

Araştırma Makalesi/Research Article

# Güçlendirilen Beton Kirişlerin Eğilme Dayanımlarına Yapıştırıcının Etkisi

## The Effect of Adhesive on Bending Strength of Strengthening Concrete Beams

Turgut KAYA<sup>1\*</sup>, Murat ARAS<sup>2</sup>, Özlem ÇALIŞKAN<sup>3</sup>

**Özet-** Bu çalışmada, güçlendirilen beton kirişlerin eğilme dayanımlarına yapıştırıcının etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla biri kontrol olmak üzere toplamda 13 adet numune serisi hazırlanmıştır. Numunelerin hazırlanmasında 28 günlük ortalama basınç dayanım değeri 30 MPa olan hazır beton kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler 28 gün standart kür havuzunda tutulmuştur. Kür işlemi sonunda numuneler üç farklı yapıştırıcı ile 0.3 mm ve 0.5 mm kalınlığında metal sac malzemeleri ile tek yüzey ve üç yüzey olacak şekilde güçlendirilmiştir. Güçlendirilen numuneler 7 gün laboratuvar ortamında yapıştırıcıların kür işlemleri için bekletilmiştir. Kür işlemi sonunda kontrol ve güçlendirilen numuneler TS EN 12390-5'e uygun eğilme dayanım değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler-** Güçlendirme, beton, kiriş eğilme dayanımı, çelik levha

**Abstract-** This study, the effect of adhesive on strengthening concrete beams were investigated in terms of bending strength. With this purpose, concrete beam specimens were produced total of 13 specimens, in them one of control. The specimens were prepared ready-mixed concrete that had average compressive strength 30 MPa for 28 days. Prepared specimens were kept in standard curing pool for 28 days. At the end of concrete curing process, the specimens strengthened 0.3 mm and 0.5 mm thick steel materials as one and three surfaces by using three different adhesive. Strengthened specimens were kept in the laboratory for curing of adhesives for 7 days. At the end of adhesive curing process, these specimens were tested in order to determining bending strength values according to TS EN 12390-5. The obtained results are compared with each other.

**Keywords-** Strengthening, concrete, beam bending strength, steel plate

### I. GİRİŞ

Kirişlerin eğilme dayanımının artırılması için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan çelik levha takviyesi sıklıkla tercih edilmektedir. Çelik levhalarla güçlendirme, levhaların kirişin alt ve/veya yan yüzeylerine farklı kalınlıklar ve yapıştırıcılarla gerçekleştirilmektedir. Böylece, yapılar için belli bir kullanım ömrü içerisinde hedeflenen yapısal güvenlik düzeyleri sağlanması amaçlanmaktadır.

Eğilme etkisindeki kirişlerde güçlendirme metodu olarak kullanılan çelik levha yapıştırılması yöntemiyle birçok çalışma yapılmıştır. Köse ve Özgen yaptıkları çalışmada, betonarme elemanları çelik lamalarla güçlendirmesinde, beton ile çelik arasında epoksi esaslı yapıştırıcıyla oluşturulan katmanın fiziksel açıdan başarısı ve etkili kullanım gereksinimlerini incelemişlerdir. Sonuç olarak esnek epoksi sistemi sayesinde yapışkan katmanın göçme mekanizmasının son anına kadar çatlamadan yük aktarımı sağladığını, yüzey pürüzlülüğünün artması yapışmayı arttırdığını ve aynı malzemelerle aynı mukavemet ve boyuttaki elemanları aynı işlem dizisi uygulanarak aynı performans elde edilebileceğini belirlemişlerdir [1]. İlki vd., yaptıkları çalışmada hasarlı durumda olan betonarme elemanları çelik köşebent ve lamalarla güçlendirerek sabit ve tekrarlı yük altında yük aktarımını araştırmışlardır. Deneysel çalışma sonucunda, onarılan numunelerin eğilme, kesme, enerji yutma kapasiteleri ve rijitliklerinde önemli artışlar sağlanmış ve beton ezilmesinin gecikmesiyle dayanım kayıpları büyük ölçüde gecikeceğini ortaya koyulmuştur [2]. Altın vd., kesme dayanımı yetersiz betonarme kirişlerde, dıştan çeşitli aralıkla yerleştirilmek üzere bir kelepçe sistemiyle güçlendirme için bir pratik yöntem sunmuşlardır. Önerilen yöntem ile kirişlerin güçlendirilme sonrası kesme kırılması yerine sünek eğilme davranışının hakim olduğunu ve kesme çatlakların kontrol edilerek çatlakların genişlemesi sınırlandırıldığı görülmüştür [3].

