

Mantolu Betonarme Kirişlerin Taşıma Gücünün Deneysel İncelenmesi

F. Altun

*Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Kayseri 38039, Türkiye*

M. Vekli

*Erciyes Üniversitesi, Yozgat Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Yozgat 66100, Türkiye*

D. M. Özcan

*Erciyes Üniversitesi, Yozgat Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Yozgat 66100, Türkiye*

T. Haktanır

*Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Kayseri 38039, Türkiye*

ÖZET: Betonarme yapılarda deprem kuvvetlerinin etkisiyle hafif, orta ve ağır hasarlar meydana gelmektedir. Hafif ve orta hasarlı betonarme yapıların güçlendirme sonrası kullanımı mümkün olmaktadır. Güçlendirme, tüm sistemde perde, kolon ve kiriş takviyesi şeklinde yapılmaktadır.

Bu çalışmada; deprem sonrası güçlendirilmiş betonarme kiriş elemanların taşıma gücü performanslarının deneysel incelenmesine yönelik araştırma yapılmıştır. Bu amaçla, kiriş elemanları 200 cm uzunluğunda 15x15 cm, 20x15 cm ve 20x20 cm kesitlerinde toplam 9 adet imal edilmiştir. Betonarme kirişler uygun kür şartlarında 28 gün bekletilerek statik yükler altında deneye tabii tutulmuştur. Bu kirişler maksimum hasar seviyesine kadar yüklenerek hasar verilmiştir. Hasarlı betonarme kirişler pas payları alındıktan sonra çekme kırılması oluşacak şekilde dizayn edilerek mantolanmıştır. Çalışmada mevcut donatılar ile mantolu kesit donatıları Z demiri ile birbirlerine bağlanmıştır. Betonarme kirişler için 10 cm kalınlığında manto betonu imal edilerek 200 cm uzunluğunda 35x35 cm, 40x35 cm ve 40x40 cm kesitlerinde toplam 9 adet mantolu betonarme kiriş eleman üretilmiştir. Yeni kesitli betonarme kirişler 28 gün sonunda statik yükler altında kırılarak elde edilen taşıma gücü değerleri çalışmada sunulmuştur.

Güçlendirilmiş betonarme yapıların, güçlendirme sonrası deprem kuvvetlerine maruz kalması kuvvetli bir ihtimaldir. Bu çalışma ile hiperstatik sistemin bir parçası olan betonarme kirişlerin güçlendirme sonrası taşıma gücü değerlerinin ve davranışlarının bilinmesi, yapılacak kiriş güçlendirme çalışmaları için önemli olacaktır.

Anahtar Kelimeler : Betonarme Kiriş, Mantolama, Basit Eğilme, Hasarlı Kiriş, Taşıma Gücü.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ULTIMATE LOAD CAPACITY OF JACKETED REINFORCED-CONCRETE BEAMS

ABSTRACT: Light, moderate, or severe structural damages occur on reinforced concrete (RC) structures due to earthquakes. Usage of moderately-damaged RC structures after suitable repair and retrofitting is possible. Strengthening is applied to those structurally necessitating ones of all types of the load-carrying members like columns, shear walls, and beams.

An experimental investigation of flexural behaviour of strengthened damaged RC beams having proptotype dimensions is performed in this study. Three RC beams of three different size groups as 15x15x200cm,

20x15x200cm, 20x20x200cm dimensions, and hence a total of nine RC beams are initially produced, each having been designed as under-reinforced. After having been moist-cured in room temperature exactly for 28 days, these RC beams are subjected to flexural tests in a certified beam-loading frame until full failure. In damaged form, each such RC beam acquired an appreciable U shape, the compression zone concrete having been crushed, and the tensile steel remaining in plastically deformed form. The concrete circumferencing the lateral stirrups is cleared off, and the core part is embedded in jacketed RC beams, which are designed again as under-reinforced. The previous reinforcement bars are connected to the new ones by appropriately welded steel Z bars. The depth of the jacketing concrete layer is 10 cm all around, and the dimensions of the jacketed RC beams are: 35x35x200, 40x35x200, and 40x40x200 cm. The jacketed RC beams are moist-cured in room temperature again for a period of 28 days, after which they are subjected to the flexural test of the same loading configuration. The jacketed RC beams also are loaded to full failure. In spite of the presence of the heavily damaged concrete in the core portion of the jacketed RC beams, their observed flexural behaviours turned out to be close to original RC beams of the same dimensions. The results and discussions of the flexural behaviour of these jacketed RC beams are presented.

