



niteliği de önem kazanmaktadır. Onarımda söz konusu yapının taşıyıcı sisteme ait elemanlarının bireysel onarımı yapılmakta, bu sayede onarımı yapılan her elemanın taşıma kapasitesi, rijitliği, düktilitesi ve dayanımı artırılmaktadır. Güçlendirmede ise tüm yapı elden geçirilmekte ve yapı genel olarak iyileştirilmektedir.

Betonarme yapılarda onarılan elemanlar kolon, kiriş, perde veya bir çerçeve sistemi olabilmekte, hasarın niteliğine göre de çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar betonarme, çelik veya karbon lifi' dir. Bu yöntemlerle ilgili çalışmalar son yıllarda oldukça yaygınlaşmıştır. Bir çok araştırmacı tarafından incelenen hasarlı yapı elemanlarının onarımı, elde edilen sonuçlar sayesinde oldukça ilerleme kaydetmiştir.

Bu çalışmanın da esası olan hasarlı kirişlerin iyileştirilmesi ve onarılması konusu bir çok uzman tarafından ele alınmış ve yapılan çalışmalar sonucunda değişik yöntemler önerilmiştir. Güçlendirmenin ve güçlendirme farklılıklarının kiriş davranışına etkilerinin ortaya çıkarıldığı bu çalışmalardan; çoğunlukla ele alınan yeni boyuna ve sargı donatısı ve beton ilavesi ile yeni bir beton katmanı (mantolama) oluşturulması yöntemidir [12, 4, 15, 3, 2]. Eski ve yeni beton arasındaki kaynaşmanın sağlanması, yeni donatıların bağlantı şekilleri, yeni sargı donatılarının eklenmesi, güçlendirilmiş kirişlerin dayanımı, rijitlik ve süneklik farklılıkları bu çalışmalarda ve değişik şekillerde incelenmiştir. Kirişler üzerine yapılan bir diğer çalışma epoksi ile çelik plak yapıştırma yöntemidir [3, 13, 11, 7, 1]. Çelik plakalarla güçlendirmede, çelik plakalar epoksi ile kirişe yapıştırılarak kirişin eğilmeye, kesmeye veya her ikisine karşı dayanımı artırılmaktadır. Az hasarlı kirişlerin onarımında ise çoğunlukla epoksi reçinesi kullanılmış, yapılan onarımlar sonucunda kirişler test edilmiştir [14, 5, 3]. Bunun yanı sıra Diab, Y., G., 1998 [6] betonarme kirişlerin püskürtme beton kullanılarak güçlendirilmesini deneysel olarak araştırmıştır. Özkul, H. ve Çolak, A., 1993 [9] ise hasar gören yapı elemanlarının onarımında polimer enjeksiyonu yöntemini incelemiştir. Son yıllarda hızla gelişen karbon lifi yöntemiyle kiriş onarımı sisteme rijitlik vermesiyle birlikte uygulamada da kullanım alanı bulmuştur. Shaway, M. A. and Beitelman, T., 1996 [10] ; Kumbasar, N. ve İlki, A. 2001[8] bu konuda araştırmalar yaparak hasar gören kirişleri karbon lifi ile güçlendirmiş ve test etmişlerdir.

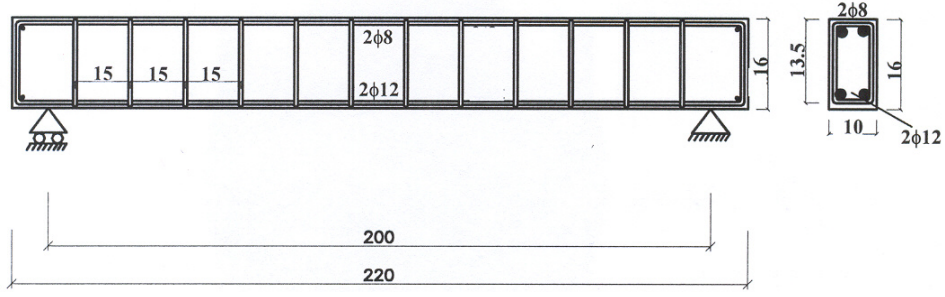
Bu çalışmada ise betonarme taşıyıcı elemanlardan, düşey yükler altında hasar gören ve onarımı mümkün olan (orta hasarı aşmayacak durumda) betonarme kirişlerin yeni boyuna ve sargı donatısı ve beton ilavesi ile yeni bir beton katmanı oluşturulması şeklindeki (mantolama) onarımı deneysel olarak araştırılmıştır. Onarıma esas olan güçlendirme şekli, ileride ayrıntısıyla verildiği gibi mevcut hasarlı kirişe çekme donatısı ilavesi ve alttan U etriyelerle sargılanması şeklindedir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 2.1. Materyal

Yeterli eğilme dayanımına sahip olmayan betonarme kirişlerin onarılması amacıyla en çok kullanılan yöntemlerden biri mantolama olarak bilinen mevcut kiriş üzerine yeni beton katmanı oluşturulmasıdır. Bu yöntemlerin eleman davranışı üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla dikdörtgen kesitli numunelerle deney planlanmıştır. Serbest açıklığı 2000 mm olan basit mesnetli dikdörtgen kesitli kirişler üretilmiştir. Üretilen kirişlerde kullanılan malzeme kırma kum ve kırma taş ile hazırlanan C16 hazır betonu ve S420 yapı çeliğidir.

