

Araştırma Makalesi / Research Article

THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DAMAGED BEAMS REPAIRED WITH REINFORCED JACKETTING

Mustafa ÖNAL^{*1}, Ali KOÇAK²

¹ *Gazi Üniversitesi, Kırşehir Meslek Yüksek Okulu, KIRŞEHİR*

² *Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yıldız- İSTANBUL*

Geliş/Received: 25.11.2004 Kabul/Accepted: 23.02.2006

ABSTRACT

Repair and strengthening of damaged reinforced concrete structural members can be carried out using different techniques. One of these techniques is reinforced concrete jacketting coloums. In practise, reinforced concrete jacketting could be applied to the one side of beams or coloums. Also its different typicals colud be applied to the other sides.

In this study, reinforced concrete beams are retrofitted by adding longitudinal reinforcement to the tension side, confining with transverse reinforcement and jacketing with concrete. In this experimental research, six beams were repaired and tested and six beams were used as reference. According to the test results, strength, stiffness, ductility and energy absorption capacity of beams were discussed. The parameters which are effective on the behaviour of strengthened beams were determined.

Keywords: Repair and strengthening, beams, damaged, reinforced concrete jacketting.

BETONARME MANTOLAMA İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ HASARLI KİRİŞLERİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

ÖZET

Hasarlı betonarme yapı elemanlarının güçlendirilmesi değişik şekillerde yapılabilmektedir. Betonarme mantolama bu yöntemlerden biridir ve uygulamada sıkça kullanılmaktadır. Uygulamada betonarme mantolama, kiriş veya kolonların tek tarafına veya değişik şekillerde diğer kenarlarına da yapılabilmektedir.

Bu çalışmada, kirişlerin çekme bölgelerine donatı ilavesi yapılarak kirişler etriye ile sarılmış ve ilave beton ile mantolanarak güçlendirmeleri yapılmıştır. Bu deneysel çalışmada, altı kiriş güçlendirilerek deneye tabi tutulmuş, altı kiriş ise referans olarak kullanılmıştır. Kullanılan güçlendirme tekniğinin davranış ve dayanım üzerindeki etkileri, kirişlerin taşıma gücü, rijitliği, sünekliği ve enerji yutma kapasiteleri karşılaştırılarak irdelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Onarım-Güçlendirme, kiriş, deprem hasarları, betonarme mantolama.

1. GİRİŞ

Mevcut betonarme yapıların güçlendirilmesi, yapı elemanlarının dayanım ve rijitliklerinin artırılması, Türkiye’ de yakın dönemde meydana gelen depremler sonrasında önem kazanmıştır.

* Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-mail/e-ileti: monal@gazi.edu.tr, tel: (0542) 561 58 14

The Experimental Investigation of Damaged ...

Bununla birlikte deprem ve düşey yükler etkisinde dayanımı yetersiz yapı elemanlarının onarımı ve güçlendirilmesi de son yıllarda sıkça karşılaşılan bir durum olarak dikkati çekmektedir.

Hasarlı betonarme kolon ve kirişlerin onarım ve güçlendirilmesinde bir çok yöntem kullanılmaktadır; betonarme mantolama, karbon lifi ile kullanımı ve çelik levhalarla mantolama gibi. Bu konuda yapılan araştırmalar gerek Türkiye’ de ve gerekse uluslararası düzeyde değişik örnekleri içermektedir.

Betonarme yapı elemanlarının yerel olarak onarımı ve/veya güçlendirilmesinde, betonarme mantolama yöntemi kolonlarda çeşitli şekillerde uygulanmış, test edilmiş ve çalışmaların bazılarında depremde hasar gören kolonların onarımı ile ilgili genel metodlar anlatılmış, onarımlarda dikkat edilmesi gereken hususlar belirtilmiştir [1-3]. Diğer çalışmalarda ise depremde hasar görmüş kolonların onarımı ve güçlendirilmesi [4-6], yangına maruz kalmış kolonların onarım öncesi ve sonrası dayanımları [7], onarımı yapılmış köprü kolonlarının davranışı [8] ve deprem etkisindeki betonarme kolonların düşük maliyetli güçlendirilmesi [9] üzerinde durulmuştur.

Betonarme kirişlerin onarımında; yetersiz veya hasarlı kirişler; bir veya iki yüzünden betonarme mantolama yöntemi ile onarılacak ve/veya güçlendirilerek teste tabi tutulmuş ve sonuçları değerlendirilmiştir [10-16]. Ayrıca diğer bazı literatürlerde de, kiriş onarımında kullanılan malzemelerin ve onarım yöntemlerinin incelendiği bir çalışma da yer almaktadır [17]. Benzer şekilde ferrocement tabakalarla onarım [18], çelik takviyeli, püskürtme beton tabakalarla onarım [19], reçine enjeksiyonu ile onarım [20], epoksili çelik plaklarla onarım [15], [21-24], karbon lifi ile onarım [25-26] araştırmacılar tarafından değişik şekillerde incelenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

