



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy
2011, Volume: 6, Number: 4, Article Number: 1A0231

ENGINEERING SCIENCES

Received: May 2011
Accepted: October 2011
Series : 1A
ISSN : 1308-7231
© 2010 www.newwsa.com

Tahir Akgül
Mehmet Sarıbiyık
Ahmet Apay
Sakarya University
takgul@sakarya.edu.tr
Sakarya-Turkey

**KARBON ELYAF ÇUBUKLARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ AHŞAP BOY BİRLEŞİMLERİNİN
EĞİLME DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

ÖZET

Ahşap yapılar tarihsel süreç içerisinde doğal etkenlerle yıpranmaktadır. Bu çalışmada; ahşap yapı konstrüksiyon sisteminde, eğilmeye çalışan yapı elemanlarının birleştirme bölgelerinde lif sürekliliğinin sağlanması hedeflenmektedir. Bu amaçla, fiberlerle güçlendirilmiş kertmeli boy birleştirmelerin, birleşim bölgelerinin mekanik performansları incelenmiştir. Deney numuneleri doğada bol miktarda bulunan ve ahşap yapı uygulamalarında yaygın olarak kullanılan sarıçamdan hazırlanmıştır. Yapılan deney numunelerinin performans değerlendirilmelerinin yapılabilmesi için şahit numunelerle birlikte, yapıştırırmalı birleştirme ve Karbon takviyeli plastiklerle (KTP) birleştirme şeklinde, 4 farklı tipte deney numuneleri hazırlanmış ve eğilme deneyine tabi tutularak, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, kertmeli boy birleştirmede karbon elyaflarla güçlendirilmiş numunelerle, yapıştırılmış birleştirme numunelerinden %380 daha yüksek eğilme dayanımına ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ahşap Yapı, Eğilme Mukavemeti,
Kertmeli Boy Birleştirme,
Karbon Elyaf Takviyeli Plastik(KTP),
Güçlendirme

**INVESTIGATION OF BENDING BEHAVIOUR OF TIMBER CONNECTION STRENGTHEN
WITH CARBON FIBER BAR**

ABSTRACT

The natural factors were deformed the Timber structures in the historical process. The aim of this study is to obtain the fiber continuity of connecting places of timber structural elements of construction systems that under the bending conditions. Mechanical performances of the connecting places of fiber reinforced longitudinal notched lap joints have been investigated. Experimental specimens have been prepared from yellow pine timber which is very abundant in nature. To determine performances of the connections, 4 different types of adhesively bonded and strengthen with Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP)bar, samples have been prepared. The specimens have been tested subjected to bending strength and the obtained results have been compared with massive samples and each others. The outcomes demonstrate that the bending strength of the connection points strengthen with CFRP bar has higher than adhesively bonded connection specimen about 380%.

Keywords: Timber Structures, Bending Strength,
Longitudinal Notched Lap Joint,
Carbon Fiber Reinforced Plastic, Reinforcement

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Türkiye’de eski yapıların büyük kısmını oluşturan ahşap yapıların tarihsel süreç içerisinde doğal etkenlerden kaynaklanan yıpranmalar kaçınılmazdır. Gerek mevcut tarihi dokunun korunması gerekse yeni inşa edilecek ahşap yapılarda durabilitenin sağlanması amacıyla ahşabın zayıf bölgelerinde, özellikle birleşim bölgelerinde güçlendirme yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Günümüzde ahşap yapı tasarımında, masif ahşap malzemenin büyük boyutlu elemanlarda tek parça olarak kullanılması, gerek ekonomik ve gerekse teknik açıdan elverişli değildir. Bu nedenle ahşapta boy birleştirmeler yapılması kaçınılmazdır. Ancak birleştirmeler liflerin sürekliliğini ortadan kaldırdığı için ahşap yapının güvenliğini olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuz etkiyi ortadan kaldırmak amacıyla birleşim bölgelerinde güçlendirme ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır [1].

