



### Isıl işlem uygulanmış karbon fiber ile güçlendirilmiş lamine kaplama kerestenin (LVL) hava kurusu yoğunluk ve liflere paralel basınç direncinin belirlenmesi

Osman Perçin\*

#### Öz

Isıl işlem, kimyasal madde kullanılmadan ağaç malzemenin bazı özelliklerinin iyileştirilmesi için geliştirilen çevre dostu bir odun modifikasyon yöntemidir ve son yıllarda Avrupa ve Dünya’da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Isıl işlem, ahşap malzemede denge rutubet miktarını azaltmakta, boyutsal stabilizasyonu ve biyolojik direnci önemli derecede de artırmaktadır. Bu çalışma, ısıl işlem uygulanmış ahşap malzemelerden farklı tutkallarla yapıştırılarak ve karbon fiber kumaş ile güçlendirilerek üretilen lamine kaplama kerestelerin (LVL) hava kurusu yoğunluk ve liflere paralel basınç direnci değerlerindeki değişimlerin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Bu maksatla karaçam (*Pinus nigra*) ahşap malzemeler, 150, 175 ve 200 °C’de 2 saat ısıl işlem uygulandıktan sonra uygun boyutlarda kesilmiş, poliüretan (PU) ve polivinil asetat (PVAc) tutkalları kullanılarak lamine edilmiştir. Lamine kompozit malzemenin özelliklerini iyileştirmek için ahşap kaplamalar arasına takviye tabakası olarak karbon fiberler eklenmiştir. Test sonuçları ısıl işlemin, hava kurusu yoğunluk değerleri ve liflere paralel basınç direncini azalttığını göstermiştir. Öte yandan güçlendirme işlemi hava kurusu yoğunluk ve liflere paralel basınç direncinin ikisini de artırmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Ahşap malzeme, Isıl işlem, Karbon fiber, Mobilya

### Determination of air-dried density and compression strength parallel to the grains of heat-treated laminated veneer lumber (LVL) reinforced with carbon fiber

#### Abstract

Heat treatment is an environmentally friendly wood modification method which developed to improve some properties of wood without the using any chemicals and has been commonly used in Europe and the world in recent years. Heat treatment reduces the amount of equilibrium moisture content in the wood material, and significantly increases the dimensional stability and biological resistance. This study was carried out to determine the changes in the air-dry density and compression strength parallel to the grains of laminated veneer lumber (LVL) produced by bonding with different adhesives from heat-treated wood materials and by reinforcing with carbon fiber fabric. For this purpose, black pine (*Pinus nigra*) wood materials were cut into suitable sizes after heat treatment at 150, 175 and 200 °C for 2 hours and laminated using polyurethane (PU) and polyvinyl acetate (PVAc) adhesives. Carbon fibers were added as a reinforcement layer between wood veneers to improve properties of laminated composite material. The test results showed that the heat treatment decreased air-dry density values and compressive strength parallel to the grains. On the other hand reinforcement process increased both air-dry density and compressive strength parallel to the grains.

**Key words:** Carbon fiber, Furniture, Heat treatment, Wooden material

Makale tarihçesi: Geliş: 21.03.2023, Kabul: 16.04.2023, Yayınlanma: 30.06.2023, \*e-posta: osmanpercinl@hotmail.com

\* Necmettin Erbakan Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Konya/Türkiye.

Atıf: Perçin O., (2023), Isıl işlem uygulanmış karbon fiber ile güçlendirilmiş lamine kaplama kerestenin (LVL) hava kurusu yoğunluk ve liflere paralel basınç direncinin belirlenmesi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 6 (1), 104-114, DOI:10.33725/mamad.1268729

## **1. Giriş**

Dünya nüfusunun artması, insanoğlunun ahşap malzemeye olan ihtiyacının da artmasına neden olmuştur. Ağaç malzemenin yoğunluğuna kıyasla mekanik direncinin yüksek olması, ucuz ve sürdürülebilir olması, kolay işlenmesi, bol bulunması gibi özellikler onu iyi bir yapı malzemesi olarak ortaya çıkarmaktadır. Buna karşın ağaç malzemenin, kolay yanabilmesi, havanın nemine göre boyutlarının ve hacminin değişebilmesi ayrıca biyotik ve abiyotik faktörlere karşı hassas olması sonucu degrade olabilmesi gibi olumsuz özellikleri vardır (Keskin ve Bülbül, 2019). Bunun yanında ağaç işleri endüstrisinde hızlı gelişmelerle beraber dünya orman kaynakları azalmaya devam etmektedir (Şenay, 1996). Bu durum orman kaynaklarının ve ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin daha verimli ve etkin kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir (Ulusoy ve ark., 2016).

