

Restorasyonda Ahşap Yapı Elemanlarının Karbon Fiber Takviyeli Polimerler (CFRP) ile Güçlendirilmesi

173337

ÖZET

Bu çalışmada; ahşap yapı elemanlarının güçlendirilmesinde kullanılan karbon fiber takviyeli polimer uygulamasının, ahşap yapı elemanlarının mekanik performanslarında meydana getirdiği değişim miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla; Doğu kayını (*Fagusorientalis L.*) ve Sarıçam (*Pinus silvestris L.*) odunundan hazırlanan örnekler CFRP ile bond 200M epoksi macun ve poliüretan esaslı yapıştırıcı kullanılarak güçlendirilmiştir. CFRP ile güçlendirilen bu örnekler, statik eğilme direnci, çekme gerilmesi ve basınç direnci deneylerine tabi tutulmuştur.

Sonuç olarak; tarihi yapıların restorasyonunda yapılan güçlendirme çalışmalarında ahşap yapı elemanlarının, eğilmeye zorlanan bölgelerinde, CFRP şerit çubuk kullanarak tek yönlü bir güçlendirme yapılabileceği, fakat çekmeye ve basınca zorlanan bölgelerinde tek yönlü güçlendirmelerin yeterli olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Ahşap restorasyon, Güçlendirme, Karbon Fiber Takviyeli Polimerler

Reinforcement of Wood Building Components with Carbon Fiber Reinforced Polymers (Cfrp) in Restoration

In this study, it was aimed to identify the amount of change in mechanical performances of wood building materials after they were reinforced with carbon fiber reinforced polymer (CFRP). Samples were prepared from Oriental Beech (*Fagus orientalis* L.) and Yellow Pine (*Pinus silvestris* L.) and they were reinforced with CFRP sheets using bond 200M epoxy and polyurethane adhesive. These samples then were subjected to parallel bending strength, parallel tensile strength and parallel pressure to fiber experiments. As a result, it was concluded that in reinforcement works performed for the restoration of historical buildings, it is possible to apply reinforcement to one surface using bond 200M epoxy and CFRP sheet where wood building material is forced to bend, but application of CFRP to one surface is not sufficient in areas where tensile and pressure loads are present.

1. GİRİŞ

Ahşap malzemenin sahip olduğu üstün özelliklerinin yanı sıra bazı istenilmeyen özellikleri de vardır. Bunlar; organik bir yapıya sahip olmasından dolayı mantar ve böcekler tarafından tahrip edilmesi, higroskopik özelliğinden dolayı atmosferdeki rutubet ve sıcaklığa bağlı olarak boyutlarını değiştirmesi ve yanabilen bir madde olmasıdır. Bundan dolayı, ahşabın doğal haldeki dayanıklılığı; başka bir deyişle, kullanım yerindeki değişik çevresel faktörlere karşı gösterdiği doğal dayanma süresi yeteri kadar uzun olamamaktadır. Bunda, ahşap malzemeyi tahrip ederek özelliğini bozan çeşitli biyotik (bitkisel, hayvansal) ve abiyotik (fiziksel, kimyasal, mekanik) zararlıların oldukça büyük bir etkisi vardır (Usta, 1993; Uysal, 2005).

Tarihi yapıların büyük kısmını oluşturan ahşap yapılar, tarihi süreç içerisinde doğal ve yapay etkenlerden kaynaklanan yıpranmalara maruz kalmaktadır. Kültür mirasımızın önemli bir parçası olan bu yapıların, gelecek nesillere sağlam bir şekilde aktarılması için ahşap yapı elemanlarının da gerekli yapısal onarımdan geçirilip güçlendirilmelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu restorasyon çalışmalarının istenilen nitelikte olabilmesi için yeterli miktarda araştırma yapılmalı ve bilimsel bir yaklaşımla restorasyon yapılmalıdır (Günay, 2002; Öztürk, 2006).

Geleneksel restorasyon tekniklerinde, ahşap yapı elemanlarının büyük kuvvetlere maruz kalmaları halinde metal esaslı malzeme kullanılarak güçlendirme yapılması genellikle çözüm olarak düşünülmektedir. Bu yaklaşımla yapılan restorasyonda güçlendirilen bölgenin yapıya fazladan yük getirmesi, zamanla bakım gerektirmesi, görüntü kirliliği oluşturması ve yapının orijinalliğini bozması istenmeyen bir durumdur (Günay, 2002). Bu tür güçlendirmeye, Konya Alaaddin Camii sütun atkılarında yapılan çalışma örnek olarak gösterilebilir. Şekil 1’de metal esaslı malzeme kullanılarak yapılan güçlendirme görülmektedir.



