


## Ahşap Yapıların Birleşim Bölgelerinde Karbon Elyaf Takviyeli Polimer Levhaların Kullanımının Araştırılması

\*<sup>1</sup>Abdullah Alshegri, <sup>2</sup>Tahir Akgül

<sup>1</sup>Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü,  
alshegriabdullah@gmail.com,

<sup>2</sup>Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,  
tahirakgul@subu.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 26.01.2019

Kabul Tarihi: 17.07.2019

### Öz


Son yıllarda güçlendirme çalışmalarında sıklıkla kullanılan karbon elyaf takviyeli plastik levhaların ahşap yapıların birleşim bölgelerinde kullanımı incelenmiştir. Bilindiği üzere ahşap yapıların birleşim bölgelerinde çelik levha kullanımı sıkça rastlanan bir uygulamadır. Ancak ahşapta bulunan doğal nem nedeniyle çelik levhalar kolayca korozyona uğramakta, bu nedenle ahşap yapıların birleşim bölgelerindeki ahşap zamanla çürümekte ve ahşap yapıların ömrünü kısaltmaktadır. Yapılan bu çalışmayla çelik levhalar yerine korozyona uğramayan CFRP (karbon elyaf takviyeli plastik) kullanımının mekanik dayanım açısından uygunluğu araştırılmıştır. Bu çalışmada; kermeli boy birleştirme numuneleri, uç uca boy birleştirme, L tipi, T tipi ve 45° gönye numunelerinden hazırlanmıştır. 6 'şar adet hazırlanan bu numuneler çekme (boy birleştirme numuneleri için) ve konsol eğilme (L, T ve 45° gönye numuneleri için) deneyine tabi tutulmuştur. Aynı cinsten numunelere ait sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Çekme deney sonucunda karbon elyafı güçlendirilen numunelerin dayanımı çelik levhalarla güçlendirilen numunelerin dayanımına göre kermeli boy birleştirmede % 44 ve uç uca boy birleştirmede % 26 arttığı tespit edilmiştir. Konsol eğilme deney sonucunda karbon elyafı güçlendirilen numunelerin dayanımı çelik levhalarla güçlendirilen numunelerin dayanımına göre L birleştirmede %60, T birleştirmede % 67 ve 45° gönyeli birleştirmede % 80 arttığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Karbon Elyaf Takviyeli Plastik (CFRP), Ahşap, Kermeli Boy Birleştirme, Çekme Dayanımı, Konsol eğilme

## Investigation of Used of Carbon Fiber Reinforced Polymer Sheets in Joints of Wooden Structures

\*<sup>1</sup>Abdullah Alshegri, <sup>2</sup>Tahir Akgül

<sup>1</sup>Sakarya University of Applied Sciences, Graduate Education Institute,  
alshegriabdullah@gmail.com,

Sakarya University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Department of Civil Engineering,  
tahirakgul@subu.edu.tr, 

### Abstract

In recent years, the usage of carbon fiber reinforced plastic sheets which are frequently used in reinforcement works in the joints of wooden structures were investigated. As it is known, the use of steel plates in the joints of wooden structures is a common application. However, due to the inherent moisture in the wood, the steel plates are easily corroded, so the wood in the joints of the structures decays and shortens the life of the wooden structures. In this study, the suitability of the use of noncorrodible CFRP (carbon fiber reinforced plastic) instead of steel sheets in terms of mechanical strength was investigated. In this study, Longitudinal Notched Lap Joint samples from end-to-end on length, L type, T type and 45° miter samples were prepared. 6 specimens of each sample were subjected to tensile test (for Longitudinal Notched Lap Joint samples) and console bending (for L, T and 45° miter samples). The results of the specimens in each sample type were compared with each other. As a result of the tensile test, the strength of carbon fiber-reinforced samples was found to increase 44% for the Longitudinal Notched Lap Joint samples and 26% in end-to-end joining samples and 9% in tongued longitudinal joining samples, according to the strength of the samples reinforced by steel plates. As a result of the console bending test, the strength of the carbon fiber reinforced samples was found to increase by 60% in the L-joining, 67% in the T-joining and 80% in the 45° miter joint samples according to the strength of the steel plates reinforced samples.

**Keywords:** Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP), Wood, Longitudinal Notched Lap Joint, Tensile Strength, Console bending.

