

**FARKLI YAPIM TEKNİKLERİ VE DEĞİŞİK KALINLIKLARDAKİ
LEVHALAR İLE ÜRETİLMİŞ KUTU TİPİ MOBİLYALARIN
MUKAVEMET ÖZELLİKLERİ**

Hasan Özgür İMİRZİ

DOKTORA TEZİ

MOBİLYA VE DEKORASYON EĞİTİMİ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2008

ANKARA

Hasan Özgür İMİRZİ tarafından hazırlanan “**Farklı Yapım Teknikleri ve Değişik Kalınlıklardaki Levhalar ile Üretilmiş Kutu Tipi Mobilyaların Mukavemet Özellikleri**” adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hasan EFE
Tez Danışmanı, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi

Prof. Dr. Abdullah SÖNMEZ
Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Hasan EFE
Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Burhanettin UYSAL
Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi, Karabük Üniversitesi

Prof. Dr. Erol BURDURLU
Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Yusuf Ziya ERDİL
Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi, Muğla Üniversitesi

Tarih :/...../.....

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Hasan Özgür İMİRZİ

**FARKLI YAPIM TEKNİKLERİ VE DEĞİŞİK KALINLIKLARDAKİ
LEVHALAR İLE ÜRETİLMİŞ KUTU TİPİ MOBİLYALARIN
MUKAVEMET ÖZELLİKLERİ
(Doktora Tezi)**

Hasan Özgür İMİRZİ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2008**

ÖZET

Bu çalışmada, farklı yapım teknikleri ve değişik kalınlıklardaki ahşap kompozit malzemeler ile üretilmiş 1/1 ölçekli kutu tipi mobilyaların mukavemet özellikleri araştırılmıştır. Deneylerde ahşap kompozit malzeme çeşitlerinden 14, 16 ve 18 mm kalınlığında yonga levha (YL), orta yoğunlukta lif levha (MDF) ve okume (*Aucoumea klaineana*) kontrplak (OKP) kullanılmıştır. Ön çerçeveli ve ön çerçevesiz olarak üretilmiş kutu konstrüksiyonlu mobilya ünitelerinde kavelalı ve kavelalı-vidalı birleştirmeler uygulanmıştır. Birleştirmelerde yapıştırıcı olarak polivinilasetat (PVA_c) tutkalı kullanılmıştır. Deney kutuları, kullanımları sırasında etkisinde kalabilecekleri kritik yükler göz önüne alınarak statik yük altında denenmiştir. Deney kutularının bilgisayar destekli üç boyutlu yapısal analizi, sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak yapılmış ve deneylerden elde edilen veriler, bu analiz verileri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda sanal olarak oluşturulan sonlu eleman modelinin gerçek davranışa yakın değerler verdiği görülmüştür. Deney sonuçlarına göre, ön çerçeveli kutular ön çerçevesiz kutulara göre daha yüksek mukavemet göstermiş, kontrplak ve MDF ile üretilen kavelalı vidalı deney kutuları ise daha fazla yük taşımıştır. Performans deneyi sonuçlarına göre; kutu konstrüksiyonlu mobilya tasarımında ekonomik kriterler de dikkate alınarak malzeme tercihi, kontrplak, MDF ve yongalevha şeklinde yapılmalıdır. Birleştirmelerde kavelalı-vidalı birleştirme tercih

edilmelidir. Konu ile ilgili malzeme ve birleştirmeler farklı varyasyonlar şeklinde denenebilir. Levha kalınlığına göre ise 18 mm kalınlığında hazırlanan deney örnekleri, 16 mm kalınlığındaki levhalardan daha iyi sonuçlar vermekle beraber, 14 ve 16 mm kalınlığındaki malzemelerin de teknik ve ekonomik açılardan uygulanabilirliği ortaya konulmuştur. Bilgisayar teknolojisinin hızla geliştiği ve kullanımının yaygınlaştığı günümüzde, tasarlanan bir mobilyanın üretimine geçilmeden önce mukavemeti hakkında ön bilgiler elde edilebilmesi ve bu bilgilere göre gerekli değişikliklerin yapılarak optimizasyonun sağlanması, tasarımcıların işini kolaylaştıracaktır. Sonuçta ekonomik yararlar sağlayacak olan yapısal analiz programlarının, mobilya mühendislik tasarımında yaygın olarak kullanılması önerilebilir.

Bilim Kodu : 500.1.013

Anahtar Kelimeler : Kutu tipi mobilya, ahşap kompozit malzeme, sonlu elemanlar yöntemi, ANSYS®, rijitlik

Sayfa Adedi : 271

Tez Yneticisi : Prof.Dr. Hasan EFE

**STRENGTH PROPERTIES OF CASE TYPE FURNITURE PRODUCED
WITH DIFFERENT CONSTRUCTION TECHNIQUES AND PANEL
THICKNESSES
(PhD. Thesis)**

Hasan Özgür İMİRZİ

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
June 2008**

ABSTRACT

In this study, strength properties of 1/1 scaled box typed furniture which are produced with different production techniques and wood based materials with different thicknesses were investigated. In the experiments, among the types of wood based material; MDF (Medium Density Fiberboard), chipboard with 14,16 and 18 mm thickness, okume (*Aucoumea klaineana*) plywood are used. In the units of furniture with box construction which is produced as framed and frameless, doweled and doweled screwed joints are used. In joints polivinilasetat (PVAc) is used as an adhesive. Experimental boxes are experienced under static loads by bethinking the critic loads which can effect while usage. Experimental boxes' computer aided three-dimensional structural analysis were carried out by using finite element method (FEM) and experimental data were compared with analysis data. After the experiment virtual made final element model is verisimilitudes the real one. According to the experiment results, framed boxes carry more endurance, plywood than frameless boxes and doweled screwed experience boxes produced with MDF carries more loads. According to the performance experience results, in the design of box constructed furniture, considering economic criterion from the point of materials, material choice should be done as plywood, MDF and chipboard. Doweled screwed joints should be preferred as a joint material. Materials and joints on this subject can

be tried in variational types. Experimental models prepared with 18 mm thickness for the thickness of the board give better results than 16 mm thick boards, and 14-16 mm thick supplies appliance is betrayed from economic and technique aspect. Nowadays when computer technology is improving day by day and the usage of computers is become widespread, getting advance information before the production of designed furniture and providing optimization by making necessary changes according to these advance information will ease the designers' studies. As a result the one which will provide economic benefits is structural analysis programmes can be recommended to be used widespread in furniture engineering designs.

Science Code	: 500.1.013
Key Words	: Case Type Furniture, Wood Composite, Finite Element Method, ANSYS®, stiffness
Page Number	: 271
Adviser	: Prof.Dr. Hasan EFE

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Prof.Dr.Hasan EFE'ye, tez izleme komitesindeki hocalarım Prof.Dr.Abdullah SÖNMEZ ve Prof.Dr.Burhanettin UYSAL'a, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Prof.Dr.Erol BURDURLU ve Doç.Dr.Yusuf Ziya ERDİL'e, tezin yazılması ve dispozisyonunun oluşturulmasında yardımlarını gördüğüm hocam Yrd.Doç.Dr.Ali KASAL'a, yine tecrübelerini benimle paylaşan hocam Doç.Dr.Ali Naci TANKUT, Yrd.Doç.Dr.Ergün GÜNTEKİN ve Yrd.Doç.Dr.Özgür ANIL'a, bilgisayar destekli analizlerin yapılışındaki katkılarından dolayı FİGES bünyesinde görevli Ufuk PENEKLİ ve Murat HALİŞÇELİK'e, deneylerinin yapılışı sırasındaki yardımlarından dolayı beni yalnız bırakmayan Arş.Gör.Zafer DEMİRCİ'ye, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi akademik personel, idari personel ve öğrencilerine ve manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim sevgili eşim Yasemin İMİRZİ ve yine manevi desteklerini esirgemeyen sevgili Annem ve Babama teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xxi
RESİMLERİN LİSTESİ	xxiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxvi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	9
2.1. Kutu Konstrüksiyon Metotları.....	9
2.1.1. Kutu tipi mobilyaların yapısal davranışı	10
2.1.2. Tabla tipi konstrüksiyon sistemleri.....	10
2.1.3. Kutu konstrüksiyonlu mobilyaların yer değiştirme analizi.....	11
2.1.4. Kutu rijitliği tanımlamaları.....	14
2.2. Bağlantı Elemanları ve Birleştirme Tasarımı.....	16
2.2.1. Kavelalı birleştirmeler	16
2.2.2. Vidalı birleştirmeler	19
2.3. Mobilyada Mukavemet Tasarımı ve Birleştirmelerin Mukavemet Analizi	21
2.4. Malzeme Özellikleri	25
2.5. Mobilya Mukavemet Tasarımında Sonlu Elemanlar Yönteminin Kullanılması	26

Sayfa

2.6. Mobilyada Performans Deneyleri.....	29
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	34
3.1. Malzeme.....	34
3.1.1. Ahşap ve ahşap kompozit malzemeler.....	34
3.1.2. Tutkal	34
3.1.3. Kavela	34
3.1.4. Vida	35
3.2. Yöntem.....	36
3.2.1. Deneylerde kullanılan malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi	36
3.2.2. L-Tipi birleştirmelerde eğilme, diyagonal çekme ve diyagonal basınç deneyleri	45
3.2.3. Panel rijitlikleri deneyi.....	52
3.2.4. Deney kutularının hazırlanması ve deney yöntemi	53
3.3. Bilgisayar Destekli Üç Boyutlu Analizler	63
3.3.1. “L” Tipi birleştirmelerin sonlu elemanlarla analizine örnek uygulama	65
3.4. Deney Kutularında Kuvvet-Yer Değiştirme İlişkileri	89
3.5. Rijitlik Katsayısı Karşılaştırmaları	89
3.6. Verilerin Değerlendirilmesi	90
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	91
4.1. Ahşap Malzemelerin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	91
4.1.1. Yoğunluk ve rutubet	91
4.1.2. Yüzeye veya liflere paralel çekme direnci	92
4.1.3. Yüzeye veya liflere paralel basınç direnci	93

Sayfa

4.1.4. Liflere veya yüzeye paralel makaslama (kesme) direnci	94
4.1.5. Liflere veya yüzeye dik çekme direnci	95
4.1.6. Eğilme direnci	96
4.1.7. Eğilmede elastikiyet modülü	97
4.1.8. Vida çekme direnci	99
4.1.9. Kavela çekme direnci.....	101
4.2. Birleştirmelerde Göçme Tipleri.....	103
4.2.1. “L” tipi birleştirmelerde göçme tipleri.....	103
4.2.2. Deney kutularında göçme tipleri	107
4.3. “L” Tipi Köşe Birleştirmelerin Performansı	112
4.3.1. Eğilme deneyleri.....	112
4.3.2. Diyagonal basınç deneyleri	117
4.3.3. Diyagonal çekme deneyleri	122
4.4. Deney Kutularının Performansı.....	127
4.4.1. Ortalamaların karşılaştırılması (LSD test sonuçları)	131
4.5. Kuvvet-Yer Değiştirme İlişkileri.....	135
4.5.1. “L” tipi köşe birleştirmelerde kuvvet-yer değiştirme ilişkileri	136
4.5.2. Panellerde kuvvet-yer değiştirme ilişkileri (Panellerde rijitlik)	165
4.5.3. Deney kutularının rijitliği, teorik hesaplar ve yapısal analizler	167
4.6. Rijitlik Katsayısı Karşılaştırmaları	185
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	187
KAYNAKLAR.....	195
EKLER.....	204

Sayfa

EK-1 Eğilme deneyleri analizleri	205
EK-2 Çekme deneyleri analizleri	218
EK-3 Basınç deneyleri analizleri.....	231
EK-4 Çerçevesiz kutu tipi mobilya analizleri	244
EK-5 Çerçevesiz kutu tipi mobilya analizleri	257
ÖZGEÇMİŞ	270

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. L-tipi birleştirme deneylerinde kullanılan deneme deseni.....	48
Çizelge 3.2. Kutu tipi mobilyaları oluşturan elemanların ölçüleri (mm).....	55
Çizelge 3.3. Deneylerde kullanılan kutu mobilyalara ait deneme deseni	58
Çizelge 3.4. Malzemelerin programa girilen elastik sabit değerleri.....	80
Çizelge 4.1. Ahşap ve ahşap kompozit malzemelerin ortalama rutubetleri (%)	91
Çizelge 4.2. Ahşap ve ahşap kompozit malzemelerin çekme direnci değerleri	92
Çizelge 4.3. Ahşap malzeme çeşidinin çekme direnci etkisine ilişkin varyans analizi.....	92
Çizelge 4.4. Ahşap ve ahşap kompozit malzemelerin basınç direnci değerleri	93
Çizelge 4.5. Malzeme çeşidinin basınç direncine etkisine ilişkin varyans analizi.....	93
Çizelge 4.6. Ahşap ve ahşap kompozit malzemelerin makaslama direnci değerleri..	94
Çizelge 4.7. Malzeme çeşidinin makaslama direnci etkisine ilişkin varyans analizi.....	94
Çizelge 4.8. Liflere veya yüzeye dik çekme direnci değeri.....	95
Çizelge 4.9. Malzeme çeşidinin yarıлма ve levha yüzeyine dik çekme direnci etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	96
Çizelge 4.10. Ahşap ve kompozit ahşap malzemelerin eğilme direnci değeri.....	96
Çizelge 4.11. Malzeme çeşidinin eğilme direnci etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	97
Çizelge 4.12. Ahşap ve ahşap kompozit malzemelerin elastikiyet modülü değeri 97	
Çizelge 4.13. Malzeme çeşidinin elastikiyet modülü etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	98
Çizelge 4.14. Yüzeyden vida çekme direnci değeri	99
Çizelge 4.15. Malzeme çeşidinin yüzeyden vida çekme direnci etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	99

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.16. Kenardan vida çekme direnci değerleri	100
Çizelge 4.17. Malzeme çeşidinin kenardan vida çekme direnci etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	100
Çizelge 4.18. Yüzeyden kavela çekme direnci değerleri	101
Çizelge 4.19. Malzeme çeşidinin yüzeyden kavela çekme direnci etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	101
Çizelge 4.20. Kenardan kavela çekme direnci değerleri.....	102
Çizelge 4.21. Malzeme çeşidinin kenardan kavela çekme direnci etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	102
Çizelge 4.22. Eğilme deneyleri sonucu elde edilen moment taşıma kapasite değerleri	113
Çizelge 4.23. Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, “L” köşe birleştirmelerinin moment taşıma kapasitesi etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi	113
Çizelge 4.24. Birleştirme tekniğine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları.....	114
Çizelge 4.25. Malzeme çeşidine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları.....	114
Çizelge 4.26. Birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları.....	115
Çizelge 4.27. Levha kalınlığına göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	115
Çizelge 4.28. Birleştirme tekniği ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	116
Çizelge 4.29. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	116
Çizelge 4.30. Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığı üçlü etkileşimine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	117

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.31. Diyagonal basınç deneyleri sonucu elde edilen moment taşıma kapasitesi değerleri	118
Çizelge 4.32. Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, moment taşıma kapasitesi etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi.....	118
Çizelge 4.33. Birleştirme tekniğine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları.....	119
Çizelge 4.34. Malzeme çeşidine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları.....	119
Çizelge 4.35. Birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	120
Çizelge 4.36. Levha kalınlığına göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	120
Çizelge 4.37. Birleştirme tekniği ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	121
Çizelge 4.38. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları.....	121
Çizelge 4.39. Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığı üçlü etkileşimine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	122
Çizelge 4.40. Diyagonal çekme deneyleri sonucu elde edilen moment taşıma kapasitesi değerleri	123
Çizelge 4.41. Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, moment taşıma kapasitesi etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi.....	123
Çizelge 4.42. Birleştirme tekniğine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları.....	124
Çizelge 4.43. Malzeme çeşidine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları.....	124
Çizelge 4.44. Birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	125
Çizelge 4.45. Levha kalınlığına göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları.....	125

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.46. Birleştirme tekniği ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	126
Çizelge 4.47. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları.....	126
Çizelge 4.48. Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığı üçlü etkileşimine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	127
Çizelge 4.49. Ön çerçevesiz deney kutularının kuvvet taşıma kapasitesi değerleri .	128
Çizelge 4.50. Ön çerçeveli deney kutularının kuvvet taşıma kapasitesi değerleri ...	129
Çizelge 4.51. Çerçeve tipi, birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, kutu tipi mobilyaların kuvvet taşıma kapasitesi etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi	130
Çizelge 4.52. Çerçeve tipine göre kuvvet taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	131
Çizelge 4.53. Birleştirme tekniğine göre kuvvet taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları.....	131
Çizelge 4.54. Çerçeve tipi ve birleştirme tekniğine göre kuvvet taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları.....	132
Çizelge 4.55. Malzeme çeşidine göre kuvvet taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	132
Çizelge 4.56. Çerçeve tipi ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre kuvvet taşıma değeri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	133
Çizelge 4.57. Çerçeve tipi, birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi üçlü etkileşimine göre kuvvet taşıma değeri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları.....	133
Çizelge 4.58. Levha kalınlığına göre kuvvet taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	134
Çizelge 4.59. Çerçeve tipi ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre kuvvet taşıma değeri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	134

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.60. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre kuvvet taşıma değeri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	135
Çizelge 4.61. Eğilme deneylerinde rijitlik katsayıları, ortalamaları, determinasyon ve yüzde varyasyon katsayıları	137
Çizelge 4.62. Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, eğilme deneylerinde birleştirmelerin rijitliğe etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi	137
Çizelge 4.63. Birleştirme tekniğine göre rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	138
Çizelge 4.64. Malzeme çeşidine göre rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	138
Çizelge 4.65. Levha kalınlığına göre rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	139
Çizelge 4.66. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığına göre rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları.....	139
Çizelge 4.67. Eğilme deneylerinde ansys ve deney sonuçları karşılaştırmaları.....	140
Çizelge 4.68. Diyagonal çekme deneylerinde rijitlik katsayıları, ortalamaları, determinasyon ve yüzde varyasyon katsayıları	146
Çizelge 4.69. Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, diyagonal çekme deneylerinde birleştirmelerin rijitliğe etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi	147
Çizelge 4.70. Malzeme çeşidine göre rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	147
Çizelge 4.71. Levha kalınlığına göre rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	148
Çizelge 4.72. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığına göre rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları.....	148
Çizelge 4.73. Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığı üçlü etkileşimine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	149

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.74. Diyagonal çekme deneylerinde ansys ve deney sonuçları karşılaştırmaları	150
Çizelge 4.75. Diyagonal basınç deneylerinde rijitlik katsayıları, ortalamaları, determinasyon ve yüzde varyasyon katsayıları	155
Çizelge 4.76. Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, diyagonal basınç deneylerinde birleştirmelerin rijitliğe etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi	156
Çizelge 4.77. Malzeme çeşidine göre rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	156
Çizelge 4.78. Birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre rijitlik katsayısı değeri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	157
Çizelge 4.79. Levha kalınlığına göre rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	157
Çizelge 4.80. Birleştirme tekniği ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları.....	158
Çizelge 4.81. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığına göre rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları.....	158
Çizelge 4.82. Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığı üçlü etkileşimine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	159
Çizelge 4.83. Diyagonal basınç deneylerinde ansys ve deney sonuçları karşılaştırmaları	160
Çizelge 4.84. Panellere ait rijitlik katsayıları, ortalamaları, determinasyon ve yüzde varyasyon katsayıları.....	165
Çizelge 4.85. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, ahşap kompozit panellerin rijitliğine etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi	165
Çizelge 4.86. Malzeme çeşidine göre rijitlik katsayısı ortalamaları karşılaştırma sonuçları	166
Çizelge 4.87. Levha kalınlığına göre rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	166
Çizelge 4.88. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığına göre panellerin rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	167

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.89. Ön çerçevesiz deney kutularına mobilyalara ait rijitlik katsayıları, ortalamaları, determinasyon ve yüzde varyasyon katsayıları	168
Çizelge 4.90. Ön çerçeveli deney kutularına mobilyalara ait rijitlik katsayıları, ortalamaları, determinasyon ve yüzde varyasyon katsayıları	169
Çizelge 4.91. Çerçeve tipi, birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, kutu tipi mobilyaların rijitliğine etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi	170
Çizelge 4.92. Çerçeve tipine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	171
Çizelge 4.93. Malzeme çeşidine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	171
Çizelge 4.94. Çerçeve tipi ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları.....	172
Çizelge 4.95. Birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	172
Çizelge 4.96. Çerçeve tipi, birleştirme tekniği, ve malzeme çeşidi üçlü etkileşimine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	173
Çizelge 4.97. Levha kalınlığına göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	173
Çizelge 4.98. Çerçeve tipi ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları.....	174
Çizelge 4.99. Birleştirme tekniği ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	174
Çizelge 4.100. Çerçeve tipi, birleştirme tekniği, ve levha kalınlığı üçlü etkileşimine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	175
Çizelge 4.101. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları.....	175
Çizelge 4.102. Çerçeve tipi malzeme çeşidi ve levha kalınlığı üçlü etkileşimine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları	176

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.103. Çerçeve tipi, birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığı dörtlü etkileşimine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları.....	177
Çizelge 4.104. Kutu tipi mobilyalarda deneysel (gerçek), teorik ve sonlu eleman metoduna göre ort. kuvvet-yer değiştirme ilişkileri (y1) ...	183
Çizelge 4.105. Kutu tipi mobilyalarda deneysel (gerçek), teorik ve sonlu eleman metoduna göre ort. y1-y2-y3 yer değiştirme ilişkileri	184
Çizelge 4.106. Deney ve standarda göre rijitlik katsayısı değerleri ilişkileri	186

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Mühendislik tasarımı noktasından mobilya konstrüksiyon tasarımı süreci	2
Şekil 2.1. Tablalarda yükleme modelleri	11
Şekil 2.2. Bir Fv yükü altındaki kutunun yer değiştirme miktarı	12
Şekil 2.3. Levhaların F yükü altındaki yer değiştirme miktarı	13
Şekil 2.4. Kutularda yükleme modelleri (a) burulma, (b) diyagonal yükleme	14
Şekil 2.5. Deformasyon ölçme yöntemleri	15
Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan kavela boyutları (ölçüler mm)	35
Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan vida boyutları (ölçüler mm)	35
Şekil 3.3. Eğilme dayanımı ve eğilmede elastikiyet modülü test düzeneği ve ölçüleri	41
Şekil 3.4. Ahşap köşe birleştirmelerinin mukavemet deney metotları	45
Şekil 3.5. “L” ipi birleştirme deney örneğinin perspektif ve ölçüleri	46
Şekil 3.6. Deney örneklerinin kavela delik merkezleri (ölçüler mm)	47
Şekil 3.7. Deney örneklerinin vida delik merkezleri (ölçüler mm)	47
Şekil 3.8. Deney düzeneği, kuvvet uygulama uzaklığı ve yer değiştirme ölçümü	49
Şekil 3.9. Diyagonal çekme deneyinde moment kolu mesafeleri	50
Şekil 3.10. Basınç deneyinde moment kolu mesafeleri	51
Şekil 3.11. Panel rijitliği yük yer-değiştirme şekli	53
Şekil 3.12. Çerçevesiz kutulara ait genel ölçüler (mm)	56
Şekil 3.13. Çerçevele kutulara ait genel ölçüler (mm)	57
Şekil 3.14. Bir Fv yükü altındaki kutunun yer değiştirme miktarı	62
Şekil 3.15. Tasarımda sonlu elemanlar metodu’nun rolü	65
Şekil 3.16. Solid 64 sonlu eleman özellikleri	69