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişimi: [turgut.kaya@bilecik.edu.tr](mailto:turgut.kaya@bilecik.edu.tr),

<sup>2,3</sup>İletişim: <sup>2</sup>[murat.aras@bilecik.edu.tr](mailto:murat.aras@bilecik.edu.tr), <sup>3</sup>[ozlem.caliskan@bilecik.edu.tr](mailto:ozlem.caliskan@bilecik.edu.tr)

<sup>1,2,3</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, BİLECİK

Basit eğilme etkisindeki betonarme kirişlerin mantolama sonrası mekanik davranışlarındaki değişimi belirlemek için yapılan çalışmada; mantolanmış kirişlerin sünekliği, rijitliği ve nihai esneklik kapasitesindeki değişimleri deneysel olarak belirlenmiştir [4]. Başka bir çalışmada ise betonarme bağ kirişlerin dış plaklarla güçlendirilmesinde yeni bir metodun geliştirilmesi için üçer adet bire bir ölçekli deneyler gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda önerdikleri metotla betonarme bağ kirişlerin mukavemeti, deformasyonu ve enerji sönümlemesinde artışlar olduğunu belirlemiştir [5].

Literatür incelendiğinde güçlendirme ile ilgili yapılan çalışmaların çoğunluğunda yapıştırıcı olarak epoksi esaslı yapıştırıcılar kullanılmıştır [6-11]. Ayrıca sonradan eklenen çelik plakaların sıyırılmasını önlemek için bulon veya kaynak gibi ek önlemlere de başvurulmuştur [12-15]. Çelik levhalarla bazen gerekli dayanım talebinin karşılanmaması durumunda çelik levha kalınlığı artırılması önerilmiştir [16]. Hedeflenen dayanım düzeyinin artmasıyla artan levha kalınlığı nedeniyle maliyet, taşıma ve montaj durumlarının incelenmesi gerekmektedir [17]. Oluşturulan yeni yüzeyler arasından gerilme geçişlerini incelemek üzere analitik modeller önerilmiştir [18-20]. Çelik levha güçlendirilmesinde göçme modu açısından yapılan deneysel çalışmalarda genellikle beton örtüsü ve çelik levhanın beraber ayrılması durumu görülmüştür [21-22].

Bu çalışmada ise 100x100x500 mm lik beton kiriş elemanlarına üç farklı yapıştırıcıyla 0.3 ve 0.5 mm kalınlığında sac levhalarla güçlendirilmiştir. Güçlendirilen numunelerin eğilme dayanımları belirlendikten sonra birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

## II. MALZEME - YÖNTEM

### A. Malzemeler

Beton kirişlerinin hazırlanmasında Tablo 1’de verilen karışım oranları kullanılmıştır. Güçlendirme uygulamalarında 0.3 ve 0.5 mm kalınlığında sac levhalar, yapıştırıcı olarak Sikadur 330, Soudaflex 40 fc ve Multibond 35 kullanılmıştır. Kullanılan Sikadur 330 (SD), Soudaflex 40 fc (SF), ve Multibond 35 (MD) olarak kodlanmıştır. Kullanılan yapıştırıcılara ait bazı teknik özellikler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Beton karışım oranları