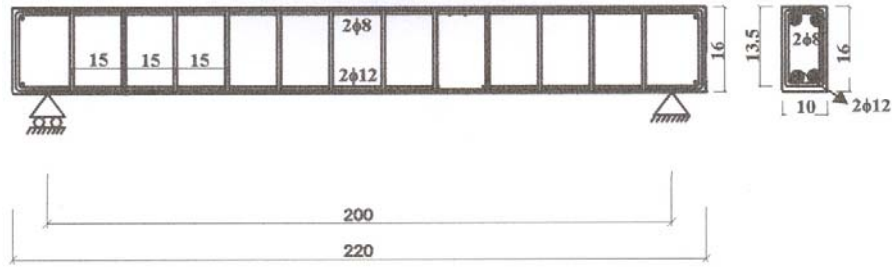
Bu çalışmada, hasarlı kirişlerin onarımı, donatı ve etriye ilave edilerek betonarme mantolama şeklinde yapılmıştır. Deneye tabi tutulan güçlendirilmiş kirişler, referans kirişlerle [26] ve diğer bir mantolama şekli ile onarılmış kirişlerle [27] karşılaştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Yeterli eğilme dayanımına ve rijitliğe sahip olmayan betonarme kirişlerin güçlendirilmesinde kullanılan yöntemlerden biri ilave donatı ve beton kabuk ile yapılan betonarme mantolamadır. Bu yöntemin etkinliğini, eleman davranışları üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla dikdörtgen kesitli numunelerle bir dizi deney yapılmıştır. Deneyler Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Mekaniği Laboratuvarı’ nda yapılmıştır.

Üç seri halinde on iki numune olarak hazırlanan deney kirişlerinin ilk seriye ait olan altı adedi (KM41, KM42, KM43, KM51, KM52, KM53) 100*160*2200 mm ebadında, C16 betonu ve S420 yapı çeliği kullanılarak üretilmiştir. Üretilen kirişlerin çekme donatısı 2φ12, montaj donatısı 2φ8’ dir. Kirişler 150 mm ara ile φ8’ lik etriyelerle sarılmıştır. İkinci ve üçüncü seri kirişler ise referans kiriş olarak üretilmiştir. Üç adet olan ikinci seri referans kirişler (RKMk1, RKMk2, RKMk3), C16 betonu ve S420 yapı çeliği kullanılarak, donatı oranı ve boyutları aynı olacak şekilde (100*160 mm), üçüncü seri olan ve yine referans kiriş olarak ele alınan numuneler ise (RKMb1, RKMb2, RKMb3), güçlendirme sonrası meydana gelen kesite uygun (160*260 mm) şekilde, C30 betonu ve S420 yapı çeliği kullanılarak üretilmiştir (Çizelge 1, Çizelge 2, Şekil 3). Üçüncü seride hazırlanan referans kirişler güçlendirme sonrası elde edilen taşıma gücünün karşılaştırılması için hazırlanmıştır.

Ana donatının etkili derinliği denek kirişlerde 135 mm’ dir (Şekil 1). Çizelge 2’ de üretilen kirişlerin özellikleri verilmiştir.



Şekil 1. Deney numunesi detayı

Çizelge 1. Deney Elemanları

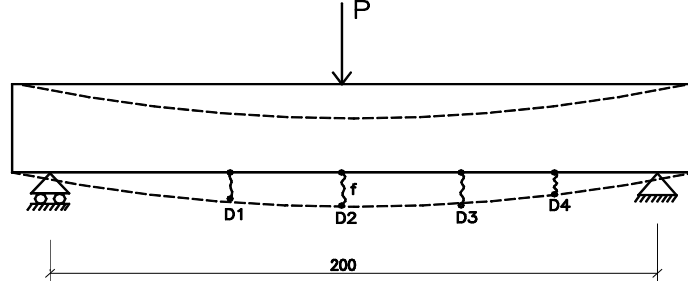
Sıra No	Numune Seri No	Kiriş Seri No	Eleman Kesiti (mm)	Açıklama
1	1	KM 41	Güçlendirme öncesi, 100*160 güçlendirme sonrası 160*260	Mantolama, hasarlı kirişin alt yüzeyine 2ø12 ek donatı ve ø8/15 etriye ilavesi şeklindedir.
2		KM 42		
3		KM 43		
4		KM 41		
5		KM 42		
6		KM 43		
7	2	RKMk 1	100*160	100x160 mm kesitli referans kiriş
8		RKMk 2		
9		RKMk 3		
10	3	RKMb 1	160*260	160x260 mm kesitli referans kiriş
11		RKMb 2		
12		RKMb 3		

Çizelge 2. Üretilen kirişlerin malzeme ve geometrik özellikleri

Sıra no	Numune no	Boyutlar (mm)	Donatı miktarı	Donatı alanı (mm ²)	Donatı oranı	Ölçülen d (mm)	f _{ck} (MPa)	f _{yk} (MPa)	f _{su} (MPa)
1	KM 41	100x160x2200	2ø12	226	0.014	135	22.204	529.74	804.42
2	KM 42	100x160x2200	2ø12	226	0.014	135	22.204	529.74	804.42
3	KM 43	100x160x2200	2ø12	226	0.014	136	22.204	529.74	804.42
4	KM51	100x160x2200	2ø12	226	0.014	135	22.204	529.74	804.42
5	KM52	100x160x2200	2ø12	226	0.014	130	22.204	529.74	804.42
6	KM53	100x160x2200	2ø12	226	0.014	130	22.204	529.74	804.42
7	RKMk1	100x160x2200	2ø12	226	0.014	130	22.204	529.74	804.42
8	RKMk2	100x160x2200	2ø12	226	0.014	135	22.204	529.74	804.42
9	RKMk3	100x160x2200	2ø12	226	0.014	135	22.204	529.74	804.42
10	RKMb1	160x260x2200	4ø12	452	0.01	240	33.27	529.74	804.42
11	RKMb2	160x260x2200	4ø12	452	0.01	245	33.27	529.74	804.42
12	RKMb3	160x260x2200	4ø12	452	0.01	245	33.27	529.74	804.42

