

GFRP'lerle Güçlendirilen Çelik Yapı Elemanlarının Mekanik Dayanımının İncelenmesi

Tahir Akgul*

*Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Sakarya Üniversitesi Türkiye

Özet:

Yapılarda yaygın güçlendirme malzemesi olarak kullanılan Cam elyaf takviyeli plastikler (GFRP) ağırlığına oranla yüksek dayanıma, mükemmel korozyon dayanımına ve kötü çevre koşullarına karşı yüksek direncine sahip bir malzemedir. Ayrıca estetik ve esnek bir yapıya sahiptir, bütün şekillerde üretilebilmekte ve kolay bir şekilde uygulanabilmektedir.

Bu çalışmada, çelik çubuk ve lamaların narinlik ve süneklilik düzeyini, hafif, korozyona uğramayan ve uygulama kolaylığına sahip olan cam elyaf (GFRP) takviyeli plastik kullanarak güçlendirmenin ve daha narin boyutlarla daha büyük açıklıkların geçilebilmenin mümkün olabilirdiği incelenmiştir. Güçlendirme öncesi ve sonrasında yapılan çekme, eğilme ve burkulma gibi mekanik testler sonucunda GFRP'nin çelik yapı elemanlarının güçlendirilmesinde % 30 oranında fayda sağlayacağı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: GFRP, Çelik, Mekanik Testler, Güçlendirme

Abstract:

Glass fiber reinforced plastics (GFRP) is used as a common structure for reinforcement material. This material are on excellent option for use as external reinforcing because of their high strength against light weight and excellent corrosion resistance to adverse environmental conditions. It also has aesthetic and flexible structure, it can be produced in different forms and can be applied easily.

In this study, possible feasibilities of crossing the large opening with slender size elements, strengthened with GFRP materials. With this purpose different size of steel plates are used for the mechanical experiments. Results are showed that GFRP materials increases the resistance of structural element nearly 30 % when they used.

Key words: GFRP, Still, Mechanical Test, Reinforcement

1. Giriş

Günümüzde mühendislikte, daha hafif, daha dayanıklı, daha ekonomik olan kompozit veya alaşım malzemeler oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Çelikte bu malzemelerin başında gelmektedir. Endüstride, yapılarda ve makine üretiminde kullanılan çeliklerin türleri 2000'in üstündedir. Bunlar türlerine, bileşimlerine, dayanımlarına, sertliklerine ve kullanma amaçlarına göre sınıflara ayrılmıştır. Yapısal çelik; demirin karbon, silisyum, manganez, alüminyum, bakır, krom, nikel, molibden, bor vb. gibi elementler ile teşkil ettiği alaşımdır. Bu katkı maddelerinin çeşitleri ve oranları çelik cinsine göre değişmektedir.

Çelik ve cam elyaf takviyeli plastikler kendi aralarında özellikleri üst düzey olan malzemelerdir. Buna rağmen günümüzde çelik yapıların git gide yaygınlaşması ve yapılar için büyük önem arz eden eksiklikleri güçlendirme ihtiyacını doğurmuştur. Cam elyaf takviyeli plastikler hafif ve uygulaması çok kolay bir malzeme olduğu için alternatif güçlendirme tekniklerinin arasında gösterilir. Ancak bu iki malzemenin bir araya gelmesinin dayanımında nasıl bir sonuç ortaya çıkaracağı incelenmelidir. Bu iki malzeme çok güçlü bir yapıştırıcı olan epoksi yardımıyla bir araya getirilip, karşılaştırmalar yapılabilmektedir.

Literatür ve uygulama alanları incelendiğinde 2008 yılında ABD'nin Chicago eyaletinde yapılan çalışmalarda FRP malzemelerini yapısal çeliği güçlendirmek için kullanarak çeliğin özellikle burkulma problemi üzerinde durmuş ve bu soruna çözüm aranmıştır. Çalışma sonucunda güçlendirmenin olumlu etkilerinin yanında güçlendirilen numune boyunun uzaması halinde GFRP etkisinin düştüğü tespit edilmiştir[1].

