

Kızılçamdan (*Pinus brutia* Ten.) Üretilen Tabakalı Kerestede Cam Lifi ve Çelik Plaka ile Güçlendirilmenin Eğilme Performansına Etkisi

Ergün GÜNTEKİN¹, *Tuğba YILMAZ AYDIN¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü
32260 Isparta

*Sorumlu Yazar: tugbayilmaz@sdu.edu.tr

Geliş Tarihi: 17.11.2014

Özet

Bu çalışmada kızılçam kullanılarak üretilmiş ve cam lifi ve çelik plaka ile güçlendirilmiş tabakalı kerestelerin eğilmekteki performans özellikleri araştırılmıştır. Tabakalı kerestede eğilme özelliklerini iyileştirmek için lokal güçlendirme yapılmıştır. Çalışmada kızılçam kerestesi kullanılarak 15 adet 10 x 200 x 3000 mm ölçülerinde tabakalı kereste örnekleri üretilmiştir. Bütün örneklerin en alt katmanı parmak dişle birleştirilmiş iki keresteden; üstündeki katman tek parça keresteden; orta ve üstü katman parmak dişle birleştirilmiş altı elemandan ve en üst katman ise tek elemandan oluşmaktadır. Dolayısıyla kontrol örneklerinde kırılmaların en alt tabakada parmak dişli birleştirmede olması planlanmıştır. Güçlendirme işlemi cam lifi ve çelik plaka kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tabakalı kereste örneklerinin üç nokta eğilme testi ile performans özellikleri belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre kızılçam kullanılarak üretilmiş tabakalı kerestelerde elastikiyet modülü cam lifi ile % 14, çelik plaka ile % 24 artmıştır. Cam lifi maksimum yük taşıma kapasitesini % 27, çelik plaka ise % 36 arttırmıştır. Güçlendirme tabakalı kirişlerde kırılma modunu da değiştirmiştir.

Anahtar kelimeler: Kızılçam, Tabakalı kereste, Güçlendirme, Cam lifi, Çelik plaka

Effects of Fiberglass and Steel Sheet Reinforcement on the Bending Performance of Glulam Beams Constructed with Turkish Red Pine (*Pinus brutia* Ten.)

Abstract

A study was conducted to investigate the bending performance of glulam beams constructed of Red pine reinforced by fiberglass and steel plates. Local reinforcement is proposed in order to improve the flexural strength and stiffness of glulam beams. For the study, 15 full size glulam beams constructed of Turkish red pine lumber were produced. All beams had similar 5 layers consisting of two finger-jointed-members at the bottom, a single member at the fourth, six finger-jointed-members at the third and second layer and another single member at the top. Glulam beams were tested using three-point bending test to determine their load-deformation behavior. According to test results, elasticity of the glulam beams can be improved 14% and 24% using fiber glass and steel plates. Similarly, maximum load carrying capacity of glulam beams constructed of Turkish red pine lumbers may be improved 27 % and 36 % by using fiberglass and steel reinforcements, respectively. Reinforcement also changed the failure mode of glulam beams tested.

Keywords: Glulam, Turkish red pine, Reinforcement, Fiberglass, Steel plate.

Giriş

Ahşap insanoğlunun kullandığı en eski yapı malzemelerinden birisidir. Ahşap malzemenin sahip olduğu dayanıklılık ve özelliklerinin çok değişken olması gibi dezavantajları laminasyon teknolojisi (Glulam =glue laminated timber, tabakalı kereste) ile azaltılabilmektedir (André, 2006). Tabakalı kereste 1800'lü yıllardan beri kullanılmaktadır. Bu malzeme ile ilgili araştırmalar 1930'lu yıllarda ABD'de Orman Ürünleri Laboratuvarlarında başlamıştır (Dagher ve ark., 1996). Tabakalı kereste 2,5 –5 cm