2.2. Deney Kirişlerine Hasar Verilmesi ve Güçlendirilmesi

Deney numunesi olarak hazırlanan kirişler 2000 mm açıklıklı basit kiriş olarak düzenlenmiş ve deney setinde orta dereceli hasar oluşana kadar yüklenerek kırılmıştır. Yüklemeler 1962 N' luk artışlar halinde uygulanmıştır. Her yük aşamasında açıklığın 1/2 ve 1/4 noktalarında oluşan yer değiştirme değerleri, kompratörlerden gözle ve dijital cihazla okunarak kaydedilmiştir (Şekil 2).



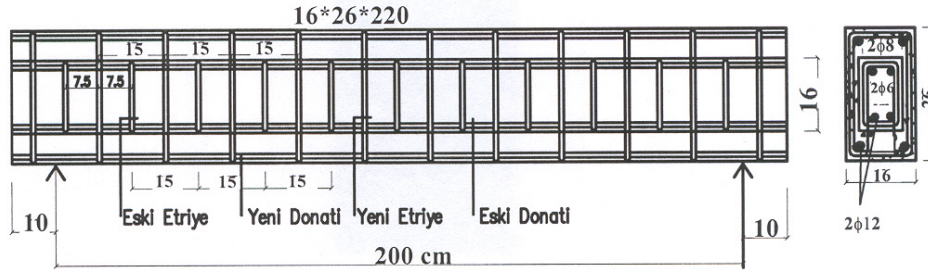
Şekil 2. Yer değiştirme ölçüm noktaları ve deney düzeni

Birinci serideki kirişler, önceden hesaplanmış taşıma gücüne kadar yüklenmiş, çekme donatısında büyük şekil değiştirmelere veya beton basınç bölgesinde ezilmeye ulaşmadan, açıklık ortasında 8 mm' lik kalıcı yer değiştirmeye ulaştığında deney durdurulmuştur. Deneye tabi tutulan birinci seri kirişlere ait kuramsal ve deneysel değerler Çizelge 3' de verilmiştir.

Çizelge 3. Hasar verilen kirişlerin kuramsal ve deneysel taşıma kapasiteleri

Sıra No	Numune Adı	Kuramsal Mmax. (Nmm)	Deneysel Mmax (Nmm)	Kuramsal Pu (kN)	Deneysel Pu (kN)	Orta nokta çökmesi (mm)
1	KM 41	10630*10 ³	12000*10 ³	21.26	24.00	19.40
2	KM 42	10630*10 ³	11500*10 ³	21.26	23.00	15.55
3	KM 43	10630*10 ³	11000*10 ³	21.26	22.00	14.80
4	KM 51	10630*10 ³	11500*10 ³	21.26	23.00	11.20
5	KM 52	10630*10 ³	11500*10 ³	21.26	23.00	22.00
6	KM 53	10630*10 ³	9000*10 ³	21.26	18.00	15.00
7	RKMk 1	10630*10 ³	9500*10 ³	21.26	19.00	32.10
8	RKMk 2	10630*10 ³	10500*10 ³	21.26	21.00	27.60
9	RKMk 3	10630*10 ³	10000*10 ³	21.26	24.00	31.25

C20 betonu ve S420 yapı çeliği kullanılarak 100*160 mm ebadında üretilen kirişler hasara uğratılmış ve daha sonra güçlendirmeleri yapılmıştır. S420 sınıfı 2ø12 donatı kiriş çekme bölgesine ilave edilmiş ve kiriş 150 mm ara ile ø8' lik etriyelerle sarılmıştır. Ayrıca kiriş alt bölgesi pas payına kadar açılarak ilave donatıların mevcut donatılarla bağlantıları sağlanmıştır (Şekil 3, Fotoğraf 1).