Ağaç malzemenin sahip olduğu olumsuz özellikleri minimize etmek ve zayıf yönlerini geliştirmek için modifikasyon yöntemleri uygulanmaktadır (Sandberg ve ark., 2017). Geliştirilen bu odun modifikasyonlarının temel amacı ağaç malzemenin olumsuz özelliklerini bertaraf etmek ve var olan bazı özelliklerinde daha fazla geliştirilmesini sağlamaktır. Bu açıdan değerlendirildiğinde, laminasyon tekniği fiziksel ağaç modifikasyon yöntemlerinden birisidir (Korkmaz, 2012). Bu yöntemde ahşap malzemenin kusurları arındırılmakta ve nihai olarak elde edilen malzemenin bazı kalite özellikleri masif ahşap malzemeye göre daha iyi olmaktadır. Bu amaçla, ağaç malzemenin bu kusurlarının azaltılması ve bazı özelliklerinin iyileştirilmesi için ağaç işleri endüstrisinde ve yapı elemanlarında da çok tercih edilen yapısal kompozit keresteler LSL (Laminated Strand Lumber), LVL (Laminated Veneer Lumber), OSL (Oriented Strand Lumber), Glulam (Glued Laminated Timber), PSL (Parallel Strand Lumber) üretilmeye başlanmıştır (Güller, 2001; Bal ve Efe, 2015).

Ağaç malzemenin istenmeyen özelliklerini geliştirmek için kullanılan bir diğer önemli odun modifikasyon yöntemi ise ısı işlemidir. Isıl işlem, endüstriyel olarak son yıllarda yaygın olarak kullanılan ve hücre çeperinin polimer bileşiklerinin kimyasal kompozisyonunda kalıcı değişimlerle sonuçlanan fiziksel bir işlemdir (Korkut ve Kocaefe, 2009). Isıl işlem, kimyasal madde kullanılmadan ağaç malzemenin boyutsal stabilizasyonunu artıran ve biyolojik direnç sağlayarak ağaç zararlılarına karşı koruyan alternatif bir modifikasyon yöntemidir (Hill ve ark., 2021). Isıl işlem uygulanmış ağaç malzemenin en önemli olumsuzluklarından birisi mekanik direncinin zayıflamasıdır. Bu durum ısı işlem uygulanmış ahşap malzemelerin yük taşıyıcı yapı elemanları olarak kullanılmasını sınırlamaktadır. Mekanik özelliklerde gerçekleşen azalma kullanılan ahşap türüne, uygulanan ısı işlem yöntemine ve şartlarına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Efe ve Bal, 2016).

Ağaçları ve yapı endüstrisinde ahşap yapıların yük taşıma kapasitesi budak ve çatlak gibi faktörden olumsuz olarak etkilenmektedir (Zhu ve ark., 2013). Ayrıca düşük kaliteli, ucuz ve mekanik özellikleri az olan ağaç türlerinin yük taşıyıcı sistemlerde kullanımı sınırlı olabilmektedir. Ahşap esaslı kompozit malzemelerin yük taşıma sistemlerinde kullanılacaksa bunların yüksek mekanik özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bunun yanında ahşap yapı sektöründe bazı noktalar lokal güçlendirmeye ihtiyaç duyarlar. Düşük kalitedeki ahşap malzemeler ve daha zayıf mekanik dirençlere sahip olan odun türleri, sentetik liflerle güçlendirilebilmektedir (Bal ve Özyurt, 2015). Son yıllarda güçlendirici malzeme teknolojisinin gelişmesi ile LVL kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde de lif esaslı güçlendirici kumaşlar başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Wei ve ark., 2013).

Uzun yıllardır, yapısal kompozit kerestelerin özelliklerinin geliştirilmesi, ısı işlemi ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere etkilerine ayrıca güçlendirici fiber kumaşlar ile odun ve odun esaslı malzemelerin güçlendirilmesine yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Fakat ısı işlemi uygulanmış ahşap malzemenin sentetik liflerle güçlendirilmesi sonucu liflere paralel basınç dirençlerinde meydana gelen değişimlerin belirlenmesine yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu nedenle çalışmanın amacı, kullanım miktarı her geçen gün artan ısı işlemi uygulanmış ahşap malzemenin güçlendirilmesinde kullanılan karbon fiberin ve tutkal türlerinin hava kurusu yoğunluk ve liflere paralel basınç direncine etkisini belirlemektir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1 Materyal

#### 2.1.1 Ağaç malzeme

Ağaçları ve yapı endüstrisinde yaygın olarak kullanılması nedeniyle hava kurusu haldeki karaçam (*Pinus nigra*) ahşap malzemeler deney malzemesi olarak seçilmiştir. Taslak haldeki ahşap levhalar, mekanik ve yapışma performansını olumsuz etkileyecek budak, çatlak vb. kusurlar olmaması için dikkatle ve tesadüfi yöntemle seçilmiştir. Ardından 17 x 97 x 460 mm ölçülerinde kesilen deney ve kontrol grubu taslak levhalar, iklimlendirme kabini içinde  $20 \pm 2$  °C ve % 65  $\pm$ 5 bağıl nem şartlarında ağırlıkları sabit oluncaya kadar bekletilmiştir.

#### 2.1.2 Tutkal

Çalışmada yapıştırıcı olarak, Polisan firmasına ait suya ve neme karşı dayanıklı poliüreatan esaslı polimerin (marine & marine) (PU) ve polivinil asetat (PVAc) tutkalları kullanılmıştır. Üretici firma tarafından PU tutkalının teknik özellikleri; yoğunluğu (20 °C) 1.10 g/ml, viskozitesi (20 °C) 3500-5800 cPs, pH değeri yaklaşık 7 olarak (Polisan, 2019), PVAc tutkalı için viskozitesi (25 °C) 10000-14000 cPs, pH değeri 0.5-2, ağırlıkça katı madde miktarı % 45-47 olarak verilmiştir (Polisan, 2018).

