

## DIMENSIONAL STABILITY OF LAMINATED VENEER LUMBERS MANUFACTURED BY USING DIFFERENT ADHESIVES AFTER THE STEAM TEST

Burhanettin UYSAL\*, Şeref KURT

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Safranbolu Meslek Yüksekokulu, Teknik Programlar 78600  
Karabük-TÜRKİYE, e-mail: burhanettinuysal@hotmail.com.

### ABSTRACT

Composite materials manufactured from wood with different adhesives are being used increasingly in the construction of furniture frames and buildings. In this study, LVLs were manufactured from pine (*Pinus sylvestris* L.), poplar (*Populus tremula* L.) and mulberry (*Morus alba* L.) veneers with phenol-formaldehyde (PF), polyvinyl acetate (PVAc), Desmodur-VTKA (D-VTKA) and urea-formaldehyde (UF) adhesives. Dimensional stability of LVL were measured after being exposed to steam for 2,6,12,24,48 and 96 hour-period according to the procedure of the Turkish Standards (TS) 3639. As a result, the highest density was determined for LVL with PF adhesive in all wood species. The highest weight increment as 113 % for poplar control, the highest radial swelling as 7.99 % for mulberry control, the highest tangential swelling as 5.7 % for mulberry LVL with PF and PVAc adhesive were determined after being exposed to 96 h steam. Mulberry wood and VTKA and UF are proposed to manufacture of LVL used in damp condition

**Key Words:** Mechanical properties of adhesives, Composites, Steam

## FARKLI TUTKALLARLA ÜRETİLEN LAMİNA KAPLAMA ELEMANLARIN BUHAR DENEYİ SONRASI BOYUTSAL KARARLILIĞI

### ÖZET

Yapılarda ve mobilya çerçeve konstrüksiyonlarında, farklı tutkallar kullanılarak elde edilen kompozit malzemelerin kullanımı artmaktadır. Bu çalışmada lamine kaplama elemanlar, fenol formaldehit, PVAc, desmodur- VTKA ve üre formaldehit tutkalları kullanılarak, çam (*Pinus sylvestris* L.), kavak (*Populus tremula* L.) ve dut (*Morus alba* L.) odunlarından üretilmiştir. Lamina kaplama elemanların boyutsal stabilitesi, TS 3639 standardına göre 2, 6, 12, 24, 48 ve 96 saat su buharı etkisinden sonra ölçülmüştür. Sonuçlara göre en yüksek yoğunluk, fenol formaldehit tutkalı kullanılarak elde edilen lamina kaplama elemanlarda gözlemlenmiştir. En yüksek ağırlık artışı, % 113 ile kavak ağacı kontrol örneklerinde, kalınlık artışı % 7,99' luk ve liflere dik yöndeki genişlik artışı da % 5,7'lik artış ile dut kontrol örneklerinde, liflere paralel artış ise % 0,58'lik artış ile fenol formaldehit ve PVAc tutkalı kullanılarak dut odunlarından üretilen laminalarda belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Boyutsal stabilite, Lamine kaplama eleman, Tutkallar, Su buharı testi

### 1. GİRİŞ

Rutubet değişikliklerinin sonucu olarak higroskopik materyal olan ağaç malzeme rutubet alır ve rutubet verir. Higroskopik malzeme olan ağaç ve diğer lignoselülozik malzemeler rutubet değişiminde boyutlarını değiştirir. Bir yapı materyali olarak ağaç malzemenin, sürekli rutubete ve çevresel faktörlere maruz kalmasından dolayı oluşan boyutsal değişiklikler, ağaç malzemedeki faydalanılmayı etkileyecektir(1)

Doğal veya işlenmemiş durumdaki ağaç malzemede önemli rutubet değişiklikleri beklendiğinde nisbeten geniş yıllık halkalı ağaçlardaki boyutsal değişikliğe olan yakınlık bilinmelidir. Örneğin, tutkallı yapılabilecek

### 1. INTRODUCTION

Wood is a hygroscopic material, which loses and gains moisture as a result of changes in humidity. Hygroscopic materials such as wood and other lignocellulosic material change their dimensions with fluctuations in relative humidity. Based on the current moisture content of the wood and its surrounding conditions, dimensional changes in wood as a construction material will influence its effectiveness (1).

It should be appreciated that every application of wood in its natural or unprocessed state is affected potentially by the tendency to a relatively large cross-grain dimensional change whenever significant moisture content changes in

birleşmeler istisna, odunun yapısındaki farklı boyutsal değişiklikler, bağların yapısındaki tutunma gücünü etkileyebilir. Lamine ağaç malzemelerin tutkallı birleştirmelerinde bile çekme ve şişme etkisi gösteren parçalar rutubetli ortama bırakılırsa aynı tepkiyi vermezler(2).

Günümüzde, ıslak ve kuru ortamlarda kullanılacak ağaç malzemeye göre sentetik reçineler üretilir. Tutkallar büyük imalathane ve işyerleri için kullanılmaya müsaittir. Araştırma çalışmaları, malzemenin parçalanmasını önlemek ve kaliteyi artırmak için, tutkalların yeni uygulama alanları ve geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır(3).

Sürekli artış gösteren global popülasyondan dolayı, lif levha, lamine ahşap malzeme ve kontraplak gibi ürünlere mühendislikte talep artmaktadır. Lamine ağaç malzemeyi oluşturan her katman, bitişik katmana paralel gelecek şekilde oluşturulur(4). Yapı malzemesi olan lamine ağaç malzemedeki boyutsal kararlılık ve homojenlik olması için, dayanıklı ve dengeli malzemenin kullanılabilmesi istenmektedir(5).

Kontraplak gibi lamine ağaç malzeme panelleri, kullanılacakları yere bağlı olarak farklı sentetik reçineler kullanılarak üretilir. Genellikle fenol formaldehit reçineleri üretilen panellerin dış katmanlarında kullanılır. Melamin-üre formaldehit reçineleri rutubetli ortamlarda değerlendirilecek panellerde kullanılır. Ancak üre formaldehit reçineleri dış ortamlarda fenol formaldehit reçineleri kadar dirençli değildir(6). Cremonini ve arkadaşları, üre formaldehit tutkalının su itici özelliğini artırmak için melamin formaldehit ilavesinin oldukça etkili olacağını göstermişlerdir(7).

Cremonini ve Pizzi(8) üre formaldehit karışımı tutkalların daha iyi yapışma direnci sonucu verdiğini belirtmişlerdir. Güçlü tutkallarla yapılandırılmış lamine ağaç malzemelerin şişmesi ve tutkal türünün şişmeye etkisi çalışılmadı. Bunu bağlı olarak, üre formaldehit (ÜF), desmodur-VTKA (D-VTKA), polivinil asetat (PVAc) ve fenol formaldehit (FF) tutkalları ile yapılandırılmış lamine ağaç malzemenin su buharına maruz kalması sonucu oluşan şişme miktarları karşılaştırılmıştır.

