

Karbon ve Cam Lifi ile Güçlendirilmiş Lamine Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.)Cengiz GÜLER^{1*}, Serkan SUBAŞI²¹Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Konuralp Yerleşkesi, Düzce²Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Konuralp Yerleşkesi, Düzce, serkansubasi@duzce.edu.tr

ÖZET: Bu çalışmada; sarıçam odunu, karbon lifi ve cam lifi ile güçlendirme işlemi yapıldıktan sonra PVA, üre formaldehit ve epoksi yapıştırıcıları kullanılmak suretiyle elde edilen 2 ve 3 katmanlı olarak hazırlanan lamine edilmiş sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odununun bazı teknolojik özellikleri incelenmiştir. Lif, yapıştırıcı ve laminasyon türünün eğilme direnci, makaslama direnci, dinamik eğilme direnci üzerine etkileri araştırılmıştır. Epoksi tutkalı kullanılarak karbon lifi ile güçlendirilmiş ve muamele edilmiş lamine ahşap malzemenin direnç özelliklerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sarıçam, cam Lifi, karbon lifi, epoksi, PVA, Eğilme direnci.

Carbon and Glass Fiber Reinforced Laminated Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.)

ABSTRACT: Two and three-layer laminated wood samples of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) prepared using PVA, urea formaldehyde and epoxy adhesives was reinforced with carbon and glass fibers. Fiber and adhesive types and lamination variables were investigated for bending strength, shear strength and dynamic bending strength. Results showed that laminate produced using epoxy and reinforced with carbon fiber had the highest technological properties.

Keywords: *Pinus sylvestris* L., glass fiber, carbon fiber, epoxy, PVA, bending strength.

1. GİRİŞ

Lamine ahşap malzeme TS EN 386 (1999)'da odun lamellerinin özellikle liflerin paralel olarak yapıştırılması ile elde edilen yapı elemanı olarak tanımlanmaktadır. Laminasyonda daha büyük boyutlu ahşap elemanlar kullanıldığında bunlar glulam olarak adlandırılır. Glulam, masif kerestelerin büyük boyut oluşturmak için uç uca, yan yana ve üst üste eklenmesiyle üretilen bir yapı elemanıdır. Kavisli elemanlarda 2.54 cm kalınlıkta keresteler kullanılırken az kavisli yada düz elemanlar için 5 cm kalınlıkta keresteler kullanılmaktadır. Bu tip yapı elemanlarının lif yönüne paralel düzenlenmesi zorunludur (Guller 2001).

Masif ağaç malzeme büyük boyutlu ve kavisli elemanlarda tek parça olarak kullanılması gerek ekonomik ve gerekse teknolojik açıdan elverişli değildir. Büyük boyutlu taşıyıcı yapı elemanlarının ahşap malzeme tek parça olarak kullanımı sınırlıdır. Bunun nedeni, ağaç malzeme bulunan budak, çatlak, lif kıvrıklığı gibi kusurların tamamen giderilmesi mümkün değildir. Bu yüzden yapı malzemesinde direnç özelliklerini olumsuz yönde etkiler. Bu sakıncaların giderilmesi için laminasyon tekniği kullanılmaktadır (Keskin ve ark. 2003). Laminasyon tekniği ağaç malzemenin bir kısım kusurlarından arındırılarak kullanılmasına imkan sağlamakta ve üretilen malzemenin kalite özellikleri masif olarak üretilenden daha iyi olmaktadır. Aynı zamanda estetik bir görünüm de elde edilmektedir (Örs ve Keskin 2000).

Lamine edilmiş ahşap malzeme geniş bir kullanım alanına sahiptir; yapısal amaçlarla; köprü inşası,

hipodrom, gemi kısımları, okul, cami, alışveriş merkezi gibi yapılar, spor salonları, kapalı yüzme havuzu, kapalı tribün yapıları, büyük depo ve hangar yapımı, fabrika binaları, sinema, tiyatro, konser, teşhir ve gösteri salonları, konut, otel, bahçe mobilyası ve pergole yapımı gibi işlerde kullanılmaktadır.