Key Words: Reinforced-concrete beam, RC beam, damaged RC beam, jacketed RC beam.

Giriş

Betonarme taşıyıcı sistemlerde deprem kuvvetleri nedeni ile hasarlar olmaktadır. Hasarlar genellikle kolon, kiriş ve bu elemanların birleşim bölgeleri olan düğüm noktalarında yoğunlaşarak meydana gelmektedir. Hasar gören elemanların güçlendirilmesi ve güçlendirme sonrası taşıyıcılık özellikleri gösterip gösteremeyeceklerinin bilinmesi önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Betonarme kiriş elemanlarda hasarlar; elemanın maruz kaldığı yatay ve düşey yüklerden dolayı meydana gelen eğilme hasarları, kolon kiriş birleşim bölgesinde meydana gelen hasarlar ve kesme kuvvetleri sonucunda oluşan kesme hasarları, olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada incelenecek kiriş hasar şekli, kirişte boyuna donatının yetersiz oluşu nedeniyle kiriş ortasındaki çekme bölgesinde meydana gelen çatlaklara bağlı kiriş hasarlarıdır. Kirişte oluşan çatlaklar, donatıda oluşan gerilmelerin akma gerilmesini aşmasından dolayı meydana gelmektedir.

Betonarme kiriş elemanlarda güçlendirme yöntemi olarak farklı uygulamalar bulunmaktadır.

Hindistan da yapılan çalışmada analizler sırasında tahmin edilmeyen yükler sonucu hasar görmüş elemanların yükleme sırasında ve güçlendirme yapıldıktan sonraki davranışları incelenmiştir. Bu amaçla 100x100 mm, 100x150 mm ve 100x200 mm ebatlarında mesnet açıklığı 1400 mm olan kiriş elemanlar üretilmiştir. Bu elemanlar göçme noktasına kadar yüklenecek hasar verilmiştir. Deney elemanları kesme bölgesine dışardan kelepçeleme ile onarılıp davranışları incelenmiştir (Raghuprasad and Ramakrishna, 1986).

Betonarme kiriş elemanların kesmeye karşı onarılması / güçlendirilmesi ile ilgili yapılan bir çalışmada, kesme açıklığı üç olan T- kesitli 5 adet model kiriş test edilmiştir. Deneylerde yeterli kesme dayanımına sahip olamayan betonarme kirişlerin güçlendirilmesi/onarılmasında en yaygın olarak kullanılan kirişe dıştan yerleştirilen kelepçelerle kesme dayanımının yetersizliğinin giderilmesi tekniği kullanılmıştır. Deney sonuçları yöntemin dayanım, rijitlik, süneklik, üzerine etkilerini ortaya koyacak şekilde değerlendirilmiştir (Altın ve Demirel, 1998).

Tablalı kesite sahip 13 adet betonarme kiriş elemana değişik noktalardan yükleme çerçevesinde statik yükler uygulanmıştır. Aynı zamanda actuator yardımı ile dinamik yükler uygulanarak kiriş elemanlara hasar verilmiş ve hasar verilen bu kiriş elemanlar mantolama yöntemi ile güçlendirilerek kesme dayanımlarının değişimi performansları deneysel olarak incelenmiştir (Cheong and MacAlavey, 2000).