kalınlığındaki ahşap elemanların uç uca / üst üste düz veya kavisli olarak yapılandırılması ile elde edilir. Genel olarak dış katmanları mekanik özellikleri daha iyi ağaç malzemenin iç katmanları ise mekanik özellikleri düşük ağaç malzeme kullanılarak üretilir. ABD'de Tabakalı kereste üretiminde tek veya karışık olarak Douglas göknarı (*Pseudotsuga menziesii*), Güney çamı (*Pinus spp.*), Melez (*Larix occidentalis*), Ladin (*Picea spp.*) gibi türler kullanılmaktadır (Smulski, 1997). Avrupa'da ise en çok Norveç ladini tabakalı kereste üretiminde

görülmektedir (Bostrom ve ark., 1999). Tabakalı kereste teknolojisi ahşap malzemede katma değer üreten rasyonel yöntemlerden birisidir (Fiorelli ve Dias, 2006). Tabakalı kereste inşaat sektöründe yüksek mekanik özelliklerinden ve fiziksel özelliklerinin daha az değişken olmasından dolayı geleneksel yapı malzemelerine alternatif bir yapı malzemesi olarak spor salonları, köprüler, ticari alanlar başta olmak üzere daha çok Kuzey Amerika, Avrupa ve Japonya'da kullanılmaktadır (Echavarria ve ark., 2012).

Tabakalı kerestenin güçlendirilmesinde kullanılan malzemeler arasında alüminyum, çelik çubuk/tel veya levhalar, cam lifi, seramik lifi, ve doğal/sentetik lifler sayılabilir (Spaun, 1981; Bulleit, 1984; Moody ve Hernandez, 1997; Anca ve ark., 2004; Zhang ve ark., 2011). Lif ile güçlendirilmiş polimerlerin (fiber reinforced polymers = FRP) ahşap için güçlendirici olarak kullanılması 1660'lı yıllara dayanmaktadır. Bu kompozitlerde lif direnç özelliğini artırırken tutkal ise gerilmeleri düzenlemektedir (Fiorelli ve Dias, 2006). Son yıllarda bu kompozitlerin fiyatlarının azalması ahşap veya ahşap kompozitlerinde kullanılmalarına yönelik ilgiyi arttırmıştır (Wei ve ark., 2013).

Bir çok araştırmacı tabakalı kerestenin çekme tarafında kullanılan cam lifi veya karbon liflerin eğilmeye olan etkisini araştırmıştır (Rowlands ve ark., 1986; Triantafillou ve Dekovic, 1991; Tingley, 1996; Dagher ve ark., 1998; Yang ve Liu, 2007; Zhuo, 2009; Wang ve ark., 2010). Çünkü orta tabakaların eğilme özellikleri üzerine etkisi çok değildir. Dagher ve ark., (1996; 1998); Buell ve Saadatmanesh (2005), Johnson ve ark., (2006) tarafından yapılan çalışmalarda FRP'nin tabakalı kerestede direnci %44-63, elastikiyeti ise % 10 oranında arttırdığı bulunmuştur.

Son yıllarda aramid, karbon ve cam liflerinin güçlendirici olarak kullanıldığı görülmektedir (Wei ve ark., 2013). Aramid liflerinin rutubet hassasiyetinden dolayı yapısal elemanlarda kullanılması çok uygun görülmemiştir (Johnson ve ark., 2006). Karbon lifleri ise cam liflerine göre daha hafif olmasına rağmen yük taşıma kapasitesi ve elastikiyet üzerine etkisinin daha çok olduğu görülmüştür (Anca ve ark., 2004).

Güçlendirme çalışmalarında eğilme momentlerinden dolayı kırılmaların kirişlerin çekme tarafındaki parmak dişli birleştirmelerde veya budaklarda olması sebebiyle daha çok sadece çekme yüzeyi üzerinde durulmuştur (Tingley, 1996; Yang ve Liu, 2007; Zhuo, 2009;