## 1. GİRİŞ

Son zamanlarda ahşap yapıların güçlendirilmesinde çelik ve betonarme yapıların güçlendirilmesinde olduğu gibi FRP uygulamaları kullanılmaya başlanmıştır. Ahşap yapılarda birleştirme türüne göre eleman boyutlandırılmaktadır. Yüksek performanslı birleştirme sistemlerinin kullanımındaki avantaj ise aynı dayanıklılıkta daha az hacimde malzeme kullanımını sağlamaktır. Zamanla dış etkenler ve deprem sonucu oluşan hasarları gidermek, restorasyon yaparak yapının yük taşıma kapasitesini arttırmak, tasarımda yapılan hatalar sonucu ortaya çıkan erken yorulma ve oluşacak kırılmaların önüne geçmek gibi sebeplerden ahşap yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir. [1]. Türkiye deprem bölgesinde olduğundan dolayı, deprem sonucunda zarar gören yapıların onarım ve güçlendirme yöntemlerinin zaman içerisinde geliştirme zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Aynı zamanda depreme dayanıklı yapı tasarımı için ilerleyen süreçlerde farklı yönetmelikler çıkartılmaktadır.[2-3]. Ülkenin farklı şehirlerinde uzun yıllar önce yapılmış ahşap yapılarda doğal etkilerden dolayı kaçınılmaz bir yıpranma görülmektedir. Durabilite elde etmek için ahşap yapıların zayıf bölgeleri ve özellikle birleştirme bölgeleri güçlendirilmelidir. Bu güçlendirme Ahşap yapıların birleştirme bölgelerinde çekme ve eğilme yüklere karşı çelik levhalar kullanılmaktadır.[4]. Ahşap yapılarda istenen dayanımı sağlayacak tasarım, uygun birleştirme detaylarına bağlıdır. Ahşap birleştirmeler ahşabın farklı açılarla birbirine bağlanması ve uygun birleştirme eleman kullanımı sonucunda meydana gelmektedir. Ahşap birleştirme teknikleri genel olarak, yan yana (enine), uç uca (boyuna), köşe ve T- tipi birleştirmeler olarak sıralanabilir. Bu birleştirme teknikleri çeşitli taşıyıcı sistemlerin oluşturulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. [5]. Ahşap yapıların birleştirme bölgelerinin büyük yüklere maruz kalması durumunda çözüm olarak günümüzde metal plaka kullanımı yaygındır. Ancak ahşabın doğası gereği nemli bir malzeme olmasından dolayı metali kolayca korozyona uğrayabilmektedir. Öte yandan korozyona uğrayan metal birleşim yüzeylerinde ahşabı kısa zamanda çürütmesine neden olmaktadır. Bu nedenle Ahşap yapılarda metal kullanımı yapıların durabilitesi açısından problem teşkil etmektedir. Günümüze kadar ulaşan birçok karakteristik tarihi ahşap yapıların birleşim detayları incelendiğinde mümkün olduğunca metal çivi, bulon ve levha kullanılmadığı görülmektedir [6]. Günümüzde tarihi ahşap yapıların uzun süre ayakta kalabilmesi ve dayanımı konusunda birçok bilimsel çalışma bulunmaktadır. Öte yandan araştırmacılar, ahşap yapılar üzerine elyaf takviyeli plastiklerle güçlendirmeler konusunda çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar incelendiğinde; Premrov, M ve arkadaşları: karbon elyafı güçlendirilmiş ahşap iskeletli yapının analizi üzerine yapılan çalışmalarda, Ahşap plakaları 75 mm'lik karbon fiber takviyeli plastikler ile güçlendirme neticesinde % 50 oranında daha yüksek mukavemet tespit edilmesidir [7]. Başka bir çalışmada ise; dört tür ağaçtan alınan numuneler epoksi kullanılarak CFRP ile güçlendirilmiş ve bu numuneler hızlandırılmış yaşlanma testine tabii tutulmuşlardır. Deney sonucunda mukavemetin ağaç yoğunluğu ile doğru orantılı artış gösterdiğini ve çekme

mukavemetinin 0.15\_0.25 kg/m<sup>2</sup> arasında değer aldığı saptanmıştır [8]. Bir diğer çalışma ise ahşap yapıların kirişleri CFRP kullanarak güçlendirilmiş, hazırlanan numuneler eğilme deneyine tabii tutulmuşlardır. Sonuç olarak kirişlerin eğilme mukavemeti % 44 artarken teorik analiziyle % 5.05 hata payı kullanarak % 39 aratacağı tahmin edilmiştir [9]. Martin Sviták ve arkadaşları yaptıkları çalışma ise Karbon elyaf kullanarak ahşabı güçlendirme imkanı incelediler, numuneler burkulma testine tabii tutularak 4 noktaya yük uygulandı. Deneyle sonucunda numunelerin mukavemeti %17 oranında arttığı görülmüştür [10]. Lugginve Bergmeister yaptıkları çalışma ise ahşap elemanlarına lifler istikametinde epoksi sürerek ve CFRP kullanarak güçlendirilmiş ve kesme üzerine çalışmalar yapmışlardır. Deneysel çalışmalar neticesinde % 32 oranda iyileşme gözlemlenmiştir [11]. Borri, A., ve Corradi yaptıkları çalışma ise ahşap yapı elemanları karbon elyaf kullanarak güçlendirilmiş ve yük altında davranışları üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda bulunan ahşap yapı elemanın lineer olmayan modeller ile sanılan yük değeri mukayese edilmiştir [12]. Pupsys Tomas ve arkadaşları yaptıkları çalışma ise Ahşap kirişler, cam elyaf ve vidalarla güçlendirmişlerdir. Hazırlanan numuneler farklı dört noktada eğilme testine tabii tutulmuşlardır. Deneysel çalışmalar, güçlendirme yönteminin etkinliğini göstermiştir. Bu yüzden yeni inşa edilecek yapılarda ve ahşap yapıların restorasyonda kullanılmaktadır [13]. Yashida Nadir ve arkadaşları yaptıkları çalışma ise Karbon elyaf ile takviye edilmiş polimer kullanarak ahşap kirişleri güçlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre çekme mukavemeti %36 ve %64 oranlarında arttığı gözlemlenmiştir. Bu oranlar takviye oranlarının sırasıyla %1.67 ve %3.33 olduğunda elde edilmiştir [14]. Muratoğlu yaptığı çalışma ise sarıçam odundan hazırlanan numuneler CFRP ile epoksi kullanılarak güçlendirilmiştir. Numuneler statik eğilme deneyine tabii tutulmuştur. Sonuç olarak güçlendirilen numunelerinde %108,66 daha iyi statik eğilme direnci olduğu sonucuna ulaşmıştır [15]. Peter A ve arkadaşları yaptıkları çalışma ise farklı ahşapların yüksek performanslı boy birleştirmelerine dayalı çalışmalar yapmışlardır. Birleştirme bölgelerine cam elyaf sararak ve bu numuneleri çekme testine tabii tutarak deney sonucunda elde edilen gerilme \_ birim deformasyon grafikleri yüksek performans gösterilmiştir [16].