Şekil 3. Hasarlı kirişin mantolanarak güçlendirilmesi detayı



Fotoğraf 1. Mantolama işlemi

Onarılan kirişler deneye tabi tutulmuş ve her yük artışında yer değiştirme değerleri belirlenmiştir. Aşağıda Çizelge 4’ de güçlendirilmesi yapılan kirişlerin kuramsal ve deneysel sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4. Güçlendirilmesi yapılan kirişlerin kuramsal ve deneysel değerleri

Sıra No	Numune Adı	Kuramsal Mmax (Nmm)	Deneysel Mmax (Nmm)	Kuramsal Pu (kN)	Deneysel Pu (kN)	Orta nokta çökmesi (mm)
1	KM 41	22300*10 ³	23680*10 ³	44.60	40.0	35.0
2	KM 42	22300*10 ³	23550*10 ³	44.60	39.5	28.0
3	KM 43	22300*10 ³	22700*10 ³	44.60	38.0	32.0
4	KM 51	22300*10 ³	22500*10 ³	44.60	41.0	35.5
5	KM 52	22300*10 ³	21000*10 ³	44.60	38.5	24.0
6	KM 53	22300*10 ³	22800*10 ³	44.60	42.0	31.3
7	RKMk 1	10630*10 ³	9500*10 ³	21.26	13.5	28.0
8	RKMk 2	10630*10 ³	10500*10 ³	21.26	13.6	32.5
9	RKMk 3	10630*10 ³	10000*10 ³	21.26	13.6	28.0
10	RKMb 1	26700*10 ³	27140*10 ³	53.40	42.0	43.0
11	RKMb 2	26700*10 ³	26970*10 ³	53.40	46.5	50.0
12	RKMb 3	26700*10 ³	27018*10 ³	53.40	46.0	43.0

3. GÖZLEMLER VE DENEY SONUÇLARI

Mantolama sonucu elde edilen deney elemanlarına ait yük-yer değiştirme eğrileri ile referans kirişlerin ve diğer mantolama yöntemi sonucunda bulunan deney elemanların yük- yer değiştirme

The Experimental Investigation of Damaged ...

eğrileri karşılaştırılmıştır (Şekil 5, 6, 7, 8) . Deney elemanlarının dayanım değerleri, rijitlikleri, süneklikleri, taşıma gücü kapasiteleri ve enerji yutma kapasiteleri incelenmiş, sonuçları Çizelge 5, 6, 7 ve Çizelge 8’ de verilmiştir. Ayrıca diğer bir güçlendirme şekli olan tek taraflı mantolama yöntemiyle onarılan kirişlerin deneysel sonuçları [27] bu çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca onarılan kiriş numunelerinin güçlendirme öncesi deney setinde oluşan çatlakları ile güçlendirme sonrası oluşan çatlakları da kontrol edilmiştir. Ancak numunelerden güçlendirme öncesi çatlak sayısı ve genişliği fazla olan numunelerin (KM43) güçlendirme sonrası rijitliğinde diğer numunelere göre bir miktar azalma olmaktadır.

3.1. Yük –Yer değiştirme İlişkileri

Deney için hazırlanan üç seri numune deney setinde yüklemeye tabi tutulmuş ve deney sonuçları okunarak kaydedilmiştir. Birinci grubu oluşturan altı adet numune mantolanmak suretiyle onarılmış ve yeniden yüklemeye tabi tutulmuştur. Deney numunelerinin, program çerçevesinde yüklenerek kırılmaları neticesinde elde edilen veriler kullanılarak hazırlanan yük-yer değiştirme eğrileri, Şekil 2’ de verilen yüklemeye ve okuma noktalarına göre D1, D3 ve D4 noktalarında komparatörden gözle okuma, D2 noktasında ise bilgisayar kayıtlarına alındıktan sonra çizilmiştir (Şekil 5 ve 6). Eğrilerde kullanılan veriler, kirişin orta noktasına yerleştirilmiş LVDT ve komparatörden alınmış değerlerdir. Genelde tüm elemanların eğilme bölgesindeki çatlak sayısı ve genişliği birbirine benzer olmuştur. İkinci ve üçüncü grubu oluşturan referans kirişlerde benzer şekilde yüklenmiş ve yükleme sonucu oluşan yer değiştirmeler kaydedilmiştir.

Betonarme mantolama ile yapılan güçlendirmelerde, hasar verilerek onarılan kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri, mantolama sonucu oluşan kesite özdeş referans kirişlerin yük-yer değiştirme eğrilerine benzer ve yakın özellikte olduğu görülmüştür (Şekil 5, 6 ve 7b).

3.2. Deney Elemanlarının Taşıma Gücü

Deneyel olarak yapılan bu çalışmada deney elemanlarının güçlendirme öncesi ve sonrası gerek moment taşıma kapasiteleri ve gerekse düşey yük taşıma kapasiteleri incelenmiştir. Ortaya çıkan deney sonuçlarından, kesit tipleri, donatıları ve malzeme dayanımları aynı olan kirişlerde (Çizelge 2) çatlama yükü, akma yükü değerlerinin hemen hemen aynı olduğu ve benzer davranış gösterdikleri açıkça görülmüştür (Çizelge 4). Deney elemanlarında, deneysel göçme yükleri deneylerin çoğunluğunda kuramsal göçme yüklerinden küçük çıkmıştır. Tüm kesitin mantolanması sonucu elde edilen kırılma yükleri referans kirişlerde elde edilen taşıma gücü değerlerine yakın, alttan U şeklinde etriyelerle yapılan güçlendirmelere göre yüksek çıkmıştır (Şekil 5 ve 7). Ayrıca güçlendirme sonucu elde edilen kırılma yükü değerleri başlangıç kesite göre ve başlangıç kesite uygun referans kirişlere göre oldukça artmıştır (Şekil 5 ve Şekil 7a). Dört tarafından mantolanarak deneye tabi tutulan elemanların ilk kesite karşı gelen (100x160 mm) referans kirişlere göre kırılma yükündeki artış %200 oranında artmıştır. Güçlendirme sonrası kesite karşı gelen (160x260 mm) referans kirişlere oranla bu artım %122 dolayındadır.