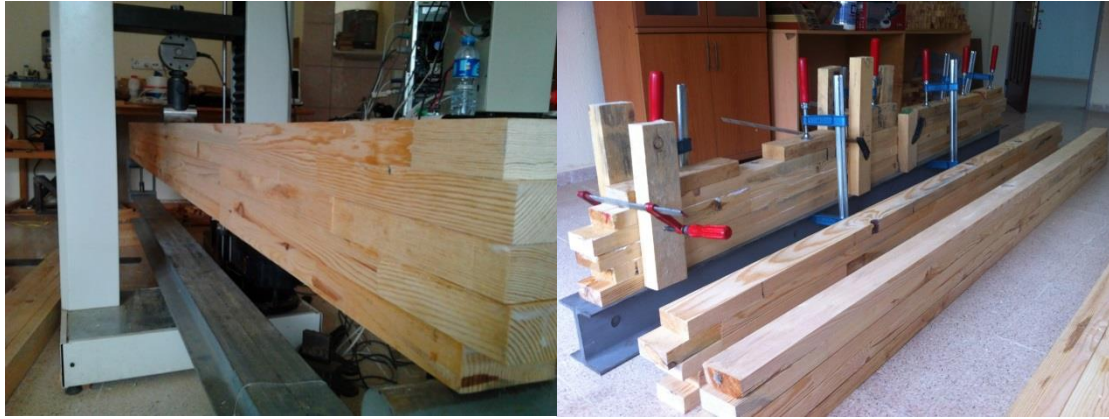
Wang ve ark., 2010). Ancak güçlendirmenin bu yüzeyde yapılmasının görünüş ve çivi tutma özellikleri gibi olumsuz katkıları bulunduğu güçlendirmenin en dış iki katman arasında yapılması faydalı olacaktır (Wei ve ark., 2013).

Bu çalışmanın amacı cam lifi ve çelik plaka ile güçlendirmenin kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) kerestesi kullanılarak üretilmiş tabakalı kerestelerde (Glulam) eğilme performansı üzerine etkisini araştırmaktır.

Materyal ve Yöntem

Çalışmada kullanılacak keresteler eğilme performansını etkileyecek budak, çatlak vb. olmaması için görsel olarak kontrol edilerek planya ve kalınlık makinesinden geçirilmiştir. Tabakalı keresteler 3 metre uzunlukta ve 40 mm kalınlığında 5 katmandan oluşmaktadır. Parmak dişli birleştirmeler özel bir işletmede üretilmiştir. Tabakalı kereste örneklerinde katmanlar ortaya göre simetrik olacak şekilde en alt katmanın ortasında bir dişli birleştirme, bunun üstündeki katman tek bir parça kereste, orta katman ise 50 cm uzunluğunda 6 parçadan oluşturulmuştur. Katmanlar ve uç birleştirmeler PVA D3 tutkalı ile birleştirilmiştir. Tabakaların genişliği 90 mm olarak düşünüldüğünde son ürünün enine kesit ölçüleri yaklaşık 90 mm x 200 mm'dir. Böylelikle eğilmede en zayıf ve gerilmelerin en yüksek olduğu bölgede yani bir uç birleştirmenin olduğu bölgede kırılmanın olması öngörülmektedir.

Üretilen tabakalı kirişlerinin alt yüzeyine 4 mm kalınlığında, 80 mm genişliğinde, 1500 mm uzunluğunda çelik plaka ve 1 mm kalınlığında 80 mm genişliğinde, 1500 mm uzunluğunda cam lifi ile güçlendirme işlemi yapılmıştır. Güçlendirme elemanlarının keresteye yapıştırılmasında çift bileşenli epoksi tutkalı kullanılmıştır. Toplam 15 adet tabakalı kerestenin; 5 adeti cam lifi, 5 adeti ise çelik plaka ile güçlendirilmiştir. Tablo 1'de kullanılan güçlendirme malzemelerinin bazı özellikleri verilmiştir. Üretilen örnekler test edilmeden önce 15 gün bekletilmiştir. Örnekler üç nokta eğilme testi (Şekil 1) uygulanarak yük-deformasyon grafikleri kaydedilmiştir. Yükleme 6 mm/dakika sabit hız ile gerçekleştirilerek örneklerin yaklaşık 300 saniyede kırılmaları sağlanmıştır. Eğilme testlerinde destek noktaları arasındaki açıklık 2950 mm'dir. Çalışmada kullanılan yük hücresinin kapasitesi 50 kN'dur.