J.P. Reis ve arkadaşları yaptıkları çalışma ise Karbon elyaf ile birleştirilen polimer şeritlerle güçlendirilmiş ahşap kirişler üzerinde çeşitli deneyler yapmışlardır. En iyi sonuçları elde etmek için numuneleri farklı yüksekliklerde hazırlamışlardır. Numuneler üç eksenli eğilme deneyine tabii tutulmuştur. Elde edilen verilere göre dört katman karbon plaklarla dış takviye yapılması ile en iyi sonuçlar elde edilmiştir [17]. Yukardaki çalışmalar incelendiğinde Genellikle taşıyıcı sistem elemanları çekme, basınç ve eğilme kuvvetlerine maruz kalan elemanlar üzerinde FRP'lerle güçlendirme yapıldığı görülmektedir. Bu tür çalışmalarda FRP kullanımının yaygınlığı, FRP'nin özelliklerinin metalin özelliklerine göre daha estetik, daha hafif, daha esnek ve korozyona daha dayanıklı olmasıdır. Bu çalışmada çekme ve eğilme kuvvetlerine maruz kalan ahşap

taşıyıcı sistemlerin CFRP levhalar ile güçlendirilecektir. İlk olarak epoksi ve bulon kullanarak birleştirilmiş ham ahşap numuneler ve metal levhalar kullanarak güçlendirilmiş ahşap numunelerin mekanik dayanımı tespit edilmiş, Daha sonra karbon elyaf levhalar kullanarak güçlendirilen numunelerle karşılaştırılmıştır. Böylece ahşap yapılarda metal birleşim elemanları yerine Karbon elyaf takviyeli plastik (CFRP) levha kullanılması araştırılmıştır.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1. Ahşap

Numuneler hazırlandığında kullanılan kurutulmuş, lifleri düzgün, budaksız, kusursuz, mantarlar ve böcekler tarafından zarara uğramamış 1.sınıf sarıçam, Sakarya bölgesindeki kereste firmalardan elde edilmiş ve rastgele seçim yöntemi ile seçilmiştir. Açık havada kurutulmuş ahşabın nem oranı  $15 \pm 3$  aralığında, ortalama yoğunluğu  $0,526 \text{ g/cm}^3$ , liflere paralel yönde basınç direnci  $54 \text{ N/mm}^2$ , liflere dik yönde basınç direnci  $77 \text{ N/mm}^2$ , elastikiyet modülü  $11700 \text{ N/mm}^2$ , Eğilme direnci  $98 \text{ N/mm}^2$  ve Çekme direnci  $102 \text{ N/mm}^2$ . Numuneler, yapılacak deneyler dikkate alınarak lif yönlerine uygun kesilerek hazırlanmıştır. [18,20]

### 2.2. Karbon Elyaf Takviyeli Plastikler (CFRP)

Numunelerin hazırlanmasında kullanılan karbon elyaf levhalar, birbirine dik, çift doğrultuda elyaf ile üretilen 2 mm'lik kalınlıkta ve uygun boyutlarda kesilerek temin edilmiştir. Karbon elyaf düşük yoğunluğa sahip ( $1.8 \text{ g/cm}^3$ ), çelikten 5.2 kat daha hafif ve nemden etkilenmez ve bu sayede sınırsız raf ömrüne sahip, sürtünme ve yorulma mukavemeti çok yüksek ve ısıya karşı boyutsal stabilite, yüksek çekme dayanımına (germe dayanımı  $3450-4850 \text{ GPa}$ ) sahip bir malzemedir. Karbon elyaf sahip olduğu bu özellikler için gerek onarım ve gerek güçlendirme çalışmalarında tercih edilmektedir. [19]

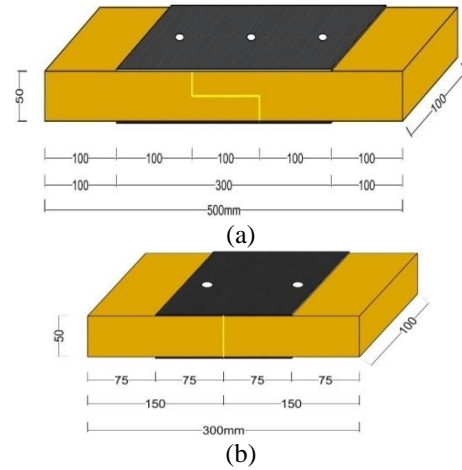
### 2.3. Epoksi

Kullanılan iki bileşenli epoksi, diğer termoset plastikler gibi belli süre sonra sıvı halden katı hale geçen ve takip eden bir iki hafta içinde kuruyarak nihai sertliğe ulaşan ve ahşap yapılarda kullanıma uygun bir epoksi çeşididir. Cam veya karbon elyaf ile kombinasyonu yüksek mekanik dayanıma sahiptir, Yüksek aşınma direncine sahip, uçucu olmayan ve kimyasal dirençleri yüksektir, düşük ve yüksek sıcaklarda sertleşebilme özelliğine de sahiptir. Eğilmede Çekme Dayanımı min  $25 \text{ N/mm}^2$  ve basınç Dayanımı min  $90 \text{ N/mm}^2$ . Bu sayede uzay ve havacılık teknolojilerinde, otomotiv, medikal, denizcilik ve inşaat alanında sıklıkla kullanılır [19].

### 2.4. Numuneleri Hazırlanması

#### 2.4.1. Çekme Deney Numuneleri Hazırlanması

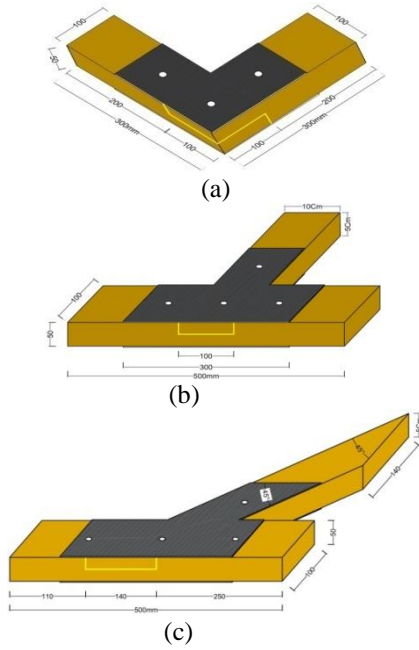
Numuneleri hazırlamak için  $5 \times 10 \text{ cm}$  boyutlarında, 20 Cm ve 30 Cm uzunluğunda 1.sınıf çatlaksız ve budaksız sarıçam ahşap kesilip Etüvde  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  24 saat bekletilmiştir. Her grup numune çeşidi için 6 'şar numune hazırlanmıştır. Güçlendirme işleminde kullanılan levhalar kermeli boy birleştirmeleri için 30 cm ve uç uca birleştirmeleri için 15 cm uzunluğunda kesilmiştir. Kermeli boy birleştirme için kesilen  $5 \times 10 \times 30 \text{ cm}$  masif ahşabın ucundan  $2.5 \times 10 \text{ cm}$  boyutlarında ve 10 Cm uzunluğunda bir parça çıkarılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler uç uca birleştirilerek kullanılacak malzeme çeşitlerine göre 6 'şar numune üretilmiştir. Şekil 1(a) gösterdiği gibidir. Uç uca birleştirme numunelerinin hazırlanmasında kesilen  $5 \times 10 \times 20 \text{ cm}$  masif ahşabın uç uca epoksi sürerek yapıştırılarak kullanılacak malzeme çeşitlerine göre 6 'şar numune üretilmiştir. Şekil 1(b) gösterdiği gibidir. Tüm numuneler hazırlandıktan sonra işkenceler kullanılarak 72 saat preslenmiştir.