## 2.MATERYAL VE METOT

### 2.1. Ağaç Türleri

Ankara'da bulunan kereste satıcılarından rasgele yöntemle seçilen, sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), kavak (*Populus tremula* L.) ve dut (*Morus alba* L.) ağaçları tercih edilmiştir. Ağaç malzeme özel olarak seçilerek alınmıştır. Buna göre, budaksız, düzgün gövdeli, böcek ve mantar zararlılarına maruz kalmamış olmaları ve özellikle diri odun kısmından seçilmiştir.

### 2.2. Tutkallar

Bu çalışmada aşağıdaki tutkallar kullanılmıştır: PVAc, kokusuz, yanıcı olmayan tutkaldır. Oda sıcaklığında ve hızlı bir şekilde katılaşır. Bu tutkalın uygulanması çok kolaydır, makinelerde kesilmesi durumunda makineye zarar vermez. Ancak, ısı arttıkça PVAc tutkalının mekanik özellikleri azalır. 70°C'nin üstünde yapışma direncini kaybeder. Uygun şartlarda malzemenin sadece bir

service is expected. For example, the performance of every structural connection in wood, with the possible exception of a glued joint, can be affected by different dimensional changes in the members. Even simple glued joints, including those in laminated wood members, show shrinkage or swelling stresses if the pieces put together do not have identical moisture response properties (2).

Today, synthetic resins are being produced according to the wood materials used on dry and damp conditions. They are also convenient for use in the workshops and straight manufacturing. To prevent material scraps and increase the quality, research studies have been carried on the development of glue and its new application areas (3).

The demand for engineered wood products such as oriented strand board, glulam and laminated veneer lumber - LVL has increased due to a constant increase in the global population. The grain of each layer of veneer assembled into LVL runs parallel with each adjacent ply (4). Being a homogeneous and dimensionally stable building material, LVL can be used where strength and stability are required (5).

LVL panels, like plywood, are manufactured using different synthetic resins depending on where they are used. Phenol formaldehyde resins are generally used as a binder for exterior grade panel production. Melamine-urea formaldehyde resins are also used for panels evaluated in damp conditions. However, it was stated that the panel bonded with Urea- formaldehyde resins under exterior conditions was not as resistant as the panel bonded with phenol formaldehyde resin (6). To increase water repellency, the addition of melamine to a urea formaldehyde (UF) glue mixture was found to be quite effective by Cremonini et al. (7),

Cremonini and Pizzi(8) and a better shear strength results were obtained from the urea formaldehyde glue mixture. The effects of adhesive types and swelling of LVL on bonding strength of panels were not studied. Therefore, the aim of this study was to compare swelling of LVL bonded with phenol-formaldehyde (PF), polyvinyl acetate (PVAc), Desmodur-VTKA (D-VTKA) and urea – formaldehyde (UF) adhesives after exposed steam.

## 2.MATERIAL AND METHOD

### 2.1. Wood Species

Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), poplar (*Populus tremula* L.) and mulberry (*Morus alba* L.) were chosen randomly from timber merchants of Ankara, Turkey. A special emphasis was put on the selection of the wood material. Accordingly, non-deficient, proper, knotless, normally grown (without zone line, reaction wood, decay, insect and fungi damages) wood materials were selected.

### 2.2. Adhesives

The following adhesives were used in this experiment: PVAc is an odorless, non-flammable adhesive. It can be used in room temperature and solidifies quickly. The application of this adhesive is very easy and it does not damage the tools during the cutting process. However, mechanical resistance of PVAc adhesive decreases by increasing heat. It loses bonding resistance capacity over

yüzeyine 150–200 g/m<sup>2</sup> tutkal sürülür(9).

TS 3891 standardına göre PVAc tutkalı uygulanmıştır. PVAc tutkalının yoğunluğu, 1.1 g/cm<sup>3</sup>, viskozitesi 16.000 ± 3.000 mPa s, pH değeri 5 ve kül oranı % 3'dür. Pres süresi % 6-15 rutubet derecelerinde, soğuk preste 20 dakika ve 80 °C'deki preste 2 dakika olarak tavsiye edilmektedir. Sıcak pres sürecinden sonra, malzeme normal sıcaklığa gelinceye kadar beklenilir(10). PVAc tutkalı, izmit'te üretim yapan firmadan temin edilmiştir.

Üretici firma tarafından(11), tek komponentli olarak belirtilen Desmodur-VTKA tutkalı mobilya endüstrisinde montaj kademelerinde oldukça fazla kullanılmaktadır. Tek komponentli, serbest çözücülü tutkaldır. Odun, metal, polyester, taş, çam, seramik, PVC ve diğer plastik malzemeleri yapıştırma kullanılır. Uygulamada yüksek rutubetli yerlerde tavsiye edilir. 20 °C ve % 65 rutubette yapıştırma işlemi gerçekleştirilir. Üretici firmanın önerisine göre, tutkal yüzeye 180-190 g/m<sup>2</sup> olarak uygulanır. Tutkalın viskozitesi 25 °C'de 14 000 ± 3000 mpa s, yoğunluğu ise 20 °C'de 1.11 ± 0,02 g/cc ve soğuk hava şartlarına karşı dayanıklıdır.

Üre formaldehit, üre ile formaldehit'in polikondenzasyonu sonucu oluşan bir amin reçinesidir. Üre formaldehitin temel bileşenleri, üre ve formaldehittir. CO (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O içerisinde basınç ve sıcaklık etkisinde karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) ve amonyum'un (NH<sub>3</sub>) sentezidir. Hem Amonyum hem de karbon dioksit doğal gazlardan üretilir. Üre ticari olarak boncuk şeklinde kristalimsi bir yapıdadır.

Formaldehit, metanol (CH<sub>3</sub>OH) içinde metan (CH<sub>4</sub>) ve oksijen'den (O) sentez edilir. Metan, oksijen ve ham petrolden elde edilir. Metanol bir katalizör yardımıyla HCHO ve H<sub>2</sub>'den formaldehit'e dönüşür. Formaldehit rensiz bir gazdır.

Üre ve formaldehit, ÜF reçinesi içinde bir karıştırıcı yardımıyla birleştirilir. Yaklaşık % 65'lik katı içerik ve koloidal çözelti olarak ahşap ürünleri fabrikalarında işleme alınmaktadır. Bu sıvı, kokusuz, hafifçe opak ve kesinlikle yanmazdır. İşlem esnasında, üre formaldehit reçinesi bağları güçlendirilmiş ve polimerize edilmiştir. Üre formaldehit, odun hücrelerinin hidroksil bileşenleri ile tepkime verir. Genellikle tutkal, yüzeye 100–150 gr/m<sup>2</sup> olarak uygulanır. 20 °C'lik soğuk preste pres süresi 3-5 saat, sıcak preste ise süre azalarak 3-5 dakika olmaktadır(11). Üre formaldehitin moleküler yapısı figür 1'de verilmektedir.

