

Ahşap Malzemelerin FRP ile Güçlendirilmesinin Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi

Şemsettin KILINÇARSLAN¹, Yasemin ŞİMŞEK TÜRKER¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32000, Isparta

(Alınış / Received: 03.09.2019, Kabul / Accepted: 17.02.2020)

Anahtar Kelimeler

Ahşap Malzeme,
Sürdürülebilirlik,
Fiber Takviyeli Polimer,

Özet: Sürdürülebilir yapı malzemeleri, yaşam döngüleri boyunca minimum düzeyde enerji harcayan, hammaddelerinin elde edilmesi, işlenmesi, kullanımı, bakım-onarımı ve atık oluşumları sırasında çevreye ve insan sağlığına zarar vermeyen malzemelerdir. Ahşap malzeme en yaygın kullanılan yapı malzemeleri arasındadır. Ancak mevcut kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanması için malzemenin servis ömrü boyunca korunması gerekmektedir. Uzun yıllardır ahşap malzeme yapıların inşasında kullanılmaktadır. Ülkemizde tarihi ahşap yapılar zaman içerisinde onarım ve güçlendirmeye ihtiyaç duymaktadır. Geleneksel onarım yöntemleri, ahşap malzemeye zamanla böcek arız olmasına, mantarlaşmaya ve çürüklüğe sebep olmaktadır. Ayrıca bütün zarar görmüş elemanların sökülmesi özellikle maliyet ve işçilik açısından önemli problemler ortaya çıkarabilmektedir. Bu nedenle, yapıda kullanılan ahşap elemanların tamamının değiştirilmesi yerine zarar görmüş elemanların onarılması sürdürülebilirlik açısından daha uygundur. Yapılan bölgesel değişiklik ile birlikte kavala, çivi, blonlama tekniği gibi yeni birleşimler oluşmaktadır. Fiber takviyeli polimerler ile güçlendirme ile zamandan tasarruf sağlanmakla birlikte görsellik açısından da önemli avantajlar sunmaktadır. Bu nedenle fiber takviyeli polimerlerin kullanımı daha sürdürülebilir ve yenilenebilir bir yapı oluşturmaya katkı sağlayacaktır.

Evaluation in terms of Sustainability of Wood Materials Reinforced with FRP

Keywords

Wood Materials,
Sustainability,
Fiber Reinforced Polymer,

Abstract: Sustainable building materials are materials that consume minimum energy during their life cycles and do not harm the environment and human health during the production, use, maintenance, repair and waste generation of their raw materials. Wood material is one of the most widely used building materials. However, to ensure the sustainability of the available resources, the material must be protected throughout its service life. Wood materials are used in the construction of buildings for many years. Historical wooden structures in our country need repair and strengthening over time. Traditional repair methods cause insect failure, fungus and rot on wood material over time. In addition, the removal of all damaged elements can cause significant problems, especially in terms of cost and labor. Therefore, instead of replacing all the wood elements used in the building, repairing the damaged elements is more suitable for sustainability. With the regional change, new combinations such as dowels, nails, bloning techniques are formed. Fiber reinforced polymers provide significant advantages in terms of visualization while saving time with reinforcement. Therefore, the use of fiber-reinforced polymers will contribute to a more sustainable and renewable structure.

1. Giriş

Betonarme, çelik veya kereste, yapıların inşasında kullanılan geleneksel yapı malzemelerindendir. Beton dayanaklı bir malzeme olduğundan, binalarda,

otoyollarda, barajlarda, kaldırımında ve birçok alanda kullanılan yapı malzemesidir [1]. Ahşap ise en eski inşaat malzemelerinden biridir ve ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin yapısal amaçla kullanımı sürekli

artmaya devam etmektedir. Ahşap, tüm dünyada inşaat projeleri için oldukça ilgi gören bir yapı malzemesi olarak bilinmektedir.

Ülkemizde ki tarihi yapıların (örneğin; Cumalıkızık evleri, Eşrefoğlu camii vb.) ahşap elemanlardan oluşmaktadır. Bu tarihi yapıların bakım, onarımı üzerine yapılan çalışmalar oldukça fazladır ve bu yapıların güçlendirilmesi önem arz etmektedir. Bu nedenle, binalar için geçerli olan farklı güçlendirme tekniklerinin incelenmesi önemlidir. Ahşap yapılar geleneksel olarak çelik ve ahşap malzeme parçaları ile güçlendirilmiştir [2]. Fiber takviyeli polimerler (FRP) ile güçlendirmenin ahşap elemanların farklı özellikleri üzerine etkisinin araştırılmasının 60'lı yıllara dayandığı belirtilmiştir [3,4]. Lif takviyeli polimer (FRP) kompozitler bir polimer bileşen olan matrisinin içine gömülmüş liflerden oluşmaktadır. Lif ve bu polimer bileşen matrisin birleşiminden oluşan kompozit malzeme orijinal bileşenlerinden daha üstün özelliklere sahiptir. Yapılan çalışmalarda masif ahşap kirişleri güçlendirmek için cam elyaf kompozitler kullanılmıştır. Spaun (1981) [5]'de, cam elyaf takviyesini kullanarak güçlendirilmiş kirişlerin eğilme testini yaparak sertlik ve çekme dayanımı artışını incelemiştir. Daha sonra yapılan çalışmalarda kirişlerin güçlendirilmesi için karbon elyaf güçlendirme malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır [6,7]. Garcia vd., (2013)[8] yapmış oldukları çalışmada eğilmeye maruz kalan bir kirişin alt yüzeyi FRP (karbon ve bazalt esaslı kumaşlar) kompozit malzemeleri ile güçlendirilirse, süneklikteki artışın yanı sıra taşıma kapasitesinde artışın olacağını belirtmişlerdir. Şekil 1'de FRP malzemeler ile ahşap elemanların güçlendirilmesi görülmektedir.