Ahşap yapı tasarımında eleman boyutları uygun birleştirme detaylarına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle tasarlanan ahşap yapıların taşıyıcı elemanlarının istenen boyutlarda olması ve daha özgün yapı tasarımının mümkün kılınması ancak birleştirme bölgelerinin eğilme ve çekme yüklerine karşı yüksek dayanım sergilemesi ile mümkün olabilmektedir. Bu nedenden dolayı tüm ahşap tasarım evrelerinde farklı birleşim detayları geliştirilmiş ve zamana bağlı olarak değişim göstermiştir. Son yıllarda söz konusu birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi amacıyla farklı meteryaller kullanılmıştır. Günümüzde çelik ve betonarme binaların güçlendirmesinde olduğu gibi ahşap yapıların güçlendirilmesinde de fiber takviyeli plastik (FRP) kullanımı yaygınlaşmaktadır[2]. Güçlendirme amacıyla kullanılan elyaf takviyeli plastiklerle yüksek dayanıma sahip, korozyona uğramayan, hafif, uygulanması kolay, görünümü bozmayan bir güçlendirme yapılması mümkündür.

Restorasyon ve güçlendirme çalışmalarında, zamanla ahşap taşıyıcı sistemlerin bazı bölgelerinde oluşan kurtlanma, mantarlanma, çürüme vb. sebeplerden dolayı değişmesi gereken yapı elemanının tamamının sistemden ayrılması tarihi dokunun kaybolması, yapının stabilitesinin bozulması, maliyet ve işçiliklerin artmasına neden olmaktadır. Bu durumda yapı elemanının tamamını değiştirmek yerine mümkünse elemanlarda lokal değişikliğe gidilmesi daha uygun görülmektedir [3]. Ancak yapılacak bu lokal değişiklikler sonucu oluşacak yeni birleşim bölgelerinin statik açıdan yüksek performans sergilemesi istenir. Geleneksel güçlendirme tekniklerinde ahşap yapılarda birleştirme yerlerinin metal levhalarla güçlendirilmesi uygulanan bir çözümdür. Ancak metal levhalarla yapılan güçlendirmelerde zamanla bakıma ihtiyaç duyulması, güçlendirilen bölgelerde görüntü kirliliği oluşturması ve yapıya ekstra yük getirmesi gibi göz ardı edilemeyecek dezavantajlar sıralanabilir[4]. Teknolojik gelişmelerle bu dezavantajların tamamının veya bir kısmının giderilmesini sağlayacak ürünler arasında fiber takviyeli plastikler yer almaktadır.

Daha önce yapılan çalışmalarda eğilmeye çalışan ve kurtmeli boy birleştirmelerle birleştirilmiş elemanların güçlendirmesinde cam elyaf takviyeli plastikler (CTP) kullanılmış ve birleştirme bölgelerinin güçlendirilmesinde başarılı sonuçlar elde edilmiştir[5,6]. Ancak bu dayanım birleştirme yapılmamış masif ahşap elemanların dayanımına ulaştırılması amacıyla bu çalışmada, aynı elemanlar karbon takviyeli plastik (KTP) çubuklarla güçlendirilmiştir.

Eğilme Elemanlarının güçlendirilmesi, boyut sorunu olan ahşap yapı elemanlarının daha özgün tasarımlara kavuşmasını sağlayacaktır. Gerekli uzunluk ve ebatlardaki kirişlerin üretiminde yapılacak güçlendirmelerin uygulama sahasında, hem yapımı kolay, hem çap

değişikliği oluşturmadan istenen dayanımı sağlayabilecek hem de ahşap estetiğini ve sıcaklığını koruyacak bir güçlendirme detayı tasarımı gerekmektedir. Bu güçlendirme detayı, uygulama alanlarına sıkça kullanılan kertmeli boy birleştirmeler üzerinde uygulanmıştır.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Ahşap yapılarda birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi, özgün tasarımlar ortaya koymanın yanı sıra zamanla dış etkenler ve depremler sonucu oluşan hasarları giderilmek, restorasyon yoluyla yapı elemanlarının yük taşıma kapasitesini arttırmak, yetersiz detaylandırmaya bağlı ortaya çıkan erken yorulma ve kırılmaları önlemek, yaşlanmayla oluşan deformelere bağlı yük taşıma kapasitesinde meydana gelen kayıpları ortadan kaldırmak gibi etkenler açısından önemlidir. Öte yandan ülkemizde uzun yıllar önce yapılmış ahşap yapılarda, tarihsel süreç içerisinde doğal etkenlerden kaynaklanan yıpranmalar ve özellikle birleşim bölgelerinde oluşan çürümeler restorasyon çalışmalarında güçlendirme ihtiyacını ortaya koymaktadır. Yapılacak bu restorasyon çalışmaları öncesinde deneysel çalışmalarla geliştirilecek olan uygun bir güçlendirme modelinin çıkarılması, ahşap yapıların daha titiz bir şekilde restore edilmesini, tarihi dokunun korunmasını ve kültürel değerlerimizin ileri nesillere taşınmasını sağlayacaktır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM (EXPERIMENTAL METHOD)

