

T-Tipi Mobilya Birleştirmelerinde Ağaç Türü, Tutkal Çeşidi ve Zıvana Ölçülerinin Çekme Kuvveti Kapasitesine Etkileri

*Harun DİLER¹, Ali KASAL², Selçuk DEMİRCİ³, Tolga KUŞKUN²

¹ Akdeniz Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Kampus, ANTALYA

² M. Ü. Teknoloji Fakültesi Ağaççşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, MUĞLA

³ E.Ü. Ege Meslek Yüksekokulu Mobilya ve Dekorasyon Programı, İZMİR

*Sorumlu yazar: kubulaycagatay@hotmail.com

Geliş Tarihi: 22.07.2013

Özet

Bu çalışmada, çerçeve konstrüksiyonlu mobilya zıvanalı T-tipi birleştirmelerin çekme kuvveti kapasitesi üzerinde ağaç türü, tutkal çeşidi ve zıvana ölçülerinin (genişlik, uzunluk) etkileri araştırılmıştır. Deneş örnekleri Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) ve sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunlarından hazırlanmış olup, örneklerin yapıştırılmasında polivinilasetat (PVAc) ve poliüretan (PU) tutkalları kullanılmıştır. Denemelerde, 2 ağaç türü, 2 tutkal çeşidi, 4 zıvana genişliği, 4 zıvana boyu ve her örnekten 5 yinleme olmak üzere toplam 320 T-tipi deneş örneği hazırlanmış ve statik yük altında doğrusal çekme deneyine tabi tutulmuştur. Ayrıca, zıvana ölçüleri ile çekme kuvveti performansı arasındaki ilişkiler incelenerek, her bir ağaç türü ve tutkal çeşidine göre çekme kuvveti kapasitesinin zıvana genişliği ve zıvana uzunluğunun fonksiyonu olarak hesaba alındığı matematiksel modeller geliştirilmiştir. Deneyler sonucunda; ağaç türlerinden Doğu kayını sarıçama, tutkal çeşitlerinden de PVAc tutkalı PU tutkalına göre daha yüksek çekme kuvveti kapasitesi göstermiştir. Zıvana ölçülerine göre ise; zıvana genişliğinin çekme kuvvetine istatistiksel anlamda önemli bir etkisi görülmezken, zıvana boyu ile çekme direnci arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çerçeve konstrüksiyon, zıvanalı birleştirmeler, çekme direnci

Effect of the Wood Species, Adhesive Type and Tenon Size on Withdrawal Force Capacity of T-Type Furniture Joints

Abstract

In this study, effect of the wood species, adhesive type, and tenon size (depth and length) on withdrawal force capacity of T-type furniture joints were investigated. Specimens were constructed of Turkish beech (*Fagus orientalis* Lipsky) and Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.), and they were glued with polyvinyl acetate (PVAc) and polyurethane (PU) adhesives. A total of 320 specimens that included 2 wood species, 2 adhesive type, 4 tenon depth, 4 tenon length, and 5 replications for each group were prepared and tested under static direct withdrawal loads. Furthermore, results of tests were incorporated into predictive expressions that allow furniture designers to estimate the withdrawal force capacities for each wood species and adhesive type as a function of tenon depth and tenon length. At the end of test results, beech showed higher withdrawal force capacity than pine in terms of wood species, and similarly, PVAc showed higher withdrawal force capacity than PU according to adhesive type. In case of the tenon size, it was obtained that there was no statistically significance affect of tenon depth on withdrawal force capacity while there was a linear relations between tenon length and withdrawal force capacity.

Key Words: Frame construction, tongued joints, tensile strength

Giriş

Masa, sandalye, koltuk ve sehpa lar çerçeve konstrüksiyonlu mobilyalar olup, bunlara iskelet mobilyalar da denir. Çerçeve konstrüksiyonlu mobilya üretiminde temel ahşap birleştirmeler olan kavala ve zıvana gibi geleneksel tekniklerin yanında dönüşümlü bağlantı sağlayan mekanik birleştirmeler de kullanılmaktadır. Birleştirmeler genel olarak mobilya sistemlerinin en zayıf noktaları olup, birleştirmelerin mukavemeti sistemin bütününün mukavemetini temsil etmektedir.

Bu bağlamda, birleştirmelerin kullanım sırasında etkisinde kalabilecekleri yükleri taşıyabilecek sağ lamlıkta tasarlanması gerekir. Güvenilir bir yapısal sistem oluşturabilmek için, birleştirmelerin mukavemetinin ve mekanik davranış özelliklerinin iyi analiz edilmesi gerekmektedir.

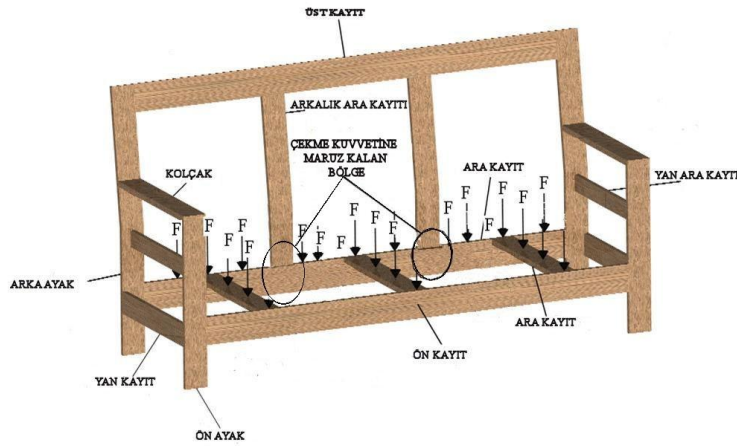
Çerçeve konstrüksiyonlu mobilya üretiminde kullanılan en önemli birleştirmelerden birisi zıvanalı birleştirmelerdir. Zıvanalı birleştirmeler yüzyıllardır çeşitli tiplerdeki mobilyaların

konstrüksiyonunda kullanılmaktadır. Kavelalı birleştirmelerin seri üretime uygunluk avantajı nedeniyle yaygınlaşmış olmasına rağmen zıvanalı birleştirmeler özellikle sandalye yan çerçevelerinin oluşturulmasında tercih edilmektedir.

Çerçeve sistemlerde, T-tipi birleştirme elemanları ile sıkça karşılaşılır. Bu elemanlara örnek olarak; sandalyelerde, döşemeli koltuk ve kanepelerinde; ön kayıt-ara kayıtlar, arka kayıt-ara kayıtlar, arka ayak-yan kayıt, ön ayak-yan kayıt, arka ayak-yan ara kayıt, ön ayak-yan ara kayıt, arka ayak-kolçak gibi birleştirme noktaları verilebilir. Bu birleştirmeler, kullanım sırasında yükleme biçimine göre çekme, eğilme, kesme (makaslama) ve burulma gibi

zorlayıcı kuvvetlerin etkisinde kalmaktadır (Efe ve Kasal, 2003).