Şekil 1. Ahşap elemanların fiber takviyeli polimerler ile güçlendirilmesi [9]

Mevcut ahşap yapıların bozulması, zamanla yorulma ve biyolojik saldırıdan kaynaklanabilir [10-13]. Örneğin, enzimlerin aktivasyonuna bağlı olarak ahşap elemanların biyolojik olarak bozulması, çelik veya beton elemanların korozyona bağlı bozulmalarından farklı olmasına karşın, bu oluşuma benzer bir olgudur. Bozunmuş ahşap elemanların değiştirilmesinin maliyeti çok yüksektir bu nedenle zarar görmüş elemanların onarımı ve güçlendirilmesi daha uygun görülmektedir [12-14]. Ahşap yapılar için geleneksel güçlendirme yöntemleri, çelik plakalar veya çubuklar, alüminyum plakalar ve basitçe ahşap yamalıdır [15-18]. Bu yöntemler ölü yükleri, nakliye masraflarını ve kurulum masraflarını artırabilir. Geleneksel tamir yöntemleri genellikle, zarara uğramış (bozunmuş) kereste üzerinde etkili olmayabilen mekanik bağlantı (örneğin civata ve çiviler) gerektirir. Kullanılan çelik malzemeler korozyona karşı hassas olabilir ve alüminyum plakalar termal etki sonucunda bükülebilir [19]. Fiber takviyeli polimer kompozitlerin uygulanması, özellikle artan yük taşıma kapasitesi veya sertliğinin istendiği durumlarda, ahşap sistemlerini güçlendirmek için umut verici bir çözümdür. FRP kompozitler uygun mukavemet ve sertlik-ağırlık oranları sağlar; aşındırıcı değildir ve mükemmel bir yükleme kolaylığı, uzun süreli bakım maliyetlerini azaltma ve sahada hızlı kurulum imkanı sunmaktadır [20-22]. FRP malzemeler özellikle betonarme yapıların güçlendirilmesi için yoğun olarak kullanılsa da [23] son zamanlarda çelik yapıların güçlendirilmesi için de uygun yöntemler olarak bildirilmiştir [24]. FRP kompozitlerin beton ve yağma yapı elemanlarında donatı, onarım ve güçlendirme amaçlı uygulanması konusunda kapsamlı araştırmalar yapılmış olmasına rağmen, ahşap yapılarda uygulaması konusunda sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Mevcut çalışmaların çoğunluğu eğilmeye karşı güçlendirmeye odaklanmıştır [25-41].

Geleneksel güçlendirme metotlarında kullanılan elemanların FRP malzemeye göre maliyeti düşüktür. Ancak uzun vadede bakıldığında civatalar, çiviler vb. elemanlar kereste üzerinde etkili olmayabilir. Ayrıca, kullanılan çelik malzemeler korozyona karşı hassas olabilir ve alüminyum plakalar termal etki sonucunda bükülebilir. Bu nedenle zamanla bakım ve onarım gerektirmesi, durabilitesinin düşük olması sebebiyle geleneksel güçlendirme metotları yerine FRP malzemelerin kullanımı daha elverişlidir.

Plevris ve Triantafillou (1995) [42], "FRP ile güçlendirilmiş ahşap yapı elemanlarının sünme davranışı" adlı çalışmalarında CFRP (Karbon Fiber Takviyeli Polimerler) ile güçlendirilmiş ahşap kirişlerin sünme davranışlarının nasıl olduğunu tahmin etmek için geliştirdikleri analitik model ile deneysel çalışmaların karşılaştırmalarını yapmışlar ve analitik modelle uyumlu olduğunu bildirmişlerdir. Steiger (2003) [43], ahşap yapılarda yüksek

performanslı karbon fiber takviyeli polimerlerin epoksi ile ahşaba yapıştırılması ve kullanılan epoksinin çekme dayanımına etkisi üzerine çalışmalar yapmıştır. Optimum sıcaklıkta en iyi güçlendirme özelliklerini tespit etmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda CFRP ile epoksi reçinesinin ahşaba yapışma sıcaklığının optimum değerlerinin tutkal üreticilerinin verdiği değerler ile uyumlu olduğunu bildirmiştir.