Ülkemizde yapılan bir başka çalışmada ise çelik plakalar, değişken kalınlık ve yüzey alanlarında GFRP ile güçlendirilmiş, GFRP'siz çelik plaka testleri ile burkulmanın stabilizasyonu değerleri karşılaştırılmıştır[2].

İngiltere'de yapılan çalışmada; çatlağı bulunan çelik malzemesini karbon fiber (CFRP) ile güçlendirme yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucu CFRP'nin güçlendirmede oldukça etkili olduğu gözlenmiştir. Burada özellikle eğilme testi üzerinde durulmuştur. [3]

Sakarya üniversitesinde Emine A. Tarafından yapılan doktora çalışmasında ise, ısı işlem ile çelik yapı elemanlarına uygulanan geçici onarımın kalıcı bir onarım haline getirebilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çelik plaka elemanlarına ısı işleminden sonra cam fiber takviyeli polimerler yapıştırılmıştır. Güçlendirme işlemi için çeşitli yapıştırma kompozisyonları denenmiştir. Deneysel olan bu çalışma sonucunda önerilen yöntemin sonuçları tartışılmıştır.[4]

Literatür incelendiğinde yukarıda numune olarak ifade edilen bazı çalışmalar dışında FRP'lerin her türlü yapı malzemesi güçlendirilmesinde kullanıldığı görülmektedir [5,6,7,8]. Öte yandan çelik yapı elemanlarının güçlendirilmesinde FRP kullanımının gittikçe yaygınlaştığı gözlemlenmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çelik

Ülkemizde yapıların çoğunluğunda çelik her ne kadar beton ile birlikte (betonarme) kullanılıyor olsa da bu çalışmada özellikle çeliğin yalnız başına kullanımı ve/veya GFRP ile güçlendirilerek teknik özelliklerinin irdelenmesi sağlanmıştır.

Yapısal çelikte en çok kullanılan çelik St37'dir. 37 sayısı malzemenin çekmedeki kopma mukavemetinin kg/mm^2 cinsinden değeridir. Çelikte yapılarda büyük deformasyonların oluşmaması için akma sınırı limitinden uzak kalması istenir [9].

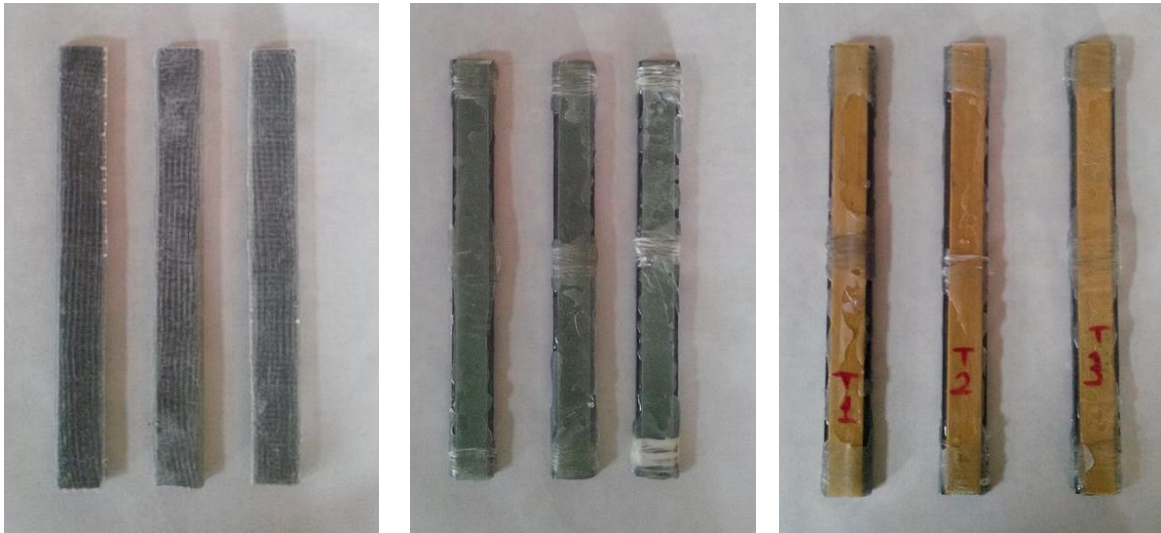
2.2 Cam Elyaf Takviyeli Plastikler (GFRP)

GFRP, cam elyaf ile takviye edilerek fiziksel mukavemet değerleri arttırılmış doymamış polyesterden oluşan kompozit bir malzemedir. GFRP ahşap, beton, metal, cam v.b gibi bir üretim malzemesi olup, kullanım amacına uygun değişik özelliklerin kolayca kazandırılabilmesi özelliği ile diğer üretim malzemelerine göre üstünlük gösterir.

