

## Türk sarıçamından lamine ahşap kirişlerin mekanik özellikleri

Rengin BECEREN ÖZTÜRK\*, Nihal ARIOĞLU

İTÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 34437, Taşkışla, Taksim, İstanbul

### Özet

*Türkiye’de yeni yeni tanınmaya başlayan, Avrupa ve Amerika’da çok uzun yıllardır yaygın olarak kullanılan lamine ahşap teknolojisinde kiriş üretiminin yapılabilirliğinin belirlenmesi esas amaçtır. Bu amaca ulaşabilmek için aşağıdaki yöntem izlenmiştir. Bu teknolojinin yaygın olarak kullanıldığı ülkelerdeki üretim incelenmiş ve kendini çabuk yenileyebilen kozalaklı çam türlerinin işlendiği görülmüştür. Bu belirlemeden sonra Türkiye’de yetişen kozalaklı çam türleri araştırılmış ve amaç doğrultusunda Sarıçam’ın ana materyal olarak kullanılmasının uygunluğuna karar verilerek, farklı tutkallarla kirişler üretilmiştir. Üretilen kirişlerin mekanik özelliklerinin değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Sonuçlara bağlı olarak Türkiye’de üretiminin yapılıp yapılamayacağı ve uygulamaya yönelik öneriler sunulmuştur.*

**Anahtar Kelimeler:** Farklı tutkallarla üretim, lamine ahşap kiriş, mekanik özellikler, sarıçamın mukavemeti.

### Mechanical properties of laminated wood beams produced from Turkish *pinus silvestris*

#### Abstract

*In today’s world, choosing the right material without any harmful effect and with high energy efficiency is an important decision to take for maintaining balance of natural environment. Sustainability of used materials and architectural design are highly important factors for satisfying the natural balance. Considering this wood is appeared as the best material with its uniqueness and special sustainability properties. With developing technologies all around the world, small slices of glued-wood can be used for many purposes, as creating wide-broad areas with produced materials in various kinds of shapes, avoiding wastage of wood. This new usage form of wood is called as glued-layered (laminated) wood in today’s design world. In this study, the main objective is to research and analyze the possibility of beam production by laminated wood technology that had already been used in Europe and in America for many years, but is recently known in Turkey. For achieving this, findings obtained from studies of main user countries had been analyzed and this revealed that especially pine species have been chosen for this production. Afterwards pine species in Turkey have been analyzed and found out that pinus silvestris is the appropriate choice and had been successfully used with many types of glues. Performance values of produced beams had been observed experimentally. As a result, suggestions on production availability and implementation techniques in Turkey had been given.*

**Keywords:** Production with different glue, laminated wood beam, mechanical properties, resistance of pinus silvestris.

---

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Rengin BECEREN ÖZTÜRK. renginb@hotmail.com; Tel: (533) 361 56 56.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Mimarlık Fakültesi’nde tamamlanmış olan "Türkiye’de yetişen sarıçamdan üretilen lamine ahşap kirişlerin mekanik özelliklerinin araştırılması" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 23.03.2005 tarihinde dergiye ulaşmış, 25.05.2005 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.06.2007 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Giriş

İnsanın yaşamında ve kültürünün gelişme sürecinde ahşap ve ahşaptan yapılan ürünler eskiden beri ve günümüzde önemli bir yer tutmaktadır. Ahşabın moleküler, kimyasal, mikroskopik özellikleri onun çok çeşitli amaçlar için kullanılabilmesini sağlamıştır. Bu özelliklerinin yanı sıra lifli bir yapıya sahip oluşu mühendislik kullanımlarda yüksek mukavemet göstermesine ve esnek oluşuna yol açmıştır. Ayrıca izolasyon özelliği açısından çoğu zaman tercih edilme sebebi olmuştur (Duer, 1973).

Ağaç malzemenin yüzlerce yıllık kullanım sürecine göre kıyaslama yapılırsa son zamanlarda sayılabilecek bir zaman diliminde, konstrüksiyon endüstrisine alternatif olarak çelik, alüminyum, beton gibi malzemeler girmiş ve birçok alanda başarıyla kullanılmaya başlanmıştır. Bu durum kullanıcılar için geniş bir yelpazede sunulan malzeme çeşitliliğini getirmiştir (Erdin, 2003).

Geçmişte tüketicilerin yapı malzemesi seçimini etkileyen kriterler “malzemenin uygunluğu”, “fiyatı”, “sağlanabilme kolaylığı” ve görünüşü” olurken günümüzde “enerji verimi yüksek” ve “çevre üzerinde olumsuz etkisi olmayan” malzemelerin seçilmesi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu eğilimlere dayanarak bilim adamları son yıllarda bir ürünün çevre üzerindeki toplam etkisini ölçen “Yaşam Döngüsü Analizlerini (Life-Cycle Analysis)” geliştirmişlerdir (Erdin, 2003).

Doğal dengenin korunmasını sağlayan malzemelerin seçilmesinde gerek mimari tasarımın, gerekse kullanılan malzemelerin sürdürülebilirliği son derece önemlidir. Bu durumda sürdürülebilir bir malzeme olan ağaç alternatifi olmayan bir yapı malzemesi olarak ortaya çıkmaktadır. Çünkü ağaç malzeme doğal, organik, çevre için antitoksit, geri kazanımlı, biyolojik olarak parçalanabilir bir hammaddedir. Bu özellikleri ile küresel ısınma tehdidine karşı aranan alternatif maddelerin başında gelmektedir. Yani ağaç malzemeye alternatif olan malzemelerin kullanılması tercih edildikçe, dünyanın aşırı ısınmasına etkinin devam edeceği

unutulmamalıdır. Diğer önemli bir nokta ise, ağaç malzemenin bütün doğal kaynakların aksine, yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesidir. Ancak bu durumda önemli olan tüketimden daha çok yeni dikimlerin yapılabilmesidir (Erdin, 1995).

İnsanın yeryüzünde akıllı bir canlı olarak varolması ve ahşabı kendi barınma yerlerini yapmak üzere kullanmaya başlamasıyla birlikte ahşap yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. İnsanoğlu ahşabı ilk olarak ağaç kovuklarının içine girerek barınmak üzere kullanmıştır. Daha sonra ağaç kütüklerini üst üste bağlayarak taşıyıcı duvarlar elde etmiş ve ahşabı “ahşap yığma sistem” olarak kullanmayı tercih etmiştir. Ancak bu sistemle organik bir malzeme olan ağacın yenilenmesinin çok uzun zaman aldığını fark edince ağacın daha ekonomik kullanılmasını sağlayan “ahşap iskelet sistemlerini” keşfetmiş ve kullanmıştır (Baker, 1967).

