



Some physical and mechanical properties of heat-treated, reinforced laminated veneer lumber (LVL) with carbon fiber and glass fiber

Ercan Çiğdem¹, Osman Perçin^{2*}

¹Advanced Technologies, Institute of Natural and Applied Sciences, Dumlupınar University, Kütahya, Türkiye

²Department of Interior Architecture and Environmental Design, Faculty of Fine Arts and Architecture, Necmettin Erbakan University, 42040, Konya, Türkiye

Highlights:

- Reinforcement of wood material by lamination method
- Effect of glass and carbon fiber on mechanical properties of heat-treated wood
- The effect of heat treatment on wood properties

Keywords:

- Laminated veneer lumber
- Heat treatment
- Reinforcement
- Carbon fiber
- Glass fiber

Article Info:

Research Article

Received: 18.08.2021

Accepted: 13.03.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.984248

Acknowledgement:

This study was prepared on the basis of Ercan Çiğdem's master's thesis titled "Determination of some physical and mechanical properties of heat treated beech wood reinforced with carbon and glass fiber".

Correspondence:

Author: Osman Perçin

e-mail:

opercin@erbakan.edu.tr

phone: +90 505 497 6826

Graphical/Tabular Abstract

The Duncan test results, which were performed to determine between which groups the difference is significant in the statistical analyzes on mechanical properties are given in Table A.

Table A. Duncan test results on mechanical properties

Heat treatment	Board type	MOR (N/mm ²)		MOE (N/mm ²)		CS// (N/mm ²)		SS (N/mm ²)	
		Mean	St.d.	Mean	St.d.	Mean	St.d.	Mean	St.d.
Un-treated	LVL	103.45 ^c	4.21	11665 ^d	437.39	69.75 ^a	1.6091	10.57 ^a	0.98
	GLVL	116.41 ^c	5.43	12314 ^b	455.18	64.65 ^b	1.7665	10.42 ^a	0.82
	CLVL	121.16 ^{ab}	4.10	13299 ^a	485.66	68.42 ^a	1.7699	9.72 ^b	0.56
150°C	LVL	114.33 ^c	3.82	11121 ^{ef}	495.79	65.85 ^b	1.5881	9.51 ^{bc}	0.41
	GLVL	117.49 ^{bc}	3.93	12168 ^{bc}	614.91	69.71 ^a	1.5662	9.07 ^{cd}	0.70
	CLVL	123.95 ^a	4.43	13085 ^a	601.24	64.72 ^b	1.8262	8.56 ^{de}	0.60
175 °C	LVL	104.72 ^d	4.08	10742 ^{fg}	542.91	60.49 ^d	1.9030	9.11 ^{cd}	0.81
	GLVL	106.58 ^d	5.87	11787 ^{cd}	508.55	62.95 ^c	1.6663	8.42 ^e	0.64
	CLVL	113.78 ^c	5.65	12349 ^b	288.53	57.45 ^{ef}	1.6750	7.22 ^f	0.69
200 °C	LVL	93.48 ^e	5.38	9885 ^h	416.28	58.49 ^e	1.6788	8.23 ^e	0.55
	GLVL	97.48 ^e	5.56	10442 ^g	294.03	55.95 ^f	1.4759	6.92 ^g	0.65
	CLVL	105.85 ^d	4.71	11478 ^{de}	380.79	61.95 ^{cd}	1.8375	6.55 ^{fg}	0.71

Purpose:

The aim of this study is to determine some physical and mechanical properties of the experimental samples manufactured from beech (*Fagus orientalis* Lipsky) veneers, which were heat-treated at 150, 175 and 200°C for 3 hours using phenol formaldehyde (PF) adhesive, and reinforced with carbon and glass fiber.

Theory and Methods:

The effects of glass and carbon fiber on the some physical and mechanical properties of LVL composite material that produced from using heat-treated beech (*Fagus orientalis* Lipsky) veneer and phenol formaldehyde (PF) adhesive were investigated.

Results:

The test results showed that the bending strength (MOR) and modulus of elasticity in bending (MOE) values of the reinforced samples with carbon and glass fiber increased. However, while it caused significant changes in the compressive strength parallel to the grain (CS//) values depending on the applied heat treatment temperature and the type of reinforcing material, decreases in the bonding strength parallel to the grain (SS) values were determined.

Conclusion:

The value of air-dried densities and MOR, MOE, CS// and SS properties decreased with increasing heat treatment temperature. Depending on the type of reinforcing material and heat treatment temperature, different fracture modes were occurred in the test samples. The reinforcement fiber fabrics had a positive effect on MOR and MOE, while CS// and SS properties were negatively affected in this study. Also carbon fiber more effective on MOR and MOE, while glass fiber on CS and SS values. All the heat-treated and reinforced samples showed a higher MOR and MOE than heat-treated and unreinforced samples. The CS// values varied according to heat treatment temperature and type of reinforcing material. On the other hand, the SS values of reinforced samples were lower than unreinforced samples in all test groups.



Isıl işlem uygulanmış, karbon fiber ve cam fiber ile güçlendirilmiş lamine kaplama kerestelerin (LVL) bazı fiziksel ve mekaniksel özellikleri

Ercan Çiğdem¹, Osman Perçin^{2*}

¹Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler, Kütahya, Türkiye

²Necmettin Erbakan Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, 42040, Konya, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Ahşap malzemenin laminasyon yöntemiyle güçlendirilmesi
- Cam ve karbon fiberin ısı işlem uygulanmış ahşabın mekanik özelliklerine etkisi
- Isıl işlemin ahşabın özelliklerine etkisi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi
Geliş: 18.08.2021
Kabul: 13.03.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.984248

Anahtar Kelimeler:

Lamine kaplama kereste,
ısı işlem,
güçlendirme,
karbon fiber,
cam fiber

ÖZ

Ahşap, yaygın olarak kullanılan en eski yapı malzemelerden birisidir. Farklı alanlarda da farklı amaçlarla kullanımına yönelik giderek artan bir talep vardır. Bu talebi karşılayabilmek için ahşap esaslı yapısal kompozitler geliştirilmiştir. Bu çalışmada, ısı işlem uygulanmış ve fenol formaldehit (FF) tutkalı kullanılarak karbon ve cam elyaf ile güçlendirilmiş kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) ağacından elde edilen lamine kompozit örneklerin bazı fiziksel ve mekaniksel özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla ahşap malzemelere 150, 175 ve 200°C sıcaklıklarda 3 saat süre ile ısı işlem uygulanmış ve deney örnekleri hazırlanmıştır. Deney örneklerinin yoğunluk (D), eğilmede elastikiyet modülü (MOE), eğilme direnci (MOR), liflere paralel basınç direnci (CS//) ve liflere paralel yapışma direnci (SS) değerleri belirlenmiştir. Test sonuçları, karbon ve cam elyaf ile güçlendirilmiş örneklerin eğilme direnci (MOR) ve eğilmede elastikiyet modülü (MOE) değerlerini artırdığını göstermiştir. Bununla birlikte liflere paralel basınç direnci (CS//) değerlerinde, uygulanan ısı işlem sıcaklığına ve güçlendirici malzeme türüne göre önemli değişikliklere neden olurken, liflere paralel yapışma direnci (SS) değerlerinde düşüşler belirlenmiştir. Genel olarak, karbon fiber ile güçlendirilmiş deney örneklerin MOR ve MOE değerleri, cam elyaf ile güçlendirilmiş örneklerden daha yüksek, CS// ve SS değerleri ise daha düşük belirlenmiştir.

Some physical and mechanical properties of heat-treated, reinforced laminated veneer lumber (LVL) with carbon fiber and glass fiber

H I G H L I G H T S

- Reinforcement of wood material by lamination method
- Effect of glass and carbon fiber on mechanical properties of heat-treated wood
- The effect of heat treatment on wood properties

Article Info

Research Article
Received: 18.08.2021
Accepted: 13.03.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.984248

Keywords:

Laminated veneer lumber,
heat treatment,
reinforcement,
carbon fiber,
glass fiber

ABSTRACT

Wood is one of the oldest widely used building materials. There is an increasing demand for its use in different areas for different purposes. In order to meet this demand, wood-based structural composites have been developed. In this study, some physical and mechanical properties of laminated composite samples obtained from beech (*Fagus orientalis* Lipsky) wood, which were heat treated and reinforced with carbon and glass fiber using phenol formaldehyde (FF) glue, were investigated. For this purpose, heat treatment was applied to wood materials at 150, 175 and 200°C for 3 hours and test samples were prepared. Density (D), modulus of elasticity in bending (MOE), bending strength, (MOR) compressive strength parallel to grains (CS//) and bonding strength parallel to grains (SS) were determined for the test samples. The test results showed that the bending strength (MOR) and modulus of elasticity in bending (MOE) values of the reinforced samples with carbon and glass fiber increased. However, while it caused significant changes in the compressive strength parallel to the grain (CS//) values depending on the applied heat treatment temperature and the type of reinforcing material, decreases in the bonding strength parallel to the grain (SS) values were determined. In general, the MOR and MOE values of the reinforced test samples with carbon fiber were higher than the reinforced samples with glass fiber, while the CS// and SS values were lower.

1. Giriş (Introduction)

Ahşap, sahip olduğu birçok olumlu özelliği nedeniyle uzun yıllardır kullanılan en eski, doğal ve yenilenebilir yapı malzemesidir [1]. Ahşap malzeme, çelik ve betonarme ile birlikte büyük yapıların imalatında kullanılan en önemli yapısal malzemenin biridir [2]. Ahşap malzeme, kolay işlenmesi, ekonomik ve görünüş itibarı ile sıcak bir malzeme olması, düşük yoğunluğuna rağmen mekanik özelliklerinin yüksek olması, elektriği ve ısıyı az iletmesi gibi olumlu özelliklerinden dolayı farklı yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda dış ortam koşullarından bozunması, boyutsal kararsızlığı, mantar saldırılarına yatkınlığı, renginin güneş ışınlarından dolayı değişmesi, kolay yanabilmesi gibi birçok olumsuz özelliklere de sahiptir [3-6]. Ahşap malzemenin bazı yapısal özelliklerinden dolayı mekanik özellikleri düşmekte, bu durum onun çeşitli yapısal uygulamalarda kullanımını sınırlandırabilmektedir [7-9].