Cam elyaflarının diğer elyaflara kıyasla daha çok kullanım alanı bulabilmesinin bir sebebi de değişik ihtiyaçlara cevap verebilecek çok sayıda çeşitlerinin bulunmasıdır. Kimyasal girdilerin kompozisyonlarına göre farklı cam elyaf türleri üretmek mümkün olmaktadır. Bu çeşitlerin arasında, polyester ve epoksi reçineler ile nispeten yüksek aderans gösteren ve yüksek mekanik mukavemet değerleri veren, Cam elyafı, genellikle alkali düşük 'E' camının, 6-15 mikron çaplarında devamlı proses ile ince lifler halinde çekilmiş türüdür [10,11].

2.3. Çelik numunelerin hazırlanması

Yapılan deneysel çalışmalarda çeliğin dezavantajlı yönlerini geliştirebilmek amacıyla GFRP ile güçlendirilmiş numuneler hazırlanmış ve farklı testlere tabi tutulmuştur. Elde edilen şahit numuneler ile güçlendirilmiş numunelerin deneysel sonuçlar kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Bu amaçla Burkulma, Eğilme ve Çekme deneyleri yapılmıştır. Hazırlanan test numuneleri ASTM A370-10 ve ASTM E8/E8M-09 standartlarına uygun hazırlanmış ve test edilmiştir [12,13]. Tüm numunelerimiz 4x20x200 mm ebatlarında dikdörtgen lamalardır.



Şekil 1. GFRP kumaş ve plakalarla güçlendirilmiş çelik lamalar

Yapılan deneysel çalışmalarda Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat laboratuvarları kullanılmıştır. Burkulma ve üç nokta eğilme testleri 50 kN'luk Shimadzu masaüstü çekme, eğilme, basınç test cihazı çekme testlerinde ise bu cihazın kapasitesi yetersiz kaldığından ALŞA marka aksel çekme makinası kullanılmıştır. Bu makine 400 kN çekme kapasitesine sahip,

hidrolik yüklemeli ve bilgisayar donanımlıdır.

3. Deneysel Sonuçlar

3.1 Eğilme Deneyi Sonuçları

Bu bölümde öncelikle şahit numuneler test edilmiş ve böylece güçlendirme öncesinde ham numunelerin eğilme dayanımı belirlenmiştir. Daha sonra aynı numunelere tek yönlü ve çift yönlü GFRP levhalar epoksi yardımıyla uygulanmış olup, bunlar da aynı deneye tabi tutulmuştur. Yapıştırılan levhalar 2 mm kalınlığında olup tek yönlü levhalarda tüm lifler aynı doğrultuda çift yönlü levhalarda ise liflerin yarısı düşey doğrultuda diğer yarısı da yatay doğrultuda olacak şekilde Esa kimya tarafından üretilen GFRP levhalardır. Güçlendirilmiş numunelerin başlıklardan ayrılmaması amacıyla yine cam elyaf kumaştan başlık uygulaması da yapılmıştır. Bu şekilde üç farklı numune türünden üçer adet hazırlanmış ve test edilmiştir (bkz. şekil 2).