3.1. Ahşap (Timber)

Deney örneklerinin hazırlanmasında kullanılan masif ağaç malzeme, Sakarya bölgesindeki kereste işletmelerinden rastgele seçim yöntemi ile temin edilmiş sarı çamdır. Deneysel çalışmalarda kullanılacak ahşap malzeme seçiminde, 1. sınıf kerestenin, normal büyüme göstermiş, kurutulmuş, kusursuz, lifleri düzgün, budaksız, ardaksız, mantar ve böcek zararlarına uğramamış olmasına özen gösterilmiştir [7].

3.2. Epoksi (Epoxy)

Gerek ahşap yüzeylerin birleştirilmesinde gerekse KTP çubukların ahşap yüzeylere yapıştırılmasında İnce uygulamalar için özel olarak geliştirilmiş, çift bileşenli yapıştırma ve montaj epoksisi olarak üretilen Teknobond 300 tipi epoksi kullanılmıştır.

Teknobon 300 epoksisi; ince tip uygulamalarda, katı malzemelerin parlak yüzeylere yapıştırılmasında kullanılan, kimyasallara karşı dayanıklı, betona, ahşaba, çeliğe ve plastik malzemelere mükemmel yapışma sağlayan, istenen mekanik mukavemete çok hızlı ulaşan bir epoksidir. Çift bileşenli olarak üretilen Teknobond 300 epoksisi uygulanırken, orantılı olarak hazırlanmış A ve B bileşeni, yavaş devirli karıştırıcıyla birbirine karıştırılır. Karıştırmaya homojen gri bir renk alana kadar devam edilir. Kullanabilecek kadar malzeme uygulama ömrü göz önünde bulundurarak ve oranlarına göre hazırlanır. Hazırlanan karışım spatula ile yapıştırılacak yüzeye çok ince şekilde sürülür. Yüzey uygulamalarında malzemenin bir müddet kendini çekmesi beklendikten sonra hava boşluğu kalmayacak şekilde ve mümkünse preslenerek yapıştırılır [8].

3.3. Karbon Elyaf Takviyeli Plastik

(Carbon Fiber Reinforced Plastics)

Güçlendirme çalışmalarında kullanılan fiber takviyeli plastiklerin seçiminde genellikle üstün dayanım özelliklerinden dolayı

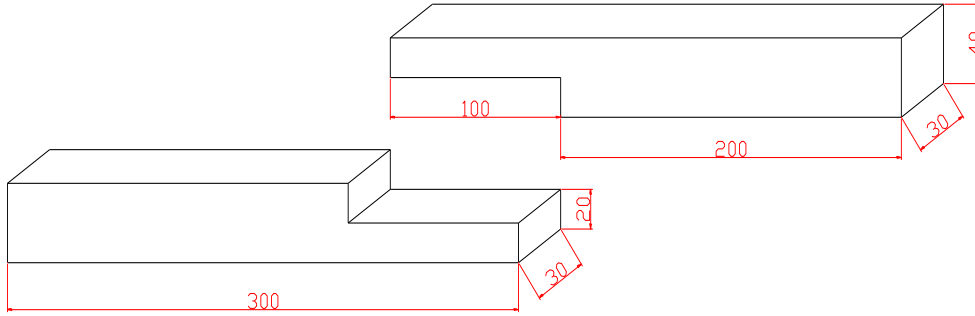
karbon elyaf takviyeli plastikler tercih edilmektedir[9]. Bu nedenle çalışmamızda piyasada farklı şekil ve ebatlarda üretilen KTP profiller içerisinden yapılacak güçlendirme çalışmasına uygun ebat ve formda olan 0,4 cm çapında daire kesitli KTP numuneleri, ülkemizde kompozit malzeme üretimi yapan Esa Kimya Metal Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. firmasından temin edilmiştir.

