

DEMONTTE TİPİ KİTAPLIK LARIN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ELASTİK DEFORMASYON ANALİZİ

Abdurrahman KARAMAN¹ Mehmet Nuri YILDIRIM²

¹Uşak Üniversitesi, Banaz MYO, Ormancılık Bölümü, 64500, Uşak, TÜRKİYE

²Karabük Üniversitesi, Safranbolu MYO., Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Bölümü
Bölümü, 78500, Karabük, TÜRKİYE
abdurrahman.karaman@usak.edu.tr

Özet- Bu çalışmada, demonte tipi kitaplık raflarında kullanılan ahşap kompozit levhalar ile farklı bağlantı elemanların statik yük altında elastik deformasyon analizi yapılmıştır. Deney örnekleri ahşap esaslı kompozit levhalardan, yonga levha (YL) ve orta yoğunlukta lif levhalardan (MDF) hazırlanmıştır. Bağlantı elemanı olarak trapez, plastik dübelli minifiks, metal dübelli minifiks, metal T bağlantı, pipo bağlantı ve ay bağlantı elemanları kullanılarak kitaplıklar üretilmiştir. Deney örnekleri, kullanımları sırasında etkisinde kalabilecekleri kritik yükler göz önüne alınarak statik yük altında denenmiştir. Deney örneklerinin bilgisayar destekli üç boyutlu yapısal analizi, sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak yapılmış ve deneylerden elde edilen veriler, bu analiz verileri ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre elastik deformasyon bakımından deneylerin uygulama sonuçları ile ANSYS analiz sonuçları arasındaki en fazla uygunluk % 97,27 ile MDF ve metal T bağlantı bağlantı elemanı kullanılarak yapılan kitaplık raflarında, en az uygunluk ise % 94,26 ile MDF ve trapez bağlantı elemanı kullanılarak yapılan kitaplık raflarında elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler-Demonte Tipi Kitaplık, Elastik Deformasyon, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Analiz

THE ANALYSIS ELASTIC DEFORMATION OF DEMONTE TYPE BOOKCASES WITH FINITE ELEMENT METHOD

Abstract- In this study, in under static load, the elastic deformation analysis of both wood base materials which are used with for demonte type bookshelves and the elastic deformation analysis of different fasteners were made. Samples of the experiment particleboard (YL) and medium density fiberboard (MDF) were used as wooden composites materials and trapez connector with metal parts, metal minifix connector with metal peg, metal minifix connector with plastic peg, metal T connector, pipe type connector, and corner fitting were used joints. Demonte bookcases were exposed to static loading for six months by considering the critic loads which could effect while in service use. Bearing in mind the critic loads which may affect its usage, experimental samples were trialled under static loads. Three dimensional structure of the experimentalsamples were analysed an a computer by using finite element method

Bu makale, 4. Uluslararası Mobilya ve Dekorasyon Kongresi'nde sunulmuş ve İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi'nde yayınlanmak üzere seçilmiştir.

(FEM). Later, experimental data was compared with the analysis data. According to the results of experiments, maximum compliance between ANSYS analysis results and the test results of experiments terms of elastic deformation coefficient of the application was observed in the bookshelves which are made using MDF and metal T connector with 97.27%. At least compliance with metal 94.26% with trapez connector combination made using bookshelves.

KeyWords- Demonte Type Bookcase, Elastic Deformation, Finite Element Method, Analysis

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sonlu elemanlar metodu; karmaşık problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içinde çözülmesiyle tam çözümün bulunduğu bir çözüm şeklidir. Metodun üç temel niteliğinin olduğunu: Birincisi, geometrik olarak karmaşık olan çözüm bölgesi, geometrik biçimli basit alt bölgelere ayrılır. İkincisi her elemandaki, sürekli fonksiyonlar, cebirsel polinomların lineer kombinasyonu olarak tanımlanabileceği kabul edilir. Üçüncünün ise, aranan değerlerin her eleman içinde sürekli olan tanım denklemlerinin belirli noktalardaki (düğüm noktaları) değerleri elde edilmesinin problemin çözümünde yeterli olduğunu belirtmişlerdir [1].

Sonlu elemanlar yöntemi, çok çeşitli mühendislik problemlerine sonuç elde edebilen sayısal bir işlemdir. Kararlı rejimli, değişken rejimli, lineer, lineer olmayan durumlar için gerilim (stress) analizi, ısı transferi analizi, akışkanlar mekaniği analizi ve elektromanyetizma problemlerinin analizleri sonlu elemanlar yöntemi ile yapılabilir [2].

Mühendislik açısından tasarımı tamamlayan hususlardan birisi performans testleridir. Performans testleri ile mobilyaların kullanımı sırasında karşılaşılabilecek problemleri önceden belirlemek ve mobilya henüz kullanıma girmeden ve üretilmeden önce değişiklikleri ve geliştirmeleri yapmak amacıyla tasarımcıya geri besleme sağlamaktadır. Diğer bir deyişle, performans deneyleri, mobilya kullanıma sunulmadan önce mobilya mühendislik sürecinde son aşamadır. Performans deneyleri, ürünün tasarlandığı fonksiyonları yerine getirip getirmediğini anlamak için kullanılan hızlandırılmış kullanım deneyleri olarak tanımlanabilir [3].