Son yıllarda, ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin özelliklerini iyileştirmek ve olumsuz özelliklerini en aza indirmek için çevre dostu ahşap modifikasyon yöntemlerinin geliştirilmesi ve kullanılmasına yönelik çabalar giderek artmaktadır [10-12]. Isıl işlem, ahşap malzemelerin yapısal özelliklerini iyileştirmek için geliştirilmiş çevre dostu yöntemlerden biridir [13, 14]. Isıl işlem uygulanmış ahşap malzemenin yapısal uygulamada kullanımı giderek artmakta, bu durum ısıl işlem uygulanmış malzemeye talebi artırmaktadır [15, 16]. Isıl işlem uygulanmış ahşabın gelişmiş özellikleri, mobilya endüstrisine de birçok potansiyel ve çekici yeni fırsatlar sunmaktadır. Havanın bozucu özelliklerine karşı dayanıklılığı nedeniyle, ısıl işlem görmüş ahşap malzeme, bahçe mobilyaları, bina dış cephe kaplamaları, mutfak döşemeleri, banyo ve saunaların iç mekanları gibi iç ve dış mekân uygulamalarında büyüyen bir pazara sahiptir [17].

Isıl işlem, ahşap malzemenin bazı özelliklerini iyileştirirken, uygulanan ısıl işlem şartlarına bağlı olarak mekanik özelliklerini de (eğilme direnci, dinamik eğilme, eğilmede elastikiyet modülü) olumsuz yönde etkilemektedir. Isıl işleme bağlı olarak direnç özelliklerin azalması, ahşap malzemenin mekanik dayanım gerektiren çeşitli uygulamalarında kullanımını sınırlandırmaktadır [18]. Literatürde ısıl işlemin ahşap malzemenin mekanik özelliklerini azaltmasına ilişkin birçok araştırma mevcuttur. Isıl işlem uygulanmış ahşap malzemenin yüzey ıslanabilirlik ve yapışma özellikleri önemli derecede etkilenmektedir [19]. Yüksek sıcaklıklarda uygulanan ısıl işlem ahşap malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir [20]. Isıl işlem karacam ahşap malzeme öz odun ve diri odunda fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde farklı oranlarda etkili olmuştur [21]. Isıl işlem uygulamasından önce ahşap malzemenin nano-gümüş süspansiyonu ile emprenye edilmesi ahşap malzemenin özellikleri üzerine önemli etkilere neden olmuştur [22]. Yapılan çalışmada ısıl işlem uygulanmış Japon sedir ağacının mekanik özelliklerinde artan sıcaklığa bağlı olarak düşüşlerin yaşandığı bildirilmiştir [23]. Benzer bir çalışmada ısıl işlem uygulanmış ahşap malzemenin mekanik özelliklerinde sıcaklığa bağlı olarak önemli gelişmelerin yaşandığı rapor edilmiştir [24]. Sarıçam odununun ısıl işlem öncesi glycerol ile emprenye edilmesi fiziksel özelliklerde önemli etkiye neden olmuştur [25]. Isıl işlem ve nem içeriğinin dışbudak (*Fraxinus excelsior* L.) ağacının özellikleri üzerine etkileri araştırılmış ve sonuçlar sıcaklığa ve nem içeriğine bağlı olarak farklılıklar göstermiştir [26]. Ahşap malzemenin özelliklerini iyileştirmeye yönelik bir diğer önemli yöntem ise ahşap malzemelerin verimli kullanılması, kusurların giderilmesi ve masif ahşaba göre daha kaliteli malzemelerin üretildiği ve istenilen boyutlarda levhaların üretilebildiği laminasyon tekniğidir [27]. Ahşap laminasyon tekniği ile LVL (laminated veneer lumber), PSL (paralel strand lumber), LSL (laminated strand lumber) gibi farklı yapısal

kompozitler üretilmektedir [28, 29]. Bu kompozit malzemeler, farklı ahşap türlerinden, değişken sayıda ahşap levhalardan, farklı boyut, şekil ve katman kalınlıklarından, uygun yapıştırıcılar tercih edilerek ve üretim koşulları kullanılarak üretilmektedir. Üretilen bu kompozit malzemelerin kalitesi, kullanılan ahşap malzemenin yapısal özelliklerine ve üretim şartlarına bağlı olarak değişmektedir [30,31]. Lamine ahşap malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri katman teşekkülüne, ağaç türüne, laminasyonda kullanılan tutkalın özelliklerine göre değişebilmektedir [32, 33].

Ahşap malzemelerin güçlendirilmesine yönelik çalışmalar uzun yıllardır devam etmektedir. Bu amaçla, karbon, cam ve aramid gibi fiber takviye kumaşlar, emprenye işlemi, yoğunlaştırma, yüksek kaliteli ahşap malzemelerin birlikte kullanılması dahil olmak üzere birçok farklı yöntem tercih edilmektedir [34]. Ahşap malzemenin yük taşıma kapasitesini ve mukavemet özelliklerini artırmak için fiber takviye sistemlerinin kullanılması yaygın olarak uygulanan bir yöntem haline gelmiştir [35]. Ahşap malzemenin güçlendirilmesinde, yapıları restorasyona tabi tutarak yapı elemanlarının yük taşıma kapasitesini geliştirmek, deprem ve dış etkilerden dolayı oluşabilecek hasarları ortadan kaldırmak, yetersiz detaylandırma sonucu meydana gelen erken yorulma ve kırılmaları önlemek, uzun süre kullanıma bağlı olarak yük taşıma kapasitesinde oluşan kayıpları telafi etmek gibi nedenler etkili olmaktadır [36]. Literatürde düşük kaliteli ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin farklı teknik ve malzemelerle güçlendirilmesine yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan çalışmada ahşap kirişler bazalt elyaf takviyeli polimer (BFRP) ile güçlendirilmiş, elde edilen test sonuçları güçlendirilmiş malzemelerin yük taşıma kapasitelerinde önemli artışların olduğu belirlenmiştir [37]. Yapılan çalışmada ahşap örnekleri FRP kompozit güçlendiricilerle desteklenmiş ve sonuçlar deneysel ve teorik bir yöntemle analiz edilmiştir [38]. Yapılan çalışmada ahşap malzemelerin güçlendirilmesinde çeşitli malzemelerin kullanımını ve bazı güçlendirilmiş ahşap ürünlerin ve üretim süreçlerinin geleceği hakkında analizler verilmiştir [39]. Yapılan çalışmada karbon fiber güçlendirici malzemelerin kullanım uygulanmasının ahşap köprü kirişlerin yük taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır [40]. Benzer bir çalışmada ahşap örnekler karbon ve cam elyaf ile güçlendirilmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir. Sonuç olarak güçlendirme yapılmış örneklerin moment direncinde önemli artışların belirlendiği bildirilmiştir [41]. Yapılan çalışmada ahşap malzemenin güçlendirilmesine yönelik karbon/vinil ester kompoziti karakterize etmek, ahşap güçlendirme için VARTM/SCRIMP işlemin uygunluğunu değerlendirmek ve petrol kaynaklı ahşap emprenye uygulamalarına maruz kaldıktan sonra madde emilimini ölçmektedir. Sonuç olarak karbon/vinil ester-ahşap arayüz özellikleri, E-cam/vinil ester-ahşap arayüz özelliklerinden daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir [42]. Ele alınan çalışmada ahşap kaplama oryantasyonu ve yüklenme yönünün bambu-kavak lamine kompozitlerin mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak özellikle yüzey katmanlarında lamine edilmiş bambu demetinin katkısı arttıkça mekanik özelliklerde artmıştır [43]. Yapılan çalışmada yönlendirilmiş bambu lifi kullanılarak bambu elyaf takviyeli kompozit üretilmiş ve sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir [44]. Karbon fiber takviyeli yapıştırılmış lamine ahşap (CFR-Glulam) malzemenin mekanik özellikleri araştırılmış ve güçlendirilmiş örneklerden olumlu sonuçlar elde edilerek mimari uygulamalarda kullanılabileceği belirlenmiştir [45]. Yapısal kompozit kerestelerden birisi olan lamine edilmiş kaplama kereste (LVL), masif ahşap malzemeye alternatif olarak geliştirilmiş ve kompozit malzeme olarak inşaat, ahşap ürünler, mobilya endüstrisi gibi yapısal ve yapısal olmayan birçok uygulamada geniş bir kullanım potansiyeline sahiptir [46-48]. Düşük mekanik özelliklere sahip ahşap malzemelerin güçlendirici malzemeler ile takviye edilmesi, direnç ve mukavemet özelliklerini iyileştirmede etkili bir yöntemdir [49].

Wong vd. [50], yaptıkları çalışmada, *Hevea brasiliensis* ağacından elde edilen kaplamaları, melamin üre formaldehit (MUF) tutkalı kullanarak *Acacia mangium* güçlendirme işlemi yapmış ve meydana gelen değişimleri analiz etmişlerdir. Sonuç olarak güçlendirilen numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinde katman sayısına bağlı olarak iyileşmelerin olduğunu bildirmişlerdir. Bal [51], yapmış olduğu çalışmada, kavak kaplama (*Populus x euramericana* I-214) ve fenol formaldehit tutkalı kullanarak ürettiği kompozit malzemelerin arasına güçlendirici olarak cam elyaf kumaş kullanmış ve malzemenin özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelemiştir. Cam elyaf ile güçlendirme işleminin eğilme direncini, eğilmede elastikiyet modülü değerlerini ve yarılmaya direncini artırdığı, bununla birlikte çekme makaslama direncini azalttığı rapor edilmiştir. Yapılan çalışmada cam elyaf kumaş ve epoksi reçinesi ile güçlendirilmiş kauçuk ahşap kaplamadan elde edilen LVL kompozitlerin eğilme özellikleri üzerindeki presleme parametrelerinin incelenmesi, DOE (design of experimental) yaklaşımı ile analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmalı olarak verilmiştir [52]. Hu vd. [53], yapmış oldukları çalışmada kavak (*Populus ussuriensis* Kom.) kaplamalardan elde ettiği LVL kaplamaların arasına güçlendirici olarak farklı metal ağırlar yerleştirmiş ve fenol formaldehit (PF) tutkalı kullanarak kompozit levhalar üretmişlerdir. Deney örneklerinin eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri belirlenmiştir. Güçlendirici metal ağırların türü ve konumu eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü üzerinde olumlu etkilere neden olduğu belirtilmiştir. Basterra vd. [54], tarafından yapılan bir araştırmada, kavak (*Populus x euramericana* cv. I-214) ağacından elde edilen çift kirişlerin (duo beams) güçlendirilmesinde cam elyaf, karbon elyaf ve keten elyaf ile epoxy bazlı tutkal kullanılarak test sonuçları analiz edilmiştir. Karbon elyaf ile güçlendirilen deney gruplarının mekanik özelliklerinde önemli derecede artışlar belirlenirken, diğer örneklerde önemli bir artışın gerçekleşmediği bildirilmiştir.

