Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 4, Sayı 1, (2015), 13-20

BETONARME KİRİŞLERİN ÇELİK LEVHALARLA KESMEYE KARŞI GÜÇLENDİRİLMESİ

Hamide TEKELİ[1*], Barış ESEN[2], Halil Melih ÖVEY[1], Mehmet ARAPOĞLU[1], Murat PINARLIK[3], Ramazan TURGUT[1]

[1]*Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye*
[2]*Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuarı, Ankara, Türkiye*
[3]*Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye*

ÖZET

Eğilme kırılması sünek bir kırılmadır. Eğilme kırılması ile büyük deformasyonlar meydana gelir ve önemli derecede deprem enerjisi tüketilir. Kesme kırılması ise ani, gevrek ve enerji tüketimi düşük bir göçme biçimidir. Bu nedenle kesme kırılmasının önlenmesi son derece önemlidir. Bu çalışmada, kesme dayanımı yetersiz kiriş numunelere çift bileşenli epoksi ile üç farklı şekilde çelik plaka yapıştırılarak kesme kırılmasının önlenmesi amaçlanmıştır. Numunelerin güç tükenme türü, süneklik ve enerji tüketim miktarları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çelik levha, güçlendirme, kesme kırılması, kiriş

SHEAR STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH STEEL PLATES

ABSTRACT

Flexural failure is a ductility failure. It includes the ability to sustain large deformations, and a capacity to absorb energy. Shear failure is a brittle failure. For obvious reasons, brittle failure must be avoided. In this study, it is aimed retrofitting of shear deficient reinforced concrete beams by bonding of steel plates in three different ways. Failure modes, ductility and absorbed energy were examined for retrofitted beam specimens.

Keywords: Steel plate, retrofitting, shear cracking, beam

1. GİRİŞ

Son yıllarda ülkemizde yaşanan depremlerde, çok sayıda betonarme binada büyük çaplı hasarlar meydana gelmiştir. Bu durum, deprem güvenliği zayıf olan binaların yıkımı veya güçlendirmesi mecburiyetini ortaya çıkarmıştır. Güçlendirme için seçilecek olan yöntemler, yapının dayanımına, rijitliğine ve genel durumuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Deprem yapıya bir enerji yüklemesi yapar. Bu enerjinin yapı içerisinde, çökme olmadan tüketilmesi istenir. Yapının ötelenmesi ve hasar oluşumu birer enerji tüketimidir. Burada hasarın hangi elemanlarda ve nasıl oluştuğu son derece önemlidir. Yapıyı ayakta tutan elemanların kolonlar olduğu düşünülürse kolonlar yerine hasarın kiriş elemanlarda oluşması gerekir. Deprem Yönetmeliği, güçlü kolon zayıf kiriş koşulu ile hasarın kiriş elemanlarda ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Ancak kirişlerde oluşacak hasarın eğilme kırılması ile ortaya çıkması son derece önemlidir. Çünkü eğilme kırılması sünek bir kırılmadır ve enerji tüketimi oldukça fazladır. Kesme kırılması ise ani, gevrek ve enerji tüketimi düşük bir göçme biçimidir. Bu nedenle, kirişlerdeki kesme kırılmasının önlenmesi son derece önemlidir. Kirişlerin güçlendirilmesi için literatürde önerilen çeşitli yöntemler mevcuttur. Karbon elyaflı polimer (CFRP) uygulamaları, mantolama, çelik