Şekil 1. Karbon elyaf levhalar kullanarak hazırlana boy birleştirme numuneleri

#### 2.4.2. Konsol Eğilme Deney Numunelerinin Hazırlanması

Güçlendirme işleminde kullanılan levhalar farklı tiplerde, (L, T ve  $45^\circ$ ) kesilmiştir. Numuneleri hazırlamak için  $5 \times 10 \text{ cm}$  boyutlarında ve 30 cm ve 50 cm uzunluğunda 1.sınıf çatlaksız ve budaksız sarıçam ahşap kesilip etüvde  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  de 24 saat bekletilmiştir. L tipi birleştirme hazırlanmasında kesilen  $5 \times 10 \text{ cm}$  boyutlarında ve 30 cm uzunluğunda masif ahşap L şeklinde üst üste yerleştirilerek hazırlanmıştır. Sonra blonlu, metal levhalı ve karbon levhalı numunelerinden 6 'şar numune üretilmiştir (Şekil 2.a). T. tipi birleştirme hazırlanmasında kesilen farklı uzunluktaki iki parça masif ahşap kertilmiş, Kesilen ahşap T şeklinde üst üste yerleştirilerek hazırlanmıştır. Sonra blonlu, metal levhalı ve karbon levhalı numunelerinden 6 'şar numune üretilmiştir. (Şekil 2.b)  $45^\circ$  gönyeli birleştirme hazırlandığında kesilen iki düz ahşap (50 cm uzunluğunda) parçaların birinin ucundan ve diğerinin ortasından kertilerek, ahşaplar  $45$  derece açıyla üst üste yerleştirilerek hazırlanmıştır. Sonra blonlu, metal levhalı ve karbon levhalı numunelerinden 6 'şar numune üretilmiştir. (Şekil 2.c)



Şekil 2. Karbon elyaf levhalar kullanarak hazırlanan köşe birleştirme numuneleri

Tüm numuneler hazırlandıktan sonra işkenceler kullanılarak 72 saat preslenmiştir. Hazırlanan tüm numuneler ilgili Türk standartlarında verilen talimatlara uygun olmasına özen gösterilmiştir. [18,20,21,22]

## 2.5. Deney Yöntemleri

Deneylerde, numunelere lif doğrultusunda çekme gerilmesi uygulanarak yüke karşılık gelen uzama/sehim değerleri bilgisayar ortamında kaydedilmiştir [23]. Edilen bu değerler kullanılarak Çekme gerilmeleri, birim deformasyon ve moment etkileri hesaplanmıştır. Çekme deneylerine ait gerilme-deformasyon grafikleri konsol eğilme deneylerinde ise yük sehim değerleri grafikleri çizilmiştir.

## 3. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

### 3.1. Çekme Deney Sonuçları

6 'şar adet hazırlanan numuneler 50 ton' luk çekme cihazında çekme deneyine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlarına göre standart sapma dikkate alınarak her gruptan en az 4' er numune hesaba katılmıştır.

Numuneler çekme makinesinin çeneleri arasında alt ve üstten sıkıştırarak çeneler arası mesafe değerleri ve yükleme hızı TS 2475' e uygun olması dikkate alınmıştır [13] (Şekil 3).



Şekil 3. Çekme deneyine tabi tutulmuş kertmeli ve uç uca boy birleştirme numuneleri

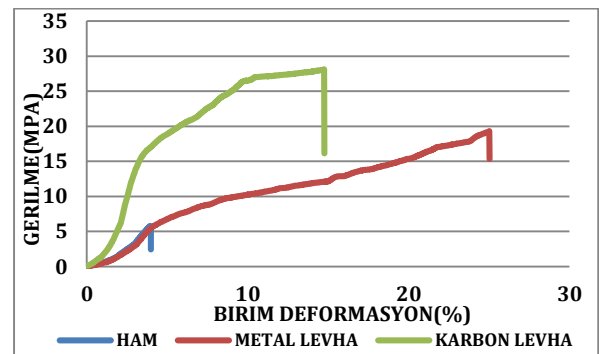
### a) Kertmeli Boy Birleştirme

Deneyler sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından CFRP ile güçlendirilmiş numuneler ve metal plakalı ve ham numunelere ait gerilme değerleri ve ortalama gerilme değerleri Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Kertmeli boy birleştirme gerilme ve ortalama gerilme değerleri tablosu

NumuneAdı	N1 (Mpa)	N2 (Mpa)	N3 (Mpa)	N4 (Mpa)	Ort (Mpa)
Ham	5.389	4.807	6.552	5.490	5.562
Metal levha	19.283	18.181	20.648	19.321	19.358
CFRP levha	29.968	28.144	25.696	27.292	27.775