Isıl işlem görmüş ahşap malzemenin artan popüleritesi, bu malzemeye olan talebi artırmıştır. Ayrıca dünyada lamine edilmiş kaplama kereste (LVL) kompozit malzeme giderek artan bir kullanıma sahiptir. Isıl işlem uygulanmış kerestenin mekanik özelliklerinin zayıflaması, ağaç işleri endüstrisinde özellikle de yük taşıyıcı sistemlerde kullanımını olumsuz etkilemektedir. Bu olgulardan yola çıkarak, ısıl işlem uygulanmış ahşap malzemelerden oluşan güçlendirilmiş LVL kompozit malzemelerin özelliklerinin belirlenmesi, ağaç işleri endüstrisinde taşıyıcı sistemler için önemlidir. Bu çalışmanın amacı, fenol formaldehit (PF) tutkalı kullanılarak 150, 175 ve 200°C sıcaklıklarda 3 saat süre ile ısıl işlem uygulanmış kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) kaplamalardan, karbon ve cam elyaf ile güçlendirilerek oluşturulan deney örneklerinin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesidir.

2. Malzeme ve Deneysel Metot (Material and Experimental Method)

2.1. Malzeme (Material)

Bu çalışmada havada kuru yoğunluğu 0.687 gr/cm³ ve nem içeriği yaklaşık %13±2 olan kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) odun örnekleri Bursa, İnegöl'deki yerel bir kereste fabrikasından satın alma yöntemiyle elde edilmiştir. Numuneler 105 mm genişliğinde ve 50 mm kalınlığında ve 460 mm (TxRxL) uzunluğunda taslak parçalar halinde kesilmiştir. Taslak parçaların, ısıl işlem öncesi %12 denge rutubete gelmeleri için %65±3 bağıl nem ve 20±2°C sıcaklık

şartlarında değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir. Deney örneklerinin üretilmesinde, yapıştırıcı olarak üre fenol formaldehit (FF) tutkalı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan tutkal Gentaş firmasından temin edilmiş olup, özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Ahşap kaplamalar arasına, güçlendirici olarak ağırlığı 200 g/m² olan cam ve karbon fiber kumaşlar tercih edilmiştir. Kumaşlar Dost Kimya firmasından satın alma yöntemiyle temin edilmiştir. Karbon ve cam elyaf takviye malzemeler, yüksek mukavemet özelliklerinden dolayı güçlendirme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [42, 55].

2.2. Deneysel Metot (Experimental Method)

Hava kuru hale getirilmiş taslak parçalara 150, 175 ve 200°C'de 3 saat süre ile ısıl işlem uygulanmıştır. Isıl işlem süresine ilk ısıtma ve son soğutma safhalarındaki süreler dahil değildir. Isıl işlemden uygulamalarından sonra taslak parçalardan 5 mm kalınlık (R) x 100 mm genişlik (T) ve 450 mm uzunluğunda (L) paneller kesilmiştir. Deney örneklerinin üretilmesinde kullanılan kayın paneller Şekil 1'de verilmiştir. Ahşap panellerin kesilmesinden sonra, parçalar laminasyon işleminden önce %12 denge rutubet miktarına gelmesi için %65±3 bağıl nem ve 20±2°C sıcaklıkta değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir. Kompozit levhaların üretiminde kullanılan kayın paneller Şekil 1'de görülmektedir.

Laminasyon işleminden önce paneller, her bir deney grubuna yetecek miktarda gruba ayrılmıştır. Lamine edilmiş taslak levhalar, 5 mm kalınlığında ve hava kuru yoğunluğundaki levhalardan 4 katmanlı olarak 20 x 100 x 450 mm ebatlarında üretilmiştir. Üretilen taslak lamine kompozit malzemelerin şekil ve boyutları Şekil 2'de verilmiştir. Lamine taslak levhaların üretilmesinde, ahşap panellerin bir yüzüne yaklaşık 200 gr/m², cam ve karbon elyaf kumaşların her iki yüzüne ise elyaf kumaşların yüzey yapılarından dolayı 300 gr/m² hesabıyla tutkal sürülmüştür. Karbon ve cam elyaf kumaşlar, kayın paneller arasına yerleştirilerek oluşturulan numuneler, 8 kg/cm² basınç altında, 135°C'de, 30 dakika süre preslenmiştir. Her bir deney grubu için yeteri kadar lamine edilmiş taslak levhalar üretilmiştir. Presleme işleminden sonra levhalar 15 gün süre ile uygun bir ortamda istiflenmiştir.

İstifte bekletme sürecinden sonra, levhaların bir kenarları planya makinesinde düzeltilmiş ve net ölçüdeki deney örnekleri kesilmiştir. Fiziksel özelliklerden, hava kuru yoğunluk TS 2472'ye [56], mekanik özelliklerden eğilme direnci (MOR) TS 2474'e [57], eğilmede elastikiyet modülü (MOE) TS 2478'e [58], liflere paralel basınç direnci TS 2595'e [59] ve yapışma direnci TS EN 205'e [60] uygun olarak test edilmiştir.

Hava kuru yoğunluk değerlerinin hesaplanması Eş.1'e göre yapılmıştır.

$$D = M/V \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (1)$$

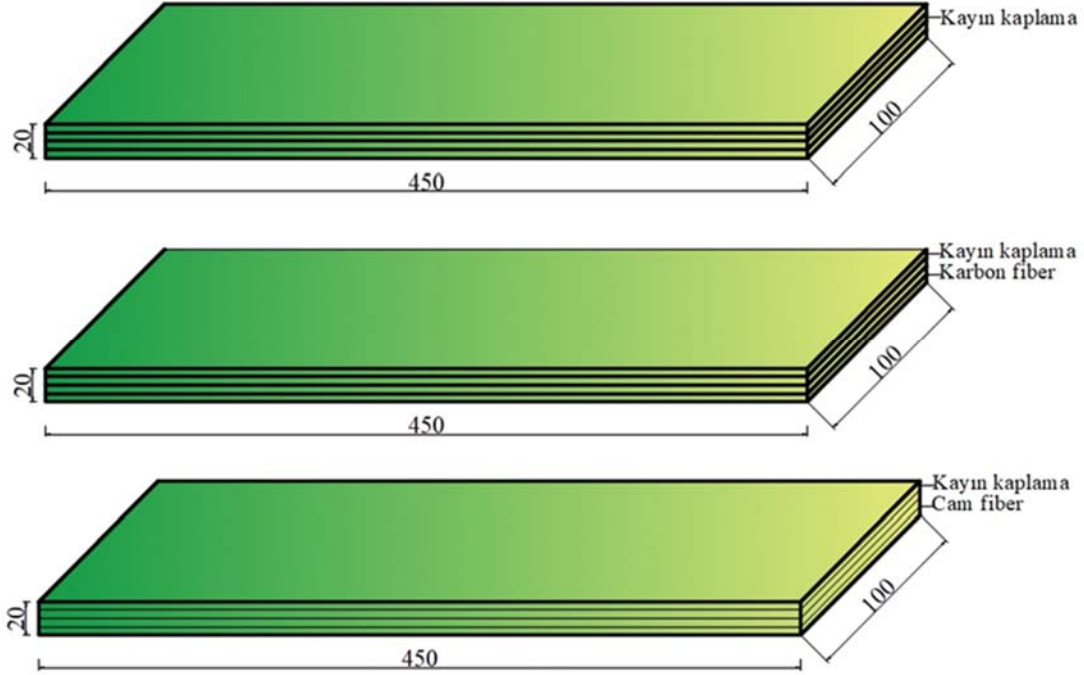
Burada, D : Hava kuru yoğunluk değerini (g/cm³), M : Örneğin hava kuru ağırlığını (g), ve V : Örnek hacmini (cm³) ifade eder. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde test cihazının yükleme hızı 2 mm/dakika olarak ayarlanmıştır. Yapışma direnci belirlenmesinde aşağıdaki Eş. 2 formülünden yararlanılmıştır.

Tablo 1. Kullanılan tutkalların özellikleri (Properties of used adhesive)

Yoğunluk (20°C) (g/cm ³)	pH (20°C)	Viskozite (20°C) (cPs)	Katı madde miktarı (2 h, 120°C) (%)	Uygulama miktarı (g/m ²)	Katılaşma süresi (dk.) (130°C)
1,12	8,4	600	48	180-200	6-7



Şekil 1. Kompozit levhaların üretiminde kullanılan kayın panelleri (Beech panels used in the production of composite boards)



Şekil 2. Üretilen taslak kayın panellerinin mm (Manufactured draft beech panels)

$$SS = F_{max} / A \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (2)$$

Burada, SS : Yapışma direncini (N/mm^2), F_{max} : Deney esnasındaki en yüksek kopma kuvvetini (N), A : Örneğin yapışma yüzey alanını (mm^2) ifade eder. Yapışma direnci deney örneği, Şekil 3'te verilmiştir.