Malzemeler	Miktar (kg/m <sup>3</sup> )
0-4 mm	950
<b>Agrega</b>	
4-11 mm	260
11-22 mm	530
<b>CEM I 42.5 R</b>	315
<b>Su</b>	185
<b>Uçucu Kül</b>	40
<b>Akışkanlaştırıcı</b>	2

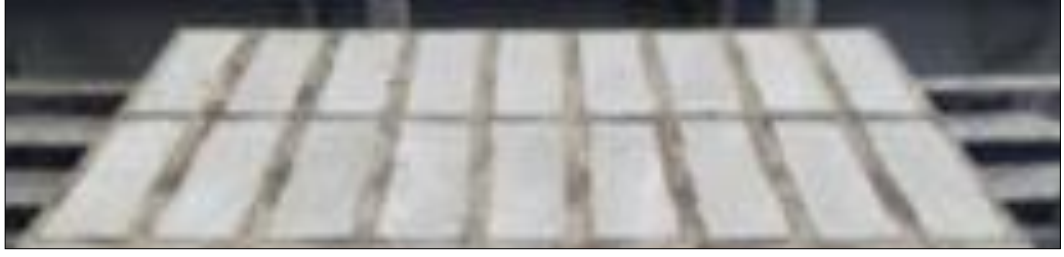
Tablo 2. Kullanılan yapıştırıcılara ait teknik özellikler

	Sikadur 330	Multibond 35	Soudaflex 40 FC
<b>Birim Ağırlık</b>	1.31 kg/l (+23C’de)	1.60 g/ml	1.26 g/ml
<b>Kopmadaki Uzama</b>	%0.9 (+23C’de 7 Günlük)	% 400 (DIN 53504)	% 600 (DIN 53504)
<b>Baz</b>	İki bileşenli epoksi reçinesi	MS polymer	Poliüretan
<b>Çekme Dayanımı</b>	30 MPa (+23 C’ de 7 günlük)	1.50 N/mm2 (DIN 53504)	1.50 N/mm2 (DIN 53504)
<b>Elastisite Modülü</b>	4500 N/mm2	0.8 N/mm2 (DIN 53504)	0.8 N/mm2 (DIN 53504)
<b>Karışım</b>	A : B Bileşeni = 4 : 1 ağırlıkça	Tek komponentli (macun kıvamı)	Tek komponentli (macun kıvamı)

### B. Yöntem

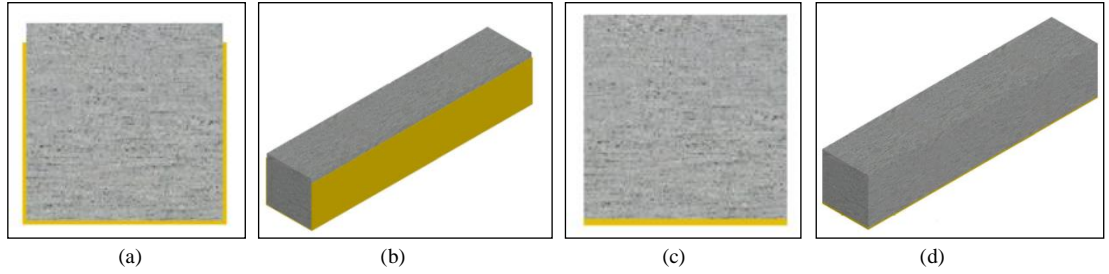
Bu deneysel çalışmada kullanılan beton numunelerinin basınç dayanım değerleri TS EN 12390-3 [23] standardına uygun olarak 150x150x150 mm’ lik 3 adet küp numuneden elde edilen dayanım ortalaması 30 MPa olarak belirlenmiştir. Kiriş numunelerinin hazırlanmasında Şekil 1’de verilen iç ölçüleri 100x100x500 mm olan playwood malzemeden hazırlanan kalıplar kullanılmıştır.

Hazırlanan kalıplar ince makine yağı ile yağlandıktan sonra hazır beton ile doldurulmuştur. Numuneler 24 saat sonra kalıplardan alınıp 28 gün standart kür havuzunda tutulmuştur.