Şekil 1. Tabakalı kereste üretimi ve üç nokta eğilme testi

Tabakalı kerestelerde eğilme performansı yük-deformasyon eğrilerinden elde edilen maksimum yük taşıma kapasitesi ve elastikiyet modülü değerleri ile belirlenmiştir. Maksimum yük taşıma kapasitesi örneğin yüklemeye sırasında taşıyabildiği en büyük yük değeri olarak alınmıştır. Kontrol örneklerinde Elastikiyet modülü değerleri ise EN 408 standardına göre aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$E_{m\ app} = \frac{l^3 (F_2 - F_1)}{48 I (w_2 - w_1)}$$

Burada;

$E_{m\ app}$ = Görünür elastikiyet modülü,
 l = destek noktaları arası açıklık,
 $F_2 - F_1$ = yük deformasyon eğrisinde doğrusal bölgede iyi yük arasındaki artış,
 $w_2 - w_1$ = doğrusal bölgede yük artışına karşılık gelen deformasyon artışı,

Güçlendirilmiş tabakalı kirişlerde elastikiyet modülü değerleri ise aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Cheng ve Hu, 2011):

$$E_L = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n \frac{2484(P_{i+1} - P_i)}{b(y_{i+1} - y_i)}$$

Burada;

E_L = tabakalı kerestenin elastikiyet modülü,

P_i = yük (500, 750, 1000, 1250 N),

$i = 1, 2, 3, 4$

y_i = i . yük altında tabakalı kerestede meydana gelen deformasyon.

b = örnek genişliği

Elde edilen veriler bir istatistik programı yardımıyla analiz edilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan malzemelerinin bazı özellikleri

Malzeme	Yoğunluk (gr/cm ³)	Kalınlık (mm)	Genişlik (mm)	MOE (MPa)	Rutubet (%)
Kereste	0.54	40	90	8900	8.7
Cam lifi	2.63	1	80	70000	-
Çelik plaka	7.5	4	80	200000	-

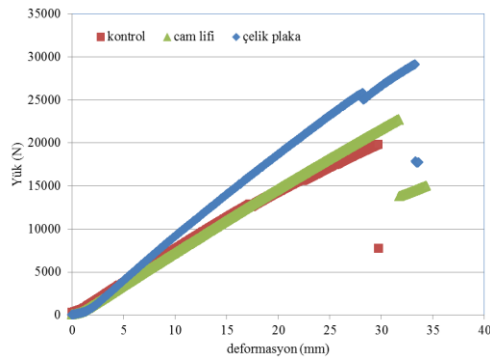
Sonuçlar

Tablo 1'de kullanılan güçlendirme malzemelerinin bazı özellikleri verilmiştir. Eğilme testlerinden elde edilen ortalama yük-deformasyon değerleri Şekil 2'de gösterilmiştir

ANOVA test sonuçlarına göre kontrol örneklerinin performans özellikleri ile güçlendirilmiş örneklerin performans özellikleri arasında istatistiksel olarak anlamlı

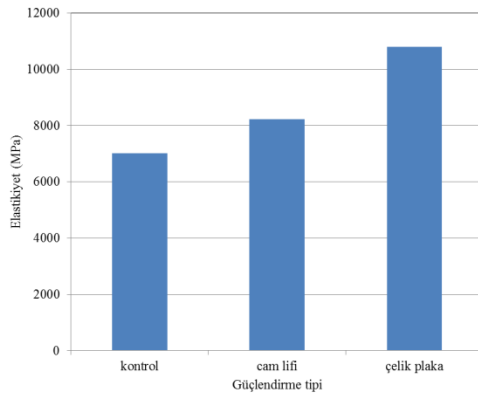
bir fark bulunmaktadır. Cam lifi ile güçlendirilmiş örneklerin ortalama elastikiyet modülü kontrol örneklerine göre % 14, maksimum yük taşıma kapasitesi ise % 27 daha yüksek bulunmuştur. Benzer şekilde çelik plaka ile güçlendirilmiş örneklerin elastikiyet modülü kontrol örneklerine göre % 35, cam lifi ile güçlendirilmiş örneklere göre % 24 daha yüksek bulunmuştur ($p < 0.05$; $R^2 = 0.84$; varyasyon katsayısı = % 8.59). Çelik

plaka ile güçlendirilmiş örneklerin ortalama yük taşıma kapasitesi ise kontrol örneklerine göre % 36 daha fazladır.