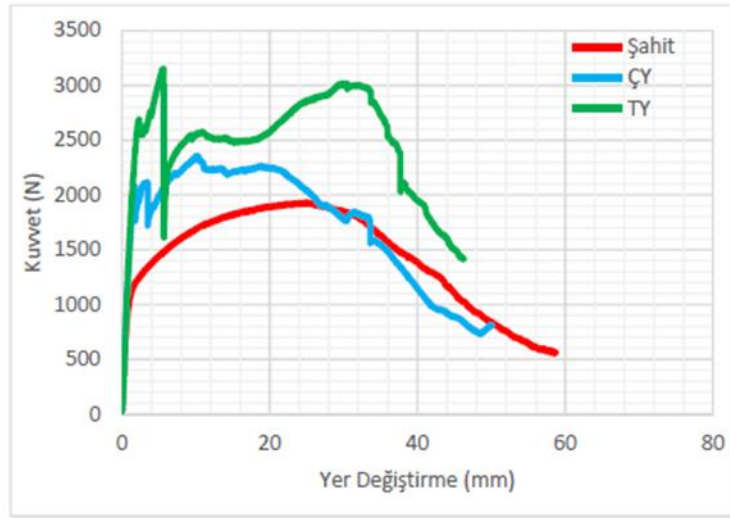
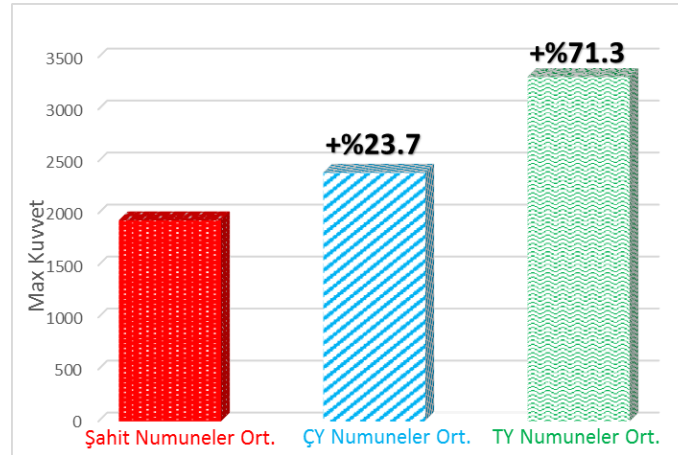
Şekil 2. Eğilme deneyi sonrası Çift Yönlü ve Tek Yönlü GFRP takviyeli numuneler

Deney hızı 5 mm/dk olarak belirlenmiştir. Ön yükleme 40 N olarak seçilmiştir. Ayrıca mesnet açıklığı ise 80 mm olarak seçilmiştir. Deneylerin sonucunda ise Kuvvet-Yer Değiştirme grafiği oluşturulmuştur. Eğilme deneyinde numune U şekli alana kadar deneyin devam etmesi gerekmektedir [12].

Yapılan üç nokta eğilme testi sonucunda; Şahit numunelerimiz ortalama 1933,6 N maksimum yük taşımıştır. Numunelerde standart sapma ise oldukça düşüktür. Bu durum çeliğin homojen bir malzeme olduğundan kaynaklanmaktadır. Şahit numuneler test edildikten sonra, aynı ölçülerdeki ve aynı özellikteki numunelere çift yönlü cam elyaf takviyeli levha epoksi yardımıyla uygulanmıştır. Numunelerin yalnızca çekme bölgesine yani alt tarafa levha uygulanmıştır. Bu numuneler ortalama maksimum 2391,67 N eğilme dayanımı elde edilmiştir. Tek yönlü GFRP levha ile güçlendirilen numuneler max ortalama 3312,5 N eğilme dayanımına sahiptir. Sonuçlar tablo 1 ve şekil 3'te görülmektedir.

Tablo 1. Eğilme deneyi sonuçları

	Şahit Numuneler (N)	Çift Yönlü GFRP Takviyeli Numuneler (N)	Tek Yönlü GFRP Takviyeli Numuneler (N)
1	1935,94	2356,25	3796,88
2	1931,25	2229,69	3156,25
3	1917,19	2589,06	2984,38
Ortalama	1933,6	2391,67	3312,5

**Şekil 3.** Üç nokta eğilme deneyinde elde edilen ortalama kuvvet-yerdeğiştirme grafiği**Şekil 4.** Eğilme deneyi sonucu elde edilen ortalama değerler ve artış yüzdeleri

Çift yönlü GFRP takviyeli numunelerde lifler iki yönlü çalıştığı için, numunede çekme gerilmesinin oluşacağı doğrultudaki liflerin sayısı azdır. Bu nedenle çift yönlü cam elyaf levhada %23.7'lik bir artış sağlanmıştır. Bu artışta epoksinin katkısının oldukça az olduğu

düşünülmektedir.