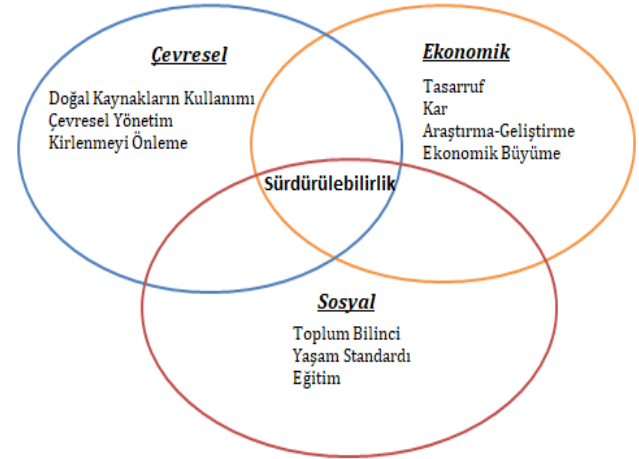
Chans vd. (2013) [44], çalışmalarında, ahşap malzemenin birleşim noktalarına epoksi ile yapıştırılmış çelik çubuklarla yapılan bağlantıların aksenal direncini incelemişlerdir. Her ne kadar iğne yapraklı ağaç odunundan üretilen tutkalanmış lamine kereste (glulam)'nin birleşim noktaları ile ilgili çok sayıda deneysel çalışma olsa da, birleşim yerlerinin testleri ile ilgili deneysel verilerin hala kısıtlı sayıda olduğunu vurgulamışlardır. Bu nedenle, yapmış oldukları çalışmada, bağlantı yerlerinin güçlendirilmesinin malzemenin davranışı üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla farklı tür ağaç malzemelerden üretilen numunelerin test sonuçları değerlendirilmiştir. Çalışmada hem iğne yapraklı hem yapraklı ağaç türü kullanılmışlardır. Her iki türden keresteler ile üretilen numunelerin deney sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Her iki numunede de birleşim bölgelerinin farklı geometrilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda güçlendirmek amacı ile kullanılan çelik çubukların kuvvetini tahmin edebilmek için bir formül önermişlerdir. Ayrıca birleşim bölgelerinin modellemesini yapmışlar ve elde ettikleri model hem iğne yapraklı ağaç hem de yapraklı ağaçtan yapılan birleşim noktalarının test sonuçları ile iyi bir korelasyon göstermiştir.

Bu çalışmada, son yıllarda ahşap malzemenin güçlendirilmesi amacıyla sıklıkla kullanılan fiber takviyeli polimer malzemelerin ahşap malzemenin güçlendirme/onarımında kullanımının avantaj-dezavantajları üzerinde durulmuş ve FRP kullanımının sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

1.1.Sürdürülebilirlik Kavramı

Sürdürülebilirlik kavramı, yakın geçmişe kadar tanınmayan bir kavramken günümüzde çevresel, sosyal, ekonomik ve kültürel pek çok boyutu ile tartışılan bir kavram haline gelmiştir. İlk kez 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonun hazırladığı "Our Common Future" isimli raporda geçen sürdürülebilirlik kavramı ve sürdürülebilirlik gelişme, en genel tanımı ile "bugünün ihtiyaçlarını, gelecek kuşakların da kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme olanağından ödün vermeksizin karşılayabilmek" şeklinde açıklanmaktadır [45].

Sürdürülebilir kalkınmanın başarılı olabilmesi için bu kavramın ekonomik, sosyal ve çevresel boyutu üzerinde durulması gerekmektedir (Şekil 2) [46].



Şekil 2. Sürdürülebilirlik kavramının farklı boyutları [47]

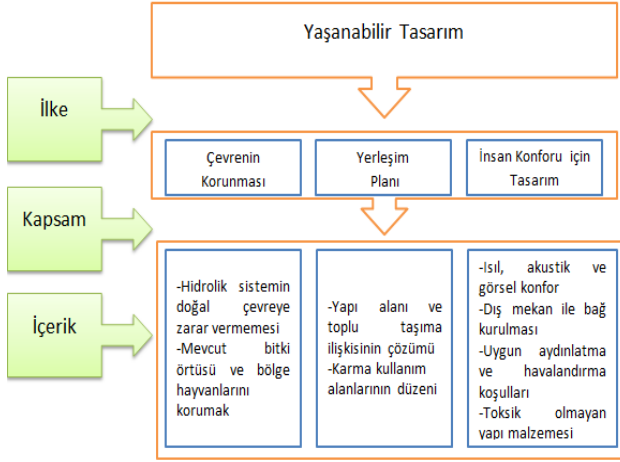
Ekonomik Boyut: Sınırlı olan kaynakların tüketimi ile ilgilidir. Ekonomik olarak sürdürülebilir bir sistem, mal ve hizmetleri devamlılık esaslarına göre üretebilen, tarımsal ve endüstriyel üretime zarar veren sektörel dengesizliklerden sakınan, iç ve dış borçların yönetebilir düzeyde sürdürülebilirliğini sağlayan sistemdir [45].

Sosyal Boyut: İnsan odaklıdır. Sosyal olarak sürdürülebilir bir sistem, eğitim ve sağlık gibi sosyal hizmetlerin yeterliliği ve eşit dağılımı, cinsiyet eşitliği, politik sorumluluk ve katılımı sağlayabilen sistemdir [45].

Çevresel Boyut: Biyolojik ve fiziksel sistemlerin dengeli olması öngörülür. Amaç, ekosistemlerin değişen koşullara adapte olmasının sağlanmasıdır. Çevresel olarak sürdürülebilir bir sistem, kaynak temelini sabit tutarak, yenilenebilir kaynak sistemlerinin ya da çevresel yatırım fonksiyonlarının istismarından kaçmalı ve yenilenemeyen kaynaklardan yalnızca yatırımlarla yerine yeterince konulmuş olanları tüketmelidir. Bu sistem aynı zamanda ekonomik kaynak olarak sınıflandırılmayan, biyolojik çeşitlilik, atmosferik denge ve diğer ekosistem unsurlarının korunmasını da içerir [45].

