



ISSN:1306-3111  
e-Journal of New World Sciences Academy  
2008, Volume: 3, Number: 4  
Article Number: A0107

**NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**CIVIL ENGINEERING**

**❖ CONSTRUCTION**

Received: March 2008

Accepted: September 2008

© 2008 [www.newwsa.com](http://www.newwsa.com)

**Ömer Can**

**Hanifi Tokgöz**

University of Gazi

omeran@gazi.edu.tr

Ankara-Türkiye

çeşitli yöntemlerle güçlendirilen hasar görmüş betonarme kirişlerde performansların karşılaştırılması (comparison of performances of destroyed concrete beams which were strengthened via different methods)

**ÖZET**

Betonarme kirişler çeşitli nedenlerle hasara uğrarlar. Hasarlı kirişlerin onarımı veya güçlendirilmesi için son yıllarda çok çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada üç farklı yöntemle onarılan kirişler hem şahit numunelerle hem de birbirleri arasında kıyaslanmıştır. Şahit numuneler dahil toplam 18 adet kirişin yük-deplasman ilişkisi, rijitliği, sünekliği ve enerji tüketme kapasiteleri araştırılmıştır. Onarılan kirişler şahit kirişlere göre yük taşıma kapasitesi, rijitlik, enerji tüketme kapasiteleri bakımından daha iyi performans göstermiştir. Ancak süneklik açısından mantolanan kirişlerde kesit büyümesinden dolayı süneklik azalmıştır. Alt ve yandan çelik levha yapıştırılarak onarılan/güçlendirilen kirişlerde referans kirişe yakın süneklik göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme Kirişler, Hasar, Onarım, Güçlendirme, Mantolama

**COMPARISON OF PERFORMANCES OF DESTROYED CONCRETE BEAMS WHICH WERE STRENGTHENED VIA DIFFERENT METHODS**

**ABSTRACT**

There are several reasons why concrete beams can be damaged. Recently, new methods have been developed to repair and strengthen damaged beams. This study compares beams, which were strengthened via three different methods, with replicate samples and each other. The load-displacement relationship, rigidity, ductility and energy consumption capacities of 18 beams including the replicate samples were compared. The beams which were strengthened showed better performance than the replicate samples in terms of load-carrying capacity, rigidity, and energy consumption capacity. However, ductility decreased in jacketed beams because of the section extension. The beams which were repaired/strengthened by adding a plate from the bottom or on the façade showed similar ductility to the reference beam.

**Keywords:** Reinforced Concrete Beams, Damage, Repairing, Strengthening, Jacketing

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Taşıyıcı sistemi betonarme olan yapıların uygulama alanı çok geniştir. Uygulama alanının geniş olması, ekonomikliğe, istenildiği gibi şekil verilmesine, taşıyıcı elemanlarının kesitlerinin yapım kuralları içerisinde kalmak kaydıyla, mimari bakımdan değişken olmasına ve en önemlisi de istenilen amaca çok iyi bir şekilde cevap vermesine bağlıdır. Betonarme binalar zamanla, gerek aşırı yüklenme, gerekse kullanılan donatının korozyonu, deprem, yangın gibi etkiler sonucunda hasar görürler. Bu durumda binanın ekonomik ömrüne bağlı olarak veya koruma gibi diğer gerekçelerle onarılmaları gerekebilir. Onarım, görünüş ve kullanım bakımından hasar görmüş bir yapının veya onun birkaç elemanının ilk imalat koşullarına getirilmesi için yapılan çalışma ve değişikliktir. İlk haline getirilişi, onun görünüşü, kullanımı, yük taşıma kapasitesi, rijitliği, diktülitesi ve dayanıklılığıdır. Hasar görmemiş bir yapının da takviyesi söz konusu olabilir. Bu durumda güçlendirme yapılır. Güçlendirmede amaç, mukavemet ve benzeri karakteristikleri önceki düzeyin üstüne çıkarmaktır. Taşıyıcı elemanlarda meydana gelen hasarlar incelendiğinde; mühendislik hataları ile doğan hasarlar, bilgisizlik ve dikkatsiz uygulamadan doğan hasarlar, kullanım amacının değişmesi ve mühendislik konularındaki bazı belirsizlikten dolayı doğan hasarlar, kalitesiz malzeme kullanımı ile doğan hasarlar olarak görülmektedir.

Atımtay ve Tekel, hasarlı bir yapının deprem davranışının incelenmesi ve alınması gereken dersler hakkındaki çalışmalarında, 13 Mart 1992 Erzincan depreminde hafif hasara uğrayan bir yapının statik ve dinamik davranışını incelemişlerdir. Çalışmada, yapının 1968 deprem yönetmeliği koşullarına göre tasarlanmasına, etriyelerin yetersiz olmasına, düğüm noktalarında etriye sıklaştırılmasının yapılmaması olmasına ve beton mukavemetinin tasarım değerinin altında bulunmasına rağmen, yapının depremi hafif hasarla atlatabilmesinin ve bu hasarın bölgesel kalmasının nedenini araştırmışlardır [7].

Paramasivam et all., betonarme kirişleri ferrocement laminantlarla güçlendirmişlerdir. Hasara uğrayan betonarme kirişlerin iki yüzeyi arasına ferrocement uygulanarak yapıştırılmış bu kirişlere yük uygulanarak elde edilen performans sonuçları tartışılmıştır. Çıkan sonuçlardan, ferrocement, betonarme yapıların onarımında, taşıyıcı elemanın eski haline getirilmesi için uygun alternatif olarak görülmüştür [8].