Çizelge 1' de verildiği gibi 12 adet deney elemanı üç seri olarak planlanmış ve her bir dökümde üçer adet olmak üzere 9 adet 100\*160\*2200 mm ebadında C16 betonu ve S420 çeliği kullanılarak üretilen kirişlerin esas donatısı 2φ12, montaj donatısı 2φ8 ve etriyesi ise φ8/150' dir. Üç adet de 160\*260\*220 mm boyutunda C30 betonu ve S420 yapı çeliği kullanılarak donatı oranı aynı olmak kaydıyla referans kiriş üretilmiştir. Esas donatının etkili derinliği denek kirişlerde 135 mm' dir (Şekil. 1).



Şekil 1. Deney Numunesi Detayı

Çizelge 1. Deney Elemanları

Sıra No	Kiriş Seri No	İşlem Türü ve Kesiti mm	Numune Hazırlama Yöntemi
1	KM 11	Önce, 100*160 onarıldıktan sonra 160*260	Mantolama: Kirişe alt tarafından U şeklinde etriye ve 2Φ12 donatı ilave edilmiştir.
2	KM 12		
3	KM 13		
4	KM 21		
5	KM 22		
6	KM 23		
7	RKM 1	100*160	100x160 mm kesitli referans kiriş
8	RKM 2		
9	RKM 3		
10	RKM 1	160*260	160x260 mm kesitli referans kiriş
11	RKM 2		
12	RKM 3		

## 2.2. Metod

Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda doğal ortamda 100\*160\*2200 mm boyutunda ve mesnetler arası açıklığı 2000 mm 12 adet kiriş, C 16 beton ve S420 yapı çeliği kullanılarak üretilmiştir (Fotoğraf 1). Aşağıda Çizelge 2 ve Çizelge 3' de üretilen kirişlerin özellikleri verilmiştir. Bilinen yöntemlerin etkinliği, kirişlerin davranışları, onarım sonrası yük-sehim ilişkisi, rijitlik, duktilite (süneklik) yük taşıma kapasitesi, enerji yutma kapasitesi incelenmiştir. Onarımın başarılı olup olmadığı, yöntemin etkinliği, elde edilen onarım öncesi ilk değerlerle onarım sonrası değerleri, yük-deplasman eğrileri karşılaştırılmıştır. Normal hava şartlarında elde edilerek hasar verilen kirişlerden altısı üzerinde kiriş alt tarafından U şeklinde etriye ve 2φ12 donatı ilave edilerek betonarme mantolama yapılmıştır. Onarım esnasında yapılan mantolamada C30 ve S420 malzemeleri kullanılmıştır. Eski beton C16 ile yeni beton C30'un birbirine kaynaşması için kiriş yüzeyleri pürüzlendirilmiştir. Üç kiriş referans kiriş olarak maksimum yüke kadar yüklenmiş ve yük deplasman değerleri alınmıştır. Üç kiriş de mantolama sonucunda ulaşılan kesitte elde edilen değerlerle karşılaştırmak için 160\*260 mm'de üretilmiştir. Maksimum yüke kadar yüklenerek taşıma gücü ve deplasman değerleri alınmıştır. Onarım sonrası büyüyen kesitlerle taşıma gücü karşılaştırılmıştır.



Fotoğraf 1. Referans kirişin donatısının bağlanması

Çizelge 2. Üretilen kirişlerin betonu ve geometrik özellikleri

Sıra no	Numunenin adı	Beton sınıfı	Kesit tipi	Boyutlar mm	Hesap açıklığı Mm	Ölçülen d mm	Dozaj N/mm <sup>3</sup>	E/C %
1	KM 11	C16	Dik.	100x160x2200	2000	130	3237.3*10 <sup>-9</sup>	0,62
2	KM 12	C16	Dik.	100x160x2200	2000	135	3237.3*10 <sup>-9</sup>	0,62
3	KM 13	C16	Dik.	100x160x2200	2000	137	3237.3*10 <sup>-9</sup>	0,62
4	KM 21	C16	Dik.	100x160x2200	2000	135	3237.3*10 <sup>-9</sup>	0,62
5	KM 22	C16	Dik.	100x160x2200	2000	135	3237.3*10 <sup>-9</sup>	0,62
6	KM 23	C16	Dik.	100x160x2200	2000	135	3237.3*10 <sup>-9</sup>	0,62
7	RKMK 1	C16	Dik.	100x160x2200	2000	130	3237.3*10 <sup>-9</sup>	0,62
8	RKMK 2	C16	Dik.	100x160x2200	2000	135	3237.3*10 <sup>-9</sup>	0,62
9	RKMK 3	C16	Dik.	100x160x2200	2000	135	3237.3*10 <sup>-9</sup>	0,62
10	RKMb 1	C30	Dik.	160x260x2200	2000	240	3825*10 <sup>-9</sup>	0,50
11	RKMb 2	C30	Dik.	160x260x2200	2000	245	3825*10 <sup>-9</sup>	0,50
12	RKMb 3	C30	Dik.	160x260x2200	2000	245	3825*10 <sup>-9</sup>	0,50