Şekil 1. Konya Alaaddin Camii sütun atkılarında yapılan restorasyon çalışması.

Fiber takviyeli polimerler, hafiflik, korozyona uğramama ve esneklik gibi özelliklerinin yanı sıra ahşap görünümünü bozmadan uygulanabilmeleri, söz konusu sorunun çözümünde FRP'lerin tercih edilmesinin gerekli olduğunu ortaya koyan bilimsel bir gerçektir (Şahin, 2000).

Täljsten and Thomas (2007), beton kirişlerin güçlendirilmesinde yeni bir kompozit olan mineral tabanlı kompozit (MBC) kullanmışlar ve CFRP ile yapılan güçlendirilmelerle karşılaştırmışlardır. Yapıştırıcı olarak epoksinin betonla dayanıklı ve iyi bir bağ yaptığını ortaya koymuşlardır.

Yeou-Fong (2009), yaptığı çalışmada CFRP ile güçlendirilmiş kirişlerin eğilme performanslarını teorik analiz ile % 5.05 hata paylı olarak hesaplamıştır. Deneysel çalışmalarda CFRP ile güçlendirilmiş kirişlerin

eğilme dayanımları % 44 artarken, teorik analiz ile % 39 aratacağı öngörülmüştür.

Ahşap yapı konstrüksiyon sisteminde, eğilmeye çalışan yapı elemanlarının birleştirme bölgelerinde lif sürekliliğinin sağlanması hedeflenerek yapılan çalışmada, fiberlerle güçlendirilmiş kertmeli boy birleştirmelerin, birleşim bölgelerinin mekanik performansları incelenmiştir. Çalışma sonucunda, kertmeli boy birleştirmede karbon elyaflarla güçlendirilmiş numunelerle, yapıştırılmış birleştirme numunelerinden %380 daha yüksek eğilme dayanımına ulaşıldığı bildirilmiştir (Akgül vd., 2011).

Tarihi yapılarda bulunan ahşap yapı elemanları genellikle basınç, çekme ve eğilme kuvvetlerine maruz kalmaktadırlar. Bu çalışmada, ahşap taşıyıcı sistemlerin basınç, çekme ve eğilme gerilmesine maruz kalan elemanlarının güçlendirilmesinde CFRP kullanılmıştır. Karbon fiber takviyeli polimerin tercih edilmesinin sebebi diğer fiber takviyeli polimerlere göre daha yüksek dayanıma sahip olmasıdır. Yapıştırıcı olarak, çift bileşenli bond 200M epoksi macun ile maliyeti düşük, uygulaması kolay olan tek bileşenli poliüretan esaslı (PU) yapıştırıcı kullanılmıştır.

2. MATERYAL ve METOD

2.1. Ahşap Malzeme

Bu çalışmada ülkemizde endüstriyel amaçlı olarak fazlaca tüketilen kayın(*Fagus orientalis* Lipsky), ve sarıçam (*Pinus sylvestris* L ağaçları tercih edilmiştir. Yapılan çalışma için seçilen ağaç malzemenin, budaksız, düzgün gövdeli, böcek ve mantar zararlılarına maruz kalmamış olmaları ve özellikle

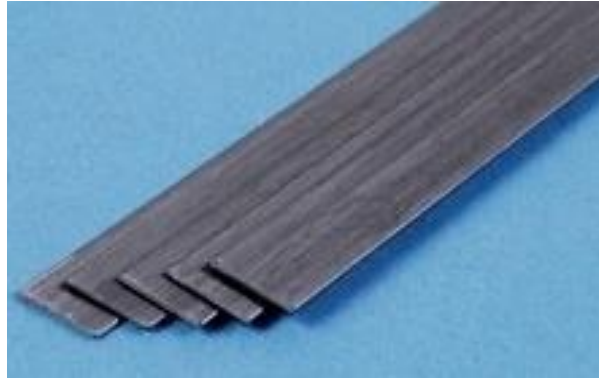
diri odun kısmından olmasına dikkat edilmiştir. Kullanılan ağaç malzeme kereste satıcılarından temin edilmiştir.

2.2. Kullanılan Yapıştırıcılar

CFRP kompozit malzemelerin ahşap yüzeylere yapıştırılmasında ince uygulamalar için özel olarak geliştirilmiş, çift bileşenli bond 200M tipi epoksi macun ile tek bileşenli poliüretan esaslı yapıştırıcılar kullanılmıştır.

