

ISIL İŞLEM İLE ONARILAN NARİN ÇELİK PLAKALARIN CAM FİBER TAKVİYELİ POLİMERLER (GFRP) İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Muharrem AKTAŞ, Emine AYDIN

Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya
muharrema@sakarya.edu.tr, emineb@sakarya.edu.tr

(Geliş/Received: 12.12.2011; Kabul/Accepted: 20.02.2012)

ÖZET

Çelik yapı elemanları gerek eğilmede gerekse aksel basınç yükleri altında yerel burkulma problemleriyle karşılaşırlar. Hasar gören bu elemanların yenisi ile değiştirilmesi yerine ısı işlem uygulanarak düzeltilmesi mümkündür. Yapılabilecek bu düzeltme işlemi deprem gibi acil durumlarda yerel burkulma yapı elemanlarının hızlı bir şekilde onarılmasında kullanılabilir. Ancak yapılan bu ısı ile düzeltme işlemi, gerek elemanın rijitliğinde azalma meydana getireceğinden dolayı gerekse kalıcı geometrik kusurlar oluşturacağından dolayı geçici bir onarımdır. Ayrıca bu işlemden sonra, onarılan elemanın burkulma davranışı şüphesiz farklı olacaktır. Bu çalışmada, ısı işlem ile çelik yapı elemanlarına uygulanan geçici onarımın kalıcı bir onarım haline getirebilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çelik plaka elemanlarına ısı işlemden sonra cam fiber takviyeli polimerler yapıştırılmıştır. Güçlendirme işlemi için çeşitli yapıştırma kompozisyonları denenmiştir. Deneysel olan bu çalışma sonucunda önerilen yöntemin sonuçları tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Cam fiber takviyeli polimerler (GFRP), Isıl işlem, Çelik plaka, Yerel burkulma, Güçlendirme

STRENGTHENING OF HEAT TREATED SLENDER STEEL PLATES WITH GLASS FIBER REINFORCED POLYMERS (GFRP)

ABSTRACT

Steel structural elements face local buckling problems under both bending and axial compressive loads. It is possible to rectify this buckled element by applying heat treatment method instead of replacing it with a new one. This retrofit process can quickly be performed to repair locally buckled structural elements in emergency situations such as earthquakes. However; heat treatment technique is addressed as temporary retrofit due to the decrease in the stiffness of the original material and the existence of permanent geometrical imperfections implemented in the repaired structural element. Buckling behavior of the repaired element truly will be different from the original element because of these effects. This study aims to change this temporary retrofit into a permanent one. Following the application of heat treatment techniques, glass fiber reinforced polymers have been bonded to surfaces to investigate the different bonding compositions for strengthening purpose. The outcomes of this experimental study are evaluated to validate the proposed method.

Keywords: Glass Fiber Reinforced Polymers (GFRP), Heat treatment, Steel Plates, Local Buckling, Strengthening

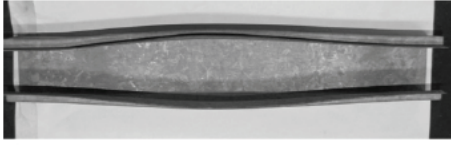
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çelik üst yapı elemanları (binalar, endüstri yapıları, vb.) veya çelik alt yapı elemanları (köprüler, vb.) deprem ve yangın gibi afetler sonucunda göçmediği ancak hasar gördüğü hallerde hızlı bir şekilde

onarılarak geçici de olsa hizmete sunulmalıdır. Deprem riski yüksek bölgelerde yer alan endüstri yapılarının olası bir deprem sonrası hızlı bir şekilde onararak üretime sokulması ülke ekonomileri açısından büyük önem arz etmektedir. Örneğin, 1995 Hanshin-Awaji (Japonya) depreminden sonra bu

amaçla yapılmış onarımlar, acil yardımların yerlerine ulaştırılması konusunda önem sergilemiştir. Bu tür acil onarımlar için ısıl işlem uygulanarak presleme yöntemi önerilmektedir.