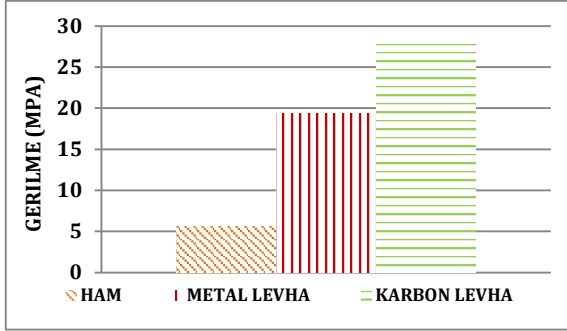
Tablo 1, incelendiğinde ham numunelerinde ortalama çekme gerilmesinin 5.562 Mpa olduğu, Metal numunelerinde ortalama çekme gerilmesinin 19.358 Mpa olduğu, CFRP numunelerinde ortalama çekme gerilmesinin 27.775 MPa olduğu tespit edilmiştir. Her birleştirme numunelere ait ortalama grafiklerin birbiriyle karşılaştırılması için aynı grafik üzerinde verilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Kertmeli boy birleştirme numunelerinin ortalama gerilme-birim deformasyon grafiği

Elde edilen karbon elyaf kullanarak hazırlanan numunelerin değerleri diğer numunelerle karşılaştırıldığında Şekil 5'te görüldüğü gibi karbon elyaf levha numunelerin ham olanlardan 4 katı daha yüksek mukavemete sahip olduğu ve

metal levha numunelerinden 44 % daha yüksek mukavemete sahip olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5. Kertmeli boy birleştirme numunelerine ait ortalama gerilme değerleri

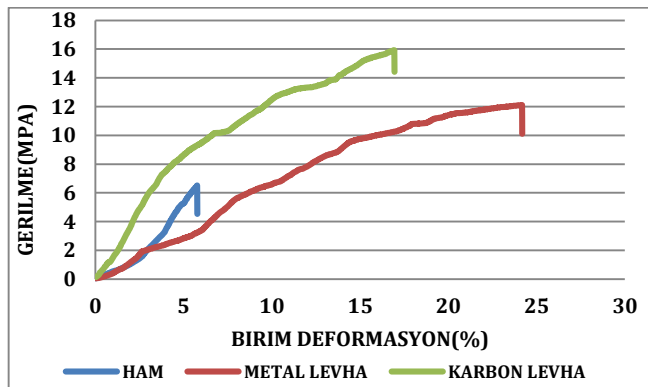
b) Uç Uca Boy Birleştirme

Deneyler sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından CFRP ile güçlendirilmiş numuneler ve metal plakalı ve ham olanlara ait gerilme değerleri ve ortalama gerilme değerleri Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Uç uca boy birleştirme gerilme ve ortalama gerilme değerleri tablosu

Numune Adı	N1 (Mpa)	N2 (Mpa)	N3 (Mpa)	N4 (Mpa)	Ort (Mpa)
Ham	6.623	5.659	5.522	6.274	6.082
Metal levha	12.509	12.320	12.100	12.060	12.293
CFRP levha	16.4628	15.012	14.317	15.925	15.428

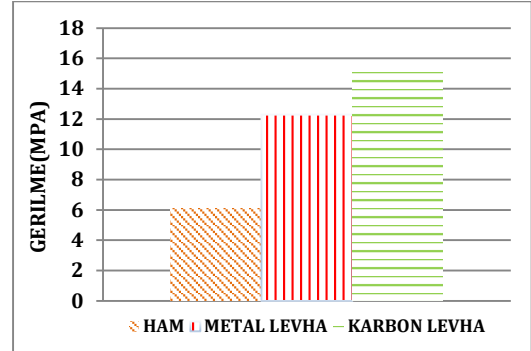
Tablo 2, incelendiğinde ham numunelerinde ortalama çekme gerilmesinin 6.082 Mpa olduğu, Metal kontrol olanlarda ortalama çekme gerilmesinin 12.293 Mpa olduğu, CFRP numunelerinde ise ortalama çekme gerilmesinin 15.428 MPa olduğu tespit edilmiştir. Her birleştirme numunelere ait ortalama grafiklerin birbiriyle karşılaştırılması için aynı grafik üzerinde verilmiştir. (Şekil 6).



Şekil 6. Uç uca boy birleştirmenin ortalama gerilme-birim deformasyon grafiği

Elde edilen karbon elyaf kullanarak hazırlanan numunelerin değerleri diğer numunelerle karşılaştırıldığında Şekil 7'de

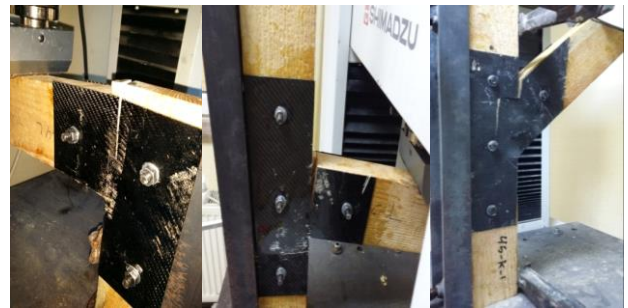
görüldüğü gibi karbon elyaf levhalarının ham olanlardan 154 % daha yüksek mukavemete sahip olduğu ve metal levha numunelerinden 26 % daha yüksek mukavemete sahip olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7. Uç uca boy birleştirme numunelerine ait ortalama gerilme değerleri

### 3.2. Konsol Eğilme Deneyi Sonuçları

6 'şar adet hazırlanan numuneler 50 kN masaüstü çekme-eğilme cihazında konsol eğilme deneyine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlara göre standart sapma dikkate alınarak her gruptan en az 4' er numune hesaba katılmıştır. Hazırlanan numuneler çekme-eğilme cihazında özel olarak tasarlanan deney düzeneğine yerleştirip işkenceler vasıtasıyla sıkıştırarak yükleme hızı TS 2474'e uygun olması dikkate alınmıştır [24]. Teste tabi tutulan numuneler Şekil 8 da verilmiştir.