Geleneksel ahşap kullanımını daha çok ormanlık alanlara yakın yerleşimlerde görmek mümkün olmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte ahşap küçük parçaların tutkal yardımıyla yapıştırılmasıyla ahşaptan en ufak parçasına kadar yararlanmayı sağlayan, daha geniş açıklıklar geçebilen ve istenilen her türlü şeklin verilebildiği çağdaş bir malzeme olarak bu günün tasarım dünyasında önemli bir yere sahip olan tutkallı tabakalı (lamine) ahşap malzeme olarak kullanılmaktadır. Tutkallı tabakalanmış (lamine) ahşap, iki veya daha çok kerestenin, lifleri birbirine ve üretilecek elemanın uzunluk eksenine paralel gelecek şekilde, basınç altında yapıştırılmasıyla elde edilen bir ahşap yapı elemanıdır. Lamine ahşap teknolojisi tipik bir ön yapı teknolojisinin avantajlarını taşımasının yanında bağımsız yapı elemanlarının inşaat sahasında çelik ve betonarme gibi başka yapı elemanları ile birlikte kullanılmasına da olanak sağlamaktadır.

Bu teknoloji’de, genellikle Douglas Fır, Southern Pine ve Hem Fır gibi yumuşak ağaçlar kullanılmaktadır. Teknolojinin en büyük avantajı ahşabın doğal boyundan çok daha uzun yapı elemanı üretilmesidir. Bunun dışında kısa ve küçük artık

kereste parçalarından büyük ölçülü yapı elemanı üretilmesi kereste kaynaklarının daha verimli kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır.

Üretiminde çok çabuk yenilenebilir bir ağaç olan kozalaklı çam türleri kullanılmaktadır. İstenilen şeklin verilebilmesi ve diğer yapı malzemeleri ile kullanılabilmesi mimari tasarım zenginliğini arttırmaktadır. Yapı fiziği açısından ise yangın direnci en yüksek olan, nefes alan kendini yenileyebilen, iyi bir ısı yalıtımı sağlayan, akustik özelliği yüksek bir malzemedir.

Bu teknoloji yapının tüm kaba ve ince bitirme süreçlerinde diğer tüm yapı elemanlarıyla çok iyi bir birleşme ve tamamlama özelliği gösterdiği için tasarım açısından mimarlık dünyasında kendisine çok ayrıcalıklı bir yer edinmiştir.

Türkiye’de ancak yeni yeni tanınmaya başlayan, Avrupa ve Amerika’da çok uzun yıllardan beri yaygın olarak kullanılan “Tutkallı Tabakalanmış (Lamine) Ahşap Teknolojisinin” giriş üretiminde uygulanabilirliğinin belirlenmesi çalışmanın esas amacıdır.

Bu amaca ulaşabilmek için aşağıdaki yöntem izlenmiştir. Lamine ahşap teknolojisinin kullanıldığı ülkelerdeki yapı elemanlarının üretimi incelenmiş ve kendini çabuk yenileyebilen kozalaklı çam türlerinin kullanıldığı görülmüştür. Bu belirlemeden sonra, ülkemizde yetişen kozalaklı çam türleri araştırılmış ve amaç doğrultusunda Sarıçam’ın ana materyal olarak kullanılmasının uygun olduğuna karar verilmiş; farklı tutkallar kullanılarak kirişlerin üretimi yapılmıştır. Üretilen kirişlerin mekanik özelliklerinin değişimleri deneysel olarak incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlara bağlı olarak lamine ahşap kullanımının masif ahşap kullanıma göre fayda ve sakıncalarının neler olduğu, Türkiye koşullarında bu yapı elemanlarının üretiminin yapılıp yapılamayacağı ve uygulamaya yönelik öneriler sunulmuştur.

Çalışmada 5 x 6 x 100 cm. boyutlarında örnek kirişler üretilerek liflere dik eğilme deneyleri 5 x 4 x 30 cm. boyutlarında örnekler hazırlanarak liflere paralel basınç deneyleri yapılmıştır.

## **Deneysel çalışmalar**

Yapılan çalışmada Türkiye’de yetişen Sarıçam ve farklı dört tutkal kullanılmıştır. Bunlar Polivinilasetat (PVA<sub>c</sub>), Poliüretan (PUR1), Çift bileşenli Poliüretan (PUR2) ve Ürefoaldehit (UF) tutkallarıdır.

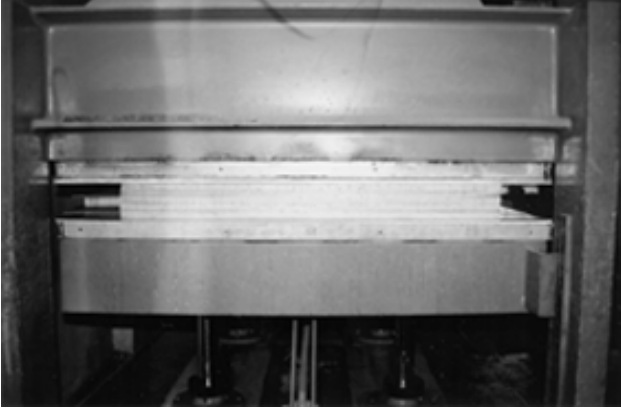
Kullanılan Sarıçam ahşapların kurutulmasında hava kurusu rutubetine indirmek için sağlıklı bir yöntem olan doğal kurutma yöntemi kullanılmış ve ahşaplar % 13 nem oranına gelene kadar kurutulmuştur. Bu nem oranında ve 1 cm kalınlığında hazırlanan Sarıçam parçalarının sıcak pres gerektiren UF tutkalı dışındaki tutkallar ile yapıştırılabilmesi için bir işkence sistemi önerilmiştir.

Yapıştırma işlemi için kullanılan pres ve el ile uygulama işlemleri incelenmiş ve deneysel çalışmada kullanılacak dört tutkalın bir tanesi (UF) sıcak uygulanabileceği için, Şekil 1’de görüldüğü gibi, hazır sıcak preslerde yapıştırılmasına, diğer sıcak uygulama gerektirmeyen üç tutkal uygulaması için ise, çalışma kapsamında yıllardır el ile yapılan uygulamalarda kullanılmakta olan ve “işkence” adı verilen aletin daha profesyonel kullanımına yönelik yeni bir işkence sistemi geliştirilmiştir.

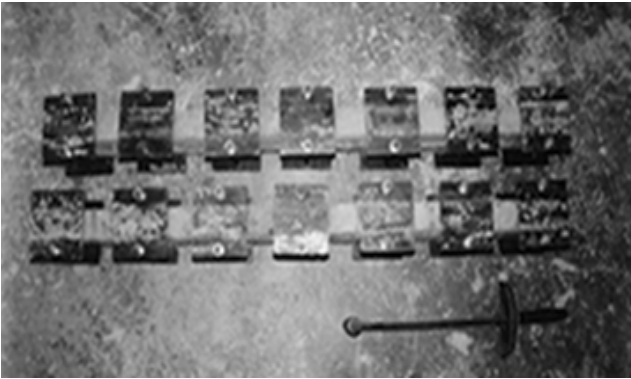
Bilinen klasik işkence aletinin lamine eleman üretiminde kullanılması durumunda hazırlanacak elemana bağlanacak olan işkencelerin herbirinin eşit basınç verebilmesi ve bunun kontrolü büyük bir problemdir. Elemanın tek tarafından sıkılarak uygulanabilen bu aletin bağlandığı kenara verdiği basınç ile açıkta kalan kenara verdiği basınç arasında farklılıklar oluşabilmesi durumlarının ortadan kaldırılması gibi problemlerin olduğu düşünülmüştür.