Laminasyon işleminde kullanılan odunun anatomik özellikleri yüzey pürüzlülüğü, pres basıncı, presleme süresi ve kullanılan tutkalın teknik özellikleri odunun yapışma direnci üzerine etkili olmaktadır. Farklı ağaç türlerinin aynı anda preslenmesi halinde pres basıncı yumuşak oduna göre belirlenir. Pres basıncı yumuşak odunlarda 0.6-1 N/mm², sert odunlarda ise 0.2-1.6 N/mm² arasında olmalıdır (Dilic 1997). Düzgün yüzeyli parçaların yapıştırılmasında yeterli basınç uygulandığında tutkalın yüzeyler arasındaki transferi homojen olmakta ve yapışma direnci en iyi sonucu vermektedir. Kusursuz yüzeylerin birleştirilmesinde 0.7 N/mm² basınç uygulandığında yapışma direnci en yüksek değere ulaşmaktadır (Franklin Glue Company 1989).

2 ve 4 mm kalınlıktaki Doğu kayını kaplama levhalarının ve poliüretan tutkalı ile lamine edilen ağaç malzemelerin direnç değerinin, (PVAc) tutkalı ile lamine edilenlerden daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Şenay 1996).

Luggin and Bergmeister (1998)'de karbon fiber tabakası ile güçlendirilmiş ve ağaç malzemenin lifler yönünde yapıştırılması ile elde edilmiş ve yapıştırıcı olarak epoksi tutkalı kullanılmış glulaminin makaslama direnci özelliklerini incelemiştir.

*Sorumlu Yazar: Cengiz GÜLER, cengizguler@duzce.edu.tr

Lamine edilmiş ağaç malzeme daha etkin bir kullanım alanı sunmanın yanında fabrikasyon işlemleriyle bükme ve değişik ebat ve boyutlarda üretilme imkanı sağlamaktadır. Çelik konstrüksiyon ise % 20 daha ağırdır, güçlendirilmiş beton ise glulam'a göre % 600 daha ağırdır. Lamine edilmiş ağaç müşteri isteklerine göre dizayn edilebilir, estetik olarak memnuniyet vericidir, kolay bir şekilde işlenebilir, kimyasallarla yangına karşı dirençli hale getirilebilir. Ayrıca lamine edilmiş ağaç kullanımı ile esnek yapıda olduğu için depreme karşı daha dayanıklı bir yapı elde edilebilir.

Kolay bükülebilen lamine ahşap malzeme karbon lifle (yüksek dirence sahip suni lif) güçlendirilirse büyük oranda eğilme direnci artırılacağı belirtilmektedir. İki tabakanın ayrılması hasarı (delamination) sözkonusu olmayacağı belirtilmektedir (Brunner and Schnueriger 2005).

6-7 ve 9 tabakadan oluşmuş ve *Pinus caribaea var. hondurensis* odunu kullanılmış glulamda 0.25 ile 0.90 cm kalınlığında güçlendirilmiş cam lifi (fiberglass-reinforced) ile üretilmiş kompozit malzemenin bazı mekanik özellikleri incelenmiştir. Sonuçta cam lifi ile güçlendirilmiş kompozit malzemede eğilme ve esneklik direnci artmıştır (Fiorelli and Dias 2006).

Ağaç malzemenin verimli kullanılabilmesi kusurlarından arındırılması ve eğri formlu imalatlarda diyagonalılığı nedeniyle direnç özelliklerinin azalmaması için laminasyon tekniği kullanılması önerilmektedir. Bu çalışmada tabakalar arasında karbon lifi veya cam lifinin belli oranlarda ilave edilmesiyle oluşturulan katman, laminasyonun direnç özelliklerini artırması nedeniyle yapısal amaçlı kullanım yerleri için uygun bir kompozit malzeme yapısı oluşturacağı beklenmektedir.

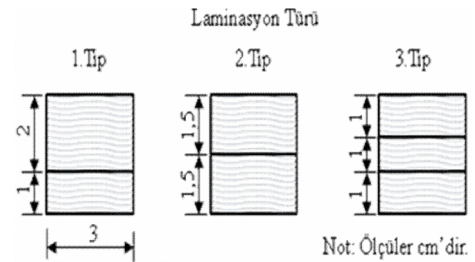
Karbon lifleri betonarme binalarda daha çok kolon mantolama ve perde sistemlerinde kullanılmaktadır. Dünya genelinde ise bunlara ilaveten daha farklı sistemler de kullanılmaktadır. FRP (Fiber Takviyeli Polimerler) isimli kompozitler ile güçlendirme ülkemizde de yavaş yavaş yaygınlaşmaktadır. Daha çok karbonfiber (karbon lifi) adıyla tanınan bu malzemeler hafif, yüksek mukavemetli, liflerin dizilim yönleri değiştirilerek mukavemeti ayarlanabilen, ince, uygulaması hızlı ve pratik, korozyona dayanıklı, uzun

