

BETONARME KİRİŞLERİN PREFABRİK LEVHALARLA GÜÇLENDİRİLMESİ

Muhammed TEKİN^{1*}, Erhan ALSANCAK², Ali DEMİR³, Soner ŞEKER⁴

^{1,2,3,4} Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa,
TÜRKİYE

Özet:Bu çalışmada depremden hasar gören veya güçlendirilmesi gereken kirişlerin güçlendirilmesi amaçlanmıştır. Kirişler moment kapasitelerini arttırmak için güçlendirilmiştir. Moment kapasitesini arttırmak için kiriş alt yüzüne boyuna ve enine donatılı 80 mm kalınlıklı prefabrik levha epoksi ile yapıştırılmıştır. Deneyler ortasından tekil yükle yüklü basit kiriş olarak yapılmıştır. Kirişlerin taşıma güçlerinde ki artış hesaplanmıştır. Elde edilen deney sonuçları teorik hesaplamalardan bulunan değerlerle karşılaştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: *Kiriş, güçlendirme, prefabrik eleman*

STRENGTHENING OF BEAMS WITH PREFABRICATED REINFORCED CONCRETE PLATES

Abstract: In this work, the strengthening of reinforced concrete beams which have been cracked due to earthquakes or overloading is aimed. The beams are strengthened for increasing moment capacity. For doing this, prefabricated plates from reinforced concrete are glued on to the bottom faces of the beams by epoxy. The thickness of the plate is 80 mm. The beams are loaded from the middle with a single load until the beams fail. By strengthening the beams in this way, the moment capacities of the beams are increased. The moment capacities of the strengthened beams are also found theoretically. Both results are compared.

Keywords: *Beam, strengthening, prefabricated plate*

* Sorumlu Yazar

mdtekin@bayar.edu.tr

1. GİRİŞ

Betonarme yapıım sistemi, en çok tercih edilen yapı teknolojilerinden biridir. Bu sistemin tercih nedeni, ana malzemesi olan betonun olumlu özellikleridir. Dünyada ve ülkemizde betonarmenin yoğun olarak kullanımının başlıca nedenleri;

- Kolay bir üretim evresine sahip olması,
- Bir takım ek önlemler almak ve katkı maddeleri kullanmak şartı ile aşırı olmayan her türlü çevre koşulunda standart kalitede üretim yapılabilmesi,
- Maliyetinin düşük olması,
- Hammadde temini ve kalitesi açısından, tükenmekte olan önemli doğal kaynaklara bağımlı olmaması şeklinde sıralanabilir. Betonarme yapı sistemine olan bu yoğun talep, betonarme yapı miktarının önemli oranda artmasını beraberinde getirmiştir. Bu anlamda üretilen büyük miktardaki yapı için çeşitli nedenlerle ihtiyaç duyulan, onarım, iyileştirme veya güçlendirme adı verilen rehabilitasyon çalışmaları da önem kazanmıştır.

Son yıllarda, özellikle ülkemizde üretilen betonarme yapıların, projelendirilmesi, uygulanması ve kullanılması esnasında yapılan bir takım hatalar veya verilen yanlış kararlar, yapıya taşıyıcı eleman ve malzeme açısından yapılması gereken bir takım müdahale ve değişiklikleri gerektirmektedir. Betonarme taşıyıcı sistemde yapılan bu tür değişiklik ve eklemeler, yeri ve amacına göre onarım, güçlendirme, iyileştirme adları ile tanımlanarak uygulanmaktadır. Taşıyıcı sisteme müdahale işleminin, sınırlı bir hasarın giderilmesi için yapılmasına veya depremde hasar görüp taşıma gücü azalmış elemanlara deprem öncesi taşıma gücü değerlerini yeniden kazandırma işlemine“onarım” denir. Onarım, güçlendirme ve yenileme iç içe girebilen işlemlerdir [1].