Şekil	Sayfa
Şekil 3.17. İzotrop, ortotrop ve anizotrop malzemelerde gerilmeye bağlı davranışlar (normal gerilme ve kayma gerilmeleri)	72
Şekil 3.18. Bir kayın numunesine ait eğilme deneyinde elde edilen gerilme-deformasyon eğrisi	75
Şekil 3.19. Ahşap malzemede yönler.....	78
Şekil 4.1. “L” tipi birleştirmelerde eğilme deneylerinde (a) kavelalı ve (b) vidalı birleştirmelerin deformasyon biçimleri	104
Şekil 4.2. “L” tipi birleştirmelerde çekme deneylerinde vidalı (a) ve kavelalı (b) birleştirmelerin deformasyon biçimleri	105
Şekil 4.3. “L” tipi birleştirmelerde basınç deneylerinde kavelalı (a) ve vidalı (b) birleştirmelerin deformasyon biçimleri	106
Şekil 4.4. Kavelalı birleştirmelerde deformasyon	107
Şekil 4.5. Vidalı birleştirmelerde deformasyon.....	107
Şekil 4.6. Çerçevesi-kavelalı kutu tipi mobilyalarda deformasyon karakteristikleri.....	109
Şekil 4.7. Çerçevesi-vidalı kutu tipi mobilyalarda deformasyon karakteristikleri ...	110
Şekil 4.8. 18 mm kalınlığında MDF ile üretilen kavelalı “L” tipi birleştirmelerde kuvvet–yer değiştirme ilişkisi	136
Şekil 4.9. 18 mm kalınlığındaki MDF ile üretilen eğilme deney örneklerinin yük-yer değiştirme sonucunda elde edilen Ansys ve deney sonuçları arasındaki ilişki.....	141
Şekil 4.10. 16 mm kalınlığındaki MDF ile üretilen eğilme deney örneklerinin yük-yer değiştirme sonucunda elde edilen Ansys ve deney sonuçları arasındaki ilişki	151
Şekil 4.11. 18 mm kalınlığındaki YL ile üretilen eğilme deney örneklerinin yük-yerdeğiştirme sonucunda elde edilen Ansys ve deney sonuçları arasındaki ilişki	161
Şekil 4.12. 18 mm kalınlığındaki MDF ile üretilen deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen ansys, teorik ve deney sonuçları arasındaki ilişkiyi gösterir diyagram	185

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Çekme deney örneği ve test düzeneği	38
Resim 3.2. Basınç dayanımı deney örneği ve deney düzeneği	39
Resim 3.3. Eğilme dayanımı ve eğilmede elastikiyet modülü deney örneği resmi	41
Resim 3.4. İç yapışma deney örneği ve test düzeneği	42
Resim 3.5. Liflere paralel yöndeki makaslama direnci deney numunesi.....	43
Resim 3.6. Vida çekme direnci deney örneği ve test düzeneği.....	44
Resim 3.7. Kavela çekme direnci deney örneği ve test düzeneği.....	45
Resim 3.8. Deney örneklerinin çoklu delik makinesinde delik işlemi	46
Resim 3.9. “L” tipi birleştirmelerde eğilme deneyleri için yükleme şekli ve deney düzeneği	49
Resim 3.10. Diyagonal çekme deney düzeneği ve yük uygulama noktası	50
Resim 3.11. Diyagonal basınç deney düzeneği ve yük uygulama noktası	52
Resim 3.12. Panel rijitliği deney düzeneği ve yük uygulama noktası	53
Resim 3.13. Çerçevesiz kutulara ait deney düzeneği ve yük uygulama noktası	56
Resim 3.14. Çerçeveli kutulara ait deney düzeneği ve yük uygulama noktası	57
Resim 3.15. Kutu tipi mobilyalarda deney düzeneği ve yük uygulama noktası	59
Resim 3.16. Kutu tipi mobilya testlerinde yük uygulama başlığı	60
Resim 3.17. Kutu tipi mobilyalarda sınır şartları, mesnet koşulları	60
Resim 3.18. Kutu tipi mobilyada deneylerinde yer-değiştirme (a) dikey (b) yatay ölçümlerin yapılışı	61
Resim 3.19. ANSYS 10.0 sonlu elemanlar paket programında analiz tipinin belirlenmesi	65
Resim 3.20. Cad programında çizilen 3 boyutlu resmin Ansys 10.0 programına import edilmesi	66

Resim	Sayfa
Resim 3.21. Tel kafes görünümündeki şeklin katı modele dönüştürülmesi	67
Resim 3.22. Hacimlerin birleştirilmesi	68
Resim 3.23. Eleman tipinin belirlenmesi	69
Resim 3.24. Malzeme özelliklerinin belirlenmesi	70
Resim 3.25. Çalışma düzlemlerinin belirlenmesi (work plane) (a,b)	81
Resim 3.26. Elemanlara ayırma (meshing) işlemi (a) kavela ve vida (b) levha.....	82
Resim 3.27. “L” tipi birleştirmelerde elemanlara ayırma (meshing) işlemi	83
Resim 3.28. Basınç deneyinde sınır şartları	84
Resim 3.29. Basınç deneyinde yükün uygulanması	85
Resim 3.30. Basınç deneylerinde (a) sınır şartları ve (b) yükleme modeli	86
Resim 3.31. Eğilme (a) ve çekme (b) deneylerine sınır şartları ve yükleme modeli..	87
Resim 3.32. Kutu tipi (a) çerçevesiz, (b) çerçeveli deneylerde sınır şartları ve yükleme modeli	88
Resim 4.1. “L” tipi birleştirmelerde eğilme deneyleri sonucunda gözlenen deformasyon biçimleri	104
Resim 4.2. “L” tipi birleştirmelerde çekme deneyleri sonucunda gözlenen deformasyon biçimleri	105
Resim 4.3. “L” tipi birleştirmelerde basınç deneyleri sonucunda gözlenen deformasyon biçimleri	106
Resim 4.4. Çerçevesiz kutu tipi mobilyalarda deformasyon karakteristikleri	108
Resim 4.5. Ön çerçeveli kutu tipi mobilyalarda göçme tipleri.....	111
Resim 4.6. Ön çerçeveli kutu tipi mobilyalarda köşe deformasyon karakteristikleri.....	112
Resim 4.7. “L” tipi birleştirmelerin eğilme deney yükleri altındaki (a) yerdeğiştirme, (b) gerilme-stress biçimi	142

Resim	Sayfa
Resim 4.8. “L” tipi birleştirmelerin eğilme deney y¼kleri altındaki (a) yerdeğiştirme, (b) elastic uzama-(elastic strain)	143
Resim 4.9. 16 mm MDF levhada kavelalı birleştirmede ansys sonu¼ları (a) sehim, (b) gerilme-stress, (c) elastic uzama-elastic strain.....	144
Resim 4.10. 14 mm kontrplak levhada (a) kavelalı birleştirmelerde uzama ve (b) gerilme, vidalı birleştirmelerde (c) uzama değerleri	145
Resim 4.11. Kavelalı birleştirmelerde çekme deneyleri sonucu elde edilen (a) deformasyon ve (b) gerilme değişimleri.....	152
Resim 4.12. Vidalı birleştirmelerde çekme deneyleri sonucu elde edilen (a) deformasyon ve (b) gerilme değişimleri.....	153
Resim 4.13. Birleştirmelerde çekme deneyleri sonucu elde edilen (a) deformasyon, (b) elastic strain, (c) şekil değişimi, (d) gerilme değişimleri.....	154
Resim 4.14. Kavelalı birleştirmelerde basınç deneyleri sonucu elde edilen (a) deformasyon ve (b) gerilme değişimleri.....	162
Resim 4.15. Vidalı birleştirmelerde basınç deneyleri sonucu elde edilen (a) deformasyon ve (b) gerilme değişimleri.....	163
Resim 4.16. Birleştirmelerde basınç deneyleri sonucu elde edilen (a) deformasyon, (b) uzama (c) gerilme değişimleri	164
Resim 4.17. Kutulara ait genel görünüm ve uzama ölçüm noktaları y_1 , y_2 ve y_3	178
Resim 4.18. Kavelalı birleştirmelerde çerçevesiz kutu tipi mobilya deneyleri sonucu elde edilen (a) y_1 , (b) y_2 ve (c) y_3 değerleri.....	179
Resim 4.19. Kavelalı birleştirmelerde çerçevesiz kutu tipi mobilya deneyleri sonucu elde edilen (a) y_1 , (b) y_2 ve (c) y_3 değerleri.....	182

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
A_0	Deney numunesinin deneyden önceki alanı
b	Eğilmede numune genişliği, mm
E	Eğilmede elastikiyet modülü, N/mm^2
f_m	Eğilme dirnci, N/mm^2
F_1	Maksimum kuvvetin % 10'u, N
F_2	Maksimum kuvvetin % 40'ı, N
F_{max}	Kırılma anındaki maksimum kuvvet, N
g	Gram
G	Panelin rijitlik veya kesme modülü, N/mm^2
h	Eğilmede numune yüksekliği, mm
L	Eğilmede deney numune boyu, mm
L_s	Eğilmede mesnet açıklığı, mm
L_1	Panelin burkulma eksenindeki uzunluğu,
L_2	Panel genişliği, mm
l_p	Levhaya girme mesafesi, mm
m	Kütle, gr
N	Newton
Nm	Newton metre
V	Hacim
r	Rutubet, %
t	Panel kalınlığı, mm
ν	Poisson oranı
y	Serbest köşedeki deformasyon, mm
Δ_F	Yük-sehim oranlılık bölgesindeki yük artışı,
δ	Yoğunluk, g/cm^3

σ_{ζ}	Çekme direnci, N/mm ²
σ	Normal gerilme
σ_b	Basınç direnci, N/mm ²
V	Varyasyon katsayısı, %

Kısaltmalar**Açıklama**

ANOVA	Analysis of Variance
ASTM	American Society for Testing and Materials
BS	British Standards
NS	Nonsignificant (Fark Önemsiz)
FEM	Finite Element Method
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
SEM	Sonlu Elemanlar Metodu

1. GİRİŞ

Bir mobilya tasarlanırken dikkate alınması gereken üç alan vardır. Bunlardan birincisi olan fonksiyonel 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, form, doku, renk, çizgi vb. hususların tasarlanmasını konu alan sanatsal bir çalışmadır. Son tasarım alanı olan mühendislik tasarımı da, mobilyada ergonomik kriterlerin, malzemelerin, yapım tekniklerinin ve üretim teknolojilerinin optimum şekilde belirlenmesi işlemleridir. Mobilya üretiminde genel olarak, kutu, çerçeve ve kombine olmak üzere üç temel konstrüksiyon kullanılmaktadır. Üretimde tablaların kullanıldığı mobilyalar kutu (panel) tipi, masif çerçevelerin yer aldığı mobilyalar çerçeve (iskelet) tipi, her iki eleman tipinin de kullanıldığı mobilyalar ise kombine konstrüksiyonlu mobilyalar olarak isimlendirilmektedir [1].

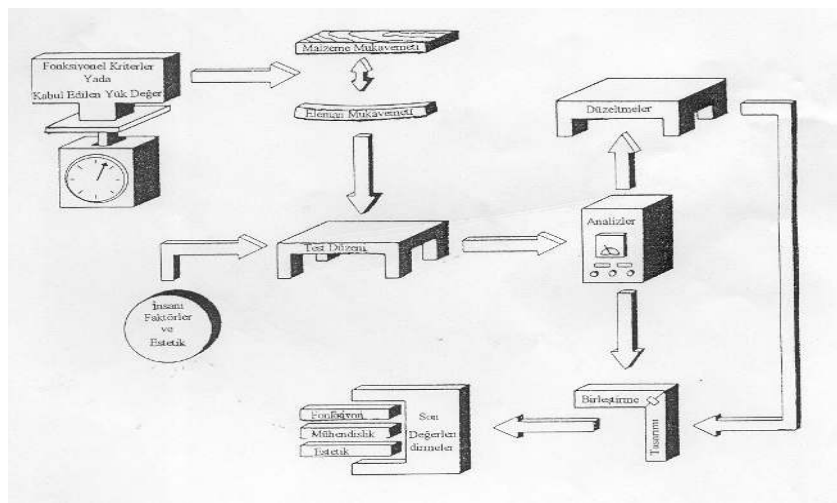
Günümüz modern evlerinde, duvar dolapları ve yer dolapları; mutfak, banyo, ofis ve diğer mekanlarda depolama amaçlı kullanılan vazgeçilmez mobilyalardır. Mobilya üniteleri çok amaçlı kullanıldıkları için; kullanımı sırasında etkisinde kalacakları yüklerin büyüklükleri ve nitelikleri çok değişken yapıdadır. Bunlar, bazı durumlarda hafif yüklerin etkisinde kalırken, bazı durumlarda ise; ağır yüklerin etkisinde kalabilirler. Mobilyaların yük altındaki kararlılığı ve mukavemeti; elemanların birleştirme tekniklerine, üretilmiş oldukları malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlıdır. Çerçeve konstrüksiyonlu mobilyalarda çubukların eğilme direnci, kutu tipi mobilyalarda ise tablaların rijitliği sistem direnci üzerinde daha etkili olmaktadır.

Genellikle kutu konstrüksiyonlu sistemlere ait birleştirmelerin test edilmesinde “L” ve “T” tipi elemanlar kullanılmaktadır. Sistemin bağlantı yerleri tabla eksenleri doğrultusunda; çekme, eğilme ve makaslama, tabla köşegenleri doğrultusunda ise burulma yüklerinin etkisinde kalmaktadır. Kutu sistemler kullanım esnasında anılan bu dış etki kuvvetlerinin muhtemel etkilerine direnç gösterebilmelidirler. İstenilen mukavemet ve dayanıklılık ihtiyaçlarını karşılayabilecek uygun mobilya tasarımı,

mobilya birleştirmelerinde kullanılan bağlayıcıların tutma dirençlerinin yaklaşık değerlerle önceden bilinmesini tahmin etmeyi gerektirmektedir [2].

Bir mobilyanın mühendislik tasarımı, aşağıdaki safhalardan oluşan bir işlemler sürecidir:

- Muhtemel yüklerin analizi; Mobilyanın kullanım esnasında üzerine alacağı yüklerin kararlaştırılması,
- Elemanların muhtemel ölçülerinin belirlenmesi ve deney düzeninin hazırlanması: söz konusu yükleri taşıyacak elemanların ya da parçaların tahmini ölçülerinin çıkarılması ve bir deneme düzeninin hazırlanması,
- Yük altındaki elemanda oluşan iç kuvvetlerin büyüklük ve dağılım analizi: deneydeki mobilya ve elemanın (dış kuvvetlerin etkisi altında iken oluşan) iç kuvvetlerinin büyüklük ve analizlerinin yapılması,
- İç gerilmelerin optimizasyonu: eğer gerekli ise; deney yapısının tekrar düzenlenmesi ve hiçbir parçada gereğinden fazla zorlanma (gerilme) kalmayınca kadar işlemlerin tekrar edilmesi,
- Güvenilir bir konstrüksiyon–birleştirme-tasarımı: mobilyanın kullanım esnasında üzerine alacağı dış yükler ile bu yüklerin meydana getireceği iç gerilmeleri güvenle taşıyacak bir konstrüksiyonun –birleştirmenin- tasarımı. İstenilen hizmet şartlarına sahip bir mobilyanın tasarımında geçerli olabilecek sistematik bir yöntem Şekil 1.1’de verilmiştir [3,1].



Şekil 1.1.Mühendislik tasarımı noktasından mobilya konstrüksiyon tasarımı süreci [3,1].

Burada, birinci safha, mobilyanın kullanım esnasında karşı koymak durumunda olduğu yüklerin tutarlı bir mantıkla kararlaştırılmasıdır. Mukavemet etme durumuna bağlı olarak yükler alternatifli olarak tasarlanabilir. Bir mutfak dolabına ne kadar ve ne ağırlıkta tabak konulacaktır ya da bir kitap rafına ne kadar yük konulacaktır? İkinci safha: Mobilyanın üzerine gelmesi muhtemel yükleri güvenle taşıyıp taşıyamamasının deneneceği bir deney düzeneğinin oluşturulmasıdır. Kullanılan malzemenin kopma mukavemeti birincil öneme sahip olmalı ayrıca yorulma ve şok mukavemetleri, yük altında eğilip eğilmemesi, geliştirilmiş güçlü fabrikasyon birleştirmeler için uygun olup olmadığı ve bu özelliklerin her parçadaki değişimleri bilinmelidir. Mühendislik işlemleri sürecinde son safha, birleştirmelerin tasarımıdır. Böylece analizlerin tamamlanması ve eleman ölçülerinin tespitinden sonra her birleştirmeye gelen zorlama kuvvetleri güvenilir doğrulukta tanımlanır. Burada zayıf birleştirmeler nedeniyle sistemin deforme olduğu söylenebilir [3,1].

Çoğu zaman bir yapıda veya sistemde aranılan en büyük nitelik mukavemettir. Yani yüklerin emniyetle taşınabilmesidir. Ancak bazı hallerde, yapının mukavemeti yanında, deformasyonuda büyük önem taşır. Kesit tayininin mukavemetten ziyade sınırlandırılan sehimle etkilendiği haller olabilir [4]. Yük altındaki malzemenin içinde meydana gelen gerilmeler ile şekil değiştirmeler arasındaki bağıntıların, mühendislik hesaplamalarında önemli bir yeri vardır. Mühendislik uygulamalarında, herhangi sürekli bir ortama etki eden yükler altında doğacak olan şekil değiştirme ve gerilmelerin teorik yoldan hesaplanabilmesi için, o malzemeye ait gerilme-deformasyon bünye denkleminin deneysel yol ile tayin edilmesi gerekmektedir [5].

Problemin tanımlanması

Günümüzde, mutfak, banyo ve ofis-büro gibi mekanlar için üretilen kutu tipi mobilyalar üzerinde yapılan incelemelerde; sistematik olarak ürün mühendisliği yöntemlerinin yeterli derecede uygulanmadığı görülmektedir. Ayrıca, piyasada üretilen kutu mobilya ünitelerinin, kullanım yükleri altındaki davranışları hakkında öngörüler yapılabilmesini sağlayacak performans testlerinin de yaygın olarak kullanılmadığı görülmektedir. Bunlarla bağlantılı olarak kutu konstrüksiyonlu

mobilyaların performans testlerinin yapılmasını sağlayacak ulusal deney standartları ile kabul edilebilir tasarım yükleri de belirlenmiş değildir. Türkiye mobilya sektöründe küçük, orta ve büyük ölçekli çok sayıda işletme vardır. Ayrıca Türkiye; genç nüfusu, dinamizmi ve coğrafi konumu sebebiyle öncelikle Avrupa ülkeleri olmak üzere, ilişkili olduğu tüm ülkelere ürünlerini pazarlayabilecek ve ihraç edebilecek potansiyele sahiptir. İstenilen bu durumların gerçekleşebilmesi için, üretilen mobilyalarda istikrarlı bir kalite düzeyinin sağlanması gerekmektedir. Kalite için de; ürün mühendisliği yöntemleri uygulanmalı, performans testleri için metotlar geliştirilmeli, bu testlerin uygulanabileceği laboratuvarlar tesis edilmeli, standartlar oluşturulmalı ve uygulanmalıdır.

Türkiye’de üretilen mutfak mobilyaları incelendiğinde; 18 mm kalınlığındaki standart levhaların kullanıldığı görülmektedir. Dolap arkılığı olarak ise genellikle 3-5 mm kalınlığındaki levhalar kullanılmaktadır. Özellikle duvar dolaplarında kullanılan 18 mm kalınlığındaki levhaların, duvar dolabını taşıyan bağlantı elemanlarına aşırı yük getirdiği, bağlantı elemanlarının öncelikle dolabın kendi ağırlığını taşıyacağı, daha sonra da kullanım yüklerini taşıyacağı düşünülürse, daha düşük kalınlıktaki levhalar kullanılması ile taşıma kapasitelerinin artırılacağı düşünülebilir. Bu durumda dolabın rijitliği veya mukavemetinin artırılması değil, dolap-duvar bağlantısının daha güçlü hale getirilmesi amaçlanabilir. Uygun konstrüksiyon teknikleri geliştirilerek levha kalınlığı ve diğer parametreler optimize edilebilir. Böylece sadece teknik uygunluk değil, aynı zamanda ekonomik fayda da sağlanmış olabilir.

Daha düşük kalınlıktaki levhalar kullanmak suretiyle maliyet açısından da önemli avantajlar kazanılabilir. Ancak; daha düşük kalınlıktaki levhalardan üretilen kutu mobilyaların mukavemetinin yeterli düzeyde olabilmesi için, çeşitli önlemler almak gerekmektedir. Hem malzemenin hem de birleştirmelerin konstrüksiyon teknikleri geliştirilmeli, bu kalınlıktaki levhaların mekanik davranış özellikleri incelenmelidir. Ayrıca; 18 mm kalınlığındaki standart levhalardan üretilen mobilya üniteleri ile mukavemet bakımından karşılaştırmaları yapılarak optimizasyon sağlanmalıdır.

Bilim adamları ve mühendisler alışılmış analitik metotlarla çözümü çok zor hatta imkansız fiziksel problemlerle sık sık karşılaşır. Örneğin bir dış kuvvet takımı etkisinde üç boyutlu bir elastik cisim düşünelim. Bu kuvvetlere cismin "kesin" tepkisini hesaplamak için deformasyonlar cinsinden yazılmış denklemlerin bir "kapalı form" çözümünü arama zorunluluğu vardır. Bununla birlikte genellikle kompleks geometrik şekilli uygulama problemlerinin böyle bir çözümünü elde etmek aşırı ölçüde zor ve çoğunlukla imkansızdır. Bu tip problemler mühendislik ve diğer bilim dallarında çok sık ortaya çıkmaktadır. Böyle bir problemle karşılaşan çözümleyici doğal olarak "sayısal" adı verilen çözüme başvuracaktır. Başka metotlarla çözülemeyen problemlerin çözümünde kullanılabilen çok sayıda sayısal yol vardır. Sonlu eleman metodu bunlardan biridir. Sonlu eleman metodu yeni bir çözüm yöntemi olup kendisini diğerlerine üstün kılan seçkin özelliklere sahiptir [6].

Bilgisayar kullanımının yaygınlaşması ve teknolojinin gelişmesiyle, sonlu elemanlar programlarının modern mobilya tasarım sürecinin birçok basamağında kullanımı mümkün olmaktadır. 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. Bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve üretim (CAM) mobilya üretim ve tasarımında kullanılmakta ve ürün kalitesine büyük katkılar sağlamaktadır. Ayrıca, son yıllarda mobilya sistemlerinin yapısal analizinde sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılmaktadır [7].

Hipotez

Sağlam, kaliteli ve ekonomik kutu mobilyalar üretebilmek amacı ile test yöntemleri ve 3 boyutlu yapısal analizleri de kapsayan mobilya mühendisliği yaklaşımları geliştirilebilir.

Çalışmanın amaçları

Çalışmanın temel amacı, kutu konstrüksiyonlu mobilya tasarımında bilgisayar destekli 3 boyutlu yapısal analizler ve performans deneylerini kapsayan mühendislik yaklaşımının uygulanabilirliğini araştırmak, farklı kalınlık ve farklı konfigürasyonda, çeşitli malzeme ve birleştirme teknikleri ile üretilmiş kutu tipi mobilyaların mekanik performansları hakkında sayısal veriler elde etmektir.

Çalışmada amaç; kutu tipi mobilya ve kutu tipi mobilya köşe birleştirmelerin yük altındaki mekanik davranış özelliklerini, genel teoriden elde edilen denklemleri uygulayarak incelemek, teorik ifadeler ile deneysel (gerçek) ve sonlu eleman yapısal analiz programları ile davranışlarının ne kadar yaklaşıklıkla temsil edilebileceğini araştırmaktır.