#### 2.1.3 Karbon fiber kumaş

Çalışmada kullanılan karbon fiber kumaşlar Dost Kimya (İstanbul, Türkiye) firmasından temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan karbon fiber kumaşlar düz dokuma türüne ve 200 gr/m<sup>2</sup> ağırlığına sahiptir. Firma tarafından sağlanan verilere göre, çekme mukavemeti 3800 MPa, çekme modülü 240 GPa, ortalama yoğunluk 1,79 g/cm<sup>3</sup>, çekme gerilimi %1,6 ve elyafdaki gerçek karbon içeriği %95'tir (Dost Kimya, 2020).

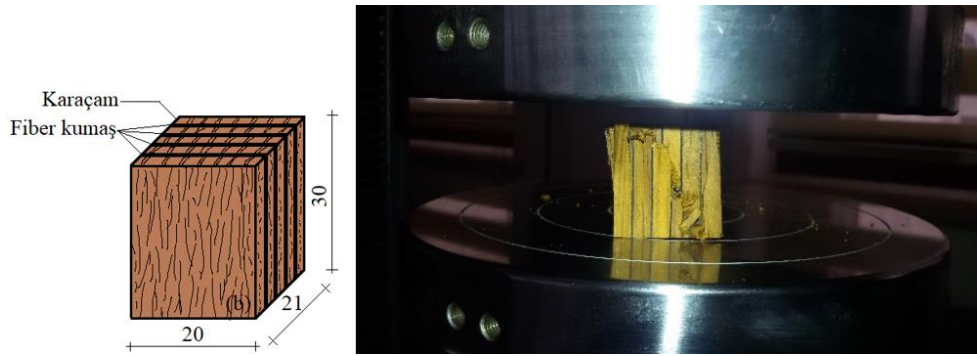
## 2.2 Metot

### 2.2.1 Isıl İşlem

İklimlendirme cihazında denge rutubetine gelen taslak levhalar 150, 175 ve 200 °C sıcaklıklarda ısı işleme maruz bırakılmıştır. Deney örneklerinin ısı işleme maruz bırakılmasında içinde hava sirkülasyonu olmayan,  $\pm 1$  °C hassasiyetinde, elle kontrol edilebilen laboratuvar tipi etüv fırınında ve normal atmosfer şartlarında gerçekleştirilmiştir. Kontrol grubuna ısı işlemi uygulanmamıştır. Isıl işlem sonrası taslak levhalar tekrar iklimlendirme kabini içinde  $20 \pm 2$  °C ve % 65  $\pm$ 5 bağıl nem ortamında ağırlıkları değişmez hale gelinceye kadar bekletilmiştir.

## 2.2.2 Deney örneklerinin hazırlanması

Isıl işlem uygulanan ve kontrol grubu taslak levhalar, hava kurusu yoğunluk ve liflere paralel basınç direnci değerlerinin belirlenmesi için laminasyon işleminden önce 4 x 90 x 420 mm ebatlarında net ölçüde kesilmiştir. Her bir deney grubunda liflere paralel basınç direnci için 5 adet taslak levhanın aralarına 4 adet karbon fiber kumaş serilerek presleme işlemine geçilmiştir. Presleme işleminde her bir ahşap levhanın yapıştırılan yüzüne 180 gr/m<sup>2</sup>, karbon lifinin yüzeyine de 250 g/m<sup>2</sup> hesabıyla tutkal tatbik edilmiştir. Tüm presleme işlemi laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Pres basıncı ve süresi sırasıyla her iki tutkal türü içinde 10 kg/cm<sup>2</sup> ve 180 dakika olarak ayarlanmıştır. Preslenen taslak levhaların tamamı, tutkalın tam sertliğe ulaşması için bir hafta bekletilmiştir. Ardından liflere paralel basınç direnci için TS 2595 (1977) esaslarına göre her bir deney grubundan 10 adet deney örneği hazırlanmış ve 20 ± 2 °C sıcaklık ve % 65 ±5 bağıl nemde denge rutubete gelmeleri için iklimlendirme kabini içinde bekletilmiştir. Her iki tutkal türü içinde karşılaştırma grubunda ahşap malzemelere ısıl işlem uygulanmamış ve lameller arasına karbon fiber kumaş eklenmemiştir. Şekil 1’de deney örneği ve deneyin yapılışı verilmiştir.



Şekil 1. Liflere paralel basınç direnci deney örneği ve deney düzeneği (mm)

Deney örneklerinin hava kurusu yoğunluk değerleri TS 2472 (1976) esaslarına göre belirlenmiştir.