70°C. Using 150–200 g/m<sup>2</sup> the adhesive seems to be suitable on condition that it is applied to only one surface (9).

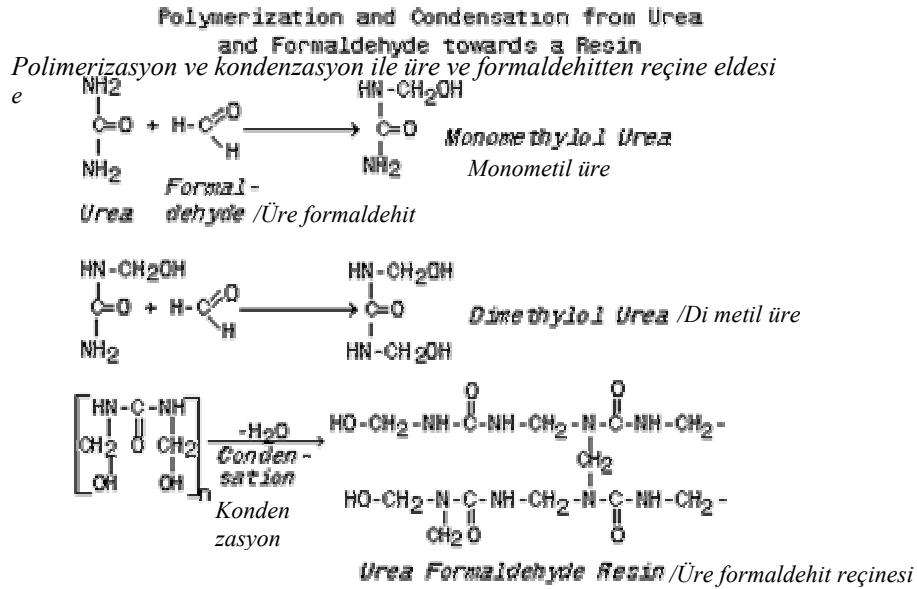
TS 3891 standard procedure was used for applying PVAc adhesive. The density of PVAc was 1.1 g/cm<sup>3</sup>, the viscosity 16.000 ± 3.000 mPa s, and pH value and ash ratio were 5 % and 3 %, respectively. A pressing time of 20 min for the cold process and 2 min and 80°C are recommended with 6–15 % humidity for the joining process. After a hot-pressing process, the materials should be attended until its normal temperature is reached (10). PVAc adhesive was supplied from a producer firm in İzmit, Turkey.

Producer firm (11) describes Desmodur-VTKA adhesive having one component polyurethane based and widely preferred for the assembly process in the furniture industry. It has one component, solvent free adhesive. It is used for gluing wood, metal, polyester, stone, glass, ceramic, PVC and other plastic materials. Its application is specially recommended in locations subject to high-level humidity. Gluing process was carried out at 20 °C and 65 % relative humidity. According to the producer firm's advice, adhesive should be applied 180-190 g/m<sup>2</sup> to the surfaces. Its viscosity was 14 000 ± 3000 mpa s at 25 °C; density 1.11 ± 0,02 g/cc at 20 °C and it has resistance against the cold air.

Urea-formaldehyde is an amine resin made from the polycondensation of urea (carbamide) with formaldehyde. The building blocks for UF are urea and formaldehyde. Urea is synthesized from ammonia (NH<sub>3</sub>) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) under heat and pressure into CO (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O. Both ammonia and carbon dioxide are obtained from natural gas. Urea is a whitish crystal traded in pellet form.

Formaldehyde is synthesized from methane CH<sub>4</sub> and oxygen O into methanol CH<sub>3</sub>OH. Methane is obtained from crude oil and oxygen from the air. With the help of a catalyst, methanol is converted into formaldehyde, HCHO and H<sub>2</sub>. Formaldehyde is a colorless gas.

Urea and formaldehyde are combined in a reactor into UF resin. It is shipped to engineered wood product plants as a colloidal aqueous solution with a solid content of about 65 %. This liquid is odorless, slightly opaque, and, of course, not flammable. When shipped, the UF resin is already polymerized and cross-linked to a certain degree. Urea-formaldehyde reacts with a wooden cell wall hydroxyl. Adhesive is usually applied on the surfaces 100 – 150 gr/m<sup>2</sup>. If cold press is applied at 20 °C, the period of press is 3-5 h. In hot press, this period decreases to 3 – 5 min (11). Molecular structure of urea formaldehyde is given in Figure 1.



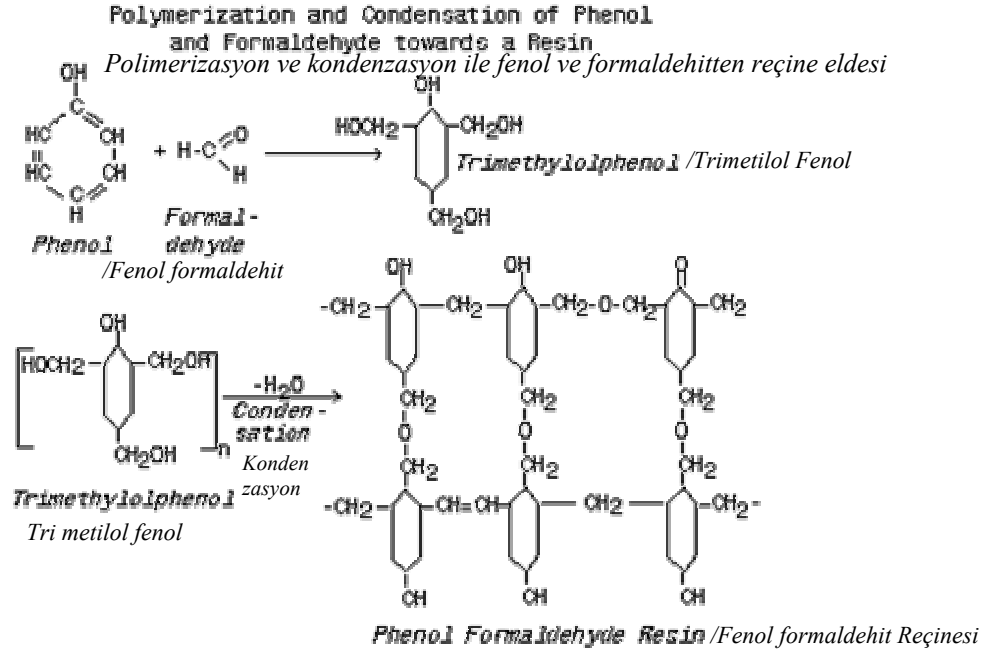
**Figure 1.** Molecular Structure of Urea Formaldehyde (12)  
**Şekil 1.** Üre Formaldehitin Moleküler Yapısı(12)

Fenol formaldehitin temel bileşenleri, fenol ve formaldehittir. Fenol ham petrolden elde edilir. Fenol'un temel bileşenleri toluen ve benzendir. Toluen benzoik asitten dönüştürülür, benzen ise propilen ve cumen'in karışımıdır. Benzoik asit ile birlikte fenolü oluşturur.

