

**BOŞLUKLU TEK DOĞRULTULU BETONARME
DÖŞEMELERİN CFRP ŞERİTLERLE GÜÇLENDİRİLMESİ**

Onur ARSLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2012
ANKARA**

Onur ARSLAN tarafından hazırlanan “ BOŞLUKLU TEK DOĞRULTULU
BETONARME DÖŞEMELERİN CFRP ŞERİTLERLE GÜÇLENDİRİLMESİ ”
adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Özgür ANIL

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. Tekin GÜLTOP

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

.....

Doç. Dr. Özgür ANIL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

.....

Prof. Dr. Barış BİNİCİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, ODTÜ

.....

Tarih: 22/06/2012

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

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

.....

TEZ BİLDİRİMİ

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

Onur ARSLAN

**BOŞLUKLU TEK DOĞRULTULU BETONARME DÖŞEMELERİN CFRP
ŞERİTLERLE GÜÇLENDİRİLMESİ**
(Yüksek Lisans tezi)

Onur ARSLAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2012

ÖZET

Tez çalışması kapsamında boşluklu tek doğrultulu betonarme döşemelerin eğilme davranışı ve CFRP şeritler ile güçlendirilmesi incelenmiştir. Çalışma kapsamında incelenen değişkenler boşluk büyüklüğü ve yeridir. 3 farklı büyüklükte boşluğu 2 farklı yerde olacak şekilde tasarlanan döşemeler öncelikle güçlendirilmeden test edilmiş, daha sonra CFRP şeritler ile güçlendirilerek önerilen güçlendirme tekniğinin performansı hakkında yorumlar yapılmıştır. Deney elemanlarının dayanım, süneklik, rijitlik ve enerji tüketim kapasiteleri hesaplanarak yorumlanmıştır. Ayrıca CFRP şeritlerden alınan birim deformasyon ölçümleri ve göçme modları incelenerek kolay, hızlı ve az işçilikle uygulanabilecek bir güçlendirme tekniğinin geliştirilmesi planlanmıştır. Onüç deney elemanı test edilmiştir. Bunlar, bir adet referans elemanı, altı adet güçlendirilmemiş eleman ve altı adet güçlendirilmiş eleman olarak sayılabilir. Döşemelerde 500 mm, 400 mm ve 300 mm kare boşluklar mevcuttur. Bu boşluklar eğilme ve kesme bölgesi olmak üzere iki ayrı yerde bulunmaktadır. Tek doğrultulu üretilen döşemenin boyutları 3000x1000x150 mm'dir. Döşemelerde yalnızca alt yüzde donatı kullanılmıştır, basınç donatısı yoktur. Güçlendirilmiş elemanlarda CFRP şerit genişliği 100 mm dir. Boşlukların etrafını saracak şekilde kısa ve uzun yön olmak üzere iki

yönde de güçlendirme yapılmıştır. ACI 440 raporu kullanılarak tek doğrultulu döşemelerin kapasite değerleri hesaplanmış ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Bilim kodu : 911.1.144

Anahtar kelimeler : Boşluklu döşeme, Güçlendirme, CFRP

Sayfa adedi : 88

Tez yöneticisi : Doç. Dr. Özgür ANIL

**STRENGTHENING OF ONE WAY RC SLAB WITH OPENING USING
CFRP STRIPS**

(M. Sc. Thesis)

Onur ARSLAN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
June 2012**

ABSTRACT

In this thesis the flexural behavior of one way RC slabs with opening and strengthening with CFRP strips are investigated. Size and location of opening on the slabs are the main parameters that are investigated by using the present experimental research. Three different sizes of opening are located onto RC slab with two different locations. Two series of tests are performed during experimental program. First set of experiments are performed without strengthening and second set of test are performed after strengthening with CFRP strips. Finally some evaluations of test results are performed for determining the performance of strengthening techniques. Strength, stiffness, ductility and energy dissipation capacities of specimens are calculated and compared. In addition strain measurements are taken from CFRP strips and the failure modes of specimen are investigated. By all these evaluations, the strengthening technique that can be applied easily, faster and required less workmanship is developed. Totally, thirteen test specimens are tested, including one reference specimen, six specimens without strengthening and six specimens with strengthening. Three different square opening with 300 mm, 400 mm, 500 mm are tested. These openings are situated in two different places, bending and shear zone and sizes specimen has 3000 mm length, 1000

mm width and 150 mm height. The 100 mm wide CFRP strips are used for strengthening specimens. Strips are wrapped around the specimen along the openings. Capacity values of the specimens are calculated according to ACI 440 Committee report and the results are compared with experimental results.

Science Code : 911.1.144

Key Words : Slab with opening, Strengthening, CFRP

Page Number : 88

Advisor : Assoc. Prof. Dr. Özgür ANIL

TEŞEKKÜR

Projenin başından sonuna kadar her aşamasında bana yol gösteren bilgi birikimini benimle paylaşan ve projenin tamamlanmasında en önemli etken olan değerli hocam Doç. Dr. Özgür ANIL'a, deneylerin her aşamasında laboratuvarında beraber çalıştığımız Nalan BULUT hocama, pratik çözüm yolları ile laboratuvarında deneylerin yapılmasına çok büyük katkı sağlayan Uzman Faruk OGÜN hocama ve bütün öğrenim hayatım boyunca beni destekleyen aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. DENEY ELEMANLARI.....	6
2.1. Yöntem	6
2.2. Deney Elemanlarının Üretilmesi	8
2.3. Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	10
2.3.1. Beton	10
2.3.2. Donatı (betonarme çeliği)	10
2.3.3. Karbon Lifli Polimerler (CFRP)	11
2.3.4. Epoksi.....	12
2.4. Güçlendirme İşlemi	13
3. DENEY DÜZENEĞİ	17
3.1. Genel.....	17
3.2. Deney Düzeneği ve Yükleme Mekanizması	18
3.3. Verilerin Elde Edilmesi	19

Sayfa

4.	DENEYLER	23
4.1.	Deney elemanı 1 (referans).....	23
4.2.	Deney Elemanı 2	26
4.3.	Deney Elemanı 3	29
4.4.	Deney Elemanı 4	32
4.5.	Deney elemanı 5	34
4.6.	Deney Elemanı 6	37
4.7.	Deney Elemanı 7	39
4.8.	Deney Elemanı 8	42
4.9.	Deney Elemanı 9	45
4.10.	Deney Elemanı 10	49
4.11.	Deney Elemanı 11	54
4.12.	Deney Elemanı 12	58
4.13.	Deney Elemanı 13	62
5.	DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	66
5.1.	Maksimum Yük ve Maksimum Deplasman	67
5.2.	Enerji Tüketim Kapasitesi	68
5.3.	Akma Rijitliği	70
5.4.	Süneklik Oranı	71
5.5.	Birim Deformasyon Ölçümleri	73
5.6.	Deney Elemanlarının Karşılaştırmalı Grafikleri.....	75
6.	ANALİTİK HESAPLAR	79
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	85

Sayfa

KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ	88

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Beton hazırlanışı.....	9
Resim 2.2. Betonun döküm sırasında sıkıştırılması.....	9
Resim 2.3. Tek yönlü CFRP şeritler	11
Resim 2.4. Beton yüzeyini pürüzlendirme işlemi	14
Resim 2.5. Güçlendirilmiş deney elemanları.....	14
Resim 3.1. Yükleme düzeneği ve kapalı çerçeve sistemi.....	18
Resim 3.2. CFRP üzerindeki birim deformasyon ölçer	20
Resim 3.3. Verilerin bilgisayara aktarılmasında kullanılan data logger	20
Resim 3.4. LVDT (Linear variable differential transformer).....	20
Resim 4.1. Referans elemanı eğilme çatlakları.....	25
Resim 4.2. Referans elemanının deformasyonu.....	25
Resim 4.3. 2 numaralı elemanın eğilme çatlakları	27
Resim 4.4. 2 numaralı elemanda oluşan basınç ezilmesi.....	28
Resim 4.5. 2 numaralı elemanın deformasyonu	28
Resim 4.6. 3 numaralı elemanın kesme çatlağı.....	30
Resim 4.7. 3 numaralı elemanda boşlukta oluşan çatlaklar	31
Resim 4.8. 3 numaralı elemanın deformasyonu	31
Resim 4.9. 4 numaralı elemanın eğilme çatlakları	33
Resim 4.10. 5 numaralı elemanın eğilme çatlakları	35
Resim 4.11. 5 numaralı elemanın kesme çatlağı	36
Resim 4.12. 5 numaralı elemanda boşlukta oluşan çatlaklar	36
Resim 4.13. 5 numaralı elemanda alttan çıkan donatılar	36

Resim		Sayfa
Resim 4.14.	6 numaralı elemanın eğilme çatlağı	38
Resim 4.15.	6 numaralı elemandaki basınç ezilmesi ve deformasyon	38
Resim 4.16.	7 numaralı elemanın kesme çatlağı	40
Resim 4.17.	7 numaralı elemanda boşlukta oluşan çatlaklar	41
Resim 4.18.	7 numaralı elemanın deformasyonu	41
Resim 4.19.	8 numaralı elemanda kopan CFRP şeritler	45
Resim 4.20.	8 numaralı elemanın eğilme çatlağı	45
Resim 4.21.	9 numaralı elemanda oluşan kesme çatlakları	49
Resim 4.22.	9 numaralı elemanda yüzeyden soyulan CFRP şeritler	49
Resim 4.23.	10 numaralı elemanda kopan CFRP şeritler	53
Resim 4.24.	10 numaralı elemanın eğilme çatlağı	53
Resim 4.25.	11 numaralı elemanda oluşan kesme çatlağı	57
Resim 4.26.	11 numaralı elemanda yüzeyden soyulan CFRP şeritler	57
Resim 4.27.	12 numaralı eleman eğilme çatlağı, basınç ezilmesi	61
Resim 4.28.	12 numaralı elemanda kopan CFRP şeritler	61
Resim 4.29.	13 numaralı elemanda oluşan kesme çatlağı	65
Resim 4.30.	13 numaralı elemanda yüzeyden soyulan CFRP şeritler	65

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Deney elemanlarının özellikleri	6
Çizelge 2.2. Betondan alınan örneklerden elde edilen beton sınıfı	10
Çizelge 2.3. Donatının mekanik özellikleri	11
Çizelge 2.4. CFRP şeritlerin yapısal özellikleri.....	12
Çizelge 2.5. Epoksi genel özellikler	12
Çizelge 2.6. Epoksi sıcaklığa bağlı viskozite.....	13
Çizelge 2.7. Epoksi termal stabilite	13
Çizelge 4.1. 1 numaralı eleman (referans) sonuçları.....	23
Çizelge 4.2. 2 numaralı elemanın sonuçları.....	26
Çizelge 4.3. 3 numaralı elemanın sonuçları.....	29
Çizelge 4.4. 4 numaralı elemanın sonuçları.....	32
Çizelge 4.5. 5 numaralı elemanın sonuçları.....	34
Çizelge 4.6. 6 numaralı elemanın sonuçları.....	37
Çizelge 4.7. 7 numaralı elemanın sonuçları.....	39
Çizelge 4.8. 8 numaralı elemanın sonuçları.....	42
Çizelge 4.9. 9 numaralı elemanın sonuçları.....	46
Çizelge 4.10. 10 numaralı elemanın sonuçları.....	50
Çizelge 4.11. 11 numaralı elemanın sonuçları.....	54
Çizelge 4.12. 12 numaralı elemanın sonuçları.....	58
Çizelge 4.13. 13 numaralı elemanın sonuçları.....	62
Çizelge 5.1. Maksimum yük ve deplasman oranı kıyas çizelgesi.....	67
Çizelge 5.2. Enerji tüketim kapasitesi oranı kıyas çizelgesi	69

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.3. Akma rijitliği kıyas çizelgesi.....	70
Çizelge 5.4. Süneklik oranı kıyas çizelgesi	72
Çizelge 5.5. Deney elemanlarından alınan birim deformasyon ölçümleri.	74
Çizelge 6.1. Analitik hesap ve deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	83

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Deney elemanlarının geometrik özellikleri (Ölçüler mm'dir).....	7
Şekil 2.2. Döşeme donatı düzeni (Ölçüler mm'dir)	7
Şekil 2.3. 8, 9, 10 numaralı deney elemanları	15
Şekil 2.4. 11, 12, 13 numaralı deney elemanları	16
Şekil 3.1. Deney düzeneği (Ölçüler mm'dir)	17
Şekil 3.2. Döşemede oluşan moment ve kesme diyagramları.....	19
Şekil 4.1. Referans elemanının yük-deplasman grafiği	24
Şekil 4.2. 2 numaralı elemanın yük-deplasman grafiği	27
Şekil 4.3. 3 numaralı elemanın yük-deplasman grafiği	30
Şekil 4.4. 4 numaralı elemanın yük-deplasman grafiği	33
Şekil 4.5. 5 numaralı elemanın yük-deplasman grafiği	35
Şekil 4.6. 6 numaralı elemanın yük-deplasman grafiği	38
Şekil 4.7. 7 numaralı elemanın yük-deplasman grafiği	40
Şekil 4.8. 8 numaralı elemanın yük-deplasman grafiği	43
Şekil 4.9. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği.....	43
Şekil 4.10. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği.....	44
Şekil 4.11. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği.....	44
Şekil 4.12. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği.....	44
Şekil 4.13. 9 numaralı elemanın yük-deplasman grafiği	47
Şekil 4.14. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği.....	47
Şekil 4.15. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği.....	48
Şekil 4.16. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği.....	48

Şekil	Sayfa
Şekil 4.17.	4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği..... 48
Şekil 4.18.	10 numaralı elemanın yük-deplasman grafiği..... 51
Şekil 4.19.	1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği..... 51
Şekil 4.20.	2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği..... 52
Şekil 4.21.	3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği..... 52
Şekil 4.22.	4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği..... 52
Şekil 4.23.	11 numaralı elemanın yük-deplasman grafiği..... 55
Şekil 4.24.	1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği..... 55
Şekil 4.25.	2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği..... 56
Şekil 4.26.	3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği..... 56
Şekil 4.27.	4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği..... 56
Şekil 4.28.	12 numaralı elemanın yük-deplasman grafiği..... 59
Şekil 4.29.	1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği..... 60
Şekil 4.30.	2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği..... 60
Şekil 4.31.	3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği..... 60
Şekil 4.32.	4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği..... 61
Şekil 4.33.	13 numaralı elemanın yük-deplasman grafiği..... 63
Şekil 4.34.	1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği..... 63
Şekil 4.35.	2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği..... 64
Şekil 4.36.	3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği..... 64
Şekil 4.37.	4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği..... 64
Şekil 5.1.	Güçlendirilmemiş deney elemanlarının karşılaştırmalı grafiği.. 76
Şekil 5.2.	500 mm x 500 mm boşluklu elemanların karşılaştırılması 76

Şekil		Sayfa
Şekil 5.3.	400 mm x 400 mm boşluklu elemanların karşılaştırılması	77
Şekil 5.4.	300 mm x 300 mm boşluklu elemanların karşılaştırılması	77
Şekil 6.1.	Referans elemanının yük – deplasman grafiği	80
Şekil 6.2.	Referans elemanının birim deplasman grafiği	80
Şekil 6.3.	Referans elemanının yük–deplasman grafiği karşılaştırması.	81
Şekil 6.4.	Güçlendirilmiş elemanların hesap şekli (ACI 440)	81

SİMGELER VE KISALTMALAR

Tez aşamasında kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
δ_1	Sol mesnet deplasmanı (mm)
δ_2	Elemanın orta nokta deplasmanı (mm)
δ_3	Sağ mesnet deplasmanı (mm)
V_0	Birim deformasyonda ölçülen gerilim değişimi (volt)
V_i	Birim deformasyon ölçerdeki başlangıç gerilimi (volt)
GF	Uzama oranı (2 alınmıştır)
$GAIN$	Kazanç faktörü (410 alınmıştır)
ϵ	CFRP şeritlerdeki birim uzama değeri
ϵ_{fe}	CFRP şeritlerdeki efektif birim uzama değeri
ϵ_s	Donatıdaki birim uzama değeri
ϵ_c	En dıştaki beton lifin birim uzama değeri
E_s	Donatı elastisite modülü
E_f	CFRP şerit elastisite modülü
f_s	Donatıdaki kuvvet değeri
f_{fe}	CFRP liflerdeki kuvvet değeri
A_s	Donatı toplam alanı
A_f	CFRP şerit toplam alanı
β	Eşdeğer dikdörtgen basınç dağılım derinliği
α	Eşdeğer dikdörtgen basınç dağılım genişliği
f_{ck}	Betonun karakteristik basınç dayanımı

Simgeler**Açıklama**

V_{cr}	Betonun kesme dayanımı
f_{ct}	Betonun çekme dayanımı
b	Beton kesitin genişliği
d	Beton kesitin genişliği

Kısaltmalar**Açıklama**

ACI	American Concrete Institute
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Polymer
LVDT	Lineer Variable Displacement Transducer

1. GİRİŞ

Teknolojinin ilerlemesi ve tüketim mallarına talebin her geçen gün arttığı dünyada bu ihtiyaçları karşılamak için insana bağımlı eski üretim tekniklerini yerini makinelere ve daha büyük tesislere bırakmıştır. Küçük imalathaneler artık ihtiyacı karşılayamaz duruma gelmiştir. Artık büyük fabrika ve sanayi tesislerine ihtiyaç duyulmaktadır. Çeşitli ürünler için her birine özgü makineler ve üretim tesisleri yapılmaktadır. Her bir tesis kendine özgü olup hepsinin çalışma sistemi farklılıklar gösterdiğinden ihtiyaç duyduğu tesis de kendine özel olmalıdır. Yapı mühendisleri ve mimarlar bu özel yapıları tasarlarken bütün ihtiyaçlara uygun olarak sistemi tasarlamak durumundadırlar. Bu durum birçok zorluğu da beraberinde getirmektedir. Bu zorlukların başında kablo kanalları, su ve doğalgaz boruları, havalandırma boşlukları, yangın söndürme sistemi için gerekli boşlukların yapıların döşemelerinde bırakılması zorunluluğu gelmektedir. Sistemi tasarlarken bütün bunlara göre bir dizayn yapmak, bu boşlukları taşıyıcı sistemin dışında bırakmak birçok kez mümkün olmamaktadır. İhtiyaç duyulan bu boşluklar giriş ve kolonlarda olamayacağından döşemelerde bulunmaktadır.

Betonarme bir sistemde birçok sayıda ve çeşitli boyutlarda boşluk bırakmak gerekebilir. Tasarım aşamasında öngörülüp projelendirilebildiği gibi bu boşluklar daha sonra değişen ihtiyaçlar doğrultusunda da açılabilir. Yapıyı yeni ihtiyaçlara cevap verebilecek duruma getirmek için açılan bu boşlukların yarattığı olumsuz etkiyi bir şekilde telafi etmek bir gerekliliktir.

Betonarme döşeme sisteminde açılan boşluğun döşemenin yük taşıma kapasitesini, rijitliğini, enerji tüketim kapasitesini azalttığı bir gerçektir. Bu zayıflığı telafi etmenin çeşitli yolları mevcuttur. Bunun en basit yolu yapım aşamasında döşemenin kalınlığını artırmaktır. Fakat bu gerek yapının yüksekliğini artırdığı için, gerekse yapıyı ağırlaştırdığı için iyi bir seçenek değildir. Bu konuda değişik alternatif yollar bulma ihtiyacı doğmuştur.

CFRP ilk keşfedildiği yıllarda çok pahalı bir malzeme olduğu için kullanım alanı çok sınırlıydı. Savaş uçaklarının gövde ve kanatları, formula1 araçlarının gövdeleri gibi özel amaçlar doğrultusunda kullanılıyordu. Hafif ama çekme dayanımı çok iyi bir malzeme oluşu her geçen gün kullanım alanının yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Kullanım alanı genişledikçe ilk keşfedildiği yıllardaki kadar pahalı bir malzeme olmaktan çıkmış ve birçok alanda her geçen gün daha fazla kullanılmaktadır. Proje kapsamında boşluklu tek doğrultulu betonarme döşemelerin güçlendirilmesinin CFRP şeritlerle yapılmasının nedeni hafif, güçlü ve uygulanması kolay, nispeten pahalı olmayan bir malzeme oluşu, korozyon ve çevre şartlarından az etkilenmesi, bakım onarım maliyetlerinin düşük oluşu, ve ileride ulaşılması daha kolay bir malzeme olacağı öngörüsüdür.

Deneyisel çalışma kapsamında CFRP şeritler ile uygulanacak olan güçlendirme tekniğinin geliştirilebilmesi için öncelikle boşlukların tek doğrultulu döşemelerin davranışları üzerinde yapmış olduğu olumsuz etkilerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle tez çalışması kapsamında 2 seri deney elemanı planlanmıştır. Birinci seri deney elemanlarının test edilmesi sonucunda boşlukların döşemelerin eğilme davranışı üzerinde yarattıkları olumsuz etkiler belirlenecek, ikinci seri deney elemanlarında ise aynı özelliklere sahip deney elemanları CFRP şeritler ile önerilen güçlendirme tekniği uygulanarak davranışlarında iyileştirme yapılacaktır.

Deneyler inşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında yer alan 400 kN kapasiteli eğilme çerçevesinde yapılmıştır. Deneyler monotonik dört nokta yüklemesi uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Deney elemanlarına yükleme 300 kN kapasiteli bir hidrolik krik o ile uygulanıp 220 kN kapasiteli bir yük hücresi ile ölçülmüştür. Deney elemanlarında meydana gelen orta nokta deplasmanı ve mesnet çökmesi elektronik deplasman ölçerler (LVDT) kullanılarak ölçülmüş ve yük ile birlikte bilgisayar ortamına bir veri toplayıcı aracılığı ile aktararak deneyler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca betonarme döşemelere önerilen güçlendirme tekniği kapsamında yapıştırılan CFRP

şeritler üzerinden çeşitli noktalardan birim deformasyon ölçümleri alınmıştır. Deneyler sonrasında döşemelerin yük-deplasman davranışı grafikleri elde edilerek dayanım, rijitlik, süneklik ve enerji tüketim kapasitesi değerleri bu grafikler kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar yorumlanarak uygulanan güçlendirme tekniğinin performansı hakkında yorumlar yapılmıştır. Döşemeleri güçlendirmek için çeşitli yollar denenmiş ve tez çalışmasında karşılaştırılacak bazı çalışmalardan aşağıda bahsedilmiştir.

Smith ve arkadaşları 2010 yılında yayınlanan çalışmalarında tek yönlü bir döşemeyi çeşitli ankraj tipleri kullanarak güçlendirmeyi amaçlamışlardır [1]. Amaçları döşemenin taşıma kapasitesi ve deplasman yapabilme özelliğini artırmaktır. 150 mm yüksekliğinde 400 mm genişliğinde ve 2700 mm uzunluğunda tek yönlü betonarme eleman test etmişlerdir. Bir adet güçlendirilmemiş, bir adet ankrajsız güçlendirilmiş ve altı adet çeşitli aralıklarla ankrajlanmış CFRP şeritlerle güçlendirilmiş eleman olmak üzere toplam sekiz adet deney elemanı test ederek en iyi sonucu veren uygulama yöntemini bulmayı amaçlamışlardır. Tek yönlü 100 mm genişliğinde CFRP şeritler kullanmışlardır. Şeritleri betonun üst yüzüne ankrajlarla tutturmuşlardır. Deneyler sonucunda güçlendirilen elemanların referans elemanına oranla hem taşıma kapasitesinin hem de deplasman yapabilme özelliğinin arttığı gözlemlenmiştir.

Elgabbas ve arkadaşları 2009 yılında yaptıkları çalışmalarında öngerilmeli betonarme döşemede değişik güçlendirme teknikleri denemişlerdir [2]. Monolitik yükleme altında biri referans olmak üzere altı adet öngerilmeli betonarme eleman test etmişlerdir. Elemanın kalınlığı 120 mm, genişliği 1200 mm, uzunluğu ise 3550 mm'dir. Beton içinde önceden gerilmiş çelik kablolar mevcuttur. CFRP şeritleri rulo halinde beton yüzeyine yapıştırmışlardır. Çeşitli şerit genişliği ve kalınlığı deneyerek en iyi güçlendirme şeklini bulmayı amaçlamışlardır. Test sonuçlarında %15 - %80 arasında kapasite artışı elde etmişlerdir. Maksimum deplasman değerinde ise önemli bir değişiklik olmamıştır.

Bouguerra ve arkadaşları 2011 yılında yayınlanan çalışmalarında köprü döşemesi olarak 3000 mm uzunluğunda, 2500 mm genişliğinde sekiz adet eleman test etmişlerdir [3]. Değişken olarak döşeme kalınlığı, beton sınıfı, enine donatı oranı ve güçlendirme şeklini kullanmışlardır. Betonarme döşemeleri monolitik yükleme altında test etmişlerdir. Yüğü döşemeye orta noktadan 200 mm x 600 mm boyutlarında levha ile aktarmışlardır. Sonuç olarak bir döşeme hariç çatlakların bütün döşemelerde benzer şekilde olduğu gözlemlenmiştir. Fakat çatlakları belirleyen en önemli etkenin yatay donatı oranı olduğu görülmüştür. Deney elemanları yük altında oluşan çatlaklar nedeniyle göçmüştür. Bu çatlakların gecikmesinin ve dolayısıyla döşemenin kesme kapasitesinin artmasının döşeme kalınlığıyla ve beton kalitesiyle doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir.

Al-Rousan ve arkadaşları 2012 yılında yayınlanan makalelerinde çeşitli CFRP ile güçlendirme tekniklerini test etmişlerdir [4]. Uzunluğu 2440 mm, genişliği 600 mm, kalınlığı 125 mm olan sekiz adet betonarme döşeme imal edip, aynı zamanda ANSYS programında modelleme yapıp elde edilen sonuçları değerlendirmişlerdir. CFRP lifleri katmanlar halinde beton alt yüzüne yapıştırıp ne kadar performans artışı sağlayacağını incelemişlerdir. Sonuçta yüzeye uygulanan CFRP liflerin maksimum taşıma kapasitesini önemli ölçüde artırdığını tespit etmişlerdir. Bu liflerin aynı zamanda büyük çatlakları önleyerek küçük çatlakların oluşmasını sağladığı gözlemlenmiştir. Önce donatının aktığı sonra CFRP liflerin koptuğu son olarak ise betonun çatlayarak elemanın göçtüğü tespit edilmiştir. Yapıştırılan katman sayısının artması ile maksimum taşıma kapasitesinin de arttığı görülmüştür.

Tamer El Maaddawy, Khaled Soudki 2008 yılında yayınlanan makalelerinde 500 mm genişliğinde 1800 mm uzunluğunda ve 100 mm kalınlığında betonarme döşeme test etmişlerdir [5]. Biri referans diğer beşi farklı şekillerde güçlendirilmiş toplam altı adet deney elemanı üretmişlerdir. Çalışmalarında yüzeye yapıştırılan CFRP şeritler ile betona ankrajlarla tutturulmuş CFRP şeritlerin davranışlarını kıyaslamış ve birbirlerine olan

üstünlüklerine değinmişlerdir. Ankrajlı şeritlerin deformasyon açısından daha iyi sonuç vermesine karşın maksimum taşıma kapasitesi yüzeye yapıştırılan CFRP ile güçlendirilmiş döşemelerde daha fazla çıkmıştır. Deformasyona bağlı olarak ankraj uygulamasının süneklik açısından daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir.