**Çizelge 3.** Üretilen kirişlerin donatısı, dayanımı ve mekanik özellikleri

Sıra no	Numune no	Tipi	Adedi	Alanı mm <sup>2</sup>	Donatı oranı	f <sub>ck</sub> MPa	f <sub>yk</sub> MPa	f <sub>su</sub> MPa
1	KM 11	S 420	2ø12	226	0,014	22.204	529.74	804.42
2	KM 12	S 420	2ø12	226	0,014	22.204	529.74	804.42
3	KM 13	S 420	2ø12	226	0,014	22.204	529.74	804.42
4	KM 21	S 420	2ø12	226	0,014	22.204	529.74	804.42
5	KM 22	S 420	2ø12	226	0,014	22.204	529.74	804.42
6	KM 23	S 420	2ø12	226	0,014	22.204	529.74	804.42
7	RKMk 1	S 420	2ø12	226	0,014	22.204	529.74	804.42
8	RKMk 2	S 420	2ø12	226	0,014	22.204	529.74	804.42
9	RKMk 3	S 420	2ø12	226	0,014	22.204	529.74	804.42
10	RKMb 1	S 420	4ø12	452	0,01	33.27	529.74	804.42
11	RKMb 2	S 420	4ø12	452	0,01	33.27	529.74	804.42
12	RKMb 3	S 420	4ø12	452	0,01	33.27	529.74	804.42

### 2.3. Deney Kirişlerine Hasar Verilmesi

Elde edilen kirişlerden 3 seri kiriş (3\*3 = 9 kiriş) 2000 mm açıklıkta bir ucu sabit diğer ucu hareketli basit mesnetli deney setinde orta dereceli hasar (kirişlerde 2 mm. mertebesindeki çatlakların oluşumu) verilene kadar yüklenerek kırılmıştır. Yüklemeler 1962 N'luk artışlar halinde uygulanmıştır. Her yük aşamasında 1/2 ve 1/4 açıklıklarında oluşan deplasman değerleri kompratörlerden serbest gözle okunarak kaydedilmiştir. Kirişler önceden hesaplanmış taşıma gücüne kadar yüklenmiş, fakat donatının tamamen akmasına ve basınç bölgesindeki betonun ezilmesine ulaşmadan, yaklaşık olarak 8 mm kalıcı sehim olana kadar çalışmaya devam edilmiştir.

Birinci serideki deney kirişleri KM11, KM12, KM13 olarak isimlendirilmiştir. Birinci serideki kirişlerin çatlakları açıklık ortasında ve eğilme çatlakları olduğu yük arttıkça çatlak sayısında ve genişliğinde de artış olduğu izlenmiştir. Her yük aşamasında oluşan çatlaklar yağlı tebeşirle işaretlenerek fotoğrafları çekilmiştir (Foto 2). Beton çekme gerilmelerini daha fazla karşılayamadığından, gerilmeler donatı tarafından karşılamaya başlanmış ve kiriş daha fazla yük almadan deplasman artmaya devam etmiştir. Çatlak uzunlukları dik olarak basınç bölgesine taşınmış ve kiriş üst yüzeyine 40 mm kalana kadar uzanmıştır. Gözlem altında çatlak genişliği büyümüş ve beton basınç bölgesinde ezilerek kiriş kırılmıştır. KM 11 de 19 mm, KM12 de 18,75 mm ve KM 13 de de 22 mm sehim olduğu ölçülmüştür.

İkinci serideki kirişler KM 21, KM 22, KM 23 olarak isimlendirilmiştir. Bu serideki kirişler yukarıda anlatıldığı gibi kırılarak hasar verilmiş ve fotoğrafları çekilmiştir. Kirişlere hasar verilirken uygulanan yük, yük tablasından ve deplasman değerleri de kompratörden okunarak kaydedilmiştir. Hasar verilen kirişlerin hesap değerleri Çizelge 4.' de verilmiştir.



**Fotoğraf 2.** Alttan U şeklinde etriyenin ankrajı

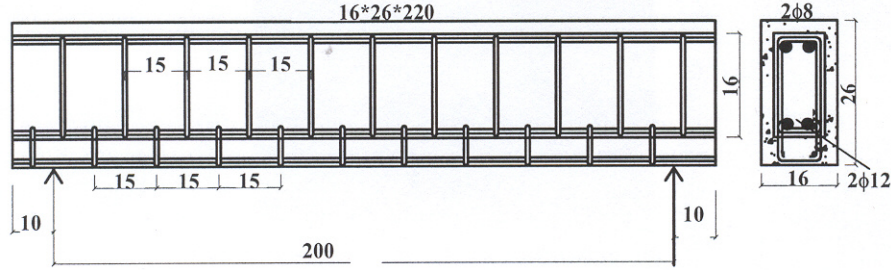
Çizelge 4. Hasar verilen kirişlerin teorik ve deney değerleri

Sıra No	Numune Adı	Teorik M max. kN.mm	Deney M max kN.mm	Teorik Pu kN	Deney Pu KN	Merkez çökme mm
1	KM 11	10630*10 <sup>3</sup>	11000*10 <sup>3</sup>	21,26	22,00	19,00
2	KM 12	10630*10 <sup>3</sup>	12000*10 <sup>3</sup>	21,26	24,00	18,75
3	KM 13	10630*10 <sup>3</sup>	11000*10 <sup>3</sup>	21,26	22,00	22,00
4	KM 21	10630*10 <sup>3</sup>	10000*10 <sup>3</sup>	21,26	20,00	14,00
5	KM 22	10630*10 <sup>3</sup>	10500*10 <sup>3</sup>	21,26	21,00	13,90
6	KM 23	10630*10 <sup>3</sup>	11000*10 <sup>3</sup>	21,26	22,00	10,70
7	RKMk 1	10630*10 <sup>3</sup>	9500*10 <sup>3</sup>	21,26	19,00	32,10
8	RKMk 2	10630*10 <sup>3</sup>	10500*10 <sup>3</sup>	21,26	21,00	27,60
9	RKMk 3	10630*10 <sup>3</sup>	10000*10 <sup>3</sup>	21,26	24,00	31,25

#### 2.4. Kirişe Alt Tarafından U Şeklinde Etriye Ve 2φ12 Donatı İlave Edilerek Yapılan Betonarme Güçlendirme

Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılan bu çalışmanın kirişlerin sayısının fazla olması ve laboratuvarın içerisinde yeterli olmaması nedenleriyle, hasar verilen kirişlerin onarım sonrası kış şartlarında donmaması için çalışmalar sıcaklığı elverişli olan Afet İşleri Genel Müdürlüğü Merkez Laboratuvarı'nda sürdürülmüştür.

