

# FARKLI ÖLÇÜLERDE KÖŞE DESTEK ELEMANI KULLANILMIŞ T-TİPİ KAVELALI MOBİLYA BİRLEŞTİRMELERİNİN MOMENT VE KESME KUVVETİ TAŞIMA KAPASİTELERİ

**Ali KASAL**

Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Muğla Üniversitesi, 48000, Kötekli, Muğla  
[alikasal@mu.edu.tr](mailto:alikasal@mu.edu.tr)

(Geliş/Received: 11.12.2006; Kabul/Accepted: 02.02.2008)

## ÖZET

Bu çalışmada, T-tipi kavelalı tutkallı mobilya birleştirmelerinde, köşe destek elemanı boyutunun moment ve kesme kuvveti taşıma performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deney örnekleri, Doğu kayını (*Fagus orientalis Lipsky*) ve sarıçam (*Pinus sylvestris L.*) odunlarından hazırlanmıştır. Doğu kayını kavelalar ile polivinilasetat (PVAc) tutkallı kullanılarak birleştirilmiş deney örnekleri, 30x30x25 mm, 40x40x25 mm, 50x50x25 mm ve 60x60x25 mm ölçülerindeki köşe destek elemanları ile desteklenmiştir. 2 deney türü, 2 ağaç türü, 4 değişik boyutta köşe destek elemanı, kontrol örnekleri ve her örnekten 10 yinleme olmak üzere toplam 200 örnek hazırlanmış olup, eğilme ve kesme yükleri altında denenecek moment ve kesme kuvveti taşıma performansları belirlenmiştir. Ayrıca, köşe destek elemanı boyutu ile moment ve kesme performansı arasındaki ilişkiler incelenerek matematiksel modeller geliştirilmiştir. Böylece, mobilya tasarımcıları bu eşitlikleri kullanarak her bir ağaç türü için, köşe destek elemanı boyutuna göre moment ve kesme kuvveti değerlerini önceden tahmin edebileceklerdir. Deneyler sonucunda, Doğu kayınından hazırlanmış 60x60x25 mm ölçülerindeki köşe destek elemanlı örnekler hem moment, hem de kesme performansında en yüksek değerleri vermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Moment kapasitesi, kesme kuvveti kapasitesi, köşe destek elemanı, kavelalı birleştirme, Doğu kayını, sarıçam.

## BENDING MOMENT AND SHEAR FORCE CAPACITIES OF THE T-TYPE DOWELED FURNITURE JOINTS REINFORCED WITH DIFFERENT SIZES OF CORNER BLOCKS

### ABSTRACT

In this study, effects of the corner block dimensions on moment and shear force capacities for T-type glued doweled furniture joints were investigated. Specimens were prepared of Turkish beech (*Fagus orientalis Lipsky*) and Scotch pine (*Pinus sylvestris L.*) woods. The specimens jointed with beech dowels and polyvinylacetate (PVAc) adhesive were reinforced by the corner blocks measuring of 30x30x25 mm, 40x40x25 mm, 50x50x25 mm ve 60x60x25 mm. A total of 200 specimens included 2 test types, 2 wood species, 4 corner block dimensions, control specimens, and 10 replications for each were prepared and tested under static bending and shear loads, thus the moment and shear force bearing performances were determined. Furthermore, the mathematical models were developed by analyzing the relations between the corner block dimensions and moment and shear performances. Therefore, furniture designers could estimate the moments and shear forces for each wood species as a function of corner block dimension by utilizing these predictive expressions. At the end of the tests, the specimens prepared of beech and reinforced with 60x60x25 mm corner blocks gave the highest values for both moment and shear performances.

**Keywords:** Moment capacity, shear force capacity, corner block, dowel joint, Turkish beech, Scotch pine

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mobilya yüzyıllardan beri çeşitli formlarda üretilmesine karşın, nadir olarak yapısal özellikleri dikkate alınarak tasarlanmıştır [1]. Mobilyada yapısal (mühendislik) tasarım gerekli olup, kullanıcılara güvenilir hizmet verecek mobilyaların tasarlanabilmesi açısından önemlidir. Bir mobilya sisteminin veya mobilya birleştirmelerinin mühendislik kurallarına uygun bir biçimde yapısal olarak tasarlanabilmesi ve analiz edilebilmesi için öncelikle yapılmış oldukları malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin ve çeşitli bağlantı elemanlarıyla tutma mukavemetlerinin bilinmesi gereklidir [2].

Mobilya üretiminde genel olarak, kutu, çerçeve ve kombine olmak üzere üç temel konstrüksiyon kullanılmaktadır. Üretimde tablaların kullanıldığı mobilyalar kutu (panel) tipi, masif çerçevelerin yer aldığı mobilyalar çerçeve (iskelet) tipi, her iki eleman tipinin de kullanıldığı mobilyalar ise kombine konstrüksiyonlu mobilyalar olarak karakterize edilmektedir [3].

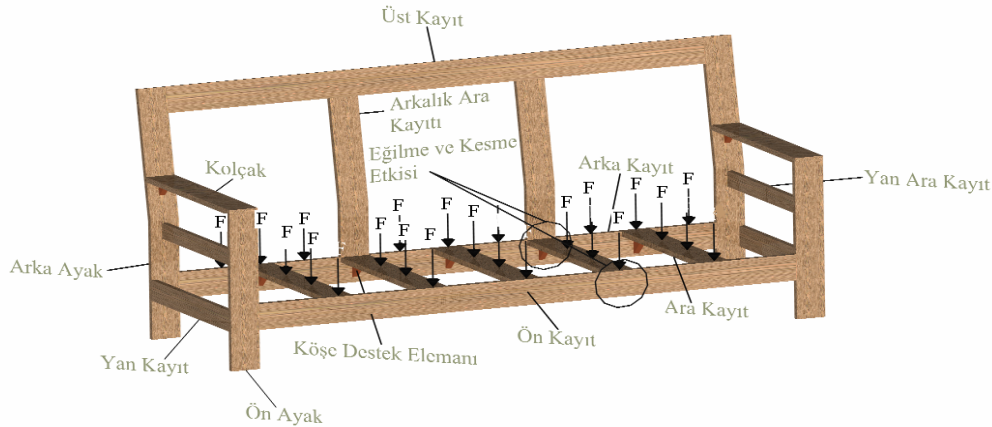
Çerçeve konstrüksiyonlu mobilyalarda, örneğin döşemeli koltuk, kanepeler gibi mobilyaların iskelet kısımlarında, çeşitli sandalyelerde; çerçeve sistemini oluşturan elemanlar gerekli noktalarda birbirlerine farklı birleştirme teknikleriyle bağlanmaktadır. Bu tekniklerden kavelalı ve zıvanalı birleştirmeler tutkallı olarak uzun yıllardan beri kullanıldığı gibi, vidalı, minifiksli ve tel zımbalı gibi mekanik bağlantı sağlayan birleştirmelerin de tutkallı ve tutkalsız olarak kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Çerçeve sistemlerde, T-tipi birleştirme elemanları ile sıkça karşılaşılır. Bu elemanlara örnek olarak; sandalyelerde, döşemeli koltuk ve kanepeler iskeletlerinde; ön kayıt-ara kayıtlar, arka kayıt-ara kayıtlar, arka kayıt-arkalık ara kayıtları, 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. Örneğin, bir kanepede veya koltukta, oturma eylemi esnasında ön, arka, yan ve ara kayıtlara insanın ağırlığından dolayı düşey yönde yayılı yük etki eder. Düşey yöndeki bu yayılı yük, ön kayıt-ara kayıtlar, arka kayıt-ara kayıtlar, arka ayak-kolçak, ön ayak-yan kayıt ve arka ayak-yan kayıt birleştirmelerinde eğilme, kesme ve eğilmeli kesme (birleşik gerilme) zorlamaları meydana getirir. (Şekil 1).