Gilles Foret, Oualid Limam 2008 yılında yayınlanan makalelerinde çift yönlü betonarme döşemelerin CFRP şeritlerle güçlendirilmesini incelemişlerdir [6]. İki bölüm olarak yapılan çalışmada ilk bölümde 70 mm kalınlığında, 1150 mm genişliğinde ve 1650 mm uzunluğunda çift yönlü betonarme döşeme üretip test etmişlerdir. İkinci bölümde ise sonlu elemanlar yöntemiyle modelleme yapıp daha sonra deneylerden elde edilen sonuçlarla modelden elde ettikleri analitik sonuçları karşılaştırmışlardır. Deney sonucunda uyguladıkları tekniğin döşemenin taşıma kapasitesini artırdığını tespit etmişlerdir. Aynı zamanda model sonuçları ile deney sonuçlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Döşemelerin güçlendirilmesi ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bu araştırmaların çoğu boşluksuz döşemeyi güçlendirme ile ilgili olup, boşluklu döşemelerin CFRP şeritlerle güçlendirilmesi konusunda literatürde pek fazla araştırma bulunmamaktadır.

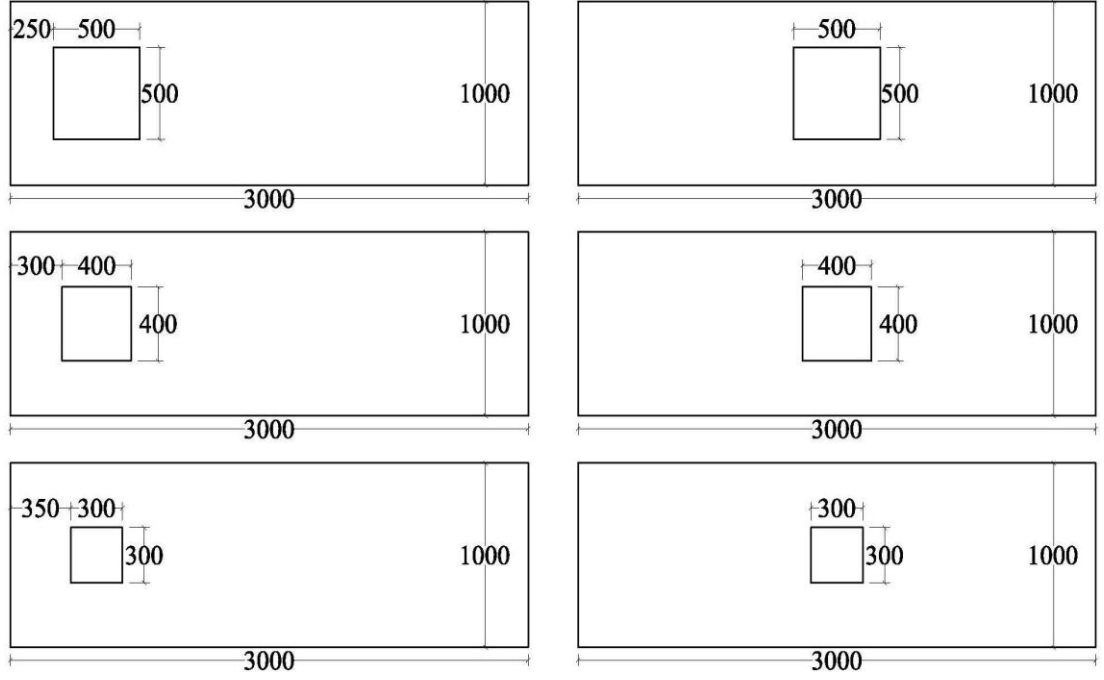
2. DENEY ELEMANLARI

2.1.Yöntem

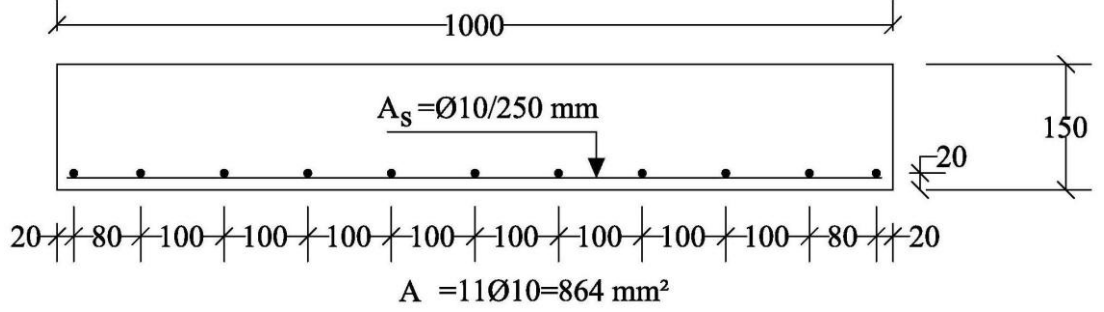
Deney elemanları 3000 mm x 1000 mm boyutlarında 150 mm kalınlığında tek doğrultulu betonarme döşeme olarak tasarlanmıştır. Çalışma kapsamında incelenen temel değişkenler boşluk büyüklüğü ve boşluk yeri olarak belirlenmiştir. 500x500 mm, 400x400 mm ve 300x300 mm olmak üzere 3 farklı büyüklükte boşluk, tek doğrultulu döşemenin kesme açıklığı ve maksimum moment bölgesinde olmak üzere 2 yerde olacak şekilde toplam 6 adet deney elemanı üretilmiştir. Deney elemanları 2 seri olacak şekilde tasarlanmıştır. Deneysel çalışmada test edilen deney elemanlarının özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir. Bir adet boşluksuz betonarme döşeme elemanı referans olarak üretilmiştir. Birinci 6 adet boşluklu deney elemanı seri 1, ikinci 6 adet CFRP şeritlerle güçlendirilmiş boşluklu deney elemanı seri 2 olarak isimlendirilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında üretilen deney elemanlarının geometrik özellikleri Şekil 2.1’de donatı düzeni Şekil 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Deney elemanlarının özellikleri

Deney elemanı numarası	Boşluk özellikleri		CFRP ile güçlendirme
	Boşluk Büyüklüğü (mm)	Boşluk yeri	
1	Referans, boşluksuz ve güçlendirilmemiş deney elemanı		
2	500x500	Maks. Moment bölgesi	YOK
3	500x500	Kesme açıklığı	YOK
4	400x400	Maks. Moment bölgesi	YOK
5	400x400	Kesme açıklığı	YOK
6	300x300	Maks. Moment bölgesi	YOK
7	300x300	Kesme açıklığı	YOK
8	500x500	Maks. Moment bölgesi	VAR
9	500x500	Kesme açıklığı	VAR
10	400x400	Maks. Moment bölgesi	VAR
11	400x400	Kesme açıklığı	VAR
12	300x300	Maks. Moment bölgesi	VAR
13	300x300	Kesme açıklığı	VAR



Şekil 2.1. Deney elemanlarının geometrik özellikleri (Ölçüler mm'dir)



Şekil 2.2. Döşeme donatı düzeni (Ölçüler mm'dir)

Referans döşemesinde ana donatılar 11 adet Ø10 olarak 3000 mm boyunca devam etmektedir. Dağıtma donatısı olarak kısa yönde Ø10/250 mm donatı bulunmaktadır. Birinci seri güçlendirilmemiş döşemeler ve ikinci seri güçlendirilmiş döşemelerde boşluklara gelen donatılar beton dökümü öncesinde kesilmiştir.

Birinci aşamada güçlendirilmeden test edilen döşemelerde oluşan kırılma şekillerini dikkate alarak CFRP şeritlerin genişliği ve yapıştırma şekilleri

belirlenmiştir. Bu doğrultuda döşemede bulunan boşlukların etrafı her iki yönde genişliği 100 mm olan CFRP şeritlerle güçlendirilmiştir. Şeritler kısa yönde 1000 mm, uzun yönde mesnetlere denk gelmemesi için 2700 mm uzunluğundadır. Şeritler yapıştırılmadan önce hilti ile yüzey pürüzlü hale getirilmiş, böylece CFRP şeritlerle betonun birlikte çalışması sağlanmıştır.

Elemanların boyutları olabildiğince gerçekçi sonuç vermesi için yapılardaki boyutlarına benzer şekilde seçilmiştir. Aynı şekilde açılan boşluklar da yapılarda ihtiyaç duyulan boşluk boyutlarına yakın büyüklüktedir. Böylece boyut etkisini ortadan kaldırarak gerçeğe en yakın sonuçlara ulaşmak hedeflenmiştir. Deney elemanlarının ağırlıkları beton birim ağırlığının 2 200 kg/m³ kabulü ile referans döşeme 990 kg, 50x50 cm boşluklu döşeme 908 kg, 40x40 cm boşluklu döşeme 938 kg, 30x30 cm boşluklu döşeme 960 kilogramdır.

2.2.Deney Elemanlarının Üretilmesi

Deneylerde kullanılan beton hazır beton olmayıp laboratuvar koşullarında üretilmiştir. Beton içeriğinde agraga, kum, çimento, ve su olup herhangi bir katkı malzemesi kullanılmamıştır. Karışım betoniyerde hazırlanıp el arabasıyla 3 mm kalınlığında sacdan yapılmış kalıba dökülmüştür. Beton dökümü sırasında betonun istenilen ölçüde sıkışması için vibratör kullanılmıştır. Bir adet döşeme dökümünde toplam 5 adet örnek alınıp dayanımları deney günü test edilmiştir. Beton hazırlanışı Resim 2.1’de, sıkıştırma işlemi Resim 2.2’de gösterilmiştir. Kalıp olarak U ve L profillerle desteklenmiş 3 milimetre kalınlığında sac kalıp kullanılmış, böylece birden çok beton döküleceği için kalıpta oluşacak deformasyonlar en aza indirilmiş ve 13 elemanın aynı kalıpla hazırlanması sağlanmıştır.



Resim 2.1. Beton hazırlanışı



Resim 2.2. Betonun döküm sırasında sıkıştırılması

2.3.Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

2.3.1. Beton

Beton laboratuvar koşullarında mikserde üretilmiştir. Beton içeriğinde herhangi bir katkı malzemesi kullanılmamıştır. Bir adet döşeme dökümünde toplam 5 adet örnek alınıp dayanımları deney günü test edilmiştir. Test edilen örneklerin kırılma yükü ve buna karşı gelen beton sınıfı Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Betondan alınan örneklerden elde edilen beton sınıfı

Deney Elemanı	Beton Sınıfı	Deney Elemanı	Beton Sınıfı
Eleman 1	C19	Eleman 8	C20
Eleman 2	C15	Eleman 9	C24
Eleman 3	C14	Eleman 10	C24
Eleman 4	C17	Eleman 11	C22
Eleman 5	C15	Eleman 12	C24
Eleman 6	C15	Eleman 13	C17
Eleman 7	C17		

2.3.2. Donatı (betonarme çeliği)

Deney elemanlarında inşaatlarda kullanılan standart donatı olan S420a sınıfı donatı kullanılmıştır. Alınan donatıların standart boyu 12 metre olduğundan laboratuvar da demir makası ile istenilen boylara kesilmiştir. Kullanılan donatının mekanik özellikleri Çizelge 2.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. Donatının mekanik özellikleri

Donatı Mekanik Özellikleri (S420a)		
Karakteristik akma dayanımı	(MPa)	420
Kopma dayanımı	(MPa)	500
Kopma uzaması	%	12
Elastisite modülü	(MPa)	210 000

2.3.3. Karbon Lifli Polimerler (CFRP)

Teknolojinin ilerlemesiyle kullanım alanının artmasından ve her geçen gün ulaşılması daha kolay bir malzeme olmasından dolayı deneylerde CFRP ile güçlendirme yoluna gidilmiştir. Projede Sika firmasının SikaWrap 230c ürününü kullanılmıştır. Projede konuya uygun olarak tek yönlü CFRP şeritler kullanılmıştır. Kumaşa benzer bir yapıya sahip olması ve hafif oluşu uygulama açısından kolaylıklar sağlamaktadır. CFRP lifleri Resim 2.3’de, yapısal özellikleri Çizelge 2.4’de gösterilmiştir.



Resim 2.3. Tek yönlü CFRP şeritler

Çizelge 2.4. CFRP şeritlerin yapısal özellikleri

CFRP şeritlerin yapısal özellikleri	
Çekme dayanımı	4 300 N/mm ²
Kopma uzaması	%1,8
Çekme elastisite modülü	238 000 N/mm ²
Dokuma tasarım kalınlığı	0,131 mm
Birim ağırlık	230 g/m ² ± 10g/m ²

2.3.4. Epoksi

CFRP şeritleri beton yüzeyine yapıştırmak için inşaatlarda sıklıkla kullanılan epoksi tercih edilmiştir. Yüksek dayanıma sahip olması ve kolay uygulanabilmesi nedeniyle istenilen aderansı sağlamaktadır. Deneylerde Sikadur 330 iki bileşenli epoksi kullanılmıştır. İki ayrı bileşen olarak iki ayrı kutuda bulunan yapıştırıcıları dörde bir oranında karıştırarak epoksi elde edilmekte ve 45 dakika içinde uygulanmaktadır. Epoksinin özellikleri genel özellikleri Çizelge 2.5'te, sıcaklığa bağlı viskozite değerleri Çizelge 2.6'da ve termal stabilite değerleri Çizelge 2.7'de verilmiştir.

Çizelge 2.5. Epoksi genel özellikler

Özellik	Değer
Çekme dayanımı	30 N/mm ² (+23°C de 7 günlük)
Yapışma dayanımı	Kumlanmış yüzeyde >1 gün
Kopma uzaması	%0,9 (+23°C de 7 günlük)
Çekme Elastisite modülü	4 500 N/mm ² (+23°C de 7 günlük)
Eğilme Elastisite modülü	3 800 N/mm ² (+23°C de 7 günlük)
Termal genleşme katsayısı	45 x 10 ⁻⁶ / °C (-10°C ile +40°C arası)
Servis sıcaklığı	(-40°C ile +50°C arası)
Termal dayanım	+50°C de sürekli etkiye dayanır
Birim ağırlık (reçine karışımı)	1,31 kg/l (+23°C de)
Kimyasal yapı	Epoksi reçine

Çizelge 2.6. Epoksi sıcaklığa bağlı viskosite

Sıcaklık	Vikosite
+10°C	~10 000mPas
+23°C	~6 000mPas
+35°C	~5 000mPas

Çizelge 2.7. Epoksi termal stabilite

Kür süresi	Sıcaklık	HDT(ısıl deformasyon sıcaklığı)
7 gün	+10°C	+36°C
7 gün	+23°C	+47°C
7 gün	+35°C	+53°C
7 gün, ardından +10°C de 7 gün, +23°C	-	+43°C

2.4.Güçlendirme İşlemi

Deney elemanları 28 günlük dayanımını aldıktan sonra ikinci seri elemanlara CFRP şeritlerin yapıştırılması işlemine geçilmiştir. Döşemenin alt yüzünde kısa ve uzun yönde şeritlerin yapışacağı hatlar hilti ile pürüzlü hale getirilmiştir. Yaklaşık 2 mm kalınlığındaki beton tabakası kırılarak agregalar görülmüştür. Daha sonra pürüzlü yüzeyler ıslak bezle silinip basınçlı hava ile iyice temizlenmiştir. Döşemede bulunan boşlukların etrafı her iki yönde genişliği 100 mm olan CFRP şeritlerle güçlendirilmiştir. Şeritler kısa yönde 1000 mm, uzun yönde mesnetlere denk gelmemesi için 2700 mm uzunluğundadır. Şeritlerin uzun doğrultuda olanları önce yapıştırılmış kısa yönde olan şeritler uzunların üzerinden geçecek şekilde sonradan yapıştırılmıştır. Epoksi ile şeritler beton yüzeyine yapıştırılıp bir hafta süresince dayanımını kazanması için beklenmiştir. Beton yüzeyini pürüzlendirme işlemi Resim 2.4'de, güçlendirilmiş deney elemanları Resim 2.5'de, 8, 9, 10 numaralı deney elemanları Şekil 2.3'de, 11, 12, 13 numaralı deney elemanları Şekil 2.4'de gösterilmiştir.

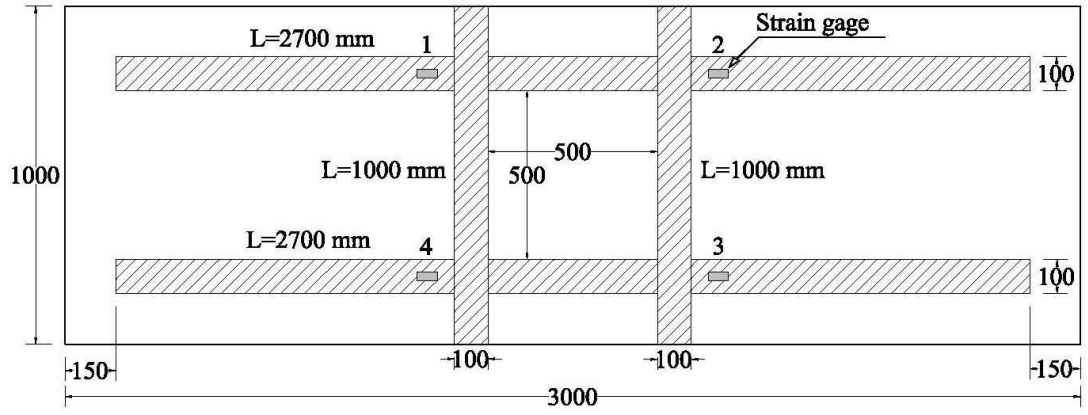


Resim 2.4. Beton yüzeyini pürüzlendirme işlemi

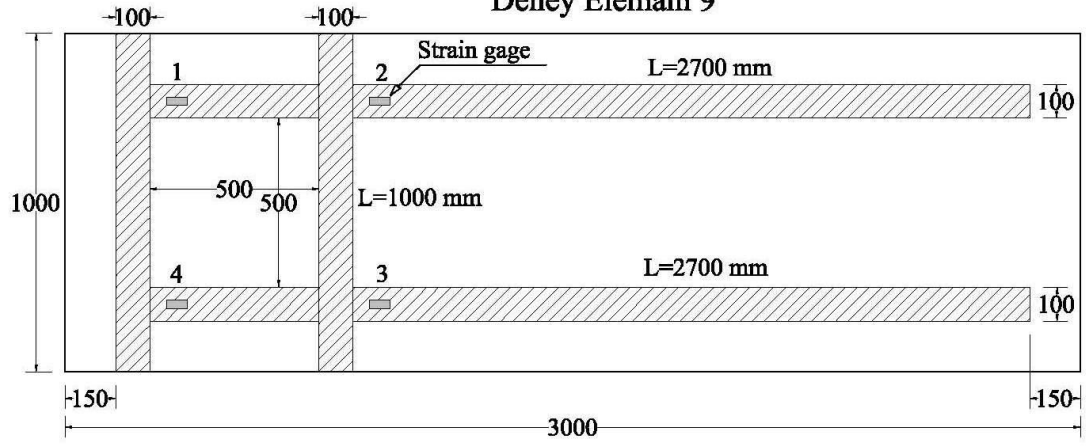


Resim 2.5. Güçlendirilmiş deney elemanları

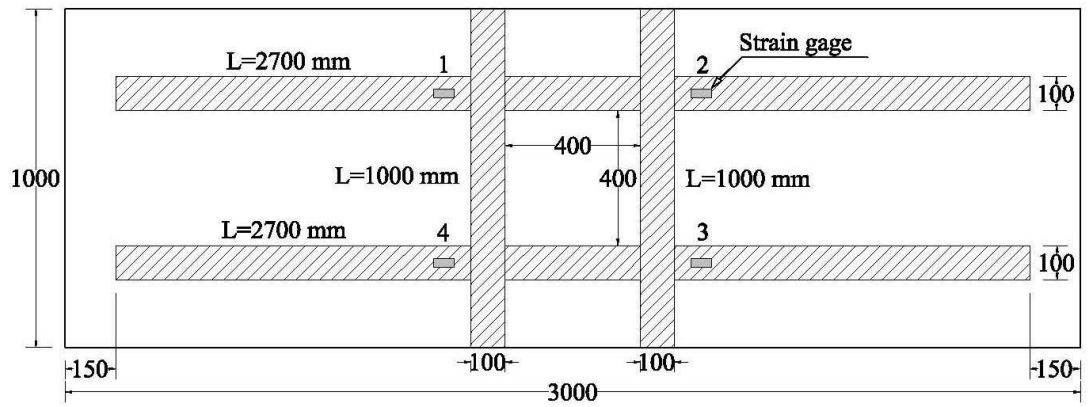
Deney Elemanı 8



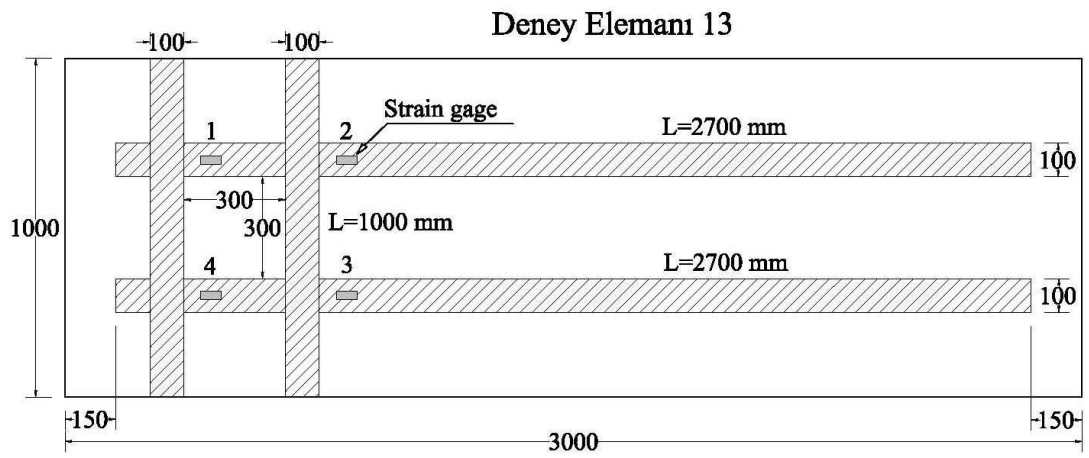
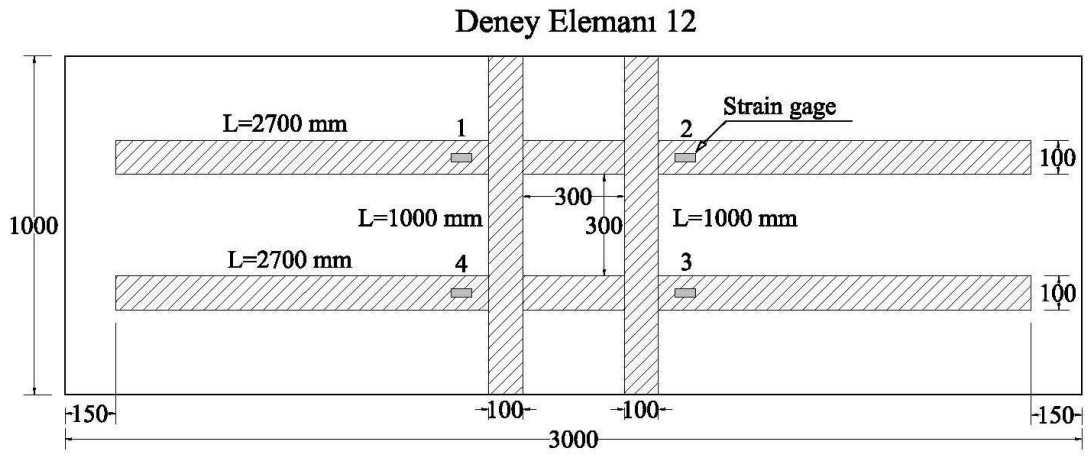
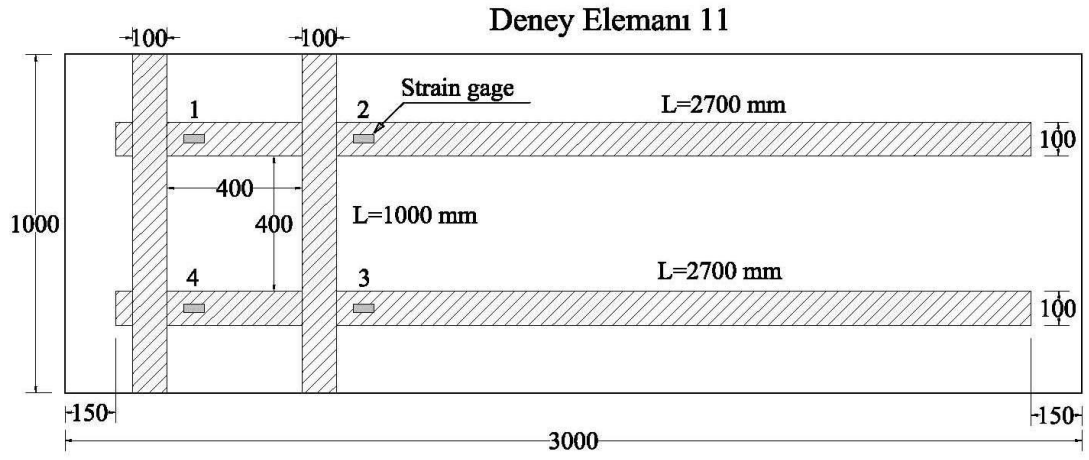
Deney Elemanı 9