Beton enkesit alanının yeniden eklenecek beton alanı ile derinleştirilmesi, bu eklenen alana yeni çekme donatılarının konması, bunu yaparken de yeni ve eski betonların birbirine kaynaştırılmasında sorun olmaması için eski kiriş yüzeyleri çentikler açılarak pürüzlendirilmiştir. Kiriş alt bölgesi pas payına kadar açılmıştır. Böylece yeni konulan donatıların eski donatılara ankrajı sağlanmıştır. Hasarlı kirişlerin birinci ve ikinci grubuna (6 kiriş) alttan 2φ12 ve eski etriyelerin arasına U şeklinde φ8/150 mm etriyeler yerleştirilmiştir. Çimento ağırlığının %1,4 oranında normal akışkanlaştırıcı katılarak elde edilen C 30 betonu ile çevresi sarılarak kirişin onarımı yapılmıştır. Donatının yerleşimi Şekil 2' de gösterilmiştir.



Şekil 2. U şeklinde etriye ankrajı ile onarımın donatı detayı

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Deney elemanlarına ait yük-deplasman ilişkilerinin şekilleri ve değerleri incelenerek referans kirişlerin bulgularıyla karşılaştırılması yapılmıştır. Deney elemanlarının dayanım değerleri,

## *The Experimental Study on Repeating of Damaged...*

rijitlikleri, süneklikleri, taşıma gücü kapasitesi ve enerjiyi yutma kapasiteleri Çizelge 6,7,8' de verilmiştir.

Deney kirişlerinin alt yüzünde ikisi eski kirişte, diğer ikisi de mantolama ile ilâve edilerek 4 adet boyuna donatı kullanılmıştır. Kiriş davranışlarında ve çatlak yerlerinde çok belirgin bir fark olmamıştır. Hemen hemen bütün elemanlarda çatlak sayısı ve yerlerinin aynı bölgede olduğu gözlenmiştir. Bütün çatlaklar kiriş eğilme bölgesinde izlenmiştir ve kesme bölgesinde ise birkaç kirişte bazı kılcal çatlakların haricinde kesme çatlağı görülmemiştir. Oluşan bu çatlaklara göre, basınç bölgesindeki beton ve donatının daha iyi sargılanmış olduğu kanaatine varılmıştır.

Deney esnasında bir elemanda basınca çalışan boyuna donatılardaki burkulmasına bir anlam verilememiş, işçilik ya da malzeme hatası olarak yorumlanmıştır. Bu deneylerde boyuna donatının ve etriyelerin sargılama üzerindeki olumlu etkileri belirgin bir şekilde gözlenmiştir. Mantolanarak onarılan elemanlarda yüklemeye yer haricinde betonda ezilmeler görülmemiştir. Yüklemeye yerindeki beton ezilmeleri ise donatının iç yüzüne pek ulaşmamıştır. Bu nedenle pas payı haricinde yüklemeler sırasında çatlakların büyümesine rağmen sargılama etkisi ile dağılma olmamıştır. Beklendiği üzere yüklemelerdeki dayanım kaybı genelde betonun ezilmesinden ziyade çekme donatılarının akması ile olmuştur. Mantolanan deney elemanlarının tümünde enine donatının kenetlenmesi başarılı olmuştur. Yeni donatının mekanik olarak ankrajında hiçbir sorun olmamış ve tam olarak sürekli donatı davranışı elde edilmiştir. Ayrıca eski kirişin C 16 betonu ile yeni mantolamada kullanılan C 30 betonu arasında süreklilik ve yük aktarımı hususunda tam bir kaynaşma sağlanmış ve herhangi bir sorun olmamıştır.

### **3.1. Yük ve Deplasman İlişkisi**

Deney numunelerinin program çerçevesinde yüklenerek kırılmaları neticesinde elde edilen veriler kullanılarak hazırlanan yük ve deplasman eğrileri, komparatörden serbest gözle okuma ve bilgisayar kayıtlarına alındıktan sonra çizilmiştir. Eğrilerde kullanılan veriler, kiriş orta noktasına yerleştirilmiş LVDT ve komparatörden alınmış değerlerdir.

Genel olarak elemanların tamamında yük arttıkça deformasyonlarda beklenen sonuç olarak artış olduğu izlenmiştir. Deney elemanları donatı aktıktan sonra uzun süre yük arttırmadan deformasyon yapmışlardır. Genelde tüm elemanların eğilme bölgesindeki çatlak sayısı ve genişliği birbirine benzer olmuştur. Yükler altında her bir yük aşamasında otomatik olarak ölçülen deneysel sehim değerlerinin teorik sehim değerlerine oranları kıyaslandığında, farklı şekillerde mantolama ve takviye yöntemlerinde birbirine benzer yaklaşımlar elde edilmiştir. Bu yaklaşımların şekilleri ve eğrileri bir grafik üzerinde karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Referans kirişlerin yük ve deplasman ilişkilerinin, hasar verilerek güçlendirilen kirişlerin yük ve deplasman ilişkilerine benzer ve yakın özellikte olduğu görülmüştür.