Şekil 1. Kiriş numunelerinin hazırlanması

Kür süresi tamamlanan numuneler fanlı etüvde 105 C’de 24 saat kurutulmuştur. Ortam sıcaklığına gelen numuneler, 0.3 ve 0.5 mm lik sac malzemeler ile çevresel üç yüzey ve sadece alt yüzey olacak şekilde üç farklı yapıştırıcıyla takviye edilmiştir. Çalışmanın devamında çevresel üç yüzeyler Ç, sadece alt yüzeyler A ile gösterilmiştir (Şekil 2). Yapıştırıcıların nihai dayanıma ulaşması için numuneler 7 gün laboratuvar ortamında bekletilmiştir.

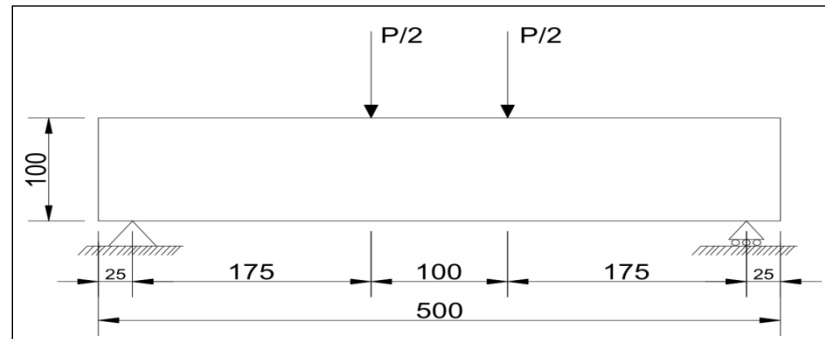


Şekil 2. a) Çevresel ön görünüş b) Çevresel Perspektif, c) Alt yüzey ön, d) Alt yüzey perspektif

Hazırlanan numunelerin dört nokta eğilme dayanımlarının belirlenmesinde Şekil 3’te verilen deney elemanlarının geometrik boyutları ve yükleme durumuna uygun olarak Şekil 4’te verilen cihaz yardımıyla belirlenmiştir. Deneyler sonucunda cihazdan okunan kuvvet değerleri Denklem 1’de verilen eşitlik ile elde edilmiştir [24].

$$\sigma_c = 3.F(L-L_i) / 2.b.d^2 \quad (1)$$

Burada;  $\sigma_c$ : Kirişin eğilme dayanımı, (N/mm<sup>2</sup>), F: Kırılmaya neden olan yük, (N), L: Deney numunesinin mesnetler arasındaki mesafesi, (mm), b: Deney numunesinin genişliği, (mm), d: Deney numunesinin kalınlığı, (mm). Li: Uygulanan düşey yük noktaları arasındaki mesafedir.



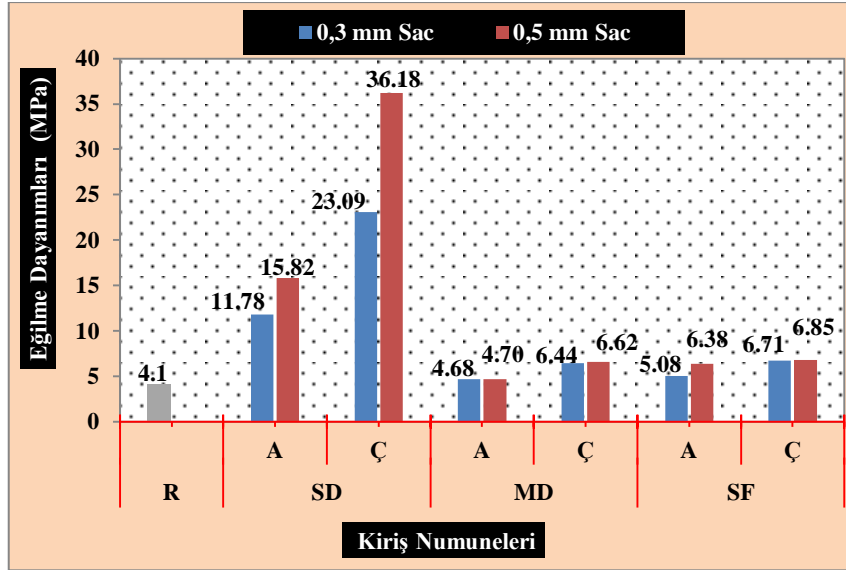
Şekil 3. Numunelerin geometrik ve yükleme boyutları (mm)