Hasar olsun veya olmasın, taşıyıcı sistemin tümünün ya da belli elemanlarının taşıma gücünü artırmak veya ekonomik ömrü

boyunca muhtemel bir depremde hasar gören yapının, aynı boyutta depremlerin birçok kez yinelenmesi beklentisi karşısında aynı hasarın tekrarlanmaması için eski durumundan daha güçlü duruma getirilmesi için yapılan müdahale işlemlerine genel olarak “güçlendirme” denir. Diğer bir tanıma göre; tekrar kullanılmak üzere hasarlı binanın onarım uygulamaları restorasyon (restoration), hasar görmüş yapıların taşıyıcı kısımlarının performanslarını orijinal haline yükseltmek amacı ile yapılan iyileştirme uygulamaları onarım (repair), hasar görmüş yapıların taşıyıcı kısımlarının performanslarını orijinalinden daha yukarıya çıkarmak için yapılan/uygulanan işlemler de güçlendirme (strengthening) diye tarif edilmektedir [2].

Ülkemiz nüfusunun önemli bölümü (%95) yüksek derecede deprem riski olan bölgelerde yerleşmiş durumdadır. Ayrıca mevcut deprem tehlikesinden başka yapı ömrünün ortalama 50 yıl olduğu dikkate alındığında, taşıyıcı sistemleri onarım ve güçlendirme uygulaması gerektiren büyük miktarda yaşlı bina yığınının bulunduğu bir gerçektir. Bu bağlamda yapılan onarım ve güçlendirme işlemlerinde, yöntem ve malzemelerin etkin kullanımları açısından bir takım bilgi eksiklikleri olduğu görülmektedir. Bu eksikliklerden dolayı hatalar içeren güçlendirme uygulamalarında büyük ekonomik kayıplar meydana gelmektedir. Ülkemizde bu konuyu anlaşılır ve standart bir işlem dizisi ile ortaya koyan, uygulama kriterleri ve sınırlarını belirleyen, ayrıca alternatif yöntemler ile karşılaştırmayı mümkün kılan çalışmalara ihtiyaç olduğu açıktır. Bu anlamda söz konusu yöntemlerden biri olarak; “betonarme elemanların dış yüzeylerinden epoksi reçinesi ile yapıştırılan prefabrik levhalar ile betonarme kirişlerin güçlendirilmesi” uygulaması, bu çalışmada deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Betonarme yapılarda onarım, güçlendirme gibi çoğu zaman yapı hizmet halindeyken bile kolaylıkla uygulanması istenen işlemleri veya çeşitli nedenlerle yapılacak taşıyıcı sistem değişikliklerini gerçekleştirmek için

kullanılabilecek çeşitli yöntemler vardır. Bu tür yöntemlerden elde edilmesi öngörülen performans kriterleri aşağıda verilmiştir;

Prefabrik levhalarla güçlendirme

- Taşıyıcı sistemin taşıma gücü değerlerinin güvenlik sınırlarına yükseltilmesi,
- Uygulama sonunda ulaşılan değerlerin zaman ve ortam şartlarından etkilenmeden korunabilmesi,
- Hizmet halinde olan bir yapıda uygulanabilecek basit bir işlem dizisine sahip olması,
- Uygulandıktan sonra kısa sürede yüksek taşıma gücü değerlerine ulaşarak hizmete verilebilmesi,
- Maliyet-performans oranının uygun olması

Hasar görmüş veya güçlendirilmesi gereken betonarme kiriş ve kolonların FRP levhalar, çelik plakalar veya yerinde betonarme ile mantolanmaları başarılı güçlendirme tekniği olarak deneysel ve teorik olarak ispatlanmıştır. Bu çalışmada önerilen güçlendirme tekniğinin kullanılan mevcut yöntemlere alternatif olabileceği umulmaktadır. Çelik plaka ve FRP levhalara avantajı betonarme plaka olduğundan betonarme kiriş ve kolonların rijitliklerinin ve elemanların moment kapasitesinin artırılmasına ilave olarak binanın yanıl ötelenmesinin azalmasına katkı sağlayacaktır.

Prefabrik betonarme plakalar tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin, dolgu duvarlarının bir yüzüne yapıştırılmak suretiyle betonarme çerçeve güçlendirilmiştir. Güçlendirilmiş dolgu duvarın betonarme perde gibi yatay yük taşıma kapasitesi artmıştır [3].