3.4. Deneysel Numunelerin Hazırlanması (Preparation of Test Specimens)

Ahşap birleştirme bölgelerinin güçlendirilmesinde kullanılan 4 mm çapındaki KTP çubuklar 30 cm uzunluğunda kesilmiştir. KTP parçalarının boylarının eşit olmasına ve malzemelerin kesimi esnasında zarar görmemesine dikkat edilmiştir.

Şahit numuneler, 30x40 mm boyutlarında ve 500 mm uzunluğunda 1. Sınıf kurutulmuş, çatlaksız ve budaksız sarıçamdan lif yönlerine paralel olacak şekilde hazırlanmıştır. Bu numunelerle, birleştirme yapılmış numunelerin eğilme dayanımı kıyaslamasında şahit numuneyi oluşturacak masif ahşap deneyi yapılmıştır. Masif ahşap numuneler tek parçadan oluşan ve herhangi bir birleştirme söz konusu olmayan numunelerdir.

İkinci aşamada masif ahşapla aynı boyutlarda, ancak ortadan kermeli boy birleştirme yöntemi ile birleştirilmiş iki parça ahşaptan oluşan numuneler hazırlanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Kermeli boy birleştirmeli ahşap numune
(Figure 1. Longitudinal notched lap joint configurations)

Hazırlanan numunelerin birleştirme yüzeyleri çift birleşimli Teknobont 300 epoksisiyle birleştirilerek 72 saat pres altında tutulmuştur. Daha sonra bu numuneler temizlenerek tek noktalı eğilme testine tabi tutulmuştur.

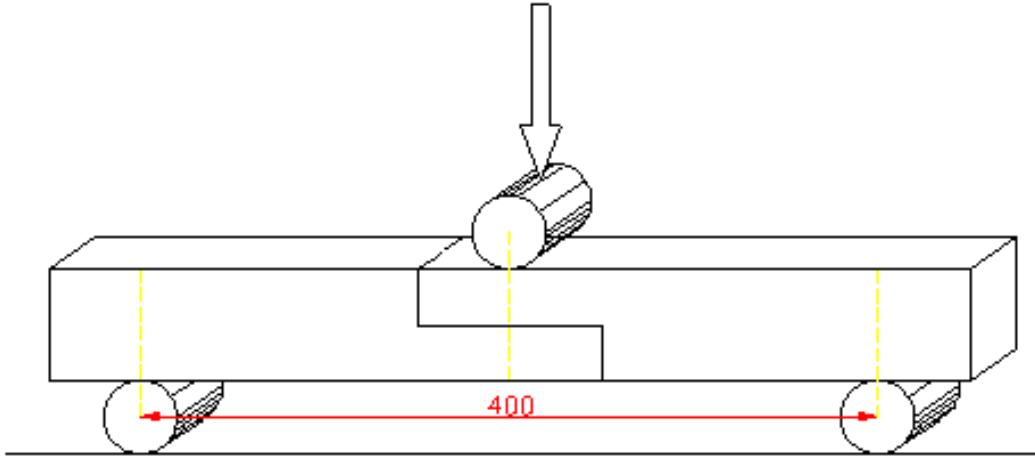
Üçüncü aşamada epoksiyle, kermeli boy birleştirme yapılmış numunelerin alt bölgesine tek ve çift KTP çubuklu 2 farklı deney numune tipinden 5'er adet numune hazırlanarak deneye tabi tutulmuştur. Hazırlanan tüm numuneler ilgili Türk standartlarına[10,11,12,13] uygun olarak hazırlanmıştır.