Deneylerde, arka kayıt – arkalık ara kayıtları bağlantısını temsil eden T-tipi birleştirmeler örnek olarak alınmışlardır. Oturma esnasında ön, arka ve yan kayıtlara insanın ağırlığından dolayı düşey yönde yayılı (uniform) yük etki eder. Düşey yöndeki bu yayılı yük etkisi, arka kayıt – arkalık ara parçaları bağlantılarını çekme etkisine maruz bırakır. Şekil 1’de kanepelerinde arka kayıt – arkalık ara parçaları bağlantısında çekme etkisi gösterilmiştir. Bu çalışmada, söz konusu noktalarda, uygulanan zıvana boyutlarının, kullanılan tutkal çeşidinin ve ağaç türünün çekme direnci üzerindeki etkisi araştırılmıştır.



Şekil 1. Kanepelerinde arka kayıt – arkalık ara parçaları bağlantısında çekme etkisi

Kaynak Araştırması

4 ağaç türünden, 4 çeşit tutkalla yapıştırılmış farklı ölçüdeki zıvanalı T-tipi birleştirmelerin eğilme mukavemeti ve elastikiyeti incelenmiştir. Sonuç olarak, zıvana genişliği ve uzunluğu arttıkça birleştirmelerin rijitliğinin arttığı belirtilmiştir (Hill ve Eckelman, 1973). Zıvana boyu ve derinliğinin eğilme mukavemetine etkileri araştırılarak bu faktörlerle eğilme direnci arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu bildirilmiştir (Ishii ve Miyajima, 1981). Sarıçam odunundan PVAc tutkalı ile yapıştırılarak hazırlanan kertmeli, tam zıvanalı ve çift zıvanalı boy birleştirme elemanları çekme ve eğilme deneyine tabi tutulmuş, kertme zıvanalı boy

birleştirmenin hem çekme hem de eğilme deneyinde en yüksek direnci gösterdiği bildirilmiştir (Tokgöz ve ark., 1999). Daire ve şerit testerede açılmış zıvanalı T-tipi birleştirmelerde, en yüksek çekme mukavemetinin PVAc tutkalı ile yüzeyden preslenerek yapıştırılmış Doğu kayını örneklerde elde edildiği belirlenmiştir (Altınok ve ark., 2000). Sonlu elemanlar yöntemi ile kare ve daire kesitli zıvanalı birleştirmelerdeki moment ve gerilme dağılımları karşılaştırılmış, karşılaştırma sonuçlarında istatistiksel anlamda önemli bir farklılık bulunmadığı belirtilmiştir (Mihailecsu, 2001).

Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) ve sarıçamdan (*Pinus sylvestris* L.) hazırlanmış

T-tipi tutkallı kavelalı birleştirmelerde köşe destek elemanı boyutunun doğrusal çekme direnci üzerindeki etkileri incelenmiş ve çekme kuvveti kapasitesinin tahmini için eşitlikler geliştirilmiştir (Efe ve Kasal, 2003). Dairesel kesitli zıvanalı birleştirmelerde alın kısmının birleştirmelerin moment kapasitelerine etkisi araştırılmış, zıvanalardaki alın kısmının moment kapasitesini önemli ölçüde arttırdığı bildirilmiştir (Eckelman ve ark., 2004). Diğer bir çalışmada, dairese kesitli zıvanalı birleştirmelerin çekme, kesme ve eğilme mukavemetleri araştırılmış, dairese kesitli zıvanalı birleştirmelerin çerçeve konstrüksiyonlarda kullanımının uygun olduğunu belirtilmiştir (Akçay ve ark., 2005). Ağaç türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve uzunluğunun T-tipi birleştirmelerin eğilme mukavemetine ve elastikiyetine olan etkileri incelenmiştir. Sonuçta, zıvana boyu ve derinliği arttıkça mukavemetin ve esnekliğin arttığı ayrıca, genişliğin boya oranla elastikiyet üzerine daha etkili olduğu belirtilmiştir (Erdil ve ark., 2005). Dairesel kesitli T-tipi zıvanalı birleştirmelerde, alın kısmının birleştirmenin mukavemetini önemli oranda arttırdığı bildirilmiştir (Eckelman ve Havirova, 2006). Herhangi bir birleştirme uygulanmadan, sadece tutkallı köşe destek elemanı ile birleştirilmiş T-tipi örneklerin kesme kuvveti ve moment kapasiteleri belirlenmiş, ayrıca bu değerlerin tahmin edilebilmesi için formüller geliştirilmiştir (Kasal ve ark., 2006). Palmiye türü (*Eleais guineensis*) bir ağaçtan elde edilmiş ahşap esaslı malzemeden (oil palm lumber) hazırlanmış T-tipi dikdörtgen kesitli zıvanalı birleştirmelerin eğilme ve yorulma dirençleri incelenmiş ve bazı Malezya türü masif ağaçlarla karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, ahşap esaslı malzemenin eğilme mukavemetinin masif ağaç malzemelere oranla %50 daha düşük olduğu ancak, yorulma dirençlerinin masif ağaç malzemelere yakın olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, zıvanalı T-tipi birleştirmelerin mukavemeti için kullanılacak kabul edilebilir tasarım gerilmelerinin, kullanılan malzemenin eğilme direncinin % 20'si olarak alınması önerilmiştir (Ratnasingam ve ark., 2010).

Bu çalışmada, Doğu kayını ve sarıçam odunlarından, PVAc ve PU tutkallarıyla yapıştırılarak, farklı genişlik ve boylardaki zıvanalar uygulanarak hazırlanmış T-tipi birleştirmelerin çekme kuvveti performanslarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, zıvanalı birleştirmelerin çekme kuvveti performansının önceden tahmin edilmesini sağlayacak formüller geliştirilmiştir.

Malzeme ve Yöntem

Ağaç malzeme ve tutkal

Deney örneklerinin hazırlanmasında Türkiye mobilya endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Doğu kayını ve sarıçam odunları tercih edilmiştir. Ağaç malzemeler tesadüfi yöntemle İzmir'deki kereste işletmelerinden temin edilmiştir. Ağaç malzemenin seçiminde, liflerinin düzgün, budaksız, ardaksız, normal büyüme göstermiş, reaksiyon odunu bulunmayan, mantar ve böcek zararlarına uğramamış olmasına özen gösterilmiştir.