## 2.2.3 Deneylerin yapılışı

Denge rutubetine gelen deney örneklerinin liflere paralel basınç deneyleri TS 2595 (1977) esaslarına göre yapılmıştır. Deneylerde yükleme hızı 4 mm/dk olacak şekilde uygulanmıştır. Deneyler esnasında maksimum kuvvet (Fmax) Newton cincinden kaydedilerek her bir deney örneğinin liflere paralel basınç direnci ( $\sigma_B$ ) aşağıdaki eşitlik (1) ile hesaplanmıştır.

$$\sigma_B = \frac{F_{max}}{A} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (1)$$

Burada; A: örnek enine kesit alanıdır (mm<sup>2</sup>).

Hava kurusu yoğunluk değerlerinin belirlenmesi için iklimlendirme cihazında değişmez ağırlığa kadar bekletilen örneklerin ağırlıkları 0.01 gr hassasiyetindeki analitik terazide tartılmış ve boyutları ± 0.01 mm hassasiyetindeki dijital kumpasla belirlenerek kaydedilmiştir. Hava kurusu yoğunluk değerleri ( $\delta$ ) aşağıdaki eşitlik (2) ile hesaplanmıştır.

$$\delta = \frac{M}{V} \quad (\text{g/cm}^3) \quad (2)$$

Burada; M: Numunelerin ağırlığı (g), V: Numunelerin hacmidir (cm<sup>3</sup>).

### 2.2.4 İstatistiksel Analiz

Çalışmada istatistiksel değerlendirmelerde MSTAT-C (Version 1.42, Michigan State University, East Lansing, MI) istatistik paket programı kullanılmıştır. Faktörlerin etkinliğini belirlemek için Varyans analizleri (ANOVA) uygulanmış, farkın önemli çıkması halinde, Duncan testi uygulanmış ve elde edilen ortalama değerlerin arasındaki farklar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Faktörler arasında anlamlı fark olması durumunda en küçük anlamlı fark (LSD) testi uygulanmış ve homojenlik grupları belirlenmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Hava kurusu yoğunluk değerlerine ilişkin istatistiksel veriler Çizelge 1’de verilmiştir. Güçlendirme işlemi, tutkal türü ve ısı işlem sıcaklığı ile bu faktörlerin etkileşiminin hava kurusu yoğunluk ve liflere paralel basınç direnci ( $\sigma_B$ ) değerlerine etkilerine ilişkin olarak yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Hava kurusu yoğunluk değerleri

Tutkal türü	Laminasyon türü	Isıl işlem	X (g/cm <sup>3</sup> )	HG	Min. (g/cm <sup>3</sup> )	Mak. (g/cm <sup>3</sup> )	SS
PU	LVL	Isıl işlemsiz	0.539	H	0.531	0.553	0.0053
		Isıl işlemsiz	0.609	A	0.596	0.633	0.0105
	RLVL	150°C	0.589	B	0.581	0.601	0.0055
		175°C	0.565	E	0.559	0.589	0.0031
		200°C	0.544	G	0.519	0.556	0.0061
PVAc	LVL	Isıl işlemsiz	0.528	I	0.513	0.547	0.0066
		Isıl işlemsiz	0.583	C	0.572	0.601	0.0130
	RLVL	150°C	0.574	D	0.556	0.592	0.0109
		175°C	0.548	F	0.535	0.568	0.0088
		200°C	0.526	J	0.511	0.547	0.0081

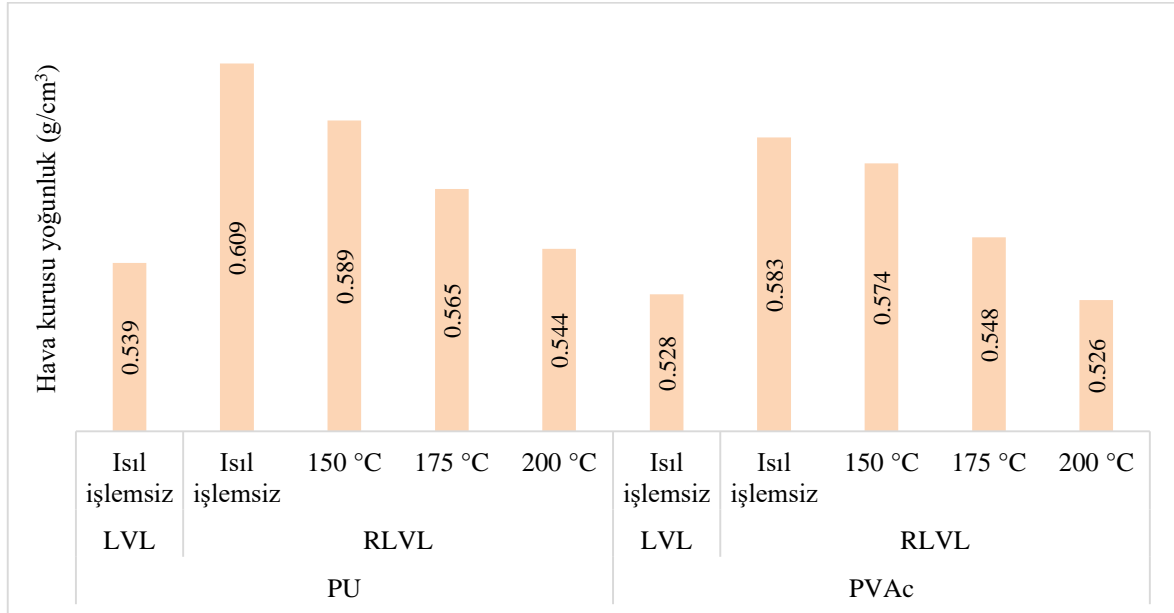
X: Ortalama değer; HG: Homojenlik grubu; Min: Minimum değer; Mak. Maksimum değer; SS: Standart sapma; LSD: 0.0008832; LVL: Lamine kaplama kereste; RLVL: Güçlendirilmiş lamine kaplama kereste