Şekil 8. Konsol eğilme deneyine tabi tutulmuş L-T-45° Gönye tipi birleştirme numune

a) L tipi birleştirme

Deneyler sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından CFRP ile güçlendirilmiş numuneler ve kontrol numunelere ait moment değerleri ve ortalama moment değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3, incelendiğinde ham Kontrol numunelerinde ortalama eğilme momentinin 194.12 kN.cm olduğu görülmektedir. Metal kontrol numunelerinde ortalama eğilme momentinin 343.76 kN.cm olduğu görülmektedir. CFRP numunelerin de ortalama eğilme momentinin 549.12 kN.cm olduğu tespit edilmiştir. Her birleştirme numunelere

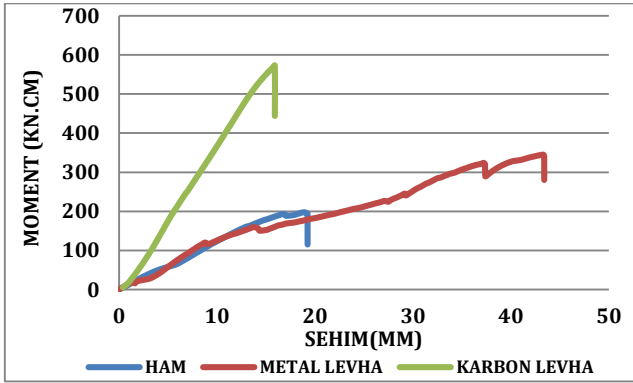


ait ortalama grafiklerin birbiriyle daha rahat karşılaştırılması için aynı grafik üzerinde verilmiştir (Şekil 9).

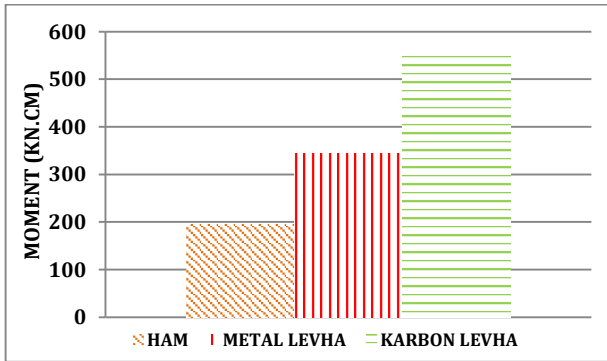
**Tablo 3.** L birleştirme konsol eğilme deneyi sonucunda moment değerleri tablosu

Numune Adı	N1 (kNcm)	N2 (kNcm)	N3 (kNcm)	N4 (kNcm)	Ort (kNcm)
Ham	191.76	192.44	193.73	198.55	194.12
Metal levha	372.85	337.84	323.83	340.50	343.76
CFRP levha	567.66	467.11	584.05	577.65	549.12

L birleştirmede elde edilen moment değerler kontrol numuneleri moment değerleriyle karşılaştırıldığında Şekil 10'da görüldüğü gibi karbon elyaf levhaların ham olanların momentine göre % 183 ve metal levha numunelerinin momentine göre % 60 arttığı görülmüştür.



**Şekil 9.** L tipi birleştirmenin ortalama moment-sehim grafiği



**Şekil 10.** L tipi birleştirme numunelerine ait ortalama moment değerleri

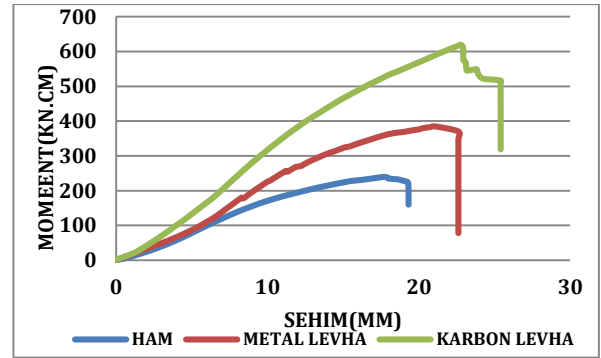
#### b) T tipi birleştirme

Deneyler sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından CFRP ile güçlendirilmiş numuneler ve kontrol numunelere ait moment değerleri ve ortalama moment değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** T birleştirme konsol eğilme deneyi sonucunda moment değerleri tablosu

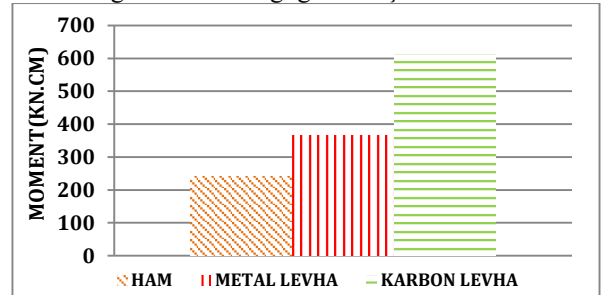
Numune Adı	N1 (kNcm)	N2 (kNcm)	N3 (kNcm)	N4 (kNcm)	Ort (kNcm)
Ham	235.31	249.22	223.60	249.47	239.40
Metal levha	385.93	377.84	351.86	353.76	367.35
CFRP levha	555.66	609.85	570.97	704.37	610.21

Tablo 4, incelendiğinde ham Kontrol numunelerinde ortalama eğilme momentinin 239.40 kN.cm olduğu görülmektedir. Metal kontrol numunelerinde ortalama eğilme momentinin 367.35 kN.cm olduğu görülmektedir. CFRP numunelerin de ortalama eğilme momentinin 610.21 kN.cm olduğu tespit edilmiştir. Her birleştirme numunelere ait ortalama grafiklerin birbiriyle daha rahat karşılaştırılması için aynı grafik üzerinde verilmiştir. Şekil (11)



**Şekil 11.** T tipi birleştirmenin ortalama moment-sehim grafiği

T birleştirmede Elde edilen moment değerler kontrol numuneleri moment değerleriyle karşılaştırıldığında Şekil 12'te görüldüğü gibi karbon elyaf levhaların ham olanların momentine göre % 155 ve metal levha numunelerinin momentine göre % 67 arttığı görülmüştür



**Şekil 12.** T tipi birleştirme numunelerine ait ortalama moment değerleri

#### c) 45° gönye tipi birleştirme

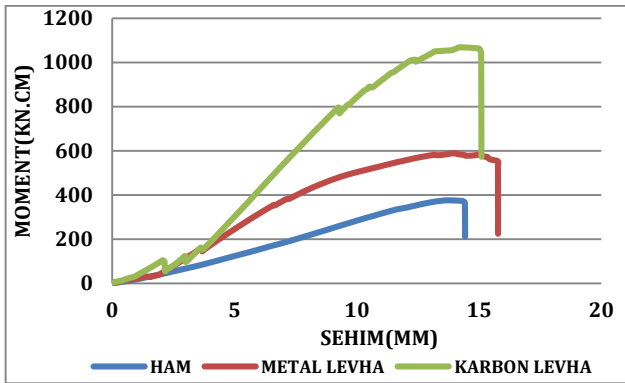
Deneyler sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından CFRP ile güçlendirilmiş numuneler ve kontrol numunelere ait moment değerleri ve ortalama moment değerleri Tablo 5'de verilmiştir.