1.2.Sürdürülebilir Yapı Malzemeleri

Sürdürülebilir yapı malzemeleri, yaşam döngüleri boyunca minimum düzeyde enerji harcayan, hammaddelerinin elde edilmesi, işlenmesi, kullanımı, bakım-onarımı ve atık oluşumları sırasında çevreye ve insan sağlığına zarar vermeyen malzemelerdir. Sürdürülebilir mimarlıkta yapı malzemeleri, yapıların enerji tüketimi, doğal kaynakların korunumu, kullanımı ve çevre sağlığı açısından önemli bir yer tutmaktadır [45]. Yaşanabilir tasarım ilkeleri Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Yaşanabilir tasarım ilkesi [45]

Ahşap yapı malzemeleri sürdürülebilirlik açısından değerlendirildiğinde, bu malzemelerin diğer yapı malzemelerine kıyasla üretimi ve kullanımı sırasında çevreye daha duyarlı olduğu bilinmektedir. Ahşap yapı malzemelerinin üretimi sırasında salınan karbon miktarının az olduğu Tablo 1’de de belirtilmiştir.

Tablo 1. Yapı malzemelerinin üretiminde salınan ve depolanan karbon miktarı [48]

Malzeme	Salınan Karbon (kg/t)	Salınan Karbon (kg/m ³)	Depolanan Karbon (kg/m ³)
Kereste	30	15	250
Çelik	700	5320	0
Beton	50	120	0
Alüminyum	8700	22000	0

Tabloda da görüldüğü üzere ahşap yapı malzemelerinin üretimi sırasında düşük karbon salınımı gerçekleşmektedir. Düşük karbon salınımının yanı sıra depoladığı karbon miktarı da oldukça fazladır. Bu malzemenin sürdürülebilirliğinin sağlanması sadece ormanları korumak ile değil aynı zamanda özellikle yapısal uygulamalarda verimli kullanımını sağlamak ile gerçekleşebilmektedir. Bu bağlamda, FRP kullanılarak ahşap kirişlerin onarımı ve güçlendirilmesi son zamanlarda büyük ilgi görmüştür. Fiber takviyeli polimerlerin güçlendirme ve onarım malzemesi olarak kullanılma sebepleri: 1) ölü yükleri azaltmaktır, 2) ahşap elemanların mekanik özelliklerini daha da iyi hale getirmek veya 3) aşırı yer değiştirmeleri azaltmaktır [49]. Bazı yazarlar [50], güçlendirilmiş lamine kirişlerin güçlendirilmemiş lamine kirişlere göre daha ekonomik olduğunu düşünmektedir. Güçlendirme kullanımı ile birlikte ahşap kesitlerinin azaltılabileceğini ve böylece daha az hacimde ahşap malzeme kullanılacağını belirtmişlerdir. Plavris ve Triantafillou (1995) [51], “FRP ile güçlendirilmiş ahşap yapı elemanlarının sünme davranışı” adlı çalışmalarında CFRP ile güçlendirilmiş ahşap kirişlerin sünme davranışlarının nasıl olduğunu tahmin etmek için geliştirdikleri analitik model ile

deneysel çalışmaların karşılaştırmalarını yapmışlar ve analitik modelle uyumlu olduğunu bildirmişlerdir. Ogawa (1999) [52], yaptığı çalışmada, lamine ahşap kirişlerin çeşitli bölgelerine karbon fiber takviyeli elyaf şerit yapıştırmak suretiyle veya tüm kirişi belirli aralıklarla karbon fiber elyaf kumaşla sararak güçlendirmeler yapmış ve eğilme mukavemetlerini karşılaştırmıştır. Ayrıca aynı numuneleri yakma deneyine tabi tutarak güçlendirilmiş numunelerin sıcaklık altındaki davranışlarını gözlemlemiş ve % 300’lük performans artışı tespit etmiştir. Premrov vd. (2003) [53], yaptıkları çalışmada; karbon fiber takviyeli polimerler ile güçlendirilmiş ahşap yapı elemanlarının analizlerini incelemişler ve ahşap yapı elemanlarının 75 mm’lik CFRP ile güçlendirilmesi ile % 50 oranında daha yüksek bir dayanım elde etmişlerdir. Steiger (2003) [43], ahşap yapılarında yüksek performanslı karbon fiber takviyeli polimerlerin epoksi ile ahşaba yapıştırılması ve kullanılan epoksinin çekme dayanımına etkisi üzerine çalışmalar yapmıştır. Optimum sıcaklıkta en iyi güçlendirme özelliklerini tespit etmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda CFRP ile epoksi reçinesinin ahşaba yapışma sıcaklığının optimum değerlerinin tutkal üreticilerinin verdiği değerler ile uyumlu olduğunu bildirmiştir. Roberto vd. (2004) [54], tamamen zarar görmüş ahşap kolonların FRP kompozit levhalarla güçlendirilmiş elemanların yapısal olarak sınıflandırılması ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Yapılan eğilme testleri sonucu elde edilen verilerde, FRP kompozit levhalarla %60 oranında bir iyileşme olduğu tespit edilmiştir. Borri vd. (2005) [26], CFRP ile güçlendirilmiş ahşap yapı elemanlarının yükler altındaki davranışları üzerine yaptıkları araştırmada mevcut ahşap yapı elemanlarının lineer olmayan modelleriyle tahmin edilen yük miktarının karşılaştırmasını yapmışlardır.