Deney Elemanı 10



Şekil 2.3. 8, 9, 10 numaralı deney elemanları

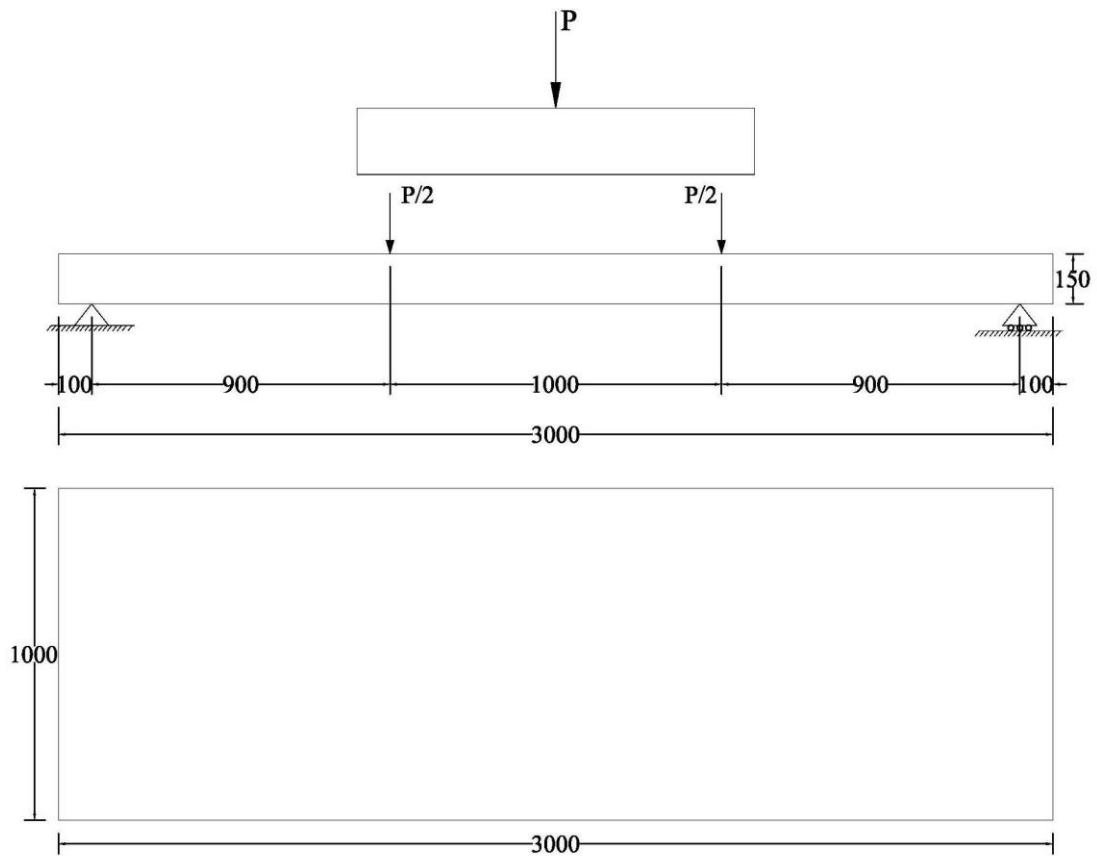


Şekil 2.4. 11, 12, 13 numaralı deney elemanları

3. DENEY DÜZENEGİ

3.1.Genel

Deneyler Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünün Yapı Mekaniği Laboratuvarında yapılmıştır. Laboratuvarda bulunan kapalı sistem çerçeve üzerindeki deney elemanına yük hidrolik krik o ile sağlanmıştır. Deney elamanı taşıyıcı özelliğini kaybedene kadar yük artırılmış ve bilgiler bilgisayara kaydedilmiştir. Deney düzeneği Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Deney düzeneği (Ölçüler mm'dir)

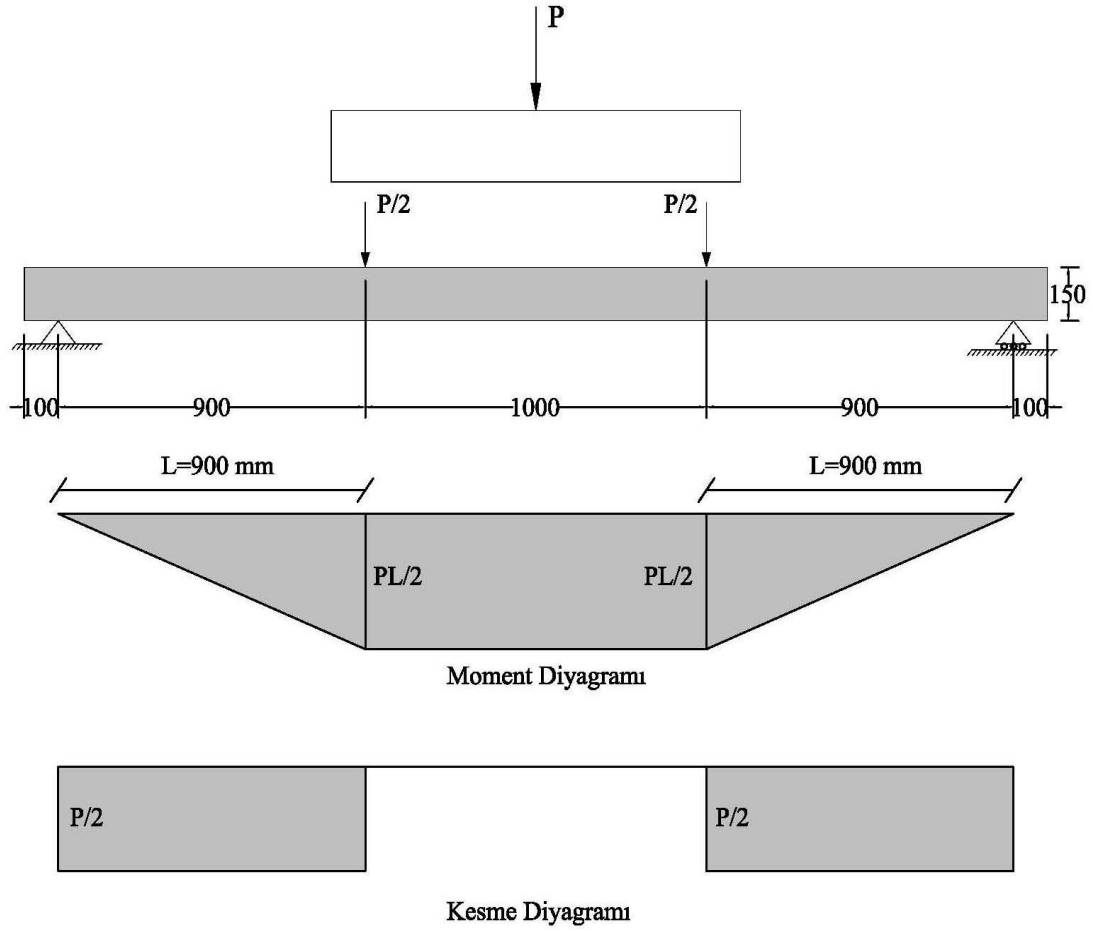
3.2. Deney Düzeneği ve Yükleme Mekanizması

Yükleme düzeneği döşemenin açıklığında 1000 mm'lik kısmında maksimum moment olacak şekilde düzenlenmiştir. Bunu sağlamak için tekil yük, bir reaksiyon kiriş i ile iki eş it yüke ayrılmış ve biri sabit diğ eri kayar mesnet ile döşemeye aktarılmıştır. Döşeme aynı şekilde biri sabit diğ eri kayar mesnet üzerine konarak kapalı sistem çerçeveye yerleştirilmiştir. Mesnetler döşeme dış ından 100 mm içeriye konulmuştur. Yükleme düzeneği ve kapalı çerçeve sistemi Resim 3.1'de gösterilmiştir.



Resim 3.1. Yükleme düzeneği ve kapalı çerçeve sistemi

Tekil yük iki eş it parçaya bölünüp biri sabit diğ eri kayar mesnet üzerinden döşemeye uygulanmıştır. Döşeme üzerinde oluşan moment ve kesme diyagramları Şekil 3.2 'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Döşemede oluşan moment ve kesme diyagramları

3.3.Verilerin Elde Edilmesi

Deney elemanına düşey deplasmanı ölçmek amacıyla LVDT bağlanıp meydana gelen deplasman değerleri bilgisayara aktarılmıştır. Biri deney elemanının tam ortasında, diğer ikisi sağ ve sol mesnetlerin üzerinde olmak üzere toplam üç adet LVDT kullanılmıştır. Orta noktadan alınan deplasman sayesinde döşemenin orta nokta deplasmanı ölçülmüş, uygulanan yük ile birlikte çizilen yük-deformasyon eğrisi sayesinde enerji tüketme kapasitesine ulaşılmıştır. CFRP ile güçlendirilmiş deney elemanlarında bu ölçümlerin yanı sıra birim deformasyon ölçerler kullanılmıştır. Birim deformasyon ölçerler sayesinde yapıştırılan CFRP liflerde ne kadar gerilme oluştuğu tespit edilip böylece o noktadaki şekil değiştirmeler hesaplanmıştır. Birim deformasyon

ölçümleri mv cinsindendir, bunların sonradan birim şekil değıştirme değeri hesaplanmıştır. Deneyden elde edilen tüm veriler data logger vasıtasıyla bilgisayara aktarılmıştır. Birim deformasyon ölçer Resim 3.2’de, data logger Resim 3.3’de, LVDT Resim 3.4’de gösterilmiştir.



Resim 3.2. CFRP üzerindeki birim deformasyon ölçer



Resim 3.3. Verilerin bilgisayara aktarılmasında kullanılan data logger



Resim 3.4. LVDT (Linear variable differential transformer)

Orta nokta net deplasmanı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\delta_{net} = \delta_2 - \left(\frac{\delta_1 + \delta_3}{2} \right)$$

Burada ;

δ_1 : sol mesnet deplasmanı (mm)

δ_2 : elemanın orta nokta deplasmanı (mm)

δ_3 : sağ mesnet deplasmanı (mm)

CFRP şeritlerdeki birim uzama değeri aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V_0 = \frac{\varepsilon * GF}{4} * \left(\frac{1}{1 + GF * \frac{\varepsilon}{2}} \right) * GAIN * V_t$$

Burada ;

V_0 : Birim deformasyonda ölçülen gerilim değişimi (volt)

ε : CFRP şeritlerdeki birim uzama değeri

GF : Uzama oranı (2 alınmıştır)

GAIN : Kazanç faktörü (410 alınmıştır)

V_t : Birim deformasyon ölçerdeki başlangıç gerilimi (volt)

Deneyel programda yer alan deney elemanlarından CFRP şeritler ile güçlendirilen Deney Elemanı 8 ile Deney Elemanı 13 arasında kalan elemanlardan birim deformasyon ölçümleri alınmıştır. Deney elemanlarından alınan birim deformasyon ölçümleri elemanlarda bırakılan boşlukların yanlarına yapıştırılan 2700 mm uzunluğundaki uzun CFRP şeritlerden alınmıştır. CFRP şeritlere yapıştırılan birim deformasyon ölçerlerin yerleri Bölüm 2’de verilen Şekil 2.3 ve Şekil 2.4’de gösterilmiştir. Birim deformasyon ölçerler boşlukların köşe noktalarına 175 mm uzaklıkta taşıyıcı CFRP lifleri doğrultusunda CFRP şeridin tam simetri eksenine yapıştırılmıştır.

Göçme noktası, deney sonucunda çizilen yük-deplasman grafiğindeki maksimum yükün %85'ine karşılık gelen nokta olarak kabul edilmiştir.

Deney sonuçları olarak çizelgelerde verilen enerji tüketim kapasitesi, yük-deplasman eğrisinin göçme noktasına kadar olan kısmının altında kalan alan hesaplanarak bulunmuştur.

Akma rijitliği değeri, çizilen yük-deplasman eğrisindeki akma anındaki yükün, aynı andaki deplasman değerine bölünmesiyle elde edilmiştir.

Süneklik oranı, yük-deplasman eğrisinden elde edilen göçme noktasındaki deplasman değerinin, akma anındaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmiştir.

4. DENEYLER

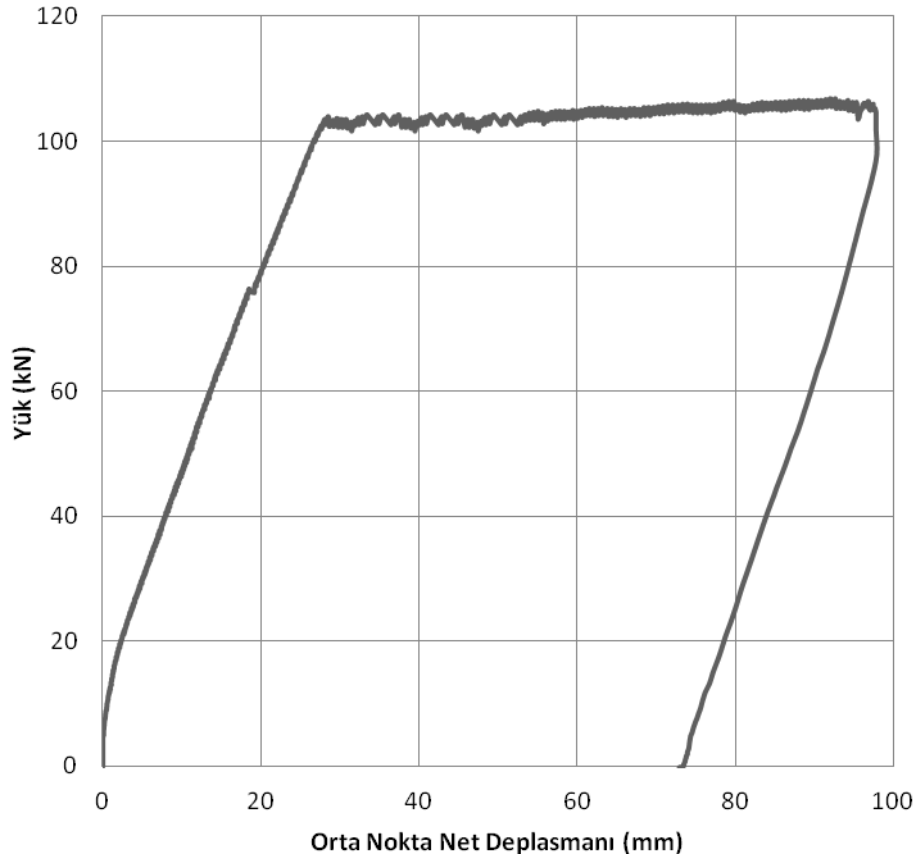
4.1. Deney elemanı 1 (referans)

Boşluksuz olarak test edilen referans elemanına her hangi bir güçlendirme uygulanmamıştır. Herhangi bir donatısı kesilmeyen referans elemanında altta uzun doğrultuda 11 adet Ø10 donatı bulunmaktadır. Referans elemanından elde edilen sonuçlarla, güçlendirilme yapılmamış boşluklu elemanlar ve güçlendirilmiş boşluklu elemanlardan elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Bu sonuçlara göre elemanların performansı hakkında yorumlar yapıp önerilerde bulunulmuştur. Referans elemanından elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. 1 numaralı eleman (referans) sonuçları

Deney Elemanı 1 (Referans)	Yük (KN)	Deplasman (mm)
Akma Noktası	102,60	27,79
Göçme Noktası	106,50	96,66
Maksimum	106,93	97,85
Enerji Tüketim Kapasitesi (KN.mm)	7721	
Akma Rijitliği (KN/mm)	3,69	
Süneklik Oranı	3,48	

Referans elemanı akma noktası olan 102,60 kN değerine kadar lineere yakın bir davranış göstermiş, donatının akmasıyla yükte önemli bir artış olmadan deformasyon yapmaya devam etmiştir. Referans elemanının yük – deplasman grafiği Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Referans elemanın yük-deplasman grafiği

Eleman sünek bir davranış gösterip maksimum taşıma kapasitesi olan 106,93 kN değerine ulaşmıştır. Elemanın orta bölgesinde alt kısımlarda eğilme çatlakları tespit edilmiştir. Eleman maksimum yüke geldiğinde aynı zamanda maksimum deplasman değeri olan 97,85 mm değerine de ulaşmıştır. Enerji tüketim kapasitesi 7721 kN.mm, akma rijitliği 3,69 kN/mm, süneklik oranı 3,48 olarak hesaplanmıştır. Deney elemanının eğilme çatlakları Resim 4.1'de, deformasyonu Resim 4.2'de gösterilmiştir.



Resim 4.1. Referans elemanı eğilme çatlakları



Resim 4.2. Referans elemanın deformasyonu

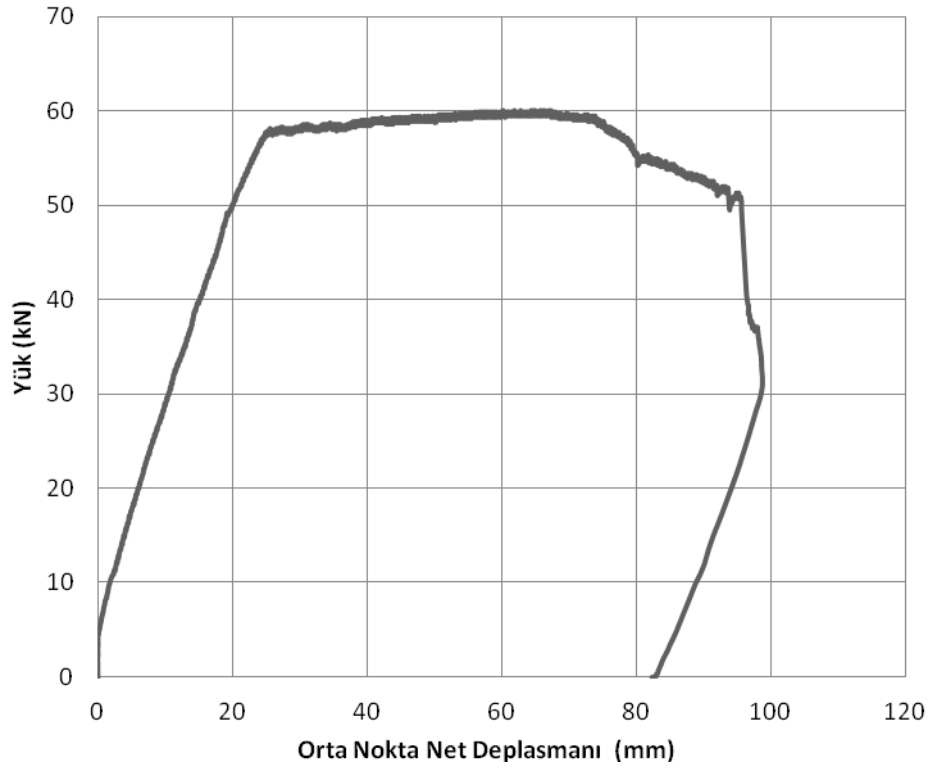
4.2. Deney Elemanı 2

Deney elemanı 2 maksimum moment bölgesinde 500x500 mm boyutlarında boşluğun olduğu elemandır. Maksimum moment bölgesinde en büyük boşluk bu elemandadır. Boşluktan dolayı ortadaki 5 adet donatısı kesilen elemanda uzun doğrultuda toplam 6 adet Ø10 donatı bulunmaktadır. Deney elemanı 2'den elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. 2 numaralı elemanın sonuçları

Deney Elemanı 2	Yük (KN)	Deplasman (mm)
Akma Noktası	57,86	25,19
Göçme Noktası	51,04	95,45
Maksimum	60,05	98,73
Enerji Tüketim Kapasitesi (KN.mm)	4814	
Akma Rijitliği (KN/mm)	2,30	
Süneklik Oranı	3,79	

Deney elemanı 2 akma noktası olan 57,86 kN değerine kadar lineere yakın bir davranış göstermiş, donatının akmasıyla yükte önemli bir artış olmadan deformasyon yapmaya devam etmiştir. Maksimum yükü olan 60,05 kN değerinden sonra bir miktar daha deplasman yapmaya devam etmiştir. Elemanın orta bölgesinde alt kısımlarda eğilme çatlaklarıyla birlikte beton üst yüzünde basınç ezilmesi tespit edilmiştir. Boşluktan dolayı basınç bölgesinin azalması ile betonun basınç kapasitesi aşılmış ve üst yüzeydeki beton ezilmiştir. Enerji tüketim kapasitesi 4814 kN.mm, akma rijitliği 2,30 kN/mm, süneklik oranı 3,79 olarak hesaplanmıştır. 2 numaralı elemanın yük – deplasman grafiği Şekil 4.2'de, elemanda oluşan eğilme çatlakları Resim 4.3'de, elemanda oluşan basınç ezilmesi Resim 4.4'de, elemanın deformasyonu Resim 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. 2 numaralı elemanın yük-deplasman grafiği



Resim 4.3. 2 numaralı elemanın eğilme çatlakları



Resim 4.4. 2 numaralı elemanda oluşan basınç ezilmesi



Resim 4.5. 2 numaralı elemanın deformasyonu

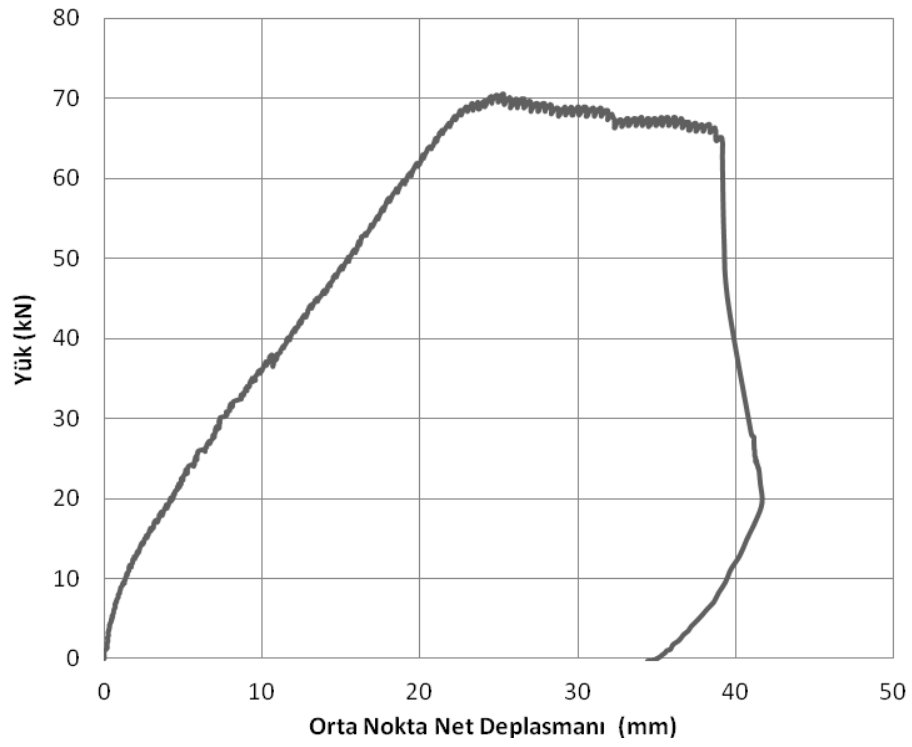
4.3. Deney Elemanı 3

Deney elemanı 3 kesme bölgesinde 500x500 mm boyutlarında boşluğun olduğu elemandır. Boşluktan dolayı ortadaki 5 adet donatısı kesilen elemanda uzun doğrultuda toplam 6 adet Ø10 donatı bulunmaktadır. Deney elemanı 3'den elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. 3 numaralı elemanın sonuçları

Deney Elemanı 3	Yük (kN)	Deplasman (mm)
Akma Noktası	69,43	23,27
Göçme Noktası	60,01	39,01
Maksimum	70,60	41,67
Enerji Tüketim Kapasitesi (kN.mm)	2036	
Akma Rijitliği (kN/mm)	2,98	
Süneklik Oranı	1,68	

Deney elemanı 3 akma noktası olan 69,43 kN değerine kadar lineere yakın bir davranış göstermiştir. Donatının akmasıyla taşıma kapasitesinde bir miktar azalma gözlenmiş fakat eleman deplasman yapmaya devam etmiştir. Elemanın maksimum taşıma gücü akma anından hemen sonra 70,6 kN olarak ölçülmüştür. Kesme bölgesinde bulunan boşluk etrafında büyük çatlaklar tespit edilmiştir. Elemanın göçmesine boşluk etrafında oluşan bu büyük çatlaklar neden olmuştur. Enerji tüketim kapasitesi 2036 kN.mm, akma rijitliği 2,98 kN/mm, süneklik oranı 1,68 olarak hesaplanmıştır. Deney elemanı 3'ün yük-deplasman grafiği Şekil 4.3'de, elemanda oluşan kesme çatlağı Resim 4.6'da, elemanda boşlukta oluşan çatlaklar Resim 4.7'de, elemanın deformasyonu Resim 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. 3 numaralı elemanın yük-deplasman grafiği



Resim 4.6. 3 numaralı elemanın kesme çatlağı



Resim 4.7. 3 numaralı elemanda boşlukta oluşan çatlaklar



Resim 4.8. 3 numaralı elemanın deformasyonu

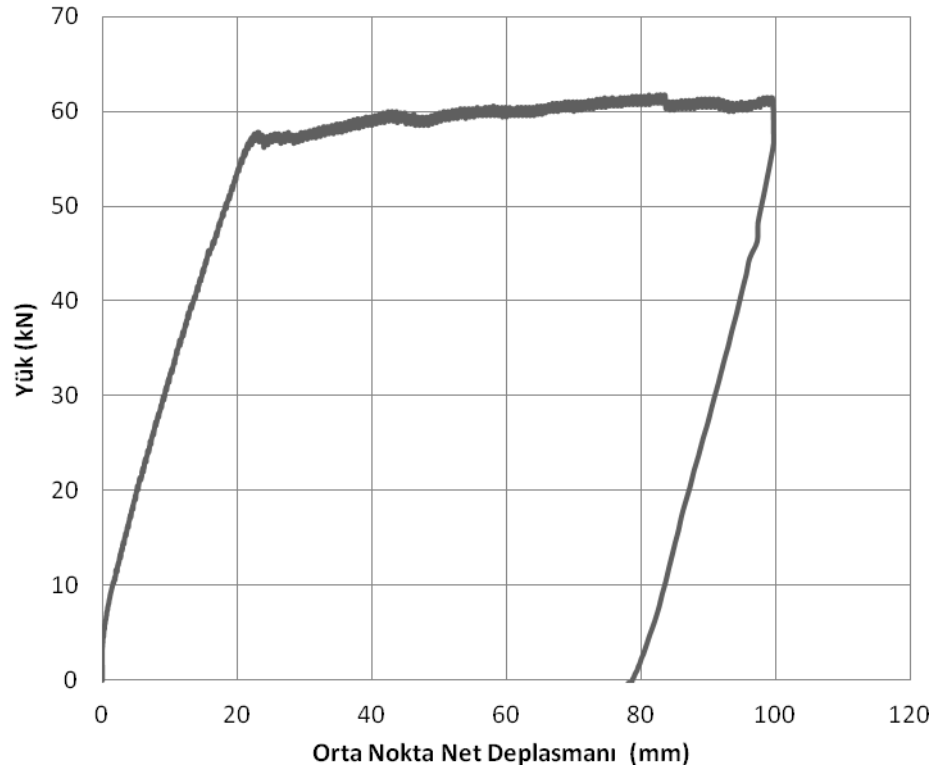
4.4. Deney Elemanı 4

Deney elemanı 4 maksimum moment bölgesinde 400x400 mm boyutlarında boşluğun olduğu elemandır. Deney elemanı 2 ve deney elemanı 3'te olduğu gibi bu elemanda da boşluktan dolayı ortadaki 5 adet donatı kesilmiş ve elemanda uzun doğrultuda toplam 6 adet Ø10 donatı bulunmaktadır. Deney elemanı 4'den elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. 4 numaralı elemanın sonuçları

Deney Elemanı 4	Yük (KN)	Deplasman (mm)
Akma Noktası	57,72	22,64
Göçme Noktası	61,38	98,59
Maksimum	61,82	99,72
Enerji Tüketim Kapasitesi (KN.mm)	4881	
Akma Rijitliği (KN/mm)	2,55	
Süneklik Oranı	4,36	