**Tablo 5.** 45° gönye birleştirme konsol eğilme deneyi sonucunda moment değerleri tablosu

Numune Adı	N1 (kNcm)	N2 (kNcm)	N3 (kNcm)	N4 (kNcm)	Ort (kNcm)
Ham	371.12	348.05	370.37	391.50	370.26

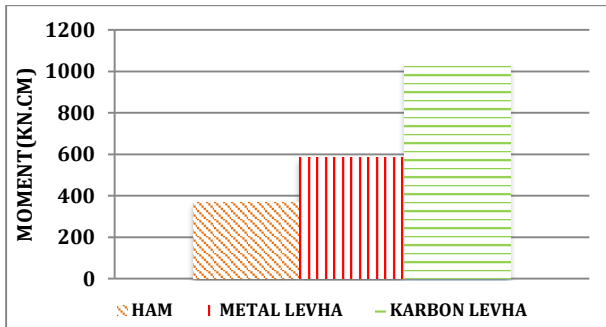
Metal levha	579.95	584.66	700.0	475.77	585.11
CFRPlevha	1060.08	957.66	1059.65	1118.23	1048.90

Tablo 5, incelendiğinde ham Kontrol numunelerinde ortalama eğilme momentinin 370.26 kN.cm olduğu görülmektedir. Metal kontrol numunelerinde ortalama eğilme momentinin 585.11 kN.cm olduğu görülmektedir. CFRP numunelerin de ortalama eğilme momentinin 1048.90 kN.cm olduğu tespit edilmiştir. Her birleştirme numunelere ait ortalama grafiklerin birbiriyle daha rahat karşılaştırılması için aynı grafik üzerinde verilmiştir. Şekil (13)



Şekil 13.45° gönye tipi birleştirmenin ortalama moment-sehim grafiği

45° gönyeli birleştirmede Elde edilen moment değerleri kontrol numuneleri moment değerleriyle karşılaştırıldığında Şekil 14'de görüldüğü gibi karbon elyaf levhaların ham olanların momentine karşı % 184 ve metal levha numunelerinin momentine karşı % 80 arttığı görülmüştür.



Şekil 14. 45° gönye tipi birleştirme numunelerine ait ortalama moment değerleri

#### 4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma sonucunda, çekme ve konsol eğilme deneyine tabi tutulan numunelerin performansları incelendiğinde; deneysel çalışmalar sonucunda aşağıdaki değerlendirmeler ortaya çıkmıştır;

Çekme deneyinde karbon elyaf levhalar kullanarak güçlendirilen numunelerin dayanımı, metal levhalar kullanarak güçlendirilen numunelerin dayanımına göre kertmeli boy birleştirmede % 44 ve uç uca boy birleştirmede % 26 arttığı tespit edilmiştir. Üç uca boy

birleştirme numunelerinin iki blonla hazırlandığı ve birleştirme bölgeleri uç uca olduğu için buna ait dayanımı kertmeli boy birleştirme dayanımından daha küçük olduğu ortaya çıkmıştır. Yashida Nadir ve arkadaşları [14] yaptığı çalışmada çekme dayanımı % 36 oranında artış gözlemlenmiş olup, bizim çalışmada tespit ettiğimiz orana yakın bir sonuç olduğu gözlenmiştir.

Konsol eğilme deneyinde karbon elyaf levhalar kullanarak güçlendirilen numunelerin dayanımı, metal levhalar kullanarak güçlendirilen numunelerin dayanımına göre L birleştirmede %60, T birleştirmede % 67 ve 45° gönyeli birleştirmede % 80 arttığı tespit edilmiştir. T tipi numunelerinin 4 bulona kullanılarak işlenmesi ve yükün dik yönünde bulunan iki engel nedeniyle bu numunelerdeki sonuçlar, sadece 3 blonla birleştirilmiş L tipi numunelere göre daha büyük sonuçlar elde edilmiştir. 45° gönye birleştirme numunelerinin 4 blonla hazırlandığı ve birleşim bölgelerinin boyutları diğer numunelerinden (L ve T tipi) daha büyük olduğu için bunun dayanımı daha yüksek tespit edilmiştir. Muratoğlu yaptığı çalışmada[15] % 108,66 daha iyi statik eğilme direnci olduğu sonucuna ulaşmıştır. Ancak bu çalışma masif ahşap üzerinde yaptığı nedeniyle sonuçlarımızdan daha büyük olduğu gözlenmiştir.

Karbon elyaf levhaların her ne kadar levha kalınlıkları metal levha kalınlığıyla aynı alınsa da lif yapıları dikkate alındığından her iki doğrultuda eşit miktarda lif kullanılarak üretilen bu levhaların çekmeye çalışan lif oranı ancak levha kalınlığının yarısını oluşturmaktadır. Bu nedenle CFRP levhalarla elde edilen sonuçların aynı kalınlıktaki yani 4mm levhalar elde edilmesi durumunda daha yüksek sonuçlara ulaşılacağı göz ardı edilmemelidir.

