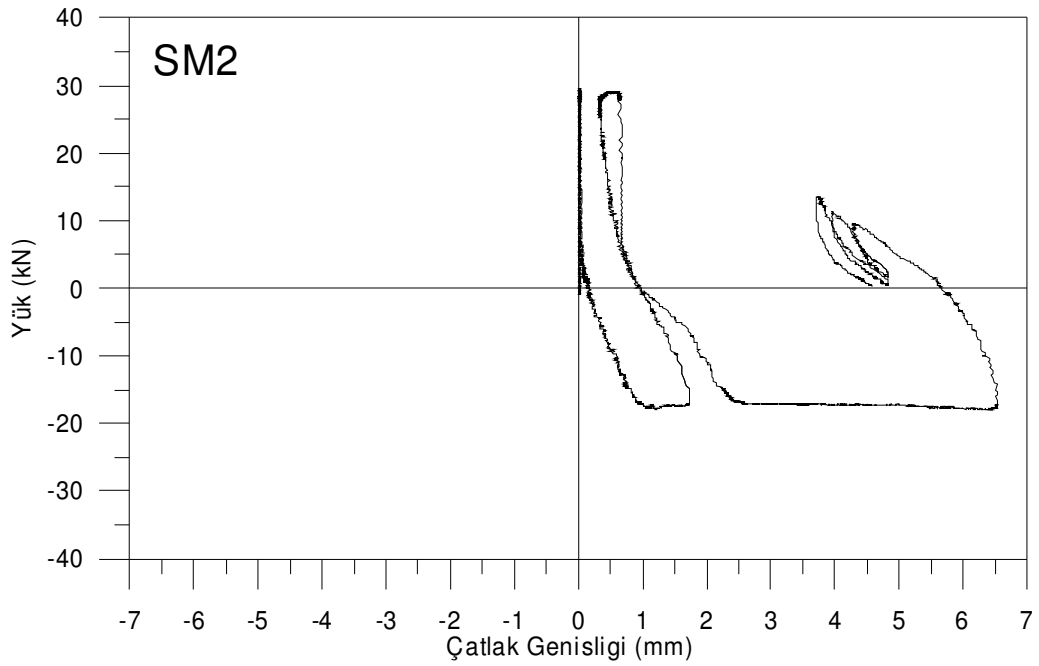
(d)

Şekil 6.20. (Devam) SM1 ve RSM1 elemanlarına ait yük-toplam çatlak genişliği grafikleri

- a) SM1 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
- b) SM1 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
- c) RSM1 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
- d) RSM1 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği

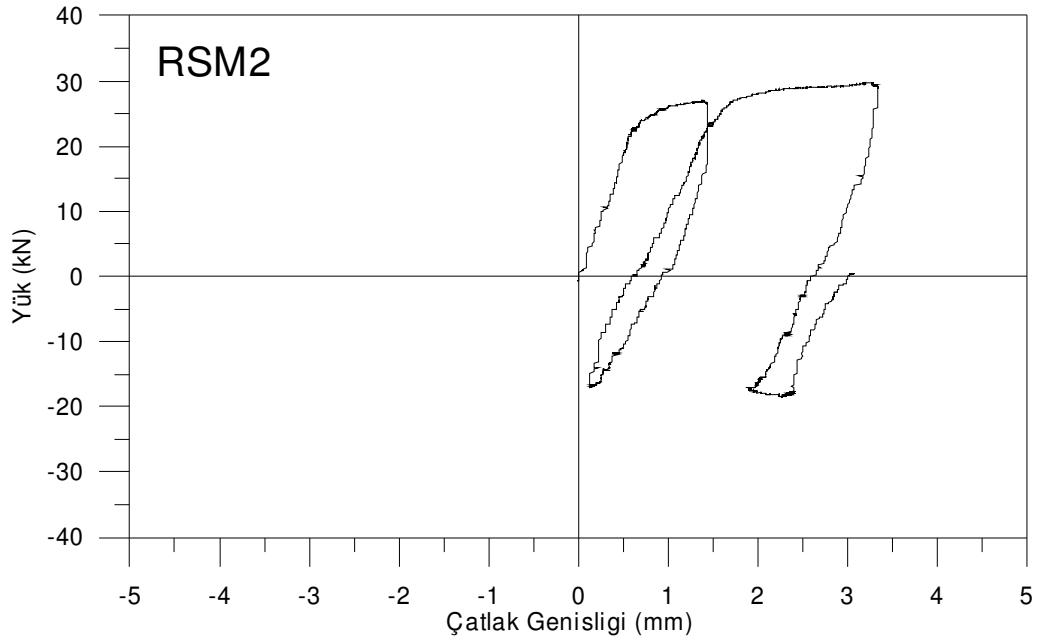


(a)

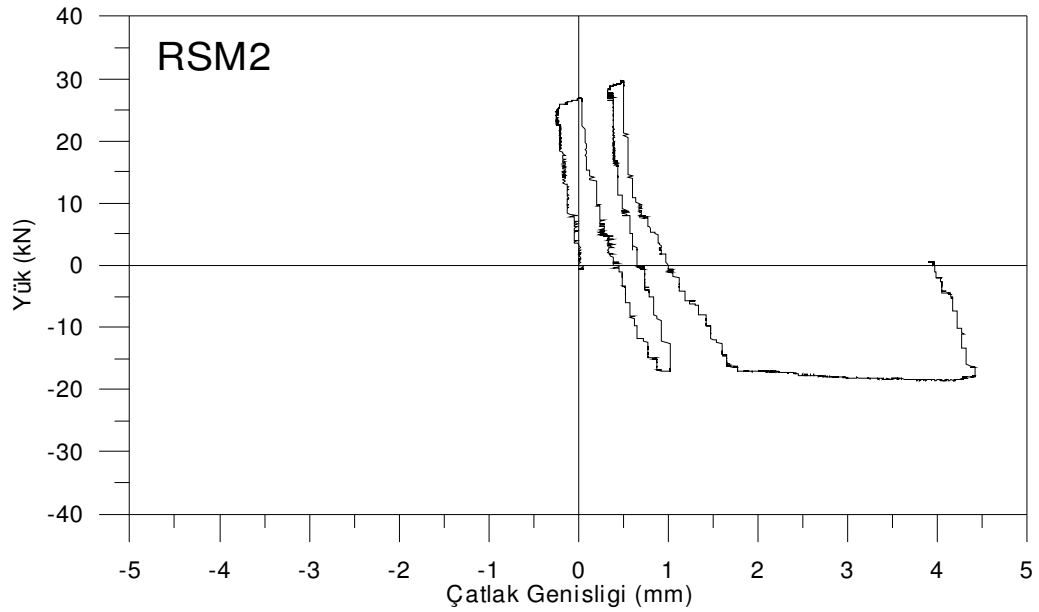


(b)

Şekil 6.21. SM2 ve RSM2 elemanlarına ait yük-toplam çatlak genişliği grafikleri
 a) SM2 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
 b) SM2 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
 c) RSM2 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
 d) RSM2 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği



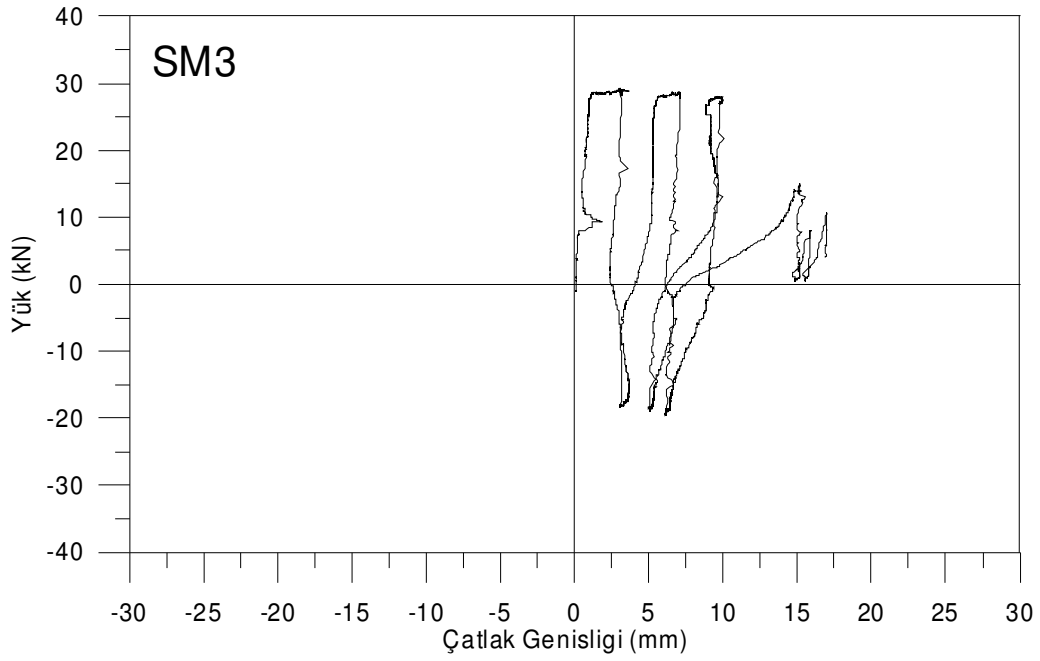
(c)



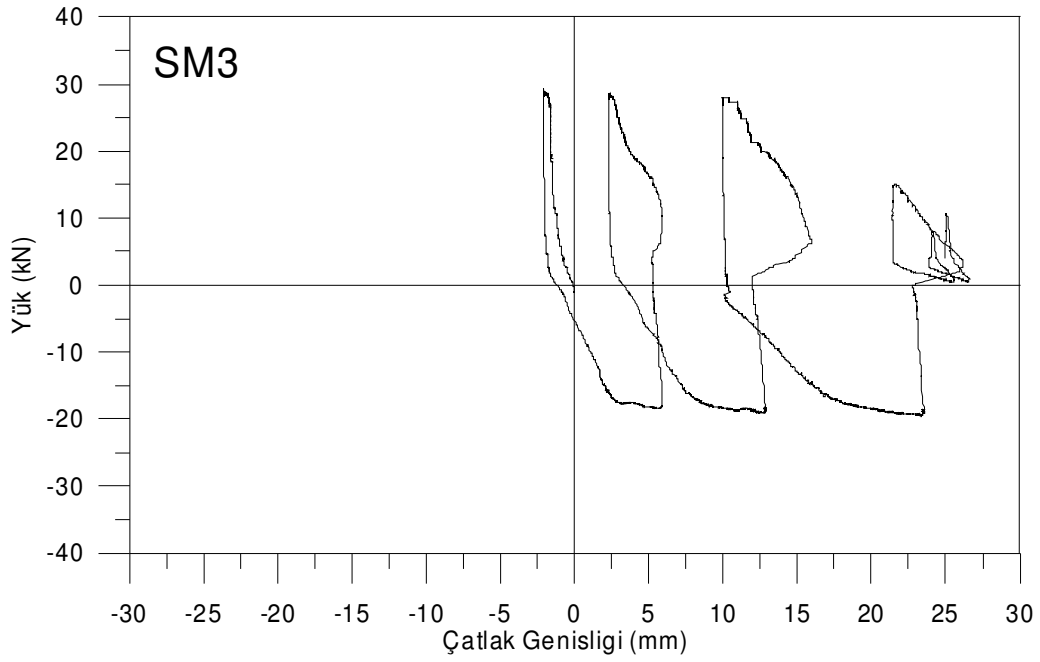
(d)

Şekil 6.21. (Devam) SM2 ve RSM2 elemanlarına ait yük-toplam çatlak genişliği grafikleri

- a) SM2 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
- b) SM2 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
- c) RSM2 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
- d) RSM2 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği

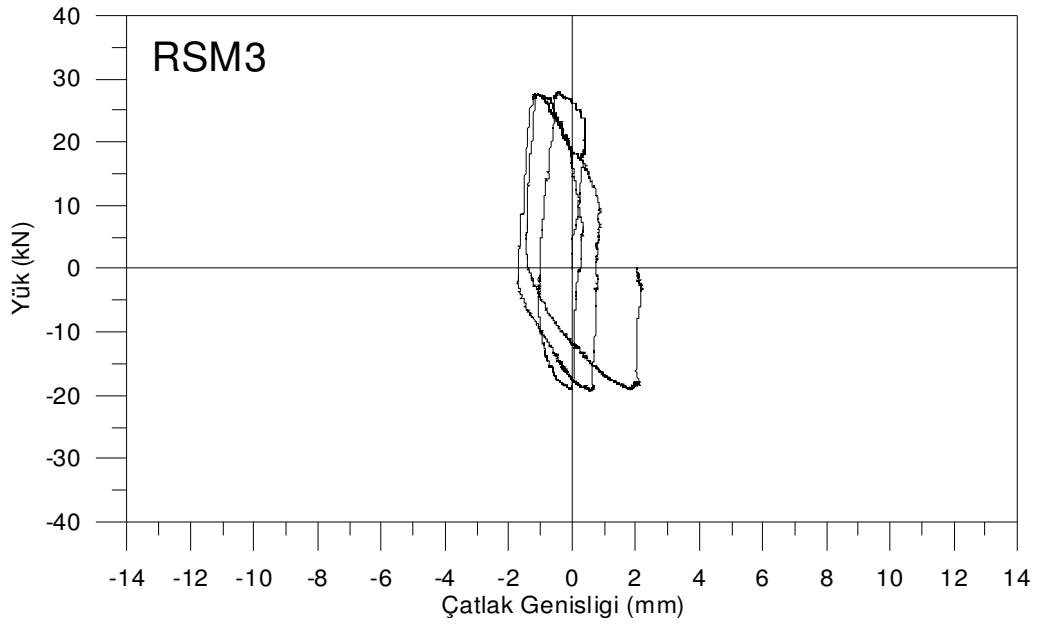


(a)

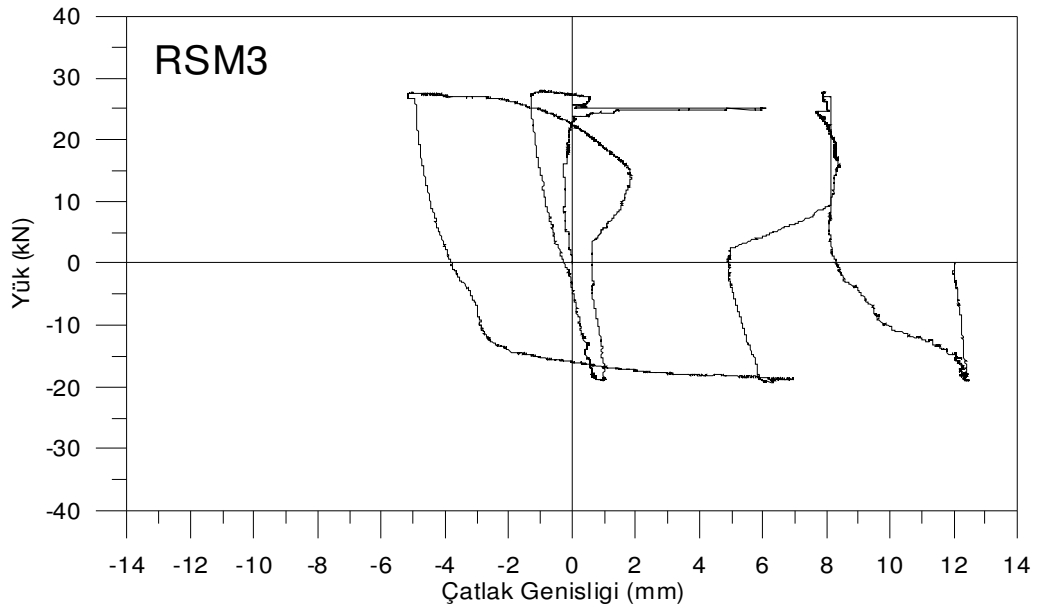


(b)

Şekil 6.22. SM3 ve RSM3 elemanlarına ait yük-toplam çatlak genişliği grafikleri
 a) SM3 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
 b) SM3 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
 c) RSM3 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
 d) RSM3 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği



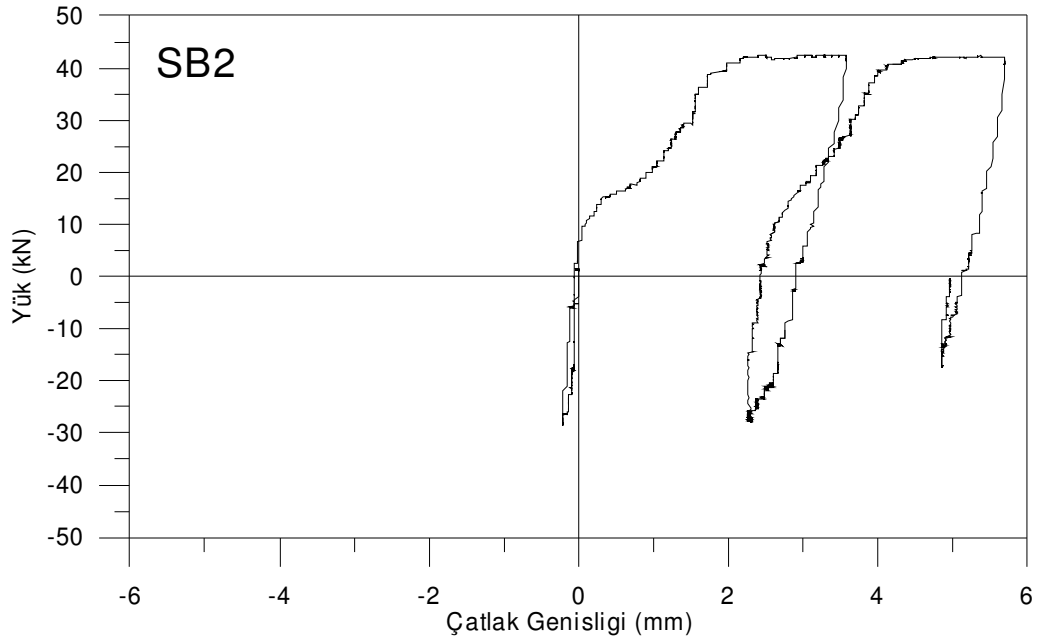
(c)



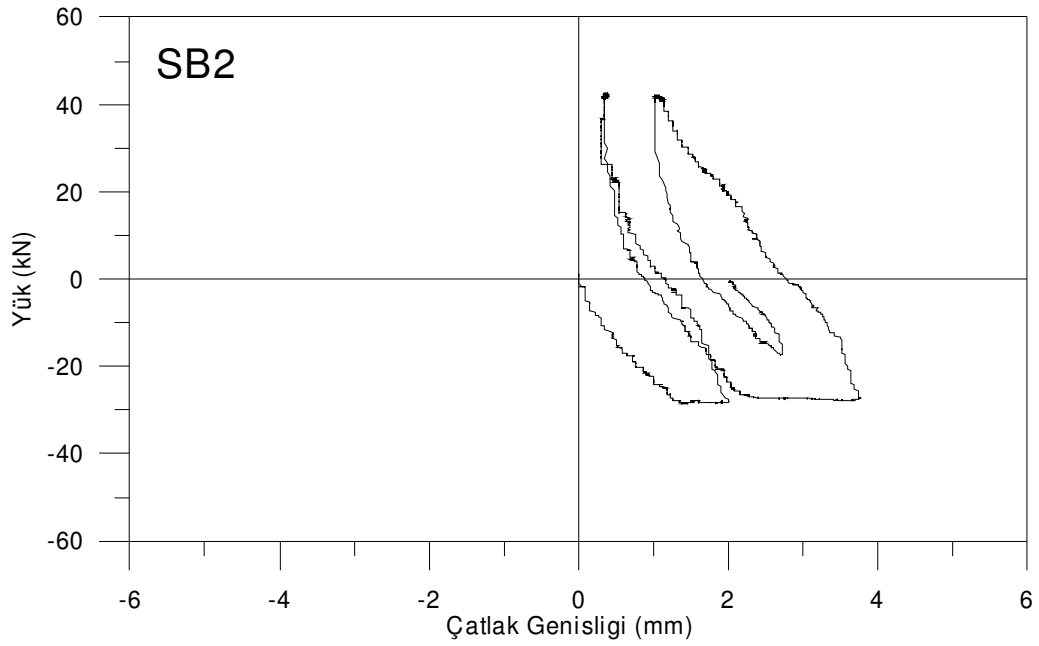
(d)

Şekil 6.22. (Devam) SM3 ve RSM3 elemanlarına ait yük-toplam çatlak genişliği grafikleri

- a) SM3 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
- b) SM3 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
- c) RSM3 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
- d) RSM3 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği

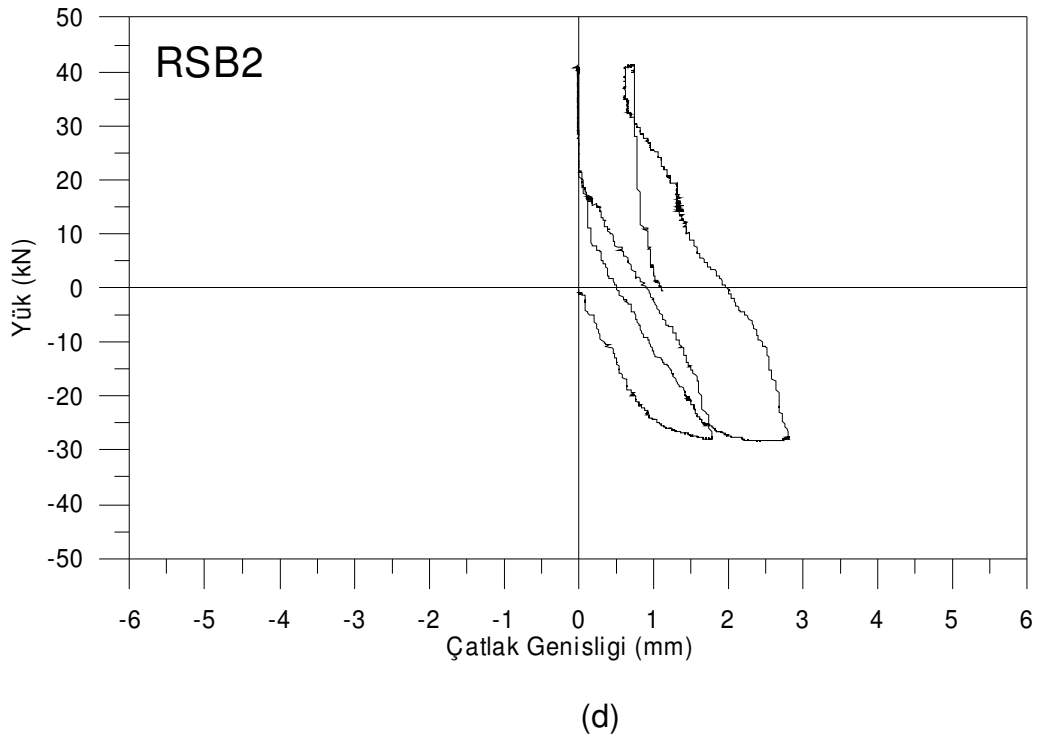
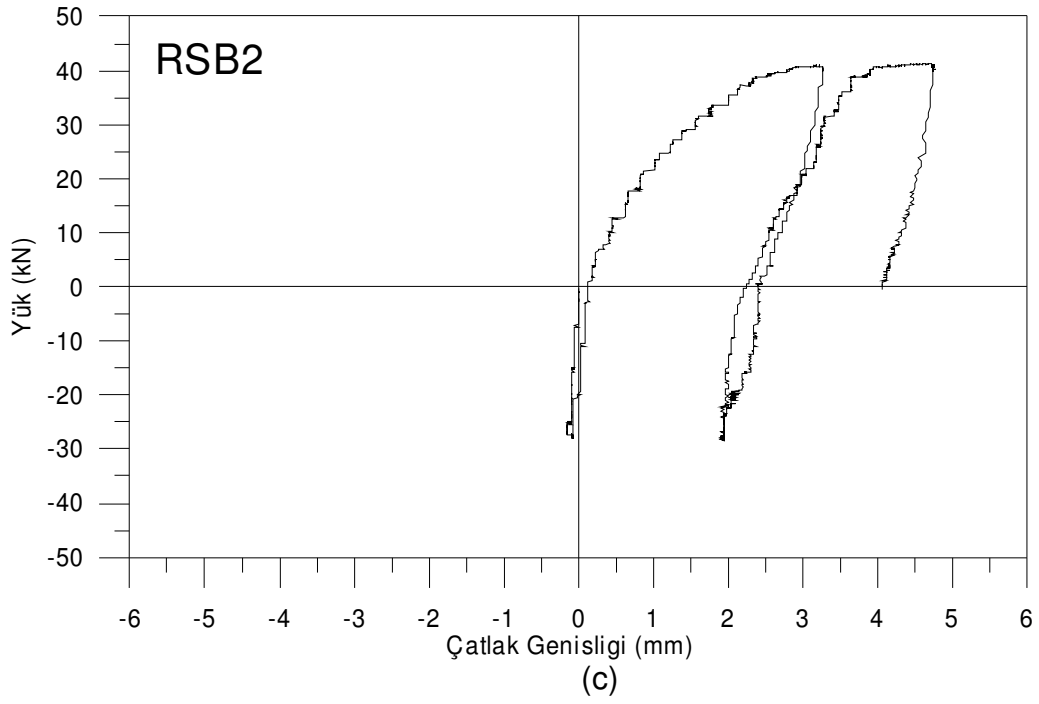