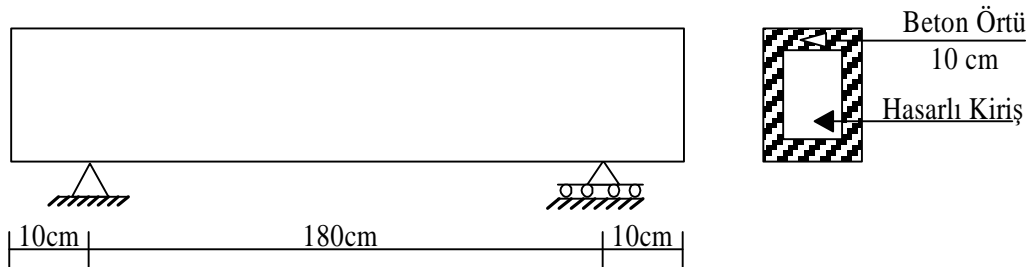
Kiriş elemanların hasar görmesi sonucu akma sınırına ulaşan çekme donatısı yerine yeni çekme donatısı konulmak suretiyle kiriş elemanların moment taşıma kapasiteleri artırılmaktadır. Burada yeni boyuna donatı ile eski boyuna donatı V ve Z demirleri ile birbirine kaynaklanmak suretiyle bağlantıları sağlanır. Moment taşıma kapasitesini artırmak için kullanılan bir diğer yöntem ise hasar görmüş kiriş elemanının alt yüzüne çelik levha yapıştırılarak yapılan güçlendirmedir. Çelik levha ile güçlendirme tekniği aynı zamanda kirişlerin kesme dayanımını artırmak içinde kullanılmaktadır (Bayülke, 1995).

Bu çalışmada, farklı kiriş en kesitleri için üretilen betonarme mantolu kiriş elemanların eğilme teorik taşıma gücü kapasitelerinin deneysel taşıma gücü kapasiteleri ile sonuçlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Deneysel çalışma, verilen mantolama yöntemin binalarda hasarlı duvar altı kirişlerinin güçlendirilmesi zorunluluğuna karşı uygulanabilirliği düşünülmüş yapılmıştır.

Çalışma aşamaları;

- İlk kesite ileri seviyede hasar verilmesi,
- Hasarlı betonarme kiriş elemanın tekrar güçlendirilmesi,
- Mantolu yeni betonarme kesitlerin kırılma yüklerinin statik yükler altında deneysel olarak incelenmesinden,

oluşmaktadır. Statik yükler altında mevcut kirişlere hasar verildikten sonra deformasyonlu halde yükleme bırakılmış ve betonarme kirişte güçlendirme deformasyonlu halde iken yapılmıştır. Pas payı alınmış hasarlı kiriş yeni kiriş elemanı donatı kafesi içerisine yerleştirilerek betonlama ile mantolu betonarme kiriş imalatı gerçekleştirilmiştir. Yeni kesitli numuneler 28 gün sonunda statik yükler altında yüklenerek taşıma gücü değerleri deneysel olarak bulunmuştur. İmal edilen mantolu betonarme kiriş şeması Şekil 1 de verilmiştir.



Şekil 1. Dört taraftan mantolu betonarme kiriş

Deney Düzeneği ve Statik Hesap Esasları

Betonarme kiriş elemanlar 200cm açıklığında 15x15 cm, 20x15 cm, 20x20 cm. boyutlarında 3x3 adet olarak çekme kırılması oluşacak şekilde dizayn edilmişlerdir. Kiriş elemanlar statik olarak iki noktadan Şekil 2 de verildiği gibi yüklenmiştir.



Şekil 2. Betonarme kiriş yükleme deney düzeneği

Betonarme kiriş statik hesaplamalarında numune ağırlığından ileri gelen kesit tesirleri ihmal edilmiştir. Kesit tesirleri, iki noktalı eğilme deneyine göre M_u eğilme-taşıma gücü momenti olmak üzere yükün mukabil değeri,

$$P_{bu} = P_u = \frac{3 M_u}{L} \quad (1)$$

ile bulunmuştur. Betonarme hesaplarda kesitin moment taşıma kapasitesi,

$$M_u = \rho b d^2 f_{yk} \left(1 - 0.59 \rho \frac{f_{yk}}{f_{ck}} \right) \quad (2)$$

olarak hesaplanmıştır. Hesap edilmiş olan donatı alanları ve seçilen donatı sayıları Tablo 1 ve Tablo 2 de verilmiştir.