Tek yönlü GFRP takviyeli numunelerde lifler tek yönde ve numunede çekme gerilmesinin oluşacağı doğrultuda çalışır. Bu da tek yönlü cam elyaf ile güçlendirdiğimiz numunelerde %71.3'lük bir artış elde etmemizi sağlamıştır. Epoksinin %71.3'lük dayanım artışına katkısının oldukça az olduğu düşünülmektedir. (bkz. Şekil 4)

3.2. Burkulma Deneyi Sonuçları

Öncelikle şahit numunelerin burkulma deneyleri yapılmış daha sonra aynı boyutlardaki farklı çelik levhalara epoksi yardımıyla GFRP kumaş sarılmış ve deneye tabi tutulmuştur. Burkulma deneyi için basınç düzeneği kurulmuştur. Deneylerde çelik homojen bir malzeme olduğu için üçer adet numunenin yeterli olacağı düşünülmüştür. Böylece iki farklı numune türünden üçer adet numune hazırlanmış ve test edilmiştir (bkz şekil 5).



Şekil 5. GFRP takviyeli numunelerde burkulma deneyi

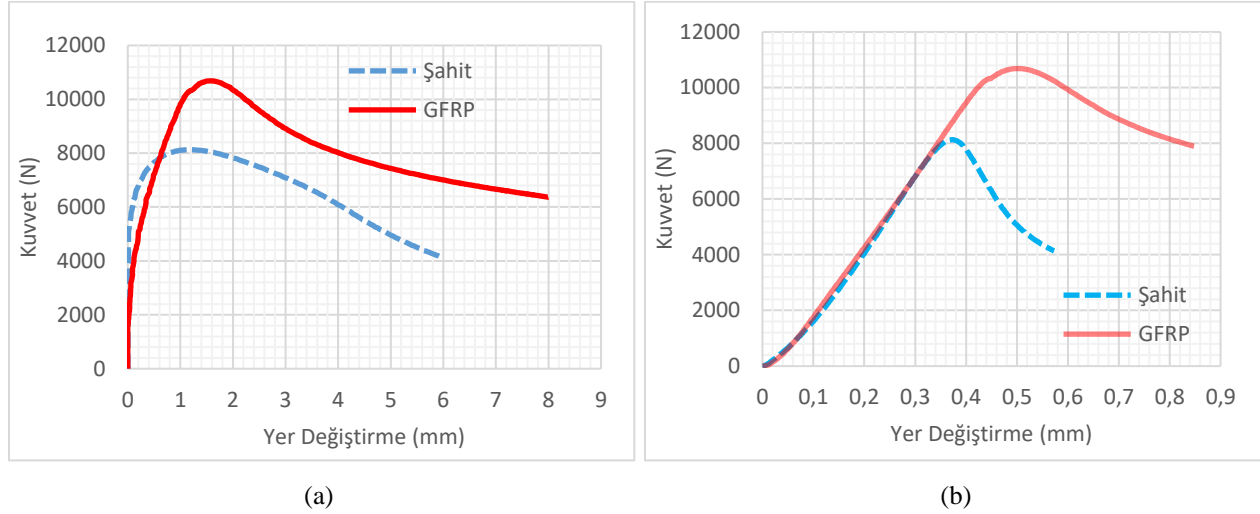
Burkulma deneyi sonucunda elde edilen veriler karşılaştırılacak olursa temel olarak aynı uzama miktarında numunenin taşıdığı yük üzerinden yorum yapılabilir. Numunenin taşıdığı maksimum yükü dikkate alarak da değerlendirme yapabiliriz. Şahit numunelerimiz ortalama 8229,5 N yük taşıırken, GFRP takviyeli numunelerimiz ise 10580,2 N yük taşımıştır. Elde edilen değerler aşağıdaki tablo 2 ve grafik 6'da verilmiştir.