Çizelge 2’ye göre hava kurusu yoğunluk değerleri üzerine tutkal türü, güçlendirme işlemi ve ısı işlemin etkileri istatistiksel açıdan önemli, bu faktörlerin üçlü etkileşimi, ayrıca tutkal türü ve ısı işlem sıcaklığı ikili etkileşimi ise önemsiz bulunmuştur ( $P \leq 0.05$ ). Deney gruplarına ait, ortalama hava kurusu yoğunluk değerleri Şekil 2’de verilmiştir. Buna göre, her iki tutkal türü ile yapıştırılan, ısı işlem uygulanmış ve güçlendirme yapılmış örneklerin yoğunluk değerleri, kendi gruplarında ısı işlem uygulanmamış ve güçlendirme yapılmamış örneklerden daha yüksek çıkarken, PVAc tutkalında, sadece 200 °C’de ısı işlem uygulanıp güçlendirilen örnekler bir miktar düşük çıkmıştır. En düşük yoğunluk değeri, PVAc tutkalı ile yapıştırılan, 200 °C’de ısı işlem uygulanıp güçlendirilen örneklerde (0.526 g/cm<sup>3</sup>) tespit edilmiştir. En yüksek yoğunluk değeri ise, PU tutkalı ile yapıştırılan, ısı işlem uygulanmamış ve güçlendirme yapılmış örneklerde (0.609 g/cm<sup>3</sup>) belirlenmiştir. Her iki tutkal grubunda da sıcaklığın artmasına bağlı olarak, hava kurusu yoğunluk değerleri düşüş trendine girmiş ve en düşük değerler 200 °C’de tespit edilmiştir. Her iki tutkal türünde de, RLVL’lerin yoğunluk değerlerinin LVL’den yüksek çıkması, ahşap kaplamalar arasına serilen karbon fiber kumaşlardan ve bu örnek gruplarında fazla miktarda kullanılan yapıştırıcıdan kaynaklanmış olabilir. Benzer yorumlar Bal (2014) tarafından da rapor edilmiştir.

**Çizelge 2.** Tutkal türü, güçlendirici karbon fiber ve ısıl işlem sıcaklığının hava kurusu yoğunluk ile liflere paralel basınç direnci etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

Özellik	Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P≤0.05 SIG.
Hava kurusu yoğunluk ( $\delta$ )	Faktör (A)	1	0.009	0.009	155.9190	0.0000
	Faktör (B)	1	0.046	0.046	789.3400	0.0000
	AxB	1	0.001	0.001	11.0876	0.0011
	Faktör (C)	3	0.022	0.007	126.1934	0.0000
	AxC	3	0.000	0.000	1.0106	0.3900
	BxC	3	0.022	0.007	126.1934	0.0000
	AxBxC	3	0.000	0.000	1.0106	0.3900
	Hata	84	0.008	0.000		
	Toplam	99	0.108			
Liflere paralel basınç direnci ( $\sigma_B$ )	Faktör (A)	1	362.404	362.404	353.5041	0.0000
	Faktör (B)	1	1306.449	1306.449	1274.3652	0.0000
	AxB	1	17.956	17.956	17.5150	0.0000
	Faktör (C)	3	600.881	200.294	195.3747	0.0000
	AxC	3	35.455	11.818	11.5283	0.0000
	BxC	3	600.881	200.294	195.3747	0.0000
	AxBxC	3	35.455	11.818	11.5283	0.0000
	Hata	84	147.625	1.757		
	Toplam	99	3107.107			

Faktör A: Tutkal türü; Faktör B: Güçlendirici karbon elyaf; Faktör C: Isıl işlem sıcaklığı



**Şekil 2.** Hava kurusu yoğunluk değerleri

Liflere paralel basınç direnci değerine ait istatistiksel sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir. Çizelge 2'de verilen varyans analizine göre basınç dirençleri değerlerinde tutkal türü, güçlendirme işlemi ve ısı işlemi etkileri ve bunların karşılıklı etkileşimleri istatistiksel açıdan önemlidir ( $P \leq 0.05$ ).