Deney elemanı 4 akma noktası olan 57,72 kN değerine kadar lineere yakın bir davranış göstermiş, donatının akmasıyla yükte önemli bir artış olmadan deformasyon yapmaya devam etmiştir. Maksimum yükü olan 61,82 kN değerinden sonra bir miktar daha deformasyon yapıp göçmüştür. Elemanın orta bölgesinde alt kısımlarda eğilme çatlakları görülmüştür. Fakat donatı sayısının deney elemanı 2 ile aynı oluşu ve basınç bölgesindeki beton alanının deney elemanı 2'nin basınç bölgesindeki beton alanından büyük olması basınç ezilmesi oluşumunu önlemiştir. Enerji tüketim kapasitesi 4881 kN.mm, akma rijitliği 2,55 kN/mm, süneklik oranı 4,36 olarak hesaplanmıştır. Deney elemanının yük – deplasman grafiği Şekil 4.4'de, elemanın eğilme çatlakları Resim 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.4. 4 numaralı elemanın yük-deplasman grafiği



Resim 4.9. 4 numaralı elemanın eğilme çatlakları

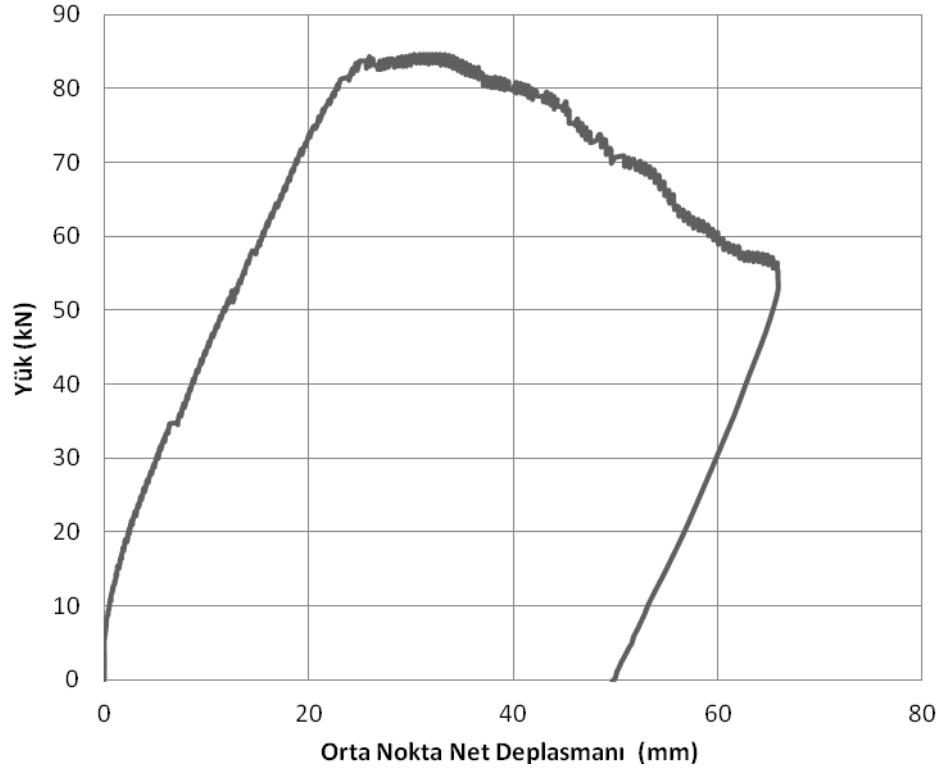
4.5. Deney elemanı 5

Deney elemanı 5 kesme bölgesinde 400x400 mm boyutlarında boşluğun olduğu elemandır. Boşluktan dolayı ortadaki 5 adet donatısı kesilen elemanda uzun doğrultuda toplam 6 adet Ø10 donatı bulunmaktadır. Deney elemanı 5'den elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. 5 numaralı elemanın sonuçları

Deney Elemanı 5	Yük (KN)	Deplasman (mm)
Akma Noktası	83,71	25,00
Göçme Noktası	71,90	48,87
Maksimum	84,59	65,87
Enerji Tüketim Kapasitesi (KN.mm)	3165	
Akma Rijitliği (KN/mm)	3,35	
Süneklik Oranı	1,95	

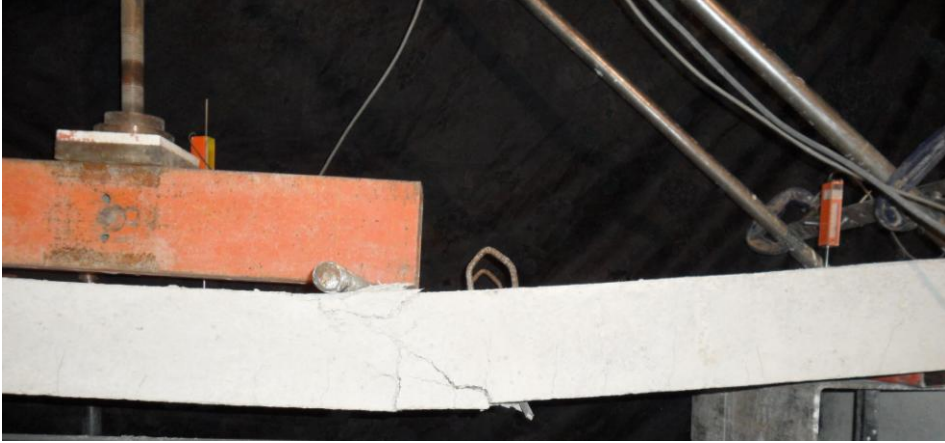
Deney elemanı 5 akma noktası olan 83,71 kN değerine kadar lineere yakın bir davranış göstermiştir. Donatının akmasıyla taşıma kapasitesinde önemli bir azalma gözlenmiş ve bir miktar daha deplasman yapıp göçmüştür. Elemanın maksimum taşıma gücü akma anından hemen sonra 84,59 kN olarak ölçülmüştür. Kesme bölgesinde bulunan boşluk etrafında büyük çatlaklar tespit edilmiştir. Elemanın göçmesine boşluk etrafında oluşan bu büyük çatlaklar neden olmuştur. Ayrıca boşluktan dolayı oluşan kesme çatlakları nedeniyle alt yüzde bulunan bazı donatıların betondan soyulduğu gözlemlenmiştir. Enerji tüketim kapasitesi 3165 kN.mm, akma rijitliği 3,35 kN/mm, süneklik oranı 1,95 olarak hesaplanmıştır. Deney elemanı 5'in yük-deplasman grafiği Şekil 4.5'de, elemanın eğilme çatlakları Resim 4.10'da, elemanın kesme çatlağı Resim 4.11'de, elemanda boşlukta oluşan çatlaklar Resim 4.12'de, elemanda alttan çıkan donatılar Resim 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. 5 numaralı elemanın yük-deplasman grafiği



Resim 4.10. 5 numaralı elemanın eğilme çatlakları



Resim 4.11. 5 numaralı elemanın kesme çatlağı



Resim 4.12. 5 numaralı elemanda boşlukta oluşan çatlaklar



Resim 4.13. 5 numaralı elemanda alttan çıkan donatılar

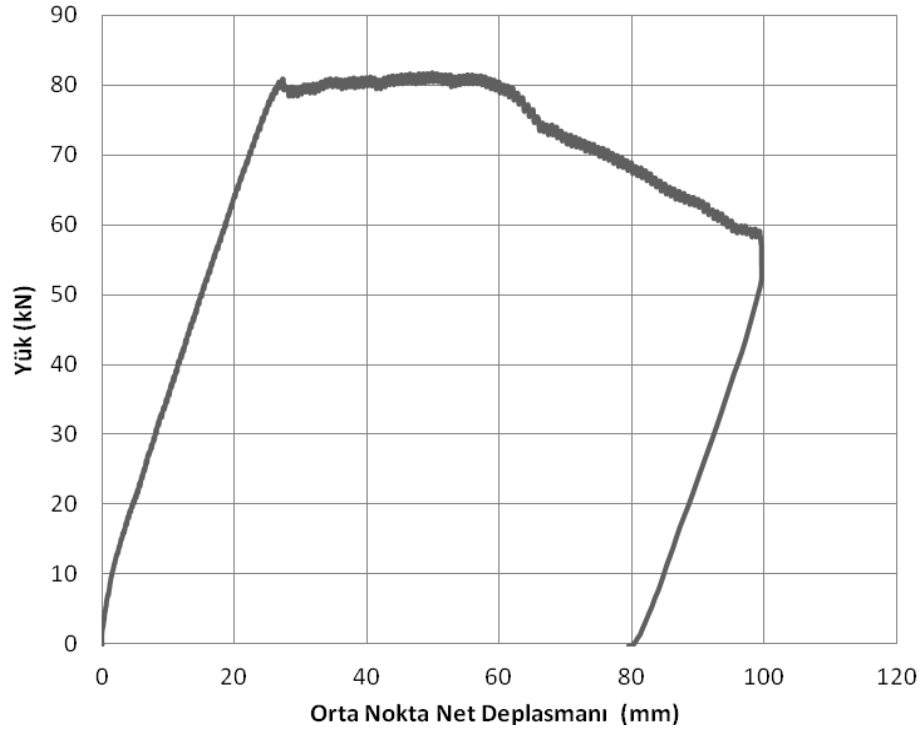
4.6. Deney Elemanı 6

Deney elemanı 6 maksimum moment bölgesinde 300x300 mm boyutlarında boşluğun olduğu elemandır. Boşluktan dolayı ortadaki 3 adet donatı kesilmiş ve elemanda uzun doğrultuda toplam 8 adet Ø10 donatı bulunmaktadır. Deney elemanı 6'dan elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. 6 numaralı elemanın sonuçları

Deney Elemanı 6	Yük (KN)	Deplasman (mm)
Akma Noktası	80,22	26,98
Göçme Noktası	69,55	78,13
Maksimum	81,82	99,69
Enerji Tüketim Kapasitesi (KN.mm)	5267	
Akma Rijitliği (KN/mm)	2,97	
Süneklik Oranı	2,90	

Deney elemanı 6 akma noktası olan 80,22 kN değerine kadar lineere yakın bir davranış göstermiş, donatının akmasıyla yükte önemli bir artış olmadan deformasyon yapmaya devam etmiş daha sonra yük azalarak maksimum deplasman değerine ulaşmış ve göçmüştür. Maksimum taşıma gücü 81,82 kN olarak ölçülmüştür. Elemanın orta bölgesinde alt kısımlarda eğilme çatlakları görülmüştür. Kısa bir süre sonra orta üst bölgede basınç ezilmesi görülmüştür. Deney elemanı 6'da deney elemanı 4'te olduğu gibi basınç ezilmesinin görülmemesi beklenebilir. Fakat basınç bölgesi alanı diğer boşluklu deney elemanlarına göre fazla olsa da çekme bölgesindeki donatının daha fazla olması basınç ezilmesine neden olmuştur. Enerji tüketim kapasitesi 5267 kN.mm, akma rijitliği 2,97 kN/mm, süneklik oranı 2,90 olarak hesaplanmıştır. Deney elemanının yük – deplasman grafiği Şekil 4.6'da, elemanın eğilme çatlakları Resim 4.14'de, elemanda oluşan basınç ezilmesi ve deformasyon Resim 4.15'de gösterilmiştir.



Şekil 4.6. 6 numaralı elemanın yük-deplasman grafiği



Resim 4.14. 6 numaralı elemanın eğilme çatlağı



Resim 4.15. 6 numaralı elemandaki basınç ezilmesi ve deformasyon

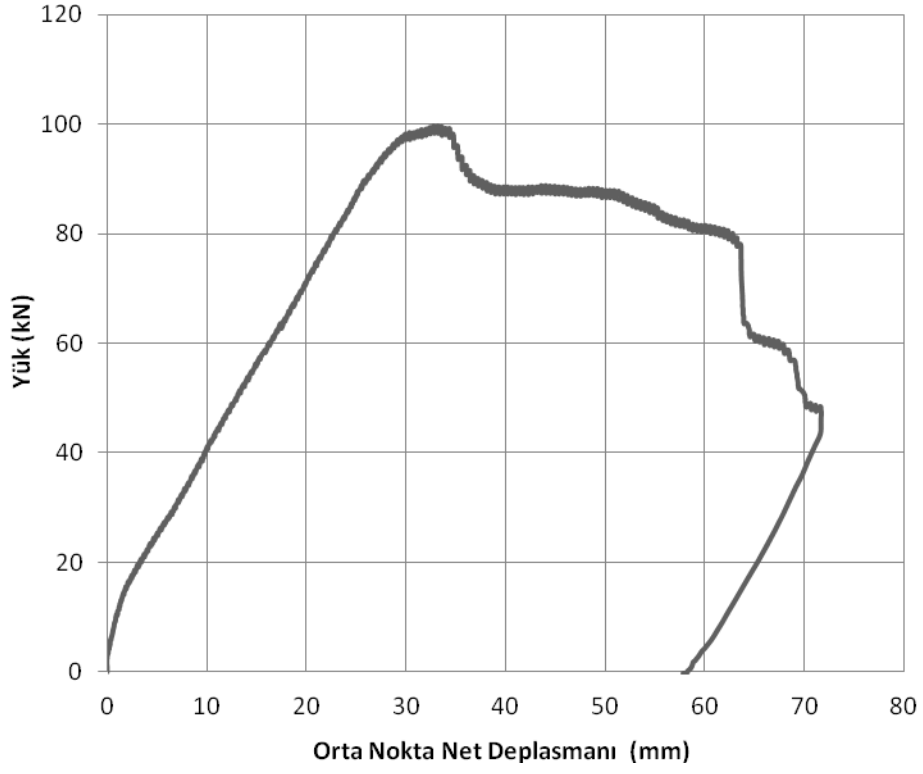
4.7. Deney Elemanı 7

Deney elemanı 7 kesme bölgesinde 300x300 mm boyutlarında boşluğun olduğu elemandır. Boşluktan dolayı ortadaki 3 adet donatısı kesilen elemanda uzun doğrultuda toplam 8 adet Ø10 donatı bulunmaktadır. Deney elemanı 7'den elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. 7 numaralı elemanın sonuçları

Deney Elemanı 7	Yük (kN)	Deplasman (mm)
Akma Noktası	97,42	29,46
Göçme Noktası	84,69	54,20
Maksimum	99,64	71,67
Enerji Tüketim Kapasitesi (kN.mm)	3804	
Akma Rijitliği (kN/mm)	3,31	
Süneklik Oranı	1,84	

Deney elemanı 7 akma noktası olan 97,42 kN değerine kadar lineere yakın bir davranış göstermiştir. Donatının akmasıyla taşıma kapasitesinde önemli bir azalma gözlenmiş ve maksimum deplasman değerine ulaşmış ve göçmüştür. Elemanın maksimum taşıma gücü akma anından hemen sonra 99,64 kN olarak ölçülmüştür. Kesme bölgesinde bulunan boşluk etrafında diğer boşluklu elemanlara nazaran küçük çatlaklar tespit edilmiştir. Elemanın göçmesine ise yükün uygulandığı mesnetin altında oluşan kesme çatlakları neden olmuştur. Enerji tüketim kapasitesi 3804 kN.mm, akma rijitliği 3,31 kN/mm, süneklik oranı 1,84 olarak hesaplanmıştır. Deney elemanının yük-deplasman grafiği Şekil 4.7'de, elemanın kesme çatlakları Resim 4.16'da, boşlukta oluşan çatlaklar Resim 4.17'de, elemanın deformasyonu Resim 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. 7 numaralı elemanın yük-deplasman grafiği



Resim 4.16. 7 numaralı elemanın kesme çatlağı



Resim 4.17. 7 numaralı elemanda boşlukta oluşan çatlaklar



Resim 4.18. 7 numaralı elemanın deformasyonu

4.8. Deney Elemanı 8

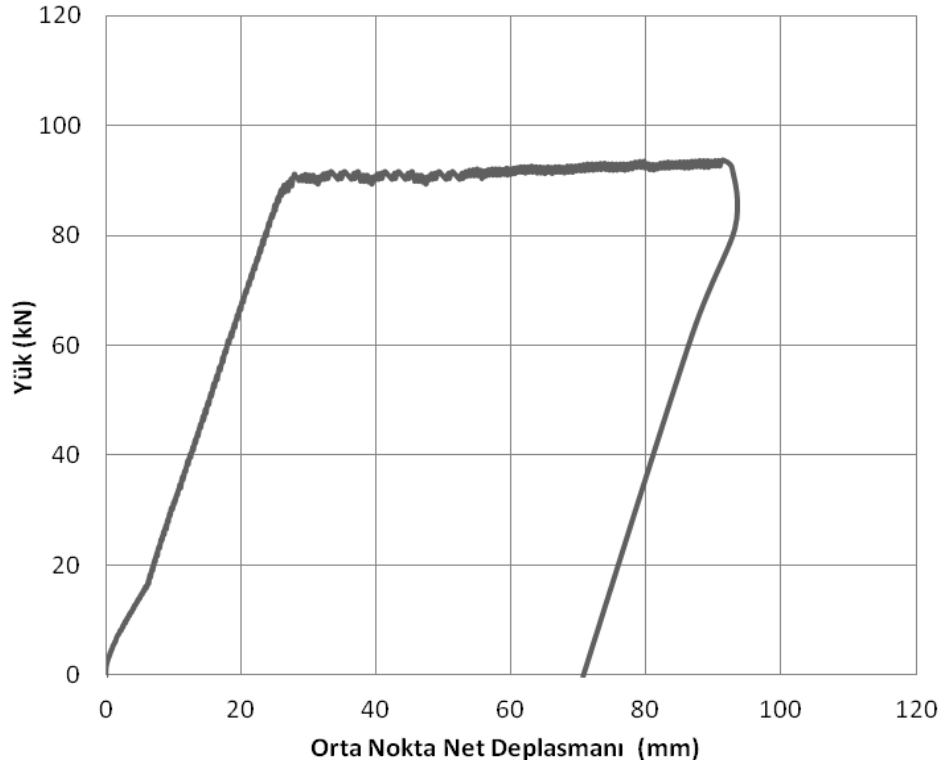
Deney elemanı 8 maksimum moment bölgesinde 500x500 mm boyutlarında boşluğun olduğu elemandır. Bu eleman 2 numaralı deney elemanının CFRP şeritlerle güçlendirilmiş halidir. Boşluktan dolayı ortadaki 5 adet donatısı kesilen elemanda uzun doğrultuda toplam 6 adet Ø10 donatı bulunmaktadır. Boşluk etrafını saracak şekilde 100 mm genişliğinde CFRP şeritle güçlendirme işlemi uygulanmıştır. Deney elemanı 8'den elde edilen sonuçlar Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. 8 numaralı elemanın sonuçları

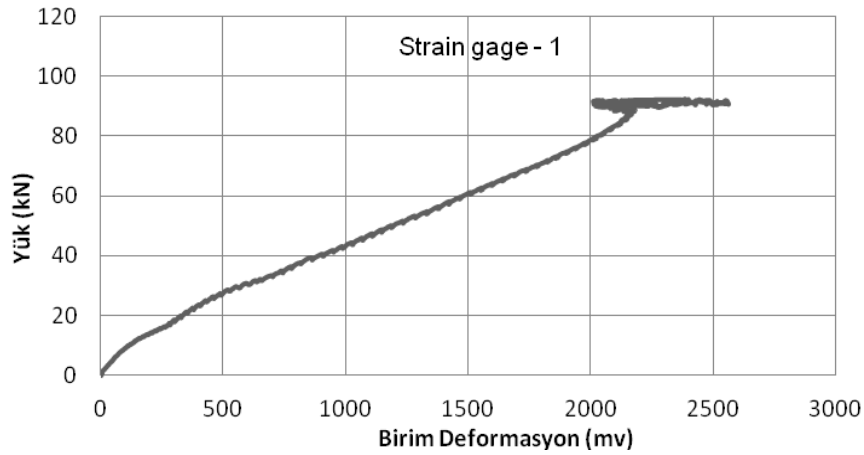
Deney Elemanı 8	Yük (KN)	Deplasman (mm)
Akma Noktası	90,16	27,41
Göçme Noktası	93,85	92,62
Maksimum	93,85	93,20
Enerji Tüketim Kapasitesi (KN.mm)	6321	
Akma Rijitliği (KN/mm)	3,29	
Süneklik Oranı	3,38	

Deney elemanı 8 akma noktası olan 90,16 kN değerine kadar lineere yakın bir davranış göstermiş, donatının akmasıyla yükte önemli bir artış olmadan deformasyon yapmaya devam etmiştir. Eleman sünek bir davranış gösterip maksimum taşıma kapasitesi olan 93,85 kN değerine ulaşmıştır. Referans elemanına çok benzer bir davranış göstermiştir. Elemanın orta bölgesinde alt kısımlarda eğilme çatlakları tespit edilmiştir. Eğilme davranışı sergileyen eleman uzun doğrultuda yapıştırılan CFRP şeritlerin kopmasıyla göçme durumuna ulaşmıştır. Uzun doğrultuda hem sağ hemde sol taraftaki CFRP şeritler koparak beton yüzeyinden soyulmuşlardır. Elemanın maksimum deplasman değeri 93,20 mm olarak ölçülmüştür. Enerji tüketim kapasitesi 6321 kN.mm, akma rijitliği 3,29 kN/mm, süneklik oranı 3,38 olarak hesaplanmıştır. Deney elemanının yük – deplasman grafiği Şekil 4.8'de, 1 numaralı birim deformasyon ölçerin grafiği Şekil 4.9'da, 2 numaralı birim

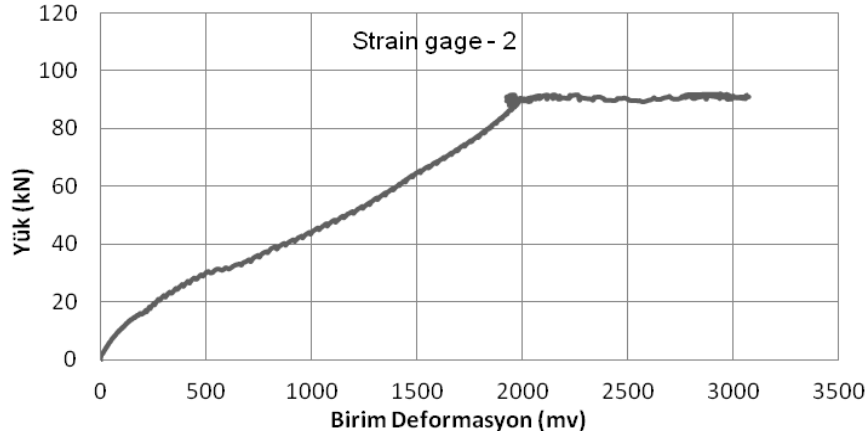
deformasyon ölçerin grafiği Şekil 4.10'da, 3 numaralı birim deformasyon ölçeğin grafiği Şekil 4.11'de, 4 numaralı birim deformasyon ölçerin grafiği Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Deney sırasında kopan CFRP şeritler Resim 4.19'da, elemanın eğilme çatlağı 4.20'de verilmiştir.



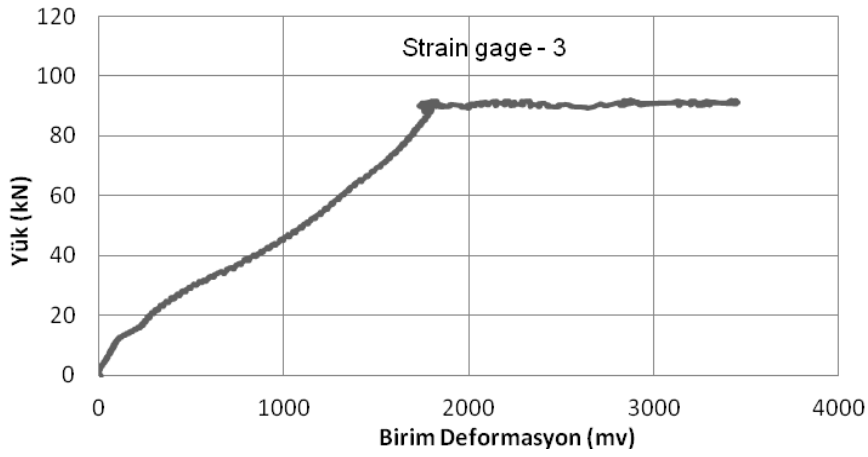
Şekil 4.8. 8 numaralı elemanın yük-deplasman grafiği



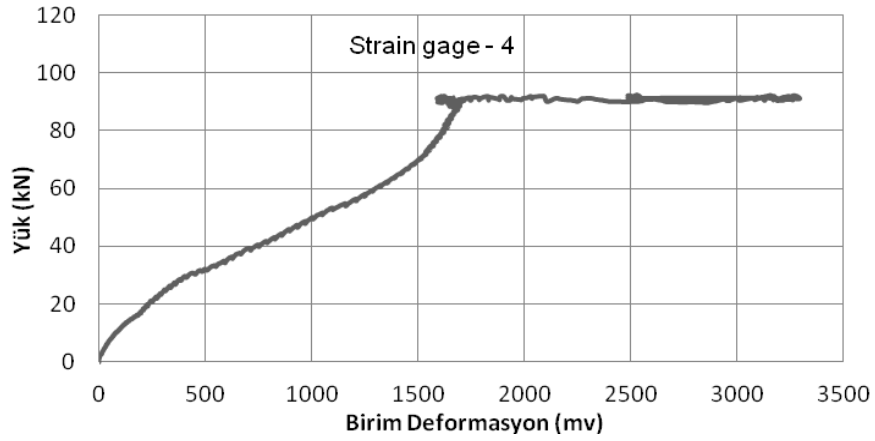
Şekil 4.9. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.10. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.11. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.12. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Resim 4.19. 8 numaralı elemanda kopan CFRP şeritler



Resim 4.20. 8 numaralı elemanın eğilme çatlağı

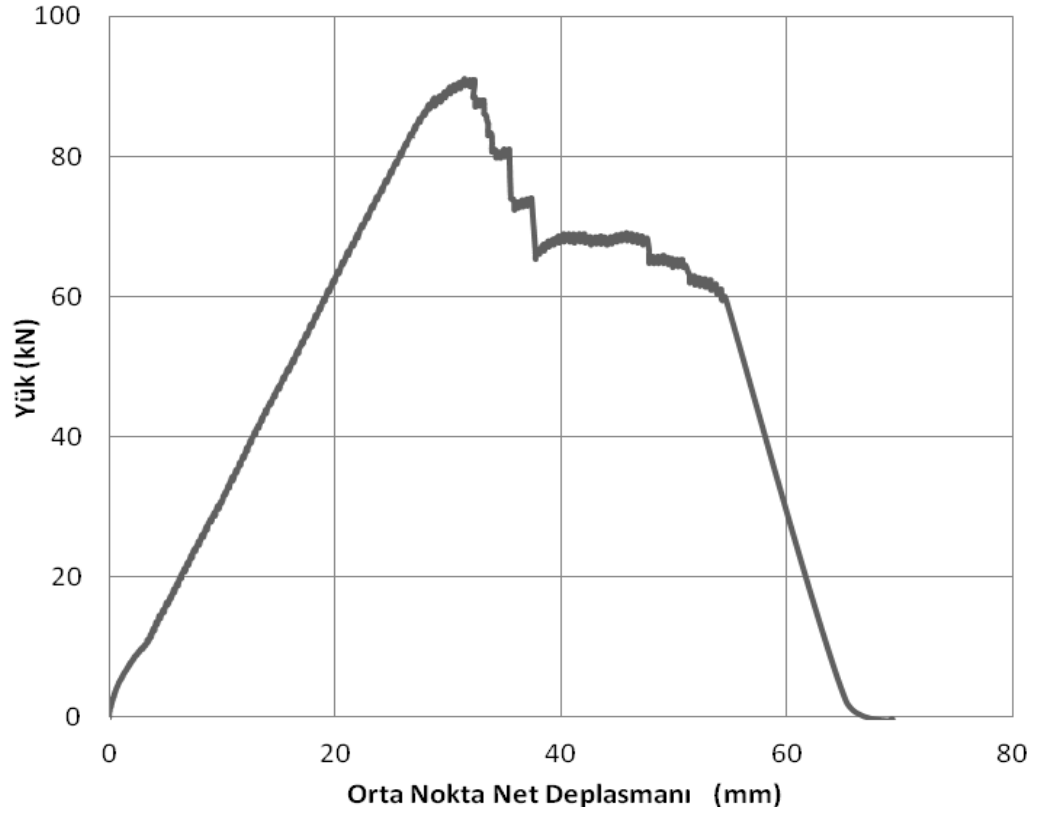
4.9. Deney Elemanı 9

Deney elemanı 9 kesme bölgesinde 500x500 mm boyutlarında boşluğun olduğu elemandır. Bu eleman 3 numaralı deney elemanının CFRP şeritlerle güçlendirilmiş halidir. Boşluktan dolayı ortadaki 5 adet donatısı kesilen elemanda uzun doğrultuda toplam 6 adet Ø10 donatı bulunmaktadır. Boşluk etrafını saracak şekilde 100 mm genişliğinde CFRP şeritle güçlendirme işlemi uygulanmıştır. Deney elemanı 9'dan elde edilen sonuçlar Çizelge 4.9'da verilmiştir.