Tablo 2. Burkulma deneyi sonucu elde edilen maksimum kuvvetler

	Şahit Numuneler (N)	GFRP Takviyeli Numuneler (N)
1	8784,4	13036
2	8130,5	10687,2
3	7773,5	8017,2

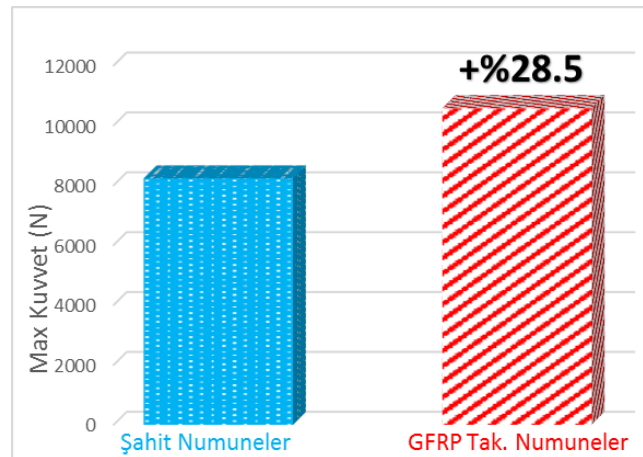
Ortalama	8229,5	10580,2
-----------------	--------	---------

Şahit numuneler ile güçlendirilmiş numuneler arasında karşılaştırma yapılırken dikkat edilmesi gereken bir başka konu da bu yükler altında yer değiştirme miktarlarının aynı olmasıdır. Yani hedeflediğimiz gibi numunelerimiz, aynı deformasyona karşılık daha fazla yük taşımıştır.



Şekil 6. Burkulma deneyi ortalama Kuvvet-Yer değiştirme grafiği (a) yatay yönde (b) düşey yönde

Burkulma deneyi sonucunda elde edilen şahit numune değerleri ile güçlendirilmiş numune değerleri birbirleri ile kıyaslandığında güçlendirilmiş numunelerin ortalama % 28.5 oranında daha yüksek burkulma dayanımına sahip oldukları görülmektedir (bkz. şekil 7).

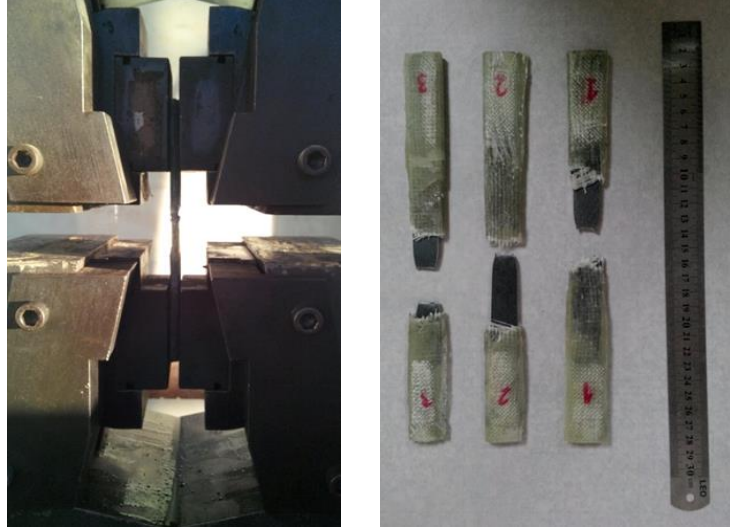


Şekil 7. Burkulma deneyi sonucu elde edilen ortalama değerler ve artış yüzdesi

3.3. Çekme Deneyi Sonuçları

Son olarak şahit numuneler test edildikten sonra aynı boyutlarda hazırlanmış numunelere GFRP

kumaş epoksi yardımıyla sarılmış olup, çekme cihazı çenelerinin GFRP kumaşı kesmemesi için numunelere başlık yapılmıştır. Çekme cihazının çene kısmında kalan bölgelere yine GFRP kumaş kullanılarak başlık yapıldıktan sonra deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde çelik homojen bir malzeme olduğu için üçer adet numunenin yeterli olacağı düşünülmüştür. Böylece iki farklı numune türünden üçer adet hazırlanmış ve test edilmiştir (bkz şekil 8).



Şekil 8. GFRP takviyeli numunelerde çekme deneyi

Deney hızı 5 mm/dk olarak belirlenmiştir. Ön yükleme 50 N olarak seçilmiştir. Deneylerin sonucunda ise Gerilme-Şekil değiştirme grafiği oluşturulmuştur. Deney sonuçları akma dayanımına göre incelenmiş olup aşağıdaki tablo 3'te belirtilmiştir.