3.3. Deney Elemanlarının Sünekliği

Kirişlerin sünek davranış göstermesi için donatı yüzdesinin yönetmeliklerde verilen belirli sınırlar içinde olması gerektiğinden bütün kirişler süneklik koşulunu sağlayacak şekilde donatılmıştır. Deneye tabi tutulduklarında her altı referans kiriş yeterli sünekliği sağlamıştır. Ancak onarılan kirişlerin toplam donatı oranı gerekli donatıdan fazla olduğu için bazı kirişlerin sünekliğinde azalma olmuştur. Bu çalışmada bir miktar olası malzeme dayanımındaki kayıplar, yükleme ve mesnetlenme şartlarından oluşan kayıplar gibi deneysel kayıplar olduğu düşünülmüş, bunlar da göz önünde tutulmuştur. Deney elemanlarının yüklenmesi sonucunda elde edilen yük-yer değiştirme eğrisinden (Şekil 5) faydalanarak, her elemanın kopma durumundaki şekil

değiştirilmesi, akma durumundaki şekil değiştirmesine bölünerek her elemana ait süneklikler belirlenmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Kirişlerin süneklik oranları

Kiriş seri no	Akma anındaki şekil değiştirme Δ_y (mm)	Kopma anındaki şekil değiştirme Δ_U (mm)	Süneklik $\mu_\Delta = \frac{\Delta_U}{\Delta_y}$
KM41	6.2	35.0	5.6
KM42	6.1	28.4	4.7
KM43	6.0	31.2	5.2
KM51	5.1	35.3	6.9
KM52	5.0	23.8	4.8
KM53	4.6	30.7	6.7
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

3.4. Deneysel Elemanların Eğilme Rijitliği

Deneysel elemanların rijitlikleri üzerinde karşılaştırma ve yorumlar, eğilme rijitliğinin bir ölçüsü olan yük-yer değiştirme eğrilerinin eğimleri üzerinden yapılmıştır. Hesaplanmış olan eğilme rijitlikleri Çizelge 6' da verilmiş ve Şekil 5' de örnek olarak gösterilmiştir. Referans kirişlerle, mantolanarak onarılan kirişlerin rijitliklerinde çok ciddi bir farklılık gözlenmemiştir. Yük-yer değiştirme ilişkilerinde ilk çatlama yüküne kadar olan kısmın eğimi bulunarak rijitlik hesaplanmıştır. Yük-yer değiştirme eğrisinde kırılma yükü kullanılarak bulunan eğime göre rijitlik kaybı hesaplanmış, ilk çatlak anındaki rijitlikle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6. Deneysel elemanların eğilme rijitlikleri

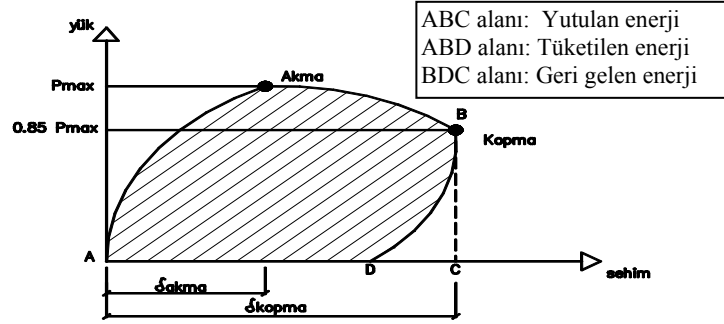
Kiriş Seri no	Orta nokta çökmesi (mm)	Akma rijitliği (kN/mm)	Kopma rijitliği (kN/mm)	Rijitlik azalması (%)
KM41	35	3.73	0.67	82.01
KM42	28	3.73	0.80	78.56
KM43	32	3.73	0.70	81.24
KM51	35.5	4.33	0.67	84.53
KM52	28	4.70	0.93	80.22
KM53	31.3	4.70	0.75	84.05
RKM1b	43	3.48	0.57	83.63
RKM2b	50	3.27	0.55	83.18
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

3.5. Deneysel Elemanlarının Enerji Tüketme Kapasiteleri

Enerji tüketme kapasitesi yük-yer değiştirme eğrilerinden yararlanılarak, eğri altında kalan alanın (Şekil 4) hesaplanması ile bulunarak Çizelge 7’de gösterilmiştir. Kirişlerin enerji tüketme kapasiteleri referans kirişlerin ve alttan mantolama ile onarılmış kirişlerin enerji tüketme kapasitelerine göre karşılaştırıldığında, en iyi sonucu kirişin çevresi etriye ile sarılarak mantolama yöntemi ile onarılan kiriş modeli vermiştir. Mantolama yöntemi ile en iyi enerji tüketim artışı sağlanmıştır.