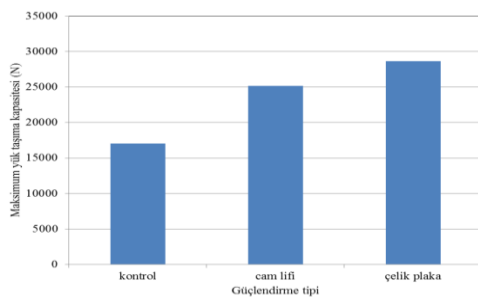


Şekil 2. Tabakalı kerestelerin eğilme testlerinden elde edilen ortalama yük-deformasyon değerleri

Ortalama maksimum yük taşıma kapasiteleri bakımından cam lifi veya çelik plaka ile güçlendirilmiş örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır ($p < 0.05$; $R^2 = 0.81$; varyasyon katsayısı = % 12.46). Güçlendirmenin elastikiyet modülü ve maksimum yük taşıma kapasitesine etkisi Şekil 3 ve 4'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Güçlendirmenin elastikiyete etkisi



Şekil 4. Güçlendirmenin maksimum yük taşıma kapasitesine etkisi

Literatürde cam lifi ve metal plakalar ile yapılan güçlendirmelerde genellikle direnç değerlerinde % 40'ın üzerinde bir artış söz konusudur (John ve Lacroix, 2000; Buell ve Saadatmanesh, 2005; Johnson ve ark., 2006; Jacob ve Barragan, 2007). Bu çalışmada bulunan artış değerleri literatürde bulunan değerlerin çok az altında kalmıştır. Buda güçlendirmenin lokal yapılmış olmasından kaynaklanabilir. Johnson ve ark.,'na (2006) göre cam lifi tabakalı kerestede elastikiyeti % 10 oranında arttırmaktadır. Çalışmada bulunan elastikiyet artış değerleri de (%) literatürde bulunan artış değerlerine yakındır.

Tabakalı kerestelerde uygulanan güçlendirme ile bölgesel olarak bulunan kusurların (parmak dişli birleştirme işlemi ile çekme direnci % 70 oranında azalabilir) etkisi azaltılabilmekte ve daha kısa elemanlar tabakalı kereste üretiminde kullanılabilir (Andre, 2006). Üretim sırasında kullanılan presleme şekli de performans üzerine etkilidir. Güçlendirmenin bir etkisi de meydana gelen kırılma şekillerinde olmuştur. Kontrol örneklerinde kırılma en alt orta noktadaki parmak dişli birleştirme de olurken güçlendirilmiş örneklerde kırılma katmanlar arasındaki tutkal tabakasına taşınmıştır. John ve Lacroix'e (2000) göre tabakalı keresteler eğilme yükleri altında daha kırılğan (brittle) davranış gösterirler ve bu davranış şeklini tahmin etmek daha zordur. Ayrıca, kırılma şeklinin basma veya kesme şeklinde olması yapının kullanımı sırasında olabilecek güçlüklerde zaman kazandıracaktır.

Güçlendirme ile eğilme direnci ve elastikiyet verileri istatistiksel olarak daha dar bir dağılım göstermektedir (Andre, 2006). Çalışma sonuçlarına göre elastikiyet değerlerinin varyasyon katsayıları arasında bir fark bulunmazken, maksimum yük taşıma kapasiteleri için kontrol örneklerinde % 22 olan varyasyon katsayısı cam lifinde % 15, çelik levhada % 3.5'e düşmüştür.

Kaynaklar

Anca P., Douglas J.G., Roberto L. 2004. Carbon fiber-vinyl ester composites reinforcement of wood using the VARTM/SCRIMP fabrication process. Composites: Part A- Applied Science and Manufacturing, 35(11), 1257-1265.

André A. 2006. Fibers for strengthening of timber structures. Technical Report. Luleå University of Technology. Department of Civil and Environmental Engineering Division of Structural Engineering. SE - 971 87 LULEÅ.