[*]Corresponding author. E-mail: hamidetekeli@gmail.com

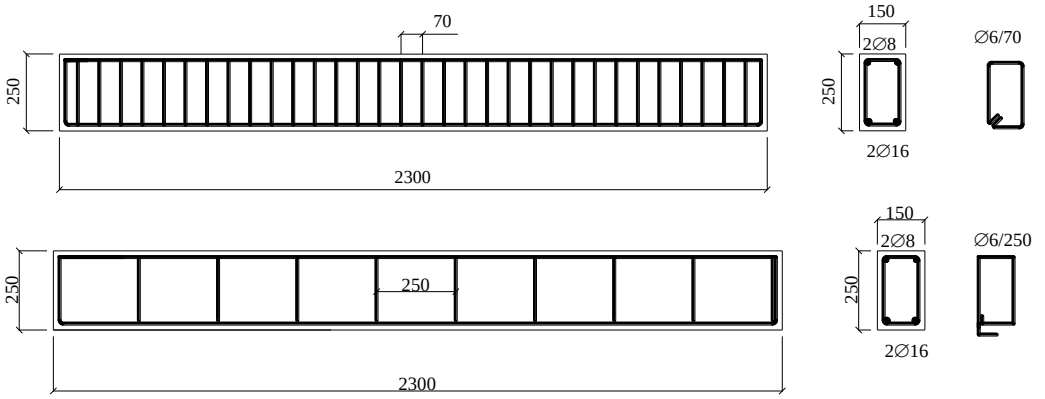
levhaların yapıştırılması kesme dayanımı yetersiz betonarme kirişlerin güçlendirmesi amacıyla kullanılan başlıca tekniklerdir. Bunların arasında, epoksi bağlayıcıların gelişmesiyle önem kazanan çelik levha yapıştırılması tekniği uygulama kolaylığı, uygulandığı elemanın geometrik boyutlarında değişimin çok az oluşu ve ekonomik maliyetin düşüklüğü gibi nedenlerden dolayı tercih edilmektedir.

Yapılan bazı çalışmalarda, kirişin gövdesine dıştan yapıştırılan çelik levhaların, betonarme kirişlerin kesme dayanımına etkisi incelenmiştir. Arslan [1] ve Tankut ve Arslan [2], betonarme kirişlere epoksi ile çelik levha yapıştırarak, onarılmaları ve güçlendirilmeleri üzerine çalışmıştır. Yapılan çalışmadaki deney sonuçları; dayanım, süneklik, enerji tüketimi, rijitlik bakımından irdelenmiş, güçlendirme levhalı kirişin iyi davranış sergilediği gözlenmiştir. Adhikary vd. [3], epoksi ile çelik levha yapıştırılarak güçlendirilen betonarme kirişlerin kesme dayanımını incelemiştir. 2 adet referans ve 10 adet gövdesine çelik plaka yapıştırılarak güçlendirilen kirişlerin deneyleri yapılmıştır. Deneylerde, kirişin gövdesine dıştan yapıştırılan çelik levhaların, betonarme kirişlerin kesme dayanımına etkisi doğrulanmıştır. Altın ve Anıl [4], kesme dayanımı yetersiz betonarme kirişlerin çelik elemanlar yapıştırılarak güçlendirilmesini konu alan deney sonuçları sunmuştur. Düzenlenen deney programında 11 adet T-kesitli kiriş tekdüze yükler altında test edilmiştir. Üç ana türde üretilen çelik elemanlar çeşitli düzenlemelerle kesme açıklıklarında kiriş gövdesinin yan yüzeylerine epoksi kullanılarak yapıştırılmıştır. Deney sonuçları bütün çelik levha düzenlemelerinin, elemanlarda dayanım ve rijitliği önemli oranlarda artırdığını ortaya koymuştur. Önal ve Tokgöz [5] tarafından, altısı referans ve üçü de çekme bölgesinde çelik levha takviye edilerek onarılan dokuz adet kiriş üzerinde çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada hasarlı ve referans kirişler deneysel olarak incelenerek karşılaştırmaları yapılmıştır. Tüm numuneler düşey yüklemeye tabi tutulmuş; davranış ve dayanımları karşılaştırılmıştır. Uysal [6], kirişlere dayanımın yanı sıra yeterli süneklik de kazandırmak için delikli saç levha kullanarak deneysel bir çalışma yapmıştır. Aykaç ve Özbek [7] betonarme kirişlerin alt yüzüne çelik levha yapıştırarak eğilmeye karşı güçlendirilmesi sırasında ortaya çıkan süneklik sorunlarının çözümü için basit ve uygulanabilir bir uç bağlantısı geliştirmiştir.

Bu çalışmada, kesme dayanımı yetersiz olan kiriş numunelerinin, yan yüzeylerine çift bileşenli epoksi yardımıyla çelik levha yapıştırılarak güçlendirilmesi amaçlanmıştır. Kiriş numunelere, üç farklı düzende çelik levha uygulaması yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek, uygulanan güçlendirme tekniğinin etkinliği incelenmiş ve dikkat edilmesi gereken hususlar vurgulanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan çalışma kapsamında yedi adet betonarme kiriş numune üretilmiştir. Bu deney numunelerinin, kesit geometrileri ve boyuna donatıları aynı olup, sadece enine donatı aralıkları farklıdır. Numunelere ait kesit ve donatı özellikleri Şekil 1'de verilmiştir. Numunelerin sadece iki tanesinde, etriye sıklaştırması yapılmıştır. Etriye aralıkları, sıklaştırma yapılan numunelerde 7 cm, yapılmayanlarda ise 25 cm olarak uygulanmıştır.