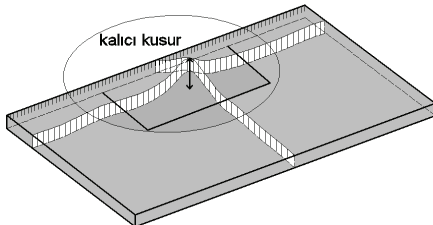
İnce cidarlı olan çelik yapı elemanları narinliklerinden dolayı gerek eğilmede gerekse aksenal yük altında yerel burkulma problemiyle karşı karşıyadır (Şekil 1). Ani yüklemeler ve deprem yüklemeleri altında çelik elemanlar yerel ve global burkulma davranışı gösterirler. Burkulma sonucu kararsız denge haline geçen bu elemanlar yapı güvenliği açısından kabul edilemezler. Eleman rijitliği, malzeme elastik modülü, eleman narinliği, var olan doğal kusurlar burkulmayı etkileyen faktörlerdir.



Şekil 1. Basınç elemanlarında yerel burkulma (Local buckling in compression members) [1]

Literatürde önerilen geçici onarım metodunda hasar gören çelik elemanlar ısıl işleme tabi tutulmakta ve sonrasında yumuşayan bölgelerdeki geometrik kusurları yok etmek için presleme yapılmakta ve ardından soğutulmaya bırakılmaktadır. Kim ve Hirohata [2] yapmış oldukları çalışmada aksenal yük altında test ettiği artı kesitli basınç elemanlarına ait burkulma yüklerini raporlamışlardır. Daha sonra deforme olan aynı deney numunelerini ısıl işlem ile düzelterek tekrar aksenal basınç yükü ile test etmişlerdir. Sonuçlar arasında yapılan kıyaslamalara göre her iki durumda da maksimum yükler arasında kayda değer fark bulunmadığı ancak artık gerilmelerden dolayı ısıl işlem gören numunelerin rijitliklerinde azalma meydana geldiğini gözlemlemişlerdir.

Ayrıca preslemenin levha birleşim noktalarında tam olarak yapılamaması ve bunun sonucu olarak kalıcı deplasmanların giderilememesinden dolayı (Şekil 2) elemanların basınç altında davranışları değişmektedir [3].



Şekil 2. Kalıcı gerilmeler ve kalıcı geometrik kusurlar (Residual stresses and geometrical imperfections)

Dolayısıyla onarım için yapılan bu işlemler sonrasında kesit rijitliğinde azalma, olası burkulma modunda değişiklik ve geometrik kusurlarda artış olmaktadır. Bu tür kusurlu elemanların hiçbir zaman

teorik Euler burkulma yüküne ulaşamayacak olması, ısıl işleme yapılan onarımı geçici kılmaktadır. Kalıcı onarım hasar gören elemanın yeni bir elemanla değiştirilmesi ile sağlanmaktadır.