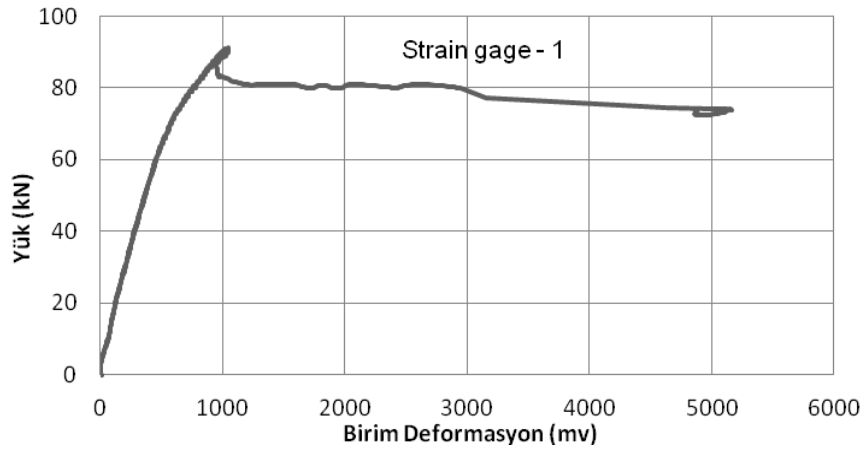
Çizelge 4.9. 9 numaralı elemanın sonuçları

Deney Elemanı 9	Yük (KN)	Deplasman (mm)
Akma Noktası	87,09	28,20
Göçme Noktası	77,49	35,52
Maksimum	91,16	69,38
Enerji Tüketim Kapasitesi (KN.mm)	1887	
Akma Rijitliği (KN/mm)	3,09	
Süneklik Oranı	1,26	

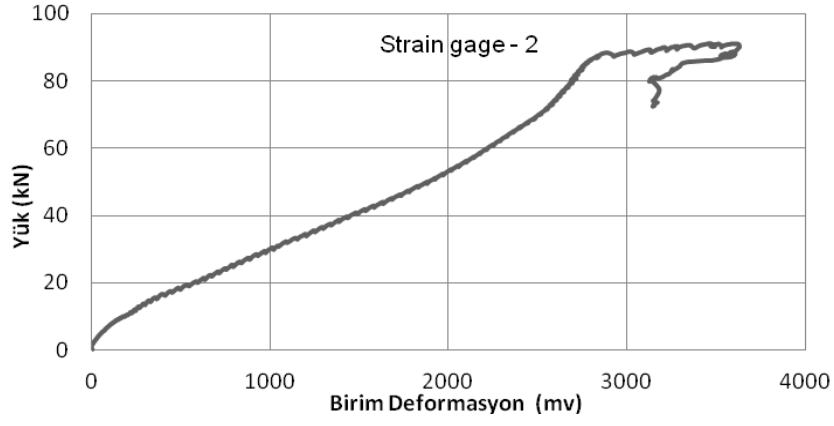
Deney elemanı 9 akma noktası olan 87,09 kN değerine kadar lineere yakın bir davranış göstermiştir. Eleman maksimum taşıma kapasitesi olan 91,16 kN değerine ulaşmış bu esnada meydana gelen kesme çatlağı yük değerinde önemli bir azalmaya neden olmuştur. Kesme çatlağının olduğu bölümde küçük eğilme çatlakları tespit edilmiştir. Beton çatladıktan sonra yük CFRP şeritlere aktarılmış ve CFRP şeritler beton yüzeyinden soyulana kadar yükü bir miktar daha taşımışlardır. Boşluğun bulunduğu kesme bölgesinde büyük çatlaklar oluşmuştur. Kesme kırılmasının gözlemlendiği eleman CFRP şeritlerin beton yüzeyinden soyulmasıyla yük taşıyamaz duruma gelmiştir. Uzun doğrultuda hem sağ hemde sol taraftaki CFRP şeritler ve boşluğun mesnet tarafındaki kısa doğrultudaki şerit beton yüzeyinden soyulmuştur. Elemanın maksimum deplasman değeri 69,38 mm olarak ölçülmüştür. Enerji tüketim kapasitesi 1887 kN.mm, akma rijitliği 3,09 kN/mm, süneklik oranı 1,26 olarak hesaplanmıştır. Deney elemanının yük – deplasman grafiği Şekil 4.13’de, 1 numaralı birim deformasyon ölçerin grafiği Şekil 4.14’de, 2 numaralı birim deformasyon ölçerin grafiği Şekil 4.15’de, 3 numaralı birim deformasyon ölçerin grafiği Şekil 4.16’da, 4 numaralı birim deformasyon ölçerin grafiği Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Deney elemanında oluşan kesme çatlakları Resim 4.21’de, beton yüzeyinden soyulan CFRP şeritler Resim 4.22’de verilmiştir.



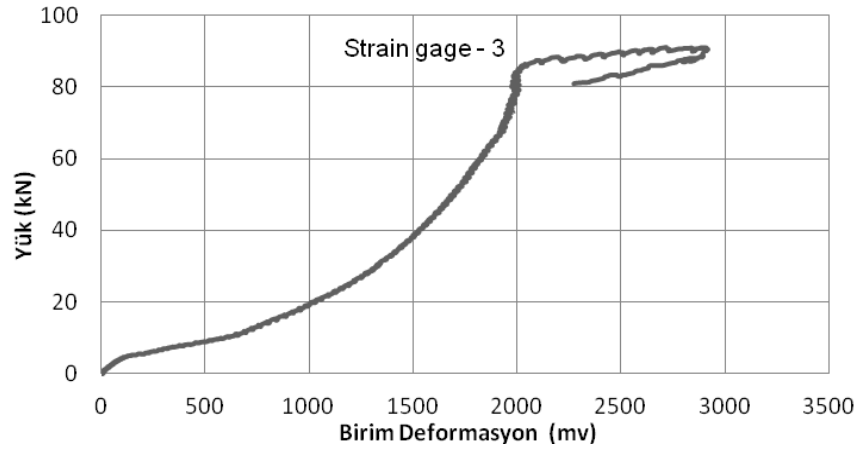
Şekil 4.13. 9 numaralı elemanın yük-deplasman grafiği



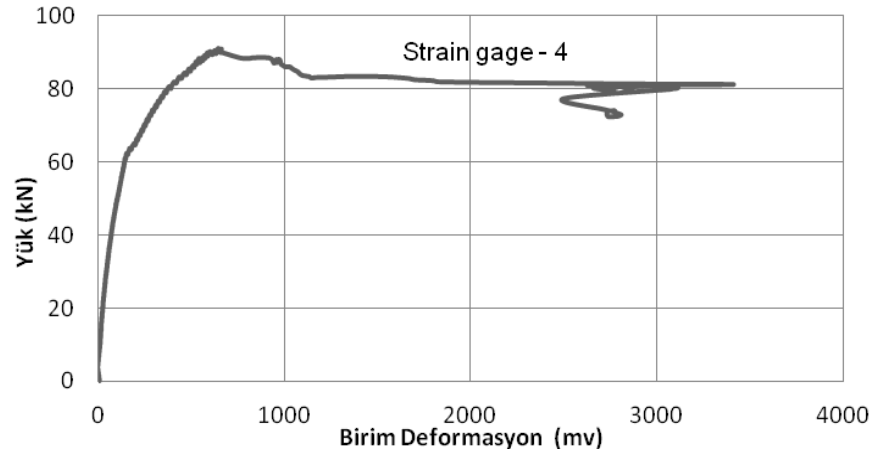
Şekil 4.14. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.15. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



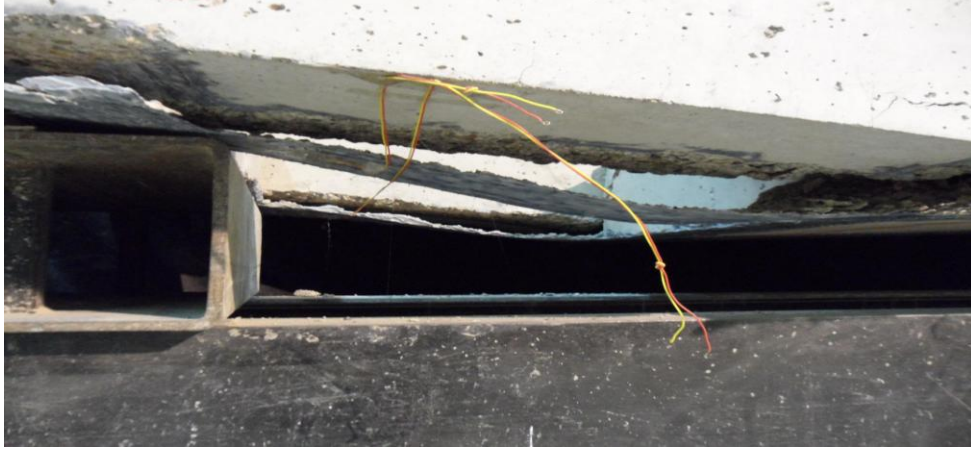
Şekil 4.16. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.17. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Resim 4.21. 9 numaralı elemanda oluşan kesme çatlakları



Resim 4.22. 9 numaralı elemanda yüzeyden soyulan CFRP şeritler

4.10. Deney Elemanı 10

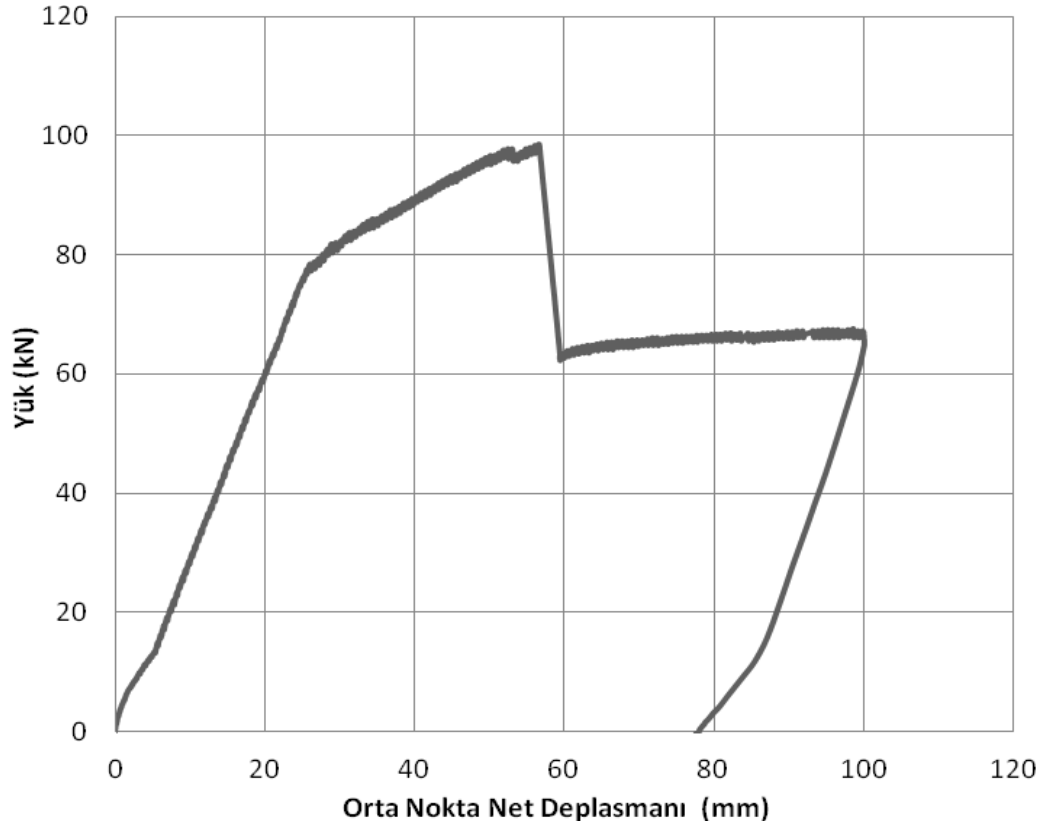
Deney elemanı 10 maksimum moment bölgesinde 400x400 mm boyutlarında boşluğun olduğu elemandır. Bu eleman 4 numaralı deney elemanının CFRP şeritlerle güçlendirilmiş halidir. Boşluktan dolayı ortadaki 5 adet donatısı kesilen elemanda uzun doğrultuda toplam 6 adet Ø10 donatı bulunmaktadır.

Boşluk etrafını saracak şekilde 100 mm genişliğinde CFRP şeritle güçlendirme işlemi uygulanmıştır. Deney elemanı 10'dan elde edilen sonuçlar Çizelge 4.10'da verilmiştir.

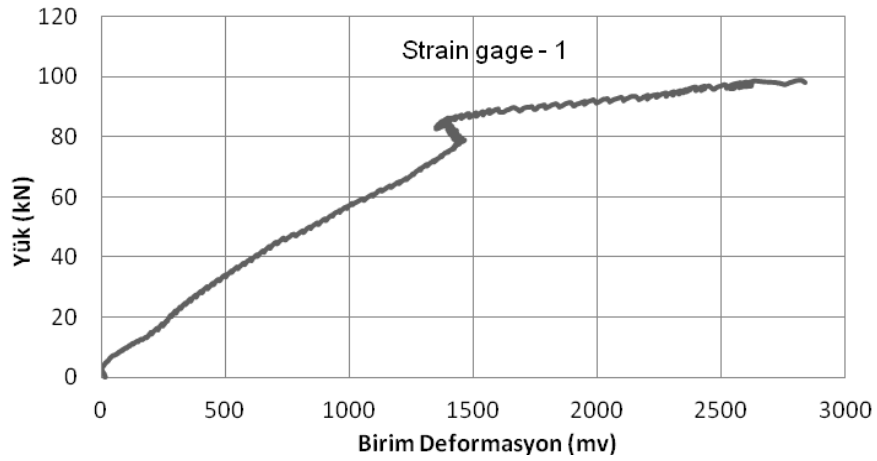
Çizelge 4.10. 10 numaralı elemanın sonuçları

Deney Elemanı 10	Yük (KN)	Deplasman (mm)
Akma Noktası	77,55	25,60
Göçme Noktası	83,84	58,58
Maksimum	98,64	100,20
Enerji Tüketim Kapasitesi (KN.mm)	3976	
Akma Rijitliği (KN/mm)	3,03	
Süneklik Oranı	2,29	

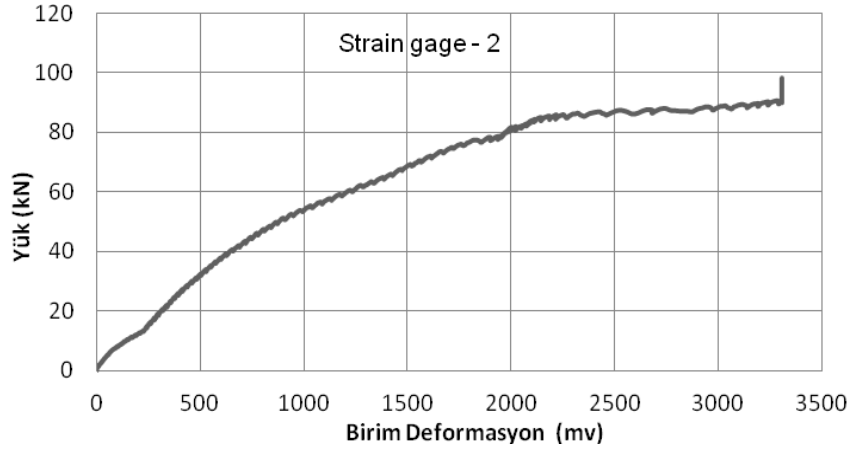
Deney elemanı 10 akma noktası olan 77,55 kN değerine kadar lineere yakın bir davranış göstermiş, donatının akmasıyla yükte bir miktar daha artış olarak deformasyon yapmaya devam etmiştir. Maksimum yük değerinden hemen sonra bir taraftaki CFRP şeritin kopmasıyla yük önemli ölçüde azalmış ve bir süre daha eleman deformasyon yapmaya devam etmiştir. Diğer şeritin de kopmasıyla eleman göçmüştür. Maksimum taşıma kapasitesi ilk şerit kopmadan önce 98,64 kN olarak ölçülmüştür. Elemanın orta bölgesinde alt kısımlarda eğilme çatlakları tespit edilmiştir. Deney elemanı uzun doğrultuda yapıştırılan CFRP şeritlerin kopmasıyla göçme durumuna ulaşmıştır. Uzun doğrultuda hem sağ hemde sol taraftaki CFRP şeritler koparak beton yüzeyinden soyulmuşlardır. Elemanın maksimum deplasman değeri 100,20 mm olarak ölçülmüştür. Enerji tüketim kapasitesi 3976 kN.mm, akma rijitliği 3,03 kN/mm, süneklik oranı 2,29 olarak hesaplanmıştır. Deney elemanının yük – deplasman grafiği Şekil 4.18'de, 1 numaralı birim deformasyon ölçerin grafiği Şekil 4.19'da, 2 numaralı birim deformasyon ölçerin grafiği Şekil 4.20'de, 3 numaralı birim deformasyon ölçerin grafiği Şekil 4.21'de, 4 numaralı birim deformasyon ölçerin grafiği Şekil 4.22'de gösterilmiştir. Deney sırasında kopan CFRP şeritler Resim 4.23'de, elemanın eğilme çatlağı Resim 4.24'de verilmiştir.



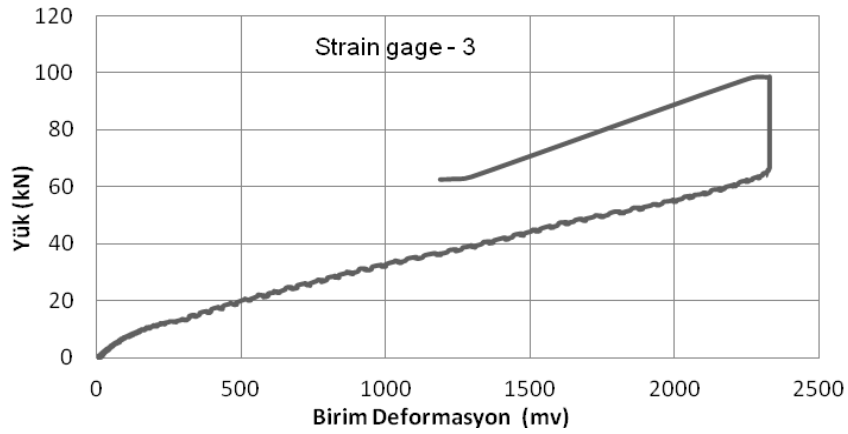
Şekil 4.18. 10 numaralı elemanın yük-deplasman grafiği



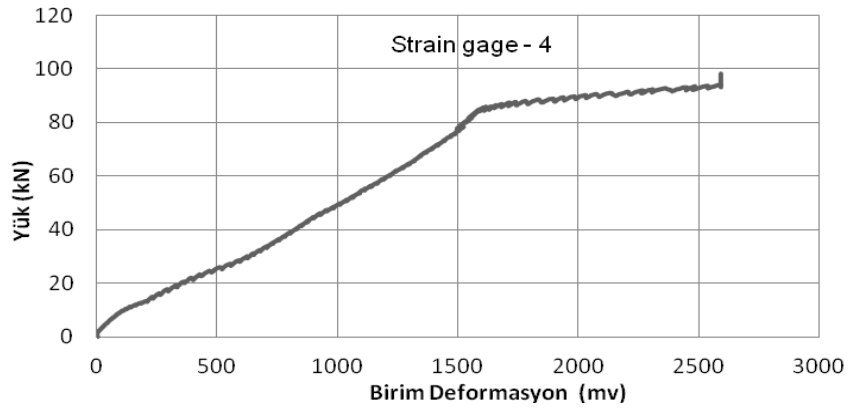
Şekil 4.19. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.20. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.21. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.22. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Resim 4.23. 10 numaralı elemanda kopan CFRP şeritler



Resim 4.24. 10 numaralı elemanın eğilme çatlağı

4.11. Deney Elemanı 11

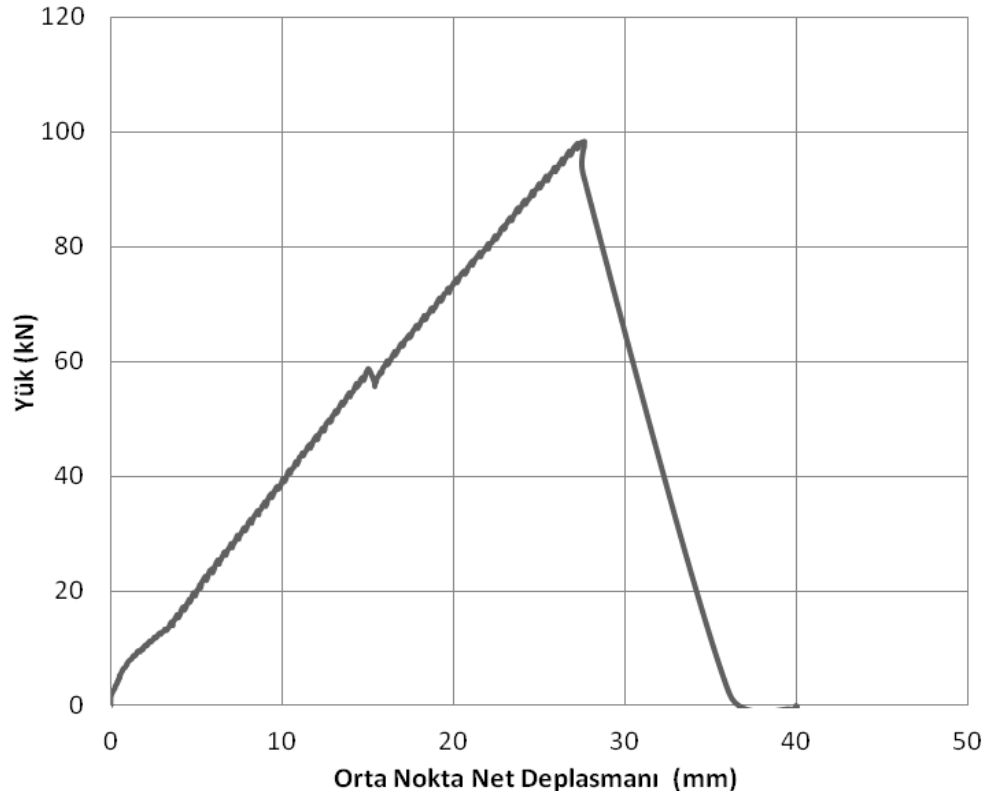
Deney elemanı 11 kesme bölgesinde 400x400 mm boyutlarında boşluğun olduğu elemandır. Bu eleman 5 numaralı deney elemanının CFRP şeritlerle güçlendirilmiş halidir. Boşluktan dolayı ortadaki 5 adet donatısı kesilen elemanda uzun doğrultuda toplam 6 adet Ø10 donatı bulunmaktadır. Boşluk etrafını saracak şekilde 100 mm genişliğinde CFRP şeritle güçlendirme işlemi uygulanmıştır. Deney elemanı 11'den elde edilen sonuçlar Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. 11 numaralı elemanın sonuçları

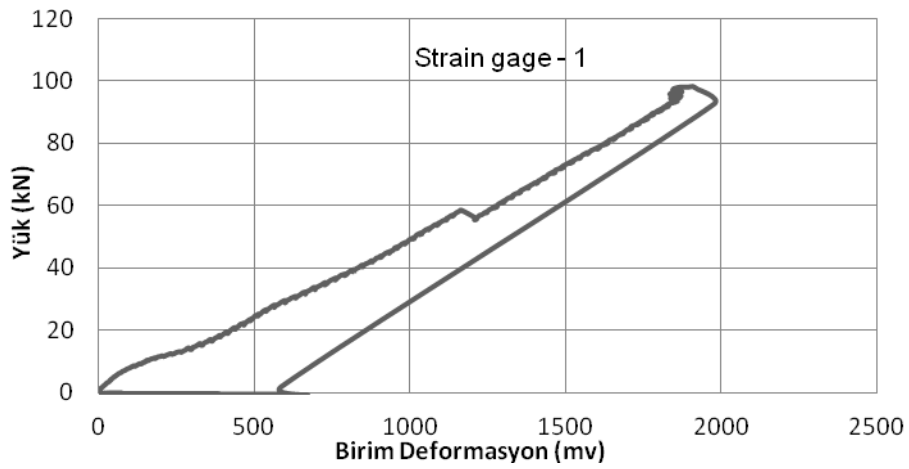
Deney Elemanı 11	Yük (KN)	Deplasman (mm)
Akma Noktası	96,76	26,74
Göçme Noktası	83,69	28,55
Maksimum	98,46	40,02
Enerji Tüketim Kapasitesi (KN.mm)	1512	
Akma Rijitliği (KN/mm)	3,62	
Süneklik Oranı	1,07	

Deney elemanı 11 akma noktası olan 96,76 kN değerine kadar lineere yakın bir davranış göstermiştir. Eleman maksimum taşıma kapasitesi olan 98,46 kN değerine ulaşmış bu esnada meydana gelen kesme çatlağı göçmeye neden olmuştur. Kesme çatlağının olduğu bölümde küçük eğilme çatlakları tespit edilmiştir. Boşluğun bulunduğu kesme bölgesinde büyük çatlaklar oluşmuştur. Oluşan büyük kesme çatlağından sonra boşluğun mesnet tarafındaki kısa doğrultudaki CFRP şerit beton yüzeyinden soyulmuş ve bu nedenle uzun doğrultudaki şeritlere yük aktarımı olmadan eleman göçmüştür. Elemanın maksimum deplasman değeri 40,02 mm olarak ölçülmüştür. Enerji tüketim kapasitesi 1512 kN.mm, akma rijitliği 3,62 kN/mm, süneklik oranı 1,07 olarak hesaplanmıştır. Deney elemanının yük – deplasman grafiği Şekil 4.23'de, 1 numaralı birim deformasyon ölçerin grafiği Şekil 4.24'de, 2 numaralı birim deformasyon ölçerin grafiği Şekil 4.25'de, 3 numaralı birim

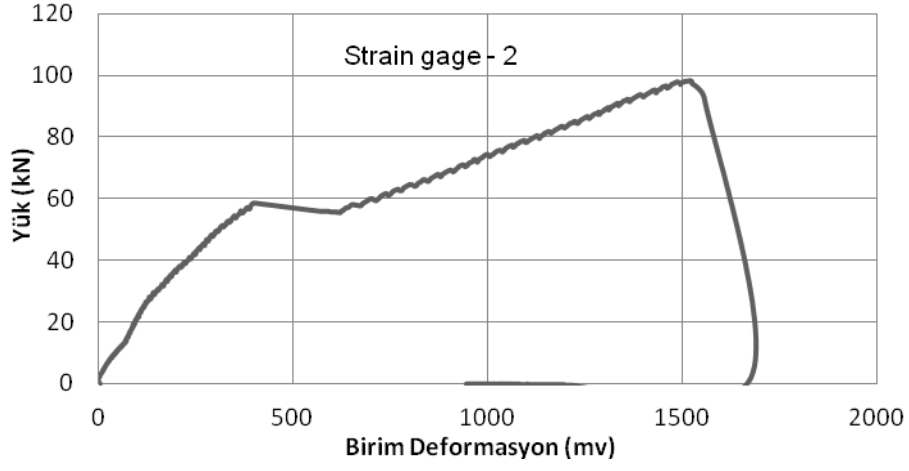
deformasyon ölçerin grafiği Şekil 4.26'da, 4 numaralı birim deformasyon ölçerin grafiği Şekil 4.27'de gösterilmiştir. Deney elemanında oluşan kesme çatlağı Resim 4.25'de, yüzeyden soyulan CFRP şeritler 4.26'da verilmiştir.