ömürlü yeni nesil malzemelerdir. Cam lifi de betonarme binalarda hasar görmüş yapı elemanlarının güçlendirilmesi, taşıyıcı yapı elemanlarının taşıma gücü kapasitelerinin artırılması, yüksek hidrostatik basınca dayanıklı alt yapı borularının üretimi gibi bir çok alanda kullanılmaktadır. Cam lifi yapılarında aynı zamanda yangına karşı önemli direnç sağlamaktadır. Cam lifinde korozyon olayı söz konusu olmamaktadır.

Bu amaçla sarıçam odununa güçlendirme işlemi uygulanarak üç farklı tutkal; PVA, üre formaldehit ve epoksi, iki farklı güçlendirici materyal karbon ve cam lifi kullanılarak elde edilen 2 ve 3 katmanlı olarak hazırlanan lamine edilmiş sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odununun bazı teknolojik özellikleri incelenmiştir. Hazırlanan deney örneklerinin eğilme direnci, makaslama direnci, dinamik eğilme (şok) direncine etkileri araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Deney numuneleri, Düzce yöresinden elde edilen Sarıçamdan 10 mm, 15 mm ve 20 mm kalınlıklarda, 40 cm uzunluk ve 30 mm genişlikteki örneklerden hazırlanmıştır. Ağaç malzemenin seçiminde, kerestelerinin kusursuz, liflerinin düzgün, budaksız, normal büyüme göstermiş, reaksiyon odunu bulunmayan, böcek ve mavi renk mantar zararlarına uğramamış olmasına özen gösterilmiştir. 2 ve 3 katlı olarak üretilen lamine sarıçam malzemede ara katlarda karbon lifi ve cam lifi kullanılarak PVA, üre formaldehit ve epoksi tutkalı ile hidrolik preste üretimleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Çalışma kapsamında üretilen örnekler ait deneysel tasarım Tablo 1 de verilmiştir.



Şekil 1. Örneklerin hazırlanmasında kullanılan laminasyon türü

Tablo 1. Çalışmada gerçekleştirilen deneysel tasarım

Lamine Malzeme	Kalınlık (cm)	Tutkal Hattı sayısı	Tutkal Türü	Güçlendirici
1	3 (1+2)	2	PVA/UF/EP	-
2	3 (1+2)	2	PVA/UF/EP	Cam lifi
3	3 (1+2)	2	PVA/UF/EP	Karbon lifi
4	3 (1.5+1.5)	2	PVA/UF/EP	-
5	3 (1.5+1.5)	2	PVA/UF/EP	Cam lifi
6	3 (1.5+1.5)	2	PVA/UF/EP	Karbon lifi
7	3 (1+1+1)	4	PVA/UF/EP	-
8	3 (1+1+1)	4	PVA/UF/EP	Cam lifi
9	3 (1+1+1)	4	PVA/UF/EP	Karbon lifi

Eğilme direncinin tespiti için TS EN 326 standardına göre 15 adet deney örneği hazırlanmıştır. Deneyler universal test makinesinde gerçekleştirilmiş olup aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır. Eğilme direnci deneyi, TS 2474 standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır.

$$\sigma_{\epsilon} = \frac{3F_{max}L}{2bh^2} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (1)$$

Eşitlikte;

σ_{ϵ} = Eğilme Direnci (N/mm²)

F_{max} = Kırılma anındaki max kuvvet (N),

L = Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

b = örnek genişliği (mm)
 h = Örnek kalınlığı (mm) ifade etmektedir.

Liflere ve tutkal hattına paralel makaslama direnci deneyinde ASTM D 3110 (Anonim, 1988) standına göre yapılmıştır. Deneylerden önce kuvvetin uygulanacağı alanlar boyutları $\pm 0,01$ mm duyarlıklı kumpasla ölçülmüştür. Örneklerin makaslama direnci hesaplanmasında;

$$\tau_m = \frac{F_{max}}{b.l} \quad (\text{N mm}^{-2}) \quad (2)$$

Eşitlikte;

τ_m =Makaslama direnci (N mm⁻²)

b = Makaslama yüzeyi genişliği (mm)

F_{max} = Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

l = Makaslama yüzey uzunluğu (mm) ifade etmektedir.