Yazgı, Z., tez çalışmasında dikdörtgen kesitli basit mesnetlenmiş kirişlerin eğilme yönünden karbon ve cam liflerle güçlendirilmesini araştırmıştır. Betonarme kirişlerin çekme bölgesinin tamamında ve bir miktar yan yüzeye kıvrıp sarma metoduyla CFRP ve GFRP ile güçlendirmesini yapmıştır. Bunun için 16x20x220 cm boyutlarında, C20 betonu ve S420 yapı çeliği kullanılan 9 adet betonarme kiriş kullanmıştır. Güçlendirilen betonarme kirişlerin yük-yer değiştirme, süneklik ve enerji tüketme kapasiteleri araştırmıştır. Ayrıca kirişlerin kesme, eğilme ve basınç bölgelerindeki çatlak davranışları incelemiştir. Deneysel sonuçlarına göre güçlendirmenin başarılı olduğu kirişlerin cam ve karbon liflerle güçlendirilebileceği, maliyet bakımından incelendiğinde ise cam lifin tercih edilebileceği sonucuna ulaşmıştır [12].

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada, normal donatılı dikdörtgen kesitli, eğilme dayanımı yeterli olmayan betonarme kirişler eğilme dayanımını arttırmak için üç değişik yöntemle onarılmıştır. Onarıma sonrası

kirişlerde meydana gelen iyileştirmelerin deneysel yolla araştırılması amaçlanmıştır.

Betonarme binalar deprem, yangın, rötire, sünme, donatı korozyonu veya dış yüklerin etkisiyle hasar gören binaların taşıyıcı elemanlarında bazı kusurlar ve özellik kayıpları oluşur. Oluşan bu kusurlar bazen hemen, bazen de zamanla yapıyı güvensiz duruma sokar. Durumuna göre onarımı mümkün olabilecek bir hasarsa, yapı elemanı onarılır ve gerekirse tüm sistem güçlendirilir. Onarımı mümkün görülüyorsa başka çözümlere başvurulur. Büyük bir sıklıkla deprem olan ülkemizde yapısal hasarlar da yoğun olarak meydana gelmekte, hasar gören bu yapıların onarımı ve güçlendirilmesi gündeme gelmektedir. Ağır hasar gören yapıların yıkımı söz konusu iken, az ve orta hasarlı yapıların onarımı, gerekiyorsa güçlendirilmesi yapılabilmektedir. Hasarın durumu, yapının önemi, onarım-güçlendirme maliyeti gibi birçok faktörün rol oynadığı yapısal hasarların giderilmesinde yapılacak onarımın şekli ve niteliği de önem kazanmaktadır. Bu çalışmada yapının taşıyıcı sisteme ait elemanlarından kirişler üzerinde üç tip onarım yönteminin performanslarının (taşıma kapasitesi, rijitliği, diktülitesi ve dayanımı vb) araştırması yapılmıştır.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Deney numunelerinde kullanılan malzemelerin özellikleri;

- 0-4 mm ince agreganın; Kuru özgül ağırlığı  $2,60 \text{ gr/cm}^3$ , doymuş kuru yüzey özgül ağırlığı  $2,63 \text{ gr/cm}^3$ , görünen özgül ağırlığı  $2,68 \text{ gr/cm}^3$ , su emme oranı  $1,08\%$ 'dir.
- 8-16 mm iri agreganın; kuru özgül ağırlığı  $2,69 \text{ gr/cm}^3$ , doymuş kuru yüzey özgül ağırlığı  $2,70 \text{ gr/cm}^3$ , görünen özgül ağırlığı  $2,71 \text{ gr/cm}^3$ , su emme oranı  $0,24\%$ 'dir.

Araştırma için hazırlanan betonlarda çimento özgül ağırlığı  $3,11 \text{ gr/cm}^3$  olan PÇ42,5 kullanılmıştır. Deney kirişlerinde boyuna ve enine donatı olarak S420 kullanılmıştır. Esas (boyuna) donatı çapı  $\downarrow 12$  ve enine donatı (etriye) çapı ise  $\downarrow 8$  seçilmiştir. Kirişlerde kullanılan donatı özellikleri TS 708'e uygun olarak belirlenmiştir. Sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çelik çekme deneyi sonuçları  
(Table 1. Results of steel tensile test)

| ÖZELLİK                           | BİRİMİ            | Çelik Donatı   |                 | Çelik Plaka |
|-----------------------------------|-------------------|----------------|-----------------|-------------|
|                                   |                   | $\downarrow 8$ | $\downarrow 21$ | 20*6mm      |
| Çap (Ds)                          | mm                | 8,22           | 12,36           | -           |
| Kesit Alanı (As)                  | mm <sup>2</sup>   | 53,04          | 119,92          | 120         |
| Akma Yüğü (P <sub>y</sub> )       | kN                | 24             | 54              | 36          |
| Akma Gerilmesi (s <sub>y</sub> )  | N/mm <sup>2</sup> | 448,57         | 449,8           | 300         |
| Kopma Yüğü (P <sub>u</sub> )      | kN                | 36             | 82              | 49,5        |
| Kopma Gerilmesi (s <sub>u</sub> ) | N/mm <sup>2</sup> | 671,37         | 683,03          | 412,5       |
| Kavrama Uzunluğu (L)              | mm                | 100            | 200             | 200         |
| Toplam Uzama (d)                  | mm                | 120,5          | 240             | 26,9        |
| Kopma Uzaması (%)                 | %                 | 20,5           | 19,83           | 13,45       |