Mobilya sisteminin mukavemet tasarımı, katı modelleme ve yapısal analiz programları kullanılarak yapılabilmektedir. Sistemin tüm elemanları parametrik olarak modellenip, her türlü değişiklikler katı modellemenin sağladığı üstünlükler sayesinde kolayca yapılmakta ve en uygun tasarım sağlanabilmektedir. Yapının tüm mukavemet hesapları bilgisayar destekli analiz programları tarafından yapılabilmektedir. Ayrıca, son yıllarda mobilya sistemlerinin yapısal analizinde sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılmaktadır [4].

Cıvatalı ahşap birleştirmelerin statik yük taşıma kapasitelerini deneysel ve teorik olarak analiz etmişler, cıvata çapı, eleman kesit ölçüleri gibi farklı yapısal parametrelerin mukavemet üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak, sonlu elemanlar yönteminin cıvatalı birleştirmelerin yük taşıma kapasitesini elde etmede uygun bir yöntem olduğu bildirilmiştir [5]. Kavela tipi birleştirmeleri sonlu elemanlar yöntemini (SEY) kullanarak incelemişlerdir. Hooke kanununu kullanarak, normal ve metal kavela bağlantısıyla desteklenmiş birleştirmeler incelenerek tutarlı deney sonuçlarını elde etmişlerdir [6].

Mobilya direnç özellikleri bakımından üretimde kullanılacak malzemenin bağlantı elemanlarıyla tutma mukavemetleri de yeterince güçlü birleştirmelerin üretilebilmesi açısından değerlendirilmesi gereken faktörlerdir. Kavramsal olarak oluşturulan yapıya, kullanım sırasında maruz kalabileceği muhtemel deney yüklerinin uygulanmasından sonra, bu yüklerin dağılımını ve büyüklüğünü belirlemek için matematiksel analizler gerçekleştirilir. Birleştirme (düğüm)

noktaları rijit olmaktan çok esnektir (elastik) ve doğrusal olmayan yük hareketleri tarafından sıklıkla bozulmaya uğratılmaktadır [7].

Çalışmasında çerçeve konstrüksiyonlu “T” tipi köşe birleştirmelerinde farklı bağlantı elemanlarının mukavemet özellikleri araştırılmıştır. Deney sonuçları ile analiz sonuçları arasında % 88,7 uyum gözlenmiştir. ANSYS bilgisayar programı ile yapılan analizler testlerden elde edilen sonuçlara göre daha ayrıntılı olarak elde edildiğini bildirmiştir. Deney sonuçlarına göre en yüksek basınç direnci plastik ‘L’birleştirme elemanı ile (622,733 N) en düşük basınç direnci minifiks birleştirme elemanı ile (400,5 N) elde edilmiştir. En yüksek çekme direnci eğri metal ‘T’çektirme birleştirme elemanında (1693,4 N) elde edilmiştir. En düşük çekme direnci minifiks ile (470,6 N) yapılan birleştirmelerden elde edilmiştir. Deneylerinde kullandığı malzemelerde meydana gelen ezilmeler, sonlu eleman analizinde elde edilen sonuçlarla benzerlik taşımakta ve aynı bölgede gerilmelerin yoğun olduğunu gözlemlemiştir [8].

Sonlu eleman metodunu kutu mobilyaların sapma özelliklerini araştırmak için kullanmışlardır. Analiz sonuçlarına göre raflardaki eğilme miktarının, üst ve alt tablalarda aynı olduğunu ve kutunun her iki kenarında eşit olduğunu göstermiştir. Hem raf hem de bölme içerebilen bir kutunun desteklenmemiş bir köşesinin sapmasını tam olarak tahmin edebilen bir denklik geliştirilmiştir. Mobilya üreticileri bu denkliği panel kutu tasarımlarını optimize etmek için kullanabileceğini belirtmişlerdir [9].

Deneylerde meydana gelen deformasyon (açılma-daralma) miktarları bilgisayar ortamında Sonlu Elemanlar Metodu (SEM-ANSYS Multiphysics) ile analiz edilerek teorik modelleme yapılmıştır. Sonuçlara göre; uygulamalı deneylerden elde edilen deformasyon miktarının, teorik modelleme ile yaklaşık % 90 – 99 uyumlu olduğu ve ahşap köşe birleştirmelerin direnç özelliklerinin belirlenmesinde sonlu elemanlar metodu kullanımının gerçeğe çok yakın değerler verdiği belirlenmiştir [10].

Ahşap kompozit malzemeler ile farklı bağlantı elemanları kullanılarak yapılan demonte tipi kitaplıkların statik yük altındaki elastik deformasyonun deneysel sonuçları ile endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılan ANSYS analiz sonuçlarının demonte tipi kitaplığın mukavemeti açısından kabul edilebilir tahmini değerler verip vermediğinin ve bunların mobilya ürün mühendisliğinde kullanılıp kullanılmayacağı belirlenmesi amaçlanmaktadır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

2.1 Materyal (MATERIALS AND METHODS)

2.1.1 Ahşap Esaslı Kompozit Malzemeler (Wood Based Composite Materials)

Deneylerde ahşap esaslı levha olarak, 18 mm kalınlığında yonga levha (YL) ve orta yoğunlukta lif levha (MDF) ve 4 mm kalınlığında orta yoğunlukta liflevha (MDF) kullanılmıştır.

