

## Üre Formaldehit ve Fenol Formaldehit Tutkalı ile Üretilen Lamine Ağaç Malzemelerin Isı İletkenliği Katsayısı Üzerine Emprenye Maddelerinin Etkileri

\*Hamiyet ŞAHİN KOL, Ayhan ÖZÇİFÇİ, Suat ALTUN

Karabük Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü, 78050, Karabük

\*Sorumlu yazar: [hamiyet\\_s@hotmail.com](mailto:hamiyet_s@hotmail.com)

Geliş Tarihi: 15.08.2008

### Özet

Bu çalışmada, Doğu kayını ve sarıçam odun türlerinden üretilen 6-katmanlı lamine ağaç malzemelerin (LAM) ısı iletkenlik katsayısı üzerine çeşitli emprenye maddelerinin etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Lamine levhaların üretiminde üre formaldehit ve fenol formaldehit tutkalları, emprenye maddesi olarak amonyum sülfat ve çinko klorür kullanılmıştır. Kaplamalar basınç-vakum yöntemi ile emprenye edilmişlerdir. Deney örneklerinin ısı iletkenliği testleri ASTM C 1113-99'e göre gerçekleştirilmiştir. Test sonuçlarına göre, emprenye maddeleri LAM'ların ısı iletkenliği katsayısını arttırmıştır. En yüksek ısı iletkenlik katsayısı amonyum sülfat ile emprenye edilen LAM'larda elde edilmiştir. Fenol formaldehit ile üretilen LAM'ların ısı iletkenlik katsayısının üre formaldehit ile üretilenlerden oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Doğu kayını odunundan elde edilen LAM'ların ısı iletkenliği katsayısı sarıçamdan elde edilenlerden daha yüksek çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Lamine ağaç malzeme, Isı iletkenliği katsayısı, Emprenye, Üre formaldehit, Fenol formaldehit

## Effect of Some Chemicals on Thermal Conductivity of Laminated Veneer Lumbers Manufactured with Urea formaldehyde and Phenol formaldehyde Adhesives

### Abstract

The objective of this research was to investigate the effects of impregnation materials on the thermal conductivity of six-layered laminated veneer lumber (LVL) made of beech and Scots pine. Zinc chloride and ammonium sulfate as impregnation chemicals and urea formaldehyde (UF) and phenol formaldehyde (PF) adhesives as bonding agent were used to produce LVLs. The veneers were impregnated by using the vacuum-pressure method. The thermal conductivity test was performed based on ASTM C 1113-99 hot-wire method. Results showed that the impregnation chemicals increase the thermal conductivity of LVLs. As impregnation chemicals, the highest value was obtained with ammonium sulfate. In addition, the thermal conductivity of LVL made of beech was higher than that of LVL made of Scots pine. The thermal conductivity of LVL bonded with PF was absolutely higher than LVL bonded with UF in both wood species.

**Keywords:** Laminated veneer lumber, Thermal conductivity coefficient, Impregnation, Urea formaldehyde, Phenol formaldehyde

### Giriş

Doğal çevreye artan ilgi nedeniyle, ahşap ve ahşaptan elde edilen endüstriyel ürünlerin kullanımında her geçen gün artış görülmektedir. Lamine ağaç malzemeler, masif ağaç malzemeye göre, estetik, ekonomik ve teknolojik bakımdan daha üstün özelliklere sahiptir (Keskin, 2005). Lamine ağaç malzeme ile kereste karşılaştırıldığında, lamine ağaç malzeme, keresteden daha geniş ebatlarda ve daha kusursuz malzeme olarak ön plana çıkmaktadır. Bu üstün özelliklerinden dolayı ülkemizde yaygın olarak mobilya üretiminde kullanılan lamine

malzemeler, bir yapı elemanı olarak da tercih edilmektedir.