Çalışmanın alt amaçları

- Ön çerçeveli ve ön çerçevesiz olarak üretilmiş deney kutularının mukavemeti hakkında sayısal veriler elde etme,
- YL, MDF ve OKP ile üretilmiş deney kutularının yük altındaki mekanik davranışlarının belirlenmesi,
- Kavelalı ve kavelalı vidalı birleştirme teknikleri ile üretilmiş kutu konstrüksiyonlu mobilyaların mukavemetlerinin saptanması,
- 14, 16 ve 18 mm levha kalınlıkları kullanılarak üretilmiş kutu konstrüksiyonlu mobilyalarda teknik ve ekonomik tercih kriterlerinin belirlenmesi,
- Sonlu elemanlar yöntemi (FEM-Finite Element Method) kullanılarak bilgisayar destekli üç boyutlu yapısal analizlerinin yapılması ve testlerden elde edilen veriler ile analiz verilerinin karşılaştırılması ve sonuç olarak sonlu elemanlar analizi metoduyla yapılan üç boyutlu yapı analizlerinin, mobilyanın genel mukavemeti açısından kabul edilebilir tahmini değerler verip vermediğinin ve bunların mobilya ürün mühendisliğinde kullanılıp kullanılamayacağını araştırılmasıdır.

Çalışmanın kapsam ve yöntemi

Yukarıda belirtilen amaçlara ulaşabilmek için;

- Kutu tipi mobilyaların ön çerçeveli ve ön çerçevesiz olarak tasarımı, 3 farklı ahşap kompozit malzeme, 2 birleştirme tekniği (kavelalı ve kavelalı-vidalı), 3 levha kalınlığı ve her örnekten 3 adet olmak üzere, $(2 \times 3 \times 2 \times 3 \times 3 = 108)$ toplam 108 adet 1/1 ölçekli deney kutularının üretimi.
- Deney yönteminin belirlenmesi, bu metoda uygun geçerli bir deney düzeneğinin tasarımı ve üretimi,
- Deney kutularında kullanılan malzemelerin, mukavemet tasarımında ihtiyaç duyulacak bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi;
 1. Yoğunluk ve rutubet tayini,
 2. Liflere veya levha yüzeyine paralel çekme direncinin belirlenmesi,
 3. Liflere veya levha yüzeyine paralel basınç direncinin belirlenmesi,
 4. Liflere veya levha yüzeyine dik eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülünün belirlenmesi,
 5. Liflere veya levha yüzeyine dik çekme direncinin belirlenmesi,
 6. Liflere veya levha yüzeyine paralel kesme direncinin belirlenmesi,
 7. Levhalarda vida çekme direncinin belirlenmesi,
 8. Levhalarda kavela çekme direncinin belirlenmesi,
- Bağlantı elemanları ve birleştirmelerle ilgili deneylerin yapılması,

L-Tipi birleştirmelerde;

1. Eğilme deneyi,
2. Diyagonal çekme deneyi,
3. Diyagonal basınç deneyi,

“L” tipi deneylerde, 2 birleştirme tipi (kavelalı ve vidalı), 3 ahşap kompozit malzeme (yongalevha, MDF ve kontrplak), 3 farklı kalınlık (14,16 ve 18 mm), ve 5 adet yineleme olacak şekilde, eğilme deneyleri için toplam 90 adet ($2 \times 3 \times 3 \times 5 = 90$), diyagonal çekme deneyleri için toplam 90 adet ve diyagonal basınç deneyleri için

toplam 90 adet olmak üzere genel toplamda 270 adet L-tipi deney numunesi hazırlanması;

- Panel rijitliklerinin belirlenmesi,
- Laboratuvarda performans deneylerinin yapılması ve çeşitli düzeylerde sayısal verilerin elde edilmesi,
- Maksimum yüklere göre teorik formüller kullanılarak yer değiştirmelerin hesaplanması,
- Kutu tipi mobilya ünitelerinin 1/1 ölçekli katı modellerinin üç boyutlu olarak bilgisayar ortamına aktarılması,
- Hem “L” tipi hemde deney kutularının bilgisayar ortamında üç boyutlu yapısal analizlerinin yapılması,
- Yük deformasyon ilişkilerinin irdelenmesi,
- Sonuçların karşılaştırılması,

Araştırmada; ahşap ve ahşap kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri, kavelalı ve vidalı birleştirilmiş deney örneklerinin moment taşıma kapasiteleri ve kutu rijitlik değerleri belirlenmesi. Sonuç olarak; hangi malzemenin nerede kullanılacağı ve hangi bağlantı tekniğinin hangi malzeme üzerinde uygulanacağı, bu teknolojik araştırmadan elde edilecek sayısal verilerle daha güvenli olarak belirlenebilecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kutu Konstrüksiyon Metotları

Mutfak dolabı genel yapısı itibarıyla kapaklı ya da çekmeceli bir kutudur. Basit bir kutu olmasına rağmen, kullanılan malzeme, boyutları, birleştirme geometrisi ve duvara bağlantı metotları gibi yapısal bir çok detay kutu analizlerinin direnç ve tasarım metotlarını komplike hale getirebilir. Kutu konstrüksiyon sistemlerinin yaygın iki tipi olup, bunlar çerçeveli ve çerçevesiz sistemlerdir. Diğer bütün konstrüksiyon sistemleri bu iki sistemin kombinasyonlarıdır [8]. Çerçevesiz kutular esas olarak üst, alt ve yan paneller ile çerçevesiz olarak üretilir. Bu kutular kısıtlı ahşap malzeme kaynakları sebebiyle 2. Dünya savaşı sonrası Avrupada geliştirilmiştir. Bir boşluğa yerleştirme temel alınarak, menteşe bağlantıları ve birleştirme bağlayıcıları 32 mm aralık esasına dayandıkları için çerçevesiz kutular aynı zamanda Avrupa stili ya da 32 mm sistemi olarak da ifade edilirler. Tipik olarak 32 mm sistemi; demonte tip bağlayıcılar delme ve kesme işlemlerinde yüksek doğruluk isteyen bağlantıları kullanır. Bu yüzden donatılara bağlı oluşacak herhangi bir hata ortadan kaldırılır. Tüm delikler modüler ve standart bir ölçüye göredir. Kutunun üst ve alt tablaları 8 mm ahşap kavelalar ile yan tablolara birleştirilirler. Malzemede kalınlığına göre kavela derinlikleri 13mm dir. Bu yüzden köşe sağlamlığı ve stabilitesi kavelalı birleştirmelerin direnci ve sağlamlığına bağlıdır [9]. Birleştirme direncinin levhaların gerilme direncine bağlı olduğu durumlarda, basınç altında yüklenen çoklu kavelalı birleştirmeler, levhaların iç yapışma direnci ile ilişkilidir [10]. Arka panel 5 mm kalınlıkta sert levhalardan yapılır. Bu levha (arkalık), yan panellerin arka kenarları boyunca açılan kınışın-lambanın içine yerleştirilir. Arka panel levhaları mobilya mukavemeti için kutu sistemine çok gerekli olan diyagonal sağlamlığı verirler [11].

Tarihsel olarak en eski mutfak kabini yapma metodu; kutu önüne bir çerçeve eklemekten ibarettir. Kontrplağın kullanıldığı ilk günlerde kutu mobilya yapmak için bu tek yöntemdi. Kutular arkalıksız yapılır ve duvara bağlanırdı. Çok az bir farkla ön çerçeveli kutu konstrüksiyonu en yaygın olan metottur. Ön çerçeveli kutular, yatay kayıt ve dikmelere sahiptirler. Genellikle çerçeveler masif ahşap malzemeden yapılır

birbirlerine zıvanalı ya da kavelalı birleştirilir. Çerçevesiz kutular normal olarak kenar levhalarına alt ve üst levhaları bağlamak için kavelalı birleştirilir. Çerçeveleli kabinler bir tutkal ve yaygın olarak tel çiviler kullanılarak birleştirilir. Kutunun bütününde sağlamlığa katkıda bulunmak için panel kenarları genellikle düz, lambalı-kinişli birleştirmeler ile yapılır. Nakledilmeden önce çerçeve kutular genellikle iş yerlerinde monte edilir [12]. İki konstrüksiyon sisteminin her biri yapısal bütünlük işlemleri ve müşteri kabulü bakımından avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Avrupa’da çoğunlukla çerçevesiz kutuların üretilmesine karşın çerçeveleli kutular Amerikan firmalarında daha yaygındır [13].

2.1.1. Kutu tipi mobilyaların yapısal davranışı

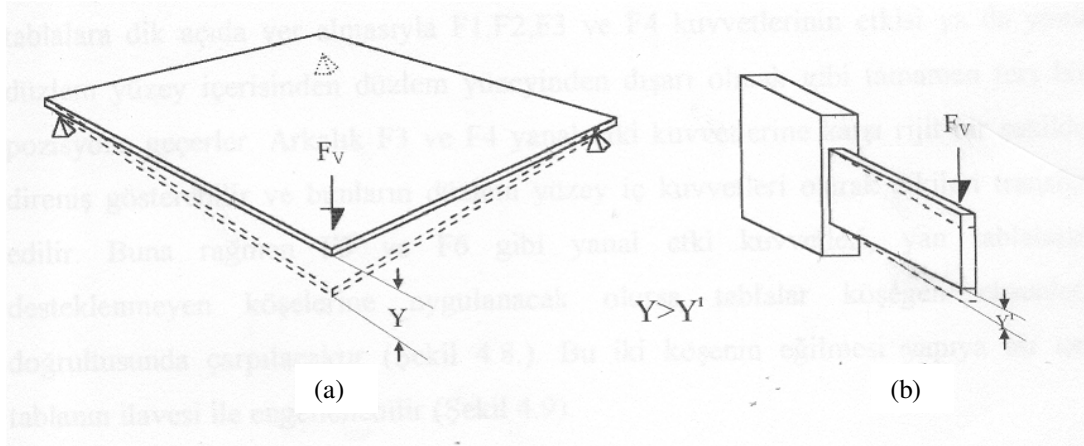
Birçok yapı için temel özellik, herhangi bir kusur oluşturmada tasarım yüklerini taşımasıdır. Bir kutu konstrüksiyonun tasarlanmasında, çeşitli bağlantı noktalarına yapılan yüklemelerle kutuların sağlamlıklarını belirlemek için bir analiz metodu gereklidir. Kutuların yapısal analizleri; çerçeve konstrüksiyonlu bir kutuda ön çerçeve, yanlar, üst, alt ve arkalıkları, ya da çerçevesiz kutu konstrüksiyonunda yanlar, üst, alt ve arka levhaları kapsayabilir. Çerçevesiz kutu konstrüksiyonda, levhaların burulma dirençleri, elemanlarının sertlik ve rijitliklerine bağlı iken; çerçeveleli kutularda eğilme direnci, elemanların rijitlikleri ve birleştirmelere bağlıdır. Her iki sisteminde davranışları birbirinden farklılıklar gösterir [1,3].

2.1.2. Tabla tipi konstrüksiyon sistemleri

Tabla tipi konstrüksiyonda yapının mukavemeti ve sağlamlığı önemli oranda tablaların burulma direnci ve rijitliğine bağlıdır. Genel olarak tabla tipi mobilyaların kutu görünümünde oldukları söylenebilir. Çoğunlukla dört yanlı, bir arkalıklı olurlar ve bu durumlarıyla tamamlanmış bir çerçeve şeklinde görünürler. Bir mobilyanın hemen hemen tüm elemanları tablalardan oluşuyorsa kutu mobilya tipi olarak tanımlanabilir. Eğer esas kutu konstrüksiyon üzerinde başka çerçeve, çekmece ve kapaklar taşıyor ise bu durumda genellikle yapı karkas tipi olarak tanımlanmaktadır. Normal bir kitap rafı kutu konstrüksiyona, çekmeceli bir çamaşır dolabı karkas

konstrüksiyona örnek olarak gösterilebilir. Mekanik yapım bakımından kutu kompleks olup, iç çerçevesi bulunanlar daha da karmaşık bir yapı arz ederler. Sadece tablalardan oluşan kutular, çerçeve artı tablalardan oluşan konstrüksiyon tiplerine göre daha sade bir yapı özelliğindedir. Mutfak dolaplarının yapısı çerçeve-tabla konstrüksiyona iyi bir örnek gösterilebilir. Fabrikada çerçevesi hazırlanan mobilyaların daha sonra tablaları eklenir. Çerçeveler kendilerini taşıyabilseler bile bağlandıktan sonra rijitliklerinde önemli bir artış meydana gelir [1,3].

Bu konstrüksiyonda tablalar Şekil 2.1a'daki gibi yüzey köşesinden yüklenirse çok esnek, eğer Şekil 2.1b'deki gibi cumbadan yüklenirse oldukça rijit davranış özellikleri gösterir. Tablalar boy eksenlerinin dik yönünde kolayca bükülmekte ters yönde ise çok zor konum değiştirmektedir [1,3].

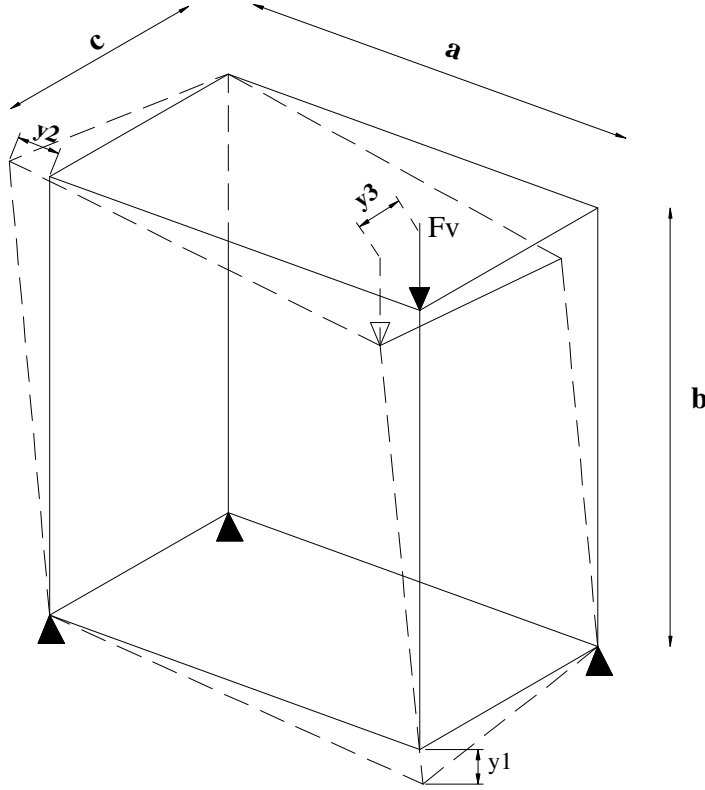


Şekil 2.1. Tablalarda yükleme modelleri [1,3].

- a) Tablalarda yüzeyden yükleme
- b) Tablalarda cumbadan yükleme

2.1.3. Kutu konstrüksiyonlu mobilyaların yer değiştirme analizi

Yapının bütününe mukavemeti için kutuda her bir elemanın rijitliği önemlidir. Basit beş tablalı bir kutu Şekil 2.2'de görüldüğü gibi üç köşesinden mesnetlenmiştir.



Şekil 2.2. Bir F_v yükü altındaki kutunun yer değiştirme miktarı [3].

Dikey F_v yükü altında mesnetlenmemiş olan köşenin yer değiştirmesi Eş. 2.1’de verilmiştir [3].

$$y_d = \frac{F_v}{f_v(B)/y_v(B) + f_v(T)/y_v(T) + (2b^2/a^2)(f_v(S)/y_v(S) + (b^2/c^2)(f_v(R)/y_v(R))} \quad (2.1)$$

Burada;

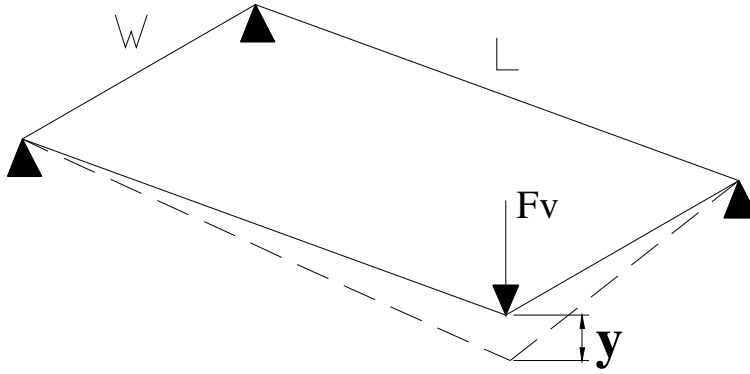
a, b, c = genişlik, yükseklik ve derinlik, (mm),

y_d = desteksiz olan köşenin F_v yükü altındaki yer değiştirmesi, (mm),

$f_v(B)/y_v(B), f_v(T)/y_v(T), (f_v(S)/y_v(S), ve (f_v(R)/y_v(R))$ (B=alt, T=üst, S=yan,

R=arkalık levhaların) burulma direncini veren değerlerdir.

Formül sonucuna göre öncelikle her levhanın rijitliklerinin bulunması gerekir. Alt, üst, yanlar ve arkalık panellerinin burulma dirençleri deneysel olarak bulunabilir. Şekil 2.3’de görüldüğü gibi test edilecek panel üç noktasından mesnetlenmiştir ve mesnetlenmeyen dördüncü noktadan F_v düşey yükü yüklenmiştir. Mesnetlenmemiş olan köşenin yer değiştirmesi ölçülür. Daha sonra kuvvet yer değiştirmeye bölünerek rijitlik değeri hesaplanır. Alternatif olarak her panelin rijitliği malzeme özelliklerine göre teorik olarak da Eş. 2.2 ile hesaplanır [3].



Şekil 2.3. Levhaların F yükü altındaki yer değiştirme miktarı [3].

$$\frac{f_v}{y_v} = \frac{t^3 G}{3wL} \Rightarrow G = \frac{f}{y} \cdot \frac{3 \cdot w \cdot L}{t^3} \quad (2.2)$$

Burada;

f_v = Panelin köşesinden uygulanan dikey yükleme dış kuvveti, (N),

y_v = Yer değiştirme miktarı, (mm),

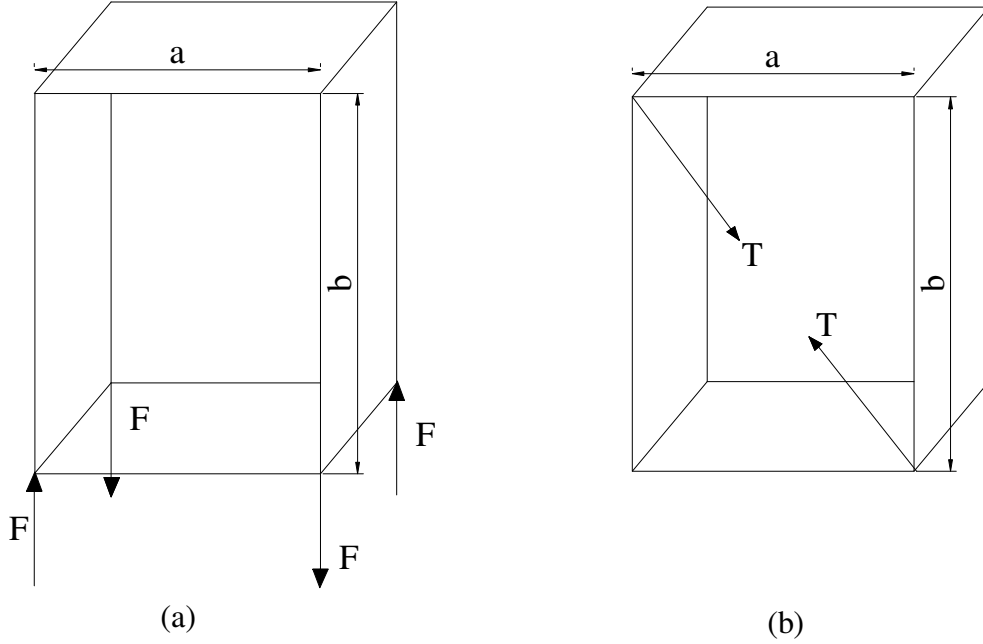
t = Levha kalınlığı, (mm),

L = Levha uzunluğu, (mm),

w = Levha genişliği, (mm),

G = Rijitlik modülü, (N/mm²).

2.1.4. Kutu rijitliği tanımlamaları



Şekil 2.4. Kutularda yükleme modelleri

- a) Burulma Yükları-Twisting forces
- b) Diyagonal Yükları-Diagonal forces

Kutu rijitliği ilk kez Kotaş (1958) tarafından tanımlanmıştır. Kotaş’a göre farklı burkulma-burulma türlerine-yüklarine maruz kalan açık kutular her zaman aynı şekilde deforme olacaktadırlar. İki önemli rijitliği tanımlama metodu vardır [14].

1. Şekil 2.4a’ daki gibi dikey bir f yükü uygulanırsa kutunun serbest köşesindeki yer değiştirme “y” ile gösterilir f/y değeri kutunun rijitliğini verir.
2. Şekil 2.4b’ deki gibi diyagonal yükleme T-kuvvetler, kutunun açık tarafındaki köşelerden içeriye doğru elmas şeklinde bükülerek uygulanmıştır. Aynı bükülmeyi sağlamak için kuvvetlerin iki eşdeğer sistemi arasındaki ilişki Eş 2.3’de verilmiştir.

$$T = \frac{1}{2} \cdot \frac{F}{b} \cdot \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2.3)$$

Burada;

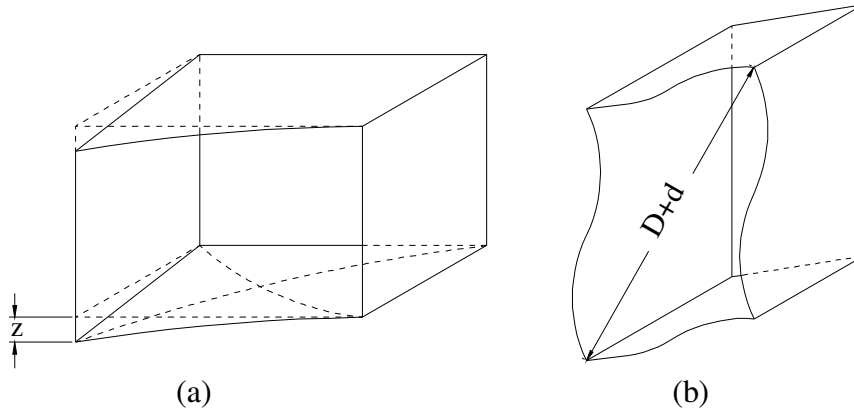
T = Diyagonal kuvvet, (N),

F = Üst veya alttaki burulma kuvveti, (N),

b = Açık yüz yüksekliği, (mm),

a = Genişlik, (mm),

Deforme edici kuvvetlerin uygulama yollarını belirledikten sonra, kutunun deformasyon ölçüm yolu Şekil 2.5’de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Deformasyon ölçme yöntemleri

a) Kutunun deformasyonu

b) Köşenin deformasyonu

Bunlardan ilkinde burulan kutunun deformasyonu (a) bir tarafın bir köşesinin yer değiştirmesi (z) olarak tanımlanır. Diğer metot da açık yüzün uzunluğu köşegensel olarak ölçülmüştür. Kutu sadece bir şekle bükülebildiği için üst veya alt köşelerinin sapması ile köşegenin açık tarafının uzunluğunun değişimi arasında karmaşık bir ilişki meydana gelmektedir. Bu ilişki “Eş 2.4”de verilmiştir.

$$d = \frac{2bz}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (2.4)$$

Burada;

d = diyagonal uzunluğun değişimi, (mm),

z = tabanın bir köşesinin sapması, (mm),

b= kutunun yüksekliği, (mm),

a= kutunun genişliği, (mm), dir [14].