Şekil 4. Kiriş eğilme cihazı

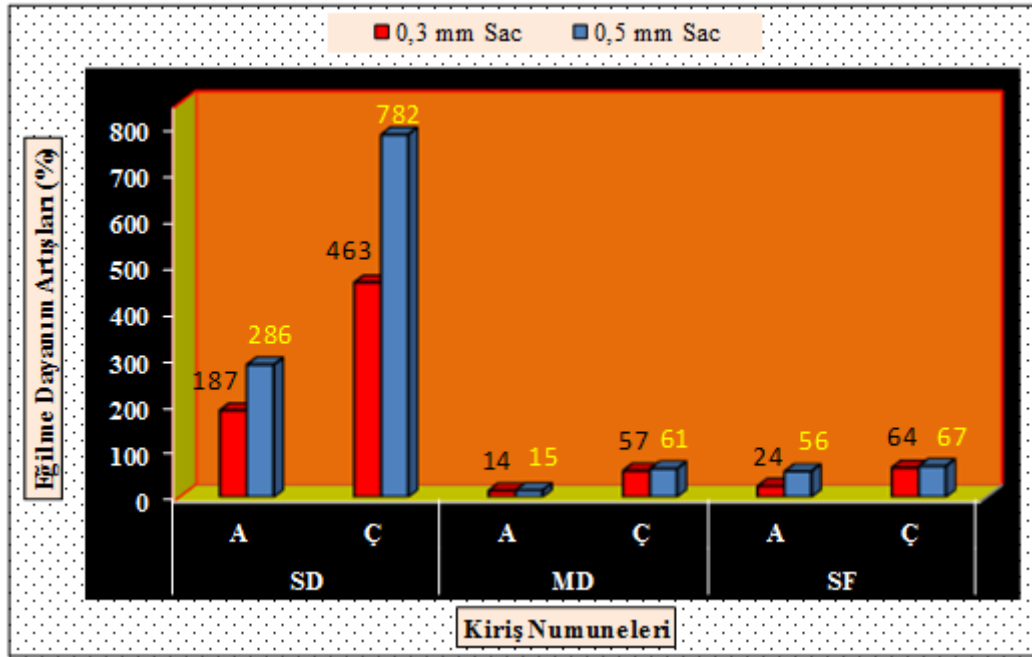
### III. BULGULAR

DeneySEL çalışmadan elde edilen eğilme dayanım değerleri Şekil 5'te verilmiştir. Şekil incelendiğinde en düşük ve en yüksek eğilme dayanımları kontrol ve SD 0.5Ç ile güçlendirilen numunelerden elde edilmiştir. MD ve SF ürünleri ile güçlendirilen numuneler birbirlerine yakın değerler aldığı ve referans numunesine göre en fazla 2.75 MPa artış sağladığı görülmüştür. Yapıştırıcının sac levha ile beton arasındaki aderansın düşük olduğu durumlarda eğilme dayanımlarında sac levhanın önemli katkı sağlamadığı belirlenmiştir.