Çerçeve sistemler, etkisinde kaldıkları bu zorlayıcı kuvvetlere karşı mukavemet gösterebilmelidir. Çerçeve sistemindeki birleştirmelerin ve elemanların sağlamlığı, sistemin bütününe sağlamlığını temsil etmektedir. Bu nedenle, çerçeve sistemi oluşturan elemanların ve özellikle de sistemin en kritik yerleri olan birleştirmelerin yeterli mukavemete sahip olmaları gerekir. Güvenilir bir sistem oluşturabilmek için, birleştirmelerin sağlamlıkları ve mekanik davranış özellikleri ile ilgili veriler belirlenmeli ve birleştirmelerin mukavemetini arttıracak tedbirler alınmalıdır. Köşe destek elemanları, çerçeve konstrüksiyonlu mobilyalarda, birleştirme noktalarının mukavemetini arttırmak amacıyla en çok yararlanılan elemanlardır. Bu elemanlar özellikle, aşırı yüke maruz kalan birleştirme noktalarında yaygın olarak kullanılırlar. Bazı durumlarda kavelalı veya vidalı gibi birleştirmeleri güçlendirmek amacıyla, bazı durumlarda da kendi başlarına bağlantı elemanı olarak kullanılabilirler.

Bu çalışmada, pratikte bir koltuk veya kanepeler iskeletinde ön kayıt-ara kayıtlar ve arka kayıt-ara kayıtlar bağlantı noktalarındaki eğilme ve kesme etkisini temsil eden T-tipi birleştirme elemanları örnek olarak alınmıştır.



**Şekil 1.** Bir kanepenin iskeletinde bağlantı noktalarında eğilme ve kesme etkileri (The bending and shear effects in the joints of a sofa frame)

### 1.1. Kaynak Araştırması (Literature Research)

Literatürde, T-tipi birleştirmelerin çeşitli yükler altındaki mukavemet özellikleri ve köşe destek elemanları ile ilgili birçok çalışmaya rastlanmaktadır. Bunlardan bazıları bu bölümde verilmiştir.

Meşede (*Quercus borealis L.*) üre-formaldehit tutkalı kullanılarak 8, 10, 12 mm çapında huş (*Betula lutea*) odunundan elde edilen kavelalarla yapılan T-tipi birleştirmelerin eğilme direncinde, kavelanın düz çekme mukavemetinin etkili olduğu bildirilmiştir [4]. Eckelman (1971), şeker akçağacından (*Acer saccharum*) elde edilen T-tipi eğilme elemanlarını üre-formaldehit tutkalı ile denemiş ve eğilme momentinin, tek kavelanın çekmede gösterdiği kuvvet ile iç moment kolunun çarpımına eşit olduğunu belirlemiştir [5]. Eckelman (1971), oturma mobilyalarına gelen düşey ve yatay kesme yüklerinin, kavelalı birleştirme kullanılmış çerçeve konstrüksiyonlu mobilyaların düğüm noktalarına etkisini irdelemiştir [6]. Şeker akçağacı (*Acer saccharum*) odunları ile aynı malzemeden elde edilen 60 mm boyunda, 9,5 mm çapında kavelalarla, üre-formaldehit tutkalı kullanılarak üretilen çift kavelalı T-tipi birleştirmelerin yorulma direnci deneylerinde; birleştirmenin yorulma limitinin statik mukavemetinin 1/6'sı kadar olduğu tespit edilmiştir [7]. Eckelman (1979), ceviz (*Juglans*) odunundan farklı boyutlardaki şeker akçağacı (*Acer saccharum L.*) kavelalarla hazırlanmış 60 adet deney örneğini karşılaştırmıştır. Tüm örnekleri üre-formaldehit tutkalı ile yapıştırılmıştır. Ayrıca çerçeve tipi ve kasa (düzlem yüzey dışı) tipi kavelalı birleştirmelerde eğilme karakteristiklerini incelemiştir. Sonuç olarak, kasa tipi birleştirmelerin, çerçeve tipi birleştirmelere göre daha mukavemetli, kayıt kalınlığı 20 mm olan birleştirmelerin, kayıt kalınlığı 25, 30 ve 38 mm olanlara göre 14 kat daha elastik (flexible) olduğunu bildirmiştir [8]. T-tipi kavelalı mobilya birleştirmelerinde rasyonel kavala tipini belirlemek amacıyla, sarıçam (*Pinus sylvestris L.*), meşe (*Quercus borealis L.*) ve Doğu kayını (*Fagus orientalis Lipsky*) odunları üzerinde, farklı çap ve boydaki kavelalarla çekme deneyleri yapılmıştır. En iyi sonucun meşe odunu üzerinde, 36 mm boyunda ve 10 mm çapındaki kavelalarla elde edildiği bildirilmiştir [9]. Altınok ve diğerleri (2000) daire testerede ve şerit testerede açılmış zıvanalı T-tipi birleştirmelerde, en yüksek çekme direncinin PVAc tutkalı ile yüzeyden preslenerek yapıştırılmış Doğu kayını örneklerde elde edildiğini belirlemiştir [10,11]. Efe ve Kasal (2003) Doğu kayını (*Fagus orientalis Lipsky*) ve sarıçamdan (*Pinus sylvestris L.*) hazırlanmış T-tipi tutkalı kavelalı birleştirmelerde köşe destek elemanı boyutunun doğrusal çekme direnci üzerindeki etkilerini incelemişler ve çekme kuvveti kapasitesinin tahmini için eşitlikler vermişlerdir [12]. Kasal ve diğerleri (2006) yalnızca tutkalı köşe destek elemanı ile birleştirilmiş, T-tipi birleştirmelerin kesme kuvveti ve moment taşıma

kapasitelerini laboratuvar koşullarında belirlemişler, ayrıca bu değerlerin tahmin edilebilmesi amacıyla denklemler geliştirmişlerdir [13].

Mobilya mühendislik (mukavemet) tasarımı yaklaşımında, birinci basamak kullanılan malzemelerin bazı teknik özelliklerinin ve çeşitli bağlantı elemanlarıyla çeşitli yükler altındaki mukavemet özelliklerinin belirlenmesidir. Bu çalışmada; mobilya mühendislik tasarımının ilk basamağı için veri tabanı oluşturması açısından, PVAc tutkalıyla yapıştırılmış kavelalı T-tipi birleştirmelerde, mukavemeti arttırmak amacıyla kullanılan köşe destek elemanı boyutlarının, moment ve kesme kuvveti taşıma kapasitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ayrıca her bir ağaç türü için, köşe destek elemanı boyutu ile moment ve kesme kuvveti taşıma performansı arasındaki ilişkiler incelenerek matematiksel modeller haline getirilmiş ve mobilya tasarımcılarının kullanımına sunulmuştur.

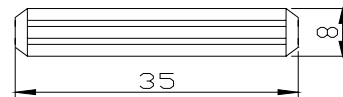
## 2. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1 Ağaç Malzemeler (Wood Materials)

Deneylerde, Türkiye'de masif mobilya üretiminde yaygın olarak kullanılan I. sınıf Doğu kayını ve sarıçam odunları kullanılmıştır. Malzemeler piyasadan rasgele seçim yöntemi ile temin edilmiştir. Ağaç malzemenin seçiminde, kerestenin sağlıklı olmasına, liflerinin düzgün, budaksız, ardaksız, normal büyüme göstermiş, reaksiyon odunu bulunmayan, mantar ve böcek zararlarına uğramamış olmasına özen gösterilmiştir. Temin edilen kalaslar kaba ölçülerinde kesildikten sonra, havalandırılan ve direk güneş ışığı almayan bir ortamda aralarına göknar latalar konularak istiflenmiş ve yaklaşık bir yıl süreyle bekletilmişlerdir.