Güven [4] çelik plakaların yerel burkulma performanslarını artırmak üzere çelik plakalara cam fiber takviyeli polimerler eklemiş ve elemanların basınç performanslarının %11 arttığını raporlamıştır. Harries ve diğerleri [5] yapısal çelik kesitlerin basınç altında kararlılık durumlarını artırmak amacıyla hem CFRP hem de GFRP kullanmış ve özellikle kesitlerin yerel burkulma davranışında olumlu katkılar sağladıklarını belirtmişlerdir. Ayrıca literatürde çelik eğilme elemanlarına karbon fiber uygulayarak güçlendirme çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda Scherch ve diğerleri [6,7] çelik köprü kirişlerinin güçlendirilmesinde CFRP kullanmışlardır. Ayrıca Accord ve diğerleri [8] çelik elemanların sünekliliğini artırmak için çalışmalarında CFRP kullanmışlardır. Ancak karbon fiberler cam fiberlere göre oldukça pahalı bir malzemedir. Güçlendirmede hasar gören bir elemanın yenisiyle değiştirilmesi yerine fiber takviyeli polimer ile onarılması yapılırken bu ekonomik analizin yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, geçici onarım olan ısıl işlem ve presleme sonrasında elemana Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) olarak bilinen cam fiber takviyeli polimerlerin epoksi ile yapıştırılması ile yapılan onarımın kalıcı kılmaktır. Böylece ısıl işlem uygulanan levhaların azalan yük taşıma kapasitelerinin ve rijitliklerinin artırılması sağlanacaktır. Hasar görmemiş bir çelik elemanın burkulma yükü ve rijitlikleri, ısıl işlem ile onarılan elemanın burkulma yükü ve rijitlikleri kıyaslanarak meydana gelen değişim eklenen polimerlerle giderilmeye çalışılmıştır. Küçük ölçekli deneylerden oluşan bu çalışma polimerlerin farklı deneyleştirme kompozisyonlarının ve yapıştırma yüzeyinin güçlendirmeye olan katkısını incelemektedir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Deney programı 2 önemli aşamadan oluşmaktadır:

1. Burkulan elemanlar, literatürde belirtilen teknik ile ısıl işleme tabi tutulmuş ve preslenerek onarılmıştır. Onarım sonrası tekrar yüklenerek burkulma yükleri kaydedilmiştir.
2. Burkulan elemanlar, ısıl işlem ile onarıldıktan sonra GFRP ile güçlendirilmiş ve basınç yüklemesi ile test edilmiştir.

Elde edilen burkulma yükleri ve eleman rijitliklikleri aynı plakanın referans olarak adlandırılan onarım görmemiş halinin burkulma yükü ile kıyaslanmıştır.

2.1. Malzemelerin Mekanik Özellikleri (Mechanical Properties of Materials)

Deneysel olarak kullanılan malzemelere ait mekanik özellikleri literatür ve üretici firmalardan (çelik [9], GFRP [10] ve epoksi [11]) alınmıştır. Malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo1. Malzemelere ait mekanik özellikler (Mechanical properties of materials)

	Çelik	GFRP	Epoksi
Elastisite Modülü (MPa)	210000	29330	---
Kayma Modülü (MPa)	81000	3200	---
Akma Dayanımı (MPa)	240	---	---
Çekme Dayanımı (MPa)	370	560	---
Poisson Oranı	0,3	0,33	---
Çeliğe Bağlanma Dayanımı (MPa)	---	---	39,3

2.2. Deneysel Numunelerin Hazırlanması (Preparation of the Test Specimens)

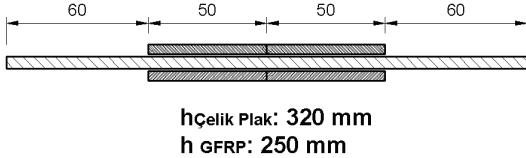
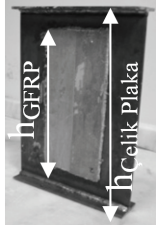
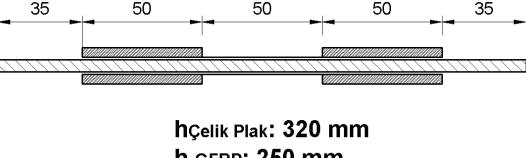
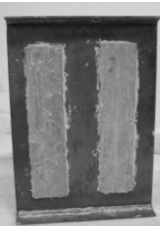
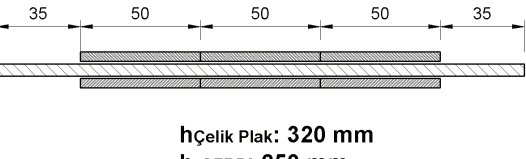