### **3.2. Deney Elemanlarının Taşıma Gücü**

Deneysel olarak yapılan bu çalışmada ortaya çıkarılan deney sonuçları, kesit tipleri, donatıları ve malzeme dayanımları aynı olan kirişlerde çatlama yükü, akma yükü değerlerinin hemen hemen aynı olduğu ve benzer davranış gösterdikleri görülmüştür. Deneylerin çoğunluğunda, deneysel göçme yükleri teorik göçme yüklerinden küçük çıkmıştır (Çizelge 5). Bazılarında da büyük olduğu görülmüştür. DIN 1045 ve TS 500'e göre bulunan değerler yakın olduğundan kabul edilebilir durumdadır. Çıkan farklılığın silindirik numune kalıbındaki şişleme ile kiriş kalıbındaki sıkıştırmanın farklı olabilmesi, betonun dayanım kazanma süresi içerisinde, numune ve kirişlerdeki betonlara uygulanan kürün aynı olmadığı ve kiriş yüzeylerinin istenilen nitelikte düzgün dökülmemesi gibi nedenlerle böyle bir farkın doğduğu söylenebilir. Kirişlerin teorik ve deneysel değerler arasında sağlanan uyumun, şartların daha da iyileştirilmesi halinde, kirişlerin taşıma gücünde çok iyi bir benzerliğin örtüşmenin olacağı söylenebilir.

### 3.3. Deney Elemanlarının Sünekliği

Kirişlerin sünek davranış göstermesi için donatı yüzdesinin yönetmeliklerde verilen belirli sınırlar içinde olması gerekir. Referans kirişler süneklik koşulunu sağlayacak sınırlar içinde donatılarak hazırlanmıştır. Teste tabi tutulduklarında her üç referans kiriş de yeterli sünekliği sağlamıştır. Onarılan kirişlerin toplam donatı oranı gerekenden fazla olduğu için bazı kirişlerin sünekliğinde azalma olmuştur. Bu araştırmada bir miktar olası kayıplar göze alınmıştır. Süneklik oranı yük-deplasman ilişkisinden bulunmuştur. Bunun hesaplanması için deney elemanına ait yük-deplasman eğrisinin monolitik eleman dayanımının % 85'inden geçen yatay doğrunun kestiği noktadaki deformasyon bulunmuş, bu değer bu elemana ait akma deformasyonuna bölünmüştür. Böylece her elemanın kopma anındaki deformasyonu, akma anındaki deformasyonuna bölünerek bütün deney kirişlerinin süneklikleri Çizelge 5,6,7' de gösterilmiştir.

### 3.4. Deney Elemanlarında Eğilme Rijitliği

Deney elemanlarının rijitlikleri üzerinde karşılaştırma ve yorumlar eğilme rijitliğinin bir ölçüsü olan yük ve deplasman eğrilerinin eğimleri üzerinden, doğrudan doğruya yük ve deplasman ilişkisinin doğrusal olan kısmının eğiminden bulunmuştur. Hesaplanmış olan eğilme rijitliği, Çizelge 7' de ve Şekil 5,6,7' de verilmiştir.

Çizelge 5. Onarımı yapılan kirişlerin teorik ve deney değerleri

Sıra No	Numune Adı	Teorik M max. KN.mm	Deney M max KN.mm	Teorik Pu kN	Deney Pu KN	Merkez çökme mm
1	KM 11	26000*10 <sup>3</sup>	27300*10 <sup>3</sup>	52,00	34	31
2	KM 12	26000*10 <sup>3</sup>	27850*10 <sup>3</sup>	52,00	33,5	28
3	KM 13	26000*10 <sup>3</sup>	26540*10 <sup>3</sup>	52,00	32,5	29
4	KM 21	26000*10 <sup>3</sup>	25370*10 <sup>3</sup>	52,00	35	26,5
5	KM 22	26000*10 <sup>3</sup>	25500*10 <sup>3</sup>	52,00	34,5	28,4
6	KM 23	26000*10 <sup>3</sup>	25000*10 <sup>3</sup>	52,00	34	27
7	RKMk 1	10630*10 <sup>3</sup>	9500*10 <sup>3</sup>	21,26	13,5	28
8	RKMk 2	10630*10 <sup>3</sup>	10500*10 <sup>3</sup>	21,26	13,6	32,5
9	RKMk 3	10630*10 <sup>3</sup>	10000*10 <sup>3</sup>	21,26	13,6	28
10	RKMb 1	26700*10 <sup>3</sup>	27140*10 <sup>3</sup>	53,40	42	43
11	RKMb 2	26700*10 <sup>3</sup>	26970*10 <sup>3</sup>	53,40	46,5	50
12	RKMb 3	26700*10 <sup>3</sup>	27018*10 <sup>3</sup>	53,40	46	43

### 3.5. Deney Elemanlarının Enerji Tüketme Kapasitesi

Enerji tüketme kapasitesi yük-sehim eğrilerinden yararlanılarak, eğri altında kalan alanın hesaplanması ile (Şekil 3) bulunarak Çizelge 8' de gösterilmiştir. Kirişlerin enerji tüketme kapasiteleri RKM enerji tüketme kapasitelerine göre karşılaştırıldığında en iyi sonuç KM 11 kiriş modelinden elde edilmiştir.