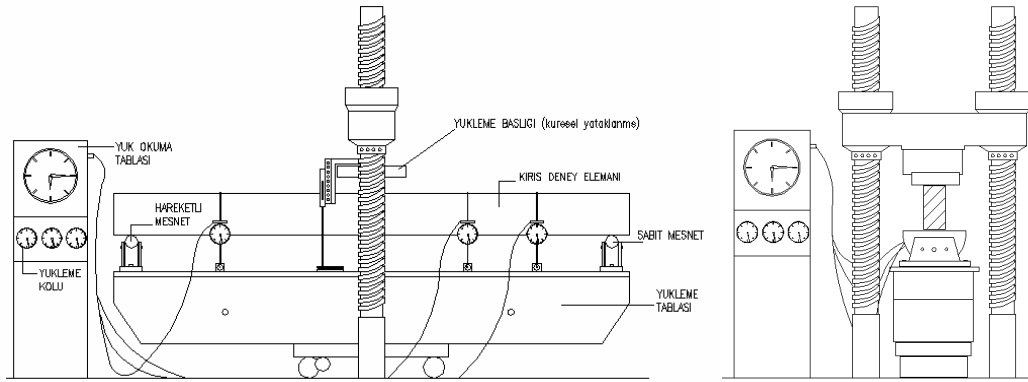
Yeterli eğilime dayanımına sahip olmayan betonarme kirişlerin onarılması amacıyla birçok yöntem kullanılmaktadır.

Bu çalışmada;

- Kiriş etriyeleriyle tamamen sarılıp boyuna donatı ekleyerek ve kesitini büyüterek betonarme mantolama,
- U şeklinde etriye ile alttan boyuna donatı ekleyerek ve kesitini büyüterek betonarme mantolama,
- Alt ve yandan çelik levha yapıştırılarak, kirişler onarılmış, yük-deplasman ilişkisi, rijitliği, sünekliği ve enerji tüketme kapasiteleri araştırılmıştır.

### 3.1. Deney Düzeneği (Mechanism of Experiment)

Hazırlanan kirişlerden deney esnasında 3000 kN kapasiteli loadcell ile açıklık ortasına yerleştirilen dialgaje vasıtasıyla ölçmeler alınmış, basınçla uygulanan P yükü kiriş açıklığının orta noktasında uygulanmıştır.

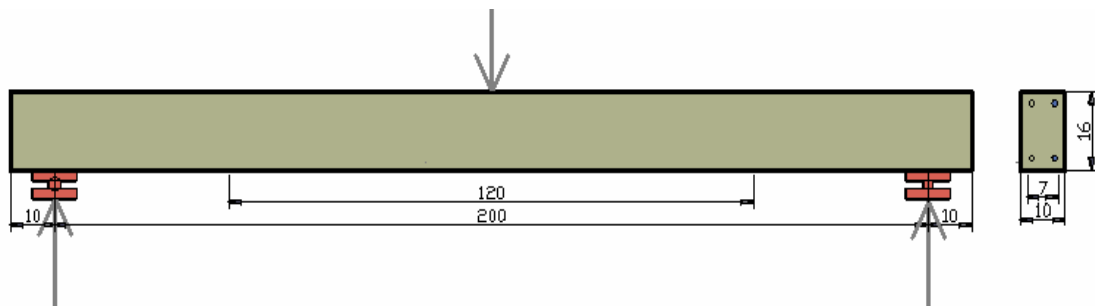


Şekil 1. Deney ve ölçüm Düzeneği  
(Figure 1. Test setup and instrumentation of beam)

### 3.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

#### (Preparation of Experiment Samples)

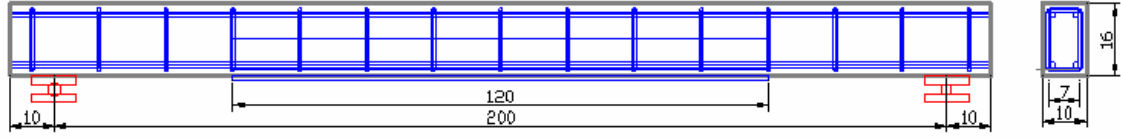
Üçü şahit olmak üzere toplam 18 adet numune üretilmiştir. 10x16x220 cm boyutlarında hepsi tek seferde üretilen kirişlerin 12 tanesine eğilme bölgesinde çatlaklar oluşana kadar orta seviyede hasar verilmiştir. Kesme kuvvetine ulaşmadan hasarın oluşacağı bilindiğinden kesme için önlem almaya gerek duyulmamıştır.



Şekil 2. Kiriş geometrisi, mesnetlenme durumu ve yüklemesi  
(Figure 2. Loading, boundary condition and geometric dimensions of beam)

Deney elemanı olarak C16 betonu, S420 çelik donatılar kullanılarak üretilen kirişlerde çekme donatıları 2J12, montaj donatısı ise 2J8 ve J8/150 mm ara ile etriye kullanılmıştır. Elde edilen deney elemanlarına hasar verilirken dikkat edilmesi ve kontrollü hareket edilmesi bakımından taşıma gücü hesaplanmıştır. Kiriş eğilme momenti=10,63 kNm, kiriş göçme yükü=21,26 kN, kiriş kesme

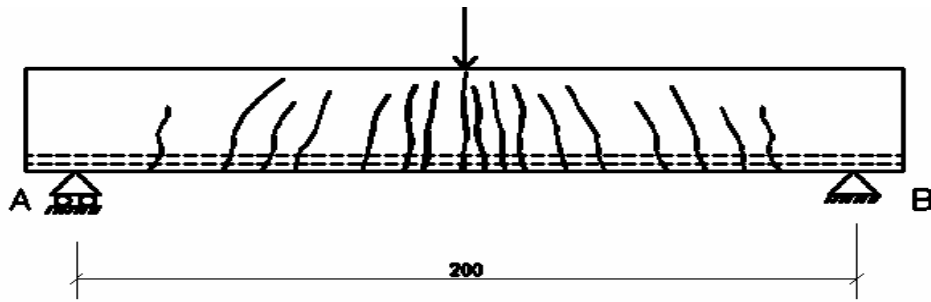
yükü=36,83 kN bulunmuştur. Şekil 3'te Deney numunesi donatı detayı görülmektedir.