Tablo 1’de ahşap esaslı kompozit levhaların fiziksel ve mekaniksel özellikleri verilmiştir [11].

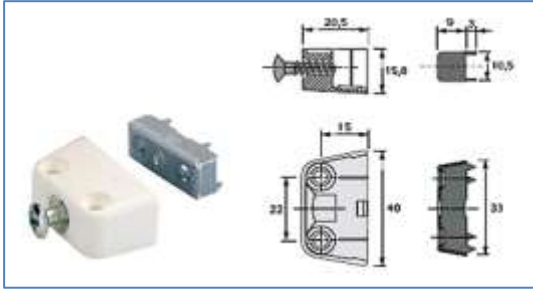
Tablo 1. Kullanılan malzemelerin fiziksel ve mekaniksel özellikleri (Physical and mechanical properties of materials used).

Malzeme	Yoğunluk (gr/cm ³)	Rutubet (%)	Eğilme Direnci (N/mm ²)	Elastikiyet Modülü (N/mm ²)
MDF	0.62	7.1	32.12	2780
Yonga levha	0.58	6.9	16.58	1822

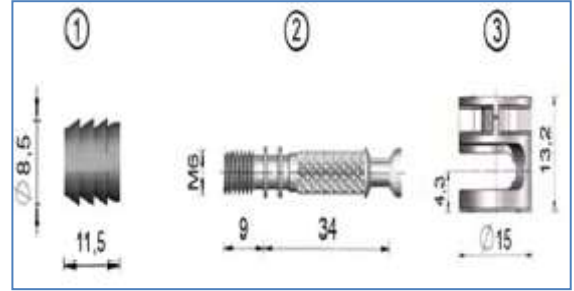
Tablo 1’de demonte tipi kitaplıkların üretiminde kullanılan ahşap esaslı kompozit levhaların fiziksel ve mekaniksel özellikleri verilmiştir. Mobilyanın mukavemeti kullanılan malzemelerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerine göre değişim gösterebilir.

2.1.2 Bağlantı Elemanları (Connectors)

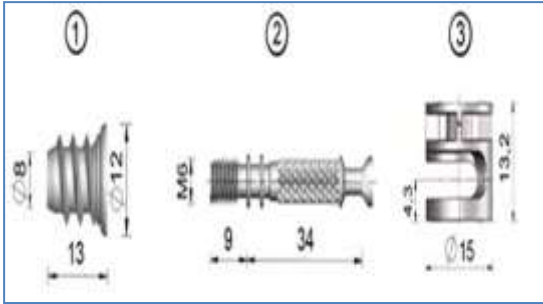
Demonte tipi kitaplıkların konstrüksiyonunda kullanılan bağlantı elemanları Şekil 1 ile 6 arasında gösterilmiştir (mm) [12].



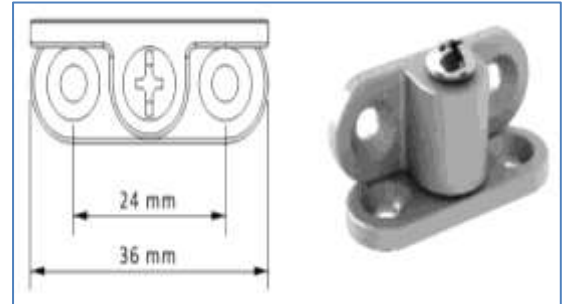
Şekil 1. Trapez bağlantı (Trapez fitting).



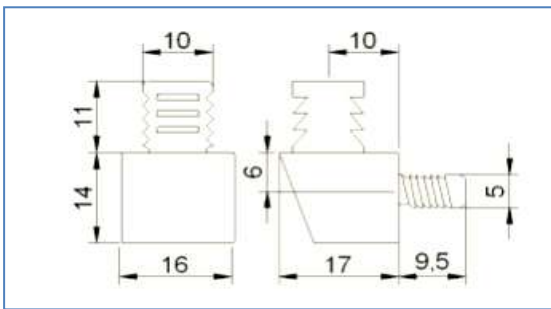
Şekil 2. Plastik dübelli minifiks (Minifix with plastic peg fitting).



Şekil 3. Metal dübelli minifiks bağlantı (Minifix with metal peg fitting).



Şekil 4. Metal T bağlantı (Metal T type connector).



Şekil 5. Pipo bağlantı (Pipe type connector)



Şekil 6. Ay bağlantı (Corner fittings).

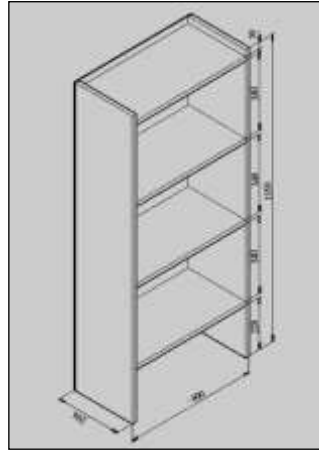
2.1.3 Deney Örneklerinin Hazırlanması (Preparation of Test Samples)

Deneylerde kullanılan demonte tipi kitaplıkların eleman listesi Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Demonte tipi kitaplığın eleman listesi (Bill of materials for bookcase construction).