Bostrom L., Hoffmeyer P., Solli K.H. 1999. Tensile properties of machine strength graded timber for glued laminated timber. Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference, Rotorua, New Zealand, (14 – 18 March 1999), 215 – 230.

Buell T.W., Saadatmanesh P.E. 2005. Strengthening timber bridge beams using carbon fiber. *Journal of Structural Engineering*, 131(1), 173-187.

Bulleit W.M. 1984. Reinforcement of wood materials A review. *Wood and Fiber Science*, 16 (3), 391-397.

Cheng F., Hu Y. 2011. Nondestructive test and prediction of MOE of FRP reinforced fast-growing poplar glulam. *Composites Science and Technology*, 71, 1163-1170.

Dagher H.J., Kimball T.E., Shaler S.M., Abdel-Magid, B. 1996. Effect of FRP reinforcement on low grade eastern hemlock glulams. General Technical Report FPL-GTR-94, USDA Forestry Products Laboratory, Madison, WI, 207-214.

Dagher H.J., Abdel-Magid B., Lindyberg R., Poulin J., Shalter S. 1998. Static bending test result of Douglas-fir and western hemlock FRP-reinforced glulam beams. AEWG Report No.98-4, University of Maine AEWG Center, Orono, Maine, U.S.A.

Echavarria C., Jimenez L., Ochoa J.C. 2012. Bamboo-reinforced Glulam beams: An alternative to fiberglass-reinforced glulam beams. *Dyna*, 174, 24-30.

EN 408. 2003. Structural timber and glued laminated timber: Determination of some physical and mechanical properties. European Committee for Standardization.

Fiorelli J., Dias, A.A. 2006. Fiberglass-reinforced Glulam Beams: Mechanical properties and theoretical model. *Materials Research*, 9 (3), 263-269.

Jacob J.; Barragan O.L.G. 2007. Flexural strengthening of glued laminated timber beams with steel and carbon fiber reinforced polymers. Master's Thesis in the International Master's Programme Structural Engineering. Chalmers University of Technology, Sweden.

John K.C., Lacroix S. 2000. Composite reinforcement of timber in bending. *Can. J. Civ. Eng.*, 27, 899-906.

Johnson, H., Blanksvärd, T., Carolin, A. 2006. Glulam members strengthened by carbon fiber reinforcement. *Materials and Structures*, 40 (1), 47-56.

Moody R.C., Hernandez R. 1997. Engineered wood products- A guide for specifiers, designers and users. *For. Prod. J. Chapter*, 1: 1-1, 1-39.

Rowlands R.E., Van Deweghe R.P., Laufenberg T.L., Krueger G.P. 1986. Fiber-reinforced wood composites. *Wood and Fiber Science*, 18 (1), 39-57.

Smulski S. (Ed.), Moody R.C., Hernandez R. 1997. *Glued-Laminated Timber in Engineered wood products – A guide for specifiers, designs and users*. Madison, WI: PFS Research Foundation, Chapter 1, 1-39.

Spaun F.D. 1981. Reinforcement of wood with fiberglass, *Forest Prod. J.*, 31(4), 26-33.

Tingley D.A. 1996. The stress-strain relationships in wood and fiber-reinforced laminae of reinforced glued laminated wood beams. Ph.D. Thesis, Oregon State University, USA.

Triantafillou T.C., Deskovic N. 1991. Innovative pre-stressing with FRP sheets: Mechanics of short-term behavior. *Journal of Engineering Mechanics*, 118(5), 1270-1283.

Wang Q., Li F., Chen H., Huang Y., Yang Y., Xu Y. 2010. Experimental study on bending behavior of timber beams reinforced with GFRP sheets. *Building Structure*, 40(5), 52-107.

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.

Yang H., Liu W. 2007. Study on flexural behavior of FRP reinforced glulam beams. *Journal of Building Structures*, 28 (1), 64-71.

Zhang P., Shen S., Ma C. 2011. Strengthening mechanical properties of glulam with basalt fiber. *Advances in Natural Science*, 4(2), 130-133.

Zhuo J. 2009. Research on reinforcement of timber structures with CFRP materials. M.Sc. Thesis, School of Naval Architecture, Ocean and Civil Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, P. R. China.