Fenol ve formaldehit, FF reçinesi içinde bir karıştırıcı yardımıyla birleştirilir. Lamine ağaç malzeme için % 30'luk, OSB ve HB için % 50'lik katkı içerik ve koloidal çözelti olarak ahşap ürünleri fabrikalarında yaygın olarak işleme alınmaktadır. Bu sıvı, kokusuz, koyu kahverengi ve kesinlikle yanmazdır. İşlem esnasında, fenol formaldehit reçinesi, üre formaldehit reçinesi gibi bağlarını güçlendirmiş ve polimerize edilmiştir. Fenol formaldehit çözeltisi, fenol ve formaldehitin 2.2 mol oranlarında formaldehitin çoğu FF yapısı içinde üç boyutlu kuvvetli bağlar ile sürekli bir şekilde yapılandırılacaktır. Serbest formaldehit, üre formaldehitin pres esnasında bırakıldığı gibi, aynı şekilde pres esnasında bırakılır(12). Fenol formaldehitin moleküler yapısı figür 2'de verilmektedir.

The building blocks for PF are phenol and formaldehyde. Phenol is derived from crude oil. Phenol's principal feedstock is toluene and benzene. Toluene is converted into benzoic acid; benzene is combined with propylene into cumene. Together with benzoic acid it forms phenol.

Phenol and formaldehyde are combined in a reactor into PF resin. It is commonly shipped to engineered wood product plants as a colloidal aqueous solution with a solid content between 30% (for LVL) and 50% (for HB and OSB). This liquid is odorless, of dark-brownish color, and, of course, not flammable. When shipped, the PF liquid, just like the UF, is polymerized and cross-linked to a certain degree. In the PF solution, phenol and formaldehyde are available at a molar ratio of about 2.2. most of the formaldehyde will be bonded permanently within the three-dimensional cross-linked PF network. The free formaldehyde released during the pressing is about the same as the one released during the pressing of UF (12). Molecular structure of phenol formaldehyde is given in Figure 2.



**Figure 2.** Molecular Structure of Phenol Formaldehyde (13)  
**Şekil 2.** Fenol Formaldehitin Moleküler Yapısı(13)

### 2.3. Test Örneklerinin Hazırlanması

Hazırlanan test örnekleri  $20 \pm 2$  °C sıcaklık ve  $65 \pm 3$  % bağıl nemde klimatize edilmiştir. TS EN 3639 esaslarına göre boyutsal stabilite testi için, 5X100X100mm ebatlarındaki kaplamalardan 20x100x100mm boyutlarında 4 katmanlı olarak üretilmiştir(14). Daha sonra TS 5430(15) standardına göre örneklerin yüzeylerine yaklaşık olarak  $180 \text{ g/m}^2$  tutkal uygulanmıştır. Tek katlı sıcak pres kullanılmıştır. Uygulanan pres basıncı  $1.2 \text{ N/mm}^2$ , pres süresi 7 dakikadır. Pres sıcaklığı üretici firmaların tavsiye ettiği sıcaklık derecelerinde, ÜF için  $110^\circ\text{C}$  ve FF için  $140^\circ\text{C}$  olarak uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan test örneğinin şekli figür 3'te verilmektedir.

### 2.3. Preparation of The Test Samples

The test samples which had the rough size were climatized until they were stable at  $20 \pm 2$  °C and  $65 \pm 3$  % relative humidity in climatization room. Later on they were cut 5x100x100 mm and 4 pieces were bonded to get 20x100x100 mm for dimensional stability tests according to the procedure of TS EN 3639 (14). Afterwards, based on TS 5430 (15), the adhesives were applied to the bonding surfaces of samples approximately  $180 \text{ g/m}^2$ . A single daylight press was used for hot pressing. Press pressure and duration were  $1.2 \text{ N/mm}^2$  and 7 min. respectively. Press temperatures were applied as  $110^\circ\text{C}$  for UF and  $140^\circ\text{C}$  for PF adhesive by taking the general curing temperatures recommended by their manufacturers into consideration. The perspective of the test specimen is shown in Fig.3.

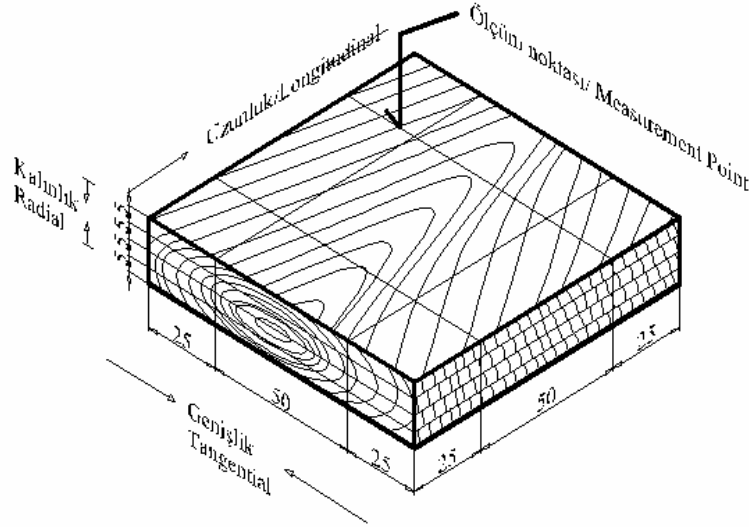


Figure 3. Steam test sample (sizes given in mm)

Şekil 3. Su Buharı Test Örneği (ölçüler mm olarak verilmiştir)

#### 2.4. Deneylerin Yapılışı

Deney örnekleri  $49 \pm 2$  °C sıcaklık ve %  $85 \pm 3$  bağıl nem şartlarını içeren çapı 60 cm, boyu 120 cm olan deney cihazı içerisinde bekletilmiştir. Deney örneklerinin ölçüm yerleri TS 4084 esaslarına göre belirlenmiştir(16).

Deney örnekleri 2, 6, 12, 24, 48, 96 saat süre ile bekletilmiştir. Her bekletme süresi sonunda ölçümü yapılan örnekler bir sonraki aşama için tekrar su buharı etkisine bırakılmıştır. Kalınlık artışı için ölçümler her deney örneğinin dört noktasından yapılmış ve ortalamaları alınarak tek bir değer olarak kaydedilmiştir.