Kirişlerin alt ve üst yüzüne yerinde dökme betonarme levha eklenmesi suretiyle kirişlerin güçlendirilmesi konusunda deneysel ve analitik çalışmalar yapılmıştır [4, 5, 6, 7, 8, 9]. Bu yayınlardan kaynak 4, 5 deneysel çalışmadır, kaynak 6, 7 de ki çalışmalar analitiktir. Kaynak 8 de ki çalışma hem analitik ve hem de deneysel olup çalışmanın gayesi kirişlere üst ve alt yüzden yapılan beton ve betonarme plakadan sonra betonarme

kirişin akma ve taşıma gücü momentlerin analitik olarak bulunmasıdır. Bu çalışmanın neticesine göre basit modelle beton plakaları ile üstten ve alttan güçlendirilen kirişlerin tepkisi kiriş tipinde kesme kırılması önlendiği müddetçe basit modelle bulunabilir. Akma deplasmanının 9 nolu kaynaktaki ampirik formülle bulunmasının kabul edilebilir olduğu belirtiliyor. Fazla donatılı kirişlerin basınç yüzünde kalın betonarme levha kullanılmasından kaçınılması gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca parametrik çalışmalara göre takviye levhaları basınç yüzünde kullanıldığı zaman yüksek mukavemetli betondan sakınılması gerektiği ve aynı zamanda çekme yüzüne eklenen betonarme tabakanın az donatılı kalın tabakanın ağır donatılı ince levhaya tercih edilmesi gerektiği bildirilmektedir.

Kaynak 10 da püskürtme betonla kiriş kesitinin altında ve yanlarında büyümeler yapılmış ve deneysel olarak moment taşıma kapasitesi ölçülmüş ve aynı kesite sahip monolitik döküm betonarme kirişin taşıdığı momentle karşılaştırılmıştır. Püskürtme betonla artırılan kesitin monolitik aynı kesitteki kirişin taşıdığı momentten % 7 daha az olduğu tespit edilmiştir.

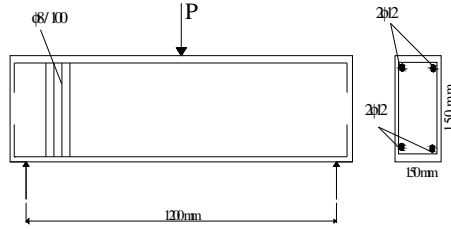
2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Deneilerin Tanıtımı

Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında kirişlerin ve kolonların prefabrik betonarme plakalarla güçlendirilmesi konusunda bir çalışma başlatılmıştır. Betonarme elemanların tamamı Manisa Organize Sanayi Bölgesindeki Er Prefabrik kuruluşunda üretilmiştir. Malzeme C30, S420 dir. 3 adet deney yapılmıştır. Deney elemanları hem kiriş ve hem de kolon olarak düşünülebilir.

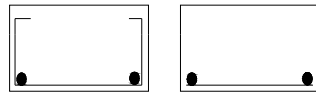
1. Deney: 150x150 mm kesitinde mesnetler arası uzaklık 1200 mm olan ve içerisinde

4 ϕ 12 boyuna donatı, ϕ 8/100 mm etriyesi olan elemandır. Bilgisayar kontrollü tam otomatik kiriş kırma cihazı vasıtasıyla yükleme yapılmış, kırılma yükü ve sehim değeri elde edilmiştir. Kiriş ortasından sabit hızla yükleme yapılmıştır. Eğilme kırılması meydana gelmiştir.

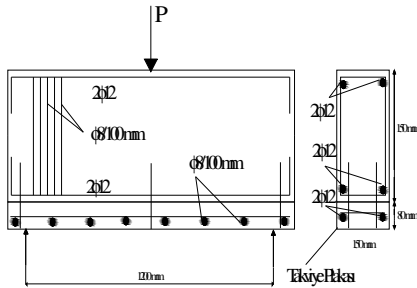


Şekil 1. Birinci deney numunesi

2. Deney: 80x150 mm kesitinde güçlendirme plakaları kirişin alt yüzüne yapıştırılmıştır. Yük, kirişin ortasından tekil yük olarak kiriş kırma cihazı ile uygulanmıştır. Kırılma yükünde kirişte eğilme kırılması oluşmuştur. Takviye plakasında kesme kırılması oluşmuştur. Bunun sebebi de plakadaki enine donatının yatay olarak kalmasından dolayıdır. Enine donatı etriye gibi yukarıya çıkmaktadır.