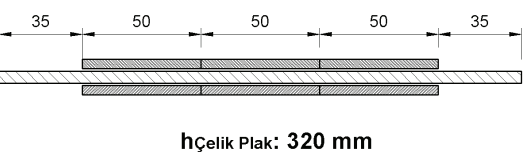

Deneysel numuneleri, çelik plakalara GFRP yapıştırma kompozisyonlarına göre Grup 1, 2 ve 3 olmak üzere üç grupta toplanmıştır. Yapıştırma yüzeyinin etkisinin sonuçlara etkisini gözlemlemek amacıyla da Grup 4

adı ile bir grup oluşturulmuştur. GFRP’ ler yerleştirilirken plaka serbest uçlarına olan mesafenin etkisi (Grup 1-2) ve GFRP miktarının etkisini (Grup 1-3) gözlemlemek adına bu gruplar oluşturulmuştur. Ayrıca GFRP yapıştırma yüzeyinin sonuçlara etkisini gözlemlemek adına Grup 4’ te çelik plaka yüzeyleri taşlama işlemine tabi tutulmuştur. Bütün deney numuneleri ikişer adet hazırlanmıştır. Sonuçlar bunların ortalaması hesaplanarak verilmiştir. Tablo 2’ de çelik plakalara uygulanan GFRP kompozisyonları, kesitleri ve resimleri gösterilmektedir.

2.2.1. Isıl İşlem ve Düzeltme (Heat Treatment and Geometrical Correction)

Eksenel basınç yükü uygulanarak burkulmuş plakalar, ısıtma işlemi ve presleme işlemi uygulanarak eski şeklini alması sağlanmıştır. Isıtma işlemi oksijen-gaz alevi ile verilmiştir. Bu esnada çelik plakaların A1 dönüşüm sıcaklığı olan 550~650 C° ulaşmaması için düzenli olarak thermal couple ile ölçümler alınmıştır (Şekil 3)

Tablo 2. Çelik plakalara GFRP yapıştırma kompozisyonları (Bonding composition of GFRP on steel plates)

	GFRP Kompozisyonu	Kesit	Deneysel Numunesi
GRUP 1	Levhanın ortasında, çift yüzeye ikişer adet GFRP plaka uygulaması	 <p>$h_{\text{Çelik Plak}}: 320 \text{ mm}$ $h_{\text{GFRP}}: 250 \text{ mm}$</p>	
GRUP 2	Levhanın uç kenarlarına, çift yüzeye ikişer adet GFRP plaka uygulaması	 <p>$h_{\text{Çelik Plak}}: 320 \text{ mm}$ $h_{\text{GFRP}}: 250 \text{ mm}$</p>	
GRUP 3	Levhanın ortasında, çift yüzeye üçer adet GFRP plaka uygulanması	 <p>$h_{\text{Çelik Plak}}: 320 \text{ mm}$ $h_{\text{GFRP}}: 250 \text{ mm}$</p>	
GRUP 4	Taşlama işlemi uygulanan çift yüzeye üçer adet GFRP plaka uygulanması	 <p>$h_{\text{Çelik Plak}}: 320 \text{ mm}$ $h_{\text{GFRP}}: 250 \text{ mm}$</p>	

2.2.2. GFRP Uygulama (Application of GFRP)

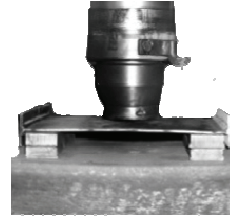
GFRP uygulamasının yapılacağı yüzeyler kirden, yağdan ve varsa pastan arındırılmalıdır. Bu işlem tel fırça kullanılarak kolayca uygulanabilir. Kullanılacak olan epoksi üretici firmanın belirttiği oranlarda ve oda sıcaklığında mikser kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan epoksi GFRP yüzeyine homojen bir şekilde mümkün olduğunca aynı kalınlıkta sürülmüştür (Şekil 4-a). Çelik yüzeye yapıştırılan GFRP'ler üretici firmanın epoksi için belirttiği 2 haftalık sertleşme süresi boyunca işkence aletleri ile sıkıştırılmıştır. Bu süre sonunda işkenceler çıkartılarak numuneler teste hazır hale getirilmiştir (Şekil 4-b). Bu çalışma kapsamında ayrıca yapıştırma yüzeyinin sonuçlara etkisini yorumlayabilmek amacıyla Grup 4'te bulunan test numunelerinin yüzeylerine taşlama işlemi ile pürüzlülük verilmiştir (Şekil 4-c).