#### 2.5. Ağırlık Artışı

Örneklerin ağırlık alma miktarları (A) TS 3639'da belirtilen esaslara göre % olarak hesaplanmıştır(14).  $\pm 0.01$  hassasiyette analitik terazi kullanılmıştır. Ağırlık artışı, aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$A = (M_{1...9} - M_b) * 100 / M_b \quad (1)$$

Burada;  $M_b$  = Test öncesi ağırlık(g)

$M_{1...9}$  = ölçüm esnasındaki ağırlık(g)

#### 2.6. Kalınlıkça Şişme

Örneklerin kalınlık artışı (G) ise TS 3639 standardına göre aşağıdaki formüle göre yüzde olarak hesaplanmıştır. Ölçümler için  $\pm 0.01$  hassasiyette bir kumpas kullanılmıştır.

$$G = (a_{1...9} - a_b) * 100 / a_b \quad (2)$$

Burada;  $a_b$  = İlk kalınlık (mm)

$a_{1...9}$  = Kalınlık değişimi (mm)

#### 2.7. Liflere Paralel Şişme

TS 3634 standartına göre kalınlıkça şişmede kullanılan formül liflere paralel şişmede de kullanılmıştır(17).

#### 2.4. Execution of the Test

The test samples were kept in test equipment having a 60 cm diameter and 120 cm length and containing  $49 \pm 2$  °C and  $85 \pm 3$  relative humidity. The measurement points of test samples were determined according to the procedure of TS 4084 (16). The test samples were kept 2, 6, 12, 24, 48 and 96 hours. After the each period the test samples were measured, they were reexposed to the steam test. Radial (thickness) swelling was measured from 4 different points and their average value was recorded as a single value.

#### 2.5. Weight Increases

The absorbed water of the samples (A) was calculated as a percentage according to the procedure of TS 3639. An analytic balance of 0.01 sensitivity was used. The amount of absorbed water was calculated by using the following equation.

$$A = (M_{1...9} - M_b) * 100 / M_b \quad (1)$$

Where;  $M_b$  = weight before the test (g)

$M_{1...9}$  = weight on the measurement (g)

#### 2.6. Radial (thickness) Swelling

Radial swelling of the samples (G) is expressed as percent and can be calculated using the following formula according to the procedure of TS 3639. A compass of  $\pm 0.01$  sensitivity was used.

$$G = (a_{1...9} - a_b) * 100 / a_b \quad (2)$$

Where;  $a_b$  = initial thickness (mm)

$a_{1...9}$  = change in thickness (mm)

#### 2.7. Tangential Swelling

The formula of radial swelling is used to determine the tangential swelling according to the procedure of TS 3634 (17).

## 2.8. Liflere Dik Şişme

TS 3634 standartına göre kalınlıkça şişmede kullanılan formül liflere dik şişmede de kullanılmıştır.

## 2.9. İstatistiksel Yöntem

Dört farklı tutkal, üç farklı ağaç türü ve 30 kontrol örneği olmak üzere toplam (4×3×10+30) 150 örnek su buharı testine tabi tutulmuştur. Örnekler arasında fark olup olmadığını saptamak için verilere çoklu varyans analizi uygulanmıştır. Analiz neticesinde aralarında fark bulunan verilere, farkın hangi düzeyde önemli olduğunu saptamak için Duncan testi uygulanmıştır.

## 3. TARTIŞMA VE SONUÇ

### 3.1. Yoğunluk

Farklı tutkallar kullanılarak elde edilen lamine ağaç malzemelerin hava kurusu haldeki yoğunlukları Çizelge 1'de verilmektedir.

**Table 1.** Air Dry Density of LVL and Control Samples (g / cm<sup>3</sup>)  
**Çizelge 1.** Lamine Malzemelerin ve Kontrol Örneklerinin Özgül Ağırlıkları (g / cm<sup>3</sup>)

Wood species Ağaç Türü	Control Kontrol	LVL with PVAc / PVAc'li	LVL with VTKA/ VTKA'lı	LVL with UF/ ÜF'li	LVL with PF PF'li
Scots pine/ Sarıçam	0,52	0,59	0,57	0,63	0,64
Poplar/ Kavak	0,50	0,52	0,54	0,59	0,60
Mulberry/ Dut	0,65	0,67	0,69	0,73	0,74

Lamine ağaç malzemelerin üretiminde kullanılan tutkal ve uygulanan basınç etkisiyle ağaç türlerinin yoğunluğu artmıştır. Bütün ağaç türleri içerisinde en yüksek yoğunluk fenol formaldehit tutkalı kullanılarak dut ağacından elde edilen lamine malzemede (0,749) bulunmuştur.

Lamine ağaç malzemelerin ve kontrol örneklerinin su buharında bekletilmeleri sonucu ağırlık, kalınlık, liflere dik ve paralel yönde genişliklerindeki en yüksek artışlar Çizelge 2'de verilmektedir.

**Table 2.** The highest values of weight increases, radial, tangential, longitudinal swelling (%)  
**Çizelge 2.** Ağırlık, Kalınlık, Liflere Dik Ve Paralel Yöndeki En Yüksek Artışlar(%)

Adhesive Type/ Tutkal Türü	Weight / Ağırlık (%)			Radial Swelling Kalınlık (%)			Tangential Swelling/ Genişlik (Liflere Dik) (%)			Longitudinal Swelling / Genişlik (Liflere Paralel) (%)		
	Mulberry Dut	Poplar Kavak	Pine Sarıçam	Mulberry Dut	Poplar Kavak	Pine Sarıçam	Mulberry Dut	Poplar Kavak	Pine Sarıçam	Mulberry Dut	Poplar Kavak	Pine Sarıçam
PVAc	21,6	39	65	3,51	3,61	2,82	1,91	2,86	3,73	0,58	0,33	0,55
VTKA	29	38	51	5,72	3,02	6,38	2,31	3,78	3,60	0,43	0,27	0,24
UF	21	43	59	3,28	3,36	5,52	2,29	3,57	2,82	0,38	0,27	0,19
PF	25	58	53	3,42	5,64	6,53	2,04	3,47	3,67	0,58	0,30	0,51
Control/ Kon	47	78	113	7,99	2,12	4,32	5,70	4,25	2,67	0,20	0,36	0,54

En yüksek ağırlık artışı (% 113) kavak kontrol örneklerinde görülmüştür. Bunun yanında, lamine ağaç malzemelerdeki en yüksek ağırlık artışı ise PVAc tutkalı

## 2.8. Longitudinal Swelling

The formula of radial swelling is used to determine the longitudinal swelling according to the procedure of TS 3634.