Çizelge 7. Kirişlerin enerji tüketimi kapasiteleri

Kiriş seri no	Pu,deneysel (kN)	Orta nokta çökmesi (mm)	Enerji tüketme kapasitesi (kNm)
KM41	40	35	168119.79
KM42	39.5	28.0	133091.99
KM43	38.0	32.0	145486.86
KM51	41	35.5	174353.92
KM52	38.5	24	111402.98
KM53	42	31.3	154353.48
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

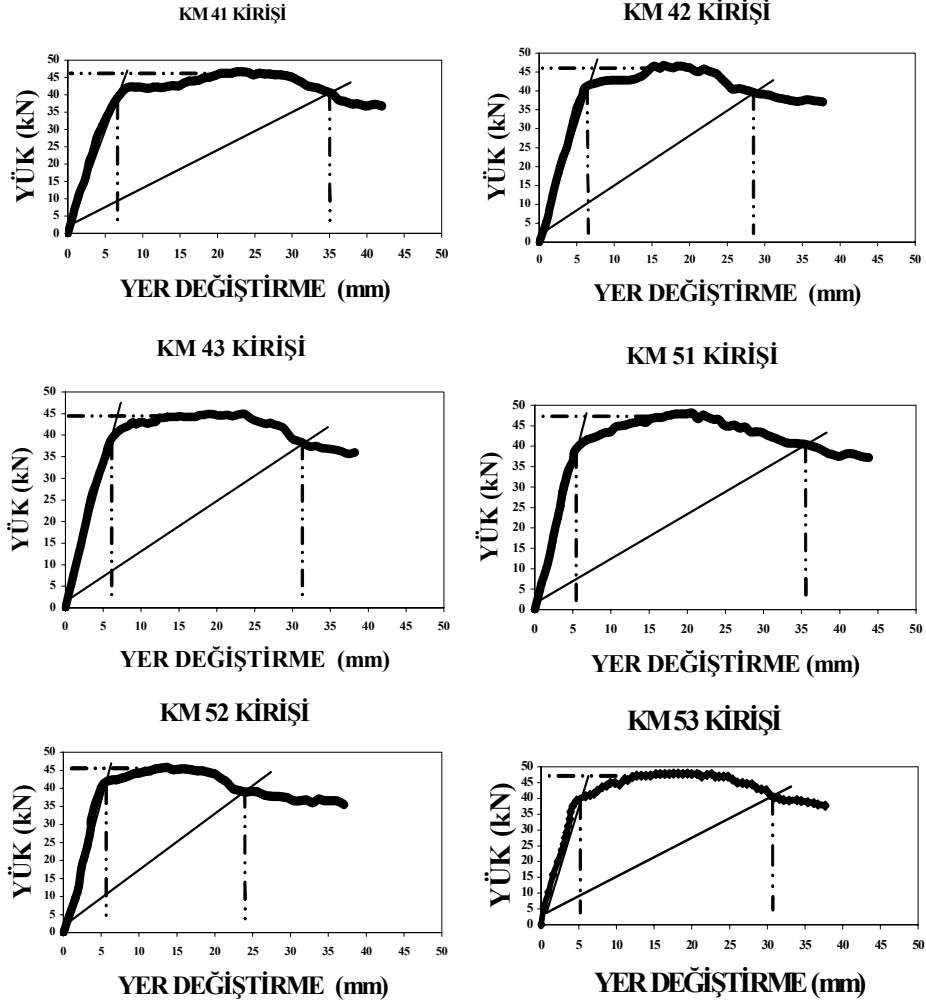


Şekil 4. Yutulmuş ve tüketilen enerjilerin şematik gösterilişi

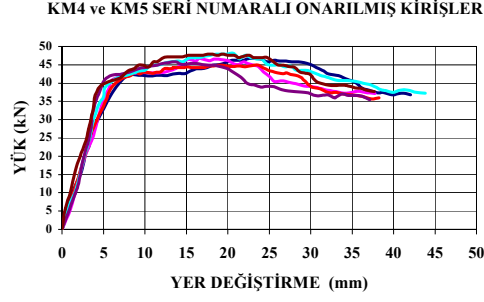
4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen deneysel çalışmada referans kirişlerle birlikte üretilen on iki adet kirişe hasar verilmiş, bunlardan ilk seriye ait altı adedi mantolanmış ve tekrar deneye tabi tutulmuştur. Elde edilen güçlendirilmiş kirişe ait deneysel değerlerle referans kiriş değerlerinin uyumluluğu incelenmiş ve ulaşılan sonuçlar daha önce yapılan başka bir güçlendirme yöntemine ait çalışma sonuçları [27] ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Yapılan karşılaştırmaların ve değerlendirmelerin sonuçları aşağıda verilmiştir;