4. BULGULAR (FINDINGS)

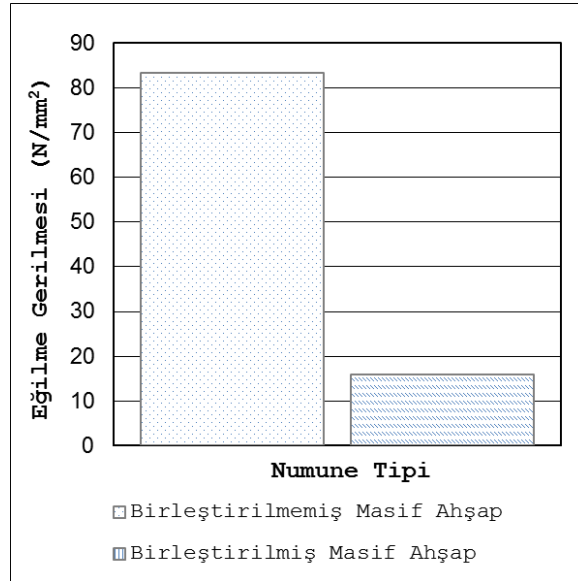
Yapılan çalışmada öncelikli olarak masif ahşap numune değerleri tespit edilmiştir. Diğer deney tipi sonuçları masif ahşap numunelerle kıyaslanmış ve her numune çeşidi için ortalama gerilme değerleri tespit edilmiştir. Uç uca yapılan kermeli boy birleştirmede oluşan lif süreksizliği ortadan kaldırılarak birleştirilme yapılmış masif ahşap için elde edilen eğilme gerilmesi değerlerine ulaşılması hedeflenmiştir.

Masif ahşaptan elde edilmiş şahit numunleri tek noktadan eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucu 5 adet şahit numunenin ortalama eğilme gerilmesi değeri $83,4 \text{ N/mm}^2$ olarak tespit edilmiştir.

İkinci aşamada, güçlendirme yapılmaksızın yapıştırılarak birleştirilmiş ahşap numuneler Şekil 2'de görüldüğü gibi eğilme tesine tabi tutularak numunelerin eğilme gerilmesi değerleri tespit edilmiştir. Bu test sonucunda elde edilen eğilme gerilmesi değeri 16 N/mm^2 olarak hesaplanmıştır. Bu değer masif birleştirilmemiş ahşap gerilmesi ile kıyaslandığında 5,2 kat daha küçük olduğu görülmektedir (Şekil 3). Bu durum, hem yapıda kullanılacak yeni ahşap elemanlarının boyut yetersizliği, hemde restorasyon çalışmalarında yapılacak parça değişiminde yapılan boy birleştirme bölgelerin güçlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.



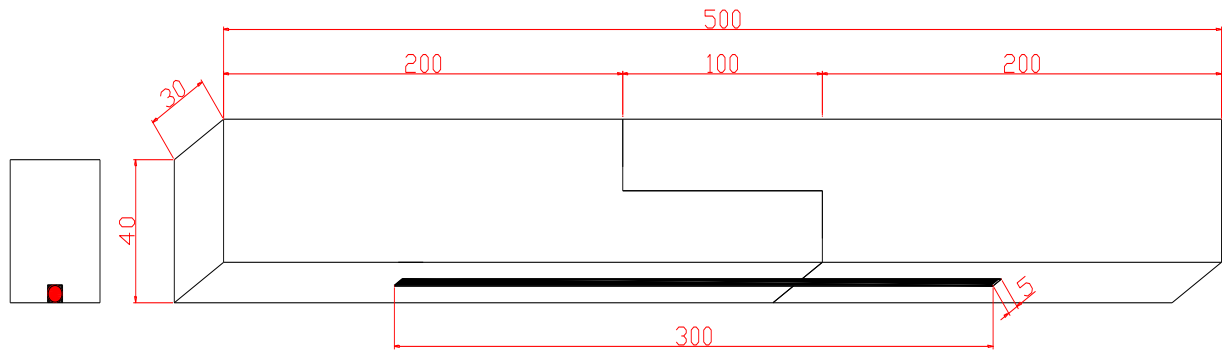
Şekil 2. Üç noktadan eğilme deney düzeneği
(Figure 2. Three point bending test configurations)



Şekil 3. Masif ahşap ile birleştirilmiş ahşabın eğilme gerilmelerinin karşılaştırılması
(Figure 3. Comparison bending strength of massive timbers and connected timbers)

Öte yandan deneye tabi tutulan birleştirilmiş ahşap numuneler gerek test süresince gerekse test sonucunda incelendiğinde, numunelerde oluşan ilk çatlak ve ayrılmaların beklendiği üzere birleşim bölgelerinden olması yapılacak güçlendirmenin bu bölgelerde yoğunlaşmasına sebep olmuştur.