**Çizelge 3.** Liflere paralel basınç direnci değerleri

Tutkal türü	Laminasyon türü	Isıl işlem	X (N/mm <sup>2</sup> )	HG	Min. (N/mm <sup>2</sup> )	Mak. (N/mm <sup>2</sup> )	SS
PU	LVL	Isıl işlemsiz	55.82	G	54.32	57.48	1.0896
		Isıl işlemsiz	66.41	A	64.11	68.08	1.1531
	RLVL	150°C	64.55	B	63.02	66.69	1.3073
		175°C	61.01	D	59.27	62.34	1.2356
		200°C	56.55	F	55.19	58.24	0.9718
PVAc	LVL	Isıl işlemsiz	53.48	H	52.73	54.98	0.6317
		Isıl işlemsiz	63.17	C	61.89	64.25	0.8413
	RLVL	150°C	59.18	E	57.01	61.89	0.9658
		175°C	60.23	D	58.88	62.21	0.7826
		200°C	51.52	I	49.17	52.89	1.1106

X: Ortalama değer; HG: Homojenlik grubu; Min: Minimum değer; Mak. Maksimum değer; SS: Standart sapma; LSD: 0.8942

Deney gruplarına ait, ortalama liflere paralel basınç direnci değerleri Şekil 3 ve Çizelge 3'te, ayrıca basınç direnci değerleri üzerinde etkili olan faktörlerin (tutkal türü, laminasyon türü ve ısı işlem sıcaklığı) Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir. Bunlara göre, en yüksek basınç direnci, PU tutkalı ile yapıştırılan, ısı işlem uygulanmamış ve güçlendirme yapılmış örneklerde (66.41 N/mm<sup>2</sup>) belirlenmiştir. Öte yandan, en düşük basınç direnci ise, PVAc tutkalı ile yapıştırılan, 200 °C'de ısı işlem uygulanıp güçlendirilen örneklerde (51.52 N/mm<sup>2</sup>) tespit edilmiştir. Her iki tutkal türünde de, sıcaklığın artması ile basınç direnci değerleri azalma eğilimine girmiştir.

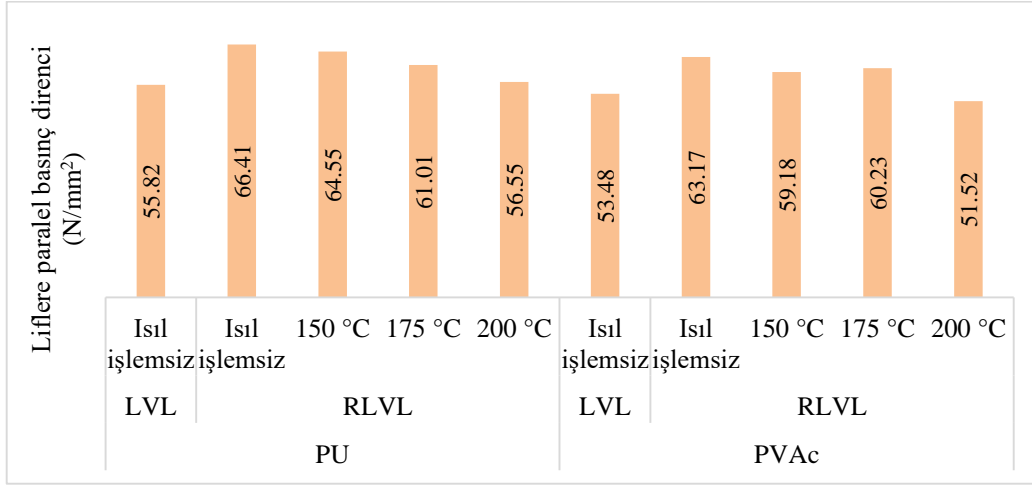
**Çizelge 4.** Tutkal türü, Laminasyon türü ve ısı işlem sıcaklığı basınç direnci değerleri Duncan testi karşılaştırma sonuçları

Tutkal Türü*	X (N/mm <sup>2</sup> )	HG
PU	59.01	A
PVAc	56.00	B
Laminasyon Türü**		
LVL	54.65	B
RLVL	60.37	A
Isıl İşlem Sıcaklığı***		
Isıl işlemsiz	59.72	A
150°C	58.26	B
175°C	57.23	C
200°C	54.42	D

LSD: \*0.3162; \*\*0.3162; \*\*\*0.4471; X Ortalama değer; HG: Homojenlik grubu

Şekil 3 incelendiğinde, PU tutkalı ile yapıştırılan ısı işlem uygulanmış RLVL örneklerde liflere paralel basınç direnci değerleri LVL'den yüksek belirlenirken, PVAc

tutkalında da benzer durum yaşanmış ancak 200 °C’de ısıtma işlemi uygulanıp güçlendirilen örneklerin basınç direnci değeri LVL’den bir miktar düşük çıkmıştır.



Şekil 3. Liflere paralel basınç direnci değerleri

Çizelge 2’deki liflere paralel basınç direncine ait istatistiksel veriler incelendiğinde, tutkal türü, güçlendirici karbon fiber kumaş ve ısıtma işlem sıcaklığının etkileri istatistiksel açıdan önemlidir ( $P \leq 0.05$ ). PU ve PVAc tutkalları birbirine yakın sonuçlar verse de bu farklılık istatistiksel açıdan önemlidir. Tutkallar arasındaki bu farklılığın karakteristik özelliklerinin farklılığından ve ayrıca PU tutkalının karbon kumaş ve ahşap malzeme ile daha kuvvetli çapraz ve kimyasal bağlar kurmasından kaynaklanmış olabilir. Literatürde benzer durum Uzel ve ark. (2018) tarafından rapor edilmiştir. Liflere paralel basınç deneyleri esnasında PVAc tutkalı ile yapıştırılan örneklerde, yüksek basınç altında de-laminasyon miktarı PU tutkalı ile yapıştırılan örneklerden bir miktar daha fazla gözlenmiştir. Bu durum PVAc tutkalı ile yapıştırılan örneklerde basınç direncinin düşmesine katkı sağlamış olabilir.