## 2.9. Data Analyses

By using four different types of adhesive, three wood species and thirty control samples as parameters, a total of 150 samples (4×3×10+30) were prepared for the steam test. Multiple variance analysis was used to determine the differences among the LVL. It was determined by the Duncan test that there is a significant difference among the groups.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1. Density

Air-dry density of LVL produced by using different adhesives is indicated in Table 1.

The density of wood species increased by the effects of adhesives and the pressure applied on the production of LVL. The highest density (0,749) was determined for mulberry LVL with PF adhesive in all wood species.

The highest values of weight increases, radial, tangential, longitudinal swelling of LVL and the control samples after being exposed to the steam test are given in Table 2.

The highest weight increment (113 %) was determined in poplar control samples. Also, poplar LVL with PVAc gave the highest weight increment as (59 %), in level LVL

kullanılarak kavak odunundan elde edilen örneklerde ( % 59) görülmüştür. En yüksek kalınlık ( % 7,99) ve liflere dik yöndeki genişlik artışı ( % 5,70) dut kontrol örneklerinde ve en yüksek liflere paralel yöndeki genişlik artışında (%0,58) FF ve PVAc tutkalları kullanılarak dut ağacından üretilen lamine ağaç malzemelerde bulunmuştur.

Lamine ağaç malzemelerde en yüksek kalınlık artışı, % 6,53 ile FF tutkalı kullanılarak kavak ağacından üretilen lamine malzemede, liflere dik yöndeki en fazla genişlik artışı % 3,78 ile VTKA tutkalı kullanılarak çam ağacından elde edilen ve liflere paralel yöndeki en fazla genişlik artışında % 0,58 ile FF ve PVAc tutkalları kullanılarak dut ağacından üretilen lamine ağaç malzemelerde bulunmuştur

Su buharı testi sonucu elde edilen verilere uygulanan çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 3'te verilmektedir.

**Table 3.** The Multy Variance Analyze Connected with Weight Increase, Radial, Tangential, Longitudinal Swelling of LVL and Control Samples After being exposed to Steam  
**Çizelge 3.** Su Buharı Ortamında Bekletme Süresinin Lamine ve Masif Kontrol Örnekler Üzerinde Ağırlık, Genişlik ve Kalınlığa Etkisine İlişkin Çoklu Varyans Analizi

Source Varyans Kaynağı	Type III Sum of Squares/ Kareler Toplamı	Df Serbestlik derecesi	Mean Square Kareler Ortalaması	F F Değeri	Sig. P Değeri
Corrected Model	59,997	419	,143	135,575	,000
Uygulanan Model					
Factor A	,559	2	,279	264,464	,000
Factor B	9,255	6	1,542	1460,402	,000
Factor C	1,424	4	,356	337,107	,000
Factor D	16,621	3	5,540	5245,640	,000
A * B	,835	12	6,959E-02	65,886	,000
A * C	,122	8	1,531E-02	14,492	,000
B * C	,768	24	3,199E-02	30,290	,000
A * B * C	,197	48	4,110E-03	3,891	,000
A * D	1,517	6	,253	239,383	,000
B * D	19,110	18	1,062	1005,181	,000
A * B * D	2,302	36	6,395E-02	60,553	,000
C * D	3,236	12	,270	255,360	,000
A * C * D	,996	24	4,149E-02	39,287	,000
B * C * D	2,299	72	3,193E-02	30,232	,000
A * B * C * D	,756	144	5,248E-03	4,969	,000
Error/ Hata	3,992	3780	1,056E-03		
Total/Toplam	75,396	4200			
Corrected Total	63,989	4199			
Düzeltilmiş Toplam					

Factor A = Wood species (pine , poplar and mulberry)/ Ağaç Türü (Dut, Kavak, Çam)

Factor B = Exposing time (Control, 2, 6, 12, 24, 48, 96 h)/ Bekleme Süresi (Kontrol, 2, 6, 12, 24, 48, 96 saat)

Factor C = Adhesive type (PVAc, VTKA, UF and PF)/ Tutkal Türü ( Masif Kontrol, PVAc, VTKA , Üre Formaldehit, Fenol Formaldehit )

Factor D = Measurement (Weight increase, radial, tangential and longitudinal swelling)/ Ölçüm ( Ağırlık, Kalınlık, Genişlik Liflere Dik, Liflere Paralel)

Varyans analizi sonucuna göre, ağaç türünün, tutkal türünün ve su buharında bekletme süresinin ağırlık, kalınlık, liflere dik ve paralel yöndeki genişlik artışına etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Faktörler

The highest increment in radial (7,99 %), tangential swelling (5,70 %) for mulberry control samples and longitudinal swelling (0,58 %) was determined in mulberryLVLs with PVAc and PF adhesives. The highest radial swelling as 6.53 % for poplar LVL with PF, the highest tangential swelling as 3.78 % for pine LVL with VTKA and the highest longitudinal swelling as 0.58 % for mulberry LVL with PF and PVAc adhesive were determined.

The multy variance analyze applied on the data obtained from the steam test is given in Table3.

According to the variance analysis, the effects of wood species, adhesive type and exposing time on weight increase, radial, tangential and longitudinal swelling were statistically significant. The interaction between factors



arasındaki etkileşim istatistiksel olarak önemlidir ( $p \leq 0.05$ ). Farklılığın hangi uygulamalarda önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 4'de verilmiştir.

was statistically identical ( $p \leq 0.05$ ).

The mean values of the variation sources that were found to be significant were compared using Duncan's test and the results are summarized in Table 4.

**Table 4.** Duncan Test Results of LVL ( $p \leq 0.05$ )\*  
**Çizelge 4.** Laminelerin Duncan Testi Sonuçları ( $p \leq 0.05$ )\*

Source of Variance/ Varyans kaynağı	Weight increase/ Ağırlık artışı (g)	Radial swelling Kalınlık artışı (mm)	Tangential swelling Liflere dik artış (mm)	Longitudinal swelling Liflere paralel artış (mm)
	x	x	x	x
<b>Wood Type/ Ağaç Türü</b>				
Mulberry/ Dut	9,87 a	2,64 a	1,54 a	0,21 a
Scotch Pine/ Çam	17,83 b	2,83 b	1,61 a	0,27 b
Poplar/ Kavak	20,26 c	3,27 c	1,91 b	0,28 b
<b>Adhesive Type/ Tutkal Türü</b>				
UF <sup>1</sup>	12,45 a	2,74 c	1,32 a	0,17 a
PF <sup>2</sup>	12,82 a	4,53 e	1,41 a	0,33 c
PVAc <sup>3</sup>	13,24 a	1,69 a	1,43 a	0,27 b
VTKA <sup>4</sup>	12,30 a	2,40 b	1,45 a	0,18 a
Control/Kontrol	29,11 b	3,21 d	2,83 b	0,28 b
<b>Exposing Time (h)/Bekleme Süresi</b>				
Kontrol /Kontrol	0 a	0 a	0 a	0 a
2 h	2,94 b	1,6 b	0,6 b	0,15 b
6 h	5,52 c	2,5 c	1,23 c	0,22 c
12 h	8,82 d	3,2 d	1,70 d	0,27 d
24 h	16,98 e	3,75 e	2,16 e	0,35 e
48 h	27,94 f	4,38 f	2,79 f	0,35 e
96 h	49,68 g	4,95 g	3,24 g	0,38 e