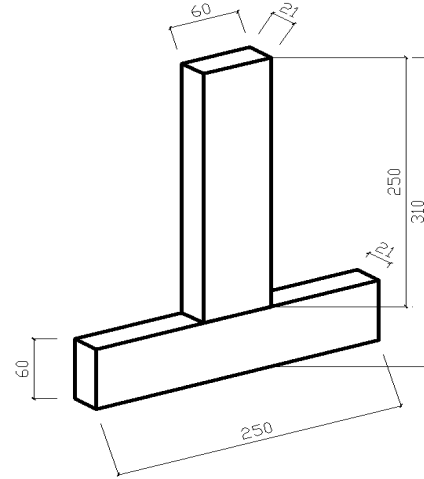
T-tipi zıvanalı birleştirme elemanlarının yapıştırılmasında PVAc ve PU tutkalları kullanılmıştır. PVAc tutkalı, soğuk olarak uygulanması, çabuk sertleşmesi, kokusuz ve yanmaz oluşu, odunu boyamaması ve işlenmesi sırasında aletleri yıpratmaması gibi özellikleri nedeniyle mobilya endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Denemelerde kullanılan PVAc tutkalının özellikleri üretici firma tarafından yoğunluk 1.1 g/cm^3 , vizkozitesi 160-200 cps, PH = 5.00, kül miktarı % 3 olarak verilmiştir (Polisan, 1996). PU tutkalı suya ve neme karşı dayanıklı, çözücü içermeyen, tek komponentli poliüretan esaslı bir tutkal olup, tahta, metal, poliester, taş, seramik, PVC ve diğer plastik yüzeylerin yapıştırılmasında kullanılmaktadır. Yoğunluğu $20 \text{ }^\circ\text{C}$ de $1,11 \pm 0,02 \text{ g/cm}^2$, vizkozitesi $25 \text{ }^\circ\text{C}$ de 3300 – 4000 cps olup, 20°C sıcaklık ve % 65 bağıl nem ortamında 30 dakikada sertleşmektedir (Polisan, 1996).

Deney örneklerinin hazırlanması

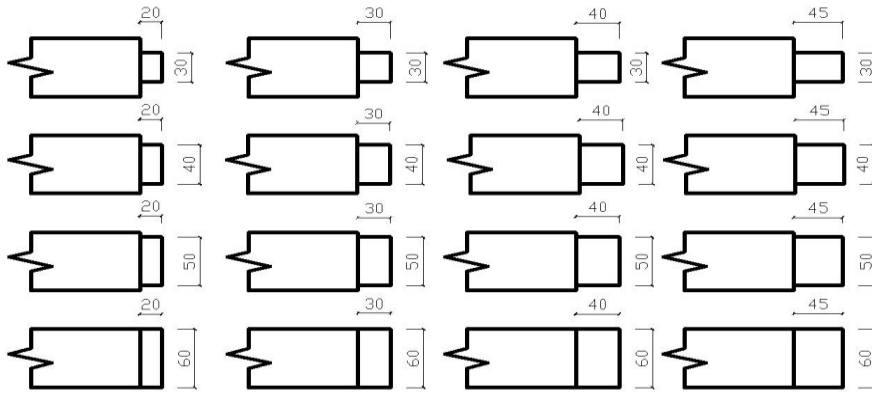
Hazırlanan deney örnekleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Deney örneğini oluşturacak parçalar, kaba ölçülerinde kesilip istifleterek bir süre bekletildikten sonra planya, kalınlık

ve daire testere makinelerinde işlenerek net ölçülerine getirilmiştir. Daha sonra, 4 zıvana genişliği ve 4 zıvana uzunluğu olmak üzere 16 farklı kombinasyonda zıvanalı birleştirmeler hazırlanmıştır. Zıvanaların açılmasında erkek ve dişi zıvana makineleri kullanılmış, zıvana kalınlıkları parça kalınlığının 1/3'ü olacak şekilde 7 mm olarak alınmıştır. Uygulanan zıvana kombinasyonları Şekil 3'de gösterilmiştir. Örneklerin yapıştırılmasında, tutkal tamamen üretici firma önerilerine uyularak $180 \pm 10 \text{ g/cm}^2$ hesabıyla sürülmüştür. Presleme işleminden önce, zıvanalı birleştirmelerin arakesit yüzeylerine yağlı kâğıt konulmak suretiyle bu alanlardaki yapışma engellenmiş ve sadece zıvanaların mukavemet göstermesi için gerekli koşullar sağlanmıştır. Bundan sonra deney örnekleri mengeneler yardımıyla sıkılmış ve 2 saat sıkılı vaziyette kurumaya bırakılmıştır. Hazırlanan deney örnekleri, kullanılan tutkalın kurumasını tam olarak tamamlamasını sağlamak için 3 hafta deneylere alınmamış, rutubet farklılıklarının giderilmesi amacıyla $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık % 65

± 3 bağıl nem şartlarındaki iklimlendirme dolabında değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmişlerdir. Rutubet kontrolü ve yoğunluklar TS 2471 ve TS 2472'deki esaslara göre yapılmıştır.



Şekil 2. Deneylerde kullanılan T-tipi birleştirme örneği (ölçüler mm)



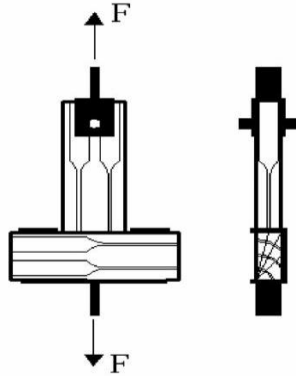
Şekil 3. Deney örneklerine açılan zıvana ölçüleri (ölçüler mm)

Deneylerin yapılışı

Deney örneklerinin hazırlanmasında kullanılan ağaç malzemelerin çekme, basınç, eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri sırasıyla TS 2475, TS 2595, TS 2474 ve TS 2478 standartlarında belirtilen esaslara göre belirlenmiştir. T-tipi birleştirme elemanlarının çekme deneyleri Muğla Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaçişleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mekanik Test Laboratuvarında bulunan 5 ton kapasiteli üniversal test cihazında gerçekleştirilmiştir.

Birleştirmelerin mukavemet deneylerinde, statik yükleme yapılacak ise, deney süresinin 30-90 saniye arasında gerçekleşmesi beklenmektedir (Eckelman, 1991). Bu çalışmada, yapılan ön deneylerde ortalama kırılma süresinin beklentilere uygun olması için gerekli olan yükleme hızı 6 mm/dak olarak tespit edilmiş ve deneylerde uygulanmıştır. Birleştirme yüzeylerinin açılarak deformasyona uğraması veya elemanların kırılması anındaki maksimum kuvvetler Newton (N) cinsinden

kaydedilmiştir. Deney düzeneği ve yük uygulama biçimi Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Deneylerde kullanılan çekme deneyi düzeneği

Verilerin değerlendirilmesi

Ağaç türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği, zıvana uzunluğu ve bu faktörlerin etkileşimlerinin çekme kuvveti taşıma kapasitesi üzerindeki etkilerini belirlemek için çoklu varyans (ANOVA) analizi kullanılmıştır. Farklılıkların anlamlı çıkması

halinde, bu farklılıkların hangi ağaç türleri, tutkal çeşitleri, zıvana genişlikleri ve zıvana uzunlukları arasında önemli olduğu en küçük önemli fark (LSD: least significant difference) testi ile belirlenmiştir. Ayrıca, tüm değişkenlerin çekme kuvveti kapasitesi ile olan ilişkisini kapsayan bir model oluşturabilmek için çoğul regresyon analizleri yapılmış, bunun sonucunda da her bir ağaç türü ve tutkal çeşidi için, çekme kuvveti kapasitesinin zıvana genişliği ve zıvana uzunluğunun fonksiyonu olarak önceden tahmin edilebileceği matematiksel modeller elde edilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Kullanılan ağaç malzemelerin bazı teknik özellikleri