Şekil 5. Numune eğilme dayanımları (MPa)

Farklı kalınlıkta sac levha ve yapıştırıcılar ile güçlendirilen numunelerin eğilme dayanım değerlerinin referans değere oranla elde edilen yüzde artışları Şekil 6'da verilmiştir. Güçlendirilen numune sonuçlarının kontrol numunesine oranla dayanım artış yüzdeleri incelendiğinde %14-782 arasında artışlar elde edilmiştir. Aynı tür yapıştırıcılarla oluşturulan seriler incelendiğinde sac levha kalınlığının dayanım artışına katkısı olduğu görülmüştür. SD numunelerinin A serisinde 0.3 mm lik levha yerine 0.5 mm lik levhanın kullanılmasıyla eğilme dayanımlarında %34 artış sağladığı belirlenmiştir. Ç serisinde ise % 57 artış olduğu saptanmıştır. Diğer yapıştırıcı türlerinde belirgin bir artışın olmadığı görülmektedir. Bu durumun yapıştırıcı türünün güçlendirmeye uygun olmadığını göstermektedir.



Şekil 6. Güçlendirilen numunelerin eğilme dayanım artışları (%)

DeneySEL çalışma sonucunda her seri numunelere ait örnekler Şekil 7’de verilmiştir. Örnekler incelendiğinde MD ve SF serilerinde sac levhaların etkin olarak çalışmadığı beton kırıldığı anda deneyin sonlandığı görülmüştür. Ancak SD serilerinde ise beton ile sac levhanın beraber çalıştığı deney sonrası numune görümlerinden anlaşılmaktadır.



Şekil 7. Deney sonrası numunelere ait örnekler

#### IV. SONUÇLAR

Bu deneysel çalışmada; farklı sac ve yapıştırıcı ile güçlendirilen beton kirişlerin eğilme dayanımlarının incelenmesinde aşağıda maddeler halinde verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

- Numunelerin eğilme dayanım değerleri incelendiğinde en düşük 4.1 MPa ve en yüksek 36.18 MPa olarak kontrol ve SD 0.5Ç ile güçlendirilen numunelerden elde edilmiştir.
- Güçlendirilen numune sonuçlarının kontrol numunesine oranla dayanım artış oranları % 14-782 arasında artış sağlamıştır. En yüksek artışın SD –Ç 0.5 mm lik numunesinden elde edilmiştir.
- Yapıştırıcının sac levha ile beton arasındaki aderansın düşük olduğu durumlarda eğilme dayanımlarında sac levhanın önemli derecede etkisinin olmadığı görülmüştür.

- MD ve SF ürünleri ile güçlendirilen numunelerin birbirilerine yakın değerler aldığı ve referans numunesine göre en fazla 2.75 MPa artış sağlamıştır.
- MD ve SF serilerinde sac levhaların etkin olarak çalışmadığı beton kırıldığı anda deneyin sonlandığı görülmüştür. Ancak SD serilerinde ise beton ile sac levhanın beraber çalıştığı deney sonrası numune görünümünden anlaşılmıştır.

Sonuç olarak; yapıştırıcı türünün güçlendirme uygulamalarında etkin bir malzeme olduğu görülmüştür. Güçlendirme uygulamalarında epoksi türü yapıştırıcıların polimer ve poliüretan türlerine oranla yüksek derecede artışlar sağladığı deneysel çalışma sonucunda belirlenmiştir.