(a)



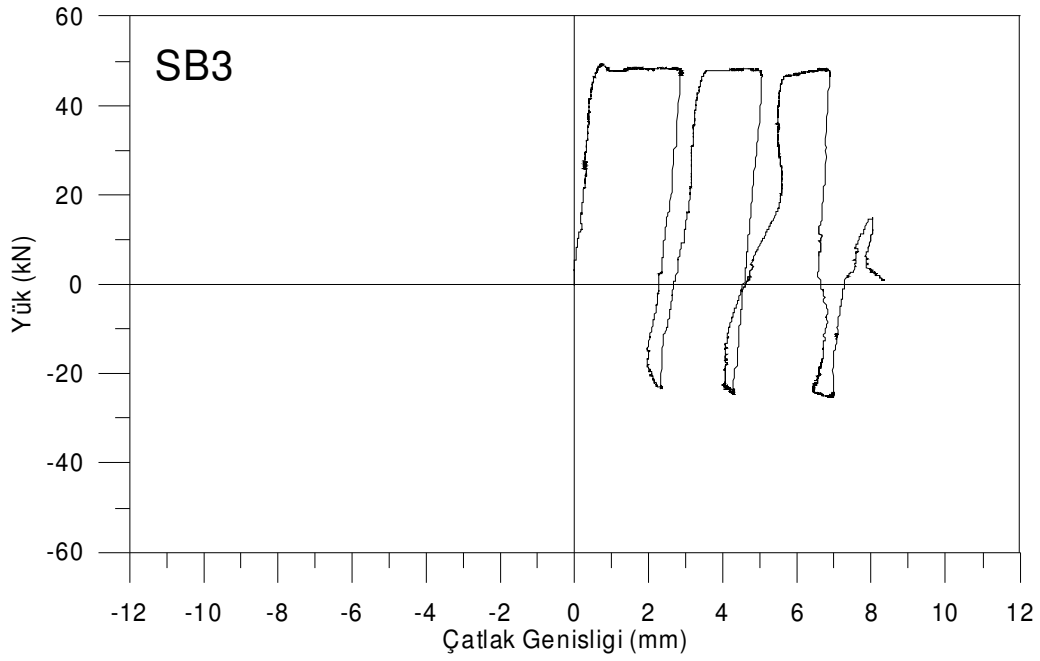
(b)

Şekil 6.23. SB2 ve RSB2 elemanlarına ait yük-toplam çatlak genişliği grafikleri
 a) SB2 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
 b) SB2 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
 c) RSB2 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
 d) RSB2 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği

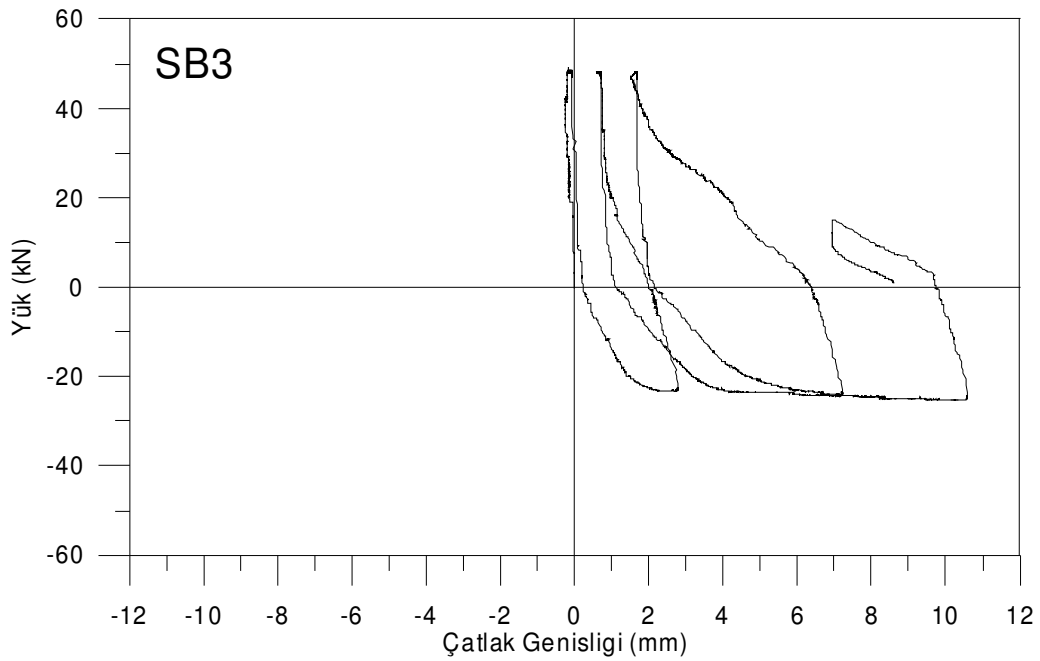


Şekil 6.23. (Devam) SB2 ve RSB2 elemanlarına ait yük-toplam çatlak genişliği grafikleri

- a) SB2 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
- b) SB2 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
- c) RSB2 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
- d) RSB2 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği

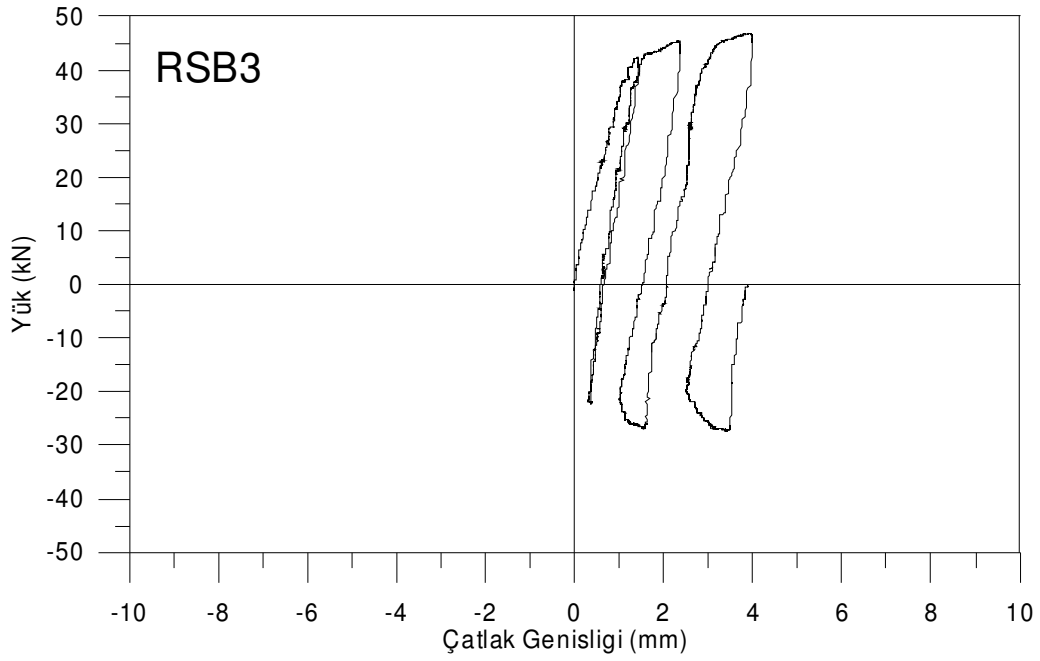


(a)

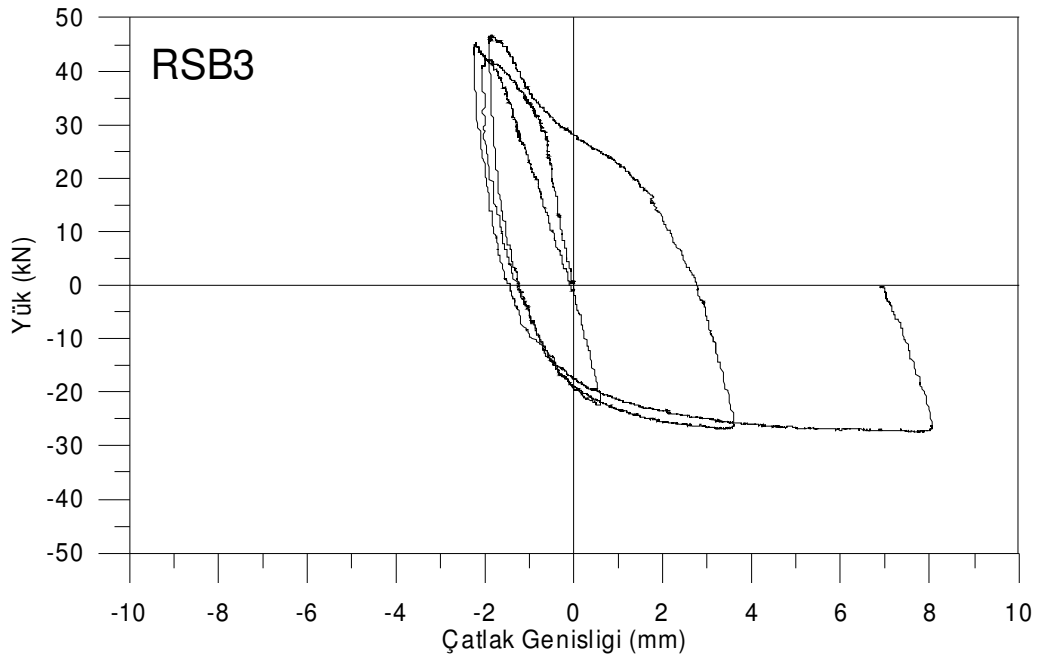


(b)

Şekil 6.24. SB3 ve RSB3 elemanlarına ait yük-toplam çatlak genişliği grafikleri
 a) SB3 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
 b) SB3 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
 c) RSB3 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
 d) RSB3 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği



(c)



(d)

Şekil 6.24. (Devam) SB3 ve RSB3 elemanlarına ait yük-toplam çatlak genişliği grafikleri

- a) SB3 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
- b) SB3 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
- c) RSB3 deney elemanı güçlü yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği
- d) RSB3 deney elemanı zayıf yönde yük-toplam çatlak genişliği grafiği

Çizelge 6.2. Deney elemanlarında ileri ve geri yüklemede oluşan toplam eğilme çatlağı genişlikleri

Deney Elemanı	Toplam Eğilme Çatlağı Genişliği (mm)							
	İleri Çevrim				Geri Çevrim			
	1. İleri	2. İleri	3. İleri	4. İleri	1. Geri	2. Geri	3. Geri	4. Geri
SS1	1.23	1.94	2.79		1.09	2.42	3.47	
RSS1	0.99	1.57	2.2		0.4	1.03	1.94	
SS2	3.34	4.84	6.33		2.56	4.56	7.02	
RSS2	1.71	2.46	3.44		0.82	1.57	3.3	
SS3	2.82	5.07	7.65	10.1	4.13	7.58	10.53	13.33
RSS3	0.39	2.3	3.21	3.75	6.93	10.46	14.23	2.46
SM1	1.64				1.33			
RSM1	1.64	4.85			1.5	4.71		
SM2	2.26	5.01			1.73	6.54		
RSM2	1.44	3.33			1.02	4.42		
SM3	3.39	7.09	9.86		5.86	12.83	23.47	
RSM3	0.42	0.33	0.9		1.01	5.86	12.48	
SB2	3.59	5.7			2	3.78		
RSB2	3.27	4.79			1.78	2.81		
SB3	2.9	5.03	6.86		2.81	7.19	10.58	
RSB3	1.55	2.37	3.99		0.7	3.67	8.07	

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, betonarme kirişlerin onarılmasında kullanılan yöntemlerden biri olan çatlaklara epoksi enjeksiyonu tekniğinin tersinir ve yinelenir yükler altındaki eğilme rijitliğine olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bu onarım yönteminin etkinliğini araştırmak için üç farklı donatı oranına sahip kirişlere az, orta ve ağır hasarlar verilmiştir. Yapılmış olan sınırlı sayıdaki deneylerden elde edilen verilere dayanarak ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir. Ancak bu sonuçların, yapılmış olan deneylerin özellikleri ve koşulları ile sınırlı olduğu unutulmamalıdır. Ayrıca çalışmanın sonuçları ile bir genelleme yapılmamalıdır.

- Bu deneysel çalışmada epoksi enjeksiyonu yönteminin hasar görmüş betonarme kirişlerde eğilme rijitliğine olan etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bazı elemanlarda epoksi enjeksiyonunu ile eğilme rijitliğinin arttığı gözlenirken, bazı elemanlarda da yöntemin etkili olmadığı gözlenmiştir. Fakat bu çalışmanın sonuçlarına dayanarak epoksi enjeksiyonu yönteminin başarısız olduğunu söylemek mümkün değildir. Bu yöndeki araştırmalara devam edilmelidir.
- Çatlak genişlikleri ile eğilme rijitlikleri arasında bir ilişki olduğu gözlenmiştir. Çatlak genişliği arttıkça elemandaki eğilme rijitliğinin azalabileceği gözlenmiştir. Ancak buna rağmen tersi davranış gösteren elemanlar da olmuştur. Fakat çatlak genişliği en az olan elemanlarda diğer elemanlara göre göreceli olarak en büyük eğilme rijitliği oluşması beklenirken, epoksi enjeksiyonunun uygulanamaması sebebiyle bu durum gözlenememiştir.
- Onarılmış tüm elemanlarda ilk çevrimde daha az eğilme rijitlikleri elde edilmiştir. İlerleyen çevrimlerde deplasman arttıkça rijitlikler hasarsız elemanın rijitliklerine yaklaşmıştır. Ancak bu aşamada rijitlikler büyük

ölçüde boyuna donatılara bağlı olduğu için, ilerleyen çevrimlerde rijitliklerdeki bu uyuşumu epoksi enjeksiyonunun sağladığı düşünülmemelidir.

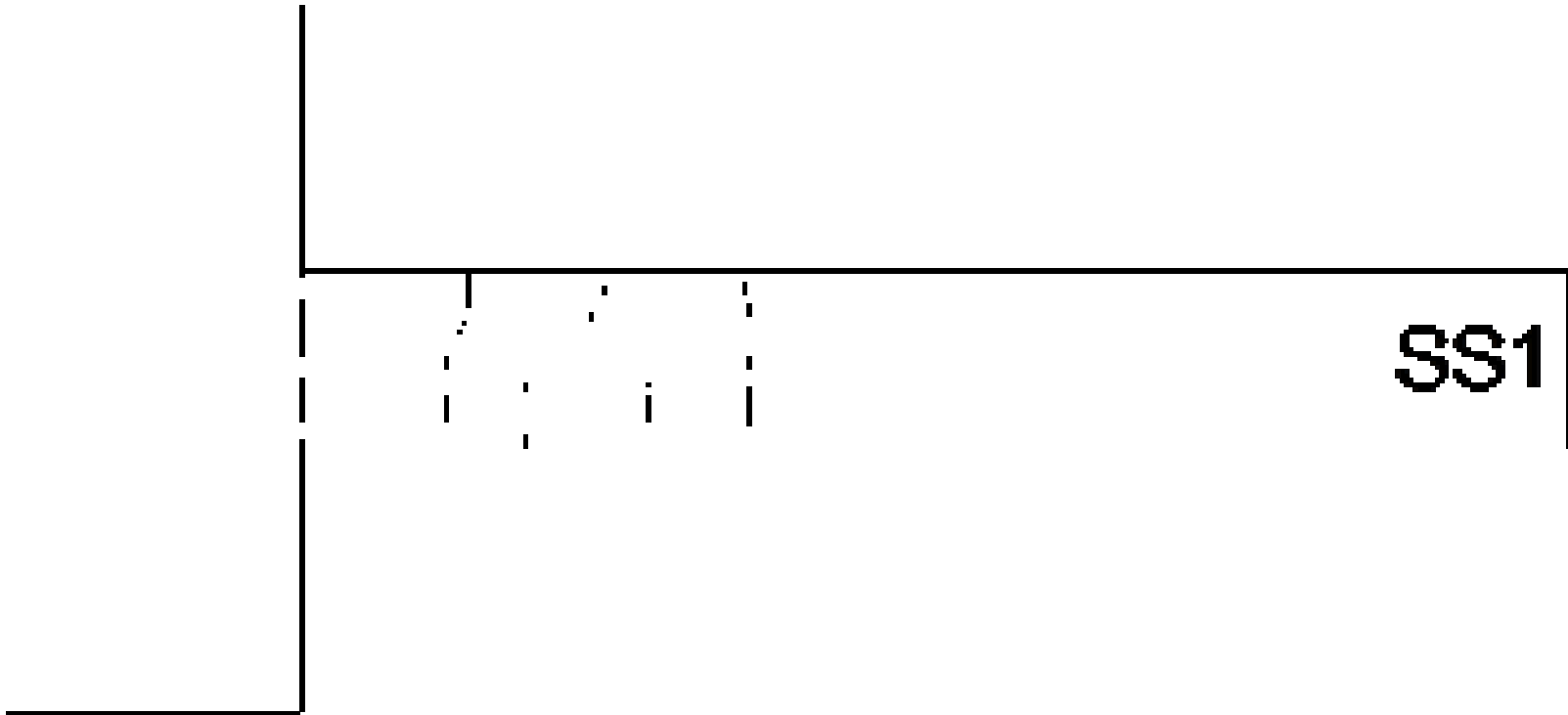
- Onarılmış bütün elemanlarda ilk çevrimde olmasa bile ilerleyen çevrimlerde maksimum yük değerine ulaşılmıştır, ancak bu yüke daha büyük deplasmanlardan sonra çıkılabilmektedir.
- Epoksi malzemesi esnek bir malzeme olduğu için elemanın yük-deplasman eğrisinin özellikle akma bölgesine geçişi birçok elemanda belirgin olmayıp, yay şeklinde olmuştur .
- Az donatılı elemanlarda ilk yükleme sırasında beton ve demir birlikte çalışırken elemanda oluşan çatlak rijitlikte önemli bir değişime neden olmaktadır. Donatı oranı arttıkça bu ani değişim azalmaktadır. M_{cr}/M_n oranı arttıkça eğrideki kırıklık artmaktadır.

KAYNAKLAR

1. İlki, A., Kumbasar, N., "Kompozitler İle Güçlendirilen Elemanların Eksenel Yükler ve Eğilme Etkileri Altında Davranışı", Prof. Dr. Kemal Özden'i Anma Semineri, **İstanbul Teknik Üniversitesi**, İstanbul, 137-138 (2002).
2. "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", **Bayındırlık ve İskan Bakanlığı**, Ankara, 40-44 (2007).
3. Aka, İ., "Binalarda Güçlendirme-Neden, Nasıl?", Prof. Dr. Kemal Özden'i Anma Semineri, **İstanbul Teknik Üniversitesi**, İstanbul, 27-28 (2002).
4. Aka, İ., Keskinel, F., Arda, T.S., "Betonarme Yapı Elemanları", **Birsan Yayınevi**, Beşinci Baskı, İstanbul, 214 (1983).
5. Celep, Z., Kumbasar, N., "Betonarme Yapılar", **İhlas Gazetecilik A.Ş.**, Dördüncü Baskı, İstanbul, 337 (2005)
6. Çakıroğlu, A., Girgin, K., Özer, E., "Çatlamış Betonarme Kesit Eğilme Rijitliklerinin Hesabı İçin Yaklaşık Formüller", Prof. Dr. Kemal Özden'i Anma Semineri, **İstanbul Teknik Üniversitesi**, İstanbul, 72 (2002).
7. "ACI-318, Building code requirements for structural concrete (ACI 318-5) and commentary (ACI 318R-05)", **American Concrete Institute**, 124 (2005).
8. "TS 500 Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 23, 63-64 (2000).
9. Gülenler, C., "Betonarme elemanların polimer yapıştırıcı kullanarak çelik levhalarla takviyesi", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi**, İstanbul, 9-21 (1977).
10. Hawlett, P.C., and Morgan, J.G.D., "Static and Cyclic Response of Reinforced Concrete Beams Repaired By Resin Injection", **Magazine of Concrete Research**, 34 (118):5-17, (1982).
11. Alfaiate, J., Appleton, J., "External reinforcement with steel plates and injected epoxy on concrete beams", **CREST**, Lisbon, 4-16 (1986).
12. Özdemir, İ., "Onarılmış Betonarme Kirişlerin Tersinir Yük Altında Davranış ve Dayanımları", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 3-4, 70-71 (1994).
13. Ersoy, U., Özcebe, G., "Betonarme", **Evrin Yayınevi**, II. Baskı, Ankara, 92-96 (2001).

14. Erdoğan, T.Y., “Beton”, **ODTÜ Geliřtirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.**, Birinci Baskı, Ankara, 152-156 (2003).
15. Celep, Z., “Mevcut Betonarme Binaların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi ve Güçlendirilmesi”, Prof. Dr. Kemal Özden’i Anma Semineri, **İstanbul Teknik Üniversitesi**, İstanbul, 106-107 (2002).
16. Jumaat, M.Z., Kabir, M.H., Obaydullah, M., “A Review Of The Repair Of Reinforced Concrete Beams”, **Journal of Applied Science Research**, 2(6), 323 (2006).
17. Ersoy, U., “Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı”, **Bizim Büro Basım Evi**, Cilt 1, Ankara, 289 (1985).
18. Aykaç, S., “Onarılmış/Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Deprem Davranışı”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 51 (2000).

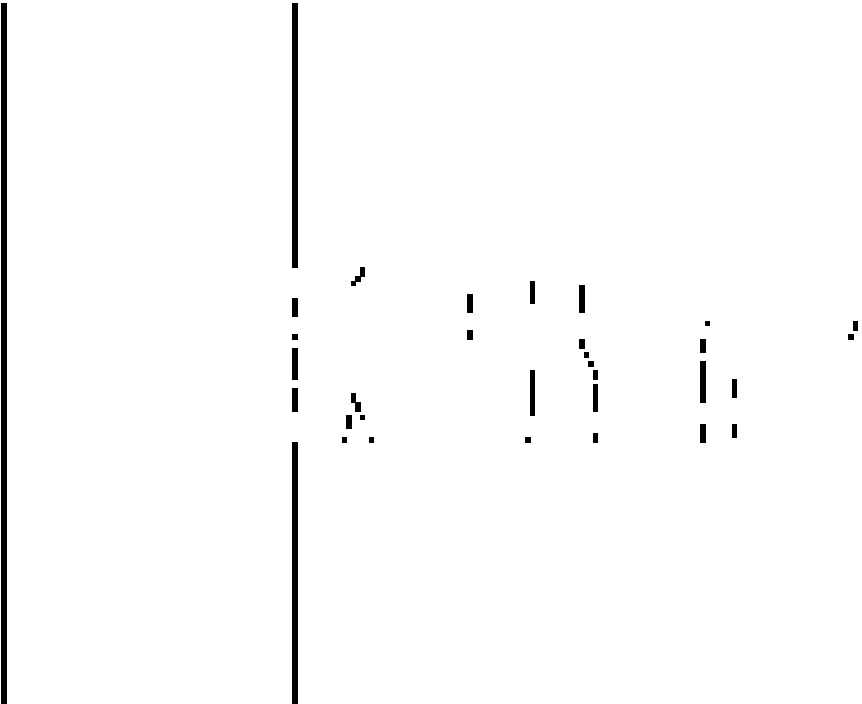
EKLER



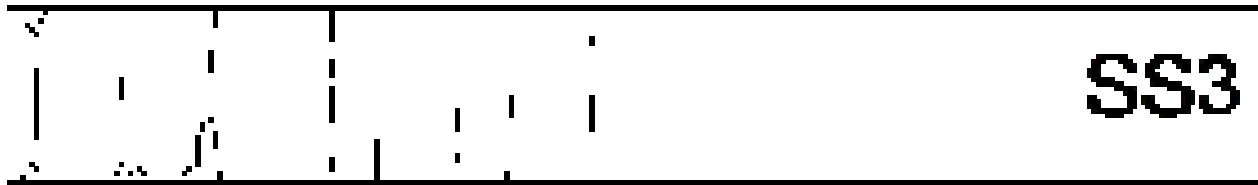
Şekil 1.1. SS1 deney elemanına ait çatlak haritası