\* The mean values marked with the same symbol are statistically identical

<sup>1</sup>urea –formaldehide, <sup>2</sup>Phenol-formaldehide, <sup>3</sup>polyvinyl acetate, <sup>4</sup>Desmodur-VTKA (D-VTKA) adhesives

\* Aynı semboldeki ortalama değerler arasında istatistiksel olarak fark yok

<sup>1</sup>Üre –formaldehit, <sup>2</sup>Fenol-formaldehit, <sup>3</sup>polyvinil asetat, <sup>4</sup>Desmodur-VTKA (D-VTKA) tutkalları

En az ağırlık artışı lamine dut örneklerinde bulundu bunun yanında en az kalınlık artışı, en az liflere dik ve paralel yönde genişlik artışı yine dut örneklerinde gözlemlenmiştir. En yüksek ağırlık, kalınlık, liflere dik ve liflere paralel yönde genişlik artışı kavak ağacı örneklerinde görülmüştür.

Tutkal türleri ağırlık ve liflere dik yönde genişlemede benzer sonuçlar verdi fakat VTKA tutkalı en az ağırlık ve üre formaldehit tutkalı da liflere dik yönde en az genişlik artışı göstermiştir. Kalınlık, liflere dik ve liflere paralel yöndeki genişlik artışı kontrol örneklerinde de görülmüştür. Bütün tutkallar şişme miktarını azaltmaktadır.

Duncan testi sonucuna göre en yüksek değer 96 saat su buharında bekletme sonucu ölçülmüştür.

Test örneklerindeki bu ortalamalar lif doyunluk noktasına yakın değildir. Eğer rutubet lif doyunluk noktasının üzerinde ise hücre boşluklarındaki serbest su daha fazla genişlemeye katkı sağlamaz.

Mulberry wood was found the most successful LVL material with the least weight increase, also mulberry wood showed the least radial swelling, the least tangential swelling and the least Longitudinal swelling. The highest values of weight increase, radial swelling, tangential swelling and longitudinal swelling were measured in poplar wood.

Adhesives gave similar values in the weight increase and in tangential swelling, but VTKA adhesive was found the most successful material with the least weight increase and UF adhesive was found the most successful in the tangential swelling. Radial, tangential and longitudinal swelling were measured in control samples. All adhesives decreased the value of swelling.

According to the Duncan test, the highest values were determined after 96 h. This means that the test samples did not reach the fiber saturation point. If the moisture is beyond the fiber saturation point, the free water in the void structure does not contribute to further expansion.

#### 4. SONUÇ

Üretilen lamine ağaç malzemelerdeki en yüksek yoğunluk artışı, fenol formaldehit tutkallı lamine ağaç malzemede görülmüştür. En yüksek yoğunluk  $0.74 \text{ g/cm}^3$  ile fenol formaldehit tutkallı kullanılarak elde edilen lamine ağaç malzemede bulunmuştur.

En yüksek değerler, 96 saat su buharında bekleme sonucu elde edilmiştir. En yüksek ağırlık artışı (% 113) kavak ağacı kontrol örneklerinde, fakat en yüksek kalınlık (% 7,99), en yüksek liflere dik yönde genişlik (% 5,7) ve en yüksek liflere paralel yönde genişlik (% 0,58) olarak dut kontrol örneklerinde bulunmuştur. Dut ağacından elde edilen sonuçlar diğer ağaçlardan elde edilen sonuçlardan daha yüksektir. Çünkü, yoğunluğu daha fazla olan malzeme hücre içerisine daha fazla rutubet alarak daha fazla şişer. Teğet hücre çeperleri radyal hücre çeperlerinden daha kalın olduğu için teğet yöndeki genişleme radyal yöndeki genişlemeden daha fazladır. Teğet yöndeki genişleme oranı % 8-12, radyal yönde % 4-6 ve önemli bir özellik olarak ta liflere paralel yönde hacimsel genişleme meydana gelmemesidir(18).

Dut ağacından elde edilen lamine ağaç malzemelerdeki ağırlık artışı kontrol örneklerindeki ağırlık artışlarından daha düşüktür. Düşükten yükseğe doğru ağırlık artışı oranları, % 21 ile üre formaldehit tutkallı lamine malzemelerde, % 29 ile VTKA'lı lamine malzemelerde gözlemlenmiştir. Sarıçam ağacından, VTKA tutkallı kullanılarak elde edilen lamine ağaç malzemede % 38,0 ve fenol formaldehit tutkallı kullanılarak elde edilen lamine ağaç malzemede % 57,80 olarak bulunan bu değerler kontrol örneklerinden daha düşük değerlerdir.

Kavak ve sarıçam odunundan elde edilen lamine malzemelerdeki kalınlık artışı, kontrol örneklerinden daha yüksek bulunmuştur. Sarıçam odunundan elde edilen lamine malzemelerde, yüksekte düşüğe doğru kalınlık artışları, fenol formaldehit tutkallı ile % 5,64, VTKA tutkallı ile % 3,02 olarak bulunmuştur. Kavak ağacından, fenol formaldehit tutkallı kullanılarak elde edilen lamine ağaç malzemede % 6,53 ve PVAc tutkallı kullanılarak elde edilen lamine ağaç malzemede % 2,82 olarak bulunan bu değerler kontrol örneklerinden daha yüksek değerlerdir. Fakat dut ağacı kontrol örneklerindeki kalınlık artış değeri, dut ağacı kullanılarak elde edilen lamine malzemelerdeki değerlerden daha yüksek bulunmuştur. Dut ağacı kontrol örneklerinde % 7,99 olan kalınlık artış değeri, dut ağacından elde edilen lamine malzemelerdeki artıştan daha yüksek bulunmuştur.

Sarıçam ve dut odunundan elde edilen lamine malzemelerdeki liflere dik yöndeki genişlik artışı kontrol örneklerinden daha düşüktür. Sarıçam odunundan elde edilen lamine malzemelerde, yüksekte düşüğe doğru liflere dik yöndeki genişlik artışları, VTKA tutkallı ile % 3,78, PVAc tutkallı ile % 2,86 olarak bulunmuştur. Dut ağacından, PVAc tutkallı kullanılarak elde edilen lamine ağaç malzemede % 1,91 ve VTKA tutkallı kullanılarak elde edilen lamine ağaç malzemede % 2,31 olarak bulunan bu değerler kontrol örneklerinden daha düşük değerlerdir. Fakat, kavak ağacı kontrol örneklerinde % 2,67 olan liflere dik yöndeki genişlik artış değeri kavak ağacından elde edilen lamine malzemelerdeki değerden daha düşüktür.