DeneySEL Çalışmalar

Deneylerde C20 betonu ve S420 donatısı kullanılmıştır. Numuneler uygun kür şartlarında 28 gün bekletildikten sonra yükleme çerçevesinde deneye tabii tutulmuştur. Deneylerde 350 kN kapasiteli yükleme çerçevesi kullanılmıştır. Mevcut kirişlere ileri seviyede hasar verilerek dört taraftan mantolama yapılmıştır. Eklenen çekme donatısı ve eski donatıların birbirine bağlanması Z demirleri ile Şekil 3 de verildiği gibi yapılmıştır.

Eski ve yeni beton arasındaki aderansın sağlanması için eski betona TS 3233 standardına uygun pürüzlendirmede yapılmıştır (Altun ve Haktanır, ASCE, 2001).



Şekil 3. Yeni donatı kafesi teşkili ve Z demiri uygulama detayı

Bu mantolama tekniği, elemanın kesme ve eğilme dayanımını artırmaktadır. Betonarme hesaplamalarda mantolamada çekirdek bölgesi kirişinin çekme ve kesme donatıları ihmal edilerek, yeni kesit boyutlarına göre donatı dizaynı yapılmıştır. Yeni donatıların Z demirleri yardımıyla çok kısa süreli kaynaklama sonucunda mevcut donatılarla kenetlenmeleri sağlanmıştır. Kesitin bu şekilde dizaynı atalet değerlerini artırıp buna bağlı olarak da gerilme değerleri azaldığı için teorik olarak kesit taşıma gücünde önemli artışlar olabilmektedir (Gavrilovic, 1983, Demir, 1992).

Mantolu kirişlerin yeni boyutları 200 cm uzunluğunda ve kesitleri 35x35 cm, 40x35 cm ve 40x40 cm olarak 3x3 adet olarak imal edilmiştir. Deney elemanlarının boyutları laboratuvar koşulları göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Mantolu betonarme kirişler 28 gün sonunda statik yükler altında deneye tabii tutularak kırılmıştır. Deney elemanları kırılma düzeneği Şekil 2 de verilmiştir. Ölçümlerde deplasman değerlerini tayin edebilmek amacıyla 3 adet elektronik doğrusal deplasman ölçer (LVDT) kullanılarak kiriş orta noktası deplasman değerleri okunmuştur.

Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Mantolu betonarme kiriş elemanı tipik kiriş davranışı sergileyerek kırılmıştır. Tüm deney elemanlarında ilk çatlak kiriş orta noktasında eğilme çatlaklığı biçiminde geliştiği ve artan yükler altında yoğunlaştığı gözlenmiştir. Artan yük düzeylerinde, mesnet-yük arasında kesme açıklıklarındaki eğilme çatlakları yön değiştirip eğikleşerek kiriş üst kenarına kadar ilerlemiştir. Kuvvet uygulanan noktalarda ise betonda ezilme meydana gelmiştir. Deney programının bütün elemanları göçmeye eğilmede çekme kırılması ile ulaşmışlardır.