Şekil 2. Takviye elemanların kesiti

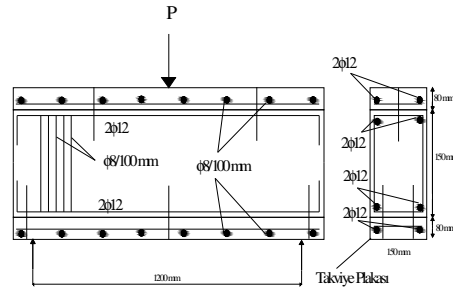


Şekil 3. İkinci deney numunesi



Resim 1. İkinci deney Numunesi

3. Deney: Güçlendirme plakaları kirişin alt ve üst yüzüne yapıştırıldı. Yapıştırılmadan bir gün sonra kiriş ortasından kiriş kırma cihazı ile yükleme yapıldı. Kirişte eğilme kırılması meydana geldi. Alt yüze yapıştırılan plakada kesme kırılması meydana geldi. Yukarıdaki aynı sebep burada da geçerlidir.



Şekil 4. Üçüncü deney numunesi



Resim 2. Üçüncü Deney Numunesi

- Elemanları Yapıştırırmada Kullanılan Epoksinin Teknik Özellikleri

Adı: CX 31 Ceresit

Üç bileşenli epoksi esaslı ankraj harcı olup çeliği beton veya duvara sabitlemek için kullanılır.

Mekanik Özellikleri:

Basınç Mukavemeti: 750 kg/cm²

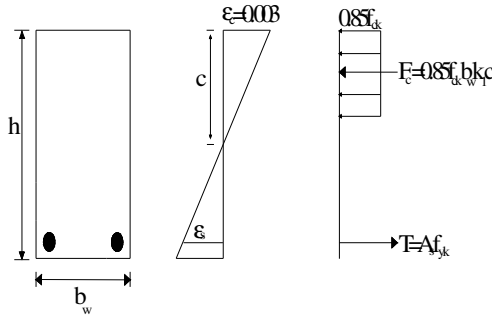
Eğilme Mukavemeti: 150 kg/cm²

Beton yapışma: 40-50 kg/cm²

Elastisite Modülü: 100000 kg/cm²

3. TEORİK ÇALIŞMA

1. Numune: 150x150 mm kesitindeki güçlendirilmemiş kirişin taşıma gücü hesabına göre taşıyabileceği maksimum moment değeri bulunmuştur. 1. numune için çelik ve beton gerilme dağılımları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 5. Birinci deney numunesi

Şekil 5 de gösterilen kuvvetler temel alınarak, denge ve uygunluk denklemleri yazılabilir. Çekme donatısına göre moment alınarak taşıma gücü momenti M_r bulunur.

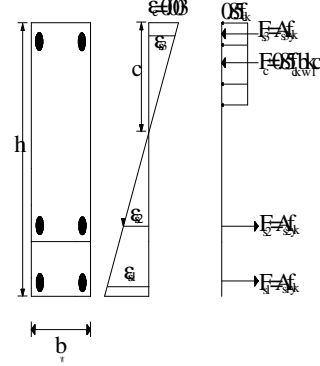
$$0.85f_{ck} b_w k_1 c = A_s f_{yk} \quad (1.a)$$

$$k_1 c = \frac{A_s f_{yk}}{0.85f_{ck} b_w} \quad (1.b)$$

$$M_r = A_s f_{yk} \left(d - \frac{k_1 c}{2} \right) \quad (2)$$

2. Numune: 80x150 mm kesitindeki plaka alt yüze yapıştırılarak güçlendirilmiş kirişin taşıma gücü momenti Şekil 6 da gösterildiği

gibi bulunur. İkinci numune için çelik ve beton gerilme dağılımları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 6. İkinci deney numunesi

Şekil 6 da gösterilen kuvvetler temel alınarak, aşağıdaki denge ve uygunluk denklemleri yazılabilir.