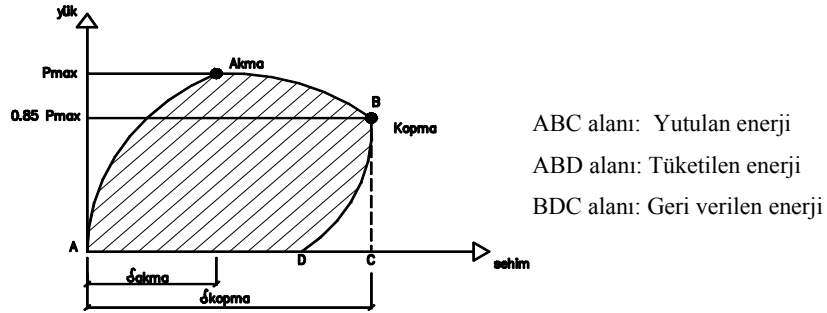


Çizelge 6. Kirişlerin süneklik oranları

Kiriş seri no	Akma anındaki sehim mm $\Delta_y$	Kopma anındaki sehim mm $\Delta_U$	Süneklik $\frac{\Delta_U}{\Delta_y}$
KM11	6,2	31,5	5,1
KM12	6,2	27,8	4,5
KM13	5,6	29,1	5,2
KM21	6,6	26,1	4,0
KM22	6,4	28,5	4,5
KM23	6,4	26,5	4,1
RKM1b	6,9	43,1	6,2
RKM2b	8,0	49,8	6,2
RKM3b	7,0	48,2	6,9
RKM1k	9,1	28,3	3,1
RKM2k	8,1	32,8	4,0
RKM3k	9,0	27,9	3,1

Çizelge 7. Deney elemanlarının eğilme rijitliği

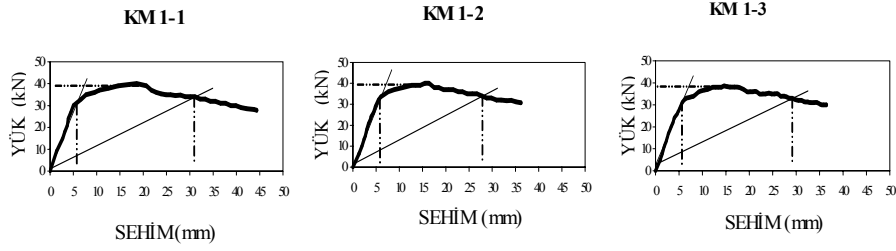
Kiriş Seri no	Merkezi çökme mm	Akmanın rijitliği kN/mm	Kopma rijitliği kN/mm	Rijitlik azalması %
KM11	31	3,27	0,62	81,04
KM12	28	3,27	0,70	78,6
KM13	29	3,07	0,64	79,16
KM21	26,5	2,75	0,75	72,73
KM22	28,4	2,90	0,70	75,86
KM23	27	3,07	0,72	76,55
RKM1b	43	3,48	0,57	83,63
RKM2b	50	3,27	0,55	83,18
RKM3b	43	3,73	0,60	83,92
RKM1k	28	1,73	0,53	69,37
RKM2k	32,5	1,80	0,44	75,56
RKM3k	28	1,88	0,55	70,75



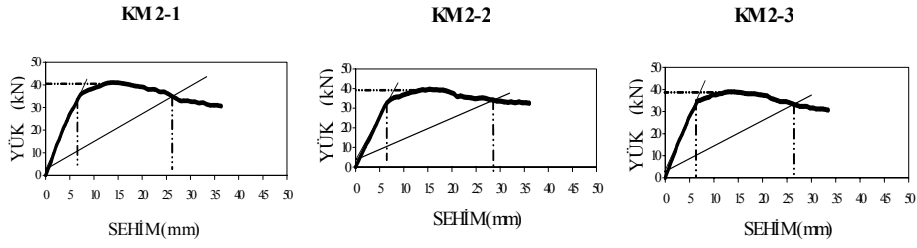
Şekil 3. Yutulan ve tüketilen enerjinin şematik gösterilişi

Çizelge 8. Kirişlerin enerji tüketimi kapasitesi

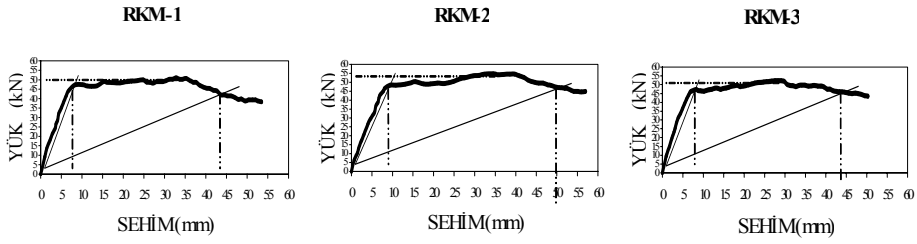
Kiriş seri no numune adı	Deney Pu kN	Merkezi çökme mm	Enerji tüketme kapasitesi kN.mm
KM11	34	31	114747,74
KM12	33,5	28	109873,69
KM13	32,5	29	113207,57
KM21	35	26,5	101135,62
KM22	34,5	28,4	111074,81
KM23	34	27	101839,96
RKM1b	42	43	160430,42
RKM2b	46,5	50	195658,12
RKM3b	46	43	164760,39
RKM1k	13,5	28	87021,1
RKM2k	13,6	32,5	102482,6
RKM3k	13,6	28	87251,5