Ek-1. (Devam) Çatlak Haritaları

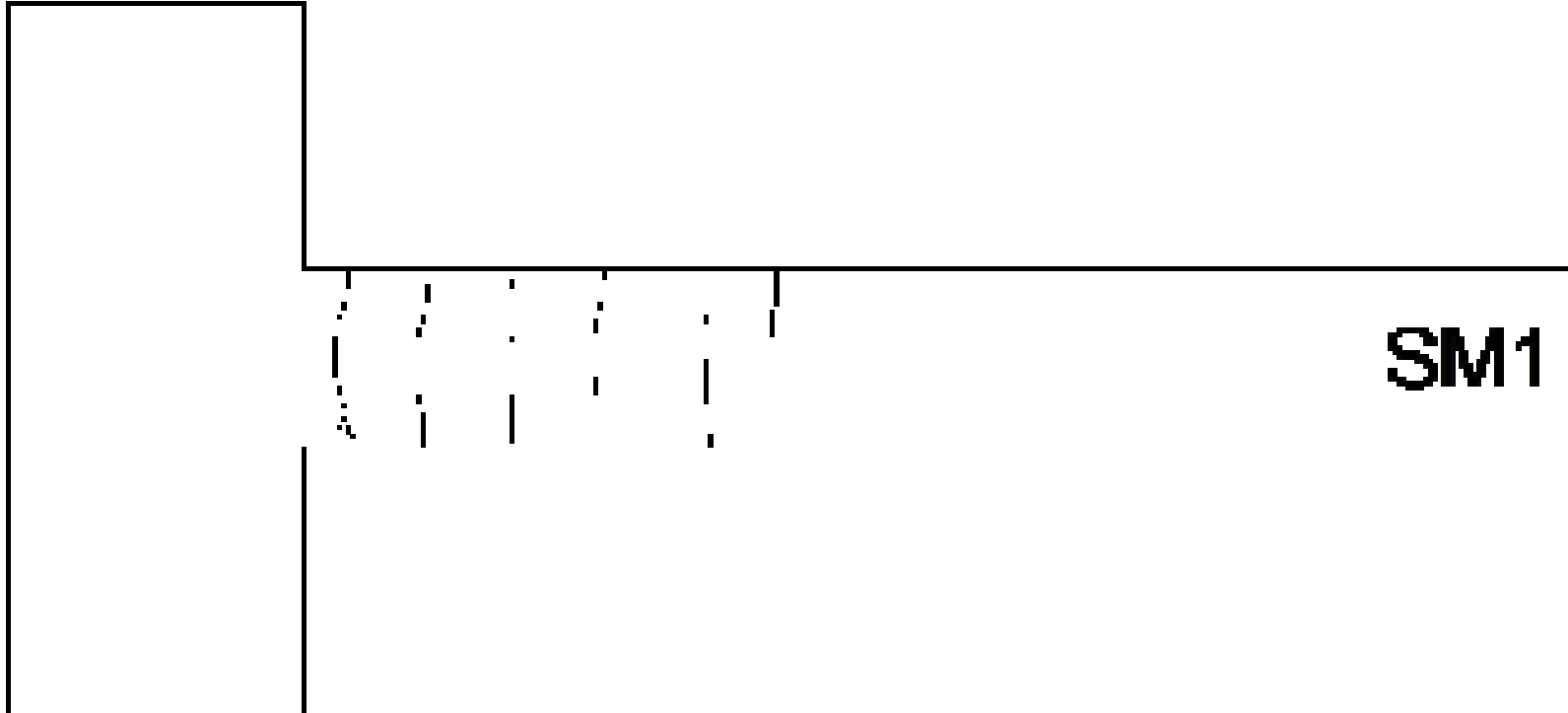
SS2



Şekil 1.2. SS2 deney elemanına ait çatlak haritası



Şekil 1.3. SS3 deney elemanına ait çatlak haritası



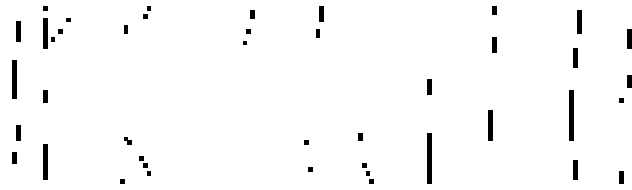
Şekil 1.4. SM1 deney elemanına ait çatlak haritası

SM2



Şekil 1.5. SM2 deney elemanına ait çatlak haritası

SM3



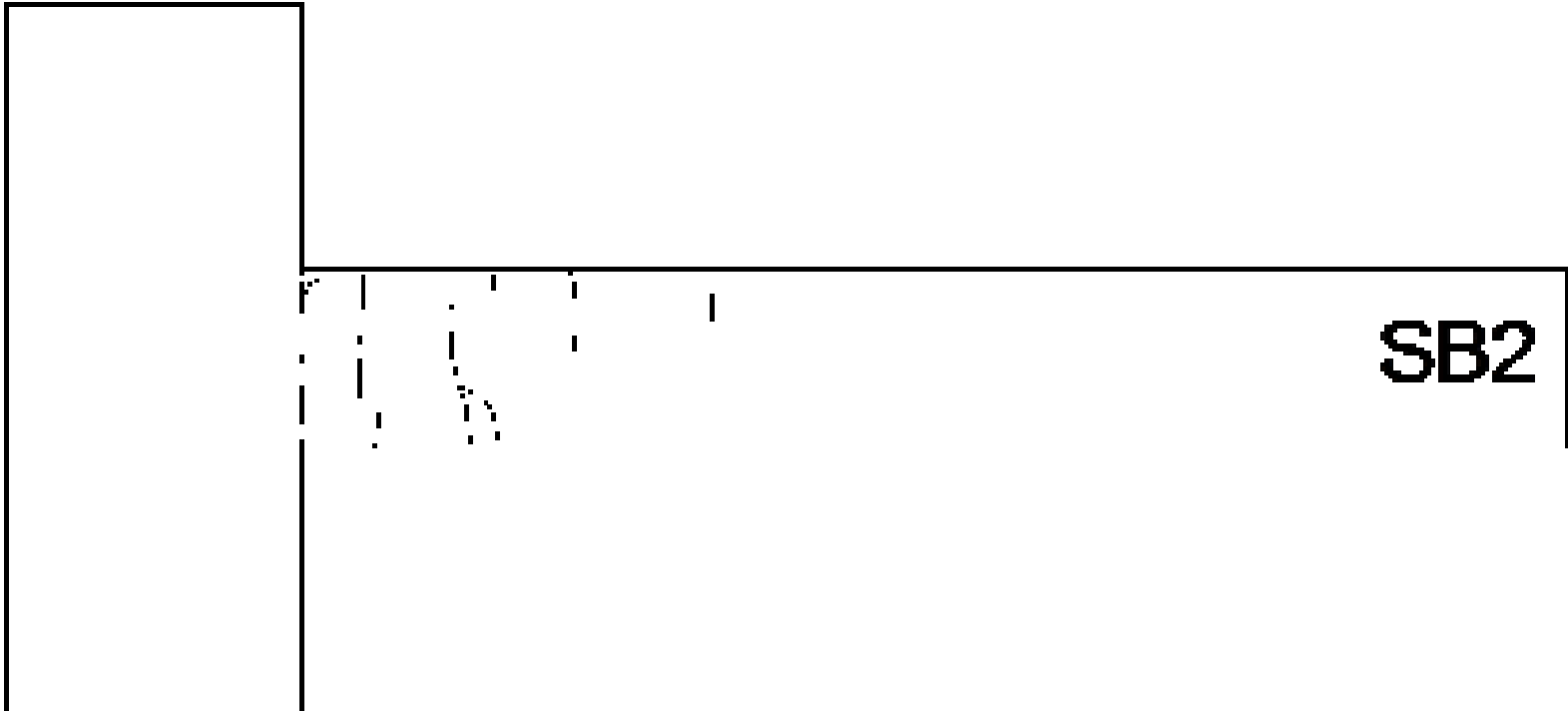
Şekil 1.6. SM3 deney elemanına ait çatlak haritası

Ek-1. (Devam) Çatlak Haritaları

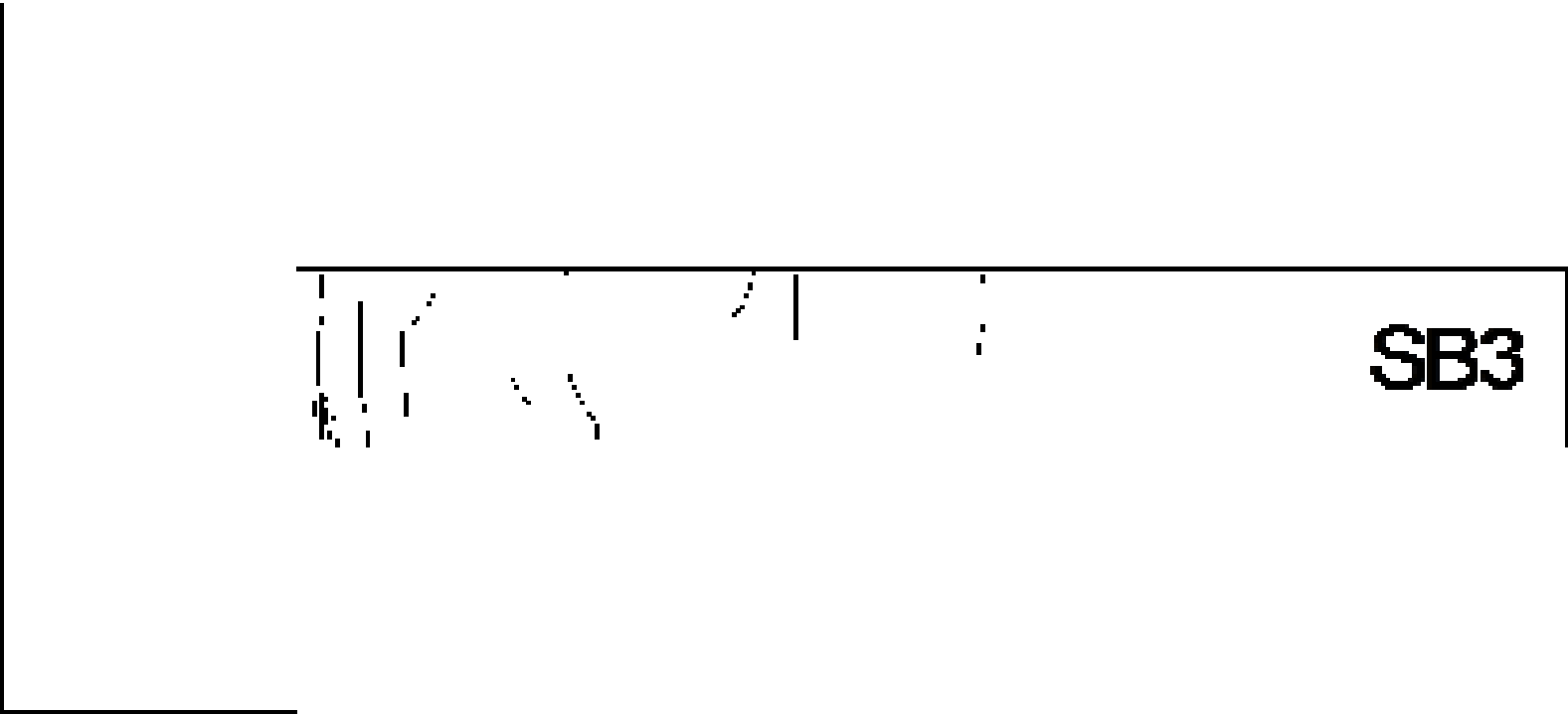
SB1



Şekil 1.7. SB1 deney elemanına ait çatlak haritası

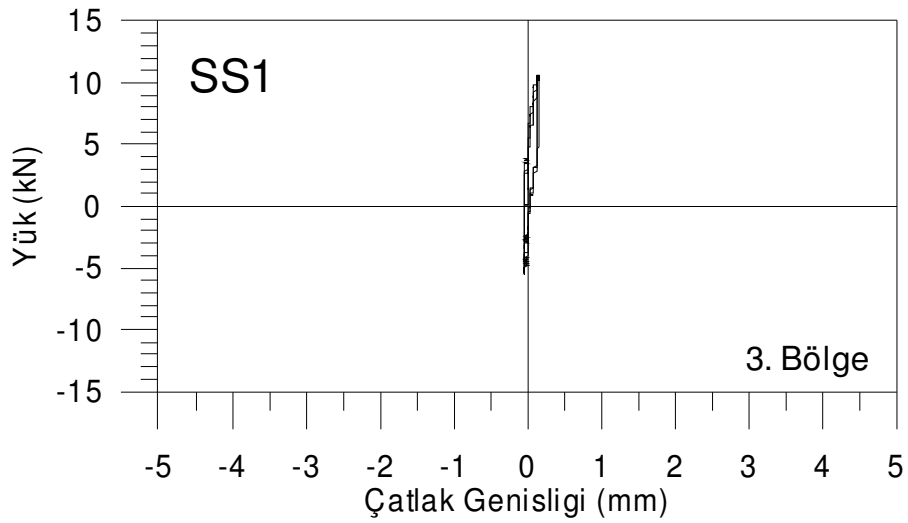
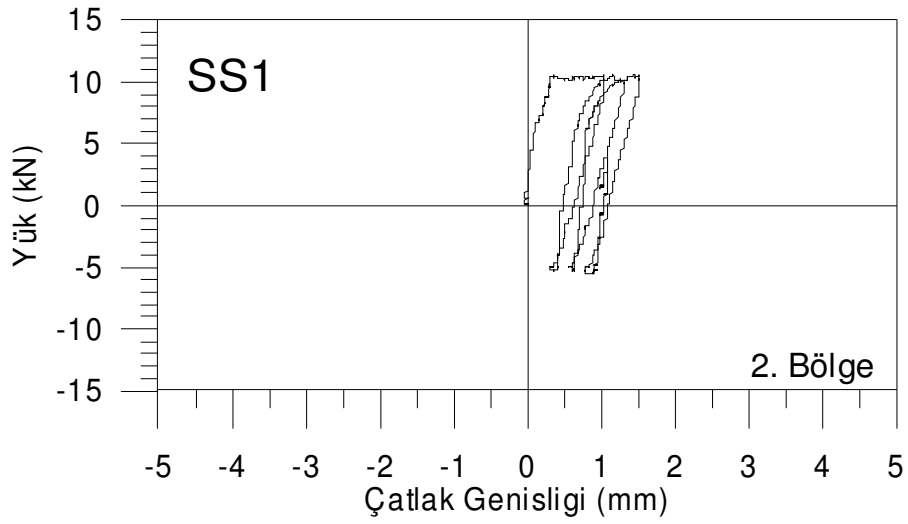
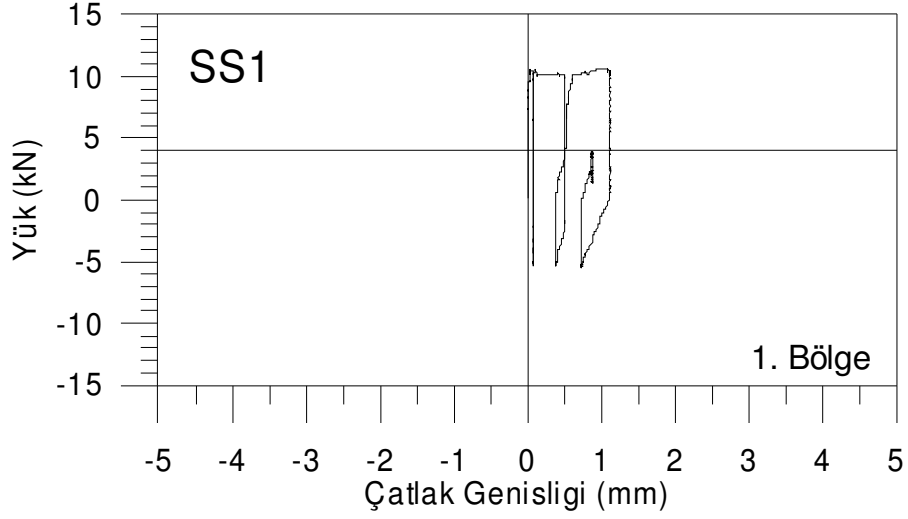


Şekil 1.8. SB2 deney elemanına ait çatlak haritası



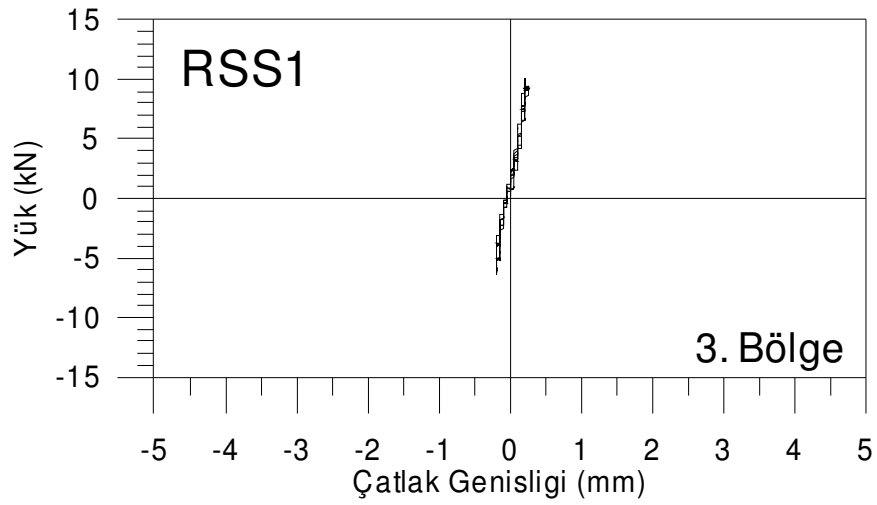
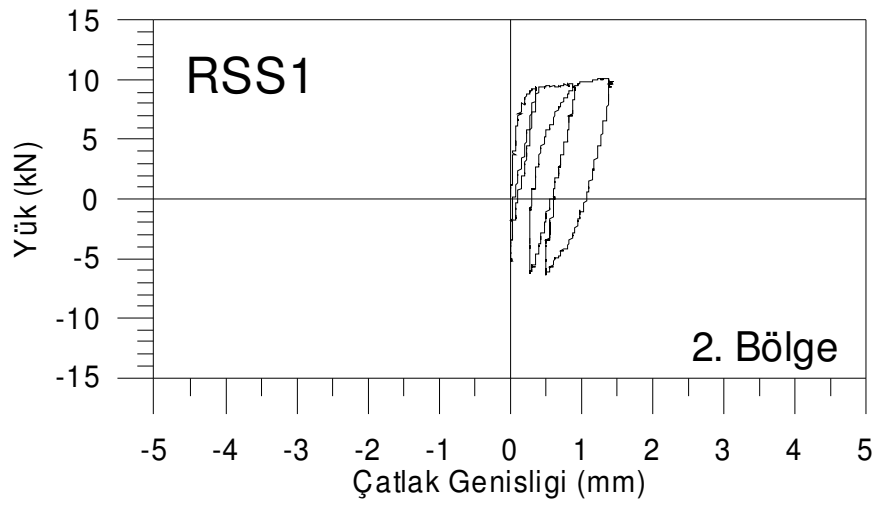
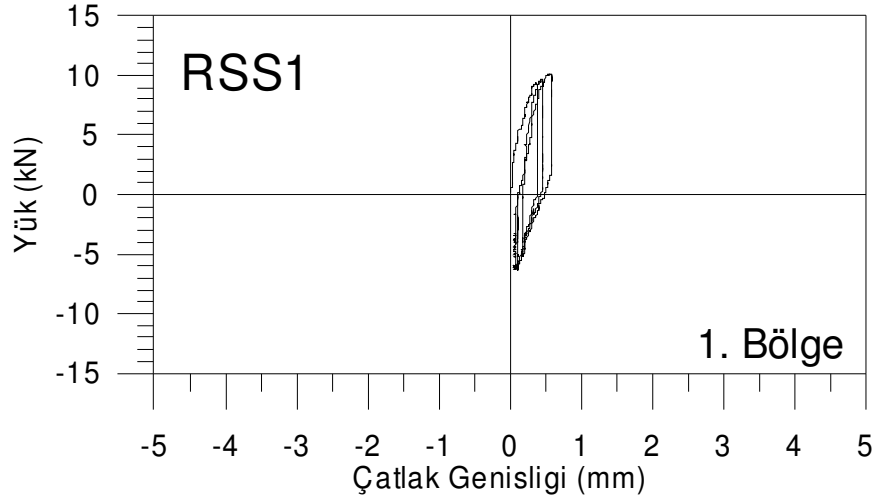
Şekil 1.9. SB3 deney elemanına ait çatlak haritası

Ek-2. Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



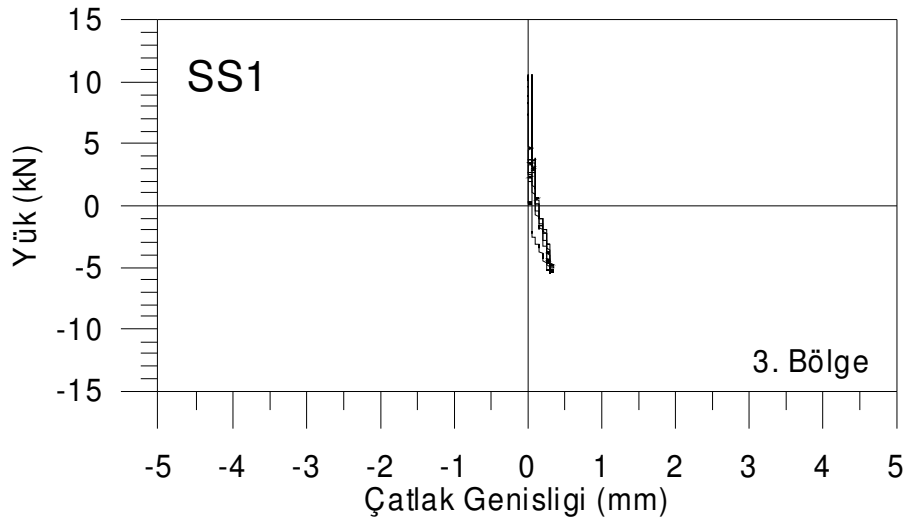
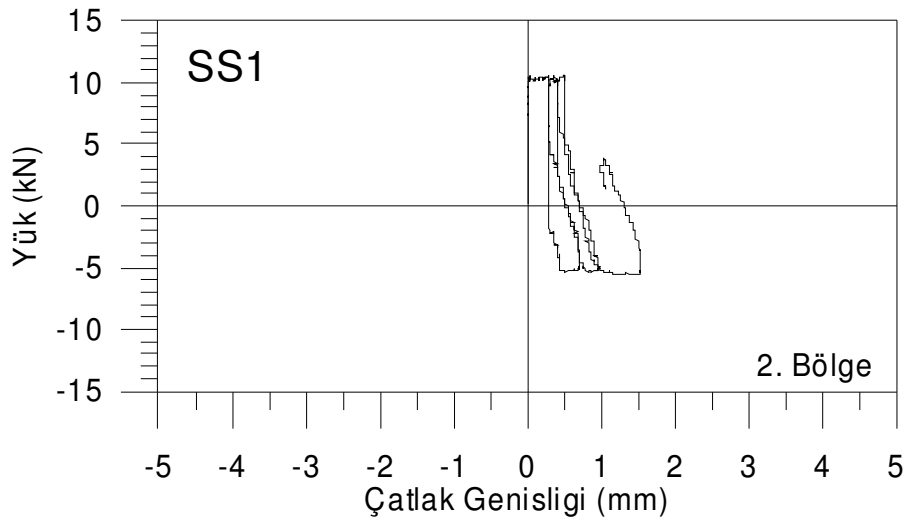
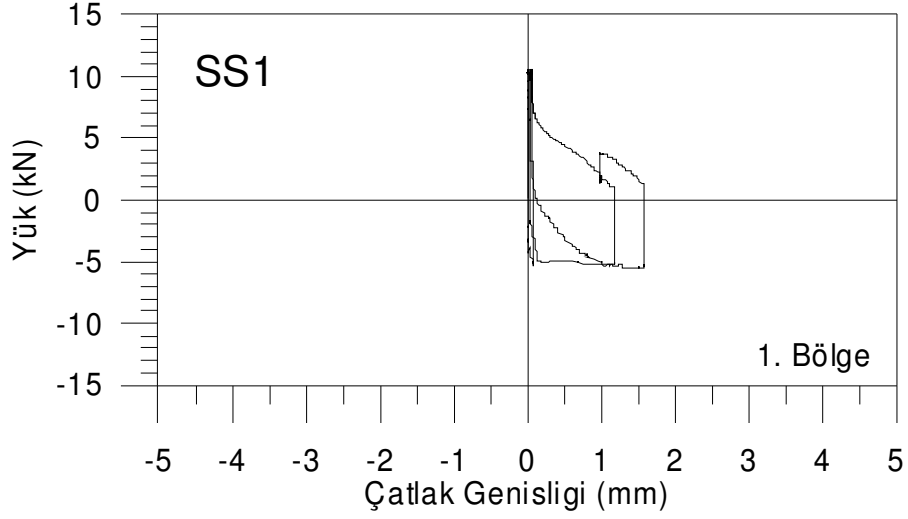
a) SS1 deney elemanı güçlü yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