#### 4. CONCLUSION

After manufacturing of LVL the highest density increment was determined in LVLs with PF adhesive. The highest density was measured in Mulberry LVL with PF adhesive as  $0.74 \text{ g/cm}^3$ .

The highest values were determined in all samples after being exposed to 96 h steam. The highest increment in radial (7.99 %), tangential (5.7 %) and longitudinal (0.58 %) swelling was determined in control mulberry but the highest weight increment (113 %) was determined in poplar. The values of mulberry were determined higher than the values of the other wood species. Because, the higher the density is, the more swelling occurs when moisture is added to the cell wall. Tangential cell wall is thicker than the radial wall, more tangential swelling occurs than radial swelling. Volumetric tangential swelling is in the range of 8-12 %, radial 4-6 %, and, in most species, no swelling occurs in the longitudinal direction (18).

The values of weight increase of mulberry wood LVL were lower than the values of weight increase of control samples. The range from higher to lower weight increase was , 21.0 % LVL with UF and 29.0 % LVL with VTKA. The values of scots pine LVL were lower than the values of control samples as follows 38.0 % LVL with VTKA and 57.80 LVL with PF.

In radial swelling, the values of pine and poplar LVL were higher than the values of control samples. The range from higher to lower radial swelling of pine LVL was 5.64 % LVL with PF, 3.02 % LVL with VTKA. The values of poplar wood LVL were 6.53 % LVL with PF and 2.82 % LVL with PVAc higher than the values of the control samples. But, radial swelling, the values of mulberry wood control samples were higher than the values of mulberry LVL. The values of mulberry wood control samples 7.99 % were higher than the values of mulberry wood LVL.

In tangential swelling, values of pine and mulberry LVL were lower than control samples. The range from higher to lower radial swelling of pine LVL was 3.78 LVL with VTKA and 2,86 % LVL with PVAc. The values of mulberry wood LVL were 1.91 % LVL with PVAc and 2.31 LVL with VTKA lower than control samples. But, tangential swelling, the values of poplar wood control samples 2.67 % were lower than the values of poplar wood LVL.

The values of longitudinal swelling scots pine and poplar wood control samples were higher than the values of the LVL , but except for poplar LVL with PVAc. But, longitudinal swelling, the values of mulberry wood control samples 0.17 % were lower than the values of poplar wood LVL.

Consequently, LVLs manufactured by using PVAc, VTKA, UF and PF have more dimensional stability than natural wood. Mulberry wood and VTKA and UF are proposed to manufacture of LVL used in damp condition.

Sarıçam ve kavak odunu kontrol örneklerinde liflere paralel yöndeki genişlik artış değeri, PVAc tutkallı kullanılarak kavak ağacından elde edilen lamineler hariç, diğer lamine malzemelerden daha yüksek bulunmuştur. Fakat, dut ağacı kontrol örneklerinde % 0,17 olan liflere paralel yöndeki genişlik artış değeri kavak ağacından elde edilen lamine malzemelerdeki değerden daha düşüktür.

Sonuç olarak, PVAc, VTKA, ÜF ve FF tutkallı kullanılarak elde edilen lamine malzemeler, masif ağaçlardan daha iyi boyutsal stabiliteye sahiptir. Islak şartlarda kullanılacak lamine ağaç malzemelerin üretiminde, dut ağacı ile VTKA ve ÜF tutkallı önerilir.

#### KAYNAKLAR/ REFERENCES

1. Beekman, W. B., "Elsevier's Wood Dictionary I, Commercial and Botanical Nomenclature of World-Timbers Sources of Supply", *Elsevier Publishing Company, INC.*, New York
2. Bozkurt, Y., *Ağaç Teknolojisi, İ. Ü., Orman Fakültesi*, Yayın No: 3403- 380, İstanbul, 1986
3. Örs, Y., Özçifçi, A. and Atar, M., "Klebit 303, Kleiberit 305.0 ve Süper Lackleim 308 Tutkallarının Yapıma Dirençleri", *Türk J Agric For* 23 (3): 757-761 (1999).
4. Badwin, R. F., *Plywood and Veneer-Based Products: Manufacturing Practices, Miller Freeman Inc.*, San Francisco.
5. Colak, S. Aydın, I. Demirkır, C. and . Colakoğlu, G., "Some Technological Properties of Laminated Veneer Lumber Manufactured from Pine (*Pinus sylvestris* L.) Veneers with Melamine Added- UF Resins", *Türk J Agric For* 28 (1):109-113 (2004)
6. Pizzi, A., "Wood Adhesives", *Chemistry and Technology*, Vol. 1., Marcel Dekker, New York, 1993.
7. Cremonini, C. Pizzi, A. and Toro, C., "Improved waterproofing of UF Plywood Adhesives by Melamine Salts as Glue Mix Hardeners: System Performance Optimization", *Holzforschung und Holzverwertung*, 49: 11-15 (1997).
8. Cremonini, C. Pizzi, A., "Field Weathering of Plywood Panels Bonded with UF Adhesives and Low Proportions of Melamine Salts", *Holz als Roh-und Werkstoff*, 57: 318 (1999).
9. Ors Y. *Kama Disli Birlesmeli Masif Ağaç Malzemedede Mekanik Özellikler*, Yardımcı Ders Kitabı, *K.T.Ü. Orman Fakültesi*, Trabzon, 29-34 (1987).
10. TS 3891. *Yapıştırıcılar-Polivinilasetat Emilsiyon*, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1983.
11. Producer Firm Text, Polisan Dilovası-Gebze, Bolu, Turkey 1999.
12. Colakoğlu, G., "Wood Adhesives", *Karadeniz Technical University, Forest Industry Engineering*, 32-58 (1998).
13. Sellers, T., *Plwood and Adhesive Technology*, *Marcel Dekker Inc.* Newyork-Basel, s. 661, 1985
14. TS EN 3639 Odun Lifi Levhaları-Sert ve Orta Sert Levhalar Su Emme ve Kalınlığına Şişmenin Tayini, Ankara, 1981.
15. TS 5430. Ağaç Endüstrisinde Kullanılan Yapıştırıcıların Yapıştırma Mukavemetine Göre Sınıflandırılması, Ankara, 1988.
16. TS 4084 Odunda Radyal ve Teğet Doğrultuda Şişmenin Tayini, Ankara, 1983.
17. TS 3634 Odun Lifi Levhaları-Deney Parçası Boyutlarının Ölçülmesi, Ankara, 1981.
18. Rowell, R. M., "Chemistry of Solid Wood", Advances in Chemistry Series No.207, *American Chemical Society*, Washington, DC, (1984).