Şekil 1. Kiriş numunelerine ait donatı şeması

Etriye sıklaştırması yapılan ve yapılmayan 2'şer adet numune referans olarak dikkate alınmıştır. 3 adet etriye sıklaştırması yapılmayan numune ise farklı düzende çelik levha uygulaması ile güçlendirilmiştir. Üretilen numunelerin isimlendirilmesi Tablo 1'de verilmiştir.

Kiriş numunelere, C20 sınıfı hazır beton dökülmüştür (Şekil 2). Numunelere beton yerleştirme sırasında vibratör kullanılarak iyi bir sıkışma sağlanmıştır. Donatılar için elde edilen çekme dayanımı sonuçları Tablo 2'de, beton dökümü sırasında alınan küp numunelerin 28 günlük beton basınç dayanımları ise Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 1. Numunelerin isimlendirilmesi

Numune ismi	Açılımı	Özelliği
RN1	Referans Numune 1	Etriye sıklaştırmalı
RN2	Referans Numune 2	Etriye sıklaştırmalı
RN3	Referans Numune 3	Etriye sıklaştırmasız
RN4	Referans Numune 4	Etriye sıklaştırmasız
GN5	Güçlendirilmiş Numune 5	15×25/20 plaka takviyeli
GN6	Güçlendirilmiş Numune 6	15×25/10 plaka takviyeli
GN7	Güçlendirilmiş Numune 7	90×25 plaka takviyeli



Şekil 2. Kiriş numunelerin beton döküm aşaması

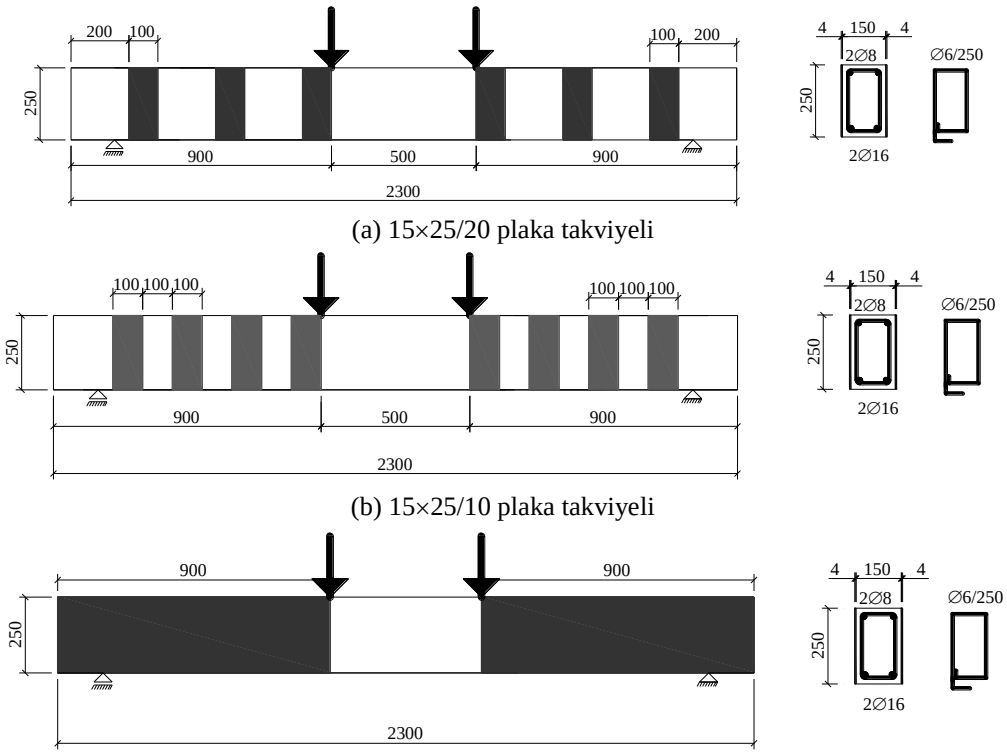
Tablo 2. Deney numunelerinde kullanılan donatı özellikleri

Çap (mm)	Akma dayanımı (N/mm^2)	Çekme dayanımı (N/mm^2)
6	425.3	480.0
8	521.75	641.6
16	541.50	643.05

Tablo 3. Küp numunelere ait basınç dayanımları

Numune	Kür tankında bekleme süresi (Gün)	Küp numunenin basınç dayanımı (MPa)
1	7	24.4
2	7	23.7
3	28	36.8
4	28	32.0
5	28	30.8

Güçlendirilecek olan numunelerin kesme bölgelerine üç farklı şekilde çelik plaka yapıştırılmıştır. Kiriş yan yüzeylerine yapıştırılan çelik plakanın bu farklı uygulamaları Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3.a ve Şekil 3.b'deki numunelerde 10cm×25cm, Şekil 3.c'de ise 90cm×25cm boyutlarında çelik plaka kullanılmıştır.