Şekil 3. Kiriş donatı detayı  
(Figure 3. Reinforcement details of beam)

### 3.3. Hasar Görmüş Kirişlerin Onarımları (Repairing of Damaged Beams)

Hasarlandırılan 12 kirişte oluşan çatlak haritası Şekil 4'te görülmektedir. Hasarlı kirişlerin onarımı için iki farklı mantolama ile 3 adet hasarsız kirişin de güçlendirilmesi yapılmıştır.

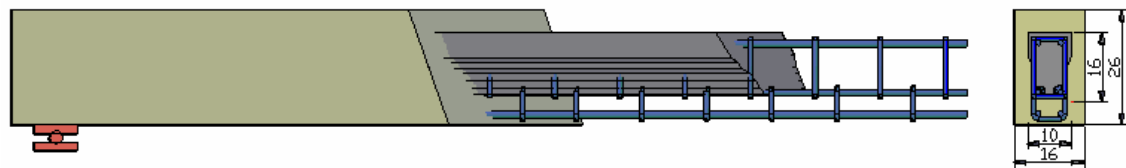


Şekil 4. Orta hasarlı kirişlerin çatlak haritası  
(Figure 4. Crack map of middle damaged beams)

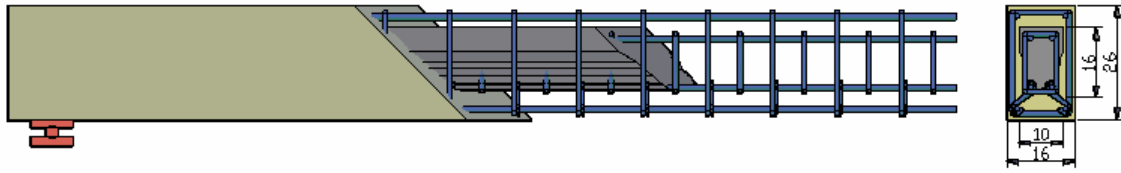
Hasarlı kirişlerin onarımında;

- **I. Yöntem:** 6 tane 10x16x220 cm boyutlarındaki kirişin paspayı betonu sıyrılarak esas donatı açığa çıkartılmış alt kısmına U şeklinde etriye ve 2φ12 esas donatı eklenerek C30 betonu ile betonarme mantolama yapılmıştır. Bu durumda kiriş kesiti 16x26 cm olmuştur. Şekil 5'te onarılmış deney numunesi detayı gösterilmiştir.
- **II. Yöntem:** 6 tane 10x16x220 cm boyutlarındaki kirişin paspayı betonu sıyrılarak esas donatı açığa çıkartılmış etriye ile sarılarak üstte 2J8 altta 2J12 ilave donatı ve kiriş çevresi tam etriye ile sarılarak C30 betonu ile betonarme mantolama yapılmış, kiriş kesiti 16x26 cm olmuştur. Şekil 6'da onarılmış deney numunesi detayı gösterilmiştir.
- **III. Yöntem:** 3 tane 10x16x220 cm boyutlarındaki kirişe hasar verilmeden alt tarafından ve iki yandan 10x70 mm kesitinde 1200mm uzunluğunda çelik levha, epoksi ile kirişin çekme bölgesine yapıştırılarak güçlendirilmiştir. Şekil 7'de onarılmış deney numunesi detayı gösterilmiştir.

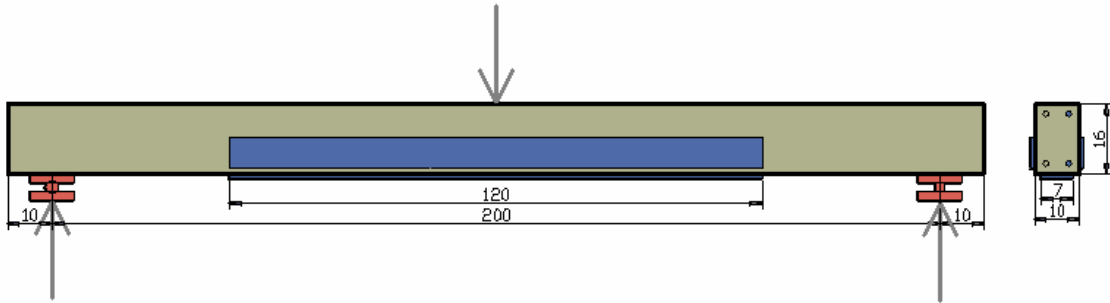
Onarılan kirişlere laboratuvar ortamında 28 gün bakım yapılmıştır.



Şekil 5. U şeklinde mantolanmış deney numunesi detayı (I.Yöntem)  
(Figure 5. Test specimens detail that jacketing shape U (I.Method))



Şekil 6. Tam mantolanmış deney numunesi detayı (II.Yöntem)  
(Figure 6. Test specimens detail that jacketing all sides (II.Method))



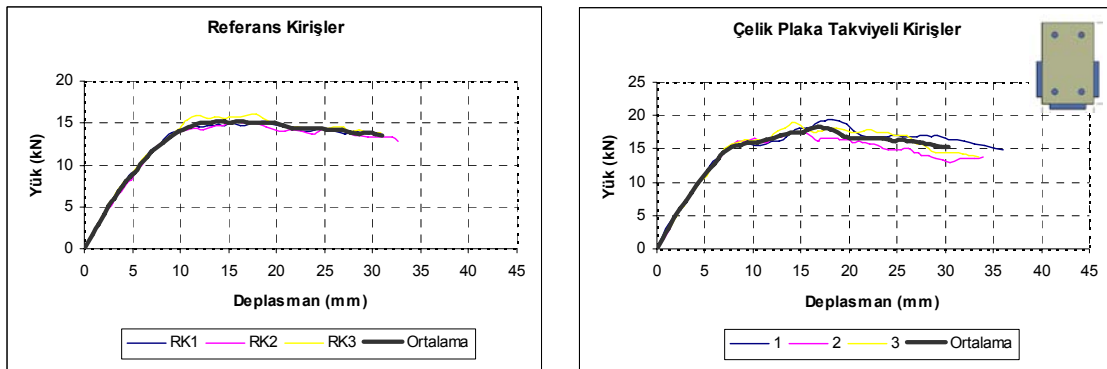
Şekil 7. Çelik plaka takviyeli deney numunesi detayı (III.Yöntem)  
(Figure 7. Test specimens detail that strength with steel plates  
(III.Method))

