

Sandalye çerçevelerinin sonlu elemanlar analizi

Tuğba Yılmaz^{a,*}, Ergün Güntekin^a

^a Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Isparta

* İletişim yazarı/Corresponding author: eguntekin@orman.sdu.edu.tr, Geliş tarihi/Received: 23.12.2011, Kabul tarihi/Accepted: 29.03.2012

Özet: Bu çalışmada, farklı ara kayıt konumlarına göre üretilmiş sandalye çerçevelerinin sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Ağaç malzeme olarak Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) odunu kullanılmıştır. Sandalyelerde elemanlar metal çektiçmeler ve silindir somun kullanılarak birleştirilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında sandalye üretiminde kullanılacak ahşap malzemenin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Laboratuvar şartlarında belirlenen mekanik özellikler kullanılarak Doğu kayını için emniyet gerilmeleri hesaplanmıştır. Kritik oturma pozisyonunda ve ara kayıt elemanının yeri değiştirildiğinde sandalye elemanlarına etki eden uç kuvvetler ve momentler bulunmuştur. Bu değerler kullanılarak sandalye elemanlarının minimum enine kesitleri elde edilmiştir. Sandalye çerçevelerinin yapısal analizi bir sonlu elemanlar yazılımı olan COSMOSWorks programında yapılmış ve deneylerden elde edilen veriler programdan elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Oluşturulan sonlu elemanlar modellerinin gerçek davranışa yakın değerler verdiği ortaya koyulmuştur. Çalışma sonuçlarına göre, gerilme ve deformasyonların en fazla ara kayıtsız modellerde meydana geldiği ortaya çıkmıştır. Çalışmada ara kayıt kullanımının çerçevelerde oluşan gerilmeleri, deformasyonları ve malzeme kullanımını azalttığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sonlu elemanlar metodu, Sandalye çerçevesi, Kayın

Finite element modeling of chair frames

Abstract: In this study, chair frames with various stretcher positions were investigated using finite elements analysis. Beech (*Fagus orientalis* L.) wood has been used as study material. Chair frames are produced using bolts and cross dowels. First, some physical and mechanical properties of the wood materials used in the study have been evaluated. Using mechanical properties found in laboratory conditions, allowable stress values have been calculated. End forces and moments have been found for both the critical sitting position and when the stretcher position is changed. Minimum cross section of the chair elements has been calculated using these values. Structural analysis of the chair frames was conducted using COSMOSWorks software which is a 3D finite element program. Results which are obtained by finite element program and experiments were compared. The generated finite element models have revealed values close to the actual behavior of the chair frames. The highest stresses and deformations resulted in the models which has no stretcher. Use of stretchers will reduce stresses and deformations of the chair frames under load, thus they may reduce material consumption in manufacturing.

Keywords: Finite element method, Chair frame, Beech wood

1. Giriş

Mobilya tasarımı ve yapımı uygulamalı bir sanat olduğu için estetik, fonksiyonel ve moda özelliklerinin yanında direnç ihtiyaçlarının da göz önünde bulundurulmalıdır. Mobilya tasarımının objektif fonksiyonu malzeme kullanımını azaltırken elemanlarının ve birleştirmelerin dirençlerini yükseltmektir (Smardzewski, 1998). Mobilya tasarımında ayrı fakat birbirleriyle alakalı üç alan vardır. Bunlardan ilki belki de en önemlisi estetik tasarımdır. İkincisi, fonksiyonel planlamadır. Üçüncüsü ise mobilyanın üzerine gelen yükleri emniyetli bir şekilde taşımasının sağlandığı mühendislik tasarımıdır (Eckelman, 1997).

Mobilya tasarımı çoğu zaman geleneksel üretimdeki deneyimlere dayanmıştır. Literatürdeki bulgulara bakıldığında hiçbir marangozluk işinin mobilya elemanlarındaki iç gerilmeleri bulmak için statığı kullandığı görülmemiştir (Gustafsson, 1997). Günümüz mobilya tasarımcıları üretilen ürünün son şeklini etkileyen birçok faktörü göz önünde bulundurmak zorundadırlar. Başarılı bir çözüme ulaşmak için tasarımcı birçok faktörü göz önünde

bulundurarak bunların harmoni içinde olduğu çözümü bulmak zorundadır.

Sonlu Elemanlar Metodu (SEM) mühendislikte malzemelerin veya sistemlerin dış etkenlere (kuvvet, ısı, elektrik, vb.) karşı davranışlarının analizinde kullanılan nümerik bir yöntemdir. SEM yapısal statik hesaplamalarda rijitlik matrisi {K} ile deformasyonlar matrisinin {u} kuvvetler matrisine {F} eşitlenmesi ile kurulan matematik modelin nümerik çözümünü içerir (Güntekin, 2004).

Sonlu elemanlar metodu ile mobilya veya mobilya elemanlarının analizi konusunda yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bu konuda yapılan ilk çalışmalardan birinde Jamaludin (1995) sonlu elemanlar metodu kullanılarak koltuk çerçevesinin ön kayıt elemanını modellemiştir. Kayıt, ayak ve kavelalı birleştirmelerin modellenmesinde üç boyutlu katı (solid) elementler kullanılmıştır. Her bir koltuk elemanı için farklı malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Birleştirme noktalarında kavelalar ve iskelet elemanları arasındaki ara yüzler tutkal (glue) işlemi ile birleştirilmiştir.

Güntekin (2004) tarafından yapılan bir çalışmada kavelalı mobilya köşe birleştirmelerinin modellenmesi sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Oluşturulan

modellerin analizi ANSYS programı kullanılarak yapılmıştır. SEM modelleri ile elde edilen moment-rotasyon eğrileri kavelalı birleştirmelerin laboratuvarında yapılan statik yüklemelerden elde edilen moment-rotasyon eğrileri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada SEM modellerinin ve test yoluyla elde edilen eğrilerin birbirine yakın değerlerde olduğu belirtilmiştir.

Gusstafsson (1995, 1996, 1997) tarafından yapılan çalışmalarda sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak sandalye elemanlarındaki gerilmeler hesaplanmış ve minimum ebatlar bulunmaya çalışılmıştır. Benzer çalışmalar Smardzewski (2001, 2003) ve Kasal (2006) tarafından ortaya konmuştur. Bu çalışmalarda da sonlu elemanlar yönteminin mobilya çerçeve sistemlerinde gerilme analizlerinde başarıyla kullanıldığı görülmüştür.

Smardzewski ve Gawronski (2001), sandalye optimizasyonu için sonlu elemanlar metodunu kullanmıştır. Çalışmada zaman fonksiyonu ve örnek sayısında malzeme hacminin en az ölçülerde belirlenmesinde statik optimizasyon yöntemlerinin etkinliği belirlenmiştir. Maksimum direnç değerleri alınarak sandalye elemanlarının minimum boyutları hesaplanmıştır. Çalışma sonucuna göre sonlu elemanlar metodu ve Monte-Carlo metodu ile statik optimizasyon uygulama çalışmaları ile sandalyede kullanılan malzemenin ilk hacminin % 53' ü kadar malzeme tüketimini azaltmaya müsaade ettiği ortaya koyulmuştur.

Bu çalışmanın amacı Doğu kayınından üretilen sandalye çerçevelerinin sonlu elemanlar analizini yapmak, dolayısıyla standartlarda belirtilen yüklemeler altında sandalye çerçevelerinin mekanik davranışını önceden tahmin edebilmektir. Ayrıca ara kayıt elemanının konumunun sandalye çerçevesinin mekanik davranışına etkisi incelenmiştir.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Çalışmada ağaç malzeme olarak mobilya endüstrisinde yaygın kullanımı göz önüne alınarak I. sınıf Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) kullanılmıştır. Bağlantı elemanı olarak da demonte mobilya birleştirmelerinde kullanılan 6 mm çapında ve 70–90–110 cm boyunda çinko kaplı metal çektirme vidası ile 10 mm çapında ve 20 mm boyunda çelik silindir somunu kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bağlantı elemanları Şekil 1' de gösterilmiştir.

2.2. Yöntem

Çalışmanın ilk aşamasında ağaç malzemenin rutubet ve yoğunlukları (TS 2472), eğilme direnci (TS 2474), eğilmede elastikiyet modülü (TS 2478), liflere paralel basınç (TS 2472) ve kesme dirençleri (TS 3459) ilgili standartlara göre hesaplanmıştır. Çalışmada Eckelman (1997) tarafından tavsiye edilen emniyet katsayıları uygulanarak emniyet gerilmeleri hesaplanmıştır. Eckelman'a göre eğilme ve kesme emniyet gerilmesi eğilme ve kesme direncinin üçte biri, basma emniyet gerilmesi ise basma direncinin üçte ikisi oranındadır. Bu emniyet gerilmelerinden yola çıkılarak çerçeve elemanlarının enine kesitleri hesaplanmıştır.

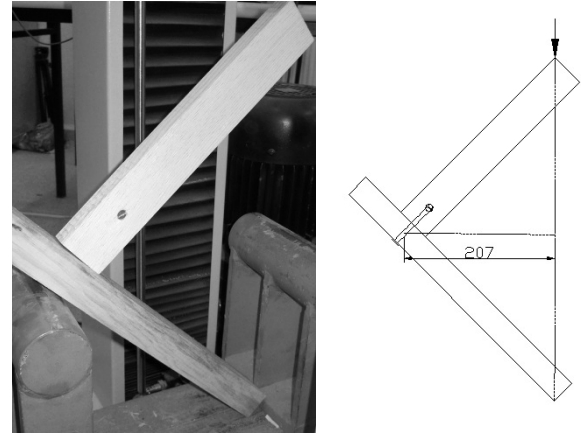
İkinci aşama olarak kullanılan çektirme uzunluğunun birleştirme performansı (maksimum yük taşıma ve rijitlik) üzerine etkisini görmek için 3 farklı uzunlukta (70, 90, 110

mm) çektirme kullanılarak birleştirme örnekleri hazırlanmıştır. Bu birleştirmelere şekilde gösterilen eğilme testleri uygulanmıştır. Elde edilen yük deformasyon grafiklerinden birleştirmelerin eğilmedeki rijitlik ve maksimum yük taşıma değerleri hesaplanmıştır. Eğilme örneği ve test düzeneği Şekil 2' de gösterilmiştir.

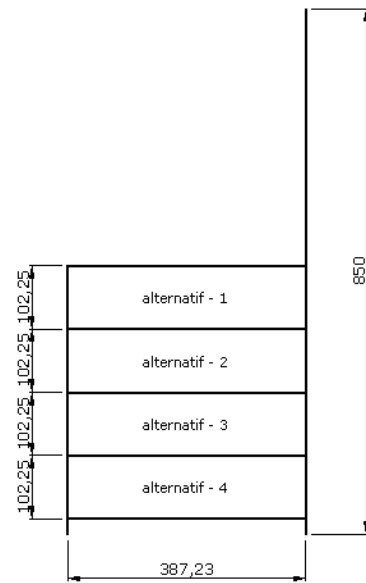
Çalışmanın üçüncü aşamasında çerçevelerin rijit olduğu kabul edilerek eksenel yük, kesme ve moment diyagramları oluşturulmuştur. Bu diyagramlar kullanılarak çerçeve elemanlarının enine kesitleri belirlenmiştir. Deneylerde 5 farklı alternatif (A-0, A-1, A-2, A-3, A-4) ve her çerçeveden 5 adet tekrar edecek şekilde toplam 25 adet (5x5) sandalye çerçevesi hazırlanmıştır. Sandalye çerçevelerine ait genel ölçüler ve alternatif durumları Şekil 3' de gösterilmiştir. Diyagonal yüklemeye düzeneği Şekil 4' de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan çektirme vidası ve silindir somun



Şekil 2. Eğilme örneği ve test düzeneği ve ölçüleri (mm)



Şekil 3. Sandalye çerçevelerine ait genel ölçüler (mm)

Sandalye çerçevelerinin ön ayağın üst kısmına uygulanan yük ve uygulanan yük sonucu çerçevelerde oluşan yer değiştirmeler yükleme başlığında ölçülmüştür. Çerçevelerin rijitliği elde edilen yük-deformasyon eğrileri kullanılarak P/d eşitliğinden hesaplanmıştır.

2.3. Sonlu elemanlar modelleri

Sonlu elemanlar modelleri COSMOSWorks programı kullanılarak yapılmıştır. COSMOSWorks katı modellemede tetrahedral katı elemanı kullanmaktadır. Bu eleman 4 düğüm noktasına ve her düğüm noktasında da 3 serbestlik derecesine sahiptir. Sonlu elemanlar metoduyla problemlerin çözülebilmesi için programda modellerin geometrik ölçüleri, elastikiyet modülü ve Poisson oranı değerleri, çerçevenin destek noktalarının durumları ve uygulanacak kuvvetlerin değerleri girilerek analizler yapılmıştır. Tüm malzeme ve kesit özellikleri her bir eleman için ayrı olarak tanımlanmış ve analizleri yapılmıştır. Yük ve mesnet noktaları tanımlanmış sandalye çerçevesi modeli Şekil 5' de gösterilmiştir.

Çalışmada elde edilen değerler SAS istatistik programı yardımıyla analiz edilmiştir. Ara kayıt konumunun sandalye çerçevelerinin rijitliğine etkisi, kullanılan farklı çektirme uzunluklarının maksimum yük taşıma kapasitesine etkisi varyans analizi (ANOVA) yapılarak ortaya çıkarılmıştır. Sandalye çerçevelerinde ara kayıt alternatifleri arasındaki farkı görmek için rijitlik değerlerine DUNCAN testi uygulanarak farklar ortaya konulmuştur.

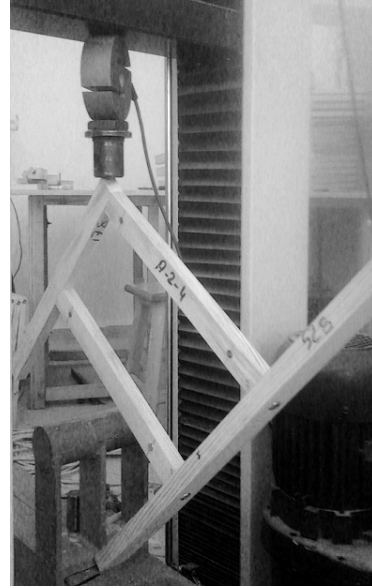
3. Bulgular ve tartışma

Çalışmada kullanılan ağaç malzemenin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 1 'de verilmiştir.

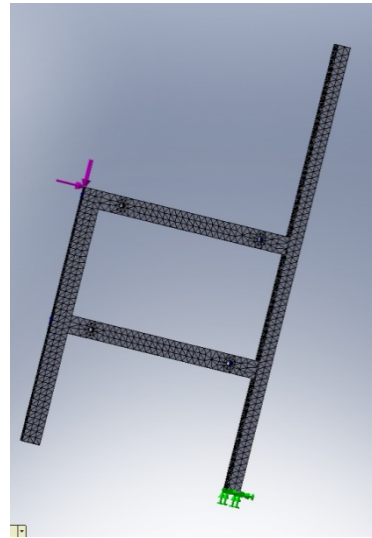
Bektaş vd. (2002) tarafından yapılan bir çalışmada Doğu kayınının eğilme direnci 118 N/mm^2 bulunurken, Güler ve Bektaş (2000) tarafından yapılan başka bir çalışmada doğu kayınının eğilmede elastikiyet modülü 12503 N/mm^2 olarak ortaya koyulmuştur. Çizelge 1'deki sonuçlardan çalışmada kullanılan kayın odunu için eğilme emniyet gerilmesi 32 N/mm^2 , basınç emniyet gerilmesi 32.68 N/mm^2 , ve kesme emniyet gerilmesi 3.88 N/mm^2 hesaplanmıştır.

Çalışmada kullanılan çektirmelerin ortalama rijitlik değerleri 95.05 ile 101.3 N/mm arasında, maksimum yük taşıma değerleri ise 1231 ile 1372 N arasında değişmektedir. Varyans analizi sonuçlarına göre çektirme uzunlukları arasında rijitlik ve maksimum yük taşıma kapasiteleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır (maksimum yük taşıma kapasitesi analizi için hata ihtimali $P < 0.2547$, R^2 değeri 0.2; rijitlik analizi için hata ihtimali $P < 0.4341$, R^2 değeri 0.12).

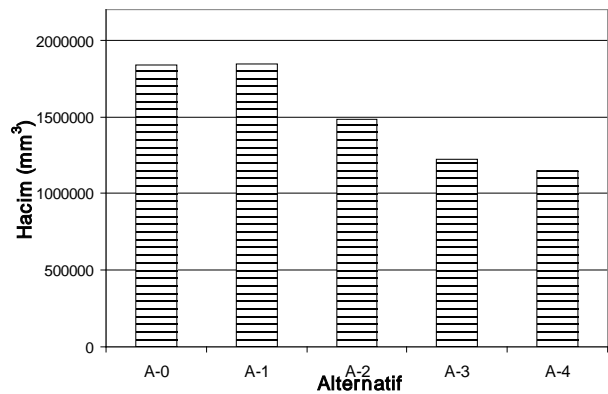
Kritik oturma pozisyonunda standartta belirtilen yük (784.8 N) kullanılarak yapılan çerçeve analizinde sandalye elemanlarında oluşan maksimum gerilmelere göre belirlenen enine kesit ölçüleri Çizelge 2'de verilmiştir. Hesaplamalarda kayıt ve ön ayak için 20 mm sabit kalınlık, arka ayak için ise 42 mm sabit genişlik esas alınmıştır. Her bir modeli oluşturmak için kullanılacak ahşap malzeme miktarları Şekil 6' da gösterilmiştir. Buna göre A-O ve A-1 yaklaşık aynı hacimde malzemeden yapılmasına rağmen A-1 çerçevesinin rijitliği A-O çerçevesinin rijitliğinin iki katından fazladır. A-2, A-3, A-4 çerçeveleri arasında rijitlik bakımından anlamlı farklar bulunmamasına rağmen A-4 çerçevesi için daha az ahşap malzemeye gerek vardır.



Şekil 4. Sandalye diyagonal yükleme deneyi



Şekil 5. Yük ve mesnet noktaları tanımlanmış sandalye çerçevesi (A-3)



Şekil 6. Modellerin toplam hacimleri

Çalışmada yüklenen çerçevelerden elde edilen yük deformasyon eğrileri Şekil 7’ de verilmiştir. Bu grafikler kullanılarak çerçevelerin rijitlik değerleri elastik bölge kullanılarak hesaplanmıştır. Çerçeve rijitliklerine ait ortalama değerler Çizelge 3’ de verilmiştir.

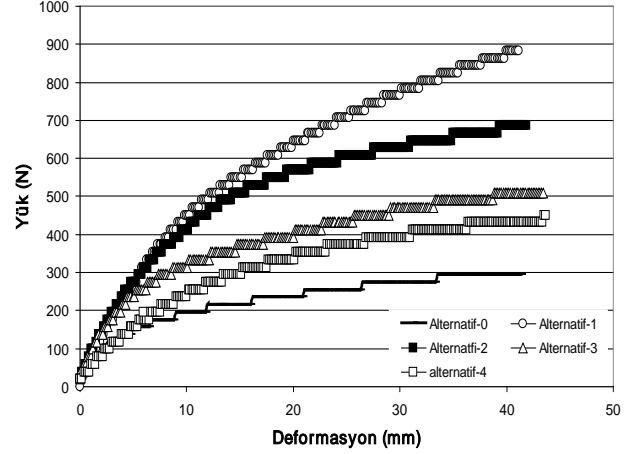
Test edilen çerçevelerde ara kayıt konumunun çerçeve rijitliği üzerine etkisi varyans analizi ile ortaya konmuştur. Varyans analizi sonuçlarına göre çalışmada teorik hesaplamalara göre bulunan enine kesitler kullanılarak imal edilen çerçeveler arasında rijitlik bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmaktadır ($p<.0001$). Alternatifler arasındaki farkı görmek için ise Duncan testi uygulanmıştır.

Duncan testi sonuçlarına göre A-1 rijitlik bakımından en yüksek, A-0 ise en düşük değerlere sahiptir. Diğer alternatifler arasında rijitlik bakımından anlamlı bir fark bulunmamaktadır. A-0 çerçevesinde rijitliğin düşük çıkmasının sebebi tek kayıt elemanına sahip olması dolayısıyla kayıttan arka ayağa momentlerin tek bir birleştirme vasıtasıyla transfer edilmesi olabilir. Bu da birleştirme noktasında gerilmelerin yoğunlaşmasına ve birleştirmenin daha fazla deformasyona uğramasına sebebiyet verecektir. Nitekim diğer çerçevelerde kayıt – arka ayak birleştirme noktalarında meydana gelen momentler oldukça azalmıştır.

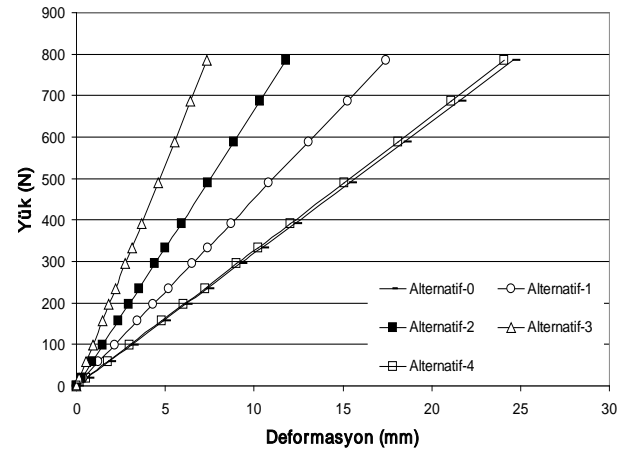
3.1. Çerçevelerin sonlu elemanlar modelleri

Çalışmada çerçevelerin COSMOSWorks programında gerilme ve deformasyon analizleri yapılarak deformasyon miktarları laboratuvar şartlarında elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Modellerin her birinde 10000 in üzerinde katı (solid) eleman kullanılmıştır. Bu modellemenin gerçekçi olması bakımından önemlidir.

Modellerden elde edilen yük deformasyon eğrileri Şekil 8’ de gösterilmiştir. Modellemede de en düşük rijitliğin A-0 da olduğu söylenebilir. Diğer alternatiflerde yer değişikliği söz konusudur. Bu da modellemede ortalama elastikiyet modülü değerinin kullanılmasından kaynaklanıyor olabilir.



Şekil 7. Çerçevelerden elde edilen ortalama yük-deformasyon eğrileri



Şekil 8. Sandalye çerçevelerinin COSMOSWorks programında analizi sonucunda oluşan deformasyonların karşılaştırılması

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan ağaç malzemenin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri

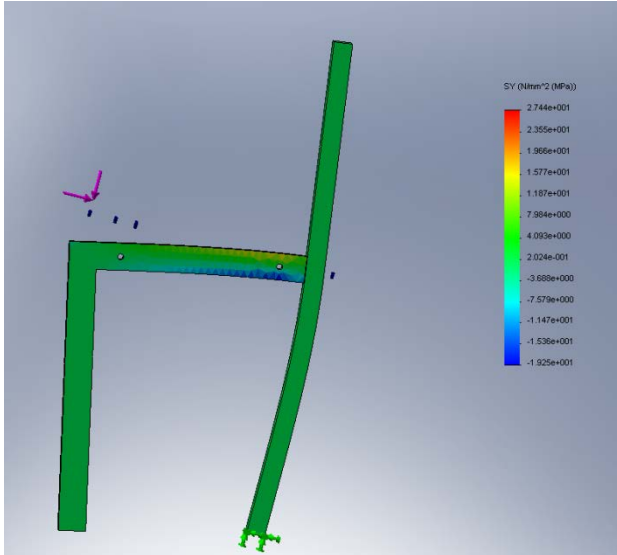
Özellik	Ortalama	Minimum	Maksimum	Standart Sapma
Rutubet %	8,53	7,30	10,50	0,73
Yoğunluk	0,59	0,51	0,68	0,04
Eğilme direnci (N/mm ²)	96,00	59,20	127,10	18,00
Elastikiyet modülü (N/mm ²)	9347	6301,00	12887,00	1813,00
Basınç direnci // (N/mm ²)	49,03	33,35	61,02	6,18
Kesme direnci // (N/mm ²)	11,66	5,62	19,81	3,13

Çizelge 2. Çerçeveler için hesaplanan kesit yüksekliği değerleri (mm)

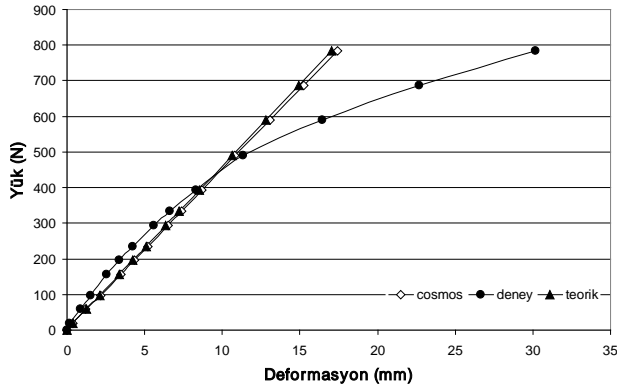
Model	Alternatif-1	Alternatif-2	Alternatif-3	Alternatif-4	Alternatifsiz
Kayıt- ön ayak	38,81	31,09	25,63	24,14	45,21
Arka ayak	26,78	21,46	17,69	16,66	31,20

Çizelge 3. Sandalye çerçevelerinin ortalama rijitlik kat sayıları ve yüzde varyasyon katsayıları

Model	Ortalama Rijitlik Katsayısı (N/mm)	Maksimum Rijitlik Katsayısı (N/mm)	Minimum Rijitlik Katsayısı (N/mm)	Standart Sapma	Varyasyon Katsayısı (%)	Duncan grubu
A-0	23,18	32,70	17,60	6,26	27,00	C
A-1	51,76	58,13	46,71	5,25	10,14	A
A-2	39,91	48,25	30,90	6,33	15,86	B
A-3	35,90	44,08	26,04	7,05	19,63	B
A-4	34,08	44,08	28,57	7,27	21,33	B



Şekil 9. COSMOSWorks programı ile elde edilen gerilmelerin gösterilmesi



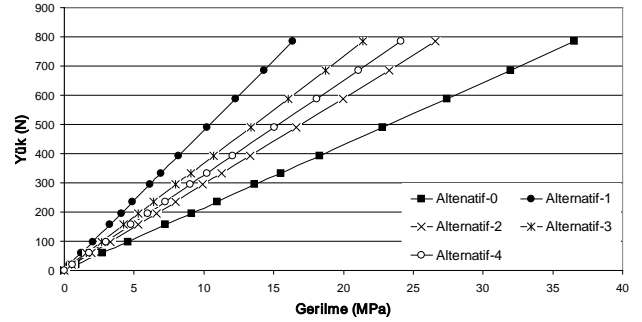
Şekil 10. Ara kayıtsız (A-0) sandalye çerçevesinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen COSMOSWORKS, teorik ve deney sonuçları arasındaki ilişki

Şekil 9'da COSMOSWORKS programında elde edilen gerilmelere örnek gösterilmiştir. Şekil 10'da elde edilen yük deformasyon eğrileri laboratuvar sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Teorik olarak (rijit çerçeve) çerçevelerde oluşan deformasyon miktarları da karşılaştırmalarda yer almaktadır.

Genel olarak, teorik ve sonlu elemanlar modelleri ile elde edilen deformasyon miktarları laboratuvar şartlarında elde edilen deformasyon sonuçlarından düşük görünmektedir. Bunun sebebi teorik ve sonlu elemanlar modellerinde çerçeveler rijit olarak kabul edilmektedir. Bu yüzden deformasyon hesaplanırken malzemelerin elastikiyet modülü hesaba katılmaktadır. Hâlbuki gerçekte çerçevenin davranışı birleştirmelerden dolayı yarı rijittir. Buna rağmen sonlu elemanlar modelleri çerçevenin davranışının elastik olduğu bölge için yaklaşık sonuçlar vermektedir.

Sonlu elemanlar modellerinde elde edilen gerilme sonuçları Şekil 11'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre en yüksek gerilmeler A-0 da oluşmaktadır. En düşük gerilmeler ise A-1 çerçevesinde görülmektedir.

Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde; A-0 ile A-1 karşılaştırıldığında aynı hacme sahip olmalarına rağmen A-1'in A-0'a göre daha rijit olduğu görülmektedir.



Şekil 11. Kayın ahşap malzemeden yapılmış sandalye çerçevelerinin COSMOSWorks programında analizi sonucunda oluşan gerilmelerin karşılaştırılması

4. Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada ahşap malzemeden üretilen beş farklı sandalye çerçevesi TS 9215'de belirtilen yük altında laboratuvarında test edilip, sonlu elemanlar analizi yapılarak rijitlik değerleri karşılaştırılmıştır.

Çerçevelerin üretiminde kullanılan malzeme miktarları karşılaştırıldığında; en az malzeme ihtiyacı ise Alternatif-4'de en fazla malzeme ihtiyacı ise Alternatif-1 için gerekmektedir. Böylece Alternatif 4 kullanılarak Alternatif-1'e göre malzemeden yaklaşık % 37 tasarruf sağlanabilir.

Teorik olarak sandalye çerçevelerine uygulanan diyagonal yükleme sonucu maksimum momentler arka ayakta oluşmaktadır. Alternatifler arasında maksimum moment ara kayıtsız (A-0) modelde, minimum moment ise Alternatif-3 modelinde ortaya çıkmıştır. Alternatif-1'den Alternatif-3'e doğru düğüm noktalarındaki momentler azalmıştır. Sandalye çerçevelerinde ara kayıt uygulaması arka ayakta oluşan momentleri azaltmaktadır.

En kritik oturma biçimini sembolize eden diyagonal yüklemeye sandalye çerçevelerinin birleştirme noktalarında oluşan açılmalar arka ayaklarda oluşmuştur.

Sandalye çerçevelerinin rijitlik değerlerine göre ara kayıt uygulanan çerçeveler ara kayıtsız çerçeveye göre %55 daha rijittir. Duncan testi sonuçlarına göre Alternatif-1 rijitlik bakımından en yüksek, A-0 ise en düşük değerlere sahiptir. Diğer alternatifler arasında rijitlik bakımından bir fark bulunmamaktadır. A-0 çerçevesinde riğitliğin düşük çıkmasının sebebi tek kayıt elemanına sahip olması dolayısıyla kayıttan arka ayağa momentlerin tek bir birleştirme vasıtasıyla transfer edilmesidir. Bu da birleştirme noktasında gerilmelerin yoğunlaşmasına ve birleştirmenin daha fazla deformasyona uğramasına sebebiyet verecektir. Nitekim diğer çerçevelerde kayıt - arka ayak birleştirme noktalarında meydana gelen momentler oldukça azalmıştır.

Sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılan modellemelerde, sandalye çerçevelerinin mekanik davranışları (elastik bölgede) hakkında anlamlı değerler elde edilmiştir. Sonlu elemanlar metodunun sağladığı faydalar (zaman tasarrufu, tekrar test, ekonomiklik, gerçek yapıya yakın model oluşturabilme v.b.) ve gelişen bilgisayar teknolojisi, tasarlanan mobilya sistemlerinin üretimden önce analizinin yapılarak tasarımcılara gerekli ön bilgileri vermesi göz önüne alındığında sonlu elemanlar metodunun mobilya mühendislik tasarımında kullanılması önerilmektedir.

Kaynaklar

- Bektaş, İ., Güler, C., Baştürk, M.A., 2002. Principal mechanical properties of Eastern Beech Wood (*Fagus orientalis* Lipsky) naturally grown in Andırın Northeastern Mediterranean Region of Turkey. *Turk Journal Agriculture Forest*: 147-154.
- Eckelman, C.A., 1997. Textbook of product engineering and strength design of furniture. Purdue University, W. Lafayette, IN.
- Gustafsson, S. I., 1995. Furniture design by use of the finite element method. *Holz als Roh-und Werkstoff* , 53 (4) , 257-260,
- Gustafsson, S. I., 1996. Finite element modelling versus reality for Birch chairs. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 54 (5) , 355-359.
- Gustafsson, S.I. 1997. Optimizing of Ash wood chairs. *Wood Science and Technology*, 31: 291-301.
- Güler, C., Bektaş, İ., 2000. Andırın Doğu Kayını (*Fagus orientalis* l.) odununda elastiklik özellikler ile yoğunluk arasındaki ilişki. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt 3, Sayı 2: 51-57.
- Güntekin, E., 2004. Kavelalı mobilya köşe birleştirmelerinin sonlu elemanlar analizi. *Stüleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 1: 159-169.
- Jamaludin, M. A., 1995. Prediction of the strength of typical furniture and its immediate members. Ph.D. Dissertation, Mississippi State University.
- Kasal, A., 2006. Determination of the strength of various sofa frames with finite element analysis, *Gazi Üniversitesi Journal of Science* 19(4), 191-203.
- Smardzewski, J., 1998. Numerical analysis of furniture constructions. *Wood Science and Technology*, 32 (4): 273-286.
- Smardzewski, J., Gawronski, T., 2001. FEM Algorithm for chair optimisation. *Wood Science And Technology*, V:4, I:2.
- Smardzewski, J., Gawronski, T., 2003. Gradient optimization of skeleton furniture with different connections. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*. 6(1).
- TS 2472, 1976. Odunda fiziksel ve mekanik deneyler için birim hacim ağırlığı tayini, T.S.E., Ankara.
- TS 2474, 1976. Odunun statik eğilme dayanımının tayini, T.S.E., Ankara.
- TS 2478, 1976. Odunun statik eğilmede elastikiyet modülünün tayini, T.S.E., Ankara.
- TS 2472, 1977. Odunun liflere paralel doğrultuda basınç dayanımı tayini, T.S.E., Ankara.
- TS 3459, 1980. Odunda liflere paralel doğrultuda makaslama dayanımının tayini, T.S.E., Ankara.
- TS 9215, 1991. Ahşap mobilya mukavemet ve denge deneyleri, TSE, Ankara.