Eğilme direnci değerlerinin belirlenmesinde Eş. 3 formülünden yararlanılmıştır.

$$MOR = 3 \cdot F_{max} \cdot L / 2 \cdot b \cdot h^2 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (3)$$

Burada, MOR : Eğilme direncini (N/mm^2), F_{max} : Kopma anındaki maksimum kuvveti (N), L : Destekler arasındaki mesafeyi (mm), b : Örnek genişliğini (mm) ve h : Örnek yüksekliğini (mm) ifade eder.

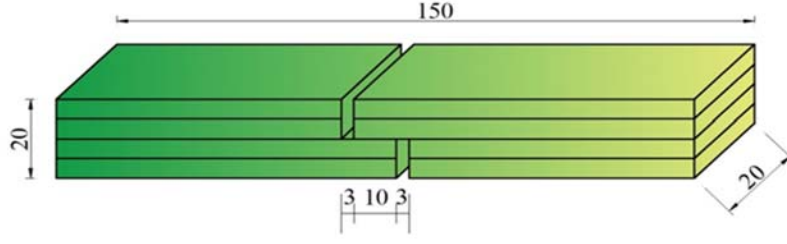
Eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin belirlenmesinde Eş. 4 formülü kullanılmıştır.

$$MOE = \Delta F \cdot L^3 / \Delta a \cdot 4 \cdot b \cdot h^3 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (4)$$

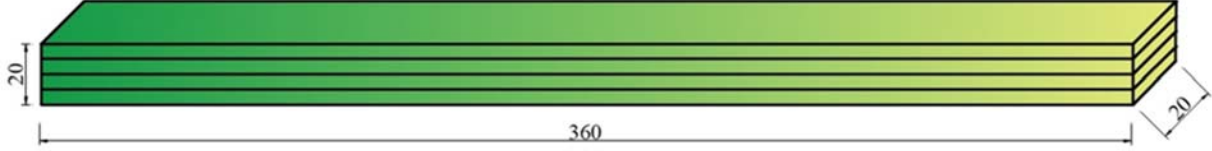
Burada,

Burada, MOE : Eğilmede elastikiyet modülünü (N/mm^2), ΔF : Elastikiyet bölgesindeki kuvvet farkını (N), L : Destekler arasındaki mesafeyi (mm), Δa : Eğilme miktarını (mm), b : Örnek genişliğini (mm) ve h : Örnek yüksekliğini (mm) ifade etmektedir. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü deney örneği Şekil 4'te verilmiştir.

Liflere paralel basınç direnci değerlerinin hesaplanmasında Eş. 5'te verilen formül kullanılmıştır.



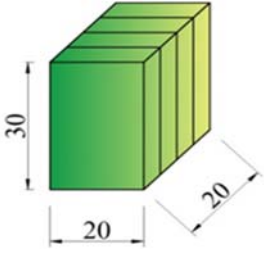
Şekil 3. Yapışma direnci deney örneği (mm) (Bonding strength test sample)



Şekil 4. Eğilme direnci deney örneği (mm) (Bending strength test sample)

$$CS// = F_{max} / a \cdot b \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (5)$$

Burada, $CS//$: Liflere paralel basınç direncini (N/mm^2), F_{max} : Deney anındaki en yüksek kuvveti (N), a : Deney parçasının kalınlığını (mm), b : Deney parçasının genişliğini (mm) ifade etmektedir. Liflere paralel basınç direnci deney örneği Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Lifler paralel basınç direnci deney örneği (mm) (Compression strength parallel to the grain test sample)

2.3. Verilerin Değerlendirilmesi (Statistical Evaluation)

Bu çalışmada, verilerin istatistiksel olarak değerlendirmelerde MSTAT-C istatistik programından yararlanılmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Varyans kaynaklarının ve karşılıklı etkileşimlerinin ($\alpha = 0,05$ için) anlamlı çıkması halinde, farklılıkların hangi sıcaklık ve malzeme çeşidi için önemli olduğu, en küçük önemli fark (LSD: Least Significant Difference) testi ile belirlenmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

Isıl işlem uygulandıktan sonra güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş lamine kaplama kerestelerin hava kuru yoğunluk değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'ye göre, her iki güçlendirici kumaşında katmanlar arasına eklenmesi ile yoğunluk değerlerinde açıkça bir artış görülmektedir. Her bir deney grubunda, ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak yoğunluk değerleri düşerken, güçlendirici malzeme kullanılan örneklerin yoğunluk değerleri artmıştır. Yoğunluk değerlerindeki bu artışların, ahşap panellerin arasında kullanılan güçlendirici elyaf kumaşlardan ve kumaşlara sürülen tutkallardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Tablo 2'ye göre en yüksek hava kuru yoğunluk değeri GLVL ($0,742 \text{ g/cm}^3$) örneklerde, en düşük ise 200°C 'de ısı işlem uygulanmış LVL örneklerde ($0,657 \text{ g/cm}^3$) belirlenmiştir. Her bir deney grubundaki güçlendirilmiş LVL numunelerinin ortalama

yoğunluk değerleri, güçlendirilmemiş örneklerle kıyaslandığında %3 ile %5 arasında artmaktadır. Yoğunluk değerlerindeki artışlar, literatürdeki çalışmalarla benzerlik göstermektedir [61, 62]. MOR, MOE, $CS//$ ve SS özelliklere ait varyans analizi sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

Isıl işlem ve güçlendirici malzemelerin MOR, MOE, $CS//$ ve SS üzerindeki etkileri istatistiksel olarak önemli çıkarken, güçlendirici malzemelerin $CS//$ 'ye etkileri önemsizdir ($P < 0,05$). Isıl işlem sıcaklığı ve güçlendirici elyaf türünün MOR, MOE, $CS//$ ve SS üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan ölçümlerde elde edilen ortalama değerler Tablo 4, farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 4'e göre, MOR değeri, ısı işlem sıcaklığı bakımından en yüksek, 150°C 'de ($118,6 \text{ N/mm}^2$) ve en düşük, 200°C 'de ($98,4 \text{ N/mm}^2$) elde edilmiştir. En yüksek MOE değeri ise, ısı işlem uygulanmamış örneklerde (12426 N/mm^2) tespit edilmiştir. Sıcaklık değeri arttıkça MOR ve MOE değerleri azalmıştır. Bu sonuçlar literatürle de benzerlik göstermektedir [63, 64, 24]. Isıl işlem uygulanmamış örneklerle kıyaslandığında, ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak MOR değerindeki ortalama düşüşler %7 ila %15 ve MOE'de ise %2 ile %14 arasında değişmektedir. Güçlendirici malzemeyle ilgili olarak, her iki malzeme de MOR ve MOE değerlerini artırmıştır. Karbon ve cam elyaf ile güçlendirilmiş tüm LVL örnekler, güçlendirilmemiş numunelere göre %2 ile %9 arasında daha yüksek MOR özellikleri ve %7 ile %15 arasında daha yüksek MOE değerleri göstermiştir. Ayrıca MOR ve MOE özelliklerinde, karbon fiber daha iyi bir güçlendirme etkisi göstermiştir.

Tablo 4 incelendiğinde, $CS//$ ve SS özellikleri ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak azalmıştır. En yüksek $CS//$ ve SS değerleri ısı işlem uygulanmamış örneklerde belirlenmiştir. Isıl işlem uygulanmamış örneklerle kıyaslandığında, ısı işleme bağlı olarak, $CS//$ değerindeki azalma miktarı, %1 ile %13 ve SS'de ise %11 ile %29 arasında değişmektedir. Ayrıca diğer mekanik özelliklere göre SS'deki direnç kayıpları yüksek olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda karbon ve cam elyaf kumaşların yapışma direncini azalttığı sonucuna varılabilir. Güçlendirici malzemeler ile ilgili olarak, en yüksek $CS//$ ve SS değerleri, güçlendirilme işlemi yapılmamış örneklerde belirlenmiştir. Takviye işleminin $CS//$ üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Tablo 5'e göre, güçlendirilmemiş örneklerle kıyaslandığında, karbon ve cam elyaf ile güçlendirilmiş tüm LVL örneklerin MOR

Tablo 2. Deney örneklerine ait hava kuru yoğunluk değerleri (Air-dry density values of test samples)

Isıl işlem	Levha türü	Ort. (g/cm ³)	±SS	Min. (g/cm ³)	Mak. (g/cm ³)
Isıl işlemsiz	LVL	0,711	0,00996	0,699	0,727
	GLVL	0,742	0,01436	0,714	0,765
	CLVL	0,736	0,01026	0,722	0,757
150°C	LVL	0,703	0,01471	0,679	0,715
	GLVL	0,737	0,01173	0,718	0,755
	CLVL	0,729	0,01142	0,713	0,745
175°C	LVL	0,683	0,01678	0,662	0,715
	GLVL	0,711	0,01811	0,688	0,742
	CLVL	0,708	0,01462	0,685	0,732
200°C	LVL	0,657	0,01833	0,631	0,685
	GLVL	0,689	0,01436	0,665	0,711
	CLVL	0,694	0,01723	0,672	0,724

(Ort: Ortalama, ±SS: Standart sapma, Mak.: Maksimum, Min. Minimum, LVL: Güçlendirilmemiş Lamine Kaplama Kereste, GLVL: Cam elyaf ile güçlendirilmiş lamine kaplama kereste, CLVL: Karbon elyaf ile güçlendirilmiş lamine kaplama kereste).