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

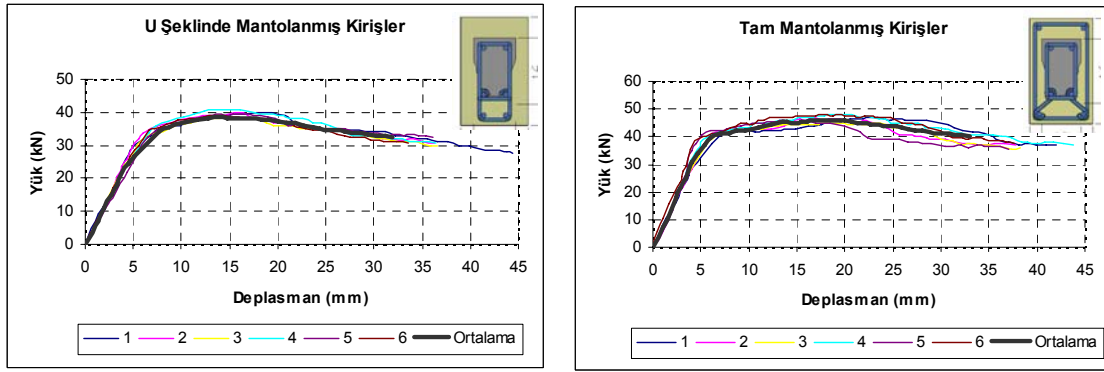
Deneyler esnasında davranış ve dayanımda izlenen değişiklikler çok dikkatli bir şekilde gözlenmiş ve bütün ayrıntılarıyla yorumsuz olarak sunulmuştur. Kiriş orta noktasından alınan ölçümlerden yük-deplasman grafiği çizilmiştir.

##### 4.1. Kiriş Yük-Deplasman Ölçümlerinin Karşılaştırılması (Compare of Measurement of Load Displacement Curves)

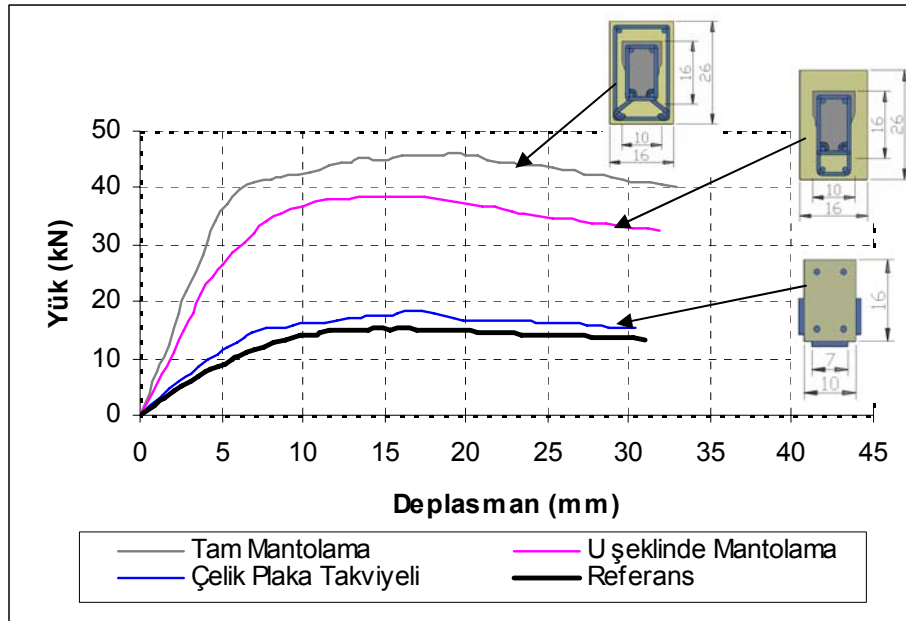
Bu araştırmada olası kayıplar göze alınmıştır. Kirişin üç noktasına yerleştirilen LVDT ile deplasman ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca mesnetlerde küçük de olsa öteleme yapacağı düşünülmüş ancak ihmal edilmiştir. Kiriş numunelerinin yükleme programı çerçevesinde deneme sonucunda elde edilen veriler kullanılarak hazırlanan yük-deplasman ilişkileri çizilmiştir. Eğrilerde yer alan sehimler, kiriş orta noktasında yerleştirilen LVDT'den alınmıştır. Bu şekilde kiriş orta noktasından ölçülen sehim ve ilk çatlama ve kırılma anındaki yüke karşılık gelen deplasmanlar Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir. Şekil 10'da ise üç farklı yöntemle güçlendirilen kirişlerin ortalama değerlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir.