2.3. Deney Düzenegi (Test Setup)

Eksenel basınç deneyi uygulanması zor olan deneylerdendir. Ekzantrite oluşturmadan eksenel basınç yükü uygulamak oldukça dikkat isteyen bir işlemdir. Bu yüzden deneyler küçük numuneler hazırlanarak yapılmıştır. 3000 kN kapasiteli basınç makinasına bağlı 8 kanallı data logger ile okumalar alınmıştır. Deney esnasında yükün yanı sıra yatay ve düşey deplasmanlar da kaydedilmiştir. Deney düzeneginin ve ölçüm cihazlarının yerleşimi ile ilgili görüntüler Şekil 5 'te verilmiştir. Yatay deplasman ölçümleri levhanın düşey doğrultusundaki orta noktasında alınmıştır. Düşey deplasmanlar alt mesnet referans alınarak ölçülmüştür.



a) Isıl işlem ve thermal couple ile ölçüm alınması

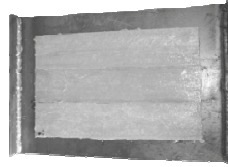


b) Isıl işlem sonrası elemanın preslenerek düzeltilmesi

Şekil 3. Isıl işlem uygulama adımları (Steps of heat treatment application)



a) Epoksi uygulaması



b) GFRP ile güçlendirilmiş numune

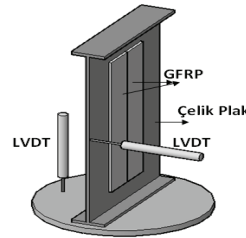


c) Yüzey pürüzlülüğünün artırılması

Şekil 4. GFRP uygulama aşamaları (Steps of GFRP application)



a) Deney düzenegi



b) Ölçüm cihazlarının yerleşimi

Şekil 5. Test düzenegi ve ölçüm cihazları (Test setup and testing instrumentation)

3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME (TEST RESULTS AND DISCUSSIONS)

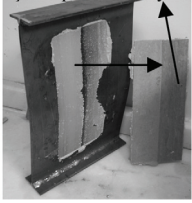



Daha önce de belirtildiği üzere deneyler her bir numune için 2 aşamada gerçekleştirilmiştir. Ortalama burkulma yükü 74,04 kN olan plakalar burkulduktan sonra ısıtılardan geçirilerek geometrileri düzeltilmiş ve tekrar burkulma testine tabi tutularak ortalama 59,31 kN olarak ölçülmüştür. Böylece sadece ısıtılardan yapılarak yapılan onarımın orijinal numunenin burkulma yükünden yaklaşık %20 daha az burkulma kapasitesi olduğu görülmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan onarım ve güçlendirme sonucu elde edilen burkulma yükleri Tablo 3' te verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde güçlendirme sonucu sadece referans numunenin dayanımı yakalanmamış % 107' lere varan bir dayanım artışı yakalanmıştır.