2.3. Karbon Fiber Takviyeli Polimerler

Bu çalışmada kullanılmak üzere, ülkemiz piyasasındaki CFRP kompozitleri incelenmiş ve yapılacak güçlendirme çalışmasına uygun ebat ve form olarak 1,2 mm kalınlığında CFRP şerit çubuk numuneleri, ülkemizde kompozit malzeme sağlayıcısı Dost Kimya Endüstriyel Hammaddeler Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. firmasından temin edilmiştir. Şekil 2’de bu CFRP şerit çubuklar görülmektedir.



Şekil 2. CFRP şerit çubuk (<http://www.kompozit.net/catinfo.asp?cid=33>, 2010).

2.4. Deney Örneklerinin Hazırlanması

Ahşap Deney Örneklerinin Hazırlanması

Deney örneklerinin hazırlanmasında kullanılan Sarıçam ve Kayın, piyasadaki kereste işletmelerinden “Rastgele seçim” yöntemiyle temin edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılacak ahşap malzeme seçimi, TS 2470 esaslarına göre yapılmıştır. Bu standarda göre deney örneklerinin hazırlanmasında aşağıdaki hususlara dikkat edilmiştir.

- 1) Örnekler birinci sınıf çatlaksız ve budaksız keresteden alınmıştır.
- 2) Deney örnekleri, lif doğrultusuna paralel olacak şekilde kesilerek hazırlanmıştır.
- 3) Deney örnekleri kurutulmuş ahşaptan elde edilmiştir.
- 4) Deney örneklerinin rutubet miktarı % 10-12 aralığındadır.
- 5) Deney örneklerinin boyutları kumpasla tespit edilmiştir.
- 6) Deney örneklerinin boyutlarının her tarafında eşit olmasına özen gösterilmiştir.
- 7) Her deney grubu için 5 adet deney örneği hazırlanmıştır.
- 8) Tüm deney örnekleri aynı şartlar altında deneye tabi tutulmuştur.

Bu hususlar göz önünde bulundurularak her grup için 5 adet örnek hazırlanmış, 18 farklı deney grubu için toplam 90 adet deney örneği elde edilmiştir.

CFRP Deney Örneklerinin Hazırlanması

Carbon fiber ithal eden kimyasal firmasından temin edilmiş, tabakalı birleştirme yöntemiyle üretilmiş CFRP kompozit malzeme örnekleri her deney grubu için 5 adet olmak üzere toplam 60 adet hazırlanmıştır.

Örneklerin hazırlanmasında CFRP'lerin eşit boyda olmasına ve liflerinde kopma meydana getirmeyecek şekilde düzgün kesim yapmaya dikkat edilmiştir. Güçlendirme elemanı olarak hazırlanan CFRP'lerin tüm yüzeylerine olabildiğince eşit miktarda yapıştırıcı sürmeye özen gösterilmiştir.

2.5. Deneyin Uygulanışı

Yapılan bu çalışmada, CFRP'lerin üstün dayanım özelliklerinden faydalanılarak ahşap yapı elemanlarının eğilmeye, çekme ve basınca zorlanan kısımlarında güçlendirme amacıyla kullanımı irdelenmiştir. Bu amaçla sarıçam ve kayın örneklerine, epoksi ve poliüretan yapıştırıcı ile CFRP güçlendirmesi yapılmış, hazırlanan örnekler liflere paralel doğrultuda, statik eğilme, çekme ve basınç tayini deneylerine tabi tutulmuştur.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda örneklere ait verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi için SPSS paket programdan faydalanılmıştır. Çalışmadaki faktörlerin elde edilen sonuçlar üzerinde anlamlı olup olmadığını belirleyebilmek için varyans analizlerine başvurulmuştur. Anlamlı bulunan faktörler üzerinde, farklılığın boyutunu belirleyebilmek için Duncan testleri yapılmıştır. Ayrıca ortalama ve istatistiksel analizler için tanımlayıcı istatistiklerden faydalanılmıştır.

3. SONUÇLAR

3.1. Statik Eğilme Deneyine İlişkin Bulgular

Statik eğilme deneyleri sonucunda sarıçam ve kayın örneklerine ait eğilme direnci ortalamaları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Eğilme direnci ortalamaları.