Şekil 8. Deney elemanı yük-deplasman grafikleri  
(Figure 8. Load displacement curves of test specimen)



Şekil 9. Deney elemanı yük-deplasman grafikleri  
(Figure 9. Load displacement curves of test specimen)

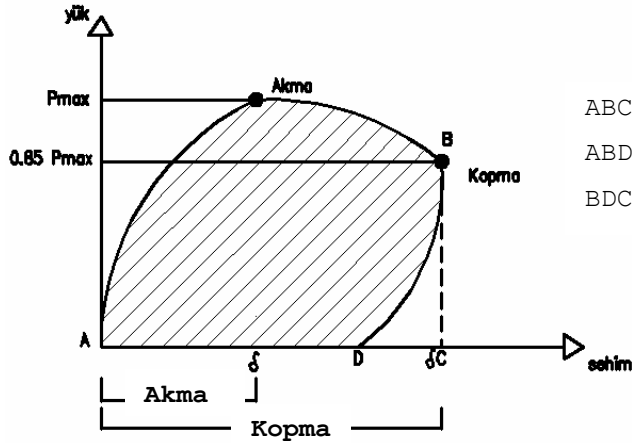


Şekil 10. Üç farklı yöntemle güçlendirilen kirişlerin ortalama yük-deplasman grafikleri  
(Figure 10. Average load-displacement curves of test specimen who reinforced with three different methods)

Süneklik oranı yük-deplasman ilişkisinden bulunmuştur. Bunun hesaplanması için deney elemanına ait yük-deplasman grafiğinin monolitik eleman dayanımının %85'inden geçen yatay doğrusunun kestiği noktadaki deformasyon bulunmuştur. Bütün deney kirişlerinin süneklikleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Rijitlik hesabında yük-deplasman grafiklerinin oluşturduğu eğimler kullanılmıştır. Yük-deplasman ilişkilerinde eğrinin doğrusal olduğu ve ilk çatlama yüküne kadar olan kısmının eğimi bulunarak hesaplanmıştır. Yük-deplasman eğrisinde kırılma yükünü kullanılarak bulunan eğime göre rijitlik kaybı hesaplanıp ilk çatlak anındaki rijitlikle karşılaştırma yapılmıştır. Tablo 2'de kirişlerin eğilme rijitlikleri gösterilmiştir.

Deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri, yük-deplasman eğrilerinin altında kalan alana eşit olduğu kabul edilmektedir (Şekil 11). Deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri elemana ait yük-deplasman grafiğindeki eğrinin altında kalan alan hesaplanarak bulunmuştur. Tablo 2'de kirişlerin enerji tüketme kapasiteleri gösterilmiştir.



ABC alanı: Yutulan enerji,  
ABD alanı: Tüketilen enerji,  
BDC alanı: Geri gelen enerji

Şekil 11. Tüketilen enerjinin şematik gösterilişi  
(Figure 11. Schematic showing of energy absorption capacity)

Tablo 2. Kirişlerin süneklik, rijitlik ve enerji tüketme kapasiteleri  
(Table 2. Stiffness, ductility and energy absorption capacity of beams)

|                                 | Numune No | Max. Yük (Pu) | Merkezi çökme | Akma anındaki deplasman | Kopma anındaki deplasman | Süneklik<br>$\mu_A = \frac{\Delta u}{\Delta y}$ | Akmanın rijitliği | Kopma rijitliği | Rijitlik azalması<br>% | Yaklaşık Enerji tüketme kapasitesi<br>kN.mm |
|---------------------------------|-----------|---------------|---------------|-------------------------|--------------------------|---|-------------------|-----------------|------------------------|---|
|                                 |           | kN            | mm            | $\Delta y$ (mm)         | $\Delta u$ (mm)          |   | kN/mm             | kN/mm           |                        |   |
| Referans Kirişler               | 1         | 42            | 43            | 6,9                     | 43,1                     | 6,2   | 3,48              | 0,57            | 83,63                  | 954,73                                      |
|                                 | 2         | 46,5          | 50            | 8,0                     | 49,8                     | 6,2   | 3,27              | 0,55            | 83,18                  | 1131,34                                     |
|                                 | 3         | 46            | 43            | 7,0                     | 48,2                     | 6,9   | 3,73              | 0,60            | 83,92                  | 1018,69                                     |
| U Şeklinde Mantolanmış Kirişler | 1         | 34            | 31            | 6,2                     | 31,5                     | 5,1   | 3,27              | 0,62            | 81,04                  | 1668,91                                     |
|                                 | 2         | 33,5          | 28            | 6,2                     | 27,8                     | 4,5   | 3,27              | 0,70            | 78,6                   | 1606,78                                     |
|                                 | 3         | 32,5          | 29            | 5,6                     | 29,1                     | 5,2   | 3,07              | 0,64            | 79,16                  | 1623,00                                     |
|                                 | 4         | 35            | 26,5          | 6,6                     | 26,1                     | 4,0   | 2,75              | 0,75            | 72,73                  | 1347,72                                     |
|                                 | 5         | 34,5          | 28,4          | 6,4                     | 28,5                     | 4,5   | 2,90              | 0,70            | 75,86                  | 1610,05                                     |
|                                 | 6         | 34            | 27            | 6,4                     | 26,5                     | 4,1   | 3,07              | 0,72            | 76,55                  | 1515,4                                      |
| Tam Mantolanmış Kirişler        | 1         | 40            | 35            | 6,2                     | 35,0                     | 5,6   | 3,73              | 0,67            | 82,04                  | 2480,37                                     |
|                                 | 2         | 39,5          | 28            | 6,1                     | 28,4                     | 4,7   | 3,73              | 0,80            | 78,56                  | 1465,62                                     |
|                                 | 3         | 38            | 32            | 6,0                     | 31,2                     | 5,2   | 3,73              | 0,70            | 81,24                  | 2167,11                                     |
|                                 | 4         | 41            | 35,5          | 5,1                     | 35,3                     | 6,9   | 4,33              | 0,67            | 84,53                  | 2331,21                                     |
|                                 | 5         | 38,5          | 24            | 5,0                     | 23,8                     | 4,8   | 4,70              | 0,93            | 80,22                  | 1580,22                                     |
|                                 | 6         | 42            | 31,3          | 4,6                     | 30,7                     | 6,7   | 4,70              | 0,75            | 84,05                  | 2040,93                                     |
| Çelik Plaka Takviyeli Kirişler  | 1         | 17            | 30            | 7,1                     | 30,1                     | 4,2   | 2,35              | 0,64            | 72,77                  | 1451,43                                     |
|                                 | 2         | 14,5          | 26,5          | 7,2                     | 26,4                     | 3,7   | 2,35              | 0,64            | 72,77                  | 1164,75                                     |
|                                 | 3         | 16,5          | 26,5          | 7,0                     | 26,4                     | 3,8   | 2,35              | 0,70            | 70,22                  | 1277,44                                     |