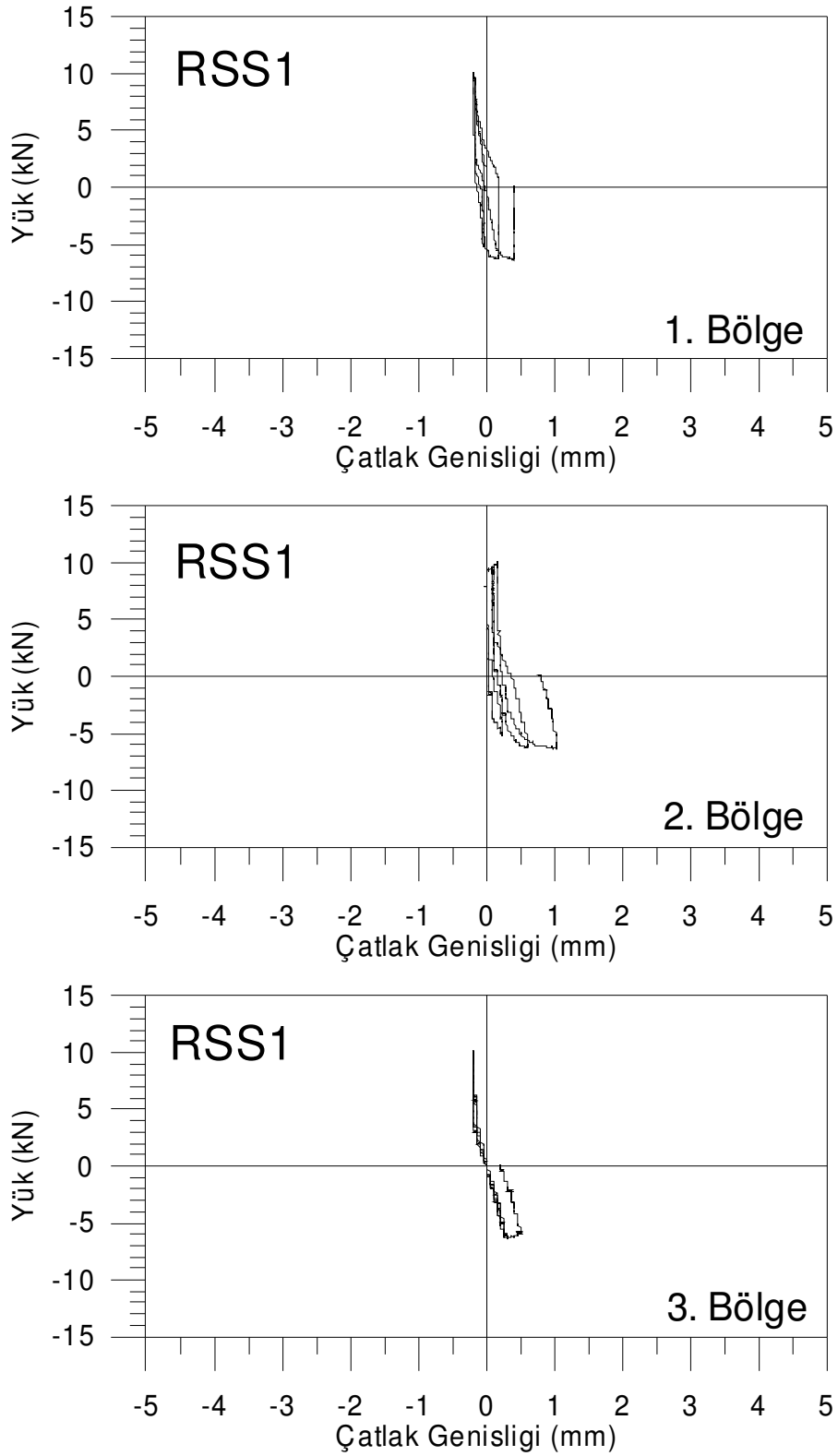
b) RSS1 deney elemanı güçlü yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



c) SS1 deney elemanı zayıf yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

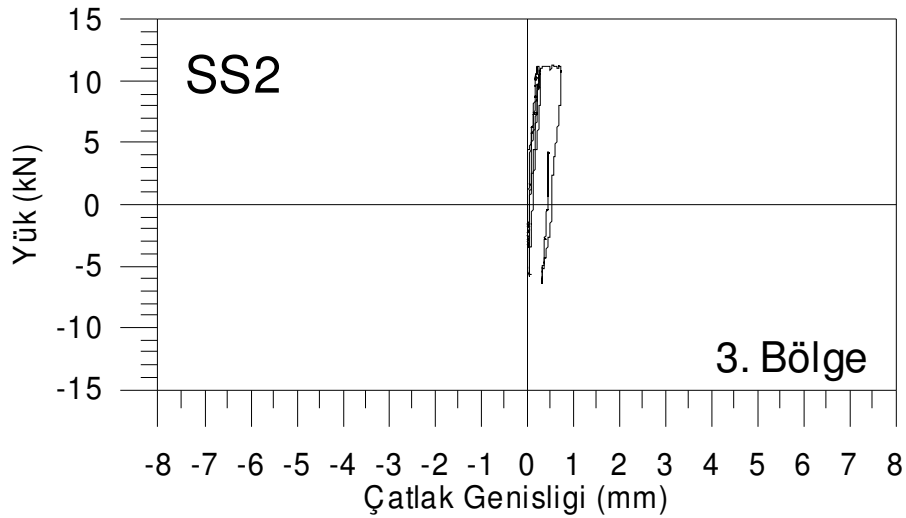
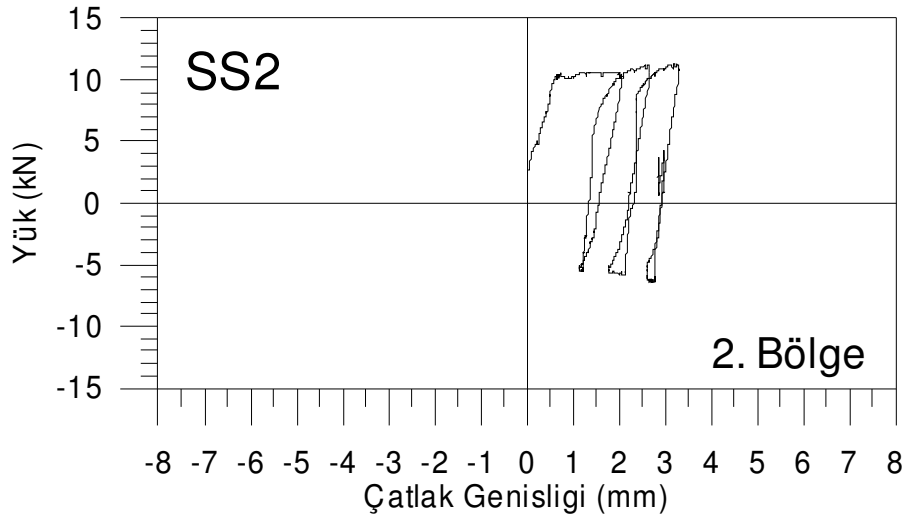
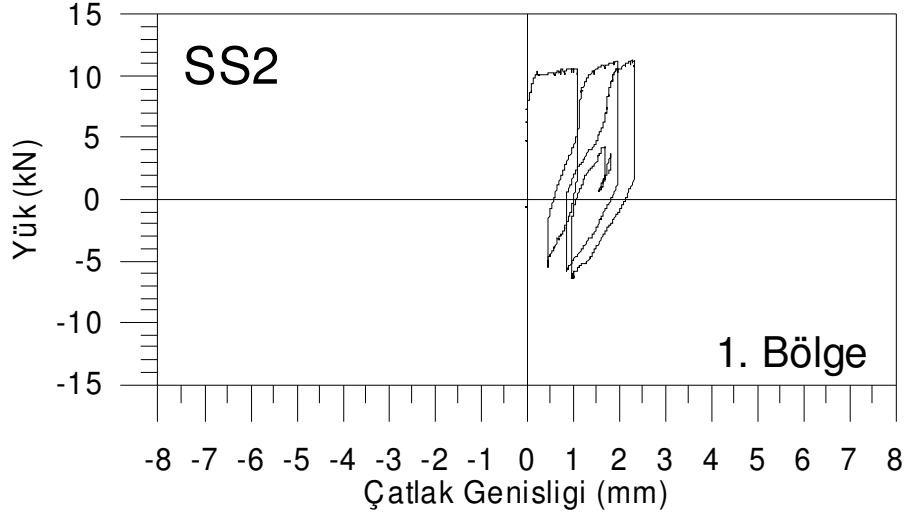
Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



d) RSS1 deney elemanı zayıf yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

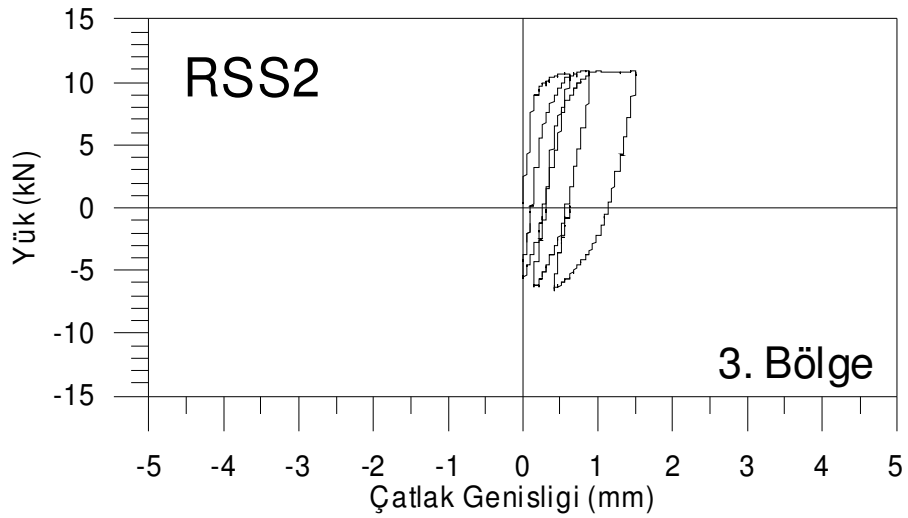
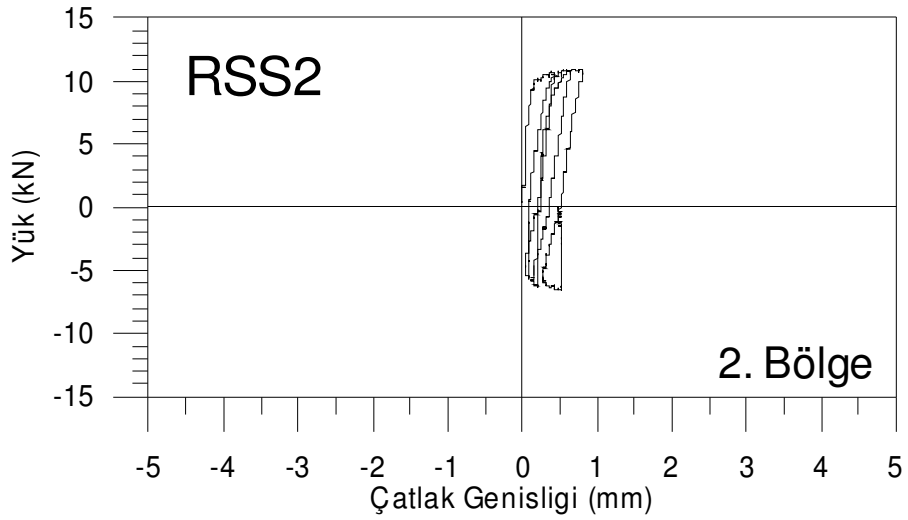
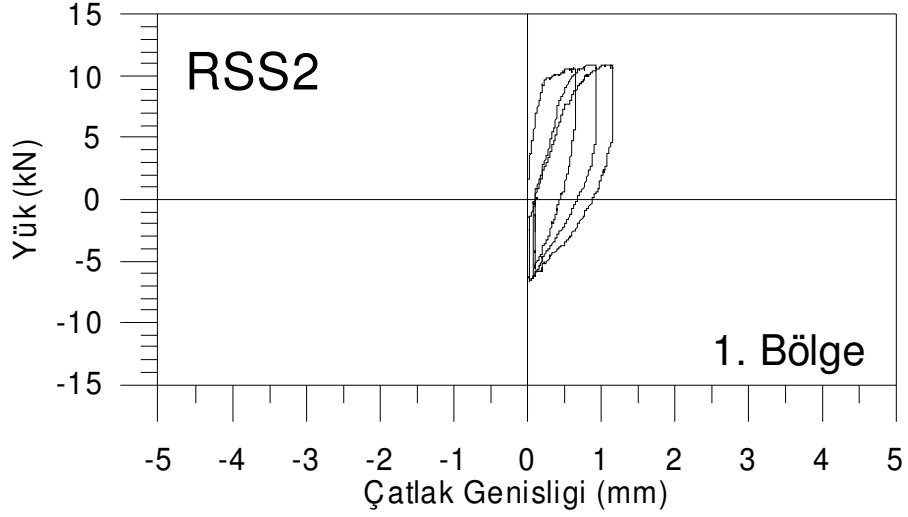
Şekil 2.1. SS1 ve RSS1 deney elemanları yük-çatlak genişliği grafikleri

Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



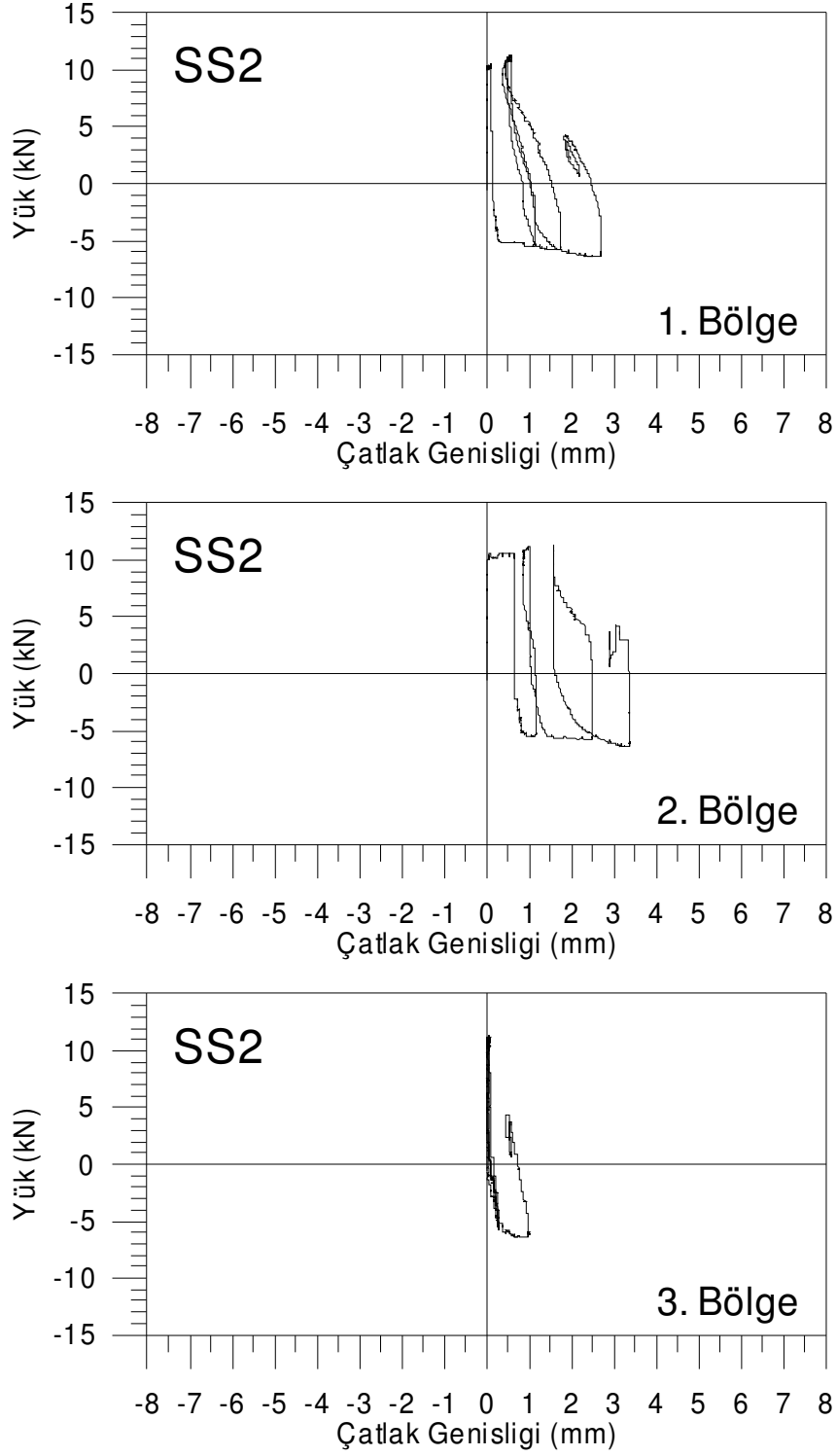
a) SS2 deney elemanı güçlü yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



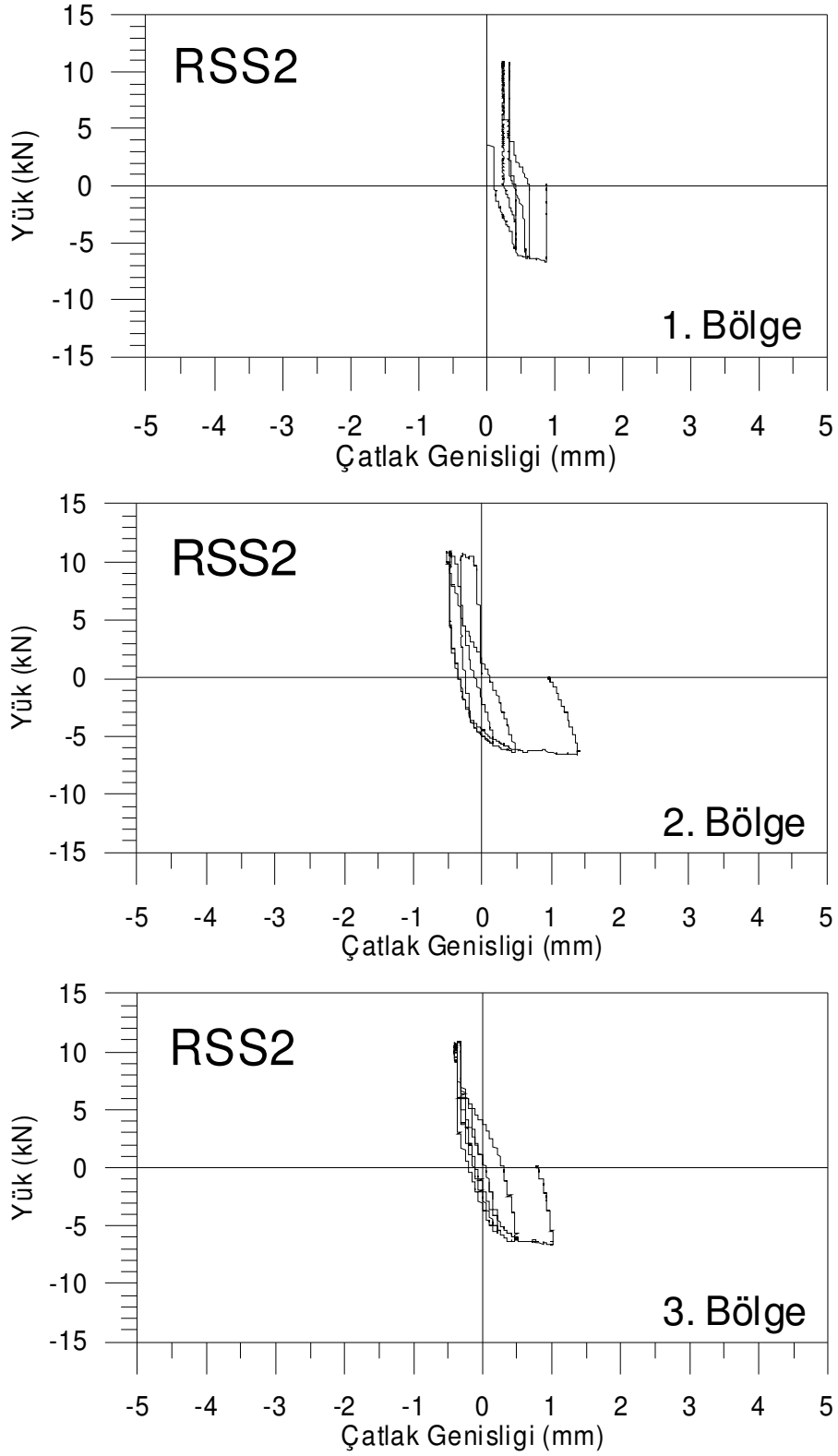
b) RSS2 deney elemanı güçlü yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



c) SS2 deney elemanı zayıf yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

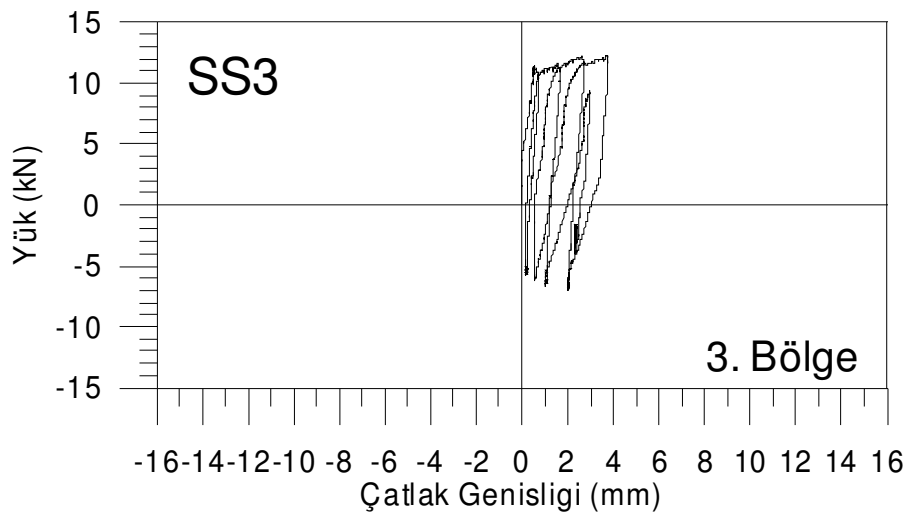
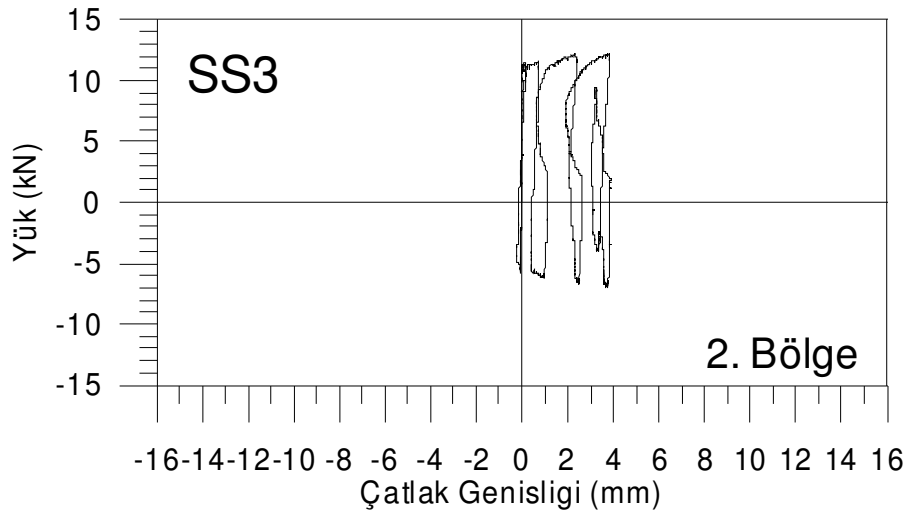
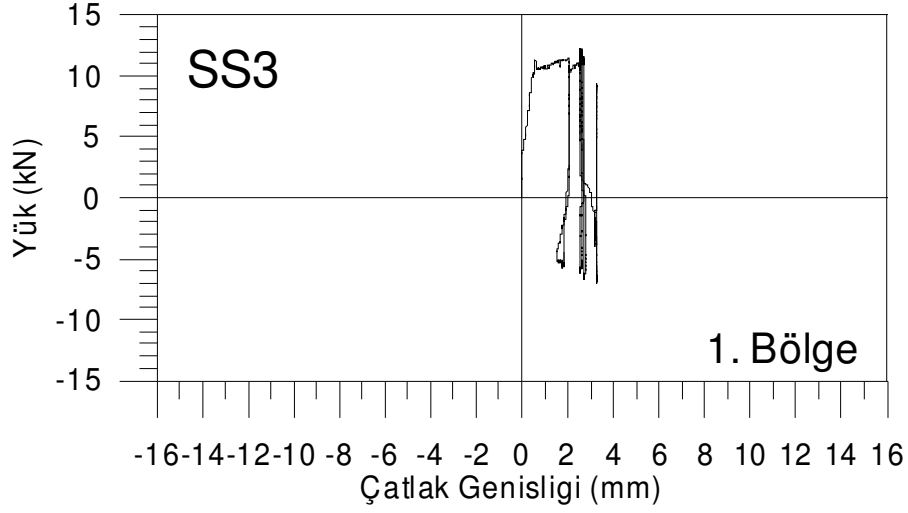
Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



d) RSS2 deney elemanı zayıf yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