2.2. Bağlantı Elemanları ve Birleştirme Tasarımı

2.2.1. Kavelalı birleştirmeler

Kavela, iki mobilya elemanını tutkal veya başka bağlantı gereçleriyle birlikte birbirine bağlamak için kullanılan silindir şeklindeki ahşap çubuklardır [1]. Gerek çerçeve gerekse kutu tipi mobilya elemanlarının birbirine bağlanmasında en yaygın olarak kullanılan birleştirme tekniği kavelalı birleştirmedir. Kavelalı birleştirmeler, hem seri üretim hem de atelye tipi üretim yapan işletmeler için son derece uygun ve kullanılan bir tekniktir. Çünkü maliyet olarak düşüktür ve kavelalı birleştirme sadece basit delme işlemleri ile yapılabilmektedir [7]. Kavelaların boyutları (çap–boy), gövde biçimleri, birim uzunluktaki sayıları gibi faktörlerle beraber kavela deliklerinin açılmasında kullanılan yöntemin doğru seçilmesi ve yeterli yapışmanın sağlanması gibi faktörler de kavelalı birleştirmenin sağlamlığı üzerine etkili olmaktadır [1].

Efe (1998), kutu mobilya konstrüksiyonunda geniş kullanım alanı bulunan çekme ve basma yükleri altındaki kavelalı köşe birleştirmelerin eğilme direncini etkileyen faktörler ile birim alanda uygulanacak kavela sayısının belirlenmesinin önemli olduğunu belirtmiştir. Kutu konstrüksiyonlu mobilya köşe birleştirmelerinde rasyonel kavela tasarımı deney sonuçlarına göre lif levhalar, yonga levhalara 8 mm çaplı kavelalar, 10 mm çaplı kavelalara üstünlük sağlamış, yonga levhalarda yivli yüzeyli, lif levhalarda ise düz yüzeyli kavelalar daha başarılı bulunmuş, kavela adedindeki artışın, çekme direncinde artışa, basma direncinde ise azalmaya sebep olduğu belirtilmiştir [15].

Efe ve İmirzi (2007), mobilya endüstrisinde sık kullanılan masif ve ahşap kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile T-tipi birleştirmelerin performans özelliklerini araştırmıştır. Denemelerde masif ahşap malzemelerden, sarıçam (*Pinus*

sylvestris Lipsky) ve Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky), ahşap kompozit malzemelerden ise, yongalevha, kaplamalı yongalevha, yönlendirilmiş yongalevha (OSB), kalıplanmış yongalevha (werzalit), kağıt esaslı reçine kaplamaları ile kaplanmış yongalevha (suntalam), orta yoğunlukta lif levha (MDF) ve okume (*Aucoumea klaineana*) kontrplak kullanılmıştır. Mekanik bağlantı elemanlarından, eksantrik bağlantı elemanı (blum), trapez, minifix, yıldız ve alyan başlı vidalar ve ahşap kavela kullanılarak birleştirme örnekleri hazırlanmıştır. Deneylerde her bir birleştirme tekniği için bir bağlantı elemanı kullanılmış olup, malzeme türüne göre başarılı sıralaması en yüksek Doğu kayınında elde edilmiş, bunu sırasıyla kontrplak, werzalit, MDF, OSB, sarıçam, suntalam, kaplamalı yonga levha ve yonga levha izlemiştir. Sonuç olarak malzeme türlerine göre istatistiksel anlamda; kontrplak ve werzalit, MDF ve OSB, sarıçam ve suntalam, yonga levha ve kaplamalı yonga levha çiftleri birbirlerinden farklı çıkmamıştır. Birleştirme çeşidine göre kuvvet taşıma performansı değerleri karşılaştırıldığında ise en yüksek direnci kavelalı birleştirmeler vermiştir [16].

Kasal (2007), bazı masif ve ahşap kompozit malzemelerin, kenardan ve yüzeyden kavela tutma performanslarını araştırmıştır. Deneylerde ahşap malzemelerden Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) ve sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), ahşap kompozit malzemelerden ise okume (*Aucoumea klaineana*) kontrplak (OKP), yonga levha (YL), iki ayrı kalitede yönlendirilmiş yonga levha (OSB1, OSB2), orta yoğunlukta lif levha (MDF), sentetik reçinelerle kaplanmış yonga levha (SUNTALAM) ve lif levha (MDFLAM), kavelaların yapıştırılmasında ise polivinilasetat (PVAc) tutkalından yararlanılmıştır. Statik yük altında toplam 1100 numunenin çekme testine alındığı deneylerin sonuçları sayısal formüller haline getirilerek mobilya tasarımcılarının kenardan ve yüzeyden kavela tutma performansını, her bir malzeme çeşidi için kavela çapı ve kavela etkili boyunun fonksiyonu olarak tahmin edebilmeleri amaçlanmıştır. Buna göre, elde edilen formüllerle, kenardan ve yüzeyden kavela tutma performansının mantıklı bir şekilde tahmin edilebildiği görülmüştür [17].

Eckelman ve Cassens (1985), mobilya yapımında kullanılan yönlendirilmiş yonga levha (OSB), orta yoğunlukta lif levha (MDF) ve yonga levha gibi ahşap kompozitlerinin, çeşitli yüzey biçimlerindeki kavelalar ile tutma mukavemetlerini

araştırmışlardır. Sonuç olarak, fazla miktarda tutkal kullanımının mukavemeti arttırdığını, spiral yivli yüzeyli kavelaların, düz yivli kavelalardan daha yüksek mukavemet gösterdiğini, ayrıca, yüzeyden kavela tutma mukavemetinin, kullanılan malzemenin iç yapışma direnci ile ilişkili olduğunu bildirmişlerdir [18].

Uysal (1999), kenarları 5, 8 ve 12 mm kalınlığında masif malzeme ile kaplanmış ve masifsiz yonga levha deney örneklerine, 6, 8 ve 10 mm çapındaki kavelaları 25 mm derinlikte girecek şekilde polivinilasetat (PVAc) tutkalı ile yapıştırmıştır. Kavela çekme deneyleri sonucunda, en yüksek direncin 6 mm çaplı kavela ile 12 mm kalınlıkta masif kaplı yonga levhada elde edildiğini bildirmiştir [19].

Engleson (1973), yeterli miktarda tutkal kullanımının kavela çekme mukavemeti üzerinde etkili bir faktör olduğunu vurgulamıştır. Yonga levhalarla oluşturulan kavelalı köşe birleştirmelerle yaptığı deneyler sonucunda; tutkalın hem kavela yüzeylerine hem de kavela deliği duvarlarına sürülmesinin, sadece kavela deliği duvarlarına sürülmesine kıyasla birleştirmelerin mukavemetini % 35 arttırdığını bildirmiştir [20].

Eckelman (1979), kavela çekme mukavemeti ile birleştirmenin konstrüksiyonunda kullanılan ahşap malzemenin liflere paralel makaslama direnci arasında güçlü bir ilişki olduğunu tespit etmiştir. Deney sonuçlarına uyguladığı regresyon analizleri sonucunda, ahşap malzemenin kenarından kavela çekme mukavemeti için Eş. 2.5'deki formülü önermiştir [21].

$$F = 0.834 DL^{.89} (0.95 S_1 - S_2) ab \quad (2.5)$$

Burada, F : kavela çekme mukavemeti (pound), D : kavela çapı (inches), L : kavela etkili boyu (inches), S_1 : kavelanın girdiği ahşap malzemenin makaslama direnci (psi), S_2 : kavelanın yapıldığı ahşap malzemenin makaslama direnci (psi), a : tutkal faktörü, b : kavela – kavela deliği toleransı faktörüdür.

Cai ve Wang (1993), kutu konstrüksiyonlu kavelalı köşe birleştirmelerin mukavemetinin, kullanılan kavela sayısını artırmak suretiyle % 5 – 15 arasında arttırılabileceğini bildirmişlerdir [22].

2.2.2. Vidalı birleştirmeler

Eckelman (1974), piyasada yaygın olarak kullanılan ve aralarında önemli miktarlarda fiyat farkı bulunan 7 değişik tip vidayı, 12 mm kalınlığındaki yonga levhadan çekerek, vidaların tutma yeteneklerini karşılaştırmıştır. Deneyler sonucunda, vidalar arasında pratik olarak önemli derecede bir fark bulunmadığını belirtmiştir [23].

Eckelman (1988), piyasada mevcut bulunan orta yoğunlukta lif levhalarda kenardan ve yüzeyden çeşitli ölçülerdeki sac vidalarının tutma yeteneklerini araştırmıştır. Çalışmasının sonuçlarına göre, MDF yüzeyden vida tutma direncinin Eş. 2.6, kenardan vida tutma direncinin ise Eş. 2.7'deki matematiksel ifadeler ile belirlenebileceğini bildirmiştir.

$$f_y = 39 IB^{.85} D^{.5} (L - D / 3)^{1.25} \quad (2.6)$$

$$f_k = 18.4 IB^{.85} D^{.5} (L - D / 3)^{1.25} \quad (2.7)$$

Burada, f_y = yüzeyden vida tutma mukavemeti (pound), f_k = kenardan vida tutma mukavemeti (pound), IB : iç yapışma direnci (psi), D : vida çapı (inches), L : vida girme derinliği (inches)'dir. Ayrıca, uygun ön delik açıldığı takdirde, vida tutma mukavemetinin % 13 oranında arttığını belirtmiştir [2].

Rajak ve Eckelman (1993)' a göre ön delikler yalnızca vidaya kılavuzluk yapma görevini değil aynı zamanda vidanın yüzeye dik yönde ve kolayca girmesini sağlama görevini de yapmaktadır. Buna ek olarak, uygun çapta ön delik açıldığı takdirde, MDF ve yonga levhanın vida tutma mukavemetinin önemli derecede arttığını vurgulayıp, ön delik çapının, vida dış dibi çapının MDF ve yonga levha için % 80–85'i olmasının mukavemet açısından uygun olduğunu belirtmişlerdir [24].

Erdil ve diğerkleri (2002), kontrplak ve yönlendirilmiş yonga levha (OSB) malzemelerinin vida tutma mukavemetini araştırmışlardır. Sonuçta, bu malzemelerin vida tutma mukavemetleri üzerinde vida çapı, vida etkili boyu ve malzeme yoğunluğunun etkili olduğunu belirtmişlerdir [25].

Efe ve diğerkleri (2003), Doğu kayını, sarıçam ve meşe ahşap malzemede elde edilen T-tipi iki vidalı birleştirmelerde, eğilme momentinin (M); tek vidanın çekme kuvveti (F) ile iç moment kolunun (d) çarpımı ile tahmin edilebileceğini bildirmişlerdir [26].

Broker ve Krause (1991), üç tabakalı yonga levha, Avrupa Ladini ve Avrupa Kayını ahşap malzemede vida tipi ile statik ve dinamik yük altında vida tutma deneylerinin yapıldığı araştırmada vida tutma direncinin vida uzunluğu ve çapı ile doğru orantılı olduğunu saptamışlardır [27].

Akyıldız (1999), farklı ahşap türleri üzerinde vida tutma direnci deneylerini yaptığı çalışmasında; vida tutma direnci en yüksek %12 rutubet değerinde, ahşap türlerinde ise; en yüksek vida tutma direncini Doğu Kayını'nda elde etmiş, onu sırasıyla Sakallı Kızılağaç, Anadolu Kestanesi ve Sarıçam izlemiştir. En düşük direnci ise Doğu Ladini vermiştir [28].

Örs ve Efe (1998), mobilya çerçeve konstrüksiyon tasarımında uygulanan geleneksel ve alternatif birleştirmelerin mekanik özelliklerini araştırmıştır. Bu maksatla çerçeve tipi konstrüksiyonlarda mevcut çekme, eğilme ve makaslama mukavemet elemanları kavelalı tutkallı, zıvanalı tutkallı ve özel tipte iki bağlantı elemanı (multifix ve minifix) ile bunların kombinasyonundan oluşan bir bağlantı olmak üzere toplam beş çeşit birleştirme statik yük altında denemeye tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre; esnek birleştirme sağlayan alternatif bağlantı elemanları ile yapılan birleştirmeler, rijit birleştirme sağlayan geleneksel birleştirmelere göre daha başarılı bulunmuştur [29].

2.3. Mobilyada Mukavemet Tasarımı ve Birleştirmelerin Mukavemet Analizi

Mobilya mukavemet tasarımı ve analizi yeni bir kavramdır. Birçok ülkede henüz ciddi anlamda uygulanmamaktadır. 1950' lerin ortalarına kadar, mobilya; yapısal bir sistem olarak tanımlanması gerçeğine karşın yapısal anlamda analiz edilmemiş olup, mobilya elemanlarının tasarımı matematiksel teorilerin konusu olmamıştır. Bunun yerine eleman ölçülerinin ve birleştirmelerin belirlenmesinde geçmiş deneyimler ve estetik etkili olmuştur. Mobilya tasarımı da bazı özel bilim alanlarını kullanmayı gerektirecek özelliklere sahiptir. Örneğin, yapı statiği, diğer mühendislik yapılarına uygulandığı gibi mobilya mühendislik tasarımına da uygulanabilir [30].

Çeşitli yüklere maruz kalan katı cisimlerde oluşan gerilmeler ve bu yükler sebebiyle oluşan deformasyonlar ve yer değiştirmeler, kesit geometrisinde meydana gelen değişimler, mevcut yükler altındaki elemanların ve birleştirmelerin güvenle görev yapıp yapmayacağı, meydana gelen yer değiştirme ve biçim değiştirmelerin kabul edilebilirliği mühendisler ve fizikçiler tarafından analitik yöntemlerle çözülmeye çalışılmıştır. Kullanım yükleri altında, tasarlanan mobilya sistemindeki gerilme dağılımının istenilen sınır değerlerinin altında kalması sağlandıktan sonra, var olan yükleri taşıyacak optimum eleman ölçülerinin ve birleştirmelerin tasarımının sağlanması mühendislik tasarımı açısından önemlidir [7].

Efe (1999), kutu mobilya konstrüksiyonunda geniş kullanım alanı bulunan çekme ve basma yükleri altındaki yabancı çatalı ve trapez bağlantı elemanlı 150 x 150 x 18 mm ölçülerindeki yonga levha ve lif levha (MDF)'lar ile oluşturulan "L tipi" köşe birleştirme deney elemanlarının dirençlerini belirlemiştir. Deney sonuçlarına göre lif levhaların, yonga levhalara, demonte birleştirmelerin ise sabit birleştirmelere üstünlük sağladığını belirtmiştir [31].

Efe ve Kasal (2000), kutu konstrüksiyonlu mobilya üretiminde kullanılan köşe birleştirmelerden; tutkallı (sabit) ve tutkalsız (demonte) birleştirmelerin mukavemet özelliklerini araştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre lif levhaların yonga levhalara, tutkalsız birleştirmelerin tutkallı birleştirmelere üstünlük sağladığı belirtilmiştir,

deneylerde en iyi sonucun tutkalsız multifixli köşe birleştirmelerin verdiğini, ikinci sırayı ise tutkalsız minifixli köşe birleştirmelerin aldığı bildirilmiştir [32].

Efe ve Kasal (2000), tabla tipi mobilya üretiminde kullanılan köşe birleştirmelerden; seçilmiş bazı tutkallı (sabit) ve tutkalsız (demonte) birleştirmelerin eğilme direnç özelliklerini araştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre lif levhaların, yonga levhalara, tutkalsız birleştirmelerin, tutkallı birleştirmelere üstünlük sağladığını, deneylerde en iyi sonucun tutkalsız multifixli köşe birleştirmelerin verdiğini, ikinci sırayı ise tutkalsız minifixli köşe birleştirmelerin aldığını bildirmişlerdir [33].

Efe ve Kasal (2000), tabla tipi mobilya üretiminde uygulanan kavelalı köşe birleştirmelerde tutkal çeşidinin çekme direncine etkilerini araştırmışlardır. Deneyler sonucunda; lif levhaların yonga levhalara üstünlük sağladığını, tutkallar içinde en iyi sonucun PVA_c tutkalının verdiğini, tutkal çeşidi ve levha türü etkileşiminin ise istatistiksel anlamda önemsiz çıktığını bildirmişlerdir [34].

Örs ve diğerleri (2001), kutu konstrüksiyonlu, tutkalsız ve tutkallı vidalı mobilya köşe birleştirmelerde çekme dirençlerini karşılaştırmışlardır. Tutkallı birleştirmelerde poliüretan esaslı bir tutkalın kullanıldığı araştırmada yapılan deneyler sonucunda; MDF Lam ve 4x50 vidaların daha başarılı bulunduğunu bildirmişlerdir [35].

Efe ve diğerleri (2002), kutu konstrüksiyonlu mobilya üretiminde uygulanan kavelalı köşe birleştirmelerin çeşitli tutkallarla yapıştırılmış örneklerinde basınç dirençlerini karşılaştırmışlardır. ASTM D 143-83 esaslarına göre yapılan basınç deneyleri sonucunda; lif levhalar yonga levhalardan daha iyi sonuçlar verdiğini, tutkallar arasında en iyi sonucun ise polivinilasetat tutkalı ile elde edildiğini bildirmişlerdir [36].

Efe ve diğerleri (2003), ahşap malzeme ve kompozit ahşap levhalardan hazırlanmış örnekler üzerinde kutu tipi mobilya lambalı – kinişli köşe birleştirmelerin eğilme moment direnci özelliklerini araştırmışlardır. Deneyler sonucunda, en yüksek eğilme direncinin okume kontrplakta, en düşük eğilme direnci değerlerinin ise sırasıyla masif çam ve kavakta elde edildiğini belirtmişlerdir [37].

Efe ve diğlerleri (2003), tabla tipi vidalı (tutkalsız) ve tutkallı vidalı mobilya köşe birleştirmelerinin eğilme moment dirençlerini araştırmışlardır. Deneyler sonucunda; tutkalsız birleştirmelerin tutkallı birleştirmelerden, lif levhaların yonga levhalardan, 4x50 vidaların 5x60 vidalardan daha iyi sonuç verdiğini bildirmişlerdir [38].

Zhang ve Eckelman (1993), yonga levhalar üzerinde tek kavelalı kutu konstrüksiyonlu köşe birleştirme elemanlarına yaptıkları basma ve çekme deneylerinde, kavela çapı ve kavela boyu arttıkça, basınç ve çekme direncinin arttığını tespit etmişlerdir [39].

Zhang ve Eckelman (1993), yonga levhalarda farklı sayıda kavela kullanılarak yapılan kutu konstrüksiyonlu köşe birleştirmeler için, çekme ve basma deneylerinde numune genişliklerini ve kavelalar arası mesafeleri değiştirmişlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre, iki kavela arası mesafenin 7,5 cm olması halinde en yüksek dirence ulaşılacağı bildirilmiştir [10].

Lin ve Eckelman (1987), rijitlik derecesi değlerleri değışen 3 tip bağlantı tekniğı kullanarak kutu mobilya üzerinde bunların birleştirme sağlamlığına etkisini değlendirmişlerdir. Sonuçlara göre; kutunun rijitliği üzerinde birleştirmelerin önemli etkisi bulunmaktadır. Köşe birleştirmeler, kavela ve metal bağlantılarla güçlendirilirse sağlamlığında kademeli olarak artacağı vurgulanmıştır [40].

Eckelman ve Munz (1987), bir kutu sisteminin rijitliği üzerinde, bağlantıların etkisini belirlemek için genel bir metot geliştirmişlerdir. Sonuçlara göre; levhalar menteşe ve benzeri semi-rijit birleştirmelerdense, rijit birleştirildiğinde bir kiriş gibi levha kenarlarının eğilmeye karşı direnç gösterdiğini ortaya koymuşlardır [41].

Norvydas ve Papreckis (2001), yonga levhadan yapılmış, kutu konstrüksiyonlu tek kavelalı köşe birleştirmelerin moment kapasitelerini test etmişlerdir. Değişik çaplardaki kavelalar ve farklı kalınlıklardaki yonga levhalar ile yaptıkları testlerin sonucunda; köşe birleştirmelerin direncinin kavela çapı ile doğru orantılı olarak arttığını vurgulamışlar ve farklı kalınlıklar için optimum kavela çaplarını belirlemişlerdir [42].

Güntekin (2003), montaja hazır mobilya birleştirmelerinin performans özelliklerini araştırmıştır. 18 mm kalınlığındaki MDF ve yongalevhlerden mekanik bağlantı elemanları ve kavela kullanılarak köşe birleştirme örnekleri hazırlanmış, her bir köşe birleştirmesi için bir bağlantı elemanı kullanılmıştır. Araştırma sonucunda mekanik bağlantı elemanları ile yapılan birleştirmelerin kavela ile yapılan birleştirmelere göre daha az dirençli ve daha esnek olduklarını ve malzeme ve bağlantı elemanı tipinin esneklik ve direnci etkilediğini bildirmiştir [43].

Özçifçi ve diğerleri (1996), yonga levhadan hazırlanmış kutu konstrüksiyonlu köşe birleştirmelerinin basınç yükü altındaki mukavemet özelliklerini araştırmışlardır. Sonuçta; kutu mobilya üretiminde kavelalı köşe birleştirmelerinin uygulanması gerektiğini bildirmişlerdir [44].

Tankut (2005), “32 mm Kutu Konstrüksiyonlu Köşe Birleştirmeleri İçin Optimum Kavela Mesafeleri” adlı çalışmada Türk mobilya endüstrisinde artan 32 mm’lik kutu konstrüksiyon kullanımı, uygulamalı direnç dayanımının değerlendirilmesinin gerekliliğini ortaya koymuştur. Makale 32 mm’lik kutu konstrüksiyondaki köşe birleştirmelerinin eğilme moment kapasitesi üzerine kavela mesafelerinin etkisinin değerlendirme sonuçlarını vermektedir. Yonga levha ve MDF köşe birleştirmeleri basınç ve çekme yükleri altında test edilmiştir. Hem basma hem de çekme testlerinde MDF köşe birleştirmeleri yonga levhadan daha dayanıklı olduğunu belirtmiştir [45].

Mostowski ve Sydor (2006), “Yarı-rijit köşe birleştirmeleri sayısal analizinde bir hata mekanizması olarak kenar kırılmaları ile levhalarda dağılma” adlı çalışmalarında rijitlik ve mobilya çerçeve dirençlerini belirlemek için mobilya üretiminde çeşitli bağlantılar kullanılarak deneysel çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada MDF levhalar için bağlayıcıların kapanmaya sebep olduğu yüklerin bir sonucu olarak köşe birleştirme problemleri sunulmaktadır. Bağlantılarda birleştirmelerde elde edilen gerilme modeli sonuçları, deney sonuçlarının sayısal analizinde kullanılmıştır. Sonuçta bu tip birleştirmelerin yük taşıma kapasitesini artırmak için yüklere maruz kalan birleştirme alanında levhanın bölgesel direncinin artırılması gerektiği bildirilmiştir [46].

2.4. Malzeme Özellikleri

Günümüzde, çeşitli teknik ve ekonomik sebeplerden dolayı, gerek kutu gerekse çerçeve tipi mobilya üretiminde ahşap kompozit malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Masif ahşap malzemeye göre teknik ve ekonomik yönlerden birçok avantajları bulunan ahşap kompozitlerinin doğrudan mobilya üretiminde masif ahşap malzemeye alternatif olarak kullanılması ciddi mukavemet problemlerine yol açabilir. Bu nedenle, ahşap kompozit malzemelerin çeşitli bağlantı elemanları ile tutma mukavemetleri ve çeşitli yükler altında gösterecekleri mekanik davranışların özellikleri önceden belirlenmelidir [7].