1.3.Çevresel Sürdürülebilirlik

Çevresel sürdürülebilirlik, doğal kaynakların sürekliliğinin sağlanması anlamına gelmektedir. Kaynakların kullanım düzeyinin, bu kaynakların kendini yenileme hızını; salınan kirleticilerin oranının, doğal kaynakların bu kirleticileri işleme tabii tutma hızını aşması gerekmektedir [46]. Çevresel sürdürülebilirliği etkileyen üç önemli faktör bulunmaktadır. Bunlar; sanayileşme, kentleşme ve hızlı nüfus artışıdır. Nüfusun hızla artışı 18. yüzyılda başlamış ve beraberinde çevre sorunlarını getirmiştir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte de doğal kaynakların kullanımı artmıştır. Önceleri sınırsız ve bedava kabul edilen doğa, çağdaş toplumlarda artan üretim faaliyetleri ile sınırlı bir sermayeye dönüşmüştür [53]. Çevre, özellikle sanayi devriminden sonra gelişen ekonomik temelli saldırı olarak tabir edilen sömürden büyük oranda etkilenmiştir. Bu dönemden 1960’lara kadar doğal çevreye verilen zarar ciddi anlamda göz ardı edilmiştir [54]. Çevrenin ve ekosistemin sürdürülebilirliği açısından yenilenebilir kaynaklar

çerçevesinde; kaynakların kullanım seviyesi, kaynakların yeniden oluşum seviyesini hiçbir zaman aşmamalıdır [43].

Doğal çevrenin korunması amacıyla sürdürülebilirlik kavramı Maastricht Anlaşması (Avrupa Birliği Antlaşması) ile kapsamlı olarak dört yönüyle aşağıda verilen maddeler ile tanımlanmıştır.

- Çevre kalitesini geliştirmek ve korumak,
- İnsan sağlığını korumak,
- Doğal kaynakların dikkatli ve akılcı kullanımını sağlamak,
- Bölgesel ya da evrensel tüm çevresel problemleri uluslararası düzeyde ele almak ve değerlendirmek.

21. yüzyıl enerji ve çevre yüzyılı olarak düşünüldüğünde ağaç endüstrisinin önemli biraz daha gün yüzüne çıkmaktadır. Ahşap yapının üretiminde kullanılan enerji kıyaslandığında, çelik 9, betonarme ise 3 kat fazla enerji harcamaktadır. Amerika'da endüstriyel hammaddelerin %47'sini ahşap malzemeler oluşturmaktadır. Bu malzemelerin üretiminde harcanan enerji tüketimine bakıldığında tüm enerji üretimindeki oranı % 4 kadardır. Dünya yıllık CO₂ salınımının yaklaşık olarak 30 milyar tondur. Yapı endüstrisinde ahşap kullanılması ile birlikte 483.000.000 ton daha az CO₂ salınacağı rapor edilmiştir [55]. Dolayısıyla çevresel sürdürülebilirliğin kalkınmasını olumlu yönde etkileyecek ağaç malzemenin servis ömrünün uzatılması ve çeşitli zararlılardan korunarak güçlendirme-onarımının yapılması sürdürülebilirlik açısından önemli bir husustur.

2.Ahşap Malzemenin FRP ile Güçlendirilmesi-Çevresel Sürdürülebilirlik İlişkisi

Fiber takviyeli polimerler, kompozit malzemelerin bir grubudur ve son yıllarda yapısal amaçla inşaat endüstrisinde sıklıkla kullanılan bir malzemedir [56, 57]. FRP ile güçlendirmenin en önemli avantajlarından birinin malzemeyi güçlendirme ve onarma olduğu bilinmektedir. Ahşap malzeme doğal, yenilenebilir, maliyetinin düşük olması, geri dönüşümünün kolay olması ve estetik olması açısından en yaygın kullanılan yapı malzemeleri arasındadır [58, 59]. Bu malzemenin güçlendirilmesi amacıyla kullanılan FRP malzemeleri kullanılarak ahşap malzemenin kullanım ömrünün uzatılmasının yanı sıra çeliğe nazaran çevreye daha duyarlı bir malzeme olan fiber takviyeli polimerlerin kullanımı sağlanacaktır. FRP malzemeleri düşük ağırlığına oranla yüksek sertlik ve yüksek dayanıma sahip olması sebebiyle kereste için ideal bir güçlendirme elemanıdır. Ayrıca, bu malzemeler, sahip oldukları yüksek yorulma direnci ile birlikte aşındırıcı ortamlarda üstün dayanıklılık göstermektedirler [38].

Ahşap malzemenin birleşim noktaları için özellikle çelik malzeme sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak çelik

elemanın sertlik değerlerinin ahşap malzemenin çok farklı olması ve zaman içerisinde korozyona uğraması çevresel açıdan ve özellikle kullanım ömrü açısından problemler ortaya çıkarmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Çelik ve ahşap malzeme arasında zayıf ilişkiye örnek görüntü (SDÜ Camii)

Şekilde de görüldüğü gibi ahşap ile çelik arasındaki zayıf ilişki malzemeyi görsellik, çevre düzeni ve kullanım ömrü açısından olumsuz yönde etkilemektedir.