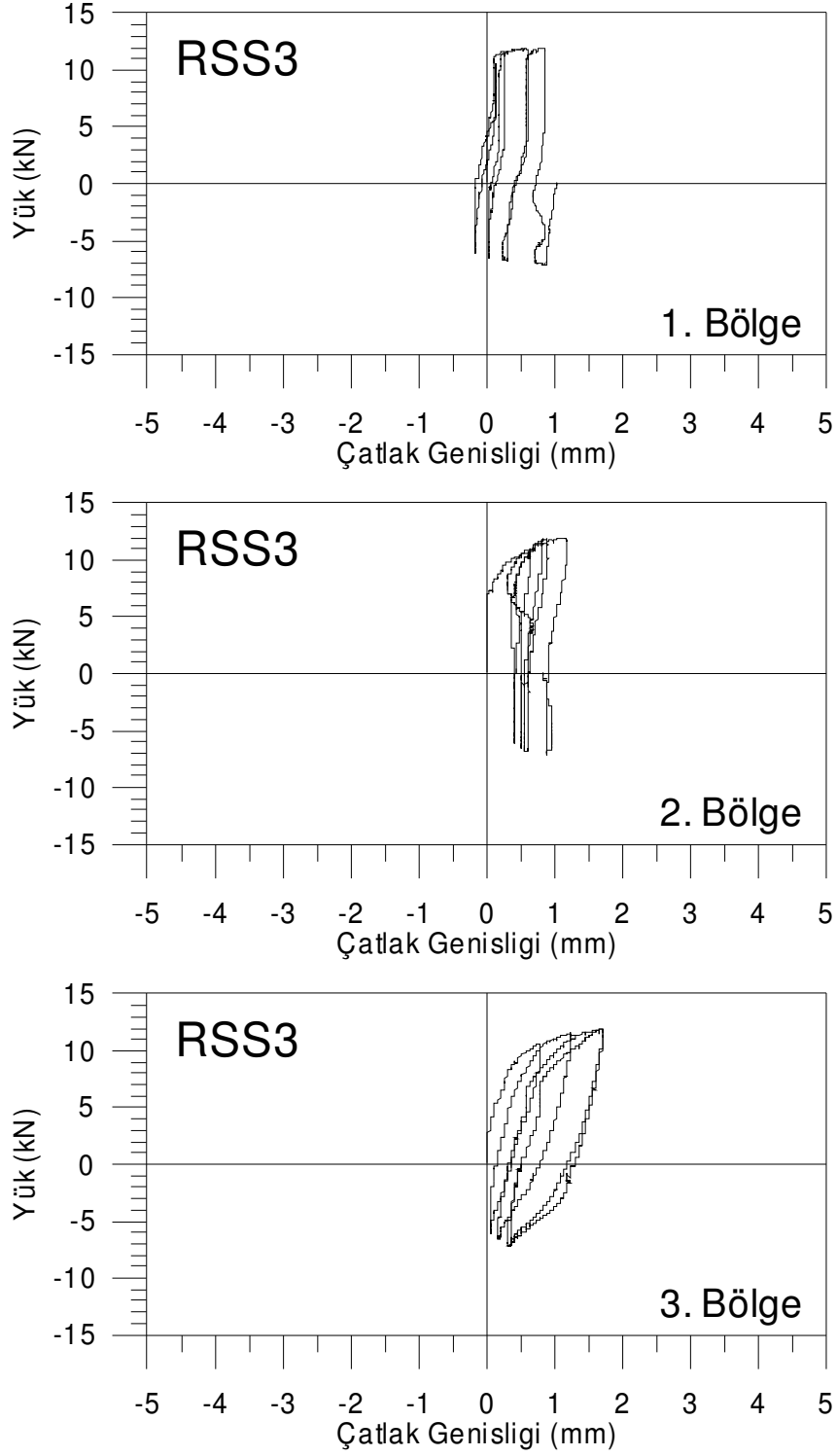
Şekil 2.2. SS2 ve RSS2 deney elemanları yük-çatlak genişliği grafikleri

Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



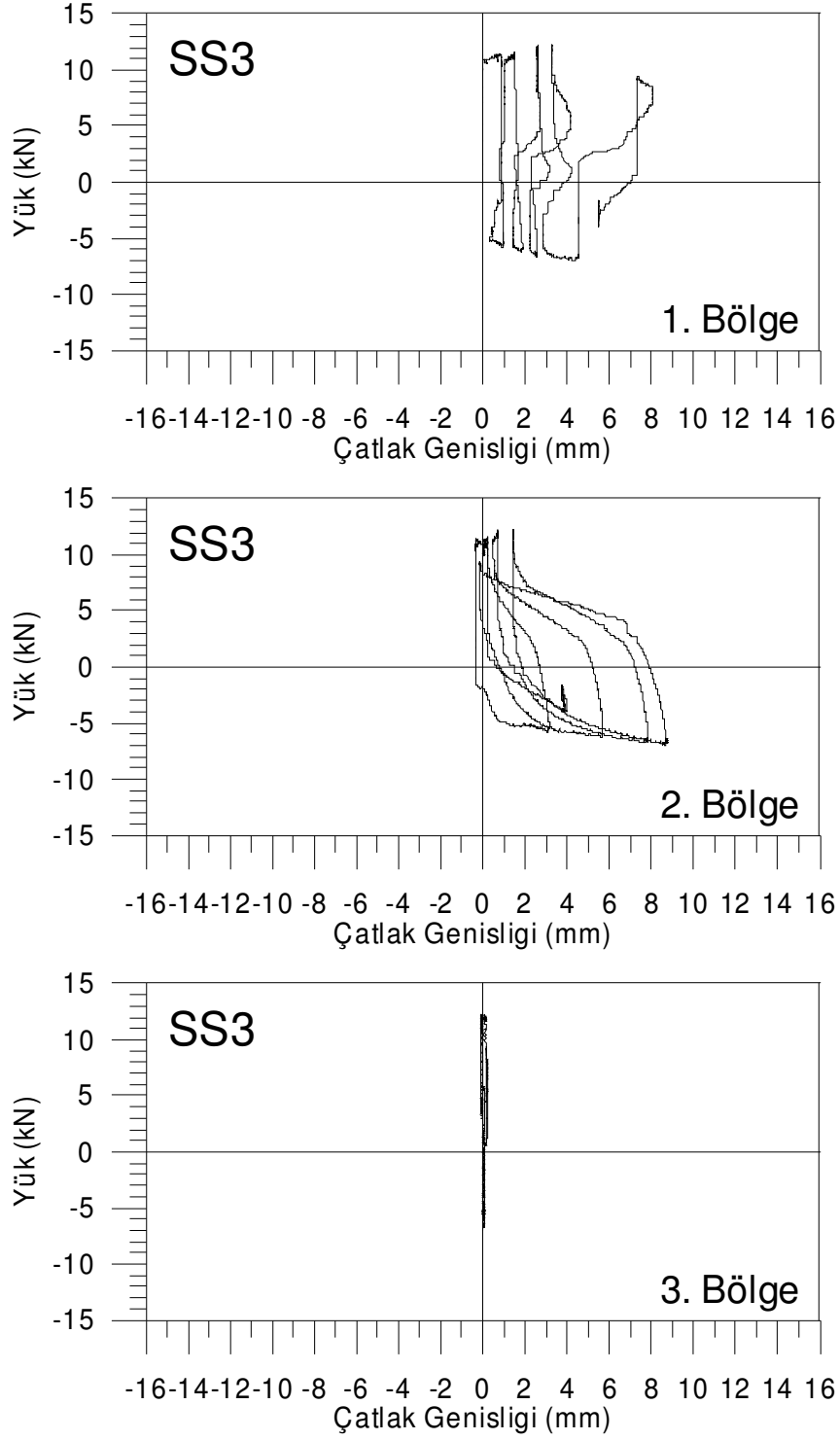
a) SS3 deney elemanı güçlü yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



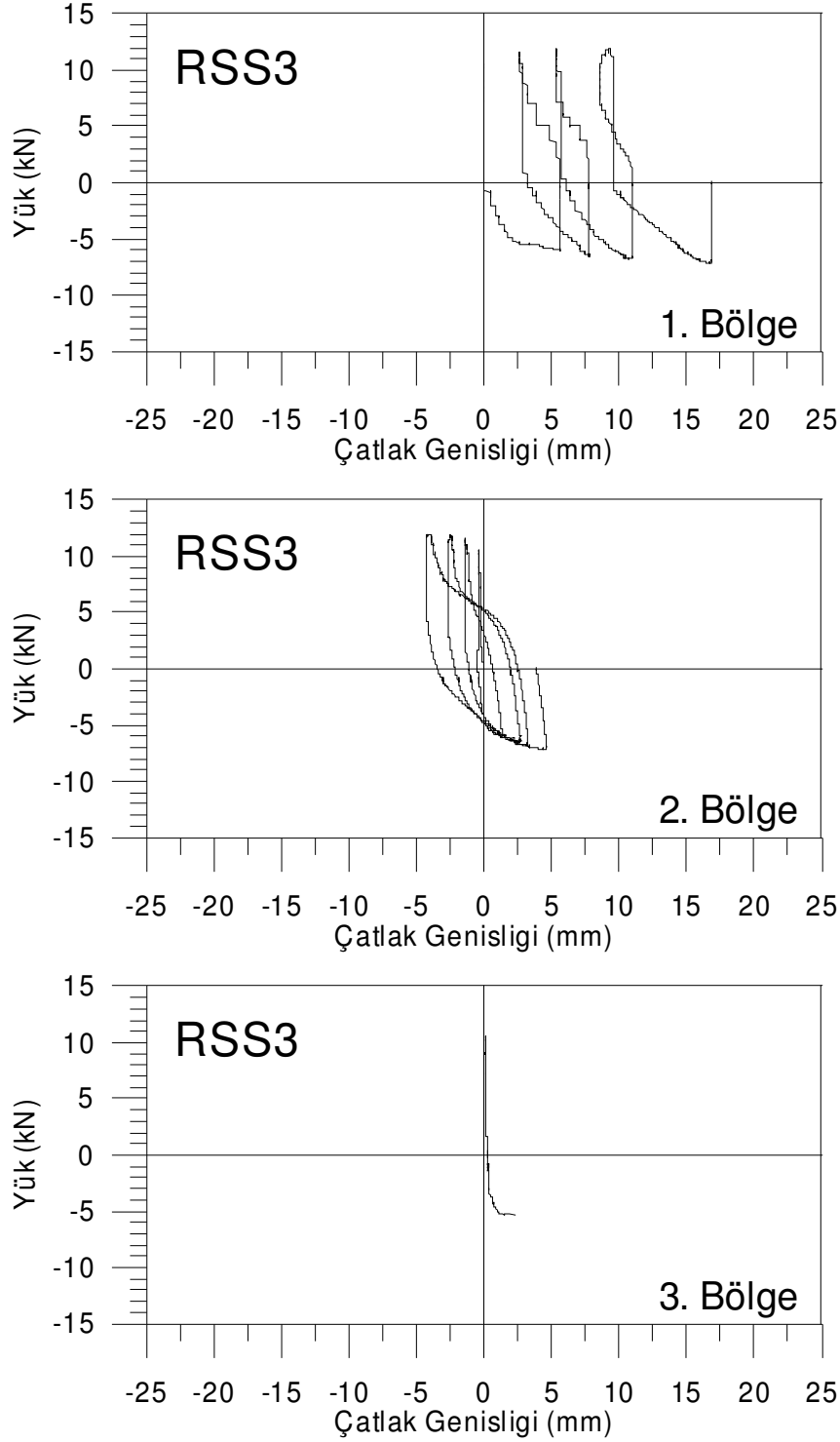
b) RSS3 deney elemanı güçlü yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



c) SS3 deney elemanı zayıf yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

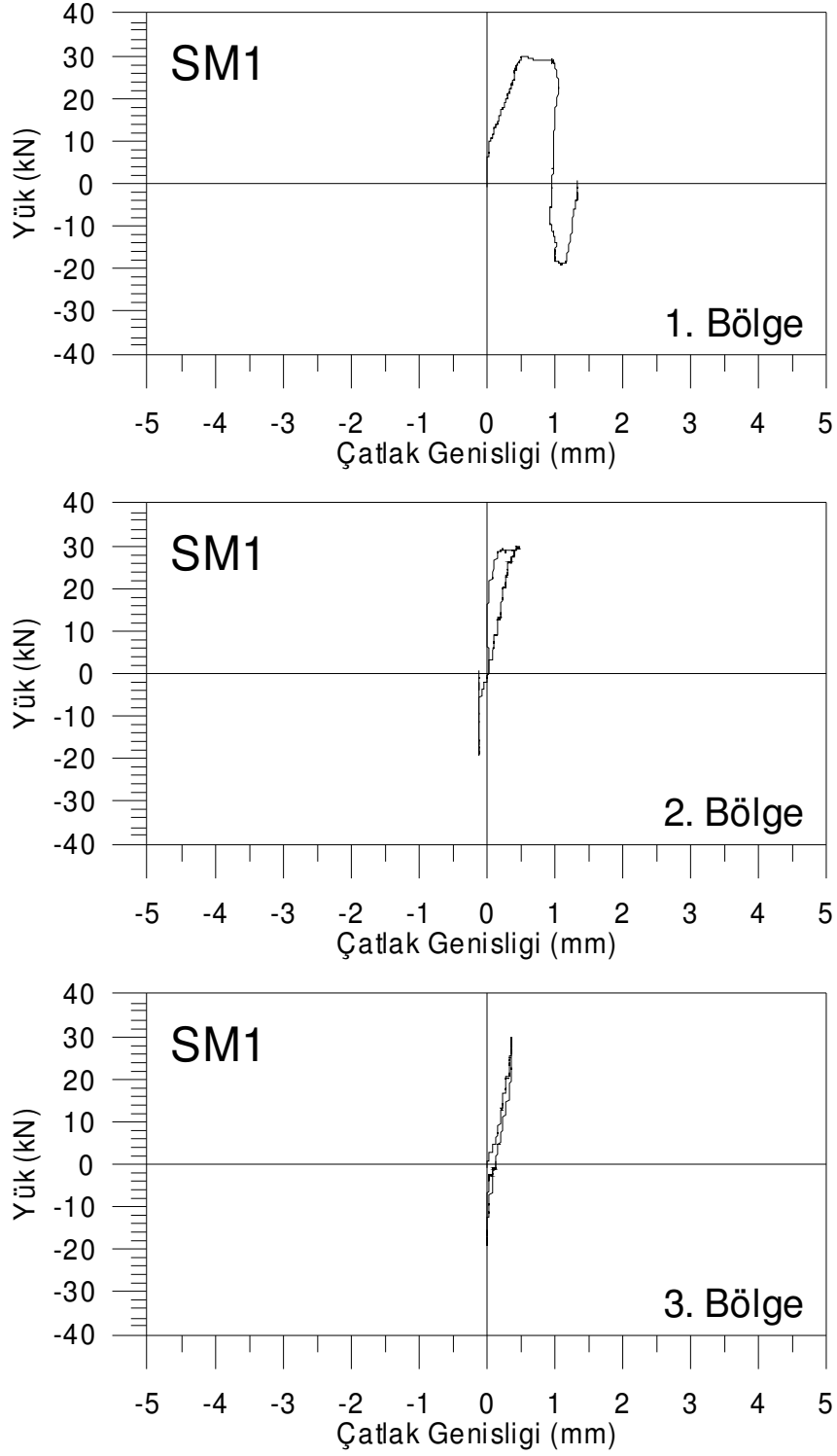
Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



d) RSS3 deney elemanı zayıf yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

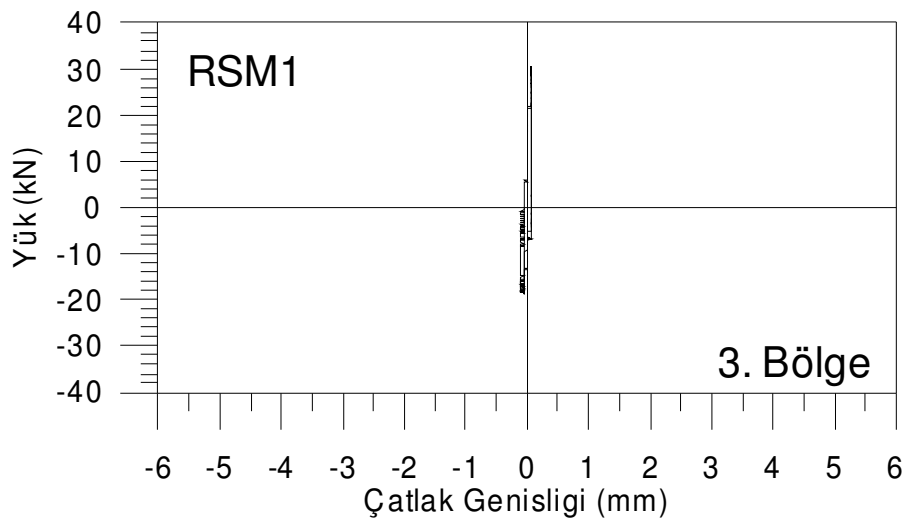
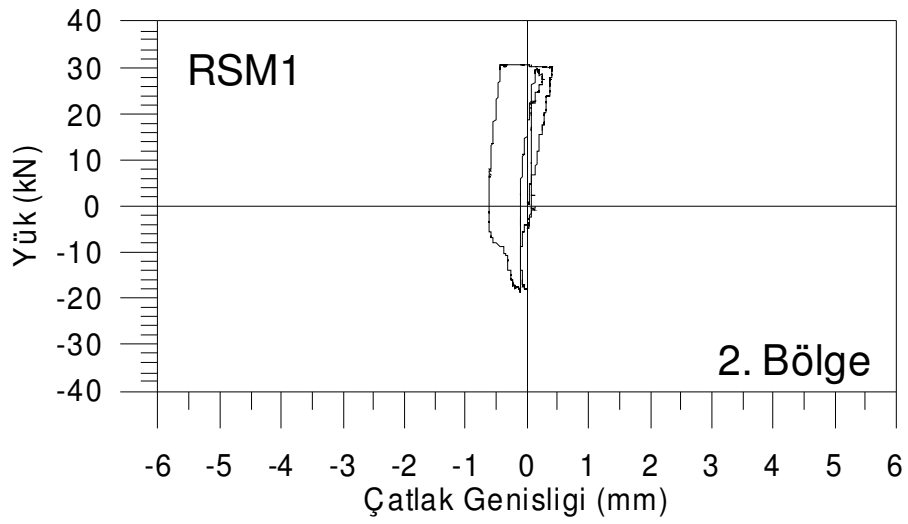
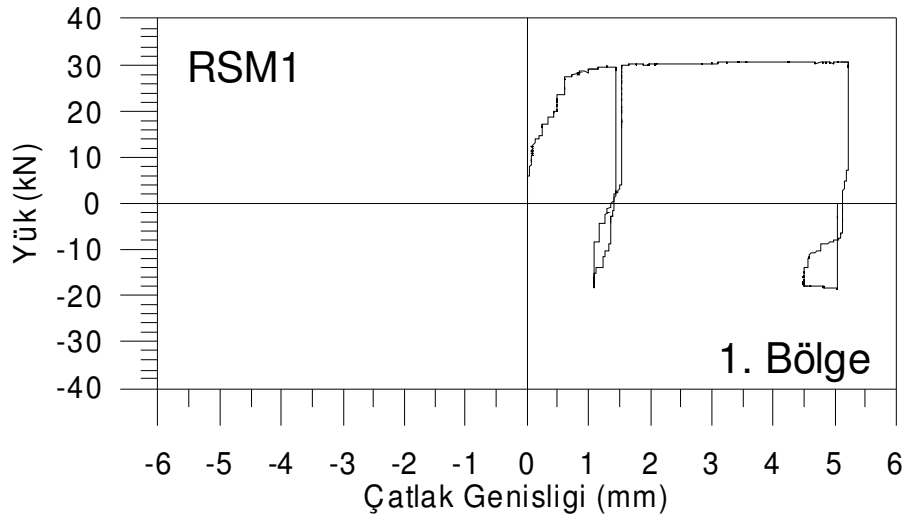
Şekil 2.3. SS3 ve RSS3 deney elemanları yük-çatlak genişliği grafikleri

Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



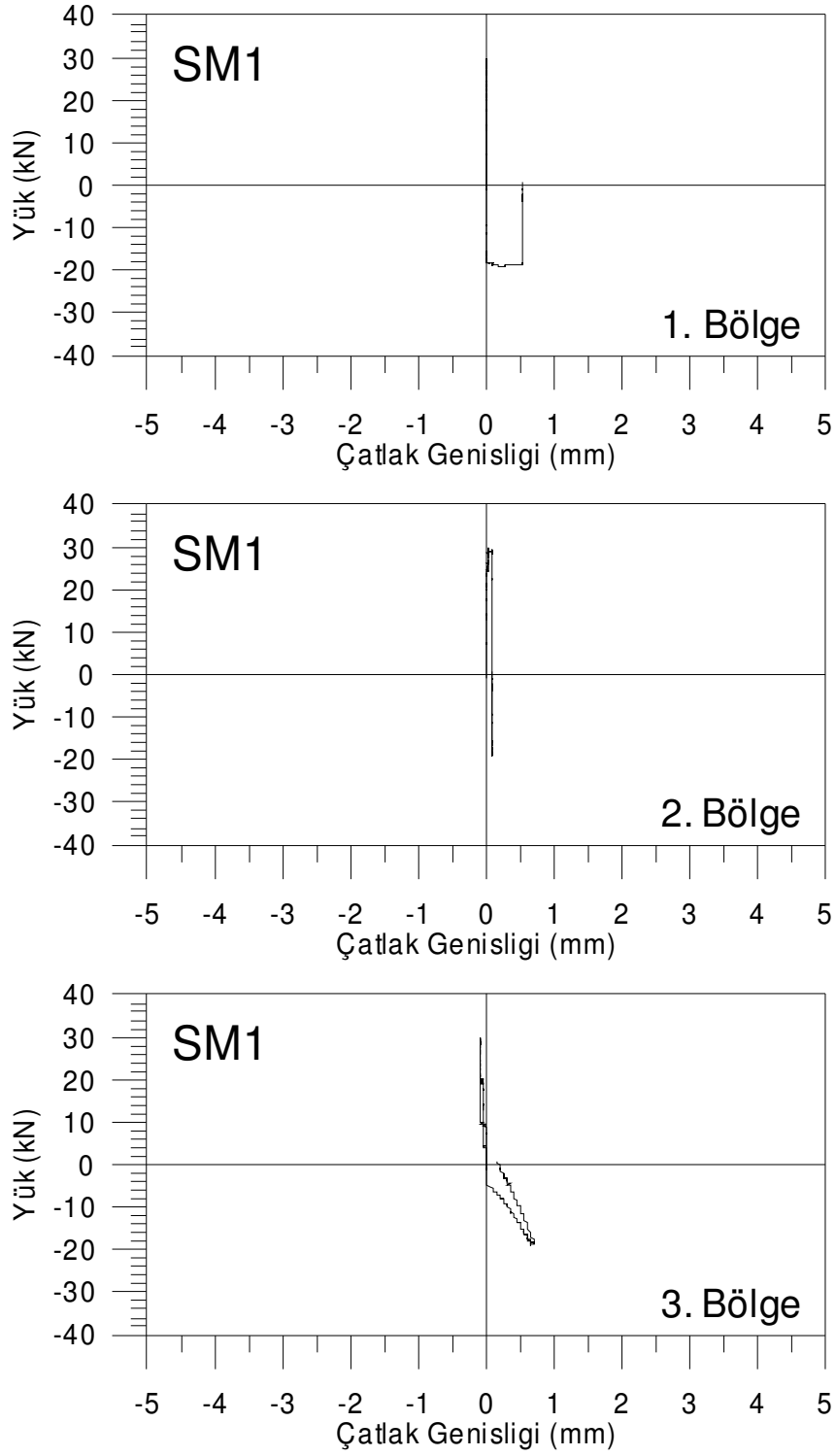
a) SM1 deney elemanı güçlü yönde yk-çatlak genişliği grafikleri

Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



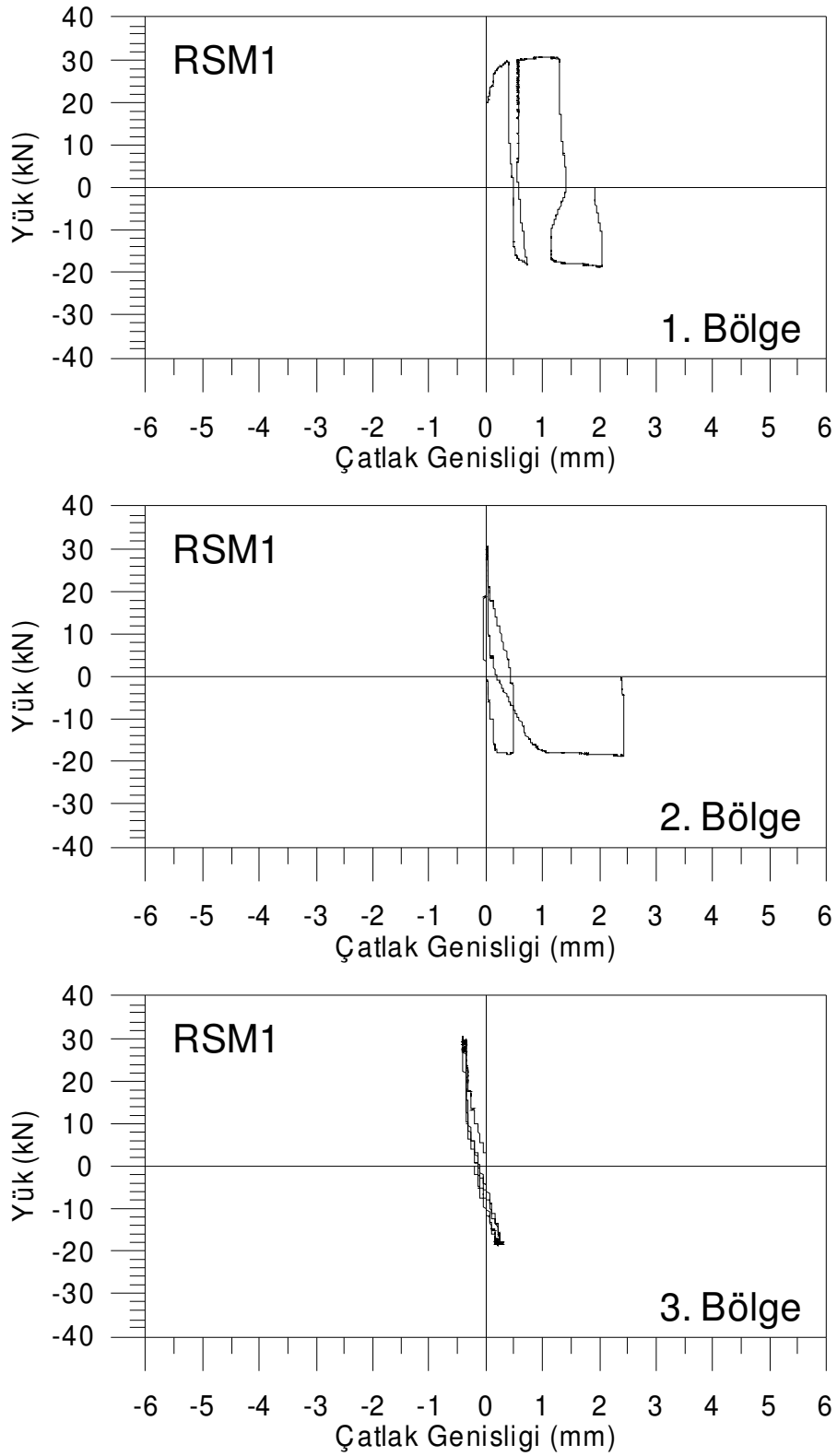
b) RSM1 deney elemanı güçlü yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



c) SM1 deney elemanı zayıf yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

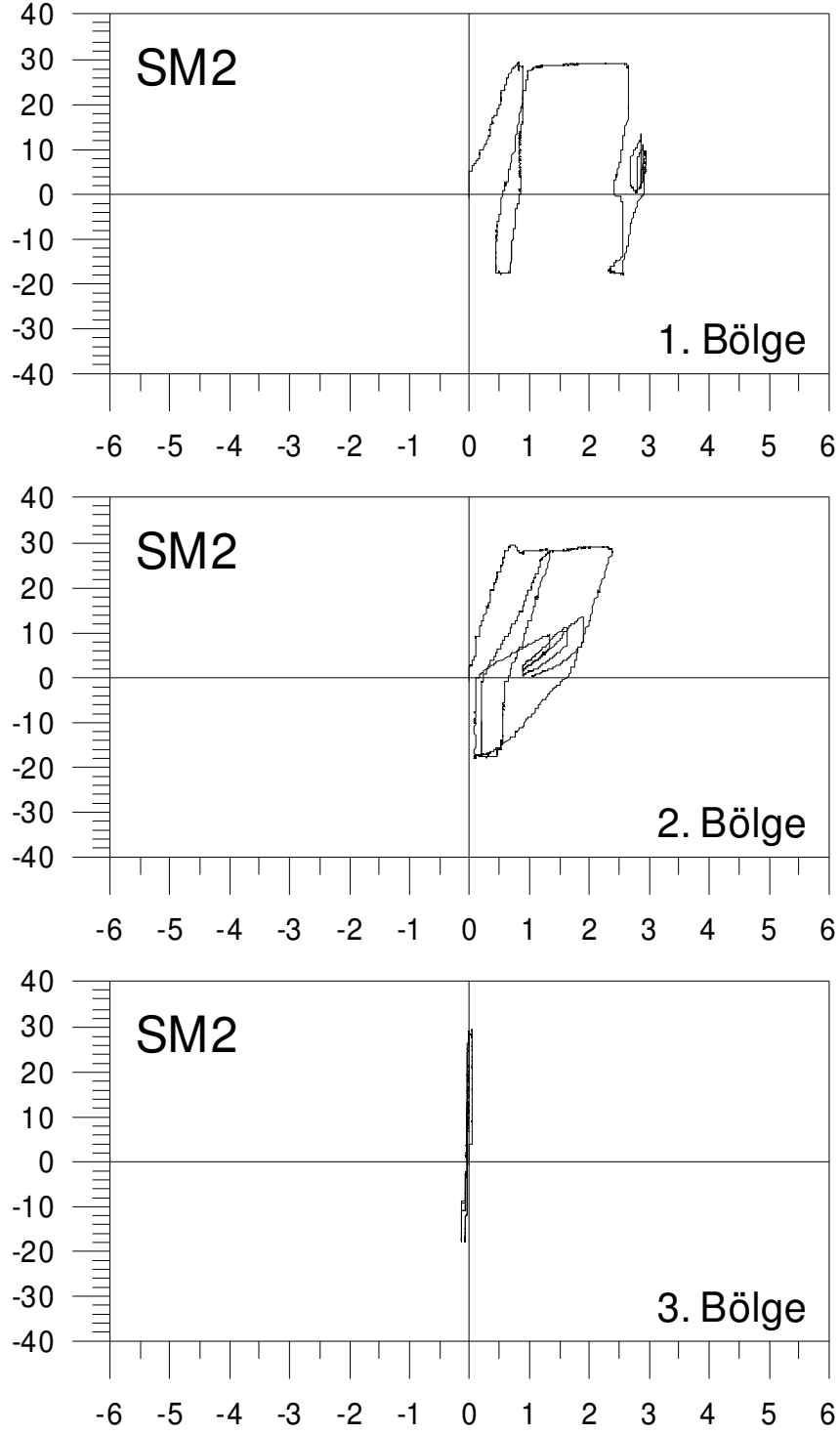
Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



d) RSM1 deney elemanı zayıf yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

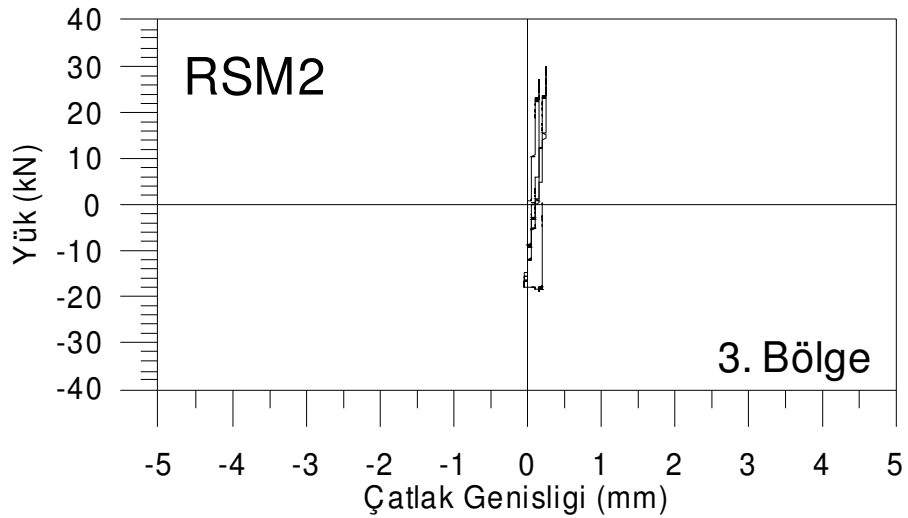
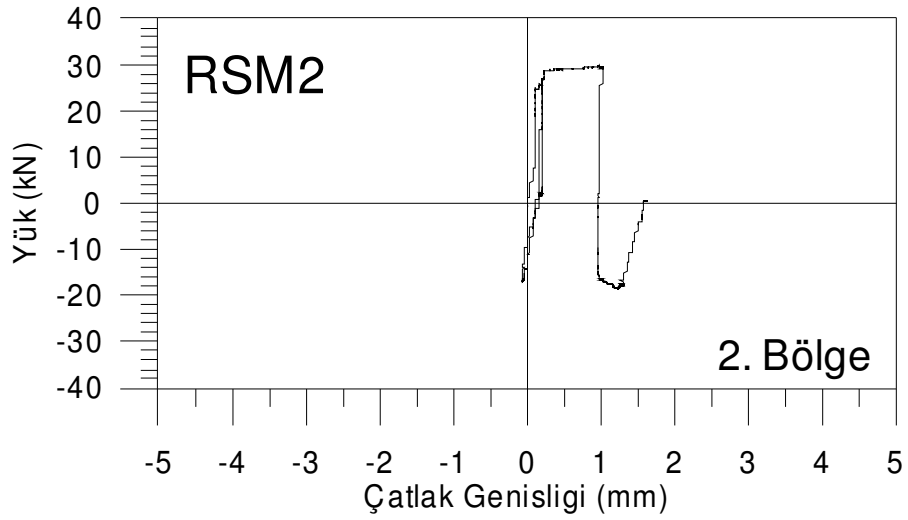
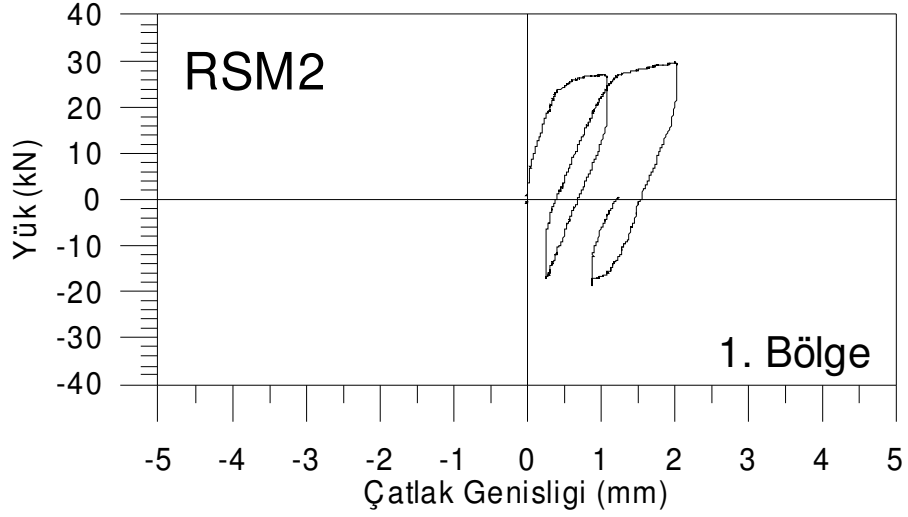
Şekil 2.4. SM1 ve RSM1 deney elemanları yük-çatlak genişliği grafikleri

Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



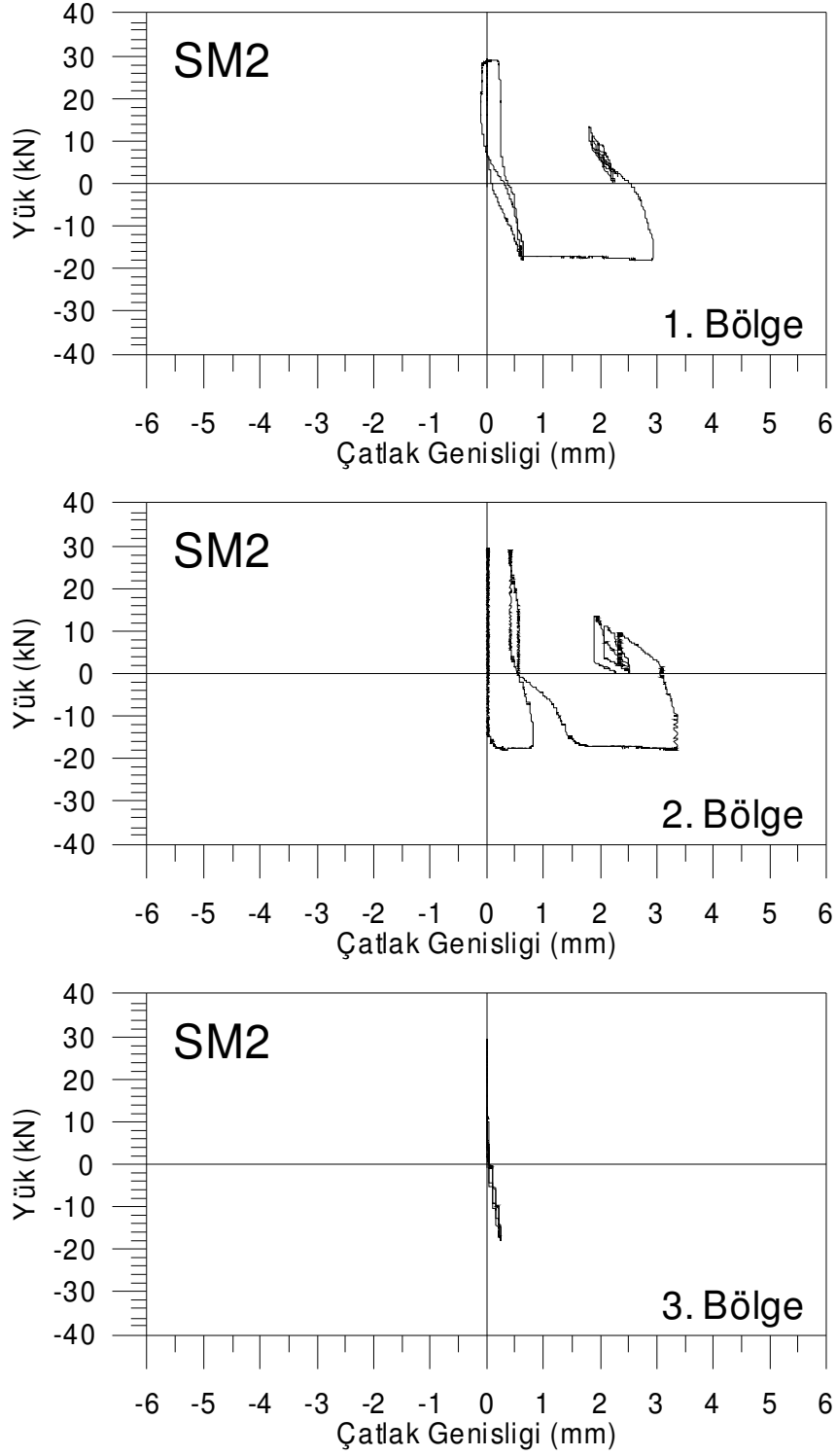
a) SM2 deney elemanı güçlü yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



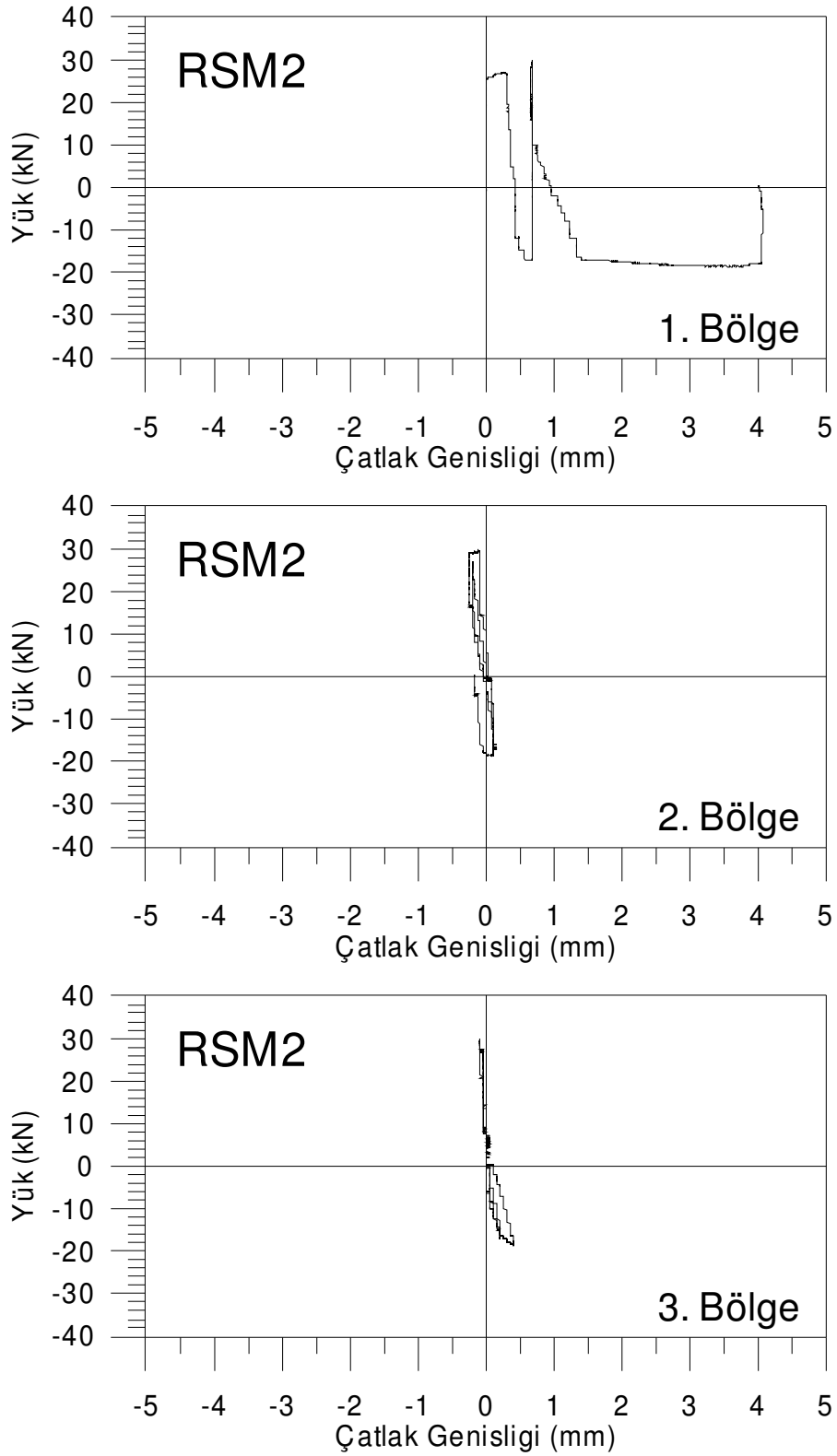
b) RSM2 deney elemanı güçlü yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



c) SM2 deney elemanı zayıf yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

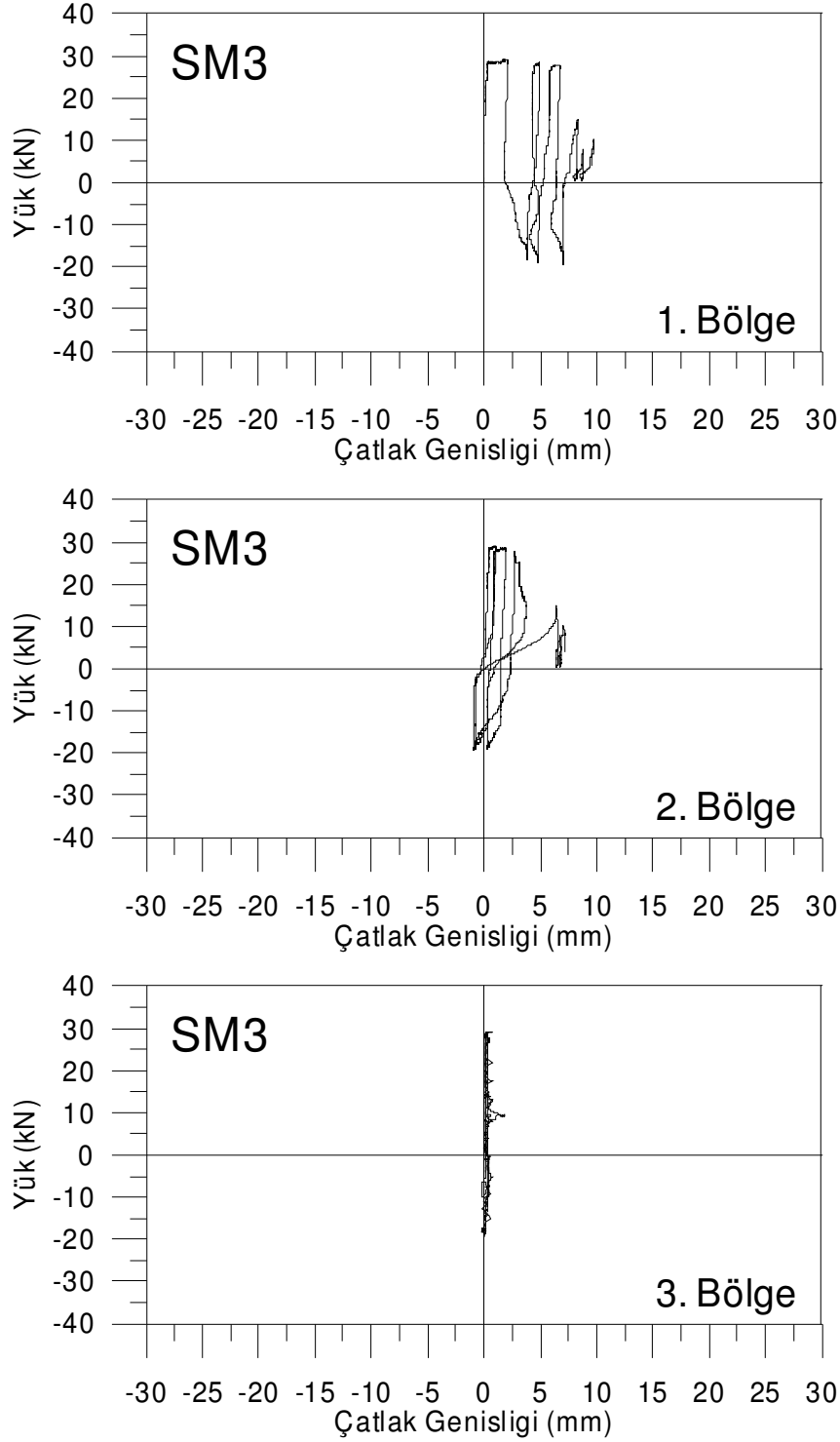
Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



d) RSM2 deney elemanı zayıf yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

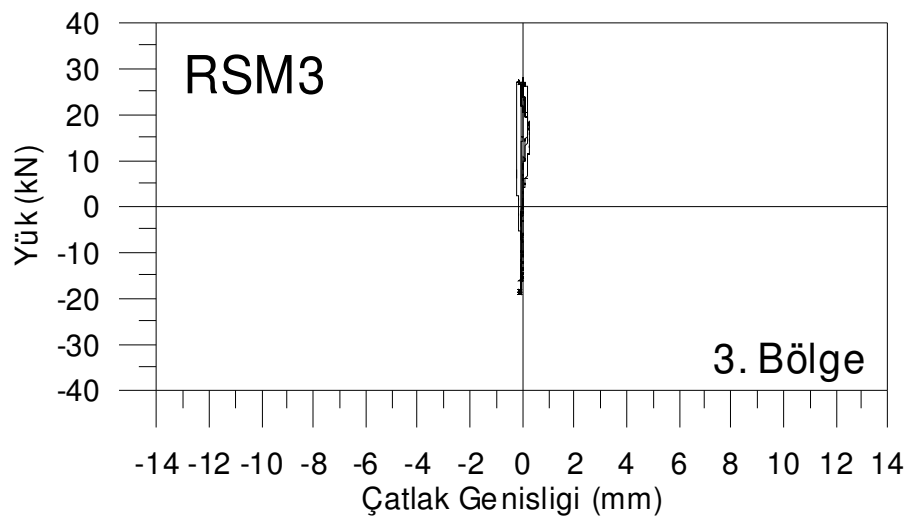
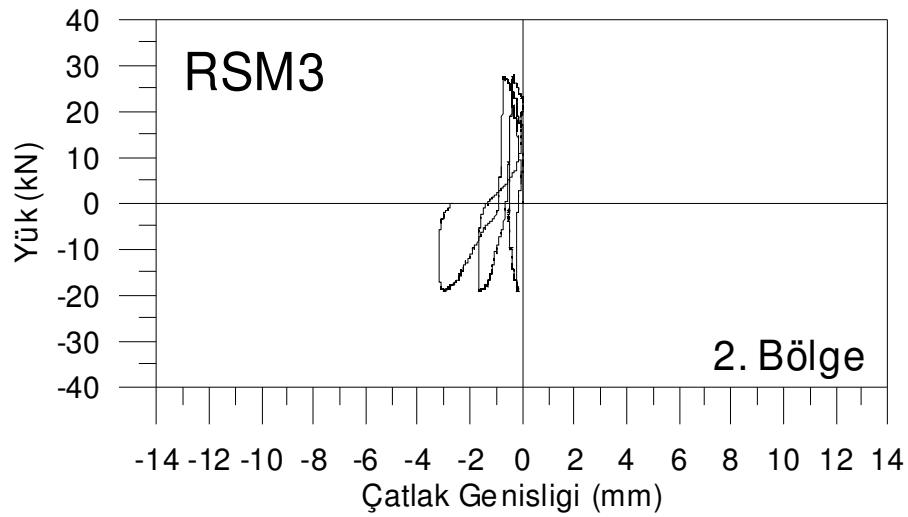
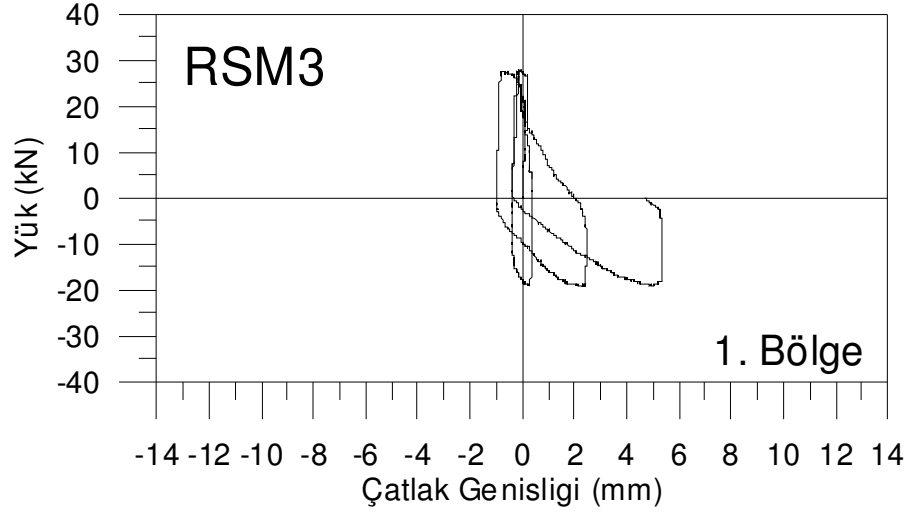
Şekil 2.5. SM2 ve RSM2 deney elemanları yük-çatlak genişliği grafikleri

Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



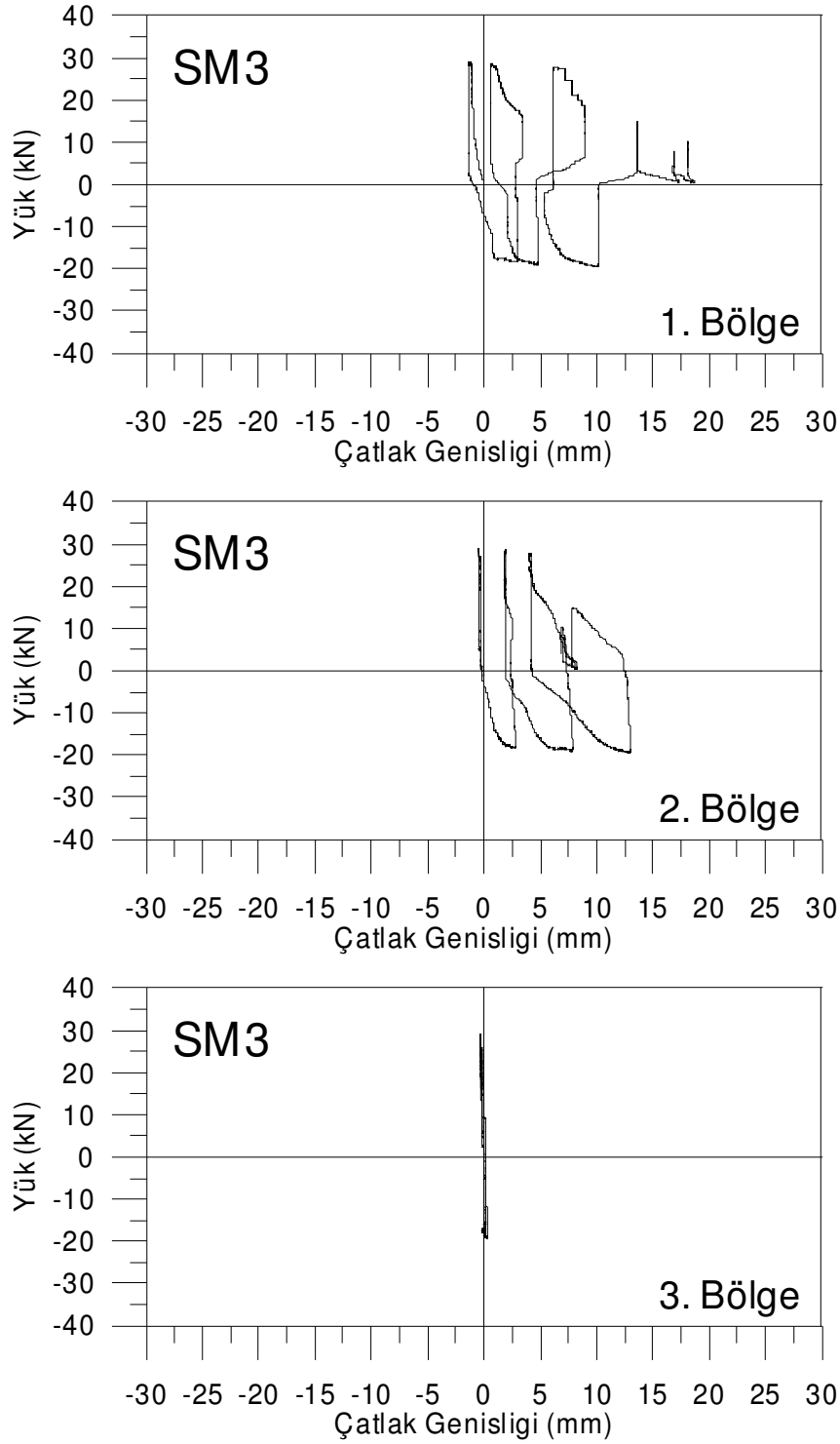
a) SM3 deney elemanı güçlü yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



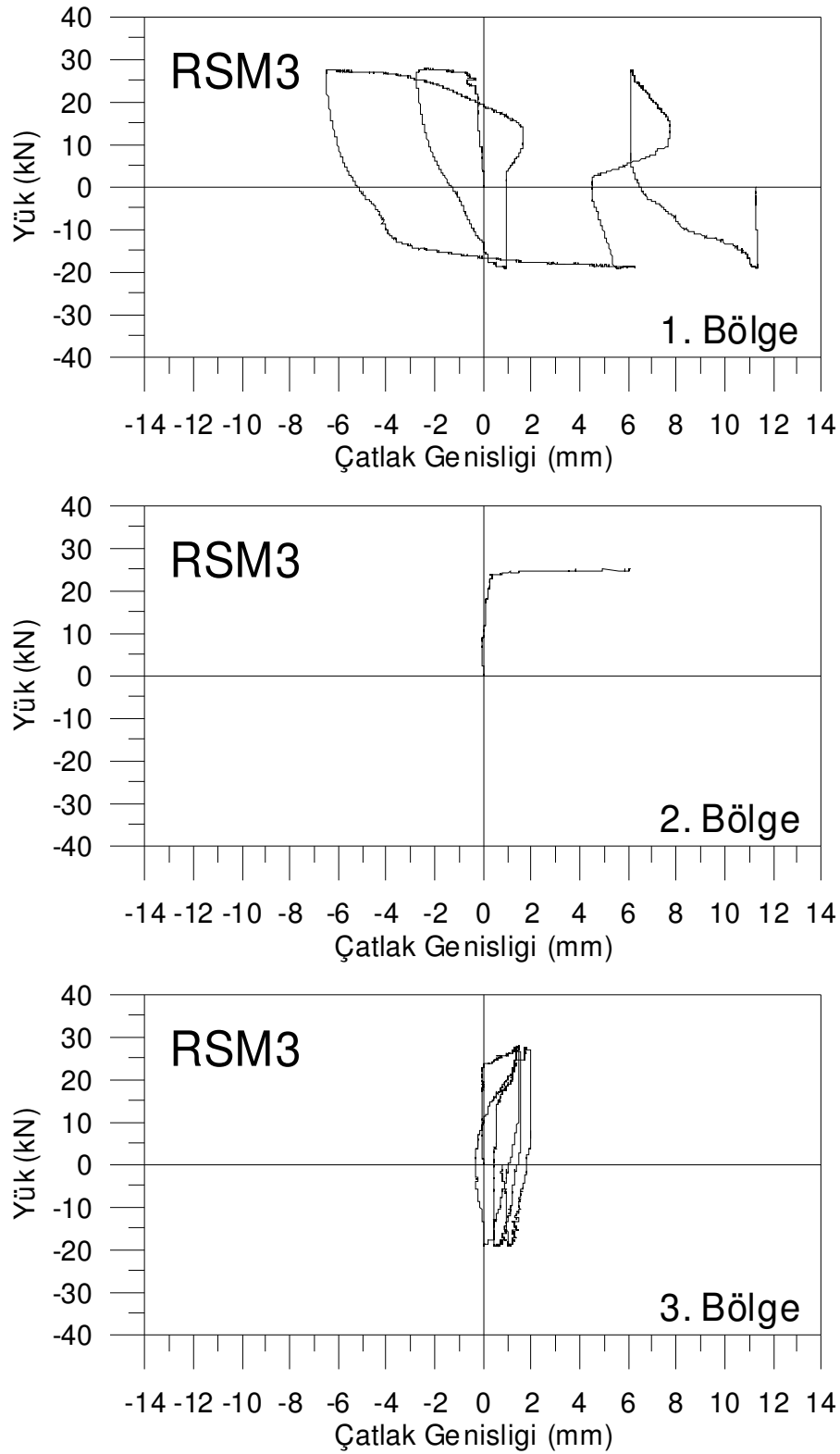
b) RSM3 deney elemanı güçlü yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



c) SM3 deney elemanı zayıf yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

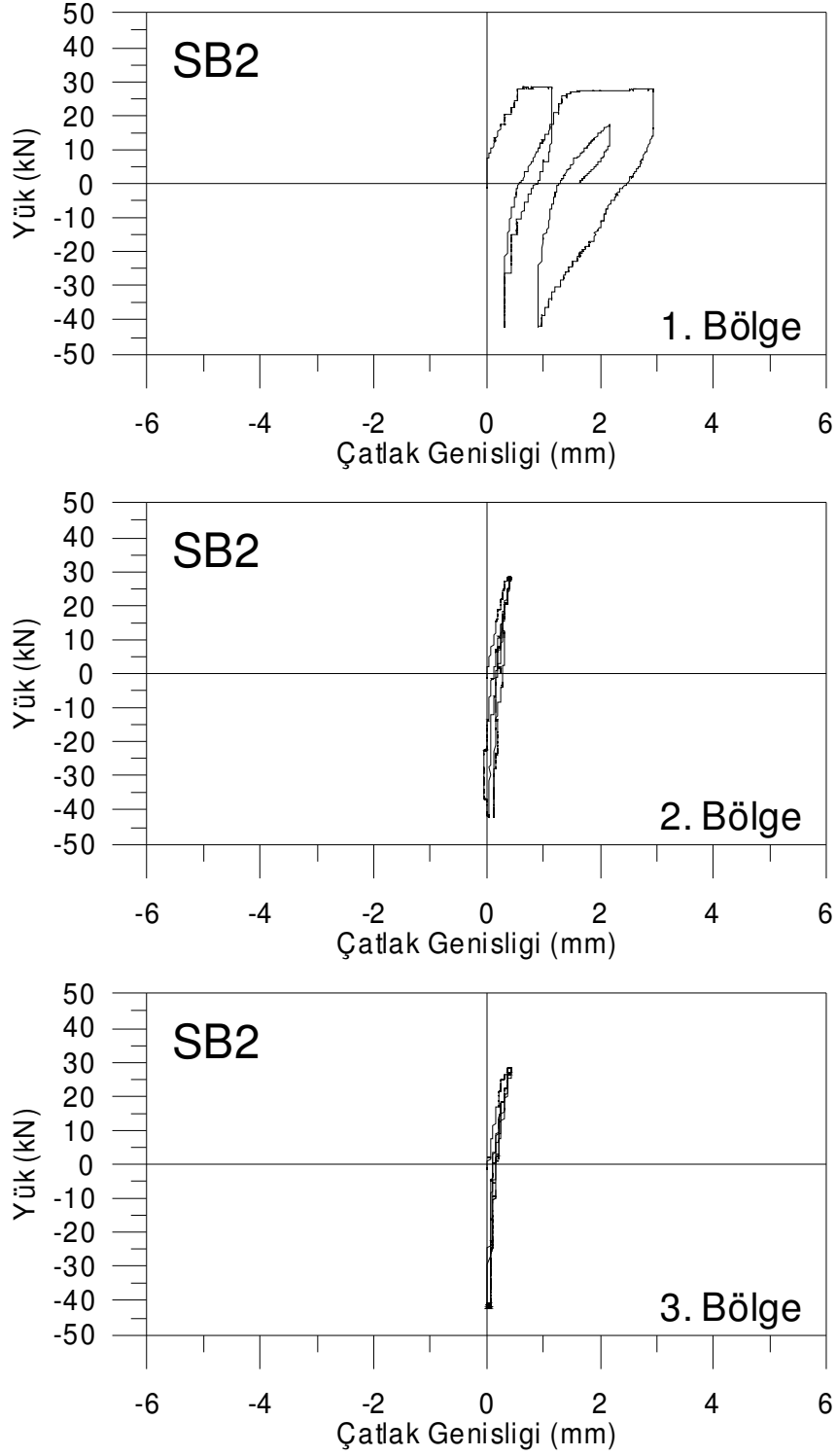
Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



d) RSM3 deney elemanı zayıf yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

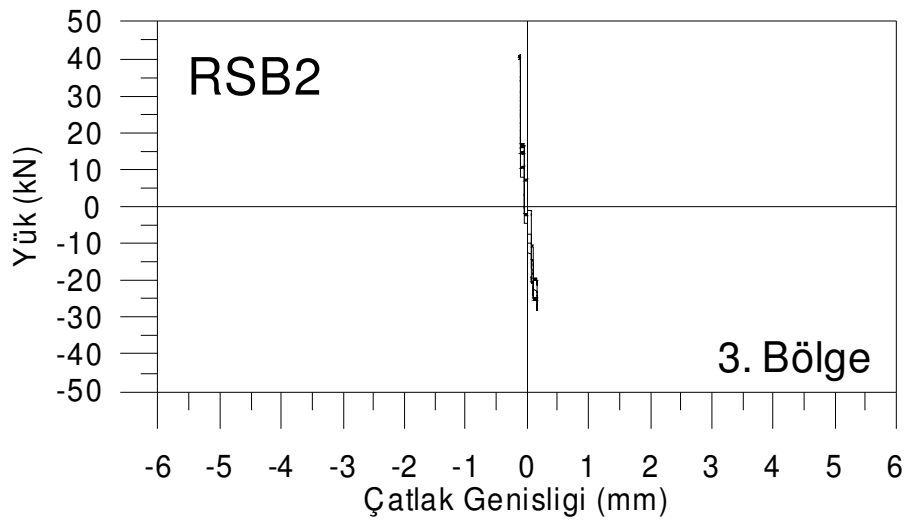
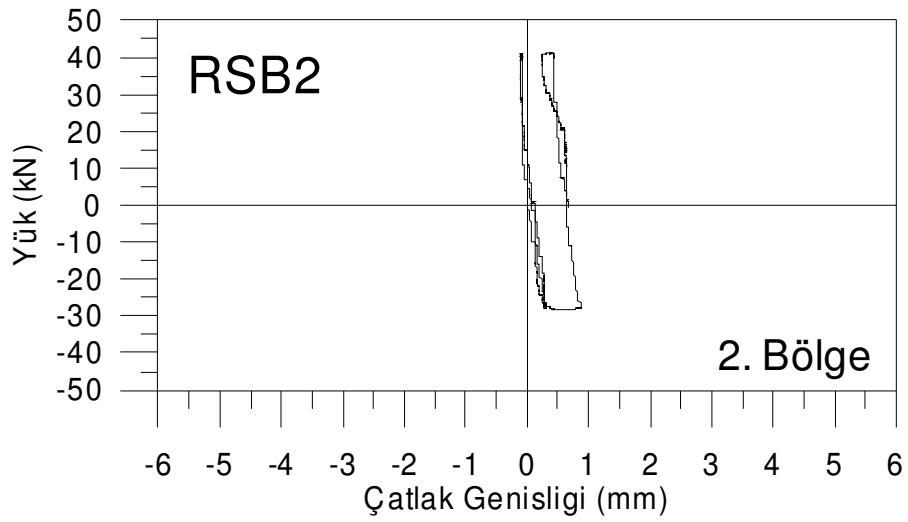
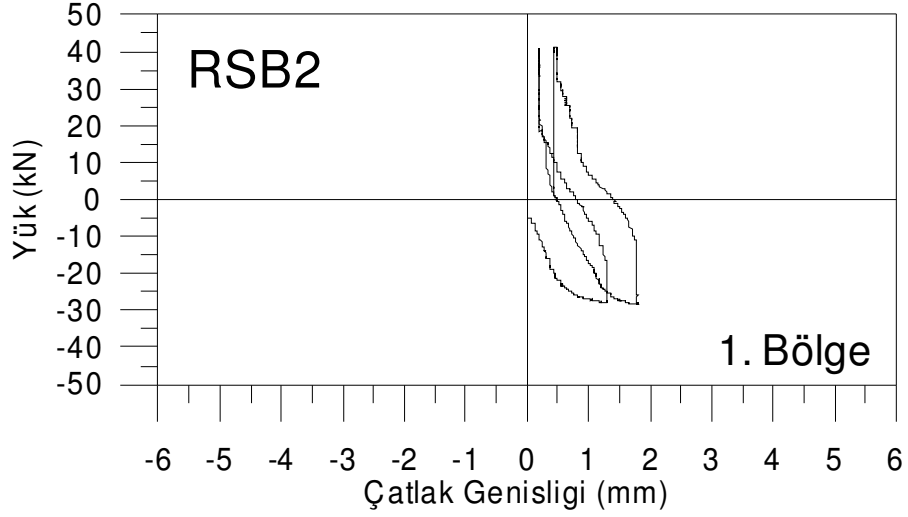
Şekil 2.6. SM3 ve RSM3 deney elemanları yük-çatlak genişliği grafikleri

Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-atlak Genişliği Grafikleri



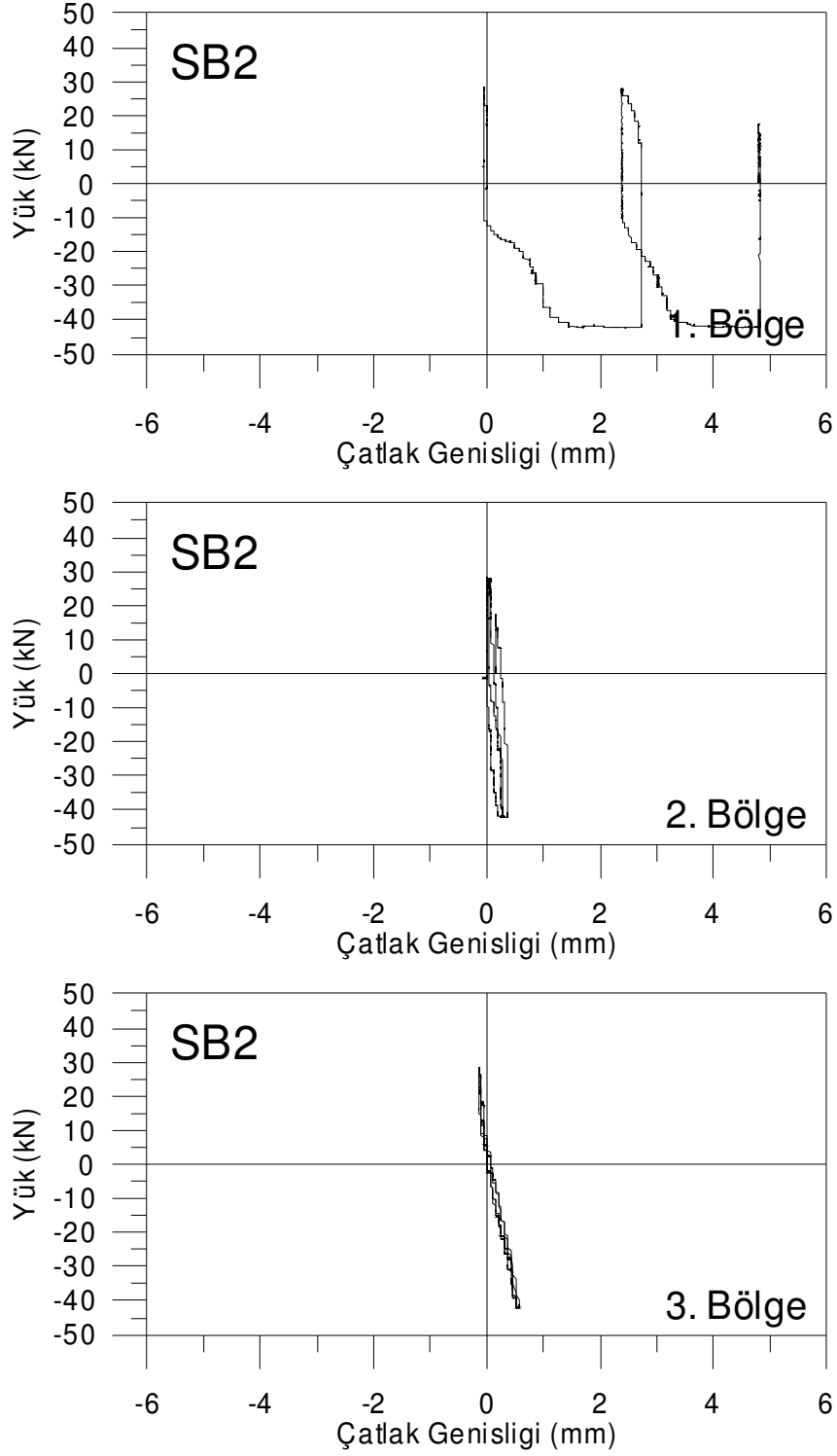
a) SB2 deney elemanı güçlü yönde yk-çatlak genişliği grafikleri

Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



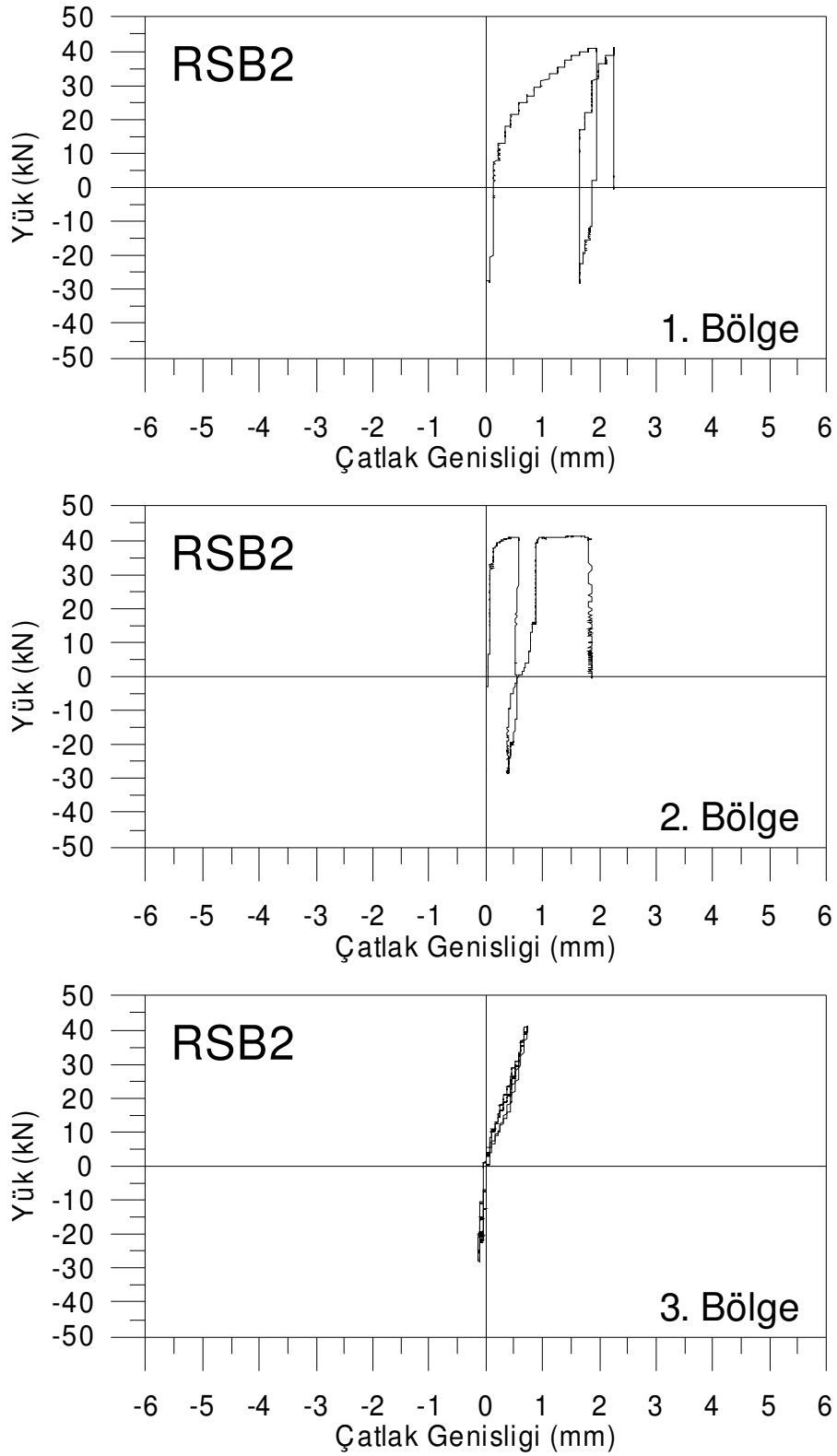
b) RSB2 deney elemanı güçlü yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



c) SB2 deney elemanı zayıf yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