Efe ve Kasal (2007), çeşitli masif ve ahşap kompozit malzemelerin mobilya mühendislik tasarımında gerekli olan bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini, ilgili standartlara göre belirlemişlerdir. Deneylerde, masif ahşap malzeme olarak Doğu kayını (*Fagus Orientalis Lipsky*) ve sarıçam (*Pinus Sylvestris Lipsky*), ahşap kompozit malzeme olarak da okume (*Aucoumea klaineana*) kontrplak (OKP), orta yoğunlukta lif levha (MDF) ve yönlendirilmiş yonga levha (OSB) kullanılmıştır. Deney malzemelerinin, yoğunlukları ve rutubet oranları tespit edilmiş, mekanik özelliklerden de çekme, basınç, kesme dirençleri ile eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, literatürdeki bazı çalışmalarda kullanılmış olan emniyet katsayıları kullanılarak masif ve ahşap kompozit malzemeler için kabul edilebilir tasarım (emniyet) gerilmeleri değerleri hesaplanmış ve mobilya tasarımcılarının kullanımına sunulmuştur [47].

Göker ve diğerleri (2002), ülkemizde orta yoğunlukta liflevha (MDF) üretimi yapan fabrikaların ürettiği genel amaçlı levhaların teknolojik özelliklerini tespit ederek, standardın öngördüğü değerlerle karşılaştırmak suretiyle levhaların kalitelerini ortaya koymuş ve daha kaliteli üretim için öneriler sunulmuştur [48].

Zhang ve diğerleri (2001), ahşap kompozit malzemelerin mobilya çerçeve konstrüksiyonun da kullanımının yaygınlaştığı ve geleneksel malzemelerle karşılaştırılması gerektiğinden hareketle, meşe, kavak, çam kontrplak, ESL

(engineered strand lumber) ve yonga levhadan hazırladıkları T-tipi deney örneklerinde çekme ve eğilme dirençlerini belirlemişler, en yüksek direnci masif meşe ve çam kontrplak, en düşük direnci ise yonga levhanın verdiğini bildirmişlerdir [49].

2.5. Mobilya Mukavemet Tasarımında Sonlu Elemanlar Yönteminin Kullanılması

Sonlu elemanlar yöntemi, farklı mühendislik dallarınca, özel analizler gerektiren mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılan nümerik bir yöntemdir. Sonlu elemanlar yönteminin ilk kullanımı 1900’lü yıllara dayanır. Sonlu elemanlar yöntemini temel alan ANSYS programı, 1971 yılından günümüze kendisine giderek daha büyük bir uygulama alanı bulacak şekilde geliştirilmiştir [50].

Sonlu elemanlar metodu; karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içinde çözülmesiyle 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 olan tanım denklemlerinin belirli noktalardaki (düğüm noktaları) 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 [51].

Cai ve diğerleri (1995), kutu konstrüksiyonlu “molinject” tipi köşe birleştirmelerin, kavelalı birleştirmelerle kıyaslamalı olarak mukavemetini ve rijitliğini analiz etmişlerdir. Ayrıca “molinject” tipi köşe birleştirmelerin defleksiyonu, sonlu elemanlar metodu kullanılarak tahmin edilebilmiştir [52].

Gustafsson (1995), mobilya elemanlarının yapısal tasarımının, hemen hemen hiçbir zaman matematiksel teorilerin konusu olmadığını, bunun yerine eleman ölçülerinin

belirlenmesinde geçmiş tecrübelerin ve estetik faktörlerin etkili olduğunu belirtip, bilgisayar kullanımının yaygınlaşması ve teknolojinin gelişmesiyle, modern sonlu elemanlar programlarının tasarım sürecinin birçok basamağında kullanımının mümkün olduğunu vurgulamıştır. Bu amaçla, bir sandalyenin yapısal analizini sonlu elemanlar yöntemi kullanarak yapmış, sonuçta kullanılan eleman ölçülerinin biraz daha düşürülmesi durumunda dahi sandalyenin aynı mukavemeti gösterebileceğini belirlemiştir [53].

Gustafsson (1996), huş ahşap malzemeden basit bir sandalye hazırlamış, bu sandalyenin kullanım sırasında etkisinde kalabileceği çeşitli yüklere karşı mukavemetini denemiş, daha sonra aynı sandalyeyi modelleyerek sonlu elemanlar yöntemi ile aynı yükler karşısında çeşitli noktalarındaki gerilmeleri yaklaşık olarak elde etmiştir. Deney sonuçları ile analiz verilerinin anlamlı bir şekilde birbirini karşıladığını bildirmiştir [54].

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 [55].

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 çerçevesi analiz etmiş, geliştirilen bu programın doğru ve hızlı bir şekilde ahşap mobilyaların rijitliğini ve mukavemetini analiz edebildiğini kanıtlamıştır [56].

Smardzewski (2002), iskelet mobilyaların yapımında yaygın olarak kullanılan zıvanalı birleştirmelerin eğilme direncini incelemek amacıyla matematiksel bir yöntem geliştirmiş ve tutkallı zıvanalı birleştirmelerin mukavemetini etkileyen etmenleri belirlemeye çalışmıştır. Analizler Poznan Agricultural University' de

geliştirilmiş olan “Mobilya Tasarım Yönetimi” adlı bilgisayar programında yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; zıvanalı tutkallı birleştirmelerin eğilme direnci üzerinde kullanılan tutkalın kayma direnci ve birleştirmelerin yapıldığı ahşap türünün basınç direnci etkili bulunmuş, zıvanalı birleştirmenin sıkı bir şekilde yerleştirilmesiyle, tutkal yüzeyinde gerilmelerin azaldığı ve bu yüzden mukavemetin arttığı bildirilmiştir [57].

Nicholls ve Crisan (2002), kutu konstrüksiyonlu kavelalı ve minifiks tipi bağlantı elemanlı köşe birleştirmelerdeki gerilmeleri ve zorları sonlu elemanlar yöntemiyle analiz etmişlerdir. Sonuçta, katı modellerde oluşan gerilme yığılma alanlarının, gerçek birleştirmelerdeki gibi geliştiği belirlenmiş ve köşe birleştirmelerdeki gerilme dağılımları elde edilmiştir [58].

Eckelman ve diğerleri (2002), zikzak yaylarla döşenen kanepenin iskeleti tasarımının, zikzak yayların ön kayıt elemanına üst kısımdan arkaya doğru bir kuvvet uygulaması dolayısıyla oldukça karmaşık olduğunu vurgulayıp, ön kayıt elemanının basit bir kirişten ziyade düzlem yüzey dışı bir eleman olarak analiz edilmesi gerektiğini bildirmişlerdir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanarak yaptıkları çalışmada, verilen bu tür bir örnek modelde, masif ahşap malzemeden olan ön kayıt yerine bu elemana yapısal olarak eşdeğer sayılabilecek bir paralel tel sistemi koyulduğunu varsaymışlardır. Bu modelde tel kirişler kayıttan düzlem yüzey dışı yüklemesini temsil ederken, köşegen elemanlar da kayıttan burulma hesabında kullanılmıştır. Böylelikle, malzeme karakteristiklerine ilişkin verilere olan ihtiyaç en aza indirilmiştir. Sonuç olarak, sadece kayıt malzemesinin maksimum eğilme direnci, elastiklik modülü ve rijitlik modülü kullanılarak analizin gerçekleştirilebildiği kanıtlanmıştır [59].

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

analizinin, sandalyelerin genel mukavemeti açısından anlamlı yaklaşık değerler sağladığı belirlenmiştir [60].

Crisan (2001), “Kutu Mobilyaların Direnç Özelliklerinin Araştırılması” adlı çalışmada sonlu elemanlar metodu ile farklı birleştirmelerde suntalamdan üretilmiş kutu mobilyaların statik yükler altında analizini yapmıştır. Bağlantılarda sabitleme elemanlarının konum sayısının etkisini kutu mobilyaların sağlamlığı ve direnci üzerinde yatay ve dikey parçaların etkisini ve kutu-arka panel arasındaki bağlantı tiplerini araştırmıştır. Kutu mobilyaların direnç ve rijitliklerinin elemanlarının kendi burulma (torsional) dirençlerinden etkilendiğini ve arka panel ile kutu birleştirme tiplerinden etkilendiğini, belli bir ölçekte bağlayıcıların konumundan etkilendiğini ortaya koymuştur [61].

2.6. Mobilyada Performans Deneyleri

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, üründe ön görülen fonksiyonlarını yerine getirip getirmediğini anlamak için uygulanan hızlandırılmış kullanım deneyleri olarak tanımlanabilir [62].

Eckelman ve Erdil (1999), mobilyanın bilimsel üretim mühendisliğini tartışarak, kaliteyi arttırma yöntemleri ve ahşap kompozit malzemelerle üretilen mobilyaların sistematik tasarımı için gereken bilimsel araştırmaları irdelenmişlerdir. Ayrıca mühendislik gereksinimlerine uygun verimli deney yöntemlerini de tartışarak, örnek bir sandalye deney yöntemini ana hatlarıyla vermişlerdir [63].

Altınok (1995), kayın ve çam ahşap malzemelerden üretilmiş sandalyelerde, alt ara kayıt yeri için optimizasyon yaparak, kritik oturma pozisyonunda ortaya çıkan

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 [64].

Erdil (2001), çeşitli tip ve ölçülerdeki ahşap okul sandalye ve sıralarının geleneksel yapı tasarım yöntemleriyle tasarım ve analizini, bu ürünlerin mukavemetlerinin özel olarak seçilmiş performans deneyi donanımı ve yöntemleriyle denemiştir. Sonuç olarak; optimum tasarım ve ölçüleri elde etmiş, deney yönteminin ve donanımının uygun olduğunu bildirmiş, ayrıca sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan yapı analizlerinin, mobilyanın genel mukavemeti bakımından uygun değerler sağladığını belirtmiştir [62].

Kasal ve Efe (2004), masif ahşap ve ahşap kompozit malzemelerden üretilmiş çerçeve konstrüksiyonlu koltukların performansını araştırdığı çalışmada, oturma mobilyası sektöründe ahşap kompozitlerin masif ahşap malzemeye alternatif olarak kullanılabileceğini, ahşap kompozit malzeme kullanımının kapalı döşeme gerektiren koltuk ve kanepelerde estetik sorunlar oluşturmayacağını, sökölür-takılır birleştirme tekniklerinin tasarım, üretim ve kullanımında esneklik sağlayabileceğini bildirmiştir. Ayrıca sonlu elemanlar metodu ile yapılan analizlerin, mobilyanın genel mukavemeti açısından makul tahmini değerler verdiğini tespit etmiştir [7].

Eren (1999), “Ahşap Kompozit Kutu Mobilyalardaki Gelişmiş Bağlayıcılar ve Birleştirme Metotlarının Gelişimi ve Değerlendirilmesi” adlı tezinde, kutu mobilyalarda kullanılan birleştirme teknikleri ve bağlayıcıların testlerini yapmıştır. Kenar çekme testleri sonuçları; kenar ölçüsü ve yuva çapının hem lif levha hem de yonga levhada çekme direnci üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Vida ile tutkal kullanımı çekme direncini, hem MDF hem de yonga levha panellerde artırmıştır. Birleştirmelerin performansının bağlayıcıların fiyatlarına bağlı olmadığını, birçok durumda düşük maliyetli bağlayıcıların daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir [65].

Güntekin (1996), “Yonga Levha ile Üretilmiş Kutu Konstrüksiyonlu Mobilyalarda Mühendislik Uygulaması” adlı tezinde, kutuların sağlamlıkları, birleştirmelerin dirençleri ve boşluklu yonga levhaların bazı fiziksel ve mekaniksel özellikleri araştırmıştır. Boşluklu yonga levhaların dirençleri, yonga levhalardan daha yüksek çıkmıştır. Boşluklu yonga levhaları ile birleştirilen masif konstrüksiyonlu kutu mobilya uygulamaları için kavelalı birleştirmelerin uygun olduğu belirtilmiştir [66].

Tora (2003), “Mutfak Dolabı Arka Panelleri İçin Direnç ve Konstrüksiyon Teknikleri” adlı tezinde, mutfak dolabı arka panellerinin konstrüksiyonunda kullanılan tutkalların direnç özelliklerini değerlendirmiştir. Üç farklı tutkal türü ile farklı birleştirme teknikleri uygulamış bu örnekler üzerinde eğilme, çekme ve makaslama testleri yapmıştır. Ayrıca ısı ve rutubetin değişik kullanım şartlarına etkisini, tutkalın fazla kullanımının etkisini araştırmaya dahil etmiştir. Deneyler sonucunda, eğilme testleri altında etil-vinil asetat tutkalının diğerlerine göre daha iyi olduğunu, çekme ve makaslama her üç tutkalın farksız olduğunu, ayrıca fazla tutkal kullanımının birleştirme dirençlerinin artışında rol oynamadığını ortaya koymuştur [8].

Denizli (2001), “Panel Tabanlı Kutu Mobilyaların Dayanımı ve Direncinin Geliştirilmesi” adlı tezinde ahşap kompozit malzemelerden üretilmiş dolapların yapı olarak güvenilirliğini ve dayanıklılığını sağlamak için kitaplıklar üzerinde mühendislik tasarımının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Toplamda 18 kitaplık yapılmış ve test edilmiştir. Çalışmada kitaplıklara yüklemeler yapılmış ve raf sehimleri araştırılmıştır. Sehim miktarının, malzeme tipi kalınlığına, raf desteklerine ve raf kenarlarının rijitliklerine bağlı olduğu tespit edilmiştir. Kutuların raf kenarlarındaki bağlayıcılarında uzun vidaların kullanılması durumunda daha düşük sehim değerleri elde edilmiştir. En yüksek dayanım MDF panellerde elde edilmiştir. Vidaların kutu arkalıklarından rafa sabitlenmesi, rafların başlarının sabitlenmesi, levha kalınlığının artırılması veya yüksek elastikiyet modülüne sahip olması mevcut tasarımların performanslarının geliştireceğini ortaya koymuştur [67].

Kotas (1958), mobilya kutularının rijitlik ve kırılmaları üzerinde çeşitli analizler yapmıştır. Çalışmada; levhalardan üretilmiş beş kenarlı kutuların köşelerinin kırılma ve bütün kutu direnci arasındaki ilişki incelenmiştir. Sonuçlara göre; desteklenmemiş köşeden bir yük uygulandığında yükün yönüne bakmaksızın kutu benzer şekilde deforme olmuştur [14].

Eckelman (1967, 1978), kutularla ilgili problemleri test etmiş, eğer beş tablalı açık bir kutu, rijit bir çerçeveye güçlendirilirse bütün bir kutunun sağlamlaşacağını belirtmiştir. Levhalarla üretilen kutular için, sağlamlık ve dirençlerinin levhaların burulma dirençlerine doğrudan bağlı olduğunu belirtmiştir. Ahşap levha malzeme sertlikleri ve çeşitli köşe birleştirmelerin aralarındaki defleksiyon esasına dayalı olarak kutuların sağlamlıklarının belirlenmesi için formül geliştirilmiştir [3].

Hüsing (1986), yatay preslenmiş yonga levhadan yapılan mobilyaların, uğradıkları deformasyonları inceleyerek rijitliklerini artırmak için belli birleşim şekillerinin üzerlerine gelen yüklere göre matematiksel hesabını yapmak üzere bilgisayar programı geliştirmiş ve belirli rijit birleşimleri seçerek bunları program kapsamına almıştır. Daha sonra elde ettiği matematiksel sonuçların pratikte de geçerliliğini kontrol etmek üzere deney sistemi hazırlayarak, hesapladığı birleşim şekillerinden örnekler üretmiş ve bunları deneye tabi tutarak rijitliklerini ölçmüştür. Deneylerde köşe birleştirmelerinin kalınlıkları 100 mm ve boylarını 300 mm öngörülerek birleştirmelerin mümkün olduğu kadar çubuk davranışlarına uymasına çalışılmıştır. Çalışmanın değerlendirilme aşamasında, deney sonuçlarının yapılan matematiksel hesaplar ile uyum sağladığı görülmüştür [68].

Eckelman ve Rabiej (1985), “Kutu Mobilyaların Analizinin Kapsamlı Bir Metodu” adlı çalışmalarında, sonlu eleman metodunu kutu mobilyaların sapma özelliklerini araştırmak için kullanmışlardır. Analizler, rafların sapmasının, üst ve alt tablalarda aynı olduğunu ve bu bölmelerin sapmalarının da 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 [69].

Norvydas (2004), “Kavelalı Birleştirilmiş Mobilyaların Direnç Özelliklerinin Değerlendirilmesi” adlı çalışmada, levhaların kavela ile birleştirilebilirliğini deneye dayalı rasyonel parametreler ile kesinliğe kavuşturmayı ve kavelalı birleştirilen mobilya birimlerinin rijitliklerini ve dirençlerini belirlemeyi amaçlamıştır. Buna göre;

1. Kavela çapı, kenardan uzaklığı, kavela derinliği, kavela merkezleri arasındaki mesafe, bir kavelalı birleştirme sisteminin direnci üzerinde kavela sayısının etkisi.
2. Kavelalı birleştirmede göçme tipleri, birleştirme konstrüksiyonundaki temel parametrelerin göçme tipine bağımlılığının kesinleştirilmesi.
3. Parça konstrüksiyonu ve kavelalı birleştirme direnci üzerinde teorik ve deneysel değerlendirmeler yapmıştır [70].

Eckelman ve Munz (1987), “Çerçevesel ve Semi-rigid Birleştirilmiş Kutuların Rasyonel Tasarımı” adlı çalışmada, tüm kutu rijitliğinde bir ön çerçevenin katkısının çözümlemeli bir metodu ve daha sonra tüm kutu rijitliği üzerinde birleştirme rijitliği etkisinin analizi için bir rasyonel yöntem sunulmuştur [41].

Park ve diğerleri (2006), “Kutu Konstrüksiyonda Vidalı Birleştirmelerin Yük Kapasiteleri Üzerine Vida Dış Şekli ve Bağlantı Tipinin Etkisi” adlı çalışmada, mobilyada yonga levha bağlantıları için bir çok vidalı birleştirmenin uygunluğu değerlendirilmiştir. Köşe birleştirmeleri ve düz birleştirmelerin eğilme moment direnci ve kenar vida çekme direnci üzerine bağlantı tipi, vida boyun çapı, vida dış adımı ve vida dış şeklinin etkilerini belirlemek için testler yapılmıştır. Kalın vida boyun çapı, eğilme moment direnci ve vida çekme direncini artırmıştır, ancak ince vidalar raf birleştirmelerinde daha yüksek kenar çekme kuvveti taşımıştır. Her dokuz dişte bir dış adımı artırıldığında kenardan yüksek vida çekme direnci elde edilmiştir. Vida boynuna kadar tamamen dış açılan vidalar kenardan yükleme testlerinde en iyi sonucu vermiştir. Vidalar ticari aynı markalarla karşılaştırıldığında biraz daha farklı bir dayanım göstermiştir. Geniş esnekliğe sahip PVC’lerin bu vidalarla birleştirilmesi halinde ya da tutkalsız kenar birleştirmeleri yapılması halinde tüm testlerde bağlantı performansı düşmüştür [71].

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Malzeme

3.1.1. Ahşap ve ahşap kompozit malzemeler

Deney kutularının ön çerçevesinde ahşap malzeme olarak, ülkemizde yayılış alanlarının genişliği ve mobilya endüstrisinde yaygın olarak kullanımı göz önüne alınarak birinci sınıf Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) kullanılmıştır. Ahşap malzeme piyasadan rastgele seçim (Random selection) yöntemi ile temin edilerek kaba ölçülerinde kesildikten sonra iyi havalandırılan ve direk güneş ışığı almayan bir ortamda aralarına latalar konularak istiflenmiş ve yaklaşık bir sene süreyle bekletilmiştir. Ahşap malzemenin seçiminde; kuru, sağlam, renk bozukluğu olmayan, düzgün lifli, çatlağı olmayan, böcek ve mantarlardan zarar görmemiş olması gibi etmenler göz önünde bulundurulmuştur.

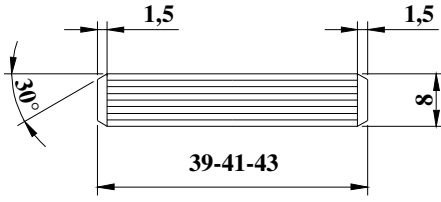
Deneylerde ahşap kompozit malzeme olarak, 14, 16 ve 18 mm kalınlıklarında olmak üzere, TS 64-5 EN 622-5 standartlarında orta yoğunlukta lif levha (MDF) ve TS 4645 EN 636 standartlarında okume kontrplak (*Aucoumea klaineana*) kullanılmıştır [72-74].

3.1.2. Tutkal

Deneylerde soğuk olarak uygulanması, kolay sürülmesi, çabuk sertleşmesi, kokusuz ve yanmaz olması gibi özellikleri sebebiyle TS 3891 [75]'de belirtilen esaslara uygun % 45 katı madde miktarı olan PVAc tutkalı kullanılmıştır.

3.1.3. Kavela

Deneylerde 8 mm çapında, 39, 41 ve 43 mm boyunda, yivli gövdeli TS 4539'da belirtilen özelliklerde kayın ahşap malzemedan hazırlanan kavelalar kullanılmıştır [76] (Şekil 3.1).

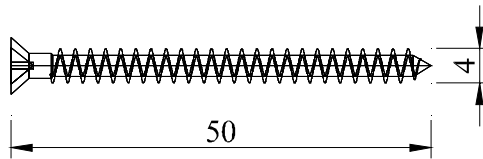


Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan kavela boyutları (ölçüler mm)

Literatürde kenardan kavela girme derinliği kavela çapının en az 3.5 katı yüzeyde ise levha kalınlığının % 90'nını aşmaması gerektiği belirtilmektedir [70]. 14 mm levha kalınlığı için yüzeye girme derinliği 11 mm, 16 mm levha kalınlığı için yüzeye girme derinliği 13 mm, 18 mm kalınlığındaki levhalarda yüzeye girme derinliği 15 mm ve her iki levha kalınlığı için kenardan girme derinlikleri 28 mm olarak hesaplanmıştır. Kavelalar piyasadan hazır alınmış ve yukarıdaki öneriler doğrultusunda 14 mm levhalarda kavela boyu 39 mm, 16 mm kalınlığındaki levhalarda 41 mm ve 18 mm kalınlığındaki levhalarda 43 mm ölçüsünde kesilmiş ve pahları kırılmıştır.

3.1.4. Vida

Deneylerde, özellikle ahşap kompozit levhalardan üretilen mobilya birleştirmelerinde bağlantı elemanı olarak kullanılan, yıldız vida ağızlı, 4 mm çapında ve 50 mm boyundaki tam boy dişli vidalar kullanılmıştır. Kullanılan vidanın diş dibi çapı 2,4 mm, diş adımı ise 1,8 mm' dir (Şekil 3.2) [77,78].



Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan vida boyutları (ölçüler mm'dir)

Vidalı birleştirmelerde, konstrüksiyon amacına uygun olması için çapı yaklaşık vida boyun çapı, derinliği ise vida etkili boyu kadar olacak şekilde kılavuz deliklerin açılması önerilmektedir. Genel olarak yivli kısım için ön delik çapı yumuşak ahşap malzemede vida diş dibi çapının % 70'i sert ahşap malzemede ise vida diş dibi

çapının % 90'ı olmalıdır [79]. Açılan kılavuz delikleri, malzemenin çatlamasını önlemekte ve vida dişlerinin optimum şekilde görevlerini yapabilmelerine olanak sağlamaktadır. Bu önerilere uygun olarak vidalama işlemlerinde, levha yüzeylerine boydan boya 4 mm çapında delik açılmış, levha kenarlarına ise 2.5 mm çapında, 14 mm levha kalınlığı için 36 mm, 16 mm levha kalınlığı için 34 mm ve 18 mm levha kalınlığı için 32 mm derinliğinde ön delikler (pilot hole) açılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneylerde kullanılan malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Mobilyada mühendislik tasarımı kullanıcılara güvenilir hizmet verecek mobilyaların tasarlanabilmesi açısından önemlidir. Bir mobilya sisteminin veya mobilya birleştirmelerinin mühendislik kurallarına uygun bir biçimde yapısal olarak tasarlanabilmesi ve analiz edilebilmesi için, öncelikle yapılmış oldukları malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin bilinmesi gereklidir [47].