Kullanılan masif ağaç malzemelerin ilgili standartlara uyularak deneyler sonucu belirlenen bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Ağaç malzemelere ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler

Ağaç türü	Rutubet (%)	Test rutubeti yoğunluğu (g/cm^3)	Çekme direnci (N/mm^2)	Basınç direnci (N/mm^2)	Eğilme direnci (N/mm^2)	Elastikiyet modülü (N/mm^2)
Doğu kayını	10.8	0.60	118.4	60.7	115.9	11183
Sarıçam	11.2	0.45	65.5	57.2	88.3	10289

Deformasyon Karakteristikleri

Deney örnekleri ortalama 30-60 sn’de deformasyona uğramışlardır. PVAc tutkallı örnekler PU tutkallı örneklere göre daha uzun sürede deforme olmuşlardır. PVAc tutkallı örneklerde tedrici, PU tutkallı örneklerde ise ani deformasyon gerçekleşmiştir. Buna göre, termoplastik yapıdaki PVAc tutkallı birleştirmeler PU tutkallı birleştirmelere göre daha elastik bir davranış göstermiştir. Deformasyon anında tok bir ses çıkmıştır. Deneylerde genel olarak üç farklı deformasyon karakteristiği gözlenmiştir.

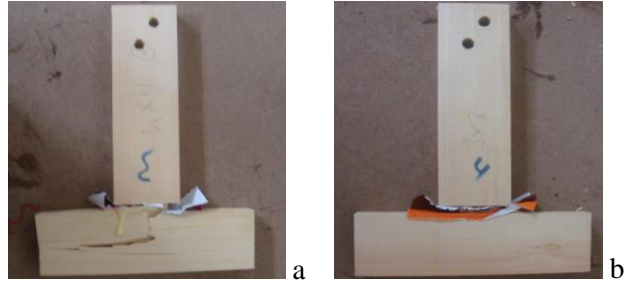
Birinci deformasyon karakteristiği; erkek zıvananın dişi zıvana yuvasından yaklaşık 2-3 mm açıklık oluşturacak şekilde geriye çıkması ve yatay elemanın parçalanarak yarılmaması şeklinde gerçekleşmiştir Şekil 5a’da deneylerde gözlenen birinci tip deformasyon gösterilmiştir. Bu deformasyon,

zıvana genişliği 40, 50 ve 60 mm olup, zıvana uzunluğu 40, 45 mm olan gruplarda gözlenmiştir. Bu gruplarda, nispeten yapışma yüzey alanı büyüktür ve güçlü bir yapışma gerçekleşmiştir. Birleştirme yüzeyi çok sağlam olduğundan, uygulanan çekme kuvveti birleştirme yüzeyindeki tutkal hattındaki kayma (kesme) direncini aşmamış ve erkek zıvana dişi zıvana yuvasından geriye çıkmamıştır. Bu nedenle, yük dişi zıvananın bulunduğu yatay elemana aktarılmış ve bu elemanın yapıldığı ağaç malzemenin liflere dik çekme direnci önem kazanmıştır. Yatay elemana açılmış dişi zıvana, malzemede mukavemet kaybına neden olduğundan eleman liflere dik çekme direnci aşıldığı anda parçalanarak yarılmıştır.

Gözlenen ikinci deformasyon karakteristiği; erkek zıvananın dişi zıvana yuvasından yaklaşık 10 mm geri çıkmasıdır. Bu deformasyon, zıvana genişliği 30, 40, 50

ve 60 mm olup, zıvana uzunluğu 20 mm olan gruplarda gözlenmiştir. Bir başka ifadeyle, en kısa zıvana tipindeki her genişlikte bu tip deformasyon olmuştur. Burada, çekmeye çalışan kuvvetler karşısında sadece zıvana yapışma yüzey alanındaki tutkal hattının direnç gösterdiği ve tutkalın kesme direncinin önemli olduğu açıkça

anlaşılmaktadır. Tutkal hattındaki kayma direnci aşıldığı anda erkek zıvana dişi zıvana yuvasından geriye çıkmış, yatay elemanda hiç zorlanma olmadığı için herhangi bir deformasyon meydana gelmemiştir. Şekil 5b'de deneylerde gözlenen ikinci (b) tip deformasyon gösterilmiştir.



Şekil 5. Deneylerde gözlenen birinci (a) ve ikinci (b) tip deformasyon

Üçüncü deformasyon karakteristiği ise; erkek zıvananın dişi zıvana yuvasından yaklaşık 10 mm açıklık oluşturacak şekilde geriye çıkması ve yatay elemanın tek bir çizgi halinde yarılmasıdır. Şekil 6'da deneylerde gözlenen üçüncü tip deformasyon gösterilmiştir. Bu deformasyon biçimi, zıvana genişliği 30, 40, 50 ve 60 mm olup, zıvana uzunluğu 30, 40 ve 45 mm olan gruplarda elde edilmiştir. Burada, yapışma yüzeyi birinci gruba göre daha küçük olduğundan, erkek zıvana dişi zıvana yuvasından biraz daha fazla geri çıkmıştır. Buradan yapışma yüzeyindeki tutkal hattının birleştirmenin mukavemetine olan katkısının birinci deformasyon tipi grubuna oranla daha

fazla olması anlamı çıkarılabilir. Erkek zıvana bu durumda da tamamen bırakılmamış ve bu noktadan sonra yük yatay elemana aktarılarak yatay elemanın liflere dik çekme direnci zorlanmaya başlamıştır. Yatay elemana açılan dişi zıvana birinci deformasyon tipi grubuna oranla daha küçük olduğu ve dolayısıyla mukavemet zaafı daha az olduğu için, bu elmanın liflere dik çekme direnci aşıldığı anda yatay eleman parçalanmak yerine bir çizgi şeklinde yarılarak deforme olmuştur. Tek çizgi şeklindeki yarılmalar yaklaşık olarak erkek zıvananın uç (bitiş) noktası hizasından gerçekleşmiştir.