$$F_{s1} + F_{s2} - F_{s3} - F_c = 0 \quad (3)$$

$$M_r = F_{s1} \left(\frac{h}{2} - d' \right) + F_{s2} (x_1) + F_{s3} \left(\frac{h}{2} - d' \right) + F_c \left(\frac{h}{2} - \frac{k_1 c}{2} \right) \quad (4)$$

$$\frac{0,003}{\epsilon_{s1} + 0,003} = \frac{c}{h - d'} \quad (5)$$

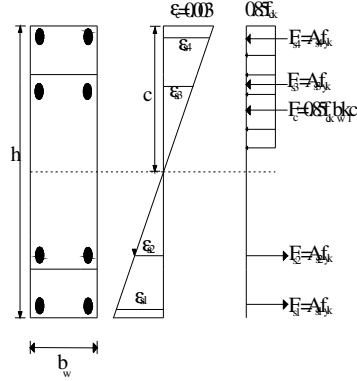
$$\frac{0,003}{\epsilon_{s2} + 0,003} = \frac{c}{d} \quad (6)$$

$$\frac{\epsilon_{s3}}{0,003} = \frac{c - d'}{c} \quad (7)$$

Taşıma gücü momentinin bulunmasında, c değeri için kabul yapılır. Yatay kuvvetler bulunup toplamı sıfıra eşitlenir. Yatay kuvvetlerinin toplamını sıfır yapan c değeri doğru değerdir. Bu değer bulunduktan sonra kesitin ortasına göre moment alınarak kesitin taşıma gücü momenti bulunur. x_1 , F_{s1} kuvvetinin kesitin ağırlık merkezine (ortasına) olan uzaklığıdır.

3. Numune: 80x150 mm kesitindeki plakalar alt ve üst yüze yapıştırılarak güçlendirilmiş kirişin taşıma gücü momenti Şekil 7 de gösterildiği gibi bulunur. Üçüncü numune için

çelik ve beton gerilme dağılımları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 7. Üçüncü deney numunesi

Şekil 7 de gösterilen kuvvetler temel alınarak, denge ve uygunluk denklemleri yazılabilir.

Kesit taşıma gücü hesabında yukarıdaki aynı yöntem kullanılır

4. SONUÇLAR

Birinci deneyde takviyesiz kiriş 52.7 kN da kırılmıştır. İkinci deneyde 80 mm kalınlıklı prefabrik betonarme levha kirişe alttan yapıştırılmasıyla kirişin taşıdığı yük kapasitesinde % 32 lik bir artış olmuştur. Üçüncü deneyde 80 mm kalınlıklı prefabrik betonarme levha kirişin alt ve üst yüzeyine yapıştırılmasıyla kirişin yük taşıma kapasitesinde % 70'lik bir artış olmuştur. Kiriş numunelerinin taşıma gücü kapasitelerini daha iyi değerlendirmek için aşağıdaki tablo yardımcı olmaktadır.

Tablo 1. Kirişlerin Taşıma gücü Moment Değerleri

Kiriş İsimleri	DeneySEL		Teorik
	Kırılma Yüğü (kN)	Taşıma Gücü Momenti (kNm)	Taşıma Gücü Momenti (kNm)
1.Numune	52.7	15.81	10.21
2.Numune	70.0	21.00	23.65
3.Numune	90.0	27.00	47.50

Bu çalışmanın amacı kiriş ve kolonlar için uygulaması kolay bir güçlendirme yöntemi geliştirmektir. Kiriş ve kolonların güçlendirilmesi için mevcut güçlendirme yöntemleri FRP plaka ve kumaşlarla, çelik plakalar veya yerinde dökme betonarme güçlendirme yöntemleridir. Yerinde dökme zaman almaktadır, FRP plaka veya kumaşlarla güçlendirme tekniği malzemeler yurt dışından geldiğinden dolayı yüksek maliyetlidir, çelik plakalarla güçlendirme de korozyon problemi vardır, kiriş ve kolonların betonarme

mantolama ile güçlendirilmesi kalıp kullanılmasını içerdiği için zaman alıcı ve ekonomik değildir. Bundan dolayı uygulaması kolay, imalatı ekonomik, daha süratli ve az zamanda uygulanabilecek bir metot geliştirilmesi amaçlandı.