Güçlendirme bölgelerindeki olumsuzluğu ortadan kaldırmak için Şekil 4'te görüldüğü gibi kertmeli boy birleştirilmesi yapılmış ahşap numunelerin geleneksel güçlendirme yöntemlerinden farklı olarak tasarlanan KTP güçlendirilmiş deney numuneleri hazırlanmıştır (Şekil 5). İlk etepta numunelerde en zayıf olan birleşim bölgesini kapsayacak ve eğilmede çekmeye çalışan kiriş alt bölgesinde bir KTP çubuk yerleştirilmiş daha sonra yine aynı bölgeye çift çubuk yerleştirilerek hazırlanan deney numuneleri teste tabi tutulmuştur.

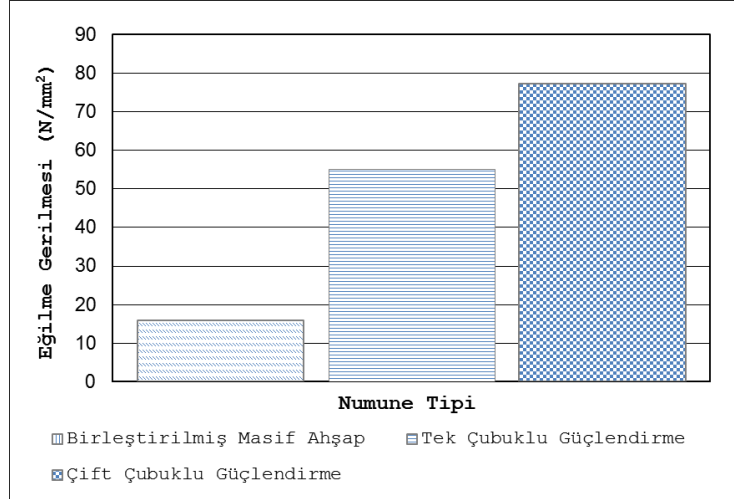


Şekil 4. KTP çubukla güçlendirilmiş deney numunesi
(Figure 4. Samples of timber connection strength with the CFRP bar)



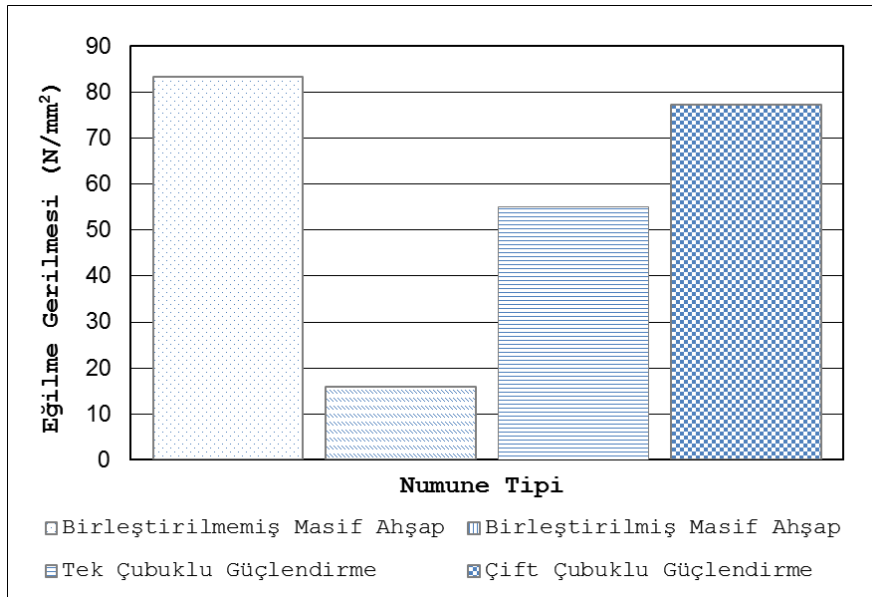
Şekil 5. KTP çubukla güçlendirilmiş tek ve çift çubuklu deney numunesi
(Figure 5. Samples of timber connection strength with single and double CFRP bar)