Lamine ağaç malzeme TS EN 386 (1999)'ya göre; ahşap kaplamaların özellikle lifleri birbirine paralel olarak yapıştırılmasıyla elde edilen yapı elemanı olarak tanımlanmaktadır. Lamine malzeme yapımında kullanılacak odun hammaddesi son kullanım yerinde dış etkilere karşı dayanıklı olmalıdır. Laminasyonda kullanılan yapıştırıcılar, ağaç malzemedan sonra en önemli etkidir. Yapıştırmada kullanılan tutkal, lamine elemanların kullanım alanında ve direnç özellikleri üzerinde etkili olmaktadır (Uysal ve ark., 2005). Ayrıca

koruma amacıyla gerçekleştirilen emprenye işlemi de lamine ağaç malzemelerin özelliklerini değiştirmektedir.

Isı iletkenliği, ısı transfer hızının belirlenmesinde önemli bir faktör olmasının yanında kurutma modellerinin geliştirilmesinde, tutkal sertleşme hızının belirlenmesi gibi endüstriyel işlemlerde ve materyalin yalıtkanlık kabiliyetinin tahmin edilmesinde kullanılır (Gu ve Zink-Sharp, 2005; Sanyal ve ark., 1991). Isı iletkenliği katsayısı, bir sıcaklık farkı altında, bir materyalin birim kalınlığı boyunca geçen ısı enerjisini ifade eder ve aşağıdaki formülle ifade edilir (Örs ve Keskin, 2008):

$$\lambda = \frac{Q \cdot e}{A \cdot z \cdot dt} \text{ (kcal/mh}^\circ\text{C)} \quad (1)$$

Burada,  $\lambda$ , ağaç malzemenin ısı iletkenlik katsayısı;  $dt = t_2 - t_1$ , iki yüzey arasındaki sıcaklık farkı;  $e$ , ağaç malzemenin kalınlığı;  $A$ , ağaç malzemenin yüzey alanı;  $z$ , zaman;  $Q$ , geçen ısı miktarıdır.

Şimdiye kadar, ağaç malzemenin ısı iletkenliği birçok araştırmalara konu olmuştur (Steinhagen, 1977; Tenwolde ve ark., 1988; Suleiman ve ark., 1999; Rice ve Shepart, 2004; Örs ve Şenel, 1999; Couturier, 1996). Bu çalışmalarda, ağaç malzemenin yoğunluğu, rutubet miktarı, ekstraktif madde miktarı ve sıcaklık arttıkça ağaç malzemenin ısı iletkenliğinin arttığı belirtilmektedir. Ayrıca, liflere paralel yöndeki ısı iletkenliğinin, liflere dik yöndekinden yaklaşık 1.5-2.8 kat fazla olduğu belirtilmektedir (Simpson ve Tenwolde, 1999). Bu çalışmada, lamine ağaç malzemelerin ve emprenyeli lamine ağaç malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları

araştırılmıştır. Bu veriler, LAM'ların sıcak presleme esnasında tutkal sertleşme hızının ve LAM'lardan yapılan döşemelerin ısı izolasyonu değerinin hesaplanmasında ve ayrıca bu malzemelerin ısı değişimine maruz kaldığı diğer alanlarda yararlı olacaktır.

## Materyal ve Metod

### Ağaç malzeme

Ülkemizde ağaç işleri endüstrisinde yaygın olarak kullanılması nedeniyle Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) ve sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odun türleri deney materyali olarak seçilmiştir. Ağaç malzemeler, Safranbolu'daki kereste işletmelerinden tamamen tesadüfi yöntemle temin edilmiş ve seçiminde kerestenin kusursuz olmasına, liflerin düzgün, ardaksız, reaksiyon odunu bulunmayan, mantar ve böcek zararlarına uğramamış olmasına dikkat edilmiştir.