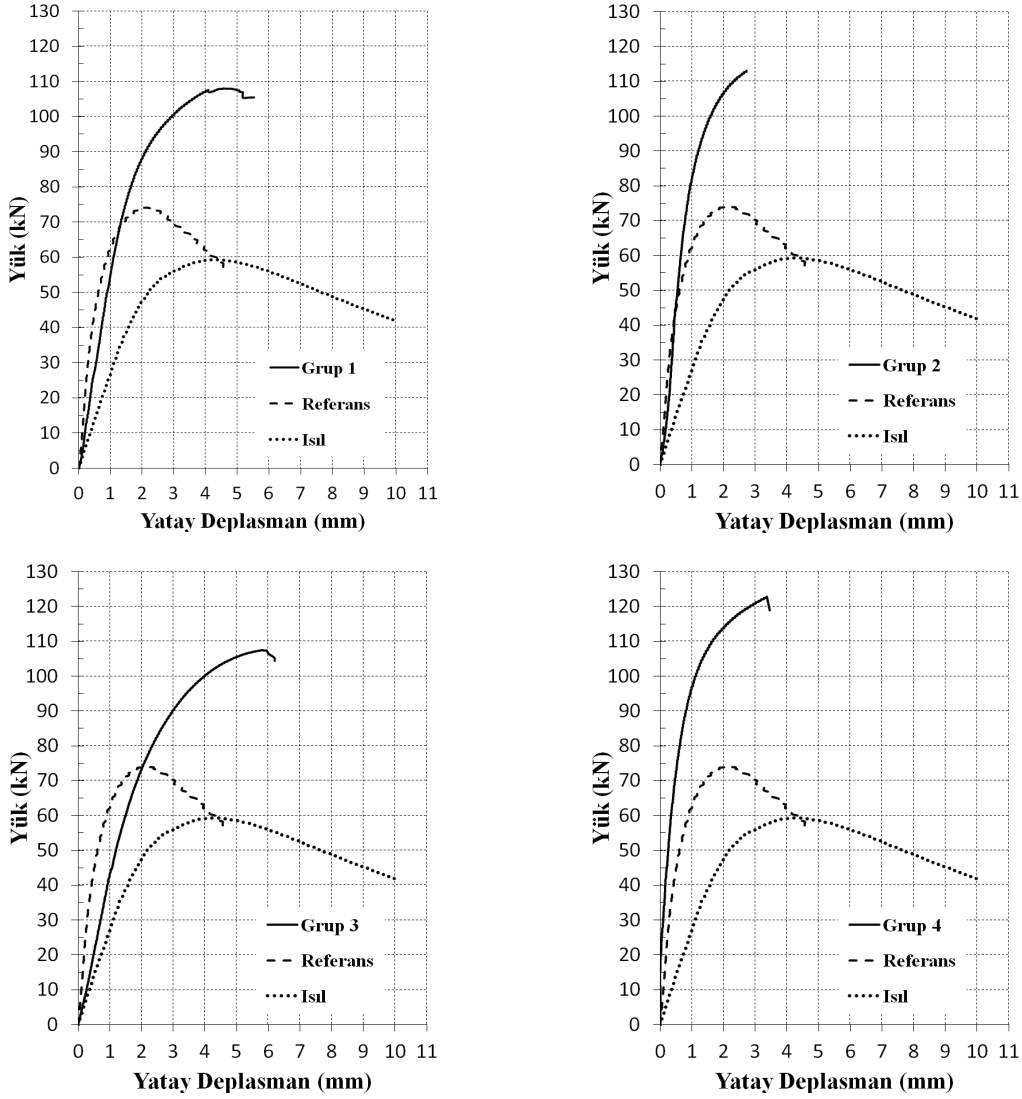
Isıl işlem yaparak onarılan elemanlar ile onarım

sonrası güçlendirilen elemanların referans elemanla kıyaslandığı grafikler Şekil 6' da her bir grup için ayrı ayrı verilmiştir. Grafikler incelendiğinde her grupta güçlendirilmiş elemanların daha yüksek burkulma yüküne ulaştığı gözlemlenmektedir. Her bir grubun rijitliği referans elemanın rijitliği ile kıyaslandığında ortak bir eğilim görülmemektedir. Ancak söz konusu rijitlikler sadece ısıtılardan görmüş olan elemanlarla kıyaslandığında artış gözlemlenmektedir.