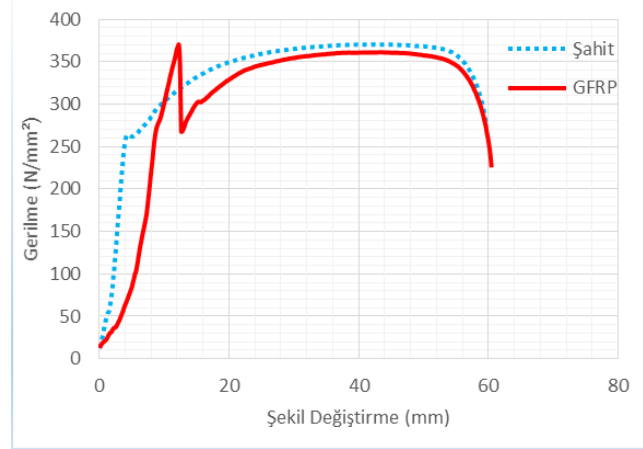
Tablo 3. Çekme deneyi sonucu elde edilen akma dayanımları

	Şahit Numuneler (N/mm ²)	GFRP Takviyeli Numuneler (N/mm ²)
1	265,312	370,212
2	265,025	341,15
3	265,212	347,137
Ortalama	265,183	352,833

Yapılan çekme deneyleri sonucunda şahit numunelerin ortalama akma dayanımları 265,183 N/mm² olarak belirlenmiş olup GFRP'lerle güçlendirilen numunelerde ortalama akma dayanımı 352,833 N/mm² olarak belirlenmiştir. Şahit numunelerin ortalama değeri ile güçlendirilmiş numunelerin ortalama değerleri dikkate alınarak şekil 9'da gerilme-şekil değiştirme grafikleri çizilmiştir.

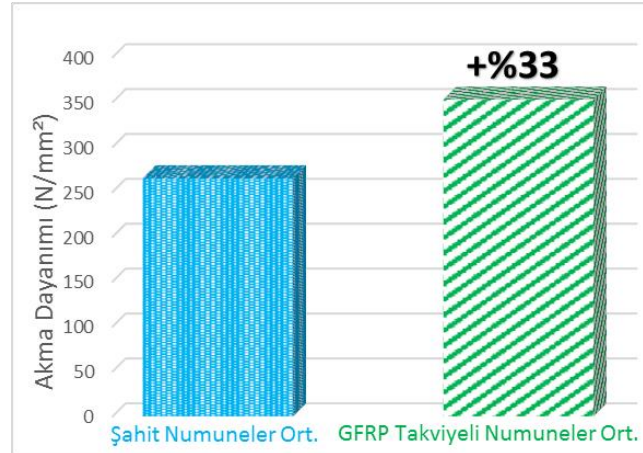
Burada grafiklerden de görüleceği gibi cam elyaf kırılana kadar numuneler normalden daha fazla yük taşımıştır. Cam elyaf kırıldıktan sonra ise gerilmenin normal değerlere döndüğü ve pekleşmeye geçtiği görülüyor. Çelik, yapılarda çekme gerilmelerine çalışan bir malzeme olduğu

için akma dayanımına ulaşana kadar daha fazla yük taşınması istenen ve hedeflenen bir durumdur.



Şekil 9. Çekme deneyi ortalama Gerilme-Şekil Değişirme grafiği

Çekme deneyi sonucunda elde edilen şahit numune değerleri ile güçlendirilmiş numune değerleri birbirleri ile kıyaslandığında güçlendirilmiş numunelerin ortalama % 33 oranında daha yüksek akma dayanımına sahip oldukları görülmektedir (bkz. şekil 7).



Şekil 10. Çekme deneyi sonucu elde edilen ortalama değerler ve artış yüzdesi

4. Sonuç ve Öneriler

Yapılan tüm deneysel çalışmalar dikkate alındığında; Özellikle mevcut yapılarda güçlendirmeyi amaçlamış olan bu çalışmanın sonucunda, kirişlerde tek yönlü GFRP levha bir çözüm olarak sunulur. Tek yönlü GFRP levha ile yapılacak güçlendirmede, mevcut yapılarda %71,3 oranında eğilme dayanımında artış elde edilebileceği tespit edilmiştir.