### 2.2 Kavela (Dowel)

Denemelerde piyasadan rasgele temin edilen, TS 4539 [14] esaslarına uygun, 8 mm çapında ve 35 mm boyunda, yivli gövdeli ve kayın odunundan hazırlanmış kavelalar kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Denemelerde kullanılan kavela (ölçüler mm'dir) (The dowel used in the tests (measurements in mm))

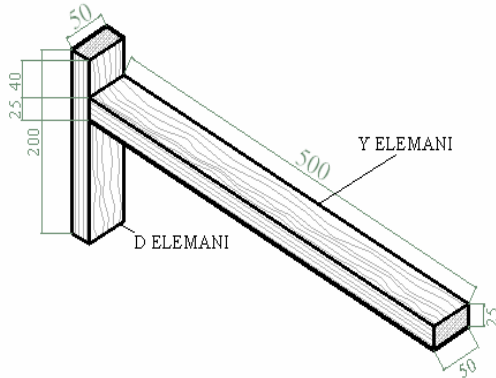
### 2.3. Polivinilasetat Tutkalı (Polyvinylacetate Adhesive)

Köşe destek elemanlarının, kavelaların ve birleştirme arakesit yüzeylerinin yapıştırılmasında; soğuk olarak uygulanması, kolay sürülmesi, çabuk sertleşmesi, kokusuz ve yanmaz olması gibi özellikleri sebebiyle

S 3891 [15]'de belirtilen esaslara uygun % 45 katı madde miktarı olan PVAc tutkallı kullanılmıştır. Denemelerde kullanılan tutkallın özellikleri üretici firma tarafından yoğunluk  $1.1 \text{ g/cm}^3$ , vizkozitesi 160-200 cps, PH = 5.00, kül miktarı % 3 olarak verilmiştir [16].

#### 2.4 Dene Örneklelerinin Hazırlanması (Preparation of the Specimens)

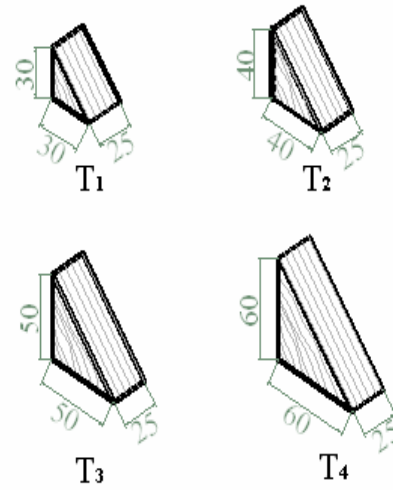
Dene örnekleri;  $500 \times 50 \times 25$  mm bir yatay (Y) ve  $200 \times 50 \times 25$  mm ölçülerinde bir düşey (D) eleman olmak üzere iki elemandan oluşmaktadır (Şekil 3). Uygulamada, (D) elemanları ayakları, (Y) elemanları ise kayıtları temsil etmektedir. Örnekler hazırlanırken, parçalara ilk olarak planya makinesinde yüz ve cumba açılmış, daha sonra tüm parçalar kalınlık makinesinde  $25 \pm 1$  mm kalınlık, daire testere makinesinde  $50 \pm 1$  mm genişlik,  $500 \pm 1$  ve  $200 \pm 1$  mm boy ölçüleri olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Devamında, (D) elemanına dikey delik, (Y) elemanına ise yatay delik makinesinde iki adet kavala deliği açılmıştır. Kavala delikleri, piyasadaki yaygın uygulamalar dikkate alınarak, kavelaların (D) elemanına 15 mm, (Y) elemanına ise 20 mm girmesini sağlayacak şekilde delinmiştir. Kavala deliği merkezleri, kalınlık yönünde orta ekseninde, genişlik yönünde ise birleştirme arakesit yüzeyi kenarlarından 12 mm içeride olacak şekilde alınmıştır. İki kavala eksenindeki mesafe 26 mm'dir.



Şekil 3. Eğilme ve kesme deneylerinde kullanılan dene örneği (ölçüler mm'dir) (The specimen used in the bending and shear tests (measurements in mm))

Kavelalı birleştirmeler için TS 4539 [14]'da belirtilen esaslara, tutkallama işlemi için ise üretici firma önerilerine uyulmuştur. Kavala deliklerine, kavelalara ve birleşme arakesit yüzeylerine fırça ile yaklaşık  $150 \pm 10 \text{ g/m}^2$  hesabıyla tutkal sürüldükten sonra elemanlar birbirlerine dik olacak şekilde mangel yardımıyla preslenmiş ve 2 saat bu durumda kurumaya bırakılmıştır. Tutkal çözeltisinin başlangıçtaki ağırlığı ile tutkallama işleminden sonraki ağırlığı  $0,01 \text{ g}$  duyarlıklı analitik terazi yardımıyla tartılmış ve kullanılan tutkal miktarı (fırçada kalan miktar hesaba katılarak) tutkallanan toplam yüzeye bölünmüştür. Hazırlanan dene

örnekleri, kullanılan tutkallın tam sertleşmesini sağlamak için 3 gün (72 saat) bekletilmiş ve  $20 \pm 2^\circ \text{C}$  ve %  $65 \pm 5$  bağıl nem şartlarındaki iklimlendirme dolabında, değişmez ağırlığa gelinceye kadar tutularak, denge rutubetlerinin ortalama %12 (hava kurusu) olması sağlanmıştır. Dene örneklerinin dengeye ulaşması yaklaşık 3 hafta sürmüştür, rutubet kontrolü için TS 2471'de belirtilen esaslara uyulmuştur [17]. Daire testere makinesinde;  $T_1$  ( $30 \times 30 \times 25$ mm),  $T_2$  ( $40 \times 40 \times 25$ mm),  $T_3$  ( $50 \times 50 \times 25$ mm) ve  $T_4$  ( $60 \times 60 \times 25$ mm) ölçülerinde, ikizkenar üçgen şeklinde hazırlanan köşe destek elemanları, 50 mm genişliğindeki birleştirme yüzeylerine ortalanarak yapıştirilmiştir. Köşe destek elemanlarının lif yönleri, uzun kenara paralel olacak şekilde ayarlanmıştır. Köşe destek elemanları Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Kullanılan değişken boyutlardaki köşe destek elemanları (Ölçüler mm'dir) (The different sizes of corner blocks used in the tests (measurements in mm))

Köşe destek elemanlarının etkisini ölçebilmek amacıyla, her bir grup için kontrol örnekleri hazırlanmıştır. Doğu kayını ve sarıçamdan hazırlanan kontrol dene örneklerinde köşe destek elemanı kullanılmamış, sadece kavelalı birleştirme uygulanmıştır.

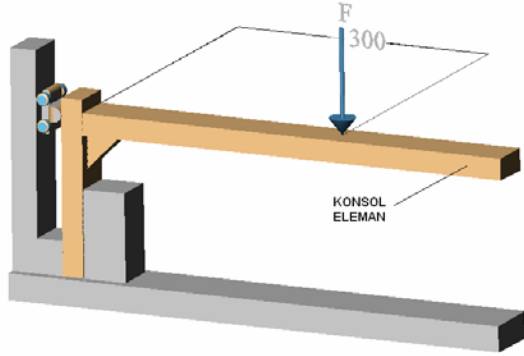
#### 2.5. Dene Deseni (Experimental Design)

Deneylerde 2 ağaç türü, 4 değişik boyutta köşe destek elemanı, kontrol örnekleri ve her örnekten 10 tekrar olmak üzere toplam 200 adet dene örneği hazırlanmıştır (Tablo 1).

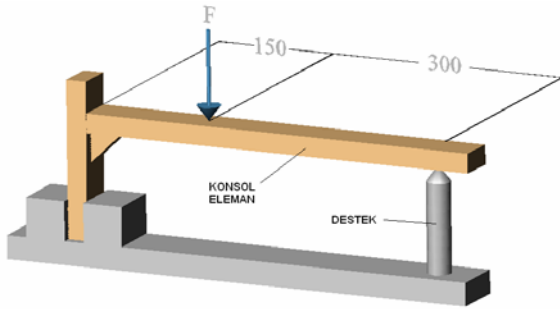
#### 2.6. Deneylerin Yapılışı (Method of Testing)

Eğilme ve kesme deneylerinden önce, kullanılan ağaç malzemelerin TS 2471 [17]'ya göre rutubet oranları ve TS 2472 [18]'ye göre de yoğunlukları belirlenmiştir. Eğilme ve kesme deneyleri, uygun dene düzenekleri hazırlandıktan sonra, 4 ton kapasiteli Üniversal Test Cihazında ve basınç

kolonunda 2 mm/dk hız sağlanan statik yüklemelerle yapılmıştır. Birleştirme yüzeylerinin açılarak deformasyona uğraması veya elemanların kırılması anındaki maksimum kuvvetler Newton (N) cinsinden kaydedilmiştir. Eğilme deney düzeneği ve yük uygulama noktası Şekil 5’de, kesme deneyi ve yük uygulama noktası ise Şekil 6’da gösterilmiştir.



Şekil 5. Eğilme deney düzeneği ve yük uygulama noktası (ölçüler mm’dir) (Bending test set-up and load applying point (measurements in mm))



Şekil 6. Kesme deney düzeneği ve yük uygulama noktası (ölçüler mm’dir) (Shear test set-up and load applying point (measurements in mm))

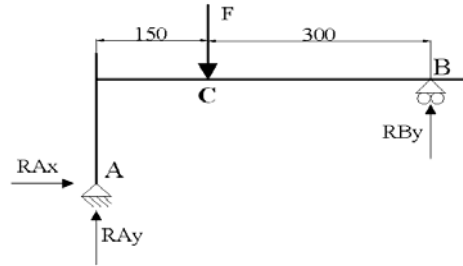
## 2.7. Eğilme ve Kesme Analizi (Bending and Shear Analyses)

Eğilme deneylerinde, yükleme birleştirme yüzeyinden 300 mm (12 inches) uzaklıktan yapılmıştır [5, 8, 13, 19, 20, 21, 22, 23]. Kuvvet doğrultusu, mesnet (destek) noktasından geçmediği için birleştirme noktalarında moment meydana gelmiştir. Bir başka ifadeyle, moment kolu 300 mm’dir. Birleştirmeler tarafından taşınan maksimum momentler ( $M_{max}$ ), uygulanan maksimum yük ( $F_{max}$ ) ile moment kolu ( $L$ ) çarpılarak hesaplanmış ve istatistiksel işlemlere alınmıştır.

$$M_{max} = F_{max} \times L \quad (Nm)$$

Kesme deneyleri için geliştirilen deney düzeneğinde gerçekleştirilen deneylerde, birleştirmeler mevcut yükleme koşulları altında hem moment hem de kesme kuvveti taşınmalarına karşın, konsol elemanının ucuna destek koyulması nedeniyle sadece kesme kuvvetleri taşıdıkları varsayılmış ve sadece birleştirmeye etki eden kesme kuvveti etkisi hesaplanmıştır.

Birleştirmelerin eğilmeden daha çok kesme etkisine maruz kalması amacıyla, deney kuvveti eğilme deneylerinden farklı olarak birleştirmeye daha yakın bir noktadan, 150 mm (6 inches) mesafeden uygulanmıştır. Bu mesafenin tayininde, kavelaların kendi etki alanlarının dışına çıkılmasına dikkat edilmiş ve literatürdeki benzer çalışmalarda mesafeler referans alınmıştır [6, 13, 19]. Birleştirmeler tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin hesaplanması için, düzlemsel sistemlerin çözümünde kullanılan statik genel denge formüllerinden ( $\sum F_x = 0$ ,  $\sum F_y = 0$ ,  $\sum M = 0$ ) yararlanılmıştır. Kesme deneyinde oluşan tepki kuvvetleri ve serbest cisim diyagramı Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Kesme deneylerinde oluşan tepki kuvvetleri ve serbest cisim diyagramı (The reaction forces occurred in the shear tests and free body diagram)

Burada prensip, yatay yöndeki etki ve tepki kuvvetlerinin toplamı ( $\sum F_x$ ), düşey yöndeki kuvvetler toplamı ( $\sum F_y$ ) ve momentler toplamının ( $\sum M$ ) sıfıra eşitlenmesidir. Buna göre;

$$\sum F_x = 0 \text{ dan } \mathbf{RA}_x = 0$$

$$\sum F_y = 0 \text{ dan } F_{max} - RA_y - RB_y \Rightarrow \mathbf{RA}_y + \mathbf{RB}_y = F_{max}$$

$$\sum M_B = 0 \text{ dan } (F_{max} \times 300) - (RA_y \times 450) = 0$$

$$300F_{max} - 450RA_y = 0$$

$$\mathbf{RA}_y = F_{max} / 1,5 \quad (N)$$

eşitlikleri deney sonuçlarına uygulanarak tepki kuvvetleri hesaplanmıştır. Burada (A) noktasında oluşan düşey yöndeki tepki kuvveti ( $RA_y$ ), süper pozisyon ilkesine göre, birleştirmeler tarafından taşınan kesme kuvveti olarak kabul edilmiştir. Bir başka ifadeyle, kesme deneylerinde elde edilen maksimum kuvvet ( $F_{max}$ ) değerlerinin % 67’si kavelalı ve köşe takozlu birleştirmeye (A noktası), % 33’ü ise diğer mesnet (B) noktasına kesme kuvveti olarak etmiştir. Buna göre, kesme deneylerinde elde edilen maksimum kuvvetin % 67’si hesaplanmış ve istatistiksel işlemlere alınmıştır.

Eğilme deneylerinde, deney yükünün uygulanmasıyla, (Y) ve (D) elemanlarının birleştirme yerlerinden; kavala yüzeylerindeki tutkal hattında kesme gerilmeleri, birleştirme arakesit yüzeylerindeki ve köşe destek elemanının (D) elemanına yapışan

yüzeyindeki tutkal hattında da normal (eksenel) gerilmeler meydana gelir. Kesme deneylerinde ise bunlardan farklı olarak (D) elemanında normal gerilmeler, köşe destek elemanının (D) elemanına yapışan yüzeyindeki ve kavela yüzeyindeki tutkal hattında ise kesme gerilmeleri meydana gelmiştir. Kavelalarda; eğilme deneylerinde kavelanın yapılmış olduğu ağaç malzemenin liflerine dik yönde eğilme direnci, hem eğilme hem kesme deneylerinde ise liflerine dik yönde kesme direnci önemlidir. Bir başka ifadeyle, kavelalar eğilme deneylerinde ağırlıklı olarak eğilme, kesme deneylerinde ise ağırlıklı olarak kesilme etkisine maruz kalmıştır.

Deneyler esnasında açılmalar ve kırılmalar gerek eğilme gerekse kesme deneylerinde köşe destek elemanının ve (Y) elemanının, (D) elemanı ile birleşen yüzeyinde meydana geldiği için, köşe destek elemanının (Y) elemanına yapışan yüzeyinin, iki elemanın birbirinden ayrılmaması için herhangi bir mukavemet etkisinin olmadığı kabul edilmiştir. Deneylerdeki yükleme biçimlerine göre de, köşe destek elemanının ve (Y) elemanının, (D) elemanına yapışma hattı zorlanmakta ve açılmanın buralarda meydana gelmesi beklenmektedir.

Hem eğilme hem de kesme deneylerinde, her bir grupta, birleştirmelere gelen kuvvetlerin analiz edilmesi için, bir sonlu elemanlar yazılımı olan RISA-3D [24] (Rapid Interactive Structural Analysis) programından yararlanılarak moment ve kesme kuvveti diyagramları çizilmiştir.

## 2.8 Verilerin Değerlendirilmesi (Data Analysis)

Köşe destek elemanı boyutu, ağaç türü ve bu faktörlerin etkileşimlerinin, moment ve kesme kuvveti taşıma performansı üzerindeki etkilerini belirlemek için çoklu varyans (MANOVA) analizi kullanılmıştır. Farklılıkların anlamlı çıkması halinde, bu farklılıkların hangi ağaç türleri ve köşe destek elemanı boyutları arasında önemli olduğu en küçük önemli fark (LSD: least significant difference) testi ile belirlenmiştir. Ayrıca, köşe destek elemanı boyutu ile moment ve kesme kuvveti taşıma performansı arasındaki ilişkilerin incelenmesi amacıyla regresyon analizleri yapılmış, her bir ağaç türü için, moment ve kesme kuvveti kapasitelerinin, köşe destek elemanı boyutunun fonksiyonu olarak tahmin edilebileceği matematiksel eşitlikler elde edilmiştir.

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

### 3.1. Rutubet ve Yoğunluk (Moisture Content and Density)

Deneylerde kullanılan ağaç malzemeler için yapılan rutubet, tam kuru ve rutubetli yoğunluk ölçümlerinden elde edilen sonuçlar varyasyon katsayıları ile birlikte Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Deneylerde kullanılan ağaç malzemelerin rutubet ve yoğunluk değerleri (Moisture content and density values of wood materials used in the tests)

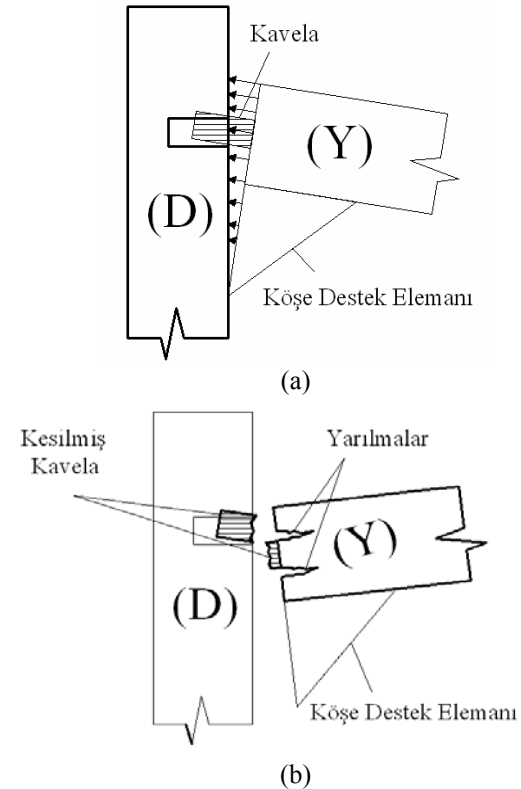
| Malzeme Çeşidi | Rutubet oranı (%) | $\nu$ (%) | Tam kuru yoğunluk ( $gr/cm^3$ ) | $\nu$ (%) | Rutubetli yoğunluk ( $gr/cm^3$ ) | $\nu$ (%) |
|----------------|-------------------|-----------|---------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|
| Doğu kayını    | 10,7              | 4,7       | 0,63                            | 1,8       | 0,66                             | 2,3       |
| Sarıçam        | 11,1              | 3,4       | 0,49                            | 2,7       | 0,52                             | 3,1       |

$\nu$ : Varyasyon katsayısı

### 3.2. Deformasyon Karakteristikleri (Deformation Characteristics)

Deney örnekleri yaklaşık 60–90 saniyede deformasyona uğramışlardır. Deneyler sırasında yapılan gözlemlere göre, eğilme deneylerinde meydana gelen deformasyon biçimi; köşe destek elemanının (D) elemanına yapışan yüzeyinde, köşe destek elemanının alt köşesi dönme merkezi olmak üzere, rotasyona bağlı açılma ve kavelaların yuvalarından geri çıkması şeklinde gerçekleşmiştir. Kesme deneylerinde ise deformasyonlar genellikle; (Y) elemanının kavela delikleri etrafındaki kısımlarının yarılmaları ve kavelaların kesilerek kırılması şeklinde gelişmiştir (Şekil 8a, 8b).

Deney kuvvetinin düşey yönde olması nedeniyle, köşe destek elemanının (Y) elemanı ile birleşme (yapışma)

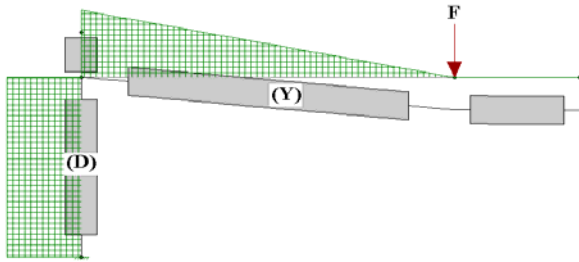


**Şekil 8.** Eğilme (a) ve kesme (b) deneyi örneklerinin birleştirme yerlerinde gelişen genel deformasyon biçimleri (The general deformation forms occurred in the joints of the bending (a) and shear (b) specimens)

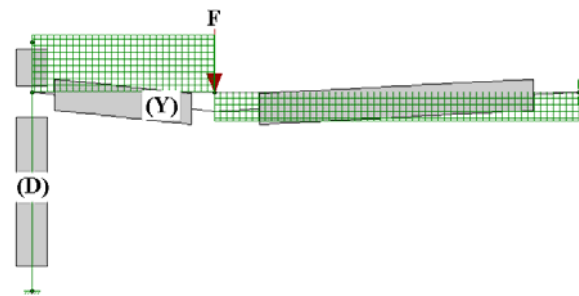
hattı ancak köşe destek elemanının (D) elemanından kopması sırasında tutkallı yüzeyin taşıdığı kuvvet kadar zorlanmıştır. Bu kuvvet küçük olduğundan köşe destek elemanının (Y) elemanı ile birleşme yüzeyi açılmamıştır. Buna göre, her iki deney koşullarında da, köşe destek elemanının (Y) elemanına yapışan yüzeyinin, iki elemanın birbirinden ayrılmaması için herhangi bir mukavemet etkisinin olmadığı veya çok az olduğu açıktır. Deneylerde, sistemi oluşturan elemanlarda kırılmaların meydana gelmeyip, birleştirme yerlerinde açılmaların ve kavelalarda kırılmaların oluşması bu tip sistemlerde zayıf noktalarının birleştirmeler olduğunun göstergesidir. Eğilme deneyleri için, birleştirmelerde kullanılan Doğu kayını kavelaların liflere dik yöndeki eğilme dirençlerinin, kullanılan tutkallı yapışma direncinden yüksek olduğu söylenebilir. Kesme deneylerinde ise kavelalarda kırılmalar meydana geldiği için, Doğu kayını kavelaların liflere dik yöndeki kesme dirençlerinin, deney örneklerinde kullanılan ağaç malzemelerin liflere dik yöndeki çekme dirençlerinden daha düşük olduğu söylenebilir.

Deney koşulları ve yükleri altında, eğilme ve kesme deney örnekleri elemanlarında oluşan moment ve kesme kuvveti diyagramları ile abartılmış genel deformasyon karakteristikleri Şekil 9 ve 10'da gösterilmiştir.

Eğilme deneylerinde; moment diyagramının incelenmesinden de anlaşılacağı gibi, iki elemanın birleşme noktası en kritik yerdir. En büyük moment birleştirmede meydana gelmiş, yük uygulama noktasına doğru giderek azalan bir değişim göstererek



Şekil 9. Moment diyagramı ve eğilme örneklerinin genel deformasyon karakteristikliği (Moment diagram and general deformation characteristic of bending specimens)



Şekil 10. Kesme diyagramı ve kesme örneklerinin genel deformasyon karakteristikliği (Shear diagram and general deformation characteristic of shear specimens)

sıfır olmuştur. Genel deformasyon karakteristiğine bakıldığında, (Y) elemanının kuvvet uygulama noktasında en büyük sehime (defleksiyon) uğradığı ve elemanın eğildiği görülmektedir. Deneyler sırasında yapılan gözlemlere göre, Doğu kayını örnekler sarıçam örneklerine göre daha az eğilme göstermişlerdir. Burada, malzemelerin eğilme direncinin etkili olduğu açıktır.

Kesme deneylerinde; kesme diyagramına bakıldığında, (Y) elemanının, yük uygulama noktasından birleştirmeye kadar olan kısmı en yüksek, yine yük uygulama noktasından diğer mesnet noktasına kadar olan kısmı nispeten daha düşük ve birbirlerine zıt yönde olmak üzere her noktada sabit değerlerde olan kesme kuvveti etkisine maruz kalmıştır. Genel deformasyon karakteristiğine bakıldığında ise, (Y) elemanının yük uygulama noktasında en büyük yer değiştirmeyi yaptığı ve elemanın bu noktada maksimum olmak üzere eğilmeye uğradığı görülmektedir. Burada da yine malzemelerin eğilme dirençleri etkilidir.

Bir başka önemli faktör de köşe birleştirme yerindeki tutkallı malzeme çeşidine (özellikle ağırlığa) göre yapışma direncidir. Literatürde, Örs ve Altınok (1999) Doğu kayını ve çamdan 1/1 ölçekli hazırlanan deney örneği sandalyelerin, deney kuvveti uygulama anında zıvanalardaki yapışma yüzeyleri açılıncaya kadar kuvvet taşıdığını, yapışma yüzeyinin açılmasından sonra zıvana sağlam kalmasına rağmen kuvvet taşımadığını belirtmiştir [25]. Buna göre, sandalyenin sağlamlık ölçüsü zıvanalardaki yapışma yüzeyinin açılmasına kadar gösterdiği direnç olarak bildirmiştir [26].

### 3.3. Moment ve Kesme Performansı (Moment and Shear Performances)

Moment ve kesme kuvveti kapasitesi deneyleri sonucunda elde edilen ortalama değerler varyasyon katsayıları ile birlikte Tablo 3' de verilmiştir.

Malzeme çeşidi, köşe destek elemanı boyutu ve iki değişkenin etkileşiminin moment ve kesme kuvveti performansı üzerindeki etkilerine ilişkin olarak yapılan varyans analizleri sonuçları Tablo 4' de verilmiştir. Analizler eğilme ve kesme deneyleri için ayrı olarak yapılmıştır.

Yapılan varyans analizleri sonuçlarına göre; malzeme çeşidi, köşe destek elemanı boyutu ve ikili etkileşimlerin moment ve kesme kuvveti performansı üzerindeki etkileri 0,05 yanılma olasılığı için önemli bulunmuştur. Malzeme çeşidinin, moment ve kesme kuvveti performansı üzerindeki etkilerini belirlemek için sırasıyla LSD 9,953 Nm ve LSD 196,9 N kritik değerleri kullanılarak yapılan karşılaştırma sonuçları Tablo 5' de verilmiştir.

Malzeme çeşidine göre moment ve kesme kuvveti performansı karşılaştırması sonuçlarına göre, hem moment hem de kesme kuvveti taşımada, Doğu kayını sarıçamdan daha yüksek performans göstermiştir. Bu durum, Doğu kayını odununun yoğunluğunun fazla olması ve dolayısıyla tüm mekanik dirençlerinin yüksek olması, nispeten homojen olması ile delik ve kesici işlemlerinden sonra sarıçama kıyasla daha düzgün ve pürüzsüz yüzey vermesi, dolayısıyla da yapışmanın daha güçlü olması gibi nedenlerle açıklanabilir.

Yoğunluğun fazla olması, birbirine temas eden yüzey alanının büyümesine, bir başka ifade ile yapışma yüzeyinin artmasına, dolayısıyla moleküllerin

**Tablo 3.** Moment ve kesme kuvveti taşıma performansı ortalama değerleri (Mean values of the moment and shear force bearing performance)

| Malzeme çeşidi | Köşe destek elemanı | Moment kapasitesi ( $M$ ) ( $Nm$ ) |         | Kesme kuvveti kapasitesi ( $F$ ) ( $N$ ) |         |
|----------------|---------------------|------------------------------------|---------|--|---------|
|                |                     | $X_{ort}$                          | $v$ (%) | $X_{ort}$                                | $v$ (%) |
| Doğu kayını    | Kontrol             | 43                                 | 10,9    | 3780                                     | 8,2     |
|                | $T_1$               | 133                                | 13,2    | 4673                                     | 3,5     |
|                | $T_2$               | 181                                | 15,1    | 4893                                     | 5,9     |
|                | $T_3$               | 208                                | 14,6    | 5387                                     | 9,2     |
|                | $T_4$               | 282                                | 12,1    | 6033                                     | 9,1     |
| Sarıçam        | Kontrol             | 36                                 | 15,7    | 3133                                     | 1,2     |
|                | $T_1$               | 124                                | 7,6     | 3907                                     | 10,1    |
|                | $T_2$               | 175                                | 16,8    | 5167                                     | 6,8     |
|                | $T_3$               | 186                                | 11,7    | 5233                                     | 13,2    |
|                | $T_4$               | 253                                | 16,1    | 5700                                     | 16,8    |

birbirine daha fazla yaklaştırılarak adezyon kuvvetinin artmasına sebep olmuş olabilir. Ayrıca, yoğunluğu fazla olan ağaçlarda, ağaç malzemenin selüloz molekülleri ile tutkalın hidroksil grupları (OH) arasında oluşan hidrojen köprülerinin daha fazla olduğu düşünülmektedir. Diğer taraftan, Doğu kayını kesicilerle işlem gördükten sonra, sarıçama göre daha düzgün bir yüzey verir. Doğu kayını yüzeyi ile tutkal katmanı arasında oluşacak adezyon kuvvetinin, sarıçam yüzeyinden daha güçlü olması beklenir. Bunun nedeni pürüzlü yüzeylerde noktasal temas gerçekleştiğinden adezyon kuvvetinin azalmasıdır.

Köşe destek elemanı boyutunun, moment ve kesme kuvveti performansı üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla sırasıyla 15,74  $Nm$  ve 311,3  $N$  LSD kritik değerleri için yapılan karşılaştırma sonuçları Tablo 6' da verilmiştir.

Buna göre, köşe destek elemanı boyutunun artışı hem moment hem de kesme kuvveti taşıma performansında artışa neden olmuştur. Moment taşıma kapasitesi, kontrol örneklerine göre  $T_1$  ile desteklendiğinde % 324,  $T_2$  ile desteklendiğinde % 450,  $T_3$  ile desteklendiğinde % 497,  $T_4$  ile desteklendiğinde ise % 676 artış göstermiştir. Kesme kuvveti taşıma performansında da, kontrol örneklerine göre  $T_1$  ile desteklendiğinde % 124,  $T_2$  ile desteklendiğinde % 146,  $T_3$  ile desteklendiğinde % 154,  $T_4$  ile desteklendiğinde ise % 170 artış olduğu görülmüştür. Buradan, kavelalı T-tipi birleştirmelerde, köşe destek elemanlarının varlığının ve ölçülerinin sistemin mukavemeti üzerinde ne kadar etkili olduğu açıkça görülmüştür.

**Tablo 4.** Varyans analizleri sonuçları (Results of the variance analyses)

| Deney  | Varyans kaynakları | Serbestlik derecesi | Kareler toplamı | Kareler ortalaması | F Değeri | Hata ihtimali ( $p < 0.05$ ) |
|--------|--------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|------------------------------|
| Eğilme | MÇ                 | 1                   | 5358,24         | 5358,24            | 8,5388   | 0,0044                       |
|        | KDE                | 4                   | 574709,76       | 143677,44          | 228,9607 | 0,0000                       |
|        | MÇxKDE             | 4                   | 2021,76         | 505,44             | 8,055    | 0,0407                       |
|        | Hata               | 90                  | 56476,8         | 627,52             | -        | -                            |
|        | Toplam             | 99                  | 638566,56       | -                  | -        | -                            |
| Kesme  | MÇ                 | 1                   | 2645892,688     | 2645892,688        | 10,7753  | 0,0015                       |
|        | KDE                | 4                   | 70299452,667    | 17574863,167       | 71,5732  | 0,0000                       |
|        | MÇxKDE             | 4                   | 3430347,622     | 857586,906         | 3,4925   | 0,0107                       |
|        | Hata               | 90                  | 22099576,325    | 245550,848         | -        | -                            |
|        | Toplam             | 99                  | 98475269,303    | -                  | -        | -                            |

MÇ: Malzeme çeşidi

KDE: Köşe destek elemanı boyutu

**Tablo 5.** Malzeme çeşidine göre moment ve kesme kuvveti performansı karşılaştırması (Comparisons of the moment and shear performances for material types)

| Malzeme çeşidi | Moment kapasitesi ( $M$ ) ( $Nm$ ) |    | Kesme kuvveti kapasitesi ( $F$ ) ( $N$ ) |    |
|----------------|------------------------------------|----|--|----|
|                | ( $X$ )                            | HG | ( $X$ )                                  | HG |
| Doğu kayını    | 169,4                              | A  | 4953                                     | A  |
| Sarıçam        | 154,8                              | B  | 4628                                     | B  |



**Tablo 6.** Köşe destek elemanı boyutuna göre moment ve kesme performansı ortalamalarının karşılaştırması (Means comparisons of the moment and shear performances for corner block dimensions)

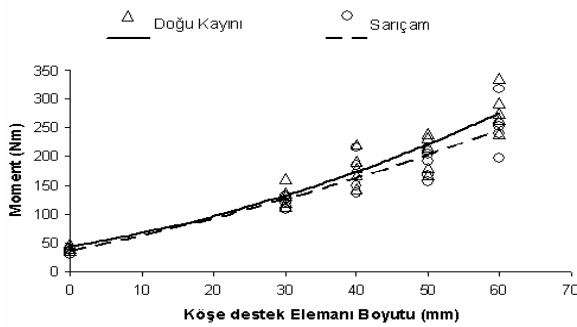
| Köşe destek elemanı boyutu | Moment kapasitesi ( $M$ ) ( $Nm$ ) |    | Kesme kuvveti kapasitesi ( $F$ ) ( $N$ ) |    |
|----------------------------|------------------------------------|----|--|----|
|                            | ( $\bar{X}$ )                      | HG | ( $\bar{X}$ )                            | HG |
| Kontrol                    | 39,6                               | E  | 3457                                     | D  |
| $T_1$                      | 128,4                              | D  | 4290                                     | C  |
| $T_2$                      | 178,2                              | C  | 5030                                     | B  |
| $T_3$                      | 196,8                              | B  | 5310                                     | B  |
| $T_4$                      | 267,6                              | A  | 5867                                     | A  |

Doğu kayını ve sarıçam örneklerden elde edilen momentler ile köşe destek elemanı boyutu arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla yapılan regresyon analizleri sonucunda, köşe destek elemanı boyutu ile moment performansı arasındaki ilişkilerin tanımlanmasında Doğu kayını örnekler için (3.1), sarıçam örnekler için ise (3.2) fonksiyonları elde edilmiştir (Şekil 11).

$$M_k = 0,031 x^2 + 2,0059 x + 43,937 \quad (3.1)$$

$$M_c = 0,0177 x^2 + 2,4403 x + 36,448 \quad (3.2)$$

Burada;  $M_k, M_c$ : sırasıyla Doğu kayını ve sarıçam örneklerin moment taşıma kapasitesi ( $Nm$ ),  $x$ : köşe destek elemanı boyutu ( $mm$ )'dur. Buna göre; moment taşıma kapasitesi ile köşe destek elemanı boyutu arasında parabolik ilişkiler olduğu anlaşılmıştır. Determinasyon katsayıları, Doğu kayını örnekler için  $r^2 = 0,9089$ , sarıçam örnekler için ise  $r^2 = 0,8859$  olarak hesaplanmıştır.



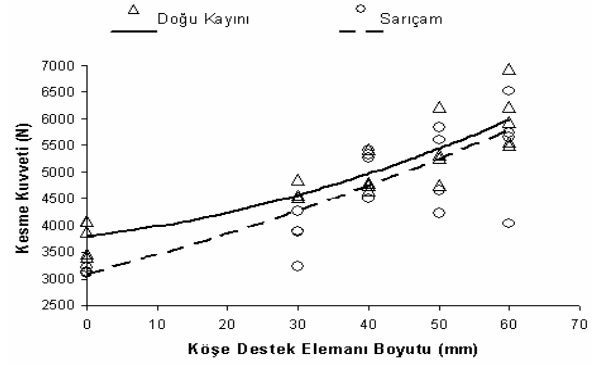
**Şekil 11.** Moment-köşe destek elemanı boyutu ilişkisini gösteren regresyon çizgileri (Moment capacity of specimens as a function of corner block size)

Deneylerden elde edilen kesme kuvvetleri ile köşe destek elemanı boyutu arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla yapılan regresyon analizleri sonucunda, köşe destek elemanı boyutu ile kesme kuvveti kapasitesi arasındaki ilişkilerin tanımlanmasında Doğu kayını örnekler için (3.3), sarıçam örnekler için ise (3.4) eşitlikleri elde edilmiştir (Şekil 12). Burada;  $F_k, F_c$ : sırasıyla Doğu kayını ve sarıçam örneklerin kesme kuvveti kapasitesi

( $N$ )'dir. Buna göre, Doğu kayını ve sarıçam örneklerin kesme kuvveti kapasitesi ile köşe destek elemanı boyutu arasında yine parabolik ilişkiler olduğu tespit edilmiştir. Determinasyon katsayıları, Doğu kayını örnekler için  $r^2 = 0,798$ , sarıçam örnekler için de  $r^2 = 0,6959$  olarak hesaplanmıştır.

$$F_k = 0,3531 x^2 + 15,303 x + 3795 \quad (3.3)$$

$$F_c = 0,1797 x^2 + 34,199 x + 3087,8 \quad (3.4)$$



**Şekil 12.** Kesme kuvveti-köşe destek elemanı boyutu ilişkisine ait regresyon çizgileri (Shear force capacity of specimens as a function of corner block size)

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATION)

Bu çalışmada, çerçeve tipi mobilyalarda sıkça karşılaşılan T-tipi kavelalı tutkallı birleştirme elemanlarının eğmeye ve kesmeye zorlayan kuvvetler karşısında gösterdikleri performanslar incelenmiştir. Deneyler sonucunda, çerçeve konstrüksiyonlu mobilya, T-tipi kavelalı birleştirmeler eğmeye ve kesmeye çalışan kuvvetler karşısında grupları itibarıyla farklı mekanik davranış özellikleri göstermişlerdir.

Hem moment hem de kesme kuvveti performansında Doğu kayını örnekler, sarıçam örneklere üstünlük sağlamıştır. T-tipi kavelalı birleştirmelerde, köşe destek elemanının varlığı ve bu elemanın ölçüleri moment ve kesme kuvveti taşıma kapasitesi üzerinde etkili bulunmuştur. Köşe destek elemanı boyutlarının artışı hem moment hem de kesme kuvveti performansını önemli derecelerde artırmıştır. Bu sonuçlara göre; çerçeve konstrüksiyonlu mobilyalarda, özellikle sandalye, döşemeli koltuk ve kanepelerinde Doğu kayını odununun tercih edilmesi teknik ve ekonomik açılarından önerilebilir. Ayrıca, bu tip mobilyalarda karşılaşılan, L-tipi köşe, H-tipi ve T-tipi birleştirme elemanları mukavemet açısından köşe destek elemanlarıyla desteklenmelidir. Kullanılacak köşe destek elemanı boyutlarının artışı mukavemeti arttıracaktır. Ancak, bu durumlarda rasyonel tasarımın gereği olarak ekonomik hususlar da dikkate alınmalıdır.

T-tipi kavelalı birleştirmelerin, moment ve kesme kuvveti taşıma performansının, köşe destek elemanı

boyutunun fonksiyonu olduğu tespit edilmiştir. Yapılan regresyon analizleri sonucunda, köşe destek elemanı boyutu ile moment ve kesme kuvveti kapasitesi arasında parabolik ilişkiler olduğu belirlenmiştir.

Bu sonuçlara göre; çerçeve konstrüksiyonlu mobilyalarda, özellikle sandalye, döşemeli koltuk ve kanepeler iskeletlerinde Doğu kayını odununun tercih edilmesi teknik ve ekonomik açılarından önerilebilir. Ayrıca, bu tip mobilyalardaki köşe, L-tipi, H-tipi ve T-tipi birleştirme elemanları köşe destek elemanlarıyla desteklenmelidir. Kullanılacak köşe destek elemanı boyutlarının artışı mukavemeti arttıracaktır. Ancak, bu durumlarda rasyonel tasarımın gereği olarak ekonomik hususlarda dikkate alınmalıdır.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Eckelman, C., A., "A Look at... The Strength Design of Furniture", **Forest Product Journal**, (16) Cilt 3, 21–24, 1966.
- Kasal, A., **Masif ve Kompozit Ağaç Malzemelerden Üretilmiş Çerçeve Konstrüksiyonlu Koltukların Performansı**, Doktora Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2004.
- Örs, Y., Efe, H., "The Mechanical Behavior Properties of Fasteners in Furniture Design for Frame Construction", **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Cilt 22, 21-28, 1998.
- Aoki, T., Kojima A. Ugama, S., "The Strength of Dowel Joints", **Tech. Note 68. Bulletin of Industrial Arts Institute**, Tokyo, 1963.
- Eckelman, C., A., "Bending Strength and Moment Rotation Characteristics of Two-Pin Dowel Joints", **Forest Product Journal**, Cilt 21, No 3, 35–39, 1971.
- Eckelman, C., A., "Shear Strength of Dowel Joints", **Furniture Design and Manufacturing**, Cilt 43, No 11, 52-55, 1971.
- Eckelman, C.A., "The Fatigue Strength of Two-Pin Moment-Resistance Dowel Joints", **Forest Products Journal**, 4, 43-48, 1970.
- Eckelman, C., A., "Out-of-Plane Strength and Stiffness of Dowel Joints", **Forest Product Journal**, Cilt 29, No 8, 32–38, 1979.
- Efe, H., "Çerçeve Konstrüksiyonlu Mobilya "T" Birleştirmelerinin Mekanik Davranış Özellikleri", G.Ü., **Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi**, Cilt 6, No 6, 113-131, 1998.
- Altınok, M., Söğütü, C., Döngel, N., "Zıvanalı "T" Birleştirmelerde Ağaç Türü, Tutkal Çeşidi ve Presleme Yönünün Çekme Direncine Etkileri", **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Cilt 24, No 6, 767–771, 2000.
- Altınok, M., Söğütü, C., Döngel, N., "Şerit Testerede Açılmış Zıvanalı Birleşmenin Çekme Direncini Etkileyen Temel Faktörlerin Analizi", Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, **Teknoloji Dergisi**, Cilt 3, No 2–3, 195–203, 2000.
- Efe, H., Kasal, A., "Çerçeve Konstrüksiyonlu Mobilya "T" Tipi Kavelalı Birleştirmelerde Köşe Destek Elemanı Boyutunun Çekme Direncine Etkisi", G.Ü., **Fen Bilimleri Dergisi**, Cilt 16, No 2, 339-350, 2003.
- Kasal, A., Erdil, Y.Z., Eckelman, C.A., "Shear Force and Bending Moment Capacities of Joints Constructed with Glued Corner Blocks", **Forest Products Journal**, Cilt 56, No 9, 74-79, 2006.
- TS 4539, "Ahşap Birleştirmeler-Kavelalı Birleştirme Kuralları", **T.S.E.**, Ankara, 1985.
- TS 3891, "Yapıştırıcılar-Polivinilasetat Esaslı Emülsiyon (Ahşap Malzeme İçin)", (Tadil AMD1: 1992 – 07 ), **T.S.E.**, Ankara, 1982.
- Polisan, Üretici Firma, <http://www.polisan.com.tr>, Bolu, 1996.
- TS 2471, "Odunda, Fiziksel ve Mekaniksel Deneyler İçin Rutubet Miktarı Tayini", **T.S.E.**, Ankara, 1976.
- TS 2472, "Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler İçin Birim Hacim Ağırlığı Tayini", **T.S.E.**, Ankara, 1976.
- Eckelman, C., A., "Shear and Bending Strength of Glued Corner Blocks", **Furniture Design and Manufacturing**, Cilt 44, No 6, 50-56, 1972.
- Hill, D., M., and Eckelman, C., A., "Flexibility and Bending Strength of Mortise and Tenon Joints", **Furniture Design and Manufacturing**, Cilt 45, No 1, 54-61, 1973.
- Zhang, J., Quin, F., and Tackett, B., "Bending Strength and Stiffness of Two-pin Dowel Joints Constructed of Wood and Wood Composites", **Forest Product Journal**, Cilt 51, No 2, 29–35, 2001.
- Erdil, Y.Z., Kasal, A., Eckelman, C., A., "Bending Moment Capacity of Rectangular Motrise and Tenon Furniture Joints", **Forest Product Journal**, Cilt 55, No 12, 209–213, 2005.
- Eckelman, C. A., "Strength of Furniture Joints Constructed with Through-Bolt and Dowel-Nuts", **Forest Products Journal**, Cilt 39, No 11/12, 41-46, 1989.
- Rapid Interactive Structural Analysis (RISA–3D) Version 4.1, **RISA Technologies Software**, Foothill Ranch, 2000.
- Örs, Y., Altınok, M., "Sandalye Tasarımında Kesit ve Çerçeve Optimizasyonu Modellemesi", **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ek sayı No 2, 473–479, 1999.
- Altınok, M., "Ahşap Tutkallı Birleşmelerde Yapışma Performansına Sıcaklık Artışının Etkileri", **Politeknik Dergisi**, Cilt 5, No 4, 341-345, 2002.