Eleman Adı	Eleman Sayısı	Masif Panel (mm)			Kompozit Malzeme (mm)		
		Boy	Genişlik	Kalınlık	Boy	Genişlik	Kalınlık
Yan Tabla	2	1350	290	18	1350	290	18
Üst Tabla	1	564	290	18	564	290	18
Alt Tabla	1	564	290	18	564	290	18
Raf	2	564	290	18	564	290	18
Arkalık	1	4×600×1350 mm ölçülerinde MDF					

Demonte tipi kitaplık yapımında 2 çeşit ahşap esaslı kompozit malzeme MDF ve Yonga levha kesim listesi Tablo 2’de verilmiştir. Farklı bağlantı elemanları (trapez, plastik dübelli minifiks, metal dübelli minifiks, metal T bağlantı, pipo bağlantı ve ay bağlantı) kullanılarak bu parçaların montajı yapılmıştır. Arkalık, 3,5×16 vida kullanılarak sadece yan tablalara montajı yapılarak Şekil 7’de belirtilen ölçülerde kitaplıklar hazırlanmıştır.



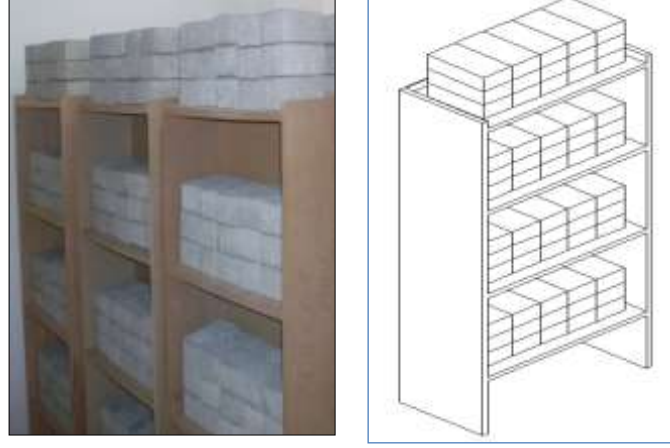
Şekil 7. Demonte tipi kitaplık ölçüleri (General configuration of bookcases used in the study).(mm).

2.2 Metod (Method)

Deney örneklerin hazırlanmasında 2 malzeme çeşidi ve 6 farklı bağlantı elemanı kullanılarak, 4 raflı kitaplıklar hazırlanmıştır.

2.2.1 Deney Öneklerine Yük Konulması (Loading Test Experiments).

Deney yükü olarak ebatları 60×100×200 mm, ağırlığı 2600 gr, yeknesak ve homojen yapıda briket tuğlalar kullanılmıştır. Her bir rafa, rafın ön ve arka kenarından 50 mm içeride ve yan kenarından ise 32 mm olacak şekilde toplam 15 adet briket tuğlası yerleştirilmiştir. British education standartlarına göre dm^2 ye normal olarak 2.5 kg yük konulması ön görülmektedir [13]. Şekil 8’deki demonte tipi kitaplıktaki her bir rafa toplam 39 kg yük ve toplam da dört rafa ise 156 kg yük konulmuştur.



Şekil 8. Deney örneklerine yük konulması (Method of loading).

2.2.2 Sehim Ölçülerin Alınması (Deflection Measurement).

Sehim ölçümlerinde, 0.001 mm hassasiyetinde ölçüm yapabilen Şekil 9'daki komparatörler kullanılmıştır. İlk önce kitaplık rafların yük konulmadan önceki sehim ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra her bir rafa 39 kg yük konulup elastik deformasyonu saptamak amacı ile anlık sehim ölçümleri alınmıştır.



Şekil 9. Sehim ölçümlerin yapılması (Method of deflection measurement) (mm).

2.2.3 Sonlu Elemanlar Yöntemi (Finite Element Method (FEM) Analysis of the bookshelves using ANSYSTM)

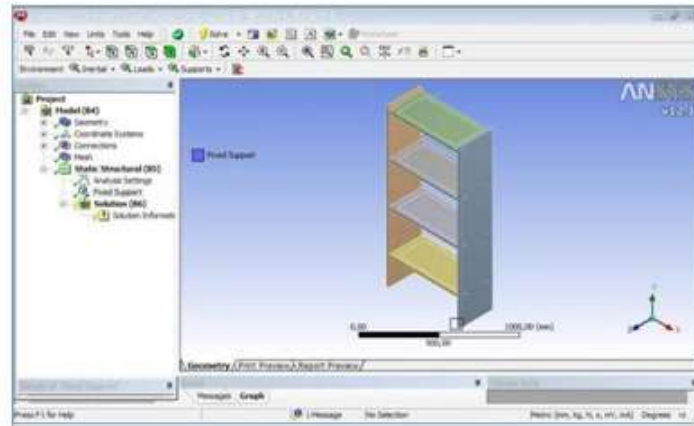
Bilgisayar destekli analizler bir sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS12.1 programında yapılmıştır. Sonlu elemanlar metodu pratikte normal yöntemlerle sonucu bulunamayan veya çözümü zor mühendislik problemlerinin analizinde çok kullanılan nümerik bir yöntemdir [14].

Ortotropik ve izotropik malzemeler için ANSYS 12.1 programında istenen elastik sabit değerler ve deneylerde kullanılan malzemeler için programa girilen teknolojik özellikleri Tablo 3’ de verilmiştir [15].

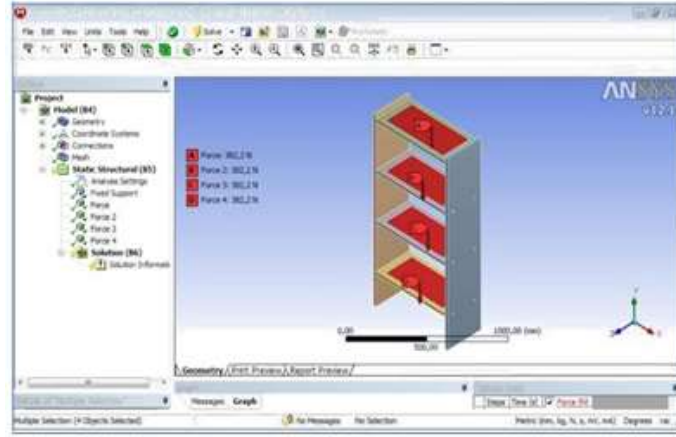
Tablo 3. Malzemelerin programa girilen elastik sabit değerleri (Elastic constants of materials entered into the program).

Malzeme	Elastiklik modülü (N/mm ²)			Poisson			G rijitlik modülü (N/mm ²)		
	E _X	E _Y	E _Z	V _{XY}	V _{YZ}	V _{XZ}	G _{XY}	G _{YZ}	G _{XZ}
MDF	3200	3400	50	0,45	0,5	0,5	68	68	58
Yongalevha	1900	1900	95	0,3	0,3	0,3	794	137	137
Plastik	1100			0,42			-		
Metal	200.000			0,3			-		

Malzeme özellikleri her malzeme için ayrı tanımlanmıştır. Levhalar için ayrı bağlantı elemanları için ayrıdır. Birleştirmelerde bağlantı elemanları plastik ve metaldan üretildiği için plastik ve metal malzeme özellikleri elastik sabitleri programa girilmiştir. Programın x,y ve z koordinat sistemine göre her malzemenin yönleri de bu koordinat sistemine göre tanımlanmıştır. Bu işlemin yapılması için çalışma düzlemleri (work plane) belirlenmiştir. Main Menu> Preprocessor > Modeling > Operate>Booleans>Glue>Volumes, yolu izlenerek, hacimlerin birleştirilmesinde Glue komutu kullanılmıştır. Elemanlara ayırma (meshing): Meshlemede; küçük olan parçalardan sık meshleme yapılmasına dikkat edilmiş, ayrıca birleştirme yapılan yerlerde elemanlar daha sık ayırma işlemine tabi tutulmuştur. Bu durum analizin güvenilirliğini artırmaktadır. Elemanlara bölünmüş levhanın sınır şartları belirlenir. Daha sonra sınır şartlarının (mesnet noktaları) ve yüklemenin tanımlanması işlemi Main Menü > Solution> Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Nodes tıklanıp -Y yönünde kuvvet uygulandıktan sonra MainMenü > Solution> Define Loads > Apply> Structural > Force/Moment >On Nodes işlemleri takip edilerek sınır şartlarının (mesnet noktaları) ve yüklemenin tanımlanması işlemi tamamlanmıştır. Düzgün yayılı yük deneyi elemanlarında sınır şartları (Şekil 10) ve kutu tipi mobilyalarda yükleme modeli Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 10. Kutu tipi mobilya deney örneklerin statik yük altında sınır şartları (Boundary conditions in the uniform load test element).



Şekil 11. Kutu tipi mobilya deney örneklerin yükleme modeli (Loading model for the bookshelves).

2.3 İstatistiksel Analiz (Statistical Evaluation)

Deneylerden elde edilen veriler SPSS paket programında değerlendirilmiştir. Araştırma kapsamında incelenen etki faktörleri arasındaki farkın belirlenmesinde ANOVA varyans analizi kullanılmış ve gruplar veya kademeler arasındaki farkların anlamlı ($P < 0,05$ 'e göre) bulunması durumunda Duncan testi uygulanarak değerler arasındaki fark karşılaştırılmıştır. Belirlenen ortalama, üst ve alt değerleri, varyans analizlerine ilişkin değerler, varyans analizinde anlamlı (%95 güven düzeyinde) bulunan gruplara ilişkin Duncan testine ait sonuçlar tablolar halinde verilmiştir.

3. BULGULAR (FINDINGS)

Deneyler sonucunda elde edilen elastik deformasyon değerleri Tablo 4'de verilmiştir. En düşük elastik deformasyon değeri 1,924 (mm) ile MDF ve metal dübelli minifiks bağlantı elemanı kullanılarak imal edilen demonte tipi kitaplıklarda, en yüksek elastik deformasyon değeri 2,946 (mm) ile yonga levha ve pipo bağlantı elemanı kullanılarak imal edilen demonte tipi kitaplıklarda belirlenmiştir.

Tablo 4. Kitaplıkların statik yük altında oluşan elastik deformasyon değerleri (Demonte type bookcase of elastic constant values under the static load) (mm).

Malzeme Çeşidi	Bağlantı Çeşidi	Ortalama	Minimum	Maksimum	Standart Sapma
MDF	TÇ	1,988	1,806	2,169	0,119
	MP	2,096	1,914	2,277	0,106
	MM	1,924	1,743	2,106	0,056
	T	2,140	1,959	2,321	0,147
	P	2,019	1,838	2,201	0,052
	AY	2,108	1,927	2,289	0,074
Yonga levha	TÇ	2,610	2,428	2,791	0,167
	MP	2,927	2,746	3,109	0,272
	MM	2,680	2,492	2,895	0,245

	T	2,750	2,568	2,931	0,161
	P	2,946	2,765	3,128	0,177
	AY	2,692	2,511	2,874	0,074

(TÇ: Trapez, MP: Plastik Dübelli Minifiks, MM: Metal Dübelli Minifiks, T: Metal T Bağlantı, P: Pipo Bağlantı, AY: Ay Bağlantı).

Farklı bağlantı çeşidi ve malzeme çeşidi kullanılarak imal edilen kutu konstrüksiyonlu mobilyaların, elastik deformasyon değerlerine ait ANOVA varyans analizi sonuçları Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. Elastik deformasyon değerlerine ait ANOVA varyans analizi sonuçları (The results of elastic constant values analysis of variance)

Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P<%5
Malzeme Çeşidi (A)	2	81,803	40,901	1242,618	0,000
Bağlantı Çeşidi (B)	6	0,426	0,071	2,156	0,059
Etkileşim A*B	12	0,761	0,063	1,926	0,048
Hata	63	2,074	0,033		
Toplam	84	345,564			

ANOVA varyans analizi sonuçlarına göre, malzeme çeşidi, bağlantı çeşidi-malzeme çeşidinin etkileşimlerinin elastik deformasyon miktarına etkilerinin 0,05 hata payı ile istatistiksel anlamda önemli, ancak bağlantı çeşidinin önemsiz olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda farklılıkların gruplar arasında önem derecesini belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Tablo 6, Tablo 7, Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 6. Faktörlerin elastik deformasyon değerlerine ait Duncan testi sonuçları (Duncan test results of the factor of elastic constant values) (mm).

Etkileşimler	Ortalama	Homojenlik Grubu	Etkileşimler	Ortalama	Homojenlik Grubu
MDF-MM	1,924	A	YL-TÇ	2,610	C
MDF-TÇ	1,988	A	YL-MM	2,680	C
MDF-P	2,019	AB	YL-AY	2,692	C
MDF-MP	2,096	AB	YL-T	2,750	CD
MDF-AY	2,108	B	YL-MP	2,927	D
MDF-T	2,140	B	YL-P	2,946	D

Bağlantı çeşidinin, elastik deformasyon değerine ait ortalamaların karşılaştırılması Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Elastik deformasyon değerlerinde bağlantı çeşidine ait Duncan testi sonuçları (Duncan test results in rigidity constant values of connection types) (mm).

Bağlantı çeşidi	X (mm)	HG
Trapez	2,299	A
Metal dübelli minifiks	2,302	AB
Ay bağlantı	2,400	B
Metal T bağlantı	2,445	B
Pipo bağlantı	2,482	B
Plastik dübelli minifiks	2,512	BC

Yapılan Duncan testi sonucuna göre uygulanan ay bağlantı, metal T bağlantı ve pipo bağlantı elemanları arasındaki farklılık %95 güven düzeyinde anlamsız yani aralarında fark yoktur.

Tablo 7’deki bağlantı çeşidine göre elastik deformasyon değeri, plastik dübelli minifiks bağlantı elemanı 2,512 (mm), trapez bağlantı elemanından 2,299 (mm), % 9,26 daha yüksek çıkmıştır. Malzeme çeşidinin, elastik deformasyon değerine ait ortalamaların karşılaştırılması Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Elastik deformasyon değerlerinde malzeme çeşidine ait Duncan testi sonuçları (Duncan test results of material types the rigidity constant values) (mm).

Malzeme çeşidi	X	HG
MDF	2,046	A
Yonga levha	2,768	B

Malzeme çeşidi değerleri arasındaki farklılık %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Farklı olan gruplar farklı homojenlik gruplarında Tablo 8’de gösterilmiştir. Malzeme çeşidine göre elastik deformasyon değeri, yonga levha 2,768 (mm), MDF’den 2,046 (mm), % 35,29 daha yüksek çıkmıştır. Bağlantı çeşidi ve malzeme çeşidi etkileşiminin elastik deformasyon değerlerine ait ortalamaların karşılaştırılması Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Bağlantı ve malzeme çeşidi etkileşimine göre elastik deformasyon ortalama değerleri (The mean values of rigidity constant depending on connection type and material interaction) (mm).

Bağlantı Çeşidi	Malzeme Çeşidi	
	MDF	Yonga levha
Trapez	1,988	2,610
Plastik Dübelli Minifiks	2,096	2,927
Metal Dübelli Minifiks	1,924	2,680
Metal T Bağlantı	2,140	2,750
Pipo Bağlantı	2,019	2,946
Ay Bağlantı	2,108	2,692

Bağlantı çeşidi ve malzeme çeşidi etkileşimi bakımından, en düşük elastik deformasyon değeri 1,924 (mm) ile MDF ve metal dübelli minifiks bağlantı elemanı kullanılarak imal edilen kutu konstrüksiyonlu mobilyalarda, en yüksek elastik deformasyon değeri ise 2,946 ile yonga levha ve pipo bağlantı elemanı kullanılarak imal edilen kutu konstrüksiyonlu mobilyalarda belirlenmiştir. Yonga levha ve pipo bağlantı elemanı kullanılarak imal edilen kutu konstrüksiyonlu mobilyalar, MDF ve metal dübelli minifiks bağlantı elemanı kullanılarak imal edilen kutu konstrüksiyonlu mobilyalardan % 53,11 daha yüksek çıkmıştır.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

4.1 Sonlu Elemanlar Analizi ile Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması (The Comparison of Experimental Results with Finite Element Analysis)

Kutu konstrüksiyonlu mobilyaların statik yük altında deneysel sonucu elde edilen elastik deformasyon değerleri ve ANSYS sonlu elemanlar programında elde edilen elastik deformasyon değerleri karşılaştırması Tablo 9’da verilmiştir.

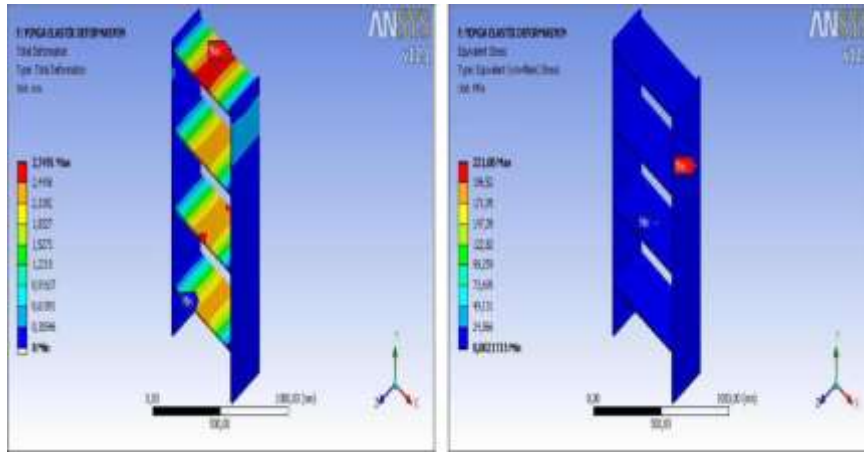
Tablo 9. Elastik deformasyonun deneysel sonuçları ile ANSYS sonuçların karşılaştırması (The comparison of experimental results with Finite Element Analysis).

Malzeme Çeşidi	Bağlantı Çeşidi	Deneysel (mm)	ANSYS (mm)	Uygunluk (%)
----------------	-----------------	---------------	------------	--------------

MDF	TÇ	1,988	2,109	94,26
	MP	2,096	2,220	94,41
	MM	1,924	2,016	95,43
	T	2,140	2,200	97,27
	P	2,019	2,140	94,34
	AY	2,108	2,225	94,74
Yonga levha	TÇ	2,610	2,749	94,74
	MP	2,927	3,069	95,37
	MM	2,680	2,818	95,10
	T	2,750	2,856	96,28
	P	2,946	3,062	96,21
	AY	2,692	2,818	95,52

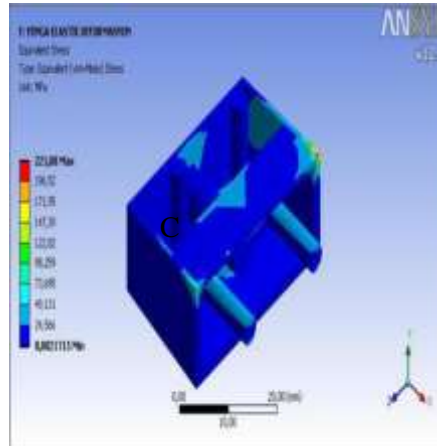
18 mm kalınlığındaki MDF panel kullanılarak yapılan kitaplık raflarında elastik deformasyon bakımından deneylerin uygulama sonuçları ile ANSYS analiz sonuçları arasındaki en fazla uygunluk MDF panel ve metal T bağlantı elemanı kullanılarak yapılan kitaplık raflarında, en az uygunluk ise MDF panel ve trapez bağlantı kullanılarak yapılan kitaplık raflarında elde edilmiştir.

Trapez bağlantı elemanı ile birleştirilmiş MDF ile üretilen örneklerin ANSYS programı sonucu elde edilen elastik deformasyon deney sonuçları, gerilme-stress değişimleri ve Trapez bağlantı elemanında oluşan gerilme değeri Şekil 12’de gösterilmiştir.



A

B



C

Şekil 12. Trapez bağlantı elemanı ile birleştirilmiş MDF ile üretilen deney örneklerin ANSYS elastik deformasyon sonuçları A: Elastik deformasyon, B: Gerilme değeri, C: Trapez bağlantı elemanında gerilme değeri.

(In the bookcases obtained by using MDF panel and trapez fitting ANSYS elastic deformation results (a) Total deformation, (b) Strain-stress variations, (c) trapez fitting connection stress values).

Şekil 12 incelendiğinde ANSYS analiz çalışması sonucunda, trapez bağlantı elemanı ile birleştirilmiş MDF ile üretilen deney örneklerinde meydana gelen elastik deformasyon 2,109 (mm) olarak ölçülmüştür. Trapez bağlantı elemanında oluşan gerilme değeri 290,72 Mpa olarak ölçülmüştür. Kırmızı olan renk değişimleri elastik deformasyonun ve gerilmenin maksimum olduğu yerleri göstermektedir.

MDF panel kullanılarak yapılan kitaplık raflarında elastik deformasyon bakımından deneylerin uygulama sonuçları ile ANSYS analiz sonuçları arasındaki en fazla uygunluk % 97,27 metal T bağlantı ile yapılan birleştirmeler, en az uygunluk ise % 94,26 ile trapez bağlantı elemanı vermiştir.

Yonga levha panel kullanılarak yapılan kitaplık raflarında elastik deformasyon bakımından deneylerin uygulama sonuçları ile ANSYS analiz sonuçları arasındaki en fazla uygunluk % 96,28 ile metal T bağlantı ile yapılan birleştirmeler, en az uygunluk ise % 94,74 ile trapez bağlantı elemanı vermiştir.

Sonlu Elemanlar Metodu (SEM-ANSYS Multiphysics) ile analiz sonuçlarına göre; uygulamalı deneylerden elde edilen deformasyon miktarının, teorik modelleme ile yaklaşık % 90 – 99 uyumlu olduğu ve ahşap köşe birleştirmelerin direnç özelliklerinin belirlenmesinde sonlu elemanlar metodu kullanımının gerçeğe çok yakın değerler verdiği belirlenmiştir [10].

Çalışmada birleştirmelerin ANSYS® sonlu eleman programı ile doğrusal ve ortotropik malzeme tanımlanarak sonlu eleman analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar deneysel çalışmadan elde edilmiş sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda bilgisayarda oluşturulan sonlu eleman modelinin gerçek davranışa yaklaştığı Mesnet koşulları açısından deney ile model arasında bir uyumsuzluk olması ve bu durumun sonuçlarda farklılığa yol açması kaçınılmazdır. Ayrıca kompozit levhaların katmanlı yapısı nedeniyle, üç boyutlu analizlerde de levhaların katmanlı yapısına uygun olarak eleman tipi ve eleman özelliklerinin programa girilmesinde fayda görülmektedir.

Bilgisayar teknolojisinin hızla geliştiği ve kullanımının yaygınlaştığı günümüzde, tasarlanan bir mobilyanın üretimine geçilmeden önce mukavemeti hakkında ön bilgiler elde edilebilmesi ve gerekli değişikliklerin yapılarak optimizasyonun sağlanması, tasarımcıların işini kolaylaştıracaktır. Sonlu elemanlar programının ekonomik yararlar sağlaması nedeniyle, mobilya mühendislik tasarımında yaygın olarak kullanılması önerilebilir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Topçu, M., and Taşgetiren, S., (1998). *Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu*, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Üniversite Yayınları.
- [2] Eppstein, D., (2001). *Global Optimization of Mesh Quality*, Dept. of Information and Computer Science, Meshing Roundtable.
- [3] Erdil, Y.Z., (2002). *Integrated Product Engineering and Performance Testing of Furniture*, Ph.D. Thesis, Purdue University Graduate School.

- [4] Kasal, A., (2002). *Masif ve Kompozit Ağaç Malzemelerden Üretilmiş Çerçeve Konstrüksiyonlu Koltukların Performansı*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [5] Daudeville, L., Davenne, L., and Yasumura, M., (1999). Prediction of the load carrying capacity of bolted timber joint. *Wood Science and Technology*, 33, 15-29.
- [6] Chen, C.J., Lee T.L., and Jeng, D.S., (2003). Finite element modeling for the mechanical behavior of dowel-type timber joints, *Computers and Structures*, 81,2731- 2738.
- [7] Eckelman, C.A., (2003). Textbook of Product Engineering and Strength Design of Furniture, *Text Book*, Purdue University, West Lafayette.
- [8] Karabulut, S., (2010). *Mobilya Köşe Birleştirmelerinde Kullanılan Farklı Bağlantı Elemanlarının Sonlu Elemanlar Metodu İle Mukavemet Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [9] Eckelman, C.A., and Rabiej, R.A., (1985). Comprehensive method of analysis of case furniture, *Forest Product Journal*, 35(4), 62-68.
- [10] Yörür, H., (2012). *Ahşap Malzemedden Üretilen Köşe Birleştirmelerin Simülasyon (ANSYS) Ortamında Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi*, Doktora Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [11] Bozkurt, Y., and Göker, Y., (1987). *Ağaç Malzemenin Fiziksel ve Mekaniksel Özellikleri*. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları.
- [12] Hettich International. (2000). *Mobilya Aksesuarları ve Uygulamaları*, Almanya.
- [13] BS 4875. (1975). *Strength and Stability of Domestic and Contact Furniture- Part 3: Cabinet Furniture*.
- [14] Güntekin, E., (2004). Kavelalı Mobilya Köşe Birleştirmelerinin Sonlu Elemanlar Analizi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, 1, 159-169.
- [15] Gawroński, T., (2006). Rigidity-strength models and stress distribution in housed tenon joints subjected to torsion, *Electronic Journal of Polish Agricultural University, Wood Technology* 9, 4.