

T.C.

MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AĞAÇIŞLERİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

**AHŞAP SANDALYELERDE ELEMAN KESİT
ÖLÇÜLERİNE GÖRE AĞIRLIK-MUKAVEMET
OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS/ TEZİ

ERKAN CEYLAN

ARALIK 2018

MUĞLA

MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEZ ONAYI

ERKAN CEYLAN tarafından hazırlanan AHŞAP SANDALYELERDE ELEMAN KESİT ÖLÇÜLERİNE GÖRE AĞIRLIK-MUKAVEMET OPTİMİZASYONU başlıklı tezinin, 04/12/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ağaçişleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans derecesi için gerekli şartları sağladığı oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

TEZ SINAV JURİSİ

Prof. Dr. İlker USTA (Jüri Başkanı)

Ağaçişleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı,
Hacettepe Üniversitesi, Ankara

İmza:



Prof. Dr. Ali KASAL (Danışman)

Ağaçişleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

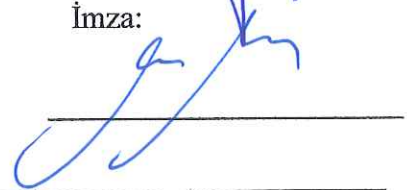
İmza:



Doç. Dr. Ertan ÖZEN (Üye)

Ağaçişleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza:



ANA BİLİM DALI BAŞKANLIĞI ONAYI

Prof. Dr. Mehmet ÇOLAK

Ağaçişleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza:



Prof. Dr. Ali KASAL

Danışman, Ağaçişleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

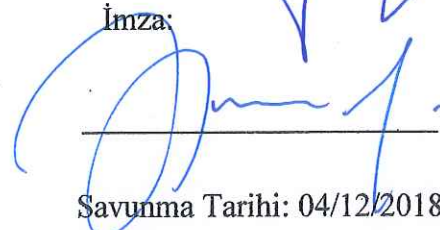
İmza:



Dr. Öğr. Üys. Ersan GÜRAY

II. Danışman, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza:



Savunma Tarihi: 04/12/2018

Tez çalışmalarım sırasında elde ettiğim ve sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgelerin tarafımdan bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde edildiğini; akademik ve bilimsel etik kurallarına uygun olduğunu beyan ederim. Ayrıca, akademik ve bilimsel etik kuralları gereği bu tez çalışması sırasında elde edilmemiş başkalarına ait tüm orijinal bilgi ve sonuçlara atıf yapıldığını da beyan ederim.

Erkan CEYLAN

04/12/2018

ÖZET
AHŞAP SANDALYELERDE ELEMAN KESİT ÖLÇÜLERİNE GÖRE
AĞIRLIK-MUKAVEMET OPTİMİZASYONU

Erkan CEYLAN

Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Ağaçşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali KASAL

Aralık 2018, 170 sayfa

Bu çalışmada, performans testleri, sonlu elemanlar analizleri ve optimizasyon tekniklerini de kapsayan ürün mühendisliği metodolojisi ile ahşap sandalyelerin optimum ağırlık ve mukavemet düzeyine getirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiş olup, ilk aşamada endüstri uygulamalarında genellikle tercih edilen ortalama kesit ölçülerine sahip olan ve atölye koşullarında üretilen sandalyelerin kullanım sırasında maruz kalabilecekleri çeşitli yükleme biçimlerine göre mekanik performansları belirlenmiştir. İkinci aşamada ise, sonlu elemanlar analizleri ve optimizasyon teknikleri ile teorik olarak hafifletilen sandalyeler, yine atölye koşullarında ve üretilen sandalyeler aynı performans testlerine alınarak bilgisayar destekli yapısal analizler ve optimizasyon işlemleri doğrulanmıştır.

Deney sandalyeleri, Türkiye Mobilya Endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) ve Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunlarından üretilmiştir. Deney sandalyelerine, Amerikan Library Association Technology Report (ALA)' de belirtilen esaslara uygun olarak "devirli basamaklı artan yük metodu" ile önden arkaya, yanal, arkadan öne ve arkalığa önden arkaya olmak üzere 4 farklı yönde yükleme yapılarak performans testleri uygulanmıştır. 2 ağaç türü, 4 yükleme yönü ve her bir grup için 5 yinleme olmak üzere çalışmanın birinci aşamasında 40 adet gerçek (1/1) ölçülerde deney sandalyesi üretilmiş ve test edilmiştir. Daha sonra deney sandalyeleri sanal ortamda 1/1 ölçekli olarak modellenmiş ve üç boyutlu yapısal çözümler için sonlu elemanlar analizi (Finite Element Method) yöntemi ile çalışan bir yazılım olan

(RISA 3D)' den yararlanılmıştır. Mevcut durumun tespiti yapıp sonlu elemanlar analizi ile doğrulandıktan sonra optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Optimizasyon sürecinde ise, ağırlık-mukavemet ilişkisi göz önünde bulundurulmak suretiyle hafifletme çalışmaları yapıp teorik olarak elde edilen sandalye eleman kesit ölçülerinin uygunluğunu testlerle doğrulamak için, yine aynı koşullarda 40 adet sandalye daha üretilmiş ve aynı performans testlerine tabi tutulmuştur. Performans testlerinde başarı sağlanıncaya kadar, süreç sanal ortam testleriyle dönüşümlü olarak devam etmiştir.

Performans testleri sonuçlarına göre; hem Doğu kayını hem de Sarıçam sandalyeleri oluşturan elemanların kesit ölçülerinde ev içi kullanım için gerekli performanstan taviz verilmeden küçültme yapılmış, dolayısıyla sandalyelerin ağırlıklarında ve hacimlerinde azaltma yapılabilmektedir. Doğu kayını sandalyelerinin toplam ağırlıklarında ve hacimlerinde %32; sarıçam sandalyelerin toplam ağırlıklarında ve hacimlerinde ise %16 azaltma yapılmıştır.

Çalışma sayesinde, sandalye ağırlıkları ve mukavemetleri niceliksel veriler ile optimum düzeye getirilerek ürün iyileştirmesi gerçekleştirilmiştir. Ürünlerde ağırlığın fazla olması, malzeme, nakliye ve diğer maliyetleri arttıran, işçi sağlığı ve iş güvenliğini olumsuz yönde etkileyen ve kullanıcı açısından zorluklar teşkil eden bir faktördür. Bir başka ifadeye, gereksiz ağırlıkta ve sağlamlıkta olan ürünlerin ergonomik ve ekonomik anlamda neden olduğu olumsuzlar engellenmiştir. Bütün bu olumsuz etkilerin yanı sıra, paket ağırlıklarının fazla olması nedeniyle ihracat yapan firmaların ciddi mali problemlerle karşılaşması da söz konusu olmaktadır. Ürünlerde hafifletme yapılarak paket ağırlıklarının azaltılması; fabrika, ana bayi, tali bayi çalışanlarına ve hatta son kullanıcılara hissedilir ölçüde çalışma, kullanma kolaylığı ve fonksiyonellik sağlayacaktır. Sonuç olarak, ürün mühendisliğinin gerekliliği ve önemi anlaşılmış, ürün mühendisliği uygulamaları sayesinde ürünlerin optimum mukavemet tasarımının yapılabildiği kanıtlanmıştır. Ürün mühendisliği metodolojisinin uygulanması sonucunda ortaya çıkan ürünler; üretici, satıcı ve kullanıcılara teknik, ekonomik ve ergonomik yararlar sağlayacağı öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ürün Mühendisliği, Mühendislik Tasarımı, Optimizasyon, Sonlu Elemanlar Sanalizi, Sandalye Performans Testleri, Devirli Basamaklı Artan Yük Metodu.

ABSTRACT

WEIGHT–STRENGTH OPTI MIZATION OF WOOD CHAIRS BASED ON MEMBER SECTION DIMENSIONS

Erkan CEYLAN

Master of Science (M Sc.)

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Woodworking Industrial Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ali KASAL

December 2018, 170 pages

In this study, it is aimed to make weight–strength optimization of wood chairs based on member section dimensions by using the product engineering methodology including performance tests, finite element analyses, and mathematical optimization. Test chairs was constructed of Oriental Beech (*Fagus orientalis* L.) and Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) which are commonly utilized in chair manufacturing. The study was conducted in two phases. In the first phase, mechanical performances of chairs which are manufactured at small shop conditions with common section sizes was determined with respect to various loading forms representing service load conditions. In the second phase, chairs with structurally designed and mathematically optimized member dimensions was re-manufactured and tested under the same performance test methods for verification and comparison.

Test chairs was constructed of Oriental Beech (*Fagus orientalis* L.) and Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) which are commonly utilized in chair manufacturing. The chairs were tested under 4 loading directions; namely, front to back loading, back to front loading, sidethrust loading, and front to back loads to backrest in accordance with the principles of American Library Association (ALA) Specifications. In the first phase of the study, a total of 40 1/1 scale chairs were manufactured and tested with 2 wood species, 4 loading direction and 5 replications for each. Then, chairs were modelled in 1/1 scale at a virtual platform and a finite element analysis (FEA) software (ANSYS, RISA 3D) was used for three dimensional structural analyses. After determining the current situation, computational optimization was performed for the chairs via same

methods; i.e., FEA and computational optimization techniques was utilized in the optimization process, as well. 40 virtually weight and strength optimized chairs was actually remanufactured in the same shop conditions; then, optimized chairs were tested according to ALA specifications. This process was continued until the desired performance values from the actual performance tests were achieved.

Furthermore, the individual joint specimens, representing the chair joints were prepared and tested consistent with the actual service load conditions. In these tests, the load-deflection relations were investigated, and the semi-rigid connection factors (spring constants) was determined for each joint and these values was used for describing the joints into the structural analysis software in order to obtain more reasonable results by taking the semi-rigidity into account.

According to the results of the performance tests; cross-sectional dimensions of the members forming both Oriental beech and Scotch pine chairs were reduced without sacrificing the performance required for domestic use by ALA; thus, successfully reducing the weight and volume of the chairs. The reduction was 32% in the total weight and volume for Oriental beech chairs while 16 % for Scotch Pine.

As a result of this study, chair weights and strengths were optimized with quantitative data and product improvement was realized. The high weight in the products is a factor that increases the material, transportation and other costs while adversely affecting the worker's health and safety and creating difficulties for the user. In other words, unnecessary weight and over-designing are prevented ergonomically and economically. Reduction in package weights will also provide a considerable amount of saving, ease of use, and functionality to manufacturers, distributors, employees, and even end users. As an additional result, the necessity and importance of product engineering is understood and it has been proved that the optimum strength design of the products can be made by proper product engineering applications. To summarize, results of the study helped optimize chairs in terms of weight and strength. Outcomes of the study will also be expected to provide some technical, economical and ergonomics advantages to the manufacturers, sellers and users.

Keywords: Product Engineering, Engineering Design, Optimization, Finite Element Analysis, Chair Performance Tests

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez konumun belirlenmesi ile çalışmalarımın tüm aşamalarında bilimsel destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Ali KASAL' a, yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmalarım süresince bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli hocam Dr. Öğr. Üys. Ersan GÜRAY' a, Hacettepe Üniversitesi Mesleki Teknoloji Yüksekokulu Ağaçşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. İlker USTA' ya, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Ağaçşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Ertan ÖZEN' e teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca çok değerli katkılarını gördüğüm Araştırma Görevlisi Tolga KUŞKUN' a gönülden teşekkür ederim.

Deney örneklerinin yapımı hususunda yardımcı olan Özcan GÜDER' e teşekkür ederim.

Bu çalışmanın yapılmasında maddi destek sağlayan Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Projeleri Koordinasyon Birimi'ne ve TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu süreçte ve öğrenim hayatım boyunca maddi manevi yanımda olan, desteklerini ve duydukları güveni her an hissettiğim değerli aileme minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Bu tez çalışması, **TÜBİTAK tarafından 216O013 numaralı “Hızlı Destek Programı (1002)”** kapsamında, **Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi 17/112 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle** desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımı	2
1.2. Hipotez.....	6
1.3. Amaçlar.....	7
1.4. Kapsam ve Yöntem.....	7
2. KAYNAK ÖZETLERİ	9
3. MALZEME VE YÖNTEM	17
3.1. Ağaç Malzemeler.....	17
3.2. Tutkal.....	17
3.3. Kavela.....	18
3.4. Deneylerde Kullanılan Ağaç Malzemelerin Gerekli Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi	18
3.4.1. Yoğunluk ve rutubet	19
3.4.2. Liflere paralel çekme direnci	20
3.4.3. Liflere paralel basınç direnci	21
3.4.4. Liflere dik eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü	21
3.4.5. T-tipi ve L-tipi deney örneklerinin hazırlanması	23
3.5. Deney Sandalyelerinin Hazırlanması	24
3.6. Deneylerin Yapılışı.....	27
3.6.1. T-tipi ve L-tipi birleştirmelerin statik testleri	27
3.6.2. Deney sandalyelerinin devirli yükleme ile performans testleri ve sonuçların ALA yöntemine göre değerlendirilmesi	28
3.6.2.1. Önden arkaya yükleme testi	31
3.6.2.2. Arkadan öne yükleme testi.....	32
3.6.2.3. Yanal yükleme testi.....	33
3.6.2.4. Arkalığa önden arkaya yükleme testi	35

3.7. Deney Sandalyelerin Bilgisayar Destekli Yapısal Analizi	36
3.8. Deney Sandalyelerinin Performans Analizi.....	45
3.9. Optimizasyon Yöntemi	48
3.10. Verilerin Değerlendirilmesi	53
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	55
4.1. Deney Sandalyelerinin Üretiminde Kullanılan Ağaç Malzemelerin Deneylerle Belirlenen Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri ve Birleştirmelerin Yarı Rijitlik Katsayıları.....	55
4.2. Deney Sandalyelerinin Ağırlıklarının Ölçülmesi	56
4.3. Mevcut Deney Sandalyelerinin Deformasyon Karakteristikleri, Performansları, Yapısal Analiz Sonuçları ve Eleman Kesit Ölçülerinin Kontrolü	58
4.3.1. Önden arakaya yükleme deneylerine ilişkin bulgular.....	59
4.3.1.1. Önden arkaya yükleme deneylerindeki deformasyon karakteristikleri .	59
4.3.1.2. Önden arkaya yükleme deneylerine ilişkin performans değerleri, yapısal analiz sonuçları ve eleman kesit ölçülerinin kontrolü	60
4.3.2. Arkadan öne yükleme deneylerine ilişkin bulgular	68
4.3.2.1. Arkadan öne yükleme deneylerindeki deformasyon karakteristikleri ...	68
4.3.2.2. Arkadan öne yükleme deneylerine ilişkin performans değerleri, yapısal analiz sonuçları ve eleman kesit ölçülerinin kontrolü	69
4.3.3. Arkalığa önden arkaya yükleme deneylerine ilişkin bulgular	76
4.3.3.1. Arkalığa önden arkaya yükleme deneylerindeki deformasyon karakteristikleri	76
4.3.3.2. Arkalığa önden arkaya yükleme deneylerine ilişkin performans değerleri, yapısal analiz sonuçları ve eleman kesit ölçülerinin kontrolü	77
4.3.4. Yanal yükleme deneylerine ilişkin bulgular	84
4.3.4.1. Yanal yükleme deneylerindeki deformasyon karakteristikleri	84
4.4. Mevcut Deney Sandalyelerinin Performanslarının ALA Deney Yöntemine Göre Değerlendirilmesi	86
4.4.1. Deney sandalyelerinin önden arakaya yükleme performanslarının kabul edilebilir yük değerleri ile karşılaştırılması	87
4.4.2. Deney sandalyelerinin arkadan öne yükleme performanslarının kabul edilebilir yük değerleri ile karşılaştırılması	88
4.4.3. Deney sandalyelerinin arkalığa önden arkaya yükleme performanslarının kabul edilebilir yük değerleri ile karşılaştırılması	89
4.4.4. Deney sandalyelerinin yanal yükleme performanslarının kabul edilebilir yük değerleri ile karşılaştırılması.....	90
4.5. Ağırlık Mukavemet Optimizasyonu Sonuçları.....	91

4.6. Optimize Edilmiş Deney Sandalyelerinin Üretilmesi ve Performans Testlerine Alınması.....	98
4.6.1. Optimize deney sandalyelerinin önden arkaya yükleme deneylerine ilişkin performansları ve kabul edilebilir yük değerleri ile karşılaştırılması	103
4.6.2. Optimize deney sandalyelerinin arkadan öne yükleme deneylerine ilişkin performansları ve kabul edilebilir yük değerleri ile karşılaştırılması	105
4.6.3. Optimize deney sandalyelerinin arkalığa önden arkaya yükleme deneylerine ilişkin performansları ve kabul edilebilir yük değerleri ile karşılaştırılması ...	107
4.6.4. Optimize deney sandalyelerinin yanal yükleme deneylerine ilişkin performansları ve kabul edilebilir yük değerleri ile karşılaştırılması	108
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	111
KAYNAKLAR	116
EKLER.....	122
Ek A. Sarıçam önden arkaya kırılma yüklerinde mevcut sandalye iskeletlerine ait elemanlarda oluşan reaksiyon kuvvetleri, eleman kuvvetleri ve gerilmeleri	122
Ek B. Doğu Kayını önden arkaya kırılma yüklerinde mevcut sandalye iskeletlerine ait elemanlarda oluşan reaksiyon kuvvetleri, eleman kuvvetleri ve gerilmeleri	126
Ek C. Sarıçam arkadan öne kırılma yüklerinde mevcut sandalye iskeletlerine ait elemanlarda oluşan reaksiyon kuvvetleri, eleman kuvvetleri ve gerilmeleri	130
Ek D. Doğu Kayını arkadan öne kırılma yüklerinde mevcut sandalye iskeletlerine ait elemanlarda oluşan reaksiyon kuvvetleri, eleman kuvvetleri ve gerilmeleri	134
Ek E. Sarıçam arkalığa önden arkaya kırılma yüklerinde mevcut sandalye iskeletlerine ait elemanlarda oluşan reaksiyon kuvvetleri, eleman kuvvetleri ve gerilmeleri	138
Ek F. Doğu Kayını arkalığa önden arkaya kırılma yüklerinde mevcut sandalye iskeletlerine ait elemanlarda oluşan reaksiyon kuvvetleri, eleman kuvvetleri ve gerilmeleri.....	142
Ek G. Sarıçam önden arkaya hafif (ev içi) kullanım değer yüklemesinde sandalye iskeletlerine ait elemanlarda oluşan reaksiyon kuvvetleri, eleman kuvvetleri ve gerilmeleri.....	146
Ek H. Doğu Kayını önden arkaya hafif (ev içi) kullanım değer yüklemesinde sandalye iskeletlerine ait elemanlarda oluşan reaksiyon kuvvetleri, eleman kuvvetleri ve gerilmeleri.....	150

Ek I. Sarıçam arkadan öne hafif (ev içi) kullanım değer yüklemesinde sandalye iskeletlerine ait elemanlarda oluşan reaksiyon kuvvetleri, eleman kuvvetleri ve gerilmeleri.....	154
Ek İ. Doğu Kayını arkadan öne hafif (ev içi) kullanım değer yüklemesinde sandalye iskeletlerine ait elemanlarda oluşan reaksiyon kuvvetleri, eleman kuvvetleri ve gerilmeleri.....	158
Ek J. Sarıçam arkalığa önden arkaya hafif (ev içi) kullanım değer yüklemesinde sandalye iskeletlerine ait elemanlarda oluşan reaksiyon kuvvetleri, eleman kuvvetleri ve gerilmeleri.....	162
Ek K. Doğu Kayını arkalığa önden arkaya hafif (ev içi) kullanım değer yüklemesinde sandalye iskeletlerine ait elemanlarda oluşan reaksiyon kuvvetleri, eleman kuvvetleri ve gerilmeleri.....	166
ÖZGEÇMİŞ.....	170



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan deneme deseni	24
Çizelge 3.2. Mevcut sandalye iskeletini oluşturan elemanların ölçüleri.....	25
Çizelge 3.3. Sandalye deneylerinde çeşitli kullanım düzeyleri için kabul edilebilir yük değerleri.....	30
Çizelge 3.4. Sandalye performans deneylerinde başlangıç yükleri ile yük artış değerleri	30
Çizelge 3.5. Deney malzemelerinin programa girilen teknolojik özellikleri.....	40
Çizelge 3.6. Mevcut deney sandalyesini oluşturan elemanlar ve kesit özellikleri.....	41
Çizelge 3.7. Deney malzemelerinin emniyet gerilmelerinin tayininde kullanılan kısıtlama oranları (Eckelman, 1978; Eckelman, 1991)	47
Çizelge 3.8. Deney malzemeleri için deneyler sonucu belirlenen emniyet gerilmesi değerleri (Kasal, 2004)	47
Çizelge 4.1. Deneylerde kullanılan ağaç malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri.....	55
Çizelge 4.2. Sandalye yan çerçeve birleştirmelerinin yay sabiti değerleri	56
Çizelge 4.3. Sarıçam deney sandalyelerinin ölçülen ağırlıkları.....	57
Çizelge 4.4. Doğu kayını deney sandalyelerinin ölçülen ağırlıkları	58
Çizelge 4.5. Deney sandalyelerinin önden arkaya yüklemelerdeki performansları... 61	
Çizelge 4.6. Önden arkaya yüklemelerde elemanlardaki maksimum aksel gerilme değerleri ile emniyet gerilmelerinin karşılaştırılma sonuçları.....	64
Çizelge 4.7. Önden arkaya yüklemelerde elemanlardaki maksimum kesme gerilmesi değerleri ile kesme emniyet gerilmelerinin karşılaştırılma sonuçları..	65
Çizelge 4.8. Önden arkaya yüklemelerde sandalye kritik elemanlarında meydana gelen eğilme gerilmeleri ile emniyet gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması	67
Çizelge 4.9. Deney sandalyelerinin arkadan öne yüklemelerdeki performansları.....	69
Çizelge 4.10. Arkadan öne yüklemelerde elemanlardaki maksimum aksel gerilme değerleri ile emniyet gerilmelerinin karşılaştırılma sonuçları.....	72
Çizelge 4.11. Arkadan öne yüklemelerde elemanlardaki maksimum kesme gerilmesi değerleri ile kesme emniyet gerilmelerinin karşılaştırılma sonuçları.	74
Çizelge 4.12. Arkadan öne yüklemelerde sandalye kritik elemanlarında meydana gelen eğilme gerilmeleri ile emniyet gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması	75

Çizelge 4.13. Deney sandalyelerinin arkalığa önden arkaya yüklemelerdeki performansları.....	77
Çizelge 4.14. Arkalığa önden arkaya yüklemelerde elemanlardaki maksimum eksenel gerilme değerleri ile emniyet gerilmelerinin karşılaştırılma sonuçları	80
Çizelge 4.15. Arkalığı önden arkaya yüklenmiş sandalye elemanlardaki maksimum kesme gerilmesi değerleri ile kesme emniyet gerilmelerinin karşılaştırılma sonuçları.....	82
Çizelge 4.16. Arkalığa önden arkaya yüklemelerde sandalye kritik elemanlarında meydana gelen eğilme gerilmeleri ile emniyet gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması.....	83
Çizelge 4.17. Deney sandalyelerinin yanal yüklemelerdeki performansları.....	84
Çizelge 4.18. Deney sandalyeleri performansları ortalamalarının ALA yönteminde önden arkaya yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılması	88
Çizelge 4.19. Deney sandalyeleri performansları ortalamalarının ALA yönteminde arkadan öne yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılması	89
Çizelge 4.20. Deney sandalyeleri performansları ortalamalarının ALA yönteminde arkalığa önden arkaya yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılması.....	90
Çizelge 4.21. Deney sandalyeleri performansları ortalamalarının ALA yönteminde yanal yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılması.....	91
Çizelge 4.22. Her bir yükleme için yapısal analizlerle belirlenen en kritik elemanlar	93
Çizelge 4.23. Optimizasyon probleminin kritik elemanlara etkiyen kuvvet ve momentlere göre formüle edilen kısıtlamaları.....	95
Çizelge 4.24. Sandalyeyi oluşturan eleman ölçüleri ve (bd) cinsinden hacim değerleri	96
Çizelge 4.25. Sarıçam deney sandalyesi için optimizasyon sonuçları	97
Çizelge 4.26. Doğu kayını deney sandalyesi için optimizasyon sonuçları	97
Çizelge 4.27. Sarıçamdan üretilen optimize sandalyeyi oluşturan elemanların ölçüleri	100
Çizelge 4.28. Doğu kayınından üretilen optimize sandalyeyi oluşturan elemanların ölçüleri.....	100
Çizelge 4.29. Mevcut ve optimize Sarıçam deney sandalyelerinin hacimsel karşılaştırılması.....	101
Çizelge 4.30. Mevcut ve optimize Doğu kayını deney sandalyelerinin hacimsel karşılaştırılması.....	101

Çizelge 4.31. Mevcut ve optimize deney sandalyelerinin ağırlık olarak karşılaştırılması	102
Çizelge 4.32. Optimize deney sandalyelerinin önden arkaya yüklemelerdeki performansları.....	103
Çizelge 4.33. Optimize deney sandalyeleri performansları ortalamalarının ALA yönteminde önden arkaya yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılması	105
Çizelge 4.34. Optimize deney sandalyelerinin arkadan öne yüklemelerdeki performansları.....	105
Çizelge 4.35. Optimize deney sandalyeleri performansları ortalamalarının ALA yönteminde arkadan öne yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılması.....	106
Çizelge 4.36. Optimize deney sandalyelerinin arkalığa önden arkaya yüklemelerdeki performansları	107
Çizelge 4.37. Optimize deney sandalyeleri performansları ortalamalarının ALA yönteminde arkalığa önden arkaya yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılması	108
Çizelge 4.38. Optimize deney sandalyelerinin yanal yüklemelerdeki performansları	109
Çizelge 4.39. Optimize deney sandalyeleri performansları ortalamalarının ALA yönteminde yanal yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılması.....	110

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Sandalye birleştirmelerinde kullanılan kavela (ölçüler mm'dir.)	18
Şekil 3.2 Yoğunluk ve rutubet deney örnekleri	20
Şekil 3.3 Çekme direnci deney örneği	20
Şekil 3.4 Basınç direnci deney örneği	21
Şekil 3.5. Eğilme direnci deney düzeneği ve örneği	22
Şekil 3.6. Sandalye yan çerçeve birleştirmelerini temsil eden T-tipi ve L-tipi elemanlar	23
Şekil 3.7. T-tipi (a, b) ve L-tipi (c) deney örnekler ve ölçüleri (mm)	24
Şekil 3.8. Çalışmada kullanılan deney sandalyesinin ölçüleri ve görünüşleri	26
Şekil 3.9. Bir grup Doğu kayını ve Sarıçam deney sandalyeleri	26
Şekil 3.10. Önden arkaya yükleme deneylerdeki yan çerçeve birleştirmelerin tipik deformasyonu ve birleştirmelere gelen etkileri	27
Şekil 3.11. Gerçek kullanım koşullarında (a) ve devirli basamaklı artan yükleme metodunda (b) yaşam eğrisi ile ilk kesişim noktası	29
Şekil 3.12. Önden arkaya yükleme performans testi	31
Şekil 3.13. Arkadan öne yükleme performans testi	33
Şekil 3.14. Yanal yükleme performans testi	34
Şekil 3.15. Arkalığa önden arkaya performans testi	36
Şekil 3.16. Deney sandalyesinin üç boyutlu sonlu elemanlar modeli	39
Şekil 3.17. Sandalye modelinin uç noktaları (D1, D2, D3, D4.....D20: elemanların düğüm noktaları ve mesnet noktalarıdır)	40
Şekil 3.18. Sandalye modelini oluşturan elemanların kod numaraları (E1, E2, E3, E4...E24: Sistemi oluşturan elemanlardır)	42
Şekil 3.19. Sandalye modeline 4 farklı yönde uygulanan yükler	44
Şekil 4.1. Sarıçam (a) ve Doğu kayını (b) deney sandalyelerin ağırlıklarının ölçülmesi	57
Şekil 4.2. Önden arkaya yüklenmiş deney sandalyesinin tipik deformasyonu	60
Şekil 4.3. Önden arkaya yüklenmiş sandalyenin yapısal analizlerden alınan genel defleksiyon biçimi	62
Şekil 4.4. Önden arkaya yükleme altındaki sandalyenin eksenel kuvvet diyagramı .	63
Şekil 4.5. Önden arkaya yükleme altındaki sandalyenin kesme kuvveti diyagramı ..	65
Şekil 4.6. Sandalye elemanlarının başlangıç (i) ve bitiş (j) noktaları	66
Şekil 4.7. Önden arkaya yükleme altındaki sandalyenin moment diyagramı	67

Şekil 4.8. Arkadan öne yüklenmiş deney sandalyesinin tipik deformasyonu.....	68
Şekil 4.9. Arkadan öne yüklenmiş sandalyenin yapısal analizlerde alınan genel defleksiyon biçimi	70
Şekil 4.10. Arkadan öne yüklenmiş sandalyenin eksenel kuvvet diyagramı	71
Şekil 4.11. Arkadan öne yüklenmiş sandalyenin kesme kuvvet diyagramı	73
Şekil 4.12. Arkadan öne yüklenmiş sandalyenin moment diyagramı	75
Şekil 4.13. Arkalığa önden arkaya yüklemeye deney sandalyesinin tipik deformasyonu	76
Şekil 4.14. Arkalığa önden arkaya yüklenmiş sandalyenin genel defleksiyon biçimi.....	78
Şekil 4.15. Arkalığa önden arkaya yükleme altındaki sandalyenin eksenel kuvvet diyagramı.....	79
Şekil 4.16. Arkalığa önden arkaya yükleme altındaki sandalyenin kesme kuvveti diyagramı.....	81
Şekil 4.17. Arkalığa önden arkaya yükleme altındaki sandalyenin moment diyagramı	83
Şekil 4.18. Yanal yükleme altındaki deney sandalyesinin tipik deformasyonu.....	85
Şekil 4.19. Deney sandalyelerinin ALA' da önden arkaya yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmasına yönelik grafik	87
Şekil 4.20. Deney sandalyelerinin ALA' da arkadan öne yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmasına yönelik grafik.....	88
Şekil 4.21. Deney sandalyelerinin ALA' da arkalığa önden arkaya yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmasına yönelik grafik	89
Şekil 4.22. Deney sandalyelerinin ALA' da yanall yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmasına yönelik grafik	90
Şekil 4.23. Optimize edilmiş Sarıçam (a) ve Doğu kayını (b) deney sandalyeleri	99
Şekil 4.24. Optimize deney sandalyelerinin ALA' da önden arkaya yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmasına yönelik grafik	104
Şekil 4.25. Optimize deney sandalyelerinin ALA' da arkadan öne yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmasına yönelik grafik	106
Şekil 4.26. Optimize deney sandalyelerinin ALA' da arkalığa önden arkaya yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmasına yönelik grafik	108
Şekil 4.27. Optimize deney sandalyelerinin ALA' da yanall yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmasına yönelik grafik	109

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı semboller ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Semboller	Açıklama
A	Alan
°C	Santigrat derece
cm	Santimetre
E	Elastikiyet modülü, (N/mm ²)
F	Kuvvet, (N)
F _{maxe}	Eğilme deneyinde kırılma anındaki kuvvet, (N)
F _{maxç}	Yüzeye dik çekmede kopma anındaki kuvvet, (N)
gr	Gram
m	Metre
mm	Milimetre
m ₀	Tam kuru ağırlık, (g)
m _r	Rutubetli (hava kurusu) ağırlık, (g)
N	Newton
r	Rutubet miktarı, (%)
L _s	Mesnetler arası mesafe, (mm)
V ₀	Tam kuru hacim, (cm ³)
V _r	Rutubetli (Hava kurusu) hacim, (cm ³)
v	Varyasyon katsayısı
δ ₀	Tam kuru yoğunluk, (g/cm ³)
δ _r	Rutubetli (Hava kurusu) yoğunluk, (g/cm ³)
σ	Statik direnç
σ _E	Eğilme direnci, (N/mm ²)
σ _{em}	Emniyet gerilmesi
X _{ort}	Ortalama değer

Kısaltmalar	Açıklama
ALA	Amerikan Library Association (Amerikan Kütüphane Derneği)
CAD	Computer Aided Desing (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAE	Computer Aided Engineerin (Bilgisayar Destekli Mühendislik)
CAM	Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli Üretim)
PVAc	Polivinil Asetat Klorür
SEM	Sonlu Elemanlar Metodu
TOBB	Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği
TS	Türk Standartları



1. GİRİŞ

Mobilya, günlük yaşamımızda yer alan, bireyin ve toplumun refahını sağlamak, yaşama yönelik, sosyal ve kültürel ihtiyaçlara hizmette bulunan, insan-çevre yani yaşam kalitesini doğrudan etkileyen, herkesin kullandığı ve ihtiyacı olduğu, insan yaşamında önemli araçlar olarak tanımlanabilmektedir. Bu bağlamda günlük yaşamımızda kullanılan mobilyalarda yapılacak her türlü iyileştirmeler insanlar için yaşam kalitesini etkileyip olumlu katkı sağlayacaktır.

Son yıllarda, Ülkemizdeki kentsel dönüşüm projeleri, nüfus artışı, yükselen hayat standardı, sektörün ihracat değerinin yükselmesi gibi faktörler mobilyaya olan talebi artırmakta ve bu durum doğrudan doğruya Türkiye Mobilya Sektörünü etkilemektedir. Hızlı bir gelişim ve değişim sürecinde olan Türkiye Mobilya Sektörü; markaları, kalitesi, küçük-büyük ölçekli işletmeleri, coğrafi konumu, ülkenin genel büyüme yönlü politikası, genç nüfusu, kişi başına düşen milli gelirin iyileşmesi gibi faktörler doğrultusunda iç ve dış pazarlarda potansiyel arz etmektedir. Türkiye Mobilya Sektörü, 214 ülkeye 1,9 milyar dolar ihracat, 114 ülkeden ise 817 milyon dolar ithalat yapan, 2001'den yana sürekli artan ihracat değeri ile dış ticaret açığı vermeyen sayılı sektörlerinden birisidir. 2023 için 25 milyar dolar üretim ve 10 milyar dolar ihracat beklentisiyle dünyanın ilk 10, Avrupa'nın ilk 5 büyük mobilya üreticileri arasına girmeyi hedeflemektedir (TOBB, 2013).

Mobilya Sektörü Türkiye için son derece önemli bir sektördür. İhracat açısından da en güçlü olduğumuz alanlardan biri olan mobilya sektörü, aynı zamanda en fazla istihdam sağlayan sektörlerin başında gelmektedir. Sektörün bir başka önemli özelliği de yerlilik oranı en yüksek sektörlerden biri olmasıdır. Türkiye'de ara mal ithalatının %70'lerde olduğu bir dönemde mobilya sektöründeki yerlilik oranı % 80'in üzerindedir. Bu bağlamda, mobilya sektörüne yönelik bilimsel çalışmaların artması ve üniversite-sanayi işbirliğinin geliştirilmesi, özellikle de ihracat açısından güçlü olduğumuz bu sektörde ihracatı artıracak nitelikteki projelerin geliştirilmesi son derece önemlidir.

Bir mobilya üretilirken dikkate alınması gereken üç tasarım alanı vardır. Bunlardan birincisi olan işlevsel tasarım, mobilyanın ne işe yarayacağını, mobilyadan beklenen temel yararların ne olduğunu belirler. Estetik tasarım ise, ilgili kültürün ya da modanın etkisinde, ayrıca kullanıcı talepleri de dikkate alınarak mobilyada biçim, doku, renk, çizgi vb. özelliklerin tasarlanmasını konu alan sanatsal bir çalışmadır. Son tasarım alanı olan mühendislik tasarımı da, mobilyada ergonomik ölçütlerin, malzemelerin, yapım tekniklerinin ve üretim teknolojilerinin en uygun biçimde belirlenmesi işlemleridir (Efe, 1994).

Ürün mühendisliği, bir ürünün bazı fiziksel ve mekanik kriterler ile bilimsel araçlar ve yöntemler yardımıyla tasarlanıp, geliştirilip, üretilmesi olarak tanımlanabilir (Cals, 1991).

Ürün mühendisliği, mobilya tasarım sürecinin doğal ve gerekli bir parçasıdır (Erdil, 1998).

Mobilyanın yapısal (mühendislik) tasarımı önemli olup, mobilyanın kullanıcılara güvenilir bir hizmet verecek şekilde tasarlanmasını ve üretilmesini sağlar. Endüstriler ürün çeşidi açısından farklılıklar gösterse de bu ürünlerin üretimi ve kullanıcıların tatmin edilmesi için uygulanacak kurallar benzerdir. Otomobil üretiminde amaçlanan, kullanıcıların en yüksek düzeyde güvenliğinin sağlanması ve tatmin edilmesi ise, mobilya üretiminde de kullanıcının tatmin edilmesi ve güvenli bir kullanım sağlanması zorunluluktur (Cross, 2000).

Bu bağlamda, çalışmada ev sandalyelerinin hafifletilmesine dayalı bir ürün mühendisliği metodolojisi uygulanmıştır.

1.1. Problemin Tanımı

Günümüzde dünya nüfusu hızla artmaktadır. Müşteriler tarafından mobilya talepleri ise bu duruma göre artarak gelişim göstermektedir. Orman kaynaklarının azalması, ahşap mobilyaların çerçeve mobilya üretiminde daha verimli kullanılmasını ve dayanıklılığını sağlamak için mobilyaların daha iyi bir şekilde korunmasını

gerektirmektedir. Bu sebeple mobilya mühendislik anlayışını getirerek, mobilya için uygun performans test yöntemleri geliştirilmiştir (Eckelman ve Erdil, 1999).

Günümüz mobilya sektöründe, mobilya tasarımının doğal ve vazgeçilmez bir tasarımı olan mühendislik tasarımı ülkemizde ve dünyada henüz sistematik olarak uygulanmamaktadır. Mobilya mühendislik tasarımına verilmesi gereken değer konusundaki eksiklik aşikârdır. Bunun sonucu olarak da, birçok mobilya tasarımı yeterli sağlamlıkta olmadığından kullanım sırasında görevlerini iyi bir şekilde yerine getirememekte ve kısa sürede kullanılmaz hale gelmektedir. Bazı tasarımlar ise kullanımı sırasında etkisinde kalabileceği muhtemel yüklerin çok daha fazlasını taşıyacak sağlamlıkta üretilmekte ve bu durumda hem ekonomik hem de estetik sorunların ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Özellikle çerçeve konstrüksiyonlu mobilyalardan en yaygın olarak kullanılan sandalyelerde bahsedilen sorunlar fazlasıyla yaşanmaktadır. Tasarlanan ve üretilen sandalyelerde, sağlamlık, dayanıklılık, ekonomik olmama gibi teknik sorunlar, bunun yanında da kaba görüntüye neden olan gereğinden büyük kesitler ve gereksiz destekleyici / güçlendirici elemanların çirkin görüntüsü gibi estetik sorunlar yaşanmaktadır. Sandalyelerin bütününe mukavemetini birleştirmelerin mukavemeti temsil ettiğinden ve bu düğüm noktalarının kullanım sırasında maruz kalabileceği yükler taşıyacak kadar yeterli sağlamlıkta olması gerektiğinden bu tür çalışmaların yapılması ve bu alandaki sayısal veri tabanının genişletilmesi gerekmektedir. Buna ulaşmanın yolu da bilimsel ve teknik yaklaşımlarla mümkündür.

Mobilya konstrüksiyonlarında uygulanan birleştirmelerin kararlılığı (stabilitesi) ve mukavemeti, doğal olarak mobilya sisteminin bütününe mukavemetini ve kararlılığını temsil eder. Mobilya iskeletlerinde her zaman istenen performans değerlerine ulaşılamamaktadır. Bu durum, daha güçlü, daha mukavemetli birleştirmelerin kullanılması gerektiği inancını ortaya çıkarmaktadır. Ancak, birleştirmelerin mukavemeti, yalnızca kullanım sırasında taşımaları gereken yüklerle ilişkilidir (Eckelman, 1968). Bu konudaki sıkıntı, çeşitli mobilya birleştirmelerinin mukavemet gerekliliklerinin önceden belirlenmesini sağlayacak analitik yöntemlerin olmamasıdır. Mobilya mekaniğinde son yıllarda gözlenen gelişmeler, mobilyanın kullanım yükleri ile birleştirmelerin mukavemet gerekliliklerini ilişkilendirmeyi mümkün kılmaktadır (Kasal, 2004).

Mobilya mühendislik tasarımı için veri tabanı oluşturulması ve birleştirmelerin mukavemetini etkileyen faktörlerin tespit edilmesi konusunda bilimsel çalışmalar yapılması, mobilya tasarımcılarının ve üreticilerinin işini kolaylaştıracak ve bu sayede bilimselliğin ışığında ve daha bilinçli mobilyalar tasarlanarak, tasarımın amacına ve fonksiyonuna uygun mobilyalar üretilmesi mümkün olabilecek ve insanların yaşam kalitesi arttırılabilecektir. Aynı zamanda gereksiz sağlamlıkta ve ağır mobilyalar üretilmemiş olup, yeterli sağlamlıkta ve hafif mobilyalar üretilmiş olacak ve bu durum ülke ekonomisine de önemli katkılar sağlayacaktır.

Çerçeve konstrüksiyonlu mobilyalardan en yaygın olarak kullanılan sandalyelerde bahsedilen sorunlar fazlasıyla yaşanmaktadır. Üretilen ürünlerde tasarımın doğru yapılmamasından dolayı kaba bir görünüm ortaya çıkmaktadır. Diğer bir sorun ise, üretilen sandalyelerin gereğinden fazla ağır olmasıdır. Sandalyelerin bütününe mukavemetini birleştirme yerleri temsil ettiğinden bu düğüm noktalarının sağlam yapılarak gelen yükleri karşılaması gerekmektedir. Bu yüzden birleştirmelerin mukavemetini arttıracak önlemler alınması şarttır.

Sandalye, masa vb. gibi çerçeve konstrüksiyonlu mobilyalarda, sistemi oluşturan elemanların malzemesi ve bu elemanların uygun yerlerden birbirine bağlanmasını sağlayan sistemler olan birleştirmeler, sistemin bütününe mukavemetini temsil etmektedir. Sistemi oluşturan elemanların mukavemeti ise, yapımda kullanılan malzeme ile elemanların kesitlerinin ölçüleri ve geometrilerine bağlıdır. Sandalye elemanlarının kesit ölçülerinin ve geometrilerinin belirlenmesi, hemen hemen hiçbir zaman matematiksel teorilerin konusu olmamış, bu elemanların ölçüleri ve geometrilerinin tasarımında genellikle geçmiş tecrübeler ve yaygın kabuller hesaba alınmışlardır. Bu durum, gereksiz aşırı mukavemete sahip kaba kesit ölçülerinde, ağır ve estetik olmayan ürünler ya da yeterli mukavemete sahip olmayan, zayıf ve hafif ürünlerin tasarlanması ve üretilmesi sonucunu doğurmaktadır. Estetik ve teknik hususların ideal arakesitinde, optimum ağırlık mukavemet düzeyinde ürünler tasarlanabilmesi için ciddi bilimsel ve sistematik yaklaşımlar ile ürün mühendisliği metodolojisinin uygulanması gerekmektedir. Ürün mühendisliği metodolojisi uygulanırken, sağlamlığın yanında mobilyada kalite göstergesi olan estetik ve ergonomi gibi faktörler de dikkate alınmalı ve sanat ile bilimin ideal arakesitinde yer alan tasarımlar ortaya çıkarılmalıdır. Çünkü sağlamlık-fonksiyon gibi faktörler estetik-ergonomi gibi faktörler ile çelişki içerisinde olup bir tarafa ağırlık verildiğinde diğer

hususlarda kayıplar meydana gelmekte ve bu durum tasarımın etkili faktörlere dayalı sistematik bütünlüğünü olumsuz etkilemektedir.

Oturma elemanlarında estetik, ergonomi ve fonksiyon kadar ürünün sağlamlığı ve dayanıklılığı da ürünü kullanacak olan tüketiciler tarafından dikkate alınmaktadır. Ülkemizde mobilyaların sağlamlıklarını belirlemek için kullanılan deney standartları ve yükleme yöntemleri tam anlamıyla gerçek kullanım koşullarına benzerlik göstermemektedir. Ülkemizde uygulanan testlerde, mobilya sistemini oluşturan malzemelerin ve birleştirmelerin zamana ve yüklemelere bağlı yorulma etkisine maruz kalmadan, sadece statik yüklemeler ile testlere tabi tutulması durumu, ürünün hiç yorulma olmamış haldeki en yüksek mukavemet değerini göstermesini ve statik deney yüklerini rahatlıkla karşılayabilmesini sağlamaktadır. Hâlbuki gerçek kullanımda, sistemi oluşturan malzemeler ve birleştirmeler zaman etkisi ve yüklemelerdeki değişkenliklerden dolayı testlerde elde edilen ve taşıyabileceği varsayılan yüklerden daha düşük seviyelerdeki yüklerde ciddi deformasyonlara uğramaktadır.

Mevcut uygulanan testlerdeki bir başka boyut ise, yapılan deneylerde ürünler geçme/kalma testlerine tabi tutularak, belli bir yüklemeyi aştıkları takdirde deneyi başarı ile geçtikleri kabul edilmektedir. Ancak, bu tip testlerde de, sağlamlık sınırı olarak kabul edilen yüklerin, çok az üzerindeki yük değerleriyle testi geçen ürünler ile çok fazla üzerindeki yük değerleriyle testi geçen ürünler aynı kategoride değerlendirilmektedir. Deney sonucunda ürünün yaşam ömrünü belirleme işlemi yapılmamış olup, ürün üzerinde optimizasyon yapılması söz konusu olamamaktadır. Örneğin, kabul sınırı 500 N olan bir deneyde, kabul sınırını 510 N ile başaran bir ürün ile 1000 N ile başaran bir ürün aynı kategoride değerlendirilmektedir. Bu durum, özellikle kullanım sırasında taşınması gereken yüklerden daha aşırı mukavemete sahip ürünler ortaya çıkması sonucunu doğurmakta ve üreticilere yüksek maliyetler oluşturmaktadır.

Türkiye’de vurma (çarpma) testleri ve statik yükleme testleri yaygın olarak kullanılmakta olup, bu testlere ilişkin sorunlar yukarıda ifade edilmiştir. Bu çalışmanın en önemli özelliklerinden bir tanesi, sandalye performans testlerinde, Türkiye’de henüz uygulanmaya başlayan, bazı Avrupa ülkelerinde ve ABD’de uygulanan, gerçek kullanım koşullarını en iyi temsil eden “devirli basamaklı artan yükleme metodu” nun kullanılmış olmasıdır. Bu nedenle de, proje çalışması uygulanacak testler ve yükleme yöntemi itibarıyla özellikle ulusal anlamda öncelik oluşturmaktadır. Bu çalışmanın

başarısının, ileriki dönemlerde bu konularda benzer çalışmaların artmasında, bu tür performans testlerinin ve yükleme yönteminin Ülkemizde de yerleşmesi ve yaygınlaşması açısından teşvik edici örnek bir çalışma olacağı düşünülmektedir.

Teknolojinin hızlı geliştiği günümüzde, bilgisayar teknolojilerinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Modern mobilya tasarım sürecinin birçok basamağında bu teknolojilerin kullanımı mümkün olmaktadır. Bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve üretim (CAM), mobilya üretim ve tasarımında kullanılmakta ve ürün kalitesine büyük katkılar sağlamaktadır. Ayrıca, kesit ölçülerinin belirlenmesi için optimizasyon teknikleri de mobilya mukavemet tasarımı sürecinde kullanılabilir. Hem yapı analizleri hem de optimizasyon uygulamalarında amaç, mobilyanın üretime geçmeden önce sanal ortamda yapı analizi teknikleriyle mukavemet ve ağırlık bakımından optimum düzeye getirilmesidir. Literatürde, mobilya mühendisliği, performans testleri ve birleştirme tasarımı ile ilgili çalışmalar olmasına rağmen, bilgisayar destekli üç boyutlu yapısal analizlerin ve özellikle de optimizasyon tekniklerinin mobilya mühendisliği sürecinde kullanılması ile ilgili ayrıntılı araştırmalar mevcut değildir.

Mobilya mühendislik tasarımı için gerekli veri tabanına katkı sağlamaya yönelik bu çalışmada, sonlu elemanlar analizi yöntemiyle bilgisayar destekli üç boyutlu yapısal analizlerin ve optimizasyon tekniklerinin kullanılması uluslararası ve ulusal literatürdeki sınırlı çalışmalardan bir tanesi olup, çalışmanın özgünlüğünün bir göstergesidir.

1.2. Hipotez

Bu çalışmanın hipotezi; sanat ve bilimin arakesitinde; hafif, sağlam, kaliteli ve ekonomik çerçeve konstrüksiyonlu mobilyalar üretebilmek amacıyla, performans testleri, sonlu elemanlar analizleri ve optimizasyon tekniklerini de kapsayan ürün mühendisliği yöntemlerinin, mobilya mukavemet tasarımında uygulanabilirliğini ispatlamaktır. Daha spesifik bir ifadeyle hipotez; “ürün mühendisliği yöntemleri uygulanarak ağırlık ve mukavemet optimizasyonu sağlanmış ahşap ev sandalyeleri üretilebilir” olarak belirlenmiştir.

1.3. Amaçlar

Bu çalışmanın temel amacı; sonlu elemanlar analizleri, performans testleri ve optimizasyon tekniklerini içeren ürün mühendisliği yöntemleriyle, ahşap ev sandalyelerinde eleman kesit ölçülerine göre ağırlık-mukavemet optimizasyonu yapılmasıdır. Bu sürecin sonucunda sandalyelerin mukavemetinden taviz verilmemesi önemlidir. Bu amaca ulaşabilmek için belirlenen hedefler;

- Sandalye mukavemet tasarımında performans testleri, sonlu elemanlar analizleri ve optimizasyon tekniklerini de kapsayan ürün mühendisliği metodolojisinin uygulanması,
- Sandalyelerin kesit ölçülerinin küçültülmesi suretiyle hafifletilmesi,
- Malzeme azalmasına bağlı olarak ürün maliyetlerinin düşürülmesi,
- Piyasada sandalye üretimi yapan firmalarda, üretim, nakliye, depolama ve son kullanım koşullarında ağırlık nedeniyle meydana gelebilecek olumsuzları ortadan kaldırmak suretiyle; işçi sağlığı, iş güvenliği ve kullanım kolaylığının sağlanması,
- Piyasada sandalye ihracatı yapan firmalar için paket ağırlıklarının düşüşüne bağlı olarak firmanın ihracat potansiyelinin artırılmasına katkı sağlanması,
- Piyasada sandalye ihracatı yapan firmalar için taşıma veya nakliye masraflarını azaltmaya yönelik katkı sağlanması,
- Sandalye üreten firmaların ihracatını artırmak suretiyle ülke ekonomisine katkıda bulunulması

olarak belirlenmiştir.

1.4. Kapsam ve Yöntem

Çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiş olup, ilk aşamada endüstri uygulamalarında genellikle tercih edilen ortalama kesit ölçülerine sahip olan ve atölye koşullarında üretilen sandalyelerin kullanım sırasında maruz kalabilecekleri çeşitli yükleme biçimlerine göre mekanik performansları belirlenmiştir. İkinci aşamada ise sonlu

elemanlar analizleri ve optimizasyon teknikleri ile teorik olarak hafifletilen sandalyeler, yine atölye koşullarında üretilmiş ve üretilen sandalyeler aynı performans testlerine alınarak bilgisayar destekli yapısal analizler ve optimizasyon işlemleri doğrulanmıştır.

Deney sandalyeleri, Türkiye Mobilya Endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Doğu kayını (*Fagus orientalis L.*) ve Sarıçam (*Pinus sylvestris L.*) odunlarından üretilmiştir. Sandalye birleştirmelerinde piyasadaki yaygın uygulamalar dikkate alınarak, ikileme işlemlerinde zıvanalı birleştirme, dörtleme işlemlerinde ise kavelalı birleştirmeler uygulanmış olup, polivinilasetat (PVAc) tutkalı ile yapışma sağlanmıştır.

Deney sandalyelerine, Amerikan Library Association Technology Report (ALA)' de belirtilen esaslara uygun olarak "devirli basamaklı artan yük metodu (cyclic)" ile önden arkaya, yanal, arkadan öne ve arkalığa önden arkaya olmak üzere 4 farklı yönde yükleme yapılarak performans testleri uygulanmıştır.

2 ağaç türü, 4 yükleme yönü ve her bir grup için 5 yineleme olmak üzere çalışmanın birinci aşamasında 40 adet 1/1 ölçülerde deney sandalyesi üretilmiş ve test edilmiştir. Daha sonra deney sandalyeleri sanal ortamda 1/1 ölçekli olarak modellenmiş ve üç boyutlu yapısal çözümler için sonlu elemanlar analizi (Finite Element Method) yöntemi ile çalışan bir yazılımdan yararlanılmıştır. Mevcut durumun tespiti yapıp sonlu elemanlar analizi ile doğrulandıktan sonra optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Optimizasyon sürecinde ise ağırlık-mukavemet ilişkisi göz önünde bulundurulmak suretiyle hafifletme çalışmaları yapıp, teorik olarak elde edilen sandalye eleman kesit ölçülerinin uygunluğunu testlerle doğrulamak için, yine aynı koşullarda 40 adet sandalye daha üretilmiş ve aynı performans testlerine tabi tutulmuştur. Performans testlerinde başarı sağlanıncaya kadar, süreç sanal ortam testleriyle dönüşümlü olarak devam etmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Eckelman (2003)'a göre mobilya mühendislik tasarımının aşamaları;

- Muhtemel yüklerin analizi: Yapının kullanım esnasında maruz kalabileceği muhtemel ve kabul edilebilir yük değerlerinin belirlenmesi,
- Muhtemel elemanların ölçülendirilmesi ve deney düzeninin hazırlanması: Söz konusu yükleri taşıyacak elemanların yaklaşık ölçülerinin çıkarılması ve bir deney düzeninin hazırlanması,
- Yük altındaki elemanlarda oluşan iç kuvvetlerin büyüklük ve dağılım analizi: Deneydeki mobilya veya elemanın iç kuvvetlerin büyüklük ve dağılım analizlerinin yapılması,
- İç gerilmelerin optimizasyonu: Eğer gerekli ise; deney yapısının tekrar düzenlenmesi ve hiç bir elemanda gereğinden fazla gerilme kalmayınca kadar işlemlerin tekrar edilmesi,
- Güvenilir bir konstrüksiyon (birleştirme) tasarımı: Mobilyanın kullanım sırasında üzerine alacağı dış yükler ile bu yüklerin meydana getireceği gerilmeleri güvenle karşılayacak bir birleştirme tasarımı, olarak belirtilmiştir.

Erdil (2002) performans deneyleri, mobilya ürün mühendisliğinin son aşamasıdır. Bu deneylerin amacı, kullanım sırasında karşılaşılabilecek problemleri önceden belirlemek ve mobilya henüz kullanıma girmeden ve üretilmeden önce değişiklikleri ve geliştirmeleri yapmak amacıyla tasarımcıya geri besleme sağlamaktır. Diğer bir deyişle, performans deneyleri, mobilya kullanıma sunulmadan önce mobilya mühendislik sürecinde son aşamadır. Sonuç olarak, performans deneyleri, ürünün tasarlandığı fonksiyonları yerine getirip getirmediğini anlamak için kullanılan hızlandırılmış kullanım deneyleri olarak tanımlanabilir.

Eckelman (1988a,b) performans deneyleri kavramının temelinde yatan ana etmenleri analiz etmiştir. Ayrıca; sandalye, koltuk, büro sandalyesi, masa ve kutu mobilyalara uygulanan bazı yapısal performans deneyi yöntemlerini tanıtmıştır.

Altınok (1995) kayın ve çam odunundan hazırladığı sandalyelerin, alt ara kayıt yeri için optimizasyon yaparak, kritik oturma pozisyonunda denemiş ve gerekli davranış ölçümlerini 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.

Eckelman ve Zhang (1995) döşemeli mobilya iskeletlerinin mühendislik tasarımında kullanılan ve döşemeli mobilyaların davranışlarını değerlendirmede kullanılan Genel Servis Hizmetleri (GSA: General Services Administration) test metodunu tanıtarak, evrensel düzeyde kabul edilebilir bir performans deneyi yöntemi geliştirilebilmesi için gerekli olan temel faktörleri ve kavramları tartışmışlardır.

Eckelman ve Erdil (2001) döşemeli koltuk ve kanepeler için geliştirilmiş olan performans deneyi yönteminin (FNAE 80–214) ayrıntılarını ve yöntemin uygulanması için gerekli olan laboratuvarında kullanılacak donanımı tanıtmışlardır. Ayrıca, uygulama koşullarını göstermesi amacıyla; hafif, orta ve ağır kullanımları gösteren kabul edilebilir yük değerlerini belirtmişlerdir.

Eckelman (1999) devirli basamaklı yük yöntemini (cyclic stepped increasing load method) tanıtır, bu yöntem kullanılarak geliştirilen bir dizi sandalye performans deneylerini ve kabul edilebilir yük değerlerini vermiştir.

Eckelman ve Erdil (1999) mobilyanın bilimsel üretim mühendisliğini tartışarak, kaliteyi artırma yöntemleri ve kompozit malzemelerle üretilen mobilyaların sistematik tasarımı için gereken bilimsel araştırmaları irdemişlerdir. Ayrıca mühendislik gereksinimlerine uygun verimli deney yöntemlerini de tartışarak, örnek bir sandalye deney yöntemini ana hatlarıyla vermişlerdir.

Erdil (2002) konvansiyonel yapısal tasarım yöntemine dayalı olarak çeşitli tip ve boyutlarda ahşap sandalye ve masaları test ve analiz etmiş, mobilyaları bu amaç için seçilen performans test ekipmanı ve prosedürleri ile değerlendirmiştir. Sonuç olarak; Optimum boyutlar elde etmiş, performans testi ve test ekipmanlarının uygun olduğunu belirtmiş, ayrıca sonlu bir yöntemle yapısal analizler, mobilyaların genel mukavemetinin makul tahminlerini sağlamıştır.

Dai ve Zhang (2007) yorulma etkisine maruz kalan koltuk iskeleti yapısal elemanlarının basitleştirilmiş analizlerini ve tasarım yöntemlerini incelemişlerdir. GSA standartlarına göre yapılan çalışmada her eleman için, bütün yüklemeye basamaklarındaki maksimum moment taşıma kapasiteleri hesaplanarak elemanlarda oluşan gerilmeler belirlenmiş ve parça bütün ilişki irdelenmiştir. Çalışma sonucunda kanepeler için yapılan bireysel eleman testleri ile koltuk testlerinin yakın sonuçlar verdiği bildirilmiştir.

Zhang vd., (2001) ahşap esaslı levhaların mobilya çerçeve konstrüksiyonunda kullanımının yaygınlaştığı ve geleneksel malzemelerle karşılaştırılması gerektiğinden hareketle, meşe ve kavak ağaçlarıyla, çam kontrplak, ESL 26 (engineered strand lumber) ve yonga levhalardan hazırlanan T-tipi deney örneklerinde çekme ve eğilme dirençleri belirlenmiştir. En yüksek direnci masif meşe ve çam kontrplak, en düşük direnci ise yonga levhanın verdiği bildirilmiştir.

Göde (2005) yaptığı çalışmada; mobilyanın kullanımı esnasında maruz kaldığı yüklerden dolayı elemanlarda ve bağlantı yerlerinde basınç ve çekme şeklinde kuvvetler meydana geldiğini belirtmiş, kuvvetlerin etkisine göre mobilya elemanlarının birleşim yerlerinde; açılma, eğilme, çatlama, burulma, kırılma gibi deformasyonlar oluştuğunu belirtmiştir. Bu gibi olumsuzlukları giderebilmek amacıyla, mobilya yapım teknikleri ve yardımcı gereçlere ait mekanik özelliklerin gerekli analizlerinin yapılması gerektiğini vurgulamıştır.

Erdil (1998)'e göre; verimli kullanım sağlayacak biçimde tasarlanmayan mobilyalar kendilerinden beklenen performansı gösteremeyebilirler. Ürün tasarımcısı, ürünün kullanımda olduğu sırada hangi tip ve hangi büyüklükte yüklerin uygulanacağını bilmek durumundadır. Mobilyayı oluşturan elemanlar ve birleştirmeler, mobilyanın kullanımı esnasında taşınması beklenen yükleri taşıyabilecek şekilde rasyonel olarak tasarlanmalıdır. Mobilya birleştirmelerini oluşturmak için birçok bağlantı ve bağlama teknikleri kullanılmaktadır. Rasyonel tasarımın bir gereği olarak, bağlantı elemanları ile birleştirme tekniklerine ilişkin kabul edilebilir mukavemet değerleri bilinmelidir.

Kasal (2004) yaptığı çalışmada; mobilyada mühendislik tasarımı ve mukavemet analizi kavramları nispeten yeni kavramlar olduğunu, Türkiye dâhil birçok ülkede sistematik olarak uygulanmadığını belirtmiştir. Ayrıca, 1950'lerin ortalarına kadar, mobilya; yapısal bir konstrüksiyon sistemi olarak tanımlanması gerçeğine rağmen

yapısal anlamda analiz edilmemiş olduğunu, mobilya elemanlarının ve birleştirmelerinin tasarımı neredeyse hiçbir zaman matematiksel teorilerin konusu olmadığını bildirmiştir. Kasal'a göre, eleman ölçülerinin ve birleştirme konstrüksiyonlarının belirlenmesinde geçmiş tecrübeler ve estetik faktörler etkili olmuştur. Sonuç olarak, mühendislik tasarımının, ekonomik, estetik ve teknik hususların ideal arakesitinde oluşan ürün tasarımlarının gerçekleştirilebilmesi açısından önemli ve kesinlikle bilimsel esaslara dayalı olarak yapılması gerektiğini vurgulamıştır. Bir diğer çalışmada Kasal (2006), üretimi planlanan mobilyanın kullanım yerinde maruz kalacağı yüklerle güvenli bir şekilde dayanabilmesi ve bu yükleri taşıyabilmesi için mühendislik tasarımının etkili bir biçimde uygulanması gerekmekte olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, günümüzde tüketicilerin daha güvenli ürünler istemekte olduğunu ve hükümetlerin de garantili ürünlerin üretilmesi yönünde baskılarını artırmakta olduğunu söylemiştir.

Kuşkun (2013)' un çalışmasının sonucunda, farklı ölçülerde zıvanalı birleştirme uygulanmış T-tipi birleştirmeler, L-tipi birleştirmeler ve deney sandalyeleri farklı performans ve mekanik davranış özellikleri göstermişlerdir. Ayrıca, birleştirmelerinin elastikiyetinde zıvana genişliğinin, moment taşıma kapasitesinde ise zıvana uzunluğunun etkili olduğu anlaşılmıştır. Özellikle bir sandalye sistem bütünü içerisinde yer alan birleştirmelerde zıvana uzunluğunun sandalyelerin önden arkaya kuvvet taşıma performansını arttırdığı gözlenmiştir.

Efe (1994) bir çalışmada; mobilya üretiminde genel olarak, kutu, çerçeve ve kombine olmak üzere üç temel konstrüksiyon tipi olduğunu bildirmiştir. Üretiminde tablaların kullanıldığı mobilyalar kutu (panel) tipi, masif çerçevelerin yer aldığı mobilyalar çerçeve (iskelet) tipi, her iki eleman tipinin kullanıldığı mobilyalar ise kombine konstrüksiyonlu mobilyalar olarak karakterize edilmektedir.

Uysal (1998) PVAc tutkalı ile tutkallanmış zıvanalı boy birleştirmelerde zıvana boyutlarının ve ağaç türlerinin eğilme direncine etkilerini araştırmıştır. Sonuçta ise; Doğu kayını en başarılı çıkmış, zıvana boyunun artışı eğilme direncini azaltmıştır.

Cai ve Wang (1993) kutu konstrüksiyonlu kavelalı köşe ve orta birleştirmelerin mukavemetinin, kullanılan kavela sayısı artırılmak suretiyle %5–15 arasında arttırılabileceğini bildirmişlerdir.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, mobilya sistemlerinin yapısal analizinde bilgisayar programlarının özellikle de sonlu elemanlar metodunun kullanımının yaygınlaştığı görülmektedir.

Güntekin (2004) 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 çözümü içerir.

Topçu ve Taşgetiren (1998) Sonlu elemanlar metodu; karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içinde çözülmesi ile tam çözümün bulunduğu bir çözüm şeklidir. Metodun üç temel niteliği vardır: Önce, geometrik olarak karmaşık olan çözüm bölgesi sonlu elemanlar olarak adlandırılan geometrik biçimli basit alt bölgelere ayrılır. Sonra her elemandaki, sürekli fonksiyonlar, cebirsel polinomların lineer kombinasyonu olarak tanımlanabileceği kabul edilir. Üçüncü kabul ise, aranan değerlerin her eleman içinde sürekli olarak tanım denklemlerinin belirli noktadaki değerleri elde edilmesinin problemin çözümünde yeterli olmasıdır. Kullanılan yaklaşım fonksiyonları interpolasyon teorisinin genel kavramları kullanılarak polinomlardan seçilir. Seçilen polinomların derecesi ise çözülecek problemin tanım denkleminin derecesine ve çözüm yapılacak elemandaki düğüm sayısına bağlıdır.

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 kullanarak 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.

Koç vd., (2011) bilgisayar destekli mühendislik (CAE) endüstride her geçen gün daha yaygın hale gelmektedir. Bunun nedeni kişisel bilgisayarlar ile yönetim anlayışı ve sanayinin gelişmesinin yanı sıra CAE sisteminin uygulama imkanları olarak söylenebilir. Çalışmada, çok önemli bir mühendislik tekniği olan sonlu elemanlar yöntemi uygulaması (FEM), SolidWorks / CosmosWorks sistemi ile birlikte

araştırılmıştır. Ahşap malzemenin yapısından ve bu malzemenin mobilya endüstrisine nakil koşullarından kaynaklanan zorlukların tartışılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, uygun analiz katsayısı ve sanal direnç değerleri, mevcut standart teorik bilgi ve endüstriyel uygulama örnekleri ile geliştirilmiştir. İkinci aşamada bu analiz gerçek bir ürün üzerinde uygulanmış ve analiz yaklaşımının uygulanabilirliği, yazılımdaki gerçek uygulama sonuçlarını temel alan teorik davranışlar ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Gustafsson (1997) iskelet mobilyaların, yapı elemanlarının oluşturduğu, çözümü zor ve zaman alıcı olan çerçevelerden oluştuğunu ve bunların analizinin zor bir iş olduğunu belirtmiş, bu sıkıntının sonlu elemanlar yöntemi yazılımları ile giderilebileceğini bildirmiştir. Çalışmasında, sonlu elemanlar yöntemiyle bir sandalyenin nasıl analiz edileceğini ve tasarlanacağını göstermiş, dışbudaktan hazırladığı gerçek sandalyenin gerilme diyagramları ile deney sonuçlarını vermiştir.

Smardzewski (1998) mobilya tasarımının ilkelerini verimli bir duruma getirmek ve malzeme kullanımını en aza indirirken elemanların ve birleştirme noktalarının mukavemetini en üst düzeye çıkaran yapılara ulaşmayı amaçlamıştır. Bu maksatla bir sandalye yan çerçevesini sonlu elemanlar programı ile analiz etmiş, geliştirilen bu programın doğru ve hızlı bir şekilde ahşap mobilyaların rijitliğini ve mukavemetini analiz edebildiğini kanıtlamıştır.

Çolakoğlu ve Apay (2012) ahşap mobilyalar kolay işlenebilen ve doğal ham maddelerden üretildiği için tüm ülkelerde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Mobilya tasarım estetiğinde ergonomi ve güvenlik ana kriterlerdir. Güvenlik, mobilyanın dayanıklılığı manasına gelir. Ne yazık ki çoğunlukla mobilyanın dayanıklılığı ergonomi ve estetik kadar tasarımda dikkate alınmaz. Bu durum, ya maliyetleri artıran fazla malzeme kullanımına ya da tehlikelere sebep olabilecek az malzeme kullanımına neden olur. Mobilya tasarımında sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ilk kez 1966 yılında kullanılmıştır. Yazılım ve donanımdaki teknolojik gelişmeler bu çalışmaları desteklemiştir. Bu araştırmalarda mukavemet analizleri farklı tip ahşaplar için gerçekleştirilmiştir. En son çalışmaların birinde sandalyede alışılmışın dışında oturuş şekilleri FEM ile analiz edilmiştir. Çalışmada, Güney kırmızı meşe (*Quercus Falcata*), kırmızı çam (*Pinus resinosa*) ve Ladin Engelmann (*Picea engelmannii*) odunlarından üretilen sandalyelerin iki farklı yükseklikten serbest düşüşü simüle edilmiştir. Ön

bacaklarının üzerine düşüşü simüle edilen bir sandalyenin farklı parça ve köşelerdeki mukavemeti ANSYS tarafından analiz edilmiştir. Bu çalışmada mobilya tasarımcı ve üreticileri için önerilerde bulunulmuştur.

Kasal ve Pullela (1995) mobilya çerçeve sistemleri için geliştirdikleri analitik modeli sonlu elemanlar yöntemi kullanarak analiz etmişlerdir. Sandalye, masa, raf, ve kanepeler modelleri ile yapılan testlerde deney örneklerini statik, dinamik ve çarpma yüklerine maruz bırakmışlardır. Deneylerin, birleştirmelerin yük-deformasyon ve rijitlik karakteristiğini belirlemek için uygulandığı ifade edilmiştir. Sonuç olarak, analitik modeller ile deneyler arasında, analitik modellerin doğruluğunu kontrol etmek için karşılaştırma yapılmış ve elde edilen değerlerin anlamlı çıktığı bildirilmiştir.

Nicholls ve Crisan (2002) sonlu elemanlar yöntemini kullanarak kutu mobilyalarının dübel ve minifix tipi köşe bağlantılarındaki gerilme ve gerilme durumlarını analiz etmişlerdir. Sonuç olarak, modellerdeki stres konsantrasyon alanlarının fiziksel birleştirmelerde olduğu gibi geliştiğini ve köşe birleştirmelerde gerilme-zorlama durumunun doğru olarak tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir.

Literatür incelemesi sonucunda, sınırlı sayıda da olsa optimizasyon tekniklerinin mobilya mühendisliği alanında uygulandığı çalışmalar olduğu görülmüştür.

Smardzewski ve Gawroński (2001) minimum malzeme hacminin belirlenmesine katkı sağlayan statik optimizasyon yöntemlerinin etkinliğinin ortaya konulduğu çalışmada, optimum ağırlık-mukavemet ilişkisi hedeflenmiştir. Yapılan deneyler, sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan bir programa entegre edilmiş Monte Carlo yöntemi yardımıyla optimize edilmiş sandalye konstrüksiyonunda, başlangıçtaki hacmin %53'ü oranında malzeme tüketiminin azaltılabildiğini ortaya çıkarmıştır.

Smardzewski ve Prekrat (2009) koltuk iskeletinin yapısının kesit ölçülerinin düşürülmesi optimizasyonu için bir yöntem sunarak, entegre bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli mühendislik ortamlarında döşemeli mobilyanın sanal prototipini tanımlamışlardır. Yapılan optimizasyonlar sonucu kayın tüketimi %36, yonga levha tüketimi ise %25 azalmış; en önemli yapı elemanlarının kesitlerinin azaltılmasının, kanepeler çerçevesinin mukavemeti ve rijitliğinde önemli bir azalma meydana getirmediği bildirilmiştir.

Yılmaz (2011), çerçevelerin üretiminde kullanılan malzeme miktarına bakıldığında; Kızılcımdan üretilen sandalye çerçevelerinde kullanılan malzeme miktarı, Kayından üretilen sandalye çerçevelerinde kullanılan malzeme miktarından %6 daha fazla olduğunu bildirmiştir.



3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Ağaç Malzemeler

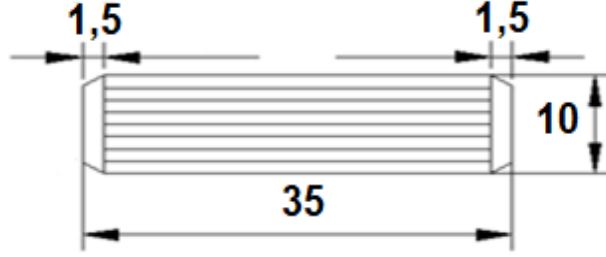
Çalışma kapsamında deney sandalyelerinin hazırlanmasında, Türkiye Mobilya Endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) ve Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunları kullanılmıştır. Ağaç malzemeler İzmir'deki kereste işletmelerinden tesadüfi olarak temin edilmiştir. Ağaç malzemenin seçiminde, liflerinin düzgün, budaksız, ardaksız, normal büyüme göstermiş, reaksiyon odunu bulunmayan, mantar ve böcek zararlarına uğramamış olmasına özen gösterilmiştir.

3.2. Tutkal

Deney sandalyelerinin montaj işlemlerinde, sandalye yan çerçevelerinin oluşturulmasını sağlayan birleştirmelerde zıvanaların ve sandalyenin bütününe oluşturulmasını sağlayan birleştirmelerde kavelalar yapıştırılmasında polivinilasetat (PVAc) tutkalı kullanılmıştır. Soğuk olarak kullanılması, kolay sürülmesi, çabuk sertleşmesi, kokusuz ve yanmaz olması gibi özellikleri ile sandalye, koltuk iskeleti gibi çerçeve konstrüksiyonlu mobilyaların üretiminde yaygın olarak kullanılması nedeniyle bu tutkal tercih edilmiştir. Tutkal birleştirme yerlerine, dişi ve erkek zıvanalara, kavelalara ve kavela deliklerine yaklaşık 150 ± 10 g/m² hesabıyla sürülmüştür. Kullanılan tutkalın özellikleri üretici firma tarafından yoğunluk 1,1 g/cm³, vizkositesi 160-200 cps, PH = 5,00, kül miktarı % 3 olarak verilmiştir (Polisan, 1996).

3.3. Kavela

Çalışmada, sandalye yan çerçevelerinin birleştirilerek sandalyelerin dörtlenmesi işlemlerinde uygulanan kavelalı birleştirmelerde, TS 4539 esaslarına uygun, 10 mm çapında ve 35 mm boyunda, yivli gövdeli kayın odunundan hazırlanmış kavelalar kullanılmıştır.



Şekil 3.1 Sandalye birleştirmelerinde kullanılan kavela (ölçüler mm'dir.)

3.4. Deneylerde Kullanılan Ağaç Malzemelerin Gerekli Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi

Bir mobilya sisteminin veya mobilya birleştirmelerinin mühendislik kurallarına uygun olarak tasarlanabilmesi ve analiz edilebilmesi için öncelikle yapılmış olduğu malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin bilinmesi gereklidir.

Fiziksel özellikler, malzemelerin kendi içyapıları ile ilgili özelliklerdir. Duyularımızla edindiğimiz, cins ve bileşimlerini etkilemeden cisimlerin durum ve hareketlerini belirlemeye veya değiştirmeye yönelik özelliklerdir (Bozkurt ve Göker, 1987). Ağaç malzemelerin fiziksel özellikleri; odun-su ilişkileri, ağırlık-hacim ilişkileri, termik, elektriksel ve akustik özelliklerini kapsar. Malzemelerin yoğunlukları ve rutubet oranları gibi fiziksel özellikleri, mobilya mukavemet tasarımında oldukça önemlidir. Bu sebeple bu çalışmada, ağaç malzemelerin rutubet oranları (TS 2471) ve yoğunlukları (TS 2472) ilgili standartlara göre tespit edilmiştir.

Mekanik özellikler, ağaç malzemenin dışarıdan yapılan yüklemeler ile biçimini değiştirmeye zorlayan kuvvetlere karşı koyma gücüdür. Malzemenin dış kuvvetlerin bu etkilere karşı koyması, tesir eden kuvvetin veya yapılan yüklemenin büyüklüğüne, yönüne, cinsine ve zaman ölçüsüne bağlıdır. Diğer taraftan, malzemenin yüklenen

yüzeyinin şekli, büyüklüğü, numune veya malzemenin gerilme şekli de karşı koymayı etkilemektedir. Anizotrop olan bu özellikleri çeşitli doğrultularda farklı bulunan ağaç malzemedeki kuvvetlerin etkisi büyük ölçüde, ağaç türüne, özgül ağırlığa, anatomik yapıya, coğrafi orjine, yetişme muhiti şartlarına, rutubet miktarına, ısı derecesine, kimyasal bileşimine, çürük ve sağlam oluşuna, kusurlarının bulunup bulunmamasına, kuvvetin tesir yönü ile lif doğrultusu arasındaki açıya bağlı bulunmaktadır (Bozkurt ve Göker, 1987).

Bu çalışmada, deneylerde kullanılan ağaç malzemelerin liflere paralel çekme direnci (TS 2475), liflere paralel basınç direnci (TS 2595), liflere dik eğilme direnci (TS EN 310) ve elastikiyet modülü değerleri (TS 2478) ilgili standartlarda belirtilen esaslara uygun olarak belirlenmiştir. Fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi için hazırlanan deney örnekleri, deneylerden önce TS 2470 esaslarına uyularak 20 ± 2 °C sıcaklık ve % 65 ± 3 bağıl nem şartlarındaki iklimlendirme dolabında ($r = \% 12$) dengeye ulaşıncaya kadar bekletilmişlerdir.

3.4.1. Yoğunluk ve rutubet

Sarıçam ve Doğu kayını deney örneklerinin yoğunluklarının belirlenmesi amacıyla için TS 2472 de belirtilen esaslara uyulmuştur. Her malzemedeki 10' ar adet olmak üzere toplam 20 adet örnek hazırlanmış, daha sonra bu örnekler $\pm 0,01$ g duyarlıklı terazi ile tartılmışlardır. Böylece örneklerin rutubetli (hava kurusu) ağırlıkları (m_r) tespit edilmiştir. Kusursuz olarak hazırlanmış olan bu örneklerin boyutları $\pm 0,01$ mm duyarlıklı dijital kumpas ile ölçülerek hacimleri (V_r) hesaplanmıştır. Bu aşamadan sonra örnekler 103 ± 2 °C de 24 saat bekletilmişler, 6 saat aralıklarla yapılan iki tartı arasındaki fark, deney parçası ağırlığının % 0,5'ine eşit veya daha az olduğunda değişmez ağırlığa ulaştıkları kabul edilerek tam kuru ağırlıklar (m_o) belirlenmiştir. Tekrar dijital kumpas kullanılarak boyutlar ölçülmek suretiyle tam kuru hacimleri (V_o) hesaplanmıştır. Tam kuru (δ_o) ve hava kurusu (δ_{12}) yoğunlukların belirlenmesi için sırasıyla;

$$\delta_o = \frac{m_o}{V_o} \quad \text{ve} \quad \delta_{12} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad \text{g/cm}^3 \quad (3.1)$$

Rutubet (r) kontrolü için masif ağaç malzemelerde TS 2471 esaslarına uyularak,

$$r = \frac{m_r - m_0}{m_0} \times 100 \quad (\%) \quad (3.2)$$

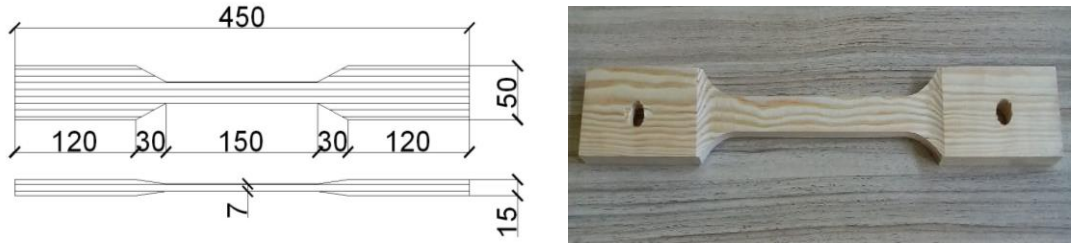
eşitlikleri kullanılmıştır. Deneyde kullanılan deney örneği numuneleri Şekil 3.2.' de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Yoğunluk ve rutubet deney örnekleri

3.4.2. Liflere paralel çekme direnci

Ağaç malzemelerin liflere paralel yöndeki çekme dirençleri TS 2475' de belirtilen esaslara göre belirlenmiştir. Çekme deneyi örneği Şekil 3.3 'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Çekme direnci deney örneği

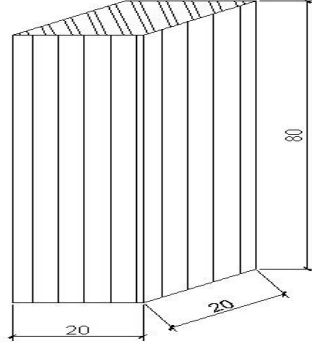
Deneyselerde yükleme hızı 2 mm/dak olarak sabit tutulmuştur. Kopma anındaki kuvvet ($F_{\max\zeta}$) ve kopmanın meydana geldiği kesit alanı (A_ζ) için çekme direnci (σ_ζ);

$$\sigma_\zeta = \frac{F_{\max\zeta}}{A_\zeta} \quad \text{N/mm}^2 \quad (3.3)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır.

3.4.3. Liflere paralel basınç direnci

Ağaç malzemelerin basınç dirençleri TS 2595’ de belirtilen esaslara uyularak belirlenmiştir. Liflere paralel basınç direnci deneylerinde 20 x 20 kare kesitli ve lifler yönünde 30 mm uzunluğundaki örnekler kullanılmıştır. Basınç deneyi örneği Şekil 3.4.’ te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Basınç direnci deney örneği

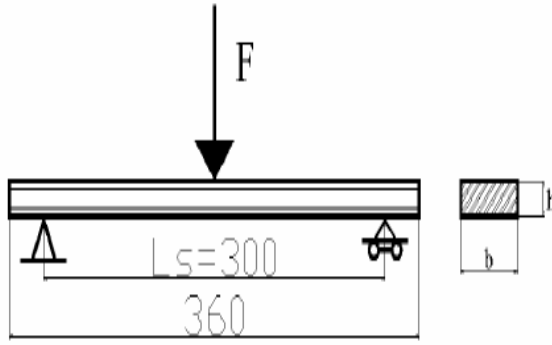
3.4.4. Liflere dik eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü

Deney örneklerinin eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinin belirlenmesi amacıyla TS EN 310’ da belirtilen esaslara uyulmuştur. Deney örnekleri, boyutlar 360 x 20 x 20 mm olacak şekilde 10’ar adet hazırlanmıştır.

Mesnet (destek) açıklıkları (L_s) 300 mm olarak alınmıştır. Deneylerde kuvvet numunelerin tam ortasından uygulanmış ve deney cihazının yükleme hızı dakikada 2 mm/dak olarak ayarlanmıştır. Kırılma anındaki maksimum yük (F_{maxe}) için eğilme direnci (σ_e);

$$\sigma_e = \frac{3}{2} \times \frac{F_x L_s}{b x h^2} \quad \text{N/mm}^2 \quad (3.4)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada kesit genişliği (b), kesit yüksekliği ise (h)’ dir. Eğilme direnci deney düzeneği ve örneği Şekil 3.5’ te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Eğilme direnci deney düzeneği ve örneği

Eğilme deneylerinde, eğilmede elastiklik modülü değerleri de hesaplanmıştır. Sehimler (yer değiştirme) deney parçasının ortasından komperatör yardımıyla (yükleme başlığının altından) 0,1 mm hassasiyetle ölçülmüş ve ölçüm sırasında uygulanan yükün değeri de 0,1 g hassasiyetle ölçülerek, “yük-sehim” diyagramı çizilmiştir. Elastiklik modülü (E), yük-yer değiştirme eğrisinin doğrusal kısmından yararlanılarak hesaplanmıştır. Yük-yer değiştirme eğrisinin doğrusal kısmına isabet eden her bir yük için belirli bir yer değiştirme değeri söz konusu olduğundan, (F₁) ve (F₂) kuvvetleri farkına (F) karşılık oluşan çökme miktarı (f) olmak üzere, elastikiyet modülü (E) ;

$$E = \frac{F \times Ls^3}{4 \times bxh^3 \times f} \quad \text{N/mm}^2$$

(3.5)

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

E : Eğilmede elastikiyet modülü (N/mm²)

ΔF : Yük-sehim oranlılık bölgesindeki yük artışı (N), (F₂-F₁)

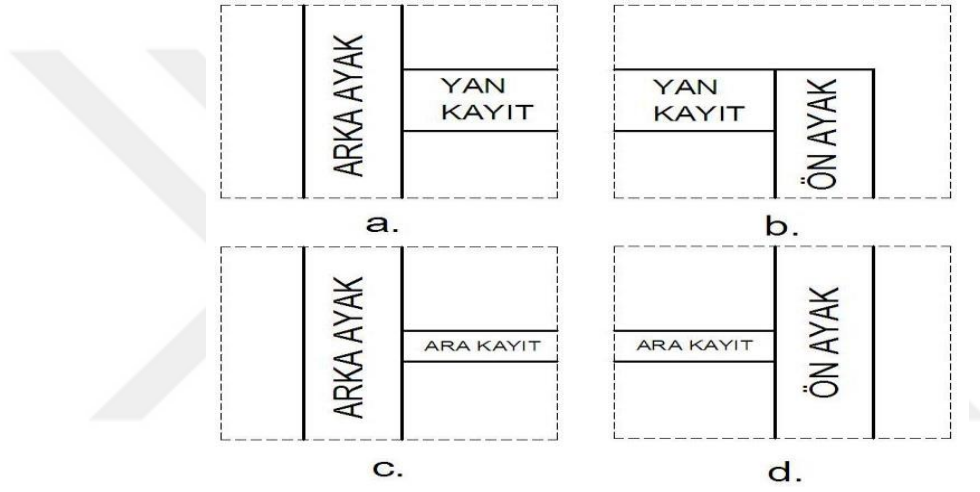
F₁ : Yaklaşık olarak maksimum kuvvetin % 10'u (N)

F₂ : Yaklaşık olarak maksimum kuvvetin % 40'ı (N)' dır.

Δf : (F₂ - F₁) kuvvet artışları nedeniyle deney parçası uzunluğunun ortasında meydana gelen sehim artışıdır.

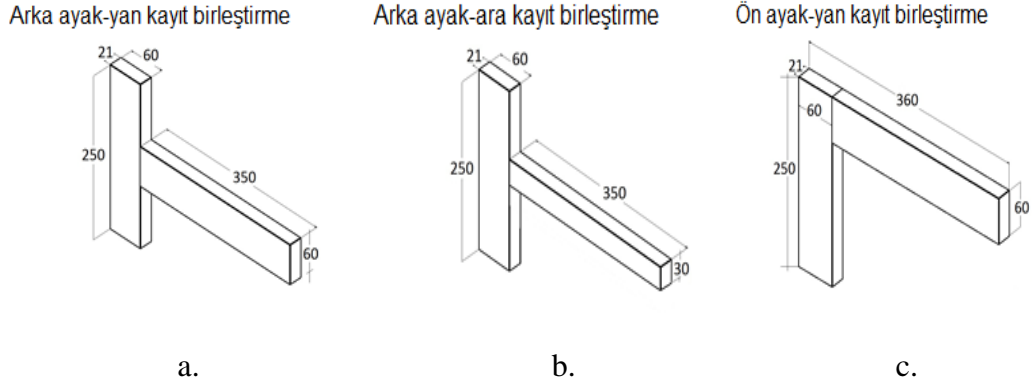
3.4.5. T-tipi ve L-tipi deney örneklerinin hazırlanması

Çalışma kapsamında, sandalye yan çerçeve birleştirmelerinin yarı rijitlik katsayılarının (yay sabiti değeri) belirlenmesi amacıyla, her iki ağaç malzemeden olmak üzere, yan çerçevelerdeki her bir sandalye birleştirmesini tekil olarak temsil edecek T-tipi ve L-tipi zıvanalı birleştirme mukavemet elemanları hazırlanmıştır. 10 sarıçam 10 Doğu kayını olmak üzere 20 adet T-tipi arka ayak – yan kayıt (Şekil 3.6.a) birleştirme elemanları, aynı şekilde 20 adet T-tipi arka ayak – ara kayıt (Şekil 3.6.c, 3.6.d) birleştirme elemanları ve yine aynı şekilde 20 adet de L-tipi ön ayak – yan kayıt birleştirme elemanları (Şekil 3.6.b) hazırlanmıştır.



Şekil 3.6. Sandalye yan çerçeve birleştirmelerini temsil eden T-tipi ve L-tipi elemanlar

T-tipi ve L-tipi elemanların yapıştırılmasında, tutkal üretici firma, önerilerine uyularak $150 \pm 10 \text{ g/cm}^2$ hesabıyla sürülmüştür. Deney örneği parçalar birleştirildikten sonra mengene yardımı ile sıkılmış ve 2 saat sıkılı vaziyette kurumaya bırakılmıştır. Hazırlanan deney örnekleri için kullanılan tutkalın kurummasını tam olarak tamamlamasını sağlamak için 3 hafta bekletilerek deneylere alınmamış, rutubet farklılıklarının giderilmesi amacıyla $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık % 65 ± 3 bağıl nem şartlarındaki iklimlendirme dolabında değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmişlerdir. T-tipi ve L-tipi deney örneklerinin şekli ve ayrıntılı ölçüleri Şekil 3.7.a, b ve c' de sırasıyla verilmiştir. Rutubet kontrolü TS 2471' deki esaslara göre yapılmıştır. T-tipi ve L-tipi deney örneklerinin şekli ve ölçüleri Şekil 3.7.a, b ve c' de sırasıyla verilmiştir.



Şekil 3.7. T-tipi (a, b) ve L-tipi (c) deney örnekleri ve ölçüleri (mm)

3.5. Deney Sandalyelerinin Hazırlanması

Deney örneği olarak, 2 ağaç türü, 4 yükleme yönü ve her örnekten 5 adet olmak üzere toplam 40 adet çalışmanın birinci aşaması için, 40 adet de çalışmanın ikinci aşaması için olmak üzere toplam 80 adet 1/1 ölçekli deney sandalyesi geleneksel yöntemler ile (atölye tipi) üretilmiştir. Deney sandalyelerini içeren deneme deseni Çizelge 3.1.' da verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan deneme deseni

Ağaç Türü	Yükleme Yönü	Mevcut Deney Sandalyesi	Optimize Deney Sandalyesi
Sarıçam	Önden Arkaya Yükleme	5	5
	Arkadan Öne Yükleme	5	5
	Yanal yükleme	5	5
	Arkalığa önden arkaya yükleme	5	5
Doğu Kayını	Önden Arkaya Yükleme	5	5
	Arkadan Öne Yükleme	5	5
	Yanal yükleme	5	5
	Arkalığa önden arkaya yükleme	5	5
Toplam		40 Mevcut sandalye	40 Optimize sandalye
		80 Deney örneği sandalye	

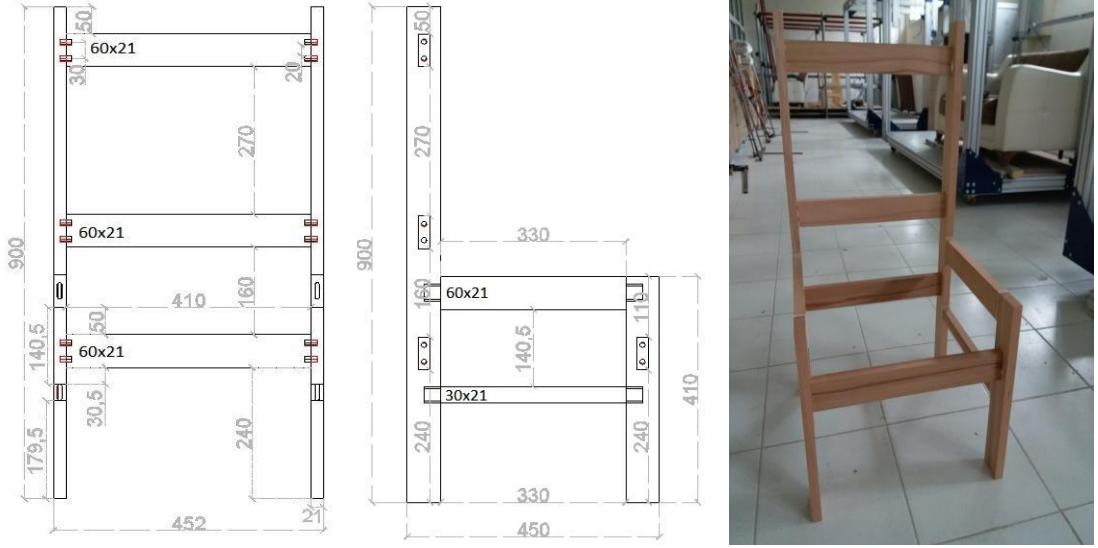
Deney sandalyelerinin hazırlanması amacı ile temin edilen ağaç malzemeler kaba ölçülerinde biçildikten sonra güneş ışığı almayan, havalandırılabilen bir ortamda istiflenmiş ve yaklaşık 3 ay süre ile istifte bekletilmişlerdir. Böylece masif ağaç malzemelerin yaklaşık hava kurusu ($r \approx \%12$) rutubete ulaşmaları sağlanmıştır. Daha sonra, sandalyeyi oluşturacak olan tüm elemanlar önce planya makinesinde rendelenmiş, daha sonra kalınlık makinesinde net kalınlık ölçülerine düşürülmüş, son olarak da daire testere makinesinde genişlikleri ve her elemanın boyu tam ölçüsünde olacak şekilde net ölçülerine getirilmişlerdir. Elde edilen sandalye elemanlarının içerisinde alt ara kayıt dışındaki tüm elemanların kesitleri eşit ölçülerdedir. Mevcut sandalye ölçüleri belirlenirken, piyasa uygulamalarında genellikle tercih edilen ortalama kesit ölçüleri dikkate alınmıştır. Mevcut sandalye iskeletini oluşturan tüm parçaların listesi ve ölçüleri Çizelge 3.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Mevcut sandalye iskeletini oluşturan elemanların ölçüleri

Eleman Adı	Boy (mm)	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)
Ön ayak	410	60	21
Arka ayak	900	60	21
Yan kayıt	330	60	21
Alt ara kayıt	330	30	21
Ön kayıt	410	60	21
Arka kayıtlar	410	60	21
Üst kayıt	410	60	21

Montaj işlemlerinde zıvanaların ve kavelaların yapıştırılmasında PVAc tutkallı kullanılmıştır. (Polisan, 1996). Deney sandalyelerinin konstrüksiyonunda, piyasadaki yaygın uygulamalara göre yan çerçevelerinin oluşturulmasında ön ayak – yan kayıt, arka ayak – yan kayıt birleştirmelerinde 40 x 40 ölçülerinde zıvanalı birleştirmeler uygulanmıştır. Ön ayak – alt ara kayıt ve arka ayak – alt ara kayıt birleştirmelerinde ise 30 x 30 mm ölçülerinde zıvanalı birleştirmeler uygulanmıştır. Dörtleme işlemlerinde, (ön ayak – ön kayıt, arka ayak – arka kayıt, arka ayak–arkalık ve arka ayak – arkalık ara kayıt birleştirmeleri) 10 mm çapında ve 35 mm boyunda yivli gövdeli 2 adet Doğu kayını kavela ile bağlantı yapılmıştır.

Kavela eksenlerinin kayıt kesitine göre kenardan uzaklığı 15 mm, iki kavela eksenleri arasındaki mesafe ise 30 mm alınmıştır. Kavela delikleri, kavelanın çakıldığı elemanda 20 mm, karşı elemanda ise 15 mm derinlikte olacak şekilde ayarlanmıştır. Hazırlanan deney sandalyelerin net resmi ve ölçüleri Şekil 3.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Çalışmada kullanılan deney sandalyesinin ölçüleri ve görünüşleri

Çalışma kapsamında hazırlanan ve deneylere alınmak üzere bekletilen Doğu kayını ve sarıçam sandalyelerin bir grubu Şekil 3.9’ da gösterilmiştir.

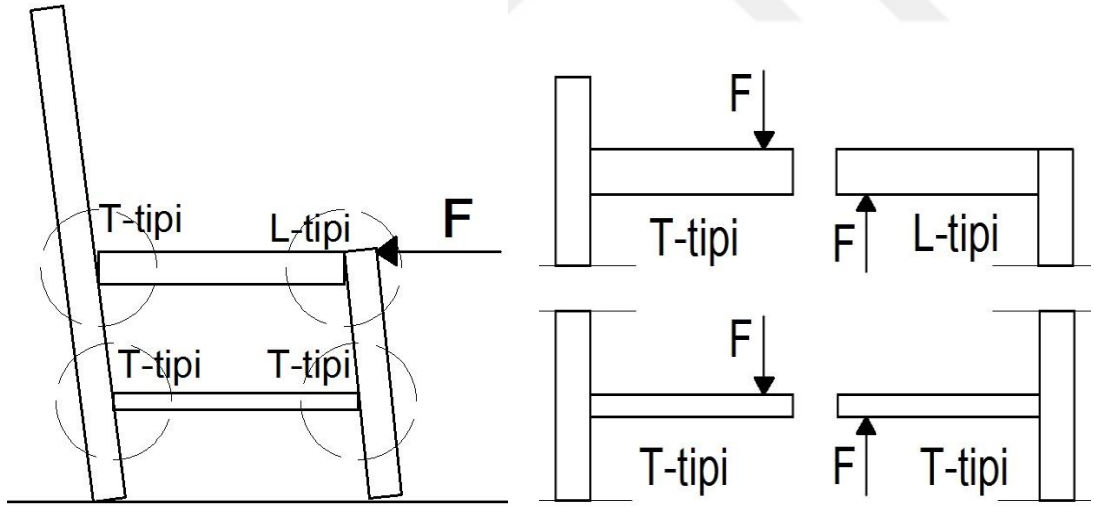


Şekil 3.9. Bir grup Doğu kayını ve Sarıçam deney sandalyeleri

3.6. Deneylerin Yapılışı

3.6.1. T-tipi ve L-tipi birleştirmelerin statik testleri

T-tipi ve L-tipi yan çerçeve birleştirme mukavemet elemanlarının eğilme deneyleri, deney sandalyelerinin önden arkaya, arkadan öne ve arkalığa önden arkaya yüklemeye maruz kaldıkları zorlanma biçimini temsil edecek şekilde deneylere alınmışlardır. Bu testlerde, birleştirmelerin yük-yer değiştirme ilişkileri incelenerek, her bir birleştirmeye ait elastikiyet (yay sabiti) değerleri belirlenmiş ve sandalye birleştirmelerinin yapısal analiz programına tanıtılmasında bu değerler kullanılmıştır. Elde edilen elastikiyet değerleri birleştirmelerin yarı rijitlik katsayıları olarak kullanılmıştır. Burada, sandalye birleştirmelerinin yapısal analiz programına yarı rijit olarak tanımlanması ile yapısal analizlerden daha doğru sonuçlar alınması hedeflenmiştir. Özellikle, birleştirme testlerinde her bir birleştirmelerin elastikiyetinden elde edilecek olan yarı rijitlik katsayıları (yay sabiti değerleri) yapısal analizlerden alınacak moment dağılımının gerçekçi olması açısından son derece önemlidir.



Şekil 3.10. Önden arkaya yükleme deneylerdeki yan çerçeve birleştirmelerin tipik deformasyonu ve birleştirmelere gelen etkileri

Deneyler 5 ton kapasiteli üniversal test cihazında ve basınç kolonunda 2 mm/dak hız sağlanan statik yüklemeler ile gerçekleştirilmiştir. Deney kuvveti birleştirme yüzeylerinden 300 mm uzaklıktan uygulanmıştır. Bir başka ifadeyle moment kolu 300 mm' dir. Birleştirmelerin mekanik davranışını ve elastikiyetini ölçmek amacıyla düşey

yöndeki yer değiştirme miktarları ölçülmüştür. Daha sonra yük – yer değiştirme diyagramı çizdirilerek birleştirmenin mekanik davranışı belirlenmiş, ayrıca göçme anındaki maksimum kuvvet (F) ve maksimum uzama (y) (mm) verilerinden yararlanılarak birleştirmelerde kuvvetin etkisiyle oluşan momentin meydana getirdiği rotasyon açıları (ϕ) (rad) belirlenmiştir. Birleştirmelerin rijitlik katsayıları (k) (Nm/rad);

$$k = \frac{M}{\phi} \quad (\text{Nm/rad}) \quad (3.6)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır.

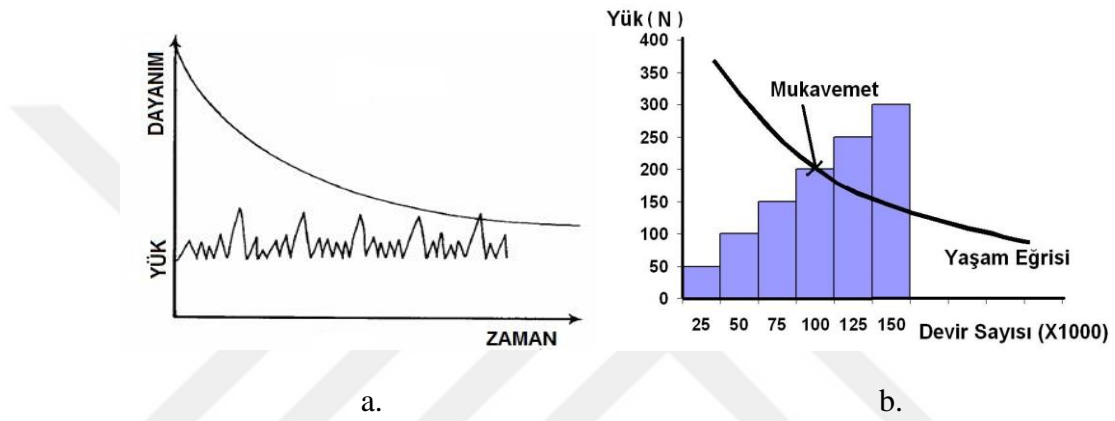
3.6.2. Deney sandalyelerinin devirli yükleme ile performans testleri ve sonuçların ALA yöntemine göre değerlendirilmesi

Hazırlanan deney sandalyeleri, devirli basamaklı artan yükleme metodu (cyclic stepped increasing loading method) ile “American Library Association” ALA (1982) raporunda belirtilen esaslara göre performans testlerine alınmıştır. Daha sonra deney sonuçları, döşemeli koltuk iskeletleri için geliştirilmiş olan bir deney yöntemine (ALA) göre değerlendirilmiş ve her grubun bu deney yönteminde önceden belirlenmiş olan hafif, orta ve ağır olmak üzere kabul edilebilir yük değerleri ile karşılaştırması yapılmıştır (ALA, 1982).

Bu test sisteminin metodolojisinde, kullanıcıların yük uygulama eylemlerini, bir başka ifadeyle koltukların gerçek kullanım şartlarını en rasyonel şekilde temsil eden “devirli basamaklı artan yükleme” metodu kullanılmaktadır. Gerçek kullanımlarda ürünler sistematik, standart veya belirli bir yükleme geçmişi içerisinde olmayıp yorulma sonucunda dayanımın aşıldığı noktada deformasyona uğramaktadır (şekil 3.11.a). Devirli basamaklı artan yükleme metodu ise, yaşam eğrisi ile zorlayıcı kuvvetlerin etkilerinin ilk kesişim noktası belirlenerek herhangi bir ürünün, gerçek yaşam süresi boyunca karşılaşacağı muhtemel zorlanmalara karşı gösterebileceği performansı en iyi şekilde simüle etmek üzere tasarlanmıştır (şekil 3.11.b). Sonuçta bu metot ile; sistematik olmayan yormaya dayalı yükleme geçmişi, sistematik bir şekilde devirli

basamaklı artan yükleme şeklinde temsil edilmektedir. Bu standart metotta her bir performans testi için kullanılan belirlenmiş kritik parametreler;

- Başlangıç yükü (N)
- Yük artış değeri (N)
- Her kademedeki devir sayısı (devir)
- Devir oranı (dev/dak)
- Toplam devir sayısı (devir)' dir.



Şekil 3.11. Gerçek kullanım koşullarında (a) ve devirli basamaklı artan yükleme metodunda (b) yaşam eğrisi ile ilk kesişim noktası

Devirli basamaklı artan yükleme metodunda, her bir performans testi önceden belirlenmiş olan bir yük değeri için her aşamada 25000 devir yük uygulanmakta ve devir oranı yaklaşık olarak 20 dev/dak alınmakta ve bu aşama tamamlandığında, yük değeri yine önceden belirlenmiş bir oranda arttırılarak birinci aşamadaki işlemler tekrarlanmaktadır. Test edilen bir mobilyanın performansı, 25000 devri başarıyla tamamlayan en büyük yük değeri olarak kabul edilir. Bu işlemler, kabul edilebilir tasarım yük değerlerine ulaşıncaya veya mobilyada herhangi bir açılma, kırılma vb. gibi deformasyonlar meydana gelinceye kadar devam ettirilmektedir (ALA 1982).

Doğu kayını ve sarıçam deney sandalyelerine, ALA standardında belirtilen test yöntemlerinden, önden–arkaya, arkadan–öne, yanal ve arkalığa önden–arkaya olmak üzere 4 farklı yönde yükleme yapılmıştır. Buna göre, çalışmanın ilk aşamasında 40 adet mevcut sandalye, optimizasyon işlemleri sonrasında da 40 adet optimize edilmiş sandalye olmak üzere toplam 80 adet 1/1 ölçülerde sandalye test edilmiştir.

ALA deney yönteminde, sandalye performans deneyleri için belirlenmiş olan kabul edilebilir yük değerleri Çizelge 3.3’ te, başlangıç yükleri ve yük artış değerleri ise Çizelge 3.4’ te verilmiştir. Bu deney yönteminde, “*hafif kullanımlar*” (ev içi) ve özel mekanlardaki kullanımları, “*orta kullanımlar*” çok yoğun olmayan büro vb. mekanlardaki kullanımları, “*ağır kullanımlar*” ise yoğun kullanımı olan hastane, okul, kütüphane, hava alanı, vb. mekanlardaki kullanımları temsil etmektedir.

Çizelge 3.3. Sandalye deneylerinde çeşitli kullanım düzeyleri için kabul edilebilir yük değerleri

DENEY TÜRÜ	Hafif (Ev içi) Kullanım	Orta Kullanım	Ağır Kullanım
	(N)	(N)	(N)
Önden Arkaya Yükleme	1334,4	1556,8	2001,6
Arkadan Öne Yükleme	1000,8	1445,6	1890,4
Yanal Yükleme	889,6	1112	1334,4
Arkalığa Önden Arkaya Yükleme	1334,4	2224	3113,6

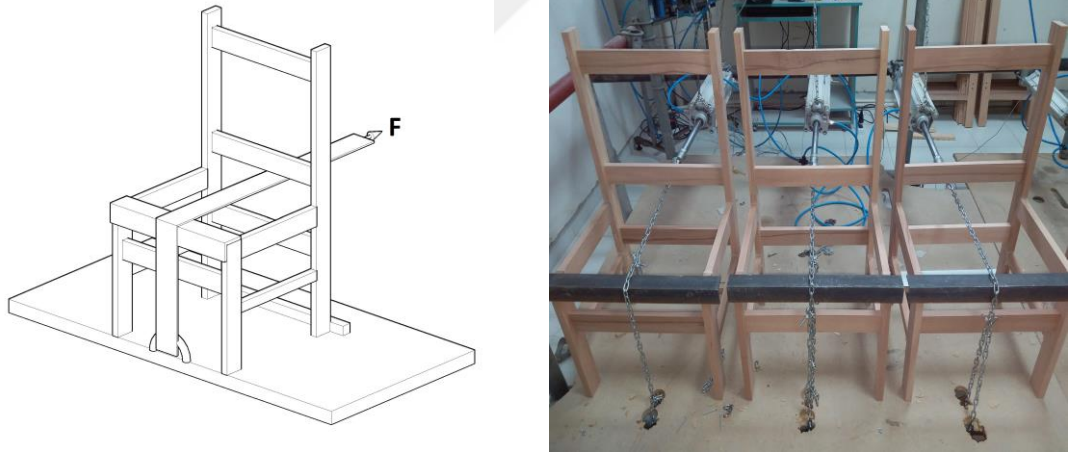
Çizelge 3.4. Sandalye performans deneylerinde başlangıç yükleri ile yük artış değerleri

Deney Türü	1.Aşama		2.Aşama	
	Başlangıç Yükü (N)	Yük Artışı (N)	Devam eden yükleme (N)	Yük Artışı (N)
Önden Arkaya Yükleme	444,8	111,2	1112	222,4
Arkadan Öne Yükleme	444,8	111,2	1000,8	222,4
Yanal Yükleme	222,4	111,2	1112	222,4
Arkalığa Arkadan Öne Yükleme	889,6	444,8	-	-

3.6.2.1. Önden arkaya yükleme testi

Bu test yöntemi, sandalye oturma çerçevesi sisteminin bir kayış yardımı ile önden arkaya doğru çekilerek zorlanmasını ve bu yüklemenin sandalyede kalıcı deformasyon, birleştirme yerlerinde açılma, elemanlarda kırılma vb. oluncaya kadar devam ettirilmesini konu almaktadır (Şekil 3.12). Bu testin amacı yan çerçevelerdeki birleştirmelerin mukavemetinin test edilmesidir. Yan çerçevedeki birleştirmelerde, tutkal kullanımının uygunluğu, miktarı, uygulanan birleştirme konstrüksiyonlarının tekniğine uygun yapılıp yapılmadığının anlaşılmasını sağlayacak bir testtir. Bu yükleme biçimi, kullanım sırasında sandalyede oturma ve aynı anda arkaya yaslanma eylemini temsil eder.

Deneyleerde dakikada 20 devir olacak şekilde arkadan öne yönünde ve yatay doğrultuda bir yükleme yapılmıştır. Deneyleere 444,8 N' luk bir yükleme ile başlanmış olup, her başarılı tamamlanan 25000 devir sonrası yük değeri 111,2 N arttırılmak sureti ile testlere devam edilmiştir. Her tamamlanan 1112 N' luk yük değeriinden sonra, yük artışı değeri 112,2 N' dan 224,4 N' a çıkarılmıştır (ALA, 1982; Eckelman, 1999).



Şekil 3.12. Önden arkaya yükleme performans testi

Deney düzeneğinde, Şekil 3.12.' de görüldüğü gibi, prototip deney sandalyesinin arka ayaklarının arka kısmına, sandalyenin arkaya doğru kaymasını engellemek amacıyla destek parçaları yerleştirilmiştir. Önden arkaya yükleme, pistonla kilitli bir şekilde tutturulmuş bir kayış (zincir) yardımıyla yapılacak olup, çekme yükünü uygulayacak pistonla bağlı olan yükleme kayışı, sandalyenin genişlik yönünde tam ortasında yer almıştır. Deneyleerde yüklemeler sandalye elemanlarında kırılma, birleştirme yerlerinin

açılması vb. gibi aşırı deformasyon hali oluşup, yük taşıma özelliği kayboluncaya kadar bu sistemde arttırılarak devam ettirilmiş ve sandalyenin kırıldığı andaki devir sayısı ve yük değeri sandalyenin yaşam ömrü olarak kaydedilmiştir. Elde edilen mukavemet değeri, ALA' da verilen hafif, orta ve ağır kabul edilebilir tasarım yükleri de dikkate alınarak karşılaştırma yapılmıştır. ALA' de verilen hafif, orta ve ağır kabul edilebilir servis yükleri sırasıyla 1334,4 N, 1556,8 N ve 2001,6 N' dur (ALA, 1982; Eckelman, 1999).

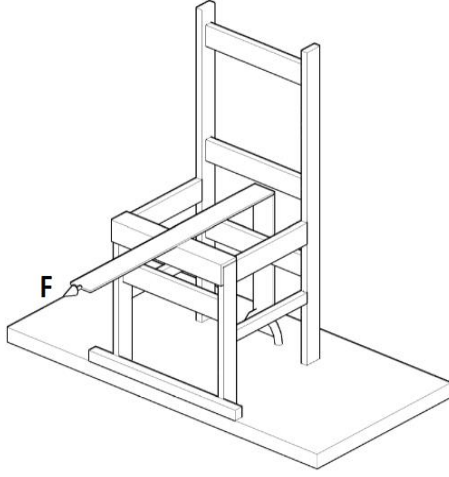
Geçmiş yıllarda Amerika'da, kütüphanelerde öğrenciler tarafından kullanılan sandalyeler için yapılmış araştırmaların sonuçlarına göre, bu yükleme sisteminde 1112 N' luk değer altında performans gösteren sandalyelerin birinci yıl sonucunda kullanılmayacak kadar deformasyonlara uğradıkları tespit edilmiştir. Ev sandalyelerinin performansının incelenmesi için yapılmış olan araştırmalar çok sınırlı sayıdadır. Sınırlı sayıda yapılan araştırmaların bazılarında, ev içi kullanım sandalyeleri için 889,6 N luk bir değer tatmin edici olduğu, 1000,8 N luk bir değer de fast food restoranlardaki kullanımlar için yeterli olduğu bildirilmiştir (ALA, 1982; Eckelman, 1999).

3.6.2.2. Arkadan öne yükleme testi

Bu test yöntemi, sandalye oturma çerçevesi sisteminin arkadan öne doğru itilerek zorlanmasını ve bu yüklemenin sandalyede kalıcı deformasyon, birleştirme yerlerinde açılma, elemanlarda kırılma vb. oluncaya kadar devam ettirilmesini konu almaktadır. Bu testin amacı, önden arkaya yükleme testinde olduğu gibi, yan çerçevelerdeki birleştirmelerin mukavemetinin test edilmesidir. Yükleme yönünün değiştirilmesi halinde, yan çerçevedeki birleştirmelerde, tutkal kullanımının uygunluğu, miktarı, uygulanan birleştirme konstrüksiyonlarının tekniğine uygun yapıp yapılmadığının anlaşılmasını sağlayacak bir testtir. Bu yükleme biçimi, kullanım sırasında sandalyede oturma ve aynı anda öne doğru eğilme, öne doğru hareket etme, arkaya doğru sandalyenin ön ayaklarını yerden kaldıracak şekilde yaslanma ve aniden öne bırakma vb. gibi eylemleri temsil etmektedir.

Deneyleerde dakikada 20 devir olacak şekilde arkadan öne yönde ve yatay doğrultuda bir yükleme yapılmıştır (Şekil 3.13). Deneyleere 444,8 N' luk bir yükleme ile başlanacak olup, her başarılı tamamlanan 25000 devir sonrası yük değeri 111,2 N

arttırılmak suretiyle testlere devam edilmiştir. Her tamamlanan 1000,8 N' luk yük değerinden sonra, yük artışı değeri 111,2 N' dan 222,4 N' a çıkarılmıştır (ALA, 1982; Eckelman, 1999).



Şekil 3.13. Arkadan öne yükleme performans testi

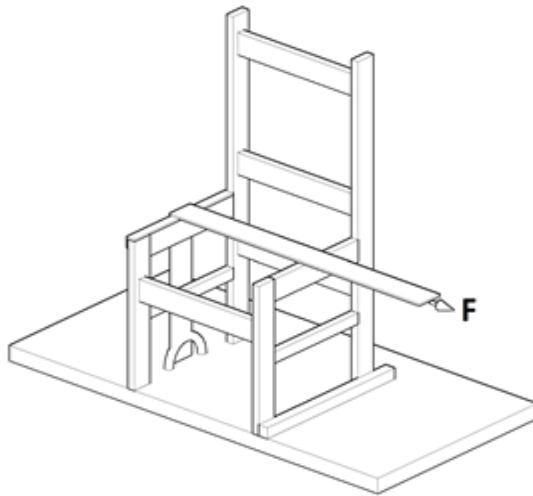
Deney düzeneğinde, Şekil 3.13' te görüldüğü gibi, prototip deney sandalyesinin ön ayaklarının ön alt kısmına, sandalyenin öne doğru kaymasını engellemek amacıyla destek parçaları yerleştirilmiştir. Arkadan öne yükleme, pistonla kilitli bir şekilde tutturulmuş bir zincir yardımıyla yapılmış olup, çekme yükünü uygulayacak pistonla bağlı olan yükleme zinciri, sandalyenin genişlik yönünde tam ortasında yer almıştır. Deneylede yüklemeler sandalye elemanlarında kırılma, birleştirme yerlerinin açılması vb. gibi aşırı deformasyon hali oluşup, yük taşıma özelliği kayboluncaya kadar bu sistemde arttırılarak devam ettirilecek ve sandalyenin kırıldığı andaki devir sayısı ve yük değeri sandalyenin yaşam ömrü olarak kaydedilmiştir (ALA, 1982; Eckelman, 1999). Daha sonra bu değerler 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 1000,8 N, 1445,6 N ve 1890,4 N' dur (ALA, 1982; Eckelman, 1999).

3.6.2.3. Yanal yükleme testi

Bu test yöntemi, sandalye oturma çerçevesi sisteminin yana doğru itilerek zorlanmasını ve bu yüklemenin sandalyede kalıcı deformasyon, birleştirme yerlerinde açılma, elemanlarda kırılma vb. oluncaya kadar devam ettirilmesini konu almaktadır

(Şekil 3.14). Bu testin yönteminde esas olan, sandalyenin yanal yöndeki zorlayıcı kuvvetlere karşı göstereceği performansın belirlenmesidir. Bu tür yüklemelerle, sandalye kullanıcıların herhangi bir sebeple yana doğru eğilmesi, uzanması veya özellikle yan taraflarındaki bir kişi ile sohbet etme esnasında kolçağa doğru yaslanarak sandalyeyi yanal yönde zorlaması gibi eylemlerde karşılaşılır. Bu testin amacı yan çerçeveleri birbirine bağlayan elemanların (ön kayıt, arka kayıt, ara kayıtlar) birleştirme yerlerinin mukavemetinin test edilmesidir. Bu test yöntemi, anılan birleştirmelerde, tutkal kullanımının uygunluğu, tutkal miktarı, uygulanan birleştirme konstrüksiyonlarının tekniğine uygun yapıp yapılmadığının anlaşılmasını sağlayacak bir testtir.

Deneylede dakikada 20 devir olacak şekilde yanal yönde ve yatay doğrultuda bir yükleme yapılmıştır. Deneylede 222,4 N' luk bir yükleme ile başlanmış olup, her başarılı tamamlanan 25000 devir sonrası yük değeri 111,2 N arttırılmak suretiyle testlere devam edilmiştir. Her tamamlanan 1112 N' luk yük değerinden sonra, yük artışı değeri 111,2 N' dan 222,4 N' a çıkarılmıştır (ALA, 1982; Eckelman, 1999).



Şekil 3.14. Yanal yükleme performans testi

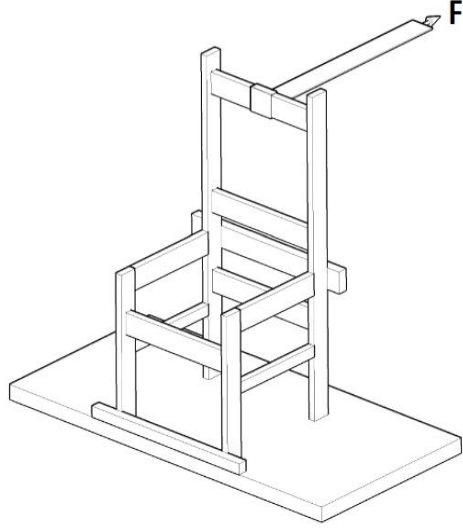
Deney düzeneğinde, Şekil 3.14' te görüldüğü gibi, deney sandalyesinin yan alt kısmına, sandalyenin yana doğru kaymasını engellemek amacıyla destek parçaları yerleştirilmiştir. Yanal yükleme, pistonla kilitli bir şekilde tutturulmuş bir zincir yardımıyla yapılacak olup, çekme yükünü uygulayacak pistonla bağlı olan yükleme zinciri sandalyenin derinlik yönünde tam ortasında yer almıştır. Deneylede

yüklemeler sandalye elemanlarında kırılma, birleştirme yerlerinin açılması vb. gibi aşırı deformasyon hali oluşup, yük taşıma özelliği kayboluncaya kadar bu sistemde arttırılarak devam ettirilmiş ve sandalyenin kırıldığı andaki devir sayısı ve yük değeri sandalyenin yaşam ömrü olarak kaydedilmiştir (ALA, 1982; Eckelman, 1999). Daha sonra bu değerler ALA' da verilen hafif, orta ve ağır kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmıştır. ALA' de verilen hafif, orta ve ağır kabul edilebilir servis yükleri sırasıyla 889,6 N, 1112 N ve 1334,4 N' dur.

3.6.2.4. Arkalığa önden arkaya yükleme testi

Önden arkaya yönde yapılan arkalık çekme deneyi yöntemi, sandalye arkalık sisteminin önden arkaya doğru itilerek zorlanmasını konu almaktadır. Bu testin amacı, arkalık bölümünün kullanım sırasında etkisinde kalabileceği arkaya yaslanma eylemini temsil eden yüklere karşı mukavemetinin test edilmesidir. Önden arkaya arkalık çekme testinin genel konfigürasyonu Şekil 3.15' te verilmiştir. Her aşamadaki devir sayısı 25000 olarak uygulanmış ve devir oranı 20 dev/dak olarak alınmıştır. Deneylere 889,6 N' luk bir yükleme ile başlanmış olup, her başarılı tamamlanan 25000 devir sonrası yük değeri 444,8 N arttırılmak suretiyle testlere devam edilmiştir.

Deney düzeneğinde, deney sandalyesinin arka ayak – yan kayıt birleştirme noktalarının arka kısmına ve ön ayakların ön kısmına sandalyenin arkaya doğru devrilmesini engellemek amacıyla destek parçaları yerleştirilmiştir. Önden arkaya arkalık çekme yüklemesi, hava silindirlerine (piston) kilitli bir şekilde tutturulmuş bir zincir yardımıyla yapılmış olup, çekme yükünü uygulayacak pistonu bağlı olan yükleme zinciri, sandalyenin genişlik yönünde tam ortasına, yükseklik yönünde ise yaklaşık oturma yüzeyinden 280 mm yukarıda olacak şekilde yerleştirilmiştir (ALA, 1982; Eckelman, 1999).



Şekil 3.15. Arkalığa önden arkaya performans testi

Deneylerde yüklemeler sandalye elemanlarında kırılma, birleştirme yerlerinin açılması vb. gibi aşırı deformasyon hali oluşup, yük taşıma özelliği kayboluncaya kadar bu sistemde arttırılarak devam ettirilmiş ve sandalyenin kırıldığı andaki 25000 devri başarıyla tamamlayan en büyük yük değerleri ve devir sayıları sandalyenin yaşam ömrü olarak kaydedilmiştir. Daha sonra da bu performans değeri, standartta hafif, orta ve ağır hizmet kullanımları için önceden belirlenmiş olan kabul edilebilir tasarım yük değerleri ile karşılaştırılmak suretiyle dayanıklılık konusunda değerlendirmeler yapılmıştır. Bu deney yönteminde, “hafif servis” (1334,4 N) ev içi ve özel mekânlardaki kullanımları, “orta kullanımlar” (2224 N) çok yoğun olmayan büro vb. mekânlardaki kullanımları, “ağır kullanımlar” (3113,6 N) ise yoğun kullanımı olan hastane, okul, kütüphane, restoran, hava alanı vb. mekânlardaki kullanımları temsil etmektedir (ALA, 1982; Eckelman, 1999).

3.7. Deney Sandalyelerin Bilgisayar Destekli Yapısal Analizi

Deney sandalyeleri, statik bilimine göre belirlenemeyen (hiperstatik, fazla bağlı) üç boyutlu çerçeve sistemlerdir. Diğer bir deyişle, bu sistemlerin statığın genel denge formülleri ile çözümünü mümkün değildir. Bu nedenle, deney sandalyelerinin bilgisayar destekli üç boyutlu yapısal çözümleri için sonlu elemanlar metoduyla çalışan bir yazılım olan RISA-3D (Rapid Interactive Structural Analysis) programından

yararlanılmıştır (RISA, 2000). Bu analiz programı sayesinde; mesnet noktalarında meydana gelen tepki kuvvetleri, sistemi oluşturan tüm elemanlardaki aksel (basınç-çekme) kuvvetler, üç yöndeki (X,Y,Z) kesme ve moment kuvvetleri, ayrıca elemanlarda kesit özelliklerine göre oluşan çekme, basınç gerilmeleri, yine üç yöndeki kesme ve eğilme gerilmeleri elde edilmiştir. Ayrıca bu programda, her noktanın yer değiştirme ve sistemin genel yer değiştirme karakteristiği de bulunabilmektedir.

Sonlu elemanlar yöntemi fizik ve mühendislikte karşılaşılan birçok problemin çözümünde kullanılan en yaygın ve etkin sayısal yöntemlerden biridir. Yöntem karmaşık yapıların, üzerinde hesaplama yapılabilecek daha küçük yapılar ile modelleme esasına dayanır. Bu fikri günlük hayatta da birçok uygulamada kullanılmaktadır. Örneğin bir eğrinin boyu hesaplanmak istenirse ya da bir dairenin, çevre formülü kullanmadan çevresi hesaplanmak istenirse eğri üzerinde, boyu hesaplanabilen düz doğrular çizilip bunlar toplanabilir. Bu yöntemle belli bir doğrulukta eğrinin boyu hesaplanmış olur. Kullanılan düz çizgilerin boyu ne kadar küçük olursa o kadar gerçeğe yakın sonuç elde edilir. Çizgilerin hepsinin boyunun eşit olması şart da değildir. Önemli olan onların toplamıdır. Ayrıca dar köşelerde düz çizginin boylarının küçültülmesi daha hızlı bir hesaplama ve daha hassas bir sonucu elde etmek için iyi bir strateji olur (Çayiroğlu, 2014).

Analizlerde, tüm sandalye iskeletleri gerçekte olduğu gibi üç boyutlu çerçeveler olarak hesaba alınmışlardır. Sandalye sistemini oluşturan tüm yapısal elemanlar doğrusal elastik kiriş (linear elastic beam) olarak işlem görmüştür. Bir başka ifadeyle, tüm elemanlar aksel kuvvet, kesme kuvveti ve moment taşıma kabiliyetindedir. Sandalye iskeletinin yapısal analizi için izlenen genel aşamaları şu şekilde özetlenebilir;

a. Genel Ayarlar (Global)

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

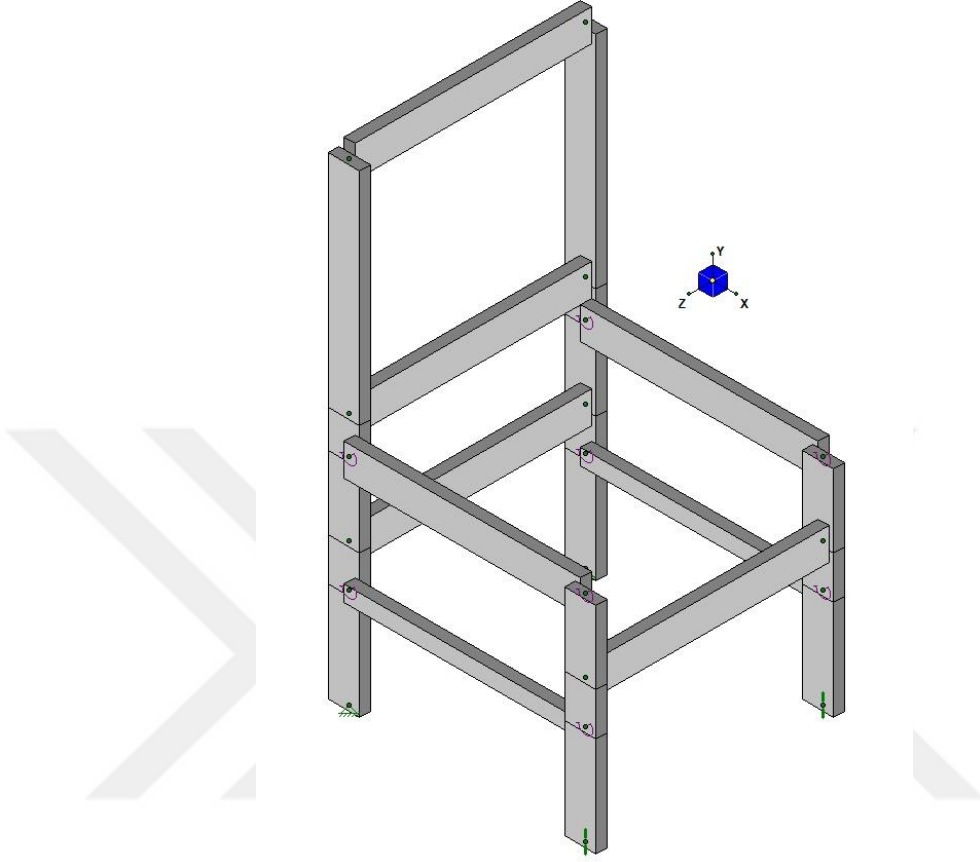
b. Model Aşaması (Modeling)

- Çizim alanının ve ölçeğinin ayarlanması (Drawing grid)
- Deneysel 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 özelliklerini 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 (Nodes)
- f. *Çözüm Aşaması (Solution)*
 - Mesnet noktalarının ve mesnet tiplerinin belirlenmesi (Boundary conditions)
 - Deney yüklerinin birleşim noktalarından uygulanması (Joint loads)
 - Sistemin çözümünün yapılması (Solve)
- g. *Sonuçların Alınması*
 - 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 genel yer değiştirmiş biçiminin çizilmesi (Deflected shape)

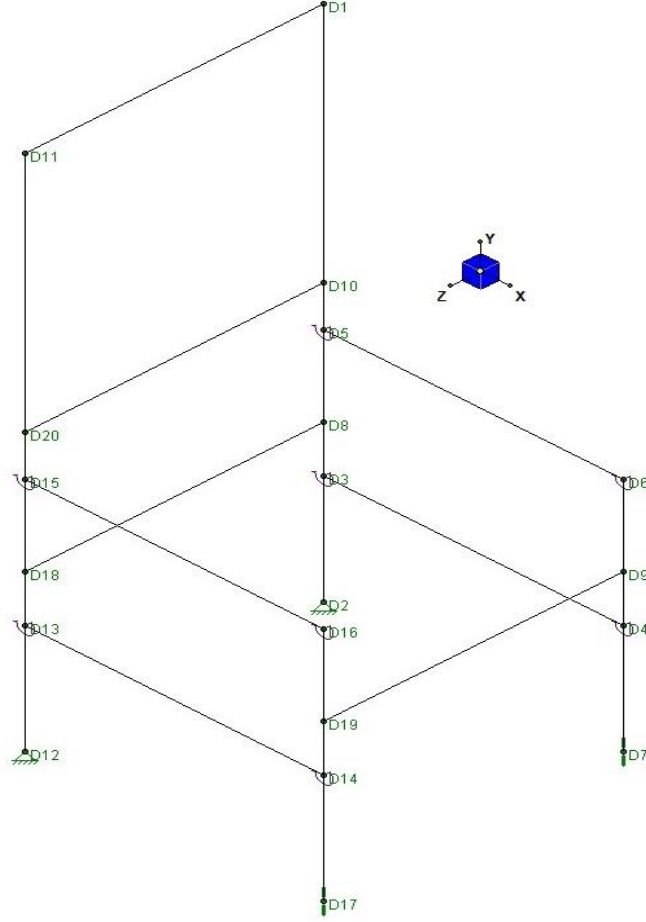
Genel ayarlar bölümünde, birim sistemi standart metrik olarak ve SI (standard international) birimleri dikkate alınarak ayarlanmıştır. Etkiyen kuvvetlerin analizi ve diyagramların çizilebilmesi için, sistemi oluşturan her eleman üç eşit parçaya bölünmüştür. Koordinat sisteminde, (Y) eksenini düşey, (X) eksenini yatay ve (Z) eksenini de derinlik boyutu olacak şekilde düzenlenmiştir.

Öncelikli olarak sandalye iskeletlerinin çizim alanı ayarlanmış ve sandalye iskeletlerinin üç boyutlu çizimleri yapılmıştır. Deney sandalyesine ilişkin sonlu elemanlar modeli Şekil 3.16.' da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Deney sandalyesinin üç boyutlu sonlu elemanlar modeli

Her eleman, gerçekte de olduğu gibi ayrı ayrı çizilmiş, daha sonra elemanların birbirine tutturulması işlemi (merge) ile çerçeve sistemi bir bütün haline getirilmiştir. Her yükleme yönü ve deney malzemesi için deney sandalyeleri ayrı ayrı çizilmiş ve her grup için ayrı bir dosya oluşturulmuştur. Diğer bir deyişle, mevcut Doğu kayını ve Sarıçam malzemelere göre ayrı ayrı olacak şekilde, önden arkaya yükleme için 2, arkadan öne yükleme için 2, arkalığa önden arkaya yükleme için 2 olmak üzere toplam 6, optimize Doğu kayını ve Sarıçam malzemeler için de ayrı ayrı olacak şekilde toplam 6 dosya oluşturulmuştur. Elemanların birbirine tutturulması sırasında, her birleştirme noktasına program tarafından bir kod atanmıştır. Oluşturulan sandalye modeline ilişkin uç (node) noktaları Şekil 3.17.' de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Sandalye modelinin uç noktaları (D1, D2, D3, D4.....D20: elemanların düğüm noktaları ve mesnet noktalarıdır)

Yapısal analizler için malzemelerin tanımlanması aşamasında, sandalye iskeletlerinin yapılmış oldukları malzemelerin bazı teknolojik özelliklerinin programa girilmesi gerekmektedir. Programa girilen bu özelliklerden bazıları deneyler sonucunda elde edilmiş, bazıları da kaynaklardan alınmıştır (USDA, 1987). Malzemeleri tanımlamak amacıyla programa girilen bu özellikler Çizelge 3.5’ de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Deney malzemelerinin programa girilen teknolojik özellikleri

Malzeme	Elastikiyet Modülü (E) (N/mm ²)	Rijitlik (Kayma) Modülü (G) (N/mm ²)	Poisson Oranı (μ)	Isı İletkenliği Katsayısı (kcal/mh°C)	Yoğunluk (g/cm ³)	Eğilme Direnci (σ_e) (N/mm ²)
Doğu Kayını	12500	4807	0,3	0,54	0,63	120
Sarıçam	11000	4230	0,3	0,54	0,48	90

Elemanların, tanımlanmasında, mobilya sistemini oluşturan elemanların kesit yapıları ile ilgili özellikler tanımlanmıştır. Bu özellikler, kesit alanı, (Y) ve (Z) eksenlerine göre eylemsizlik (atalet) momenti değerleri, kesme gerilmeleri için form katsayıları ve elemanların dönme eylemsizlik sabiti (torsiyonel sabite) değerleridir. Dönme eylemsizlik sabiti değerlerinin hesaplanmasında dikdörtgen kesitli elemanlar için aşağıdaki formülden yararlanılmıştır (Beer ve Johnston,1987).

$$J = (U/2 \times (K/2)^3) \times ((16/3) - 3.36 \times ((K/2) / (U/2)) \times (1 - ((K/2)^4 / (12 \times (U/2)^4)))) \quad (3.7)$$

J = Sırasıyla, dikdörtgen kesitli elemanlar için dönme eylemsizlik sabite değeri (mm⁴)

U = Uzun kenarın uzunluğu (mm)

K = Kısa kenarın uzunluğu (mm)

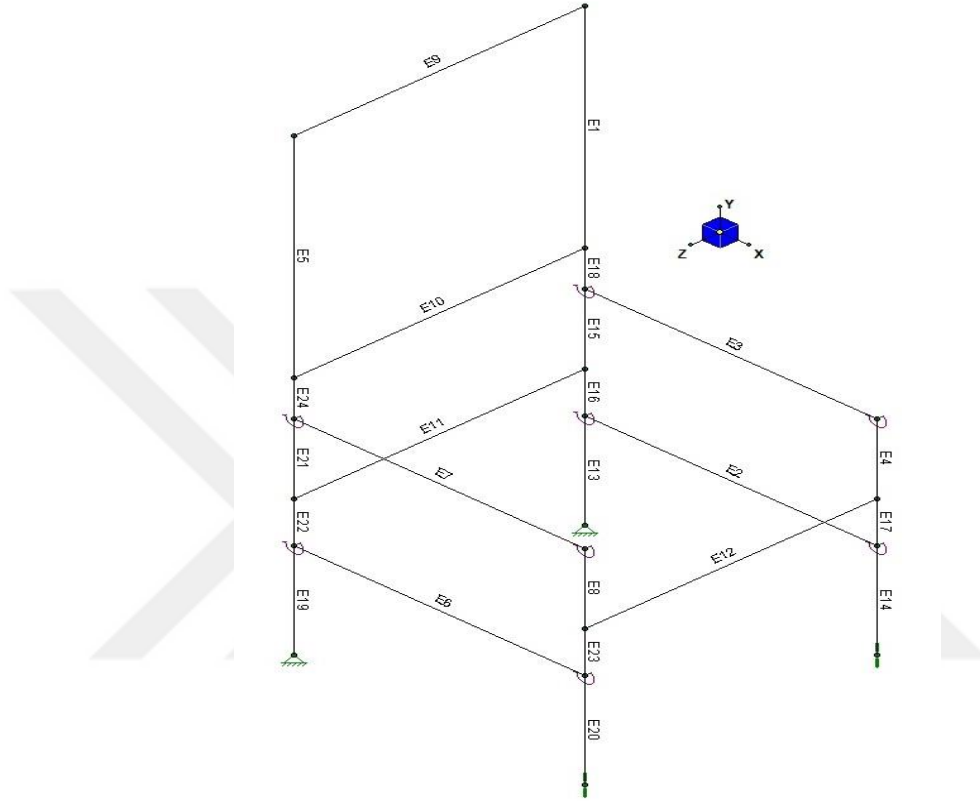
Deney sandalyelerini oluşturan elemanlardan alt ara kayıt dışındaki tüm elemanların (ayak-kayıt) kesit ölçüleri aynı, ancak üç boyutlu sistemdeki duruş pozisyonları farklıdır. Sistemin bütünü incelendiğinde 2 farklı kesit yapısına sahip eleman tipi bulunmaktadır. Alt ara kayıt elemanının kesit ölçüleri 30 x 21, diğer tüm elemanların ise 60 x 21 mm ölçülerindedir. Kesme gerilmeleri hesabında kullanılan form faktörü değeri her 2 eleman tipi için de 1,5 alınmıştır (Beer ve Johnston,1987). Elemanlar tipleri, ölçüleri ve bu elemanların kesit yapılarına ait özellikler Çizelge 3.6.'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Mevcut deney sandalyesini oluşturan elemanlar ve kesit özellikleri

Eleman Kesit Tipi	Alan (mm ²)	Eylemsizlik Momenti (I _{zz}) (mm ⁴)	Eylemsizlik Momenti (I _{yy}) (mm ⁴)	Kesme İçin Form Faktörü (S _{Ay}) (S _{Az})	Dönme Eylemsizlik Sabiti (J) (mm ⁴)
Ayak-kayıt tipi (60 x 21 mm)	1260	378000	46305	1,5	144430
Alt ara kayıt tipi (30 x 21 mm)	630	47250	23152,5	1,5	52586,2

Yapı analizi programı tarafından, sandalye iskelet sistemini oluşturan tüm elemanlara, sonuç çıktılarında elde edilen verilerin kolay bir şekilde yorumlanabilmesi amacıyla bir kod atanmıştır. Bu kodlar, Şekil 3.18.' de gösterilmiştir.

Niteliklerin elemanlara atanması bölümünde, bu ana kadar girilen tüm malzeme ve kesit özellikleri, her bir eleman için ayrı olarak atanmıştır.



Şekil 3.18. Sandalye modelini oluşturan elemanların kod numaraları (E1, E2, E3, E4...E24: Sistemi oluşturan elemanlardır)

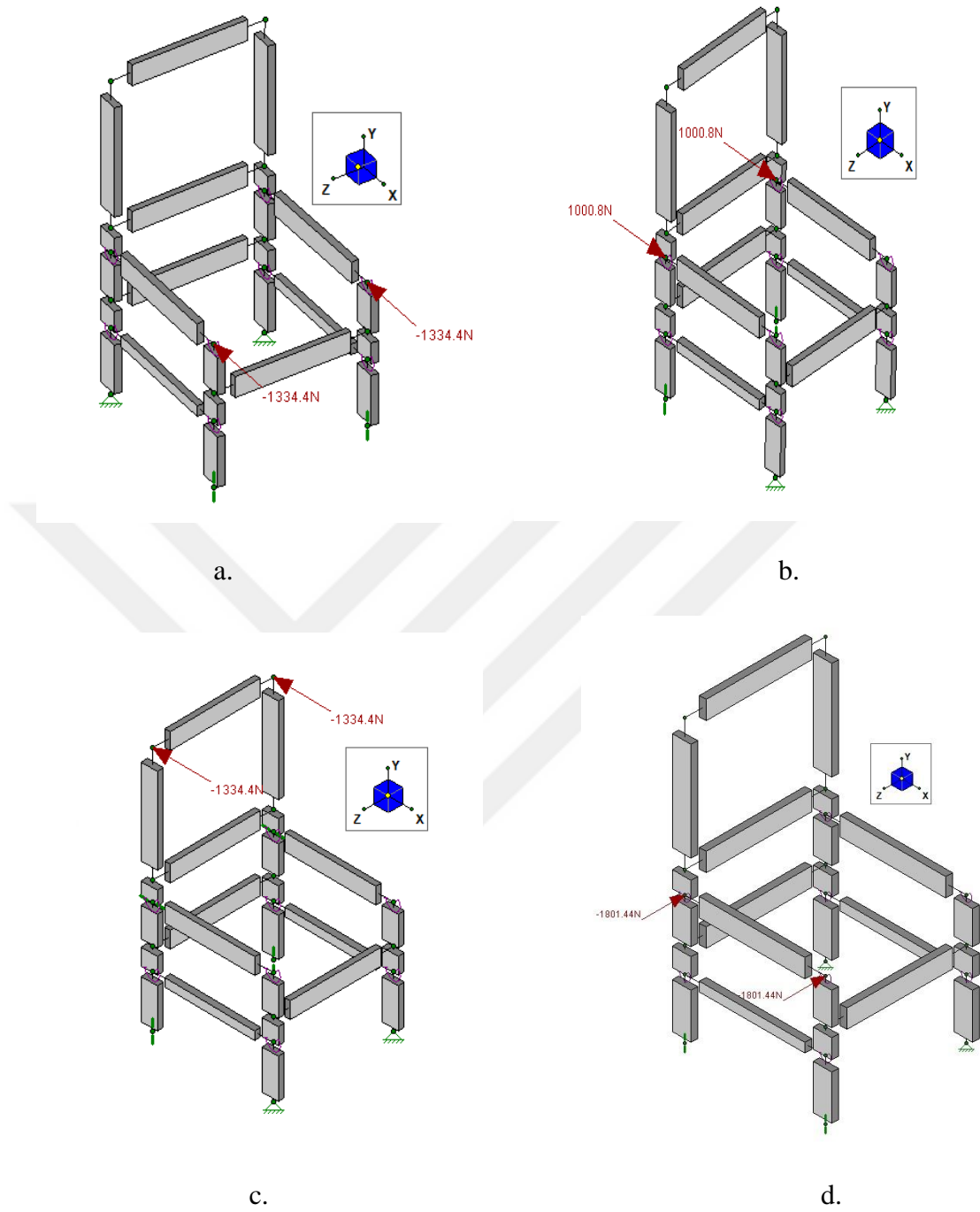
Çözüm aşamasında öncelikle sandalye modellerinin zemine temas eden noktalarının mesnet tipleri (serbestlik dereceleri kısıtlamaları) belirlenmiştir. Bir başka ifadeyle, sınır koşullarının tanımlanması işlemine geçilmiştir. Burada, sınır koşullarının gerçek testlerdeki durumu aynen yansıtması hedef alınmıştır. Buna göre, gerçek deneylerde olduğu gibi, önden arkaya yüklemelerde; ön ayaklar tekerlekli (hareketli mesnet) arka ayaklar ise pimli (sabit mesnet), olarak, arkalığa önden arkaya çekme yüklemelerinde ise ön ayaklar pimli, arka ayaklar hareketli mesnet, buna ilave olarak yan kayıt – arka ayak birleştirmelerinin arka kısımları da hareketli mesnet olacak şekilde tanımlanmıştır. Arkadan öne yüklemelerde; ön ayaklar pimli, arka ayaklar hareketli, yanal yüklemelerde ise yükleme yapılan taraftaki yan çerçevenin ayakları hareketli,

yükleme yönünün karşısında olan yan çerçevenin ayakları ise pimli mesnet olacak şekilde tanımlanmıştır.

Eckelman (1968)' a göre mobilya sistemlerini meydana getiren bağlantı noktaları yarı rijit birleştirmelerdir. Yapısal analizlerde bu noktalar rijit (kaynaklı) olarak tanımlanırsa, sistemin bütünü, birleştirme noktalarında herhangi bir deformasyon meydana gelmeden deformasyona uğrar ve bu durum gerçeği yansıtmaz. Aynı zamanda, sistemi etkileyen toplam momentin birleştirmelere dağılımı da bu durumdan etkilenmektedir. Gerçekte, yük altındaki bir mobilya sisteminde, sistemin bütünüün deformasyonunun yanında, birleştirme noktalarında da açısız deformasyonlar meydana gelmektedir. Bu deformasyonların miktarı birleştirmelerin elastikiyeti (yarı rijitlik katsayıları) ile ilişkilidir. Her birleştirme noktasının kendisine ait bir elastikiyet değeri vardır. Yapısal analizlerde, bu birleştirmelerin yarı rijit olarak tanımlanması, gerçeğe en yakın sonuçların alınması açısından önemlidir.

Bu çalışmada, yapısal analizlerde kullanılan sonlu elemanlar yazılımı, birleştirme noktalarının yarı rijit olarak tanımlanabilmesine olanak sağlamaktadır. Analizlerde birleştirme noktaları tanımlanırken, T-tipi ve L-tipi birleştirme deneylerinden elde edilen yarı rijitlik katsayılarından yararlanılmıştır. Her bir birleştirme noktası programa yay (spring) olarak tanımlanmış ve yay sabiti değeri olarak da her bir birleştirme için elde edilen yarı rijitlik katsayılarına ilişkin değerler, bu noktalara girilmiştir. Burada; yay sabiti değerleri önden arkaya, arkadan öne ve arkalığa önden arkaya çekme yüklemesi deneyleri için (Z) eksenini etrafındaki rotasyon olarak, yanal yüklemeye testlerinde ise (X) eksenini etrafındaki rotasyon olarak girilmiştir. Bu sayede, sistemin birleştirme noktalarının yarı rijit olarak tanımlanması sağlanmıştır.

Sınır koşullarının ve birleştirme noktalarının yarı rijit olarak tanımlanması işleminin yapılmasından sonra; 4 farklı yönde yüklemeye için yapılacak olan sandalye yapısal analizleri için ilk aşamadaki mevcut sandalyelerin çözümü için deneylerden elde edilen maksimum kuvvet değerleri, optimizasyon aşamasında ise ALA'da belirtilen hafif (ev içi) servis tasarım yükü değerleri, Şekil 3.19.a, b ve c' de gösterilen gerçek deneylerdeki uygulama noktalarından etki ettirilerek sistemin çözümü yaptırılmıştır. Verilen şekillerde, sistemleri oluşturan tüm elemanlar, birleştirme noktalarının kolayca görülebilmesi için 3/4 oranında (render) gösterilmiştir. Bu nedenle, gerçekte olduklarından 1/4 daha kısa görünmektedirler.



Şekil 3.19. Sandalye modeline 4 farklı yönde uygulanan yükler

Deney sandalyeleri gerçek deneylerde devirli basamaklı artan yükleme metoduna göre deneylere alınmış olmasına karşın, bilgisayar destekli üç boyutlu yapısal analizlerde sistemin çözümü statik yükleme göre yapılmıştır. Buna göre, yapısal analizlerde yükleme yapılırken statik yükler ile devirli yükler arasındaki ilişkiler göz önünde bulundurulmuştur. Literatürdeki bazı kaynaklara göre devirli yük mukavemet değeri

statik yük mukavemeti değerinin % 50' sinden fazla düşünülmemelidir (Erdil, 1998; Eckelman ve Erdil, 1999; Kuşkun, 2013; Likos ve diğerleri, 2012; Kuskun ve diğerleri, 2018).

Bir başka ifadeyle, bir çerçeve sisteminin devirli yükler altındaki mukavemeti, statik yükler altındaki mukavemetinin %50'si olarak alınmalıdır. Buna göre, bilgisayar destekli yapısal analizlerde yük uygulaması yapılırken, gerçek deneylerden elde edilen maksimum kuvvet değerlerinin 2 katı hesaba alınmıştır.

Üç boyutlu yapısal analizler her grup için ayrı yapılmıştır. Yapısal analiz süresince, RISA-3D yazılımı bir pencere içerisinde yapılan işlemlerin görsel olarak izlenmesini sağlayarak, bütün nitelik tanımlama işlemlerinde doğruluk kontrolü ve gerektiğinde düzeltmeler yapılabilmesine olanak vermiştir.

Sonuç kısmında, çözümleri yapılmış olan sandalye sistemlerinin, tepki kuvvetleri, her bir elemana etkiyen aksenal, kesme ve moment kuvvetleri, malzemelerde oluşan gerilme değerleri ve yer değiştirmeler alınmıştır. Ayrıca, normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment diyagramları ile sistemin genel yer değiştirme karakteristikleri çizdirilmiştir.

3.8. Deney Sandalyelerinin Performans Analizi

Mobilya mühendislik tasarımında, mukavemet elemanlarının elde edilmesinde, çerçeve sistemini oluşturan elemanların uçlarında, dış kuvvetlerin etkisiyle oluşacak iç gerilmeler, elemanın yapıldığı malzeme için kabul edilebilir tasarım gerilmeleri ile karşılaştırılmak suretiyle elemanın güvenli olup olmadığı hesaplanır. Böylece, eleman kesit ölçüleri gereğinden büyük ya da küçük elde edilmemiş olmaktadır ki, bu sonuç uygulamada estetik, teknik ve ekonomik açılarından üstünlükler sağlamaktadır.

Bu çalışmada da mevcut sandalye modelleri için, deneylerden elde edilen maksimum yük değerleri kullanılarak, sistemi oluşturan elemanların kesit ölçülerinin kontrolü yapılmıştır. Sistemi oluşturan elemanların uçlarında, deney kuvvetlerinin etkisi ile oluşacak iç gerilmeler, elemanların yapıldığı malzemeler için kabul edilebilir tasarım gerilmeleri ile karşılaştırılmak suretiyle elemanların güvenli olup olmadıkları kontrol

edilmiş ve tüm elemanların kesit ölçülerinin, uygulanan dış kuvvetleri güvenli bir şekilde taşıyıp taşıyamayacakları belirlenmiştir.

Her malzeme için gerekli olan emniyet gerilmesi değerleri genellikle laboratuvar deneylerine ve uygulamadaki deneyimlere dayandırılmaktadır. Ağaç ve ağaç esaslı malzemelerden alınan küçük boyutlu ve kusursuz numunelerde standart yöntemlere göre yapılan deneylerle elde edilen ortalama direnç değerleri pratikte büyük boyutlu, budak, çatlak vb. kusurları olan yapı malzemesinde kullanılamamaktadır. Ağaç malzemenin homojen bir yapıya sahip olmayışı, özellikle budaklar, çatlaklar, spiral liflilik vb. kusurlar, rutubeti, sıcaklık, yükleme şekli, süresi ve daha birçok faktör direnç değerlerini azaltıcı etki yapmaktadır. Bu etmenler hakkında çoğunlukla kesin sayısal bilgiler var olmadığı göz önünde bulundurulursa, uygulamada ağaç malzemenin etki altında kalması olası yükler küçük boyutlu numunelerde elde olunan dirençlerdekine ancak küçük bir kesridir. Bu nedenle, uygulamada büyük boyutlu kullanılan ağaç malzemeler için bir emniyet katsayısının (k_{em}) kullanılması gerekmektedir (Bozkurt ve Göker, 1996).

Emniyet gerilmeleri, genellikle elastiklik sınırındaki gerilme değerinden daha düşüktür. Emniyet katsayısı, emniyet gerilmesi (σ_{em}) ve statik direnç (σ) değerine göre;

$$k_{em} = \frac{\sigma_{em}}{\sigma} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (3.8)$$

oranından hesaplanır (Bozkurt ve Göker, 1996).

Yapı malzemelerinde pratik olarak; kusursuz, küçük boyutlu numunelerde elde edilen ortalama direnç değerine göre 3-6 kat emniyet sağlayan yüksek emniyet katsayıları kullanılmaktadır (Bozkurt ve Göker, 1996).

Emniyet gerilmelerinin belirlenmesinde dikkate alınması gereken en önemli etken, hiç şüphesiz insanların can güvenliğidir. İnşa edilen bir yapının, örneğin bir köprünün yeterli derecede güvenli yapılmaması, insanların can güvenliği açısından olumsuz sonuçlar doğurabilir. Halbuki bir sandalyenin sağlam yapılmamasının insan güvenliğini doğrudan tehdit etme riski daha azdır. Ancak, bazı durumlarda kazalara da

neden olabilir. Bu bağlamda, bir köprü veya yapıda kullanılacak ağaç malzeme için belirlenecek emniyet gerilmesi değerlerinin, mobilya yapımında kullanılacak bir ağaç malzeme için belirlenecek emniyet gerilmesi değerlerinden daha küçük alınması beklenir (Eckelman, 1978; Eckelman, 1991).

Mobilyada kullanılacak ağaç malzemeler için kabul edilebilir tasarım yükleri elde edilmemiştir. Ancak, Eckelman, 1978; Eckelman, 1991 mobilya yapımında kullanılacak ağaç malzemelerin çeşitli dirençleri için kısıtlama faktörleri önermiştir (Çizelge 3.7).

Bu çalışmada; masif ağaç malzemeler için elde edilen maksimum direnç değerlerinin, Eckelman tarafından önerilen kısıtlama faktörlerine bölünmesiyle elde edilen değerler “emniyet gerilmesi” (kabul edilebilir tasarım gerilmesi) olarak alınmıştır.

Çizelge 3.7. Deney malzemelerinin emniyet gerilmelerinin tayininde kullanılan kısıtlama oranları (Eckelman, 1978; Eckelman, 1991)

Gerilme Türü	Kısıtlama (Emniyet) 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)

Sandalye iskeletlerinin yapımında kullanılan ağaç malzemeler için deneyler sonucu bulunan gerilmelere göre emniyet gerilmeleri Çizelge 3.8’ de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Deney malzemeleri için deneyler sonucu belirlenen emniyet gerilmesi değerleri (Kasal, 2004)

Malzeme	Eğilme Emniyet Gerilmesi (N/mm ²)	Makaslama Emniyet Gerilmesi (N/mm ²)	Çekme Emniyet Gerilmesi (N/mm ²)	Basınç Emniyet Gerilmesi (N/mm ²)
Doğu Kayını	40	3,6	40	50
Sarıçam	30	2	30	36,6

Mevcut deney sandalyesini oluşturan elemanların mukavemet analizinde, öncelikle sistem içindeki bu elemanların uçlarında meydana gelen eksenel (basınç-çekme), kesme (makaslama) ve eğilme gerilmeleri hesaplanmıştır.

Daha sonra, sandalyeler iki masif ağaç malzemeden yapılmış olduğu için, elemanlarda meydana gelen bu iç kuvvetler her malzeme için belirlenen emniyet gerilmeleri (σ_{em}) (tasarım gerilmeleri) ile karşılaştırılmışlardır.

Sonuç olarak; gerçek deneylerde gözlemlenen deformasyon karakteristikleri, sonlu elemanlar metoduyla gerçekleştirilen yapısal analizlerle doğrulanmıştır. Gerçek deneylerde meydana gelen deformasyonların gerçekleştiği noktaların, solu elemanlar analizi sonuçlarıyla tutarlılığı kontrol edilmiştir.

3.9. Optimizasyon Yöntemi

Çalışmanın birinci aşamasında genellikle tercih edilen ortalama kesit ölçülerine sahip olan sandalyelerin kullanım sırasında maruz kalabilecekleri çeşitli yükleme biçimlerine göre performans testleri yapılmış ve bu testlerden elde edilen maksimum yük değerlerine göre sonlu elemanlar yöntemiyle yapısal analizleri yapılarak eleman kesit ölçülerinin kontrolü gerçekleştirilmiştir. Burada, sandalye sistemindeki en kritik elemanların belirlenmesi ve gerilme değerlerinin malzemelere ilişkin kabul edilebilir tasarım değerlerini karşılama durumlarının tespit edilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, ev içi kullanımlar amacıyla üretilmiş olan mevcut deney sandalyelerinin, ALA raporunda belirtilen kabul edilebilir kullanım yükleri ile karşılaştırılması yapılmış ve sandalyelerin ev içi kullanım yüklerine göre hangi noktada oldukları belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında optimizasyon sürecine geçilmiştir. Optimizasyon çalışmaları optimum mukavemet ve minimum ağırlık prensibi üzerine gerçekleştirilmiştir. Performans testleri sonuçlarında ALA test yönteminde belirtilen kabul edilebilir tasarım yüklerine göre sınıflara ayrılan her bir model sandalye için, ağırlık hususu dikkate alınmak suretiyle, sandalye sistemini oluşturan elemanların kesit ölçülerinin küçültülmesine, dolayısıyla da ağırlığın ve toplam malzeme hacminin azaltılmasına yönelik optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Literatürde de benzer optimizasyon yöntemlerine ve eleman kesit ölçülerini küçültme ilkesine dayanılarak

yapılmış ve başarılı olunmuş çalışmalar bulunmaktadır (Smardzewski ve Gawronski, 2003; Smardzewski ve Prekrat, 2009).

Mevcut sandalye deneylerinden elde edilen yüklere göre kontrolü yapılan kesit ölçülerine ve sandalyelerin performans değerlendirmelerine ilişkin veriler optimizasyon çalışmalarına ışık tutmuş olup, optimizasyon yöntemlerinin hangi kriterlere göre yapılması gerektiği hususunda bir geri besleme sağlamıştır. Bir başka ifadeyle; optimizasyon çalışmaları, mevcut deney sandalyelerinin performans testleri, sonlu elemanlar analizleri ve ALA yöntemine göre performans değerlendirmelerinden elde edilen geri dönüşlere göre planlanmıştır.

Mevcut ölçülerdeki deney sandalyelerinin performansları, ALA raporunda belirtilen kabul edilebilir tasarım yüklerine göre değerlendirildiğinde; Doğu kayını ve sarıçamdan üretilen deney sandalyelerinin, pratik uygulamalarda en çok karşılaşılan yüklemeleri temsil eden “önden arkaya”, “arkadan öne” ve “arkalığa önden arkaya çekme” yüklemesi yönlerinde ev içi kullanımlar için gerekli olan mukavemet değerlerini fazlasıyla sağladıkları anlaşılmıştır. Ancak, pratik uygulamalarda daha seyrek olarak karşılaşılmamasına rağmen, yine de sağlanması gereken bir performans kriteri olan “yanal” yükleme performansına bakıldığında; Doğu kayınından üretilen sandalyelerin ev içi kullanım yüklerini çok az bir farkla sınırdan geçtiği, sarıçamdan üretilen sandalyelerin ise ev içi kullanım yüklerini bile karşılayamadan birleştirme yerlerinden büyük deformasyonlara uğrayarak başarısız oldukları görülmüştür. Bu durum, mevcut deney sandalyelerinin, gerçekleştirilen 3 yöndeki yükleme karşısında başarılı olurken, yanal yüklemeler karşısında ise zayıf oldukları için, zayıf olunan yanal yüklemenin etkisinde kalan birleştirmelerin mukavemetini artırıcı tedbirler alınması gerektiği sonucunu doğurmuştur. Bu durumda, sandalyelerde ağırlık-mukavemet optimizasyonu çalışmaları eleman kesit ölçülerine göre yapılacağından, başarılı olunan 3 yükleme yönündeki elemanlar için kesit optimizasyonu, başarısız olunan yanal yüklemeler için ise eleman kesit ölçülerinden ziyade bu yüklemeye maruz kalan birleştirme yerlerinde güçlendirme çalışmaları yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Performans deneylerinden elde edilen bu geri dönüşlere göre, ağırlık-mukavemet optimizasyonu çalışmalarında, deney sandalyelerinin önden arkaya, arkadan öne ve arkalığa önden arkaya yükleme yönlerine göre kesit optimizasyonu çalışmaları

yapılmış, yanal yüklemeler için ise kesit optimizasyonu yapmak yerine ilgili birleştirmelerde mukavemeti destekleyici elemanlar ile ev içi kullanım yüklerini geçmesinin sağlanması yönünde çalışmalar yapılmıştır.

Tipik bir optimizasyon problemi için öncelikle bir amaç fonksiyonun ya da fonksiyonlarının tanımlanması gerekmektedir. Bu çalışmada, çalışılan sandalyenin en düşük ağırlıktayken gerekli kullanım yüklerini emniyetli bir şekilde taşıyabilecek tasarımı olması hedeflenmiştir. Bunu sağlamak için genellikle:

- a. Malzeme türünün, kullanılan ahşap malzemenin hafif seçilmesi,
- b. Kesitlerin geometrisinin değiştirilmesi,
- c. Malzeme türü ve kesitlerin geometrisi değiştirilmeden, kesit alanlarının küçültülmesi

olası seçeneklerdir.

Çalışma önerisinde, hafifletmeye yönelik bir ön optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, basit, ara kayıtsız ve kesit yapıları birbirinden çok farklı olmayan elemanlardan oluşan bir sandalye üzerinde çalışılmıştır. Optimizasyon ön çalışmasında; yapısal analiz ve ağırlık mukavemet optimizasyonu gerçekleştirilerek, aynı yükleme koşullarına mukavemet gösterdiği halde kesit ölçüleri küçültülerek optimizasyon öncesi ağırlığına oranla % 38 daha hafif bir sandalye modeli teorik olarak elde edilebilmiştir. Bir başka ifade ile "eleman kesit yapılarını değiştirme" ilkesine dayanan optimizasyon çalışmasında başarılı olunmuştur. Ayrıca literatürde de benzer optimizasyon yöntemlerine ve eleman kesit ölçülerini küçültme ilkesine dayanılarak yapılmış ve başarılı olunmuş çalışmalar bulunmaktadır (Smardzewski ve Gawronski, 2001; Smardzewski ve Prekrat, 2009).

Hem literatürdeki çalışmalar, hem de bu çalışma için temel oluşturmak üzere yapılan ön optimizasyon çalışması, eleman kesit ölçülerini küçültmeye dayalı optimizasyona yönelik bu çalışma için temel oluşturmuştur. Alınan bu geri dönüşler doğrultusunda, malzeme çeşidi ve kesitlerin geometrisi değiştirilmeden, kesit alanlarının küçültülmesi dolayısıyla da sandalye iskelet sistemini oluşturan toplam malzeme hacminin azaltılması seçeneği ile optimizasyon çalışmaları uygulanmıştır. Optimizasyon yöntemi olarak da, yapılan teorik ön çalışma sonucunda başarılı olunan ve uygun olduğuna karar verilen "Logaritmik Bariyer Fonksiyonu" ve "Gradyan Düşüş" yöntemleri uygulanmıştır.

Optimizasyon problemini çözmek için takip edilen adımlar;

- a. Temel konfigürasyonun oluşturulması,
- b. Tasarım değişkenlerinin tanımlanması,
- c. Hedef fonksiyonun kurulması,
- d. Kısıtlayıcı fonksiyonun tanımlanması,
- e. Uygun optimizasyon metodunun seçilmesi ve uygulanması,

olarak gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada sandalyenin hafifletilmesi için sandalye elemanlarının kesit alanlarının küçültülmesi yöntemi tercih edilmiştir. Buna uygun olarak, sandalyeyi oluşturan elemanların hacmi hesaplanmış, bu hacim sandalyenin yapıldığı malzemenin yoğunluğu ile çarpılarak, kesit ölçülerine dayalı olarak aşağıdaki ağırlık fonksiyonu elde edilmiştir.

$$f = f(x_1, x_2, \dots, x_m) \quad (3.9)$$

Burada, $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m)$, (m) adet kesit ölçülerini temsil eden bağımsız değişken tensörüdür. Bu fonksiyonun, aşağıda belirtilen eşitsizlik koşullarına göre alabileceği minimum değerlerin belirlenmesi gerekmektedir. Eşitsizlik koşulları sırasıyla şu şekilde ifade edilmiştir:

$$g_1(x_1, x_2, \dots, x_m) \geq 0 \quad (3.10)$$

$$g_2(x_1, x_2, \dots, x_m) \geq 0$$

...

$$g_n(x_1, x_2, \dots, x_m) \geq 0$$

Burada (n) adet eşitsizlik koşulu sıralanmakta olup, bu sınırlamaların pozitif değerlerde olmasına dikkat edilmiştir. Daha sonra, kısıt fonksiyonlarının amaç fonksiyonuna dâhil edildiği yeni bir fonksiyon (F) aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_m) = f(x_1, x_2, \dots, x_m) - \varepsilon \{\log(g_1(x_1, x_2, \dots, x_m))\} \quad (3.11)$$

$$+ \log(g_2(x_1, x_2, \dots, x_m)) + \dots + \log(g_n(x_1, x_2, \dots, x_m))]$$

Bu fonksiyon daha kolay ifade edilmek üzere sadeleştirilmiş olup;

$$F = f - \varepsilon\{\log(g_1) + \log(g_2) + \dots + \log(g_n)\} \quad (3.12)$$

haline gelmekte, bir diğer ifade ile de:

$$F = f - \varepsilon\{\log(g_1 \cdot g_2 \dots \cdot g_n)\} \quad (3.13)$$

şekline dönüşmektedir. Burada,

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} F(x_1, x_2, \dots, x_m) = f(x_1, x_2, \dots, x_m) \quad (3.14)$$

olmuştur. Logaritmik bariyer fonksiyonu ile genişletilmiş olan fonksiyon (F) yukarıda gösterildiği şekilde, (ε) değeri ile beraber tanımlanmıştır. $\varepsilon < 1$ olacak şekilde seçilerek uygun değer deneme yanılma yöntemiyle tespit edilmiştir. Bu çalışmada (ε) değeri 2^{-k} olarak seçilmiş olup, (k) sayısı pozitif tamsayıyı temsil etmekte ve bu sayı uygun bir değere kadar yükseltilecek sonuç elde edilmektedir. (F) fonksiyonunun koşulsuz bir biçimde, minimum değerinin ya da değerlerinin bulunması, pek çok optimizasyon yönteminin uygulanmasıyla mümkün olmaktadır. Bu çalışmada, (F) fonksiyonuna “Gradyan Düşüş Yöntemi” uygulanmıştır. Bu yöntem ile fonksiyonun hesaplanacağı yeni değer, fonksiyonun gradyanı ile belirlenmektedir. Herhangi bir değişkenin o an bulunduğu yerde gradyan pozitif ise, o değişkenin değeri azaltılmalı, negatif ise artırılmalıdır. Başlangıçta, tüm eşitsizlik koşullarını sağlayan herhangi bir değişkenler kümesi seçilerek, iterasyonlar aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmiştir.

$$\vec{x}^{k+1} = \vec{x}^k - \alpha \vec{\nabla} F \quad (3.15)$$

Burada, (α) sayısı, gradyan ile ilerleyişte adım uzunluğunu, (k) ise iterasyon sayısını temsil etmektedir. Problemin bir sonuca varabilmesi için (α) yeterince küçük olmalıdır. Aşağıda gösterilen ($\vec{\nabla} F$), (F) fonksiyonunun gradyanını temsil etmektedir.

$$\vec{\nabla} F = \left(\frac{\partial F}{\partial x_1}, \frac{\partial F}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial F}{\partial x_m} \right) \quad (3.16)$$

$(\vec{\nabla}F)$ vektörünün büyüklüğü, istenilen belli bir küçüklüğe ulaşana kadar devam ettirilmektedir.

Birinci dereceden herhangi bir türev işleminin analitik hesabı oldukça karmaşık olduğundan, bu işlem yerine, nümerik bir yaklaşım olan “Forward Euler” yöntemi kullanılmak suretiyle hesaplamalar aşağıda gösterildiği şekilde gerçekleştirilmiştir.

$$\left. \frac{\partial F}{\partial x_j} \right|_{\vec{x}^k} \cong \frac{F(x_1^k, x_2^k, \dots, x_j^k + h, \dots, x_m^k) - F(x_1^k, x_2^k, \dots, x_j^k, \dots, x_m^k)}{h} \quad (3.17)$$

Burada, yaklaşık türev alma işleminde (h) türev almak için adım mesafesini göstermekte olup, iyi bir yaklaşık hesaplama için (h) adımının da yeterince küçük seçilmesi gerekmektedir.

3.10. Verilerin Değerlendirilmesi

Hem mevcut hem de ağırlık–mukavemet optimizasyonu yapılarak hafifletilen deney sandalyelerinin 4 farklı yükleme sonucunda elde edilen performans değerlerine ilişkin sonuçlar, sandalyeler için geliştirilmiş olan ALA teknoloji raporuna göre değerlendirilmiş ve her grup bu deney yönteminde önceden belirlenmiş olan kabul edilebilir yük değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu sayede, hem mevcut hem de optimize sandalyelerin gerçek kullanım sürecindeki performansları ile ilgili geri dönüşler alınmıştır. ALA’ da verilen hafif, orta ve ağır kabul edilebilir servis yükleri sırasıyla önden arkaya yüklemeler için 1334,4 N, 1556,8 N ve 2001,6 N, arkadan öne yüklemeler için 1000,8 N, 1445,6 N ve 1890,4 N, arkalığa önden arkaya çekme yüklemeleri için 1334,4 N, 2224 N ve 3113,6 N ve yanal yüklemeler için de 889,6 N 1112 N, ve 1334,4 N’ dur (ALA, 1982; Eckelman, 1999).

Hem mevcut hem de optimize edilmiş deney sandalyelerinin, aynı deney şartları ve statik yüklemeye karşılık gelen performans değerleri kullanılarak, sonlu elemanlar yöntemi (Finite Element Analysis) ile bilgisayar destekli üç boyutlu yapısal analizleri yapılmıştır. Çerçeve sistemlerinin çözümü “RISA 3D” yapısal analiz programı kullanılarak yapılmış ve buna göre yapısal analiz programlarının mobilya mukavemet tasarımında kullanılabilirliği değerlendirilerek, deney sandalyelerinin genel

mukavemeti ve deformasyon karakteristikleri hakkında anlamlı değerler verip vermediği irdelenmiştir.

Sandalyeyi oluşturan birleştirmelerin yarı rijitlik katsayılarını (elastikiyetini) belirlemek amacıyla, tüm T-tipi ve L-tipi birleştirme grupları için yapılan testlerden elde edilen verilere regresyon analizleri yapılarak moment–rotasyon ilişkileri tanımlanmış, bu ilişkiler için elde edilen yarı rijitlik katsayıları değerleri sonlu elemanlar analizi modellerinde yay (spring) olarak tanımlanan birleştirmelerin yay sabiti değerleri olarak kullanılmıştır. Bۆylece, birleştirmeler programa yarı–rijit olarak tanımlanmış ve yapısal analizlerde modelin gerçeği en iyi şekilde temsil etmesi ve analizlerden alınan sonuçların da gerçek testlere en yakın olacak şekilde alınması sağlanmıştır.

Mevcut sandalyelerin sonlu elemanlar analizinde gerçek deneylerden elde edilen maksimum performans değerleri kullanılmak suretiyle sistemin çۆzüm yapılmış ve buna gۆre de kesit ölçülerinin kontrolü yapılmıştır. Optimizasyon işlemleri için gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizlerinde ise; temel ilke optimize edilen sandalyelerin ev içi kullanımlar için gerekli yükleri taşıyacak mukavemete sahip olması olduğundan, her bir yükleme yönü için ALA’ da belirtilen hafif kullanım (ev içi) kabul edilebilir yük değerleri kullanılmak suretiyle yapısal çۆzömlere gidilmiştir. Buradan elde edilen verilere gۆre de optimizasyon çalışmaları şekillenmiştir.

Deney sandalyelerinin ağırlık–mukavemet optimizasyonu çalışmalarında ise, malzeme çeşidi ve kesitlerin geometrisi değiştirilmeden, kesit alanlarının küçültölmesi prensibine gۆre hareket edilmiştir. Optimizasyon yöntemi olarak da “Logaritmik Bariyer Fonksiyonu” ve “Gradyan Düşüş” yöntemleri uygulanmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Deney Sandalyelerinin Üretiminde Kullanılan Ağaç Malzemelerin Deneylerle Belirlenen Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri ve Birleştirmelerin Yarı Rijitlik Katsayıları

Deney örneklerinin hazırlanmasında kullanılan Sarıçam ve Doğu kayını ağaç malzeme için yapılan rutubet oranı, tam kuru yoğunluk ve rutubetli yoğunluk deneylerinden elde edilen sonuçlar varyasyon katsayıları ile birlikte Çizelge 4.1’ de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneylerde kullanılan ağaç malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri

Ağaç türü	Test Rutubeti (%)	Rutubetli yoğunluk (g/cm ³)	Liflere paralel (//) Çekme direnci (N/mm ²)	Liflere paralel (//) Basınç direnci (N/mm ²)	Kesme direnci (//) (N/mm ²)	Eğilme direnci (⊥) (N/mm ²)	Elastikiyet modülü (⊥) (N/mm ²)
Sarıçam	10,8	0,48	95	55	6	90	11000
Doğu kayını	11,2	0,63	125	75	11	120	12500

Bilgisayar destekli yapısal analizlerde, moment dağılımının ve çözümlerin daha gerçekçi olması amacıyla, birleştirme noktaları sonlu elemanlar modellerinde yarı rijit olarak tanımlanmıştır. Bu amaçla, her bir birleştirme noktasının kendine özel olan yarı rijitlik katsayıları değerleri, birleştirme testleri sonucunda elde edilmiştir. Daha sonra bu değerler, sandalye sonlu elemanlar modellerinde yay olarak tanımlanmış olan birleştirme noktalarına, o birleştirmeye ait yay sabiti değerleri olarak girilmiş ve birleştirme noktalarının da uygulanan yükler karşısında yarı rijit davranış göstererek deformasyona uğrayabilmelerine imkan sağlanmıştır. Sandalye yan çerçevelerini oluşturan her bir birleştirme noktasına ilişkin olarak elde edilen yay sabiti değerleri Çizelge 4.2’ de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Sandalye yan çerçeve birleştirmelerinin yay sabiti değerleri

	Yay sabiti değerleri (k) (Nm/rad)		
Ağaç Türü	Sandalye Yan Çerçeve Birleştirmeleri		
	T-tipi Birleştirme (Arka ayak – yan kayıt)	T-tipi Birleştirme (Ön / arka ayak – yan kayıt)	L-tipi Birleştirme (Ön ayak – yan kayıt)
Sarıçam	2702	916	1247
Doğu Kayını	3000	1325	1384

4.2. Deney Sandalyelerinin Ağırlıklarının Ölçülmesi

Çalışmanın birinci aşamasında 20 adet Sarıçam ve 20 adet Doğu Kayını odunundan üretilen toplam 40 adet deney sandalyesinin ağırlıkları 0,1 hassasiyetindeki kantar yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 4.1). Deney örneği Sarıçam sandalyelerin ölçülen ağırlıkları Çizelge 4.3’ te, Doğu Kayını sandalyelerin ağırlıkları ise Çizelge 4.4’ te verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.1. Sarıçam (a) ve Doğu kayını (b) deney sandalyelerinin ağırlıklarının ölçülmesi

Çizelge 4.3. Sarıçam deney sandalyelerinin ölçülen ağırlıkları

Ağaç Türü	Sandalye Kodu	Ağırlık (kg)	Ortalama (kg)	Standart Sapma	Varyasyon katsayısı (%)
Sarıçam	S1	3,2	3,09	0,10	3,30
	S2	3,0			
	S3	3,1			
	S4	3,1			
	S5	3,0			
	S6	3,3			
	S7	3,1			
	S8	3,2			
	S9	3,0			
	S10	3,2			
	S11	3,2			
	S12	3,1			
	S13	3,1			
	S14	3,1			
	S15	3,0			
	S16	3,0			
	S17	2,9			
	S18	3,0			
	S19	3,0			
	S20	3,2			

Çizelge 4.4. Doğu kayını deney sandalyelerinin ölçülen ağırlıkları

Ağaç Türü	Sandalye Kodu	Ağırlık (kg)	Ortalama (kg)	Standart Sapma	Varyasyon katsayısı (%)
Doğu Kayını	K1	4,2	4,18	0,09	2,31
	K2	4,1			
	K3	4,1			
	K4	4,1			
	K5	4,3			
	K6	4,2			
	K7	4,1			
	K8	4,2			
	K9	4,3			
	K10	4,1			
	K11	4,2			
	K12	4,3			
	K13	4,4			
	K14	4,2			
	K15	4,2			
	K16	4,1			
	K17	4,3			
	K18	4,0			
	K19	4,1			
	K20	4,2			

Ağırlıkları belirlenen mevcut Sarıçam ve Doğu kayını sandalyelerinin ölçülen ortalama ağırlıkları ve standart sapmaları belirlenmiş olup, elde edilen bu veriler optimizasyon çalışmaları aşamasında kullanılmıştır.

4.3. Mevcut Deney Sandalyelerinin Deformasyon Karakteristikleri, Performansları, Yapısal Analiz Sonuçları ve Eleman Kesit Ölçülerinin Kontrolü

Piyasadaki yaygın uygulamalara göre belirlenmiş olan ortalama kesit ölçülerine sahip mevcut deney sandalyeleri, öncelikle devirli basamaklı yükleme metodu ile önden arkaya, arkadan öne, arkalığa önden arkaya çekme ve yanal yüklemeler ile ALA metodunda belirtilen esaslara göre performans deneylerine alınmıştır. Deneylerde, yüklemeler sandalye kullanılamaz hale gelinceye kadar devam ettirilmiş ve sandalyelerin yaşam ömrü bulunmuştur. Buna göre, 25000 devri başarı ile tamamlayan maksimum yük değeri sandalyenin performansı olarak kaydedilmiş, aynı zamanda deney sandalyelerinin deneyler sırasındaki deformasyon karakteristikleri de

kaydedilmiştir. Daha sonra, bu deformasyon karakteristikleri yapısal analiz sonuçlarıyla doğrulanmıştır.

Mevcut sandalyelerin yapısal analizinde, gerçek deneylerden elde edilen maksimum yük değerleri kullanılarak çözüm yaptırılmış ve sandalyenin yaşam ömrünü tamamladığı anda, sistemi oluşturan elemanlarında ve birleştirmelerde oluşan kuvvet ve gerilme değerleri elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen bu gerilme değerleri, küçük kusursuz numuneler ile testler sonucu elde edilen maksimum direnç değerlerinin kısıtlama faktörlerine bölünmesi sonucunda elde edilen kabul edilebilir tasarım gerilmesi değerleriyle karşılaştırılmış ve bu sayede kesit ölçülerinin uygulanan yükleri karşılayıp karşılayamadığının kontrolü yapılmak suretiyle performans analizleri yapılmıştır. Performans deneyleri, yapısal analizler ve performans analizi sonuçları optimizasyon çalışmaları için girdi oluşturmuş ve çalışmalara yön vermiştir.

4.3.1. Önden arkaya yükleme deneylerine ilişkin bulgular

4.3.1.1. Önden arkaya yükleme deneylerindeki deformasyon karakteristikleri

Sarıçam ve Doğu Kayını sandalyelerinin önden arkaya devirli yüklemelere karşı göstermiş oldukları deformasyon karakteristikleri incelendiğinde, yükün yüklendiği noktadan itibaren sandalye sisteminin bütününün önden arkaya doğru yer değiştirmesi (defleksiyon), buna ilave olarak da yarı rijit olan ön ayak-yan kayıt birleştirmelerinin üst noktası ve arka ayak-yan kayıt birleştirmelerinin alt noktaları dönme merkezleri olacak şekilde rotasyona uğramaları şeklinde gerçekleşmiştir. Bu deformasyon tipi, sandalyelerin ön ayak-alt ara kayıt ve arka ayak-alt ara kayıt birleştirmelerinde de gözlenmiştir. Önden arkaya deney sandalyelerinin tipik deformasyonları Şekil 4.2' de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Önden arkaya yüklenmiş deney sandalyesinin tipik deformasyonu

Önden arkaya performans testlerinde, Şekil 4.2' de gösterildiği gibi ön ayak ile arka ayağı bağlayan zıvanalı yan kayıt ve alt ara kayıt birleştirmelerinde rotasyona bağlı açılma, kırılma, kopma vb. şekillerde deformasyonlar meydana gelmiştir. Tüm testlerde sadece birleştirme yerlerinde deformasyonlar gözlenmiş olup, herhangi bir sandalye elemanında kırılma vb. deformasyon gözlenmemiştir.

4.3.1.2. Önden arkaya yükleme deneylerine ilişkin performans değerleri, yapısal analiz sonuçları ve eleman kesit ölçülerinin kontrolü

Sarıçam ve Doğu Kayını deney sandalyelerinin, önden arkaya yükleme performansı değerleri ve devir sayıları ortalamaları varyasyon katsayıları ile birlikte Çizelge 4.5' te verilmiştir.

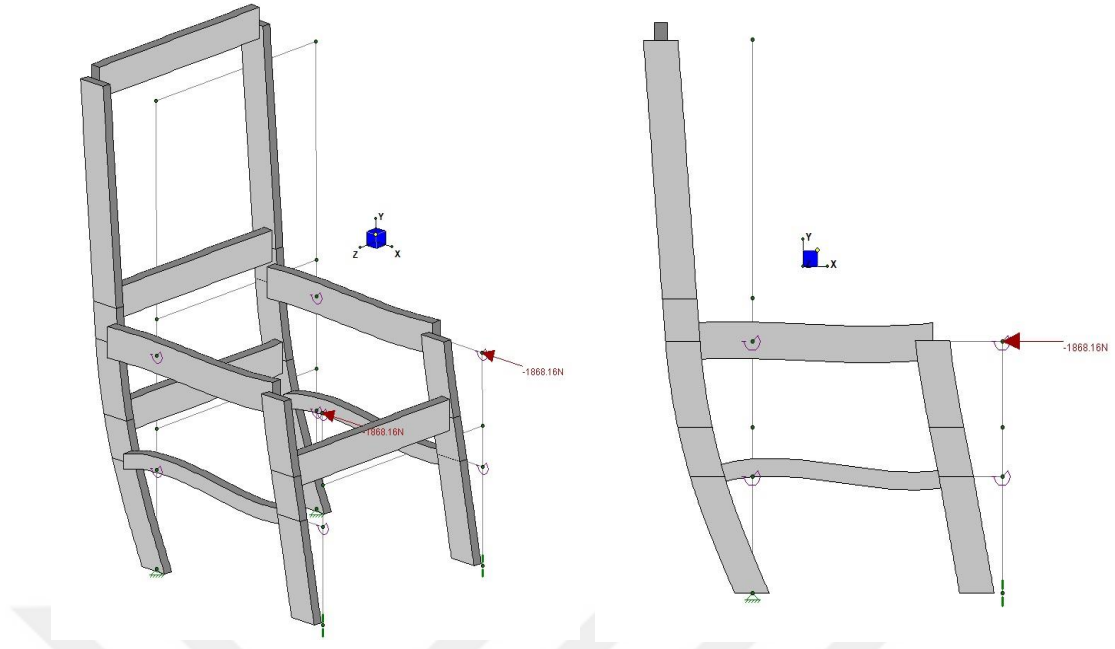
Çizelge 4.5. Deney sandalyelerinin önden arkaya yüklemelerdeki performansları

Sandalye Malzemesi	Sandalye kodu	Deney Yüğü (N)	Ortalama kırılma yükü (N)	v (%)	Devir Sayısı	Ortalama devir sayısı	v (%)
Sarıçam	SÖA1	1556,8	1601,28	6,21	246190	238834,6	4,18
Sarıçam	SÖA2	1556,8			232844		
Sarıçam	SÖA3	1779,2			250175		
Sarıçam	SÖA4	1556,8			239501		
Sarıçam	SÖA5	1556,8			225463		
Doğu Kayını	DÖA1	1779,2	1868,16	10,65	251726	283923,2	17,04
Doğu Kayını	DÖA2	1779,2			360376		
Doğu Kayını	DÖA3	2224			304007		
Doğu Kayını	DÖA4	1779,2			250095		
Doğu Kayını	DÖA5	1779,2			253412		

v: Varyasyon katsayısı

Devirli yüklemelerle önden arkaya yönde yapılan testlerde; Sarıçam deney sandalyelerinin ortalama kırılma değeri 1601,28 (N), buna ilişkin varyasyon katsayısı 6,21, ortalama devir sayısı 238834,6, buna ilişkin varyasyon katsayısı ise 4,18 olarak belirlenmiştir. Doğu Kayını sandalyeler için ortalama kırılma değeri 1868,16 (N), buna ilişkin varyasyon katsayısı 10,65, ortalama devir sayısı 283923,2, buna ilişkin varyasyon katsayısı ise 17,04 olarak belirlenmiştir.

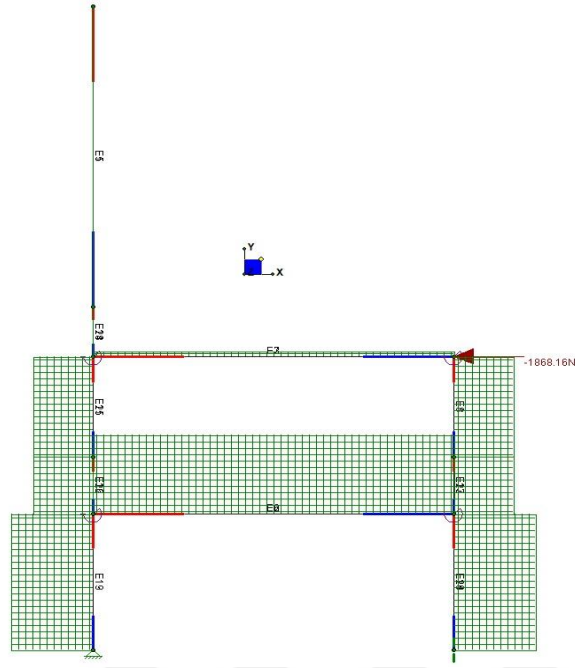
Yapısal analizler, gerçek deneylerde elde edilen ortalama kırılma yükleriyle ve yükleme yönü önden arkaya yönde olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Yapısal analizler sonucunda elde edilmiş olan, deney yükleri karşısında sandalyede meydana gelen genel defleksiyon biçimi Şekil 4.3' te üç boyutlu ve yan görünüş olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Önden arkaya yüklenmiş sandalyenin yapısal analizlerden alınan genel defleksiyon biçimi

Deney sandalyelerinin genel defleksiyon biçimi ve deformasyona uğrayan birleştirme noktalarına bakıldığında, gerçek testler ile yapısal analiz sonuçlarının tutarlı olduğu gözlenmiştir.

Performans analizi ve dolayısıyla da kesit ölçülerinin kontrolü için, yapısal analiz sonuçlarından sandalye iskelet sistemini oluşturan tüm elemanlara etkiyen eksenel kuvvetler ve bu kuvvetlerin oluşturduğu eksenel gerilmelerin analizi yapılmıştır. Sandalye grupları itibarıyla sistemi oluşturan tüm elemanlar için alınan eksenel kuvvetler ile eksenel gerilme değerleri Ek-1 ve Ek-2' de verilmiştir. Bu tablolarda, pozitif (+) değerler elemanın basınca, negatif (-) değerler ise elemanın çekmeye maruz kaldığını göstermektedir. Yapısal analizler sonucunda sandalye elemanlarında meydana gelen eksenel kuvvetlerin dağılımını gösteren eksenel (normal) kuvvet diyagramı Şekil 4.4' te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Önden arkaya yükleme altındaki sandalyenin aksel kuvvet diyagramı

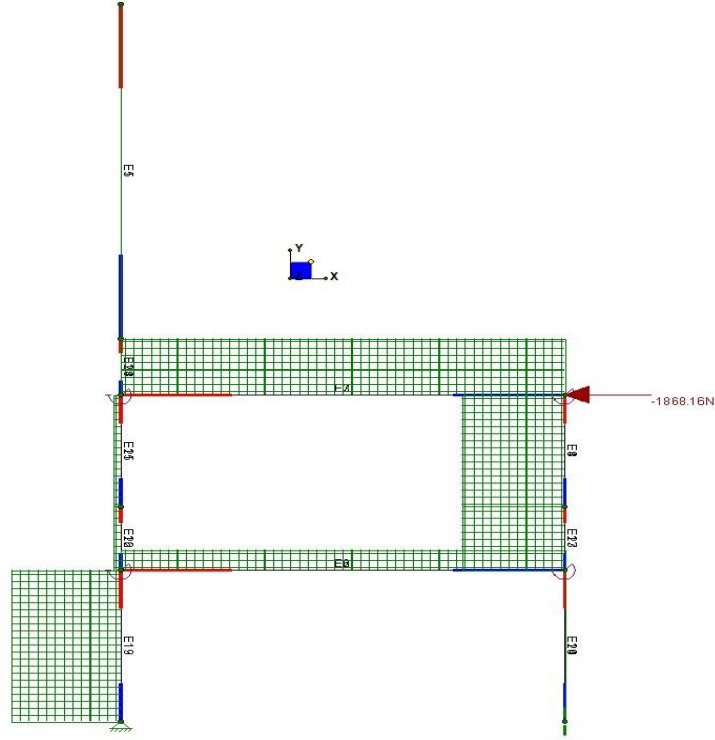
Yapılan analiz sonucu, sandalye iskeletine gelen normal kuvvetlere bakıldığında en büyük basınç gerilmesinin meydana geldiği elemanların "alt ara kayıtlarda" (E2, E6) olduğu, en büyük çekme gerilmesinin meydana geldiği elemanların ise "ön ayak altı" (E14, E20) elemanları olduğu anlaşılmıştır. Buna göre, önden arkaya yüklemede, aksel kuvvetleri karşılamada en kritik elemanlar bu elemanlardır. Yükleme biçimi incelendiğinde, arka ayak alt kısımlarının bir basınç kuvveti etkisinde kaldığı, ön ayak alt elemanının ise deney platformundan havaya kalkmaya zorlandığı ancak pimli bağlantılı olduğu için bir çekme kuvveti etkisinde kaldığı anlaşılmaktadır. Bu kuvvetlerden dolayı oluşan aksel gerilmeler için kabul edilebilir tasarım (emniyet) gerilmeleri ile yapılan karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.6' da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Önden arkaya yüklemde elemanlardaki maksimum eksenel gerilme değerleri ile emniyet gerilmelerinin karşılaştırılma sonuçları

Malzeme	Çekme Elemanı	Deney Çekme Gerilmesi (N/mm ²)	Çekme Emniyet Gerilmesi (N/mm ²)	Sonuç	Basınç Elemanı	Deney Basınç Gerilmesi (N/mm ²)	Basınç Emniyet Gerilmesi (N/mm ²)	Sonuç
Sarıçam	Ön Ayak Alt (E14,E20)	1,064	30	Başarılı	Alt Ara Kayıt (E2,E6)	2,365	36,6	Başarılı
Doğu Kayını	Ön Ayak Alt (E14,E20)	1,278	40	Başarılı	Alt Ara Kayıt (E2,E6)	2,777	50	Başarılı

Buna göre, Sarıçam ve Doğu Kayınından üretilmiş sandalye iskeletlerine ait tüm elemanların kesit ölçüleri, eksenel kuvvetleri emniyetli bir şekilde taşıyacak mukavemete sahip bulunmuşlardır.

Bir sonraki adımda, sandalye iskeletlerine ait elemanlarda meydana gelen kesme kuvvetleri ile bu kuvvetlerin etkisiyle oluşan kesme gerilmesi değerleri analizler sonucu elde edilmiş ve sistemi oluşturan tüm elemanlar için Ek-1 ve Ek-2’ de verilmiştir. Yapısal analizler sonucunda sandalye elemanlarında meydana gelen kesme kuvvetlerinin dağılımını gösteren kesme kuvveti diyagramı Şekil 4.5’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Önden arkaya yükleme altındaki sandalyenin kesme kuvveti diyagramı

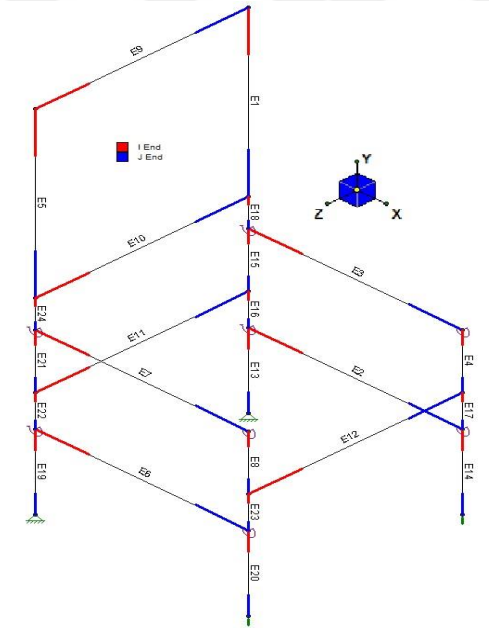
Bu aşamada, sandalye iskelet sistemlerine ait elemanlarda meydana gelen en büyük kesme gerilmeleri, her bir malzeme için deneyler sonucunda belirlenmiş olan kesme emniyet gerilmeleri ile karşılaştırılmıştır. Yapısal analiz sonuçlarının incelemesinden, en büyük kesme gerilmelerinin olduğu eleman “arka ayak alt” (E13, E19) elemanı olarak tespit edilmiştir. Sarıçam ve Doğu Kayınından üretilmiş sandalye iskeletlerine ait arka ayak alt elemanlarında meydana gelen kesme gerilmeleri için emniyet gerilmeleri ile yapılan karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.7’ de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Önden arkaya yüklemede elemanlardaki maksimum kesme gerilmesi değerleri ile kesme emniyet gerilmelerinin karşılaştırılma sonuçları

Malzeme	Kesme Elemanı	Deney Kesme Gerilmesi (N/mm ²)	Kesme Emniyet Gerilmesi (N/mm ²)	Sonuç
Sarıçam	Arka Ayak Alt (E13,E19)	1,906	2	Başarılı
Doğu Kayını	Arka Ayak Alt (E13,E19)	2,224	3,6	Başarılı

Sandalye iskeletlerinin üretiminde kullanılan Sarıçam ve Doğu Kayını malzemeler için, eleman kesit ölçüleri elemanlar üzerinde oluşan kesme kuvvetlerini emniyetli bir şekilde taşımak için yeterli bulunmuştur. Buna karşın, sarıçamın çok az bir farkla başarılı olduğu da dikkati çekmektedir. Buna göre, deneylerde deformasyonun birleştirme yerlerinde meydana geldiği gözlenmiş olmasına rağmen, birleştirme biraz daha dayanabilseydi deformasyonun arka ayak alt elemanının kesilmesi (kırılması) olarak gerçekleşeceği söylenebilir.

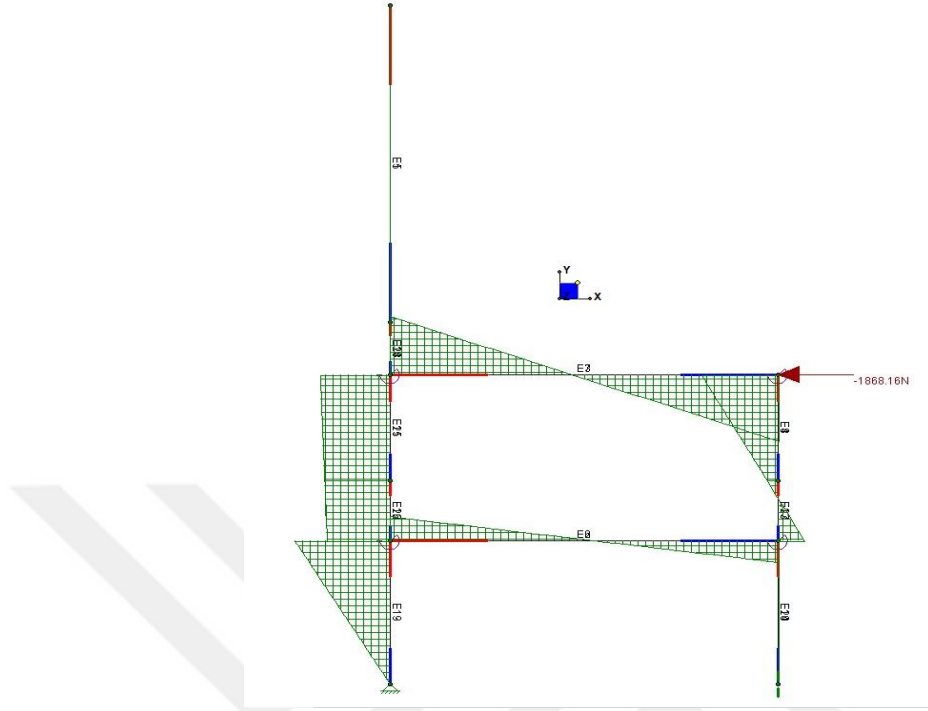
Son adım olarak, önden arkaya yüklemeler neticesinde elemanlarda meydana gelen momentler ve bunu sonucunda oluşan eğilme gerilmeleri analiz edilmiştir. Elemanlarda meydana gelen momentler, aksel ve kesme kuvvetlerinden farklı olarak gelişmektedir. Aksel kuvvetler ve kesme kuvvetleri eleman boyunca her noktada sabit değer alacak şekilde gelişmesine karşın, moment kuvvetleri elemanın başlangıç noktasından itibaren son noktasına kadar değişen değerler almaktadır. Sandalyeye ait her bir elemanlarının başlangıç (i) ve bitiş (j) noktaları Şekil 4.6' da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Sandalye elemanlarının başlangıç (i) ve bitiş (j) noktaları

Sandalye iskeletlerini meydana getiren tüm elemanlarda oluşan momentler ve meydana gelen eğilme gerilmeleri, üç boyutlu yapısal analiz sonuçlarından elde edilerek tüm elemanlar için Ek-1 ve Ek-2' de sunulmuştur. Yapısal analizler sonucunda

sandalye elemanlarında meydana gelen momentlerin dağılımını gösteren moment diyagramı Şekil 4.7’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Önden arkaya yükleme altındaki sandalyenin moment diyagramı

Daha sonra, Sarıçam ve Doğu Kayınından üretilen sandalyeleri meydana getiren elemanlardan, en büyük eğilme gerilmesinin olduğu eleman üç boyutlu yapı analizi sonuçlarından tespit edilerek, bu elemanlarda oluşan eğilme gerilmesi değerleri, sandalyelerin üretiminde kullanılan malzemeler için deneyler sonucunda belirlenmiş olan eğilme emniyet gerilmesi değerleri ile Çizelge 4.8’ de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.8. Önden arkaya yüklemede sandalye kritik elemanlarında meydana gelen eğilme gerilmeleri ile emniyet gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması

Malzeme	Eğilme Elemanı	Deney Eğilme Gerilmesi (N/mm ²)	Eğilme Emniyet Gerilmesi (N/mm ²)	Sonuç
Sarıçam	Arka Ayak Alt (E13,E19)	24,146	30	Başarılı
Doğu Kayını	Arka Ayak Alt (E13,E19)	28,171	40	Başarılı

Sandalye çerçeve yapısını oluşturan elemanlarda, en büyük eğilme gerilmelerinin “arka ayak alt“ (E13,E19) elemanlarında meydana geldiği görülmektedir. Deneylelerdeki yüklemelere göre, en kritik elemanlarda oluşan eğilme gerilmelerinin, iki farklı malzemedden üretilen deney sandalyeleri için de eğilme emniyet gerilmesi değerlerinden düşük olduğu ve momentleri başarılı bir şekilde karşıladığı saptanmıştır. Burada da, sarıçamın çok az bir farkla başarılı olduğu yine dikkati çekmektedir. Buna göre, deneylelerde deformasyonun birleştirme yerlerinde meydana geldiği gözlenmiş olmasına rağmen, birleştirme biraz daha dayanabilseydi deformasyonun arka ayak alt elemanının eğilme sonucu kırılması olarak gerçekleşeceği söylenebilir.

4.3.2. Arkadan öne yükleme deneylerine ilişkin bulgular

4.3.2.1. Arkadan öne yükleme deneylerindeki deformasyon karakteristikleri

Sarıçam ve Doğu Kayını sandalyelerinin arkadan öne devirli yüklemelere karşı göstermiş oldukları deformasyon karakteristikleri incelendiğinde, önden arkaya yüklemelerdeki deformasyon örneklerinin bir benzeri bu yükleme yönünde gerçekleşmiştir. Bir başka ifade ile önden arkaya yüklemelerde gözlenen tipik deformasyon karakteristiği ters yönde gerçekleşmiştir. Arkadan öne yükleme sonucunda deney sandalyesinde meydana gelen deformasyon biçimi Şekil 4.8’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Arkadan öne yüklenmiş deney sandalyesinin tipik deformasyonu

Arkadan öne yükleme performans testlerinde, Şekil 4.8' de görüldüğü gibi ön ayak ile arka ayağı bağlayan zıvanalı yan kayıt ve alt ara kayıt birleştirmelerinde rotasyona bağlı açılma, kırılma, kopma vb. şekillerde deformasyonlar meydana gelmiştir. Tüm testlerde sadece birleştirme yerlerinde deformasyonlar gözlenmiş olup, herhangi bir sandalye elemanında kırılma vb. deformasyon gözlenmemiştir.

4.3.2.2. *Arkadan öne yükleme deneylerine ilişkin performans değerleri, yapısal analiz sonuçları ve eleman kesit ölçülerinin kontrolü*

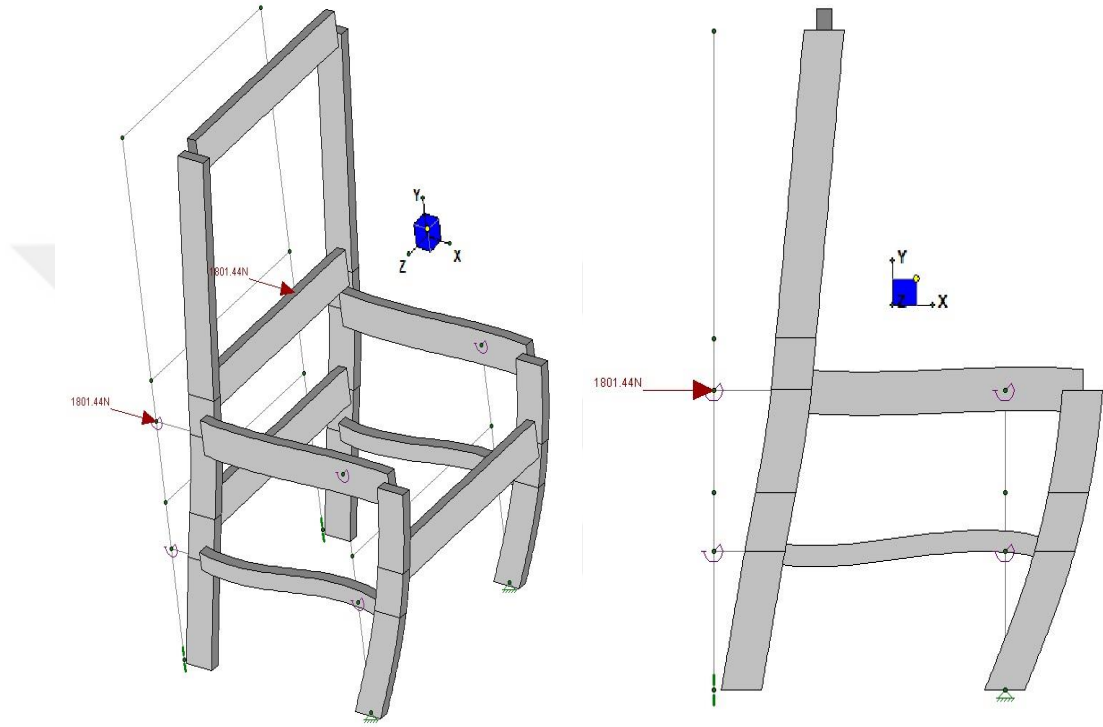
Sarıçam ve Doğu Kayını deney sandalyelerinin, arkadan öne yükleme performansı değerleri ve devir sayıları ortalamaları varyasyon katsayıları ile birlikte Çizelge 4.9' da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Deney sandalyelerinin arkadan öne yüklemelerdeki performansları

Sandalye malzemesi	Sandalye kodu	Deney Yüğü (N)	Ortalama kırılma yükü (N)	v (%)	Devir Sayısı	Ortalama devir sayısı	v (%)
Sarıçam	SAÖ1	1668	1579,04	7,71	225081	218628,80	6,37
Sarıçam	SAÖ2	1668			232865		
Sarıçam	SAÖ3	1668			227144		
Sarıçam	SAÖ4	1445,6			200052		
Sarıçam	SAÖ5	1445,6			2080012		
Doğu Kayını	DAÖ1	1890,4	1801,44	11,04	263441	251936,80	9,96
Doğu Kayını	DAÖ2	2112,8			290000		
Doğu Kayını	DAÖ3	1668			242494		
Doğu Kayını	DAÖ4	1668			236460		
Doğu Kayını	DAÖ5	1668			227289		

Devirli yüklemelerle arkadan öne yönde yapılan testlerde; Sarıçam deney sandalyelerinin ortalama kırılma değeri 1579,04 (N), buna ilişkin varyasyon katsayısı 7,71, ortalama devir sayısı 218628,80, buna ilişkin varyasyon katsayısı ise 6,37 olarak belirlenmiştir. Doğu Kayını sandalyeler için ortalama kırılma değeri 1801,44 (N), buna ilişkin varyasyon katsayısı 11,04, ortalama devir sayısı 251936,80, buna ilişkin varyasyon katsayısı ise 9,96 olarak belirlenmiştir.

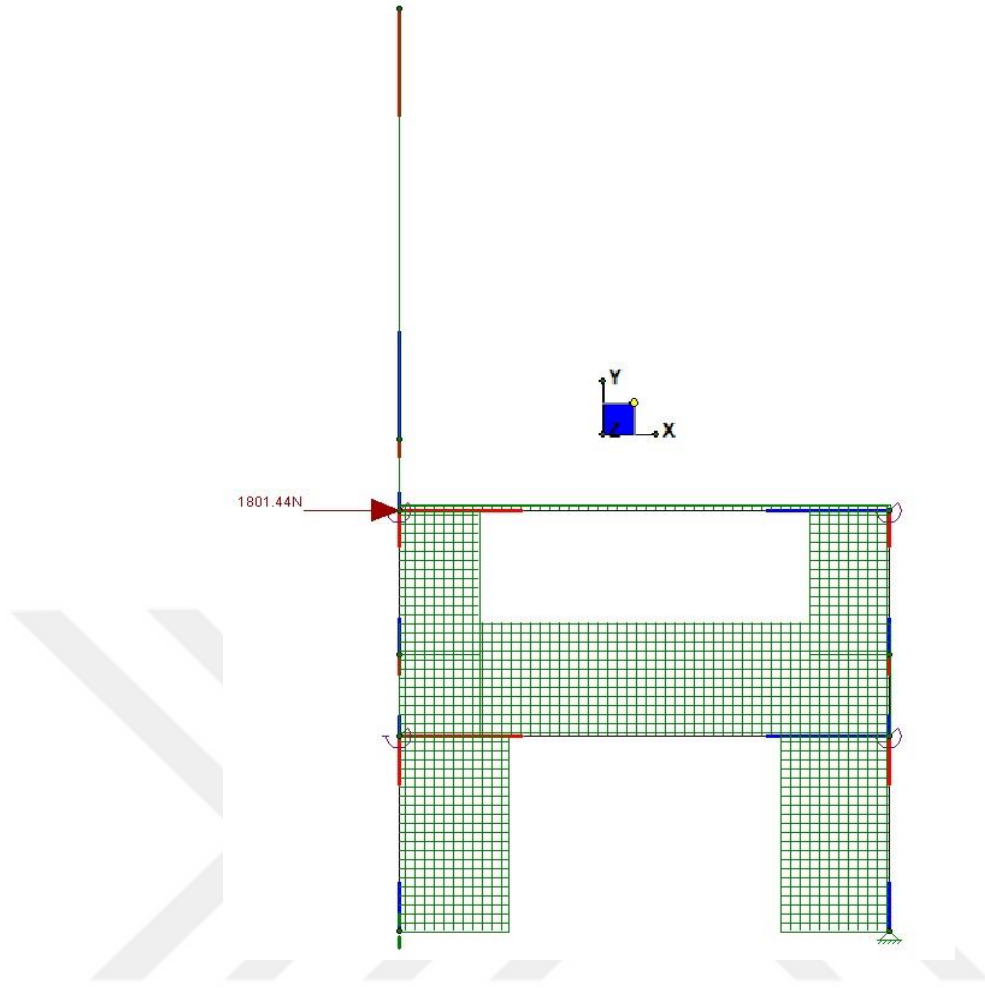
Yapısal analizler, gerçek deneylerde olduğu gibi, arkadan öne yönde yüklemeler yapılarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, önden arkaya yüklemelerde, gerçek deneylerden elde edilen ortalama kırılma yükler kullanılarak çözümler yapılmıştır. Yapısal analizler sonucunda elde edilmiş olan, deney yükleri karşısında sandalyede meydana gelen genel defleksiyon biçimi üç boyutlu ve yan görünüş olarak Şekil 4.9’ da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Arkadan öne yüklenmiş sandalyenin yapısal analizlerde alınan genel defleksiyon biçimi

Deney sandalyelerinin genel defleksiyon biçimi ve deformasyona uğrayan birleştirme noktalarına bakıldığında, gerçek testler ile yapısal analiz sonuçlarının bu yükleme biçiminde de tutarlı olduğu gözlenmiştir.

Performans analizi ve dolayısıyla da kesit ölçülerinin kontrolü için, yapısal analiz sonuçlarından sandalye sistemini oluşturan tüm elemanlara etkiyen eksenel kuvvetler ve bu kuvvetlerin oluşturduğu eksenel gerilmelerin analizi yapılmıştır. Sandalye sistemini oluşturan tüm elemanlardan alınan eksenel kuvvetler ile eksenel gerilme değerleri Ek-3 ve Ek-4’ te verilmiştir. Yapısal analizler sonucunda sandalye elemanlarında meydana gelen eksenel kuvvetlerin dağılımını gösteren eksenel kuvvet diyagramı Şekil 4.10’ da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Arkadan öne yüklenmiş sandalyenin eksenel kuvvet diyagramı

Yapılan analiz sonucu sandalye elemanlarına etkiyen normal kuvvetlere bakıldığında, en büyük basınç gerilmesinin meydana geldiği elemanlar “alt ara kayıtlar“ (E2, E6) olduğu belirlenmiştir. En büyük çekme gerilmesinin meydana geldiği elemanlar ise “arka ayak alt“ (E14, E20) elemanlarıdır. Dolayısıyla, önden arkaya yüklemede, eksenel kuvvetleri karşılamada en kritik elemanlar bu elemanlardır. Yükleme biçimi incelendiğinde, arka ayak alt kısımların bir basınç kuvveti etkisinde kaldığı, arka ayak alt elemanının ise deney platformundan yukarıya kalkmaya zorlandığı ve pimli bağlantılı olduğu için de bir çekme kuvveti etkisinde kaldığı anlaşılmaktadır.

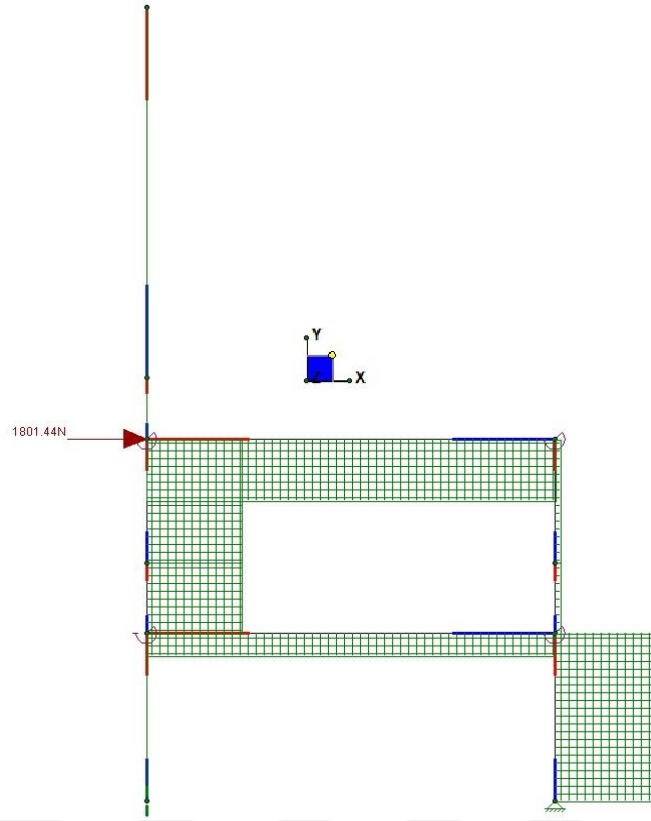
Bu kuvvetlerden dolayı oluşan eksenel gerilmelerin emniyet gerilmeleri ile yapılan karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.10’ da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Arkadan öne yüklemelerde elemanlardaki maksimum eksenel gerilme değerleri ile emniyet gerilmelerinin karşılaştırılma sonuçları

Malzeme	Çekme Elemanı	Deney Çekme Gerilmesi (N/mm ²)	Çekme Emniyet Gerilmesi (N/mm ²)	Sonuç	Basınç Elemanı	Deney Basınç Gerilmesi (N/mm ²)	Basınç Emniyet Gerilmesi (N/mm ²)	Sonuç
Sarıçam	Arka Ayak Alt (E14,E20)	1,046	30	Başarılı	Alt Ara Kayıt (E2,E6)	2,372	36,6	Başarılı
Doğu Kayını	Arka Ayak Alt (E14,E20)	1,229	40	Başarılı	Alt Ara Kayıt (E2,E6)	2,713	50	Başarılı

Buna göre, arkadan öne yüklemelerde için, Sarıçam ve Doğu Kayınından üretilmiş sandalye iskeletlerine ait elemanların kesit ölçülerinin, eksenel kuvvetleri emniyetli bir şekilde taşıyacak mukavemete sahip oldukları görülmüştür.

Bir sonraki adım olarak yine, sandalye iskeletlerine ait elemanlarda meydana gelen kesme kuvvetleri ile bu kuvvetlerin etkisiyle oluşan kesme gerilmesi değerleri analizler sonucu elde edilmiş ve sandalyeyi oluşturan tüm elemanlar için Ek-3 ve Ek-4' te verilmiştir. Yapısal analizler sonucunda sandalye elemanlarında meydana gelen kesme kuvvetlerinin dağılımını gösteren kesme kuvveti diyagramı Şekil 4.11' de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Arkadan öne yüklenmiş sandalyenin kesme kuvvet diyagramı

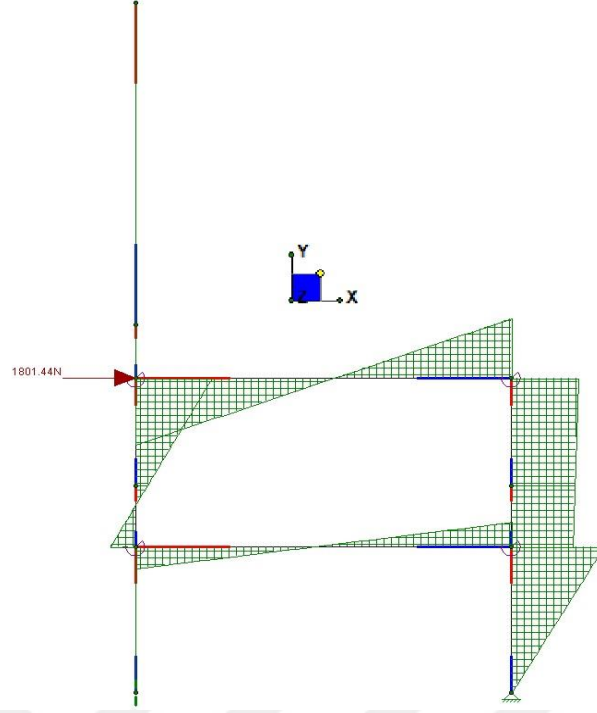
Kesit ölçülerinin kontrolü için, sandalye iskelet sistemlerine ait elemanlarda meydana gelen en büyük kesme gerilmeleri, her bir malzeme için deneyler sonucunda belirlenmiş olan kesme emniyet gerilmeleri ile karşılaştırılmıştır. Yapısal analiz sonuçlarına göre, en büyük kesme gerilmelerinin olduğu elemanlar “ön ayak alt” (E14, E20) elemanları olarak tespit edilmiştir. Sarıçam ve Doğu Kayınından üretilmiş sandalye iskeletlerine ait ön ayak alt elemanlarında meydana gelen kesme gerilmeleri için emniyet gerilmeleri ile yapılan karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.11’ de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Arkadan öne yüklemde elemanlardaki maksimum kesme gerilmesi değerleri ile kesme emniyet gerilmelerinin karşılaştırılma sonuçları

Malzeme	Kesme Elemanı	Deney Kesme Gerilmesi (N/mm²)	Kesme Emniyet Gerilmesi (N/mm²)	Sonuç
Sarıçam	Ön Ayak Alt (E14,E20)	1,880	2	Başarılı
Doğu Kayını	Ön Ayak Alt (E14,E20)	2,145	3,6	Başarılı

Sonuç olarak, sandalyelerin üretiminde kullanılan Sarıçam ve Doğu Kayını malzemeler için, uygulanan eleman kesit ölçüleri, arkadan öne yüklemelerde oluşan kesme kuvvetlerini taşımak için yeterli bulunmuştur. Burada, önden arkaya yüklemelerde olduğu gibi sarıçam odununun yine çok az bir farkla başarılı olduğu dikkat çekmektedir. Buna göre, deneylerde deformasyonun birleştirme yerlerinde meydana geldiği gözlenmiş olmasına karşın, birleştirmenin biraz daha mukavemetli olması halinde deformasyonun ön ayak alt elemanının kesilmesi olarak gerçekleşeceği söylenebilir.

Son olarak, sandalye iskeletlerini meydana getiren tüm elemanlarda oluşan momentler ve meydana gelen eğilme gerilmeleri, üç boyutlu yapısal analiz sonuçlarından elde edilerek tüm elemanlar için Ek-3 ve Ek-4’ te sunulmuştur. Yapısal analizler sonucunda sandalye elemanlarında meydana gelen momentlerin dağılımını gösteren moment diyagramı Şekil 4.12’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Arkadan öne yüklenmiş sandalyenin moment diyagramı

Yapısal analiz sonuçlarına göre, Sarıçam ve Doğu Kayınından üretilen sandalyeleri meydana getiren elemanlarda, en büyük eğilme gerilmesinin olduğu elemanlar “ön ayak alt” (E14, E20) elemanları olarak belirlenmiş, bu elemanlarda oluşan eğilme gerilmesi değerleri sandalye iskeletlerinin üretiminde kullanılan malzemeler için deneyler sonucunda belirlenmiş olan eğilme emniyet gerilmesi değerleri ile Çizelge 4.12’ de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.12. Arkadan öne yüklemde sandalye kritik elemanlarında meydana gelen eğilme gerilmeleri ile emniyet gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması

Malzeme	Eğilme Elemanı	Deney Eğilme Gerilmesi (N/mm ²)	Eğilme Emniyet Gerilmesi (N/mm ²)	Sonuç
Sarıçam	Ön Ayak Alt (E14,E20)	23,811	30	Başarılı
Doğu Kayını	Ön Ayak Alt (E14,E20)	27,165	40	Başarılı

Eğilme elemanı analizlerinde, beklendiği gibi önden arkaya eğilme analizlerinin tam tersi yönde ama benzer sonuçlar görülmektedir. Yapısal analizler sonucunda sandalye

sistemini oluşturan elemanlarda, en büyük eğilme gerilmelerinin “ön ayak alt“ (E13, E19) elemanlarında meydana geldiği tespit edilmiştir. Arkadan öne yükleme deneylerinde en kritik elemanlarda oluşan maksimum eğilme gerilmelerinin, iki farklı malzemeden hazırlanan deney sandalyeleri için belirlenen eğilme emniyet gerilmesi değerlerinden düşük kaldığı ve oluşan momentleri başarılı bir şekilde karşıladığı saptanmıştır. Buna rağmen, sarıçam sandalyenin çok az bir farkla başarılı olduğu burada da dikkati çekmektedir. Buna göre, daha önceden de belirtildiği gibi, ilgili noktadaki birleştirmeler biraz daha güçlü olsaydı, deformasyonun ön ayak alt elemanının eğilme sonucu kırılması olarak gerçekleşmiş olacağı söylenebilir.

4.3.3. Arkalığa önden arkaya yükleme deneylerine ilişkin bulgular

4.3.3.1. Arkalığa önden arkaya yükleme deneylerindeki deformasyon karakteristikleri

Sarıçam ve Doğu Kayını sandalyelerinin arkalığa önden arkaya devirli yüklemelere karşı göstermiş oldukları deformasyon karakteristikleri incelendiğinde, yükün yüklendiği noktadan itibaren yan kayıt hizasına kadar olan sandalye arkalık çerçeve sisteminin önden arkaya doğru önemli miktarda yer değiştirdiği, bununla eş zamanlı olarak arka ayak/ön ayak yan kayıt ve arka/ön ayak alt ara kayıt birleştirmelerinde bazen erkek zıvananın yuvasından çıkması ve bazı sandalyelerde ise kırılması şeklinde deformasyonlar gerçekleşmiştir. Arkalığa önden arkaya deney sandalyesinin tipik deformasyon biçimi Şekil 4.13’ te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Arkalığa önden arkaya yüklemeye deney sandalyesinin tipik deformasyonu

Bu yükleme ile gerçekleştirilen deneylerde diğer yüklemelerden farklı bazı durumlar ile karşılaşılmıştır. Arka ayakları birbirine bağlayarak sandalyeyi dörtlemeyi sağlayan ve yan kayıt yüksekliğinde olan kavelalı birleştirmeli arka orta kayıt bağlantılarında da kavelaların kırılması şeklinde deformasyonlar gözlenmiştir. Ayrıca, bu yükleme koşullarında deformasyonların sadece birleştirmelerde değil aynı zamanda elemanların kırılması olarak da gerçekleştiği görülmüştür. Bu durum, özellikle kırılmaların gözlendiği arka ayakların, yan kayıt yüksekliği seviyesindeki mesnetlendikleri noktadan çok büyük moment ve kesme kuvvetlerinin etkisinde kalmış olmaları ile açıklanabilir.

4.3.3.2. Arkalığa önden arkaya yükleme deneylerine ilişkin performans değerleri, yapısal analiz sonuçları ve eleman kesit ölçülerinin kontrolü

Sarıçam ve Doğu Kayını deney sandalyelerinin, arkalığa önden arkaya yükleme performansı değerleri ve devir sayıları ortalamaları varyasyon katsayıları ile birlikte Çizelge 4.13' te verilmiştir.

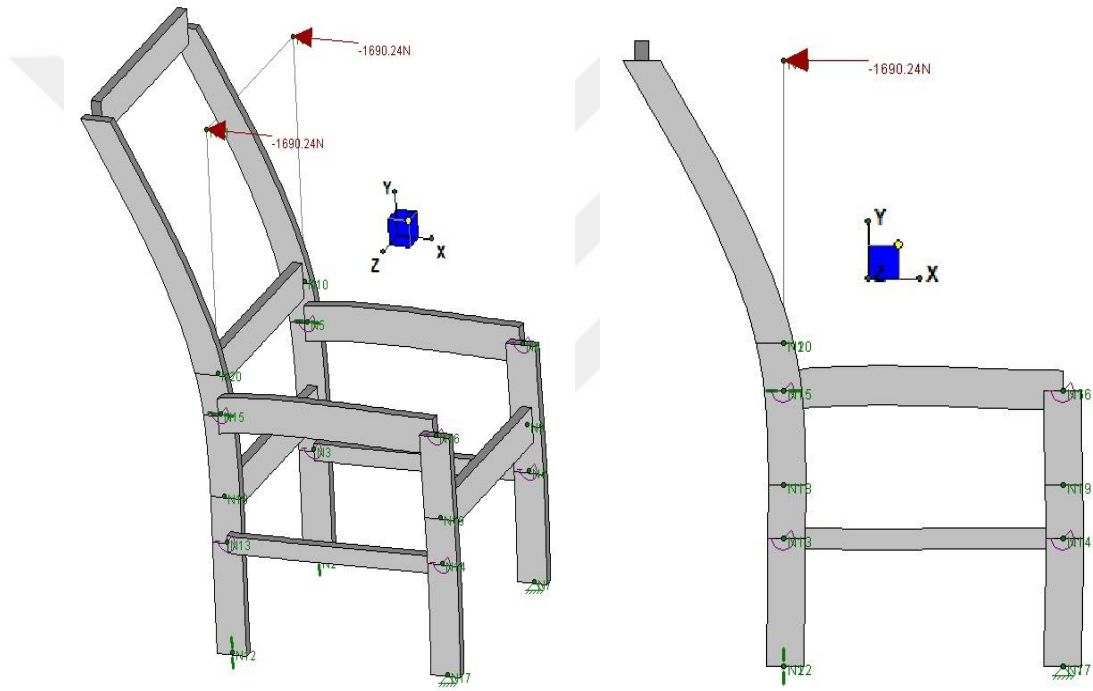
Çizelge 4.13. Deney sandalyelerinin arkalığa önden arkaya yüklemelerdeki performansları

Sandalye Malzemesi	Sandalye Kodu	Deney Yüğü (N)	Ortalama kırılma yüğü (N)	v (%)	Devir Sayısı	Ortalama devir sayısı	V (%)
Sarıçam	SAÖA1	1779,2	1690,25	11,77	75193	77231,40	22,55
Sarıçam	SAÖA2	1779,2			75731		
Sarıçam	SAÖA3	1334,4			50183		
Sarıçam	SAÖA4	1779,2			94448		
Sarıçam	SAÖA5	1779,2			90602		
Doğu Kayını	DAÖA1	3558,4	3469,44	5,73	175000	177466,40	4,61
Doğu Kayını	DAÖA2	3113,6			157332		
Doğu Kayını	DAÖA3	3558,4			175000		
Doğu Kayını	DAÖA4	3558,4			175000		
Doğu Kayını	DAÖA5	3558,4			175000		

Devirli yüklemelerle arkalığa önden arkaya yönde yapılan testlerde; Sarıçam deney sandalyelerinin ortalama kırılma değeri 1690,25 (N), buna ilişkin varyasyon katsayısı

11,77, ortalama devir sayısı 77231,40, buna ilişkin varyasyon katsayısı ise 22,55 olarak belirlenmiştir. Doğu Kayını sandalyeler için ortalama kırılma değeri 3469,44 (N), buna ilişkin varyasyon katsayısı 5,73, ortalama devir sayısı 177466,40, buna ilişkin varyasyon katsayısı ise 4,61 olarak belirlenmiştir.

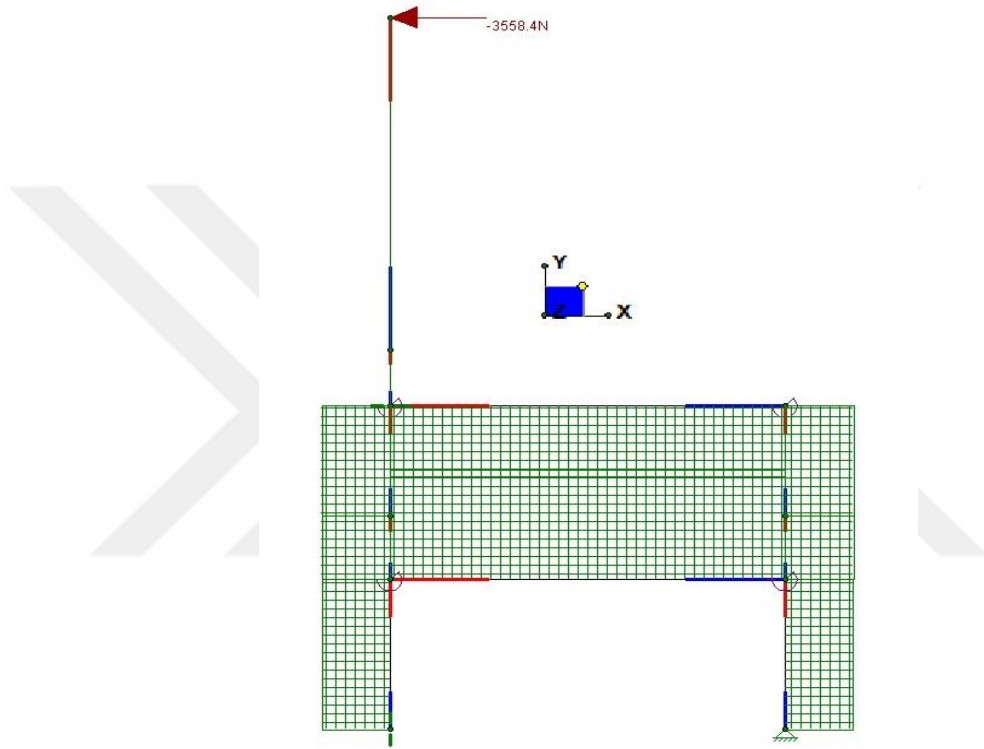
Yapısal analizler, gerçek deneylerde elde edilen ortalama kırılma yükleriyle ve yükleme yönü arkalık çerçevesine önden arkaya yönde olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Yapısal analiz sonucunda elde edilmiş olan, deney yükleri karşısında sandalyede meydana gelen genel defleksiyon biçimi Şekil 4.14' te üç boyutlu ve yan görünüş olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Arkalığa önden arkaya yüklenmiş sandalyenin genel defleksiyon biçimi

Deney sandalyelerinin arkalığa önden arkaya yükleme altındaki genel defleksiyon biçimi ve deformasyona uğrayan elemanlara ve birleştirme noktalarına bakıldığında, bu yükleme koşullarında da gerçek testler ile yapısal analiz sonuçlarının birebir tutarlı olduğu gözlenmiştir. Yapısal analiz sonuçlarından elde edilen genel defleksiyon biçimi (Şekil 4.14) incelendiğinde, arka ayakların, mesnetlenmiş oldukları yan kayıt seviyesinden itibaren büyük miktarlarda yer değiştirmeye uğradıkları görülmektedir. Gerçek deneylerde de elemanlarda meydana gelen kırılmalar tam olarak bu noktalarda gerçekleşmiştir.

Kesit ölçülerinin kontrolü için, yapısal analiz sonuçlarından sandalye iskelet sistemini oluşturan tüm elemanlara etkiyen aksel kuvvetler ve bu kuvvetlerin oluşturduğu aksel gerilmelerin analizi yapılmıştır. Sandalye grupları itibarıyla sistemi oluşturan tüm elemanlar için alınan aksel kuvvetler ile aksel gerilme değerleri Ek-5 ve Ek-6’ da verilmiştir. Yapısal analizler sonucunda sandalye elemanlarında meydana gelen aksel kuvvetlerin dağılımını gösteren aksel kuvvet diyagramı Şekil 4.15’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Arkalığa önden arkaya yükleme altındaki sandalyenin aksel kuvvet diyagramı

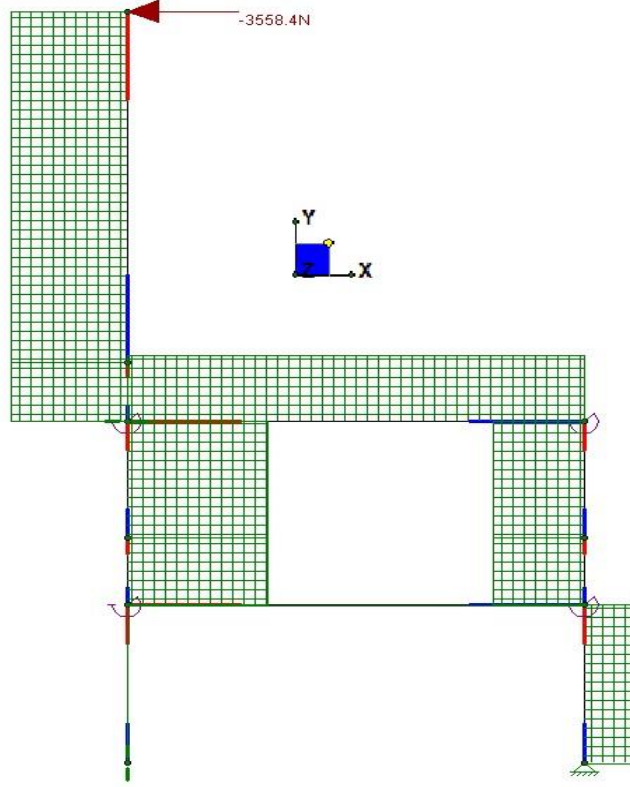
Yapılan analiz sonucunda, sandalye iskeletine gelen normal kuvvetlere bakıldığında en büyük basınç gerilmelerinin meydana geldiği elemanlar “alt ara kayıtlar” (E2, E6), en büyük çekme gerilmelerinin meydana geldiği elemanlar ise “yan kayıt elemanları (E3, E7)” olarak belirlenmiştir. Aksel kuvvetleri karşılamada en kritik elemanlar bu elemanlardır. Bu kuvvetlerden dolayı oluşan aksel gerilmelerin emniyet gerilmeleri ile yapılan karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.14’ te verilmiştir.

Çizelge 4.14. Arkalığa önden arkaya yüklemde elemanlardaki maksimum aksenal gerilme değerleri ile emniyet gerilmelerinin karşılaştırılma sonuçları

Malzeme	Çekme Elemanı	Deney Çekme Gerilmesi (N/mm²)	Çekme Emniyet Gerilmesi (N/mm²)	Sonuç	Basınç Elemanı	Deney Basınç Gerilmesi (N/mm²)	Basınç Emniyet Gerilmesi (N/mm²)	Sonuç
Sarıçam	Yan Kayıt (E3, E7)	1,036	30	Başarılı	Alt Ara Kayıt (E2, E6)	3,189	36,6	Başarılı
Doğu Kayını	Yan Kayıt (E3, E7)	2,146	40	Başarılı	Alt Ara Kayıt (E2, E6)	6,606	50	Başarılı

Yapısal analizlerden elde edilen bu sonuçlara ve deneylerle elde edilen emniyet gerilmesi değerleri ile yapılan karşılaştırmalar sonucunda, Sarıçam ve Doğu Kayını odunlarından üretilmiş sandalye iskeletlerine ait elemanların kesit ölçülerinin, aksenal kuvvetleri güvenli bir şekilde taşıyacak mukavemette oldukları anlaşılmıştır.

Bir sonraki adımda, sandalye iskeletlerine ait elemanlarda meydana gelen kesme kuvvetleri ile bu kuvvetlerin etkisiyle oluşan kesme gerilmesi değerleri analizler sonucu elde edilmiş ve sistemi oluşturan tüm elemanlar için Ek-5 ve Ek-6' da verilmiştir. Yapısal analizler sonucunda sandalye elemanlarında meydana gelen kesme kuvvetlerinin dağılımını gösteren kesme kuvveti diyagramı Şekil 4.16' da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Arkalığa önden arkaya yükleme altındaki sandalyenin kesme kuvveti diyagramı

Bu adımda, sandalye iskelet sistemlerine ait elemanlarda meydana gelen en büyük kesme gerilmeleri, her bir malzeme için deneyler sonucunda belirlenmiş olan kesme emniyet gerilmeleri ile karşılaştırılmıştır. Yapısal analiz sonuçlarının incelemesinden, en büyük kesme gerilmelerinin olduğu eleman arka ayak alt ara kayıttın üst ve alt kısımlarındaki (E15, E21 ve E16, E22) elemanlar olarak tespit edilmiştir. Sarıçam ve Doğu Kayınından üretilmiş sandalye iskeletlerine ait arka ayak alt ara kayıttın üst ve alt kısımlarında meydana gelen kesme gerilmelerinin emniyet gerilmeleri ile yapılan karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.15’ de verilmiştir.

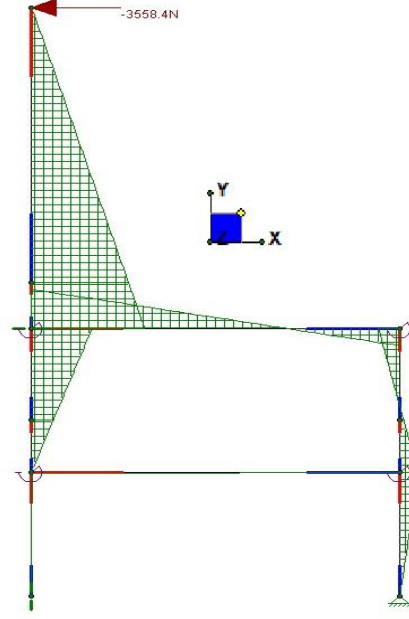
Çizelge 4.15. Arkalığı önden arkaya yüklenmiş sandalye elemanlardaki maksimum kesme gerilmesi değerleri ile kesme emniyet gerilmelerinin karşılaştırılma sonuçları

Malzeme	Kesme Elemanı	Deney Kesme Gerilmesi (N/mm²)	Kesme Emniyet Gerilmesi (N/mm²)	Sonuç
Sarıçam	Arka Ayak Alt Ara Kayıtın Alt ve Üst Kısmı (E15, E21 ve E16, E22)	2,392	2	Başarısız
Doğu Kayını	Arka Ayak Alt Ara Kayıtın Alt ve Üst Kısmı (E15, E21 ve E16, E22)	4,954	3,6	Başarısız

Karşılaştırma sonuçlarına göre; yapısal analizler sonucu tespit edilen kritik elemanlarda, arkalığa önden arkaya yükleme koşulları altında oluşan kesme gerilmesi değerlerinin, her iki ağaç malzemedен üretilen sandalyeler için de emniyet gerilmesi değerlerini aştığı görülmüştür. Bu durumda, sandalyeyi oluşturan eleman kesit ölçülerinin, etkisinde kalınan kesme kuvvetlerini taşımak için yeterli olmadığı ve bu noktalarda kesme etkisiyle kırıldıklarını göstermektedir. Daha önce de belirtildiği gibi bu deformasyon biçimi gerçek testlerde gözlenen deformasyonlarla örtüşmektedir.

Son adım olarak, arkalığa önden arkaya yükleme sonucunda, sistemi oluşturan elemanlarda meydana gelen momentler ve bunu sonucunda oluşan eğilme gerilmeleri analiz edilmiştir.

Sandalye iskeletlerini meydana getiren tüm elemanlarda oluşan momentler ve meydana gelen eğilme gerilmeleri, üç boyutlu yapısal analiz sonuçlarından elde edilerek tüm elemanlar için Ek-5 ve Ek-6' da sunulmuştur. Yapısal analizler sonucunda sandalye elemanlarında meydana gelen momentlerin dağılımını gösteren moment diyagramı Şekil 4.17' de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Arkalığa önden arkaya yükleme altındaki sandalyenin moment diyagramı

Son adım olarak, Sarıçam ve Doğu Kayınından üretilen sandalyeleri meydana getiren elemanlardan, en büyük eğilme gerilmesinin olduğu eleman üç boyutlu yapı analizi sonuçlarından tespit edilerek, bu elemanlarda oluşan eğilme gerilmesi değerleri, sandalyelerin üretiminde kullanılan malzemeler için deneyler sonucunda belirlenmiş olan eğilme emniyet gerilmesi değerleri ile Çizelge 4.16’ da karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.16. Arkalığa önden arkaya yüklemede sandalye kritik elemanlarında meydana gelen eğilme gerilmeleri ile emniyet gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması

Malzeme	Eğilme Elemanı	Deney Eğilme Gerilmesi (N/mm ²)	Eğilme Emniyet Gerilmesi (N/mm ²)	Sonuç
Sarıçam	Arka Ayak Orta Kayıtın Alt Kısmı (E18, E24)	65,732	30	Başarısız
Doğu Kayını	Arka Ayak Orta Kayıtın Alt Kısmı (E18, E24)	134,923	40	Başarısız

Eğilme elemanı analizlerinde, sandalyeyi oluşturan elemanlarda, en büyük eğilme gerilmelerinin arka ayak orta kayıt alt kısmındaki (E18, E24) elemanlarda meydana gelmiş ve her iki malzemedan üretilmiş deney sandalyeleri için de bu değerler, malzemeler için belirlenen eğilme emniyet gerilmesi değerlerinden çok daha yüksek çıkmıştır. Bu sonuç, sandalyeyi oluşturan eleman kesit ölçülerinin, etkisinde kalınan

momentleri taşımada çok yetersiz olduğunu ve bu noktalarda eğilme etkisiyle kırıldıklarını göstermektedir.

Yapısal analiz sonuçlarına göre; arkağa önden arkaya yükleme deneylerinde, arka ayak elemanının çeşitli noktalarda eş zamanlı olarak aşırı büyüklükte kesme kuvvetlerinin ve momentlerin etkisinde kaldığı anlaşılmış, ancak eğilme gerilmelerinin emniyet gerilmelerine göre çok daha yüksek değerlerde olması, deformasyonların öncelikle moment etkisinde kalan yerlerde meydana geldiğini göstermektedir. Bu deformasyon biçimi de gerçek testlerde gözlenen deformasyonlarla da tutarlıdır.

4.3.4. Yanal yükleme deneylerine ilişkin bulgular

4.3.4.1. Yanal yükleme deneylerindeki deformasyon karakteristikleri

Sarıçam ve Doğu Kayını deney sandalyelerinin, yanal yükleme performansı değerleri ve devir sayıları ortalamaları varyasyon katsayıları ile birlikte Çizelge 4.17' de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Deney sandalyelerinin yanal yüklemelerdeki performansları

Sandalye Malzemesi	Sandalye Kodu	Deney Yüğü (N)	Ortalama kırılma yüğü (N)	v (%)	Devir Sayısı	Ortalama devir sayısı	V (%)
Sarıçam	SY1	778,4	756,16	6,58	173466	161387,30	10,15
Sarıçam	SY2	778,4			169082		
Sarıçam	SY3	667,2			137587		
Sarıçam	SY4	778,4			151276		
Sarıçam	SY5	778,4			175528		
Doğu Kayını	DY1	1000,8	956,32	6,37	203576	198812,20	2,19
Doğu Kayını	DY2	1000,8			201216		
Doğu Kayını	DY3	889,6			162964		
Doğu Kayını	DY4	889,6			195671		
Doğu Kayını	DY5	1000,8			200634		

Devirli yüklemelerle yanal yönde yapılan testlerde; Sarıçam deney sandalyelerinin ortalama kırılma değeri 756,16 (N), buna ilişkin varyasyon katsayısı 6,58, ortalama devir sayısı 161387,30, buna ilişkin varyasyon katsayısı ise 10,15 olarak belirlenmiştir. Doğu Kayını sandalyeler için ortalama kırılma değeri 956,32 (N), buna ilişkin varyasyon katsayısı 6,37, ortalama devir sayısı 198812, buna ilişkin varyasyon katsayısı ise 2,19 olarak belirlenmiştir.

Yanal yüklemelere karşı gösterilen performansa bakıldığında; Doğu kayınından üretilen sandalyelerin ev içi kullanım yüklerini çok az bir farkla sınırdan geçmiş olduğu, sarıçamdan üretilen sandalyelerin ise ev içi kullanım yüklerini bile karşılayamadan birleştirme yerlerinden deformasyona uğrayarak yaşam ömürlerini tamamladıkları görülmüştür. Deformasyonlar genellikle, yükleme etkisinde kalan ön ayak ön kayıt öncelikli olmak üzere, arka ayak arka kayıt bağlantılarındaki kavelalı birleştirmelerin alt noktaları dönme merkezleri (eksenleri) olacak şekilde rotasyon yapmaları şeklinde meydana gelmiştir. Sarıçam ve Doğu Kayını sandalyelerinin yanal yüklemelere karşısında uğramış oldukları deformasyon karakteristikleri incelendiğinde, yine genel anlamda sistemin, yükün uygulama noktası yüksekliğinde ve yönünde bir defleksiyon yapması şeklinde gerçekleşmiştir. Yanal yükleme altındaki deney sandalyelerinin tipik deformasyon biçimi Şekil 4.18’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Yanal yükleme altındaki deney sandalyesinin tipik deformasyonu

Mevcut deney sandalyelerinin yükleme yönlerine göre gösterdikleri performanslarına bakıldığında, gerçekleştirilen 3 yöndeki yükleme karşısında başarılı olurken, yanal yüklemeler karşısında ise başarısız oldukları için, zayıf olunan yanal yüklemenin etkisinde kalan birleştirmelerin mukavemetini artırıcı tedbirler alınması gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır.

Sonuç olarak, her iki ağaç türünden üretilen sandalyelerde, yanal yüklemeler karşısındaki deformasyonların birleştirme yerlerinden geliştiği, sandalye elemanlarında kırılma vb. herhangi bir deformasyon oluşmadığı gözlemlenmiş, deney sandalyelerinde bu yüklemeler karşısında ev içi kullanımlar için gerekli mukavemetin sağlanabilmesi açısından en kritik yerlerin ilgili birleştirme noktalarının olduğu saptanmıştır. Bu nedenle de, yanal yüklemelere ilişkin performans değerlerinin yapısal analiz ve optimizasyon çalışmalarında kullanılması anlamlılığını yitirmiştir.

Bu durumda, sandalyelerde ağırlık-mukavemet optimizasyon çalışmaları eleman kesit ölçülerine göre yapılacağından, başarılı olunan 3 yükleme yönündeki elemanlar için kesit optimizasyonu, başarısız olunan yanal yüklemeler için ise eleman kesit ölçülerinden ziyade bu yüklemeye maruz kalan birleştirme yerlerinde ev içi kullanım yüklerinin karşılanabileceği güçlendirme çalışmaları yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

4.4. Mevcut Deney Sandalyelerinin Performanslarının ALA Deney Yöntemine Göre Değerlendirilmesi

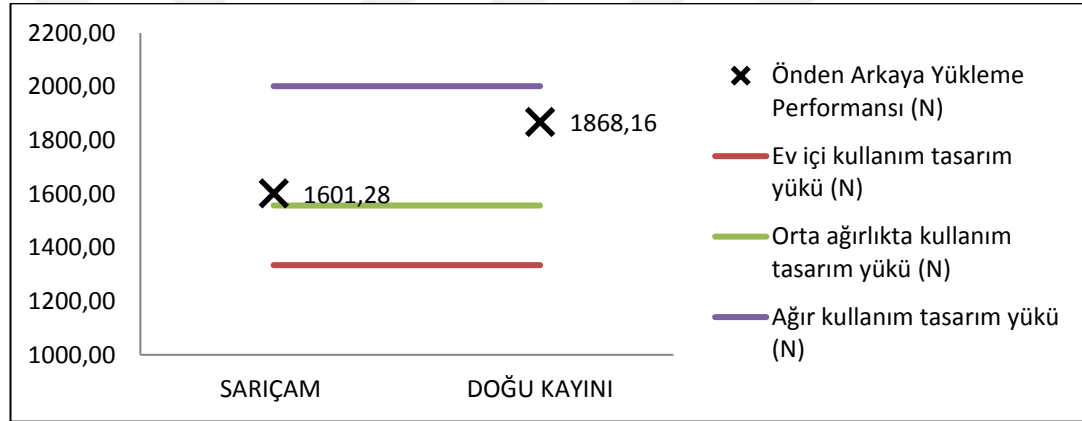
Çalışma kapsamında, deney sandalyeleri devirli basamaklı artan yükleme ile önden arkaya, arkadan öne, arkalığa arkadan çekme ve yanal olmak üzere 4 farklı yönde testlere alınmışlardır. Devirli basamaklı artan yüklemeler gerçek kullanım koşullarını en iyi şekilde temsil etmekte ve daha gerçekçi performans değerleri vermektedir. Ayrıca, ALA (1982), GSA (2001), gibi Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa' nın birçok ülkesinde mobilya performans testleri için kullanılan rapor ve standartlardaki kabul edilebilir tasarım (kullanım) yükleri devirli yüklemelere göre verilmektedir.

Mevcut deney sandalyelerinin önden arkaya, arkadan öne, arkalığa önden arkaya ve yanal yönde devirli basamaklı yükleme performansı değerleri, ALA deney yönteminde

verilen kabul edilebilir “hafif”, “orta” ve “ağır” kullanım yük değerleri ile karşılaştırılmış ve sandalyelerin gerçek kullanım koşullarına ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır. Bu deney yönteminde, hafif kullanımlar ev içi ve özel mekânlardaki kullanımları, orta kullanımlar çok yoğun olmayan büro vb. mekânlardaki kullanımları, ağır kullanımlar ise yoğun kullanımı olan hastane, okul, kütüphane, hava alanı, vb. mekânlardaki kullanımları temsil etmektedir.

4.4.1. Deney sandalyelerinin önden arakaya yükleme performanslarının kabul edilebilir yük değerleri ile karşılaştırılması

Önden arkaya devirli basamaklı yükleme performanslarının ALA’ daki kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmasını gösteren grafik Şekil 4.19’ da verilmiştir.



Şekil 4.19. Deney sandalyelerinin ALA’ da önden arkaya yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmasına yönelik grafik

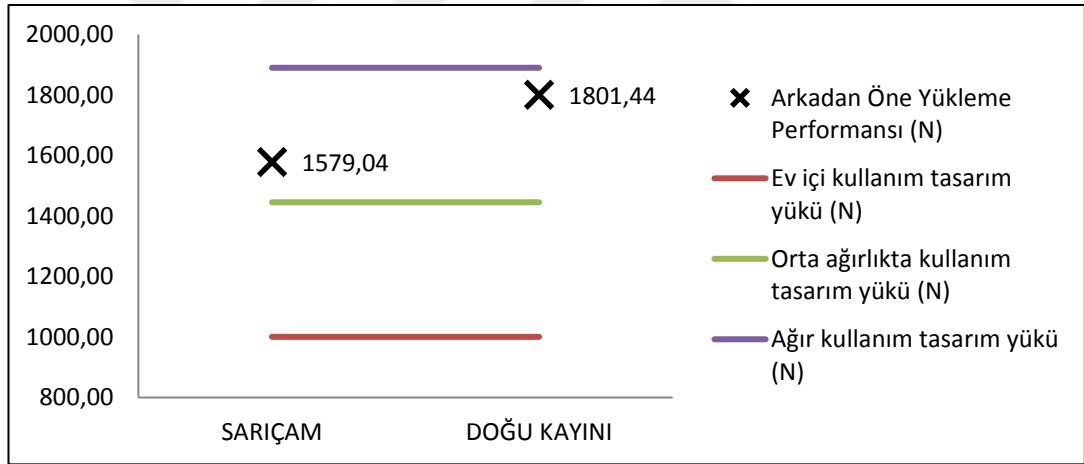
Önden arkaya yükleme performansı değerleriyle ALA’ da verilen kabul edilebilir tasarım yüklerine göre yapılan karşılaştırmalar sonucunda, önden arkaya yüklemelerde her iki grup (Doğu kayını ve sarıçam) deney örneği sandalyeler, orta ağırlıkta kullanım yüklerini karşılamışlardır. Bu karşılaştırmaya ilişkin sonuçlar daha anlaşılır olması amacı ile Çizelge 4.18’ de verilmiştir.

Çizelge 4.18. Deneş sandalyeleri perfomansları ortalamalarının ALA yönteminde önden arkaya yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılması

Sandalye malzemesi	Deneş yükü (N)	Hafif (N)	Sonuç	Orta (N)	Sonuç	Ağır (N)	Sonuç
Sarıçam	1601,28	1334,4	BAŞARILI	1556,8	BAŞARILI	2001,6	BAŞARISIZ
Doğuş Kayını	1868,16	1334,4	BAŞARILI	1556,8	BAŞARILI	2001,6	BAŞARISIZ

4.4.2. Deneş sandalyelerinin arkadan öne yükleme performanslarının kabul edilebilir yük değerleri ile karşılaştırılması

Arkadan öne devirli basamaklı yükleme performanslarının ALA’ daki kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmasını gösteren grafik Şekil 4.20’ de verilmiştir.



Şekil 4.20. Deneş sandalyelerinin ALA’ da arkadan öne yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmasına yönelik grafik

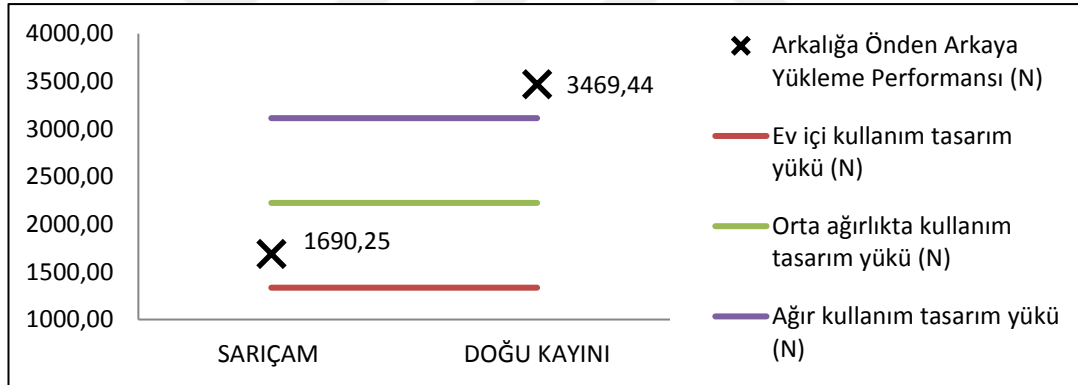
Arkadan öne yükleme performansı değerleriyle ALA’ da verilen kabul edilebilir tasarım yüklerine göre yapılan karşılaştırmalar sonucunda, arkadan öne yüklemelerde de hem Doğuş kayını hem de sarıçam deneş sandalyeleri, orta ağırlıkta kullanım yüklerini karşılamışlardır. Bu karşılaştırmaya ilişkin sonuçlar daha anlaşılır olması amacı ile Çizelge 4.19’ da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Deney sandalyeleri perfomansları ortalamalarının ALA yönteminde arkadan öne yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılması

Sandalye malzemesi	Deney yükü (N)	Hafif (N)	Sonuç	Orta (N)	Sonuç	Ağır (N)	Sonuç
Sarıçam	1579,04	1000,8	BAŞARILI	1445,6	BAŞARILI	1890,4	BAŞARISIZ
Doğu Kayını	1801,44	1000,8	BAŞARILI	1445,6	BAŞARILI	1890,4	BAŞARISIZ

4.4.3. Deney sandalyelerinin arkalığa önden arkaya yükleme performanslarının kabul edilebilir yük değerleri ile karşılaştırılması

Arkalığa önden arkaya devirli basamaklı yükleme performanslarının ALA’ daki kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmasını gösteren grafik Şekil 4.21’ de verilmiştir.



Şekil 4.21. Deney sandalyelerinin ALA’ da arkalığa önden arkaya yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmasına yönelik grafik

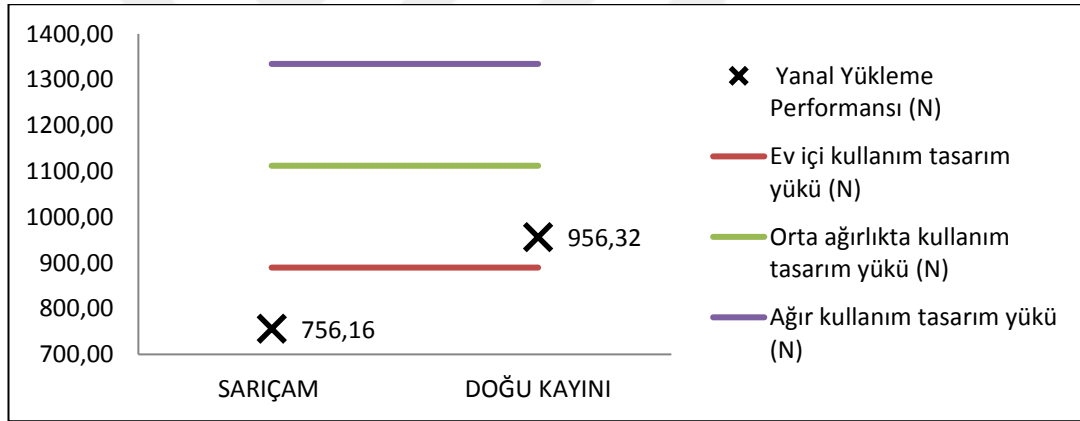
Arkalığa önden arkaya yükleme performansı değerleriyle ALA’ da verilen kabul edilebilir tasarım yüklerine göre yapılan karşılaştırmalar sonucunda, sarıçam deney sandalyeleri hafif (ev içi) ağırlıkta kullanım yüklerini karşılarken, Doğu kayını deney sandalyelerinin ise ağır kullanım yüklerini karşıladıkları görülmüştür. Bu karşılaştırmaya ilişkin sonuçlar daha anlaşılır olması amacı ile Çizelge 4.20’ de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Deneş sandalyeleri performansları ortalamalarının ALA yönteminde arkalığa önden arkaya yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılması

Sandalye malzemesi	Deneş yükü (N)	Hafif (N)	Sonuç	Orta (N)	Sonuç	Ağır (N)	Sonuç
Sarıçam	1690,25	1334,4	BAŞARILI	2224	BAŞARISIZ	3113,6	BAŞARISIZ
Doğu Kayını	3469,44	1334,4	BAŞARILI	2224	BAŞARILI	3113,6	BAŞARILI

4.4.4. Deneş sandalyelerinin yanal yüklemeler performanslarının kabul edilebilir yük değerleri ile karşılaştırılması

Yanal devirli basamaklı yüklemeler performanslarının ALA 'daki kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmasını gösteren grafik Şekil 4.22' de verilmiştir.



Şekil 4.22. Deneş sandalyelerinin ALA' da yanal yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmasına yönelik grafik

Yanal yüklemeler performansı değerleriyle ALA' da verilen kabul edilebilir tasarım yüklerine göre yapılan karşılaştırmalar sonucunda, sarıçam deneş sandalyeleri ev içi kullanımlar için gerekli olan performansı bile gösterememiş, Doğu kayını deneş sandalyeleri ise ev içi kullanım yüklerini çok az bir farkla sınırdaki karşılamışlardır. Bu karşılaştırmaya ilişkin sonuçlar daha anlaşılır olması amacı ile Çizelge 4.21' de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Deneş sandalyeleri performansları ortalamalarının ALA yönteminde yanal yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılması

Sandalye malzemesi	Deneş yükü (N)	Hafif (N)	Sonuç	Orta (N)	Sonuç	Ağır (N)	Sonuç
Sarıçam	756,16	889,6	BAŞARISIZ	1112	BAŞARISIZ	1334,4	BAŞARISIZ
Doğuş Kayını	956,32	889,6	BAŞARILI	1112	BAŞARISIZ	1334,4	BAŞARISIZ

Mevcut ölçülerdeki deneş sandalyelerinin performansları, ALA raporunda belirtilen kabul edilebilir tasarım yüklerine göre değerlendirildiğinde; Doğuş kayını ve sarıçamdan üretilen deneş sandalyelerinin, pratik uygulamalarda en çok karşılaşılan yüklemeleri temsil eden “önden arkaya”, “arkadan öne” ve “arkalığa önden arkaya çekme” yüklemesi yönlerinde ev içi kullanımlar için gerekli olan mukavemet değerlerini fazlasıyla sağladıkları anlaşılmıştır. Ancak, pratik uygulamalarda daha seyrek olarak karşılaşımasına rağmen, yine de sağlanması gereken bir performans kriteri olan “yanal” yükleme performansına bakıldığında; Doğuş kayınından üretilen sandalyelerin ev içi kullanım yüklerini çok az bir farkla sınırdan geçtiği, sarıçamdan üretilen sandalyelerin ise ev içi kullanım yüklerini bile karşılayamadan başarısız oldukları görülmüştür.

4.5. Ağır Mukavemet Optimizasyonu Sonuçları

Ağır mukavemet optimizasyonu çalışmaları bilgisayar destekli yapısal analizlerle birlikte yürütülmüştür. Optimizasyon çalışmalarında, modellenen mevcut sandalyenin yapısal analizleri, ALA’ da belirtilen ev içi kullanım koşullarındaki yük değerleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir (ALA, 1982). Buna ilave olarak, statik yükler ile devirli yükler arasındaki ilişkiler göz önünde bulundurulmuş ve statik analizlerde, model sandalyeye, deneşlerde kullanılan yüklerin iki katı uygulanmıştır.

Mobilyanın statik analizi gerçekleştirilirken izlenen yolda, sandalyelerin üretiminde kullanılan malzemenin mekanik özellikleri, deneşler sonucunda elde edilerek statik analizlerde tatbik edilmiş olup, yükleme noktaları, mesnet noktaları birebir

modellenmiş ve gerçek performans testlerinin mümkün derece en yakın modellemesi gerçekleştirilmiştir. Yapısal analizler burada da, önden arkaya, arkadan öne ve arkalığa önden arkaya yönde yüklemelere göre gerçekleştirilmiş, yanal yüklemeler ise, gerçek deneylerde ev içi kullanım yükleri dahi başarılardan birleştirme yerlerinde büyük deformasyonlar gözlemlendiği için analizlere dahil edilmemiştir.

Yapısal analizler sonucunda, her bir yükleme yönü ve malzeme için sistemi oluşturan elemanlarda oluşan aksel kuvvetler, kesme kuvvetleri, momentler ve bunların oluşturduğu gerilmelere ilişkin değerler elde edilmiş ve sandalye sistemini oluşturan tüm elemanlar için bu değerler Ek - 7, Ek - 8, Ek - 9, Ek - 10, Ek - 11 ve E - 12' de sırasıyla verilmiştir.

Daha sonraki aşamada, yapısal analizlerden elde edilmiş olan aksel kuvvetler, kesme kuvvetleri, saf momentler ve birleşik aksel - eğilme kuvvetlerinden (eksantrik) en büyük değerlerin bulunduğu elemanlar, ilgili kuvvetler karşısında en kritik elemanlar olarak belirlenmiştir. Yapısal analizler sonucu, her bir yöndeki deney yüklemeleri altında en kritik durumda olduğu belirlenen elemanlar Çizelge 4.22' de listelenmiştir.

Çizelge 4.22. Her bir yükleme için yapısal analizlerle belirlenen en kritik elemanlar

Yükleme Yönü	Sandalye Malzemesi	Etkiyen Kuvvet	Eleman Kodu	Kuvvet / Moment Değeri
Önden arkaya yükleme	Sarıçam	Eksenel kuvvet	E2, E6	1242 N
			E14, E20*	-1117 N
		Kesme kuvveti	E13, E19	1334 N
		Moment	E2, E6	73 Nm
			E13, E19	254 Nm
		Birleşik eksenel ve moment	E2, E6*	1242 N + 73 Nm
	E13, E19		117 N + 254 Nm	
	Doğu kayını	Eksenel kuvvet	E2, E6	1250 N
			E14, E20*	-1150 N
		Kesme kuvveti	E13, E19	1334 N
		Moment	E2, E6	75 Nm
			E13, E19	254 Nm
Birleşik eksenel ve moment		E2, E6*	1250 N + 75 Nm	
	E13, E19	1150 N + 254 Nm		
Arkadan öne yükleme	Sarıçam	Eksenel kuvvet	E2, E6	947 N
			E13, E19	-835 N
		Kesme kuvveti	E14, E20	-1001 N
		Moment	E2, E6	55 Nm
			E14, E20	-190 Nm
		Birleşik eksenel ve moment	E2, E6	947 N + 55 Nm
	E14, E20		835 N - 190 Nm	
	Doğu kayını	Eksenel kuvvet	E2, E6	949 N
			E13, E19	-860 N
		Kesme kuvveti	E14, E20	-1001 N
		Moment	E2, E6	56 Nm
			E14, E20	-190 Nm
Birleşik eksenel ve moment		E2, E6	949 N + 56 Nm	
	E14, E20	860 N - 190 Nm		
Arkalığa önden arkaya yükleme	Sarıçam	Eksenel kuvvet	E2, E6*	1586 N
			E3, E7	-1031 N
		Kesme kuvveti	E15, E16, E21, E22*	-1586 N
		Moment	E18, E24*	-654 Nm
			E2, E6	1586 - 3 Nm
		Birleşik eksenel ve moment	E3, E7*	-1031 N + 282 Nm
	E15, E21*		900 N - 345 Nm	
	Doğu kayını	Eksenel kuvvet	E2, E6*	1601 N
			E3, E7	-1040 N
		Kesme kuvveti	E15, E16, E21, E22*	-1601 N
		Moment	E18, E24*	-654 Nm
			E2, E6	1601 - 3 Nm
Birleşik eksenel ve moment		E3, E7*	-1040 N + 285 Nm	
	E15, E21*	908 N - 348 Nm		

* En kritik elemanlar olarak belirlenmiştir.

Sandalye sistemini oluşturan tüm elemanlar, alt ara kayıt elemanları (E2, E6) hariç aynı kesit ölçüsüne sahiptir. Tüm elemanlar, genişlik ve derinlikte sırasıyla, b (21 mm) ve 2d (60 mm) boyutlarına sahipken, alt ara kayıt (E2 ve E6) elemanları b (21 mm) ve d (30 mm) boyutlarındadır. Bundan dolayı, alt ara kayıt elemanları yapısal analizlerde ve optimizasyon çalışmalarında özel olarak ele alınmıştır. Bu nedenle, değerler karşılaştırılırken, E2 veya E6 elemanlarındaki maksimum eksenel kuvvetin diğer tüm elemanların en az 2 katı olması gerektiği, momentin en az 4 kat daha büyük olması gerektiği, maksimum kesme kuvvetinin ise diğer herhangi bir elemanın en az 2 katı olması gerektiği dikkate alınmıştır.

Koyu renkle yazılmış satırlar, dışarıdan dikkatle incelenerek ya da bazı genel gerilme formülleri yardımıyla hesaplanarak tespit edilmiştir. Çizelge 4.22 incelenmiş, en fazla eksenel kuvvet ve kesme kuvvetine maruz kalan elemanlar seçilmiş ve optimum tasarım için dikkate alınacak kuvvet değerleri, statik analiz sonucu çıkan bu maksimum değerler olarak dikkate alınmıştır. Moment ve birleşik eksenel kuvvet–moment değerleri seçilirken, kesit tiplerine göre hesaplamalar yapılmış ve uygun olanları seçilmiştir. Burada, hem Sarıçam hem Doğu kayını için, önden arkaya yüklemde, E2 ve E6 elemanları için olan birleşik eksenel kuvvet–moment değeri, hemen bir sonraki satırda yer alan E13, E19 elemanları için olan değere ve arkalığa önden arkaya yükleme durumundaki birleşik eksenel kuvvet–moment değerine üstün gelmekte ve seçilmiş bulunmaktadır.

Tüm yükleme yönleri dikkate alınarak, yapısal analizler sonucunda en kritik elemanların belirlenmesinden sonra, optimizasyon çalışmaları için kısıtlamaların belirlenmesine geçilmiştir. Kısıtlamalar, belirlenen en kritik elemanlara etkiyen eksenel kuvvetler, kesme kuvvetleri, momentler ve bileşik eksenel – momentler (Çizelge 4.22' de koyu renkli yazılan değerler) kullanılarak formüle edilmiştir. Optimizasyon probleminin kritik elemanlara etkiyen kuvvet ve momentlere göre formüle edilen kısıtlamaları Çizelge 4.23' te verilmiştir.

Çizelge 4.23. Optimizasyon probleminin kritik elemanlara etkiyen kuvvet ve momentlere göre formüle edilen kısıtlamaları

Sandalye malzemesi	
Sarıçam	Doğu Kayını
$\sigma_t^* = \frac{1586}{bd} \leq \frac{\sigma_t}{FS_t}$	$\sigma_t^* = \frac{1601}{bd} \leq \frac{\sigma_t}{FS_t}$
$\sigma_c^* = \left \frac{-1117}{2bd} \right \leq \frac{\sigma_c}{FS_c}$	$\sigma_c^* = \left \frac{-1150}{2bd} \right \leq \frac{\sigma_c}{FS_c}$
$\sigma_b^* = \frac{654 d}{(1/12)b(2d)^3} \leq \frac{\sigma_b}{FS_b}$	$\sigma_b^* = \frac{654 d}{(1/12)b(2d)^3} \leq \frac{\sigma_b}{FS_b}$
$\sigma_t^* + \sigma_b^* = \frac{1242}{bd} + \frac{73(d/2)}{(1/12)bd^3} \leq \frac{\sigma_b}{FS_b}$	$\sigma_t^* + \sigma_b^* = \frac{1250}{bd} + \frac{75(d/2)}{(1/12)bd^3} \leq \frac{\sigma_b}{FS_b}$
$\sigma_c^* + \sigma_b^* = \left \frac{-1031}{2bd} - \frac{282d}{(1/12)b(2d)^3} \right \leq \frac{\sigma_c}{FS_c}$	$\sigma_c^* + \sigma_b^* = \left \frac{-1040}{2bd} - \frac{285d}{(1/12)b(2d)^3} \right \leq \frac{\sigma_c}{FS_c}$
$\sigma_t^* + \sigma_b^* = \frac{900}{2bd} + \frac{345d}{(1/12)b(2d)^3} \leq \frac{\sigma_b}{FS_b}$	$\sigma_t^* + \sigma_b^* = \frac{908}{2bd} + \frac{348d}{(1/12)b(2d)^3} \leq \frac{\sigma_b}{FS_b}$
$\sigma_s^* = \frac{1586 bd(d/2)}{(1/12)b(2d)^3 b} \leq \frac{\sigma_s}{FS_s}$	$\sigma_s^* = \frac{1601 bd(d/2)}{(1/12)b(2d)^3 b} \leq \frac{\sigma_s}{FS_s}$

Çizelge 4.23' te, maksimum aksenal (σ_t^* veya σ_c^*), maksimum eğilme (σ_b^*) ve maksimum kesme (σ_s^*) gerilmeleri hesaplanırken sırasıyla aşağıdaki formüllerden yararlanılmıştır:

$$\sigma_t^* = \frac{N}{A}, \quad \sigma_c^* = \frac{|N|}{A}, \quad \sigma_b^* = \frac{Mc}{I}, \quad \sigma_s^* = \frac{VQ}{It} \quad (4.1)$$

Burada; (N) aksenal kuvvet, (A) eleman kesit alanı, (M) moment, (c) elemanın moment etkisi yönündeki kenarından asal eksene olan dik uzaklık, (I) asal eksene göre eleman kesitinin ikinci atalet momentini, (V) kesme kuvvetini, (Q) eleman kesit alanının üst yarısının birinci atalet momentini ve (t) eleman kesitinin genişliğini ifade etmektedir.

Optimizasyon probleminin çözümünde, maksimum gerilme değerleri kullanılmamış olup, maksimum eğilme gerilmelerinin bir kesri olan emniyet gerilmesi değerleri

kullanılmıştır. emniyet gerilmesi değerlerinin elde edilebilmesi için Eckelman (2001)'de verilen kısıtlama faktörleri kullanılmıştır.

Buna göre, Çizelge 4.23' te belirtilen FS_t , FS_c , FS_b ve FS_s , Eckelman (2001)'de verilen sırasıyla çekme, basınç, eğilme ve kesme için 3.0, 1.5, 3.0 ve 3.0 olarak alınan emniyet katsayılarıdır.

Optimizasyon probleminde, sandalyenin ağırlığı, Çizelge 4.23' te verilen kısıtlamalara tabi tutulan amaç fonksiyonudur. Sandalyenin toplam ağırlığı, sandalyeyi oluşturan elemanların hacimlerine göre hesaplanabilir. Buna göre, elemanların uzunlukları ve kesit ölçüleri bd cinsinden olacak şekilde Çizelge 4.24' te hacime dönüştürülmüş olarak verilmiştir.

Çizelge 4.24. Sandalyeyi oluşturan eleman ölçüleri ve (bd) cinsinden hacim değerleri

Sandalye elemanları (kod)	Uzunluk (mm)	Eleman kesit ölçüleri (mm)	Hacim (mm^3)
E1+E18+E15+E16+E13	900	$b \times 2d$	1800bd
E1+E24+E21+E22+E19	900	$b \times 2d$	1800bd
E2,E6	330	$b \times d$	660bd
E3,E7	330	$b \times 2d$	1320bd
E9,E10,E11,E12	410	$b \times 2d$	3280bd
E8+E23+E20	410	$b \times 2d$	820bd
E4+E17+E14	410	$b \times 2d$	820bd
TOPLAM			10500bd

Buna göre, sandalyenin toplam ağırlığı olan amaç fonksiyonunun, kullanılan malzemenin hesaplanan yoğunluğu ve sandalyenin toplam hacmine göre belirlenebileceği formüller hem Sarıçam hem de Doğu kayını için oluşturulmuş ve aşağıda verilmiştir.

$$f_{sc}(b,d) = 0.48 * 10^{-6} (kg/mm^3) \cdot 10500bd (mm^3) = 5.040 * 10^{-3}bd (kg)$$

$$f_{be}(b,d) = 0.63 * 10^{-6} (kg/mm^3) \cdot 10500bd (mm^3) = 6.615 * 10^{-3}bd (kg)$$

Bu ifadelerle göre, mevcut Sarıçam sandalyenin toplam ağırlığı ($b = 21$ mm ve $d = 30$ mm olarak alındığında) 3.1752 kg olmaktadır. Optimizasyon işlemleri sonucunda, Sarıçam sandalyenin daha küçük kesit ölçülerine sahip elemanlarla da ALA' da verilen

ev içi kullanım yüklerini güvenli bir şekilde karşılayacağı sonucuna varılmıştır. Sarıçam sandalye için gerçekleştirilen optimizasyon işlemleri sonucunda, yeterli mukavemete sahip ve mevcut sandalye elemanlarından daha küçük ölçülerdeki sandalye elemanlarına ait ölçüler Çizelge 4.25’ te verilmiştir.

Çizelge 4.25. Sarıçam deney sandalyesi için optimizasyon sonuçları

ϵ	tekrar sayısı (#)	b (mm)	d (mm)	Ağırlık (kg)	Hafifletme oranı (%)
1/2	111	15.1368	26.2312	2.0012	37
1/4	86	14.5767	25.9069	1.9033	40
1/8	70	14.2765	25.7366	1.8518	42
1/16	60	14.1207	25.6492	1.8254	43
1/32	65	14.0414	25.6050	1.8120	43

$$\delta=10^{-4}, h=10^{-6} \text{ ve } \alpha=1$$

Ağırlık mukavemet optimizasyonu sonucu olarak, Sarıçamdan üretilen sandalyenin ağırlığında ve dolayısıyla da hacminde, ev içi mukavemet değerlerinden taviz vermeden en iyi ihtimalle % 43, en kötü ihtimalle ise % 37 oranında bir hafifletme yapılabileceği teorik olarak ortaya koyulmuştur. Bu hafifletme oranının ϵ sayısının azaltılmasıyla arttırıldığı görülmektedir. Burada çeşitli ϵ değerlerinde karşılık gelen durum gözlenmiş olup, hafifletme oranının % 43 gibi sabit bir sayıya yakınsadığı tespit edilmiştir.

Mevcut Doğu kayını sandalyenin toplam ağırlığı ($b = 21$ mm ve $d = 30$ mm olarak alındığında) 4.1675 kg olmaktadır. Optimizasyon işlemleri sonucunda, Doğu kayını sandalyenin de daha küçük kesit ölçülerine sahip elemanlarla da ALA’ da verilen ev içi kullanım yüklerini güvenli bir şekilde karşılayacağı sonucuna varılmıştır. Doğu kayını sandalye için gerçekleştirilen optimizasyon işlemleri sonucunda, yeterli mukavemete sahip ve mevcut sandalye elemanlarından daha küçük ölçülerdeki sandalye elemanlarına ait ölçüler Çizelge 4.26’ da verilmiştir.

Çizelge 4.26. Doğu kayını deney sandalyesi için optimizasyon sonuçları

ϵ	tekrar sayısı (#)	b (mm)	d (mm)	Ağırlık (kg)	Hafifletme oranı (%)
1/2	111	11.2091	24.1679	1.7920	57
1/4	89	10.6996	23.9289	1.6936	59
1/8	77	10.4273	23.8049	1.6420	61
1/16	69	10.2865	23.7417	1.6155	61

$$\delta=10^{-4}, h=10^{-6} \text{ ve } \alpha=1$$

Ağırlık mukavemet optimizasyonu sonucu olarak, Doğu kayınından üretilen sandalyenin ağırlığında ve dolayısıyla da hacminde, ev içi mukavemet değerlerinden taviz vermeden en iyi ihtimalle % 61, en kötü ihtimalle ise % 57 oranında bir hafifletme yapılabileceği teorik olarak ortaya koyulmuştur.

4.6. Optimize Edilmiş Deney Sandalyelerinin Üretilmesi ve Performans Testlerine Alınması

Optimizasyon çalışmaları sonucunda; teorik olarak Sarıçam ve Doğu kayınından üretilen sandalyelerin, elemanlarının kesit ölçüleri ve dolayısıyla da ağırlıklarının azaltılmasına rağmen ev içi kullanımlar için gerekli mukavemete sahip olmaları sağlanabilmiştir. Bir başka ifadeyle, her iki malzemeden üretilen sandalyeler için de ağırlık mukavemet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Optimize sandalyelerin hazırlanmasında, mevcut sandalyelerde uygulanan tüm üretim koşulları birebir uygulanmıştır. Sandalyeleri oluşturan elemanların kesit ölçüleri belirlenirken, teorik optimizasyon çalışmaları sonucunda elde edilen değerler, performansa ilişkin, konstrüksiyonel ve uygulamaya yönelik bazı gerekliliklerden dolayı aynen kullanılamamıştır.

Teorik çalışmadan elde edilen kesit ölçüsü değerleri, mukavemet ve üretilebilirlik kısıtlamaları nedeniyle bazı değişikliklerle uygulanabilmiştir. Özellikle zıvanalı ve kavelalı birleştirmelerde, konstrüksiyonların fonksiyonlarını arzu edilen şekilde yerine getirebilmeleri açısından, kesit ölçüleri teorik hesaplarda elde edilen ölçülere göre bir miktar büyük olacak şekilde alınmıştır.

Kesit ölçülerinin kesinleştirilmesinde dikkate alınan bir diğer önemli husus ise, özellikle Sarıçamdan üretilen sandalyelerin yanal yüklemeler karşısında göstermiş oldukları düşük performans olmuştur. Bu bağlamda, Sarıçam optimize sandalyelerin yanal yüklemelere karşı koyacak olan elemanlarının kesit ölçülerinde herhangi bir küçültme yapılmamış, ayrıca hem Sarıçam hem de Doğu kayınından üretilen optimize sandalyelerin yanal yükler karşısında ev içi kullanım yüklerini karşılayabilmeleri amacıyla, tüm birleştirme yerlerinde köşe destek elemanı kullanılmıştır.

Deneysel sonuçta, Doğu kayınından üretilen optimize sandalyelerin birleştirme yerlerinde Sarıçamdan hazırlanmış 70 x 70 x 25 mm ölçülerinde ve üçgen şeklinde, Sarıçamdan üretilen optimize sandalyelerin birleştirme yerlerinde ise yine Sarıçamdan hazırlanmış 80 x 80 x 25 mm ölçülerinde ve üçgen şeklinde köşe destek elemanları kullanıldığı taktirde, yanıl yüklemeler için gerekli olan ev içi kullanım koşulları sağlanabilmiştir (Şekil 4.23 a, b).

Her iki malzemeden de üretilen optimize deney sandalyelerinde, yanıl yüklemelere karşı gösterilen performansın yeterli düzeye getirilebilmesi amacıyla 4 adet Sarıçam köşe destek elemanı kullanılmıştır.



a.



b.

Şekil 4.23. Optimize edilmiş Sarıçam (a) ve Doğu kayını (b) deney sandalyeleri

Optimizasyon çalışmaları sonucunda elde edilen kesit ölçüleri temel alınarak ve yukarıda belirtilen tüm kısıtlamalar ve mukavemete ilişkin gerekliliklerin de hesaba alınması sonucunda net ölçüleri belirlenen optimize deney sandalyelerini oluşturan elemanlara ilişkin ölçüler Sarıçam için Çizelge 4.27' de verilmiştir.

Çizelge 4.27. Sarıçamdan üretilen optimize sandalyeyi oluşturan elemanların ölçüleri

Eleman Adı	Boy (mm)	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)
Ön ayak	410	53	21
Arka ayak	900	53	21
Yan kayıt	344	53	21
Alt ara kayıt	344	26,5	21
Ön kayıt	410	53	17
Arka kayıtlar	410	53	17
Üst kayıt	410	53	17

Optimizasyon çalışmaları sonucunda elde edilen kesit ölçüleri temel alınarak ve yukarıda belirtilen tüm kısıtlamalar ve mukavemete ilişkin gerekliliklerin de hesaba alınması sonucunda net ölçüleri belirlenen optimize deney sandalyelerini oluşturan elemanlara ilişkin ölçüler Doğu kayını için Çizelge 4.28' de verilmiştir.

Çizelge 4.28. Doğu kayınından üretilen optimize sandalyeyi oluşturan elemanların ölçüleri

Eleman Adı	Boy (mm)	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)
Ön ayak	410	49	17
Arka ayak	900	49	17
Yan kayıt	352	49	17
Alt ara kayıt	352	24,5	17
Ön kayıt	418	49	17
Arka kayıtlar	418	49	17
Üst kayıt	418	49	17

Teorik olarak gerçekleştirilen bu optimizasyon sonuçlarının geçerliliğini test etmek için, çalışmanın ilk aşamasında olduğu gibi 1/1 ölçekli deney sandalyeleri yine geleneksel yöntemler ile üretilmiştir. Bu aşamada da, 2 ağaç türü, 4 yükleme yönü ve her örnekten 5 adet olmak üzere toplam 40 adet optimize deney sandalyesi hazırlanmıştır. Optimize edilen deney sandalyelerinin eleman kesit ölçüleri incelendiğinde, mevcut sandalye eleman kesit ölçülerine göre toplam ağırlık ve hacimsel olarak önemli oranda azaltma yapıldığı görülmektedir. Mevcut ve optimize Sarıçam deney sandalyelerinin toplam hacimlerine ilişkin yapılan karşılaştırmayı gösteren sonuçlar Çizelge 4.29' da sunulmuştur.

Çizelge 4.29. Mevcut ve optimize Sarıçam deney sandalyelerinin hacimsel karşılaştırılması

Sandalye Elemanı	Sarıçam Mevcut Sandalye					Sarıçam Optimize Sandalye				
	En (mm)	Boy (mm)	Kalınlık (mm)	Adet	Hacim mm ³	En (mm)	Boy (mm)	Kalınlık (mm)	Adet	Hacim mm ³
Arka Ayak	60	900	21	2	2268000	53	900	21	2	2003400
Ön Ayak	60	410	21	2	1033200	53	410	21	2	912660
Yan Kayıt	60	330	21	2	831600	53	344	21	2	765744
Alt Ara Kayıt	30	330	21	2	415800	26,5	344	21	2	382872
Ön ve Arka Ara Kayıt	60	410	21	4	2066400	53	410	17	4	1477640
Köşe* Destek Elemanı	80	80	25	4	640000/2	80	80	25	4	640000/2
Toplam	6935000					5862316				

* Köşe destek elemanı üçgen biçiminde ve sarıçamdan üretilmiştir.

Buna göre, mevcut Sarıçam sandalyelerde kullanılan toplam malzeme hacmi 6935000 mm³ iken, optimizasyon çalışmaları sonucunda üretilen optimize Sarıçam sandalyede bu miktar 5862316 mm³' e düşürülmüştür. Sonuç olarak bir sandalyenin üretiminde kullanılan Sarıçam malzemedan % 16 oranında tasarruf edilmiştir.

Mevcut ve optimize Doğu kayını deney sandalyelerinin hacimlerine ilişkin yapılan karşılaştırmayı gösteren sonuçlar Çizelge 4.30' da sunulmuştur.

Çizelge 4.30. Mevcut ve optimize Doğu kayını deney sandalyelerinin hacimsel karşılaştırılması

Sandalye Elemanı	Doğu Kayını Mevcut Sandalye					Doğu Kayını Optimize Sandalye				
	En (mm)	Boy (mm)	Kalınlık (mm)	Adet	Hacim mm ³	En (mm)	Boy (mm)	Kalınlık (mm)	Adet	Hacim mm ³
Arka Ayak	60	900	21	2	2268000	49	900	17	2	1499400
Ön Ayak	60	410	21	2	1033200	49	410	17	2	683060
Yan Kayıt	60	330	21	2	831600	49	352	17	2	586430
Alt Ara Kayıt	30	330	21	2	415800	24,5	352	17	2	293210
Ön ve Arka Ara Kayıt	60	410	21	4	2066400	49	418	17	4	1392770
Köşe* Destek Elemanı	70	70	25	4	490000/2	70	70	25	4	490000/2
Toplam	6860000					4699870				

* Köşe destek elemanı üçgen biçiminde ve sarıçamdan üretilmiştir.

Buna göre, mevcut Doğu kayını sandalyelerde kullanılan toplam malzeme hacmi 6860000 mm³ iken, optimizasyon çalışmaları sonucunda üretilen optimize Doğu kayını sandalyede bu miktar 4699870 mm³ e düşürülmüştür. Sonuç olarak bir sandalyenin üretiminde kullanılan Sarıçam malzemeden % 32 gibi önemli bir oranda tasarruf edilmiştir. Doğu kayını malzemeden üretilen sandalyelerde, Sarıçamdan üretilen sandalyelere göre daha yüksek oranda tasarruf yapılabilmektedir. Burada, Doğu kayını malzemenin yoğunluk ve diğer mekanik özellikler açısından Sarıçama olan üstünlüklerinin etkili olduğu düşünülmektedir. Fiziksel ve mekanik özelliklerdeki bu üstünlükler, Doğu kayını malzemeyi uygulanan dış yükler karşısında Sarıçama göre daha avantajlı duruma getirmiş ve daha az malzeme miktarı ile aynı büyüklükteki yüklere karşı koyabilmesini sağlamıştır.

Doğu kayını ve Sarıçam deney sandalyelerine ilişkin prototipler üretildikten sonra hem mevcut haldeki hem de optimize edilmiş sandalyelerin ağırlıkları 0,1 kg hassasiyetindeki kantar yardımı ile ölçülmüştür. Mevcut Sarıçam deney sandalyelerinin ortalama ağırlığı 3,09 kg, mevcut Doğu kayını sandalyelerinin ortalama ağırlıkları ise 4,18 kg olarak ölçülmüş iken, optimize Sarıçam sandalyelerin ortalama ağırlığı 2,60, optimize Doğu kayını sandalyelerin ortalama ağırlığı ise 2,84 kg olarak ölçülmüştür. Optimize Sarıçam sandalye grubuna ait standart sapma değeri 0,06, varyasyon katsayısı ise %2,76; Optimize Doğu kayını sandalye grubuna ilişkin standart sapma değeri 0,05, varyasyon katsayısı ise %1,77 olarak hesaplanmıştır. Mevcut Doğu kayını ve Sarıçam deney sandalyelerinin optimize edilmiş sandalyelere göre ağırlık olarak sağladıkları kazançları gösteren sonuçlar Çizelge 4.31’ de verilmiştir.

Çizelge 4.31. Mevcut ve optimize deney sandalyelerinin ağırlık olarak karşılaştırılması

Sandalye türü	Mevcut sandalyenin ağırlığı (kg)	Optimize sandalyenin ağırlığı (kg)	Ağırlık kaybı (kg)	Hafifletme oranı (%)
Sarıçam	3,09	2,60	0,49	16
Doğu Kayını	4,18	2,84	1,34	32

Buna göre, Sarıçamdan üretilmiş mevcut deney sandalyesi 3,09 kg iken, optimizasyon çalışmaları sonucunda 2,60 kg' a düşürülerek 0,49 kg, Doğu kayınından üretilmiş mevcut deney sandalyesi ise 4,18 kg iken, optimizasyon çalışmaları sonucunda 2,84 kg' a düşürülerek 1,34 kg hafifletilmiştir. Sonuç olarak, hacimsel azalmada da olduğu gibi Sarıçam deney sandalyelerinde % 16, Doğu kayını deney sandalyelerinde ise % 32 oranında hafifletme yapılmıştır.

Hazırlanan optimize deney sandalyeleri, ilk aşamada olduğu gibi devirli basamaklı artan yükleme metodu (cyclic stepped increasing loading method) ile ‘‘American Library Association’’ ALA (1982) raporunda belirtilen esaslara göre performans testlerine alınmıştır. Doğu kayını ve sarıçam optimize deney sandalyelerine, ALA standardında belirtilen test yöntemlerinden, önden–arkaya, arkadan–öne, yanal ve arkalığa önden–arkaya olmak üzere 4 farklı yönde yükleme yapılmıştır.

4.6.1. Optimize deney sandalyelerinin önden arkaya yükleme deneylerine ilişkin performansları ve kabul edilebilir yük değerleri ile karşılaştırılması

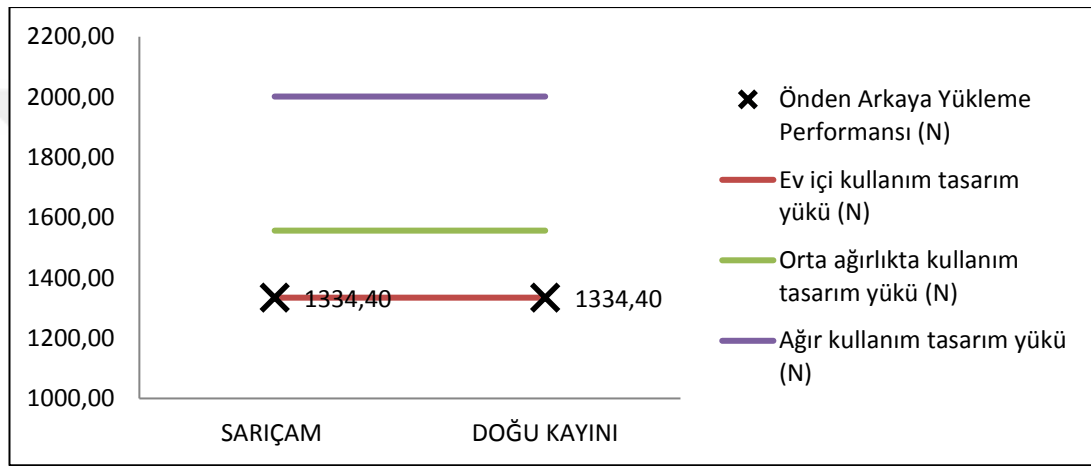
Sarıçam ve Doğu Kayını optimize deney sandalyelerinin, önden arkaya yükleme performansı değerleri ve devir sayıları ortalamaları varyasyon katsayıları ile birlikte Çizelge 4.32’ de verilmiştir.

Çizelge 4.32. Optimize deney sandalyelerinin önden arkaya yüklemelerdeki performansları

Sandalye Malzemesi	Sandalye Kodu	Deney Yüğü (N)	Ortalama kırılma Yüğü (N)	v (%)	Devir Sayısı	Ortalama devir sayısı	v (%)
Sarıçam	OPT.SÖA1	1334,4	1334,4	0	200002	200204	0,15
Sarıçam	OPT.SÖA2	1334,4			200154		
Sarıçam	OPT.SÖA3	1334,4			200742		
Sarıçam	OPT.SÖA4	1334,4			200108		
Sarıçam	OPT.SÖA5	1334,4			200014		
Doğu Kayını	OPT.DÖA1	1334,4	1334,4	0	202768	207859	3,24
Doğu Kayını	OPT.DÖA2	1334,4			208164		
Doğu Kayını	OPT.DÖA3	1334,4			217001		
Doğu Kayını	OPT.DÖA4	1334,4			212244		
Doğu Kayını	OPT.DÖA5	1334,4			200118		

Devirli yüklemelerle önden arkaya yönde yapılan testlerde; Optimize Sariçam deney sandalyelerinin ortalama kırılma değeri 1334,4 (N), buna ilişkin varyasyon katsayısı 0, ortalama devir sayısı 200204, buna ilişkin varyasyon katsayısı ise 0,15 olarak belirlenmiştir. Optimize Doğu Kayını sandalyeler için ortalama kırılma değeri 1334,4 (N), buna ilişkin varyasyon katsayısı 0, ortalama devir sayısı 207859, buna ilişkin varyasyon katsayısı ise 3,24 olarak belirlenmiştir.

Optimize deney sandalyelerinin önden arkaya devirli basamaklı yükleme performanslarının ALA 'daki kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmasını gösteren grafik Şekil 4.24' te verilmiştir.



Şekil 4.24. Optimize deney sandalyelerinin ALA' da önden arkaya yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmasına yönelik grafik

Önden arkaya yükleme performansı değerleriyle ALA' da verilen kabul edilebilir tasarım yüklerine göre yapılan karşılaştırmalar sonucunda, önden arkaya yüklemelerde her iki grup (Doğu kayını ve sariçam) optimize deney örneği sandalyeler, hafif (ev içi) kullanım yüklerini karşılamışlardır. Bu karşılaştırmaya ilişkin sonuçlar daha anlaşılır olması amacı ile Çizelge 4.33' te verilmiştir.

Çizelge 4.33. Optimize deney sandalyeleri performansları ortalamalarının ALA yönteminde önden arkaya yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılması

Sandalye malzemesi	Deney yükü (N)	Hafif (N)	Sonuç	Orta (N)	Sonuç	Ağır (N)	Sonuç
Sarıçam	1334,4	1334,4	BAŞARILI	1556,8	BAŞARISIZ	2001,6	BAŞARISIZ
Doğu Kayını	1334,4	1334,4	BAŞARILI	1556,8	BAŞARISIZ	2001,6	BAŞARISIZ

4.6.2. Optimize deney sandalyelerinin arkadan öne yükleme deneylerine ilişkin performansları ve kabul edilebilir yük değerleri ile karşılaştırılması

Sarıçam ve Doğu Kayını optimize deney sandalyelerinin, arkadan öne yükleme performansı değerleri ve devir sayıları ortalamaları varyasyon katsayıları ile birlikte Çizelge 4.34' te verilmiştir.

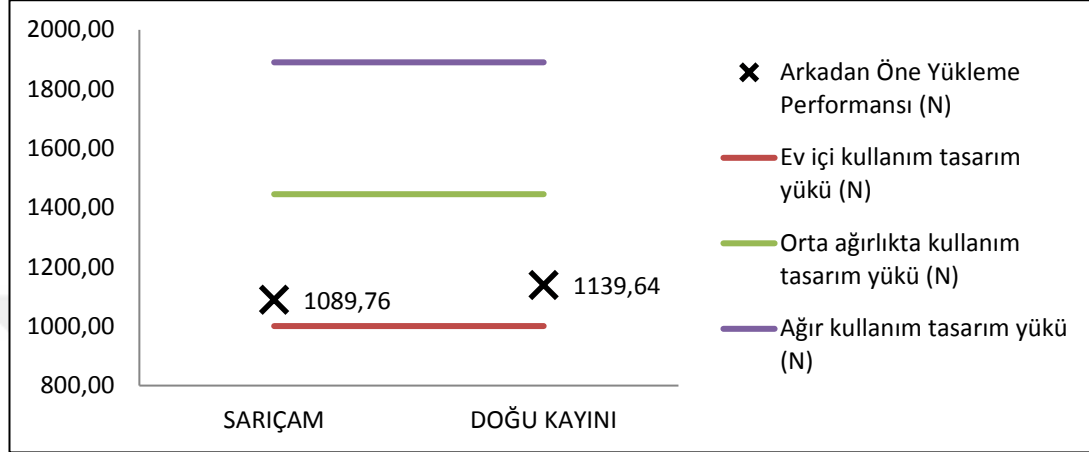
Çizelge 4.34. Optimize deney sandalyelerinin arkadan öne yüklemelerdeki performansları

Sandalye Malzemesi	Sandalye Kodu	Deney Yükü (N)	Ortalama kırılma yükü (N)	v (%)	Devir Sayısı	Ortalama devir sayısı	v (%)
Sarıçam	OPT.SAÖ1	1232,2	1089,76	11,18	175010	161391	8,21
Sarıçam	OPT.SAÖ2	1000,8			154532		
Sarıçam	OPT.SAÖ3	1000,8			150246		
Sarıçam	OPT.SAÖ4	1232,2			176546		
Sarıçam	OPT.SAÖ5	1000,8			150621		
Doğu Kayını	OPT.DAÖ1	1000,8	1139,64	11,12	152135	169998,6	6,39
Doğu Kayını	OPT.DAÖ2	1232,2			175017		
Doğu Kayını	OPT.DAÖ3	1232,2			176610		
Doğu Kayını	OPT.DAÖ4	1000,8			167455		
Doğu Kayını	OPT.DAÖ5	1232,2			178776		

Devirli yüklemelerle arkadan öne yönde yapılan testlerde; Optimize Sarıçam deney sandalyelerinin ortalama kırılma değeri 1089,76 (N), buna ilişkin varyasyon katsayısı 11,18, ortalama devir sayısı 161391, buna ilişkin varyasyon katsayısı ise 8,21 olarak belirlenmiştir. Optimize Doğu Kayını sandalyeler için ortalama kırılma değeri 1139,64

(N), buna ilişkin varyasyon katsayısı 11,12, ortalama devir sayısı 169998,6, buna ilişkin varyasyon katsayısı ise 6,39 olarak belirlenmiştir.

Optimize deney sandalyelerinin arkadan öne devirli basamaklı yükleme performanslarının ALA 'daki kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmasını gösteren grafik Şekil 4.25' de verilmiştir.



Şekil 4.25. Optimized deney sandalyelerinin ALA' da arkadan öne yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmasına yönelik grafik

Arkadan öne yükleme performansı değerleriyle ALA' da verilen kabul edilebilir tasarım yüklerine göre yapılan karşılaştırmalar sonucunda, arkadan öne yüklemelerde de hem Sarıçam hem Doğu kayını optimize deney sandalyeleri, hafif (ev içi) kullanım yüklerini karşılamışlardır. Bu karşılaştırmaya ilişkin sonuçlar daha anlaşılır olması amacı ile Çizelge 4.35' te verilmiştir.

Çizelge 4.35. Optimized deney sandalyeleri performansları ortalamalarının ALA yönteminde arkadan öne yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılması

Sandalye malzemesi	Deney yükü (N)	Hafif (N)	Sonuç	Orta (N)	Sonuç	Ağır (N)	Sonuç
Sarıçam	1089,76	1000,8	BAŞARILI	1445,6	BAŞARISIZ	1890,4	BAŞARISIZ
Doğu Kayını	1139,64	1000,8	BAŞARILI	1445,6	BAŞARISIZ	1890,4	BAŞARISIZ

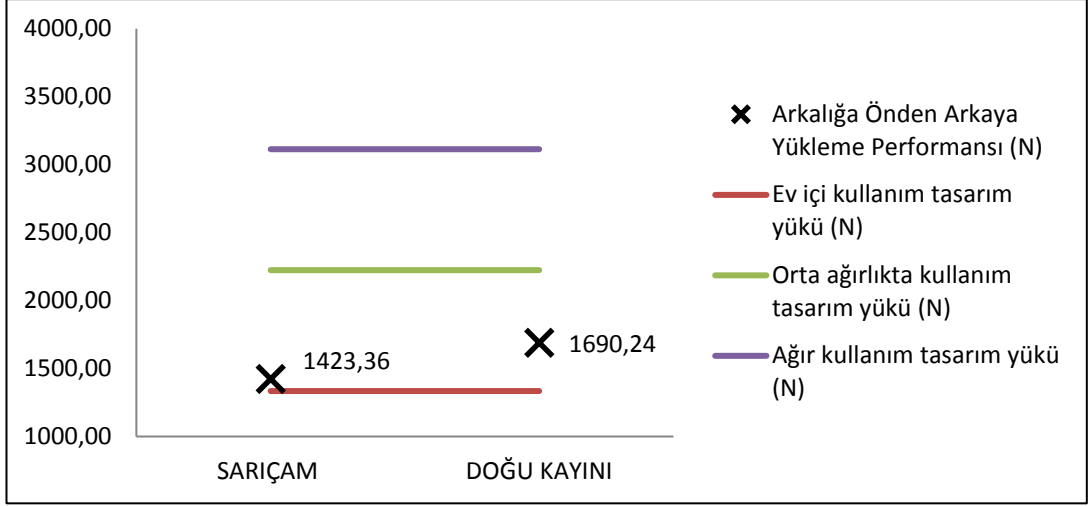
4.6.3. Optimize deney sandalyelerinin arkalığa önden arkaya yükleme deneylerine ilişkin performansları ve kabul edilebilir yük değerleri ile karşılaştırılması

Sarıçam ve Doğu Kayını optimize deney sandalyelerinin, arkalığa önden arkaya yükleme performansı değerleri ve devir sayıları ortalamaları varyasyon katsayıları ile birlikte Çizelge 4.36’ da verilmiştir.

Çizelge 4.36. Optimize deney sandalyelerinin arkalığa önden arkaya yüklemelerdeki performansları

Sandalye Malzemesi	Sandalye Kodu	Deney Yüğü (N)	Ortalama kırılma yüğü (N)	v (%)	Devir Sayısı	Ortalama devir sayısı	v (%)
Sarıçam	OPT.SAÖA1	1334,4	1423,36	13,98	51314	57001,8	18,21
Sarıçam	OPT.SAÖA2	1334,4			50896		
Sarıçam	OPT.SAÖA3	1334,4			53342		
Sarıçam	OPT.SAÖA4	1334,4			51236		
Sarıçam	OPT.SAÖA5	1779,2			75412		
Doğu Kayını	OPT.DAÖA1	1779,2	1690,24	11,77	75744	73198	6,89
Doğu Kayını	OPT.DAÖA2	1779,2			75094		
Doğu Kayını	OPT.DAÖA3	1779,2			75016		
Doğu Kayını	OPT.DAÖA4	1334,4			64203		
Doğu Kayını	OPT.DAÖA5	1779,2			75903		

Devirli yüklemelerle arkalığa önden arkaya yönde yapılan testlerde; Optimize Sarıçam deney sandalyelerinin ortalama kırılma değeri 1423,36 (N), buna ilişkin varyasyon katsayısı 13,98, ortalama devir sayısı 57001,8, buna ilişkin varyasyon katsayısı ise 18,21 olarak belirlenmiştir. Optimize Doğu Kayını sandalyeler için ortalama kırılma değeri 1690,24 (N), buna ilişkin varyasyon katsayısı 11,77, ortalama devir sayısı 73198, buna ilişkin varyasyon katsayısı ise 6,89 olarak belirlenmiştir. Optimize deney sandalyelerini arkalığa önden arkaya devirli basamaklı yükleme performanslarının ALA’ daki kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmasını gösteren grafik Şekil 4.26’ da verilmiştir.



Şekil 4.26. Optimize deney sandalyelerinin ALA' da arkalığa önden arkaya yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmasına yönelik grafik

Arkalığa önden arkaya yükleme performansı değerleriyle ALA' da verilen kabul edilebilir tasarım yüklerine göre yapılan karşılaştırmalar sonucunda, hem Sarıçam hem de Doğu kayını optimize deney sandalyeleri hafif (ev içi) kullanım yüklerini karşıladıkları görülmüştür. Bu karşılaştırmaya ilişkin sonuçlar daha anlaşılır olması amacı ile Çizelge 4.37' de verilmiştir.

Çizelge 4.37. Optimize deney sandalyeleri performansları ortalamalarının ALA yönteminde arkalığa önden arkaya yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılması

Sandalye malzemesi	Deney yükü (N)	Hafif (N)	Sonuç	Orta (N)	Sonuç	Ağır (N)	Sonuç
Sarıçam	1423,36	1334,4	BAŞARILI	2224	BAŞARISIZ	3113,6	BAŞARISIZ
Doğu Kayını	1690,24	1334,4	BAŞARILI	2224	BAŞARISIZ	3113,6	BAŞARISIZ

4.6.4. Optimize deney sandalyelerinin yanal yükleme deneylerine ilişkin performansları ve kabul edilebilir yük değerleri ile karşılaştırılması

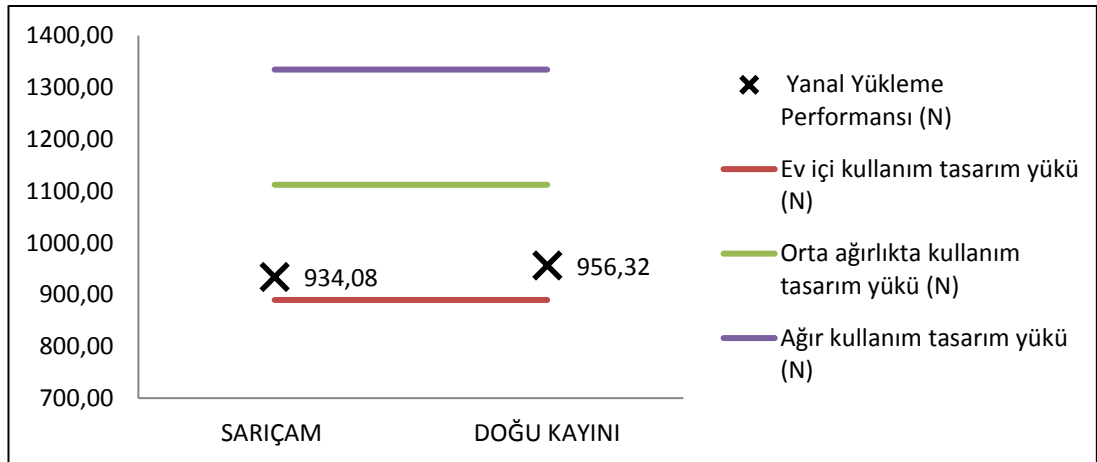
Sarıçam ve Doğu Kayını deney sandalyelerinin, yanal yükleme performansı değerleri ve devir sayıları ortalamaları varyasyon katsayıları ile birlikte Çizelge 4.38' de verilmiştir.

Çizelge 4.38. Optimize deney sandalyelerinin yanal yüklemelerdeki performansları

Sandalye Malzemesi	Sandalye Kodu	Deney Yüğü (N)	Ortalama kırılma yükü (N)	v (%)	Devir Sayısı	Ortalama devir sayısı	v (%)
Sarıçam	OPT.SY1	1000,8	934,08	6,52	200004	189975,4	5,99
Sarıçam	OPT.SY2	889,6			183761		
Sarıçam	OPT.SY3	1000,8			200103		
Sarıçam	OPT.SY4	889,6			189460		
Sarıçam	OPT.SY5	889,6			175549		
Doğu Kayını	OPT.DY1	889,6	956,32	6,37	175422	190468,8	7,08
Doğu Kayını	OPT.DY2	1000,8			200000		
Doğu Kayını	OPT.DY3	1000,8			200045		
Doğu Kayını	OPT.DY4	1000,8			200886		
Doğu Kayını	OPT.DY5	889,6			175093		

Devirli yüklemelerle yanal yönde yapılan testlerde; Optimize Sarıçam deney sandalyelerinin ortalama kırılma değeri 934,08 (N), buna ilişkin varyasyon katsayısı 6,52, ortalama devir sayısı 189975,4, buna ilişkin varyasyon katsayısı ise 5,99 olarak belirlenmiştir. Optimize Doğu Kayını sandalyeler için ortalama kırılma değeri 956,32 (N), buna ilişkin varyasyon katsayısı 6,37, ortalama devir sayısı 190468,8, buna ilişkin varyasyon katsayısı ise 7,08 olarak belirlenmiştir.

Yanal devirli basamaklı yükleme performanslarının ALA 'daki kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmasını gösteren grafik Şekil 4.27' de verilmiştir.



Şekil 4.27. Optimize deney sandalyelerinin ALA' da yanal yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılmasına yönelik grafik

Yanal yükleme performansı değerleriyle ALA' da verilen kabul edilebilir tasarım yüklerine göre yapılan karşılaştırmalar sonucunda, hem sarıçam hem de Doğu kayını optimize deney sandalyeleri hafif (ev içi) kullanımlar değerlerini karşılamıştır. Bu karşılaştırmaya ilişkin sonuçlar daha anlaşılır olması amacı ile Çizelge 4.39' da verilmiştir.

Çizelge 4.39. Optimize deney sandalyeleri performansları ortalamalarının ALA yönteminde yanal yüklemeler için verilmiş olan kabul edilebilir tasarım yükleri ile karşılaştırılması

Sandalye malzemesi	Deney yükü (N)	Hafif (N)	Sonuç	Orta (N)	Sonuç	Ağır (N)	Sonuç
Sarıçam	934,08	889,6	BAŞARILI	1112	BAŞARISIZ	1334,4	BAŞARISIZ
Doğu Kayını	956,32	889,6	BAŞARILI	1112	BAŞARISIZ	1334,4	BAŞARISIZ

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, performans testleri, sonlu elemanlar analizleri ve optimizasyon tekniklerini de içeren ürün mühendisliği metodolojisi uygulanarak, ev içi kullanımlar için üretilmiş ahşap sandalyelerin optimum ağırlık ve mukavemet düzeyine getirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında; birinci aşamada mevcut sandalyeler, ağırlık ve mukavemet durumlarının tespiti için performans testlerine alınmış, ikinci aşamada, sandalyeler için optimizasyon çalışmalarına geçilmiştir. Optimizasyon çalışmalarında sonlu elemanlar analizi programından yararlanılmış, ağırlık ve mukavemet bakımından sanal ortamda optimize edilen ve ev içi kullanımlar için gerekli olan mukavemet değerlerini karşıladığı belirlenen optimize sandalyelere ilişkin prototipler, geleneksel üretim koşullarında üretilmişlerdir. Daha sonra, sanal ortamda optimize edilmiş olan sandalyelerin, gerçek testlerde de ev içi kullanımlar için gerekli mukavemete sahip olduklarının doğrulanması için tüm sandalyeler yeniden birinci aşamada gerçekleştirilen performans testlerine alınmışlardır.

Sandalye performans testlerinde, gerçek kullanım koşullarını en iyi şekilde temsil eden devirli basamaklı artan yükleme metodu kullanılmış, sandalye sisteminin bilgisayar destekli üç boyutlu yapısal çözümünde ise bir sonlu elemanlar yazılımı olan RISA-3D programından yararlanılmıştır. Sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılan bilgisayar destekli üç boyutlu yapısal analizlere göre, bilgisayar destekli analiz programları sandalye sistemlerinin genel mukavemeti ve deformasyon özellikleri hakkında anlamlı değerler sağlamıştır. Sonlu elemanlar metodu ile yapılan yapısal analizlerde, malzemenin programa doğru tanımlanabilmesi ve özellikle de yarı-rijit olarak kabul edilen birleştirme yerlerinin doğru olarak tanımlanabilmesi, analizlerden elde edilen verilerin gerçek değerlere yakın çıkmasında önemli rol oynamaktadır.

Sonuç olarak, bilgisayar teknolojisinin hızla geliştiği ve kullanımının giderek yaygınlaştığı günümüzde, tasarlanan bir mobilyanın üretimine geçilmeden önce mukavemeti hakkında ön bilgiler elde edilebilmesi ve bu bilgilere göre gerekli değişikliklerin yapılarak optimizasyonun sağlanması, mobilya mühendislik tasarımcılarının işini kolaylaştıracaktır. Bu bağlamda, sonlu elemanlar metodu ile çalışan yapısal analiz programlarının, mobilya mühendislik tasarımında kullanılması önerilebilir.

Performans deneyleri sonuçlarına göre, mobilya iskelet sistemlerinde en kritik noktalar birleştirmeler olmaktadır. Bilgisayar destekli analizler sonucunda da, birleştirme yerlerinde önemli bir eğilme ve kesme zorlamaları olduğu ve yer değiştirmeler ile deformasyonların, elemanların ve birleştirmelerin bu eğilme ve kesme zorlamaları karşısında yetersiz kalmasından gerçekleştiği anlaşılmıştır. Arkalığa önden arkaya çekme deneyleri dışındaki tüm gerçek deneylerde, sandalyeler birleştirme yerlerinden deforme olmuş, elemanlarda herhangi bir kırılma gözlenmemiştir. Arkalığa önden arkaya yükleme deneylerinde özellikle Sarıçam sandalyelerde, sandalye arka ayağı önemli derecede kesme ve moment etkisine maruz kalmış ve sandalyeler bu elemanın kırılması ile deformasyona uğramışlardır. Buna göre, mekanik dirençleri yüksek olan malzemeler ile daha güçlü birleştirmeler ve dolayısıyla daha mukavemetli mobilya sistemleri elde etmek mümkün olabilir.

Deney sandalyelerinin gerçek kullanım koşulları altında gösterebilecekleri olası davranışlar, sandalyeler için geliştirilmiş olan bir deney yöntemindeki tasarım yük değerleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Mevcut ölçülerdeki deney sandalyelerinin performansları, ALA’da belirtilen kabul edilebilir tasarım yüklerine göre değerlendirildiğinde; Doğu kayını ve sarıçamdan üretilen deney sandalyelerinin, pratik uygulamalarda en çok karşılaşılan yüklemeleri temsil eden “önden arkaya”, “arkadan öne” ve “arkalığa önden arkaya çekme” yüklemesi yönlerinde ev içi kullanımlar için gerekli olan mukavemet değerlerini fazlasıyla sağladıkları anlaşılmıştır. Ancak, pratik uygulamalarda daha seyrek olarak karşılaşılmamasına rağmen, yine de sağlanması gereken bir performans kriteri olan “yanal” yükleme performansına bakıldığında; Doğu kayınından üretilen sandalyelerin ev içi kullanım

yüklerini çok az bir farkla sınırdan geçtiği, sarıçamdan üretilen sandalyelerin ise ev içi kullanım yüklerini bile karşılayamadan birleştirme yerlerinden büyük deformasyonlara uğrayarak başarısız oldukları görülmüştür. Bu durum, mevcut deney sandalyelerinin, gerçekleştirilen 3 yöndeki yükleme karşısında başarılı olurken, yanal yüklemeler karşısında ise zayıf oldukları için, zayıf olunan yanal yüklemenin etkisinde kalan birleştirmelerin mukavemetini artırıcı tedbirler alınması gerektiği sonucunu doğurmuştur. Bu durumda, sandalyelerde ağırlık-mukavemet optimizasyon çalışmaları eleman kesit ölçülerine göre yapılacağından, başarılı olunan 3 yükleme yönündeki elemanlar için kesit optimizasyonu, başarısız olunan yanal yüklemeler için ise eleman kesit ölçülerinden ziyade bu yüklemeye maruz kalan birleştirme yerlerinde güçlendirme çalışmaları yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Optimizasyon çalışmaları optimum mukavemet ve minimum ağırlık prensibi üzerine gerçekleştirilmiştir. Performans testleri sonuçlarında ALA test yönteminde belirtilen kabul edilebilir tasarım yüklerine göre sınıflara ayrılan her bir model sandalye için, ağırlık hususu dikkate alınmak suretiyle, sandalye sistemini oluşturan elemanların kesit ölçülerinin küçültülmesine, dolayısıyla da ağırlığın ve toplam malzeme hacminin azaltılmasına yönelik optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Hem literatürdeki çalışmalar, hem de çalışmaya temel oluşturmak üzere yapılan ön optimizasyon çalışması, eleman kesit ölçülerini küçültmeye dayalı optimizasyona yönelik bu çalışma için temel oluşturmuştur. Alınan bu geri dönüşler doğrultusunda, malzeme çeşidi ve kesitlerin geometrisi değiştirilmeden, kesit alanlarının küçültülmesi dolayısıyla da sandalye iskelet sistemini oluşturan toplam malzeme hacminin azaltılması seçeneği ile optimizasyon çalışmaları uygulanmıştır. Optimizasyon yöntemi olarak da, yapılan teorik ön çalışma sonucunda başarılı olunan ve uygun olduğuna karar verilen “Logaritmik Bariyer Fonksiyonu” ve “Gradyan Düşüş” yöntemleri uygulanmıştır.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen ürün mühendisliği metodolojisi sonucunda, ev içi kullanım koşullarını karşılayacak mukavemette olan ve Sarıçamdan üretilen sandalyelerde ortalama % 16, Doğu kayınından üretilen sandalyelerde ise % 32 hafifletme gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, çalışma sayesinde sandalye ağırlıkları ve

mukavemetleri niceliksel veriler ile optimum düzeye getirilerek ürün iyileştirme; performans testleri ve sonlu elemanlar analizlerini içeren ürün mühendisliği metodolojisinin uygulanmasıyla da firmaların Ar-Ge ve Ür-Ge birimlerinde uygulamaları için süreç iyileştirme önerisi gerçekleştirilmiştir. Ürünlerde ağırlığın fazla olması, malzeme, nakliye ve diğer maliyetleri arttıran, işçi sağlığı ve iş güvenliğini olumsuz yönde etkileyen ve kullanıcı açısından zorluklar teşkil eden bir faktördür. Bir başka ifadeye, gereksiz ağırlıkta ve sağlamlıkta olan ürünlerin ergonomik ve ekonomik anlamda neden olduğu olumsuzlar engellenmiştir. Bütün bu olumsuz etkilerin yanı sıra, paket ağırlıklarının fazla olması nedeniyle ihracat yapan firmaların ciddi mali problemlerle karşılaşması da söz konusu olmaktadır. Ürünlerde hafifletme yapılarak paket ağırlıklarının azaltılması; fabrika, ana bayi, tali bayi çalışanlarına ve hatta son kullanıcılara hissedilir ölçüde çalışma, kullanma kolaylığı ve fonksiyonellik sağlayacaktır.

Çalışma sonucunda, performans testlerini, sonlu elemanlar analizlerini ve optimizasyon tekniklerini de kapsayan ürün mühendisliği yöntemlerinin, mobilya mukavemet mühendisliği metodolojisinde uygulanabileceği ve bu sayede kaliteli, sağlam, hafif ve ekonomik çerçeve konstrüksiyonlu mobilyalar üretilebileceği söylenebilir. Farklı tiplerdeki çerçeve konstrüksiyonlu mobilyalar ve mobilya temel konstrüksiyon türlerinden bir diğeri olan kutu (tabla tipi) mobilyalar için de ürün mühendisliği metodolojisini uygulanması ve yaygınlaştırılması gereklidir.

Çalışma sonuçları, mobilya tasarımcılarının ve üreticilerinin işini kolaylaştıracak ve bu sayede bilimselliğin ışığında ve daha bilinçli çerçeve konstrüksiyonlu mobilyalar tasarlanarak, tasarımın amacına ve fonksiyonuna uygun mobilyalar üretilmesi mümkün olabilecek ve insanların yaşam kalitesi arttırılabilecektir. Aynı zamanda gereksiz, aşırı ağırlıkta mobilyalar üretilmemiş olup, gerektiği kadar sağlamlıkta ve ağırlıkta mobilyalar üretilmiş olacaktır. Buna göre, kullanılan malzeme miktarından tasarruf edilmiş olacak ve bu durum ülke ekonomisine de önemli katkılar sağlayacaktır.

Sonuç olarak, mobilyada kalite göstergesi estetik ve sağamlık olduğundan, uygulanan optimizasyon yöntemleri, bilgisayar destekli analizler ve performans testleriyle, zaten güçlü olan ülkemiz mobilya endüstrisi, Avrupa standartları kalitesinde hatta daha kaliteli mobilyalar üreterek ve ihracat artırılarak ülkemiz ekonomisine katkıda bulunulacağı söylenebilir.



KAYNAKLAR

Altınok, M., *Sandalye Tasarımında Gerilme Analizine Göre Mukavemet Elemanlarının Boyutlandırılması*, (Doktora Tezi), G. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (1995), 38-47.

American Library Associations (ALA), *The Use of Performance Tests and Quality Assurance Programs in the Selection of Library Chairs*, Library Technology Reports, (1982), 18, 5: 483–571.

Beer, F., P., Johnston, E., R., (1987), *Mechanics of Materials*, SI Metric Edition, McGraw – Hill Ryerson Limited, 75-79.

Bozkurt, Y., Göker, Y., (1987), *Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi*. Orman Fakültesi Yayın No: 3445/388, 374 sayfa.

Bozkurt, Y., Göker, Y., (1996), *Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi*, Ders Kitabı, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 229-234.

Cai, L., Wang, F., (1993), *Influence of the Stiffness of Corner Joint on Case Furniture Deflection*, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 51 : 406-408.

Cals., (1991), CERG/SMIC, *Concurrent Engineering Information Center: Definitions of Concurrent Engineering*, *Forest Products Society*, Mexico, 2-3.

Cross, N., (2000), *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design* 3rd Edition, *John Wiley & Sons*, Ltd, New York, 2-4.

Çayıroğlu, İ., (2014), *Bilgisayar Destekli Tasarım ve Analiz (Ansys)*, Ders notu.

Çolakoğlu, M. H., Apay, A. C., (2012), *Finite Element Analysis Of Wooden Chair Strength In Free Drop*, *International Journal of the Physical Sciences* Vol. 7(7), pp. 1105 - 1114, 9 February.

- Dai, L., Zhang, J., L., (2007), Simplified Analysis and Design Methods for Structural Members of Sofa Frames Considering Fatigue Effects, *Forest Product Journal* 57(9):35-41.
- Eckelman, C. A., (1968), *Furniture Frame Analysis and Design*, Ph.D. Thesis, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 10-16.
- Eckelman, C., A., (1978), The Strength Design of Furniture, Text Book, *Tim Tech, Inc.* 303 North, 350 West Road, West Lafayette, Indiana, 47906, USA, 3-12.
- Eckelman, C., A., (1988a) Performance Testing of Furniture. Part I. Underlying Concepts, *Forest Product Journal*, 38 (3) : 44–48.
- Eckelman, C., A., (1988b) Performance Testing of Furniture. Part II. A Multipurpose Universal Structural Performance Test Method, *Forest Product Journal*, 38 (4): 13–18.
- Eckelman, C., A., (1991), Textbook of Product Engineering and Strength Design of Furniture, Text Book, *Purdue University*, West Lafayette, Indiana, USA, 54-59
- Eckelman, C., A., (1999), Performance Testing of Side Chair, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 57 : 227–234.
- Eckelman, C. A., Erdil, Y. Z., (1999), Furniture Engineering and Quality of Life, *I. International Furniture Congress*, İstanbul, 306-332.
- Eckelman, C., A., (2003) Textbook of Product Engineering and Strength Design of Furniture, Text Book, *Purdue University*, West Lafayette, Indiana, USA, 54-59.
- Eckelman, C. A., 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, İstanbul, , 265-305.

Eckelman, C., A., Erdil, Y., Z., (2001) General Services Administration Upholstered Furniture Test Method – FNAE 80 – 214 : A Description of the Method with Drawings, *Purdue University, Department of Forestry and Natural Resources*, Extension Publication Fnr – 176, 1159 Forestry Bldg., West Lafayette, 47907, Indiana, USA,.

Eckelman, C., A., Zhang, J., L., (1995), Uses of the General Services Administration Performance Test Method for Upholstered Furniture in the Engineering of Upholstered Furniture Frames, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 53 (4) : 261–267.

Efe, H., (1994), *Modern Mobilya Çerçeve Konstrüksiyon Tasarımında Geleneksel ve Alternatif Bağlantı Tekniklerinin Mekanik Davranış Özellikleri*, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon,398s.

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,1-9).

Erdil, Y., Z., (2002), *Integrated Product Engineering and Performance Testing of Furniture*, Ph.D. Thesis, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 2-19.

Göde, F., (2005), *Ahşap çekmede köşe birleştirme tekniklerinin çekme direncine etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 3-40

Gustafsson, S. I., (1997), Optimising Ash Wood Chairs, *Wood Science and Technology*, 31 (4) : 291-301.

Güntekin, E., (2004), Kavelalı mobilya köşe birleştirmelerinin sonlu elemanlar analizi, *Süleyman 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., (2004), *Masif ve kompozit ağaç malzemelerden üretilmiş çerçeve konstrüksiyonlu koltukların Performansı*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 7-15.

Kasal, A., (2006), Determination of the strength of various sofa frames with finite element analysis, *Gazi Üniversitesi Journal of Science*, 19 (4): 191-203.

Kasal, B., Pullela S. V., (1995), Development of Analytical Models For Furniture, Furniture Manufacturing and Management Center, *Teknical Report*, 95-01: 1-82.

Koç, K. H., Kizilkaya, K., Erdinler, E. S., Korkut, D. S., (2011), The Use of Finite Element Method In The Furniture Industry *African Journal of Business Management* Vol. 5(3), pp. 855-865, 4 February,

Kuskun, T., Kasal, A., Haviarova, E., Kilic, H., Uysal, M., 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

Kuşkun, T., (2013), *Zıvana ölçülerinin ve yükleme tipinin sandalye mukavemetine etkileri ve gerçek deney sonuçlarının sonlu elemanlar analizi sonuçlarıyla karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, 122-124

Likos E, Haviarova E, Eckelman CA, Erdil YZ, Özçiftçi A (2012), Tecnical note: Static versus cyclic load capacity of side chairs constructed with mortise and tenon joints. *Wood Fiber Science* 45(2):223-227.

Nicholls, T., Crisan, R., (2002), Study of the StressStrain State in Corner Joints and Box Type Furniture Using Finite Element Analysis (FEA), *Holz als Roh-und Werkstoff*, 60 : 66-71

Polisan, Üretici Firma, (2015), <http://www.polisan.com.tr/Content/Files/7e74161d-0843-470c-a28d-e3598a239a05.pdf>, İçerenköy Mah. Ali Nihat Tarlan Cad. No:86 Ataşehir 34752 İSTANBUL.

RISA – 3D Version 4.1, *RISA Technologies*, (2000).

Smardzewski, J., (1998), Numerical Analysis of Furniture Constructions, *Wood Science and Technology*, 32 (4) : 273-286.

Smardzewski, J., Gawroński, T., (2001), Fem Algorithm For Chair Optimisation Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, *Wood Technology*, Volume 4, Issue 2.

Smardzewski J., Gawroński T., (2003), Gradient Optimisation of Skeleton Furniture With Different Connections, Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, *Wood Technology*, Volume 6, Issue 1. (2003).

Smardzewski, J., Prekrat, S., (2009), Optimisation of a Sofa Frame in the Integrated Cad-Cae Environment, *Electronic Journal Of Polish Agricultural Universities*, 12-4, 1-9.

TOBB, (2013), *Türkiye Mobilya Ürünleri Meclisi Sektör Raporu*.

Topçu, M., Taşgetiren, S., (1998), Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ders Kitapları*, Yayın No: 007, Denizli

TS 2470, Odunda Fiziksel ve Mekaniksel Deneyler İçin Numune Alma Metotları ve Genel Özellikler, *T.S.E.*, Ankara, (1976).

TS 2471, Odunda, Fiziksel ve Mekaniksel Deneyler İçin Rutubet Miktarı Tayini", *T.S.E.*, Ankara, (1976).

TS 2472, Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler İçin Birim Hacim Ağırlığı Tayini, *T.S.E.*, Ankara, (1976).

TS 2475, Odunda Liflere Paralel Doğrultuda Çekme Gerilmesinin Tayini, *T.S.E.*, Ankara, (1976).

TS 2478, Odunun Statik Eğilmede Elastikiyet Modülünün Tayini, *T.S.E.*, Ankara, (1976).

TS 2595, Odunun Liflere Paralel Doğrultuda Basınç Dayanımı Tayini, *T.S.E.*, Ankara, (1977).

TS 4539, Ahşap Birleştirmeler-Kavelalı Birleştirme Kuralları, *T.S.E.*, Ankara, (1976).

TS EN 310 Ahşap Esaslı Levhalar–Eğilme Dayanımı ve Elastikiyet Modülünün Tayini, *T.S.E.*, Ankara, (1999).

USDA Forest Product Laboratory, *Wood Handbook*, USDA Agricultural Handbook 72, USDA Forest Service, Forest Product Laboratory, Madison, WI, USA, 42-45 (1987).

Uysal, B., (1998), Ağaç Türü ve Zıvana Uzunluğunun Zıvanalı Boy Birleştirmede Eğilme Direncine Etkileri, G. Ü. T. E. F., *Politeknik Dergisi*, 1, 3–4: 13-18.

Yılmaz, T., (2011), *Sandalye çerçevelerinin sonlu elemanlar analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey.

Zhang, J., Quin, F., and Tackett, B., (2001), Bending Strength and Stiffness of Twopin Dowel Joints Constructed of Wood and Wood Composites, *Forest Product Journal*, 51 (2) : 29–35.

EKLER

Ek A. Sarıçam önden arkaya kırılma yüklerinde mevcut sandalye iskeletlerine ait elemanlarda oluşan reaksiyon kuvvetleri, eleman kuvvetleri ve gerilmeleri

Sarıçam – önden arkaya – reaksiyon kuvvetleri

Eleman No	X (N)	Y (N)	Z (N)	MX (N)	MY (N)	MZ (N)
D17	0	-1340.368	0	0	0	0
D7	0	-1340.368	0	0	0	0
D12	1601.28	1340.368	0	0	0	0
D2	1601.28	1340.368	0	0	0	0

Sarıçam – önden arkaya – eleman kuvvetleri

Eleman No	Kesim Yeri	Eksenel kuvvetler (N)	Kesme kuvvetleri (Y) (N)	Kesme kuvvetleri (Z) (N)	Torque (Nm)	Momentler (Y) (Nm)	Momentler (Z) (Nm)
E1	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E2	1	1490.131	359.197	0	0	0	87.322
	2	1490.131	359.197	0	0	0	6.503
	3	1490.131	359.197	0	0	0	-74.317
E3	1	111.149	981.171	0	0	0	208.459
	2	111.149	981.171	0	0	0	-12.305
	3	111.149	981.171	0	0	0	-233.068
E4	1	-981.171	1490.131	0	0	0	240.577
	2	-981.171	1490.131	0	0	0	136.268
	3	-981.171	1490.131	0	0	0	31.959
E5	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E6	1	1490.131	359.197	0	0	0	87.322
	2	1490.131	359.197	0	0	0	6.503
	3	1490.131	359.197	0	0	0	-74.317
E7	1	111.149	981.171	0	0	0	208.459
	2	111.149	981.171	0	0	0	-12.305
	3	111.149	981.171	0	0	0	-233.068
E8	1	-981.171	1490.131	0	0	0	240.577
	2	-981.171	1490.131	0	0	0	136.268
	3	-981.171	1490.131	0	0	0	31.959
E9	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E10	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0

Ek A. (devam)

	3	0	0	0	0	0	0
E11	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E12	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E13	1	1340.368	1601.28	0	0	0	304.243
	2	1340.368	1601.28	0	0	0	152.122
	3	1340.368	1601.28	0	0	0	0
E14	1	-1340.368	0	0	0	0	0
	2	-1340.368	0	0	0	0	0
	3	-1340.368	0	0	0	0	0
E15	1	981.171	111.149	0	0	0	220.464
	2	981.171	111.149	0	0	0	212.684
	3	981.171	111.149	0	0	0	204.903
E16	1	981.171	111.149	0	0	0	204.903
	2	981.171	111.149	0	0	0	200.457
	3	981.171	111.149	0	0	0	196.011
E17	1	-981.171	1490.131	0	0	0	31.959
	2	-981.171	1490.131	0	0	0	-27.646
	3	-981.171	1490.131	0	0	0	-87.252
E18	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E19	1	1340.368	1601.28	0	0	0	304.243
	2	1340.368	1601.28	0	0	0	152.122
	3	1340.368	1601.28	0	0	0	0
E20	1	-1340.368	0	0	0	0	0
	2	-1340.368	0	0	0	0	0
	3	-1340.368	0	0	0	0	0
E21	1	981.171	111.149	0	0	0	220.464
	2	981.171	111.149	0	0	0	212.684
	3	981.171	111.149	0	0	0	204.903
E22	1	981.171	111.149	0	0	0	204.903
	2	981.171	111.149	0	0	0	200.457
	3	981.171	111.149	0	0	0	196.011
E23	1	-981.171	1490.131	0	0	0	31.959
	2	-981.171	1490.131	0	0	0	-27.646
	3	-981.171	1490.131	0	0	0	-87.252
E24	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0

Ek A. (devam)

Sarıçam – önden arkaya – eleman gerilmeleri

Eleman No	Kesim Yeri	Gerilmeler						
		Eksenel (N/mm ²)	Kesme (Y) (N/mm ²)	Kesme (Z) (N/mm ²)	Eğilme (Y üst) (N/mm ²)	Eğilme (Y alt) (N/mm ²)	Eğilme (Z üst) (N/mm ²)	Eğilme (Z alt) (N/mm ²)
E1	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E2	1	2.365	0.855	0	-27.721	27.721	0	0
	2	2.365	0.855	0	-2.064	2.064	0	0
	3	2.365	0.855	0	23.593	-23.593	0	0
E3	1	0.088	1.168	0	-16.544	16.544	0	0
	2	0.088	1.168	0	0.977	-0.977	0	0
	3	0.088	1.168	0	18.497	-18.497	0	0
E4	1	-0.779	1.774	0	-19.093	19.093	0	0
	2	-0.779	1.774	0	-10.815	10.815	0	0
	3	-0.779	1.774	0	-2.536	2.536	0	0
E5	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E6	1	2.365	0.855	0	-27.721	27.721	0	0
	2	2.365	0.855	0	-2.064	2.064	0	0
	3	2.365	0.855	0	23.593	-23.593	0	0
E7	1	0.088	1.168	0	-16.544	16.544	0	0
	2	0.088	1.168	0	0.977	-0.977	0	0
	3	0.088	1.168	0	18.497	-18.497	0	0
E8	1	-0.779	1.774	0	-19.093	19.093	0	0
	2	-0.779	1.774	0	-10.815	10.815	0	0
	3	-0.779	1.774	0	-2.536	2.536	0	0
E9	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E10	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E11	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E12	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E13	1	1.064	1.906	0	-24.146	24.146	0	0
	2	1.064	1.906	0	-12.073	12.073	0	0
	3	1.064	1.906	0	0	0	0	0
E14	1	-1.064	0	0	0	0	0	0
	2	-1.064	0	0	0	0	0	0
	3	-1.064	0	0	0	0	0	0
E15	1	0.779	0.132	0	-17.497	17.497	0	0
	2	0.779	0.132	0	-16.88	16.88	0	0

Ek A. (devam)

	3	0.779	0.132	0	-16.262	16.262	0	0
E16	1	0.779	0.132	0	-16.262	16.262	0	0
	2	0.779	0.132	0	-15.909	15.909	0	0
	3	0.779	0.132	0	-15.556	15.556	0	0
E17	1	-0.779	1.774	0	-2.536	2.536	0	0
	2	-0.779	1.774	0	2.194	-2.194	0	0
	3	-0.779	1.774	0	6.925	-6.925	0	0
E18	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E19	1	1.064	1.906	0	-24.146	24.146	0	0
	2	1.064	1.906	0	-12.073	12.073	0	0
	3	1.064	1.906	0	0	0	0	0
E20	1	-1.064	0	0	0	0	0	0
	2	-1.064	0	0	0	0	0	0
	3	-1.064	0	0	0	0	0	0
E21	1	0.779	0.132	0	-17.497	17.497	0	0
	2	0.779	0.132	0	-16.88	16.88	0	0
	3	0.779	0.132	0	-16.262	16.262	0	0
E22	1	0.779	0.132	0	-16.262	16.262	0	0
	2	0.779	0.132	0	-15.909	15.909	0	0
	3	0.779	0.132	0	-15.556	15.556	0	0
E23	1	-0.779	1.774	0	-2.536	2.536	0	0
	2	-0.779	1.774	0	2.194	-2.194	0	0
	3	-0.779	1.774	0	6.925	-6.925	0	0
E24	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0

Ek B. Doğu Kayını önden arkaya kırılma yüklerinde mevcut sandalye iskeletlerine ait elemanlarda oluşan reaksiyon kuvvetleri, eleman kuvvetleri ve gerilmeleri

Doğu kayını – önden arkaya – reaksiyon kuvvetleri

Eleman No	X (N)	Y (N)	Z (N)	MX (N)	MY (N)	MZ (N)
D17	0	-1610.144	0	0	0	0
D7	0	-1610.144	0	0	0	0
D12	1868.16	1610.144	0	0	0	0
D2	1868.16	1610.144	0	0	0	0

Doğu kayını – önden arkaya – eleman kuvvetleri

Eleman No	Kesim Yeri	Eksenel kuvvetler (N)	Kesme kuvvetleri (Y) (N)	Kesme kuvvetleri (Z) (N)	Torque (Nm)	Momentler (Y) (Nm)	Momentler (Z) (Nm)
E1	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E2	1	1749.429	431.715	0	0	0	104.799
	2	1749.429	431.715	0	0	0	7.663
	3	1749.429	431.715	0	0	0	-89.473
E3	1	118.731	1178.429	0	0	0	250.773
	2	118.731	1178.429	0	0	0	-14.373
	3	118.731	1178.429	0	0	0	-279.52
E4	1	-1178.429	1749.429	0	0	0	286.32
	2	-1178.429	1749.429	0	0	0	163.86
	3	-1178.429	1749.429	0	0	0	41.4
E5	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E6	1	1749.429	431.715	0	0	0	104.799
	2	1749.429	431.715	0	0	0	7.663
	3	1749.429	431.715	0	0	0	-89.473
E7	1	118.731	1178.429	0	0	0	250.773
	2	118.731	1178.429	0	0	0	-14.373
	3	118.731	1178.429	0	0	0	-279.52
E8	1	-1178.429	1749.429	0	0	0	286.32
	2	-1178.429	1749.429	0	0	0	163.86
	3	-1178.429	1749.429	0	0	0	41.4
E9	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E10	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E11	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0

Ek B. (devam)

	3	0	0	0	0	0	0
E12	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E13	1	1610.144	1868.16	0	0	0	354.95
	2	1610.144	1868.16	0	0	0	177.475
	3	1610.144	1868.16	0	0	0	0
E14	1	-1610.144	0	0	0	0	0
	2	-1610.144	0	0	0	0	0
	3	-1610.144	0	0	0	0	0
E15	1	1178.429	118.731	0	0	0	261.734
	2	1178.429	118.731	0	0	0	253.423
	3	1178.429	118.731	0	0	0	245.112
E16	1	1178.429	118.731	0	0	0	245.112
	2	1178.429	118.731	0	0	0	240.363
	3	1178.429	118.731	0	0	0	235.614
E17	1	-1178.429	1749.429	0	0	0	41.4
	2	-1178.429	1749.429	0	0	0	-28.577
	3	-1178.429	1749.429	0	0	0	-98.554
E18	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E19	1	1610.144	1868.16	0	0	0	354.95
	2	1610.144	1868.16	0	0	0	177.475
	3	1610.144	1868.16	0	0	0	0
E20	1	-1610.144	0	0	0	0	0
	2	-1610.144	0	0	0	0	0
	3	-1610.144	0	0	0	0	0
E21	1	1178.429	118.731	0	0	0	261.734
	2	1178.429	118.731	0	0	0	253.423
	3	1178.429	118.731	0	0	0	245.112
E22	1	1178.429	118.731	0	0	0	245.112
	2	1178.429	118.731	0	0	0	240.363
	3	1178.429	118.731	0	0	0	235.614
E23	1	-1178.429	1749.429	0	0	0	41.4
	2	-1178.429	1749.429	0	0	0	-28.577
	3	-1178.429	1749.429	0	0	0	-98.554
E24	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0

Ek B. (devam)

Doğu kayını – önden arkaya – eleman gerilmeleri

Eleman No	Kesim Yeri	Gerilmeler						
		Eksenel (N/mm ²)	Kesme (Y) (N/mm ²)	Kesme (Z) (N/mm ²)	Eğilme (Y üst) (N/mm ²)	Eğilme gerilmeler (Y alt) (N/mm ²)	Eğilme (Z üst) (N/mm ²)	Eğilme (Z alt) (N/mm ²)
E1	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E2	1	2.777	1.028	0	-33.269	33.269	0	0
	2	2.777	1.028	0	-2.433	2.433	0	0
	3	2.777	1.028	0	28.404	-28.404	0	0
E3	1	0.094	1.403	0	-19.903	19.903	0	0
	2	0.094	1.403	0	1.141	-1.141	0	0
	3	0.094	1.403	0	22.184	-22.184	0	0
E4	1	-0.935	2.083	0	-22.724	22.724	0	0
	2	-0.935	2.083	0	-13.005	13.005	0	0
	3	-0.935	2.083	0	-3.286	3.286	0	0
E5	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E6	1	2.777	1.028	0	-33.269	33.269	0	0
	2	2.777	1.028	0	-2.433	2.433	0	0
	3	2.777	1.028	0	28.404	-28.404	0	0
E7	1	0.094	1.403	0	-19.903	19.903	0	0
	2	0.094	1.403	0	1.141	-1.141	0	0
	3	0.094	1.403	0	22.184	-22.184	0	0
E8	1	-0.935	2.083	0	-22.724	22.724	0	0
	2	-0.935	2.083	0	-13.005	13.005	0	0
	3	-0.935	2.083	0	-3.286	3.286	0	0
E9	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E10	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E11	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E12	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E13	1	1.278	2.224	0	-28.171	28.171	0	0
	2	1.278	2.224	0	-14.085	14.085	0	0
	3	1.278	2.224	0	0	0	0	0
E14	1	-1.278	0	0	0	0	0	0
	2	-1.278	0	0	0	0	0	0
	3	-1.278	0	0	0	0	0	0

Ek B. (devam)

E15	1	0.935	0.141	0	-20.773	20.773	0	0
	2	0.935	0.141	0	-20.113	20.113	0	0
	3	0.935	0.141	0	-19.453	19.453	0	0
E16	1	0.935	0.141	0	-19.453	19.453	0	0
	2	0.935	0.141	0	-19.076	19.076	0	0
	3	0.935	0.141	0	-18.699	18.699	0	0
E17	1	-0.935	2.083	0	-3.286	3.286	0	0
	2	-0.935	2.083	0	2.268	-2.268	0	0
	3	-0.935	2.083	0	7.822	-7.822	0	0
E18	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E19	1	1.278	2.224	0	-28.171	28.171	0	0
	2	1.278	2.224	0	-14.085	14.085	0	0
	3	1.278	2.224	0	0	0	0	0
E20	1	-1.278	0	0	0	0	0	0
	2	-1.278	0	0	0	0	0	0
	3	-1.278	0	0	0	0	0	0
E21	1	0.935	0.141	0	-20.773	20.773	0	0
	2	0.935	0.141	0	-20.113	20.113	0	0
	3	0.935	0.141	0	-19.453	19.453	0	0
E22	1	0.935	0.141	0	-19.453	19.453	0	0
	2	0.935	0.141	0	-19.076	19.076	0	0
	3	0.935	0.141	0	-18.699	18.699	0	0
E23	1	-0.935	2.083	0	-3.286	3.286	0	0
	2	-0.935	2.083	0	2.268	-2.268	0	0
	3	-0.935	2.083	0	7.822	-7.822	0	0
E24	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0

Ek C. Sarıçam arkadan öne kırılma yüklerinde mevcut sandalye iskeletlerine ait elemanlarda oluşan reaksiyon kuvvetleri, eleman kuvvetleri ve gerilmeleri

Sarıçam – arkadan öne – reaksiyon kuvvetleri

Eleman No	X (N)	Y (N)	Z (N)	MX (N)	MY (N)	MZ (N)
D17	-1579.04	1317.379	0	0	0	0
D7	-1579.04	1317.379	0	0	0	0
D12	0	-1317.379	0	0	0	0
D2	0	-1317.379	0	0	0	0

Sarıçam – arkadan öne – eleman kuvvetleri

Eleman No	Kesim Yeri	Eksenel kuvvetler (N)	Kesme kuvvetleri (Y) (N)	Kesme kuvvetleri (Z) (N)	Torque (Nm)	Momentler (Y) (Nm)	Momentler (Z) (Nm)
E1	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E2	1	1494.117	-353.836	0	0	0	-73.276
	2	1494.117	-353.836	0	0	0	6.338
	3	1494.117	-353.836	0	0	0	85.951
E3	1	84.923	-963.542	0	0	0	-226.991
	2	84.923	-963.542	0	0	0	-10.194
	3	84.923	-963.542	0	0	0	206.603
E4	1	963.542	-84.923	0	0	0	-212.194
	2	963.542	-84.923	0	0	0	-206.249
	3	963.542	-84.923	0	0	0	-200.305
E5	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E6	1	1494.117	-353.836	0	0	0	-73.276
	2	1494.117	-353.836	0	0	0	6.338
	3	1494.117	-353.836	0	0	0	85.951
E7	1	84.923	-963.542	0	0	0	-226.991
	2	84.923	-963.542	0	0	0	-10.194
	3	84.923	-963.542	0	0	0	206.603
E8	1	963.542	-84.923	0	0	0	-212.194
	2	963.542	-84.923	0	0	0	-206.249
	3	963.542	-84.923	0	0	0	-200.305
E9	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E10	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E11	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0

Ek C. (devam)

E12	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E13	1	-1317.379	0	0	0	0	0
	2	-1317.379	0	0	0	0	0
	3	-1317.379	0	0	0	0	0
E14	1	1317.379	-1579.04	0	0	0	-300.018
	2	1317.379	-1579.04	0	0	0	-150.009
	3	1317.379	-1579.04	0	0	0	0
E15	1	-963.542	-1494.117	0	0	0	-242.647
	2	-963.542	-1494.117	0	0	0	-138.059
	3	-963.542	-1494.117	0	0	0	-33.471
E16	1	-963.542	-1494.117	0	0	0	-33.471
	2	-963.542	-1494.117	0	0	0	26.294
	3	-963.542	-1494.117	0	0	0	86.059
E17	1	963.542	-84.923	0	0	0	-200.305
	2	963.542	-84.923	0	0	0	-196.908
	3	963.542	-84.923	0	0	0	-193.511
E18	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E19	1	-1317.379	0	0	0	0	0
	2	-1317.379	0	0	0	0	0
	3	-1317.379	0	0	0	0	0
E20	1	1317.379	-1579.04	0	0	0	-300.018
	2	1317.379	-1579.04	0	0	0	-150.009
	3	1317.379	-1579.04	0	0	0	0
E21	1	-963.542	-1494.117	0	0	0	-242.647
	2	-963.542	-1494.117	0	0	0	-138.059
	3	-963.542	-1494.117	0	0	0	-33.471
E22	1	-963.542	-1494.117	0	0	0	-33.471
	2	-963.542	-1494.117	0	0	0	26.294
	3	-963.542	-1494.117	0	0	0	86.059
E23	1	963.542	-84.923	0	0	0	-200.305
	2	963.542	-84.923	0	0	0	-196.908
	3	963.542	-84.923	0	0	0	-193.511
E24	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0

Ek C. (devam)

Sarıçam – arkadan öne – eleman gerilmeleri

Eleman No	Kesim Yeri	Gerilmeler						
		Eksenel (N/mm ²)	Kesme (Y) (N/mm ²)	Kesme (Z) (N/mm ²)	Eğilme (Y üst) (N/mm ²)	Eğilme (Y alt) (N/mm ²)	Eğilme (Z üst) (N/mm ²)	Eğilme (Z alt) (N/mm ²)
E1	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E2	1	2.372	-0.842	0	23.262	-23.262	0	0
	2	2.372	-0.842	0	-2.012	2.012	0	0
	3	2.372	-0.842	0	-27.286	27.286	0	0
E3	1	0.067	-1.147	0	18.015	-18.015	0	0
	2	0.067	-1.147	0	0.809	-0.809	0	0
	3	0.067	-1.147	0	-16.397	16.397	0	0
E4	1	0.765	-0.101	0	16.841	-16.841	0	0
	2	0.765	-0.101	0	16.369	-16.369	0	0
	3	0.765	-0.101	0	15.897	-15.897	0	0
E5	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E6	1	2.372	-0.842	0	23.262	-23.262	0	0
	2	2.372	-0.842	0	-2.012	2.012	0	0
	3	2.372	-0.842	0	-27.286	27.286	0	0
E7	1	0.067	-1.147	0	18.015	-18.015	0	0
	2	0.067	-1.147	0	0.809	-0.809	0	0
	3	0.067	-1.147	0	-16.397	16.397	0	0
E8	1	0.765	-0.101	0	16.841	-16.841	0	0
	2	0.765	-0.101	0	16.369	-16.369	0	0
	3	0.765	-0.101	0	15.897	-15.897	0	0
E9	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E10	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E11	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E12	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E13	1	-1.046	0	0	0	0	0	0
	2	-1.046	0	0	0	0	0	0
	3	-1.046	0	0	0	0	0	0
E14	1	1.046	-1.88	0	23.811	-23.811	0	0
	2	1.046	-1.88	0	11.905	-11.905	0	0
	3	1.046	-1.88	0	0	0	0	0
E15	1	-0.765	-1.779	0	19.258	-19.258	0	0

Ek C. (devam)

	2	-0.765	-1.779	0	10.957	-10.957	0	0
	3	-0.765	-1.779	0	2.656	-2.656	0	0
E16	1	-0.765	-1.779	0	2.656	-2.656	0	0
	2	-0.765	-1.779	0	-2.087	2.087	0	0
	3	-0.765	-1.779	0	-6.83	6.83	0	0
E17	1	0.765	-0.101	0	15.897	-15.897	0	0
	2	0.765	-0.101	0	15.628	-15.628	0	0
	3	0.765	-0.101	0	15.358	-15.358	0	0
E18	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E19	1	-1.046	0	0	0	0	0	0
	2	-1.046	0	0	0	0	0	0
	3	-1.046	0	0	0	0	0	0
E20	1	1.046	-1.88	0	23.811	-23.811	0	0
	2	1.046	-1.88	0	11.905	-11.905	0	0
	3	1.046	-1.88	0	0	0	0	0
E21	1	-0.765	-1.779	0	19.258	-19.258	0	0
	2	-0.765	-1.779	0	10.957	-10.957	0	0
	3	-0.765	-1.779	0	2.656	-2.656	0	0
E22	1	-0.765	-1.779	0	2.656	-2.656	0	0
	2	-0.765	-1.779	0	-2.087	2.087	0	0
	3	-0.765	-1.779	0	-6.83	6.83	0	0
E23	1	0.765	-0.101	0	15.897	-15.897	0	0
	2	0.765	-0.101	0	15.628	-15.628	0	0
	3	0.765	-0.101	0	15.358	-15.358	0	0
E24	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0

Ek D. Doğu Kayını arkadan öne kırılma yüklerinde mevcut sandalye iskeletlerine ait elemanlarda oluşan reaksiyon kuvvetleri, eleman kuvvetleri ve gerilmeleri

Doğu kayını – arkadan öne – reaksiyon kuvvetleri

Eleman No	X (N)	Y (N)	Z (N)	MX (N)	MY (N)	MZ (N)
D17	-1801.44	1548.725	0	0	0	0
D7	-1801.44	1548.725	0	0	0	0
D12	0	-1548.725	0	0	0	0
D2	0	-1548.725	0	0	0	0

Doğu kayını – arkadan öne – eleman kuvvetleri

Eleman No	Kesim Yeri	Eksenel kuvvetler (N)	Kesme kuvvetleri (Y) (N)	Kesme kuvvetleri (Z) (N)	Torque (Nm)	Momentler (Y) (Nm)	Momentler (Z) (Nm)
E1	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E2	1	1708.978	-415.956	0	0	0	-86.269
	2	1708.978	-415.956	0	0	0	7.322
	3	1708.978	-415.956	0	0	0	100.912
E3	1	92.462	-1132.769	0	0	0	-266.993
	2	92.462	-1132.769	0	0	0	-12.12
	3	92.462	-1132.769	0	0	0	242.752
E4	1	1132.769	-92.462	0	0	0	-247.718
	2	1132.769	-92.462	0	0	0	-241.246
	3	1132.769	-92.462	0	0	0	-234.773
E5	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E6	1	1708.978	-415.956	0	0	0	-86.269
	2	1708.978	-415.956	0	0	0	7.322
	3	1708.978	-415.956	0	0	0	100.912
E7	1	92.462	-1132.769	0	0	0	-266.993
	2	92.462	-1132.769	0	0	0	-12.12
	3	92.462	-1132.769	0	0	0	242.752
E8	1	1132.769	-92.462	0	0	0	-247.718
	2	1132.769	-92.462	0	0	0	-241.246
	3	1132.769	-92.462	0	0	0	-234.773
E9	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E10	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E11	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0

Ek D. (devam)

	3	0	0	0	0	0	0
E12	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E13	1	-1548.725	0	0	0	0	0
	2	-1548.725	0	0	0	0	0
	3	-1548.725	0	0	0	0	0
E14	1	1548.725	-1801.44	0	0	0	-342.274
	2	1548.725	-1801.44	0	0	0	-171.137
	3	1548.725	-1801.44	0	0	0	0
E15	1	-1132.769	-1708.978	0	0	0	-280.935
	2	-1132.769	-1708.978	0	0	0	-161.307
	3	-1132.769	-1708.978	0	0	0	-41.678
E16	1	-1132.769	-1708.978	0	0	0	-41.678
	2	-1132.769	-1708.978	0	0	0	26.681
	3	-1132.769	-1708.978	0	0	0	95.04
E17	1	1132.769	-92.462	0	0	0	-234.773
	2	1132.769	-92.462	0	0	0	-231.075
	3	1132.769	-92.462	0	0	0	-227.376
E18	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E19	1	-1548.725	0	0	0	0	0
	2	-1548.725	0	0	0	0	0
	3	-1548.725	0	0	0	0	0
E20	1	1548.725	-1801.44	0	0	0	-342.274
	2	1548.725	-1801.44	0	0	0	-171.137
	3	1548.725	-1801.44	0	0	0	0
E21	1	-1132.769	-1708.978	0	0	0	-280.935
	2	-1132.769	-1708.978	0	0	0	-161.307
	3	-1132.769	-1708.978	0	0	0	-41.678
E22	1	-1132.769	-1708.978	0	0	0	-41.678
	2	-1132.769	-1708.978	0	0	0	26.681
	3	-1132.769	-1708.978	0	0	0	95.04
E23	1	1132.769	-92.462	0	0	0	-234.773
	2	1132.769	-92.462	0	0	0	-231.075
	3	1132.769	-92.462	0	0	0	-227.376
E24	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0

Ek D. (devam)

Doğu kayını – arkadan öne – eleman gerilmeleri

Eleman No	Kesim Yeri	Gerilmeler						
		Eksenel (N/mm ²)	Kesme (Y) (N/mm ²)	Kesme (Z) (N/mm ²)	Eğilme (Y üst) (N/mm ²)	Eğilme (Y alt) (N/mm ²)	Eğilme (Z üst) (N/mm ²)	Eğilme (Z alt) (N/mm ²)
E1	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E2	1	2.713	-0.99	0	27.387	-27.387	0	0
	2	2.713	-0.99	0	-2.324	2.324	0	0
	3	2.713	-0.99	0	-32.035	32.035	0	0
E3	1	0.073	-1.349	0	21.19	-21.19	0	0
	2	0.073	-1.349	0	0.962	-0.962	0	0
	3	0.073	-1.349	0	-19.266	19.266	0	0
E4	1	0.899	-0.11	0	19.66	-19.66	0	0
	2	0.899	-0.11	0	19.146	-19.146	0	0
	3	0.899	-0.11	0	18.633	-18.633	0	0
E5	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E6	1	2.713	-0.99	0	27.387	-27.387	0	0
	2	2.713	-0.99	0	-2.324	2.324	0	0
	3	2.713	-0.99	0	-32.035	32.035	0	0
E7	1	0.073	-1.349	0	21.19	-21.19	0	0
	2	0.073	-1.349	0	0.962	-0.962	0	0
	3	0.073	-1.349	0	-19.266	19.266	0	0
E8	1	0.899	-0.11	0	19.66	-19.66	0	0
	2	0.899	-0.11	0	19.146	-19.146	0	0
	3	0.899	-0.11	0	18.633	-18.633	0	0
E9	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E10	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E11	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E12	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E13	1	-1.229	0	0	0	0	0	0
	2	-1.229	0	0	0	0	0	0
	3	-1.229	0	0	0	0	0	0
E14	1	1.229	-2.145	0	27.165	-27.165	0	0
	2	1.229	-2.145	0	13.582	-13.582	0	0
	3	1.229	-2.145	0	0	0	0	0
E15	1	-0.899	-2.034	0	22.296	-22.296	0	0
	2	-0.899	-2.034	0	12.802	-12.802	0	0

Ek D. (devam)

	3	-0.899	-2.034	0	3.308	-3.308	0	0
E16	1	-0.899	-2.034	0	3.308	-3.308	0	0
	2	-0.899	-2.034	0	-2.118	2.118	0	0
	3	-0.899	-2.034	0	-7.543	7.543	0	0
E17	1	0.899	-0.11	0	18.633	-18.633	0	0
	2	0.899	-0.11	0	18.339	-18.339	0	0
	3	0.899	-0.11	0	18.046	-18.046	0	0
E18	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E19	1	-1.229	0	0	0	0	0	0
	2	-1.229	0	0	0	0	0	0
	3	-1.229	0	0	0	0	0	0
E20	1	1.229	-2.145	0	27.165	-27.165	0	0
	2	1.229	-2.145	0	13.582	-13.582	0	0
	3	1.229	-2.145	0	0	0	0	0
E21	1	-0.899	-2.034	0	22.296	-22.296	0	0
	2	-0.899	-2.034	0	12.802	-12.802	0	0
	3	-0.899	-2.034	0	3.308	-3.308	0	0
E22	1	-0.899	-2.034	0	3.308	-3.308	0	0
	2	-0.899	-2.034	0	-2.118	2.118	0	0
	3	-0.899	-2.034	0	-7.543	7.543	0	0
E23	1	0.899	-0.11	0	18.633	-18.633	0	0
	2	0.899	-0.11	0	18.339	-18.339	0	0
	3	0.899	-0.11	0	18.046	-18.046	0	0
E24	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0

Ek E. Sarıçam arkalığa önden arkaya kırılma yüklerinde mevcut sandalye iskeletlerine ait elemanlarda oluşan reaksiyon kuvvetleri, eleman kuvvetleri ve gerilmeleri

Sarıçam – arkalığa önden arkaya çekme – reaksiyon kuvvetleri

Eleman No	X (N)	Y (N)	Z (N)	MX (N)	MY (N)	MZ (N)
D17	-703.388	-1127.595	0	0	0	0
D7	-703.388	-1127.595	0	0	0	0
D12	0	1127.595	0	0	0	0
D2	0	1127.595	0	0	0	0

Sarıçam – arkalığa önden arkaya çekme – eleman kuvvetleri

Eleman No	Kesim Yeri	Eksenel kuvvetler (N)	Kesme kuvvetleri (Y) (N)	Kesme kuvvetleri (Z) (N)	Torque (Nm)	Momentler (Y) (Nm)	Momentler (Z) (Nm)
E1	1	0	1690.24	0	0	0	0
	2	0	1690.24	0	0	0	-354.95
	3	0	1690.24	0	0	0	-709.901
E2	1	2009.107	-11.857	0	0	0	-3.905
	2	2009.107	-11.857	0	0	0	-1.237
	3	2009.107	-11.857	0	0	0	1.431
E3	1	-1305.719	1139.453	0	0	0	357.454
	2	-1305.719	1139.453	0	0	0	101.078
	3	-1305.719	1139.453	0	0	0	-155.299
E4	1	-1139.453	1305.719	0	0	0	154.744
	2	-1139.453	1305.719	0	0	0	63.344
	3	-1139.453	1305.719	0	0	0	-28.057
E5	1	0	1690.24	0	0	0	0
	2	0	1690.24	0	0	0	-354.95
	3	0	1690.24	0	0	0	-709.901
E6	1	2009.107	-11.857	0	0	0	-3.905
	2	2009.107	-11.857	0	0	0	-1.237
	3	2009.107	-11.857	0	0	0	1.431
E7	1	-1305.719	1139.453	0	0	0	357.454
	2	-1305.719	1139.453	0	0	0	101.078
	3	-1305.719	1139.453	0	0	0	-155.299
E8	1	-1139.453	1305.719	0	0	0	154.744
	2	-1139.453	1305.719	0	0	0	63.344
	3	-1139.453	1305.719	0	0	0	-28.057
E9	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E10	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E11	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0

Ek E. (devam)

	3	0	0	0	0	0	0
E12	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E13	1	1127.595	0	0	0	0	0
	2	1127.595	0	0	0	0	0
	3	1127.595	0	0	0	0	0
E14	1	-1127.595	-703.388	0	0	0	-133.644
	2	-1127.595	-703.388	0	0	0	-66.822
	3	-1127.595	-703.388	0	0	0	0
E15	1	1139.453	-2009.107	0	0	0	-436.882
	2	1139.453	-2009.107	0	0	0	-296.245
	3	1139.453	-2009.107	0	0	0	-155.607
E16	1	1139.453	-2009.107	0	0	0	-155.607
	2	1139.453	-2009.107	0	0	0	-75.243
	3	1139.453	-2009.107	0	0	0	5.121
E17	1	-1139.453	1305.719	0	0	0	-28.057
	2	-1139.453	1305.719	0	0	0	-80.286
	3	-1139.453	1305.719	0	0	0	-132.514
E18	1	0	1690.24	0	0	0	-709.901
	2	0	1690.24	0	0	0	-769.059
	3	0	1690.24	0	0	0	-828.218
E19	1	1127.595	0	0	0	0	0
	2	1127.595	0	0	0	0	0
	3	1127.595	0	0	0	0	0
E20	1	-1127.595	-703.388	0	0	0	-133.644
	2	-1127.595	-703.388	0	0	0	-66.822
	3	-1127.595	-703.388	0	0	0	0
E21	1	1139.453	-2009.107	0	0	0	-436.882
	2	1139.453	-2009.107	0	0	0	-296.245
	3	1139.453	-2009.107	0	0	0	-155.607
E22	1	1139.453	-2009.107	0	0	0	-155.607
	2	1139.453	-2009.107	0	0	0	-75.243
	3	1139.453	-2009.107	0	0	0	5.121
E23	1	-1139.453	1305.719	0	0	0	-28.057
	2	-1139.453	1305.719	0	0	0	-80.286
	3	-1139.453	1305.719	0	0	0	-132.514
E24	1	0	1690.24	0	0	0	-709.901
	2	0	1690.24	0	0	0	-769.059
	3	0	1690.24	0	0	0	-828.218

Ek E. (devam)

Sarıçam – arkalığa önden arkaya çekme – eleman gerilmeleri

Eleman No	Kesim Yeri	Gerilmeler						
		Eksenel (N/mm ²)	Kesme (Y) (N/mm ²)	Kesme (Z) (N/mm ²)	Eğilme (Y üst) (N/mm ²)	Eğilme (Y alt) (N/mm ²)	Eğilme (Z üst) (N/mm ²)	Eğilme (Z alt) (N/mm ²)
E1	1	0	2.012	0	0	0	0	0
	2	0	2.012	0	28.171	-28.171	0	0
	3	0	2.012	0	56.341	-56.341	0	0
E2	1	3.189	-0.028	0	1.24	-1.24	0	0
	2	3.189	-0.028	0	0.393	-0.393	0	0
	3	3.189	-0.028	0	-0.454	0.454	0	0
E3	1	-1.036	1.356	0	-28.369	28.369	0	0
	2	-1.036	1.356	0	-8.022	8.022	0	0
	3	-1.036	1.356	0	12.325	-12.325	0	0
E4	1	-0.904	1.554	0	-12.281	12.281	0	0
	2	-0.904	1.554	0	-5.027	5.027	0	0
	3	-0.904	1.554	0	2.227	-2.227	0	0
E5	1	0	2.012	0	0	0	0	0
	2	0	2.012	0	28.171	-28.171	0	0
	3	0	2.012	0	56.341	-56.341	0	0
E6	1	3.189	-0.028	0	1.24	-1.24	0	0
	2	3.189	-0.028	0	0.393	-0.393	0	0
	3	3.189	-0.028	0	-0.454	0.454	0	0
E7	1	-1.036	1.356	0	-28.369	28.369	0	0
	2	-1.036	1.356	0	-8.022	8.022	0	0
	3	-1.036	1.356	0	12.325	-12.325	0	0
E8	1	-0.904	1.554	0	-12.281	12.281	0	0
	2	-0.904	1.554	0	-5.027	5.027	0	0
	3	-0.904	1.554	0	2.227	-2.227	0	0
E9	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E10	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E11	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E12	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E13	1	0.895	0	0	0	0	0	0
	2	0.895	0	0	0	0	0	0
	3	0.895	0	0	0	0	0	0
E14	1	-0.895	-0.837	0	10.607	-10.607	0	0
	2	-0.895	-0.837	0	5.303	-5.303	0	0
	3	-0.895	-0.837	0	0	0	0	0
E15	1	0.904	-2.392	0	34.673	-34.673	0	0
	2	0.904	-2.392	0	23.511	-23.511	0	0

Ek E. (devam)

	3	0.904	-2.392	0	12.35	-12.35	0	0
E16	1	0.904	-2.392	0	12.35	-12.35	0	0
	2	0.904	-2.392	0	5.972	-5.972	0	0
	3	0.904	-2.392	0	-0.406	0.406	0	0
E17	1	-0.904	1.554	0	2.227	-2.227	0	0
	2	-0.904	1.554	0	6.372	-6.372	0	0
	3	-0.904	1.554	0	10.517	-10.517	0	0
E18	1	0	2.012	0	56.341	-56.341	0	0
	2	0	2.012	0	61.036	-61.036	0	0
	3	0	2.012	0	65.732	-65.732	0	0
E19	1	0.895	0	0	0	0	0	0
	2	0.895	0	0	0	0	0	0
	3	0.895	0	0	0	0	0	0
E20	1	-0.895	-0.837	0	10.607	-10.607	0	0
	2	-0.895	-0.837	0	5.303	-5.303	0	0
	3	-0.895	-0.837	0	0	0	0	0
E21	1	0.904	-2.392	0	34.673	-34.673	0	0
	2	0.904	-2.392	0	23.511	-23.511	0	0
	3	0.904	-2.392	0	12.35	-12.35	0	0
E22	1	0.904	-2.392	0	12.35	-12.35	0	0
	2	0.904	-2.392	0	5.972	-5.972	0	0
	3	0.904	-2.392	0	-0.406	0.406	0	0
E23	1	-0.904	1.554	0	2.227	-2.227	0	0
	2	-0.904	1.554	0	6.372	-6.372	0	0
	3	-0.904	1.554	0	10.517	-10.517	0	0
E24	1	0	2.012	0	56.341	-56.341	0	0
	2	0	2.012	0	61.036	-61.036	0	0
	3	0	2.012	0	65.732	-65.732	0	0

Ek F. Doğu Kayımı arkalığa önden arkaya kırılma yüklerinde mevcut sandalye iskeletlerine ait elemanlarda oluşan reaksiyon kuvvetleri, eleman kuvvetleri ve gerilmeleri

Doğu kayımı – arkalığa önden arkaya çekme – reaksiyon kuvvetleri

Eleman No	X (N)	Y (N)	Z (N)	MX (N)	MY (N)	MZ (N)
D17	-1457.127	-2336.586	0	0	0	0
D7	-1457.127	-2336.586	0	0	0	0
D12	0	2336.586	0	0	0	0
D2	0	2336.586	0	0	0	0

Doğu kayımı – arkalığa önden arkaya çekme – eleman kuvvetleri

Eleman No	Kesim Yeri	Eksenel kuvvetler (N)	Kesme kuvvetleri (Y) (N)	Kesme kuvvetleri (Z) (N)	Torque (Nm)	Momentler (Y) (Nm)	Momentler (Z) (Nm)
E1	1	0	3469.44	0	0	0	0
	2	0	3469.44	0	0	0	-728.582
	3	0	3469.44	0	0	0	-1457.165
E2	1	4161.715	-24.921	0	0	0	-8.207
	2	4161.715	-24.921	0	0	0	-2.6
	3	4161.715	-24.921	0	0	0	3.008
E3	1	-2704.588	2361.506	0	0	0	740.999
	2	-2704.588	2361.506	0	0	0	209.66
	3	-2704.588	2361.506	0	0	0	-321.679
E4	1	-2361.506	2704.588	0	0	0	320.797
	2	-2361.506	2704.588	0	0	0	131.476
	3	-2361.506	2704.588	0	0	0	-57.845
E5	1	0	3469.44	0	0	0	0
	2	0	3469.44	0	0	0	-728.582
	3	0	3469.44	0	0	0	-1457.165
E6	1	4161.715	-24.921	0	0	0	-8.207
	2	4161.715	-24.921	0	0	0	-2.6
	3	4161.715	-24.921	0	0	0	3.008
E7	1	-2704.588	2361.506	0	0	0	740.999
	2	-2704.588	2361.506	0	0	0	209.66
	3	-2704.588	2361.506	0	0	0	-321.679
E8	1	-2361.506	2704.588	0	0	0	320.797
	2	-2361.506	2704.588	0	0	0	131.476
	3	-2361.506	2704.588	0	0	0	-57.845
E9	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E10	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E11	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0

Ek F. (devam)

	3	0	0	0	0	0	0
E12	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E13	1	2336.586	0	0	0	0	0
	2	2336.586	0	0	0	0	0
	3	2336.586	0	0	0	0	0
E14	1	-2336.586	-1457.127	0	0	0	-276.854
	2	-2336.586	-1457.127	0	0	0	-138.427
	3	-2336.586	-1457.127	0	0	0	0
E15	1	2361.506	-4161.715	0	0	0	-905.885
	2	2361.506	-4161.715	0	0	0	-614.565
	3	2361.506	-4161.715	0	0	0	-323.245
E16	1	2361.506	-4161.715	0	0	0	-323.245
	2	2361.506	-4161.715	0	0	0	-156.776
	3	2361.506	-4161.715	0	0	0	9.692
E17	1	-2361.506	2704.588	0	0	0	-57.845
	2	-2361.506	2704.588	0	0	0	-166.029
	3	-2361.506	2704.588	0	0	0	-274.212
E18	1	0	3469.44	0	0	0	-1457.165
	2	0	3469.44	0	0	0	-1578.595
	3	0	3469.44	0	0	0	-1700.026
E19	1	2336.586	0	0	0	0	0
	2	2336.586	0	0	0	0	0
	3	2336.586	0	0	0	0	0
E20	1	-2336.586	-1457.127	0	0	0	-276.854
	2	-2336.586	-1457.127	0	0	0	-138.427
	3	-2336.586	-1457.127	0	0	0	0
E21	1	2361.506	-4161.715	0	0	0	-905.885
	2	2361.506	-4161.715	0	0	0	-614.565
	3	2361.506	-4161.715	0	0	0	-323.245
E22	1	2361.506	-4161.715	0	0	0	-323.245
	2	2361.506	-4161.715	0	0	0	-156.776
	3	2361.506	-4161.715	0	0	0	9.692
E23	1	-2361.506	2704.588	0	0	0	-57.845
	2	-2361.506	2704.588	0	0	0	-166.029
	3	-2361.506	2704.588	0	0	0	-274.212
E24	1	0	3469.44	0	0	0	-1457.165
	2	0	3469.44	0	0	0	-1578.595
	3	0	3469.44	0	0	0	-1700.026

Ek F. (devam)

Doğu kayını – arkalığa önden arkaya çekme – eleman gerilmeleri

Eleman No	Kesim Yeri	Gerilmeler						
		Eksenel (N/mm ²)	Kesme (Y) (N/mm ²)	Kesme (Z) (N/mm ²)	Eğilme (Y üst) (N/mm ²)	Eğilme (Y alt) (N/mm ²)	Eğilme (Z üst) (N/mm ²)	Eğilme (Z alt) (N/mm ²)
E1	1	0	4.13	0	0	0	0	0
	2	0	4.13	0	57.824	-57.824	0	0
	3	0	4.13	0	115.648	-115.648	0	0
E2	1	6.606	-0.059	0	2.605	-2.605	0	0
	2	6.606	-0.059	0	0.825	-0.825	0	0
	3	6.606	-0.059	0	-0.955	0.955	0	0
E3	1	-2.146	2.811	0	-58.809	58.809	0	0
	2	-2.146	2.811	0	-16.64	16.64	0	0
	3	-2.146	2.811	0	25.53	-25.53	0	0
E4	1	-1.874	3.22	0	-25.46	25.46	0	0
	2	-1.874	3.22	0	-10.435	10.435	0	0
	3	-1.874	3.22	0	4.591	-4.591	0	0
E5	1	0	4.13	0	0	0	0	0
	2	0	4.13	0	57.824	-57.824	0	0
	3	0	4.13	0	115.648	-115.648	0	0
E6	1	6.606	-0.059	0	2.605	-2.605	0	0
	2	6.606	-0.059	0	0.825	-0.825	0	0
	3	6.606	-0.059	0	-0.955	0.955	0	0
E7	1	-2.146	2.811	0	-58.809	58.809	0	0
	2	-2.146	2.811	0	-16.64	16.64	0	0
	3	-2.146	2.811	0	25.53	-25.53	0	0
E8	1	-1.874	3.22	0	-25.46	25.46	0	0
	2	-1.874	3.22	0	-10.435	10.435	0	0
	3	-1.874	3.22	0	4.591	-4.591	0	0
E9	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E10	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E11	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E12	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E13	1	1.854	0	0	0	0	0	0
	2	1.854	0	0	0	0	0	0
	3	1.854	0	0	0	0	0	0
E14	1	-1.854	-1.735	0	21.973	-21.973	0	0
	2	-1.854	-1.735	0	10.986	-10.986	0	0
	3	-1.854	-1.735	0	0	0	0	0
E15	1	1.874	-4.954	0	71.896	-71.896	0	0
	2	1.874	-4.954	0	48.775	-48.775	0	0

Ek F. (devam)

	3	1.874	-4.954	0	25.654	-25.654	0	0
E16	1	1.874	-4.954	0	25.654	-25.654	0	0
	2	1.874	-4.954	0	12.443	-12.443	0	0
	3	1.874	-4.954	0	-0.769	0.769	0	0
E17	1	-1.874	3.22	0	4.591	-4.591	0	0
	2	-1.874	3.22	0	13.177	-13.177	0	0
	3	-1.874	3.22	0	21.763	-21.763	0	0
E18	1	0	4.13	0	115.648	-115.648	0	0
	2	0	4.13	0	125.285	-125.285	0	0
	3	0	4.13	0	134.923	-134.923	0	0
E19	1	1.854	0	0	0	0	0	0
	2	1.854	0	0	0	0	0	0
	3	1.854	0	0	0	0	0	0
E20	1	-1.854	-1.735	0	21.973	-21.973	0	0
	2	-1.854	-1.735	0	10.986	-10.986	0	0
	3	-1.854	-1.735	0	0	0	0	0
E21	1	1.874	-4.954	0	71.896	-71.896	0	0
	2	1.874	-4.954	0	48.775	-48.775	0	0
	3	1.874	-4.954	0	25.654	-25.654	0	0
E22	1	1.874	-4.954	0	25.654	-25.654	0	0
	2	1.874	-4.954	0	12.443	-12.443	0	0
	3	1.874	-4.954	0	-0.769	0.769	0	0
E23	1	-1.874	3.22	0	4.591	-4.591	0	0
	2	-1.874	3.22	0	13.177	-13.177	0	0
	3	-1.874	3.22	0	21.763	-21.763	0	0
E24	1	0	4.13	0	115.648	-115.648	0	0
	2	0	4.13	0	125.285	-125.285	0	0
	3	0	4.13	0	134.923	-134.923	0	0

Ek G. Sarıçam önden arkaya hafif (ev içi) kullanım değer yüklemesinde sandalye iskeletlerine ait elemanlarda oluşan reaksiyon kuvvetleri, eleman kuvvetleri ve gerilmeleri

Sarıçam – önden arkaya – reaksiyon kuvvetleri

Eleman No	X (N)	Y (N)	Z (N)	MX (N)	MY (N)	MZ (N)
D17	0	-1116.973	0	0	0	0
D7	0	-1116.973	0	0	0	0
D12	1334.4	1116.973	0	0	0	0
D2	1334.4	1116.973	0	0	0	0

Sarıçam – önden arkaya – eleman kuvvetleri

Eleman No	Kesim Yeri	Eksenel kuvvetler (N)	Kesme kuvvetleri (Y) (N)	Kesme kuvvetleri (Z) (N)	Torque (Nm)	Momentler (Y) (Nm)	Momentler (Z) (Nm)
E1	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E2	1	1241.776	299.331	0	0	0	72.768
	2	1241.776	299.331	0	0	0	5.419
	3	1241.776	299.331	0	0	0	-61.931
E3	1	92.624	817.643	0	0	0	173.715
	2	92.624	817.643	0	0	0	-10.254
	3	92.624	817.643	0	0	0	-194.224
E4	1	-817.643	1241.776	0	0	0	200.481
	2	-817.643	1241.776	0	0	0	113.557
	3	-817.643	1241.776	0	0	0	26.632
E5	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E6	1	1241.776	299.331	0	0	0	72.768
	2	1241.776	299.331	0	0	0	5.419
	3	1241.776	299.331	0	0	0	-61.931
E7	1	92.624	817.643	0	0	0	173.715
	2	92.624	817.643	0	0	0	-10.254
	3	92.624	817.643	0	0	0	-194.224
E8	1	-817.643	1241.776	0	0	0	200.481
	2	-817.643	1241.776	0	0	0	113.557
	3	-817.643	1241.776	0	0	0	26.632
E9	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E10	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E11	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0

Ek G. (devam)

	3	0	0	0	0	0	0
E12	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E13	1	1116.973	1334.4	0	0	0	253.536
	2	1116.973	1334.4	0	0	0	126.768
	3	1116.973	1334.4	0	0	0	0
E14	1	-1116.973	0	0	0	0	0
	2	-1116.973	0	0	0	0	0
	3	-1116.973	0	0	0	0	0
E15	1	817.643	92.624	0	0	0	183.72
	2	817.643	92.624	0	0	0	177.236
	3	817.643	92.624	0	0	0	170.753
E16	1	817.643	92.624	0	0	0	170.753
	2	817.643	92.624	0	0	0	167.048
	3	817.643	92.624	0	0	0	163.343
E17	1	-817.643	1241.776	0	0	0	26.632
	2	-817.643	1241.776	0	0	0	-23.039
	3	-817.643	1241.776	0	0	0	-72.71
E18	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E19	1	1116.973	1334.4	0	0	0	253.536
	2	1116.973	1334.4	0	0	0	126.768
	3	1116.973	1334.4	0	0	0	0
E20	1	-1116.973	0	0	0	0	0
	2	-1116.973	0	0	0	0	0
	3	-1116.973	0	0	0	0	0
E21	1	817.643	92.624	0	0	0	183.72
	2	817.643	92.624	0	0	0	177.236
	3	817.643	92.624	0	0	0	170.753
E22	1	817.643	92.624	0	0	0	170.753
	2	817.643	92.624	0	0	0	167.048
	3	817.643	92.624	0	0	0	163.343
E23	1	-817.643	1241.776	0	0	0	26.632
	2	-817.643	1241.776	0	0	0	-23.039
	3	-817.643	1241.776	0	0	0	-72.71
E24	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0

Ek G. (devam)

Sarıçam – önden arkaya – eleman gerilmeleri

Eleman No	Kesim Yeri	Gerilmeler						
		Eksenel (N/mm ²)	Kesme (Y) (N/mm ²)	Kesme (Z) (N/mm ²)	Eğilme (Y üst) (N/mm ²)	Eğilme (Y alt) (N/mm ²)	Eğilme (Z üst) (N/mm ²)	Eğilme (Z alt) (N/mm ²)
E1	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E2	1	1.971	0.713	0	-23.101	23.101	0	0
	2	1.971	0.713	0	-1.72	1.72	0	0
	3	1.971	0.713	0	19.661	-19.661	0	0
E3	1	0.074	0.973	0	-13.787	13.787	0	0
	2	0.074	0.973	0	0.814	-0.814	0	0
	3	0.074	0.973	0	15.415	-15.415	0	0
E4	1	-0.649	1.478	0	-15.911	15.911	0	0
	2	-0.649	1.478	0	-9.012	9.012	0	0
	3	-0.649	1.478	0	-2.114	2.114	0	0
E5	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E6	1	1.971	0.713	0	-23.101	23.101	0	0
	2	1.971	0.713	0	-1.72	1.72	0	0
	3	1.971	0.713	0	19.661	-19.661	0	0
E7	1	0.074	0.973	0	-13.787	13.787	0	0
	2	0.074	0.973	0	0.814	-0.814	0	0
	3	0.074	0.973	0	15.415	-15.415	0	0
E8	1	-0.649	1.478	0	-15.911	15.911	0	0
	2	-0.649	1.478	0	-9.012	9.012	0	0
	3	-0.649	1.478	0	-2.114	2.114	0	0
E9	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E10	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E11	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E12	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E13	1	0.886	1.589	0	-20.122	20.122	0	0
	2	0.886	1.589	0	-10.061	10.061	0	0
	3	0.886	1.589	0	0	0	0	0
E14	1	-0.886	0	0	0	0	0	0
	2	-0.886	0	0	0	0	0	0
	3	-0.886	0	0	0	0	0	0
E15	1	0.649	0.11	0	-14.581	14.581	0	0

Ek G. (devam)

	2	0.649	0.11	0	-14.066	14.066	0	0
	3	0.649	0.11	0	-13.552	13.552	0	0
E16	1	0.649	0.11	0	-13.552	13.552	0	0
	2	0.649	0.11	0	-13.258	13.258	0	0
	3	0.649	0.11	0	-12.964	12.964	0	0
E17	1	-0.649	1.478	0	-2.114	2.114	0	0
	2	-0.649	1.478	0	1.828	-1.828	0	0
	3	-0.649	1.478	0	5.771	-5.771	0	0
E18	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E19	1	0.886	1.589	0	-20.122	20.122	0	0
	2	0.886	1.589	0	-10.061	10.061	0	0
	3	0.886	1.589	0	0	0	0	0
E20	1	-0.886	0	0	0	0	0	0
	2	-0.886	0	0	0	0	0	0
	3	-0.886	0	0	0	0	0	0
E21	1	0.649	0.11	0	-14.581	14.581	0	0
	2	0.649	0.11	0	-14.066	14.066	0	0
	3	0.649	0.11	0	-13.552	13.552	0	0
E22	1	0.649	0.11	0	-13.552	13.552	0	0
	2	0.649	0.11	0	-13.258	13.258	0	0
	3	0.649	0.11	0	-12.964	12.964	0	0
E23	1	-0.649	1.478	0	-2.114	2.114	0	0
	2	-0.649	1.478	0	1.828	-1.828	0	0
	3	-0.649	1.478	0	5.771	-5.771	0	0
E24	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0

Ek H. Doğu Kayını önden arkaya hafif (ev içi) kullanım değer yüklemesinde
sandalye iskeletlerine ait elemanlarda oluşan reaksiyon kuvvetleri, eleman
kuvvetleri ve gerilmeleri

Doğu kayını – önden arkaya – reaksiyon kuvvetleri

Eleman No	X (N)	Y (N)	Z (N)	MX (N)	MY (N)	MZ (N)
D17	0	-1150.103	0	0	0	0
D7	0	-1150.103	0	0	0	0
D12	1334.4	1150.103	0	0	0	0
D2	1334.4	1150.103	0	0	0	0

Doğu kayını – önden arkaya – eleman kuvvetleri

Eleman No	Kesim Yeri	Eksenel kuvvetler (N)	Kesme kuvvetleri (Y) (N)	Kesme kuvvetleri (Z) (N)	Torque (Nm)	Momentler (Y) (Nm)	Momentler (Z) (Nm)
E1	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E2	1	1249.592	308.368	0	0	0	74.856
	2	1249.592	308.368	0	0	0	5.473
	3	1249.592	308.368	0	0	0	-63.909
E3	1	84.808	841.735	0	0	0	179.124
	2	84.808	841.735	0	0	0	-10.267
	3	84.808	841.735	0	0	0	-199.657
E4	1	-841.735	1249.592	0	0	0	204.514
	2	-841.735	1249.592	0	0	0	117.043
	3	-841.735	1249.592	0	0	0	29.572
E5	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E6	1	1249.592	308.368	0	0	0	74.856
	2	1249.592	308.368	0	0	0	5.473
	3	1249.592	308.368	0	0	0	-63.909
E7	1	84.808	841.735	0	0	0	179.124
	2	84.808	841.735	0	0	0	-10.267
	3	84.808	841.735	0	0	0	-199.657
E8	1	-841.735	1249.592	0	0	0	204.514
	2	-841.735	1249.592	0	0	0	117.043
	3	-841.735	1249.592	0	0	0	29.572
E9	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E10	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E11	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0

Ek H. (devam)

	3	0	0	0	0	0	0
E12	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E13	1	1150.103	1334.4	0	0	0	253.536
	2	1150.103	1334.4	0	0	0	126.768
	3	1150.103	1334.4	0	0	0	0
E14	1	-1150.103	0	0	0	0	0
	2	-1150.103	0	0	0	0	0
	3	-1150.103	0	0	0	0	0
E15	1	841.735	84.808	0	0	0	186.953
	2	841.735	84.808	0	0	0	181.017
	3	841.735	84.808	0	0	0	175.08
E16	1	841.735	84.808	0	0	0	175.08
	2	841.735	84.808	0	0	0	171.688
	3	841.735	84.808	0	0	0	168.295
E17	1	-841.735	1249.592	0	0	0	29.572
	2	-841.735	1249.592	0	0	0	-20.412
	3	-841.735	1249.592	0	0	0	-70.396
E18	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E19	1	1150.103	1334.4	0	0	0	253.536
	2	1150.103	1334.4	0	0	0	126.768
	3	1150.103	1334.4	0	0	0	0
E20	1	-1150.103	0	0	0	0	0
	2	-1150.103	0	0	0	0	0
	3	-1150.103	0	0	0	0	0
E21	1	841.735	84.808	0	0	0	186.953
	2	841.735	84.808	0	0	0	181.017
	3	841.735	84.808	0	0	0	175.08
E22	1	841.735	84.808	0	0	0	175.08
	2	841.735	84.808	0	0	0	171.688
	3	841.735	84.808	0	0	0	168.295
E23	1	-841.735	1249.592	0	0	0	29.572
	2	-841.735	1249.592	0	0	0	-20.412
	3	-841.735	1249.592	0	0	0	-70.396
E24	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0

Ek H. (devam)

Doğu kayını – önden arkaya – eleman gerilmeleri

Eleman No	Kesim Yeri	Gerilmeler						
		Eksenel (N/mm ²)	Kesme (Y) (N/mm ²)	Kesme (Z) (N/mm ²)	Eğilme (Y üst) (N/mm ²)	Eğilme (Y alt) (N/mm ²)	Eğilme (Z üst) (N/mm ²)	Eğilme (Z alt) (N/mm ²)
E1	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E2	1	1.983	0.734	0	-23.764	23.764	0	0
	2	1.983	0.734	0	-1.738	1.738	0	0
	3	1.983	0.734	0	20.289	-20.289	0	0
E3	1	0.067	1.002	0	-14.216	14.216	0	0
	2	0.067	1.002	0	0.815	-0.815	0	0
	3	0.067	1.002	0	15.846	-15.846	0	0
E4	1	-0.668	1.488	0	-16.231	16.231	0	0
	2	-0.668	1.488	0	-9.289	9.289	0	0
	3	-0.668	1.488	0	-2.347	2.347	0	0
E5	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E6	1	1.983	0.734	0	-23.764	23.764	0	0
	2	1.983	0.734	0	-1.738	1.738	0	0
	3	1.983	0.734	0	20.289	-20.289	0	0
E7	1	0.067	1.002	0	-14.216	14.216	0	0
	2	0.067	1.002	0	0.815	-0.815	0	0
	3	0.067	1.002	0	15.846	-15.846	0	0
E8	1	-0.668	1.488	0	-16.231	16.231	0	0
	2	-0.668	1.488	0	-9.289	9.289	0	0
	3	-0.668	1.488	0	-2.347	2.347	0	0
E9	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E10	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E11	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E12	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E13	1	0.913	1.589	0	-20.122	20.122	0	0
	2	0.913	1.589	0	-10.061	10.061	0	0
	3	0.913	1.589	0	0	0	0	0
E14	1	-0.913	0	0	0	0	0	0
	2	-0.913	0	0	0	0	0	0
	3	-0.913	0	0	0	0	0	0
E15	1	0.668	0.101	0	-14.838	14.838	0	0
	2	0.668	0.101	0	-14.366	14.366	0	0

Ek H. (devam)

	3	0.668	0.101	0	-13.895	13.895	0	0
E16	1	0.668	0.101	0	-13.895	13.895	0	0
	2	0.668	0.101	0	-13.626	13.626	0	0
	3	0.668	0.101	0	-13.357	13.357	0	0
E17	1	-0.668	1.488	0	-2.347	2.347	0	0
	2	-0.668	1.488	0	1.62	-1.62	0	0
	3	-0.668	1.488	0	5.587	-5.587	0	0
E18	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E19	1	0.913	1.589	0	-20.122	20.122	0	0
	2	0.913	1.589	0	-10.061	10.061	0	0
	3	0.913	1.589	0	0	0	0	0
E20	1	-0.913	0	0	0	0	0	0
	2	-0.913	0	0	0	0	0	0
	3	-0.913	0	0	0	0	0	0
E21	1	0.668	0.101	0	-14.838	14.838	0	0
	2	0.668	0.101	0	-14.366	14.366	0	0
	3	0.668	0.101	0	-13.895	13.895	0	0
E22	1	0.668	0.101	0	-13.895	13.895	0	0
	2	0.668	0.101	0	-13.626	13.626	0	0
	3	0.668	0.101	0	-13.357	13.357	0	0
E23	1	-0.668	1.488	0	-2.347	2.347	0	0
	2	-0.668	1.488	0	1.62	-1.62	0	0
	3	-0.668	1.488	0	5.587	-5.587	0	0
E24	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0

Ek I. Sarıçam arkadan öne hafif (ev içi) kullanım değer yüklemesinde sandalye iskeletlerine ait elemanlarda oluşan reaksiyon kuvvetleri, eleman kuvvetleri ve gerilmeleri

Sarıçam – arkadan öne – reaksiyon kuvvetleri

Eleman No	X (N)	Y (N)	Z (N)	MX (N)	MY (N)	MZ (N)
D17	-1000.8	834.958	0	0	0	0
D7	-1000.8	834.958	0	0	0	0
D12	0	-834.958	0	0	0	0
D2	0	-834.958	0	0	0	0

Sarıçam – arkadan öne – eleman kuvvetleri

Eleman No	Kesim Yeri	Eksenel kuvvetler (N)	Kesme kuvvetleri (Y) (N)	Kesme kuvvetleri (Z) (N)	Torque (Nm)	Momentler (Y) (Nm)	Momentler (Z) (Nm)
E1	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E2	1	946.976	-224.263	0	0	0	-46.442
	2	946.976	-224.263	0	0	0	4.017
	3	946.976	-224.263	0	0	0	54.476
E3	1	53.824	-610.696	0	0	0	-143.867
	2	53.824	-610.696	0	0	0	-6.461
	3	53.824	-610.696	0	0	0	130.946
E4	1	610.696	-53.824	0	0	0	-134.489
	2	610.696	-53.824	0	0	0	-130.721
	3	610.696	-53.824	0	0	0	-126.954
E5	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E6	1	946.976	-224.263	0	0	0	-46.442
	2	946.976	-224.263	0	0	0	4.017
	3	946.976	-224.263	0	0	0	54.476
E7	1	53.824	-610.696	0	0	0	-143.867
	2	53.824	-610.696	0	0	0	-6.461
	3	53.824	-610.696	0	0	0	130.946
E8	1	610.696	-53.824	0	0	0	-134.489
	2	610.696	-53.824	0	0	0	-130.721
	3	610.696	-53.824	0	0	0	-126.954
E9	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E10	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E11	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0

Ek I. (devam)

	3	0	0	0	0	0	0
E12	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E13	1	-834.958	0	0	0	0	0
	2	-834.958	0	0	0	0	0
	3	-834.958	0	0	0	0	0
E14	1	834.958	-1000.8	0	0	0	-190.152
	2	834.958	-1000.8	0	0	0	-95.076
	3	834.958	-1000.8	0	0	0	0
E15	1	-610.696	-946.976	0	0	0	-153.79
	2	-610.696	-946.976	0	0	0	-87.502
	3	-610.696	-946.976	0	0	0	-21.214
E16	1	-610.696	-946.976	0	0	0	-21.214
	2	-610.696	-946.976	0	0	0	16.665
	3	-610.696	-946.976	0	0	0	54.544
E17	1	610.696	-53.824	0	0	0	-126.954
	2	610.696	-53.824	0	0	0	-124.801
	3	610.696	-53.824	0	0	0	-122.648
E18	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E19	1	-834.958	0	0	0	0	0
	2	-834.958	0	0	0	0	0
	3	-834.958	0	0	0	0	0
E20	1	834.958	-1000.8	0	0	0	-190.152
	2	834.958	-1000.8	0	0	0	-95.076
	3	834.958	-1000.8	0	0	0	0
E21	1	-610.696	-946.976	0	0	0	-153.79
	2	-610.696	-946.976	0	0	0	-87.502
	3	-610.696	-946.976	0	0	0	-21.214
E22	1	-610.696	-946.976	0	0	0	-21.214
	2	-610.696	-946.976	0	0	0	16.665
	3	-610.696	-946.976	0	0	0	54.544
E23	1	610.696	-53.824	0	0	0	-126.954
	2	610.696	-53.824	0	0	0	-124.801
	3	610.696	-53.824	0	0	0	-122.648
E24	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0

Ek I. (devam)

Sarıçam – arkadan öne – eleman gerilmeleri

Eleman No	Kesim Yeri	Gerilmeler						
		Eksenel (N/mm ²)	Kesme (Y) (N/mm ²)	Kesme (Z) (N/mm ²)	Eğilme (Y üst) (N/mm ²)	Eğilme (Y alt) (N/mm ²)	Eğilme (Z üst) (N/mm ²)	Eğilme (Z alt) (N/mm ²)
E1	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E2	1	1.503	-0.534	0	14.744	-14.744	0	0
	2	1.503	-0.534	0	-1.275	1.275	0	0
	3	1.503	-0.534	0	-17.294	17.294	0	0
E3	1	0.043	-0.727	0	11.418	-11.418	0	0
	2	0.043	-0.727	0	0.513	-0.513	0	0
	3	0.043	-0.727	0	-10.393	10.393	0	0
E4	1	0.485	-0.064	0	10.674	-10.674	0	0
	2	0.485	-0.064	0	10.375	-10.375	0	0
	3	0.485	-0.064	0	10.076	-10.076	0	0
E5	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E6	1	1.503	-0.534	0	14.744	-14.744	0	0
	2	1.503	-0.534	0	-1.275	1.275	0	0
	3	1.503	-0.534	0	-17.294	17.294	0	0
E7	1	0.043	-0.727	0	11.418	-11.418	0	0
	2	0.043	-0.727	0	0.513	-0.513	0	0
	3	0.043	-0.727	0	-10.393	10.393	0	0
E8	1	0.485	-0.064	0	10.674	-10.674	0	0
	2	0.485	-0.064	0	10.375	-10.375	0	0
	3	0.485	-0.064	0	10.076	-10.076	0	0
E9	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E10	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E11	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E12	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E13	1	-0.663	0	0	0	0	0	0
	2	-0.663	0	0	0	0	0	0
	3	-0.663	0	0	0	0	0	0
E14	1	0.663	-1.191	0	15.091	-15.091	0	0
	2	0.663	-1.191	0	7.546	-7.546	0	0
	3	0.663	-1.191	0	0	0	0	0
E15	1	-0.485	-1.127	0	12.206	-12.206	0	0
	2	-0.485	-1.127	0	6.945	-6.945	0	0

Ek I. (devam)

	3	-0.485	-1.127	0	1.684	-1.684	0	0
E16	1	-0.485	-1.127	0	1.684	-1.684	0	0
	2	-0.485	-1.127	0	-1.323	1.323	0	0
	3	-0.485	-1.127	0	-4.329	4.329	0	0
E17	1	0.485	-0.064	0	10.076	-10.076	0	0
	2	0.485	-0.064	0	9.905	-9.905	0	0
	3	0.485	-0.064	0	9.734	-9.734	0	0
E18	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E19	1	-0.663	0	0	0	0	0	0
	2	-0.663	0	0	0	0	0	0
	3	-0.663	0	0	0	0	0	0
E20	1	0.663	-1.191	0	15.091	-15.091	0	0
	2	0.663	-1.191	0	7.546	-7.546	0	0
	3	0.663	-1.191	0	0	0	0	0
E21	1	-0.485	-1.127	0	12.206	-12.206	0	0
	2	-0.485	-1.127	0	6.945	-6.945	0	0
	3	-0.485	-1.127	0	1.684	-1.684	0	0
E22	1	-0.485	-1.127	0	1.684	-1.684	0	0
	2	-0.485	-1.127	0	-1.323	1.323	0	0
	3	-0.485	-1.127	0	-4.329	4.329	0	0
E23	1	0.485	-0.064	0	10.076	-10.076	0	0
	2	0.485	-0.064	0	9.905	-9.905	0	0
	3	0.485	-0.064	0	9.734	-9.734	0	0
E24	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0

Ek İ. Doğu Kayını arkadan öne hafif (ev içi) kullanım değer yüklemesinde sandalye iskeletlerine ait elemanlarda oluşan reaksiyon kuvvetleri, eleman kuvvetleri ve gerilmeleri

Doğu kayını – arkadan öne – reaksiyon kuvvetleri

Eleman No	X (N)	Y (N)	Z (N)	MX (N)	MY (N)	MZ (N)
D17	-1000.8	860.403	0	0	0	0
D7	-1000.8	860.403	0	0	0	0
D12	0	-860.403	0	0	0	0
D2	0	-860.403	0	0	0	0

Doğu kayını – arkadan öne – eleman kuvvetleri

Eleman No	Kesim Yeri	Eksenel kuvvetler (N)	Kesme kuvvetleri (Y) (N)	Kesme kuvvetleri (Z) (N)	Torque (Nm)	Momentler (Y) (Nm)	Momentler (Z) (Nm)
E1	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E2	1	949.432	-231.087	0	0	0	-47.927
	2	949.432	-231.087	0	0	0	4.068
	3	949.432	-231.087	0	0	0	56.062
E3	1	51.368	-629.316	0	0	0	-148.33
	2	51.368	-629.316	0	0	0	-6.734
	3	51.368	-629.316	0	0	0	134.862
E4	1	629.316	-51.368	0	0	0	-137.621
	2	629.316	-51.368	0	0	0	-134.025
	3	629.316	-51.368	0	0	0	-130.43
E5	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E6	1	949.432	-231.087	0	0	0	-47.927
	2	949.432	-231.087	0	0	0	4.068
	3	949.432	-231.087	0	0	0	56.062
E7	1	51.368	-629.316	0	0	0	-148.33
	2	51.368	-629.316	0	0	0	-6.734
	3	51.368	-629.316	0	0	0	134.862
E8	1	629.316	-51.368	0	0	0	-137.621
	2	629.316	-51.368	0	0	0	-134.025
	3	629.316	-51.368	0	0	0	-130.43
E9	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E10	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E11	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0

Ek İ. (devam)

	3	0	0	0	0	0	0
E12	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E13	1	-860.403	0	0	0	0	0
	2	-860.403	0	0	0	0	0
	3	-860.403	0	0	0	0	0
E14	1	860.403	-1000.8	0	0	0	-190.152
	2	860.403	-1000.8	0	0	0	-95.076
	3	860.403	-1000.8	0	0	0	0
E15	1	-629.316	-949.432	0	0	0	-156.075
	2	-629.316	-949.432	0	0	0	-89.615
	3	-629.316	-949.432	0	0	0	-23.155
E16	1	-629.316	-949.432	0	0	0	-23.155
	2	-629.316	-949.432	0	0	0	14.823
	3	-629.316	-949.432	0	0	0	52.8
E17	1	629.316	-51.368	0	0	0	-130.43
	2	629.316	-51.368	0	0	0	-128.375
	3	629.316	-51.368	0	0	0	-126.32
E18	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E19	1	-860.403	0	0	0	0	0
	2	-860.403	0	0	0	0	0
	3	-860.403	0	0	0	0	0
E20	1	860.403	-1000.8	0	0	0	-190.152
	2	860.403	-1000.8	0	0	0	-95.076
	3	860.403	-1000.8	0	0	0	0
E21	1	-629.316	-949.432	0	0	0	-156.075
	2	-629.316	-949.432	0	0	0	-89.615
	3	-629.316	-949.432	0	0	0	-23.155
E22	1	-629.316	-949.432	0	0	0	-23.155
	2	-629.316	-949.432	0	0	0	14.823
	3	-629.316	-949.432	0	0	0	52.8
E23	1	629.316	-51.368	0	0	0	-130.43
	2	629.316	-51.368	0	0	0	-128.375
	3	629.316	-51.368	0	0	0	-126.32
E24	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0

Ek İ. (devam)

Doğu kayını – arkadan öne – eleman gerilmeleri

Eleman No	Kesim Yeri	Gerilmeler						
		Eksenel (N/mm ²)	Kesme (Y) (N/mm ²)	Kesme (Z) (N/mm ²)	Eğilme (Y üst) (N/mm ²)	Eğilme (Y alt) (N/mm ²)	Eğilme (Z üst) (N/mm ²)	Eğilme (Z alt) (N/mm ²)
E1	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E2	1	1.507	-0.55	0	15.215	-15.215	0	0
	2	1.507	-0.55	0	-1.291	1.291	0	0
	3	1.507	-0.55	0	-17.797	17.797	0	0
E3	1	0.041	-0.749	0	11.772	-11.772	0	0
	2	0.041	-0.749	0	0.534	-0.534	0	0
	3	0.041	-0.749	0	-10.703	10.703	0	0
E4	1	0.499	-0.061	0	10.922	-10.922	0	0
	2	0.499	-0.061	0	10.637	-10.637	0	0
	3	0.499	-0.061	0	10.352	-10.352	0	0
E5	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E6	1	1.507	-0.55	0	15.215	-15.215	0	0
	2	1.507	-0.55	0	-1.291	1.291	0	0
	3	1.507	-0.55	0	-17.797	17.797	0	0
E7	1	0.041	-0.749	0	11.772	-11.772	0	0
	2	0.041	-0.749	0	0.534	-0.534	0	0
	3	0.041	-0.749	0	-10.703	10.703	0	0
E8	1	0.499	-0.061	0	10.922	-10.922	0	0
	2	0.499	-0.061	0	10.637	-10.637	0	0
	3	0.499	-0.061	0	10.352	-10.352	0	0
E9	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E10	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E11	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E12	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E13	1	-0.683	0	0	0	0	0	0
	2	-0.683	0	0	0	0	0	0
	3	-0.683	0	0	0	0	0	0
E14	1	0.683	-1.191	0	15.091	-15.091	0	0
	2	0.683	-1.191	0	7.546	-7.546	0	0
	3	0.683	-1.191	0	0	0	0	0
E15	1	-0.499	-1.13	0	12.387	-12.387	0	0
	2	-0.499	-1.13	0	7.112	-7.112	0	0

Ek Ī. (devam)

	3	-0.499	-1.13	0	1.838	-1.838	0	0
E16	1	-0.499	-1.13	0	1.838	-1.838	0	0
	2	-0.499	-1.13	0	-1.176	1.176	0	0
	3	-0.499	-1.13	0	-4.19	4.19	0	0
E17	1	0.499	-0.061	0	10.352	-10.352	0	0
	2	0.499	-0.061	0	10.188	-10.188	0	0
	3	0.499	-0.061	0	10.025	-10.025	0	0
E18	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E19	1	-0.683	0	0	0	0	0	0
	2	-0.683	0	0	0	0	0	0
	3	-0.683	0	0	0	0	0	0
E20	1	0.683	-1.191	0	15.091	-15.091	0	0
	2	0.683	-1.191	0	7.546	-7.546	0	0
	3	0.683	-1.191	0	0	0	0	0
E21	1	-0.499	-1.13	0	12.387	-12.387	0	0
	2	-0.499	-1.13	0	7.112	-7.112	0	0
	3	-0.499	-1.13	0	1.838	-1.838	0	0
E22	1	-0.499	-1.13	0	1.838	-1.838	0	0
	2	-0.499	-1.13	0	-1.176	1.176	0	0
	3	-0.499	-1.13	0	-4.19	4.19	0	0
E23	1	0.499	-0.061	0	10.352	-10.352	0	0
	2	0.499	-0.061	0	10.188	-10.188	0	0
	3	0.499	-0.061	0	10.025	-10.025	0	0
E24	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0

Ek J. Sarıçam arkalığa önden arkaya hafif (ev içi) kullanım değer yüklemesinde sandalye iskeletlerine ait elemanlarda oluşan reaksiyon kuvvetleri, eleman kuvvetleri ve gerilmeleri

Sarıçam – arkalığa önden arkaya çekme – reaksiyon kuvvetleri

Eleman No	X (N)	Y (N)	Z (N)	MX (N)	MY (N)	MZ (N)
D17	-555.306	-890.207	0	0	0	0
D7	-555.306	-890.207	0	0	0	0
D12	0	890.207	0	0	0	0
D2	0	890.207	0	0	0	0

Sarıçam – arkalığa önden arkaya çekme – eleman kuvvetleri

Eleman No	Kesim Yeri	Eksenel kuvvetler (N)	Kesme kuvvetleri (Y) (N)	Kesme kuvvetleri (Z) (N)	Torque (Nm)	Momentler (Y) (Nm)	Momentler (Z) (Nm)
E1	1	0	1334.4	0	0	0	0
	2	0	1334.4	0	0	0	-280.224
	3	0	1334.4	0	0	0	-560.448
E2	1	1586.137	-9.361	0	0	0	-3.083
	2	1586.137	-9.361	0	0	0	-0.977
	3	1586.137	-9.361	0	0	0	1.129
E3	1	-1030.831	899.568	0	0	0	282.201
	2	-1030.831	899.568	0	0	0	79.798
	3	-1030.831	899.568	0	0	0	-122.605
E4	1	-899.568	1030.831	0	0	0	122.166
	2	-899.568	1030.831	0	0	0	50.008
	3	-899.568	1030.831	0	0	0	-22.15
E5	1	0	1334.4	0	0	0	0
	2	0	1334.4	0	0	0	-280.224
	3	0	1334.4	0	0	0	-560.448
E6	1	1586.137	-9.361	0	0	0	-3.083
	2	1586.137	-9.361	0	0	0	-0.977
	3	1586.137	-9.361	0	0	0	1.129
E7	1	-1030.831	899.568	0	0	0	282.201
	2	-1030.831	899.568	0	0	0	79.798
	3	-1030.831	899.568	0	0	0	-122.605
E8	1	-899.568	1030.831	0	0	0	122.166
	2	-899.568	1030.831	0	0	0	50.008
	3	-899.568	1030.831	0	0	0	-22.15
E9	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E10	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E11	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0

Ek J. (devam)

	3	0	0	0	0	0	0
E12	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E13	1	890.207	0	0	0	0	0
	2	890.207	0	0	0	0	0
	3	890.207	0	0	0	0	0
E14	1	-890.207	-555.306	0	0	0	-105.508
	2	-890.207	-555.306	0	0	0	-52.754
	3	-890.207	-555.306	0	0	0	0
E15	1	899.568	-1586.137	0	0	0	-344.907
	2	899.568	-1586.137	0	0	0	-233.877
	3	899.568	-1586.137	0	0	0	-122.848
E16	1	899.568	-1586.137	0	0	0	-122.848
	2	899.568	-1586.137	0	0	0	-59.402
	3	899.568	-1586.137	0	0	0	4.043
E17	1	-899.568	1030.831	0	0	0	-22.15
	2	-899.568	1030.831	0	0	0	-63.383
	3	-899.568	1030.831	0	0	0	-104.617
E18	1	0	1334.4	0	0	0	-560.448
	2	0	1334.4	0	0	0	-607.152
	3	0	1334.4	0	0	0	-653.856
E19	1	890.207	0	0	0	0	0
	2	890.207	0	0	0	0	0
	3	890.207	0	0	0	0	0
E20	1	-890.207	-555.306	0	0	0	-105.508
	2	-890.207	-555.306	0	0	0	-52.754
	3	-890.207	-555.306	0	0	0	0
E21	1	899.568	-1586.137	0	0	0	-344.907
	2	899.568	-1586.137	0	0	0	-233.877
	3	899.568	-1586.137	0	0	0	-122.848
E22	1	899.568	-1586.137	0	0	0	-122.848
	2	899.568	-1586.137	0	0	0	-59.402
	3	899.568	-1586.137	0	0	0	4.043
E23	1	-899.568	1030.831	0	0	0	-22.15
	2	-899.568	1030.831	0	0	0	-63.383
	3	-899.568	1030.831	0	0	0	-104.617
E24	1	0	1334.4	0	0	0	-560.448
	2	0	1334.4	0	0	0	-607.152
	3	0	1334.4	0	0	0	-653.856

Ek J. (devam)

Sarıçam – arkalığa önden arkaya çekme – eleman gerilmeleri

Eleman No	Kesim Yeri	Gerilmeler						
		Eksenel (N/mm ²)	Kesme (Y) (N/mm ²)	Kesme (Z) (N/mm ²)	Eğilme (Y üst) (N/mm ²)	Eğilme (Y alt) (N/mm ²)	Eğilme (Z üst) (N/mm ²)	Eğilme (Z alt) (N/mm ²)
E1	1	0	1.589	0	0	0	0	0
	2	0	1.589	0	22.24	-22.24	0	0
	3	0	1.589	0	44.48	-44.48	0	0
E2	1	2.518	-0.022	0	0.979	-0.979	0	0
	2	2.518	-0.022	0	0.31	-0.31	0	0
	3	2.518	-0.022	0	-0.359	0.359	0	0
E3	1	-0.818	1.071	0	-22.397	22.397	0	0
	2	-0.818	1.071	0	-6.333	6.333	0	0
	3	-0.818	1.071	0	9.731	-9.731	0	0
E4	1	-0.714	1.227	0	-9.696	9.696	0	0
	2	-0.714	1.227	0	-3.969	3.969	0	0
	3	-0.714	1.227	0	1.758	-1.758	0	0
E5	1	0	1.589	0	0	0	0	0
	2	0	1.589	0	22.24	-22.24	0	0
	3	0	1.589	0	44.48	-44.48	0	0
E6	1	2.518	-0.022	0	0.979	-0.979	0	0
	2	2.518	-0.022	0	0.31	-0.31	0	0
	3	2.518	-0.022	0	-0.359	0.359	0	0
E7	1	-0.818	1.071	0	-22.397	22.397	0	0
	2	-0.818	1.071	0	-6.333	6.333	0	0
	3	-0.818	1.071	0	9.731	-9.731	0	0
E8	1	-0.714	1.227	0	-9.696	9.696	0	0
	2	-0.714	1.227	0	-3.969	3.969	0	0
	3	-0.714	1.227	0	1.758	-1.758	0	0
E9	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E10	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E11	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E12	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E13	1	0.707	0	0	0	0	0	0
	2	0.707	0	0	0	0	0	0
	3	0.707	0	0	0	0	0	0
E14	1	-0.707	-0.661	0	8.374	-8.374	0	0
	2	-0.707	-0.661	0	4.187	-4.187	0	0
	3	-0.707	-0.661	0	0	0	0	0
E15	1	0.714	-1.888	0	27.374	-27.374	0	0
	2	0.714	-1.888	0	18.562	-18.562	0	0

Ek J. (devam)

	3	0.714	-1.888	0	9.75	-9.75	0	0
E16	1	0.714	-1.888	0	9.75	-9.75	0	0
	2	0.714	-1.888	0	4.714	-4.714	0	0
	3	0.714	-1.888	0	-0.321	0.321	0	0
E17	1	-0.714	1.227	0	1.758	-1.758	0	0
	2	-0.714	1.227	0	5.03	-5.03	0	0
	3	-0.714	1.227	0	8.303	-8.303	0	0
E18	1	0	1.589	0	44.48	-44.48	0	0
	2	0	1.589	0	48.187	-48.187	0	0
	3	0	1.589	0	51.893	-51.893	0	0
E19	1	0.707	0	0	0	0	0	0
	2	0.707	0	0	0	0	0	0
	3	0.707	0	0	0	0	0	0
E20	1	-0.707	-0.661	0	8.374	-8.374	0	0
	2	-0.707	-0.661	0	4.187	-4.187	0	0
	3	-0.707	-0.661	0	0	0	0	0
E21	1	0.714	-1.888	0	27.374	-27.374	0	0
	2	0.714	-1.888	0	18.562	-18.562	0	0
	3	0.714	-1.888	0	9.75	-9.75	0	0
E22	1	0.714	-1.888	0	9.75	-9.75	0	0
	2	0.714	-1.888	0	4.714	-4.714	0	0
	3	0.714	-1.888	0	-0.321	0.321	0	0
E23	1	-0.714	1.227	0	1.758	-1.758	0	0
	2	-0.714	1.227	0	5.03	-5.03	0	0
	3	-0.714	1.227	0	8.303	-8.303	0	0
E24	1	0	1.589	0	44.48	-44.48	0	0
	2	0	1.589	0	48.187	-48.187	0	0
	3	0	1.589	0	51.893	-51.893	0	0

Ek K. Doğu Kayını arkalığa önden arkaya hafif (ev içi) kullanım değer
yüklemesinde sandalye iskeletlerine ait elemanlarda oluşan reaksiyon kuvvetleri,
eleman kuvvetleri ve gerilmeleri

Doğu kayını – arkalığa önden arkaya çekme – reaksiyon kuvvetleri

Eleman No	X (N)	Y (N)	Z (N)	MX (N)	MY (N)	MZ (N)
D17	-560.433	-898.687	0	0	0	0
D7	-560.433	-898.687	0	0	0	0
D12	0	898.687	0	0	0	0
D2	0	898.687	0	0	0	0

Doğu kayını – arkalığa önden arkaya çekme – eleman kuvvetleri

Eleman No	Kesim Yeri	Eksenel kuvvetler (N)	Kesme kuvvetleri (Y) (N)	Kesme kuvvetleri (Z) (N)	Torque (Nm)	Momentler (Y) (Nm)	Momentler (Z) (Nm)
E1	1	0	1334.4	0	0	0	0
	2	0	1334.4	0	0	0	-280.224
	3	0	1334.4	0	0	0	-560.448
E2	1	1600.66	-9.585	0	0	0	-3.156
	2	1600.66	-9.585	0	0	0	-1
	3	1600.66	-9.585	0	0	0	1.157
E3	1	-1040.226	908.272	0	0	0	284.999
	2	-1040.226	908.272	0	0	0	80.638
	3	-1040.226	908.272	0	0	0	-123.723
E4	1	-908.272	1040.226	0	0	0	123.384
	2	-908.272	1040.226	0	0	0	50.568
	3	-908.272	1040.226	0	0	0	-22.248
E5	1	0	1334.4	0	0	0	0
	2	0	1334.4	0	0	0	-280.224
	3	0	1334.4	0	0	0	-560.448
E6	1	1600.66	-9.585	0	0	0	-3.156
	2	1600.66	-9.585	0	0	0	-1
	3	1600.66	-9.585	0	0	0	1.157
E7	1	-1040.226	908.272	0	0	0	284.999
	2	-1040.226	908.272	0	0	0	80.638
	3	-1040.226	908.272	0	0	0	-123.723
E8	1	-908.272	1040.226	0	0	0	123.384
	2	-908.272	1040.226	0	0	0	50.568
	3	-908.272	1040.226	0	0	0	-22.248
E9	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E10	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E11	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0

Ek K. (devam)

	3	0	0	0	0	0	0
E12	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
E13	1	898.687	0	0	0	0	0
	2	898.687	0	0	0	0	0
	3	898.687	0	0	0	0	0
E14	1	-898.687	-560.433	0	0	0	-106.482
	2	-898.687	-560.433	0	0	0	-53.241
	3	-898.687	-560.433	0	0	0	0
E15	1	908.272	-1600.66	0	0	0	-348.417
	2	908.272	-1600.66	0	0	0	-236.371
	3	908.272	-1600.66	0	0	0	-124.325
E16	1	908.272	-1600.66	0	0	0	-124.325
	2	908.272	-1600.66	0	0	0	-60.299
	3	908.272	-1600.66	0	0	0	3.728
E17	1	-908.272	1040.226	0	0	0	-22.248
	2	-908.272	1040.226	0	0	0	-63.857
	3	-908.272	1040.226	0	0	0	-105.466
E18	1	0	1334.4	0	0	0	-560.448
	2	0	1334.4	0	0	0	-607.152
	3	0	1334.4	0	0	0	-653.856
E19	1	898.687	0	0	0	0	0
	2	898.687	0	0	0	0	0
	3	898.687	0	0	0	0	0
E20	1	-898.687	-560.433	0	0	0	-106.482
	2	-898.687	-560.433	0	0	0	-53.241
	3	-898.687	-560.433	0	0	0	0
E21	1	908.272	-1600.66	0	0	0	-348.417
	2	908.272	-1600.66	0	0	0	-236.371
	3	908.272	-1600.66	0	0	0	-124.325
E22	1	908.272	-1600.66	0	0	0	-124.325
	2	908.272	-1600.66	0	0	0	-60.299
	3	908.272	-1600.66	0	0	0	3.728
E23	1	-908.272	1040.226	0	0	0	-22.248
	2	-908.272	1040.226	0	0	0	-63.857
	3	-908.272	1040.226	0	0	0	-105.466
E24	1	0	1334.4	0	0	0	-560.448
	2	0	1334.4	0	0	0	-607.152
	3	0	1334.4	0	0	0	-653.856

Ek K. (devam)

Doğu kayını – arkalığa önden arkaya çekme – eleman gerilmeleri

Eleman No	Kesim Yeri	Gerilmeler						
		Eksenel (N/mm ²)	Kesme (Y) (N/mm ²)	Kesme (Z) (N/mm ²)	Eğilme (Y üst) (N/mm ²)	Eğilme (Y alt) (N/mm ²)	Eğilme (Z üst) (N/mm ²)	Eğilme (Z alt) (N/mm ²)
E1	1	0	1.589	0	0	0	0	0
	2	0	1.589	0	22.24	-22.24	0	0
	3	0	1.589	0	44.48	-44.48	0	0
E2	1	2.541	-0.023	0	1.002	-1.002	0	0
	2	2.541	-0.023	0	0.317	-0.317	0	0
	3	2.541	-0.023	0	-0.367	0.367	0	0
E3	1	-0.826	1.081	0	-22.619	22.619	0	0
	2	-0.826	1.081	0	-6.4	6.4	0	0
	3	-0.826	1.081	0	9.819	-9.819	0	0
E4	1	-0.721	1.238	0	-9.792	9.792	0	0
	2	-0.721	1.238	0	-4.013	4.013	0	0
	3	-0.721	1.238	0	1.766	-1.766	0	0
E5	1	0	1.589	0	0	0	0	0
	2	0	1.589	0	22.24	-22.24	0	0
	3	0	1.589	0	44.48	-44.48	0	0
E6	1	2.541	-0.023	0	1.002	-1.002	0	0
	2	2.541	-0.023	0	0.317	-0.317	0	0
	3	2.541	-0.023	0	-0.367	0.367	0	0
E7	1	-0.826	1.081	0	-22.619	22.619	0	0
	2	-0.826	1.081	0	-6.4	6.4	0	0
	3	-0.826	1.081	0	9.819	-9.819	0	0
E8	1	-0.721	1.238	0	-9.792	9.792	0	0
	2	-0.721	1.238	0	-4.013	4.013	0	0
	3	-0.721	1.238	0	1.766	-1.766	0	0
E9	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E10	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E11	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E12	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0
E13	1	0.713	0	0	0	0	0	0
	2	0.713	0	0	0	0	0	0
	3	0.713	0	0	0	0	0	0
E14	1	-0.713	-0.667	0	8.451	-8.451	0	0
	2	-0.713	-0.667	0	4.225	-4.225	0	0
	3	-0.713	-0.667	0	0	0	0	0
E15	1	0.721	-1.906	0	27.652	-27.652	0	0
	2	0.721	-1.906	0	18.76	-18.76	0	0

Ek K. (devam)

	3	0.721	-1.906	0	9.867	-9.867	0	0
E16	1	0.721	-1.906	0	9.867	-9.867	0	0
	2	0.721	-1.906	0	4.786	-4.786	0	0
	3	0.721	-1.906	0	-0.296	0.296	0	0
E17	1	-0.721	1.238	0	1.766	-1.766	0	0
	2	-0.721	1.238	0	5.068	-5.068	0	0
	3	-0.721	1.238	0	8.37	-8.37	0	0
E18	1	0	1.589	0	44.48	-44.48	0	0
	2	0	1.589	0	48.187	-48.187	0	0
	3	0	1.589	0	51.893	-51.893	0	0
E19	1	0.713	0	0	0	0	0	0
	2	0.713	0	0	0	0	0	0
	3	0.713	0	0	0	0	0	0
E20	1	-0.713	-0.667	0	8.451	-8.451	0	0
	2	-0.713	-0.667	0	4.225	-4.225	0	0
	3	-0.713	-0.667	0	0	0	0	0
E21	1	0.721	-1.906	0	27.652	-27.652	0	0
	2	0.721	-1.906	0	18.76	-18.76	0	0
	3	0.721	-1.906	0	9.867	-9.867	0	0
E22	1	0.721	-1.906	0	9.867	-9.867	0	0
	2	0.721	-1.906	0	4.786	-4.786	0	0
	3	0.721	-1.906	0	-0.296	0.296	0	0
E23	1	-0.721	1.238	0	1.766	-1.766	0	0
	2	-0.721	1.238	0	5.068	-5.068	0	0
	3	-0.721	1.238	0	8.37	-8.37	0	0
E24	1	0	1.589	0	44.48	-44.48	0	0
	2	0	1.589	0	48.187	-48.187	0	0
	3	0	1.589	0	51.893	-51.893	0	0

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Ad Soyad : Erkan CEYLAN
Uyruk : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : DENİZLİ - 01/09/1993
Medeni Hali : BEKAR
Telefon : 0531 590 7542
E-posta : erkanceylan@1993gmail.com

Eğitim

Alınan Derece	Aldığı Kurum/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lise	Cumhuriyet Lisesi	2011
Lisans	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi	2015
Erasmus Öğrenci Değişimi Programı Lisans	Mendel University in Brno, Czech Republic	2012 (5 Ay)

Yabancı Dil(ler)

Dil (İngilizce)	Başlangıç	Orta	İleri
Yazma		X	
Konuşma		X	
Anlama		X	
Okuma		X	