(a) 15×25/20 plaka takviyeli

(b) 15×25/10 plaka takviyeli

(c) 90×25 plaka takviyeli

Şekil 3. Kiriş yan yüzeylerine yapıştırılan çelik plakanın farklı uygulamaları

Kiriş numuneler 28 günlük mukavemetini kazandıktan sonra güçlendirilecek olan kirişlerin yüzey hazırlığı yapılmıştır. Bunun için öncelikle çelik plakaların kirişlere yapıştırılacak olan yüzeyi taşlanarak pürüzlendirilmiştir. Kiriş numunenin yan yüzeylerinde ise murç yardımıyla betonun zayıf tabakaları alınarak yüzey pürüzlendirilmiştir. Hazırlığı tamamlanan beton ve çelik plaka yüzeyi iyi bir yapışmanın sağlanabilmesi için hava kompresörü ile temizlenmiş ve yüzeydeki toz tabakası uzaklaştırılmıştır (Şekil 4). Çelik plakalar tiner ile temizlenerek üzerindeki yağ tabakası temizlenmiştir.



Şekil 4. Çelik plakaların taşlanması ve hava kompresörü ile yüzey temizliği

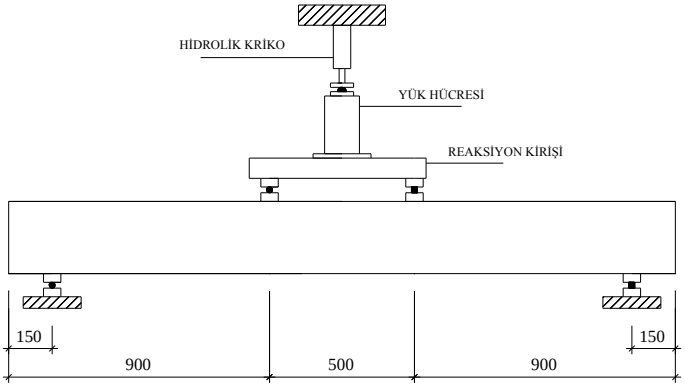
Daha sonra hem pürüzlendirilen çelik plaka yüzeyine hem de beton yüzeyine yaklaşık 1 cm kalınlığında çift bileşenli epoksi sıkılarak spatula yardımıyla yüzeye homojen olarak yayılması sağlanmıştır. Epoksi uygulanan plakalar işkence yardımıyla sıkıştırılarak iyi bir yapışmanın sağlanması amaçlanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Çelik plakaların epoksi yardımıyla kirişe yapıştırılması

3. BULGULAR

Hazırlanan kiriş numunelerinin deney düzeneği Şekil 6'da verildiği gibi hazırlanmıştır. Etriye sıklaştırmalı referans numuneler RN1 ve RN2, etriye sıklaştırmasız referans numuneler RN3 ve RN4, etriye sıklaştırmasız güçlendirilen numuneler GN5, GN6 ve GN7 her biri sırasıyla deney düzeneğine yerleştirilerek deneyleri yapılmıştır. Yer değiştirmelerin belirlenebilmesi için kirişin orta bölgesi altına 2 adet deplasman ölçer yerleştirilmiştir.