Bu çalışmada, kutu tipi mobilya ünitelerinin üretildiği ahşap ve ahşap kompozit malzemelerin rutubet ve yoğunlukları, statik yük altında; liflere veya yüzeye paralel basınç, çekme, makaslama dirençleri, liflere dik yönde eğilme dirençleri, eğilmede elastikiyet modülü değerleri, kavela çekme ve vida çekme dirençleri tespit edilmiştir.

Deney numuneleri, deneylerden önce ASTM-D 1037 [80] standartlarına göre 20 ± 2 °C sıcaklık ve % 65 ± 5 bağıl nem şartlarındaki iklimlendirme dolabında değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir. Deneyler Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü Mekanik Test Laboratuvarında bulunan 5 ton kapasiteli “Üniversal Test Cihazı” kullanılarak yapılmıştır.

Yoğunluk ve rutubet

Deney örneklerinin yoğunluklarının belirlenmesinde ahşap malzeme için TS 2472 [81]., ahşap kompozitler için ise TS EN 323'de [82]. belirtilen esaslara uyulmuştur. Örneklem grupları her malzeme türünden 10' ar adet olmak üzere toplam 100 adet olarak hazırlanmış olup, $\pm 0,01$ g duyarlıklı terazi ile tartılarak örneklerin ilk ağırlıkları (m_r) tespit edilmiş ve boyutları $\pm 0,01$ mm duyarlıklı dijital kumpas ile ölçülerek hacimleri (V_r) hesaplanmıştır. Daha sonra örnekler etüvde 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 Eş. 3.1 ve Eş. 3.2 kullanılmıştır.

$$\delta_o = m_o / V_o \quad (gr / cm^3) \quad (3.1)$$

$$\delta_{12} = m_{12} / V_{12} \quad (gr / cm^3) \quad (3.2)$$

Rutubet (r) kontrolü için masif ahşap malzemede TS 2471[83], ahşap kompozitlerde ise TS EN 322'de [84] belirtilen Eş. 3.3 kullanılmıştır.

$$r = (m_r - m_o / m_o) \times 100 \quad (3.3)$$

Liflere paralel (boyuna) çekme direnci

Masif ahşap malzemelerin liflere paralel yöndeki çekme dirençleri TS 2475 [85]., ahşap kompozitlerinin yüzeye paralel çekme dirençleri ASTM D-1037 [80] ve kontrplak deneyleri ASTM-D 3500-90 [86] ve TS 5191, [87] esaslarına göre belirlenmiştir. Çekme deneyi örneği ve test düzeneği Resim 3.1'de gösterilmiştir.



Resim 3.1. Çekme deney örneği ve test düzeneği

Deneylerde yükleme hızı 2 mm/dak olarak sabit tutulmuş ve çekme direnci Eş. 3.4'e göre hesaplanmıştır.

$$\sigma_{\zeta} = \frac{F_{\max}}{A_0} \quad (3.4)$$

Burada;

σ_{ζ} =Çekme direnci (N/mm²),

$F_{\max}$ =Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N),

A_0 =Deney numunesinin deneyden önceki kesit alanı (mm²).

Liflere paralel (boyuna) basınç direnci

Basınç dirençlerinin belirlenmesinde, ahşap malzeme için, TS 2595'de [88] belirtilen esaslara uyulmuştur. 14, 16 ve 18 mm kalınlığındaki levhalardan 10'ar adet alınarak 90 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Numuneler dikdörtgen prizma şeklinde ve uzun eksene dik yöndeki kesit yüzeyinin boyutları levha kalınlıklarının 4 katına eşit olacak şekilde kesilmiştir. Böylece numuneler 18x18x72 mm, 16x16x64 mm ve 14x14x56 mm boyutlarında hazırlanmıştır [89]. Denemeler BS 1811 standartları esas

alınarak yapılmıştır [90]. Basınç deneyi örneği ve test düzeneği Resim 3.2’de gösterilmiştir. Deneylerde yükleme hızı 2 mm/dak ayarlanmış ve basınç direnci Eş. 3.5’e göre hesaplanmıştır:

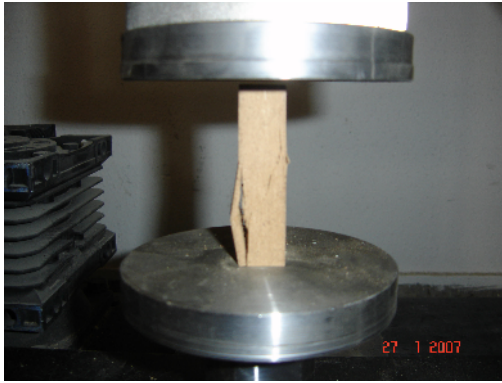
$$\sigma_b = \frac{F_{\max}}{A_0} \quad (3.5)$$

Burada;

σ_b =Basınç direnci (N/mm²),

$F_{\max}$ =Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N),

A_0 =Deney numunesinin deneyden önceki kesit alanı (mm²).



Resim 3.2. Basınç dayanımı deney örneği ve deney düzeneği

Liflere veya levha yüzeyine dik eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü

Ahşap malzeme için TS 2474 [91], ahşap kompozitleri için TS EN 310 [92] esaslarına uyulmuştur. Örnek boyutları, ahşap malzeme için 360x20x20 mm, ahşap kompozitlerinde 14 mm kalınlık için 330x50x14, 16 mm kalınlık için 370x50x16, 18 mm kalınlık için ise 410x50x18 mm ölçülerinde olmak üzere 10’ar adet hazırlanmıştır. Deneylerde kuvvet numunelerin tam ortasından uygulanmış ve deney cihazının yükleme hızı 2 mm/dak olarak ayarlanmıştır. Eğilme direnci “Eş. 3.6”a göre değerlendirilmiştir.

$$fm = \frac{3 \times F_{\max} \times L_s}{2 \times b \times h^2} \quad (3.6)$$

Burada;

f_m =Eğilme Dayanımı (N/mm²)

F_{max} =Kırılma anındaki max yük- N

L =Deney numunesi boyu-mm ($L=18h$)

L_s =Mesnet açıklığı-mm($L_s=15h$)

b =Numune genişliği-mm

h =Numune yüksekliği-mm

Eğilme deneylerinde, eğilmede elastiklik modülü değerleri de hesaplanmıştır. Bu maksatla ahşap malzemelerde TS 2478 [93], ahşap kompozitlerde TS EN 310' [92] esaslarına uyulmuştur. “Eş. 3.7”e göre hesaplanmıştır. Eğilme deney örneği ve test düzeneği Şekil 3.3 ve Resim 3.3’ de gösterilmiştir.

$$E = \frac{L_s^3}{4 \times b \times h^3} \cdot \frac{\Delta_F}{\Delta_f} \quad (3.7)$$

Burada;

E : Eğilmede elastikiyet modülü (N/mm²),

Δ_F : Yük-sehim oranlılık bölgesindeki yük artışı (N), (F_2-F_1)

F_1 : Yaklaşık olarak maksimum kuvvetin % 10’u (N)

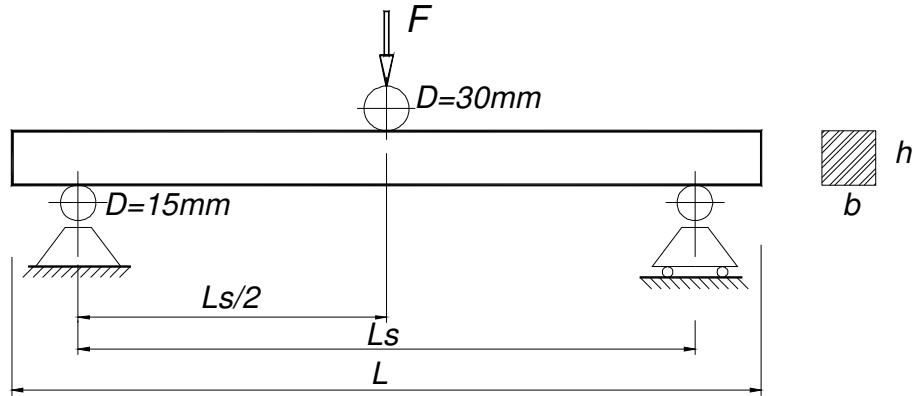
F_2 : Yaklaşık olarak maksimum kuvvetin % 40’ı (N)

L_s : Dayanakların (destek) arasındaki mesafe (mm),

b : Deney parçasının genişliği (mm),

h : Deney parçasının kalınlığı veya yüksekliği (mm),

Δ_f : ($F_2 - F_1$) kuvvet artışı nedeniyle deney parçası uzunluğunun ortasında meydana gelen sehim artışı (mm) dir.



Şekil 3.3.Eğilme dayanımı ve eğilmede elastikiyet modülü test düzeneği ve ölçüleri



Resim 3.3. Eğilme dayanımı ve eğilmede elastikiyet modülü deney örneği resmi

Levha yüzeyine dik çekme direnci

Deney parçalarının yüzeyine dik yönde ve kırılma meydana gelinceye kadar, üniform bir çekme kuvveti uygulanarak, deney parçalarının yüzeye dik yöndeki çekme direnci tayin edilmiştir. Deney parçasının yüzeyine uygulanan maksimum çekme kuvvetinin, deney parçasının yüzey alanına oranı ile yüzeye dik çekme dayanımı hesaplanmıştır. Deneyler TS EN 319 standartlarında belirtilen esaslara göre yapılmıştır [94] (Resim 3.4). Her bir deney parçası 50 x 50 mm ölçüsünde ve 14-16 ve 18 mm kalınlığında hazırlanmış ve yüzeye dik yöndeki çekme direnci “Eş. 3.8” ile hesaplanmıştır.

$$f_{t'} = \frac{F_{\max}}{a \times b}$$

(3.8)

Burada;

$F_{\max}$: Kopma yükü (Newton)

a, b : Deney parçasının uzunluk ve genişliği (mm)



Resim 3.4. İç yapışma deney örneği ve test düzeneği

Liflere paralel yöndeki makaslama (kesme) direnci

Makaslama direnci, her bir deney parçası için liflere paralel olarak uygulanan kuvvetin maksimum değerinin ($F_{\max}$), deney parçasının kuvvet uygulanan kayma alanına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Deneylerde kullanılacak numunelere ait örnek Resim 3.5’de verilmiştir. Deneyler TS 5192 standartlarında belirtilen esaslara göre yapılmış, makaslama direnci Eş. 3.9 ile değerlendirilmiştir [95].

$$\sigma_m = \frac{F_{\max}}{a \times b} \text{ kgf / cm}^2 (\text{N / mm}^2) \quad (3.9)$$

Burada;

$F_{\max}$ =Kırılma anındaki kuvvet (kgf)

a=Deney parçasının kayma yüzeyinin genişliği (cm),

b=Deney parçasının kayma yüzeyinin yüksekliği (cm),dir.



Resim 3.5. Liflere paralel yöndeki makaslama direnci deney numunesi

Vida çekme direnci

Vidaların geri çıkma kapasitelerinin belirlenmesinde, TS EN 13446 [96] ve TS EN 320'de [97] belirtilen esaslara uyulmuştur. 14, 16 ve 18 mm kalınlığındaki levhalardan 10'ar adet alınarak 90 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Örnekler 50 x 50 mm ve 14-16 ve 18 mm kalınlığında hazırlanmıştır. Deneyler levhaların hem yüzeyinde hem de kenarlarında test edilmiştir. Yüzeyde ve kenarda vida girme derinliği 15 mm'dir. Deneylerde 4x50 mm ölçüsünde düşük karbon çelikli vidalar kullanılmıştır. Vida çekme deney örneği ve test düzeneği Resim 3.6'da gösterilmiştir. Deneylerde yükleme hızı 2-3 mm/dak ve vidanın geri çekilmeye karşı gösterdiği direnci (f) ; Eş. 3.10 ile hesaplanmıştır.

$$f = \frac{F_{\max}}{d.l_p} \quad (3.10)$$

Burada;

$F_{\max}$ =Kırılma anındaki kuvvet (N)

d = vida çapı (mm),

l_p =levhaya girme mesafesi (mm)'dir.



Resim 3.6. Vida çekme direnci deney örneği ve test düzeneği

Kavela çekme direnci

Kavelaların geri çıkma kapasitelerinin belirlenmesinde, 14, 16 ve 18 mm kalınlığındaki levhalardan 10'ar adet alınarak 90 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Numuneler 50x50 mm ve 14-16 ve 18 mm kalınlığında hazırlanmıştır. Deneyler levhaların hem yüzeyinde hem de kenarlarında test edilmiştir. Yüzeyde kavela girme derinlikleri 14 mm levhada 11 mm, 16 mm levhada 13 mm ve 18 mm levhada 15 mm alınmıştır. Kenarda girme derinlikleri ise 28 mm'dir. Deneylerde 8 mm çapında ve 39-41-43 mm boylarında Doğu kayını kavela örnekleri kullanılmıştır. Kavela çekme deney örneği ve test düzeneği Resim 3.7'de gösterilmiştir. Deneylerde yükleme hızı 2-3 mm/dak ve kavelanın geri çekilmeye karşı gösterdiği direnç (f) ; kavela çekme direnci Eş. 3.11 ile hesaplanır.

$$f = \frac{F_{\max}}{d.l_p} \quad (3.11)$$

Burada;

$F_{\max}$ =Kırılma anındaki kuvvet (N)

d = Kavela çapı (mm),

l_p =levhaya girme mesafesi (mm)

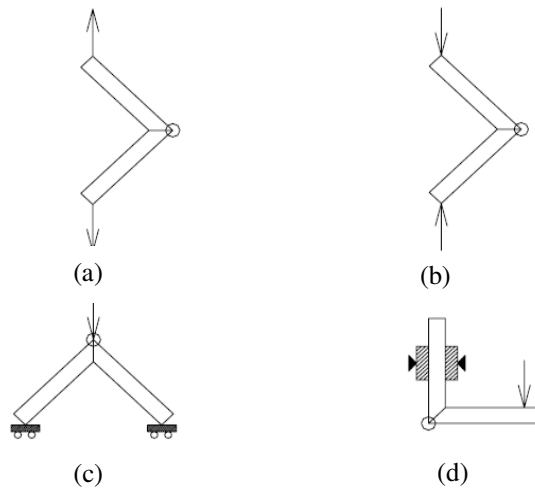


Resim 3.7. Kavela çekme direnci deney örneği ve test düzeneği

3.2.2. L-Tipi birleştirmelerde eğilme, diyagonal çekme ve diyagonal basınç deneyleri

L-tipi birleştirmelerde deney yöntemi

Ahşap köşe birleştirmelerinin mekanik mukavemetlerini ölçmek için en çok aşağıdaki dört metot kullanılmaktadır (Şekil 3.4) [98].

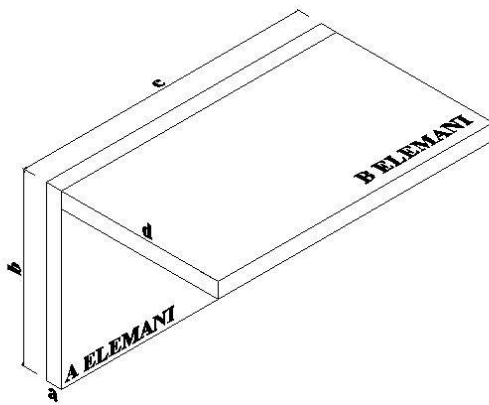


Şekil 3.4. Ahşap köşe birleştirmelerinin mukavemet deney metotları

- a. Çekme kuvveti uygulanması
- b. Basınç kuvveti uygulanması
- c. Basınç kuvveti ile çekme deney uygulaması
- d. Basınç kuvvetinin bir elemana verilmesi

L-Tipi birleştirmelerin deney örneklerinin hazırlanması

Her bir deney örneği (A) ve (B) olmak üzere iki elemandan oluşmaktadır. A elemanı 14, 16 ve 18 mm kalınlığında 200 x 320 mm, B elemanı 14 mm kalınlığında 186 x 320 mm, 16 mm kalınlığında 184 x 320 mm, 18 mm kalınlığında ise 182 x 320 mm olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan deney örneğinin perspektifi ve ölçüleri Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



A ve B Elemanı Ölçüleri

Levha Kalınlığı (a)	(b)	(c)	(d)
14mm	200mm	320mm	186mm
16mm	200mm	320mm	184mm
18mm	200mm	320mm	182mm

Şekil 3.5. “L” ipi birleştirme deney örneğinin perspektif ve ölçüleri

Kavela deliği merkezleri, parça kesitinin kenarlarından genişlik yönünde 32’şer mm içeride olacak şekilde simetrik ve tam ortadan, kalınlık yönünde ise tam orta ekseninde olacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 3.6). Vida deliği merkezleri ise Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Deney örneklerinin delik makinesinde işlemleri Resim 3.8’de gösterilmiştir.



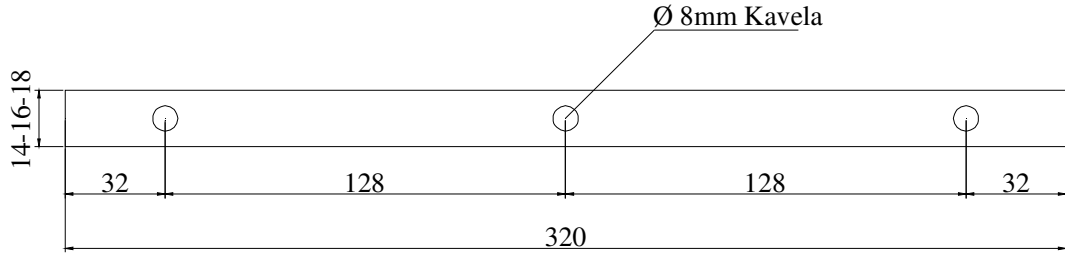
(a)



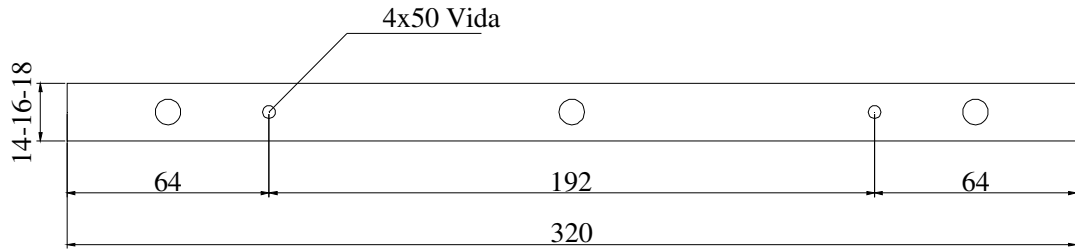
(b)

Resim 3.8. Deney örneklerinin çoklu delik makinesinde delik işlemi

- Delme işlemi
- Kavela ve vida delikleri



Şekil 3.6. Deney örneklerinin kavela delik merkezleri (ölçüler mm)



Şekil 3.7. Deney örneklerinin vida delik merkezleri (ölçüler mm)

L-tipi birleştirmelerde deneme deseni

“L” tipi deneylerde, 2 birleştirme tipi (kavelalı ve vidalı), 3 ahşap kompozit malzeme (yongalevha, MDF ve kontrplak), 3 farklı kalınlık (14,16 ve 18 mm), ve 5 adet yineleme (tekrar, tekerrür) olacak şekilde, eğilme deneyleri için toplam 90 adet ($2 \times 3 \times 3 \times 5 = 90$), diyagonal çekme deneyleri için toplam 90 adet ve diyagonal basınç deneyleri için toplam 90 adet olmak üzere genel toplamda 270 adet L-tipi deney numunesi hazırlanmıştır. “L” tipi birleştirmelere ait deneme deseni Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. L-tipi birleştirme deneylerinde kullanılan deneme deseni

Deney Yöntemi	Birleştirme Çeşidi	Levha Türü	Levha Kalınlığı		
			14	16	18
Eğilme	Kavelalı	Yonga levha	5	5	5
		MDF	5	5	5
		Kontrplak	5	5	5
	Vidalı	Yonga levha	5	5	5
		MDF	5	5	5
		Kontrplak	5	5	5
Toplam			90 Adet Numune		
Diyagonal Çekme	Kavelalı	Yonga levha	5	5	5
		MDF	5	5	5
		Kontrplak	5	5	5
	Vidalı	Yonga levha	5	5	5
		MDF	5	5	5
		Kontrplak	5	5	5
Toplam			90 Adet Numune		
Diyagonal Basınç	Kavelalı	Yonga levha	5	5	5
		MDF	5	5	5
		Kontrplak	5	5	5
	Vidalı	Yonga levha	5	5	5
		MDF	5	5	5
		Kontrplak	5	5	5
Toplam			90 Adet Numune		
Genel Toplam			270 Adet Numune		

Eğilme deneyi

Eğilme deneyi için A elemanı (düşey eleman) platforma sabitlenmiş B elemanın (yatay eleman) uç kısmına ise yük uygulanmıştır. Yükleme birleştirmenin gösterdiği dirençte büyük bir düşüş olana kadar devam etmiştir. Deney düzeneği ve kuvvet uygulama uzaklığı Şekil 3.8.'de yükleme şekli ise Resim 3.9'da gösterilmiştir. Eğilme deneylerinde moment (M), Eş. 3.12 ile değerlendirilmiştir.

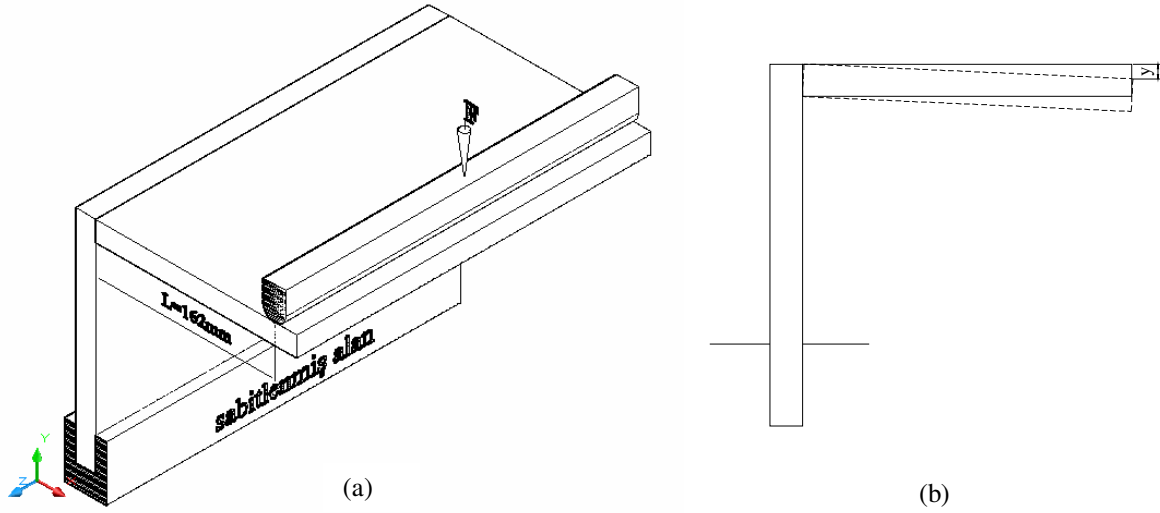
$$M = F_{\max} \times L \text{ (Nm)} \quad (3.12)$$

Burada;

M = Moment (N.m)

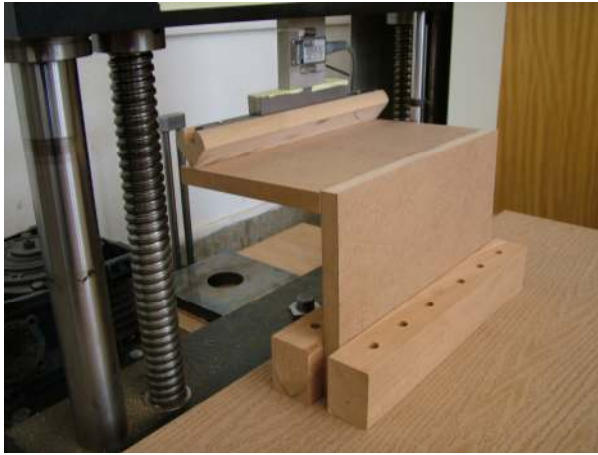
$F_{\max}$ = Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

L = Moment kolu (m)



Şekil 3.8. Deney düzeneği, kuvvet uygulama uzaklığı ve yer değiştirme ölçümü

- a) Kuvvet uygulama uzaklığı
- b) Yer değiştirme (y)

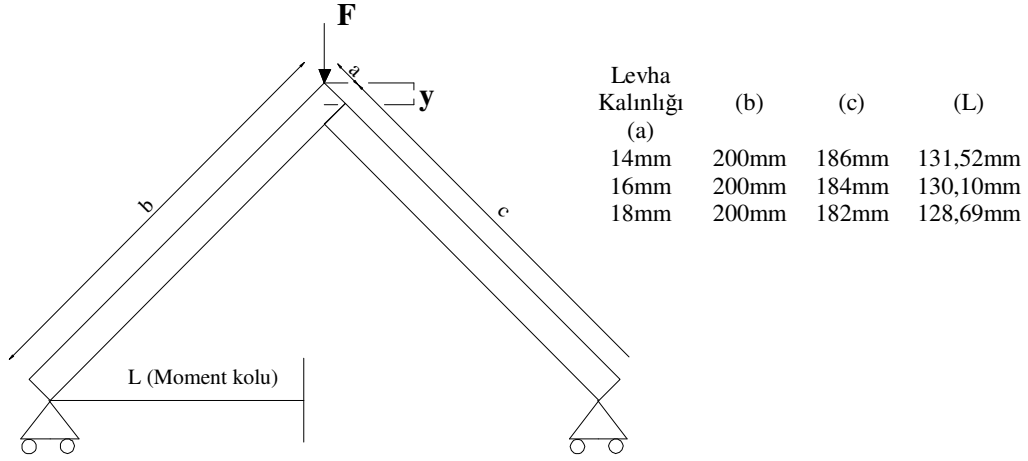


Resim 3.9. “L” tipi birleştirmelerde eğilme deneyleri için yükleme şekli ve deney düzeneği

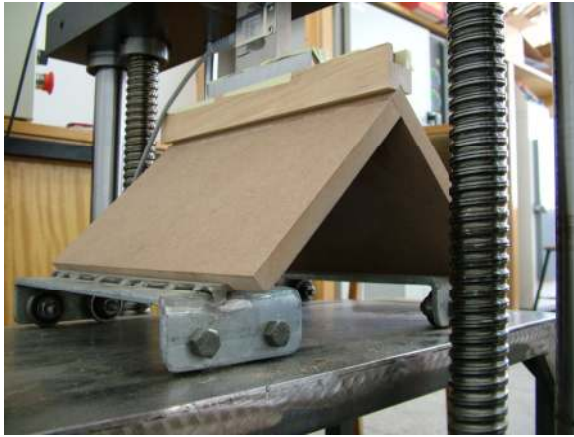
Deneylerde, rijitlik için deney cihazının özelliğinden yararlanılarak, y_1 yönündeki yer değiştirmeler de ölçülmüştür (Şekil 3.8).

Diyagonal çekme deneyi

Diyagonal çekme deneyinde moment kolu mesafeleri ve deney numune ölçüleri Şekil 3.9’da, yükleme şekli ve deney düzeneği ise Resim 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Diyagonal çekme deneyinde moment kolu mesafeleri



Resim 3.10. Diyagonal çekme deney düzeneği ve yük uygulama noktası

Diyagonal çekme deneylerinde moment (M_{ζ}), Eş. 3.13 ile hesaplanmıştır.

$$M_{\zeta} = \frac{F_{\max \zeta}}{2} \times L_{\zeta} (Nm) \quad (3.13)$$

Burada;

M_{ϕ} = Moment (Nm)

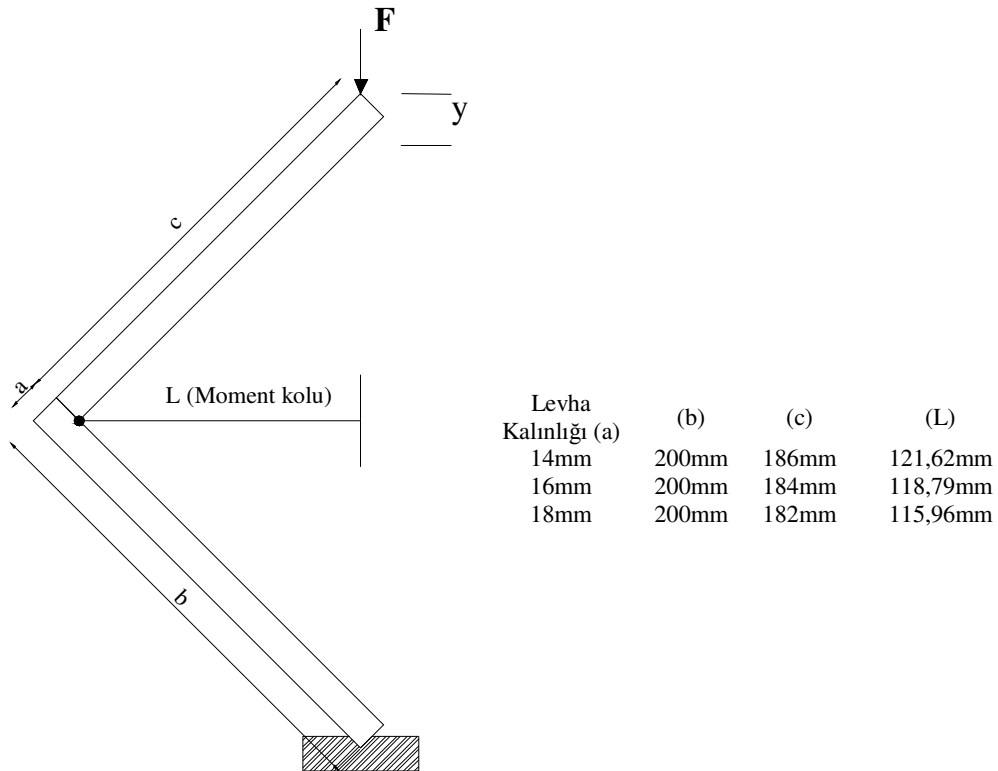
$F_{\max\phi}$ = Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

L_{ϕ} = Moment kolu (m)

Deneylerde, rijitlik için deney cihazının özelliğinden yararlanılarak, y_1 yönündeki yer değiştirmelerde ölçülmüştür.

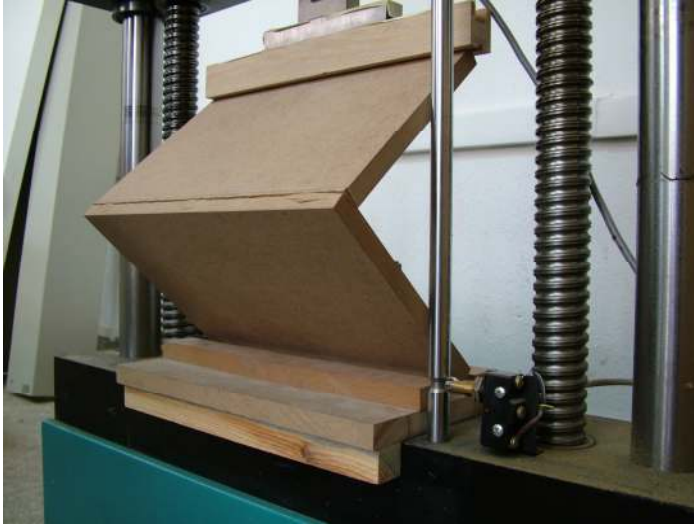
Diyagonal basınç deneyi

Diyagonal basınç deneyinde moment kolu mesafeleri ve deney numune ölçüleri Şekil 3.10'da yükleme şekli ve deney düzeneği ise Resim 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Basınç deneyinde moment kolu mesafeleri

Deneylerde, rijitlik için deney cihazının özelliğinden yararlanılarak, y_1 yönündeki yer değiştirmeler de ölçülmüştür.



Resim 3.11. Diyagonal basınç deney düzeneği ve yük uygulama noktası

Diyagonal basınç deneylerinde moment (M_c), Eş. 3.14 ile hesaplanmıştır.

$$M_b = F_{\max b} \times L_b \quad (Nm) \quad (3.14)$$

Burada;

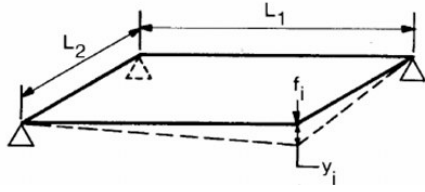
M_b = Moment (Nm)

$F_{\max b}$ = Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

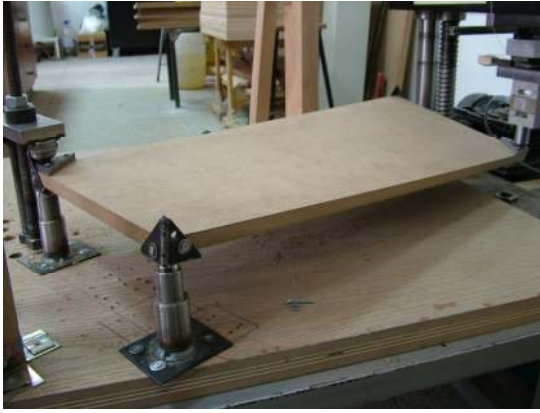
L_b = Moment kolu (m) dur.

3.2.3. Panel rijitlikleri deneyi

Rijitlik panele uygulanan yükün (F) o panelde meydana getirdiği deformasyona (y) oranı olarak kabul edilir. Deneysel olarak yapılan rijitlik analizlerinde çeşitli yöntemler olmakla beraber Şekil 3.11'deki gibi panel üç köşe noktasından sabitlenerek dördüncü serbest noktasından yük uygulanmaktadır. Serbest köşedeki yük (F) altında meydana gelen deformasyon (y) Eş. 3.15 ile hesaplanabilir (Resim 3.12) [3]. Deneylerde L_1 boyu 800 mm L_2 genişlik 320 mm ve kalınlıklar 14-16-18 mm'dir.



Şekil 3.11. Panel rijitliği yük yer-değiştirme şekli



Resim 3.12. Panel rijitliği deney düzeneği ve yük uygulama noktası

$$f / y = t^3 . G / (3 . L_1 . L_2) \quad (3.15)$$

Burada:

t = panel kalınlığı, (mm),

G = panelin rijitlik veya kesme modülü, (N/mm²),

L_1 = panelin burkulma eksenindeki uzunluğu, (mm),

L_2 = panel genişliği, (mm) dir [69].

3.2.4. Deney kutularının hazırlanması ve deney yöntemi

3 farklı kalınlıkta ve 3 malzeme çeşidi kullanılarak 2 farklı tipte ön çerçeveli ve ön çerçevesiz kutu mobilyalar hazırlanmıştır. Hazırlanan kutularda kavelalı ve vidalı olmak üzere iki birleştirme tekniği kullanılmıştır. Kavelalı birleştirmelerde 8 mm çapında ve 39-41-43 mm boyunda düz yivli gövdeli kavelalar kullanılmıştır. Kavelalı

birleştirme işlemlerinde TS 4539'da belirtilen esaslara uyulmuştur [99]. Vidalı birleştirmelerde, 4 mm çapında ve 50 mm boyundaki yıldız başlı vidalarla bağlantı sağlanmıştır. Vidalama işlemlerinde, karşı elemanlara 2,5 mm çapında ve 32-34-36 mm derinliğinde ön delikler açılmıştır. Vidalı birleştirmelerde, konstrüksiyonun amacına uygun olması için çapı yaklaşık vida boyun çapı, derinliği ise vida etkili boyu kadar olacak şekilde kılavuz deliklerin açılması önerilmektedir. Açılan kılavuz deliklerin, ağacın çatlamasını önleyeceği ve vida dişlerinin optimum şekilde görevlerini yapabilmelerine olanak sağlayacağı bildirilmiştir [3].

Deney kutularının ön çerçevelerini hazırlama aşamasında, temin edilen ahşap malzemeler kaba ölçülerinde biçildikten sonra doğrudan güneş ışığı almayan havalandırılabilen bir ortamda aralarına göknar latalar konularak istiflenmiş ve yaklaşık bir yıl süre ile istifte bekletilmişlerdir. Böylece masif ahşap malzemenin yaklaşık hava kurusu ($r \cong \%12$) rutubete ulaşmaları sağlanmıştır. Daha sonra, ön çerçeveyi oluşturan tüm elemanlar önce planya makinesinde rendelenmiş, daha sonra kalınlık makinesinde 20 mm kalınlığa düşürülmüş, son olarak da daire testere makinesinde genişlikleri 50 mm ve her elemanın boyu dikey kayıtlarda 800 mm yatay elemanlarda 700 mm olacak şekilde net ölçülerine getirilmiştir. Tüm elemanların kesitlerinin eşit ölçülerde olması sağlanmıştır. Çerçevesi kutu tipi mobilyaları oluşturan ön çerçeve elemanının ölçüleri Çizelge 3.3'de verilmiştir. Çerçeveler kavelalı birleştirilmiş ve kutuya tutkal ile yapıştırılmıştır.

Ahşap kompozit malzemeler; yüzeyleri düzgün ve kalınlıkları standart (14, 16 ve 18 mm) olduğundan, doğrudan daire testere makinesinde net ölçülerinde kesilmişlerdir. Daha sonraki aşamada, kavelalı birleştirme yapılacak olan örneklerin tüm elemanlarında çoklu delik makinesinden yararlanılarak delme işlemleri yapılmıştır. Kavela deliği merkezleri, parça kesitinin kenarlarından genişlik yönünde 32 mm içeride olacak şekilde simetrik olarak ve tam ortada olacak şekilde toplamda 3 delik ve kalınlık yönünde ise tam orta ekseninde olacak şekilde ayarlanmıştır. Delik işleminden sonra kutu arkalıkları için boydan boya levha kalınlığının yarısı ve arkadan 10 mm olacak şekilde 4 mm genişliğinde kuniş açılmıştır. Arkalık bu kunişe montaj aşamasında yerleştirilmiştir.

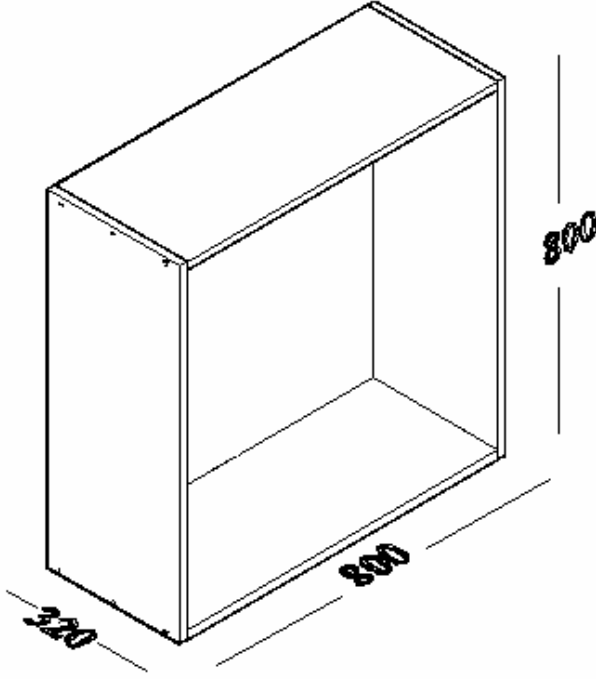
Kavela delikleri, kavelanın çakıldığı elemanda 28 mm, karşı elemanda ise 14 mm levha kalınlığı için 11mm, 16 mm levha kalınlığı için 13 mm, ve 18 mm levha kalınlığı için 15 mm derinlikte olacak şekilde delinmiştir. Bir başka ifade ile kavela etkili boyu 11, 13 ve 15 mm' dir. Kavela deliklerinin delinmesinden sonra, montaj aşamasına geçilmiştir. Tutkallama işlemlerinde polivinilasetat tutkalı birleşme yerlerine $150 \pm 10 \text{ g/m}^2$ hesabı ile kavela deliklerine, kavelalara ve arakesit yüzeylerine sürülmüştür. Presleme işleminde, birleşme yerlerine işkence ile basınç uygulanarak, parçalar sıkılı vaziyette 2 saat bekletilmişlerdir.

Vidalı birleştirme yapılacak olan örneklerin tüm elemanlarında çoklu delik makinesinden yararlanılarak delme işlemleri yapılmıştır. Vida deliği merkezleri, parça kesitinin kenarlarından genişlik yönünde 64 mm içeride, simetrik olarak toplam 2 delik ve kalınlık yönünde ise tam orta ekseninde olacak şekilde ayarlanmıştır. Burada, vidaların gireceği merkezlere öncelikle 2,5 mm çapında ve 32, 34 ve 36 mm derinliğinde ön delikler açılmıştır.

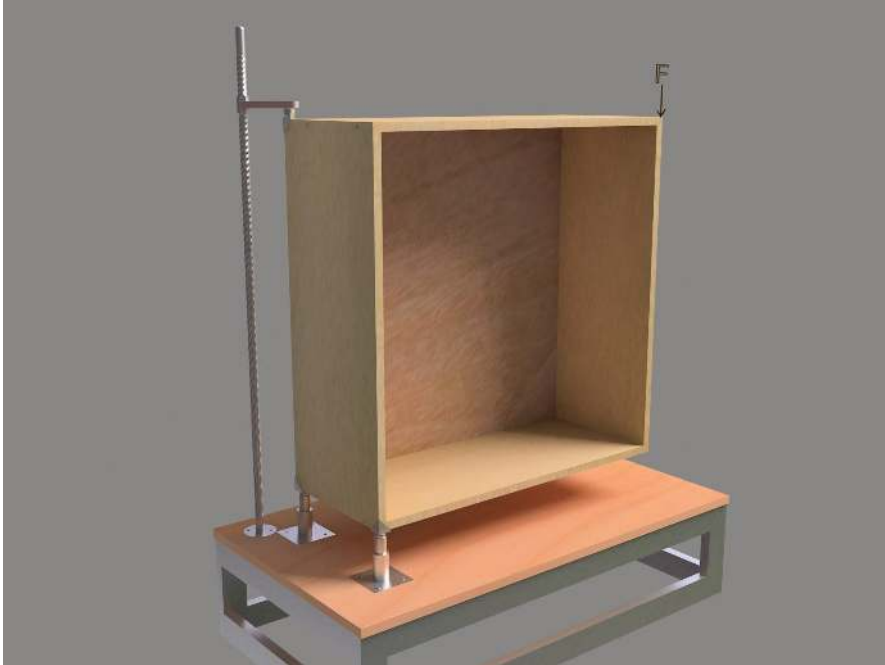
Çerçevesiz kutu tipi mobilyaları oluşturan elemanların ölçüleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Ön çerçevesiz kutulara ait genel ölçüler (Şekil 3.12), yük uygulama ve deney düzeneği Resim 3.13'de, ön çerçeveli kutu tipi mobilyalara ait genel ölçüler (Şekil 3.13), yük uygulama ve deney düzeneği ise Resim 3.14'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Kutu tipi mobilyaları oluşturan elemanların ölçüleri (mm)

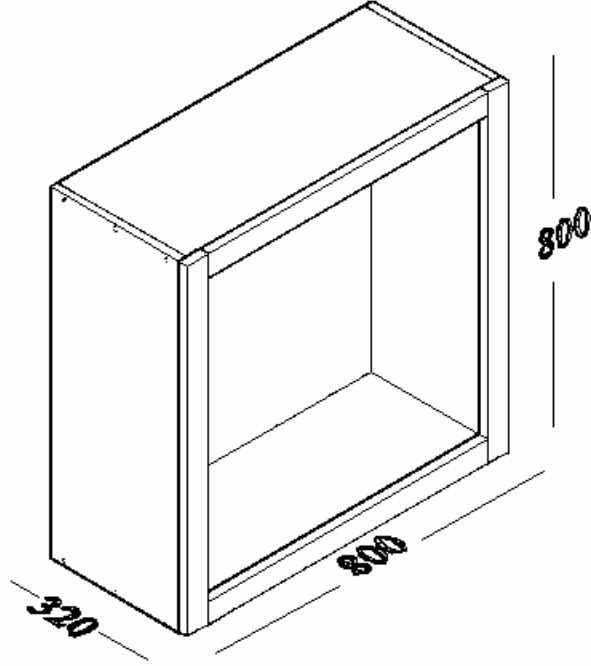
Eleman Adı	Eleman Sayısı	Levha Kalınlığı								
		14			16			18		
		Boy	Genişlik	Kalınlık	Boy	Genişlik	Kalınlık	Boy	Genişlik	Kalınlık
Yan Tabla	2	800	320	14	800	320	16	800	320	18
Üst Tabla	1	772	320	14	768	320	16	764	320	18
Alt Tabla	1	772	320	14	768	320	16	764	320	18
Arka Panel	1	786	786	4	784	784	4	782	782	4
Ön çerçeve üst kayıt	1	800	50	20	800	50	20	800	50	20
Ön çerçeve alt kayıt	1	800	50	20	800	50	20	800	50	20
Ön çerçeve yan kayıt	2	700	50	20	700	50	20	700	50	20



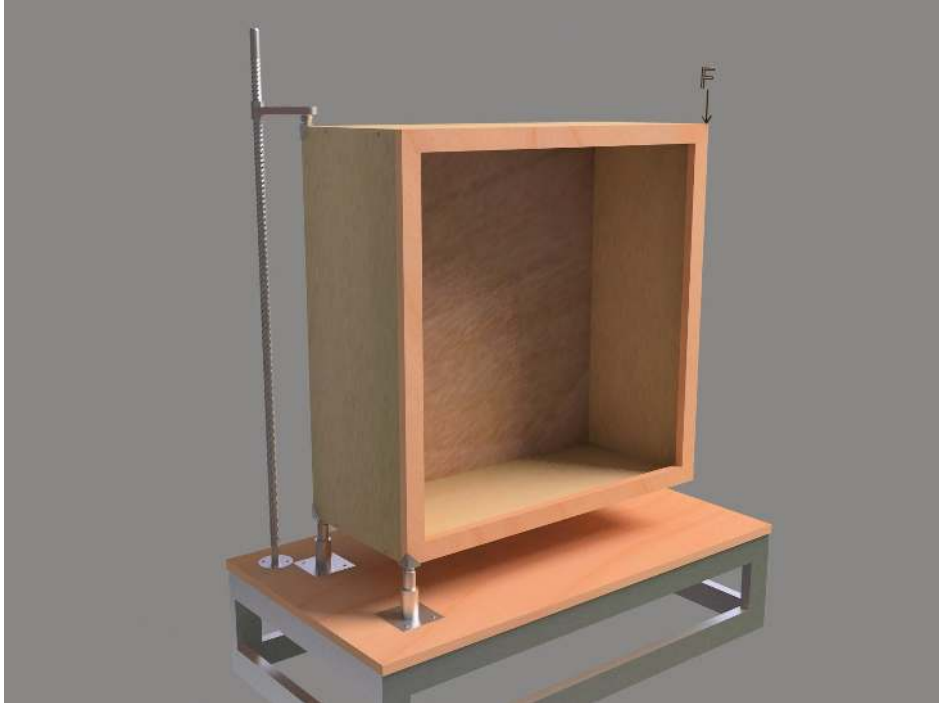
Şekil 3.12. Çerçevesiz kutulara ait genel ölçüler (mm)



Resim 3.13. Çerçevesiz kutulara ait deney düzeneği ve yük uygulama noktası



Şekil 3.13. Çerçeveveli kutulara ait genel ölçüler (mm)



Resim 3.14. Çerçeveveli kutulara ait deney düzeneği ve yük uygulama noktası

Deney kutularına ait deneme deseni

Deneylerde, 3 ahşap kompozit malzeme çeşidi, 3 farklı levha kalınlığı, 2 birleştirme tekniği, 2 farklı konstrüksiyon (çerçevesiz ve çerçevesiz olmak üzere) ve her numunedan 3 adet tekrerrür olacak şekilde toplam 108 adet ($3 \times 3 \times 2 \times 2 \times 3 =$) 1/1 ölçekli deney numunesi kutu tipi mobilya hazırlanmıştır. Deneme deseni Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Deneylerde kullanılan kutu mobilyalara ait deneme deseni

Çerçeve Tipi	Birleştirme Çeşidi	Levha Türü	Levha Kalınlığı		
			14 mm	16 mm	18 mm
Çerçevesiz	Kavelalı	Yongalevha	3	3	3
		MDF	3	3	3
		Kontrplak	3	3	3
	Vidalı	Yongalevha	3	3	3
		MDF	3	3	3
		Kontrplak	3	3	3
Çerçevesli	Kavelalı	Yongalevha	3	3	3
		MDF	3	3	3
		Kontrplak	3	3	3
	Vidalı	Yongalevha	3	3	3
		MDF	3	3	3
		Kontrplak	3	3	3
Toplam		108 adet numune			

Deneylerin yapılışı

Deneyler, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü Mekanik Test Laboratuvarındaki Üniwersal Test cihazında yapılmıştır. Deney cihazının yük kapasitesi 5 ton olup elektro-mekanik sistemde çalışmaktadır. Yükleme hızı bilgisayar ile ayarlanabilmektedir. Deneylerde statik yükleme hızı 2 mm/dk olacak şekilde ayarlanmıştır. Kutu tipi mobilyalara ait deney düzeneği, yük uygulama noktası Resim 3.15’de gösterilmiştir.