3.Tartışma ve Sonuç

Çalışmada son zamanlarda ahşap malzemenin onarımı ve güçlendirilmesi amacıyla kullanılan fiber takviyeli polimerlerin ve bu uygulamanın sürdürülebilirliğin ekonomik, sosyal ve özellikle çevresel boyutu açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Ahşap malzemelerin güçlendirilmesi ve birleşimleri genellikle çelik elemanlar ile yapılmaktadır. Ancak çelik elemanlar zamanla ahşap malzemenin ayrılmakta ve korozyona uğramaktadır. Dolayısıyla zamanla çevre kalitesini düşürmekte, insan sağlığına zarar vermekte, ahşap elemanın kullanım süresini azaltmakta ve çevresel problemler ortaya çıkarmaktadır.

Günümüzde tarihi ahşap yapıların çoğu güvenli bir şekilde onarım ve güçlendirmeye ihtiyaç duymaktadır. Bilinen onarım çalışmaları, zaman içerisinde ahşap elemanların farklı bölgelerinde böceklerin arız olması, mantarlaşıma, çürüklük vd. nedenler sebebiyle değiştirilmesi gereken elemanların hepsinin sistemden ayrılması gerek maliyet ve işçilik gerekse yapının güvenliği açısından önemli problemler ortaya çıkarabilmektedir. Dolayısıyla yapıda kullanılan elemanların hepsini değiştirmek yerine zarara uğramış elemanları değiştirmek daha uygun olacaktır. Yapılan bölgesel değişiklik ile birlikte yeni birleşimler (kavela, çivi, blonlama tekniği) oluşmaktadır. Bu birleşimlerin yapılması statik olarak beklenen sonucu vermemektedir. Tarihi ahşap yapıların FRP ile güçlendirilmesi hem zaman almamakta hem de estetik açıdan avantaj sağlamaktadır.

Yaygın olarak kullanılan güçlendirme tekniklerinde, ahşap yapılarda birleşim yerleri büyük yüklere maruz

kaldığında metal kullanılması önerilmektedir. Ancak fiber takviyeli polimerlerin metallere göre olumlu yönleri göz önünde bulundurulduğunda FRP'lerin çelik malzemeye göre birçok avantajı bulunmaktadır. En önemli avantajları; hafif olması, korozyona uğramaması ve esnek bir malzeme olmasıdır. Çelik eleman ile yapılan güçlendirmeler zaman içerisinde bakım-onarım gerektirmekte, görüntü ve çevre kirliliği oluşturmakta ve yapıya ekstra yük getirmektedir. Bu nedenle fiber takviyeli polimerlerin kullanımı daha sürdürülebilir ve yenilenebilir bir yapı oluşturmaya katkı sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma YÖK 100/2000 doktora programı "Sürdürülebilir Yapı Malzemeleri ve Teknolojileri" tematik alanı ve Süleyman Demirel Üniversitesi BAP FDK-2019-6950 nolu proje kapsamında hazırlanmıştır. Yazarlar YÖK'e, YÖK 100/2000 program çalışanlarına ve SDÜ BAP birimine teşekkür ederler.