Yapılan deneyler sonucunda, tek KTP çubuklu birleştirme numunelerinin ortalama eğilme gerilmesi $55,2 \text{ N/mm}^2$ çift KTP çubuklu birleştirme numunelerinin ortalama eğilme gerilmesi ise $77,3 \text{ N/mm}^2$ olarak tespit edilmiştir. KTP çubuklar ile yapılan güçlendirmelerle sırasıyla %240 ve %380 çekme gerilmesi artışı elde edilmiştir (Şekil 6). Elde edilen bu dayanım birleşim bölgelerinde KTP'lerle güçlendirme yapılmasının uygun olduğunu ortaya koymaktadır.

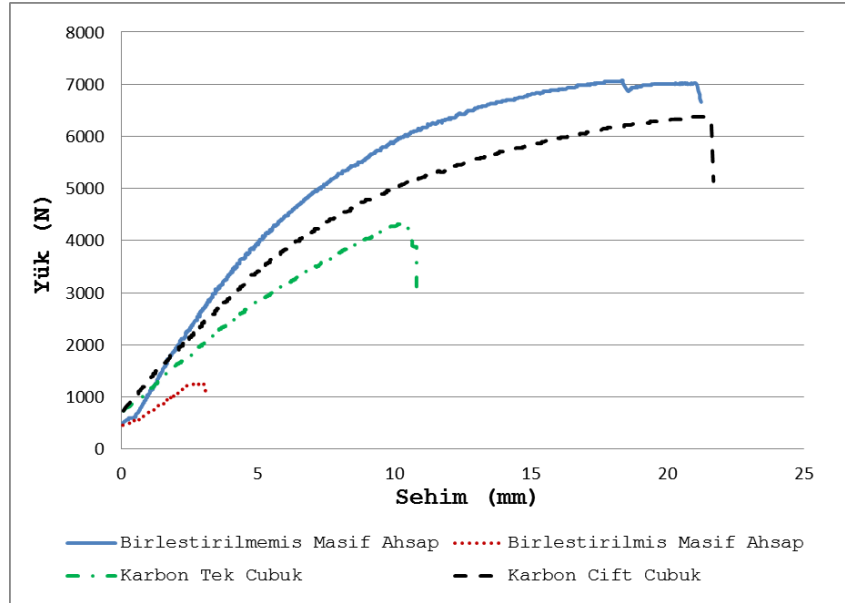


Şekil 6. Güçlendirme yapılmış numunelerin güçlendirme yapılmamış numunelerle eğilme gerilmelerinin karşılaştırılması
(Figure 6. Comparison bending strength of without reinforced specimen and reinforced specimen)

Yapılan her grup için, numunelerin ortalama eğilme gerilmesi değerleri alınarak tüm numunelerin birbiriyle karşılaştırılabilmesi amacıyla ortak bir eğilme gerilmesi grafiği oluşturulmuştur (Şekil 7). Ayrıca deneye tabi tutulan numune gruplarına ait ortalama yük sehimi grafiği çizilerek numunelerin yaptıkları sehimler açısından da karşılaştırılabilmesi sağlanmıştır (Şekil 8).



Şekil 7. Deneye tabi tutulan numunelerinin eğilme gerilmesi grafiği
(Figure 7. Bending strength of the tested specimens)



Şekil 8. Deneye tabi tutulan numunelerin yük-sehim grafiği
(Figure 8. Load-deflection graph of the tested specimens)

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Ahşap birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada; Ahşap elemanların birleşim detaylarının KTP ile güçlendirilmesi üzerinde çalışılmıştır. İlk olarak ahşap şahit numunelerin eğilme dayanımları elde edilmiş, sonraki aşamada da KTP kullanılarak güçlendirme yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre; Hazırlanan deney numunelerinde birleştirilmemiş masif ahşap numunelere göre eğilme gerilmesi bakımından en düşük olanı güçlendirilmemiş, epoksi ile yapıştırılarak birleştirilmiş numunelerdir. Güçlendirilmemiş birleştirme numuneleriyle masif ahşabın eğilme gerilmesinin ancak %20'sine ulaşılabilmektedir. Ancak KTP'lerle yapılan güçlendirmelerde, Masif ahşap dayanımı göz önüne alındığında tek KTP çubukla güçlendirilmiş numunelerle %66, çift KTP çubukla güçlendirilmiş numunelerle %92 oranında iyileştirme sağlanmıştır.