GFRP' lerin plaka serbest uçlarına olan mesafelerinin sonuçlara etkisini gözlemlemek için oluşturulan Grup1 ve Grup 2' ye ait sonuçlar incelendiğinde burkulma yüklerinde bariz bir fark bulunmamakla birlikte Grup 2' nin rijitliğinin referans plaka ile aynı olduğu görülmektedir. Bunun nedeni GFRP' ler kenarlara yakın bulunduğu çelik plakanın dört kenarı mesnetli bir plaka gibi rijit davranma eğilimine sahip olmasıdır. Ayrıca göçme modları incelendiğinde

Tablo 3. Referans, Isıl ve Isıl+ GFRP deney elemanlarının maksimum yük kapasiteleri (Max. load capacity of Reference, Heat Treated, Heat Treated+GFRP test members)

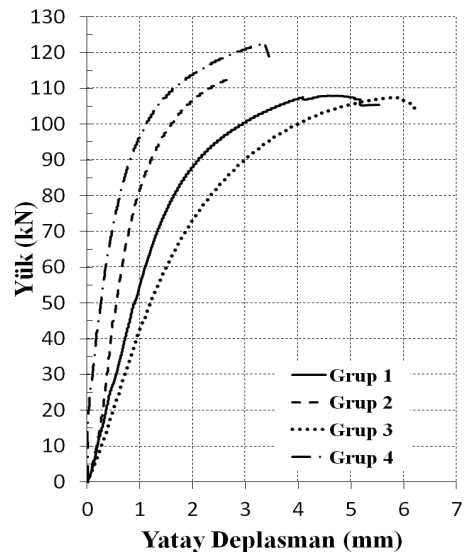
	Referans Maksimum yük (kN)	Isıl Maksimum yük (kN)	% Fark (Isıl- Referans)	Isıl+GFRP Maksimum yük (kN)	% Fark (Isıl- Isıl+GFRP)	Göçme Modları
Grup 1	74,04	59,31	-20	108,04	82	GFRP Çelik plakadan sıyrıldı 
Grup 2				113,07	91	GFRP Çelik plakadan sıyrıldı GFRP Çelik plakadan sıyrılmadı 
Grup 3				107,49	81	
Grup 4				122,84	107	



Şekil 6. Test gruplarına ait yük deplasman grafikleri (Load deflection plots of test groups)

Grup1’de oluşan bir kırılma çizgisi tüm epoksi katmanında yayıldığından birleşik iki plaka aynı anda ayrılmıştır. Oysa Grup 2’de plakalar arasında boşluk bırakılarak bir levhada oluşan kopma çizgisinin diğerine geçmesi engellendiğinden levhalar ayrı ayrı zamanlarda ayrılmıştır. Bu yüzden Grup 2 gerek Grup1 ile gerekse kendisinden daha fazla GFRP alanına sahip Grup 3 ile kıyaslandığında daha rijit davranmaktadır.

GFRP miktarının etkisini gözlemek adına oluşturulan Grup1 ve Grup3 kıyaslandığında (Şekil 7) daha az GFRP plakaya sahip olan Grup1’in daha rijit davrandığı gözlemlenmiştir. Maksimum basınç kuvvetlerinde ise %1’lik bir fark gözlemlenmiştir. Bir önceki paragrafta belirtildiği üzere bunun sebebi göçme modunun epoksiden kaynaklanmasıdır. Epoksidede meydana gelen kırılma hatları birbirine sürekli yapışık üç GFRP plakasını aynı anda çelik plakadan ayırmaktadır. Bu Tablo 3’de verilen göçme modu fotoğraflarında da açıkça görülmektedir.