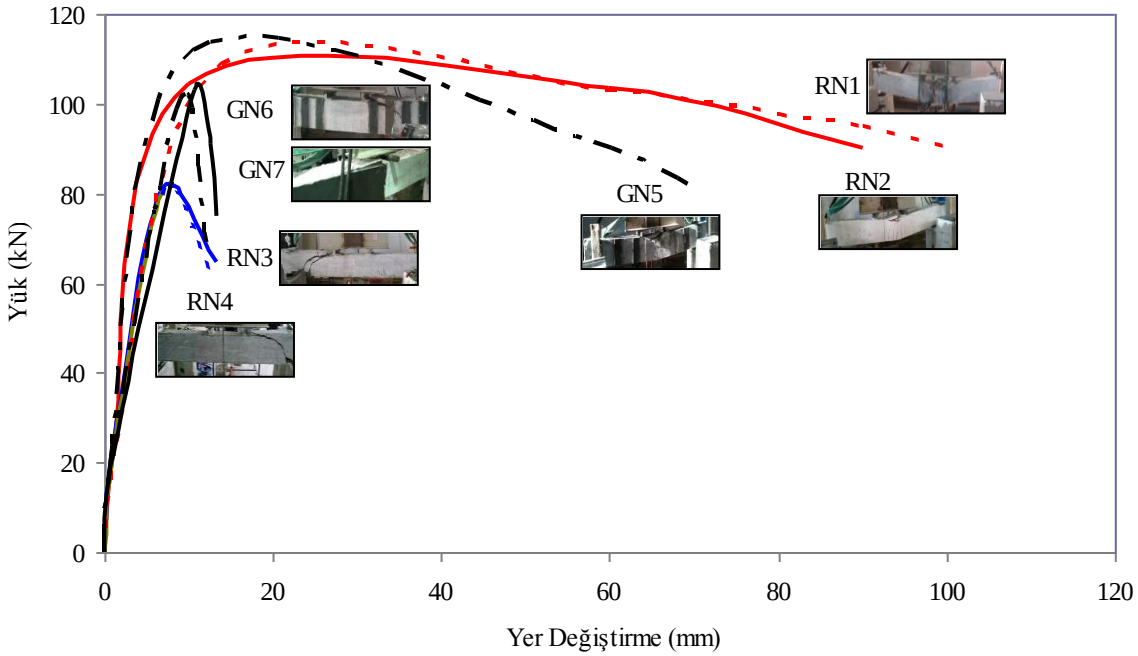
Şekil 6. Yükleme düzeneği

Yapılan deneyler sonucunda kirişlere ait elde edilen hasar durumları ile ilgili fotoğraflar Şekil 7'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi etriye sıklaştırmalı referans numuneler (RN1 ve RN2) eğilme kırılması ile, etriye sıklaştırmasız referans numuneler (RN3 ve RN4) ise eğik çekme kırılması ile güç tükenme sınırına ulaşmıştır.

Etriye sıklaştırılması yapılmamış numunelerden yan yüzeyine 15×25/20 plaka yapıştırılarak güçlendirilen numunede (GN5) beklendiği gibi eğik çekme kırılması engellenmiş ve kiriş güç tükenmesine eğilme kırılması ile ulaşmıştır. Böylece elemanın hem sünekliği hem de enerji tüketme kapasitesi artırılmıştır. Ancak diğer güçlendirilmiş numunelerde (GN6 ve GN7) yük taşıma kapasitesi yaklaşık olarak eğilme kapasitesine ulaşmasına rağmen kırılma eğik çekme kırılması ile oluşmuş ve eleman sünekliği ve enerji tüketme kapasitesi artırılamamıştır. Güçlendirilen numunelerin güç tükenmesi genellikle çelik plakaların betonu koparark kirişten ayrılması ile ortaya çıkmıştır. Numunelere ait elde edilen yük-yer değiştirme eğrileri Şekil 8'de, süneklik ve enerji tüketme kapasiteleri ise Tablo 4' te verilmiştir.



Şekil 7. Kiriş numunelerin güç tükenme seviyesindeki görünümleri



Şekil 8. Numunelere ait elde edilen yük-yer değiştirme eğrileri

Tablo 4. Numunelerin deney sonuçları

Numune	Süneklik	Akma değerleri		Güç tükenme sınırı		Enerji Tüketimi (kN.mm)
		Yük (kN)	Yer değiştirme (mm)	Yük (kN)	Yer değiştirme (mm)	
RN1	7.1	104	14	90	100	9592
RN2	9.0	108	10	92	90	9299
RN3	2.2	80	6	65	13	751
RN4	1.7	81	7	63	12	675
GN5	6.4	111	11	80	70	6313
GN6	1.2	103	11	75	13	780
GN7	1.3	100	9	70	12	723

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Eğilme kırılması sünek bir kırılmadır ve enerji tüketimi oldukça fazladır. Kesme kırılması ise ani, gevrek ve enerji tüketimi düşük bir göçme biçimidir. Bu nedenle kirişlerdeki kesme kırılmasının önlenmesi son derece önemlidir. Bu çalışmada, kesme dayanımı yetersiz kiriş numunelere çift bileşenli epoksi ile üç farklı şekilde çelik plaka yapıştırılarak kesme kırılmasının önlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, etriye sıklaştırmalı ve etriye sıklaştırmasız numune sonuçları ile kıyaslanarak yöntemin etkinliği araştırılmıştır.