### Emprenye maddeleri

Çalışmada, amonyum sülfat ve çinko klorür emprenye maddesi olarak kullanılmıştır. Emprenye maddelerinin % 5'lik sulu çözeltileri hazırlanmış olup, emprenye çözeltilerinin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

### Tutkal

Çalışmada, 6-katmanlı LAM'ların üretiminde, tutkal olarak üre formaldehit (ÜF) ve fenol formaldehit (FF) tutkalları kullanılmıştır. Tutkallar POLİSAN Kimya San. AŞ. firmasından temin edilmiş olup, özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Emprenye maddelerinin özellikleri

Emprenye Maddeleri	Çözelti Konsantrasyonu(%)	Sıcaklık (°C)	Çözücü	pH		Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	
				E.Ö.	E.S.	E.Ö.	E.S.
Çinko klorür	5	22	Destile su	5.57	5.58	1.070	1.072
Amonyum sülfat	5	22	Destile su	6.43	6.86	1.033	1.033

E.Ö.: emprenye öncesi; E.S.: emprenye sonrası

Tablo 2. Kullanılan tutkalların özellikleri

Tutkal	Yoğunluk (20 °C) (g/cm <sup>3</sup> )	pH (20 °C)	Viskozite (20 °C) (cPs)	Katı madde miktarı (2 h, 120 °C) (%)	Uygulama miktarı (g/m <sup>2</sup> )
ÜF	1.220	8.0	100	55	180-200
FF	1.202	12.5	300	47	180-200

### Deney örneklerinin hazırlanması

Kerestelerin diri odun kısmından, 55×520 mm ölçülerinde radyal yönde biçilen 3.2 mm kalınlığındaki kaplamalar 20±2 °C sıcaklık ve % 65±5 bağıl nem şartlarında değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmişlerdir. Daha sonra örnekler 6 gruba bölünmüş ve her bir grup sonra 3 alt gruba ayrılmıştır. Bu gruplardan ikisi emprenye işlemine tabi tutulmuş diğer grup muamele edilmeden kontrol grubu olarak bırakılmıştır.

Emprenye işlemi için, 710 mm-Hg'lik 15 dakikalık vakum periyodunun ardından, emprenye maddesi çözeltisi kazana verilmiş ve 60 dakika süre ile 3 bar basınç uygulanmıştır. Basınç uygulaması bittikten sonra, atmosfer basıncına dönülerek emprenye maddesi dışarı alınmıştır. Daha sonra 10 dakika süre ile 710 mm-Hg son vakum uygulanmıştır. Sonra örnekler emprenye kazanından alınmış ve ağırlıkları ölçülmüştür. Deney örneklerinin retensiyon miktarı ASTM D1413-07e1 esaslarına göre (kg/m<sup>3</sup>) aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$R = \frac{G \times C}{V} \times 10 (\text{kg/m}^3) \quad (2)$$

Burada, G= T<sub>2</sub>-T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> emprenye sonrası ağırlık (g), T<sub>1</sub> emprenye öncesi ağırlık (g), V örnek hacmi (cm<sup>3</sup>), ve C çözelti konsantrasyonudur (%).

Laminasyon işlemi TS EN 386 esaslarına göre hava kurusu haldeki 3.2 mm kalınlığındaki kaplamalardan 20×55×520 mm boyutlarında ve 6 katmanlı olarak üretilmiştir. Tutkallama işleminden önce kaplamalar 20±2 °C sıcaklık ve % 65±5 bağıl nem şartlarında değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmiştir. Üretici firma önerileri dikkate alınarak tutkal çözeltisi, yüzeylerden sadece birisine fırça ile 180-200 g/m<sup>2</sup> hesabıyla sürülmüştür. Laminasyon işleminde, pres basıncı 2 kg/cm<sup>2</sup>, sıcaklık 120 °C ve süre 20 dakika olarak uygulanmıştır.

### Deney metodu

Preslenen paneller daha sonra ısı iletkenliği testleri için ASTM C 177/C 518 esaslarına uyularak 20×50×100 mm boyutlarında kesilmiş ve 20±2 °C sıcaklık ve % 65±5 bağıl nem şartlarında değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmiştir.

Böylece her bir varyasyon için 5 örnek hazırlanmıştır.

Hava kurusu yoğunluk tayininde TS 2472 esaslarına uyulmuştur. Hava kurusu haldeki örneklerin ağırlıkları (M<sub>12</sub>) ±0.02 g hassasiyetteki analitik terazide tartılıp, boyutları ±0.001 mm hassasiyetteki kumpasla ölçüldükten sonra hacimleri V<sub>12</sub> hesaplanarak, hava kurusu yoğunluklar (δ<sub>12</sub>) aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır:

$$\delta_{12} = M_{12}/V_{12} (\text{g/cm}^3) \quad (3)$$

Isı iletkenliği katsayısı ölçümleri ASTM C1113-99 esaslarına göre gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan Quick Thermal Conductivity-500 ısı iletkenliği test makinesinde PD-11 sensör probu kullanılmıştır.