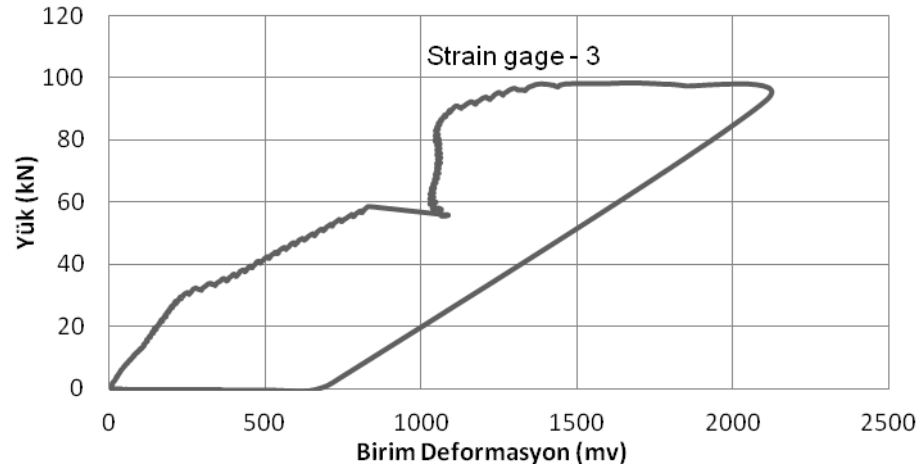
Şekil 4.23. 11 numaralı elemanın yük-deplasman grafiği



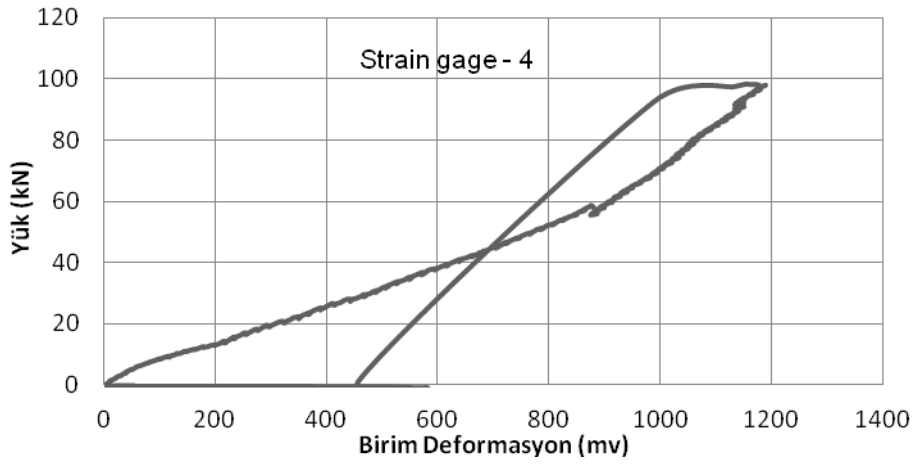
Şekil 4.24. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.25. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.26. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.27. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Resim 4.25. 11 numaralı elemanda oluşan kesme çatlağı



Resim 4.26. 11 numaralı elemanda yüzeyden soyulan CFRP şeritler

4.12. Deney Elemanı 12

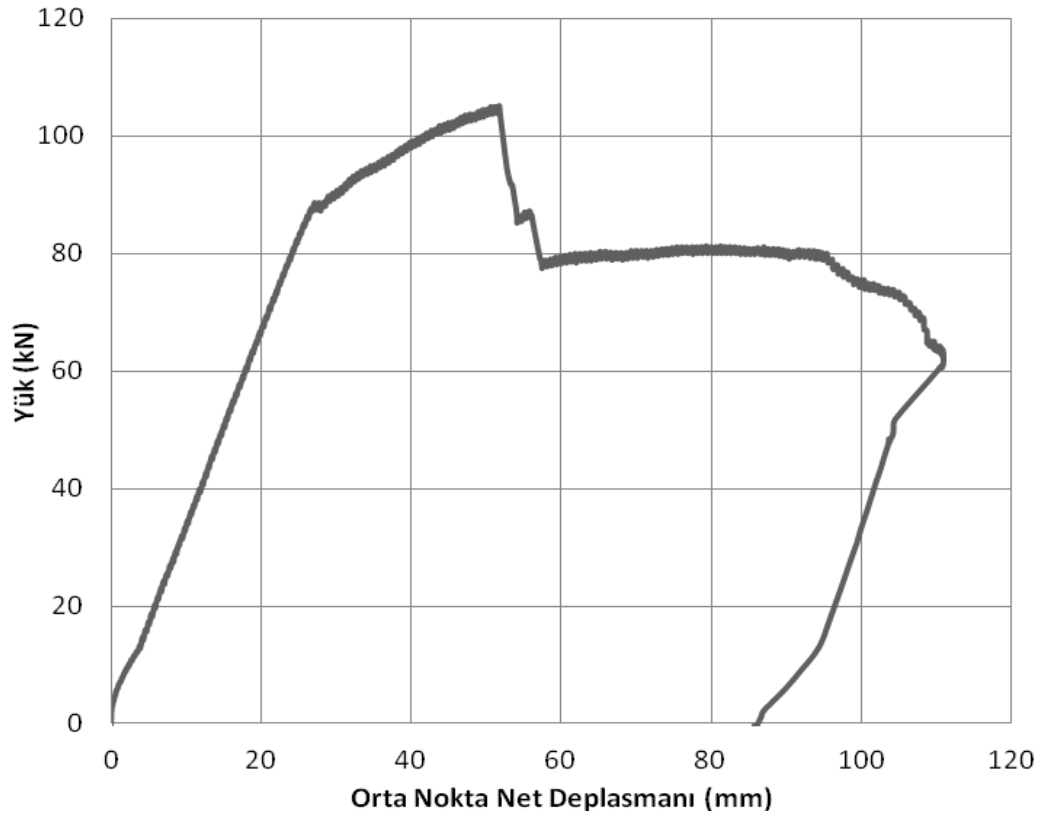
Deney elemanı 12 maksimum moment bölgesinde 300x300 mm boyutlarında boşluğun olduğu elemandır. Bu eleman 6 numaralı deney elemanının CFRP şeritlerle güçlendirilmiş halidir. Boşluktan dolayı ortadaki 3 adet donatısı kesilen elemanda uzun doğrultuda toplam 8 adet Ø10 donatı bulunmaktadır. Boşluk etrafını saracak şekilde 100 mm genişliğinde CFRP şeritle güçlendirme işlemi uygulanmıştır. Deney elemanı 12'den elde edilen sonuçlar Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. 12 numaralı elemanın sonuçları

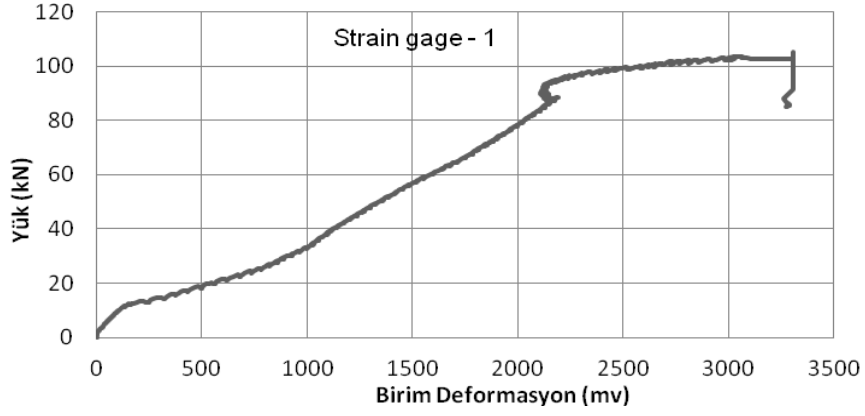
Deney Elemanı 12	Yük (KN)	Deplasman (mm)
Akma Noktası	87,20	27,96
Göçme Noktası	89,35	54,58
Maksimum	105,12	111,08
Enerji Tüketim Kapasitesi (KN.mm)	3893	
Akma Rijitliği (KN/mm)	3,12	
Süneklik Oranı	1,95	

Deney elemanı 12 akma noktası olan 87,20 kN değerine kadar lineere yakın bir davranış göstermiş, donatının akmasıyla yükte bir miktar daha artış olarak deformasyon yapmaya devam etmiştir. Maksimum yük değerinden hemen sonra bir taraftaki CFRP şeritin kopmasıyla yük bir miktar azalmış ve bir süre daha eleman deformasyon yapmaya devam etmiştir. Diğer şeritin de kopmasıyla eleman göçmüştür. Maksimum taşıma kapasitesi ilk şerit kopmadan önce 105,12 kN olarak ölçülmüştür. Elemanın orta bölgesinde üst kısımda basınç ezilmesiyle birlikte alt kısımlarda eğilme çatlakları tespit edilmiştir. Deney elemanı uzun doğrultuda yapıştırılan CFRP şeritlerin kopmasıyla göçme durumuna ulaşmıştır. Uzun doğrultuda hem sağ hem de sol taraftaki CFRP şeritler koparak beton yüzeyinden soyulmuşlardır. Elemanın maksimum deplasman değeri 111,08 mm olarak ölçülmüştür. Enerji tüketim kapasitesi 3893 kN.mm, akma rijitliği 3,12 kN/mm, süneklik

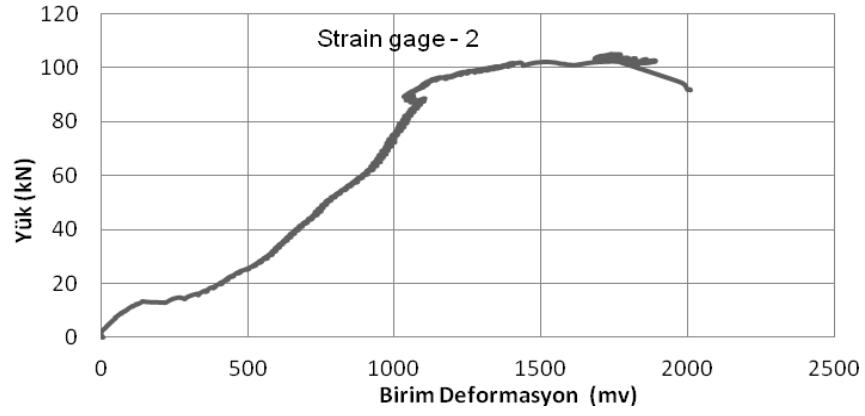
oranı 1,95 olarak hesaplanmıştır. Deney elemanının yük – deplasman grafiği Şekil 4.28’de, 1 numaralı birim deformasyon ölçerin grafiği Şekil 4.29’da, 2 numaralı birim deformasyon ölçerin grafiği Şekil 4.30’da, 3 numaralı birim deformasyon ölçerin grafiği Şekil 4.31’de, 4 numaralı birim deformasyon ölçerin grafiği Şekil 4.32’de gösterilmiştir. Deney elemanının eğilme çatlağı ve basınç ezilmesi Resim 4.27’de, kopan CFRP şeritler 4.28’de verilmiştir.



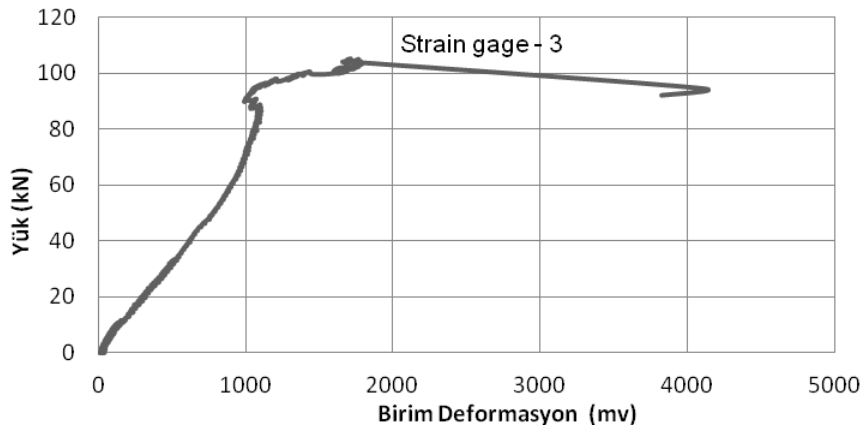
Şekil 4.28. 12 numaralı elemanın yük-deplasman grafiği



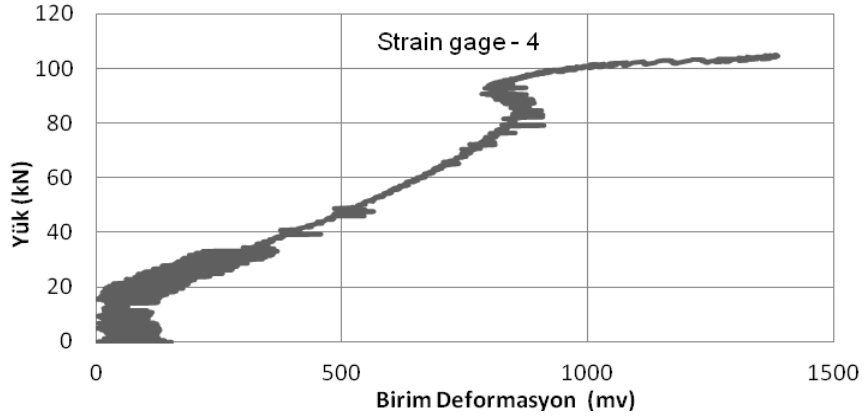
Şekil 4.29. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.30. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.31. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.32. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Resim 4.27. 12 numaralı eleman eğilme çatlağı, basınç ezilmesi



Resim 4.28. 12 numaralı elemanda kopan CFRP şeritler

4.13. Deney Elemanı 13

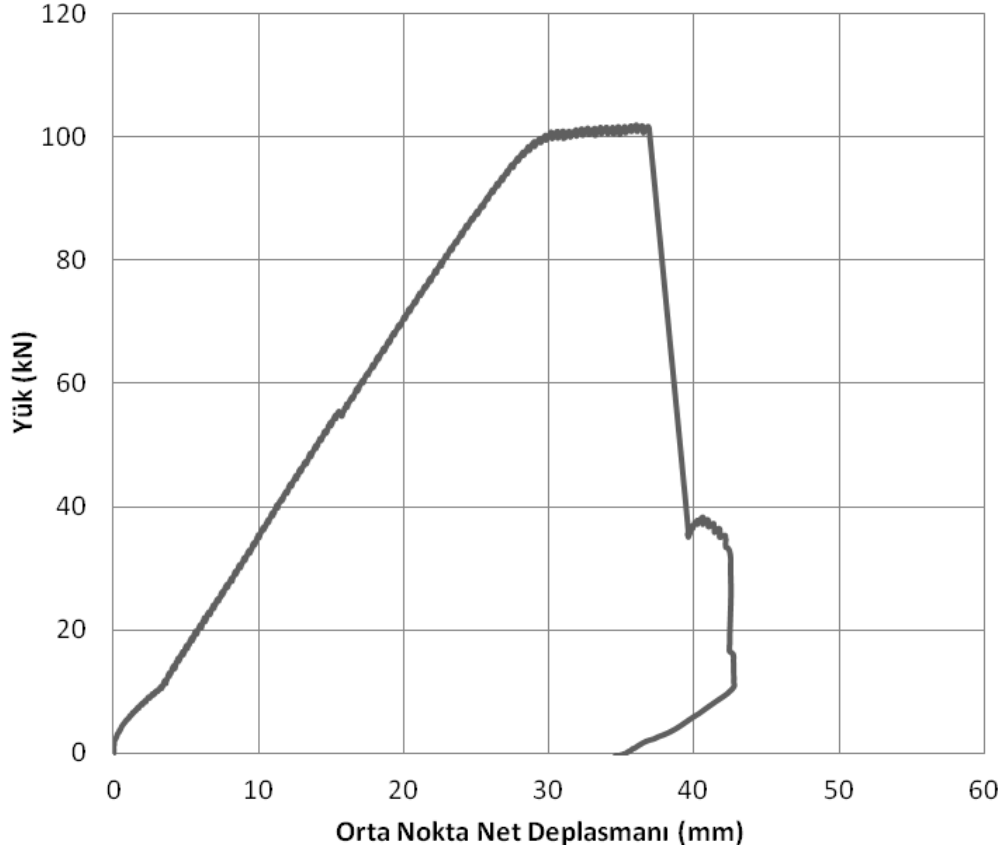
Deney elemanı 13 kesme bölgesinde 300x300 mm boyutlarında boşluğun olduğu elemandır. Bu eleman 7 numaralı deney elemanının CFRP şeritlerle güçlendirilmiş halidir. Boşluktan dolayı ortadaki 3 adet donatısı kesilen elemanda uzun doğrultuda toplam 8 adet Ø10 donatı bulunmaktadır. Boşluk etrafını saracak şekilde 100 mm genişliğinde CFRP şeritle güçlendirme işlemi uygulanmıştır. Deney elemanı 13'den elde edilen sonuçlar Çizelge 4.13'de verilmiştir.

Çizelge 4.13. 13 numaralı elemanın sonuçları

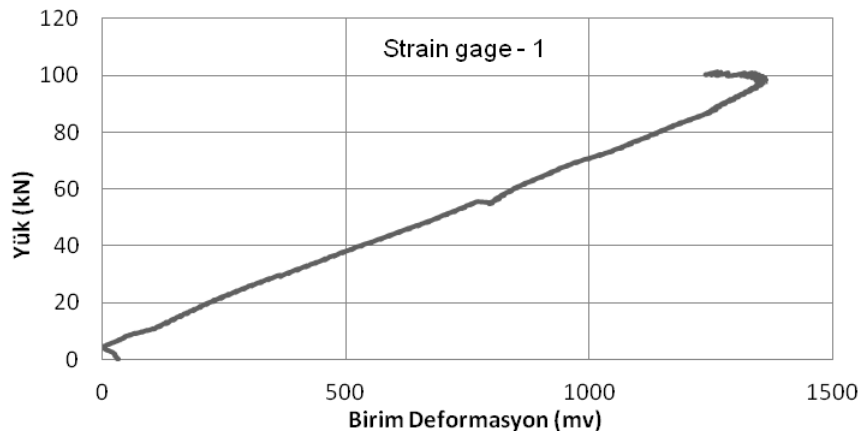
Deney Elemanı 13	Yük (KN)	Deplasman (mm)
Akma Noktası	97,09	28,25
Göçme Noktası	86,62	37,53
Maksimum	101,91	42,71
Enerji Tüketim Kapasitesi (KN.mm)	2324	
Akma Rijitliği (KN/mm)	3,44	
Süneklik Oranı	1,33	

Deney elemanı 13 akma noktası olan 97,09 kN değerine kadar lineere yakın bir davranış göstermiştir. Eleman maksimum taşıma kapasitesi olan 101,91 kN değerine ulaşmış bu esnada meydana gelen kesme çatlağı göçmeye neden olmuştur. Kesme çatlağının olduğu bölümde küçük eğilme çatlakları tespit edilmiştir. Boşluğun bulunduğu kesme bölgesinde kesme çatlakları oluşmuştur. Oluşan kesme çatlağından sonra CFRP şeritler beton yüzeyinden soyulmuş fakat kopmamıştır. Elemanın maksimum deplasman değeri 42,71 mm olarak ölçülmüştür. Enerji tüketim kapasitesi 2324 kN.mm, akma rijitliği 3,44 kN/mm, süneklik oranı 1,33 olarak hesaplanmıştır. Deney elemanının yük – deplasman grafiği Şekil 4.33'de, 1 numaralı birim deformasyon ölçerin grafiği Şekil 4.34'de, 2 numaralı birim deformasyon ölçerin grafiği Şekil 4.35'de, 3 numaralı birim deformasyon ölçerin grafiği Şekil 4.36'da, 4 numaralı birim deformasyon ölçerin grafiği Şekil 4.37'de

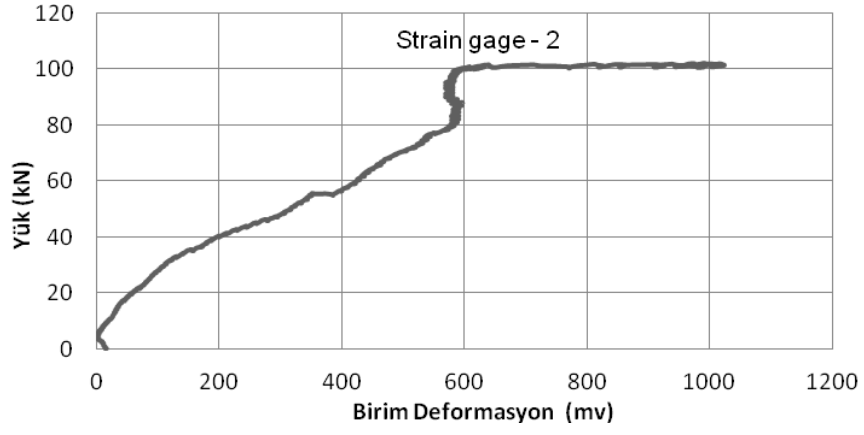
gösterilmiştir. Deney elemanında oluşan kesme çatlağı Resim 4.29'da, yüzeyden soyulan CFRP şeritler Resim 4.30'da verilmiştir.



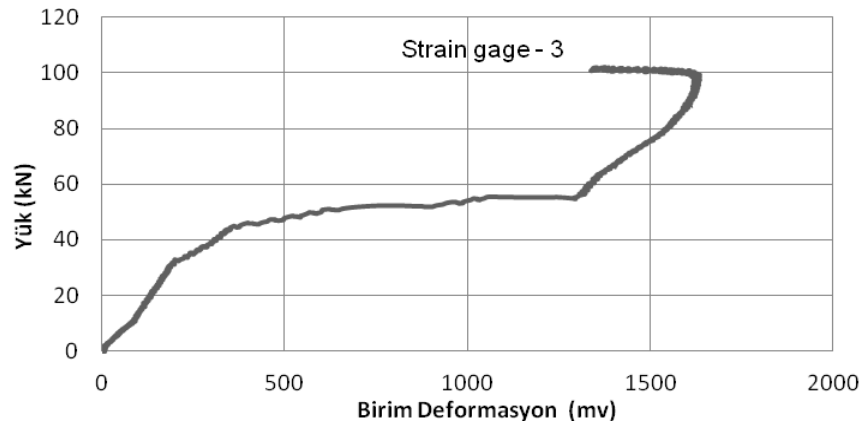
Şekil 4.33. 13 numaralı elemanın yük-deplasman grafiği



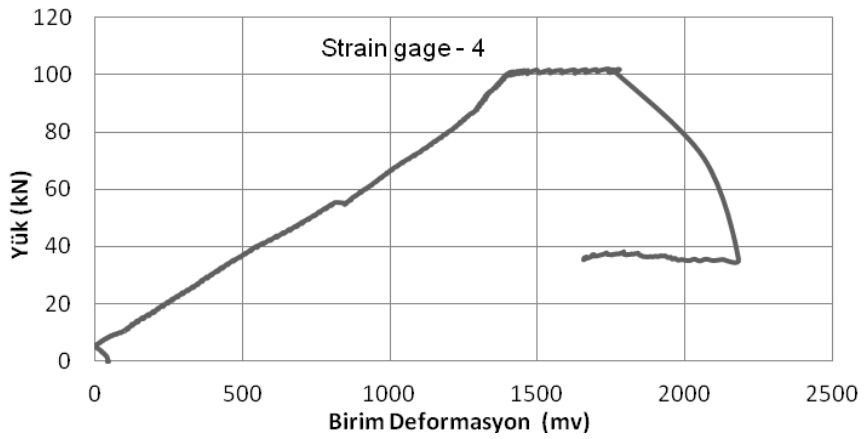
Şekil 4.34. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.35. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.36. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.37. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Resim 4.29. 13 numaralı elemanda oluşan kesme çatlağı



Resim 4.30. 13 numaralı elemanda yüzeyden soyulan CFRP şeritler

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler bu bölümde ayrı ayrı ele alınıp değerlendirilmiştir. Toplam onüç eleman boşluk yerleri, büyüklükleri, ve güçlendirilme durumları dikkate alınarak maksimum taşıma kapasitesi, maksimum deplasmanı, enerji tüketim kapasitesi, akma rijitliği, süneklik oranı hakkında yorumlar yapılmıştır. Daha sonra karşılaştırmalı olarak verilen yük-deplasman grafikleri yorumlanmıştır. Güçlendirme yapılmamış elemanlar önce kendi aralarında ve referans elemanına göre, daha sonra güçlendirme yapılmış elemanlar kendi aralarında ve güçlendirilmemiş elemanlara göre kıyaslanarak güçlendirme performansı hakkında yorumlar yapılmıştır. Deneyler bölümünde verilen çizelge ve şekillerin bazılarına önemli görüldüğü için tekrar yer verilmiştir.