Çizelge 4’e göre, RLVL’lerin liflere paralel basınç direnci değerleri LVL’lerden yaklaşık %10 daha yüksek çıkmıştır. Bu durumun ahşap lameller arasına yerleştirilen güçlendirici karbon kumaşlardan ve tutkaldan kaynaklandığı düşünülmektedir. Karbon fiber kumaşlar, düşük yoğunluğa sahip olmalarına karşın üstün gerilme mukavemetine, esneklik modülüne ve ayrıca yorulma özelliklerine sahiptir (Huang, 2009). Literatürde karbon takviye malzemelerin LVL’lerin ve ahşap esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerini önemli ölçüde geliştirdiği rapor edilmiştir (Xu ve ark, 1998; Buell ve Saadatmanesh, 2005; Wei ve ark., 2013; Wang ve ark. 2015).

Isıtma işlem sıcaklığına göre (Çizelge 4), liflere paralel basınç direnci değerleri kademeli olarak azalmış ve en düşük 200°C’de ( $54.42 \text{ N/mm}^2$ ) tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda basınç direncinin azalması, ahşap malzemenin bünyesinde meydana gelen madde kayıplarından dolayı yoğunluk değerlerinin azalmasından ve ahşap malzemenin bozunmasından kaynaklanmış olabilir (Unsal ve Ayrılmis, 2005; Korkut ve ark., 2007). Benzer bir çalışmada, Perçin ve Altunok (2017), 160, 190 ve 220 °C’de ısıtma işlem uyguladıkları kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) kaplamaları Desmodur-VTKA tutkalı kullanarak karbon fiber kumaş ile takviye etmişler ve bazı fiziksel ve mekanik özelliklerde meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Çalışmada sadece 160 °C’de ısıtma işlem uygulanan örneklerin liflere paralel basınç direnci değerleri kontrol örneklerinden bir miktar yüksek çıkarken, diğerlerinin azaldığı bildirilmiştir.



#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, 150, 175 ve 200 °C’de ısıtılmış karaçam (*Pinus nigra*) ahşap malzemelerden, PU ve PVAc tutkalları ile yapıştırılarak karbon fiber kumaş ile güçlendirilen LVL örneklerin hava kurusu yoğunluk ve liflere paralel basınç direnci değerleri analiz edilmiştir.

- Her iki tutkal türünde de güçlendirilmiş LVL örneklerin yoğunluk değerleri, güçlendirme yapılmamış örneklerden genel olarak daha yüksek belirlenmiştir.
- Tüm deney gruplarında ısıtılmış işlem sıcaklığına bağlı olarak yoğunluk değerleri azalmıştır.
- Güçlendirme işleminden sonra liflere paralel basınç direnci değerlerinde artışlar olduğu tespit edilmiştir.
- Çalışmada PU tutkalı ile lamine edilen örneklerin hava kurusu yoğunluk ve liflere paralel basınç direnci performansları daha yüksek çıkmıştır.

Isıtılmış işlem uygulanmış ahşap malzemenin mekanik özellikleri zayıflamakta bu durum onun yük taşıyıcı sistemlerde kullanımını sınırlamaktadır. Isıtılmış işlem uygulanmış ahşap malzemelerde veya mekanik özellikleri düşük olan ağaç türlerinde, farklı yöntemlerle direnç kayıpları minimize edilebilmektedir. Bu amaçla, bu yönde yenilikçi çalışmaların yapılması önerilmektedir. Ayrıca ısıtılmış işlem uygulanmış ahşap malzemelerde karbon fiber ile güçlendirme işlemlerinin yapılması, yüksek fiziksel ve mekanik performansla sahip güçlendirilmiş ısıtılmış işlemli LVL üretilerek, bunun ekonomik fayda sağlanacağı düşünülmektedir.

#### Teşekkür

Bu çalışmadaki mekanik deneyler, Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaççileri Endüstri Mühendisliği Bölümü araştırma laboratuvarında yapılmıştır. Bölüm başkanı Prof. Dr. Mustafa Altunok ve emeği geçen öğretim üyelerine teşekkür ederim.

#### Yazar Katkısı

**Osman Perçin:** Çalışma konusunun belirlenmesi, laboratuvar çalışmalarının planlanması ve yapılması, verilerin elde edilmesi, verilerin analiz edilmesi ve yorumlanması, makalenin yazılması.

#### Finansal destek beyanı

Yazarlar bu çalışma için finansal destek beyan etmemişlerdir.