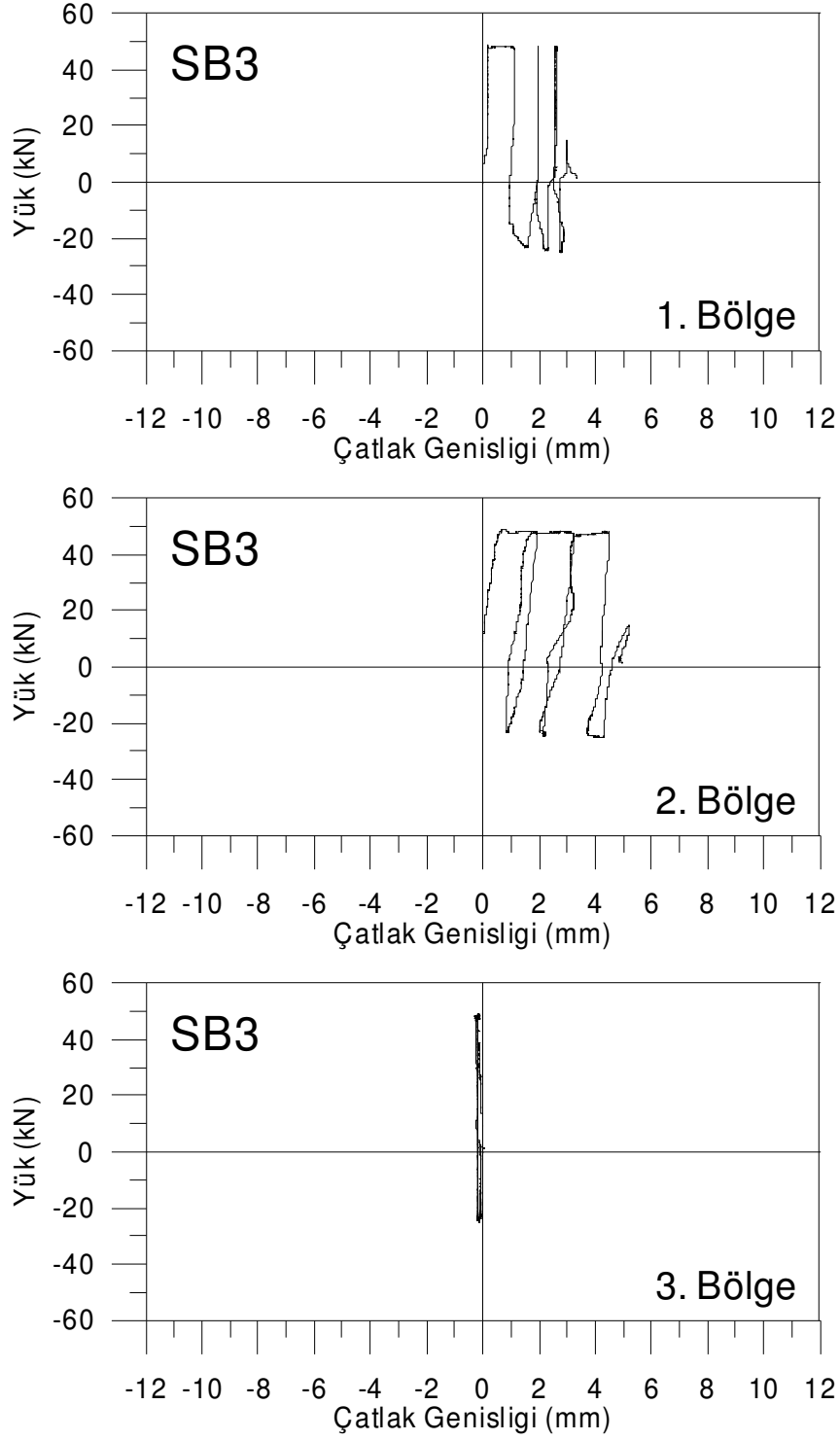
Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



d) RSB2 deney elemanı zayıf yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

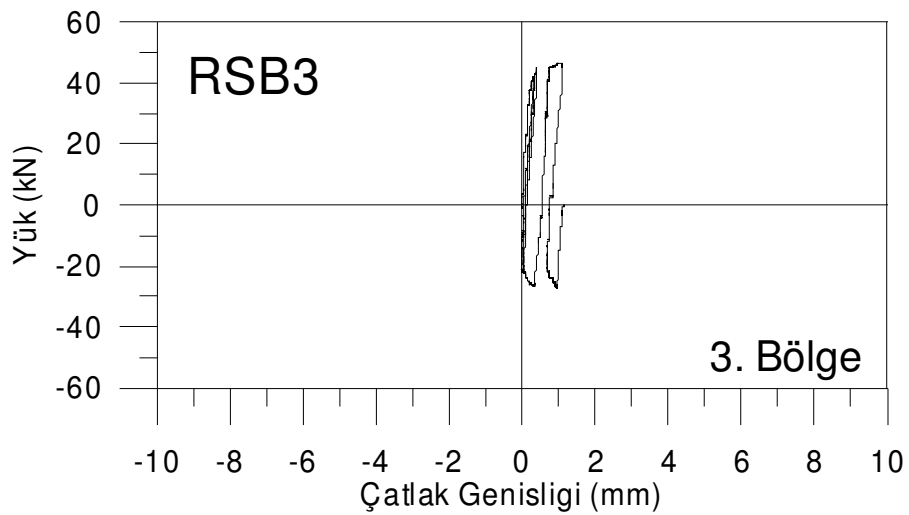
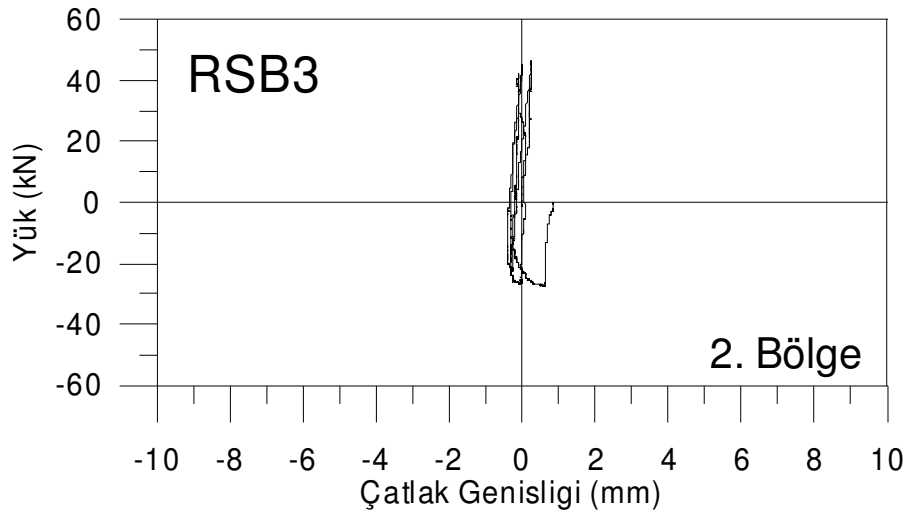
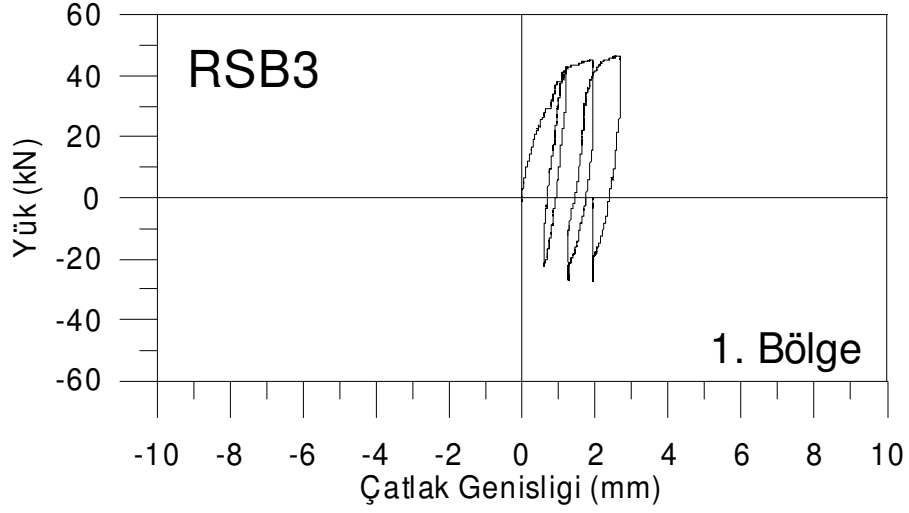
Şekil 2.7. SB2 ve RSB2 deney elemanları yük-çatlak genişliği grafikleri

Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



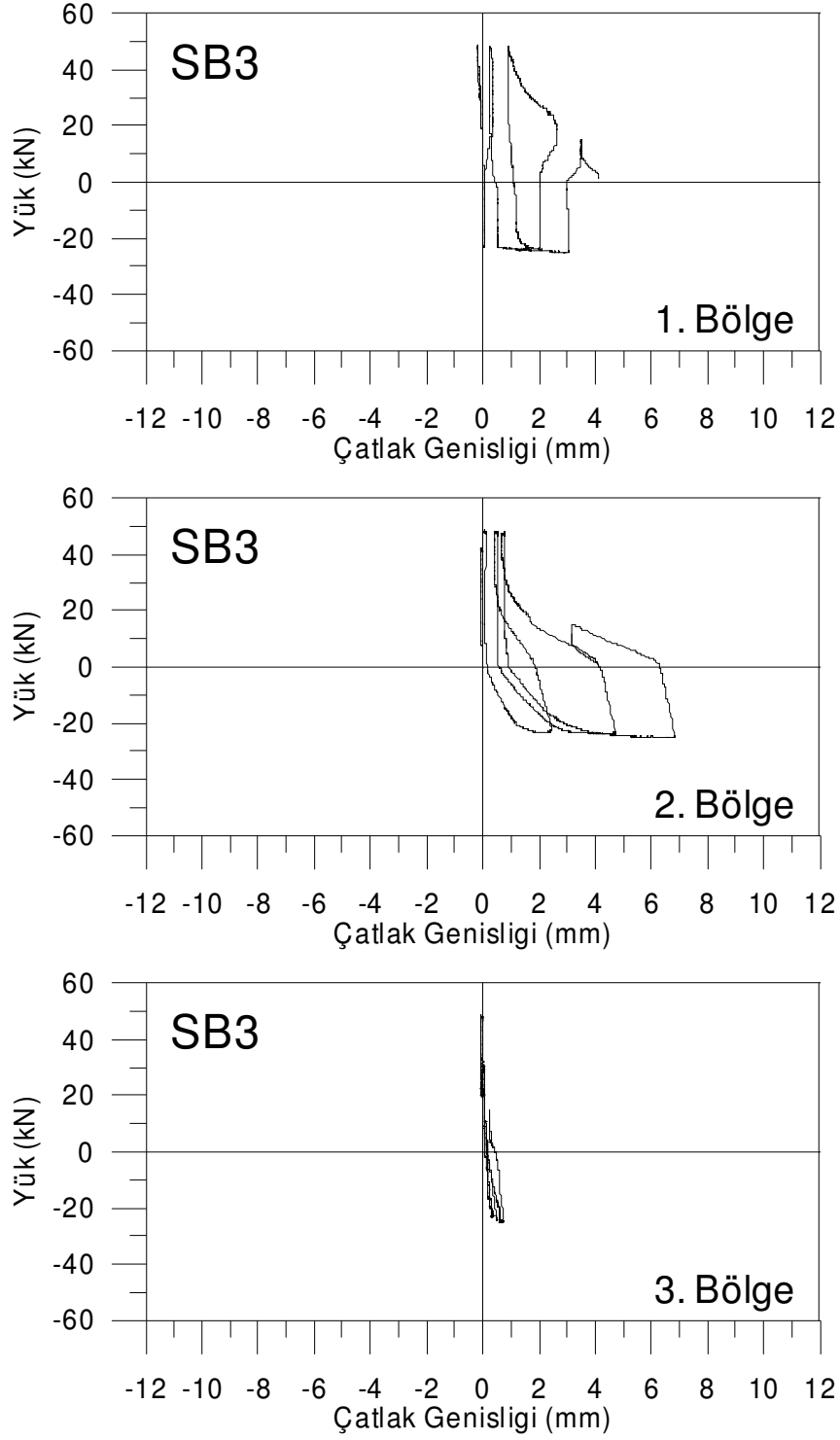
a) SB3 deney elemanı güçlü yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



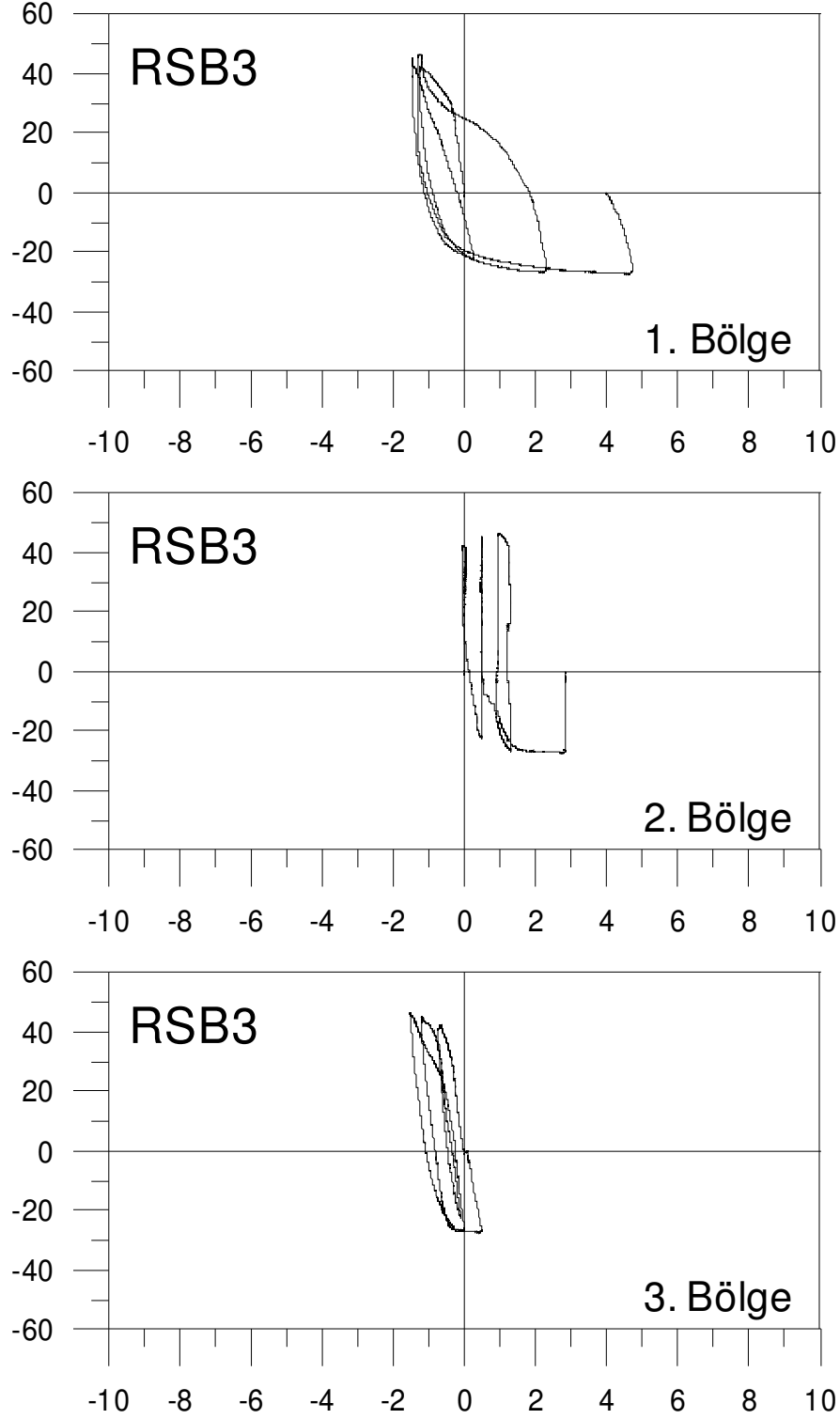
b) RSB3 deney elemanı güçlü yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



c) SB3 deney elemanı zayıf yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

Ek-2. (Devam) Deney Elemanlarına Ait Yük-Çatlak Genişliği Grafikleri



d) RSB3 deney elemanı zayıf yönde yük-çatlak genişliği grafikleri

Şekil 2.8. SB3 ve RSB3 deney elemanları yük-çatlak genişliği grafikleri

Ek-3. Deney Elemanlarına Ait Fotoğraflar



Resim 3.1. Elemanların üretildiği sac kalıp

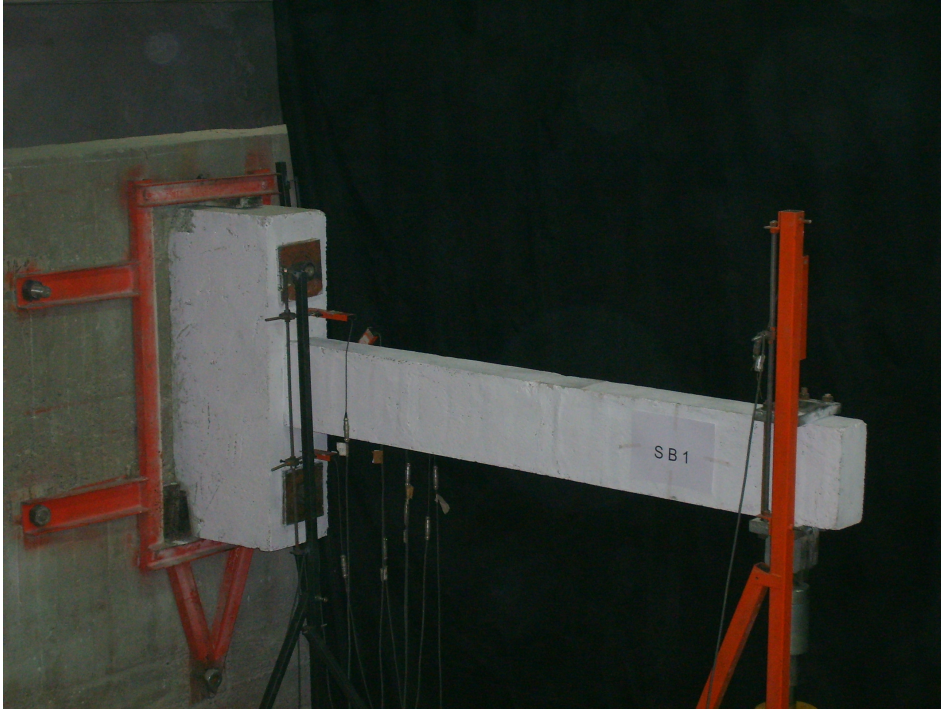


Resim 3.2. Elemanların donatıları hazırlanması

Ek-3. (Devam)Deney Elemanlarına Ait Fotoğraflar

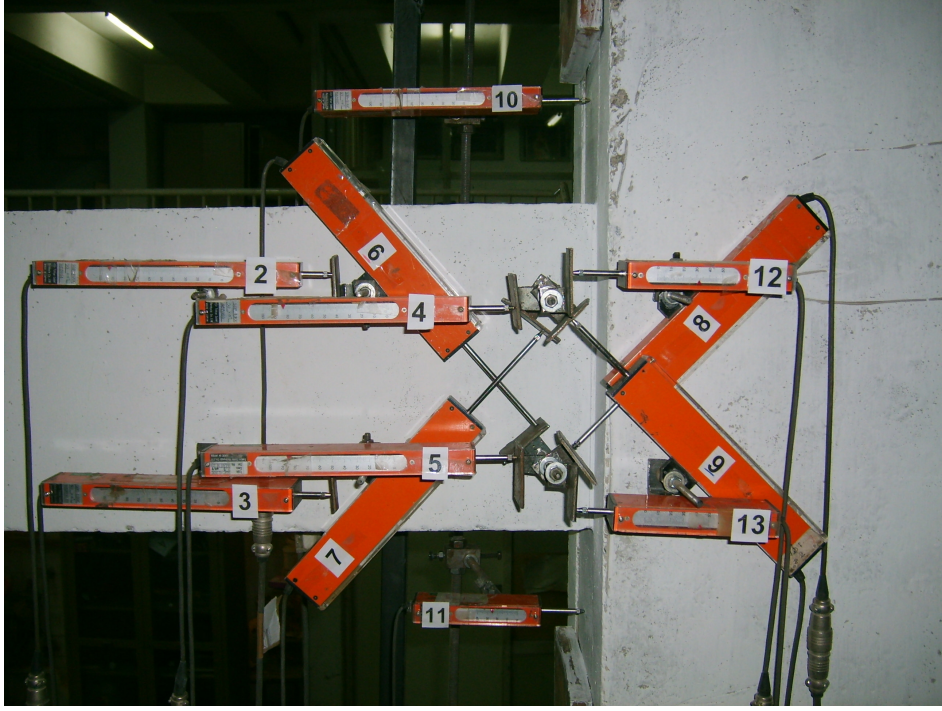


Resim 3.3. Beton dökülmesi

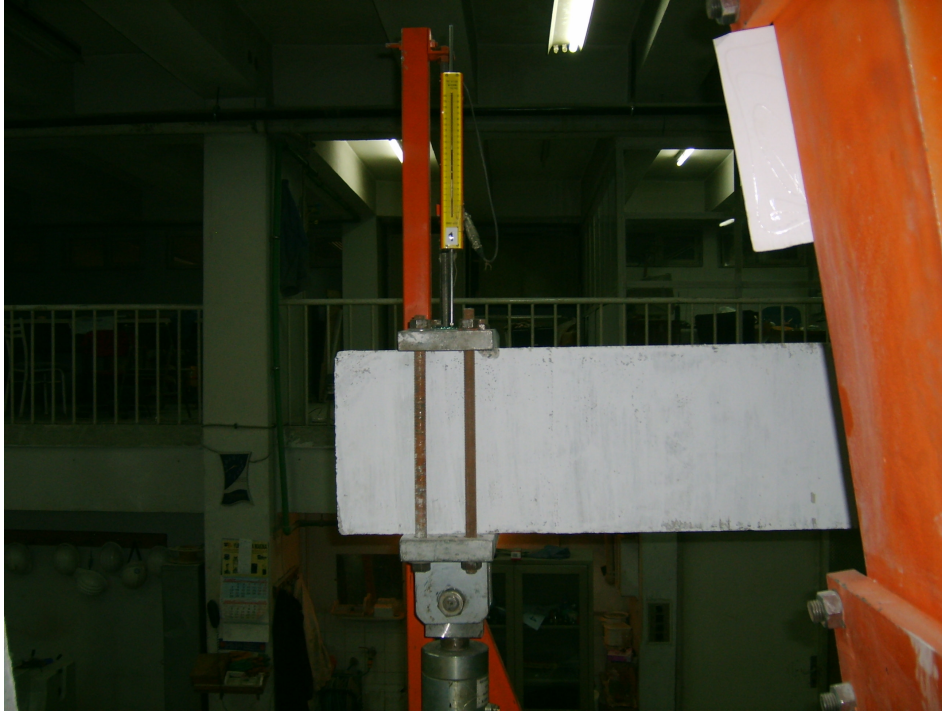


Resim 3.4. SB1 deney elemanı

Ek-3. (Devam)Deney Elemanlarına Ait Fotoğraflar



Resim 3.5. Ölçüm düzeni



Resim 3.6. Ölçüm düzeni

Ek-3. (Devam)Deney Elemanlarına Ait Fotoğraflar



Resim 3.7. SS3 deney elemanı



Resim 3.8. SS2 deney elemanı

Ek-3. (Devam)Deney Elemanlarına Ait Fotoğraflar



Resim 3.9. Epoksinin hazırlanışı



Resim 3.10. Enjeksiyon plakalarının yerleştirilmesi

Ek-3. (Devam)Deney Elemanlarına Ait Fotoğraflar



Resim 3.11. Epoksi enjeksiyonu



Resim 3.12. RSS3 deney elemanı

Ek-3. (Devam)Deney Elemanlarına Ait Fotoğraflar



Resim 3.13. RSM1 deney elemanı



Resim 3.14. RSS3 deney elemanı deney sonrası

Ek-3. (Devam)Deney Elemanlarına Ait Fotoğraflar



Resim 3.15. RSM2 deney elemanı deney sonrası



Resim 3.16. RSM3 deney elemanı deney sonrası

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YAVUZCAN, Altan
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 22.04.1982, Ankara
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 362 18 47
 e-mail : yavuzcanaltan@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /İnşaat Müh.	2008
Lisans	Gazi Üniversitesi/ İnşaat Müh.	2005
Lise	Çankaya Milli Piyango Anadolu Lisesi	2000

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005 -	Temelsu A.Ş.	Proje Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce (iyi seviyede)
 Almanca (orta seviyede)

Hobiler

Basketbol, Fitness, Bilgisayar teknolojileri, Otomobil