Dinamik eğilme direnci, deney örnekleri 15 kpm'lik iş gücüne sahip pandüllü çekiç aleti ile kırılmış

ve her bir örnek için kırılmadan sonra elde edilen iş miktarı ± 1 kpm duyarlılıkla belirlenerek dinamik eğilme dirençleri aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır. Deney TS 2477 standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

$$\sigma_d = \frac{W}{a.x} \quad (\text{kpm cm}^{-2}) \quad (3)$$

Eşitlikte;

σ_d = Dinamik eğilme direnci, (kpm cm⁻²)

W =Örnek kırıldığında elde edilen iş miktarı, (kpm)

a = Örnek genişliği, (cm)

b = örnek kalınlığı, (cm) ifade etmektedir.

3. BULGULAR

Deney örneklerine ait eğilme direnci, makaslama direnci ve dinamik eğilme direnci değerlerine ait bulgular Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Karbon lifi ve cam lifi ile güçlendirilmiş lamine sarıçamın bazı teknolojik özellikleri

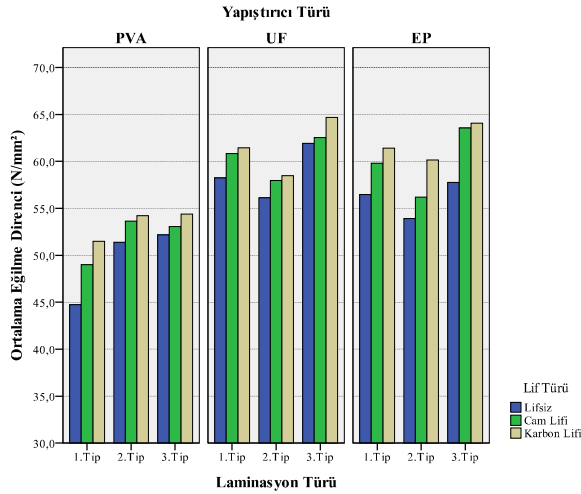
Yapıştırıcı türü	Laminasyon türü	Güçlendirme Lif	Eğilme Direnci* (N mm ⁻²)	Makaslama Direnci (N mm ⁻²)	Dinamik Eğilme Direnci (Kpm cm ⁻²)
PVA	1.Tip	-	44.72 (2.94)	2.63 (0.55)	0.37 (0.08)
		Cam	49.00 (5.21)	2.70 (0.72)	0.40 (0.05)
		Karbon	51.47 (5.28)	2.84 (0.56)	0.53 (0.09)
	2.Tip	-	51.37 (8.32)	2.39 (0.69)	0.42 (0.08)
		Cam	53.62 (8.15)	2.84 (0.77)	0.44 (0.06)
		Karbon	54.20 (7.07)	3.13 (0.65)	0.46 (0.08)
3.Tip	-	52.16 (6.27)	2.18 (0.66)	0.40 (0.07)	
	Cam	53.07 (5.10)	2.57 (0.45)	0.42 (0.06)	
	Karbon	54.40 (5.22)	2.61 (0.69)	0.51 (0.08)	
UF	1.Tip	-	58.23 (2.52)	2.69 (0.69)	0.44 (0.08)
		Cam	60.83 (3.57)	2.69 (0.67)	0.44 (0.09)
		Karbon	61.45 (4.05)	2.71 (0.68)	0.52 (0.10)
	2.Tip	-	56.13 (3.52)	3.15 (0.54)	0.55 (0.09)
		Cam	57.96 (3.41)	3.48 (0.96)	0.55 (0.08)
		Karbon	58.46 (2.81)	3.74 (0.56)	0.58 (0.07)
3.Tip	-	61.92 (5.44)	2.32 (0.73)	0.50 (0.08)	
	Cam	62.54 (4.41)	2.82 (0.83)	0.51 (0.09)	
	Karbon	64.69 (7.12)	2.98 (0.52)	0.53 (0.09)	
EP	1.Tip	-	56.45 (4.10)	2.31 (0.68)	0.35 (0.06)
		Cam	59.81 (5.11)	2.39 (0.60)	0.42 (0.08)
		Karbon	61.41 (2.45)	2.84 (0.68)	0.44 (0.09)
	2.Tip	-	53.91 (3.75)	2.39 (0.59)	0.37 (0.08)
		Cam	56.18 (3.65)	2.66 (0.83)	0.47 (0.10)
		Karbon	60.16 (5.46)	2.79 (0.56)	0.45 (0.08)
3.Tip	-	57.75 (3.47)	2.17 (0.69)	0.51 (0.09)	
	Cam	63.56 (2.65)	2.28 (0.48)	0.54 (0.07)	
	Karbon	64.08 (3.15)	2.52 (0.64)	0.56 (0.08)	