Şekil 7. GFRP kompozisyonlarının karşılaştırılması (Comparison of GFRP compositions)

Epoksi uygulama yüzeyinin sonuçlara etkisini görmek için hazırlanan Grup 4'ün sonuçları ile aynı GFRP kompozisyonuna sahip Grup 3'e ait sonuçlar karşılaştırıldığında gerek maksimum basınç yükünde gerekse rijitlikte önemli farklar ortaya çıkmaktadır. Tüm deney elemanlarında göçme modu epoksiden sıyrılma olduğu için epoksinin çelik elemana tutulmasının artırıldığı bu deney numunesinde maksimum basınç kuvvetine ulaşılmıştır. Ayrıca en rijit davranış yine bu numunede elde edilmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışma sonuçlarına göre yaygın olarak kullanılan geçici onarım metodu ile güçlendirme metodu birleştirilerek kalıcı onarım elde edilebileceği görülmüştür. Ancak yöntemin uygulamasında aşağıda belirtilen noktalara dikkat edilmelidir:

- GFRP uygulama lokasyonları plaka serbest uçlarına yakın olmalıdır.
- Epoksi çelik yüzeyden sıyrıldığından dolayı GFRP kopmaya ulaşmamaktadır.
- Epoksi ile çelik yüzey arasındaki aderansı artırma adına yüzey pürüzlendirmesi olumlu sonuçlar vermektedir.
- GFRP miktarında artışa gidildiğinde plakalar arasında boşluklar bırakılarak epoksi çatlaklarındaki ilerlemeleri durdurmak adına sınırlar oluşturulmalıdır.

Bundan sonraki çalışmalarda boyut etkisinin etkilerini göze alacak çalışmalar şeklinde olmalıdır. Ayrıca bu metotla onarılmış çelik yapı elemanları yerel burkulmalara karşı denenmelidir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma, Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından 2010-01-04-014 proje numarası ile desteklenmiştir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Ranawaka, T., Mahendra, M., "Distortional buckling tests of cold-formed steel compression members at elevated temperatures", **Journal of Constructional Steel Research**, Cilt 65, 249-259, 2009.
2. Hirohata, M., Kim, Y.-C., "Dominant Factors Deciding Compressive Behavior of Cruciform Column Projection Panel Corrected by Heating", **Steel Structures** 7, Cilt 7, 193-199, 2007.
3. Hirohata, M., Kim, Y.-C., Kawazu, H., "Safety Evaluation of Cruciform Columns Corrected by Heating", **Trans. JWRI**, Cilt 33, No 1, 53-58, 2004.
4. Güven, C. A., "Experimental Study On Improving Local Buckling Behavior Of Steel Plates Strengthened With Glass Fiber Reinforced Polymers", Yüksek Lisans Tezi, İzmir İleri Teknoloji Enstitüsü, 2009.
5. Harries, K.A., Peck, A.J., Abraham, E.J., "Enhancing Stability of Structural Steel Sections Using FRP", **Thin-Walled Structures**, Cilt 47, No 10, 2008
6. Rizkalla, S., Dawood, Mina., Schnerch, D., "Development of a Carbon Fiber Reinforced Polymer System For Strengthening Steel Structures", **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, Cilt 39, No 2, 388-397, 2008.
7. Schnerch, D., Dawood, Mina., Rizkalla, S., Sumner E., "Proposed Design For Strengthening of Steel Bridges With FRP Materials", **Construction and Building Materials**, Cilt 21, No 5, 2006.
8. Accord, N.B., Earls C.J., "Use Of Fiber Reinforced Polymer Composite Elements To Enhance Structural Steel Member Ductility" **ASCE J Comp Constr**, Cilt 10, No 4, 337-344, 2006.
9. TS 648 "Çelik Yapıların Hesap Ve Yapım Kuralları".
10. Aydın, F., "Pultrüzyon Metodu İle Üretilen CTP Yapı Elemanlarının Stabilizasyonunda Beton Kullanımı", Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
11. Spabond 345 Epoxy Adhesive System, Product Data Sheet