Şekil 6. Deneylerde gözlenen üçüncü tip deformasyon

T-tipi birleştirme elemanlarının çekme kuvveti kapasitesi

Çekme kuvveti kapasitesi deneylerinden her bir grup için elde edilen ortalama

değerler varyasyon katsayılarıyla birlikte Tablo 2'de verilmiştir. Ağaç türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana boyunun T-tipi birleştirme elemanlarının çekme kuvveti

kapasitesine etkilerine ilişkin olarak yapılan çoklu varyans analizi sonuçları Tablo 3’de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; ağaç türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana boyu ana faktörlerinin bireysel olarak çekme kuvveti kapasitesi üzerindeki etkileri 0.05 yanılma olasılığı için istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Ana faktörlere ait hesaplanan F değerlerine bakıldığında, çekme kuvveti kapasitesi üzerindeki en etkili faktörün ağaç türü, daha sonra da zıvana boyu olduğu anlaşılmaktadır. İkili etkileşimlerden, ağaç türü-zıvana genişliği etkileşimi dışındaki tüm ikili etkileşimler,

üçlü etkileşimlerden de tutkal çeşidi-zıvana genişliği-zıvana boyu etkileşimi dışındaki tüm üçlü etkileşimler 0.05 hata ile anlamlı çıkmıştır. Ağaç türü-tutkal çeşidi-zıvana genişliği-zıvana boyu dördü etkileşiminin de çekme kuvveti kapasitesi üzerindeki etkisi 0.05 hata payı ile önemli bulunmuştur. Dördü etkileşim anlamlı bulunduğu için dördü etkileşime ilişkin karşılaştırma testi yapılmış, üçlü ve ikili etkileşimlere ait karşılaştırma testleri yapılmamıştır. Ayrıca, ana faktörlerin belirgin etkilerinin görülmesi açısından da ana faktörlere ilişkin karşılaştırma testleri yapılmıştır.

Tablo 2. T-tipi birleştirme gruplarına ait çekme kuvveti kapasitesi değerleri (N)

Tutkal Çeşidi	Zıvana Genişliği (mm)	Zıvana Boyu (mm)	Ağaç türü			
			Doğu kayını		Sarıçam	
			X (N)	v (%)	X (N)	v (%)
PVAc	30	20	7459	6.94	4067	19.93
		30	10730	20.24	6686	20.75
		40	15180	6.95	7424	10.87
		45	12650	10.75	8600	14.75
	40	20	7297	8.43	4106	6.13
		30	13470	11.87	7381	14.09
		40	13740	12.51	7615	6.99
		45	13580	9.27	7426	20.00
	50	20	9158	5.17	5107	10.68
		30	9406	18.28	7616	17.60
		40	14210	9.67	7681	8.14
		45	16460	9.50	7287	9.64
60	20	6875	27.74	6782	2.28	
	30	13230	11.45	6955	8.18	
	40	15580	16.56	8031	16.20	
	45	16690	13.84	7410	10.73	
PU	30	20	6983	6.71	4161	14.16
		30	10330	13.83	6910	19.76
		40	13430	11.07	7428	9.09
		45	13950	9.34	9196	5.48
	40	20	5792	9.11	4083	18.00
		30	10490	12.30	6614	10.71
		40	11170	10.81	7605	10.66
		45	14180	12.35	7934	10.28
	50	20	5551	10.95	5264	11.11
		30	9028	9.05	7591	16.97
		40	10330	16.88	8848	14.29
		45	15140	7.92	8788	1.76
60	20	4974	19.97	6712	10.75	
	30	8286	16.24	8537	9.51	
	40	12340	6.79	8401	10.84	
	45	15700	11.73	7287	7.42	

Tablo 3. Varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	p < 0,05
Ağaç Türü (A)	1	1484179283.278	1484179283.278	1040.8952	0.0000
Tutkal Çeşidi (B)	1	40810102.278	40810102.278	28.6212	0.0000
A x B	1	86227701.003	86227701.003	60.4738	0.0000
Zıvana Genişliği (C)	3	21827434.534	7275811.511	5.1027	0.0019
A x C	3	6718310.384	2239436.795	1.5706	0.1970
B x C	3	13322138.234	4440712.745	3.1144	0.0268
A x B x C	3	23538650.559	7846216.853	5.5028	0.0011
Zıvana Boyu (D)	3	1409920741.909	469973580.636	329.6052	0.0000
A x D	3	299186888.959	99728962.986	69.9426	0.0000
B x D	3	26494308.409	8831436.136	6.1937	0.0004
A x B x D	3	16729230.834	5576410.278	3.9109	0.0093
C x D	9	40062411.928	4451379.103	3.1219	0.0014
A x C x D	9	147555459.428	16395051.048	11.4983	0.0000
B x C x D	9	13378175.728	1486463.970	1.0425	0.4065
A x B x C x D	9	30181688.253	3353520.917	2.3519	0.0145
Hata	256	365022254.000	1425868.180		
Toplam	319	4025154779.722			

Ağaç türünün ve tutkal çeşidinin çekme kuvveti kapasitesi üzerindeki etkilerini belirlemek için LSD 262.9 N kritik değerleri kullanılarak yapılan karşılaştırma sonuçları Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Ağaç türü ve tutkal çeşidi ortalamalarına göre yapılan karşılaştırma sonuçları

Ağaç Türü	Çekme kuvveti (N)	
	(X)	HG
Kayın	11360	A
Sarıçam	7048	B
Tutkal Çeşidi		
PVAc	9559	A
PU	8844	B
LSD ± 262,9 N		

X: Aritmetik Ortalama, HG: Homojenlik grubu

Ağaç türlerine göre incelendiğinde, doğu kayınından hazırlanmış deney örnekleri sarıçamdan hazırlananlara göre % 38 daha yüksek değerler vermiştir. Bu durum ağaç malzemelerin yapısal özellikleri ile ilgilidir. Yapışma direnci ile yoğunluk arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu ifade edilebilir. Doğü kayınının yoğunluğunun fazla olması iyi bir yapışmanın sağlanmasında etkili olmuştur. Yoğunluğun fazla olmasında, ağaç malzemenin selüloz molekülleri ile tutkalin

hidroksil grupları (OH) arasında oluşan hidrojen köprülerinin daha fazla olduğu düşünülmektedir. İyi bir yapışmanın sağlanabilmesi için bir diğer önemli faktör de yüzey düzgünlüğüdür. Düzgün bir yüzey ile tutkal katmanı arasında oluşacak spesifik adezyon kuvveti daha güçlü olabilir. Doğü kayını, kesicilerle işlem gördükten sonra sarıçama göre daha düzgün ve daha pürüzsüz yüzeyler verir. Bu nedenle, doğü kayını ile tutkal katmanı arasında oluşacak adezyon kuvvetinin, sarıçam ile tutkal katmanı arasında oluşacak adezyon kuvvetine göre daha güçlü olması beklenir. Pürüzlü yüzeylerde noktasal temas gerçekleştiğinden adezyon kuvvetinin daha düşük olacağı kabul edilir. Tutkal çeşidi ele alındığında, PVAc tutkalı PU tutkalına % 7 üstünlük sağlamıştır. Burada, PVAc tutkalının incelticisi olan suyun viskoziteyi ayarlayarak yapıştırıcı moleküllerinin ağaç malzemelerin daha derinliklerine nüfus etmesini sağlamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, PU tutkalı piyasada iç mekân mobilyalarının montaj işlerinde yaygın bir şekilde tercih edilmesine rağmen, gerçek kullanım alanı harici mekânlardır. Yapı itibarıyla nem kürlenmeli bir tutkal olduğundan rutubetin yüksek olduğu ortamlarda daha iyi sonuçlar vermektedir. Deney şartlarındaki rutubet

derecesinin, bu tutkalın gerçek performansını göstermesine imkân vermediği düşünülmektedir. Buna göre iç mekânlar için montaj tutkalı olarak PVAc tutkalının kullanılması önerilebilir.

Zıvana genişliği ve zıvana uzunluğunun çekme kuvveti kapasitesi üzerindeki etkilerini belirlemek için LSD kritik değerleri 371.8 N için yapılan karşılaştırma sonuçları Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. Zıvana genişliği ve uzunluğuna göre yapılan karşılaştırma sonuçları

Zıvana genişliği (mm)	Çekme kuvveti (N)	
	(X)	HG
30	9074	B
40	8905	B
50	9216	B
60	9612	A
Zıvana Uzunluğu (mm)		
20	5898	D
30	8954	C
40	10560	B
45	11390	A
LSD ± 371,8 N		

Zıvana genişliğine göre yapılan karşılaştırma sonuçlarına göre, 60 mm genişliğindeki zıvanalarla hazırlanan örneklerde en yüksek çekme kuvveti değerleri elde edilmiştir. 30, 40 ve 50 mm genişliğinde açılmış zıvanalar arasında çekme kuvveti değerleri açısından istatistiksel anlamda önemli bir fark olmadığı görülmüştür. Zıvana uzunlukları ele alındığında ise, 45 mm uzunluğunda zıvanalarla hazırlanan deney örnekleri çekme yükleri karşısında en iyi performansı göstermiş olup, sonrasında 40 mm uzunluğundaki zıvananın en iyi sonucu verdiği görülmüştür. En düşük çekme kuvveti kapasitesini ise sırasıyla 30 ve 20 mm uzunluğundaki zıvanalar ile hazırlanan deney örnekleri vermiştir. Burada, zıvana uzunluğu ile çekme kuvveti kapasitesi arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu söylenebilir. Zıvana uzunluğunun artması yapışma yüzey alanının büyümesine ve birleştirmenin çekme mukavemetinin artmasına neden olmuştur. Yapışma yüzey

alanının büyümesiyle aynı yük değeri altında zıvana yüzeylerindeki tutkal hattında meydana gelen kesme gerilmeleri değerleri azalmıştır. Dolayısıyla da birleştirme yüzeyi daha emniyetli hale gelmiş ve çekme mukavemetinde artış meydana gelmiştir. T-tipi birleştirmelerin çekme kuvveti kapasitesinde, zıvananın uzunluğu genişliğine göre çok daha etkili bulunmuştur. Ağaç türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğuna göre LSD değeri 1487 N için yapılan dörtlü karşılaştırma sonuçları Tablo 6’da verilmiştir.

Dörtlü etkileşim sonuçlarına göre, en yüksek çekme kuvveti Doğu kayını odunundan PVAc tutkalı ile hazırlanmış zıvana genişliği 60 mm zıvana uzunluğu 45 mm olan örneklerde elde edilmiştir. En düşük değerler ise, sarıçam odunundan PVAc ve PU tutkalı ile hazırlanmış zıvana genişliği 30 ve 40 mm zıvana uzunluğu ise 20 mm olan örneklerde elde edilmiştir. Zıvana uzunluğu 20 mm olan örnekler genellikle düşük çekme kuvveti taşımaya rağmen, zıvana genişliği küçük olsa bile zıvana uzunluğu büyük olan örnekler yüksek çekme kuvveti taşımışlardır. Buna göre zıvana uzunluğu artışının mukavemeti artırdığı söylenebilir. Zıvana uzunluğunun 20 mm’den 30 mm’ye çıkarılması ve 30 mm’den 40 mm’ye çıkarılması çekme kuvvetini önemli derecede arttırmış, ancak 40 mm’den 45 mm’ye çıkarılması çekme kuvvetini etkilememiştir.

Genel anlamda zıvana boyutlarının özellikle de uzunluğunun büyümesi tutkal çeşidinin etkisini azaltmıştır. Doğu kayını örnekler PVAc tutkalı ile sarıçam örnekler ise PU tutkalı ile daha yüksek değerler vermişlerdir. Sarıçamın PU tutkalı ile daha iyi sonuçlar vermesi; sarıçamın hücre boşluklarının büyük olması ve elastik yapıdaki PVAc tutkalına göre daha kararlı (rijit) davranış gösteren PU tutkalının bu gözeneklere girip sertleşerek yapışma yüzeyindeki mekanik adezyonu arttırmış olmasıyla açıklanabilir. Tablo 6’da gözlenen diğer bir sonuç da, zıvanalı birleştirmelerde birleştirme ara kesit yüzeyindeki alın kısmının çekmeye zorlayan kuvvetler karşısında etkisinin olmadığıdır.

Tablo 6. Dörtlü etkileşimine göre çekme kuvveti ortalamaları karşılaştırmaları (N)

Ağaç Türü	Tutkal Çeşidi	Zıvana Genişliği (mm)	Zıvana Boyu (mm)	(X)	HG
Doğu kayını	PVAc	60	45	16690	A
Doğu kayını	PVAc	50	45	16460	AB
Doğu kayını	PU	60	45	15700	AB
Doğu kayını	PVAc	60	40	15580	ABC
Doğu kayını	PVAc	30	40	15180	BCD
Doğu kayını	PU	50	45	15140	BCD
Doğu kayını	PVAc	50	40	14210	CDE
Doğu kayını	PU	40	45	14180	CDE
Doğu kayını	PU	30	45	13950	DEF
Doğu kayını	PVAc	40	40	13740	DEFG
Doğu kayını	PVAc	40	45	13580	EFG
Doğu kayını	PVAc	40	30	13470	EFG
Doğu kayını	PU	30	40	13430	EFG
Doğu kayını	PVAc	60	30	13230	EFG
Doğu kayını	PVAc	30	45	12650	FGH
Doğu kayını	PU	60	40	12340	GH
Doğu kayını	PU	40	40	11170	HI
Doğu kayını	PVAc	30	30	10730	IJ
Doğu kayını	PU	40	30	10490	IJK
Doğu kayını	PU	30	30	10330	IJKL
Doğu kayını	PU	50	40	10330	IJKL
Doğu kayını	PVAc	50	30	9406	JKLM
Sarıçam	PU	30	45	9196	KLM
Doğu kayını	PVAc	50	20	9158	KLMN
Doğu kayını	PU	50	30	9028	KLMNO
Sarıçam	PU	50	40	8848	LMNOP
Sarıçam	PU	50	45	8788	MNOP
Sarıçam	PVAc	30	45	8600	MNOPQ
Sarıçam	PU	60	30	8537	MNOPQ
Sarıçam	PU	60	40	8401	MNOPQR
Doğu kayını	PU	60	30	8286	MNOPQRS
Sarıçam	PVAc	60	40	8031	MNOPQRST
Sarıçam	PU	40	45	7934	MNOPQRST
Sarıçam	PVAc	50	40	7681	NOPQRST
Sarıçam	PVAc	50	30	7616	OPQRST
Sarıçam	PVAc	40	40	7615	OPQRST
Sarıçam	PU	40	40	7605	OPQRST
Sarıçam	PU	50	30	7591	OPQRST
Doğu kayını	PVAc	30	20	7459	PQRST
Sarıçam	PU	30	40	7428	PQRST
Sarıçam	PVAc	40	45	7426	PQRST
Sarıçam	PVAc	30	40	7424	PQRST
Sarıçam	PVAc	60	45	7410	PQRST
Sarıçam	PVAc	40	30	7381	PQRST
Doğu kayını	PVAc	40	20	7297	QRST
Sarıçam	PVAc	50	45	7287	QRST
Sarıçam	PU	60	45	7287	QRST
Doğu kayını	PU	30	20	6983	RSTU
Sarıçam	PVAc	60	30	6955	RSTU
Sarıçam	PU	30	30	6910	STU
Doğu kayını	PVAc	60	20	6875	STU
Sarıçam	PVAc	60	20	6782	TU
Sarıçam	PU	60	20	6712	TUV
Sarıçam	PVAc	30	30	6686	TUV
Sarıçam	PU	40	30	6614	TUV
Doğu kayını	PU	40	20	5792	UVW
Doğu kayını	PU	50	20	5551	UVWX
Sarıçam	PU	50	20	5264	VWX
Sarıçam	PVAc	50	20	5107	WX
Doğu kayını	PU	60	20	4974	WX
Sarıçam	PUm	30	20	4161	X
Sarıçam	PVAc	40	20	4106	X
Sarıçam	PU	40	20	4083	X
Sarıçam	PVAc	30	20	4067	X