Yapılan deneysel çalışma sonucunda; beton ile sac levhalar arasındaki aderans dayanımlarının belirlenmesinde doğrudan çekme yöntemi uygulanarak yeni bir deneysel çalışma önerilmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Köse, M. ve Özgen, K., “Betonarme elemanların çelik lamalarla güçlendirilmesi” *İTÜ Dergisi/Mimarlık, Planlama, Tasarım*, cilt 2 sayı.1, pp. 41-50, Haziran, 2003.
- [2] İlki, A., Demir, C., Karadeniz, A. ve Kumbasar, N., “Hasarlı betonarme elemanların çelik köşebent ve lamalar ile güçlendirilmesi”, *İTÜ Dergisi/Mühendislik*, cilt.2 sayı.3, Haziran, 2003.
- [3] Altın, S., Özgür Anıl, Ö. ve Gökten, Y., “Betonarme kirişlerin kesmeye karşı güçlendirilmesinde bir kelepçe uygulaması”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, cilt 19 sayı 4, ss. 415–422, 2004.
- [4] Altun, F., “An experimental study of the jacketed reinforced concrete beams under bending”, *Construction and Building Materials*, vol. 18, pp. 611- 618, 2004.
- [5] Su, R.K.L. and Zhu, Y., “Experimental and numerical studies of external steel plate strengthened reinforced concrete coupling beams”, *Engineering Structures*, vol. 27, pp. 1537-1550, 2005.
- [6] Gülenler, C., *Betonarme elemanların polimer yapıştırıcı kullanarak çelik levhalarla takviyesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1977.
- [7] Alfaiate, J. and Appleton, J., “External reinforcement with steel plates and injected epoxy on concrete beams”, *CREST*, Lisbon, 1986, p. 4-16.
- [8] Arslan, M., *Betonarme kirişlerin epoksiyle yapıştırılan çelik levhalarla güçlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1991.
- [9] Uysal, A., *Betonarme kirişlerin epoksiyle yapıştırılan delikli çelik levhalarla güçlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
- [10] Karahan, S., *Betonarme kirişlerin çelik levhalarla güçlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008.
- [11] Tankut T. ve Arslan M., “Epoksili Çelik Plaka ile Güçlendirilmiş Betonarme Kiriş Davranışı”, *IMO Teknik Dergi*, cilt 3, pp. 575-584, 1992.
- [12] Adhikary, B.B. and Mutsuyoshi, H., “Shear strengthening of reinforced concrete beams using various techniques”, *Construction and Building Materials*, vol. 20, pp. 366- 373, 2006.
- [13] Ali, M.S.M., Oehlers, D.J. and Park, S.M., “Comparison between FRP and steel plating of reinforced concrete beams”, *Composites, Part A*, vol. 32, pp. 1319-1328, 2001.
- [14] Demir, A., Kesme Kapasitesi Yetersiz Olan Kirişlerin Dış Donatılar İle Güçlendirilmesi, Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, *Proje No: 2012-33*, Manisa, 2013.

- [15] Hussain M., Sharif A., Basunbul I.A., Baluch M.H. and Al-Sulaimani G.J., “Flexural behavior of pre-cracked reinforced concrete beams strengthened externally by steel plates”, *ACI Structure Journal*, vol. 9, no.21, pp. 14–22, 1995.
- [16] Ye J.Q., “Interfacial shear transfer of RC beams strengthened by bonded composite plates”, *Cement Concrete Composite*, vol. 23 no.4-5, pp. 411-417, 2001.
- [17] Binici, B. and Camli, U.S., “Strength of carbon fiber reinforced polymers bonded to concrete and masonry”, *Construction and Building Materials*, vol. 21, pp. 1431-1446, 2007.
- [18] Raoof M., El-Rimawi J.A. and Hassanen M.A.H., “Theoretical and experimental study on externally plated R.C. beams”, *Engineering Structure*, vol. 22, no. 1, pp. 85-101, 2000.
- [19] 19. Smith S.T. and Teng J.G., “Interfacial stresses in plated beams”, *Engineering Structure*, vol.23, no.7, pp. 857- 871, 2001.
- [20] Teng J.G., Zhang J.W. and Smith S.T., “Interfacial stresses in reinforced concrete beams bonded with a soffitplate: A finite element study”, *Construction Building Material*, vol. 16, no.1, pp. 01- 14, 2002.
- [21] Jones R., Swamy R.N. and Charif A., “Plate separation and anchorage of reinforced concrete beams strengthened by epoxy bonded steel plates”, *Structure Engineering*, vol. 66, no.5, pp. 85–94, 1988.
- [22] Oehlers D.J., “Reinforced concrete beams with plates glued to their soffits”, *Journal Structure Engineering*, vol. 118, no.8, pp. 2023–2038, 1992.
- [23] *Türk Standartları Enstitüsü. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 12390–3, Ankara, Türkiye, 2010.
- [24] *Türk Standartları Enstitüsü. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 5: Deney Numunelerinde Eğilme Dayanımının Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 12390–5, Ankara, Türkiye, 2010.