Lamine eleman üretiminde uygulanan basıncın her bölgeye eşit verilebilmesinin çok önemli olmasından dolayı, Şekil 2’de gösterilen yeni bir işkence sistemi önerilmiştir. Çalışmada önerilen işkence sisteminde elemana basınç yalnız tek yan taraftan değil, hem altta hem de üstte olan iki metal plakanın elemanın iki yanından bağlanan bulonlar yardımıyla sıkıştırılması suretiyle verilmiştir.

Yapılan sistemde parçaları bağlayan bulonlara eşit sıkma verilebilmesi böylece basıncın da eşitlenmesi amacıyla Şekil 3'te görülen "tork anahtarı" adı verilen ayarlanabilen basınç ile istenilen sabit sıkmayı yapabilen anahtar kullanılarak tüm bulonlara eşit sıkma uygulanabilmiştir.



Şekil 1. Sıcak pres uygulaması



Şekil 2. Yapıştırma işleminde parçalara eşit basınç verilebilmesi amacıyla hazırlanan üretim düzeneği



Şekil 3. Tork anahtarı

TS EN 390 (1999)'e göre deney numuneleri, sabit tartıma gelinceye kadar  $65 \pm 5$  nispi

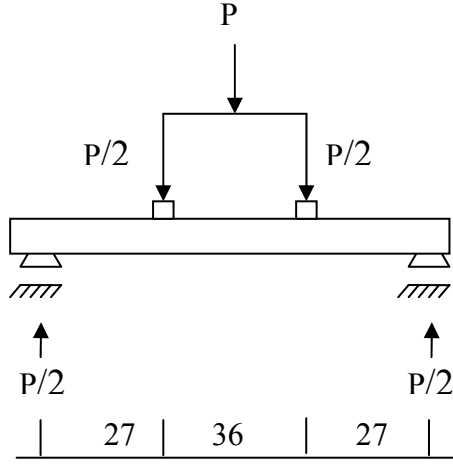
rutubet ve  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta şartlandırılmıştır. Şartlandırmada altı saat ara ile yapılan iki tartım arasındaki fark kütlece 0.001'den fazla olmadığı zaman numunelerin sabit tartıma geldiği kabul edilmektedir. Bu şartlandırmanın ardından deney numunelerinin boyutları %1 doğrulukla ölçülmüştür. Bu ölçümler her numunenin farklı konumlardaki üç ayrı ölçümünün ortalaması alınmak suretiyle tespit edilmiştir. Boyutlandırma sırasında alınan ölçüler uçlara 150 mm'den daha yakın olmamak kaydıyla yapılmıştır.

Yapılacak deneylerde kullanılmak üzere herbir tutkal çeşidi için 5x6x100 cm boyutlarında 20'şer adet liflere dik eğilme deneyleri için, 5x4x30 cm boyutlarında 20'şer adet liflere paralel basınç deneyleri için örnek hazırlanmıştır.

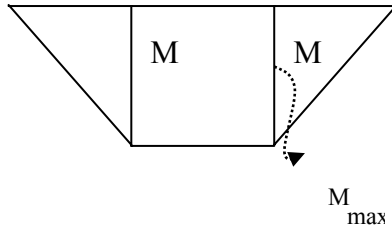
Deneysel çalışmada çıkabilecek problemleri önceden farkedebilmek ve esas deney kapsamını sağlıklı olarak belirlemek açısından esas deneylere başlamadan önce ön deneyler yapılması uygun görülmüştür. Deneysel çalışmalarda, birçok nedenlerle ön deney yapmanın gerekli ve yararlı olduğu bilinmektedir. Elde edilen ön deney sonuçları çalışılan konuda etkenler, etkenlerin değişimi, deney koşulları, yapıştırıcıların hazırlanması ve hazırlama koşulları, yapıştırma yüzeyleri ve yüzey özellikleri hakkında aydınlatıcı bilgiler vermiştir.

Yapılan çalışmanın esas kısmını oluşturan deneysel çalışmaya ışık tutması amacıyla deneysel çalışmada kullanılacak lamine ahşap kirişlerle aynı boyutlarda ön deneyler için örnekler üretilmiş ve bu örnekler üzerinde TS 5497 EN 408 (1997)'e göre liflere dik eğilme ve liflere paralel basınç deneyleri uygulanmıştır.

Yapılan ön deneyler lamine ahşap kirişlerin üretilmesi için çalışma kapsamında önerilen işkence sisteminin de doğruluğunu kontrol edebilmek açısından faydalı olmuştur. Yapılan ön deneylerde liflere dik eğilme dayanımının belirlenmesi için TS 5497 EN 408 (1997)'e göre deney düzeneği oluşturulmuştur Şekil 4 şematik gösterimi ve Şekil 5'te moment diyagramı gösterilen deney düzeneğinin laboratuvardaki durumu Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 4. Liflere dik eğilme deneyi yükleme şekli



Şekil 5. Moment diyagramı

Yapılan liflere dik eğilme deneyi sonucunda liflere dik eğilme dayanımı:

$$\sigma_{\perp e\tilde{g}} = \frac{a.P_{\max}}{2W} \quad (1)$$

formülüyle hesaplanmıştır.

Bu formülde ( $\sigma_{\perp e\tilde{g}}$ ) eğilme dayanımını, ( $N/mm^2$ ), a mesnet ile mesnete en yakın yükleme arasındaki mesafeyi (mm),  $P_{\max}$  maksimum yükü (N), W dayanım momentini ( $mm^3$ ) göstermektedir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar çeşitli standartlar ile karşılaştırılmıştır. Ancak ahşap malzeme kendisine ait bilinen özel yapısı nedeniyle yetiştiği ülkeler hatta bölgeler, üretim şekilleri, saklama ve kurutma koşulları gibi sebeplere bağlı olarak aynı ortamlarda dahi yapılmış olsa farklı sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle incelenen standartlar arasında da bir takım farklılıklar olabildiği görülmüştür. Karlsruhe Teknik Üniversitesinde

Karl Möhler (Götz vd., 1989) tarafından yapılmış bir araştırma ve buna bağlı olarak ortaya çıkan tabloda konu ile ilgili olarak bulunan tüm standartlar incelenmiş ve bulunan değerlerin bir genellemesinin yapılabilmesi amacıyla lamine ahşap elemanların maksimum ve minimum değerler arasında alınabileceği tüm değerler gösterilmiştir. Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar bu nedenle Karlsruhe Teknik Üniversitesi'nin sonuçları ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 6. Liflere dik eğilme deneyi düzeni

### Liflere paralel basınç elastiklik modülünün bulunması deneyleri ve sonuçları

TS 5497 EN 408'e göre liflere paralel basınç deneyinin yapılacağı örneklerin uzunluğu genişliğinin en az altı katı olmalıdır. Bu kurala bağlı kalınarak hazırlanan deney örneklerinin boyutları 5 x 4 x 30 cm olarak belirlenmiş ve örnekler hazırlanmıştır. Bu örnekler hazırlanırken alın kesitlerinin numune eksenine dik ve birbirine paralel olmasına dikkat edilmiştir.