Yapılarda döşemelerin güçlendirilmesi için yine tek yönlü GFRP levha en uygun çözüm olacaktır. Uygun aralılarda uygulanabilecek levha ile döşemelerde güçlendirme sağlanmış olur. Tek yönlü GFRP döşemenin kısa ve uzun doğrultusunda uygulanabilir. Ancak döşemelerde kısa doğrultunun daha fazla zorlandığı göz önünde bulundurulursa yalnız bu doğrultuda da

uygulanabilir.

Mevcut yapılarda kolonlarda güçlendirme için sunulabilecek çözüm ise, kolonun GFRP kumaş ile sarılmasıdır. Kolonlarda bu şekilde bir güçlendirme yapılması burkulma dayanımının %28,5 oranında arttırılabilmesini sağlar.

GFRP ile yapılacak güçlendirmenin hasarlı yapılarda çözüm potansiyeli oldukça yüksektir. Bu teknik hızlı çözüm aranan yapılarda uygulanabilir, özellikle GFRP'nin uygulama kolaylığı güçlendirmenin hızlı şekilde tamamlanabilmesini ve yapıların hemen kullanıma açılabilmesini sağlaması büyük bir avantaj olarak görülebilir.

Referanslar

- [1] KENT A. HARRİESA, ANDREW J. PECKA, ELİZABETH J. ABRAHAMB, Enhancing Stability of Structural Steel Sections Using FRP, Thin-Walled Structures Volume 47, Issue 10, October 2009, Pages 1092–1101 FRP Strengthened Metallic Structures
- [2] TS648/Aralık 1980, Çelik Yapıların Hesap Ve Yapım Kuralları
- [3] AMER HMİDANA, YAİL J. KİMB, SİAMAK YAZDANİA, Correction factors for stress intensity of CFRP-strengthened wide-flange steel beams with various crack configurations, Construction and Building Materials Volume 70, 15 November 2014, Pages 522–530
- [4] AKTAŞ M., AYDIN E., Isıl İşlem İle Onarılan Narin Çelik Plakaların Cam Fiber Takviyeli Polimerler (GFRP) İle Güçlendirilmesi, Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği, Türkiye, 2012
- [5] DAVID BİGAUD, OSAMA ALİ, Time-variant flexural reliability of RC beams with externally bonded CFRP under combined fatigue-corrosion actions, Reliability Engineering & System Safety Volume 131, November 2014, Pages 257–270
- [6] CLAYTON A. BURNİNGHAM, CHRİS P. PANTELİDES AND LAWRENCE D. REAVELEY, New unibody clamp anchors for posttensioning carbon-fiberreinforced polymer rods, Winter 2014 | PCI Journal Pages 103-112
- [7] YİHUA CUI, MOE M. S. CHEUNG, BAHMAN NORUZİAAN, STEPHEN LEE, JİE TAO, Development of ductile composite reinforcement bars for concrete structures, Materials and Structures November 2008, Volume 41, Issue 9, pp 1509–1518
- [8] JURGEN BECQUE, KİM J.R. RASMUSSEN, A numerical investigation of local-overall interaction buckling of stainless steel lipped channel columns, Journal of Constructional Steel Research Volume 65, Issues 8–9, August–September 2009, Pages 1685–1693
- [9] TİEJİONG LOU, SERGİO M.R. LOPES, ADELİNO V. LOPES, Factors affecting moment redistribution at ultimate in continuous beams prestressed with external CFRP tendons, Composites Part B: Engineering Volume 66, November 2014, Pages 136–146
- [10] SARİBİYİK, M., AKGÜL T., “GFRP Bar Element To Strengthen Timber Connection Systems” Scientific Research and Essays Vol. 5 (13), pp. 1713-1719, 4 July, 2010
- [11] EKİZ Y., AYDIN F., SARİBİYİK M., Betonarme Kirişlerde Cam Elyaf Takviyeli Plastik Donatıların Kullanımının Araştırılması, Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Türkiye, 2013
- [12] ASTM A370-10 Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products
- [13] ASTM E8/E8M-09, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials