

# Montaja Hazır Koltuk İskeletlerinin Mukavemetinin Sonlu Elemanlar Analizi ile Belirlenmesi

\*Ali KASAL , \*\*Hasan EFE, \*Yusuf Ziya ERDİL  
\*Muğla Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü,  
48000, Kötekli, Muğla, TÜRKİYE,  
\*\*Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü,  
06500 Teknikokullar, ANKARA

## ÖZET

Bu çalışmada, ağaç ve ağaç esaslı (kompozit) malzemelerden tutkalsız-vidalı (demonte) olarak üretilmiş koltuk iskeletlerinin mukavemet özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca, koltuk yan düzlem çerçevesinde, ara kaytın yeri optimize edilmiştir. Masif ağaç malzeme olarak, I. sınıf sarıçam (*Pinus Sylvestris L.*) ve Doğu kayını (*Fagus Orientalis L.*), odun kompozitlerinden ise, yönlendirilmiş yonga levha (OSB), okume (*Aucoumea klaineana pierre*) kontrplak (PLY) ve orta yoğunlukta lif levha (MDF) kullanılmıştır. Koltuk iskeletleri kullanım esnasında maruz kalabilecekleri muhtemel yüklem biçimine göre TS 9215 de belirtilen kurallara uyularak statik oturma ve arkalık yüklemeleri ile denenmiştir. Koltuk iskeletlerinin yapısal çözümü için sonlu elemanlar analizi (Finite Element Analysis) yöntemi kullanılmıştır. Sonuç olarak, sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan üç boyutlu yapısal analizler koltukların genel performansı açısından uygun değerler vermiştir. Ayrıca, sökölür-takılır birleştirme tekniklerinin tasarım, üretim ve kullanımda esneklik sağlayabileceği, oturma mobilyası sektöründe odun kompozitlerinin ağaç malzemeye alternatif olarak, özellikle kapalı döşeme gerektiren koltuk ve kanepelerde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Çerçeve konstrüksiyon, mobilya mukavemet tasarımı, odun kompoziti, sonlu elemanlar yöntemi, yapısal analiz.

## Determination of the Strength of The Ready to Assemble Sofa Frames With Finite Element Analysis

### ABSTRACT

In this study, the strength properties of screwed-without glue (demonte) jointed sofa frames constructed of solid wood and wood based (composite) materials were investigated. Furthermore, place of the stretcher was optimized in the side frame of the sofa. First lass Scotch pine (*Pinus Sylvestris Lipsky*) and Turkish beech (*Fagus Orientalis Lipsky*) were used as solid wood materials. Oriented strandboard (OSB), okoume (*Aucoumea klaineana*) plywood and medium density fiberboard (MDF) were used as wood composites. Specimens were tested under static load according to the principles of TS 9215 by applying both seat and backrest loads which the sofa can be imposed upon in service. Finite element analysis method were utilized for structural analyzing the sofa frames. According to results, it has been observed that the three dimensional structural analysis by means of finite element method gives reasonable estimates of the overall strength performances of the sofa frames. As a result of the tests, it was concluded that the wood composite materials could be used instead of solid wood material, and portable connection techniques that provide many advantage for designers, producers, users and seller could be used in the production of the frame construction furniture, especially in the upholstered furniture frames.

**Keywords:** Frame construction, strength design of furniture, wood composite, finite element method, structural analysis.

### 1.GİRİŞ

Günümüzde dünya nüfusundaki hızlı artış ve buna paralel olarak artan kaliteli ve sağlam mobilya istekleri, buna karşılık sürekli azalan orman varlıkları sonucu mobilya üretiminde masif malzeme kullanımı ekonomik olmamaktadır. Masif malzemeye alternatif olarak lignoselülozik maddelerden üretilen kompozit malzemeler, hem ekonomik hem de stabilite gibi önemli üs-

tünlüklerinden dolayı mobilya üretiminde kullanılmaya başlanmıştır (1).

Mobilya iskeletlerinde ağaç malzemeye kıyasla, odun kompozitleri kullanımının ekonomi ve üretim açısından yararları vardır. Bu bağlamda, ağaç malzemenin kurutulmasıyla ilgili işlemler ve kuruma ile ilgili kurlar söz konusu olmadığı gibi renkleme işlemi ihtiyacı olmamaktadır. Ayrıca, fire azaldığı gibi iş parçala-

rının üretilmesi, masif ağaç malzemeye göre çok daha hızlı ve kolay olmaktadır (2).

Çerçeve (iskelet) konstrüksiyonlu mobilyaların birleştirme yerlerinde çeşitli yapım teknikleri kullanılmaktadır. Geleneksel (tutkallı) birleştirmelerin yerini günümüzde mekanik bağlantı elemanlı (demonte) birleştirmeler almaya başlamıştır. Günümüzde seri üretim makinelerindeki gelişme ve üretilen mobilyaların uzaklara taşınması birçok mobilyanın sökülüp-takılabilir (portatif) olmasını gerekli kılmıştır. İki ya da daha çok elemanın uygun yöntemlerle birleştirilmesiyle tutkalsız, ancak statik ve dinamik yüklere mukavemetli birleştirmeler yapılabilen, çeşitli nedenlerle tutkal kullanımının uygun görülmediği durumlar ile sabit bağlamanın istenmediği ortamlarda tutkalsız ahşap birleştirme teknikleri kullanılabilir.

Sökülüp-takılabilir birleştirme tekniklerinin uygulandığı mobilyalar portatif olduğundan, bunların montajı kullanılacakları yerde yapılabilir. Böylece nakliye maliyetleri azaltılmış olur. Bu mobilyalar sökülmüş vaziyette depolandığı takdirde, sabit mobilyalara nazaran çok daha az yer kaplarlar. Bu durum imalatçılar ve satıcılar açısından oldukça önemlidir. Demonte birleştirmeler sağlamış olduğu bu üstünlükler nedeniyle tercih edilirler (3, 4).

Teknolojinin hızlı geliştiği günümüzde, bilgisayar teknolojilerinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Modern mobilya tasarım sürecinin birçok basamağında bu teknolojilerin kullanımı mümkün olmaktadır. Günümüzde mobilyada mukavemet (mühendislik) tasarımı, katı modelleme ve yapısal analiz programları ile yapılabilir. Ürünün tüm elemanları parametrik olarak modellenen ve gerekli değişiklikler katı modellemenin sağladığı avantajlarla basit olarak optimizasyonla sağlanabilmektedir. Aynı şekilde ürün mukavemet hesapları da bilgisayar destekli analiz programları tarafından yapılabilir (5).

Son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde, mobilya sistemlerinin yapısal analizinde, bilgisayar programlarının, özellikle de sonlu elemanlar metodunun (FEM) kullanıldığı görülmektedir.

Altınok (1995), kayın ve çam odunundan hazırladığı sandalyelerin, alt ara kayıt yeri için optimizasyon yaparak, kritik oturma pozisyonunda denemiş ve gerekli davranış ölçümlerini yapmıştır. Mukavemet analizlerini bilgisayar destekli bir programdan yararlanarak yapmıştır. Sonuç olarak, çerçeve düğüm noktalarının (zıvanaların) yüksekliği ve tutkallı bağlantı sağlamlığının birinci derece, çerçeve elemanlarının ve çerçeve uzantısı ayak alt ve üst kısımlarının kesit boyutlarının ikinci derece önemli olduğunu belirlemiştir (6).

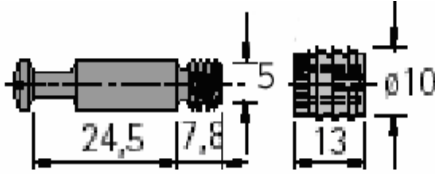
Efe ve diğerleri (2003) silindirik zıvanalı birleştirme uygulayarak hazırladıkları iki adet okul sandalyesini “devirli basamaklı artan yük” yöntemine göre denemişler, prototiplerin bilgisayar destekli yapısal analizini de sonlu elemanlar yöntemiyle yapmışlardır. Sonuç

olarak; sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan üç boyutlu yapı analizinin, sandalyelerin genel mukavemeti açısından anlamlı yaklaşık değerler sağladığını belirlemişlerdir (5). Cai ve diğerleri (1995) kutu konstrüksiyonlu “moltinject” tipi köşe birleştirmelerin, kavelalı birleştirmelerle kıyaslamalı olarak mukavemetini ve rijitliğini analiz etmişlerdir. Ayrıca “moltinject” tipi köşe birleştirmelerin defleksiyonu sonlu elemanlar metodu kullanılarak mantıklı bir şekilde tahmin edilebilmiştir (7). Gustafsson (1995); bilgisayar kullanımının yaygınlaşması ve teknolojinin gelişmesiyle, modern sonlu elemanlar programlarının tasarım sürecinin birçok basamağında kullanımının mümkün olduğunu vurgulamıştır. Bu maksatla, basit bir sandalyenin yapısal analizini sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapmıştır (8). Gustafsson (1996) benzer bir çalışmada huş ağacından basit bir sandalye hazırlamış, bu sandalyenin kullanım sırasında etkilenebileceği çeşitli yüklere karşı mukavemetini test etmiştir. Ayrıca aynı sandalyeyi modelleyerek sonlu elemanlar metodu ile aynı yükler karşısında çeşitli noktalarındaki gerilmeleri belirlemiştir. Test sonuçları ile analiz verilerinin mantıklı bir şekilde birbirini karşıladığını bildirmiştir (9). Gustafsson diğer bir çalışmada ise sonlu elemanlar metoduyla bir sandalyenin nasıl analiz edileceğini ve tasarlanacağını göstermiş, gerçek boyutlarında dışbudaktan hazırladığı bir sandalyenin gerilme diyagramları ile test sonuçlarını vermiştir (10). Smardzewski (1998) iskelet mobilya yan çerçevelerinin mukavemet analizini yapabilen bir yazılım geliştirmek amacıyla bir araştırma projesi yürütmüştür. Örnek olarak bir sandalye yan çerçevesini analiz etmiş, geliştirilen bu programın doğru ve hızlı bir şekilde ahşap mobilya konstrüksiyonlarının rijitliğini ve mukavemetini analiz edebildiğini kanıtlamıştır (11). Smardzewski (2002) diğer bir çalışmada ise iskelet mobilyaların konstrüksiyonunda yaygın olarak kullanılan zıvanalı birleştirmelerin eğilme direncini incelemek amacıyla matematiksel bir metot geliştirmiş ve tutkallı zıvanalı birleştirmelerin mukavemetini etkileyen faktörleri belirlemeye çalışmıştır. Analizler, Ponzan Ziraat Üniversitesi’nde tasarlanmış ve geliştirilmiş olan bir bilgisayar programında yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; zıvanalı tutkallı birleştirmelerin eğilme direnci üzerinde kullanılan tutkallı kayma direnci ve birleştirmelerin yapıldığı ağaç türünün basınç direnci etkilidir. Ayrıca zıvanalı birleştirmenin sıkı bir şekilde yerleştirilmesiyle, tutkal hattındaki gerilmelerin azaldığı ve dolayısıyla mukavemetin arttığı bildirilmiştir (12). Daudeville ve diğerleri (1999) civatalı ahşap birleştirmelerin statik yük taşıma kapasitelerini deneysel ve teorik olarak analiz etmişler, civata çapı, eleman kesit ölçüleri gibi farklı yapısal parametrelerin mukavemet üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bilgisayar destekli teorik analizlerde bir sonlu elemanlar metodu olan “doğrusal elastik kırılma mekaniği”nden faydalanmışlardır. Deneysel ve teorik sonuçların karşılaştırılması, sonlu elemanlar metodunun, civatalı ahşap birleştirmelerin yük taşıma performansını tahmin etmede uygun bir metot olduğunu göstermiştir (13). Nicholls ve Crisan

(2002) kutu konstrüksiyonlu kavelalı ve minifiks tipi bağlantı elemanı köşe birleştirmelerdeki gerilmeleri ve zorlanmaları sonlu elemanlar metoduyla analiz etmişlerdir. Sonuçta, katı modellerde oluşan gerilme konsantrasyon alanlarının, gerçek birleştirmelerdeki gibi geliştiğini ve köşe birleştirmelerdeki gerilme dağılımlarının doğru olarak tahmin edilebildiğini bildirmişlerdir (14). Erdil (2001) çeşitli tip ve ölçülerdeki ahşap okul sandalye ve sıralarının geleneksel yapı tasarım yöntemleriyle tasarım ve analizini, bu ürünlerin mukavemetlerinin özel olarak seçilmiş performans deneyi donanımı ve yöntemleriyle denemiştir. Sonuç olarak; optimum tasarımları ve ölçüleri elde etmiş, deney yönteminin ve donanımının uygun olduğunu bildirmiş, ayrıca sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan yapı analizlerinin, mobilyanın genel mukavemeti bakımından uygun değerler sağladığını belirtmiştir (15).



Şekil 1. Deneylerde kullanılan 4 x 50 vida (ölçüler mm'dir)



Şekil 2. Koltuk dörtlemede kullanılan minifiks (ölçüler mm'dir)

Bu çalışmanın amacı; masif ve kompozit ağaç malzemelerden tutkalsız-vidalı olarak üretilen koltuk iskeletlerinin, yük taşıma değerlerinin karşılaştırılması ve sağlık analizlerinin yapılmasıdır. Ayrıca sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, örneklerin bilgisayar destekli üç boyutlu yapısal analizleri yapılmış ve deneylerden elde edilen veriler ile analiz verileri karşılaştırılmıştır.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1 Ağaç Malzemeler

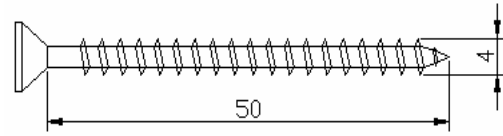
Deneylerde masif ağaç malzeme olarak, mobilya endüstrisinde yaygın olarak kullanımları göz önüne alınarak I. sınıf Doğu kayını ve sarıçam odunları kullanılmıştır. Keresteler piyasadan basit rastlantılı yöntem ile elde edilmiştir. Ağaç esaslı kompozit malzeme olarak, 18 mm kalınlığında, TS 46 da belirtilen esaslara göre dokuz katmanlı okume kontrplak (PLY), TS 64'e göre orta yoğunlukta lif levha (MDF) ve EN 300 standartlarında üretilmiş yönlendirilmiş yonga levha (OSB) kullanılmıştır (16, 17, 18).

Deneylerde kullanılan masif ve kompozit ağaç malzemelerin analizlerde gerekli bazı fiziksel ve meka-

nik özellikleri ASTM D 1037 (19) standardında belirtilen esaslara göre belirlenmiştir. Örnekler, deneylerden önce  $20 \pm 2$  °C sıcaklık ve  $\% 65 \pm 5$  bağıl nem koşullarında ( $r = \%12$ ) iklimlendirme dolabında dengeye ulaşmaya kadar bekletilmiştir. Yapılan rutubet kontrollerinde örneklerin yaklaşık bir ayda denge rutubeti miktarına (DRM) ulaştıkları gözlemlenmiştir.

### 2.2. Bağlantı elemanları (Vida ve Minifiks)

Denemelerde, TS 61 standartlarına uygun olarak seçilen, mobilya endüstrisinde kullanımı giderek yaygınlaşan, özellikle odun kompoziti levhalardan üretilen mobilya birleştirmelerinde bağlantı elemanı olarak kullanılan yıldız başlı, 4 mm çapında ve 50 mm boyundaki vidalar kullanılmıştır (20). Kullanılan vidanın dış dibi (kök) çapı 2,4 mm, dış adımı ise 1,8 mm'dir (Şekil 1)



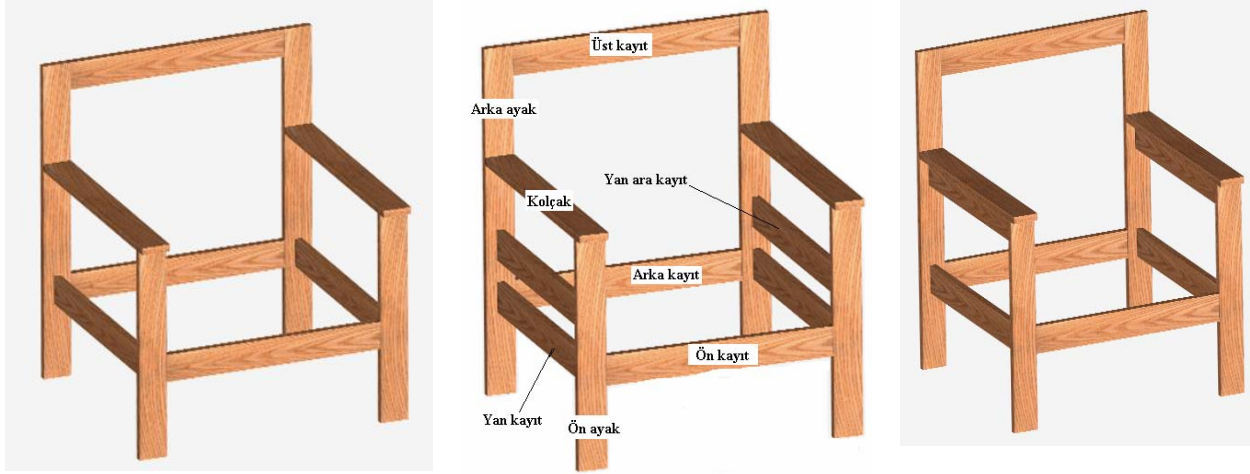
Koltuk yan çerçevelerinin dörtlenmesi işleminde; ön kayıt, arka kayıt ve üst kayıtın yan çerçevelere bağlantısında silindirik-eksantrik-bağlantı elemanı (minifiks) kullanılmıştır (Şekil 2).

### 2.3. Deney Örneklerinin Hazırlanması

TS 9024 (21) deki esaslara dayandırılarak toplam 45 adet 1/1 ölçekli demonte koltuk iskeleti hazırlanmıştır (Şekil 3). Koltuk yan çerçevelerinde, alt kayıt ile kolçak arasında kalan yan ara kayıtın yeri optimize edilmiştir. Bunun amacı, burada bir ara kayıt olmasının sistemin bütününe mukavemeti üzerindeki etkisini ölçmek ve bu ara kayıtın yerinin ortada mı yoksa üst tarafta kolçağa bitişik durumda mı kullanılmasının daha uygun olduğunu belirlemektir. Bu nedenle üç farklı tipte koltuk yan çerçevesi hazırlanmıştır. Toleranslı masif ağaç parçalar planya, kalınlık ve daire testere makinelerinde işlenerek net ölçülerine getirilmiştir. Odun kompozitleri; yüzeyleri düzgün ve kalınlıkları standart (18mm) olduğundan, daire testere makinesinde net uzunluk ve genişlik boyutlarında kesilmişlerdir (Tablo 1)

Tablo 1. Koltuk iskeletini oluşturan elemanların net ölçüleri (mm)

Eleman adı	Boy	Genişlik	Kalınlık
Ön ayak	532	70	18
Arka ayak	800	70	18
Kolçak	602	70	18
Yan kayıt	564	70	18
Yan ara kayıt	564	70	18
Ön kayıt	550	70	18
Arka kayıt	550	70	18
Üst kayıt	550	70	18



I. Tip (Ara kayıtsız)

II. Tip (Ara kayıt ortada)

III. Tip (Ara kayıt üstte)

Şekil 3. Deneysel olarak kullanılan koltuk iskeletleri

Yan düzlem çerçevelerin oluşturulmasında, 4 mm çapında ve 50 mm boyundaki yıldız başlı vidalar kullanılmıştır. Vidalama işlemlerinde, karşı elemanlara 3 mm çapında ve 32 mm derinliğinde ön delikler açılmıştır. Vidalı birleştirmelerde, konstrüksiyonun amacına uygun olması için çapı yaklaşık vida boyun çapı, derinliği ise vida etkili boyu kadar olacak şekilde kılavuz deliklerin açılması önerilmektedir (22).

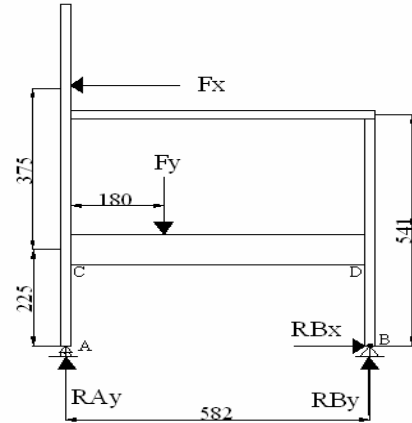
Koltuk iskeletlerinin montaj işlemleri iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk önce koltuk iskeletlerinin yan düzlem çerçevelerinin montajı (ikileme), daha sonra bu yan çerçeveler ön, arka ve üst kayıtla birleştirilerek (dörtlenerek) koltuk iskeletleri oluşturulmuştur.

Performans deneylerinden önce koltuk iskeletleri,  $20 \pm 2$  °C sıcaklık ve  $\% 65 \pm 5$  bağıl nem şartlarındaki iklimlendirme odasında dengeye ulaşmaya kadar bekletilmişlerdir. Yapılan rutubet kontrollerinde koltuk iskeletlerinin yaklaşık iki ayda DRM'ye ulaştıkları gözlenmiştir. Ağırlık ölçümleri 0,01 gr duyarlıklı analitik terazi ile yapılmıştır. Rutubet kontrolü için TS 2471 (23) de belirtilen esaslara uyulmuştur.

Çalışmada, 5 malzeme çeşidi (2 farklı massif ağaç ve 3 farklı odun kompoziti), üç yan çerçeve tipi ve her numunedan 3 adet olmak üzere toplam 45 koltuk iskeleti hazırlanmış ve deneylere tabi tutulmuştur.

## 2.4. Performans Deneyleri

Deneysel olarak 3 ton kapasiteli "Seidner Eğilme Cihazı"nda yapılmıştır. Deneysel olarak statik yükleme hızı 6 mm/dak olarak ayarlanmıştır (2). Koltuk iskeletleri, kullanımı sırasında etkisi altında kalabileceği muhtemel servis yüklerine göre, aynı anda hem oturma yükünü temsil eden kuvvet hem de arkalık kuvveti uygulanarak TS 9215 (24) ve ISO/DIS 7174/1 (25) esaslarına göre test edilmiştir (Şekil 4)



Şekil 4. Oturma yükü ve arkalık kuvveti uygulaması

Oturma yeri kuvveti ( $F_y$ ) 85 kgf (833 N) ile sabit; arkalık kuvveti ( $F_x$ ) ise, Şekil 4' de belirtilen koordinat noktalarından herhangi bir elemanda ya da birleştirme yerinde kırılma, açılma veya aşırı yer değiştirme oluncaya kadar yüklemenin devam ettirilmesi suretiyle uygulanmıştır. Deneyler sonucunda, kırılma anındaki maksimum kuvvetler Newton (N) olarak kaydedilmiştir.

## 2.5. Bilgisayar Destekli Üç Boyutlu Yapısal Analizler

Bilgisayar destekli analizler bir sonlu elemanlar yazılımı olan RISA-3D (26) programında yapılmıştır. Analizlerde, tüm koltuk iskeletleri gerçekte olduğu gibi üç boyutlu çerçeveler olarak hesaba alınmışlardır. Gruplar itibarıyla her bir koltuk iskeletinin yapısal analizi için izlenen genel prosedür;

### a. Genel Ayarlar (Global)

- Birim sisteminin ayarlanması (Units)
- Her elemanın bölüneceği parça sayısının ayarlanması (Section)
- Koordinat sisteminin ayarlanması (Coordinates)

### b. Model Aşaması (Modeling)

- Çizim alanının ve ölçeğinin ayarlanması (Drawing Grid)
- Deney numunelerinin 1/1 ölçekli üç boyutlu çiziminin yapılması (Drawing)
- Elemanların birbirine tutturulması ve sistemin bütünleştirilmesi (Merge)
- Çizimin bir dosya haline getirilmesi (File)

### c. Malzemelerin Tanımlanması (Materials)

- Malzemelerin teknolojik özelliklerinin girilmesi (General Material Properties)

### d. Elemanların Tanımlanması (Members)

- Elemanların kesit özelliklerinin girilmesi (Member Section Sets)

### e. Niteliklerin Elemanlara Atanması (Information for members)

- Her eleman için, malzeme ve kesit özelliklerinin tanımı (Members, Sections)
- Elemanların ve uç (birleştirme) noktaların oluşması (Node)

### f. Çözüm Aşaması (Solve)

- Mesnet noktalarının ve mesnet tiplerinin belirlenmesi (Boundary Conditions)
  - Deney yüklerinin gerçek deneylerdeki uygulama noktalarından uygulanması (Joint Loads)
  - Sistemin çözümünün yapılması (Solve)
- g. Sonuçların Alınması (Results)
- Reaksiyon kuvvetlerinin alınması (Joint Reactions)
  - Elemanlara etkiyen kuvvet ve momentlerin alınması (Member Forces)
  - Elemanlarda oluşan gerilmelerin alınması (Member Stresses)
  - Düğüm yer değiştirmelerinin alınması (Joint Deflections)
  - Normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment diyagramlarının çizilmesi (Member Deflection Diagrams)
  - Sistemin yıkılmış (genel yer değiştirmiş) biçiminin çizilmesi (Deflected Shape) şeklindedir.

Genel ayarlar bölümünde, birim sistemi standart metrik olarak ve SI (standard international) birimleri dikkate alınarak ayarlanmıştır. Etkiyen kuvvetlerin analizi ve diyagramların çizilebilmesi için, sistemi oluşturan her eleman beş eşit parçaya bölünmüştür. Koordinat sisteminde, (Y) eksenini düşey, (X) eksenini yatay ve (Z) eksenini de derinlik boyutu olacak şekilde düzenlenmiştir. Model aşamasında, ilk olarak koltuk iskeletlerinin üç boyutunu da içerisine alabilecek şekilde çizim alanı ayarlanmıştır. Daha sonra, koltuk iskeletlerinin üç boyutlu modellenmesi yapılmıştır. Her eleman, uç noktalarda meydana gelen eksenel, kesme kuvvetleri ve momentlerin analiz edilebilmesi amacıyla gerçekte de olduğu gibi ayrı ayrı çizilmiştir. Elemanlar daha sonra birbirlerine tutturulmuş (merge) ve çerçeve sistemi bir bütün haline getirilmiştir. Birleştirme noktaları rijit olarak tanımlanmıştır. Her grup için ayrı bir dosya oluşturulmuştur. Malzemelerin tanımlanmasında programa girilen, koltuk iskeletlerinin yapılmış olduğu malzemelerin bazı teknolojik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir (2, 27).

Elemanların tanımlanmasında, mobilya sistemini oluşturan elemanların kesit yapıları ile ilgili özellikler

Tablo 2. Deney malzemelerinin programa girilen teknolojik özellikleri

Malzeme	Elastikiyet modülü ( $E$ ) ( $N/mm^2$ )	Rijitlik (kayma) modülü ( $G$ ) ( $N/mm^2$ )	Poisson oranı ( $\mu$ )	Isı iletkenliği katsayısı ( $kcal/mh\ ^\circ C$ )	Yoğunluk ( $g/cm^3$ )	Maksimum eğilme direnci ( $\sigma_c$ ) ( $N/mm^2$ )
D. Kayını	12250	4711,54	0,3	0,54	0,65	129,672
Sarıçam	11760	4523,08	0,3	0,54	0,52	73,244
PLY	7730	2973,08	0,3	0,54	0,57	64,998
MDF	5498	2114,62	0,3	0,54	0,69	32,121
OSB	6530	2511,54	0,3	0,54	0,59	32,876

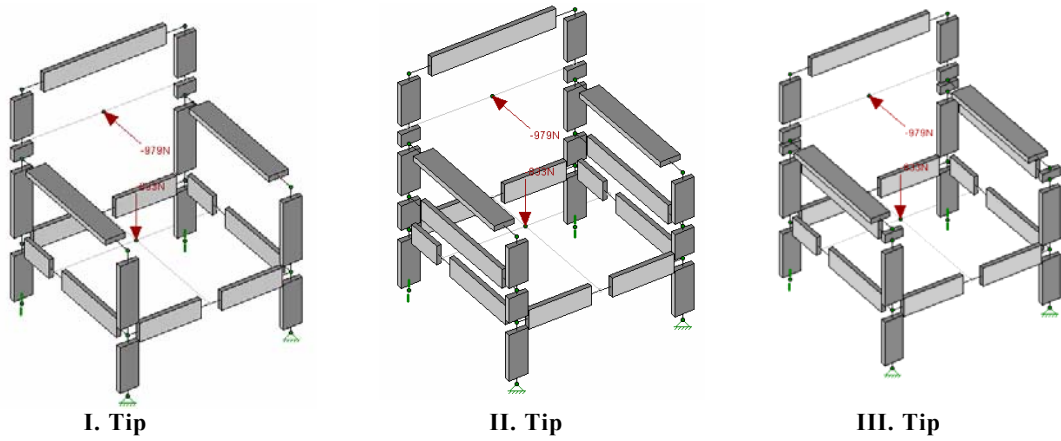
programa girilmiştir. Bu özellikler, kesit alanı, (Y) ve (Z) eksenlerine göre eylemsizlik (atalet) momenti değerleri, makaslama gerilmeleri için form katsayıları ve elemanların dönme eylemsizlik sabiti (torsiyonel sabite) değerleridir. Bu sabite değerlerinin hesaplanmasında dikdörtgen kesitli elemanlar için (2.1) T-kiriş kesitli

Tüm eleman tiplerinin kesit yapılarına ait özellikler Tablo 3'de verilmiştir.

Niteliklerin elemanlara atanmasında, bu ana kadar girilen tüm malzeme ve kesit özellikleri, her bir eleman için ayrı olarak tanımlanmıştır.

Tablo 3. Koltuk iskeletlerini oluşturan elemanlar ve kesit özellikleri

Eleman Tipi	Alan ( $mm^2$ )	Eylemsizlik momenti ( $I_{zz}$ ) ( $mm^4$ )	Eylemsizlik momenti ( $I_{yy}$ ) ( $mm^4$ )	Makaslama için form faktörü ( $S_{Ay}$ ) ( $S_{Az}$ )	Dönme eylemsizlik sabiti ( $J$ ) ( $mm^4$ )
Kayıt tipi (düşey)	1260	514500	34020	1,5	114043
Kolçak tipi (yatay)	1260	34020	514500	1,5	114043
T-Kiriş tipi	2520	1768200	548520	1,12	304819



Şekil 5. Koltuk iskeletlerine deney yüklerinin bilgisayar ortamında uygulanması

eleman için ise (2.2) formüllerinden yararlanılmıştır (28).

$$J_d = (U/2 \times (K/2)^3) \times ((16/3) - 3.36 \times ((K/2) / (U/2)) \times (1 - ((K/2)^4 / (12 \times (U/2)^4)))) \quad (2.1)$$

$$J_T = ((1.12) / 3) \times ((U \times K^3) + (U \times K^3)) \quad (2.2)$$

$J_d, J_T$  = Sırasıyla, dikdörtgen ve T kesitli elemanlar için dönme eylemsizlik sabite değerleri ( $mm^4$ )

$U$  : Uzun kenarın uzunluğu (mm)

$K$  : Kısa kenarın uzunluğu (mm)

Koltuk iskeleti elemanlarından yatay olanlar "kolçak tipi", düşey olanlar ise "kayıt tipi" elemanlar olarak isimlendirilmiştir. Koltuk iskeletlerinin tüm elemanlarının kesit ölçüleri aynı, ancak üç boyutlu sistemdeki duruş pozisyonları farklıdır. III. tip yan çerçeve şeklinde üretilmiş olan koltuk iskeletlerinin de, kolçak elemanı dışında kalan tüm elemanlarının kesit ölçüleri aynıdır. Bu tip koltuk iskeletinde, kolçak elemanına vidalanmış bir kayıt elemanının olması nedeniyle, bu elemanın kesit yapısı T-kiriş şekline dönüşmüştür. Bu eleman ise "T-Kiriş tipi" eleman olarak isimlendirilmiştir. III. tip çerçevelerde bu elemanın tüm kesit özellikleri bu form dikkate alınarak verilmiştir. Makaslama gerilmeleri hesabında kullanılan form faktörü değeri de, diğer dörtgen elemanlardan farklı olarak 1,12 alınmıştır (28).

Çözüm aşamasında, öncelikle koltuk iskeletlerinin zemine oturan noktalarının mesnet tipleri (serbestlik dereceleri kısıtlamaları) belirlenmiştir. Deneylerde olduğu gibi, ön ayaklar pimli (sabit mesnet), arka ayaklar ise tekerlekli (hareketli mesnet) olarak tanımlanmışlardır. Diğer tüm birleştirme noktalarının (node) altı serbestlik derecesi de kısıtlıdır. Yani tüm birleştirme noktaları, aksenal kuvvetleri, makaslama kuvvetlerini ve moment kuvvetlerini taşıma kabiliyetindedirler. Ayrıca, deney kuvvetleri karşısında ön ayak mesneti dışındaki tüm düğüm noktaları yer değiştirebilme yeteneğindedir.

Mesnetlemenin yapılmasından sonra; performans deneylerinde ulaşılan en büyük yük değerleri, deneylerdeki uygulama noktalarından etki ettirilerek sistemin çözümü yaptırılmıştır. Verilen şekilde, sistemleri oluşturan tüm elemanlar, birleştirme noktalarının kolayca görülebilmesi için 3/4 oranında (render) gösterilmiştir. Bu nedenle, gerçekte olduklarından 1/4 daha kısa görünmektedirler (Şekil 5).

Gerçek deneylerde kuvvetler oturma ve arkalık yüzeyine 36 mm kalınlığındaki MDF plakalar koyularak uygulanmış ve kuvvetlerin elemanlara aktarılması sağlanmıştır. Bilgisayar programında, bu yük aktarma plakalarının yerine, deney kuvvetlerinin uygulanabilmesi amacıyla, yüklerin uygulanacağı noktaları içine alan 3 adet ekstra eleman tanımlanmıştır. Bu elemanlar Şekil 5'de ince çizgi halinde gösterilmiştir. Buradaki ele-

manların malzeme ve kesit özellikleri, uygulanan deney kuvvetlerini hiçbir deformasyona uğramadan direk olarak çerçeve sistemine aktaracak şekilde yüksek rijitlikte tanımlanmıştır. Tanımlanan eleman tipi RISA-3D programı içerisinde mevcut malzemelerden çelik kodlu ve 50 x 50 mm kesitli malzemedir. Seçilen bu malzemeye ait programda verilen bazı özellikler, yoğunluk 7,8 gr/cm<sup>3</sup>, elastikiyet modülü 199947 N/mm<sup>2</sup>, kayma modülü 76903,8 N/mm<sup>2</sup>'dir. Sonuçlar bölümünde, çözümü yapılmış olan sistemlerin, tepki kuvvetleri, her bir elemana etkiyen eksenel, makaslama ve moment kuvvetleri, malzemelerde oluşan gerilme değerleri alınmıştır.

### 2.6. Verilerin Değerlendirilmesi

Malzeme çeşidi, yan çerçeve tipi ve malzeme çeşidi-yan çerçeve tipi ikili etkileşimlerinin koltuk iskeletlerinin kuvvet taşıma performansı üzerindeki etkisi "varyans analizi" (ANOVA) ile belirlenmiştir. Farklılıkların p<0,05'e göre istatistiksel olarak anlamlı çıkması halinde bu farklılıkların gruplar arasındaki önemi için "en küçük önemli fark" (LSD: Least Significant Difference) testi kullanılmıştır.

Koltuk iskeletlerinin gerçek deney şartları ve yük değerleriyle, sonlu elemanlar yöntemi (FEM) kullanıla-

rak bilgisayar destekli üç boyutlu yapısal analizleri yapılmıştır.

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 3.1. Kullanılan Malzemelerin Bazı Teknik Özellikleri

Koltuk iskeletlerinin üretiminde kullanılan malzemelerin deneyler sonucu belirlenen bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 4'de verilmiştir.

### 3.2. Deformasyon Karakteristikleri

Deney koltukları ortalama 60–90 saniyede deformasyona uğramışlardır. Sistemi oluşturan elemanlarda kırılmalar oluşmamış, deformasyonlar vidalı birleştirme yerlerinde meydana gelmiştir. Buradan, çerçeve sistemlerdeki kritik noktaların birleştirmeler olduğu anlaşılmıştır. Deformasyonlar, birleştirme yüzeyinin bir kenarının sabit, diğer kenarının ise bir açı oluşturacak şekilde rotasyonel olarak açılması biçiminde gerçekleşmiştir. Açılma anında etkin bir ses çıkmamış ve birleştirmeler yavaş yavaş açılmaya uğramışlardır. PLY koltuk iskeletlerinde, kontrplak katmanlarında ayrışmalar (delaminasyon) oluşmuş, OSB koltuk iskeletlerinde ise vidalarla birlikte çıkan ahşap parçacıkları şeklinde de-

Tablo 4. Malzemelere ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler

Malzeme çeşidi	Rutubet (%)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Çekme direnci (N/mm <sup>2</sup> )	Basınç direnci (N/mm <sup>2</sup> )	Makaslama direnci (N/mm <sup>2</sup> )	Eğilme direnci (N/mm <sup>2</sup> )	Elastik modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Kenardan Vida tutma direnci (N/mm <sup>2</sup> )
Doğu kayını	10,2	0,65	128,5	79,1	10,3	129,6	12250	9,23
Sarıçam	11,2	0,52	73,7	49,7	6,2	73,2	11760	6,70
PLY	düşey	9,1	0,57	39,7	37,8	8,9	3413	4,70
	yatay						7730	
MDF	düşey	7,1	0,69	15,6	18,7	5,5	2290	3,36
	yatay						5498	
OSB	düşey	7,6	0,59	10,9	16,6	5,6	2450	3,16
	Yatay						6530	

Tablo 5. Koltuk iskeletlerinin en büyük kuvvet taşıma değerleri

Malzeme çeşidi	Yan çerçeve tipi	Ortalama kuvvet (N) (X)	Varyasyon katsayısı (%) (v)
Doğu kayını	I. Tip	1874	0,7
	II. Tip	1844	6,6
	III. Tip	1938	5,7
Sarıçam	I. Tip	1059	6,1
	II. Tip	1633	25
	III. Tip	1484	4,2
PLY	I. Tip	1276	21,6
	II. Tip	2215	14,4
	III. Tip	1943	17,5
MDF	I. Tip	1178	13,9
	II. Tip	1739	7,2
	III. Tip	1378	2,6
OSB	I. Tip	613	15,1
	II. Tip	1314	8,6
	III. Tip	1072	4,7

formasyonlar meydana gelmiş, MDF ve OSB koltuk iskeletlerinde de, vida deliğinin açılan parçaların kenarlarında yarılmalara görülmüştür. Buradan, malzemelerin vida tutma dirençlerinin önemli olduğu anlaşılmıştır.

### 3.3. Koltuk İskeletlerinin Performansı

Koltuk iskeletlerine uygulanan mukavemet deneyleri sonucunda elde edilen kuvvet taşıma değerleri Tablo 5’de verilmiştir.

Malzeme çeşidi, yan çerçeve tipi ve malzeme çeşidi-yan çerçeve tipi ikili etkileşimlerinin koltuk iskeletlerinin performansı üzerindeki etkilerine ilişkin varyans analizi Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Varyans analizi

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F Değeri	Hata ihtimali ( $p < 0,05$ )
Yan çerçeve tipi	2	2336280,933	1168140,800	38,1272	0,0000
MÇ x YÇT	8	852662,400	106582,800	3,4788	0,0059
Hata	30	919139,333	30637,978		
Toplam	44	8716137,200			

MÇ: Malzeme çeşidi

YÇT: Yan çerçeve tipi

Varyans analizi sonuçlarına göre, malzeme çeşidi, yan çerçeve tipi ve malzeme çeşidi-yan çerçeve tipi ikili etkileşimlerinin koltuk iskeletlerinin kuvvet taşıma değerleri üzerindeki etkileri 0,05 yanılma olasılığı için önemli bulunmuştur.

Malzeme çeşidinin, koltuk iskeletlerinin kuvvet taşıma değerlerine etkilerine ait ortalamaların LSD kritik değeri 168,5 N için karşılaştırılması Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Malzeme çeşidine göre kuvvet taşıma değeri ortalamalarının karşılaştırılması

Malzeme çeşidi	Kuvvet (N)	
	(X)	HG
Doğu kayını	1886	A
Sarıçam	1392	B
PLY	1811	A
MDF	1431	B
OSB	999	C

LSD  $\pm$  168,5 N X: Aritmetik ortalama HG: Homojenlik grubu

Yapılan karşılaştırmalar sonucunda, kullanılan malzemeler arasında başarı sıralaması; Doğu kayını, PLY, MDF, sarıçam ve OSB şeklinde çıkmıştır. Doğu kayını ile PLY ve sarıçam ile MDF koltuk iskeletleri arasındaki farklar istatistiksel anlamda önemsizdir. Burada, malzemelerin vida tutma dirençlerinin önemli olduğu düşünülmektedir.

Yan çerçeve tipinin, koltuk iskeletlerinin kuvvet taşıması üzerindeki etkilerine ait ortalamaların 130,5 N LSD kritik değeri için karşılaştırılması Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8’ e göre; kolçak ile yan kayıt arasında bulunan ara kayıt elemanının varlığının ve yerinin,

Tablo 8. Yan çerçeve tipine göre kuvvet taşıma değeri ortalamalarının karşılaştırılması

Yan çerçeve tipi	Kuvvet (N)	
	(X)	HG
I. Tip	1200	C
II. Tip	1749	A
III. Tip	1563	B

LSD  $\pm$  130,5 N

yapılan yükleme karşısında koltuk iskeletinin göstermiş olduğu mukavemete etkisi önemli bulunmuştur. En yüksek kuvvet taşıma değeri, II. tip yan çerçeve koltuk iskeletlerinde elde edilmiştir. Bunu III. ve I. tip yan çerçeve koltuk iskeletleri izlemiştir. I. tip koltuk

iskeletinin ortasına bir kayıt eklenmesi kuvvet taşıma performansını % 46, üste koyulması ise % 30 arttırmıştır.

Oturma yeri ve arkalık kuvvetinin uygulanmasıyla, koltuk çerçeve sisteminin tüm bağlantı noktaları önemli bir döndürme momenti altında kalmaktadırlar. II. tip koltuk iskeletlerinde, birleştirme noktalarını etkileyen bu moment kuvvetleri, I. tip ve III. tip koltuk iskeletlerine kıyasla, yan çerçevedeki tüm birleştirme noktaları tarafından daha dengeli olarak paylaşılmıştır. I. tip ve III. tip koltuk iskeletlerinde, moment dağılımı, II. Tip koltuk iskeletlerine göre daha dengesizdir, bazı birleştirme noktalarının aşırı yük taşıırken bazılarının ise çok az yük aldıkları analiz sonuçlarından ve Tablo 9’ dan anlaşılmaktadır. Tablo 9’ da, her üç tipte üretilmiş koltuk iskeletlerinde, deney koşulları ve kuvvetleri altında, yan çerçevelerdeki birleştirmelere karşılık gelen momentlerin yüzde olarak dağılımı verilmiştir. Buna göre, her üç tip koltuk iskeletinde de en kritik nokta ön ayak-yan kayıt birleştirmesidir.

Tablo 9. Yan çerçeve tipine göre birleştirmelerde oluşan momentlerin yüzde dağılımı

Birleştirme	Birleştirmeye karşılık gelen moment / toplam moment (%)		
	Yan çerçeve tipi		
	I. Tip	II. Tip	III. Tip
Arka ayak-kolçak	% 18	% 7	% 36
Arka ayak-yan kayıt	% 14	% 12	% 11
Ön ayak-kolçak	% 11	% 12	% 9
Ön ayak-yan kayıt	% 57	% 45	% 44
Arka ayak-yan ara kayıt	-	% 12	-
Ön ayak-yan ara kayıt	-	% 12	-



Eğilme momentlerini karşılamada, bir başka önemli faktör ise, yan düzlem çerçeve sistemindeki birleştirmelerin sayısıdır. Sistemde meydana gelen toplam moment kuvvetinin birleştirmeler tarafından paylaşımında, II. tip düzlem çerçeve de 6 adet birleştirme, I. tip ve III. tip yan çerçevelerde ise 4 adet birleştirme söz konusu olmaktadır. II. tip yan çerçevelerde her bir birleştirmeye daha az yük gelmektedir. Bu nedenle de, II. tip yan çerçeve diğer yan çerçeve tiplerine göre daha iyi davranış göstermiştir.

I. tip ve III. tip düzlem çerçevelerde eşit sayıda birleştirme bulunmasına rağmen, III. tip düzlem çerçevesi koltuk iskeletleri, I. tip yan çerçevesi koltuk iskeletlerine üstünlük sağlamışlardır. Burada etkili olan özellikler sıralanacak olursa; ön ayak-yan kayıt ve arka ayak-yan kayıt bağlantı noktalarında her iki tip çerçevenin de kesit özellikleri aynı olmasına karşın, III. tip yan çerçevede kolçağa vidalanmış durumda bir ara kayıt olması nedeniyle, ön ayak-kolçak ve arka ayak-kolçak bağlantı noktalarının kesit özellikleri birbirinden farklıdır. Kolçağa vidalanmış ve dikey durumda bulunan ara kayıt elemanı, III. tip yan çerçevenin, anılan birleştirme yerlerindeki "T" şeklindeki kesit yapılarını üstün duruma getirmiştir. Bu noktalarda, III. tip yan çerçevede dört adet vida, I. tip yan çerçevede ise iki adet vida bulunmaktadır.

Eğmeye çalışan kuvvetler karşısında, III. tip ve I. tip düzlem çerçevelerde, söz edilen düğüm noktalarındaki kesit alanlarının eylemsizlik momentleri de birbirinden farklıdır. Bu birleştirme noktalarında, I. tip yan çerçeve için eylemsizlik momentleri  $34020 \text{ mm}^4$  iken, III. tip yan çerçeve için  $1768200 \text{ mm}^4$  tür. Bu bağlamda,

Tablo 11. Deney malzemeleri için belirlenen emniyet gerilmesi değerleri ( $\text{N/mm}^2$ )

Malzeme	Eğilme Emniyet Gerilmesi	Makaslama Emniyet Gerilmesi	Burulma Emniyet Gerilmesi	Çekme Emniyet Gerilmesi	Basınç Emniyet Gerilmesi
Doğu Kayını	43	3,5	4,6	43	53
Sarıçam	25	2	2,7	25	33
Okume Kontrplak	Yatay	22	3	4	21
	Dikey	20			
MDF	Yatay	11	1,8	2,4	9
	Dikey	8			
OSB	Yatay	11	1,9	2,5	9

eylemsizlik momentleri arasındaki 52 katlık farklılık, koltuk iskeletlerinin bütününe mukavemetinde önemli bir etken olduğu ortaya koyulabilir.

### 3.4. Bilgisayar Destekli Yapısal Analiz Sonuçları

Bilgisayar destekli analizlerden, ilk olarak koltuk iskelet sistemini oluşturan tüm elemanlara etkiyen eksenel kuvvetler ve bu kuvvetlerin oluşturduğu eksenel gerilmelerin analizi yapılmıştır. En büyük basınç ve çekme gerilmelerinin meydana geldiği tespit edilen elemanların, her bir malzeme için belirlenmiş olan emniyet gerilmesi (kabul edilebilir tasarım gerilmesi) de-

ğerleriyle karşılaştırılması yapılmıştır (2). Mobilyada kullanılacak ağaç malzemeler için emniyet gerilmeleri henüz elde edilmemiştir. Ancak, Eckelman (22) mobilya yapımında kullanılacak ağaç malzemelerin çeşitli dirençleri için kısıtlama faktörleri önermiştir (Tablo 10). Bu çalışmada; masif ağaç ve odun kompoziti malzemeler için elde edilen maksimum direnç değerlerinin, Eckelman tarafından önerilen kısıtlama faktörlerine bölünmesiyle elde edilen değerler "emniyet gerilmesi" olarak alınmıştır.

Tablo 10. Emniyet gerilmelerinin tayininde kullanılan kısıtlama oranları (22)

Gerilme Türü	Kısıtlama Faktörü
Eğilme Emniyet Gerilmesi	1 / 3 Eğilme Direnci
Makaslama Emniyet Gerilmesi (Liflere paralel //)	1 / 3 Makaslama Direnci (//)
Torsion (Burulma) Emniyet Gerilmesi	4 / 9 Makaslama Direnci (//)
Çekme Emniyet Gerilmesi (Liflere paralel //)	1 / 3 Eğilme Direnci
Basınç Emniyet Gerilmesi (Liflere paralel //)	2 / 3 Basınç Direnci (//)
Basınç Emniyet Gerilmesi (Liflere dik $\perp$ )	1 / 1 Basınç Direnci ( $\perp$ )

Koltuk iskeletlerinin yapımında kullanılan ağaç malzemeler için deneyler sonucu bulunan dirençlere göre emniyet gerilmeleri Tablo 11'de verilmiştir

Analizler sonucunda, en büyük çekme gerilmesinin meydana geldiği eleman "ön ayak alt elemanı", en büyük basınç gerilmesinin meydana geldiği eleman ise "arka ayak alt" elemanı olarak bulunmuştur. Bunlar eksenel kuvvetleri karşılamada en kritik elemanlardır. Yükleme biçimi incelendiğinde, arka ayak alt elemanının oturma ve arkalık yüklerinden dolayı bir basınç kuvveti etkisinde kaldığı, ön ayak alt elemanının ise deney platformundan kalkmaya zorlandığı ve pimli bağlantılı olduğu için de bir çekme kuvveti etkisinde kaldığı anlaşılmaktadır. Bu kuvvetlerden dolayı oluşan eksenel gerilmeler için yapılan karşılaştırma sonuçları Tablo 12'de verilmiştir

Tablo 12. Maksimum aksel gerilme değerleriyle aksel emniyet gerilmelerinin karşılaştırılması ( $N/mm^2$ )

Malzeme	Çekme elemanı	Deney çekme gerilmesi	Çekme emniyet gerilmesi	Sonuç	Basınç elemanı	Deney basınç gerilmesi	Basınç emniyet gerilmesi	Sonuç
Doğu kayını	Ön ayak alt	0,691	43	+	Arka ayak alt	1,021	53	+
Sarıçam	Ön ayak alt	0,566	25	+	Arka ayak alt	0,896	33	+
PLY	Ön ayak alt	0,804	21	+	Arka ayak alt	1,134	25	+
MDF	Ön ayak alt	0,609	9	+	Arka ayak alt	0,940	12,5	+
OSB	Ön ayak alt	0,435	9	+	Arka ayak alt	0,766	11	+

(+) : Başarılı

(-) : Başarısız

Masif ağaç ve odun kompoziti malzemelerden üretilmiş koltuk iskeletlerine ait elemanların kesit ölçüleri, aksel kuvvetleri emniyetli bir şekilde taşıyacak mukavemete sahip bulunmuşlardır. Bir sonraki aşama olarak, elemanlarda (Y) yönünde meydana gelen ma-

momentler ve meydana gelen eğilme gerilmeleri, üç boyutlu yapısal analiz sonuçlarından elde edilmiştir. (Z) yönünde, en büyük eğilme gerilmesinin olduğu eleman, üç boyutlu yapı analizi sonuçlarından belirlenerek, bu elemanda oluşan eğilme gerilmesi değerleri koltuk iskeletlerinin üretiminde kullanılan malzemeler için de-

Tablo 13. Maksimum makaslama gerilmeleriyle makaslama emniyet gerilmeleri karşılaştırılması

Malzeme	Makaslama Elemanı	Deney Makaslama Gerilmesi ( $N/mm^2$ )	Makaslama Emniyet Gerilmesi ( $N/mm^2$ )	Sonuç
Doğu Kayını	Ön ayak alt	1,98	3,5	Başarılı
Sarıçam	Ön ayak alt	0,972	2	Başarılı
PLY	Ön ayak alt	1,318	3	Başarılı
MDF	Ön ayak alt	1,035	2,4	Başarılı
OSB	Ön ayak alt	0,782	2,5	Başarılı

kaslama kuvvetleri ve oluşan makaslama gerilmesi değerleri analizler sonucu elde edilmiştir. Belirlenen bu en büyük makaslama gerilmeleri, makaslama emniyet gerilmeleri ile karşılaştırılmıştır (2). En büyük makaslama gerilmelerinin olduğu eleman “ön ayak alt” elemanı olarak tespit edilmiştir. Tüm malzemelerden üretilmiş koltuk iskeletlerine ait “ön ayak alt” elemanlarında meydana gelen makaslama gerilmeleri için yapılan karşılaştırma sonuçları Tablo 13’de verilmiştir.

Tablo 14. Maksimum eğilme gerilmeleri ile eğilme emniyet gerilmelerinin karşılaştırılması ( $N/mm^2$ )

Malzeme	Eğilme Elemanı	Deney Eğilme Gerilmesi	Eğilme Emniyet Gerilmesi	Sonuç
Doğu kayını	Ön Ayak Alt	57,679	43	Başarısız
Sarıçam	Ön Ayak Alt	48,601	25	Başarısız
Okume kontrplak	Ön Ayak Alt	65,923	22	Başarısız
MDF	Ön Ayak Alt	51,756	11	Başarısız
OSB	Ön Ayak Alt	39,107	11	Başarısız

Koltuk iskeletlerinin üretiminde kullanılan tüm malzemeler için, eleman kesit ölçüleri elemanlar üzerinde oluşan makaslama kuvvetlerini taşımak için yeterli bulunmuştur. Son aşama olarak, koltuk iskeletlerini meydana getiren tüm elemanlarda, (Z) yönünde oluşan

neyler sonucunda belirlenmiş olan eğilme emniyet gerilmesi değerleri ile karşılaştırılmıştır (Tablo 14).

En büyük eğilme gerilmeleri “ön ayak alt” elemanlarının üst noktalarında, “yan kayıt” elemanları ile birleşme noktalarında meydana gelmiştir. Buna göre, koltuk iskeletlerinin en kritik yeri ön ayak-yan kayıt birleştirme noktasıdır. Bu noktalarda belirlenen büyük eğilme gerilmesi değerleri malzemeler için belirlenen eğilme emniyet gerilmesi değerlerinden yüksek

çıkmıştır. Bu noktalardaki birleştirmelerin eğilme mukavemeti ile elemanların kesit özellikleri koltuk iskelet sisteminin bütününe performans üzerinde etkilidirler. Koltuk iskeleti tasarımında; belirlenen bu sonuçlar dik-

kate alınır, koltuk iskelet sistemlerinin kuvvet taşıma performansı artırılabilir.

Elemanlarda meydana gelen tüm kuvvetler ve gerilmeler analiz edilmiş ve koltuk iskelet üretiminde kullanılan tüm malzemeler için belirlenen emniyet gerilmesi değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta, kullanılan tüm malzemelerin ve eleman kesit ölçülerinin, meydana gelen normal (çekme-basınç) ve makaslama kuvvetlerini güvenli bir şekilde taşıdığı, ancak ön ayak alt elemanının yan kayıt elemanı ile birleşme noktasının aşırı eğilme yükü altında kaldığı anlaşılmıştır. Gerçek performans deneylerinde gözlemlenen deformasyon şekilleri de bu sonucu doğrulamaktadır. Deneyler sırasında gözlenen koltukların, elemanlarında kırılmalar olmamış, öncelikle yukarıda anılan birleştirme yerlerinde açılmalar meydana gelmiş, daha sonra da diğer birleştirme noktalarında açılmalar meydana gelmiştir. Sonuçta, koltuk iskelet sisteminin kritik noktalarının birleştirmeler olduğu bilgisayar destekli yapı analizi verileriyle de doğrulanmıştır. Bu sonuç, Altınok (1995)' un çalışmasının sonuçlarıyla da tutarlı çıkmıştır (6).

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Masif ağaç malzeme ve odun kompoziti malzemelerden, üç değişik yan çerçeve tipi ile tutkalsız-vidalı birleştirme teknikleriyle üretilmiş olan koltuk iskeletleri farklı mekanik davranış özellikleri göstermişlerdir.

Malzeme çeşidine göre, deformasyon özelliklerinde çok önemli farklılıklar görülmemiştir. Deformasyon karakteristikleri hemen hemen aynı şekilde gerçekleşmiş, ancak deformasyon miktarlarında farklılıklar gözlenmiştir. Eğilme direnci yüksek olan malzemelerden üretilen koltuk elemanlarının daha az, düşük eğilme direncine sahip malzemelerden üretilmiş koltuk elemanlarının ise daha çok deforme oldukları gözlenmiştir. Özellikle Doğu kayını ve PLY'den hazırlanmış koltuk iskeletlerinde, gerek sistemin genel yer değiştirmesinin gerekse elemanlarında meydana gelen eğilmelerin çok az olduğu görülmüştür.

Odun kompozitleri, kutu mobilya üretiminde, yaygın olarak kullanılmalarına rağmen, çerçeve mobilya üretiminde kullanımları yaygın değildir. Bu malzemelerin mühendislik tasarımı yaklaşımıyla, çerçeve konstrüksiyonlu mobilyalarda, özellikle kapalı döşemeli koltuk, kanepeler vb. gibi mobilyaların iskelet kısımlarında boyutsal açıdan daha kararlı malzeme olmaları ve ekonomik nedenlerle kullanımları önerilebilir.

PLY'den üretilen koltuk iskeletleri ile Doğu kayınından üretilen koltuk iskeletleri birbirine yakın mukavemet değerleri vermişlerdir. Benzer şekilde, sarıçam odunu ile MDF'den yapılmış olan koltuk iskeletleri arasındaki mukavemet farkları da önemsiz çıkmıştır. Buna göre; PLY ve MDF koltuk iskeleti üretimi aşamasındaki kolaylıklar, stabilite (kararlılık) gibi bazı teknik ve ekonomik üstünlükleri göz önünde bulundurulduğunda, Doğu kayını veya sarıçam odununa tercih edile-

bilir. Bu durum tasarımcı, üretici, satıcı ve kullanıcılara ekonomik ve teknik yararlar sağlayacaktır.

Bu çalışmada değerlendirilen koltuk iskeletlerinin üretiminde, ara kayıt elemanı için optimum yerin II. tip yan çerçevedeki gibi yan kayıt ile kolçağın orta noktası olduğu belirlenmiştir. En kritik birleştirme noktası ise ön ayak-yan kayıt birleştirmesi olmuştur. Gerekli görüldüğünde, birleştirmelerin mukavemetini artırarak, üç farklı tip koltuk iskeletinin de kuvvet taşıma kapasiteleri artırılabilir.

Performans deneyleri sonuçlarına göre, mobilya üretiminde kullanılan malzemelerin eğilme direnci ve elemanların kesit özellikleri (atalet momentleri) birleştirmelerin mukavemeti üzerinde etkili çıkmıştır. Bilgisayar destekli analizler sonucunda, birleştirme yerlerinde önemli bir eğilme zorlaması olduğu anlaşılmıştır. Buna göre, eğilme dirençleri yüksek olan malzemeler ile daha güçlü birleştirmeler ve dolayısıyla daha mukavemetli mobilya sistemleri elde etmek mümkün olabilir.

Sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılan üç boyutlu yapısal analizlere göre; bilgisayar destekli analiz programları, bu çalışmada değerlendirilen mobilya sistemlerinin genel mukavemeti hakkında anlamlı değerler sağlamıştır. Günümüzde bilgisayar teknolojisi hızla gelişmekte ve kullanımı yaygınlaşmaktadır. Tasarlanan bir mobilyanın üretimine geçmeden önce mukavemeti hakkında ön bilgiler elde edilebilmesi ve bu bilgilere göre gerekli değişikliklerin yapılarak optimizasyonun sağlanması, mobilya tasarımcılarının işini kolaylaştıracak, böylece ekonomik kayıplar da önenebilecektir.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Eckelman, C. A., Erdil, Y. Z., "Furniture Engineering and Quality of Life", H.Ü. Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, I. Uluslararası Mobilya Kongresi, Bildiri Kitabı, İstanbul, 306-332, 1999.
2. Kasal, A., Masif ve Kompozit Ağaç Malzemelerden Üretilmiş Çerçeve Konstrüksiyonlu Koltukların Performansı, Doktora Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2004.
3. Efe, H., Modern Mobilya Çerçeve Konstrüksiyon Tasarımında Geleneksel ve Alternatif Bağlantı Tekniklerinin Mekanik Davranış Özellikleri, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1994.
4. Kasal, A., Çerçeve Konstrüksiyonlu Mobilya Masa Ayak Kayıt Birleştirmelerde Köşe Takozunun Birleştirme Direncine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1998.
5. Efe, H., Erdil, Y. Z., Kasal, A., "Mobilya Mühendislik Tasarımında Mobilya Sistemlerinin Sonlu Elemanlar Metoduyla Optimizasyonu", G. Ü. T. E. F., I. İleri Teknolojiler Sempozyumu, Bildiri Kitabı, Ankara, 315-323, 2003.
6. Altınok, M., "Sandalye Tasarımında Gerilme Analizine Göre Mukavemet Elemanlarının Boyutlandırılması", Doktora Tezi, G. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 38-47, 1995.

7. Cai, L., Wang, F., Tan, H., "Study on the Strength of Moltinject Corner Joints of Furniture", Holz als Roh-und Werkstoff, 53 (6) : 385-388,1995.
8. Gustafsson, S. I., "Furniture Design by Use of the Finite Element Method", Holz als Roh-und Werkstoff , 53 (4) : 257-260,1995.
9. Gustafsson, S. I., "Finite Element Modelling Versus Reality for Birch Chairs", Holz als Roh-und Werkstoff, 54 (5) : 355-359, 1996.
10. Gustafsson, S. I., "Optimising Ash Wood Chairs", Wood Science and Technology, 31 (4) : 291-301, 1997.
11. Smardzewski, J., "Numerical Analysis of Furniture Constructions", Wood Science and Technology, 32 (4) : 273-286, 1998.
12. Smardzewski, J., "Strength of Profile-Adhesive Joints", Wood Science and Technology, 36: 173-183, 2002.
13. Daudeville, L., Davenne, L., Yasumura, M., "Prediction of the Load Carrying Capacity of Bolted Timber Joint", Wood Science and Technology, 33 : 15-29, 1999.
14. Nicholls, T., Crisan, R., "Study of the Stress-Strain State in Corner Joints and Box Type Furniture Using Finite Element Analysis (FEA)", Holz als Roh-und Werkstoff, 60 : 66-71, 2002.
15. Erdil, Y., Z., Integrated Product Engineering and Performance Testing of Furniture, Ph.D. Thesis, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 2002.
16. TS 46, "Kontrplak (Soyma Plakalı)-Genel Amaçlar İçin", T.S.E. , Ankara, (1986).
17. TS 64, "Lif Levhalar – Sert ve Orta Sert Levhalar", T.S.E. , Ankara, (1982).
18. EN 300, "Oriented Strand Boards (OSB)-Definitions, Classification and Specifications", European Standart, 1997.
19. American Society for Testing and Materials, Standard Methods of Evaluating the Properties of Woodbase Fiber and Particle Panel Materials, ASTM D 1037-98, ASTM, West Conshohocken, Philadelphia, 1998.
20. TS 61, "Ağaç Vidaları", T.S.E., Ankara, 1978.
21. TS 9024, "Mobilya – Koltuk", T.S.E., Ankara, 1997.
22. Eckelman, C., A., Textbook of Product Engineering and Strength Design of Furniture, Text Book, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA, 1991.
23. TS 2471, "Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler İçin Rutubet Miktarının Tayini", T.S.E., Ankara, 1976.
24. TS 9215, "Ahşap Mobilya-Mukavemet ve Denge Deneyleri", T.S.E., Ankara, 1991.
25. ISO / DIS 7174 / 1, "Furniture – Chairs-Determination of Stability", Draft International Standard, 1979.
26. Rapid Interactive Structural Analysis (RISA-3D) Version 4.1, RISA Technologies Software, Foothill Ranch, 2000.
27. USDA Forest Product Laboratory, "Wood Handbook", USDA Agricultural Handbook 72, USDA Forest Service, Forest Product Laboratory, Madison, WI, USA, 42-45, 1987.
28. Beer, F., P., Johnston, E., R., "Mechanics of Materials", SI Metric Edition, McGraw – Hill Ryerson Limited, 75-79, 1987.