#### Çıkar çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Kaynaklar

- Bal, B. C., (2014), Some physical and mechanical properties of laminated veneer lumber reinforced with woven glass fiber, *Construction and Building Materials*, 68(4),120-126, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.06.042.
- Bal, B. C., Efe, F. T., (2015), Tabakalı kaplama keresteninin bazı vida dirençleri üzerine cam elyaf dokuma ile güçlendirmenin etkisi, *Düzce Üniversitesi, Ormancılık Dergisi*, 11(2), 40-47.
- Bal, B.C., Özyurt, H., (2015), Cam elyaf dokuma ile güçlendirilmiş tabakalı kaplama keresteninin bazı teknolojik özellikleri, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(1), 9-16, DOI: 10.17780/ksujes.28535.

- Buell, T. W., Saadatmanesh, H., (2005), Strengthening timber bridge beams using carbon fiber, *Journal of Structural Engineering*, 131(1), 173-187, DOI: /10.1061/(ASCE)0733-9445(2005)131:1(17)
- Dost Kimya (2020), TDS Teknik Doküman Sayfası.
- Efe, F.T. Bal, B.C., (2016), Yüksek sıcaklıkta ısıl işlem görmüş Kızılcıçam (*Pinus brutia* Ten.) odununun sertlik değerlerinde meydana gelen değişimler, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16, Özel Sayı, 79-86.
- Güller, B., (2001), Odun kompozitleri, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Seri: A*, Sayı: 2, 135-160.
- Hill, C., Altgen, M., Rautkari, L., (2021), Thermal modification of wood-A review: Chemical changes and hygroscopicity, *Journal of Materials Science*, 56, 6581-6614, DOI: 10.1007/s10853-020-05722-z.
- Huang, X., (2009), Fabrication and properties of carbon fibers, *Materials (Basel)*, 2(4), 2369–2403.
- Keskin, H., Bülbül, R., (2019), Tanalith-E ile emprenye işleminin masif ağaç malzemenin yüzey pürüzlülüğüne etkileri, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 67-78.
- Korkmaz, M., (2012), Farklı işlemler uygulanmış lamine ahşap pencere profilinin mekanik özellikleri, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, Karabük*.
- Korkut, S., Akgül, M., Dündar, T., (2007), The effects of heat treatment on some technological properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood, *Bioresource Technology* 99(6), 1861-1868.
- Korkut, S., Kocaefe, D., (2009) Isıl işlemin odun özellikleri üzerine etkisi, *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 5(2), 11-34.
- Percin, O., Altunok, M., (2017), Some physical and mechanical properties of laminated veneer lumber reinforced with carbon fiber using heat-treated beech veneer, *European Journal of Wood and Wood Products*, 75, 193-201, DOI: 10.1007/s00107-016-1125-z.
- Polisan (2018), Polivinil asetat tutkalı, Teknik Bilgi Formu.
- Polisan (2019), Marine & Marine AA PU Tutkalı, Teknik Bilgi Formu.
- Sandberg, D., Kutnar, A., Mantanis, G., (2017), Wood modification technologies-A review, *iforest-Biogeosciences and Forestry*, 10(6), 895-908, DOI: 10.3832/ifor2380-010
- Şenay, A., (1996), Lamine edilmiş ağaç malzemenin teknolojik özellikleri, *İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul*.
- TS 2472 (1976), Odunda fiziksel ve mekanik deneyler için birim hacim ağırlığı tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 2595 (1977), Odunun liflere paralel doğrultuda basınç dayanımı tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Ulusoy, H., Atılğan, A., Peker, H., (2016), Orman ürünleri endüstrisinin ekolojik açıdan irdelenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1), 92-106.

- Ünsal, O., Ayrilmis, N., (2005), Variations in compression strength and surface roughness of heat treated Turkish river red gum (*Eucalyptus camaldulensis*) wood, *Journal of Wood Science*, 51, 405-409, DOI: 10.1007/s10086-004-0655-x.
- Uzel, M., Togay, A., Anıl, Ö., Söğütlü, C., (2018), Lamine ahşap yapı elemanlarının basınç dayanımına katmanlar arasına yerleştirilen destek malzemelerinin etkisi, *V. Uluslararası Mobilya Kongresi*, 1-4 Kasım 2018, Eskişehir, Türkiye.
- Wang, J., Guo, X., Zhong, W., Wang, H., Cao, P., (2015), Evaluation of mechanical properties of reinforced poplar laminated veneer lumber, *BioResources*, 10(4), 7455-7465, DOI: 10.15376/biores.10.4.7455-7465.
- Wei, P., Wang, B.J., Zhou, D., Dai, C., Wang, Q., Huang, S., (2013), Mechanical properties of poplar laminated veneer lumber modified by carbon fiber reinforced polymer, *BioResources*, 8(4), 4883-4898, DOI: 10.15376/biores.8.4.4883-4898.
- Xu, H., Nakao, T., Tanaka.C., Yoshinobu, M., Katayama, H., (1998), Effects of fiber length and orientation on elasticity of fiber-reinforced plywood, *Journal of Wood Science*, 44(5), 343-347, DOI: 10.1007/BF01130445
- Zhu, Y. M., Yuan, S. C., Hou, M., Wang, Q. Y., (2013), Square short wood columns strengthened with FRP sheets under compressive load, *Applied Mechanics and Materials*, 256-259, 1008-1011, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.256-259.1008