* Parantez içerisinde standart hata gösterilmiştir. Her bir grup için örnek sayısı 15 tir.

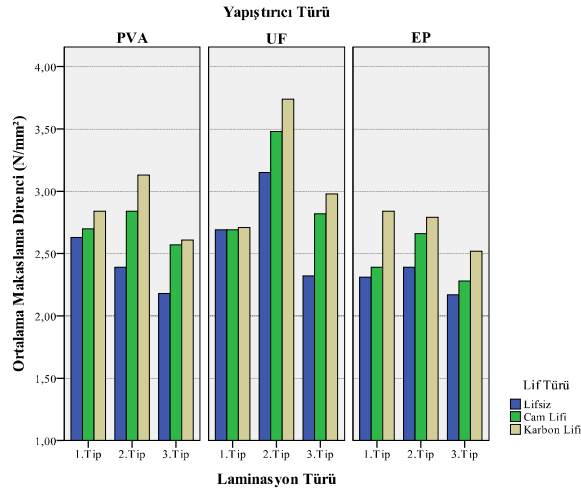
Ayrıca deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen farklı yapıştırıcı türlerindeki ortalama eğilme direnci değerleri Şekil 2'de, ortalama makaslama direnci değerleri Şekil 3'te, ortalama dinamik eğilme direnci değerleri ise Şekil 4'te görülmektedir.

PVA, UF ve EP tutkalının kullanıldığı lamine sarıçam malzemede güçlendirici olarak karbon ve cam lifi kullanılması durumunda mekanik özelliklerde bir artış

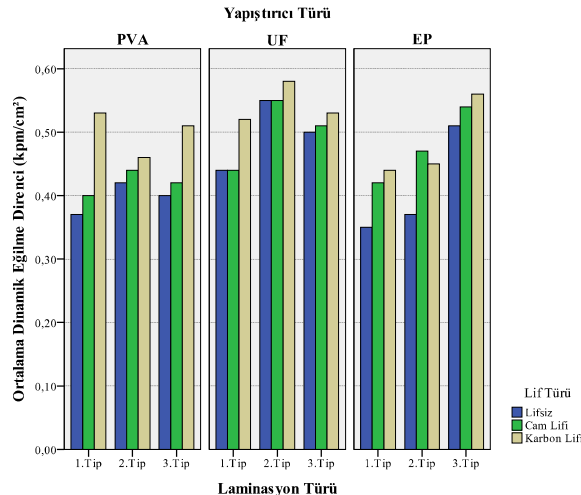
olduğu görülmüştür. Ancak EP tutkalı kullanılması durumunda bu artış daha fazla belirgindir. 1. Tip lamime sarıçamda cam ve karbon lifi kullanılmadığı durumda eğilme direncinde PVA ya göre artış % 20, 2. Tip te % 2.5, 3. Tipte % 10'dur. Karbon lifi kullanıldığı durumlarda PVA ya göre artış, eğilme direncinde Tip 1 de % 10, Tip 2 de % 6, Tip 3 te % 17 olarak gözlenmiştir.



Şekil 2. Ortalama eğilme direnci değerlerine ait grafik



Şekil 3. Ortalama makaslama direnci değerlerine ait grafik



Şekil 4. Ortalama dinamik eğilme direnci değerlerine ait grafik

Özalp ve ark. (2009) da kontrplaklarda eğilme direncinin tutkal türüne etkisini incelemiş ve epoksi reçinesinin PVA ya göre daha yüksek dirence sahip olduğunu göstermiştir. Diğer yandan kontrol örneklerine göre cam lifi ve karbon lifi kullanılması durumunda da direnç özelliklerinde paralel bir artış olduğu gözlenmiştir.