	Sarıçam	Kayın
Masif	88,9423	117,7922
Pu CFRP	113,0403	141,2795
Epoksi CFRP	144,4109	176,2007

Statik eğilme direnci ortalama değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Statik eğilme direncine göre varyans analizi.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	22221,080(a)	5	4444,216	35,963	0,000
Sabit Terim	510471,881	1	510471,881	4130,791	0,000
AGAÇ	6435,598	1	6435,598	52,078	0,000
TUTKALLI	15693,356	2	7846,678	63,496	0,000
AGAÇ * TUTKALLI	92,126	2	46,063	0,373	0,693
Hata	2965,854	24	123,577		

Toplam	535658,81 6	30			
Düzeltilmiş Toplam	25186,934	29			

$$R = 0,882$$

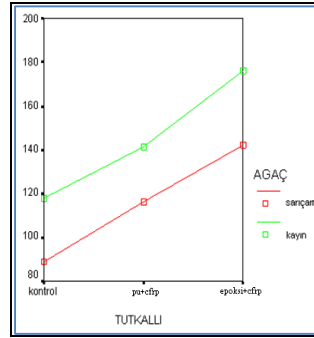
Varyans analizi sonuçlarına göre, CFRP ile yapılan güçlendirmede kullanılan yapıştırıcı açısından, statik eğilme direnci değerleri % 95 güven düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Statik eğilme direncine göre duncan sonuçları Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Statik eğilme direnci duncan sonuçları.

DUNCA N	N	Subset			
		2	3	4	1
1,00	5	88,9423			
2,00	5		116,040 3		
4,00	5		117,792 3		
5,00	5			141,279 5	
3,00	5			142,410 9	
6,00	5				176,200 7

Güven Düzeyi		1,000	0,805	0,874	1,000
--------------	--	-------	-------	-------	-------

Statik eğilme deneyinde kullanılan ağaç cinsi ve yapıştırıcı türüne göre eğilme direnci ortalama değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Eğilme direnci ortalama grafiği.

Statik eğilme deneyleri sonucunda elastikiyet modülü ortalamaları Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Elastikiyet modülü ortalamaları.

	Sarıçam	Kayın
Masif	8563	11108
Pu CFRP	16331	17677
Epoksi CFRP	17868	22634

Elastikiyet modülü ortalama değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 5. Elastikiyet modülüne göre varyans analizi.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	492030198,396 (a)	5	98406039,67 9	20,188	0,000
Sabit Terim	7613459636,03 0	1	7613459636, 030	1561,9 20	0,000
AGAÇ	492030198,396	5	98406039,67 9	20,188	0,000
TUTKALLI	116986171,912	24	4874423,830		
AGAÇ * TUTKALLI	8222476006,33 7	30			
Hata	609016370,308	29			
Toplam	492030198,396 (a)	5	98406039,67 9	20,188	0,000
Düzeltilmiş Toplam	7613459636,03 0	1	7613459636, 030	1561,9 20	0,000

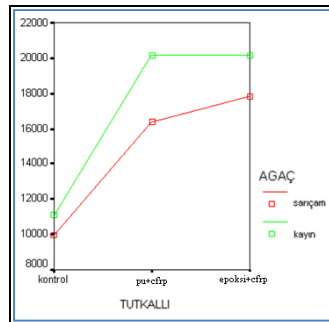
R = 0,808

Varyans analizi sonuçlarına göre, CFRP ile yapılan güçlendirmede kullanılan yapıştırıcı açısından, elastikiyet modülü değerleri % 95 güven düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Elastikiyet modülüne göre duncan sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Elastikiyet modülü duncan sonuçları.

DUNCAN	N	Subset		
		2	3	1
1,00	5	9961,4180		
4,00	5	11108,5400		
2,00	5		16367,8400	
3,00	5		17832,9200	17832,9200
6,00	5			20141,9800
5,00	5			20170,5200
Güven Düzeyi		0,419	0,305	0,126

Statik eğilme deneyinde kullanılan ağaç cinsi ve yapıştırıcı türüne göre elastikiyet modülü ortalama değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Elastikiyet modülü ortalama grafiği.

3.2. Çekme Deneyine İlişkin Bulgular

Çekme deneyleri sonucunda sarıçam ve kayın örneklerine ait çekme direnci ortalama değerleri Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 7. Çekme direnci ortalamaları.

	Sarıçam	Kayın
Masif	95,5648	140,0389
Pu CFRP	97,0586	143,7732
Epoksi CFRP	99,4648	144,9022

Çekme direnci ortalama değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları Çizelge 8’de verilmiştir.