Tablo 3. Mekanik özelliklere ait varyans analizi sonuçları (Analysis of variance results of mechanical properties)

	Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P<0,05 SIG.
MOR	Faktör(A)	3	7369,887	2456,629	106,4255	0,0000
	Faktör(B)	2	1979,820	989,910	42,8847	0,0000
	AxB	6	66,908	11,151	0,4831	ns
	Hata	108	2492,972	23,083	-	-
	Toplam	119	11909,588	-	-	-
MOE	Faktör(A)	3	58003043,692	19334347,897	87,1576	0,0000
	Faktör(B)	2	57771492,350	28885746,175	130,2145	0,0000
	AxB	6	1498688,383	249781,397	1,1260	ns
	Hata	108	23957858,900	221832,027	-	-
	Toplam	119	141231083,325	-	-	-
CS//	Faktör(A)	3	1793,215	597,738	206,5200	0,0000
	Faktör(B)	2	5,362	2,681	0,9263	ns
	AxB	6	605,346	100,891	34,3581	0,0000
	Hata	108	312,588	2,894	-	-
	Toplam	119	2716,512	-	-	-
SS	Faktör(A)	3	145,957	48,652	118,0607	0,0000
	Faktör(B)	2	29,589	14,795	35,9006	0,0000
	AxB	6	12,653	2,109	5,1172	0,0001
	Hata	108	44,506	0,412	-	-
	Toplam	119	232,705	-	-	-

(Faktör A: Isıl işlem sıcaklığı, Faktör B: Elyaf türü, ns: önemsiz)

Tablo 4. Mekanik özelliklere ait ortalama değerleri (Average values of mechanical properties)

İşlem çeşidi	Levha türü	MOR (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)	CS// (N/mm ²)	SS (N/mm ²)
Isıl işlem	Isıl işlemsiz	117,0 ^a	12426 ^a	67,60 ^a	10,24 ^a
	150°C	118,6 ^a	12124 ^b	66,76 ^a	9,047 ^b
	175°C	108,3 ^b	11626 ^c	60,30 ^b	8,217 ^c
	200°C	98,4 ^c	10601 ^d	58,80 ^c	7,233 ^d
Güçlendirici malzeme türü	Güçlendirilmemiş	106,5 ^c	10853 ^c	63,65 ^a	9,318 ^a
	GLVL	109,5 ^b	11677 ^b	63,31 ^a	8,627 ^b
	CLVL	116,2 ^a	12553 ^a	63,13 ^a	8,105 ^c

(MOR: Eğilme direnci, MOE: Eğilmede elastikiyet modülü, CS//: Liflere paralel basınç direnci, SS: Yapışma direnci)

Tablo 5. Mekanik özelliklere ilişkin Duncan testi sonuçları (Duncan test results on mechanical properties)

Isıl işlem	Levha türü	MOR (N/mm ²)		MOE (N/mm ²)		CS// (N/mm ²)		SS (N/mm ²)	
		Ort.	±SS	Ort.	±SS	Ort.	±SS	Ort.	±SS
Isıl işlemsiz	LVL	103,45 ^c	4,21	11665 ^d	437,39	69,75 ^a	1,6091	10,57 ^a	0,98
	GLVL	116,41 ^c	5,43	12314 ^b	455,18	64,65 ^b	1,7665	10,42 ^a	0,82
	CLVL	121,16 ^{ab}	4,10	13299 ^a	485,66	68,42 ^a	1,7699	9,72 ^b	0,56
150°C	LVL	114,33 ^c	3,82	11121 ^{ef}	495,79	65,85 ^b	1,5881	9,51 ^{bc}	0,41
	GLVL	117,49 ^{bc}	3,93	12168 ^{bc}	614,91	69,71 ^a	1,5662	9,07 ^{cd}	0,70
	CLVL	123,95 ^a	4,43	13085 ^a	601,24	64,72 ^b	1,8262	8,56 ^{de}	0,60
175°C	LVL	104,72 ^d	4,08	10742 ^g	542,91	60,49 ^d	1,9030	9,11 ^{cd}	0,81
	GLVL	106,58 ^d	5,87	11787 ^{cd}	508,55	62,95 ^c	1,6663	8,42 ^e	0,64
	CLVL	113,78 ^e	5,65	12349 ^b	288,53	57,45 ^{ef}	1,6750	7,22 ^f	0,69
200°C	LVL	93,48 ^e	5,38	9885 ^h	416,28	58,49 ^e	1,6788	8,23 ^e	0,55
	GLVL	97,48 ^e	5,56	10442 ^g	294,03	55,95 ^f	1,4759	6,92 ^g	0,65
	CLVL	105,85 ^d	4,71	11478 ^{de}	380,79	61,95 ^{cd}	1,8375	6,55 ^{fg}	0,71

değerlerinde önemli artışlar belirlenmiştir. En yüksek MOR değeri, 150°C’de ısıtılmış uygulanmış ve karbon elyafı güçlendirilmiş örneklerde (123, 95 N/mm²), en düşük ise 200°C’de ısıtılmış

uygulanmış ve güçlendirme işlemi yapılmayan örneklerde (93,48 N/mm²) gerçekleşmiştir. Ayrıca karbon elyaf ile güçlendirilmiş örneklerin MOR değerleri cam elyaf ile güçlendirilmiş örneklerden

daha yüksektir. En fazla eğilme direnci kaybı 200°C de ısıtım işlem uygulanan örneklerde gerçekleşmiştir. Benzer şekilde MOE değerlerinde, ısıtım işlem sıcaklığına bağlı olarak düşüşlerin gerçekleştiği, cam ve karbon elyaf ile güçlendirilmiş örneklerin MOE değerlerinin ise aynı şartlar altında ısıtım işlem uygulanan örneklerle göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. MOR ve MOR değerlerindeki düşüşlerin gerçekleşmesinde, odun polimerlerinin özellikle de hemiselülozların ısıtım işlem sıcaklığına bağlı olarak bozunması ve ağaç malzemede yaşanan kütle kayıplarının sorumlu olduğu düşünülmektedir. Literatürde mekanik dirençlerde, özellikle de eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerindeki düşüşlerin odun polimerlerinin yüksek sıcaklıkta bozunmasından kaynaklandığını belirten çalışmalar bulunmaktadır [63-65].

En yüksek MOE değeri, ısıtım işlem uygulanmamış ve karbon fiber ile güçlendirilmiş örneklerde (13299 N/mm²), en düşük ise 200°C de ısıtım işlem uygulanan örneklerde (9885 N/mm²), tespit edilmiştir. Tablo 5'e göre karbon fiber, cam fibere göre MOR ve MOE değerlerini daha fazla arttırmıştır. Bu durumun karbon fiberin yapısal özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürde karbon fiberin kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiğine dair çalışmalar bulunmaktadır [66, 67, 49]. Yapılan çalışmada epoksi ve poliüretan tutkalları kullanılarak ladin (*pine abies*) kirişler karbon ve cam elyafı ile güçlendirilmiş ve mekanik özelliklerdeki değişimler incelenmiştir. Deney sonuçlarında güçlendirici kumaşların kullanıldığı örneklerin mekanik özelliklerinde önemli artışların olduğu belirtilmiştir [68]. Düşük sıcaklıkta özellikle de 150°C'de ısıtım işlem uygulanmış örneklerin MOR değerlerinde önemli artışların olduğu belirlenirken, sıcaklık yükseldikçe direnç değerlerinin düştüğü belirlenmiştir. Bu durum literatürle de uyumlu çıkmıştır [69, 18].

Tablo 5'teki veriler değerlendirildiğinde, ısıtım işlem ve güçlendirici malzemelerin CS// üzerindeki etkileri değişkenlik göstermektedir. En yüksek CS// değeri, ısıtım işlem uygulanmamış ve güçlendirici malzeme kullanılmayan LVL örneklerde (69,75 N/mm²), en düşük ise 200°C'de ısıtım işlem uygulanmış ve cam elyaf ile güçlendirilmiş LVL örneklerde (55,95 N/mm²) belirlenmiştir. Güçlendirici kullanılmayan örneklerin CS// değerleri, ısıtım işlem sıcaklığının artmasına bağlı olarak azalmıştır. Ayrıca cam elyaf ve karbon elyafa bağlı olarak basınç direnci de çok az bir farklılık belirlenirken bu durum istatistiksel açıdan da önemli çıkmamıştır (P<0,05). Cam elyaf, 150 ve 175°C'de, karbon elyaf ise 200°C'de CS// değerlerini artırmıştır. Bu duruma göre, güçlendirici malzemelerin CS// değerleri üzerindeki güçlendirme etkisinin, beklenen seviyede olmadığı veya MOR ve MOE değerlerindeki olduğu gibi yüksek seviyelerde gerçekleşmediği söylenebilir. Bunun nedeni, deneyler esnasında güçlendirici malzemelerin lif yapısının basınca bağlı olarak burkulması ve yük taşıma kapasitelerinin düşmesi neden olmuş olabilir. Literatürde karbon fiberlerin, katmanları ve fibril yapıları arasındaki zayıf Van der Waals bağlarından dolayı düşük basınç dayanımına sahip oldukları belirtilmiştir [70]. Yapılan çalışmada Polivinil asetat (PVAc) D3 ve Desmodur-VTKA tutkalları kullanılarak cam elyaf ile güçlendirilmiş LVL örneklerin fiziksel ve mekaniksel özellikleri belirlenmiştir. Test sonuçlarına göre, cam elyaf ile güçlendirilmiş LVL örneklerin liflere paralel basınç direnci değerlerinde azalmaların olduğu belirlenmiştir [71]. Başka bir çalışmada da Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) ve sarıçam (*Pinus silvestris* L.) örnekler CFRP levhalarla ve bond 200M epoksi macun ve poliüretan esaslı yapıştırıcılar kullanılarak güçlendirilmiştir. Test sonuçları, güçlendirilmiş sarıçam numunelerinin basınç direncinin düştüğünü göstermiştir [72].