Kaynakça

- [1] Davraz, M., Pehlivanoglu, H. E., Kilincarslan, Ş. 2017. Influence of High Temperature on Concrete Produced from Portland Cement with Boron Additives. *Acta Physica Polonica A*, 132(3), 872-874.
- [2] González Bravo, C. 2007. Recuperación de la capacidad mecánica en piezas de madera solicitadas a flexión en estructuras tradicionales operando por la cara superior mediante refuerzos y prótesis metálicas. PhD Thesis. E.T.S. of Architecture, Polytechnic University of Madrid, Spain.
- [3] Theakston, F. H. 1965. A Feasibility Study for Strengthening Timber Beams With Fibreglass. *Can Agric Eng*, 17.
- [4] Biblis, E.J. Analysis of Wood-Fiberglass Composite Beams Within and Beyond The Elastic Region. *For Prod Journal*, 15, 81-8.
- [5] Spaun, F.D. 1981. Reinforcement of wood with fibreglass. *For Prod Journal*, 31(4), 26-33.
- [6] Triantafillou, T., Deskovic, N. 1992. Prestressed FRP Sheets as External Reinforcement of Wood Members. *ASCE J Struct Engineering*, 118(5), 1270-84.
- [7] Triantafillou, T. C., Plevris, N. 1992. Strengthening Of RC Beams with Epoxy-Bonded Fibre-Composite Materials. *Materials and Structures*, 25(4), 201-211.
- [8] De La Rosa García, P., Escamilla, A. C., García, M. N. G. 2013. Bending Reinforcement of Timber Beams with Composite Carbon Fiber and Basalt Fiber Materials. *Composites Part B: Engineering*, 55, 528-536.
- [9] Steiger, R. 2003. Fiber Reinforced Plastics (FRP) in Timber Structures. Wood Department EMPA, Dübendorf, Switzerland, 1-9.
- [10] Keenan, F.J. 2000. Limit states design of wood structures. Morrison Hershfield Ltd.; 1986.
- [11] Johns, K.C., Lacroix, S. 2000. Composite Reinforcement of Timber in Bending. *Canadian Journal Civil Engineering*, 27(5), 899906.
- [12] Radford, D.W., Van Goethem, D., Gutkowski, R.M., Peterson, M.L. 2002. Composite Repair of Timber Structures. *Constr Build Mater*, 16, 41725.
- [13] Buell, T.W., Saadatmanesh, H. 2005. Strengthening Timber Bridge Beams Using Carbon Fiber. *J Struct Eng, ASCE*, 131(1), 17387.
- [14] Schober, K.U., Rautenstrauch, K. 2005. Experimental Investigations on Flexural Strengthening of Timber Structures with CFRP. In: Proceedings of the international symposium on bond behaviour of FRP in structures.
- [15] Mark, R. 1961. Wood-Aluminum Beams Within and Beyond The Elastic Range. *Forest Product Journal*, 11(10), 47784.
- [16] Sliker, A. 1962. Reinforced Wood Laminated Beams. *Forest Product Journal*, 12(1), 916.
- [17] Hoyle, R.J. 1975. Steel-reinforced wood beam design. *Forest Product Journal*, 25(4), 1723.
- [18] Bulleit, W.M., Sandberg, L.B., Woods, G.J. 1989. Steel-Reinforced Glued Laminated Timber. *Journal Structure Engineering, ASCE*, 115(2), 43344.
- [19] Gentile, C., Svecova, D., Rizkalla, S.H. 2002. Timber Beams Strengthened with GFRP Bars: Development and Applications. *Journal Composite Const, ASCE*, 6(1), 1120.
- [20] Bakis, C.E., Bank, L.C., Brown, V.L., Cosenza, E., Davalos, J.F., Lesko, J.J., Machida, A., Rizkalla, S.H., Triantafillou, T. 2002. Fiber-Reinforced Polymer Composites for Construction: State-Of-The-Art Review, *Journal of Composites for Construction, ASCE*, 6(2), 73-87.
- [21] Harries, K.A., Zorn, A., Aidoo, J., Quattlebaum, J. 2006. Deterioration of FRP-to-Concrete Bond Under Fatigue Loading. *Adv Structure Engineering*, 9(6), 77989.

- [22] Kim, Y.J., Green, M.F., Fallis, G.J. 2008. Repair of bridge girder damaged by impact loads with prestressed CFRP sheets. *Journal Bridge Engineering ASCE*, 13(1):1523.
- [23] Teng, J.G., Chen, J.F., Smith, S.T., Lam, L. 2003. Behavior and Strength of FRP-Strengthened RC Structures: A State-Of-The-Art Review. *Struct Build*, ICE 156(1), 5162.
- [24] Harries, K.A., El-Tawil, S. 2008. Review of steel-FRP composite structural systems. In: *Proceedings of the 5th international conference on composite construction*.
- [25] Alhayek, H., Svecova, D. 2012. Flexural stiffness and strength of GFRP-reinforced timber beams. *J Compos Constr* 16(3):245-252. doi:10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000261.
- [26] Borri, A., Corradi, M., Grazini, A. 2005. A Method for Flexural Reinforcement of Old Wood Beams with CFRP Materials. *Composites: Part B*, 36, 143-53.
- [27] Blaß, H.J., Romani, M. 2000. Trag- und Verformungsverhalten von Verbundträgern aus Brettschichtholz und faserverstärkten Kunststoffen. *Forschungsbericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau der Universität Karlsruhe* (in German).
- [28] D'Ambrisi, A., Focacci, F., Luciano, R. 2014. Experimental investigation on flexural behavior of timber beams repaired with CFRP plates. *Compos Struct* 108:720-728. doi:10.1016/j.compstruct.2013.10.005.
- [29] Fiorelli, J., Dias, A.A. 2011. Glulam Beams Reinforced with FRP Externally-Bonded: Theoretical and Experimental Evaluation. *Mater Struct* 44(8), 1431-1440. doi:10.1617/s11527-011-9708-y 18. Gentile CJ (2000) Flexural strengthening of timber bridge beams using FRP. MSc thesis, University of Manitoba, Winnipeg.
- [30] Gilfillan, R.J., Gilbert, S.G., Patrick, G.R.H. 2003. The Use Of FRP Composites In Enhancing The Structural Behaviour of Timber Beams. *J Reinf Plast Compos* 22(15):1373-1388. doi:10.1177/073168403035583.
- [31] Hernandez, R., Davalos, J.F., Sonti, S.S., Kim, Y., Moody, R.C. 1997. Strength and stiffness of reinforced yellow-poplar glued-laminated beams. *Research Paper FPL-RP-554*, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison.
- [32] Jacob, J., Barragan, O.L.G. 2010. Flexural strengthening of glued laminated timber beams with steel and carbon fiber reinforced polymers. MSc thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg.
- [33] Jankowski, L.J., Jasienko, J., Nowak, T.P. 2010. Experimental assessment of CFRP reinforced wooden beams by 4-point bending tests and photoelastic coating technique. *Mater Struct* 43(1-2), 141-150. doi:10.1617/s11527-009-9476-0.
- [34] Johnsson, H., Blanksvard, T., Carolin, A. 2006. Glulam members strengthened by carbon fibre reinforcement. *Mater Struct* 40(1):47-56. doi:10.1617/s11527-006-9119-7.
- [35] Kim, Y.J., Hossain, M., Harries, K.A. 2013. CFRP strengthening of timber beams recovered from a 32 year old quonset: element and system level tests. *Eng Struct* 57:213-221. doi:10.1016/j.engstruct.2013.09.028.
- [36] Li, Y.F., Xie, Y.M., Tsai, M.J. 2009. Enhancement of the flexural performance of retrofitted wood beams using CFRP composite sheets. *Constr Build Mater* 23(1), 411-422. doi:10.1016/j.conbuildmat.2007.11.005.
- [37] Micelli, F., Scialpi, V., La Tegola, A. 2005. Flexural reinforcement of glulam timber beams and joints with carbon fiber reinforced polymer rods. *J Compos Constr* 9(4):337-347. doi:10.1061/(ASCE)1090-0268(2005)9:4(337).
- [38] Raftery, G., Harte, A. 2011. Low-Grade Glued Laminated Timber Reinforced with FRP Plate. *Compos Part B: Eng.* 42(4):724-35.
- [39] Raftery, G.M., Whelan, C. 2014. Low-Grade Glued Laminated Timber Beams Reinforced Using Improved Arrangements of Bonded-in GFRP Rods. *Constr Build Mater* 52:209-220. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.11.044.
- [40] Schober, K.U., Rautenstrauch, K. 2006. Post-Strengthening of Timber Structures with CFRP's. *Mater Struct* 40(1), 27-35. doi:10.1617/s11527-006-9128-6.
- [41] Yusof, A. 2010. Bending behavior of timber beams strengthened using fiber reinforced polymer bars and plates. PhD thesis, Technology University of Malaysia, Skudai.
- [42] Plevris, N., Triantafillou, T.C. 1995. "Creep behavior of FRP-reinforced wood members", *Journal of Structural Engineering*, 121 (2), 174-186.