LSD ± 1487 N

Matematiksel Modeller

T-tipi birleştirmelerin taşıdığı çekme kuvvetinin, her bir ağaç türü ve tutkal çeşidine göre, zıvana genişliği ve zıvana boyunun fonksiyonu olarak tahmin

edilebilmesi amacıyla yapılan çoğul regresyon analizleri sonucunda elde edilen matematiksel eşitlikler determinasyon katsayıları (R^2) ile birlikte Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Her bir ağaç türü ve tutkal çeşidine göre elde edilen eşitlikler ve bunlara ilişkin determinasyon katsayıları

Ağaç türü	Tutkal çeşidi	Çekme Kuvveti Kapasitesi (N)	
		Eşitlik	R^2
Doğu kayını	PVAc	$F = -16.69 + 50.55G + 298.51U$	0.68
	PU	$F = 464.66 - 29.38G + 335.9U$	0.83
Sarıçam	PVAc	$F = 2406.46 + 20.99G + 104.7U$	0.46
	PU	$F = 1379.19 + 34.95G + 126.16U$	0.57

F: Çekme kuvveti kapasitesi (N) G: Zıvana genişliği (mm) U: Zıvana uzunluğu (mm)

T-tipi zıvanalı birleştirmelerin çekme kuvvetinin tahmin edilebilmesi için elde edilen istatistiksel eşitliklerin determinasyon katsayıları Doğu kayını örneklerde PVAc tutkallı birleştirmeler için 0,68, PU tutkallı birleştirmeler için 0,83 olarak, sarıçam örneklerde ise PVAc tutkallı birleştirmeler için 0.46, PU tutkallı birleştirmeler için de 0.57 olarak belirlenmiştir.

Doğu kayını ve PU tutkallı birleştirmeler için elde edilen eşitlikler nispeten daha güvenilirdir. Bununla birlikte, genel anlamda ağaç malzemelerin heterojenliği göz önünde bulundurulduğunda ve literatürde masif ağaç malzemelerle ilgili yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında hesaplanan R^2 değerlerinin uygun olduğu anlaşılmaktadır (Eckelman, 1979; Erdil ve Eckelman, 2001; Eckelman ve ark., 2002). Her bir ağaç türü ve tutkal çeşidine göre; çekme kuvveti kapasitesinin belirlenmesi için elde edilen eşitliklerle hesaplanan teorik değerler ile deneyler sonucunda gözlenen değerlerin karşılaştırılması Tablo 8’de verilmiştir.

Çekme kuvveti kapasitesi deney sonuçları (gözlem değerleri) ile formüller kullanılarak hesaplanan istatistiksel tahmin değerleri (teorik değerler) karşılaştırıldığında, elde edilen eşitliklerin T-tipi zıvanalı birleştirmelerin çekme kuvveti kapasitesini makul bir şekilde tahmin ettiğini göstermektedir.

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, çerçeve tipi mobilyalarda sıkça karşılaşılan T-tipi zıvanalı birleştirme

elemanlarının çekme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucunda, farklı ölçülerdeki zıvanalarla birleştirilmiş T-tipi örnekler grupları itibarıyla farklı mekanik davranış özellikleri göstermişlerdir. Çekme kuvveti üzerinde, ağaç türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğunun önemli ölçüde etkili olduğu tespit edilmiştir.

Çekme kuvveti kapasitesinde Doğu kayını örnekler sarıçam örneklere üstünlük sağlamıştır. Bunun nedeni olarak ağaç malzemelerin yoğunluk farklılıkları, mekanik özellikleri ve bunlara bağlı olarak yapışma kabiliyetleri gösterilebilir. Buna göre; çerçeve tipi mobilyalarda, özellikle sandalye, döşemeli koltuk ve kanepelerinde Doğu kayını odununun tercih edilmesi teknik ve ekonomik açılarından önerilebilir. Tutkal çeşidinin etkisine bakıldığında, PVAc tutkalının PU tutkalına göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak, PU tutkalı sarıçam örneklerde daha iyi sonuçlar vermiştir. Buna göre iç mekânlar için montaj tutkalı olarak kayında PVAc, sarıçamda ise PU tutkalının kullanılması önerilebilir.

T-tipi birleştirmelerde, zıvana boyutları çekme kuvveti üzerinde etkili bulunmuştur. Zıvana boyutlarının artışı çekme kuvvetini arttırmıştır. Zıvana uzunluğunun etkisi, genişliğe göre daha fazla bulunmuştur. Bu bağlamda, çerçeve konstrüksiyonlu mobilyalarda karşılaşılan birleştirme elemanlarında bu sonuçlar değerlendirilmeli, ancak rasyonel tasarımın gereği olarak ekonomik hususlar da dikkate alınmalıdır.

Tablo 8. Deneysel sonuçları ile hesaplanan çekme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması

Ağaç Türü	Tutkal Çeşidi	Zıvana Genişliği (mm)	Zıvana Boyu (mm)	Gözlem değeri (N)	Teorik değer (N)	Fark (%)
Doğu kayını	PVAc	30	20	7459	7410	-0.66
			30	10730	10365	-3.40
			40	15180	13320	-12.25
			45	12650	14749	16.59
		40	20	7297	7915	8.47
			30	13470	10870	-19.30
			40	13740	13826	0.63
			45	13580	15303	12.69
		50	20	9158	8420	-8.06
			30	9406	11375	20.93
			40	14210	14331	0.85
			45	16460	15808	-3.96
	60	20	6875	8926	29.83	
		30	13230	11881	-10.20	
		40	15580	14836	-4.78	
		45	16690	16314	-2.25	
	PU	30	20	6983	6301	-9.77
			30	10330	9660	-6.49
			40	13430	13019	-3.06
			45	13950	14699	5.37
		40	20	5792	6007	3.71
			30	10490	9366	-10.71
			40	11170	12725	13.92
			45	14180	14404	1.58
50		20	5551	5713	2.92	
		30	9028	9072	0.49	
		40	10330	12431	20.34	
		45	15140	14110	-6.80	
60	20	4974	5419	8.95		
	30	8286	8778	5.94		
	40	12340	12137	-1.65		
	45	15700	13817	-11.99		
Sarçam	PVAc	30	20	4067	5130	26.14
			30	6686	6178	-7.60
			40	7424	7225	-2.68
			45	8600	7748	-9.91
		40	20	4106	5340	30.05
			30	7381	6387	-13.47
			40	7615	7435	-2.36
			45	7426	7958	7.16
		50	20	5107	5550	8.67
			30	7616	6598	-13.37
			40	7681	7645	-0.47
			45	7287	8168	12.09
	60	20	6782	5760	-15.07	
		30	6955	6807	-2.13	
		40	8031	7855	-2.19	
		45	7410	8378	13.06	
	PU	30	20	4161	4951	18.99
			30	6910	6212	-10.10
			40	7428	7474	0.62
			45	9196	8105	-11.86
		40	20	4083	5300	29.81
			30	6614	6562	-0.79
			40	7605	7823	2.87
			45	7934	8454	6.55
50		20	5264	5650	7.33	
		30	7591	6911	-8.96	
		40	8848	8173	-7.63	
		45	8788	8804	0.18	
60	20	6712	5999	-10.62		
	30	8537	7261	-14.95		
	40	8401	8523	1.45		
	45	7287	9153	25.61		

Çalışmanın sonuçlarına dayanarak, zıvanalı birleştirmelerin tasarımında aşağıdaki kriterlerin dikkate alınması mukavemet açısından faydalı olacaktır;

- Zıvananın malzeme içerisindeki yapışma yüzey alanı,
- Açılan erkek zıvana yüzeylerinin ve dişi zıvana yuvası duvarlarının pürüzlülüğü,

Kullanılan malzemenin yoğunluğu ve ağaç türüne göre seçilen tutkalın uygunluğu olarak sıralanabilir.

Yapılan çoğul regresyon analizleri sonucunda, mobilya mühendislerinin kullanabileceği matematiksel eşitlikler elde edilmiş ve bu alandaki veri tabanına katkıda bulunulmuştur. T-tipi zıvanalı birleştirmelerin çekme kuvvetinin, zıvana boyutlarının fonksiyonu olduğu belirlenmiştir. Bu formüller çalışmada denenmeyen genişlik ve uzunluktaki zıvanalar için de uygulanarak çekme kuvveti değerleri önceden tahmin edilebilir.

İleriki çalışmalarda, değişik tutkallar, farklı ağaç türleri için deneyler yapılması ve yeni formüllerin elde edilerek kullanıma sunulması mobilya mühendislerinin işini kolaylaştırıcaktır. Hatta daha geniş kapsamlı bir örnek grubu için ağaç malzeme özellikleri ve tutkal çeşidi etkisini de içeren evrensel formüller geliştirilmelidir. Yapılması gereken bir diğer önemli çalışma da, bu tip birleştirmelerin hem statik hem de devirli (yorma) yükler altında, eğmeye ve kesmeye zorlayan kuvvetler karşısındaki mukavemetlerinin ve mekanik davranış özelliklerinin araştırılmasıdır.

Kaynaklar

Akçay, H., Eckelman, C., Haviarova, E., 2005. Withdrawal Shear, and Bending Moment Capacities of Round Mortises and Tenon Timber Framing Joint, *Forest Products Journal*, 55 (6): 60-72.

Altınok, M., Söğütlü, C., Döngel, N., 2000. Zıvanalı "T" Birleştirmelerde Ağaç Türü, Tutkal Çeşidi ve Presleme Yönünün Çekme Direncine Etkileri, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 24 (6) : 767-771.

Eckelman, C., A., 1979. Withdrawal Strength of Dowel Joints: Effect of Shear Strength, *Forest Product Journal*, 29 (1) : 48 – 52,.

Eckelman, C., A., 1991. Textbook of Product Engineering and Strength Design of Furniture,

Text Book, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA.

Eckelman, C., Haviarova, E., 2006. Effect of Shoulders on Bending Moment Capacity of Round Mortise and Tenon Joints, *Forest Products Journal*, 56 (1): 82-86.

Eckelman, C., Haviarova, E., Erdil, Y., Tankut, A., Akçay, H., Denizli, N., 2004. Bending Moment Capacity of Round Mortise and Tenon Furniture Joint, *Forest Products Journal*, 54 (12): 192-197.

Eckelman, C.A, Erdil, Y. Z., Zhang, J., 2002. Withdrawal and Bending Strength of Dowel Joints Constructed of Plywood and Oriented Strandboard, *Forest Product Journal*, 52 (9): 66-74.

Efe, H., Kasal, A., 2003. Çerçeve Konstrüksiyonlu Mobilya "T" Tipi Kavelalı Birleştirmelerde Köşe Destek Elemanı Boyutunun Çekme Direncine Etkisi, *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 16 (2): 339-350.

Erdil, Y. Z., Kasal, A., Eckelman, C., A., 2005. Bending Moment Capacity of Rectangular Mortise and Tenon Furniture Joints", *Forest Products Journal*, 55 (12): 209-213.

Erdil, Y., Z., Eckelman, C., A., 2001. Withdrawal Strength of Dowels In Plywood and Oriented Strand Board, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 25 : 319-327.

Hill, D., M., Eckelman, C., A., 1973. Flexibility and Bending Strength of Mortise and Tenon Joints, *Purdue University Paper*, 4758: 25-33.

İshii, M., Miyajima, H., 1981. Comparison of Performances of Wooden Chair Joints", *Res, Hokkaido University, Bulletin of The College of Experimental Forest*, 38 (21): 121-138.

Kasal, A., Erdil, Y.Z., Eckelman, C.A., 2006. Shear Force and Bending Moment Capacities of Joints Constructed with Glued Corner Blocks, *Forest Products Journal*, 56 (9): 74-79.

Mihailecsu, T., 2001. An Investigation of Performance of Mortise and Tenon Joints Using The Finite Element Method", *Journal of Institute of Wood Science.*, 15 (5): 89-95.

Polisan, 1996. Üretici Firma, <http://www.polisan.com.tr>, Bolu.

Ratnasingam, J., Ioras, F., McNulty, T., 2010. Fatigue Strength of Mortise and Tenon Furniture Joints Made from Oil Palm Lumber and Some Malaysian Timbers, *Journal of Applied Sciences*, 10 (22): 2869-2874.

Tokgöz, H., Özçiftçi, A., Atar M., Uysal, B., 1999. Shear and Bending Strength of Some End to End Grained Joints Prepared from Scotch Pine, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23 (6): 621-626.