Araştırma sonucunda boşluğun yerine ve büyüklüğüne bağlı olmaksızın güçlendirilmiş elemanların güçlendirilmemiş elemanlara göre daha fazla yük taşıdığı görülmüştür. Bu artış ise boşluğun yeri ve büyüklüğüne bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Bir döşemede bırakılması gereken bir boşluğun bulunması halinde güçlendirme işlemi yapılarak, bu boşluktan kaynaklanan taşıma gücündeki azalmanın belli bir oranda telafi edilebileceği görülmüştür.

Enerji tüketim kapasitesi bakımından güçlendirilmiş elemanlar güçlendirilmemiş elemanlara göre daha az kapasiteye sahip olsa da güçlendirme sayesinde maksimum yük taşıma kapasitesinde 1,6 kata varan artışlar görülmüştür. Akma rijitliği değerine baktığımızda hiçbir boşluklu eleman referans elemanının değerine ulaşamamıştır. Fakat güçlendirilmiş elemanların akma rijitliği güçlendirilmemiş elemanlara göre daha fazla olduğu görülmüştür. Süneklik oranı kesme bölgesinde boşluk olan elemanlarda, maksimum moment bölgesinde boşluğun olduğu elemanlara göre daha azdır. Aynı zamanda güçlendirme işlemi ile süneklik oranının azaldığı gözlemlenmiştir.

5.1.Maksimum Yük ve Maksimum Deplasman

Test edilen deney elemanları içinde güçlendirilmemiş elemanların tamamı referans elemanına göre daha az yük taşımıştır. Güçlendirme işlemiyle taşıma gücündeki bu azalma bir miktar telafi edilmiştir. Güçlendirme işleminin deplasman değerlerini ise çok fazla etkilemediği görülmüştür. Maksimum yük ve maksimum deplasman değerleri ve bunların referans elemanının değerine bölünmesiyle bulunan oranlar Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Maksimum yük ve deplasman oranı kıyas çizelgesi

Deney Elemanı		Akma Noktası	Göçme Noktası	Maksimum	Referansa Göre Oranı
1	Yük (kN)	102,60	106,50	106,93	1,00
	Deplasman (mm)	27,79	96,66	97,85	1,00
2	Yük (kN)	57,86	51,04	60,05	0,56
	Deplasman (mm)	25,19	95,45	98,73	1,01
3	Yük (kN)	69,43	60,01	70,60	0,66
	Deplasman (mm)	23,27	39,01	41,67	0,43
4	Yük (kN)	57,72	61,38	61,82	0,58
	Deplasman (mm)	22,64	98,59	99,72	1,02
5	Yük (kN)	83,71	71,90	84,59	0,79
	Deplasman (mm)	25,00	48,87	65,87	0,67
6	Yük (kN)	80,22	69,55	81,82	0,77
	Deplasman (mm)	26,98	78,13	99,69	1,02
7	Yük (kN)	97,42	84,69	99,64	0,93
	Deplasman (mm)	29,46	54,20	71,67	0,73
8	Yük (kN)	90,16	93,85	93,85	0,88
	Deplasman (mm)	27,41	92,62	93,20	0,95
9	Yük (kN)	87,09	77,49	91,16	0,85
	Deplasman (mm)	28,20	35,52	69,38	0,71
10	Yük (kN)	77,55	83,84	98,64	0,92
	Deplasman (mm)	25,60	58,58	100,20	1,02
11	Yük (kN)	96,76	83,69	98,46	0,92
	Deplasman (mm)	26,74	28,55	40,02	0,41
12	Yük (kN)	87,20	89,35	105,12	0,98
	Deplasman (mm)	27,96	54,58	111,08	1,14
13	Yük (kN)	97,09	86,62	101,91	0,95
	Deplasman (mm)	28,25	37,53	42,71	0,44

Güçlendirilmiş elemanlara baktığımız zaman güçlendirme işleminin maksimum taşıma kapasitesini bütün elemanlarda artırdığı gözlemlenmiştir. Bu artımın maksimum değeri eleman 10'da eleman 4'e göre 1,6 kat iken minimum değeri eleman 13'te eleman 7'ye göre 1,02 kat olarak gerçekleşmiştir. Kesme bölgesinde boşluğun olduğu elemanların güçlendirilmesiyle sağlanan taşıma gücü artışı ortalama 1,16 kat, maksimum moment bölgesinde boşluğun olduğu elemanların güçlendirilmesiyle sağlanan artış ise 1,48 kat olarak gerçekleşmiştir. Deney elemanlarının tümüne baktığımızda maksimum taşıma kapasitesinde ortalama 1,32 kat artış olmuştur.

Kesme bölgesinde boşluğun olduğu elemanların (9, 11, 13) güçlendirilmesiyle oluşan deplasman değerlerinin güçlendirilmemiş elemanlara (3, 5, 7) oranı 0,96, maksimum moment bölgesinde boşluğun olduğu elemanların (8, 10, 12) güçlendirilmesiyle oluşan deplasman değerlerinin güçlendirilmemiş elemanlara (2, 4, 6) oranı 1,02 olarak gerçekleşmiştir. Deney elemanlarının tümüne baktığımızda güçlendirmedeki bu oran 0,99'dur.

5.2.Enerji Tüketim Kapasitesi

Deney elemanlarının enerji tüketim kapasiteleri çizilen yük – deplasman eğrisinde göçme noktasının olduğu noktaya kadar yük – deplasman grafiklerinin altında kalan alan hesaplanarak bulunmuştur. Göçme noktası olarak maksimum yük değerinin %85'i alınmıştır. Güçlendirilmemiş elemanların tamamında tüketilen enerji referans elemanına göre azalmıştır. En fazla azalma kesme bölgesinde 500 mm boşluğun olduğu deney elemanı 3'te gerçekleşmiştir. Tüketilen enerji orta nokta deformasyon değeriyle yakından bağlantılı olduğu için kesme bölgesinde boşlukların olduğu elemanlarda tüketilen enerji kaybı daha fazla olmuştur. Güçlendirilmiş elemanlar içinde ise ani kesme kırılması gerçekleşen eleman 11 en düşük enerji tüketim kapasitesi değerine sahiptir. Enerji tüketim kapasitesi değerleri

ve bunların referans elemanının değerine bölünmesiyle bulunan oranlar Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Enerji tüketim kapasitesi oranı kıyas çizelgesi

Deney Elemanı		Akma Noktası	Göçme Noktası	Maksimum	Enerji Tüketim Kapasitesi (KN.mm)	Referansa Göre Oranı
1	Yük (kN)	102,60	106,50	106,93	7721	1,00
	Deplasman (mm)	27,79	96,66	97,85		
2	Yük (kN)	57,86	51,04	60,05	4814	0,62
	Deplasman (mm)	25,19	95,45	98,73		
3	Yük (kN)	69,43	60,01	70,60	2036	0,26
	Deplasman (mm)	23,27	39,01	41,67		
4	Yük (kN)	57,72	61,38	61,82	4881	0,63
	Deplasman (mm)	22,64	98,59	99,72		
5	Yük (kN)	83,71	71,90	84,59	3165	0,41
	Deplasman (mm)	25,00	48,87	65,87		
6	Yük (kN)	80,22	69,55	81,82	5267	0,68
	Deplasman (mm)	26,98	78,13	99,69		
7	Yük (kN)	97,42	84,69	99,64	3804	0,49
	Deplasman (mm)	29,46	54,20	71,67		
8	Yük (kN)	90,16	93,85	93,85	6321	0,82
	Deplasman (mm)	27,41	92,62	93,20		
9	Yük (kN)	87,09	77,49	91,16	1887	0,24
	Deplasman (mm)	28,20	35,52	69,38		
10	Yük (kN)	77,55	83,84	98,64	3976	0,51
	Deplasman (mm)	25,60	58,58	100,20		
11	Yük (kN)	96,76	83,69	98,46	1512	0,20
	Deplasman (mm)	26,74	28,55	40,02		
12	Yük (kN)	87,20	89,35	105,12	3893	0,50
	Deplasman (mm)	27,96	54,58	111,08		
13	Yük (kN)	97,09	86,62	101,91	2324	0,30
	Deplasman (mm)	28,25	37,53	42,71		

Kesme bölgesinde boşluğun olduğu elemanların (9, 11, 13) güçlendirilmesiyle oluşan enerji tüketim kapasitesi değerlerinin güçlendirilmemiş elemanlara (3, 5, 7) oranı 0,67, maksimum moment bölgesinde boşluğun olduğu elemanların (8, 10, 12) güçlendirilmesiyle oluşan enerji tüketim kapasitesi değerlerinin güçlendirilmemiş elemanlara (2, 4, 6)

oranı 0,96 olarak gerçekleşmiştir. Deney elemanlarının tümüne baktığımızda kapasitedeki bu oran 0,81'dir.

5.3.Akma Rijitliği

Akma rijitliği değerleri akma noktasındaki yükün aynı noktadaki deplasmana bölünmesiyle bulunmuştur. Güçlendirilmemiş elemanların akma rijitliği bırakılan boşluktan dolayı referans elemanına göre azalmıştır. En fazla azalma maksimum moment bölgesinde 500 mm boşluğun olduğu deney elemanı 2'de gerçekleşmiştir. Akma rijitliği değerleri ve bunların referans elemanının değerine bölünmesiyle bulunan oranlar Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Akma rijitliği kıyas çizelgesi

Deney Elemanı		Akma Noktası	Göçme Noktası	Maksimum	Akma Rijitliği (KN/mm)	Referansa Göre Oranı
1	Yük (kN)	102,60	106,50	106,93	3,69	1,00
	Deplasman (mm)	27,79	96,66	97,85		
2	Yük (kN)	57,86	51,04	60,05	2,30	0,62
	Deplasman (mm)	25,19	95,45	98,73		
3	Yük (kN)	69,43	60,01	70,60	2,98	0,81
	Deplasman (mm)	23,27	39,01	41,67		
4	Yük (kN)	57,72	61,38	61,82	2,55	0,69
	Deplasman (mm)	22,64	98,59	99,72		
5	Yük (kN)	83,71	71,90	84,59	3,35	0,91
	Deplasman (mm)	25,00	48,87	65,87		
6	Yük (kN)	80,22	69,55	81,82	2,97	0,81
	Deplasman (mm)	26,98	78,13	99,69		
7	Yük (kN)	97,42	84,69	99,64	3,31	0,90
	Deplasman (mm)	29,46	54,20	71,67		
8	Yük (kN)	90,16	93,85	93,85	3,29	0,89
	Deplasman (mm)	27,41	92,62	93,20		
9	Yük (kN)	87,09	77,49	91,16	3,09	0,84
	Deplasman (mm)	28,20	35,52	69,38		
10	Yük (kN)	77,55	83,84	98,64	3,03	0,82
	Deplasman (mm)	25,60	58,58	100,20		
11	Yük (kN)	96,76	83,69	98,46	3,62	0,98
	Deplasman (mm)	26,74	28,55	40,02		

Çizelge 5.3. (Devam) Akma rijitliği kıyas çizelgesi

12	Yük (kN)	87,20	89,35	105,12	3,12	0,84
	Deplasman (mm)	27,96	54,58	111,08		
13	Yük (kN)	97,09	86,62	101,91	3,44	0,93
	Deplasman (mm)	28,25	37,53	42,71		

Kesme bölgesinde boşluğun olduğu elemanların (9, 11, 13) güçlendirilmesiyle oluşan akma rijitliği değerlerinin güçlendirilmemiş elemanlara (3, 5, 7) oranı 1,05, maksimum moment bölgesinde boşluğun olduğu elemanların (8, 10, 12) güçlendirilmesiyle oluşan akma rijitliği değerlerinin güçlendirilmemiş elemanlara (2, 4, 6) oranı 1,22 olarak gerçekleşmiştir. Deney elemanlarının tümüne baktığımızda akma rijitliğindeki bu artış 1,14 kat olmuştur. Eğilme kırılması gözlenen deney elemanlarının akma rijitliği değeri kesme kırılması gözlenen elemanlara göre daha fazla çıkmıştır. Güçlendirme işlemi maksimum moment bölgesinde boşluğun olduğu elemanlardaki akma rijitliğini daha fazla artırarak daha başarılı olmuştur.

5.4.Süneklik Oranı

Süneklik oranı değerleri göçme noktasındaki deplasman değerinin akma noktasındaki deplasman değerine bölünmesiyle elde edilmiştir. Göçme noktası olarak maksimum yük değerinin %85'ine azalarak düştüğü nokta alınmıştır. Süneklik oranı eğilme kırılması gözlenen maksimum moment bölgesinde boşluğun bulunduğu elemanlarda, kesme bölgesinde boşluğun olduğu elemanlara göre daha büyüktür. Güçlendirme işlemi bütün deney elemanlarında süneklik oranını azaltmıştır. Süneklik oranı değerleri ve bunların referans elemanının değerine bölünmesiyle bulunan oranlar Çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Süneklik oranı kıyas çizelgesi

Deney Elemanı		Akma Noktası	Göçme Noktası	Maksimum	Süneklik Oranı	Referansa Göre Oranı
1	Yük (kN)	102,60	106,50	106,93	3,48	1,00
	Deplasman (mm)	27,79	96,66	97,85		
2	Yük (kN)	57,86	51,04	60,05	3,79	1,09
	Deplasman (mm)	25,19	95,45	98,73		
3	Yük (kN)	69,43	60,01	70,60	1,68	0,48
	Deplasman (mm)	23,27	39,01	41,67		
4	Yük (kN)	57,72	61,38	61,82	4,36	1,25
	Deplasman (mm)	22,64	98,59	99,72		
5	Yük (kN)	83,71	71,90	84,59	1,95	0,56
	Deplasman (mm)	25,00	48,87	65,87		
6	Yük (kN)	80,22	69,55	81,82	2,90	0,83
	Deplasman (mm)	26,98	78,13	99,69		
7	Yük (kN)	97,42	84,69	99,64	1,84	0,53
	Deplasman (mm)	29,46	54,20	71,67		
8	Yük (kN)	90,16	93,85	93,85	3,38	0,97
	Deplasman (mm)	27,41	92,62	93,20		
9	Yük (kN)	87,09	77,49	91,16	1,26	0,36
	Deplasman (mm)	28,20	35,52	69,38		
10	Yük (kN)	77,55	83,84	98,64	2,29	0,66
	Deplasman (mm)	25,60	58,58	100,20		
11	Yük (kN)	96,76	83,69	98,46	1,07	0,31
	Deplasman (mm)	26,74	28,55	40,02		
12	Yük (kN)	87,20	89,35	105,12	1,95	0,56
	Deplasman (mm)	27,96	54,58	111,08		
13	Yük (kN)	97,09	86,62	101,91	1,33	0,38
	Deplasman (mm)	28,25	37,53	42,71		

Kesme bölgesinde boşluğun olduğu elemanların (9, 11, 13) güçlendirilmesiyle oluşan süneklik oranı değerlerinin güçlendirilmemiş elemanlara (3, 5, 7) oranı 0,67, maksimum moment bölgesinde boşluğun olduğu elemanların (8, 10, 12) güçlendirilmesiyle oluşan süneklik oranı değerlerinin güçlendirilmemiş elemanlara (2, 4, 6) oranı 0,70 olarak gerçekleşmiştir. Deney elemanlarının tümüne baktığımızda süneklik oranındaki bu oran 0,69'dur.

5.5.Birim Deformasyon Ölçümleri

Deney elemanlarından alınan birim deformasyon ölçümleri incelediğinde maksimum birim deformasyon değerlerinin ortalamasının 3551 mv değerinde olduğu hesaplanmıştır. Bu değer 0,00444 mm/mm değerine eşit olup ACI 440 raporunda ifade edilen sınır birim deformasyon değeri olan 0,004 mm/mm'dan %11 daha büyüktür. Deney elemanlarında alınan bu birim deformasyon ölçümünden daha büyük birim deformasyon değerlerine ulaşıldığı düşünülmektedir. Deney elemanlarında CFRP şeritlerde boşluk bölgesine yakın bölümlerde kopmalar meydana gelmiş ve CFRP şeritlerin büyük bir bölümü yüzeyden soyulmuştur. Ölçülen birim deformasyon değerleri CFRP şeritlerin yüzeyden soyulma sınır birim deformasyon değerinden büyük olmasına rağmen kopma birim deformasyonundan daha küçük ölçülmüştür. Ancak bu ölçümlerin sınırlı sayıda noktada alındığı unutulmamalıdır. CFRP şeritlerde kopmanın yaşandığı bölgelere belirli bir uzaklıktaki birim deformasyon değerleri kopma değerinden daha küçük ölçülebileceği düşünülmektedir. Alınan ölçümlerin CFRP şeritlerin yüzeyden soyulma sınırından büyük olması deneysel sonuçlar ile ölçümlerin uyumlu olduğunu göstermiştir. ACI 440 raporunda önerilen sınırın gerçekçi ve deneylerde elde edilen ölçümler uyumlu olduğu ve önerilen sınırın döşemeler içinde kullanılabileceği düşünülmektedir. Deney elemanlarından alınan birim deformasyon ölçümleri Çizelge 5.5'de gösterilmiştir.

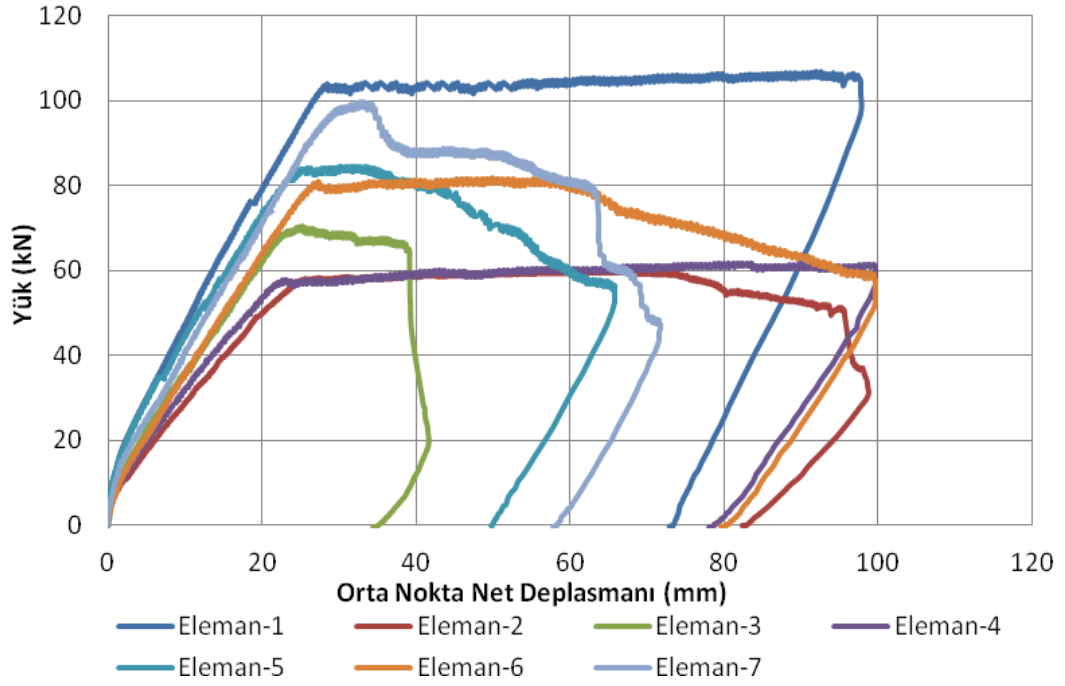
Çizelge 5.5. Deney elemanlarından alınan birim deformasyon ölçümleri

Deney Elemanı Numarası	Boşluk Büyüklüğü / Yeri	Birim Deformasyon Ölçümü (mv)	Maksimum Birim Deformasyon (mv)
8	500x500/Moment bölgesi	2562	3458
		3074	
		3458	
		3297	
9	500x500/Kesme bölgesi	5160	5160
		3629	
		2916	
		3404	
10	400x400/Moment bölgesi	2840	3306
		3306	
		2327	
		2591	
11	400x400/Kesme bölgesi	1978	2107
		1675	
		2107	
		1189	
12	300x300/Moment bölgesi	3306	4115
		2884	
		4115	
		1387	
13	300x300/Kesme bölgesi	1363	3158
		1304	
		3158	
		2181	

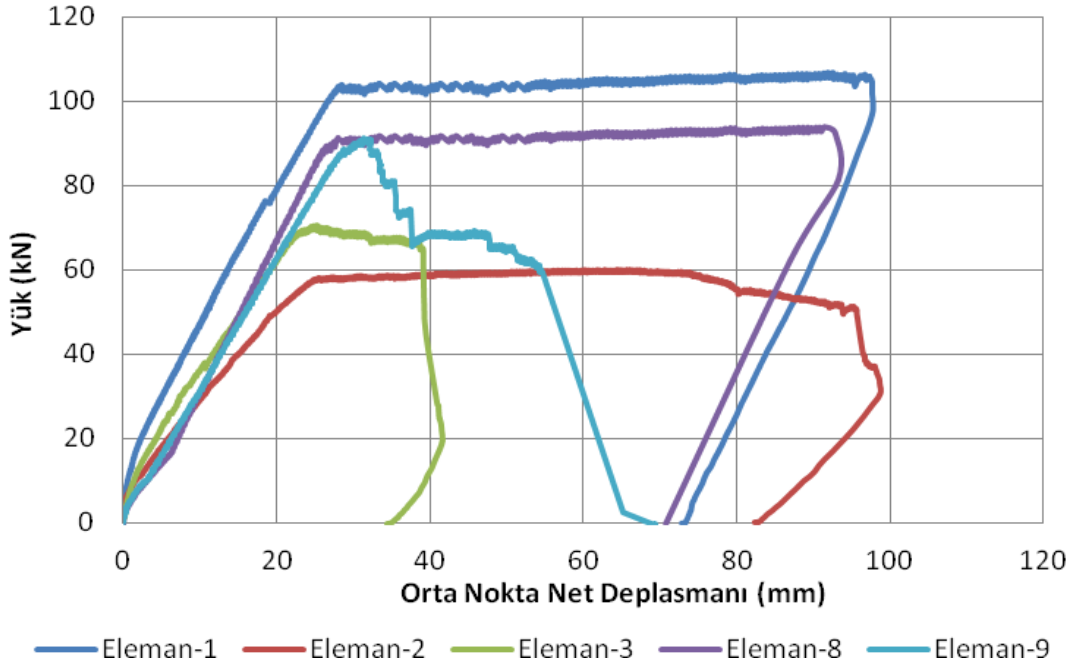
5.6. Deney Elemanlarının Karşılaştırmalı Grafikleri

Yapılan çalışma sonucunda CFRP şeritlerle güçlendirme işleminin boşluklu tek doğrultulu betonarme döşeme deney elemanlarının maksimum taşıma kapasitesi ve akma rijitliği değerlerini artırdığını, fakat enerji tüketim kapasitesi ve süneklik oranı değerlerini azalttığını göstermiştir. Bu bölümde güçlendirme işlemi hakkında karşılaştırmalı grafiklere yer verilmiş ve yorumlar yapılmıştır.

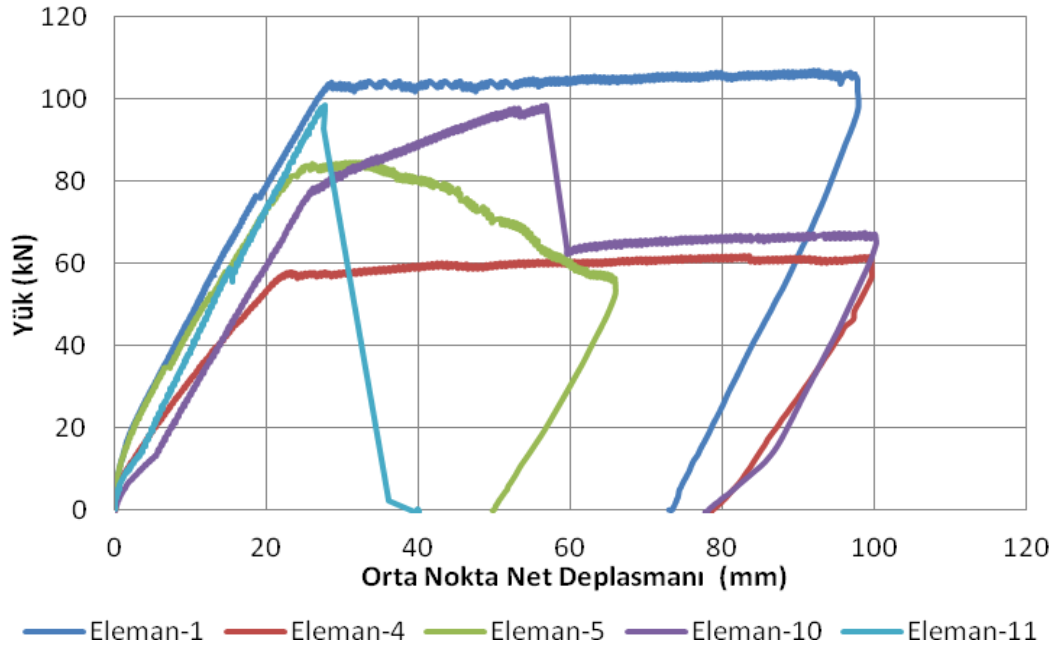
Güçlendirme yapılan deney elemanlarının karşılaştırmalı grafiklerine baktığımız zaman boşluk büyüklüğü azaldıkça güçlendirme işleminin performansı referans elemanına yaklaşmaktadır. Büyük boşluğun olduğu elemanlarda da güçlendirme işlemi maksimum taşıma kapasitesi ve kırılma güvenliği açısından iyi sonuçlar vermiştir. Kırılma sırasında döşemeden kopan beton blokları CFRP şeritler sayesinde kontrol edilmiş ve daha güvenli bir kırılma gerçekleşmiştir. Güçlendirilmiş deney elemanlarının karşılaştırmalı grafiği Şekil 5.1’de, 500 mm x 500 mm boşluklu elemanların karşılaştırılması Şekil 5.2’de, 400 mm x 400 mm boşluklu elemanların karşılaştırılması Şekil 5.3’de, 300 mm x 300 mm boşluklu elemanların karşılaştırılması Şekil 5.4’de verilmiştir.