- [43] Steiger, R. 2003. "Fiber reinforced plastics (FRP) in timber structures", Wood Department EMPA, Dübendorf, Switzerland, 1-9.
- [44] Chans, D. O., Cimadevila, J. E., Gutiérrez, E. M. 2013. Withdrawal strength of threaded steel rods glued with epoxy in wood. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 44, 115-121.
- [45] Burdtdland, 1987. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Erişim Tarihi: 1607.2018. file:///C:/Users/Asus/Downloads/our_common_futurebrundtlandreport1987.pdf.
- [46] Kılınçarslan, Ş., Şimşek, Y., Uygun, E., Akoğlu, M., Cesur, B., Tufan, M. Z., Turan, U. Sürdürülebilir Yapı Malzemeleri Açısından Bina Sertifikasyon Sistemlerinin İncelenmesi. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 3(1), 1-14.
- [47]SUYAPO.2019.http://benkoltd.com/suyapo/surdurulebilir/surdurulebilirlik.asp. Erişim Tarihi: 18.08.2019.
- [48] Çelebi, G. 2003. Çevresel söylem ve sürdürülebilir mimarlık için kavramsal bir çerçeve. *GÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 16(1), 205-216.
- [49] Ferguson, I., La Fontaine, B., Vinden, P., Bren, L., Hateley, R. And Hermesec, B. 1996. Environmental Properties of Timber, Research Paper commissioned by the FWPRDC.
- [50] Borri, A., Corradi, M., Grazini, A. 2005. A Method for Flexural Reinforcement of Old Wood Beams With CFRP Materials. *Compos Part B-Eng* 36(2), 143-153. doi:10.1016/j.compositesb.2004.04.013.
- [51] Issa, C.A., Kmeid, Z. 2005. Advanced wood engineering: glulam beams. *Constr Build Mater* 19, 99-106.
- [52] Plavris, N., Trintafillou, T.C. 1992. FRP Reinforced Wood as Structural Material. *Journal Mater Civil Engineering*, 4(3), 300-15.
- [53] Ogawa, H., 1999. Architectural Application Of Carbon Fibers, Development of New Carbon Fiber Reinforced Glulam. Toho R. Co. Ltd., Tokyo, Japan, 1-9.
- [54] Roberto, L.A., Michael A.P., 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.
- [55] Toros, A., Ulusoy, M., Ergöçmen, B., 1997. Ulusal Çevre Eylem Planı, Nüfus ve Çevre, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
- [56] Yaylı, H., 2012, Çevre Etiği Bağlamında Kalkınma, Çevre ve Nüfus, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Yıl:2012/1, Sayı:15, ss:151-169.
- [57] Ergül, H. 2014. Architectural Conservation and Environment, 136-144, ISEM2014, Adıyaman, TURKEY.
- [58] Hollaway, .LC., Teng, J.G. 2008. Strengthening and Rehabilitation of Civil Infrastructures Using Fibre-Reinforced Polymer (FRP Composites). Woodhead Publishing Ltd.
- [59] Bank, L.C. 2006. Composites for construction: structural design with FRP Materials. John Wiley Sons.
- [60] Thelandersson, S., Larsen, H.J.2003. Timber engineering. London: Wiley & Sons.
- [61] Dinwoodie, J.M. 2000. Timber: Its nature and behaviour. 2nd ed. Taylor and Francis.