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND SUGGESTIONS)

Yapılan deneysel çalışmada üretilen 18 adet kirişin onarım yöntemlerine ait sonuçları ile elde edilen deneysel değerlerin teorik değerlerle uyumluluğu araştırılmıştır. Bu çalışmada çeşitli nedenlerle meydana gelen hasarların ortaya çıkış sebepleri, betonarme taşıyıcı elemanlarda kullanılan bileşen malzemelerde olan uyumsuzluklar, dış etkilerle oluşan hasarlar, deprem, yangın, aşırı yüklenme, patlama gibi nedenlerle oluşan hasarlar ve bu hasarların kirişleri etkileme derecelerinin belirlenmesi için gerekli çalışmalar incelenmiştir. Yapılan incelemelerde hasarlı elemanların bilinen yöntemlerle farklı şekilde onarılması sonrasında onarılan kirişlerin taşıma gücünde, yük ve deplasman ilişkisinde, rijitliğinde, sünek davranışında ve enerji tüketme kapasitesindeki değişiklikler değerlendirilmiştir.

Araştırmada esas alınan üç yöntemden birincisinde alttan U şeklinde etriye ve iki adet donatı ilavesi, ikincisinde kiriş çevresinin tam etriye ve alttan ve üstten ikişer adet donatı ilavesi ile mantolama yapılmıştır. Üçüncü yöntemde ise kiriş kesitinde herhangi bir değişiklik yapılmadan sadece kiriş çekme bölgesine eğilmede çelik lama ile takviye edilerek güçlendirilmesi yapılmıştır. Bu yöntemler hasarların yerine ve şekline göre tercih edilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen uygulama ve deneysel sonuçlara göre; Birinci yöntemle yapılan kiriş onarımlarının uygulamanın kolay olması nedeniyle gerçek uygulamalarda da tercih edilebileceği, ikinci yöntemle yapılan kiriş onarımının uygulamasında olan zorluk nedeniyle tercih edilemeyeceği sonucuna ulaşılmıştır. Ancak üstü açık kirişlerde uygulanabileceği düşünülmüştür. Yapılmış olan bu deneylerden elde edilen verilere dayanarak ulaşılan başlıca sonuçların, yapılmış olan deneylerin özellik ve yapılış şartları ile sınırlı olduğu da ihmal edilmemelidir. Bütün deney elemanlarında hedeflenen dayanımlara çok az farklarla ulaşılmıştır.

- Süneklik oranı referans kirişlerde ortalama 6,2 iken birinci yöntemle onarılan kirişlerde 4,57 ikinci yöntemle onarılan kirişlerde 5,65 üçüncü yöntemle onarılan kirişlerde 3,90 bulunmuştur.
- Rijitlik azalması yönünden bakıldığında, referans kirişlerde ortalama % 84 iken birinci yöntemle onarılan kirişlerde %77, ikinci yöntemle onarılan kirişlerde %82, üçüncü yöntemle onarılan kirişlerde %72 olarak bulunmuştur.
- Yaklaşık enerji tüketme kapasiteleri yönünden bakıldığında, referans kirişlerde ortalama 1034,92 kNmm iken birinci yöntemle onarılan kirişlerde 1562,0 kNmm, ikinci yöntemle onarılan kirişlerde 2010,9 kNmm, üçüncü yöntemle onarılan kirişlerde 1297,9 kNmm olarak bulunmuştur.

Onarılmış bütün elemanların enerji tüketme kapasiteleri, onarım öncesi kesitteki referans kirişin enerji tüketme kapasitelerini aşmıştır. Sadece çelik takviye edilerek onarılan kirişlerin enerji tüketme kapasiteleri aynı kesitteki referans kirişleri enerji tüketme kapasitelerine yakın çıkmıştır. Ama yine başarılı bir sonuç olarak değerlendirilmektedir.

Bütün elemanlarda elde edilen rijitlik incelendiğinde tam mantolama yapılan kirişlerin çok daha fazla rijit oldukları gözlenmiştir. Ancak bütün elemanlarda referans kirişlere göre yeterli rijitlik elde edilmiştir.

Deney elemanlarının enerji tüketme kapasitesi olarak bakıldığında tam mantolama yapılan kirişlerin enerji tüketme kabiliyetlerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Bu değerlere bakılarak yöntem üstünlüğü karşılaştırılabilir. Birinci yöntemle onarılan kirişlerin enerji tüketme kapasitelerinin, sünekliğinin ve



rijitliğinin referans kirişe göre arttığı görülmüştür. İkinci yöntem olan tam mantolanmış kirişlerde ise süneklikleri diğerlerine göre az olduğu, rijitliklerinin diğer yöntemlere göre fazla olduğu gözlemlenmiştir. Üçüncü yöntemle onarılan kirişlerin rijitlikleri diğerleri ile kıyaslandığı zaman daha az olduğu ve sünek davranışında da referans kirişlere yakın olduğu görülmüştür. Çelik yapıştırılmış kirişlerde epoksi ile yapıştırılan levha aniden betonu parçalayarak koparak ayrılmıştır.