Yapıştırıcı türü PVA da 1. Tip laminasyonda cam lifi kullanıldığında ortalama eğilme direnci 49.00 N/mm^2 , Karbon lifinde ise 51.47 N/mm^2 , EP tutkalında 1. Tip laminasyon türünde cam lifi kullanıldığında 59.81 N/mm^2 , Karbon lifinde ise 61.41 N/mm^2 olarak tespit edilmiştir. Makaslama direnci ve dinamik eğilme (şok) direnci değerlerinde de benzer sonuçlar elde edilmiş olup güçlendirici olarak cam ve karbon lifi kullanıldığında eğilme direncine paralel artış gösterdiği tespit edilmiştir. İnşaat sektöründe özellikle beton yapılarda bu tür malzemelerin güçlendirici olarak kullanıldığı bilinmektedir. Buna göre ahşap laminasyon işlemlerinde bu tür güçlendiricilerin kullanılabilmesi mümkün görülmektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada Sarıçam odun lamine malzemeye değişik oranlarda karbon lifi ve cam lifi ile güçlendirme işlemi yapıldıktan sonra bazı mekanik özellikleri incelenmiştir. Burada normal güçlendirici kullanılmadan elde edilmiş lamine malzemeye göre cam fiber ve karbon fiber güçlendirilmesi sonucu mekanik özelliklerinin daha iyi olduğu görülmüştür. PVA tutkalı ile yapıştırılmış olanlarda cam lifinde % 8, karbon lifi kullanıldığında % 9 eğilme direnci artmıştır. Üre formaldehit tutkalı kullanıldığında eğilme direnci cam lifinde % 6 karbon lifinde ise % 7 oranında artış olmuştur. Epoksi reçinesi kullanılmış lamine sarıçam malzemede ise UF'dekine benzer fakat daha iyi direnç özellikleri elde edilmiştir. Diğer yandan eğilme direnci, makaslama direnci ve dinamik eğilme direnci değerlerinde en iyi sonuç karbon lifi kullanıldığında elde edilmiştir. Karbon lifi polar bir yapıya sahip olduğundan yapıştırıcı maddeyle daha iyi aderans sağladığı söylenebilir. Bu nedenle tutkal hattında lifsel yapıda çeşitli güçlendiricilerin kullanılabilmesi mümkün olup farklı kullanım alanları için tercih edilebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- ASTM D. 3110. 1988. Adhesive Used in Nonstructural Glued Lumber Product, ASTM Standards, West Conshohocken, PA. USA
- Brunner M., Schnueriger M. 2005. Timber beams strengthened by attaching prestressed carbon FRP laminates with a gradiented anchoring device. Proceedings of the Intr. Symp. On Bond Behaviour of FRP in Structures.
- Dilik T. 1997. Lamine ağaç malzemede pencere profili üretimi ve bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi. İÜ. Fen Bilimleri Enst. Doktora tezi İstanbul.
- Franklin Glue Company. 1989. Adhesive trouble shooting. Columbus.
- Fiorelli J. 2006. Dias A. Fiberglass-reinforced glulam beams: Mechanical properties and theoretical model. Materials Research, 9(3): 263-269
- Guller. B. 2001. Odun kompozitleri. SDÜ Orman Fak. Dergisi. 2: 135-160

- Keskin H., Atar M., Kurt R. 2003. Lamine edilmiş sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri. KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi 6. 1
- Luggin W., Bergmeister K. 1998. Carbon fiber reinforced and prestressed timber beams. 2nd Int. PhD. Symposium in Civil Engineering. Budapest.
- Özalp, M., Atılgan, A., Esen, Z., Kaya, S. 2009. Comparing The Resistance And Bending In The Plywoods Which Each Made With Different Glues Dumlupınar Üniv. Fen Bil. Dergisi, 18: 99-104
- TS EN 386, 1999. Yapıştırılmış lamine ahşap-Performans ve asgari imalat şartları, TSE, Ankara.
- TS EN 326, 1997. Ahşap Esaslı Levhalardan Numune Alınması, TSE, Ankara.
- TS 2474, 1976. Odunun Statik Eğilme Dayanımının Tayini, TSE, Ankara.
- TS 2477, 1976. Odunun Çarpmada Eğilme Dayanımının Tayini, TSE, Ankara.