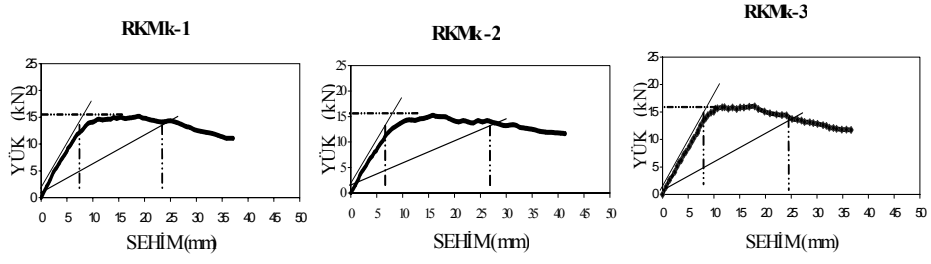
Şekil 4. KM11, KM12, KM13 rijitlik ve süneklik eğrisi



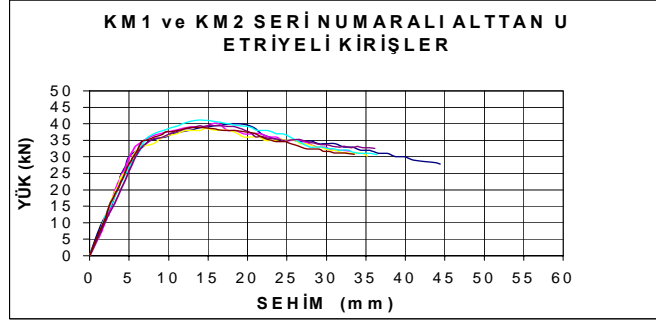
Şekil 5. KM21, KM22, KM23 rijitlik ve süneklik eğrisi



Şekil 6. RKM1, RKM2, RKM3 (160\*260) rijitlik ve süneklik eğrisi

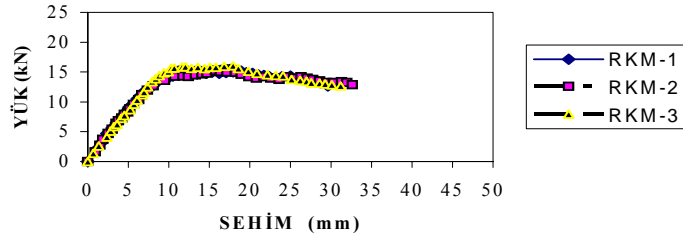


Şekil 7. RKM1, RKM2, RKM3 (100\*160) rijitlik ve süneklik eğrisi

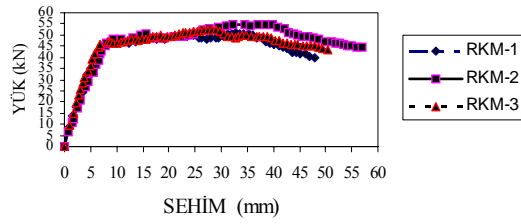


Şekil 8. Mantolanmış kirişlerin yük - sehım eğrisi

#### REFERANS KİRİŞ SERİSİ (10\*16)



#### RKM (16\*26) REFERANS KİRİŞ SERİSİ



Şekil 9. Referans kirişlerin yük-sehım eğrisi

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Burada yapılan deneysel çalışmada üretilen 12 adet kirişin onarım yöntemlerine ait sonuçlar ile elde edilen deneysel değerlerin teorik değerlerle uyumluluğu incelenmiş ve ulaşılan sonuçlar daha önce yapılan çalışma sonuçları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Birinci ve ikinci seri kirişler, alttan U yarım etriyeleri ile bağlanarak donatı ilave edilip onarılan kirişlerin taşıma gücü çok az farklılıkla hemen hemen aynı, enerji yutma kapasiteleri birbirine çok yakın, rijitliklerindeki azalma KM 11 hariç diğerlerinin değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır. Sünek davranışlarında ise KM 21 ve KM 23 modelleri eksik sünek davranışı göstermişlerdir.

Onarım için hazırlanan modellerin dayanım ve eğilme davranışları incelendiği zaman bütün kirişlerin onarımdan önce ulaştıkları maksimum yükü aştığı görülmüştür (Şekil 8,9). Bütün kirişlerin kırılma şekli eğilme kırılmasıdır. Onarılan kirişlerin gücü referans kirişlerin gücüne yakındır. Onarım sonucu artan kesit ve donatı yüzdesi nedeni ile kirişler rijitlemiştir. Yük taşıma kapasiteleri ve enerji yutma kapasiteleri daha büyüktür. Bütün elemanlarda akma durumuna ulaşılmıştır. Elemanlarda onarım ve güçlendirme işlemi kısa sürede yapılmıştır. Onarılan kiriş yüzeylerinin hazırlığının iyi olması kaynaşmayı arttırmıştır.