Isıtım işlem ve güçlendirici malzemelerin SS değerleri üzerindeki etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (P<0,05) (Tablo 3). Tablo 5'e göre, ısıtım işlem sıcaklığına ve güçlendirici malzeme türüne göre SS değerleri azalmıştır. En yüksek SS değeri, ısıtım işlem uygulanmamış ve güçlendirme işlemi yapılmamış örneklerde (10,57

N/mm²), en düşük ise 200°C'de ısıtım işlem uygulanmış ve karbon fiber ile lamine güçlendirilmiş LVL örneklerde (6,55 N/mm²) elde belirlenmiştir. Yapışma direncinin azalmasında, güçlendirici malzemelerin yüzey yapısının ve ısıtım işlemle bağlı olarak ahşap malzemenin özelliklerinde meydana gelen değişimlerin etkili olduğu düşünülmektedir. Literatürde, ısıtım işlemle bağlı olarak yapışma direncinin düştüğünü belirten çalışmalar bulunmaktadır [73,74,75]. Yapılan çalışmada ahşap örnekler ısıtım işleminden önce ve sonra üre-formaldehit (UF) ve melamin-üre-formaldehit (MUF) reçineleri ile yapıştırılmış ve mekanik özelliklerdeki değişimler incelenmiştir. Sonuç olarak mekanik özelliklerin ısıtım işleminden olumsuz etkilendiği belirtilmiştir [76]. Başka bir çalışmada da meşe (*Quercus petraea* L.) ağaç malzemenin elde edilen deney örnekleri 170,190 ve 210°C sıcaklıklarda 2,6 ve 10 saat süre ile ısıtım işlemle tabi tutulmuş ve yapışma direnci poliüretan (PUR), fenol-formaldehit (FF), melamin-üre-formaldehit (MUF) ve melamin-formaldehit (MF) tutkalları kullanılarak belirlenmiştir. Sonuç olarak sıcaklık arttıkça yapışma direncinin düştüğü bildirilmiştir [77]. Ayrıca daha önceki yapılan bir çalışmada, ahşap malzemenin yapışmasında, yüzey pürüzlülüğünün önemli etkiye sahip olduğu, pürüzlülüğün artmasına bağlı olarak yapışma direncinin önemli miktarda düştüğü belirtilmiştir [78]. Benzer bir çalışmada, kavak (*Populus x euramericana* I-214) örnekler, fenol formaldehit (FF) tutkalı kullanılarak, cam elyaf kumaşla güçlendirilmiş ve bazı mekanik özelliklerle beraber yapışma direncindeki değişimler belirlenmiş, güçlendirme işlemi yapılmış örneklerin yapışma direncinin düştüğü belirtilmiştir [51].

Çalışmada elde edilen bir diğer bulgu da kırılma şekillerinde meydana gelen değişimlerdir. Isıtım işlem uygulanmış ve uygulanmamış örnekler ile güçlendirme işlemi yapılmış ve yapılmamış örneklerin kırılma şekilleri genel olarak birbirlerinden farklıdır. Eğilme direnci testinde, genel olarak güçlendirme işlemi yapılmamış örneklerde, kırılma en alt tabakada gerçekleşirken, güçlendirme yapılmış örneklerde güçlendirici ve fazla miktarda kullanılan tutkal ile kırılma orta tabakalara doğru yönelmiştir. Ayrıca, ısıtım işlem uygulanmış örneklerde, kırılma ani ve tam kırılma olarak gerçekleşirken, ısıtım işlem uygulanmamış örneklerde bunun tam tersi olarak meydana gelmiştir. Burada ısıtım işlem uygulanmış örneklerin daha gevrek ve kırılğan olması etkili olmuş olabilir. Literatürde ısıtım işlem uygulanmış ahşap malzemelerin daha gevrek ve kırılğan bir eğilime sahip olduğu belirtilmiştir [69, 79]. Başka bir çalışmada, amorf selülozun kristalleşmesi, karbonhidratların bozunması ve ısıtım işlemle bağlı olarak ahşap malzemede oluşan kimyasal değişikliklerin ahşap malzemenin daha kırılğan olmasına neden olduğunu belirtilmiştir [17].

Benzer bir çalışmada, farklı tutkallar kullanılarak, cam elyaf ile güçlendirilen ıhlamur (*Tilia tomentosa* M.) ağacından elde edilen lamine kompozit malzemelerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri belirlenmiştir. Güçlendirme yapılmış deney örneklerinin eğilmede elastikiyet modülünde önemli artışların olduğu bildirilmiştir [80]. Karbon ve bazalt fiber kullanılarak güçlendirme yapılmış Douglas Göknarı ve Kavak lamine kompozit kerestelerin eğilme direnci değerleri belirlenmiştir. Çalışmada güçlendirme yapılan örneklerin eğilme dirençlerinde kayda değer gelişmelerin belirlendiği rapor edilmiştir [81]. Köknar (*Abies borisii regis*) ve karaçam (*Pinus nigra*) örnekler karbon fiber ile farklı kombinasyonlarda güçlendirildikten sonra eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Güçlendirme yapılan deney örneklerinin kontrol grubuna göre daha yüksek değerler verdiği vurgulanmıştır [82].

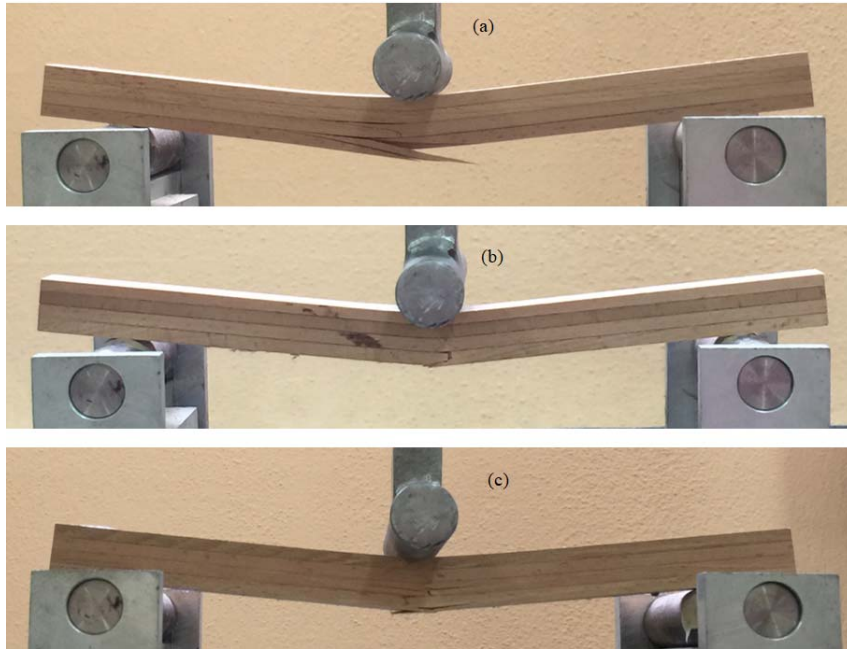
Güçlendirici malzemelerin, LVL örnekler arasında kullanılması örneklerin sünekliğinin artmasına neden olmuştur. Böylece güçlendirici malzemeler, ısıtım işlemle neden olduğu tabakalar arasındaki kırılğanlığı azaltmış ve LVL numuneleri sünek bir davranış sergilememesine katkı sağlamıştır. Paneller arasında kullanılan

tutkallar da genel olarak olumlu sonuçlar vermiş ve yükü donatıya aktardığı için maksimum yük gerilimi sırasında nadiren delaminasyon meydana gelmiştir. Şekil 6'da eğilme direnci testi esnasında meydana gelen kırılma şekillerinden bazı örnekler verilmiştir. Şekil 7'de ise yapışma deneyinden sonra örneklerin kırılma şekilleri verilmiştir.

Eğilme direnci testinde olduğu gibi, liflere paralel basınç direnci ve yapışma direnci testleri esnasında ısıtılma işlemi sıcaklığına ve güçlendirme işlemine bağlı olarak kırılma şekillerinde belirgin bir fark gözlenmiştir. Genel olarak, 200°C'de ısıtılma işlemi uygulanmış örneklerin liflere paralel basınç direnci testinde, en yüksek yüke ulaşıldığında kırılma şekli burkulma ve ezilme şeklinde gerçekleşmiştir. Güçlendirilmiş örneklerin kırılma şekilleri, nispeten benzer olmakla birlikte daha çok ezilme şeklinde olmuştur. Isıtılma işlemi uygulanmamış ve karbon fiber ile güçlendirilmiş örneklerde, en yüksek yük altında bir miktar burkulma olurken, birçok örnekte yük artışının devam etmesi nedeniyle, ahşap paneller arasında tutkal hattında ayrılmalar meydana gelmiştir. Bununla beraber, ısıtılma işlemi ve güçlendirme işlemi, yapışma direnci testinde de kırılma şekillerini etkilemiştir. Şekil 7'de, yapışma direnci testi esnasında, bazı

örneklerde gerçekleşen kırılma şekilleri verilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda ısıtılma işlemi uygulanan örneklerde, ahşap malzemenin kırılma şekli, tutkal hattı ve güçlendirici malzemeden olmayıp, daha çok ahşap malzemenin kırılma şeklidir. Bu durum, ısıtılma işlemi uygulanmış ahşap malzemenin, kırılma geriliminin artırmasından kaynaklanmış olabilir. Ayrıca, ısıtılma işlemi uygulanmamış ve güçlendirme yapılmamış bazı örneklerde, kırılma tutkal hattından olmayıp, ahşap yüzeylerinden gerçekleşmiştir. Isıtılma işlemi uygulanmış ve güçlendirme işlemi yapılmış bazı örneklerde de kırılma işlemi, güçlendirme malzemesi ile ahşap malzeme arasında gerçekleşmiştir.