### Verilerin değerlendirilmesi

Deneylerde elde edilen verilere çoklu varyans analizi uygulanmıştır. Varyans analizine göre gruplar arasındaki farklılıkların önem derecesini belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmıştır.

### Sonuç ve Tartışma

Emprenye maddelerine göre ortalama retensiyon miktarları Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3. Ortalama retensiyon miktarı (kg m<sup>-3</sup>)

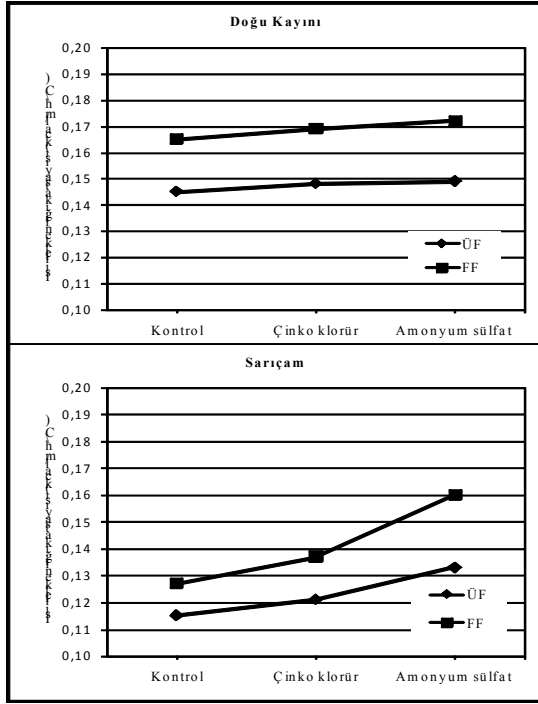
Odun türü	Emprenye maddeleri	
	Amonyum sülfat	Çinko klorür
Doğu Kayını	27.87	24.88
Sarıçam	20.62	21.35

LAM'ların ortalama yoğunlukları Tablo 4'de verilmiştir. LAM'larda en yüksek yoğunluk, Doğu kayını odununda amonyum sülfatla emprenye edilen ve FF ile yapıştırılan örneklerde elde edilmiştir (0.639 g/cm<sup>3</sup>). En düşük yoğunluk, sarıçam odununda ÜF ile yapıştırılan kontrol örneklerinde elde edilmiştir (0.507 g/cm<sup>3</sup>).

Tablo 4. LAM ortalama yoğunlukları (g/cm<sup>3</sup>)

Odun Türü	Tutkal Türü	Emprenye Maddeleri		
		Amonyum sülfat	Çinko klorür	Kontrol
Doğu Kayını	ÜF	0.623	0.618	0.610
	FF	0.639	0.634	0.620
Sarıçam	ÜF	0.626	0.575	0.507
	FF	0.637	0.589	0.510

LAM'ların ısı iletkenlik katsayılarının ortalama sonuçları Tablo 5'de ve Doğu kayını ve sarıçam odunundan üretilen LAM'ların ısı iletkenliği katsayısının, empenye maddesi ve tutkal türüne göre değişimi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Doğu kayını ve sarıçamdan üretilen LAM'ların ısı iletkenlik değerlerinin empenye maddeleri ve tutkala göre değişimi

Tablo 5. LAM'ların ortalama ısı iletkenliği katsayısı değerleri (kcal/mh°C)

Empenye Maddeleri	Tutkal	Doğu Kayını		Sarıçam	
		Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma
Amonyum sülfat	ÜF	0.149	0.003	0.133	0.011
	FF	0.172	0.005	0.160	0.007
Çinko klorür	ÜF	0.148	0.004	0.121	0.005
	FF	0.169	0.006	0.137	0.007
Kontrol	ÜF	0.145	0.002	0.115	0.007
	FF	0.165	0.003	0.127	0.005

Tablo 6. Isı iletkenliği üzerine ağaç türü, empenye maddesi ve tutkal türünün etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Top.	S.D.	Ort. Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi (P≤0.05)
A: Empenye maddesi	0.002	2	0.001	30.924	0.000
B: Tutkal türü	0.006	1	0.006	173.705	0.000
C: Ağaç türü	0.010	1	0.010	284.276	0.000
A * B	0.001	2	0.000	7.170	0.002
A * C	0.001	2	0.001	14.294	0.000
B * C	3.74E-005	1	3.74E-005	1.056	0.309
A * B * C	0.000	2	9.27E-005	2.613	0.084
Hata	0.002	48	3.55E-005		
Toplam	1.284	60			

Çoklu varyans analizi sonuçlarına göre (Tablo 6), Doğu kayını odununun ısı iletkenliği katsayısı sarıçam odunununkinden oldukça yüksek çıkmıştır. Doğu kayını odunundan üretilen LAM'ların ısı iletkenlik katsayısının sarıçam odunundan üretilenlerden yüksek çıkmasının nedeni kayın odununun yoğunluğunun fazla olmasına ve buna bağlı olarak da hava ile dolu hücre boşluklarının az olmasından kaynaklanabilir. Suleiman ve ark. (1999), hava boşluğu arttıkça ısı iletkenliğinin düştüğünü belirtmişlerdir.

Tutkal türünün ısı iletkenliği katsayısı üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir (Tablo 6).

Fenol formaldehit ile yapıştırılan LAM'ların ısı iletkenlik katsayısı üre formaldehit ile yapıştırılanlara oranla oldukça yüksektir (Şekil 1). Fenol formaldehit ile üretilen LAM'ların yoğunluklarının, üre formaldehit ile üretilenlerden daha yüksek olduğu göze çapmaktadır (Tablo 4). Bu nedenle FF ile yapıştırılan LAM'ların ısı iletkenliğinin daha yüksek olması beklenir.

Empenye maddelerinin ısı iletkenliği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli çıkmıştır (Tablo 6).

Emprenye maddelerine göre, en yüksek değer amonyum sülfat ile emprenye edilenlerde, en düşük değer kontrol örneklerinde bulunmuştur. Kayın odununda emprenye maddeleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz olmakla birlikte sarıçam odununda emprenye maddeleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (Tablo 7).

Emprenyeli LAM'ların yoğunlukları kontrol LAM'lara oranla bir miktar daha

yüksektir. Kontrol LAM'larda porozlar yalnızca tutkal ile kısmen doludur ancak emprenyeli LAM'larda ise porozlar hem tutkal hem de emprenye maddesi ile doludur. Sonuçta hava boşluğu daha az olacağından ısı iletkenliği yükselebilir. Ayrıca emprenye maddelerinin etkisinin sarıçam odununda daha belirgin olması bu durumu desteklemektedir.

Tablo 7. Duncan testi sonuçları

Tutkal	Emprenye Maddeleri	Odun Türleri			
		Doğu Kayını	Homojenlik grupları	Sarıçam	Homojenlik grupları
ÜF	Kontrol	0.145	a	0.115	a
	Çinko klorür	0.148	a	0.121	a
	Amonyum sülfat	0.149	a	0.133	b
FF	Kontrol	0.165	a	0.127	a
	Çinko klorür	0.169	a	0.137	b
	Amonyum sülfat	0.172	a	0.160	c

Bu çalışmadaki sonuçlar literatürle uyumluluk göstermektedir. Couturier ve ark. (1996), hücre lümenlerindeki havanın daha iyi bir ısı iletkenliğe sahip maddeyle yer değiştirdiğinde ısı iletkenliğinin artacağını belirtmektedir. Ayrıca, emprenye maddeleri birbiri ile kıyaslandığında, amonyum sülfatla emprenye edilenlerin daha yüksek çıkması kimyasal maddenin kendi ısı iletkenliği değeri veya tutkal ile etkileşimiyle ifade edilebilir.