Deneysel elemanları üzerinde yapılan onarımlarla, istenilen dayanımlara ulaşılmıştır; ancak araştırmaya esas olan bu numuneler laboratuvar koşullarında yapılmıştır. Yapılan deney sırasında ortaya çıkan sorunlar ve kirişlerin sergiledikleri davranışlar da göz önünde tutulduğunda ve uygulamadaki koşulların laboratuvar koşulları kadar iyi şartlarda olmadığı varsayımı ile güçlendirilmiş elemanların dayanım ve kapasitesinde % 5-15 arasında bir düşme olabileceği dikkate alınmalıdır. Hasar verildikten sonra onarımı yapılan kirişlerin çatlak sayısı ve genişliğinin eğilme rijitliğini etkilediği görülmüştür. Bundan dolayı deneylerde çatlaklar epoksi enjekte edilerek onarılmalı ve mantolama yapılmadan taşıma gücü rijitliği araştırılmalıdır.

Betonarme taşıyıcı elemanların onarımında ve güçlendirilmesinde işçiliğin çok önemli olduğu unutulmamalı ve detaylar uygulama sırasında mümkün mertebe tam olarak uygulanmalıdır. U şeklindeki etriye ile yapılan kiriş onarımlarının basit olması gerçek uygulamalarda tercih nedeni olmaktadır. Taşıyıcı elemanların onarımına alt katlardan başlanmalı, onarım sonucunda istenen sonucun alınabilmesi için eleman askıya alınmalı ve yük boşaltılmalıdır. Taşıyıcı kirişin mevcut donatısı ile onarım ve güçlendirmede kullanılan donatının birbirine bağlanması çok iyi yapılmalıdır. Genel olarak uygulanan onarım ve güçlendirme yöntemlerinden mantolamada başarılı bir sonuç alınmıştır.

#### SEMBOLLER

d	: Faydalı Yükseklik
$f_{ck}$	: Betonun Karakteristik Basınç Dayanımı
$f_{cd}$	: Betonun Hesap Dayanımı
$f_{yk}$	: Donatının Karakteristik Çekme Dayanımı
$f_{yd}$	: Donatının Hesap Dayanımı
$f_{su}$	: Donatının Maksimum Çekme Dayanımı
C	: Beton Sınıfı
E	: Elastisite Modülü
M	: Eğilme Momenti
S	: Donatı Sınıfı
$\delta$	: Yanal yer değiştirme
$\phi$	: Donatı çapı
$\Delta y$	: Akma Anındaki Eğrilik Sünekliği
$\Delta u$	: Kopma Anındaki Eğrilik Sünekliği
$\mu\Delta$	: Süneklik

**KAYNAKLAR**

- [1] Altın, S., Anıl, Ö., “Betonarme Kirişlerin Dıştan Yapıştırılan Çelik Plakalarla Kesmeye Karşı Güçlendirilmesi”, Tübitak İnşaat ve Çevre Teknolojileri Araştırma Grubu, Yapı Mekaniği Laboratuvarlar Toplantısı, s13., 2001
- [2] Aykaç, S., “Onarılmış/Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Deprem Davranışı”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000
- [3] Basunbul, A.I., Gubati, A.A., Al-Sulaimani, G.J., Baluch, M.H., “Repaired Reinforced Concrete Beams”, ACI Materials Journal, s348-354, 1990
- [4] Can, H., “Deprem Etkisindeki Betonarme Kirişlerin Onarılması”, Teknik Dergi, İnşaat Mühendisleri Odası, Cilt 5, Sayı 2, s771, Ankara, 1994
- [5] Collins, F., Roper, H., “Laboratory Investigation of Shear Repair of Reinforced Concrete Beams Loaded in Flexure”, ACI Materials Journal, v87, No.2, p149-159, 1990
- [6] Diab, Y.G., “Strengthening of RC Beams by Using Sprayed Concrete: Experimental Approach, Engineering Structures, v20, No.7, p631-643, 1998
- [7] Ecemiş, A.S., “Hasar Görmüş Betonarme Kirişlerin Epoksi İle Çelik Levha Yapıştırılarak Güçlendirilmesi Üzerine Deneysel Bir İnceleme”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000
- [8] Kumbasar, N., İlki, A., “Karbon Lif Takviyeli Polimer Kompozitlerin Yapı Elemanlarının Onarım ve Güçlendirilmesinde Kullanılması”, Tübitak İnşaat ve Çevre Teknolojileri Araştırma Grubu, Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı, s105, 2001
- [9] Özkul, H., Çolak, A., “Depremde Hasar Gören Yapıların Onarımında Polimer Kullanımı”, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Deprem Mühendisliği Türkiye Milli Komitesi, İTÜ Yapı ve Deprem Uygulama Araştırma Merkezi, 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, s101, İstanbul, 1993
- [10] Shahawy, M.A., Beitelman, T., “Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Advanced Composite Materials”, International SAMPE Symposium and Exhibition, Anaheim, USA, 1996
- [11] Sharif, A., Al-Sulaimani, G.J., Basunbul, I.A., Baluch, M.H., Husain, M., “Strengthening of Shear-Damaged RC Beams by External Bonding of Steel Plates”, Magazine of Concrete Research, 47, No:173, pp. 329-334, London, 1995
- [12] Sharma, A.K., “Shear strength of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams”, ACI Proceedings, 83, pp. 624-628, 1986
- [13] Tankut, T., Arslan, M., “Epoksili Çelik Plaka İle Güçlendirilmiş Betonarme Kiriş Davranışı”, Teknik Dergi, İnşaat Mühendisleri Odası, Cilt 3, Sayı 4, s575, Ankara, 1992
- [14] Yazar, E., “Hasar Görmüş Kirişlerin Takviyesi”, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1997
- [15] Yılmaz, K., “Betonarme Yapılarda Depremler Sonucunda Oluşan Hasarlar ve Onarım Yöntemleri” Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1998