Deneyin yapılabilmesi için deney numunesi, cihazın yükleme başlıkları arasına uygun bir şekilde yerleştirilmiştir. Deney numunesi üzerine mümkün olduğunda flambaja izin verilmeyecek şekilde cihaz yardımıyla basınç verilmiştir.

Kullanılan yükleme cihazı, deney numunesine uygulanan yükü 0.01 hassasiyetle ölçebilmektedir. Şekil değişikliğini ölçebilmek için numunenin ortasına denk gelen mesafeden ekstansometre kullanılmıştır.

Liflere paralel basınç elastiklik modülünün belirlenmesi için yapılan deney sonuçları TS 5497 EN 408 (1997)'den alınan aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_{//b} = \frac{\ell_1 (P_2 - P_1)}{A(w_2 - w_1)} \quad (2)$$

Formülde  $E_{//b}$  liflere paralel basınç elastiklik modülü,  $P_2 - P_1 =$  Elastiklik (esneklik) sınırı içindeki kuvvet artışları (N),  $w_2 - w_1 = P_2 - P_1$  kuvvet artışları nedeniyle meydana gelen şekil değişikliklerini (mm),  $\ell_1$  deney makinesinin sıkıştırma kolları arasındaki uzunluğu (30 cm) ifade etmektedir. Basınç elastiklik modülü 0.01 hassasiyetle hesaplanmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda Liflere paralel basınç elastiklik modülü değerleri:

PVA<sub>C</sub> tutkalı (8653.71 N/mm<sup>2</sup>)  
 PUR2 tutkalı (7364.15 N/mm<sup>2</sup>)  
 PUR1 tutkalı (7638.93 N/mm<sup>2</sup>)  
 UF tutkalı (7131.98 N/mm<sup>2</sup>)

olarak bulunmuş, incelemede en yüksek değeri PVA<sub>C</sub> tutkalının en düşük değeri UF tutkalının verdiği görülmüştür. Referans değerlerle yapılan kıyaslamaların histogram şeklindeki gösterimi Şekil 8'de verilmiştir.

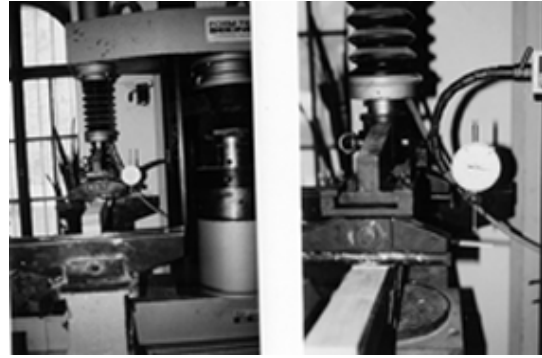
### Eğilme elastiklik modülünün bulunması deneyleri ve sonuçları

Eğilme elastiklik modülü malzemenin mekanik özelliklerinden birisidir. Şekil değiştirme malzemenin deformasyonudur. Ahşap malzemede şekil değiştirme yüke bağlı olarak doğru orantılı bir şekilde görülmektedir. Verilen yüke bağlı olarak devam eden bu doğru orantılı grafikte meydana gelen en ufak bir sapma onun elastiklik sınırını göstermektedir. Ahşap malzeme bu sınıra kadar elastik davranış gösterirken bu sınırdan sonra deformasyon plastik sınırlar içine girmekte daha sonra maksimum kuvvete yaklaşıldığında liflerde kopmalar başlamaktadır.

Hazırlanan lamine ahşap örneklerin eğilme elastiklik modüllerinin bulunması amacıyla TS

5497 EN 408 (1997)'e uygun olarak 5x6x100 cm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Bu numunelerde dört farklı tutkal kullanılmış ve her bir tutkal türü için 20'şer adet örnek üzerinde liflere dik eğilme elastiklik modülü deneyleri yapılmıştır. Şekil 7'de liflere dik eğilme elastiklik modülünün bulunması için hazırlanan deney düzeneği görülmektedir. Bu deney düzeneği ile aynı zamanda liflere dik eğilme dayanımının bulunması deneyleri de yapılabilmektedir. Ancak dikkat edilmesi gereken husus eğilme elastiklik modülünün bulunması deneylerinde üzerinde deney yapılan numune kırılmamakta, örnek elastiklik sınırına geldiği an deneyde kuvvet uygulama işlemine son verilmektedir. Eğilme dayanımının bulunması için yapılan deneylerde ise uygulanabilecek maksimum kuvvet uygulanarak örnek kırılmaktadır.

Liflere dik eğilme elastiklik modülünün bulunması deneyleri için hazırlanan deney düzeneğine yerleştirilen örneklere kuvvet uygulaması yapılırken örneklerde meydana gelecek deformasyonu ölçebilmek için TS 5497 EN 408 (1997)'e uygun olarak ekstansometre tam ortaya yerleştirilmiştir.



Şekil 7. TS 5497 EN 408'e göre liflere dik eğilme elastiklik modülünün bulunması için kullanılan ekstansometre ve deney düzeneği

TS 5497 EN 408 (1997)'e göre yapılan deneyler sonucunda eğilme elastiklik modülünün belirlenmesi için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$E_{\perp e\tilde{g}} = \frac{a \cdot \ell_1^2 \cdot (P_2 - P_1)}{16 \cdot I \cdot (w_2 - w_1)} \quad (3)$$

$E_{\perp e\check{g}}$  liflere dik eğilme elastiklik modülünü ( $N/mm^2$ ),  $a$  mesnet ile mesnete en yakın yükleme kuvveti arasındaki mesafeyi (mm),  $\ell_1$  elastiklik modülünün tayini için uzunlukları (mm),  $P$  yükü (N),  $w$  sehimi (mm),  $I$  atalet momentini ( $mm^4$ ) göstermektedir. Liflere dik eğilme elastiklik modülünün araştırılması deneyleri sonucunda ise:

PVA<sub>C</sub> (1172.94  $N/mm^2$ )

PUR2 ( 1179.03  $N/mm^2$ )

PUR1 ( 1221.38  $N/mm^2$ )

UF (1323.79  $N/mm^2$ )

İnceleme sonucunda en yüksek UF, en düşük PVA<sub>C</sub> tutkalının değerleri elde edilmiştir.