Çizelge 8. Çekme direncine göre varyans analizi.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	15168,434(a)	5	3033,687	52,140	0,000
Sabit Terim	435972,376	1	435972,376	7493,101	0,000
AGAÇ	14991,545	1	14991,545	257,661	0,000
TUTKALLI	158,848	2	79,424	1,365	0,274
AGAÇ * TUTKALLI	18,040	2	9,020	0,155	0,857

Hata	1396,396	24	58,183		
Toplam	452537,20 5	30			
Düzeltilmiş Toplam	16564,830	29			

$$R = 0,916$$

Varyans analizi sonuçlarına göre, CFRP ile yapılan güçlendirmede kullanılan yapıştırıcı açısından, çekme direnci değerleri % 95 güven düzeyinde anlamlı bulunmuştur.

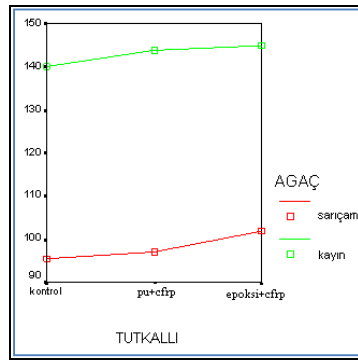
Çekme direncine göre duncan sonuçları Çizelge 9’da verilmiştir.

Çizelge 9. Çekme direnci duncan sonuçları.

DUNCA	N	Subset	
		2	1
1,00	5	95,5648	
2,00	5	97,0586	
3,00	5	101,964 8	
4,00	5		140,039 0
5,00	5		143,773 3
6,00	5		144,902 3

Güven Düzeyi		0,222	0,351
--------------	--	-------	-------

Çekme deneyinde kullanılan ağaç cinsi ve yapıştırıcı türüne göre çekme direnci ortalama değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 5’da verilmiştir.



Şekil 5. Çekme direnci ortalama grafiği.

3.3. Basınç Deneyine İlişkin Bulgular

Basınç deneyleri sonucunda sarıçam ve kayın örneklerine ait basınç direnci ortalama değerleri Çizelge 10’da verilmiştir.

Çizelge 10. Basınç direnci ortalamaları.

	Sarıçam	Kayın
Masif	56,9263	62,2888
Pu CFRP	52,4593	65,5406
Epoksi CFRP	55,9764	63,7888

Basınç

direnci ortalama değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları Çizelge 11’de verilmiştir.

Çizelge 11. Basınç direncine göre varyans analizi.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	656,356(a)	5	131,271	5,326	0,002
Sabit Terim	106196,017	1	106196,017	4308,248	0,000
AGAÇ	574,494	1	574,494	23,307	0,000
TUTKALLI	4,080	2	2,040	0,083	0,921
AGAÇ * TUTKALLI	77,782	2	38,891	1,578	0,227
Hata	591,587	24	24,649		
Toplam	107443,961	30			
Düzeltilmiş Toplam	1247,944	29			

$$R = 0,526$$

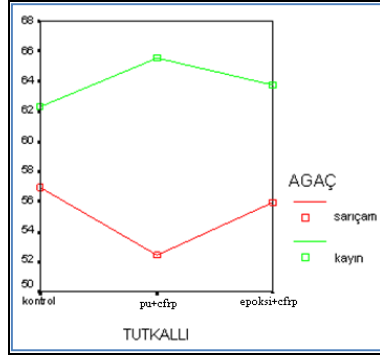
Varyans analizi sonuçlarına göre, CFRP ile yapılan güçlendirmede kullanılan yapıştırıcı açısından, basınç direnci değerleri % 95 güven düzeyinde anlamlı bulunmuştur.

Basınç direncine göre duncan sonuçları Çizelge 12’de verilmiştir.

Çizelge 12. Basınç direnci duncan sonuçları.

DUNCA N	N	Subset		
		2	3	1
2,00	5	52,4594		
3,00	5	55,9765	55,9765	
1,00	5	56,9264	56,9264	
4,00	5		62,2891	62,2891
6,00	5			63,7889
5,00	5			65,5406
Güven Düzeyi		0,191	0,068	0,338

Basınç deneyinde kullanılan ağaç cinsi ve yapıştırıcı türüne göre basınç direnci ortalama değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Basınç direnci ortalama grafiği.