Mevcut betonarme kirişlerin eğilmede teorik ve taşıma gücü değerleri aşağıda Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Hasarlı kirişlerin kırılma yükleri

Deney Elemanı	Çekme Donatısı (mm)	Kesme Donatısı (mm)	Teorik Kırılma Yüğü (kN)	Deneysel Kırılma Yüğü (kN)
No.1 15X15	2φ12	φ8/10	8.52	19.9
No.2 15X 15	2φ12	φ8/10	8.52	23.3
No.3 15X 15	2φ12	φ8/10	8.52	23.0
No.1 20X 15	3φ12	φ8/10	12.9	31.5
No.2 20X 15	3φ12	φ8/10	12.9	28.1
No.3 20X 15	3φ12	φ8/10	12.9	28.5
No.1 20X 20	3φ12	φ8/10	19.6	55.5
No.2 20X 20	3φ12	φ8/10	19.6	62.6
No.3 20X 20	3φ12	φ8/10	19.6	62.2

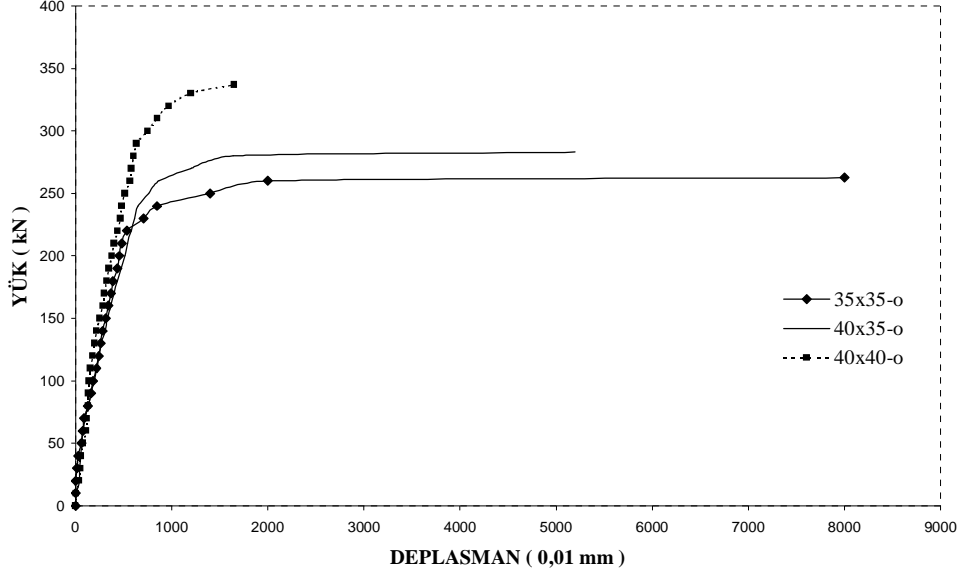
Mantolu betonarme kirişlerin eğilmede teorik ve taşıma gücü değerleri aşağıda Tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 2. Mantolu kirişlerin taşıma gücü değerleri

Deney Elemanı	Çekme Donatısı (mm)	Kesme Donatısı (mm)	Teorik Kırılma Yüğü (kN)	Deneysel Kırılma Yüğü (kN)
No.1 35X 35	4φ12	φ8/10	118.1	262.5
No.2 35X 35	4φ12	φ8/10	118.1	247.3
No.3 35X 35	4φ12	φ8/10	118.1	245.8
No.1 40X 35	5φ12	φ8/10	145.3	283.0
No.2 40X 35	5φ12	φ8/10	145.3	295.8
No.3 40X 35	5φ12	φ8/10	145.3	295.2
No.1 40X 40	5φ12	φ8/10	171.1	337.0
No.2 40X 40	5φ12	φ8/10	171.1	342.5
No.3 40X 40	5φ12	φ8/10	171.1	339.0

Mevcut betonarme kirişlerde teorik ve deneysel göçme yükleri arasındaki kapasite artış oranları; 15x15 cm betonarme kiriş kesiti için üç kirişe ait ortalama değer olarak 2.59, 20x15 cm betonarme kiriş kesiti için ortalama 2.27, 20x20 cm betonarme kiriş kesiti için ortalama 3.06 olarak bulunmuştur. Mantolu betonarme kirişlerde teorik ve deneysel göçme yükleri arasındaki kapasite artış oranları; 35x35 cm mantolu betonarme kiriş kesiti için üç kirişe ait ortalama değer olarak 2.13, 40x35 cm mantolu betonarme kiriş kesiti için ortalama 2.01, 40x40 cm mantolu betonarme kiriş kesiti için ortalama 1.98 olarak bulunmuştur.