### Liflere dik eğilme dayanımının bulunması deneyleri ve sonuçları

TS 5497 EN 408 (1997)'e göre yapılan deneyler sonucunda liflere dik eğilme dayanımı değerleri bulunmuştur. Bulunan değerlere bağlı olarak tutkal cinslerine göre farklılık gösteren değerlerin referans değerlerle karşılaştırılması Şekil 9'da histogram formatında gösterilmiştir. Eğilme dayanımı değerlerinin bulunabilmesi için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\sigma_{\perp e\check{g}} = \frac{a \cdot P_{\max}}{2W} \quad (4)$$

Formülde  $\sigma_{\perp e\check{g}}$  liflere dik eğilme dayanımını ( $N/mm^2$ ),  $a$  mesnet ile mesnete en yakın yükleme kuvveti arasındaki mesafeyi (mm),  $P_{\max}$  maksimum yükü (N),  $W$  dayanım momentini ( $mm^3$ ) göstermektedir.

Liflere dik eğilme dayanımı deneyleri sonucunda:

PVA<sub>C</sub> tutkalı (75.24  $N/mm^2$ )

PUR2 tutkalı (73.95  $N/mm^2$ )

PUR1 tutkalı (78.22  $N/mm^2$ )

UF tutkalı (55.80  $N/mm^2$ )

Bulunan değerlerde en yüksek değeri PUR1 tutkalı en düşük değeri UF tutkalı vermiştir. Lamine ahşap teknolojisinin yurt dışı kaynaklı

olarak yapılan uygulamalarında sıklıkla kullanılan ürefoaldehyit tutkalının bu tip beklenmeyen sonuçlar vermesinin sebebinin üretim sırasında karşılaşılan bir takım problemlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Karlsruhe Teknik Üniversitesinin değerleri ile yapılan bu kıyaslama Şekil 9'da verilmiş ve kullanılan dört tutkalın da istenilen aralıklarda kaldığı görülmüştür.

### Liflere paralel basınç dayanımının bulunması deneyleri ve sonuçları

TS 5497 EN 408 (1997)'e göre liflere paralel basınç elastiklik modülünün bulunmasında kullanılan deney düzeneğine ve ölçülere göre hazırlanan örnekler üzerinde yapılan deneyler sonucunda her bir numunenin kırılma şekli ve kırılan bölgede meydana gelen hasarlar not edilmiştir. Liflere paralel basınç dayanımının belirlenmesi için yapılan deney sonuçları aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır .

$$\sigma_{//b} = P_{\max} / A \quad (5)$$

Burada  $P_{\max}$  maksimum yükü (N),  $A$  en kesit alanını ( $mm^2$ ) ifade etmektedir. Basınç dayanımı 0,01 hassasiyetle hesaplanmıştır.

Liflere paralel basınç dayanımı deneyleri sonucunda ise:

PVA<sub>C</sub> tutkalı (50.46  $N/mm^2$ )

PUR2 tutkalı (50.49  $N/mm^2$ )

PUR1 tutkalı (50.28  $N/mm^2$ )

UF tutkalı (46.16  $N/mm^2$ )

değerleri elde edilmiş, incelendiğinde en yüksek deney sonucunu PUR2 tutkalının en düşük değeri UF tutkalının verdiği görülmüştür. Bulunan değerlerin referans değerlerle kıyaslanması Şekil 10'da verilmiştir.

### Kayma dayanımı deneyleri ve sonuçları

Yapılan deneysel çalışmada kullanılan tutkalların mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan kayma dayanımı değerleri aynı

zamanda yapılan deneysel çalışma sonuçları için de önemli olduğu için farklı tutkallara bağlı olarak gösterdikleri performans değişikliklerinin incelenmesi için iki yöntem kullanılmıştır. Bunlardan biri 1979 yılında ETH malzeme bilimi Enstitüsü'nde yapılan araştırmada uygulanan "l sistem", diğerı TS 3842'ye uygun olarak yapılan yöntemdir. "l sisteme" göre yapılan deney sonucunda:

PVA<sub>C</sub> tutkalı (6.32 N/mm<sup>2</sup>)  
PUR2 tutkalı (10.88 N/mm<sup>2</sup>)  
PUR1 (8.54 N/mm<sup>2</sup>)  
UF (4.87 N/mm<sup>2</sup>)

Bulunan değerlerle en yüksek değerı PUR2 tutkalının, en düşük değerı UF tutkalının aldığı görülmüştür.

TS 3842 kullanılarak yapılan deney sonucunda:

PVA<sub>C</sub> tutkalı (4.48 N/mm<sup>2</sup>)  
PUR2 (4.10 N/mm<sup>2</sup>)  
PUR1 (5.42 N/mm<sup>2</sup>)  
UF (1.61 N/mm<sup>2</sup>)

Bulunan değerlerle en yüksek değerı PUR1 tutkalının en düşük değer UF aldığı görülmüştür. Bu değer karşılaştırılan minimum değerin oldukça altındadır.

Yapılan karşılaştırmada özellikle TS 3842'ye göre bulunan değerlerin deneylerin yapılması aşamasında yaşanan deney düzeneği zorluğundan kaynaklanan problemlerin sonuca yansımaları nedeniyle daha düşük olduğu görülmüştür. Kayma dayanımı deneylerinin sonuçları değerlendirildiğinde l sisteme göre yapılan deney sonuçlarının daha güvenilir olduğu görülmüştür. Karlsruhe niversitesi'nin değerleri ile yapılan kıyaslama Şekil 11'de verilmiştir. Elde edilen sonuçların karşılaştırılan standart değer aralığına uygun olduğu görülmüştür.

#### **Yapılan deneylerin değerlendirilmesi**

Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde öncelikli olarak sıcak pres gerektirmeyen tutkallar için çalışma kapsamında önerilen işkence sisteminin