Bu sonuçlar değerlendirildiğinde, PU esaslı yapıştırıcı ile yapılan CFRP güçlendirilmesinde, sarıçam örneklerinde % 90,71, kayın örneklerinde % 59,13 daha iyi statik eğilme direnci olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bond 200M epoksi ile yapılan CFRP güçlendirmesinde, sarıçam örneklerinde % 108,66 kayın örneklerinde ise % 103,76 daha iyi statik eğilme direnci olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sarıçam örneklerindeki artış miktarı daha yüksek olmasına rağmen kayın örneklerinin eğilme dayanımı sarıçam örneklerinden daha yüksektir. Ogawa (1999) ve Roberto et al. (2004) yaptıkları çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda bu sonuçların literatürle uyumluğu olduğu anlaşılmıştır.

Çekme gerilmesinde ve basınç direncinde, tek yönlü yapılan güçlendirme çalışmalarında herhangi bir artış bulgusuna rastlanılmamıştır. Çekme gerilmesinde ve basınç direncinde her hangi bir artış olmamasının sebebi olarak, tek bir yüzeyden yapılan güçlendirmenin, ahşap malzemeye liflere paralel doğrultuda basınç kuvveti uygulandığı zaman liflerin birbirinden ayrılmasını engellemediği için yapılan güçlendirmenin yeterliği olmağı sonucuna varılmıştır.

Günümüzde geniş kullanım alanı olan fiber takviyeli kompozitlerin ahşap restorasyonda da güçlendirme uygulamaları giderek yaygınlaşmaktadır. CFRP'lerin mekanik dayanımı ahşap malzemedenden daha yüksek olduğu için güçlendirme çalışmasında CFRP kullanımı uygun bulunmuştur.

Ahşap restorasyon çalışmalarında CFRP ve epoksi kullanılarak bölgesel güçlendirme yapılabilir. CFRP ile yapılan güçlendirme çalışmalarında ahşap görünümü korunarak restorasyon yapılabilir. Geleneksel restorasyon yöntemlerinde kullanılan metal esaslı malzemeler yerine CFRP ile

güçlendirilmiş, estetik ve hafif olarak tasarlanmış yapı malzemeleri kullanılabilir.

KAYNAKLAR

Akgül, T., Sarıbyık, M., Apay, A., 2011. “Karbon Elyaf Çubuklarla Güçlendirilmiş Ahşap Boy Birleşimlerinin Eğilme Davranışlarının İncelenmesi”, E-Journal of New World Sciences Academy, Volume 6, Number 4, Pages 1232-1233.

Günay, R., 2002. “Geleneksel ahşap yapılar sorunları ve çözüm yolları”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 43-64.

İnternet: 2010. Dost Kimya Endüstriyel Hammaddeler Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. “Kompozit ürünler”, <http://www.kompozit.net>.

Ogawa H., 1999. “Architectural application of carbon fibers, development of new carbon fiber reinforced glulam”, *Toho R. Co. Ltd.*, Tokyo, Japan, 1-9.

Öztürk B., R., 2006. “Türk sarıçamından lamine ahşap kirişlerin mekanik özellikleri”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*, 5 (2): 25-36.

Roberto L.A., Michael A.P., and Sandford T.C., 2004. “Fiber reinforced polymer composite–wood pile interface characterization by push-out tests” *Journal of Composites for Construction*, 8 (4): 360-368.

Şahin, Y., 2000. “Kompozitmalzemelere giriş”, *Gazi Kitabevi*, Ankara, 2-33.

Täljsten, B., and Blanksvärd, T., “Mineral-based bonding of carbon FRP to strengthen concrete structures”, *Journal of Composites for Construction*, 11(2): 120-128 (2007).

TS 2470, “Odunda fiziksel ve mekaniksel deneyler için numune alma metotları ve genel özellikler”, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, 1-5 (1976).

TS 2474, “Odunun statik eğilme dayanımının tayini”, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, 1-2 (1976).

TS 2475, “Odunda liflere paralel doğrultuda çekme gerilmesinin tayini”, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, 1-2 (1976).

TS 2595, “Odunda liflere paralel doğrultuda basınç dayanımının tayini”, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, 1-2 (1977).

Usta, İ., 1993. “Türkiye ağaç malzeme emprenye edndüstrisinin bugünkü durumu ve geliştirilmesine ilişkin öneriler”, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 139.

Uysal, B., 2005. “Ağaç malzeme ders notları”, *Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Karabük, 17-20.

Yeou-Fong L., Xie, Y.M., and Tsai, M.J., 2009. "Enhancement of the flexural performance of retrofitted wood beams using CFRP composite sheets", *Construction and Building Materials, ScienceDirect Journals*, 23 (1): 411-420.