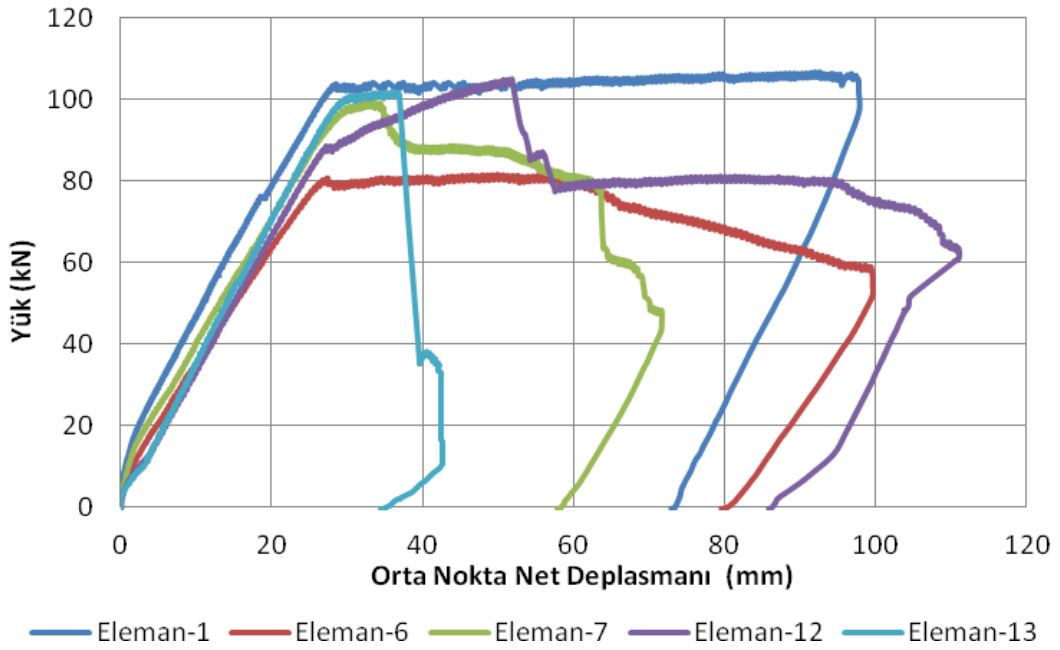
Şekil 5.1. Güçlendirilmemiş deney elemanlarının karşılaştırmalı grafiği



Şekil 5.2. 500 mm x 500 mm boşluklu elemanların karşılaştırılması



Şekil 5.3. 400 mm x 400 mm boşluklu elemanların karşılaştırılması



Şekil 5.4. 300 mm x 300 mm boşluklu elemanların karşılaştırılması

Şekil 5.1'deki yük-deplasman grafiğine baktığımızda boşluk büyüklüğünün artması döşemenin kapasitesinin daha fazla azalmasına neden olmuştur. Aynı zamanda akma rijitliği ve enerji tüketim kapasitesi değerleri de referans

elemanına göre azalmıştır. Boşluğun kesme açıklığı bölgesinde bırakılması durumunda deney elemanlarında önemli ölçüde yük ve enerji tüketim kaybı gerçekleşmiştir. Kırılma şekillerine baktığımızda kesme kırılmasının ani gerçekleşmesi ve beton blokların döşemeden ayrılarak düşmesi söz konusu olduğundan tehlikeli durumlar meydana gelebilir. Maksimum moment bölgesinde boşluk olan deney elemanları göçme konumuna ulaşmadan büyük deplasmanlar yapmış ve beton bloklarının döşemeden kopmaması yönüyle daha güvenli bir kırılma şekli göstermiştir.

Şekil 5.2'ye baktığımızda deney elemanı 8'in referans elemanına yaklaşarak çok iyi sonuç verdiği görülmektedir. Deney elemanı 9'un davranışını incelediğimizde deney sırasında güçlendirme işlemi sayesinde maksimum yükün arttığı, CFRP şeritlerin kopmasıyla eleman güçlendirilmemiş elemanın seviyesine düşerek bir miktar daha deformasyon yapmaya devam etmiş ve daha sonra göçme meydana gelmiştir.

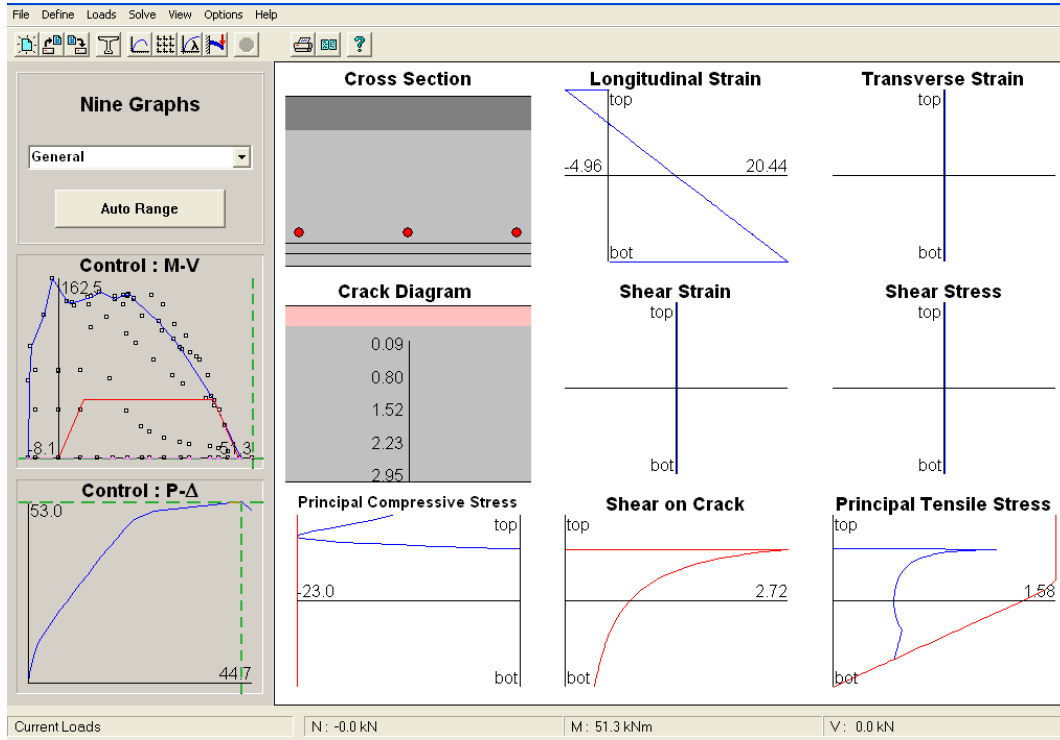
Şekil 5.3'de görüldüğü gibi deney elemanı 10'un güçlendirme sayesinde taşıma gücünün arttığı gözlemlenmiş CFRP şeritlerin kopmasıyla yük değeri deney elemanı 4'ün değerine düşmüş ve deformasyon bir miktar daha devam ederek göçme meydana gelmiştir. Deney elemanı 11'e baktığımızda ise eleman güçlendirme işlemi sayesinde daha fazla yük değerine ulaşmış fakat CFRP liflerin beton yüzeyinden soyulmasıyla ani bir göçme gerçekleşmiştir.

Şekil 5.4'ü incelediğimizde deney elemanı 12'in güçlendirme sayesinde taşıma gücünün referans elemanı seviyesine kadar arttığı gözlemlenmiş CFRP şeritlerin kopmasıyla yük değeri deney elemanı 6'ın değerine düşmüş ve deformasyon bir miktar daha devam ederek göçme meydana gelmiştir. Deney elemanı 13 ise kısa yöründeki CFRP şeritlerin beton yüzeyinden soyulması nedeniyle iyi sonuç vermemiştir. Taşıma gücü açısından aynı değere ulaşsa da istenilen deplasman değerine ulaşmadan ani kırılma gerçekleşmiştir.

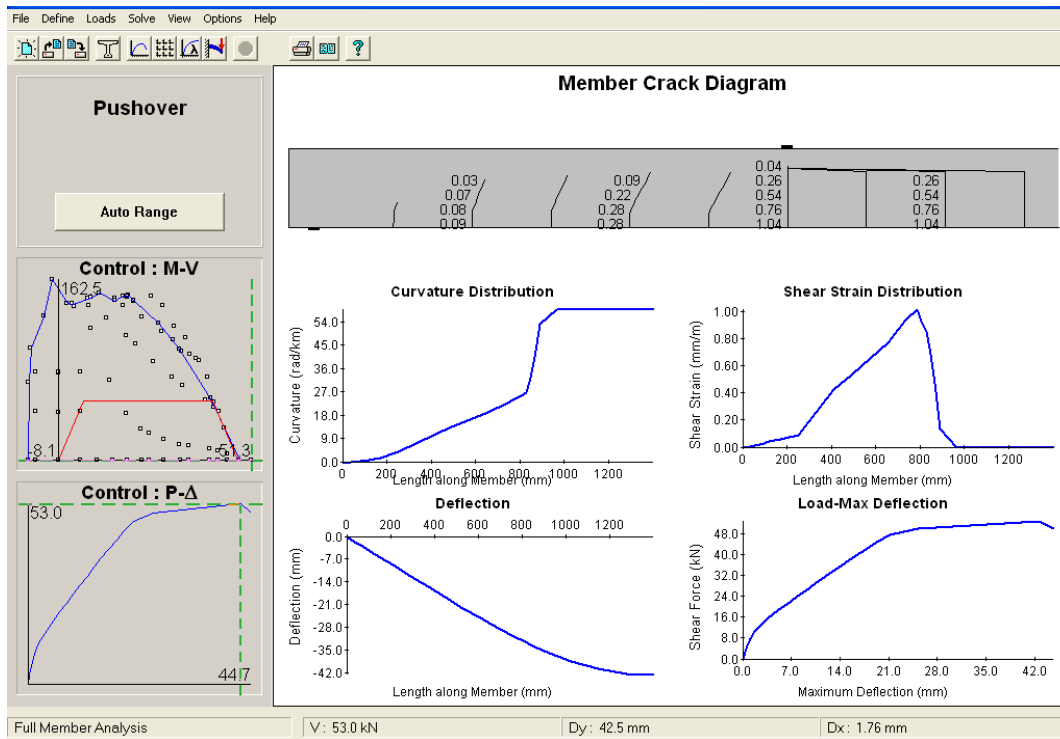
6. ANALİTİK HESAPLAR

Bu bölümde, yapılan deneylerden elde edilen veriler ile Response 2000 programı kullanılarak hesaplanan değerlerin ve ACI 440 raporu yardımıyla hesaplanan değerlerin karşılaştırılması yapılacaktır [7]. Response 2000 Toronto Üniversitesinin geliştirmiş olduğu betonarme kesit hesap programıdır. Herhangi bir betonarme kesiti içindeki donatısıyla beraber tanımlayıp analiz ederek taşıma gücü, çatlak özellikleri, moment kapasitesi gibi birçok özelliğini hesaplamak mümkündür. Seri 1 olarak adlandırılan CFRP şeritlerle güçlendirilmemiş elemanların kapasite değerleri Response 2000 programıyla hesaplanmıştır. ACI 440 American Concrete Institute tarafından yayımlanan, betonarme elemanlara uygulanan CFRP ile güçlendirme tekniğinin kapasiteye olan etkilerini hesaplamaya imkan veren bir rapordur. Seri 2 olarak adlandırılan CFRP şeritlerle güçlendirilmiş elemanların kapasite değerleri ACI 440 raporunda önerilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

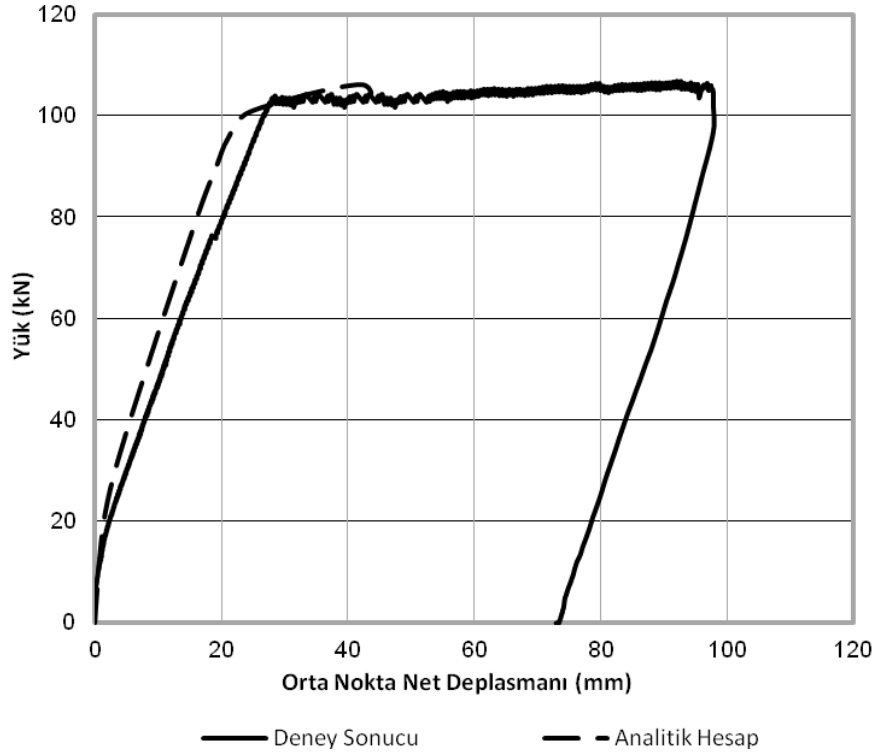
İlk olarak referans elemanının Response 2000 programıyla hesabı yapılmış olup, yük - deplasman grafiği Şekil 6.1'de, birim deplasman grafikleri ve çatlak dağılımı ise Şekil 6.2'de verilmiştir. Hesaplanan moment kapasitesi değerinden kesme kuvveti değeri hesaplanırsa, deney sırasında elde edilen maksimum kapasite ile hesapta bulunan maksimum yükün birbirine yakın olduğu görülmektedir. Deney sonucunda elde edilen yük – deplasman eğrisi ile Response 2000 programıyla hesaplanan yük – deplasman eğrisinin karşılaştırılması Şekil 6.3'de gösterilmiştir. Şekilde verilen yük-deplasman grafikleri incelendiğinde Response 2000 programının başlangıç rijitliği, akma kapasitesi ve pekleşme sonucunda maksimum taşıma gücü değerini oldukça başarılı bir şekilde hesapladığı göstermiştir. Ancak deney elemanı gerçekte çok daha büyük bir süneklik değeri sergileyerek çok daha büyük deplasman değerlerine ulaşmasına rağmen yapılan analizde hesaplama sonuçları çok daha rijit bir davranış sergilemiş ve elemanın çok daha az bir deplasman yaparak göçmeye ulaştığı hesaplanmıştır.



Şekil 6.1. Referans elemanın yük – deplasman grafiği

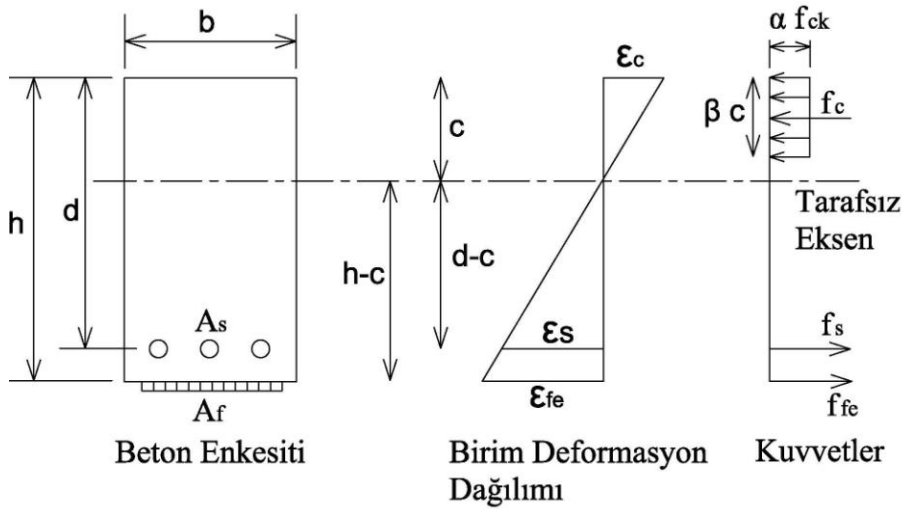


Şekil 6.2. Referans elemanın birim deplasman grafiği



Şekil 6.3. Referans elemanın yük – deplasman grafiği karşılaştırması

Güçlendirilmemiş elemanların Response 2000 programıyla çözümünden sonra ACI 440 raporundaki yöntemle güçlendirilmiş elemanların hesabı yapılmıştır. ACI 440 raporundaki hesap yaklaşımı Şekil 6.4’de gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Güçlendirilmiş elemanların hesap şekli (ACI 440)

Burada ;

$$\begin{aligned} \varepsilon_{fe} &= \varepsilon_c \left(\frac{h-c}{c} \right) , & f_{fe} &= E_f * \varepsilon_{fe} \\ \varepsilon_s &= \varepsilon_{fe} \left(\frac{d-c}{h-c} \right) , & f_s &= E_s * \varepsilon_s \\ f_c &= \alpha * f_{ck} * \beta * c * b , & \sum F &= f_c + f_s + f_{fe} \end{aligned}$$

Hesaplama yapılırken toplam yatay kuvvet denge denklemi sıfır olana kadar “c” sayısı değiştiriliyor, toplam kuvvetin sıfır olduğu “c” değeri tarafsız eksen olarak kabul edilip, kesitin tarafsız eksen etrafındaki toplam moment kapasitesi hesaplanmaktadır.

Kesitin kesme kuvveti kapasitesi ise TS500 yönetmeliği kullanılarak hesaplanmıştır [8].

$$V_{cr} = 0,65 * f_{ct} * b * d , \quad f_{ct} = 0,35 * \sqrt{f_{ck}}$$

Güçlendirilmemiş elemanların response 2000 programıyla çözümü ve güçlendirilen elemanların ACI 440 raporundaki hesap şekli ile çözümü yapılmış ve sonuçlar toplu olarak Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

Deney elemanlarının TS500 yönetmeliği kullanılarak hesaplanan kesme kuvveti kapasiteleri ile ACI 440 raporu ya da Response 2000 yazılımı kullanılarak hesaplanan eğilme momenti kapasiteleri kullanılarak belirlenen kesme kuvveti kapasiteleri karşılaştırılarak düşük olan kritik değer Çizelge 6.1’de beklenen kırılma yükü sütununda verilmiştir. Hesaplanan kırılma yükü değerleri ile deneysel kapasite değerleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.1. Analitik hesap ve deney sonuçlarının karşılaştırılması

Deney elemanı numarası	Analitik Hesap			Deney Kırılma Yüğü (kN)	Deney Kırılma Yüğü / Beklenen Kırılma Yüğü
	Kesit Kesme Kuvveti Kapasitesi (kN)	Kesit Moment Kapasitesi (kN.m)	Beklenen Kırılma Yüğü * (kN)		
1	128,91	51,30	114,00	106,93	0,94
2	114,54	26,40	58,67	60,05	1,02
3	55,33	23,60	56,89	70,60	1,24
4	121,94	26,00	57,78	61,82	1,07
5	68,73	25,40	65,33	84,59	1,29
6	114,54	32,40	72,00	81,82	1,14
7	85,36	33,30	78,44	99,64	1,27
8	132,26	31,50	70,00	93,85	1,34
9	72,44	33,70	74,89	91,16	1,22
10	144,89	36,00	80,00	98,64	1,23
11	83,23	34,90	77,56	98,46	1,27
12	144,89	43,10	95,78	105,12	1,10
13	85,36	38,60	85,78	101,91	1,19

* Beklenen kırılma yüğü kesme ve moment kapasitesinin kritik olan değeri alınarak hesaplanmıştır.

Hesaplanan analitik kapasite değeri incelendiğinde güçlendirilmemiş deney elemanları için deneysel kapasitenin hesaplanan kapasiteye oranları ortalama 1,14 olarak elde edilmiştir. Güçlendirilmemiş deney elemanlarında en büyük farklılık %29 ile deney elemanı 5’de hesaplanmıştır. CFRP şeritler ile güçlendirilen deney elemanlarında ise deneysel kapasite değeri hesaplanan değere oranı ortalama 1,22 olarak hesaplanmıştır. Bu seride ise en büyük farklılık %34 ile deney elemanı 8 için elde edilmiştir.

Hesaplanan kapasite değeri incelendiğinde referans deney elemanı hariç tüm deney elemanları için hesaplanan değeri deneysel değeri daha küçük elde edildiği görülmüştür. Hesaplanan değeri deneysel sonuçlardan

ortalama %20 daha küçük hesaplanmıştır. Yönetmelikler kullanılarak hesaplanan değerlerin güvenli tarafta kalacak şekilde elde edilmesi beklenen bir sonuçtur. Kesme kırılması gözlenen elemanlarda yönetmelik gereği kesme kapasitesi hesaplanırken donatılar dikkate alınmadığından deney sırasında daha büyük yük değerlerine ulaşılmıştır. Genel olarak güçlendirilmemiş deney elemanları için meydana gelen farklılığın döşemelerde bırakılan boşluktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Boşluğun kapasiteye olan etkisi sadece ana eğilme donatılarının sayısının azaltılması ile hesaplamalara yansıtılmıştır. Boşluk yerinin değişimi hesaplamalarda dikkate alınamamıştır. CFRP şeritler ile güçlendirilmiş deney elemanlarında ise eğilme yönüne dik şeritlerin dikkate alınmaması ve ACI 440 raporunda önerildiği gibi şeritler ile beton yüzey arasındaki birim deformasyon dağılımının 0,004 mm/mm alınması gibi nedenlerden dolayı hesaplanan ve deneysel değerler arasındaki farkın meydana geldiği düşünülmüştür.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında yapılan çalışmada boşluklu tek doğrultulu betonarme döşemelerin CFRP şeritlerle güçlendirilmesi yönteminin performansı ve sağladığı faydalar araştırılmıştır. Değişken olarak boşlukların yeri ve büyüklüğü seçilmiş, biri referans olmak üzere toplam 13 adet döşeme imal edilip test edilerek sonuçlar arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda deney elemanlarının yük – deplasman grafikleri çizilerek taşıma kapasiteleri, sünelik oranları, akma rijitlikleri, enerji tüketim kapasitesi gibi özellikleri hakkında yorumlar yapılmıştır. Sonuçlara göre güçlendirme yöntemi hakkında yorumlar yapıp önerilerde bulunulmuştur. Önceki bölümde ayrı ayrı incelenen konular bu bölümde bir araya getirilerek sunulmuştur.

- ✓ Boşluklu tek doğrultulu döşemeleri CFRP şeritler ile güçlendirerek deney elemanlarının taşıma kapasitesini ve rijitliğini önemli ölçüde artırmak mümkündür. Bu uygulama tekniği aynı zamanda fazla zaman almayan, uygulanması kolay ve fazla maliyeti olmayan bir tekniktir. Şantiye ortamında ya da daha sonradan binanın kullanımını aksatmadan bu tekniği uygulamak mümkündür.
- ✓ Göçme biçimlerine baktığımız zaman maksimum moment bölgesinde boşluğun olduğu elemanlar eğilme kırılması, kesme bölgesinde boşluğun bulunduğu elemanlar ise kesme kırılması özelliğini göstermiştir. Güçlendirme tekniği dayanım artışı sağlamış fakat kırılma çeşitini değiştirememiştir.
- ✓ CFRP şeritlerde deney sonucunda yer yer kopmalar meydana gelmiş fakat güçlendirilmemiş elemanlara göre göçme sonucunda eleman stabilitesini tamamen kaybetmeyip yük taşımaya bile kopan beton elemanlar CFRP lifler sayesinde kontrol altında tutulabilmiştir.

- ✓ Deneyler sonucunda maksimum taşıma kapasitesi ve rijitlik değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Maksimum taşıma kapasitesi artışı kesme kırılması gözlenen elemanlarda ortalama 1,16, eğilme kırılması gözlenen elemanlarda ortalama 1,48 olmuştur. Güçlendirilen bütün elemanlara baktığımızda taşıma kapasitesi artışı ise 1,32 kat olarak gerçekleşmiştir. Akma rijitliğindeki artış kesme kırılması gözlenen elemanlarda ortalama 1,05, eğilme kırılması gözlenen elemanlarda ortalama 1,22 olmuştur. Güçlendirilen bütün elemanlara baktığımızda rijitlikteki bu artış 1,14 kat olmuştur.
- ✓ Enerji tüketim kapasitesi ve süneklik oranına baktığımızda güçlendirme işlemi bu değerlerin azalmasına neden olmuştur. Deney elemanlarının enerji tüketim kapasitesini kıyasladığımızda, kesme kırılması gözlenen elemanlarda güçlendirilmiş elemanların güçlendirilmemiş elemanlara oranı 0,67, eğilme kırılması gözlenen elemanlarda bu oran 0,96'dır. Güçlendirilen bütün elemanlara baktığımızda bu oran 0,81 olarak gerçekleşmiştir. Süneklik oranlarını kıyasladığımızda ise, kesme kırılması gözlenen elemanlarda güçlendirilmiş elemanların güçlendirilmemiş elemanlara oranı 0,67, eğilme kırılması gözlenen elemanlarda bu oran 0,70'dir. Güçlendirilen bütün elemanlara baktığımızda bu oran 0,69 olarak gerçekleşmiştir.
- ✓ CFRP şeritleri gerekli pürüzlendirme işlemini yaptıktan sonra yüzeyi temizleyip beton yüzeyine yapıştırması sonucunda gerekli aderansın sağlandığı gözlenmiştir. Deney sırasında soyulmanın yaşandığı iki deney elemanında soyulma beton kabuk ile birlikte gerçekleşmiş ve yapıştırma işleminin başarılı bir şekilde uygulandığı belirlenmiştir. Deneysel sonuçlardan da görüldüğü gibi yükün CFRP şeritlere aktarımı sağlamış ve dayanım artışı bu sayede gerçekleşmiştir.

KAYNAKLAR

1. Scott, T.S., Shenghua, H., Seo, J.K., Rudolf, S., “FRP-strengthened RC slabs anchored with FRP anchors”, ***Engineering Structures***, 33: 1075–1087, (2011).
2. Elgabbas, F., El-Ghandour, A.A., Abdelrahman, A.A., El-Dieb, A.S., “Different CFRP strengthening techniques for prestressed hollow core concrete slabs: Experimental study and analytical investigation”, ***Composite Structures***, 92: 401–411, (2010).
3. Bouguerra, K., Ahmed, E.A., El-Gamal, S., Benmokrane, B., “Testing of full-scale concrete bridge deck slabs reinforced with fiber-reinforced polymer (FRP) bars”, ***Construction and Building Materials***, 25: 3956–3965, (2011).
4. Al-Rousan, R., Issa, M., Shabila, H., “Performance of reinforced concrete slabs strengthened with different types and configurations of CFRP”, ***Composites: Part B***, 43: 510–521, (2012).
5. Tamer, E.M., Khaled, S., “Strengthening of reinforced concrete slabs with mechanically-anchored unbonded FRP system”, ***Construction and Building Materials***, 22: 444–455, (2008).
6. Gilles, F., Oualid, L., “Experimental and numerical analysis of RC two-way slabs strengthened with NSM CFRP rods”, ***Construction and Building Materials***, 22: 2025–2030, (2008).
7. ACI 440 committee report “Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures”, ***ACI 440***, 51-59 (2001).
8. “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”, TS500, **Ankara**, Şubat, 28-33 (2000).

ÖZGEÇMİŞ**Kişisel Bilgiler**

Soyadı, Adı : Arslan, Onur
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve Yeri : 29.05.1987 ŞANLIURFA
Medeni Hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 482 36 57
Elektronik Posta : onur_0504@hotmail.com

**Eğitim
Derece****Eğitim Birimi****Mezuniyet Tarihi**

Lisans	Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	2009
Orta Öğretim	Hasan Ali Yücel Anadolu Öğretmen Lisesi	2005
İlk Öğretim	Atatürk Barajı İlköğretim Okulu	2001

Yabancı Dil

İngilizce