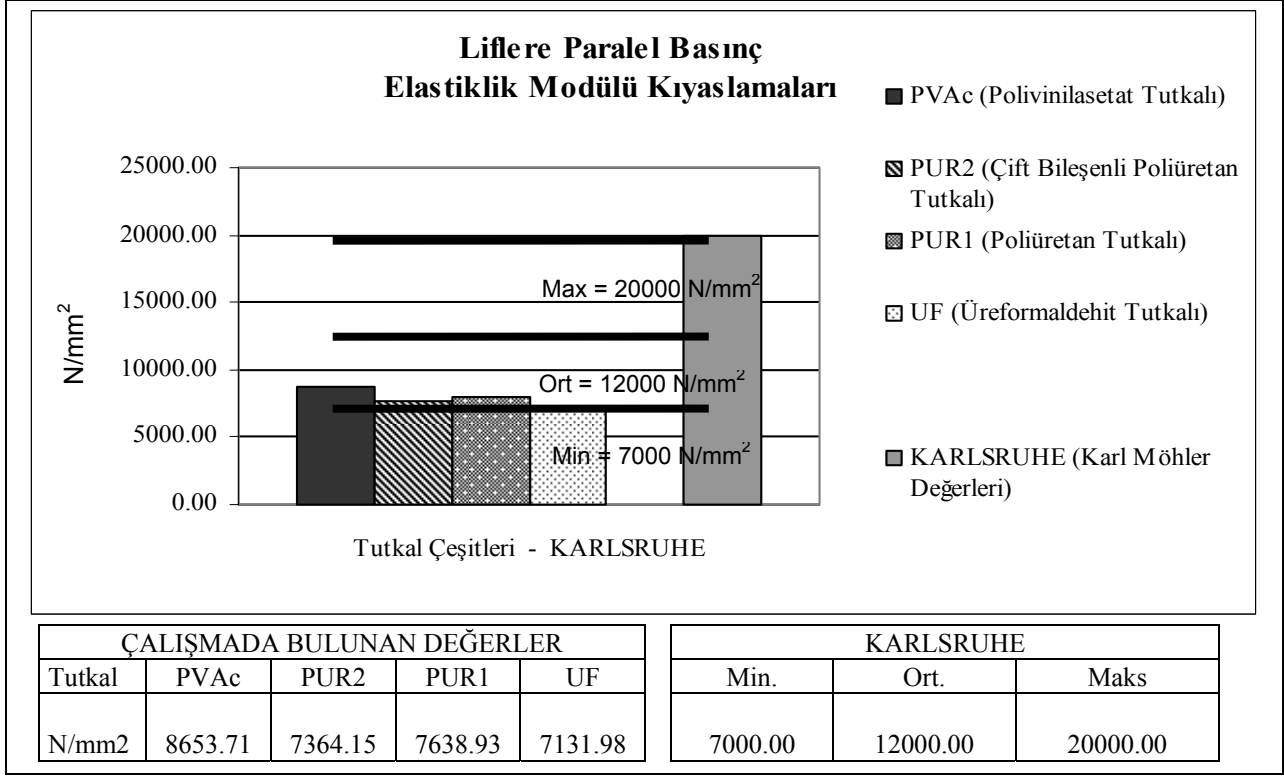
uygunluğu incelenmiş ve geliştirilen işkence sisteminin üretilen örneklerde olumlu sonuç verdiği görülmüştür. Bilindiği gibi lamine ahşap eleman üretiminde elemanın her noktasına eşit basınç verebilmek oldukça önemli bir işlemdir, işkence sistemi bu işleme cevap verebilmekte aynı zamanda işkence sisteminin sıkıştırılmasında kullanılan tork anahtarı sayesinde de verilen basıncın her bir bulon için eşitlenmesi sağlanabilmektedir. Tutkallar açısından yapılan değerlendirmelerde önerilen tutkalların her birinin istenilen sonuçları vermesi nedeniyle doğru seçimlerin yapıldığını göstermiştir. Son olarak değerlendirme elde edilen sonuçların standartlardaki değerlerle karşılaştırılması açısından yapılmıştır. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçların Karlsruhe Teknik niversitesinin sonuçlarıyla karşılaştırılması sonucunda uygun aralıklarda oldukları görülmüş ve karşılaştırmalar grafiksel anlatım yardımıyla Şekil 8, 9, 10, 11'de gösterilerek değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler deney sonuçlarının istenilen aralıklarda olduğunu göstermiştir.

#### **Sonuçlar**

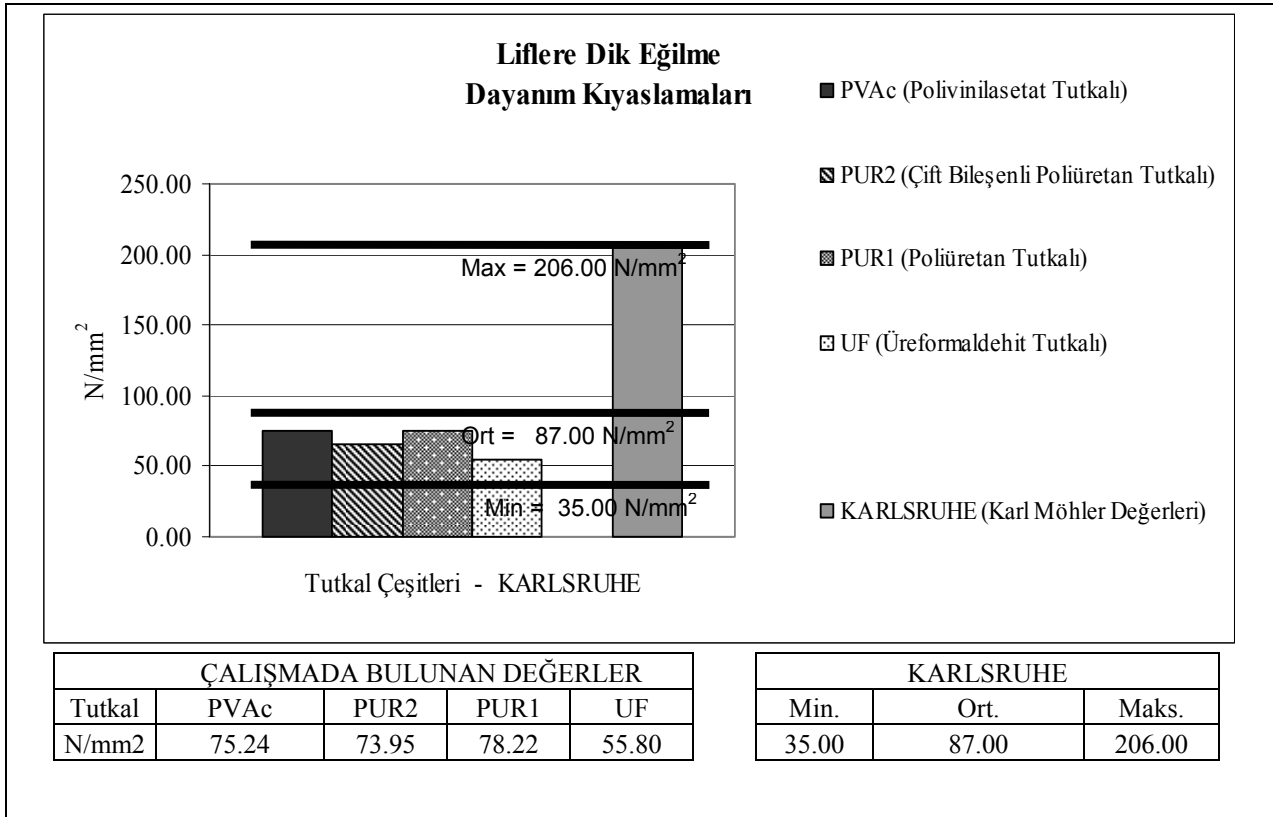
Buğn lamine ahşap yapı elemanlarının Avrupa ve Amerika'da olduğu gibi Türkiye'de de kullanılması gerek mimari tasarım dünyasına kazandırdıkları gerekse ekolojiye faydaları açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle Türkiye'de yeterince kullanılmayan bu teknoloji ürünlerinin yerel malzemeler kullanılarak üretilmesi sonucunda daha fazla kullanılabilereği dşnlmş ve bu amaçla Türkiye'de yetişen Sarıçam ve farklı tutkallar kullanılarak üretilen lamine ahşap kirişlerin mekanik özelliklerinin deneysel olarak incelenmesini içeren bir çalışma yapılmıştır.