Bu çalışmada kirişlerin yüzlerine yapıştırılan levhalar aynı zamanda şekil 3 ve 4 te görüldüğü gibi rotlarla da bağlanmıştır. Daha az masraflı ve uygulaması kolay olan elemanlara kalıp çakılmasını gerektirmeyen

önceden dökülmüş (prefabrik) betonarme levhaların kiriş ve kolonların yüzlerine yapıştırılması ile kiriş ve kolonların yük taşıma ve moment kapasitelerinin arttırılabileceği bu çalışmada gösterilmiştir.

Kolonlarda yapıştırma levhaları istenildiği taktirde 1, 2, 3 ve 4 yüzden yapılabilir. 3 yüzden güçlendirme yönteminde güçlendirme elemanı tek parça olarak imal edilebilir. 4 tarafından güçlendirme istendiğinde güçlendirme levhaları 2 parça olarak dökülmesi ve uygulanması gerekir.

Deneylerde güçlendirme plakasında kesme çatlağı meydana gelmiştir. Güçlendirme plakalarında enine donatı Şekil 3 te gösterildiği gibi düşey kolları olmadığından kesme çatlağı oluşmuştur. Deneyde plaka ile kiriş yalnız yapıştırmakla yetinilmemiştir şekil 3 te görüldüğü gibi plaka ile kiriş rotlarla da birbirine bağlanmıştır. Enine donatı düşey kolları ile birlikte $\phi 8/10$ mm olarak uygulanmıştır.

Deney sayısı yeterli değildir. Aynı deney çok sayıda numune ile tekrarlanmalıdır.

Bu güçlendirme yönteminin uygulanabilir bir yöntem olduğu düşünülmektedir.

Teşekkür

Prefabrik elemanları üreten Manisa Er Prefabrik idareci ve sahipleri Sayın Zafer Ünal ve Bülent Ünal'a teşekkürlerimizi sunarız. Laboratuvar deney cihazlarımızı temin eden üniversitemizin değerli yöneticilerine de teşekkür ederiz.

Kaynaklar

[1] Özgen, K., (1990) "Betonarme Yapılarda Taşıyıcı Sistem Hasarları, Onarım ve Güçlendirme," *YapıDergisi*, İstanbul, **116**, 50-54.

[2] Fukuyama, K. vd. (2000) "Studies on Repair and Strengthening Methods of Damaged Reinforced Concrete Columns," *Cement & Concrete Composites*, **22**, 81-88.

[3] Tankut, T. vd. (20 Kasım 2004) "Betonarme Binaların Önüretimli Beton Panellerle Güçlendirilmesi" *11. Beton Prefabrikasyon Sempozyumu İzmir*

[4] Johnson, Paul, R. (1970) "Research on Steel-Concrete Composite Beams Proceedings," *ASCE*, V. 96, ST3. pp. 445-459.

[5] Wendichansky, D. A. B. (1986) Analisis del Comportamiento de Vigas Reforzadas en la Zona de Compression con una Capa de Concrete Unida por Epoxy. Master's thesis, Department of Civil Engineering, University of Puerto Rico, Mayaguez.

[6] Ho, K. M. (1985) An Analytical Study of Ultimate Behavior in Reinforced Concrete Beams with Concrete Overlays. Master's thesis, Department of Civil Engineering, University of Nevada, Reno.

[7] Vrontinos, S. vd. (1989) "A Simple Model to Predict the Ultimate Response of R/C Beams with Concrete Overlays." Report No. CCEE-89-2, Center for Civil Engineering Earthquake Research, University of Nevada, Reno, 163 pp.

[8] Saidi, M. vd. (1990) "Model for the response of reinforced concrete beams strengthened by concrete overlays." *ACI Structural Journal* V.87 No.6

[9] Sugano, S. (1970.) Experimental Study on Restoring Force Characteristics on Reinforced Concrete Members. Doctor of Engineering thesis, University of Tokyo.

[10] Diab, Y. G. (1998.) "Strengthening of RC beams by using sprayed concrete: experimental approach" *Engineering Structure*, Vol.20, No.7, pp. 631-643.

[11] Wang Wenwei, Li Guo, (2006), "Experimental study and analysis of RC beams strengthened with CFRP laminates under sustaining load." *International Journal of Solids and Structures* 43 (2006) 1372-1387

Geliş Tarihi: 18/04/2007

Kabul Tarihi: 26/09/2007