Isıtılma işlemi uygulanmış ahşap malzemenin, iç ve dış mekânda yapısal ve yapısal olmayan uygulamalarda kullanımı giderek artmaktadır. Isıtılma işlemi uygulanmış ahşap malzemenin boyutsal kararlılığı artarken, biyolojik dayanımı da gelişmektedir. Böylelikle dış ortam şartlarına daha dayanıklı hale gelirken, hizmet ömrü de uzamaktadır. Ayrıca ağaç malzemenin doğal yollarla korunmasına yönelik uygulamaların sayısı giderek artmaktadır [83]. Isıtılma işleminin en önemli dezavantajlarından birisi, ahşap malzemenin mekanik özelliklerini önemli derecede düşürmesidir. Bu durum onun yük taşıyıcı



Şekil 6. Eğilme direnci testinde bazı kırılma şekilleri (a: GLVL; b: CLVL; c: Güçlendirme yapılmamış) (Some failure modes in bending strength test (a: GLVL; b: CLVL; c: Not reinforced))



Şekil 7. Yapışma direnci testinde bazı kırılma şekilleri (a: GLVL; b: CLVL; c: Güçlendirme yapılmamış) (Some failure modes in bonding strength test (a: GLVL; b: CLVL; c: Not reinforced))

sistemlerde kullanımını sınırlamaktadır. Son yıllarda ısıtma işleminin bu dezavantajını hafifletmek için farklı stratejiler geliştirilmektedir. Karbon ve cam elyaf, düşük mekanik özelliklere sahip ahşap malzemelerin güçlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Bu çalışmanın sonunda, ısıtma işlemi uygulanmış ve güçlendirme yapılmış örneklerin eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü artmıştır. Öte yandan yapışma direncinde belirgin azalmalar görülürken, liflere paralel basınç direncinde güçlendirici malzeme türüne göre farklılıklar ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlara göre, ısıtma işlemi uygulanmış ahşap malzemelerin eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin artırılmasında karbon elyaf kumaşlar tercih edilebilir. Son yıllarda depremden veya çeşitli nedenlerden dolayı eğitim binaları da dahil olmak üzere birçok yapı hasar görmüş ve bu mevcut yapıların güçlendirilmesine yönelik çalışmalar çeşitli uygulamalarla devam etmektedir. Depremden veya çeşitli nedenlerden dolayı hasar gören birçok eğitim yapısının hizmet ömrünün devamlılığının sağlanabilmesi için taşıyıcı sistemlerinin güçlendirilmesi gerekmektedir [84]. Bu tür uygulamalarda cam ve karbon elyaf takviyeli polimerlerin güçlendirici etkisi araştırılabilir.

4. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada, 150, 175 ve 200°C'de ısıtma işlemi uygulanmış Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) panel malzemeler, fenol formaldehit (FF) tutkalı kullanılarak karbon ve cam elyaf ile güçlendirilmiştir. Elde edilen deney örnekleri üzerinde, hava kurusu yoğunluk, eğilme direnci (MOR), eğilmede elastikiyet modülü (MOE), liflere paralel basınç direnci (CS//) ve yapışma direnci (SS) değerlerinde meydana gelen değişimler belirlenmiştir. Sonuç olarak;

- Hava kurusu yoğunluk değeri, MOR, MOE, CS// ve SS değerleri ısıtma işlemi sıcaklığının artması ile azalmıştır.
- Güçlendirici malzemenin türüne ve ısıtma işlemi sıcaklığına bağlı olarak deney gruplarında farklı kırılma şekilleri oluşmuştur.
- Genel olarak, güçlendirici malzemeler liflere paralel basınç direnci (CS//) ve yapışma direnci (SS) üzerinde olumsuz etkiye neden olurken, eğilme direnci (MOR) ve eğilmede elastikiyet modülü (MOE) değerlerini artırmıştır.
- Karbon fiber MOR ve MOE değerlerinde, cam fiber ise CS// ve SS değerlerinde daha etkili sonuçlar vermiştir.
- Her bir deney grubunda, güçlendirilmiş deney örneklerinin MOR ve MOE değerleri, güçlendirme yapılmamış olanlardan daha yüksek çıkmıştır.
- Liflere paralel basınç direnci değerleri, ısıtma işlemi sıcaklığına ve güçlendirici malzeme türüne göre değişiklik göstermiştir. Diğer taraftan, güçlendirilmiş tüm deney gruplarının yapışma direnci, güçlendirme yapılmamış örneklerden daha düşük gerçekleşmiştir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma, Ercan Çiğdem'in "Karbon ve cam elyaf ile güçlendirilmiş ısıtma işlemli kayın odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi" başlıklı yüksek lisans tezi esas alınarak hazırlanmıştır.

Kaynaklar (References)

1. Bultman, J.D., Southwell C.R., Natural resistance of tropical American woods to terrestrial wood-destroying organisms, *Biotropica*, 8 (2), 71-95, 1976.
2. Ramage M.H., Burrige H., Busse-Wicher M., Fereday G., Reynolds T., Shah D.U., Wu G., Yu L., Fleming P., Densley-Tingley D., Allwood J., Dupree P., Linden P.F., Scherman, O., The wood from the trees: The use of timber in construction, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68 (1), 333-359, 2017.
3. Hill C.A.S., *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*; John Wiley & Sons: Chichester, 2006.

4. Korkut D.S., Hiziroglu S., Experimental test of heat treatment effect on physical properties of red oak (*Quercus falcata* Michx.) and southern pine (*Pinus taeda* L.), *Materials*, 7, 7314-7323, 2014.
5. Kurtoğlu A., Ağaç Malzeme Yüzey İşlemleri, Genel Bilgiler, 1. Cilt, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 463, İstanbul, 2000.
6. Kurtoğlu A., Sofuoğlu S.D., Mobilya ve ağaç işleminde kullanılan ahşap malzemeler 1: Ağaç malzemelerin seçimi, işlenmesi, mobilya ve yapı elemanlarının üretiminde kullanılmaları, mobilya üretiminde kullanılan ağaç kökenli malzemeler, *Mobilya Dekorasyon*, 22 (118), 62-78, 2013.
7. As N., Goker Y., Turker D., Effect of knots on the physical and mechanical properties of scots pine (*Pinus Sylvestris* L.), *Wood Research*, 51 (3), 51-58, 2006.
8. Koman S., Feher S., Abraham J., Taschner R., Effect of knots on the bending strength and the modulus of elasticity of wood, *Wood Research*, 58 (4), 617-626, 2013.
9. Uluata A.R., Ağaç malzemenin mekanik özelliklerine etki eden faktörler, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18 (1-4), 113-124, 1987.
10. Sandberg D., Kutnar A., Mantanis G., Wood modification technologies - A review, *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 10 (6), 895-908, 2017.
11. Rowell R.M. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, 2nd edition, CRC Press: Boca Raton, 2012.
12. Dong Y., Wang K., Li J., Zhang S., Shi S.Q., Environmentally benign wood modifications: A review, *ACS Sustainable Chem. Eng.* 8, 3532-3540, 2020.
13. Dagbro O., Studies on industrial-scale thermal modification of wood. Doctoral Thesis, Luleå University of Technology, Skellefteå, Sweden. 2016.
14. Xing D., Li J., Wang S., Comparison of the chemical and micromechanical properties of *Larix spp.* after eco-friendly heat treatments measured by in situ nanoindentation. *Scientific Reports*, 10, 4358, 2020.
15. Candelier K., Thevenon M.F., Petrissans A., Dumarcay S., Gerardin P., Petrissans M., Control of wood thermal treatment and its effects on decay resistance: A review, *Annals of Forest Science*, 73, 571-583, 2016.
16. Jirouš-Rajković V., Miklečić, J., Heat-treated wood as a substrate for coatings, weathering of heat-treated wood, and coating performance on heat-treated wood. Hindawi, *Advances in Materials Science and Engineering*, Article ID: 8621486, 1-9, 2019.
17. Korkut S., Kocaepe D., Effect of heat treatment on wood properties, *Düzce University Faculty of Forestry Journal of Forestry*, 5 (2), 11-34, 2009.
18. Esteves B.M., Pereira H.M., Wood modification by heat treatment: A review, *BioResources*, 4 (1), 370-404, 2009.
19. Chu D., Mu J., Avramidis S., Rahimi S., Lai Z., Ayanleye S., Effect of heat treatment on bonding performance of poplar via an insight into dynamic wettability and surface strength transition from outer to inner layers, *Holzforchung*, 74 (8), 777-787, 2020.
20. Lahtela V., Kärki T., Effects of impregnation and heat treatment on the physical and mechanical properties of Scots pine (*Pinus sylvestris*) wood, *Wood Material Science and Engineering*, 11 (4), 217-227, 2016.
21. Bal B.C., Some physical and mechanical properties of thermally modified juvenile and mature black pine wood, *European Journal of Wood and Wood Products*, 72, 61-66, 2014.
22. Taghiyari H.R., Bayani S., Militz H., Papadopoulos A.N., Heat treatment of pine wood: Possible effect of impregnation with silver nanosuspension, *Forests*, 11, 1-18, 2020.
23. Yang T.H., Chang F.R., Lin C.J., Chang F.C., Effects of temperature and duration of heat treatment on the physical, surface, and mechanical properties of Japanese cedar wood, *BioResources*, 11 (2), 3947-3963, 2016.
24. Boonstra M.J., Van Acker J., Tjeerdsma B.F., Kegel E.V., Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents. *Annals of Forest Science*, 64, 679-690, 2007.
25. Sivrikaya H., Hosseinpourpia R., Ahmed S.A., Adamopoulos S., Vacuum-heat treatment of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood pretreated with propanetriol. *Wood Material Science & Engineering*, 1-9, 2020.
26. Roszyk E., Stachowska E., Majka J., Mania P., Broda, M., Moisture-dependent strength properties of thermally-modified *fraxinus excelsior* wood in compression, *Materials*, 13 (7), 1-12, 2020.