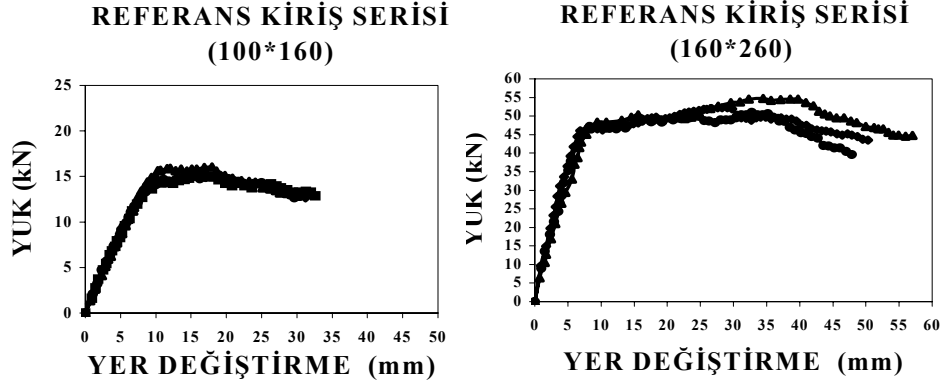
• İlave donatı ve ilave beton katmanı ile mantolama şeklinde yapılan güçlendirme yöntemi referans kirişlere göre; onarılan kirişlerin taşıma gücü değerleri (Çizelge 3 ve 4), süneklilikleri (Çizelge 5), eğilme rijitlikleri (Çizelge 6), enerji tüketme kapasiteleri (Çizelge 7) dikkate alındığında ve verilen yük-yer değiştirme eğrilerinden (Şekil 5, 6, 7) de görüleceği gibi başarılı olmuştur. Başka bir deyişle güçlendirmesi yapılarak güçlendirilmiş kirişlerin moment taşıma güçleri güçlendirme sonrası oluşan kesite eşdeğer referans kiriş taşıma gücüne çok yaklaştığı görülmüştür.



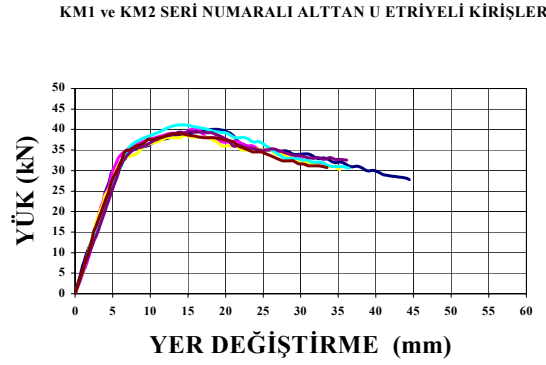
Şekil 5. Betonarme mantolama ile güçlendirme yapılmış kirişlerin yük- yer değiştirme eğrileri (KM4 ve KM5 serisi kirişler)



Şekil 6. Betonarme mantolama ile onarılmış kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri



Şekil 7. (a,b). Referans kirişlerin (RKM1, RKM2, RKM3 (100*160) ve (160*260)) yük -yer değiştirme eğrileri



Şekil 8. Alttan U etriye ve donatı ile mantolanmış kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri [27]

- Betonarme mantolama yöntemi ile güçlendirilmiş kirişlerde, referans kirişlere benzer şekilde ve çok sayıda kılcal çatlaklar oluşturduğu görülmüştür.
- İşçilik ve malzeme kalitesinin davranışı etkileyen faktörlerden biri olduğu görülmüştür.

• Deney setinde, üzerinde yük olduğu halde onarılan kirişler yeterli dayanımı gösterememiş ve referans kirişlerin taşıma gücü değerlerine ulaşamamıştır. Ancak yüksüz halde onarılan kirişler yeterli taşıma gücü değerine ulaşmıştır.

• Süneklik ve enerji tüketme bakımından dört tarafından yapılan güçlendirme yöntemi (Şekil 6) alttan “u” şeklinde donatı ile yapılan güçlendirme (Şekil 8) yönteminden daha başarılı olmuştur.

• Alttan “u” şeklinde etriye ve donatı ile yapılan güçlendirme işleminde referans kirişlere göre kırılma yükündeki artış %156, kiriş çevresince yapılan mantolamada referans kirişlere göre kırılma yükündeki artış ise %200 oranındadır. Tam mantolamada güçlendirme sonrası kesite karşı gelen (160x260 mm) referans kirişlere oranla bu artım %122 dolayındadır.

• Alttan u şeklinde etriye ve donatı ile yapılan güçlendirme işleminde referans kirişlere göre süneklik artışı %68 iken tam mantolamada bu artış %151 oranında olmuştur.

Bu sonuçlar dikkate alındığında betonarme mantolama yöntemi ile yapılan güçlendirme için aşağıdaki önermeler yapılabilir;

• Uygulamadaki koşulların laboratuvar koşulları kadar iyi şartlarda olmadığı varsayımı ile güçlendirilmiş elemanların dayanım ve yük taşıma kapasitelerinde % 5-15 arasında bir düşüş olabileceği dikkate alınmalıdır.

• Hasar verildikten sonra güçlendirmesi yapılan kirişlerin çatlak sayısı ve genişliğinin eğilme rijitliğini etkilediği görülmüştür. Bundan dolayı çatlakların güçlendirmesi epoksi enjekte edilerek yapılmalı ve mantolama işlemi uygulanmadan elemanların rijitliği deneysel olarak araştırılmalıdır.

• Betonarme taşıyıcı elemanların onarımında ve güçlendirilmesinde işçiliğin çok önemli olduğu unutulmamalı ve detaylar tam olarak uygulanmalıdır.

• Taşıyıcı elemanların güçlendirmesinde istenen sonucun alınabilmesi için elemanın yükleri askıya alınmalı ve eleman yükten boşaltılmalıdır.