Onarım için hazırlanan modellerin dayanım eğilme davranışları incelendiği zaman bütün kirişlerin onarımdan önce ulaştıkları en büyük yükü aşmıştır. Bütün kirişlerin kırılma modu eğilme kırılmasıdır. Onarılan kirişlerin dayanımı referans kirişlerden daha fazladır. Onarım sonucu artan kesit ve donatı yüzdesi nedeni ile kirişlerin rijitliği artmıştır.

Bütün elemanlarda akma durumuna ulaşılmıştır. Elemanlarda onarım ve güçlendirme işlemi kısa sürede yapılmıştır. Onarılan kiriş yüzeylerinin hazırlığının iyi olması aderansı arttırmıştır. Kiriş yan yüzeylerine yapıştırılan plakalar kirişin eğilmesinde pek etkili olmamıştır. Ancak kirişlerin alt yüzeyine yapıştırılan çelik levhaların davranışa önemli etkisi olmuştur.

Bu durumda ikinci yöntemin diğerlerine göre avantajlı olduğu ve kiriş onarımlarında kullanılabileceği söylenebilir.

#### **SİMGELER (SYMBOLS)**

| <b>Simgeler</b> | <b>Açıklama</b>                               |
|-----------------|---|
| P               | Yük   |
| $V_c$           | Kesme kuvveti                                 |
| $\Delta_y$      | Akma anındaki ötelenme sünekliği              |
| $\Delta_u$      | Kopma anındaki ötelenme sünekliği             |
| $P_u$           | Donatı akma yüküne göre hesaplanan göçme yükü |
| C16             | Beton sınıfı                                  |
| C30             | Beton sınıfı                                  |
| $\phi 12$       | Kullanılan donatı çapı                        |
| S420            | Yapı çeliği sınıfı                            |
| LVDT            | Elektronik deplasman ölçer                    |
| Pç42.5          | Portlant çimentosu                            |
| TS EN           | Türk standartları                             |
| ASTM            | American Society for Testing and Materials    |

#### **KAYNAKLAR (REFERENCES)**

1. Demir, H., (2000). Betonarme Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi. Fast Print, İstanbul.
2. Sorguç, D., (2000). Hasarlı Binaları Onarım ve Güçlendirme Yolları. İTO, İstanbul.
3. Horta, J. and Castano, V.M., (2000). Shift of natural frequencies in buildings damaged by earthquakes. Proceedings-of-the International Modal-Analysis-Conference-IMAC., Volume:2, p:1412-1416
4. Önal, M.M., (2002). Hasar Görmüş Dikdörtgen Kesitli Kirişlerin Mantolama Yöntemiyle Onarımı Üzerine Deneysel Bir Araştırma. Doktora tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
5. Can, Ö., (2002). Hasarlı Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kirişlerin Betonarme Mantolama Üzerine Deneysel Bir Araştırma. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.



6. Celep, Z. ve Boduroğlu, H., (1997). Dinar Öğretmen Evleri Kooperatifleri Binaların Deprem Davranışı ve Yapılan Güçlendirme Sistemi. 4.ulusal deprem mühendisliği konferansı. Sayfa:173-180
7. Atımtay, E. ve Tekel, E., (1997). Hasarlı Bir Yapının Deprem Davranışının İncelenmesi ve Öğrenilen Dersler. 4. ulusal deprem mühendisliği konferansı., Sayfa:567- 576
8. Paramasivam, P., Lim-CTE., Ong-KCG., (1998). Strengthening of RC beams with ferrocement laminates. Cement and Concrete Composites, Volume:20, Number:1, pp:53-65.
9. Aruntaş, H.Y., Fırat, S. ve Mengene, N., (2002). 17 Ağustos 1999 Marmara Depreminde Adapazarı'ndaki Betonarme Yapılarda Sıkça Rastlanan Yapısal Hasarlarının İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt:15, No:2, Sayfa:599-614, Ankara.
10. Sevük, F., (2000). Yapı Hasarları ve Hasarların İyileştirilmesi Üzerine Bir İnceleme. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
11. Atımtay, E., (2000). Açıklamalar ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (Betonarme Yapılar). Bizim Büro Basımevi, Cilt:1-2, Ankara
12. Yazgı, Z., (2007). Dikdörtgen Kesitli Basit Mesnetlenmiş Kirişlerin Eğilme Yönünden Karbon ve Cam Liflerle Güçlendirilmesi. Yüksek Lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
13. Önal, M.M., Tokgöz, H., Can, Ö. ve Dumanlar, N., (2006). Betonarme kirişlerde CFRP Sarılarak Güçlendirme yapılması ve Tasıma Gücünün Artırılması. Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, ss:64-69, Denizli.
14. Tokgöz, H., Dumanlar, N., Can, Ö. ve Önal, M.M., (2006). Betonarme Kirişlerde CFRP Sarılarak Güçlendirme Yapılması Ve Tasıma Gücünün Artırılması. Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, ss:64-69, Denizli.
15. TS 500, (2000). Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
16. Temizer, S., (2000). Betonarme Kirişlerin Çelik Levhalarla Takviyesi. Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
17. Önal, M. ve Koçak, A., (2006). Betonarme Mantolama İle Güçlendirilmiş Hasarlı Kirişlerin Deneysel Olarak İncelenmesi. Sigma Dergisi, 1, ss:94-106,
18. Önal, M. ve Tokgöz, H., (2005). Hasarlı Betonarme Kirişlerin Onarımı Üzerine Deneysel Bir Çalışma. Sigma Dergisi, 1, ss:83-96.
19. Önal, M., Tokgöz, H. ve Koçak, A., (2005). Üç Yüzeyinden Epoksili Çelik Levhalarla Onarılmış Kirişlerin Deneysel Olarak İncelenmesi. Sigma Dergisi, 1, ss:96-107.