Yapılan çalışmalar sonucunda: çekme ve konsol eğilme deneylerinin sonuçları dikkate alınarak elde edilen avantajlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- CFRP levhaların korozyona uğramaması göz önünde bulundurulduğunda ahşap yapıların birleştirme bölgelerinde korozyondan dolayoluşacak çürüme olayı tamamen ortadan kaldırılabilir.
- Nem ve korozyon nedeniyle çürüyen ahşap birleşim bölgelerinde meydana gelen gevşeme ve dağılmaları engelleyerek gerilme yoğunluğu azaltılabilir. Yani ahşap birleşim bölgelerinin gerilme yoğunluğu nedeniyle zamanla oluşan gevşemelerinin engellenmesi amacıyla iki CFRP levha arasına blonlar ve epoksi yardımıyla sıkıştırılarak bu bölgelerde oluşan gevşeme ve dağılmalar engellenmiştir.
- Geleneksel güçlendirmede birleşim bölgelerinde uygulanan çelik levha, blon ve gergi çubuklarına göre CFRP birleştirme elemanlarıyla daha hafif uygulamalar yapılabilir.

- FRP'lerin istenen renk ve desende üretilebilmesi nedeniyle birleştirme bölgelerinde daha estetik bir görüntü elde edilmesi mümkündür.
- Son olarak Ahşap yapı tasarımında birleştirme bölgelerinde Karbon elyaf takviyeli levhalar kullanılarak istenilen dayanımı daha küçük malzeme kesitleri ile elde etme olanağı ortaya çıkmıştır.

Yukarda ifade edilen karşılaştırmalar ve avantajlar dikkate alındığında ahşap yapıların güçlendirmesi çalışmalarında metal levhalar yerine karbon elyaf levhaların tercih edilebilir olduğu tespit edilmiştir.

## 5. KAYNAKLAR

- [1] Chen, C.J., Mechanical behavior of fiberglass reinforced timber joints. Ph.D Thesis N° 1940. Swiss Federal Institute of Technology Lausanne EPFL, Switzerland, 1999.
- [2]. Sarıbiyik, M., Akgül T., “GFRP Bar Element To Strengthen Timber Connection Systems” Scientific Research and Essays Vol. 5 (13), pp. 1713-1719, 4 July, 2010
- [3]. “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esasları” Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, Ankara, 2018
- [4] Günay R., Geleneksel Ahşap Yapılar /Sorunları Ve Çözüm Yolları, Birsan Yayınevi, 2007.
- [5]. Eckelman, C., A., “A Look at. The Strength Design of Furniture”, Forest Product Journal, (16) 3: 21–24, 1966.
- [6]. İnternet sitesi; <http://www.haber7.com/mimari/haber/1000784-civisiz-ahsap-cami-buyuluyorErişimTarihiOcak 20, 2019>.
- [7]. Premrov, M., Dobrila, P., and Bedenik, B.S., “Analysis of timber framed walls coated with CFRP strips strengthened fibre-plaster boards”, Faculty of Civil Engineering, University of Maribor, Maribor, Slovenia, 1-12 (2003).
- [8]. HuiChuan, C., Xie, Y.M., Li, Y.F., Lin, L.D., and Tsai, M.J., “Study on the accelerated aging of CFRP-wood composites”, Forest Products Industries, EbscoHost, 24: 237-246 (2007).
- [9]. Yeou-Fong L., Xie, Y.M., and Tsai, M.J., “Enhancement of the flexural performance of retrofitted wood beams using CFRP composites”, Construction and Building Materials, Science Direct Journals, 23 (1): 411-420 (2009).
- [10]. Martin Sviták, Štefan Barčík, Jakub Ryspler, Application Of Carbon Fibers On Wood Beams. University of Life Sciences Prague Faculty of Forestry and Wood Sciences. 2015, Czech
- [11]. Luggin, W., Bergmeister, K., “Carbon fiber reinforced and pre stressed timber beams”, 2nd Int. PhD. Symposium in Civil Engineering, Budapest (1998).
- [12]. Borri, A., and Corradi, M., “A method for flexural reinforcement of old wood beams with CFRP materials”, Composites Part B: Engineering, Science Direct Journals, 36 (2): 143-153 (2005).
- [13]. PUPSYS Tomas, CORRADI Marco, BORRI Antonio and AMESS Leon. Bending Reinforcement of Full-Scale Timber Beams with Mechanically Attached GFRP Composite Plates. Dept. of Mechanical & Construction Engineering, Northumbria University, July 2017. United Kingdom,
- [14]. Yashida Nadir , Praveen Nagarajan , Mohammed Ameen , Muhammed Arif , Flexural stiffness and strength enhancement of horizontally glued laminated wood beams with GFRP and CFRP composite sheets. Department of Civil Engineering, College of Engineering Trivandrum, Thiruvananthapuram, February 2016, Kerala, India
- [15] Muratoğlu, A., (2011). Restorasyonda Ahşap Yapı Elemanlarının Karbon Fiber Takviyeli Polimerler (Cfrp) İle Güçlendirilmesi: Karabük Üniversitesi.
- [16] Peter A. Claisseu, Tim J. Davis, High performance jointing systems for timber, School of The Built Environment, Coventry University, Priory Street, Coventry, March 1998, UK
- [17]. J.P. Reis, M.F.S.F. de Moura, F.G.A. Silva, N. Dourado, Dimensional optimization of carbon-epoxy bars for reinforcement of wood beams. November 2017, Portugal
- [18] Örs Y., Keskin H., “Ağaç Malzeme Bilgisi”, Atlas Yayınları, İstanbul Temmuz, 2001.
- [19]. İnternet sitesi: [www.esakimya.com.tr](http://www.esakimya.com.tr) Erişim Tarihi: Aralık 05, 2018
- [20]. TS 2470 “Odunda Fiziksel Ve Mekanik Deneylemler İçin Numune Alma Metotları Ve Genel Özellikler”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Kasım 1976
- [21] TS 647, Ahşap Yapıların Hesap Ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1979.
- [22] TS 4499, Ahşap Birleştirmeler- Terimler Tanımlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1985.
- [23]. TS 2475, Odunda Liflere Paralel Doğrultuda Çekme Gerilmesinin Tayini, TSE, Ankara, 1976.
- [24]. TS 2474, “Odunun Statik Eğilme Dayanımının Tayini”, TSE., Ankara, 1976.