Yapılan deneylerde, RN1 ve RN2 etriye sıklaştırılmalı referans numuneler güç tükenmesine eğilme kapasitesinden ulaşırken, RN3 ve RN4 etriye sıklaştırmasız referans numuneler eğik çekme kırılması ile ulaşmıştır. RN1 ve RN2 kirişlerinin sünekliği ve enerji tüketme kapasitesi yüksekken, RN3 ve RN4 kirişlerinde yetersiz düzeydedir.

Aynı kesit boyutlarına, beton dayanımına, enine ve boyuna donatıya sahip GN5, GN6 ve GN7 numunelerinin tek farklılığı güçlendirme sırasında farklı miktarlarda çelik plakaların kesme bölgelerine

uygulanmasıdır. Kiriş yan yüzeyine 15×25/20 plaka yapıştırılarak güçlendirilen numunede (GN5) beklendiği gibi eğik çekme kırılması engellenmiş ve kiriş güç tükenmesine eğilme kırılması ile ulaşmıştır. Böylece kiriş elemanın hem sünekliği hem de enerji tüketme kapasitesi artırılmıştır. Ancak yan yüzeyine 15×25/10 (GN6) ve 90×25 (GN7) plaka yapıştırılarak güçlendirilen diğer numunelerde yük taşıma kapasitesi yaklaşık olarak eğilme kapasitesine ulaşmasına rağmen kırılma eğik çekme kırılması ile oluşmuş ve eleman sünekliği ve enerji tüketme kapasitesi artırılamamıştır. Bunun nedeninin epoksinin işlenebilirlik süresinin kısa olmasından dolayı özellikle bütün plakalı kirişte epoksi uygulamasının zorlaşması ve işçiliğin kalitesinin düşmesi olarak ön görülmüştür.

Elde edilen sonuçlardan, kirişlerin kesmeye karşı güçlendirilmesinde epoksi ile çelik plaka yapıştırılması uygulamasının kullanılabilir bir yöntem olduğu söylenebilir. Ancak epoksi uygulamasında işçilik kalitesinin yüksek olması, çelik plaka yapıştırılacak bölgelerin dikkatli belirlenmesi gerekmektedir. Deneyler sırasında, çelik plakalar betonu koparak kirişten ayrılmıştır. Bu ayrılmayı önlemek amacıyla, çelik plakaların kiriş elemanlara epoksi ile yapıştırılması yanında çelik bulonlarla da plakaların sabitlenmesi sağlanabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209 projesi ile desteklenmiştir. TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

[1] ARSLAN, M. "Betonarme Kirişlerin Epoksiyle Yapıştırılan Çelik Levhalarla Güçlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1991.
[2] TANKUT, T., ARSLAN, M., "Epoksili Çelik Plaka İle Güçlendirilmiş Betonarme Kiriş Davranışı", IMO Teknik Dergi, 3(4), 575-584, 1992.
[3] ADHIKARY, B.B., MUTSUYOSHI, H., SANO, M., "Shear Strengthing of Reinforced Concrete Beams Using Steel Plates Bonded on Beam Web: Expriments and Analysis", Construction and Building Materials, 14, 237-244, 2000.
[4] ALTIN, S., ANIL, Ö., "Betonarme Kirişlerin Dıştan Yapıştırılan Çelik Levhalarla Kesmeye Karşı Güçlendirilmesi", Türkiye İnşaat Mühendisliği XVII. Teknik Kongresi, İstanbul, Türkiye, 2003.
[5] ÖNAL, M., TOKGÖZ, H., "The Experımental Study of Repaired Beams Using 3-Surfaced Adhesively Bonded Stell Plates", Journal of Engineering and Natural Sciences, Sigma, 1, 96-107, 2005.
[6] UYSAL, A., "Betonarme Kirişlerin Epoksiyle Yapıştırılan Delikli Çelik Levhalarla Güçlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
[7] AYKAÇ, S., ÖZBEK E., "T Kesitli Betonarme Kirişlerin Çelik Levhalar İle Güçlendirmesi", İMO Teknik Dergi, 344, 5319- 5334, 2011.