Doğu kayınından üretilen LAM'ların ısı iletkenlik katsayısı sarıçamdan üretilen LAM'ların ısı iletkenlik katsayısından yüksek çıkmıştır. Fenol formaldehit ile yapıştırılan LAM'ların ısı iletkenliği üretilen formaldehit ile yapıştırılanlardan yüksektir. Ayrıca, kullanılan emprenye maddelerinin ısı iletkenliğini arttırdığı belirlenmiştir. Üretilen LAM'larda, en yüksek ısı iletkenliği değerleri amonyum sülfat, en düşük değerler kontrol örneklerinde elde edilmiştir.

Sonuç olarak, ısı iletkenliğinin istendiği yerlerde, amonyum sülfatla emprenye edilen, fenol formaldehit ile tutkallanan lamine ağaç malzemeler ve izolasyonun arzulandığı yerlerde de üretilen formaldehit ile yapıştırılan emprenye edilmemiş lamine ağaç malzeme önerilebilir.

#### Kaynaklar

ASTM C 177/C 518. 2004. Methods of Measuring Thermal Conductivity, Absolute and Reference Method. ASTM International: West Conshohocken, USA.

ASTM D 1413-07e1. 2007. Standard Test Method for Wood Preservatives by Laboratory Soil-Block Cultures. ASTM International: West Conshohocken, USA.

ASTM C 1113-99. 2004. Standard Test Method for Thermal Conductivity of Refractories by Hot Wire (Platinum Resistance Thermometer Technique). ASTM International; West Conshohocken, USA.

Couturier M.F., George K., Schneider M.H. 1996. Thermophysical properties of wood-polymer composites. Wood Science and Technology, 30, 179-196.

Gu H.M., Zink-Sharp A. 2005. Geometric model for softwood transverse thermal conductivity. Part 1. Wood and Fiber Science, 37 (4), 699-711.

Keskin H., Atar M. 2005. Comparison of some technological properties of (5 layers) wood laminations centered with poplar. G.Ü. Journal of Science, 18 (1), 115-126.

Örs Y., Keskin H. 2008. Ağaç Malzeme Teknolojisi. Gazi Yayın Dağıtım, G.Ü. Yayın No: 352, Ankara.

Örs Y., Şenel A. 1999. Thermal conductivity coefficients of wood and wood-based materials. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23 (1), 239-245.

Rice R.W., Shepard R. 2004. The thermal conductivity of plantation grown white pine (*Pinus strobus*) and red pine (*Pinus resinosa*) at two moisture content levels. Forest Products Journal, 54 (1), 92-94.

Sanyal S.N., Jain V.K., Dubey Y.M., Verma P.C. 1991. A preliminary note on relationship between dielectric properties and thermal conductivity of wood. Journal of Indian Academy of Wood Science, 22 (2), 45-49.

Simpson W., TenWolde A. 1999. Physical Properties and Moisture Relations of Wood. Wood Handbook- Wood as an Engineering Material, Chapter 3, Forest Products Laboratory, Madison, USA.

Steinhagen H.P. 1977. Thermal Conductive Properties of Wood Green or Dry from -40° to +100° C: A Literature Review, General Technical Report FPL-9; USDA Forest Service; Madison, USA.

Suleiman B.M., Larfeldt J., Leckner B., Gustavsson M. 1999. Thermal conductivity and diffusivity of wood. Wood Science and Technology, 33 (6), 465-473.

Tenwolde A., McNatt J.D., Krahn L. 1988. Thermal Properties of Wood and Wood Panel Products for Use in Buildings. INC. DOE/USDA-21697/1; USDA Forest Service, Madison, USA.

TS EN 386. 1999. Yapıştırılmış Lamine Ahşap Performans Özellikleri ve Asgari Üretim Şartları, TSE, Ankara.

TS 2472. 1976. Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler İçin Birim Hacim Ağırlığı Tayini. TSE, Ankara.

Uysal B, Özçifçi A., Kurt Ş., Yapıcı F. 2005. Lamine malzemede su buharının boyutsal değişime etkisi. Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Der., 17 (4), 655-663.