Yapılan araştırmalar bu teknolojinin geçmişte ve buğn tasarım problemlerine zmler bulduğunu göstermiştir. Teknolojinin ana malzemesi olan ahşaptan beklenen özellikler ile birleştirme elemanı olan tutkaldan beklenen özellikler doğru şartlarda ve doğru yerde kullanıldığı sürece, istenilen sonuçları en iyi şekilde verebildiği görülmüştür.

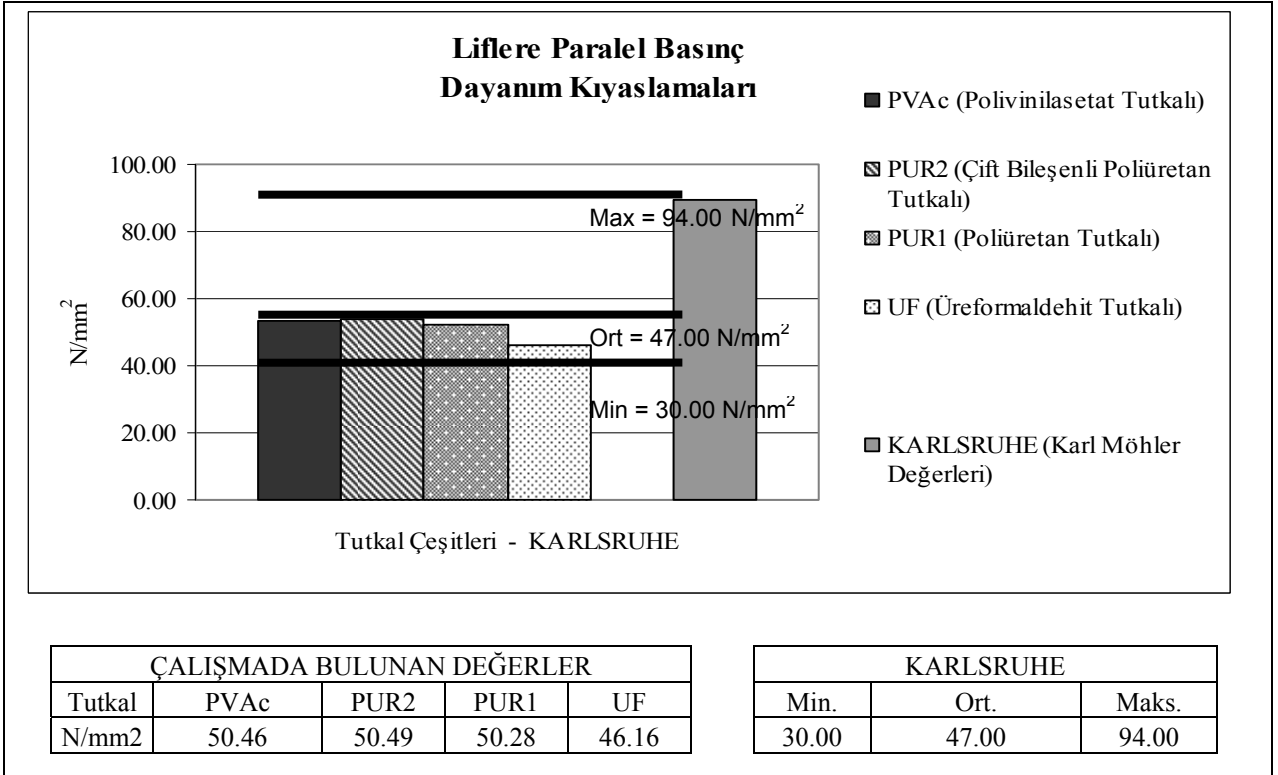




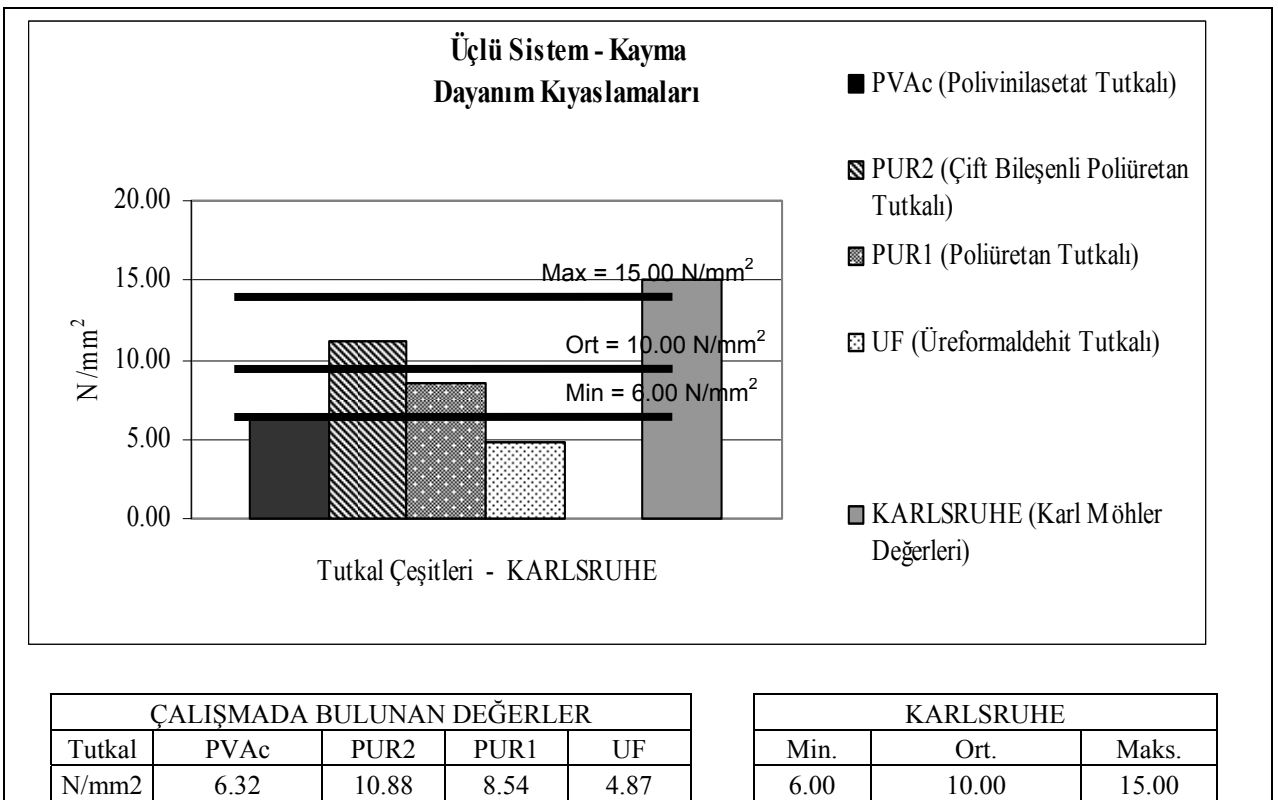
Şekil 8. Liflere paralel basınç elastiklik modülü değerlerinin referans değerlerle karşılaştırılması



Şekil 9. Liflere dik eğilme dayanımı değerlerinin referans değerlerle karşılaştırılması



Şekil 10. Liflere paralel basınç dayanımı değerlerinin referans değerlerle karşılaştırılması



Şekil 11. Üçlü sistem-kayma dayanımı değerlerinin referans değerlerle karşılaştırılması

Daha önceki bölümlerde detaylı olarak deney sonuçları verilen tutkalların her bir deney için kullanılabilir sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak özellikle deney örneklerinin hazırlanması aşamasında yaşanan bir takım zorluklar deney sonuçlarına da yansımış ve daha iyi performans vermesi beklenen UF tutkalında bu nedenle istenilen sonuca ulaşamadığı görülmüştür. Sıcak pres uygulaması gerektiren UF tutkalının örnek üretiminde kullanılan preslerin bu teknoloji için yetersiz kalması nedeniyle yapııştırma sırasında problemler çıkartmıştır ve bu durumda istenilen sonuçlara ulaşılamamasına neden olmuştur.