Öteyandan numuneler yük sehim açısından karşılaştırıldığında birleştirilmiş numunelerde ham ahşabın %14'ü kadar sehim oluşurken, tek çubuklu numunelerde ham ahşabın %55'ine çift çubuklu numunelerde ise ham ahşabın gösterebildiği sehim değerine ulaşılmıştır.

Sonuç olarak çift çubukla yapılan güçlendirmede elde edilen eğilme gerilmesi ve sehim sonuçları yaklaşık birleştirme yapılmamış masif ahşap değerine ulaşması kullanılan bu güçlendirme yönteminin uygun ve etkin olduğunu açıkça göstermektedir.

Yapılan bu güçlendirmeler yardımıyla,

Daha küçük malzeme kesitleriyle istenen dayanım elde edilebilir.

Birleşim bölgelerinde oluşan lif süreksizliğini ortadan kaldırarak daha büyük açıklıkları geçilebilir.

Onarım ve restorasyon çalışmalarında tarihi dokuyu ve ahşap görünümünü koruyarak bölgesel güçlendirmelere olanak sağlanabilir.

Karmaşık birleşim detayları yerine basit ve daha etkili birleşim detayları uygulanabilir.

Birleştirme bölgelerinde oluşan gerilme yoğunluğunu azaltarak bu bölgelerde zamanla dış etkenlerin sebep olduğu gevşeme ve dağılmaları engellenebilir.

Ayrıca; bu güçlendirme tekniği ile daha önce uygulanan geleneksel güçlendirme yöntemlerinin dez avantajları ortadan

kaldırılarak, yapıya ek yük getirmeyen, bakım istemeyen ve ahşap görünümünü kaybetmeden daha sağlıklı bir güçlendirme yapılması sağlanabilir.

NOT (NOTICE)

Bu makale, 28-30 Eylül 2011 tarihleri arasında Elazığ Fırat Üniversitesinde "International Participated Construction Congress" IPCC11'de sözlü sunum olarak sunulmuştur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Akgül, T., Sarıbiyik, M., and Apay, A., (2009), Reinforcement of Timber Connection Areas With Glass Fiber Reinforced Plastic, 5th International Advanced Technologies Symposium, 13-15 May, Karabük, Turkey
2. Steiger, R., (2003), Fiber Reinforced Plastics (FRP) in Timber Structures, Empa, Dübendorf, Switzerland
3. Chen, C.J., Mechanical Behavior of Fiberglass Reinforced Timber Joints, Louisiana, Usa
4. Günay, R., (2007). Geleneksel Ahşap Yapılar/Sorunları ve Çözüm Yolları, Birsen Yayınevi, Mart.
5. Sarıbiyik, M. and Akgül, T., (2010), "GFRP Bar Elements for Connections Strengthening System in Timber" Scientific Research and Essays Vol. 5 (13), pp. 1713-1719,
6. Akgül, T., Sarıbiyik, M., Apay, A., and Sarıbiyik, A., (2010) "Bending Analysis of Timber Connection Strengthen with Glass Fiber Reinforced Plastic" 1st International Symposium on Sustainable Development (ISSD'09), 09-10 Jul, Sarajevo/ Bosna
7. Örs, Y. ve Keskin, H., (2001). Ağaç Malzeme Bilgisi, Atlas Yayınları, İstanbul Temmuz.
8. İnternet sitesi, Ocak 2011, www.teknoyapi.com.tr.
9. Önen Y.H., (2004). Yapıların Denetimi, Yapıların Depremde Davranışları ve Güçlendirilmesi İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul, 2004
10. TS 647, (1979). Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
11. TS 4499, (1985). Ahşap Birleştirmeler- Terimler Tanımlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
12. TS 4539, (1985). Ahşap Birleştirmeler. Kavelalı Birleştirme Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
13. TS 2474, (1976). Odunun Statik Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara