



Ahşap sandalyelerde ara kayıt elemanı kesit ölçüleri ve lokasyonunun mukavemet üzerindeki etkilerinin deneysel ve nümerik analizi

Ali Kasal¹, İbrahim Sedat Yavuz ¹, Tolga Kuşkun^{1*}

ÖZ: Bu çalışmada, yan çerçevelerinde ara kayıt elemanı olmayan ve farklı kesit ölçüleri ve lokasyonlarda ara kayıt elemanı barındıran ahşap sandalyelerin önden arkaya yükleme altındaki performansları deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Sandalyelerin üretiminde Türkiye mobilya endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) tercih edilmiştir. Sandalyelerin yan çerçevelerinde, ara kayıt elemanı için farklı kesit ölçüleri ve lokasyonlar kullanılmış olup en uygun kesit ölçüleri ve lokasyon belirlenmiştir. Birleştirmelerde polivinilasetat (PVAc) tutkalı kullanılmıştır. Buna göre, 3 farklı kesit ölçüsü, 2 farklı lokasyon, ara kayıtsız kontrol örneği ve her örnekten 3 yineleme olmak üzere toplam 21 adet gerçek ölçülerde ahşap sandalye hazırlanmış ve devirli yükleme metoduna göre önden arkaya yönde test edilmiştir. Daha sonra, bilgisayar destekli üç boyutlu nümerik analizler yapılmış ve yan çerçeve birleştirmelerindeki moment dağılımları ve eğilme gerilmeleri analiz edilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre; ara kayıt elemanının varlığı ve kesit ölçülerinin artması önden arkaya kuvvet taşıma kapasitesini ortalama %48 artırmıştır. Bununla birlikte, ara kayıt elemanının yerden yüksekliğinin 100 mm'den 200 mm'ye çıkarılmasının ise mukavemet değerlerinde sadece %5 artış sağladığı görülmüştür. Ayrıca, nümerik analizlerden elde edilen sonuçların, gerçek deneylerdeki deformasyon karakteristikleri tutarlı olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Sandalye, Mobilya Performans Testleri, Nümerik Analiz

Experimental and numerical analysis of effects of the cross section size and location of stretcher on the strength of wooden chairs

ABSTRACT: In this study, performance of wooden chairs without stretcher in their side frames and containing stretcher in different cross section sizes and locations was investigated experimentally and numerically. In preparing of chairs, Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.), which is widely used in Turkish furniture industry was utilized. In the side frames, different cross section sizes and different locations were used for stretcher and the most suitable cross section size and location were determined. Polyvinylacetate (PVAc) was used in gluing. Accordingly, 21 real size chairs were prepared, consisting of 3 cross section sizes, 2 locations, control chair and 3 replications from each, and tested in front to back direction under cyclic loading. Then, numerical analyses were performed and moment distributions and bending stresses in the joints were analyzed. According to results; presence of stretcher and the increase of cross section size increased the loading capacity by average 48%. However, increasing the height of stretcher from 100 to 200 mm from the ground provided 5% increase in strength. It was seen that results obtained from numerical analysis were consistent with experimental failures.

Keywords: Chair, Furniture Performans Tests, Numerical Analysis

1 Giriş

Mobilya mühendisliği, birçok ülkede olduğu gibi Türkiye'de de hala sistematik bir yaklaşım olarak benimsenmemiş nispeten yeni bir kavramdır. Mobilya elemanlarının tasarımında, birleştirme yöntemlerinin ve bağlantı elemanlarının ölçüleri genellikle estetik kaygılar ve geçmiş tecrübeler doğrultusunda belirlenmiş, matematiksel teorilere dayalı bir analiz yapılmamıştır (Kasal, 2004). Mühendislik süreçlerinin metodolojik olarak uygulanması, mobilyaların sadece estetik ve işlevsel açıdan değil, aynı zamanda dayanıklılık ve güvenlik gibi kriterler açısından da optimize edilmesine olanak tanıyacaktır. Özellikle, malzeme bilimi ve mühendislik analizi sayesinde, mobilyaların kullanım ömrü, dayanıklılığı ve performansı artırılabilir. Sistemin bilimsel bir temele oturtulması, sektörde yenilikçiliği ve kaliteyi teşvik edecek önemli bir adımdır (Efe, 1994; Eckelman, 2003; Kasal, 2004).

Mobilyaların sağlamlığına ilişkin olarak, sandalye yan çerçevelerinde ara kayıt elemanının varlığı, kesit ölçüleri ve lokasyonunun belirlenmesiyle ilgili yapılan çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Masif ve ahşap esaslı levhalardan üretilen koltuk iskeletlerinin performansı deneysel ve nümerik olarak (RISA, 3D) incelenmiş; gerçek deneylerle yapısal analizlerden elde edilen sonuçların tutarlı olduğu, ayrıca koltuk iskeleti üretiminde ahşap esaslı levhaların kullanılabileceği belirtilmiştir (Kasal ve ark., 2006). Endüstriden tesadüfi yöntemle temin edilen farklı modellerdeki sandalyelerin performans test sonuçlarıyla ciddi bir veri tabanı elde edilmiş ve aynı amaç için üretilen sandalye modelleri arasında önemli mukavemet farklılıkları olduğu belirlenmiştir (Efe ve ark., 2015). Farklı ara kayıt konumlarındaki sandalye yan çerçevelerinin sonlu elemanlar analizinin COSMOSWorks programında yapıldığı çalışmada; sonlu elemanlar modellerinin gerçek deneylerden elde edilen davranışa yakın değerler verdiği, ayrıca sandalye yan çerçevelerinde ara kayıt elemanı kullanımının gerilme ve deformasyonları azalttığı bildirilmiştir (Yılmaz ve Güntekin, 2015). Aydın ve Aydın (2017) yaptıkları çalışmada, farklı enine kesit ölçülerindeki sandalye yan çerçevelerini sonlu elemanlar metoduyla CATIA programında analiz etmişler, sonuç olarak enine kesit ölçülerinin yük taşıma kapasitesinde etkili olduğunu vurgulamışlardır. Hu ve ark., (2018), zıvanalı birleştirilmiş bir sandalyede ara kayıt elemanının pozisyonu için optimizasyon çalışması yapmışlar; sonuçta, yük taşıma kapasitesi ile ara kayıt pozisyonu arasında önemli bir ilişki olduğunu bildirmişlerdir. Endüstriyel sandalye tasarımında estetik ve dayanıklılık optimizasyonunun yapıldığı çalışmanın sonuçlarında, piyasadan temin edilen sandalyelerin sağlamlığının, laboratuvarda üretilen tasarım sandalyelerden düşük olduğu, ayrıca endüstriyel sandalyelerin ergonomik açıdan da sorunlu olduğu belirtilmiştir (Kürel ve ark., 2020). Zıvanalı birleştirmeler için alt tolerans sınırları yöntemiyle kabul edilebilir tasarım değerlerinin araştırıldığı çalışmada, birleştirmelerin tasarım değerlerinin bilinmesi durumunda standartlarda belirtilen yükler altında meydana gelebilecek deformasyonların önlenilebileceği bildirilmiştir (Uysal ve Haviarova, 2021). Bir başka çalışmada, yarı-rijit birleştirmeli temsili bir sandalye yan çerçevesinde, yarı rijitlik katsayıları ve deplasmanlar arasındaki ilişkiler açı yöntemiyle analiz edilmiş ve açı yönteminin ahşap mobilya çerçevelerinin analizinde kullanılması önerilmiştir (Güray ve ark., 2022). Isıl işlem görmüş ve görmemiş ağaç malzemelerden hazırlanan ve tel zımbalı mobilya birleştirmelerinin statik ve devirli eğilme yükleri altındaki mekanik performanslarının karşılaştırıldığı çalışmada; statik yüklemenin devirli yüklemeye oranı 2,85 olarak elde edilmiştir (Demirel ve Er, 2022). Uysal (2023), ahşap sandalyelerin önden-arkaya devirli yükleme testlerinde, stiffness metodu kullanarak yapısal analizler gerçekleştirmiş ve sonuçta birleştirmeler için kabul edilebilirlik katsayıları önermiştir. Ceylan ve ark., (2024) tasarladıkları farklı tiplerdeki auksetik

kavelaların çerçeve konstrüksiyonlu mobilya birleştirmelerinde kullanılm olanaklarını araştırmışlar ve auksetik kavelaların direk çekme mukavemetlerini belirlemişlerdir.

Bu çalışmada, farklı ölçülerdeki ve lokasyonlardaki ara kayıt barındıran ve ara kayıt elemanı bulundurmayan çerçeve konstrüksiyonlu sandalyelerin önden arkaya yükleme altındaki performansları deneysel olarak, birleştirme noktalarında meydana gelen moment değerleri de sonlu elemanlar metoduyla çalışan bilgisayar destekli yapısal analizlerle nümerik olarak elde edilmiştir. Çalışmanın yenilikçi ve özgün yönü, mobilya mühendisliğinde sonlu elemanlar metoduyla, bilgisayar destekli üç boyutlu nümerik analizlerin gerçekleştirilmesi ve özellikle de sandalye birleştirmeleri için literatürde çok sınırlı çalışılmış olan ara kayıt elemanın en uygun kesit ölçülerinin ve lokasyonunun deneylerle belirlenecek olmasıdır. Bu bağlamda, çalışmanın hipotezi, “sandalye yan çerçevelerinde, ara kayıt elemanının varlığının, kesit ölçülerinin ve lokasyonunun sandalyenin mukavemeti üzerinde etkisi vardır” olarak belirlenmiştir.

2 Materyal ve Metot

2.1 Ağaç malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Deney örneklerinin hazırlanmasında, Türkiye mobilya endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) kullanılmıştır. Sarıçam genellikle ev içi kullanımlar yerine restoran vb. gibi mekanlarda enine kesitleri daha büyük, kaba görünümlü ve oturma elemanlarının üretiminde kullanılmaktadır. Bu ağaç türünden üretilen oturma elemanları daha kolay deforme olmakta ve dolayısıyla yaşam ömürleri de daha kısa olmaktadır. Bu ağaç türünün sandalye üretiminde kullanım imkanlarının deneysel ve nümerik olarak incelenmesi adına, bu çalışmadaki deneylerde Sarıçam odunu tercih edilmiştir. Ağaç malzemeler, rastgele bir yöntemle İzmir’deki kereste işletmelerinden temin edilmiştir. Mobilya mühendisliği tasarım sürecinin ilk aşaması, üretimde kullanılacak malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesidir. Bu doğrultuda, deney örneklerinin üretimi için kullanılan Sarıçam malzemesinin bazı temel fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, kullanılacak malzeme için sırasıyla yoğunluk ve rutubet oranı tayini (TS ISO 13061-1, TS ISO 13061-2), eğilme direnci ve elastikiyet modülü (TS ISO 13061-3, TS ISO 13061-4) deneyleri yapılmıştır.

2.2 Deney sandalyelerinin hazırlanması

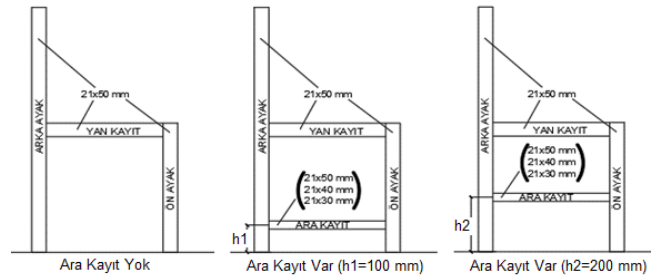
Deney örneği olarak, toplam 21 adet 1/1 ölçekli deney sandalyesi geleneksel yöntemler ile (atölye tipi) üretilmiştir. Çalışmada, deney sandalyelerinin yan çerçevelerinin üretiminde 3 farklı varyasyon oluşturulmuştur. Bunlar, ara kayıtsız, ara kayıt eksenini yerden 100 mm yukarda ve ara kayıt eksenini yerden 200 mm yukarda olacak şekildedir. Buna göre, yan çerçevedeki ara kayıt elemanının varlığı ve lokasyonunun sandalyelerin mukavemeti üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca, yan çerçevede kullanılan ara kayıt elemanlarının kesit ölçülerinde de 3 farklı varyasyon kullanılmıştır. Deneyler için, 21 x 30, 21 x 40 ve 21 x 50 (radyal x teğet) olmak üzere 3 farklı kesiti ölçüsüne sahip ara kayıt elemanı bulunduran sandalyeler üretilmiştir. Ara kayıt elemanının kesit ölçülerinde genişlik (b) 21 mm olarak sabit tutulmuş, yükseklik (h) ise 30, 40 ve 50 mm olacak şekilde 3 farklı ölçüde kullanılmıştır. Ara kayıt dışındaki tüm elemanların kesit ölçüleri 21 x 50 mm kesit ölçülerinde yapılmıştır. Sandalye elemanlarının üretiminde, kesit yapısında genişlik yönünün radyal, yükseklik yönünün teğet olmasına dikkat edilmiştir. Montaj işlemlerinde, yapıştırıcı olarak Polivinilasetat (PVAc) tutkalı kullanılmıştır. Deney sandalyelerinin üretiminde, yan çerçevelerin oluşturulmasında (ikileme) ön ayak-yan kayıt, arka ayak-yan kayıt, ön ayak-alt ara kayıt ve arka ayak-alt ara kayıt birleştirmelerinde 40 x 40 mm ölçülerinde zıvanalı

birleştirme uygulanmış; düzleme işlemlerinde ise, ön ayak-ön kayıt, arka ayak-arka kayıt ve arka ayak-üst kayıt birleştirmeleri 10 mm çapında ve 35 mm uzunluğunda yivli gövdeli Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) kavala ile gerçekleştirilmiştir. Kavala eksenlerinin kayıt kesitine göre kenara uzaklığı 15 mm, iki kavala eksenleri arasındaki mesafe ise 20 mm olarak belirlenmiştir. Kavala delikleri, kavelanın çakıldığı elemanda (kenar) 20 mm, karşı elemanda (yüzey) ise 15 mm derinliğinde açılmıştır; böylece kavala etkili boyu 15 mm olarak hesaplanmıştır. Montaj işlemlerinde presleme yapılırken presleme basıncı ölçülmemiş, ancak presleme basıncında farklılıklar olmaması ve sıkma işlemlerinde aynı derecede basınç uygulanabilmesi adına, kullanılan mengenerlerin vidaları sıkıştırma öncesi sonuna kadar gevşetilmiş ve sıkıştırma işlemlerinden sonra da mengenenin hareketli çenesinin vidalama boyunun her bir birleştirme için eşit olmasına özen gösterilmiştir.

Çalışmada kullanılan deneme deseni Çizelge 1’de verilmiş, bu varyasyonlara ilişkin çizimler Şekil 1’de gösterilmiştir.

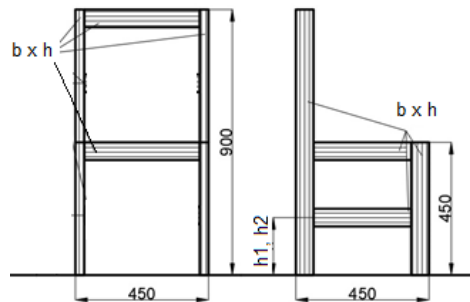
Çizelge 1. Çalışmada kullanılacak deneme deseni

Ara Kayıt Durumu	Ara Kayıt Yerde Yükseklik (h1, h2) (mm)	Ara Kayıt Kesit Ölçüleri b x h (mm)	Yineleme
Ara Kayıt Yok	-	-	3
Ara Kayıt (h1)	100	21 x 30	3
		21 x 40	3
		21 x 50	3
Ara Kayıt (h2)	200	21 x 30	3
		21 x 40	3
		21 x 50	3
Toplam			21

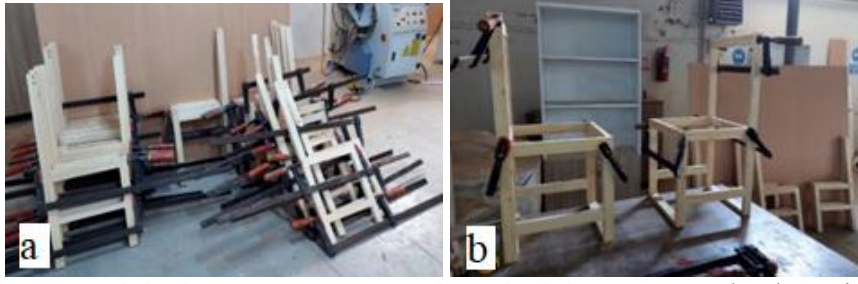


Şekil 1. Sandalyelerin yan çerçevelerinde uygulanan ara kayıt lokasyonu ve kesit ölçüleri

Deney sandalyelerinin net resmi ve genel ölçüleri Şekil 2’ de, üretiminde uygulanan ikileme (Şekil 3a) ve düzleme (Şekil 3b) süreçlerine ilişkin bazı resimler Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılacak deney sandalyesinin genel ölçüleri



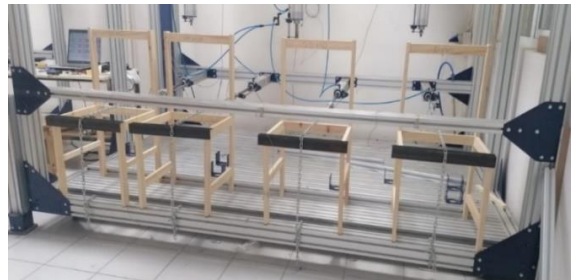
Şekil 3. Deney sandalyelerinin montaj süreçlerinde ikileme (a) ve dörtleme işlemleri (b)

2.3 Deney sandalyelerinin performans testleri

Deney sandalyeleri, American Library Association (ALA, 1982) standartlarına uygun olarak önden arkaya yükleme yönünde, devirli basamaklı artan yükleme metodu ile performans testlerine tabi tutulmuştur. Bu yükleme, mobilyaların günlük kullanımda karşılaşacakları gerçekçi yükleme koşullarını simüle etmeyi amaçlamaktadır. Gerçek kullanımlarda, ürünler belirli bir yükleme düzenine tabi tutulmaz; sistematik olmayan yorma süreçleri sonucunda, malzemenin dayanım sınırları aşıldığında deformasyon meydana gelir. Devirli basamaklı artan yükleme metodu, ürünün kullanım ömrü boyunca karşılaşılabileceği çeşitli yükleme ve zorlanmalara karşı dayanımını ölçmek için geliştirilmiştir. Bu yöntem, sistematik olmayan yükleme senaryolarını, belirli ve kontrollü bir döngü içinde uygulayarak, ürünün performansını değerlendirmek için etkili bir araçtır. Yani, ürünün maruz kalacağı rastgele yorma etkilerini, sistematik bir devirli basamaklı yükleme düzeni ile temsil eder.

Önden arkaya yükleme yöntemi, sandalye oturma çerçevesine bir zincir yardımıyla önden arkaya doğru çekme kuvveti uygulanarak, sandalye yapısının bu zorlamaya karşı ne kadar dayanıklı olduğunu test etmeye odaklanır. Bu sayede, özellikle yan çerçevelerdeki birleştirmelerin mukavemeti ölçülür. Deneylerde, önden arkaya doğru dakikada 20 devir olacak şekilde yatay yönde bir yükleme uygulanmıştır. Başlangıç yükü 445 N olarak belirlenmiş ve her başarılı tamamlanan 25.000 devir sonrası bu yük 112 N artırılarak testler sürdürülmüştür. Toplamda 1112 N'luk bir yük değerine ulaşıldığında, yük artış miktarı 112 N'den 224 N'a çıkarılmıştır (ALA, 1982; Eckelman, 1995; Eckelman, 1999).

Şekil 4'te görülen düzenekte, önden arkaya yükleme, pistonla kilitli bir şekilde tutturulmuş bir zincir aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Yükleme zinciri, sandalyenin genişlik yönünde tam ortasına yerleştirilmiş ve çekme yükü bu merkezde uygulanan bir piston yardımıyla verilmiştir. Deney sürecinde yüklemeler, sandalye elemanlarında kırılma, birleştirme noktalarının açılması veya aşırı deformasyon gibi dayanım kayıpları oluşana kadar kademeli olarak arttırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, sandalyenin kırıldığı andaki devir sayısı ve son 25.000 devri tamamladığı yük değeri, sandalyenin ömrü ve kuvvet taşıma kapasitesi olarak kaydedilmiştir.



Şekil 4. Deney sandalyelerin önden arkaya devirli yükleme testleri

2.4 Bilgisayar destekli nümerik analizler

RISA 3D programı kullanılarak yapılan bilgisayar destekli üç boyutlu yapısal analizlerde, yapı elemanlarının ve sistemin davranışı detaylı şekilde incelenmektedir (RISA 2000). Bu analizde, mesnet noktalarındaki tepki kuvvetleri, elemanlardaki basınç ve çekme kuvvetleri, üç farklı yöndeki (X, Y, Z) kesme ve moment kuvvetleri hesaplanabilmektedir. Ayrıca, elemanlarda kesit özelliklerine göre oluşan basınç ve çekme gerilmeleri ile yine üç yönde meydana gelen kesme ve eğilme gerilmeleri de belirlenebilmektedir. Bunun yanı sıra, her bir düğüm noktasındaki yer değiştirme değerleri ve sistemin genel yer değiştirme durumu da analiz edilebilmektedir.

Deney sandalyeleri, yapısal analizlerde gerçek hayattaki davranışlarına uygun olarak üç boyutlu çerçeve sistemleri şeklinde modellenmiştir. Sandalyeyi oluşturan tüm yapısal elemanlar, doğrusal elastik kirişler olarak kabul edilmiştir. Yani bu elemanlar, eksenel kuvvetleri, kesme kuvvetlerini ve momentleri taşıyabilecek şekilde tanımlanmışlardır. Her bir eleman tanımlanırken ağaç malzemenin yönleri (lif, radyal, teğet) dikkate alınmıştır. Bu yaklaşım, elemanların yükler altındaki davranışını doğru bir şekilde simüle etmek için kullanılmıştır. Modelleme sürecine başlarken, ilk olarak kullanılan birim sistemi ayarlanmıştır. Bu çalışmada, metrik sistem ve SI (Uluslararası Birimler Sistemi) esas alınmıştır. Ardından, sandalyelerin üretiminde kullanılan malzemenin özellikleri programa girilmiştir. Yapısal analizlerde doğru sonuçlar elde edebilmek için, sandalyelerin iskeletlerinde kullanılan Sarıçam malzemesinin bazı teknolojik özelliklerinin programa tanımlanması önemlidir. Bu özelliklerin bir kısmı yapılan deneylerle elde edilirken, bazıları literatürdeki kaynaklardan alınmıştır (USDA, 2021; Güntekin, 2023). Deney sandalyelerinin yapımında kullanılan Sarıçam malzemesinin rutubet oranı ise %10,2 olarak ölçülmüştür. Malzemeleri tanımlamak amacıyla programa girilen bu özellikler Çizelge 2 'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Sarıçam malzemenin programa girilen teknolojik özellikleri

Malzeme	Liflere Dik Eğilmede Elastikiyet Modülü (E _L) (N/mm ²)	Rijitlik (Kayma) Modülü (G _{LR}) (N/mm ²)	Poisson Oranı (μ)	Isı İletkenliği Katsayısı (W/m.K)	Yoğunluk (kg/m ³)	Liflere Dik Eğilme Direnci (σ _e) (N/mm ²)
Sarıçam	10289	1334*	0,72*	0,13**	450	99

*: Güntekin (2023)'ten alınmıştır,

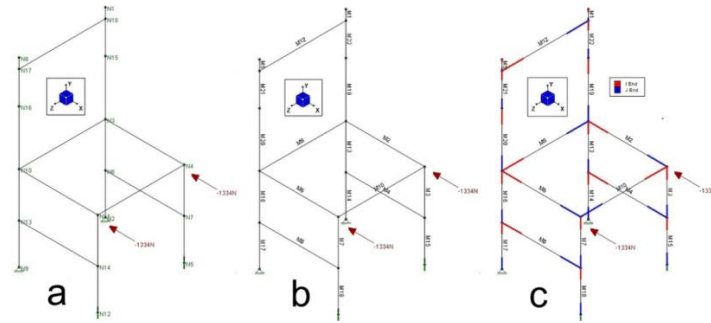
** : USDA (2021)'den alınmıştır.

Bu aşamadan sonra, sandalyeyi oluşturan elemanlarının kesit özelliklerinin tanıtılması yapılmıştır. Sandalyelerde, modellenen tüm elemanların kesit ölçüleri 21x50 mm ölçülerinde olup sadece yan çerçevelerindeki alt ara kayıtın ölçülerinde sandalye tipine göre farklılıklar (21x30, 21x40 ve 21x50 mm) vardır. Ayrıca, bir sandalye tipinde de yan çerçevelerde ara kayıt elemanı yoktur. Buna göre, kesit ölçüleri tanımlanırken, sandalyenin tüm elemanları 21x50 mm, yan çerçevelerdeki ara kayıt elemanları ise sandalye tipine göre uygun kesit ölçülerine sahip olacak şekilde tanımlanmıştır (Çizelge 3). Eylemsizlik momenti; $I = b \times h^3 / 12$ (mm⁴), dönme eylemsizlik sabiti $J = (h/2 \times (b/2)^3) \times ((16/3) - 3,36 \times ((b/2)/(h/2)) \times (1 - ((b/2)^4 / (12 \times (h/2)^4))))$ eşitlikleri ile hesaplanmıştır.

Çizelge 3. Sandalye elemanlarının kesit özellikleri

Kesit ölçüleri (b x h) (mm)	Kesit Alanı (A = b x h) (mm ²)	Eylemsizlik Momenti (I _x) (mm ⁴)	Eylemsizlik Momenti (I _y) (mm ⁴)	Dönme Eylemsizlik Sabiti (J) (mm ⁴)
21 x 50	1050	218750	38588	113615
21 x 40	840	112000	30870	82898
21 x 30	630	47250	23153	52586

Sonraki adımda, sandalyelerin tüm elemanları gerçek ölçülerde ve kesit yapısında olacak şekilde modellenmek suretiyle üç boyutlu sandalye modeli oluşturulmuştur. Sandalye modeli üzerinde analiz yapılabilmesi için elemanların kesişme noktalarından birleştirilmesi (kaynaklanması) gerekmektedir. Sandalye elemanları birleştirme işleminden önce uç uca temas halinde olmasına rağmen tam bir birleşme söz konusu değildir. Yapısal analiz yapılabilmesi için her bir elemanın kesişme noktalarından birbiriyle tam olarak birleşmesi gerekir. Birleştirme işleminden sonra modelde kesişen/temas eden noktalar birbirine kaynaklı gibi birleşmiştir. Bu aşamada, sandalye modeli oluşturulmuştur ve sistem tarafından her bir düğüm (birleştirme) noktasına (N1, N2, ... Nn) ve sandalye modelini oluşturan her bir elemana (M1, M2, ... Mn) kod numaraları verilmiştir. Oluşturulan modellerin düğüm noktaları, elemanları ve elemanların başlangıç (i: Kırmızı) ve bitiş (j: Mavi) noktaları Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Düğüm noktaları (a), elemanlar (b) ve başlangıç/bitiş uçları (c)

Eckelman'a (1968) göre, mobilya sistemlerini oluşturan bağlantı noktaları yarı rijit özellik gösterir. Her bir bağlantı noktasının kendine özgü bir elastikiyet değeri vardır. Yapısal analizlerde bu bağlantıların yarı rijit olarak tanımlanması, sistemin gerçek davranışına en yakın sonuçları elde edebilmek açısından büyük önem taşır (Eckelman, 1968). Çalışma kapsamındaki yapısal analizlerde, birleştirme noktaları tanımlanırken, birleştirmelerin tanımlanmasında literatürde geçmiş çalışmalardaki deneylerden elde edilen yarı rijitlik katsayılarından yararlanılmıştır (Ceylan ve ark., 2021). Sandalyelerdeki her bir birleştirme noktası programa yay (spring) olarak tanımlanmış ve yay sabiti değeri olarak da her bir birleştirme için literatürden alınan yarı rijitlik katsayıları (Z) eksenleri etrafındaki rotasyonlar olarak bu noktalara tanımlanmıştır (Çizelge 4).

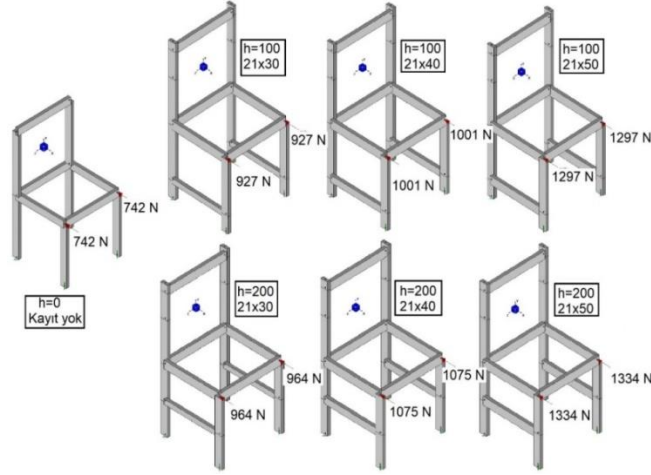
Çizelge 4. Her bir birleştirme için tanımlanan yay sabiti değerleri, K (Ceylan ve ark., 2021)

Ağaç türü	Yarı Rijitlik Katsayısı (K) (Nm/rad)		
	Arka ayak – Yan kayıt	Arka/Ön ayak – Ara kayıt	Ön ayak – Yan kayıt
Sarıçam	2702	916	1247

Yapısal analiz programında modellenmesi tamamlanan 7 farklı sandalyeye ilişkin üç boyutlu görünüşler Şekil 6'da her bir grup sandalye için deneylerden elde edilen ortalama maksimum yük değerleriyle birlikte gösterilmiştir.

Yapısal analizlerin gerçekleştirilmesinde, öncelikle modellenen sandalye ayaklarında mesnetleme işlemleri yapılmış, daha sonra yük uygulama aşamasına geçilmiştir. Gerçek deneylerdeki mesnetlemenin yapılmasında, sandalyenin ön ayak elemanında hareketli, arka ayak elemanında ise sabit (pimli) mesnet kullanılmaktadır. Yapısal analizlerde de mesnet tanımlanırken, sabit mesnet ayarı için arka ayak elemanının düğüm noktası için X, Y, Z yönündeki translasyonlara (öteleme) reaksiyon verilmiş, rotasyonlar ise serbest bırakılmıştır.

Ön ayakta hareketli mesnet ayarı için ise düğüm noktasında sadece Y yönündeki ötelemelere reaksiyon verilmiş, geri kalan tüm öteleme ve rotasyonlar serbest bırakılmıştır.



Şekil 6. Yapısal analiz programında her bir tip sandalyeye ilişkin oluşturulan modeller

Mesnet ayarları yapıldıktan sonra yükün uygulanacağı noktalar, gerçek deneylerdeki uygulama noktalarından olacak şekilde yük uygulama eksenini ve yönü dikkate alınarak uygulanmıştır. Deney sandalyeleri, gerçek deneylerde devirli basamaklı artan yükleme metoduna göre test edilmesine rağmen, bilgisayar destekli üç boyutlu yapısal analizlerde sistem statik yüklemeye göre çözülmüştür. Yapısal analizlerde yükler uygulanırken, statik ve devirli yükler arasındaki ilişki dikkate alınmıştır. Literatürde, devirli yükler altında bir yapının mukavemetinin, statik yükler altındaki mukavemetin %50'sini geçmemesi gerektiği ifade edilmiştir (Erdil, 1998; Eckelman ve Erdil, 1999; Kuşkun, 2013; Likos ve ark., 2012; Kuşkun ve ark., 2018). Bu durumda, bir çerçeve sisteminin devirli yükler altındaki dayanımı, statik yükler altındaki dayanımının yarısı olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla, bilgisayar destekli yapısal analizlerde, gerçek deneylerden elde edilen maksimum kuvvet değerlerinin iki katı dikkate alınarak yükleme yapılmıştır. Bu yaklaşım, analizin doğruluğunu sağlamak amacıyla kullanılan bir yöntemdir.

Yük uygulama aşamasında iki farklı yaklaşım uygulanmıştır. İlk olarak, deneylerden elde edilen ortalama kuvvet taşıma kapasitesi değerlerinin sandalye modellerine deneylerde uygulanan noktalardan uygulanması yapılmıştır. Bu sayede, sandalyelerin kırılması anında eleman uçlarında oluşan eğilme gerilmeleri elde edilmiş ve Sarıçam malzemenin eğilme emniyet gerilmesi değerleriyle karşılaştırılmıştır. İkinci yaklaşımda ise, tüm sandalye modellerine sabit değerde bir yük (1000 N) uygulanmış ve aynı yük değeri altında tüm sandalye modellerinin eleman uçlarındaki eğilme gerilmelerinin durumları incelenmiştir. Yük uygulaması sonrasında çözüm işlemi yapılmış ve yapısal analiz gerçekleştirilmiştir.

3 Bulgular ve Tartışma

3.1 Sandalye performans test sonuçları

Deney sandalyelerinin önden arkaya doğru devirli yüklemelere karşı verdikleri deformasyon karakteristikleri incelendiğinde, sandalyenin genel sisteminin yük uygulanan noktadan başlayarak önden arkaya doğru bir yer değiştirme (deplasman) gösterdiği görülmüştür. Bunun yanı sıra, ön ayak ile yan kayıt birleşimlerinin üst noktaları ve arka ayak ile yan kayıt birleşimlerinin alt noktaları dönme merkezleri haline gelerek açısal deformasyon (rotasyon) meydana gelmiştir. Benzer deformasyonlar, sandalyelerin ön ayak-alt ara kayıt ve

arka ayak-alt ara kayıt birleşimlerinde de gözlemlenmiştir. Bu deformasyon tipi, sandalyenin yük altında nasıl bir yapısal davranış sergilediğini ve özellikle birleşim noktalarının deformasyona duyarlı olduğunu göstermektedir. Sandalyelerin tipik deformasyonları, Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Önden arkaya yüklenmiş deney sandalyelerinin tipik deformasyonu

Önden arkaya yapılan performans testlerinde, Şekil 7'de görüldüğü gibi, ön ve arka ayakları bağlayan zıvanalı yan kayıt ve alt ara kayıt birleşimlerinde rotasyona bağlı açılma, kırılma ve kopma gibi deformasyonlar meydana gelmiştir. Tüm testlerde sadece bağlantı noktalarında deformasyonlar gözlenmiş olup sandalye elemanlarının kendisinde herhangi bir kırılma veya benzeri deformasyon oluşmamıştır. Bu durum, çerçeve tipi mobilyalarda en kritik bölgelerin birleşim yerleri olduğunu açıkça göstermektedir. Birleştirme noktalarının yapısal dayanımı, mobilya sisteminin genel performansını ve dayanıklılığını belirlemede önemli bir faktördür.

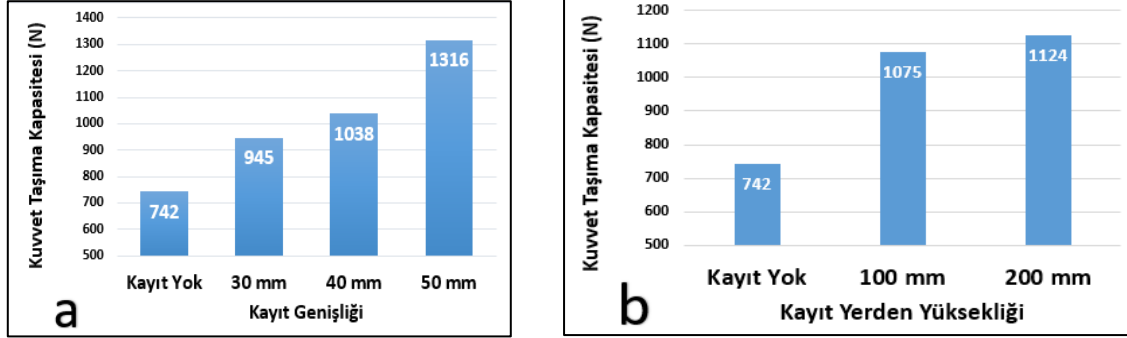
Deney sandalyelerinin devirli basamaklı yükleme metoduyla önden-arkaya yönde gerçekleştirilen performans testleri sonucunda elde edilen kuvvet taşıma kapasitesi değerleri ve toplam devir sayıları varyasyon katsayıları ile birlikte Çizelge 5' te verilmiştir.

Çizelge 5. Deney sandalyelerinin performans değerlerine ilişkin veriler

Kayıt Yerden Yüksekliği (h) (mm)	Kayıt Genişliği (b) (mm)	N	Kuvvet Taşıma Kapasitesi (N)	Ortalama Performans (N)	v (%)	Toplam Devir Sayısı	Ortalama Devir sayısı	v (%)
Kontrol Sandalyeleri (Kayıtsız)	Kontrol Sandalyeleri (Kayıtsız)	1	779	742	8,64	116263	103521	15,33
		2	779			108558		
		3	668			85743		
		1	890			142276		
	Kayıt Genişliği 30 mm	2	890	927	6,91	138344	147835	8,92
		3	1001			162884		
		1	1001			159789		
		2	1001			162884		
Kayıt Yerden Yüksekliği 100 mm	Kayıt Genişliği 40 mm	3	1001	1001	0,00	161422	161365	0,96
		1	1334			233130		
		2	1334			235748		
		3	1223			209480		
	Kayıt Genişliği 50 mm	1	890	1297	4,95	143756	226119	6,40
		2	1001			163254		
		3	1001			165542		
		1	1001			170587		
Kayıt Yerden Yüksekliği 200 mm	Kayıt Genişliği 40 mm	2	1112	1075	5,97	185587	182231	5,70
		3	1112			190520		
		1	1334			241587		
		2	1334			237473	237510	1,71
	Kayıt Genişliği 50 mm	3	1334	1334	0,00	233471		

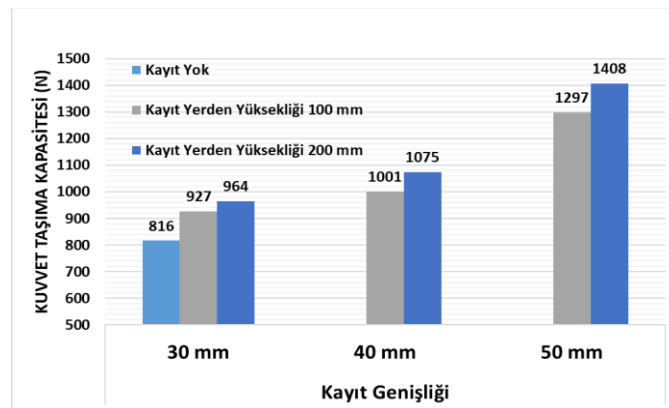
N: Örnek yinleme sayısı, v: Varyasyon katsayısı

Bu aşamada, deney sandalyelerinin ortalama kuvvet taşıma değerleri karşılaştırılmak suretiyle, yan çerçevede kayıt bulunmasının, kayıt var ise kayıt ekseninin yerden yüksekliğinin ve kayıt elemanının kesit ölçülerinin kuvvet taşıma kapasitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir (Şekil 8a,b).



Şekil 8. Kayıt genişliği (a) ve yüksekliğine (b) göre ortalama kuvvet kapasitesi değerleri

Buna göre, yan çerçevede kayıt elemanı yer alması ve bu elemanın genişliğinin artmasının kuvvet taşıma kapasitesini önemli derecede artırmıştır. Yan çerçeveye yerden yükseklikten bağımsız olarak, 21 x 30 mm kesit ölçülerinde kayıt elemanı eklenmesi %27; 21 x 40 mm kesit ölçülerinde kayıt elemanı eklenmesi %40; 21 x 50 mm kesit ölçülerinde kayıt elemanı eklenmesi ise %77 oranında kuvvet kapasitesini artırmıştır. Buna göre, sandalye yan çerçevelerinde ara kayıt elemanının kullanılması gerektiği ve 21 x 50 mm kesit ölçülerine sahip olmasının uygun olacağı söylenebilir. Ancak, bu elemanın yerden yüksekliğinin artmasının önden-arkaya kuvvet kapasitesini nispeten az bir miktar artırdığı görülmüştür. Yan çerçevedeki ara kayıt elemanının, kesit ölçülerinden bağımsız olarak, yerden 100 mm yukarıda olacak şekilde yerleştirilmesi %45, yerden 200 mm yukarıda olacak şekilde yerleştirilmesi ise %52 oranında kuvvet kapasitesini yükseltmiştir. Bununla birlikte, kayıt elemanını yerden yüksekliğinin 100 mm den 200 mm' ye çıkarılması kuvvet taşıma kapasitesini sadece %5 artırmıştır. Buna göre sandalye yan çerçevelerinde ara kayıt elemanının kullanılması gerektiği bu elemanın ekseninin de yerden 200 mm yukarıda olmasının mukavemet açısından uygun olacağı söylenebilir. Çalışma kapsamında denenen değişkenlerden hem kayıt genişliği hem de kayıt yerden yüksekliği faktörünün etkisinin de dikkate alınarak yapılan karşılaştırma sonuçları Şekil 9' da gösterilmiştir.



Şekil 9. Kayıt genişliği ve kayıt yerden yüksekliğine göre ortalama kuvvet kapasiteleri

Bu grafik incelendiğinde, sandalye yan çerçevelerinde ara kayıt elemanı kullanılmasının ve bu elemanın kesit ölçülerinin arttırılmasının önemli derecede, yerden yüksekliğinin

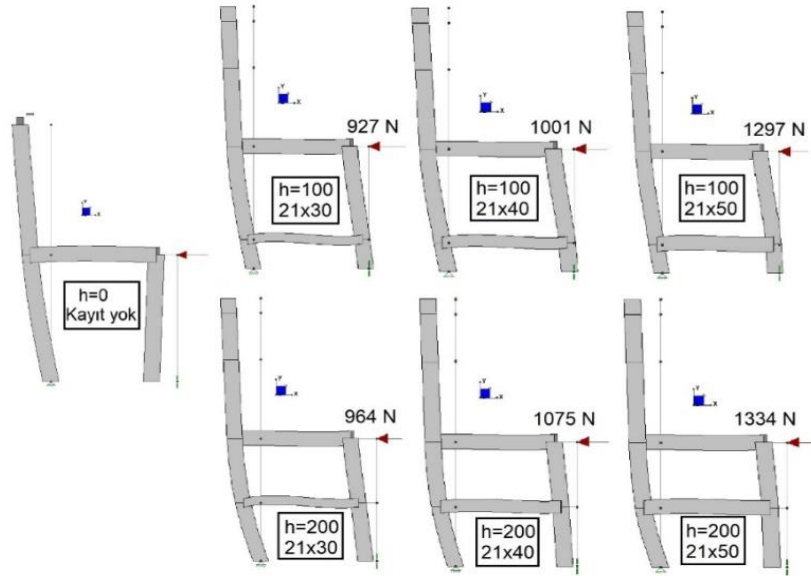
artırılmasının ise nispeten daha düşük oranda olacak şekilde sandalyenin önden-arkaya yük taşıma kapasitesini artırdığı açıkça görülmektedir.

Deneylerde, sandalyelerin kırıldığı andaki devir sayısı ve son 25000 devri tamamlamış olan yük değeri sandalyenin yaşam ömrü (kuvvet taşıma kapasitesi) olarak kaydedilmiştir. Elde edilen mukavemet değerleri, ALA’ da verilen hafif, orta ve ağır kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmıştır. ALA’ da verilen hafif, orta ve ağır kabul edilebilir servis yükleri sırasıyla 1334,4 N, 1556,8 N ve 1779,2N’ dur (ALA, 1982; Eckelman, 1995; Eckelman, 1999). Buna göre, test edilen sandalyelerden sadece yan çerçevesinde yerden yüksekliği 200 mm ve kesit ölçüleri 21 x 50 mm kayıt elemanı bulunan sandalyeler ev içi kullanımlar için uygun bulunmuştur. Denenen diğer sandalyeler ev içi kullanımlar için bile uygun mukavemette olmayıp, mukavemet geliştirici, güçlendirici optimizasyon çalışmalarına ihtiyaç duymaktadır.

3.2 Bilgisayar destekli nümerik analiz sonuçları

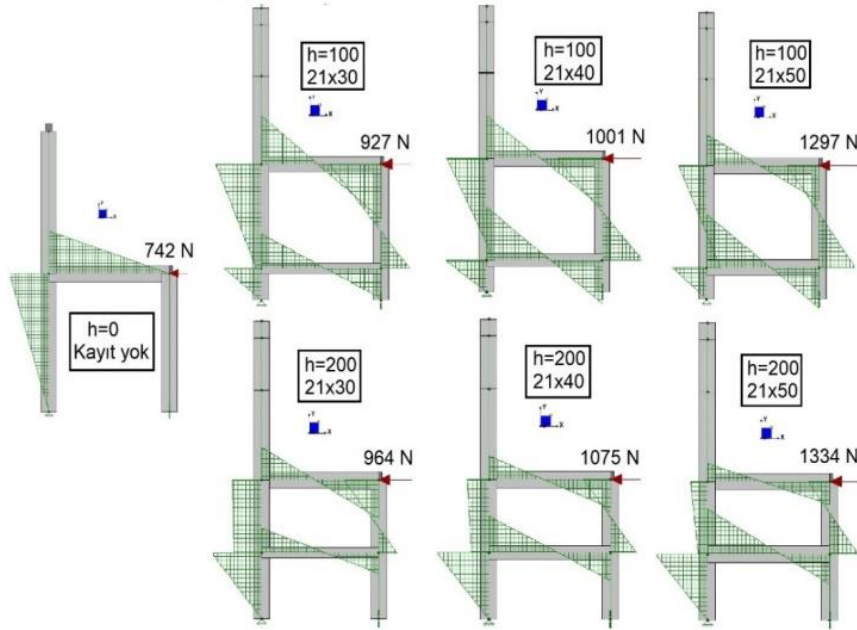
Yapısal analizler, her bir sandalye modeli için, gerçek deneylerde elde edilen ortalama kuvvet taşıma kapasitesi değerlerinin ve ayrıca her bir modele sabit bir yük değerinin (1000 N) yükleme yönü önden-arkaya yönde olacak şekilde uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Yapısal analizler sonucunda her bir sandalye modelinde meydana gelen genel deformasyon karakteristiği Şekil 10’ de yan görünüş olarak gösterilmiştir.

Deney sandalyelerinin deformasyon şekli ve deformasyona uğrayan birleşim noktaları incelendiğinde, gerçek testler ile yapılan yapısal analizlerin sonuçlarının tutarlı olduğu görülmüştür. Sandalyelerin performans analizinde, önden arkaya uygulanan yükler sonucunda elemanlarda oluşan moment kuvvetleri ve bunların oluşturduğu eğilme gerilmeleri dikkate alınmıştır. Moment kuvvetlerinin davranışı, eksenel ve kesme kuvvetlerinden farklıdır. Eksenel ve kesme kuvvetleri eleman boyunca her noktada sabit kalırken, moment kuvvetleri elemanın başlangıcından sonuna kadar değişkenlik göstermektedir. Bu durum, elemanların eğilme gerilmeleriyle deformasyona uğramasına neden olmaktadır. Bu şekilde yapılan analizler, sandalyelerin gerçek davranışını ve yapısal dayanıklılığını daha iyi anlamamıza olanak sağlar.



Şekil 10. Modellenen sandalyelerin tipik deformasyon karakteristikleri

Sandalye iskeletini oluşturan tüm elemanlarda oluşan momentler ve buna bağlı olarak meydana gelen eğilme gerilmeleri, üç boyutlu yapısal analizler aracılığıyla elde edilmiştir. Yapısal analizlerin sonuçlarına dayanarak, sandalye elemanlarında oluşan momentlerin dağılımını gösteren moment diyagramları, her bir sandalye modeli için Şekil 11'de sunulmuştur. Bu diyagramlar, sandalye elemanlarının yükler altında nasıl davrandığını ve hangi bölgelerde daha fazla deformasyon meydana geldiğini görsel olarak ortaya koymaktadır. Ayrıca, momentlerin yan çerçeve birleştirmelerine dağılım oranları da Çizelge 6' da verilmiştir



Şekil 11. Modellenen sandalyelerin moment dağılım diyagramları

Çizelge 6. Yan çerçeve birleştirmelerindeki moment dağılımı ve oranları (Nm, %)

Sandalye Modeli	Moment ve Dağılım Oranı (Nm, %)							
	Yan Çerçeve Birleştirme							
	Ön Ayak-Yan Kayıt		Arka Ayak-Yan Kayıt		Ön ayak-Ara Kayıt		Arka ayak-Ara Kayıt	
	Moment	Oran	Moment	Oran	Moment	Oran	Moment	Oran
Ara Kayıtsız	0	0	311,64	100	-	-	-	-
h=100 (21 x 30)	125,84	33	113,69	29	69,95	18	79,85	20
h=100 (21 x 40)	108,28	26	96,63	23	96,77	23	118,74	28
h=100 (21 x 50)	119,99	22	107,35	20	135,79	25	181,60	33
h=200 (21 x 30)	131,65	33	115,85	28	70,60	18	86,78	21
h=200 (21 x 40)	110,27	25	93,94	20	104,63	24	142,66	31
h=200 (21 x 50)	108,92	20	91,21	16	140,82	26	219,34	38

Momentler ve dağılım oranları incelendiğinde, ara kayıtsız bir sandalyede, “arka ayak-yan kayıt” birleştirmesinin yan çerçevede kuvvetin yerden yüksekliğine göre oluşan toplam momentin tamamını taşıdığı ve kritik bir birleştirme haline geldiği görülmektedir. Diğer sandalye modellerinde ise momentlerin yan çerçevedeki birleştirmelere dağıldığı görülmektedir. Buna göre, sandalye yan çerçevesinde, kesit ölçüsü ve yerden yüksekliği ne olursa olsun, ara kayıt elemanı bulunmasının mukavemeti olumlu etkilediği söylenebilir. Bu aşamadan sonra, deney kuvvetleri altında en büyük eğilme gerilmesinin olduğu elemanlar

yapı analizi sonuçlarından tespit edilerek, bu kritik elemanlarda oluşan eğilme gerilmesi değerleri, sandalyelerin üretiminde kullanılan malzemeler için deneyler sonucunda belirlenmiş olan eğilme emniyet gerilmesi değerleri ile Çizelge 7’ de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 7. Kritik elemanlarında eğilme gerilmeleri ile emniyet gerilmelerinin karşılaştırılması

Sandalye Modeli	Kritik Eğilme Elemanı	Deney Eğilme Gerilmesi (N/mm ²)	Emniyet Gerilmesi (N/mm ²)	Sonuç
Ara Kayıtsız	Yan Kayıt (M2i, M6i)	35,62	33	Başarısız
h=100 (21 x 30)	Ara Kayıt (M4i, M8i)	25,29	33	Başarılı
h=100 (21 x 40)	Ara Kayıt (M4i, M8i)	21,19	33	Başarılı
h=100 (21 x 50)	Ara Kayıt (M4i, M8i)	20,74	33	Başarılı
h=200 (21 x 30)	Ara Kayıt (M4i, M8i)	27,37	33	Başarılı
h=200 (21 x 40)	Ara Kayıt (M4i, M8i)	25,38	33	Başarılı
h=200 (21 x 50)	Ara Kayıt (M4i, M8i)	30,49	33	Başarılı

Eğilme gerilmeleri yapı analizi programından alınmış olup, hesaplamalarda “ $\sigma_e = Mc/I_z$ ” fomülü kullanılmaktadır. Burada, c (mm); elemanın yükün uygulandığı yöndeki ağırlık merkezinden kenarına olan en büyük mesafe ($h/2$), I_z (mm⁴); ise ilgili yöndeki eylemsizlik momentini ifade etmektedir. Emniyet gerilmesi, sandalye çerçevelerinin dayanma sınırını belirleyen bir parametre olarak, eğilme direnci deneylerinden elde edilen maksimum değer in üçte biri (33 N/mm²) olarak belirlenmiştir (Eckelman, 2003). Ara kayıtsız sandalyelerde en yüksek eğilme gerilmeleri "yan kayıt" elemanlarında, ara kayıtlı sandalyelerde ise "ara kayıt" elemanlarında gözlemlenmiştir. Deney sonuçlarına göre, ara kayıtlı sandalyelerin kritik elemanlarında oluşan eğilme gerilmeleri, eğilme emniyet gerilmesi değerlerinin altında kalmış ve bu momentleri başarılı bir şekilde karşılanmıştır. Bu durum, sandalyelerin elemanlarında deformasyon oluşmadığını, ancak birleştirme noktalarında deformasyonların meydana geldiğini göstermektedir. Gerçek deneylerde de deformasyonların birleştirmelerde olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, kayıt genişliğinin artmasıyla eleman uçlarında gerilmelerin azaldığı ve birleştirmelerin daha güvenli hale geldiği sonucuna varılmıştır.

Yapısal analizlerde, ikinci yaklaşım olarak, her bir sandalye modeline sabit (1000 N) bir yük uygulanmış ve her bir model sandalyenin “yan kayıt” ve “alt ara kayıt” elemanlarının uçlarında oluşan eğilme gerilmesi değerleri elde edilmiş ve eleman uçlarında oluşan bu eğilme gerilmeleri karşılık gelen birleştirmelere göre değerlendirilmiştir (Çizelge 8).

Çizelge 8. Yan çerçeve birleştirmelerine karşılık gelen eğilme gerilmeleri

Sandalye Modeli	Eğilme gerilmesi (N/mm ²)			
	Yan Çerçevedeki Birleştirme			
	Ön Ayak-Yan Kayıt	Arka Ayak Yan Kayıt	Ön ayak-Alt Ara Kayıt	Arka ayak-Alt ara Kayıt
Ara Kayıtsız	0	48	-	-
h=100 (21 x 30)	15,60	13,93	24,05	27,29
h=100 (21 x 40)	12,39	10,91	17,41	21,19
h=100 (21 x 50)	10,58	9,34	12,09	15,99
h=200 (21 x 30)	15,85	13,47	23,49	28,40
h=200 (21 x 40)	11,87	9,67	17,74	23,61
h=200 (21 x 50)	9,42	7,48	12,40	18,70

Birleştirmelerdeki eğilme gerilmesi değerleri incelendiğinde, ara kayıt elemanının kesit ölçülerinin artmasının birleştirmelere karşılık gelen eğilme gerilmelerini önemli oranda azalttığı ve bu sayede birleştirmelerin daha güvenli hale geldiği söylenebilir. Bununla birlikte, ara kayıt elemanının yerden yüksekliğinin 100 mm’ den 200 mm’ye çıkarılmasının ise

birleştirmelere karşılık gelen eğilme gerilmelerinde çok küçük oranlarda düşüş sağladığı görülmüştür. Nümerik analizlerden elde edilen bu sonuçların, gerçek deneylerden elde edilen deformasyon karakteristikleri ile tutarlı olduğu görülmüştür.

4 Sonuçlar ve Öneriler

Çalışmanın sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Sandalye yan çerçevelerinde ara kayıt elemanının varlığı ile sandalyenin kuvvet taşıma kapasitesinin önemli derecede arttığı görülmüştür.
- Sandalye yan çerçevelerinde kullanılacak ara kayıt elemanının yerden yüksekliğinin 100 mm'den 200 mm'ye artırılması kuvvet kapasitesinde önemli bir artışa neden olmamıştır.
- Sandalye yan çerçevelerinde kullanılacak ara kayıt elemanının genişliğinin artırılması önden-arkaya kuvvet taşıma kapasitesini önemli derecede artırmıştır.
- Nümerik analizlerden elde edilen sonuçlar, gerçek deneylerden elde edilen deformasyon karakteristikleri hakkında makul tahminler vermiştir.

Teşekkür

Bu makale, ikinci yazarın TÜBİTAK 2209-A üniversite öğrencileri araştırma projeleri destekleme programı kapsamında 1919B012312534 başvuru numarası ile desteklenen ve danışmanlığı birinci yazar tarafından yürütülen proje çalışmasından üretilmiştir.

Yazar Katkıları

Ali Kasal: Kavramsallaştırma (araştırma fikri ve amaçlarının geliştirilmesi), Metodolojinin belirlenmesi, Araştırmanın yapılması, Deneylerin yapılması, Analizlerin yapılması, Veri iyileştirme, Kaynaklar, Denetleme, Doğrulama, Görselleştirme, Makale Taslak oluşturma, Makale Yazma, İnceleme ve düzenleme. **Sedat Yavuz:** Araştırmanın yapılması, Deneylerin yapılması, Analizlerin yapılması, Kaynaklar, Görselleştirme, Makale Taslak oluşturma. **Tolga Kuşkun:** Metodolojinin belirlenmesi, Araştırmanın yapılması, Deneylerin yapılması, Veri iyileştirme, Kaynaklar, Denetleme, Doğrulama, Görselleştirme, Makale Taslak oluşturma, Makale Yazma, İnceleme ve düzenleme.

Finansal destek beyanı

Makale çalışmasının üretildiği projenin yürütülmesinde Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'dan 22029-A üniversite öğrencileri araştırma projeleri destekleme programı kapsamında destek alınmıştır.

Çıkar çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

American Library Associations (ALA), (1982). The use of performance tests and quality assurance programs in the selection of library chairs, Library Technology Reports, 18 (5), 483–571.

Aydın, M., ve Aydın, T.Y., (2017). Sandalye çerçevesinin CATIA ile sonlu elemanlar analizi, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6 (3), 621 – 631.

Ceylan, E., Güray, E., and Kasal, A., (2021). Structural analyses of wooden chairs by finite element method (FEM) and assessment of the cyclic loading performance in comparison with allowable design loads, *Maderas. Ciencia Y Tecnologia* 23, 1–28. DOI:[10.4067/s0718-221x2021000100419](https://doi.org/10.4067/s0718-221x2021000100419)

- Ceylan, E., Kasal, A., Smardzewski, J., Yüksel, M., and Kuşkun, T., (2024). Çerçeve konstrüksiyonlu mobilya birleştirmeleri için tasarlanan auksetik kavelaların sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve kavak (*Populus nigra* L.) kontrplak ile tutma mukavemeti, *Mobilya Ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 7(2), 188-203. DOI: [10.33725/mamad.1527043](https://doi.org/10.33725/mamad.1527043)
- Demirel, S., and Er, R.S., (2022). Evaluation and comparison of control and heat treated l-shape furniture joints produced from scotch pine and ash wood under static bending and cyclic fatigue bending loadings, *Maderas. Ciencia Y Tecnologia*, 24(20), 1-14. DOI: [10.4067/s0718-221x2022000100420](https://doi.org/10.4067/s0718-221x2022000100420)
- Eckelman, C.A. (1995). An overview of the ALA test method with test reports on side chairs. *Library Technology Reports*, 31 (2), 115-214.
- Eckelman, C.A., (1999). Performance testing of side chair. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 57, 227–234. DOI: [10.1007/s001070050047](https://doi.org/10.1007/s001070050047)
- Eckelman, C. A., and Erdil, Y.Z., (1999). Furniture engineering and quality of life. I. International Furniture Congress, İstanbul, 306-332.
- Eckelman, C. A., and Erdil, Y. Z., (1999). Joint design manual for furniture frames constructed of plywood and oriented standard board. H.Ü. Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, I. Uluslararası Mobilya Kongresi, Bildiri Kitabı, 265-305, İstanbul.
- Eckelman, C., A., (2003). *Textbook of product engineering and strength design of furniture*. text book. Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA.
- Erdil, Y.Z., (1998). *Strength analysis and design of joints of furniture frames constructed of plywood and oriented strand-board*. Master of Science, Purdue University Graduate School, West Lafayette, Indiana, USA.
- Efe, H., (1994). *Modern mobilya çerçeve konstrüksiyon tasarımında geleneksel ve alternatif bağlantı tekniklerinin mekanik davranış özellikleri*, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Efe, H., Diler, H., Kuşkun, T., ve Kasal, A., (2015). Türkiye’de üretilen çeşitli tiplerdeki ahşap ev sandalyelerinin performanslarının değerlendirilmesi, *Selcuk University Journal of Engineering Sciences*, Özel Sayı 1 (UMK-2015), 802-813.
- Güntekin, E., (2023). Determination of elastic constants for scots pine wood using ultrasound, *Turkish Journal of Forestry*, 24 (4), 399-402. DOI: [10.18182/tjf.1294030](https://doi.org/10.18182/tjf.1294030)
- Güray, E., Kasal, A., Aktürk, Ş., Kuşkun, T., and Smardzewski, J., (2023). Structural analysis of a chair side frame connected with semi-rigid joints by slope-deflection Method, XXXthInternational Online Conference Research for Furniture Industry, Proceeding book: 146-162, 22–23 September 2022 Poznań, Poland.
- Hu, W.G., Fu, W.L., and Guan, H.Y., (2018). Optimal design of stretchers positions of mortise and tenon joint chair, *Wood Research*, 63 (3), 2018, 505-516.
- Kasal, A., (2004). *Masif ve kompozit ağaç malzemelerden üretilmiş çerçeve konstrüksiyonlu koltukların performansı*, Gazi Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
- Kasal, A., Birgül, R., and Erdil, Y.Z., (2006). Determination of the strength performance of chair frames constructed of solid wood and wood composites, *Forest Products Journal*, 56 (7/8), 55-60.

- Kuskun, T., Kasal, A., Haviarova, E., Kilic, H., Uysal, M., and Erdil Y.Z., (2018). Relationship between static and cyclic front to back load capacity of wooden chairs and evaluation of the strenght values according to acceptable desing values, *Wood and Fiber Science*, 50 (4), 1-9, DOI: [10.22382/wfs-2018-052](https://doi.org/10.22382/wfs-2018-052)
- Kürelİ, İ., Altunok, M., and Uysal, E., (2020). Endüstriyel sandalye tasarımında estetiklik ve dayanıklılık optimizasyonu, *Politeknik Dergisi*, 23 (4), 1413-1421, DOI: [10.2339/politeknik.680989](https://doi.org/10.2339/politeknik.680989)
- Likos, E., Haviarova, E., Eckelman, C.A., Erdil, Y.Z. and Özçiftçi, A., (2012). Tecnical note: static versus cyclic load capacity of side chairs constructed with mortise and tenon joints, *Wood and Fiber Science*, 45(2), 223-227.
- RISA – 3D Version 4.1. 2000. RISA Technologies.
- TS ISO 13061-1 (2021). Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri – kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - bölüm 1: fiziksel ve mekanik deneyler için nem muhtevasının belirlenmesi. T.S.E. Ankara, Türkiye.
- TS ISO 13061-2 (2021). Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri – kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - bölüm 2: fiziksel ve mekanik deneyler için yoğunluğun belirlenmesi. T.S.E. Ankara, Türkiye.
- TS ISO 13061-3 (2021). Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 3: Statik eğilmede nihai mukavemet tayini. T.S.E. Ankara, Türkiye.
- TS ISO 13061-4 (2021). Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - bölüm 4: statik eğilmede elastikiyet modülünün tayini. T.S.E. Ankara, Türkiye.
- USDA (2021). *Wood Handbook. USDA Agricultural Handbook 72*, USDA Forest Service, Forest Product Laboratory, Madison, WI, USA.
- Uysal, M., & Haviarova, E., (2021). Evaluating design of mortise and tenon furniture joints under bending loads by lower tolerance limits. *Wood and Fiber Science*, 53(2), 109-125, DOI: [10.22382/wfs-2021-13](https://doi.org/10.22382/wfs-2021-13)
- Uysal, M., (2023). Coefficient of acceptability for joints in furniture frame analysis under cyclic loads. *Journal of Innovative Science and Engineering*, 7(1), 60-73, DOI: [10.38088/jise.1183127](https://doi.org/10.38088/jise.1183127)
- Yılmaz, T., Güntekin, E., and Aydın, M., (2016). Finite element (fe) analysis of chair frames constructed with Turkish red pine (*Pinus brutia* ten.). 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016) Çukurova University, Congress Center, October 26-28, 2016, Adana / Türkiye, Pages: 1919-1925, Paper ID:569.