Çalışma sonucunda alınan bir takım düşük değerlerin sebebinin kullanılan malzemelerden değil üretim ortamından kaynaklandığı görüldüğünden, Türkiye’de bu tip bir uygulama yapılacaksa üretim ortamının özellikle böyle bir üretim için hazırlanması sonucunda çözülebilecek bir problem olduğu sonucuna varılmıştır.

Ayrıca yapılan çalışma kapsamında önerilen işkence sistemi kullanılarak Polivinilasetat (PVA<sub>C</sub>), Çift Bileşenli Poliüretan (PUR2) ve Poliüretan (PUR1) tutkalı kullanılarak bir üretim yapılmıştır. Geliştirilen işkence sisteminin üretilen örneklerde olumlu sonuç verdiği görülmüştür.

Lamine ahşap teknolojisi ile üretilen strüktür sistemi elemanları çağdaş ve ileri bir sistemin parçalarıdır. Bu sistem ahşap gibi zayıf ve limitli performansa sahip bir malzemenin yüksek teknoloji ve bilimsel çalışmalar sayesinde ne derece ileri seviyelere çıkartılabileceğinin çarpıcı bir örneğini göstermektedir. Yapılan değerlendirmelere bağlı olarak gerek üretim gerekse kullanım aşamasına yönelik bulgular ve öneriler aşağıda özetlenmiştir.

- Lamine ahşap elemanlarının Türkiye şartlarında yerel ahşap ve yerel tutkallar kullanılarak üretilebileceği görülmüştür ve bu üretimin yapılması önerilmiştir. Lamine ahşap elemanlar bugünün şartlarında yaygın olarak yurt dışından getirilerek kullanılabilirdiği için

Türkiye’de kullanımı yok denecek kadar azdır. Bu tez ile önerilen, lamine ahşap elemanların Türkiye’de yerel malzemeler kullanılarak üretilmesidir. Bunun sonucunda maliyetlerin düşeceği ve zamandan kazanılacağı için, çok farklı özelliklere ve olanaklara sahip olan lamine ahşap eleman kullanımının artacağı düşünülmektedir.

- Kullanılan tutkallar içinde en yüksek değerleri Poliüretan Tutkalı (PUR1) göstermiştir. Ancak polivinilasetat (PVA<sub>C</sub>) ve çift bileşenli poliüretan (PUR2) tutkallarında poliüretan tutkalına çok yakın değerler vermiştir. Yapılan kıyaslamalar üç tutkalında uygun sınırlar arasında olduğunu göstermiştir. Böylelikle alternatif malzeme olmasının var olduğu belirlenmiştir.
- Kullanılacak tutkalların fiyatlarının pahalı olması gözönünde bulundurulduğunda yapılacak farklı bir düzenleme ile çözülebileceği ve lamine ahşap elemanların yerli malzemeler ile üretilebileceği düşünüldüğünden, bu maliyet artışının yurt dışından getirilen elemanlarla kıyaslama yapıldığında daha makul olacağı düşünülmektedir.
- Yapılan deneyler sonucunda en düşük değerleri gösteren UF tutkalının performansının artırılabilmesi için lamine ahşap eleman üretimi aşamasında kullanılacak preslerin havalandırılmalı ve bu işlem için yapılmış olması gerektiği görülmüştür.
- Kullanılacak ağaç malzemenin nem oranının istenilen aralıklarda olmasına dikkat edilmelidir. Aksi takdirde ahşabın çalışan bir malzeme olmasından kaynaklanan problemler ortaya çıkacaktır.
- Tutkallamanın yapıldığı elemanlara uygulanan basıncın her tarafa eşit dağıtılmasına dikkat edilmelidir. Yapılan deneysel çalışmada önerilen işkence sistemi eşit dağılımı sağlayabildiği için geliştirilebilir bir basınç aleti olarak düşünülmektedir.

Yapılmıř olan çalıřmaya bađlı olarak daha sonra arařtırılmasında fayda olacađı dūřunūlen konular řunlardır;

- o Hava değişiminden etkilenen bir malzeme olan ahşabın bu özelliğine bağlı olarak lamine üretimini ne şekilde etkileyeceği,
- o Lamine ahşap elemanların yangın karşısında nasıl bir davranış göstereceği,
- o Bulonlama yapıldığı durumlarda malzeme etkileri ve bulonlamanın gūvenlik sınırları,
- o Ahřabın anizotrop özelliđi nedeniyle boyut etkisi mekanik ve fiziksel būyūklükler ūzerinde etkili olmaktadır. Daha būyūk boyutlardaki deđiřiminin incelenmesinde fayda gōrūlmektedir.

### Teřekkūr

Çalıřmanın deneysel kısmında verilen desteklerden dolayı İTŪ Mimarlık Fakūltesi Malzeme laboratuvarı ve İstanbul Ūniversitesi Orman Fakūltesi Laboratuvarı alıřanları teřekkūrle anılır.

### Kaynaklar

- Baker, N. B., (1967). *Early houses of New England*, Charles E. Tuttle Co.,Tokyo.
- Erdin, N., (2003). *Ağaç malzeme kullanımı ve çevreye etkisi*, Ulusal Ahşap Birliği Seminerleri Ahşap Seminerleri, İstanbul, şubat 20-22.
- Erdin, N., (1995). Malzeme seçiminde ekolojik kriterler, *Yapı 164*, Yem Yayınevi, İstanbul.
- Dueer, A. W., (1973). *Timber; problems, prospects, policies*, Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- Gōtz,K., Hoor,D., Mōhler,K., Natterer,J., (1989). *Timber design and construction sourcebook*, McGraw-Hill Publishing Company,United States of America.
- TS 5497 EN 408, (1997). *Yapı Keresteleri – Yapı Kerestesi ve Lamine Ahřap – Fiziki ve Mekanik Őzelliklerinin Tayini*, TŪrk Standartları Enstitūsi, Ankara.
- TS EN 390, (1999). *Yapıřtırılmıř Lamine Kereste-Boyutlar-Kabul Edilebilir Sapmalar*, TŪrk Standartları Enstitūsi, Ankara.