• Mevcut kiriş donatıları ile güçlendirme amacına ilave edilen donatıların birbirleri ile bağlantıları çok iyi yapılmalıdır.

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	: Moment
S	: Donatı sınıfı
δ	: Yanal yer değiştirme
ϕ	: Donatı çapı
Δy	: Akma durumundaki sünekliği
Δu	: Kopma durumundaki sünekliği
$\mu\Delta$: Süneklik

KAYNAKLAR

- [1] Demir, H., "Depremlerden Hasar Görmüş Betonarme Yapıların Hasarı İle İlgili Çalışmalar ve İlkeler", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi, Deprem Mühendisliği Türkiye Milli Komitesi, İTÜ Yapı ve Deprem Araştırması Merkezi, 4. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 1997.
- [2] Atımtay, E., Tekel, E., "Hasarlı Bir Yapının Deprem Davranışının İncelenmesi ve Öğrenilen Dersler", 4. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 567-576, 1997
- [3] Demir, H., "Depremlerden Hasar Görmüş Betonarme Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi", İstanbul, 2000
- [4] Fukuyama, K., Higashibata, Y., Miyauchi, Y., "Studies on Repair and Strengthening Methods of Damaged Reinforced Concrete Columns", Cement and Concrete Composites, 22, 1, 81-88, 2000.
- [5] Ramirez, J.L., "Ten Concrete Column Repair Methods", Construction and Building Materials, 10,3,195-202, 1996.
- [6] Frangou, M., Pilakoutas, K., Dritsos, S., "Structural Repair/Strengthening of R/C Columns", Construction and Building Materials, 9, 5, 259-266, 1995.
- [7] Hung, L.C., Tyan, C.S., An, Y.C., "Repair of Fire-Damaged Reinforced Concrete Columns", ACI, Structural Journal, 92, 4, 406-411, 1995.
- [8] Chai, Y., H., "An Analysis of the Seismic Characteristics of Steel-Jacketed Circular Bridge Columns", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 25, 2, 149-161, 1996.
- [9] Tanaka, Y., Ro., Y., Toyata, T., "Ortadan Donatılı Betonarme Kolonların Özelliklerinin İncelenmesi", 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İMO, İstanbul Şubesi, 1993.
- [10] Aykaç, S., "Onarılmış/Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Deprem Davranışı" Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [11] Sharma, A.K., "Shear Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams", ACI Proceedings, 83, 624-628, 1986.
- [12] Can, H., "Deprem Etkisindeki Betonarme Kirişlerin Onarılması", İMO, Teknik Dergi, 771, Ankara, 1994.
- [13] Ersoy, U., Tankut, A., "Behaviour of Jacketed Columns", Structural Journal ACI, 90, 3, 1993.
- [14] Yazar, E., "Hasar Görmüş Kirişlerin Takviyesi", Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1997.
- [15] Basunbul, A.I., Gubati, A.A., Al-Sulaimani, G.J., Baluch, M.H., "Repaired Reinforced Concrete Beams", ACI Materials Journal, s348-354, 1990.
- [16] Ünsal, Ç.T., "Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Davranış ve Dayanımları", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1989.
- [17] Yılmaz, K., "Betonarme Yapılarda Depremler Sonucunda Oluşan Hasarlar ve Onarım Yöntemleri" Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1998.
- [18] Paramasivam, P., Ling, ESCT, Ong, KCG, "Strengthening of RC Beams with Ferrocement Laminates", Cement and Concrete Composites, 20, 1, 53-65, 1998.
- [19] Diab, Y.G., "Strengthening of RC Beams by Using Sprayed Concrete: Experimental Approach", Engineering Structures, 20, 7, 631-643, 1998.
- [20] Collins, F., Roper, H., "Laboratory Investigation of Shear Repair of Reinforced Concrete Beams Loaded in Flexure", ACI Materials Journal, 87, 2, 149-159, 1990.
- [21] 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, 173, 329-334, London, 1995.

- [22] Ecemiş, A.,Ş., “Hasar Görmüş Betonarme Kirişlerin Epoksi İla Çelik Levha Yapıştırılarak Güçlendirilmesi Üzerine Deneysel Bir İnceleme”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2000.
- [23] Altın, S., Anıl, Ö., “Betonarme Kirişlerin Dıştan Yapıştırılan Çelik Plakalarla Kesmeye Karşı Güçlendirilmesi” Tübitak İnşaat ve Çevre Teknolojileri Araştırmaları Grubu, Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı,13, 2001.
- [24] Shahawy, M.A., Beitelman, T., “Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Advanced Composite Materials”, International SAMPE Symposium and Exhibition, Anaheim, USA, 1996.
- [25] 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, 105, 2001.
- [26] Önal, M.,M., “Hasar Görmüş Dikdörtgen Kesitli Kirişlerin Mantolama Yöntemiyle Onarımı Üzerine Deneysel Bir Araştırma”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, 2002.
- [27] Önal, M., ve Tokgöz, H., “Hasarlı Betonarme Kirişlerin Onarımı Üzerine Deneysel Bir Çalışma”, Sigma Dergisi, 83-96, 2005/1.