27. Yildirim N., Karaman A., Zor M., Bending characteristics of laminated wood composites made of poplar wood and GFRP, *Drvna Industrija*, 72 (1), 3-11, 2021.
28. Bal B.C., Efe F.T., The effect of reinforcement with glass fiber fabric on some screw strength of laminated veneer lumber, *Düzce University Faculty of Forestry Journal of Forestry*, 11 (2), 40-47, 2015.
29. Güller B., Odun kompozitleri, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Seri A*, 2, 135-160, 2001.
30. Burdurlu E., Kilic M., Ilce A.C., Uzunkavak O., The effects of ply organization and loading direction on bending strength and modulus of elasticity in laminated veneer lumber (LVL) obtained from beech (*Fagus orientalis* L.) and lombardy poplar (*Populus nigra* L.), *Construction and Building Materials*, 21, 1720-1725, 2007.
31. El Haouzali H., Marchal R., Bléron L., Kifani-Sahban F., Butaud J.C., Mechanical properties of laminated veneer lumber produced from ten cultivars of poplar, *European Journal of Wood and Wood Products*, 78, 715-722, 2020.
32. Altınok M., Lamine ahşapta katman teşekkülünün mekanik performansına etkilerinin belirlenmesi, *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 16 (1), 217-224, 2003.
33. Bal B.C., Bektaş İ., The effects of wood species, load direction, and adhesives on bending properties of laminated veneer lumber, *BioResources*, 7 (3), 3104-3112, 2012.
34. Wei P., Wang B.J., Zhou D., Dai C., Wang Q., Huang S., Mechanical properties of poplar laminated veneer lumber modified by carbon fiber reinforced polymer, *BioResources*, 8 (4), 4883-4898, 2013.
35. Johnsson H., Blanksvård T., Carolin A., Glulam members strengthened by carbon fibre reinforcement, *Materials and Structures*, 40, 47-56, 2007.
36. Akgül T., Apay A., Sarıbyık M., Ahşap yapıların birleşim bölgelerinde karbon elyaf takviyeli polimer levhaların kullanımının araştırılması, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye, 13-15 Mayıs, 2009.
37. Zhang P., Shen S., Ma C., Strengthening mechanical properties of glulam with basalt fiber, *Advances in Natural Science*, 4 (2), 130-133, 2011.
38. Gilfillan J.R., Gilbert S.G., Patrick G.R.H., The use of FRP composites in enhancing the structural behaviour of timber beams, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 22 (15), 1373-1388, 2003.
39. Bulleit W.M. Reinforcement of wood materials: A review, *Wood and Fibre Science*, 16 (3), 391-397, 1983.
40. Buel T.W., Hamid Saadatmanesh P.E., Strengthening timber bridge beams using carbon fiber, *Journal of Structural Engineering*, 131 (1), 173-187, 2005.
41. Johns K.C., Lacroix S., Composite reinforcement of timber in bending, *Canadian Journal of Civil Engineering* 27 (5), 899-906, 2000.
42. Pirvu A., Gardner D.J., Lopez-Anido R., Carbon fiber-vinyl ester composite reinforcement of wood using the VARTM/SCRIMP fabrication process, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35 (11), 1257-1265, 2004.
43. Chen F., Deng J., Li X., Wang G., Smith L.M., Shi S.O., Effect of laminated structure design on the mechanical properties of bamboo-wood hybrid laminated veneer lumber. *European Journal of Wood and Wood Products*, 75, 439-448, 2016.
44. Yu Y.L., Huang X., Yu W., A novel process to improve yield and mechanical performance of bamboo fiber reinforced composite via mechanical treatments, *Composites Part B: Engineering*, 56 (1), 48-53, 2014.
45. Ogawa H., Architectural application of carbon fibres: Development of new carbon fibre reinforced glulam. *Carbon*, 38 (2), 211-226, 2000.
46. Shukla S.R., Kamdem D.P., Properties of laminated veneer lumber (LVL) made with low density hardwood species: effect of the pressure duration, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 66, 119-127, 2008.
47. Ozarska B., A review of the utilisation of hardwoods for LVL, *Wood Science and Technology*, 33, 341-351, 1999.
48. Aydın İ., Çolak S., Çolakoğlu G., Salih E., A comparative study on some physical and mechanical properties of Laminated Veneer Lumber (LVL) produced from Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) and Eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) veneers, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 62, 218-220, 2004.
49. Wang J, Guo X, Zhong W, Wang H, Cao O., Evaluation of mechanical properties of reinforced poplar laminated veneer lumber, *BioResources*, 10 (4), 7455-7465, 2015.
50. Wong E.D., Razali A.K., Kawai, S., Properties of rubberwood LVL reinforced with acacia veneers. *Wood research: bulletin of the Wood Research Institute, Kyoto University, Kyoto, Japan*, 83, 8-16, 1996.
51. Bal B.C., Flexural properties, bonding performance and splitting strength of LVL reinforced with woven glass fiber, *Construction and Building Materials*, 51 (31), 9-14, 2014.
52. Meekum U. Experimental design on multi layers of LVL fiber reinforced wood composite using bagasse as core structure, *The 5th International Conference on GFRP Composites in Civil Engineering*, Beijing, China, 135-138, 2010.
53. Hu Y., Li J., Cheng F., Zhang X., Design and property analysis of the metal mesh reinforced LVL, *Advanced Materials Research*, 113 (116), 2145-2149, 2010.
54. Basterra L.A., Acuña L., Casado M., López G., Bueno A., Strength testing of Poplar duo beams, *Populus x euramericana* (Done) Guinier cv. I-214, with fibre reinforcement, *Construction and Building Materials*, 36, 90-96, 2012.
55. Borri A., Corradi M., Grazini A., A method for flexural reinforcement of old wood beams with CFRP materials, *Composites Part B: Engineering*, 36 (2), 143-153, 2005.
56. TS 2472, Odunda, fiziksel ve mekaniksel deneyler için birim hacim ağırlığı tayini, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye, 1976.
57. TS 2474, Odunun statik eğilme dayanımının tayini, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye, 1976.
58. TS 2478, Odunun statik eğilmede elastikiyet modülünün tayini, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye, 1976.
59. TS 2595, Odunun liflere paralel doğrultuda basınç dayanımı tayini, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye, 1977.
60. TS EN 205, Yapıştırıcılar-Yapısal olmayan uygulamalar için ahşap yapıştırıcılar-Bindirmeyle yapıştırılmış eklerin çekmeyle kayma mukavemetinin tayini, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye, 2017.
61. Auriga R., Gumowska A., Szymanowski K., Wronka A., Robles E., Ocipka P., Kowaluk G., Performance properties of plywood composites reinforced with carbon fibers, *Composite Structures*, 248, 112533, 2020.
62. Bal B.C., Özyurt H., Some technological properties of laminated veneer lumber reinforced with woven glass fiber, *KSU Journal of Engineering Sciences*, 18 (1), 9-16, 2015.
63. Kocacafe D., Poncsak S., Boluk Y., Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of birch and aspen, *BioResources*, 3 (2), 517-537, 2008.
64. Kotilainen R.A., Toivanen T.J., Alen R.J., FTIR monitoring of chemical changes in softwood during heating, *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 20 (3), 307-320, 2000.
65. Esteves B.M., Domingos I.J., Pereira H.M., Pine wood modification by heat treatment in air, *BioResources*, 3 (1), 142-154, 2008.
66. Li Y.F., Xie Y.M., Tsai M.J., Enhancement of the flexural performance of retrofitted wood beams using CFRP composite sheets. *Construction and Building Materials*, 23 (1), 411-422, 2009.
67. Bakalarz M.M., Kossakowski P. G., Tworzewski P., Strengthening of bent LVL beams with near-surface mounted (NSM) FRP reinforcement, *Materials*, 13, 2350, 2020.
68. Šedivka P., Bomba J., Böhm M., Zeidler A., Determination of strength characteristics of construction timber strengthened with carbon and glass fibre composite using a destructive method, *BioResources*, 10 (3), 4674-4685, 2015.
69. Kubojima Y., Okano T., Ohta M., Bending strength and toughness of heat-treated wood, *Journal of Wood Science*, 46, 8-15, 2000.
70. Huang X., Fabrication and properties of carbon fibers, *Materials*, 2, 2369-2403, 2009.
71. Togay A., Ergin E., Determination of some physical attributes for wooden construction elements strengthened with woven wire fiberglass, *BioResources*, 9 (3), 3883-3900, 2014.
72. Muratoğlu A., Uysal B., Kurt Ş., Reinforcement of Wood building components with carbon fiber reinforced polymers (CFRP) in restoration, *Seleuk-Technic Journal, Special Issue 2*, 1219-1240, 2016.
73. Sahin Kol H., Özbay G., Altun S., Shear strength of heat-treated tali (*Erythrophloeum ivorense*) and iroko (*Chlorophora excelsa*) woods, bonded with various adhesives, *BioResources*, 4 (4), 1545-1554, 2009.
74. Sernek M., Boonstra M., Pizzi A., Despres A., Gerardin, P., Bonding performance of heat treated wood with structural adhesives, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 66 (3), 173-180, 2008.

75. Bastani A., Adamopoulos S., Militz H., Shear strength of furfurylated, N-methylol melamine and thermally modified wood bonded with three conventional adhesives, *Wood Material Science & Engineering* 12 (4), 236-241, 2016.
76. Goli G., Cremonini C., Negro F., Zanuttini R., Fioravanti M., Physicalmechanical properties and bonding quality of heat treated poplar (I-214) and ceiba plywood. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 8, 687-692, 2014.
77. Esen R., Özcan C., The effects of heat treatment on shear strength of oak (*Quercus petraea* L.) wood. *SDU Faculty of Forestry Journal*, 13, 150-154, 2012.
78. Budhe S., Ghumatkar A., Birajdar N., Banea M.D. Effect of surface roughness using different adherend materials on the adhesive bond strength, *Applied Adhesion Science*, 3 (20), 1-10, 2015.
79. Cui X., Matsumura J., Wood surface changes of heat-treated *cunninghamia lanceolata* following natural weathering, *Forests*, 10, 791, 2019.
80. Karaman, A., Yildirim, M.N. Cam elyaf kumaş ile desteklenmiş ahşap lamine malzemelerde eğilmeye elastikiyet modülü, IV. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi – Mühendislik, Ankara-Türkiye, 07-10 Kasım, 2019.
81. Rescalvo F.J., Duriot R., Pot G., Gallego A., Denaud, L., Enhancement of bending properties of Douglas-fir and poplar laminate veneer lumber (LVL) beams with carbon and basalt fibers reinforcement, *Construction and Building Materials*, 263, 120185, 2020.
82. Karastergiou S., Foti D., Filippou, V., Papadopoulos A., Enhancement of bending strength properties of two wood species reinforced with two types of carbon fibre fabrics and two layouts, *International Wood Products Journal*, 11 (2), 64-69, 2020.
83. Atılğan A., Peker H., Atar M., Application of environmentally friendly organic upper surface process material on wood and its effect on some surface properties, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 37 (1), 107-120, 2022.
84. Atmaca A.B., Çağlar, F.Z., Ünver, R., Gedik, G.Z., A method for determining and improving the visual comfort change in strengthened buildings: educational building-the example of classroom, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 37 (4), 1915-1930, 2022.