Mantolu betonarme kiriş elemanları orta nokta deplasmanlarına göre her bir kesit için ortalama kuvvet-deplasman değerleri çizilerek Şekil 4 de verilmiştir.



Şekil 4. Mantolu betonarme kiriş orta nokta kuvvet-deplasman eğrileri

Sonuçlar

Mantolu betonarme kiriş elemanı tipik kiriş davranışı sergilemiştir. Tüm deney elemanlarında ilk çatlak kiriş orta noktasında eğilme çatlaklığı biçiminde geliştiği ve artan yükler altında yoğunlaştığı gözlenmiştir. Numuneler teorik hesaplamalarda dikkate alınan çekme kırılması davranışını sergileyerek taşıma gücüne ulaşmıştır.

Mevcut ve mantolu betonarme kirişlerin deneysel taşıma gücü değerleri ile teorik taşıma gücü değerleri arasında artı bir kapasite bulunmuştur. Bu oranlar mevcut kirişlerde ortalama 2.64 iken mantolu betonarme kirişlerde ortalama 2.00 civarında gerçekleşmiştir. Mantolu betonarme kiriş kesit alanlarının artırılması ile taşıma gücü değerlerinin azaldığı kanaatine varılmıştır.

Mantolu betonarme kiriş elemanların taşıma gücü sonuçları incelendiğinde betonarme kesitten beklenen davranışı sergilediği için farklı zamanlarda imal beton tabakalarının, birlikte çalışmış olduğunu göstermiştir. Ancak kuvvet-deplasman eğrileri incelendiğinde mantolu betonarme kirişlerin kesit alanları arttıkça süneklik özelliklerinin azaldığı dolayısıyla enerji yutma kapasitelerinin düştüğü gözlenmiştir.

Güçlendirilmiş betonarme yapıların, güçlendirme sonrası deprem kuvvetlerine maruz kalması kuvvetli bir ihtimaldir. Bu nedenle bu çalışmada yukarıda özellikleri verilen mantolu kirişlerin taşıma gücü performanslarının bilinmesi önemli olmaktadır. Betonarme kirişlerin güçlendirilmesi sonucunda, “kuvvetli kolon-zayıf kiriş” ilkesi gereği mesnetlendiği kolonlarında güçlendirilmesi tüm sistemin taşıyıcılığı açısından önemli olmaktadır.

Referanslar

Raghuprasad, B.K., Ramakrishna, B.,1986, Rehabilitation of R.C Structural Elements Under Repeated Monolitik Cyclic Loading With External Clamping, *Second International Conference On Concrete Technology For Developing Countries*, Libya.

Altın, S., Demirel Y., 1998, Betonarme Kirişlerin Kesmeye Karşı Güçlendirilmesi/Onarılması İçin Bir Yöntem, *Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi*, İmo İzmir Şubesi Haber Bülteni, Sayı 80 15-21.

Cheong H.K., MacAlavey N., 2000, Experimental Behavior of Jacketed Reinforced Concrete Beams, *Asce Journal of Structural Engineering*, June, pp. 692-699.

Bayülke, N., 1995, Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası*, İzmir.

TS3233, 1979, Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, T.S.E.

Altun, F., Haktanır, T., 2001, Flexural Behavior of Composite Reinforced Concrete Elements, *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, August, 13(4), pp. 255-259.

Gavrilovic, P., Ignatiev, N., Kremezis, P., Laszlo, N., Nedli, P., Ozmen, G., Syrmakezis, C., 1983, Repair and Strengthening of Reinforced Concrete, *Stone and Brick-Masonry Buildings*, United Nations Development Programme, Vienna.

Demir, H., 1992, Depremden Hasar Görmüş Betonarme Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası*, İstanbul.