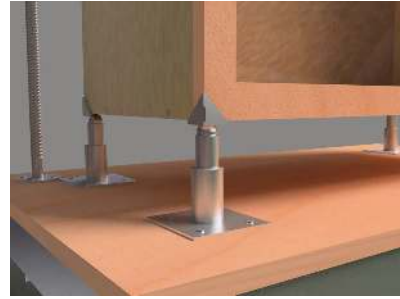
Resim 3.15. Kutu tipi mobilyalarda deney düzeneği ve yük uygulama noktası

Mevcut deney cihazı tek bir yükleme koluna sahip olup, düşey yönde (y_1) yükleme yapabilmektedir. Yapılan deneylerde düşey statik yük karşısında, aynı anda y_2 ve y_3 yönlerindeki yer değiştirmeler de ölçülebileceğinden yükleme başlığının bu üç yönde hareket edebilmesine olanak sağlayan rasyonel bir deney düzeneği tasarlanmıştır (Resim 3.16).

Kutular alt tarafta üç noktadan mesnetlenmiş (Resim 3.17), mesnetlenmemiş noktaya ise bir komperatör yerleştirilerek y_1 yönündeki yer değiştirme ölçümü sağlanmıştır.



Resim 3.16. Kutu tipi mobilya testlerinde yük uygulama başlığı



Resim 3.17. Kutu tipi mobilyalarda sınır şartları, mesnet koşulları

Denemeler sonucunda, kırılma anındaki maksimum kuvvetler Newton (N) cinsinden kaydedilmiştir. Bundan ayrı olarak, deneyler sırasında, birleştirmelerin rijitliğini değerlendirebilmek amacıyla, her 50 N (5 kgf) luk yük artışına karşılık gelen üç yöndeki yer değiştirme miktarları da ölçülerek, kuvvet–yer değiştirme ilişkileri belirlenmiştir. Kuvvet yer değiştirme ilişkilerinde (y_1) yönündeki yer değiştirmeler esas alınmıştır. Düşey yöndeki komparatörden başka kutunun yatay yöndeki (y_2) ve öne doğru olan (y_3) yer değiştirme ölçümlerinde ise dijital komparatörlerden yararlanılmıştır (Resim 3.18).



(a)



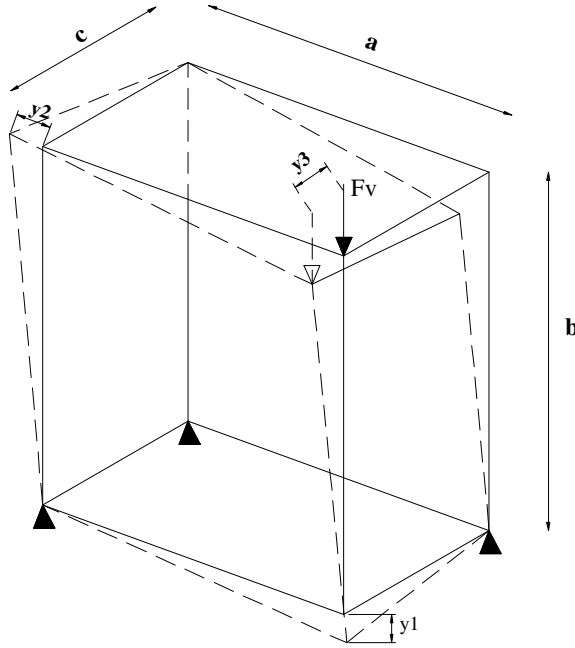
(b)

Resim 3.18. Kutu tipi mobilyada deneylerinde yer-değiştirme

- a) y_1 yönünde yer değiştirme ölçümü için yerleştirilmiş komparatör
- b) Yatay yöndeki yer değiştirmelerde kullanılan dijital komparatör

Ön çerçevesiz kutular için teorik hesaplar

Rijitlik kutuya uygulanan yükün (F) o kutuda meydana getirdiği deformasyona (y) oranı olarak kabul edilir. Deneysel olarak yapılan rijitlik analizlerinde çeşitli yöntemler olmakla beraber Şekil 3'teki gibi kutu üç köşe noktasından sabitlenerek dördüncü serbest noktasından yük uygulanmaktadır.



Şekil 3.14. Bir F_v yükü altındaki kutunun yer değiştirme miktarı [3].

Serbest köşedeki yük (F) altında meydana gelen deformasyon (y) Eş. 3.16 ile hesaplanabilir:

$$y = F / \left(\frac{f_4}{y_4} \text{üst} + \frac{f_2}{y_2} \text{alt} + 2 \frac{b^2 f_{1,3}}{a^2 y_{1,3}} \text{kenar} + \frac{b^2 f_0}{c^2 y_0} \text{arka} \right) \quad (3.16)$$

Burada:

f_i / y_i = Kutuyu oluşturan panellerin elastikiyeti, (N/mm),

y = Serbest köşedeki deformasyon, (mm),

a = Kutunun genişliği, (mm),

b = Kutunun yüksekliği, (mm),

c = Kutunun derinliği, (mm),

F = Dikey yönde uygulanan kuvvet (N), dir.

y_1 hesaplandıktan sonra y_2 Eş. 3.17, y_3 Eş. 3.18 ile hesaplanır;

$$y_2 = (c/a).y_3 = (c/a).(b/c).y_1 = (b/a).y_1 \quad (3.17)$$

$$y_3 = (b/c).y_1 \text{ dir.} \quad (3.18)$$

Ön çerçevesel kutularda teorik hesaplar

Çerçevesel kutu tipi mobilyalarda çerçevesel kutu rijitliği “Eş. 3.19” ile, çerçevenin rijitliği ise Eş. 3.20 ile belirlenir.

$$(1/y_{cf}) = 1/y_c + 4/(y_f) \quad (3.19)$$

y_c : Kutunun rijitliği

y_f : Çerçevenin rijitliği

$$y_f = F_4 \times [a^2/48] [b/(E_1 I_1) + a/(E_2 I_2) + b/(E_3 I_3) + a/(E_4 I_4)] \quad (3.20)$$

Burada;

E = Elastiklik Modülü (N/mm^2),

I = Her bir elemanın Atalet Momenti (mm^4) olmak üzere, atalet momenti Eş. 3.21 ile tanımlanır.

$$I = w \times d^3 / 12 \quad (3.21)$$

w = Kalınlık (önden arkaya), (mm),

d = Her bir elemanın derinliği (mm) dir [41].

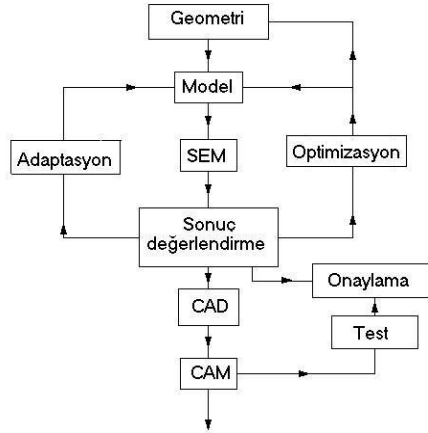
3.3. Bilgisayar Destekli Üç Boyutlu Analizler

Bilgisayar destekli analizler bir sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS10.0 programında yapılmıştır. Sonlu elemanlar metodu pratikte normal yöntemlerle sonucu bulunamayan veya çözümü zor mühendislik problemlerinin analizinde çok

kullanılan nümerik bir yöntemdir [100]. Sonlu elemanlar yöntemi aynı zamanda mühendislikte malzemelerin veya sistemlerin dış etkenlere (kuvvet, ısı, elektrik, vb.) karşı davranışlarının analizinde de kullanılır. Sonlu elemanlar yöntemi yapısal statik hesaplamalarda rijitlik matrisi $\{K\}$ ile deformasyonlar matrisinin $\{u\}$ kuvvetler matrisine $\{F\}$ eşitlenmesi ile kurulan matematik modelin nümerik çözümünü içerir. SEM'i kullanan çok sayıda bilgisayar programı mevcuttur; ALGORTM, COSMOS/MTM, NASTRANTM, ADINATM, ve ANSYSTM bunlara örnek olarak verilebilir. Bu programlarda yapılan yapısal analizlerde genellikle malzemeler homojen ve izotropik olarak kabul edilir. Homojen ve izotropik özelliklerin kullanılması ahşap ve ahşap kompozitleri için yanlış sonuçların çıkmasına yol açabilir [100]. Sonlu elemanlar yönteminde ahşap için üç yöndeki elastikiyet özellikleri ve bu yönlere ait Poisson sabitlerinin kullanılması homojen olmayan ve anizotrop durumlardan dolayı ortaya çıkacak problemlerin önüne geçilmesinde yardımcı olur [101]. Sonlu elemanlar yönteminin kullanılması her türlü mühendislik alanında yaygınlaşmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi geçmişte tasarımın onaylanmasında kullanılmasına rağmen günümüzde tasarım aşamasının bir ögesi haline gelmiştir (Şekil 3.15). Sonlu elemanlar yöntemindeki temel fikir sürekli bir sistemi sonlu sayıda elemana ayırmaktır. Her elemanın davranışı gerilim veya deformasyon fonksiyonları ile belirlenir. Elemanlar birbirlerine düğüm noktalarında bağlıdırlar. Elemanların ve düğüm noktalarının kombinasyonu sonlu elemanlar ağı olarak tanımlanır [100].

Sonlu elemanlar analiz prosedürü temel olarak üç aşamadan oluşmaktadır. Genel olarak bu aşamalar ANSYSTM gibi bilgisayar programlarındaki temel işlem aşamalarında temsil edilmektedirler. Bu aşamalar:

- Giriş modülü (Preprocessor): Bu aşamada eleman tipleri, eleman sabitleri, elemanların özellikleri, modelin geometrisi, eleman büyüklüğü belirlenilerek ağ oluşturulur.
- Hesap modülü (Solution): Bu aşamada hangi analizin yapılacağı, sınır şartları ve yüklemeler belirlenerek analiz başlatılır.
- Çıktı modülü (General Postprocessor): Bu aşamada sonuçlar rakamsal veya grafik olarak okunur.



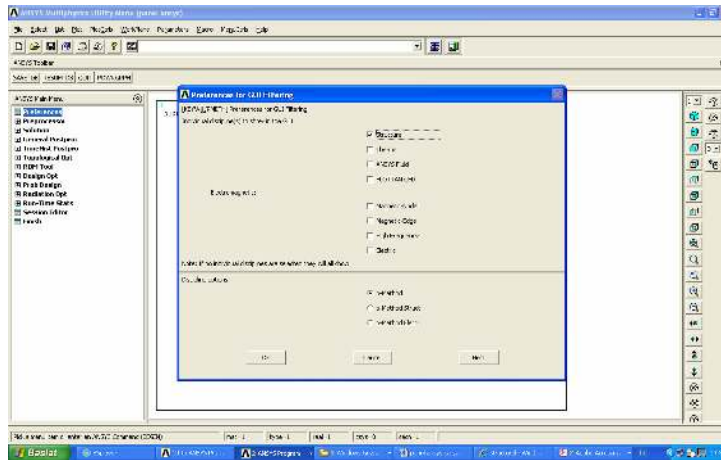
Şekil 3.15. Tasarımda sonlu elemanlar metodu'nun rolü [102].

3.3.1. “L” Tipi birleştirmelerin sonlu elemanlarla analizine örnek uygulama

Burada Ansys programında örnek uygulama olarak “L” tipi birleştirmelerde basınç deneyine ait bir örnek gösterilmiştir. Örnek olarak 18 mm kalınlığında MDF kompozit malzeme ve birleştirme olarak vidalı-kavelalı birleştirme örneği seçilmiştir.

Analiz Tipinin Belirlenmesi

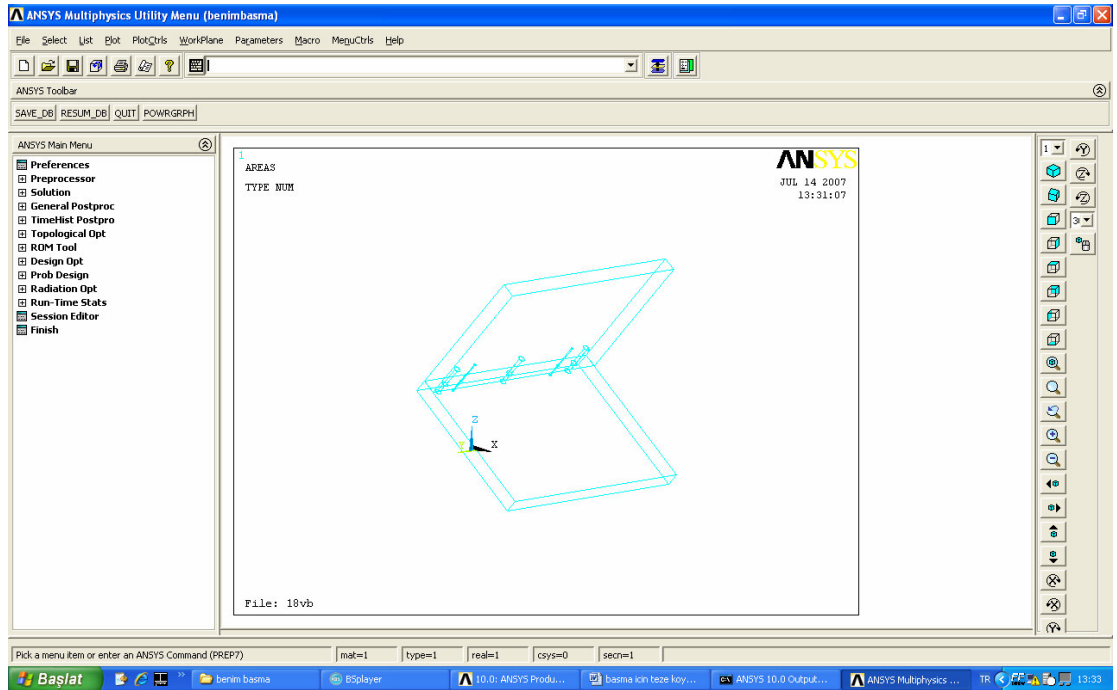
‘ANSYS Main Menü/Preferences’ (tercih) menüsünden structural (yapısal) işaretlenir (Resim 3.19).



Resim 3.19. ANSYS 10.0 sonlu elemanlar paket programında analiz tipinin belirlenmesi

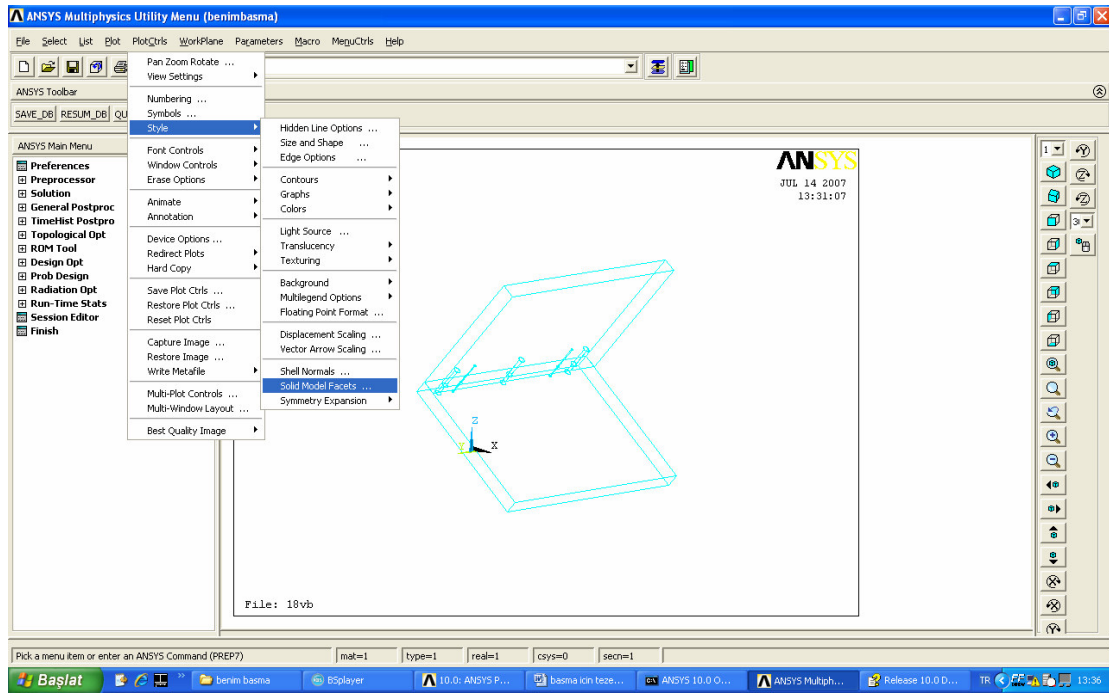
Modelin Oluşturulması

Katı model cad programında çizildikten sonra export edilir ve iges veya sat uzantılı olarak kaydedilir. Daha sonra Ansys 10.0 programında bu çizim import edilir (Resim 3.20), 3 boyutlu resmin tel kafes görünümünden katı model görünümüne geçmesi (Resim 3.21) ve tüm hacimlerin birleştirilmesi sağlanır (Resim 3.22).

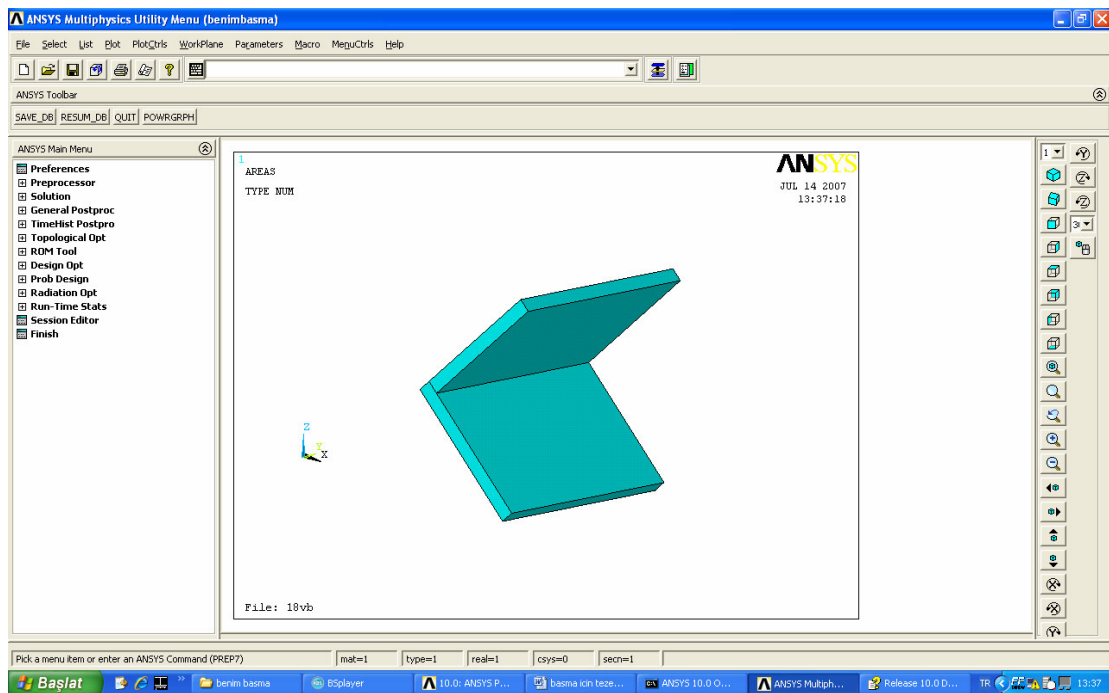


Resim 3.20. Cad programında çizilen 3 boyutlu resmin Ansys 10.0 programına import edilmesi

Menu Paths>Utility Menu>PlotCtrls>Style>Solid Model Facets, yolu ile katı modelin tel kafes görünümünden katı model görünümü sağlanır.



(a)

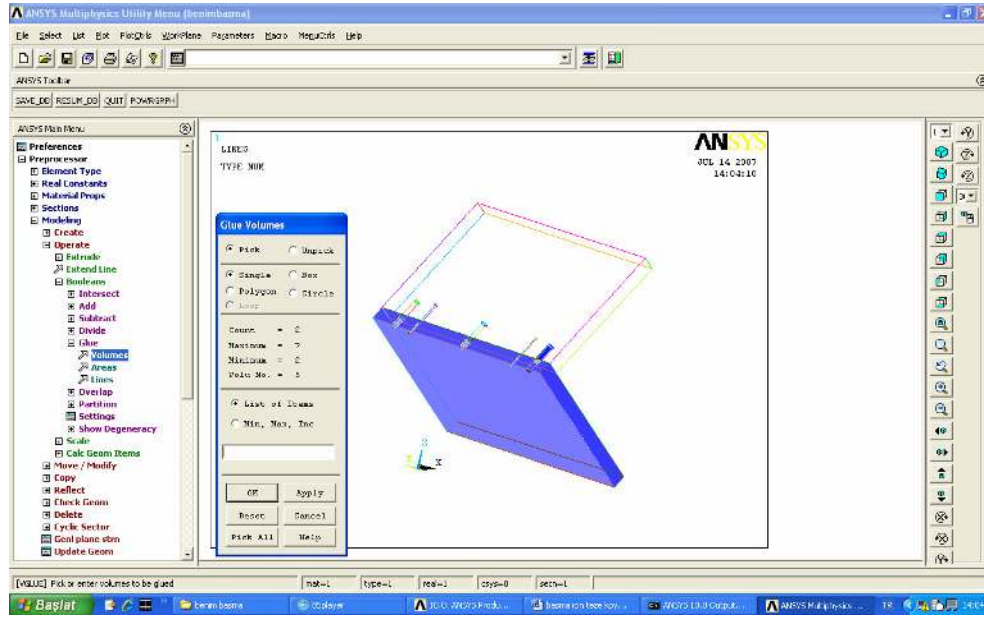


(b)

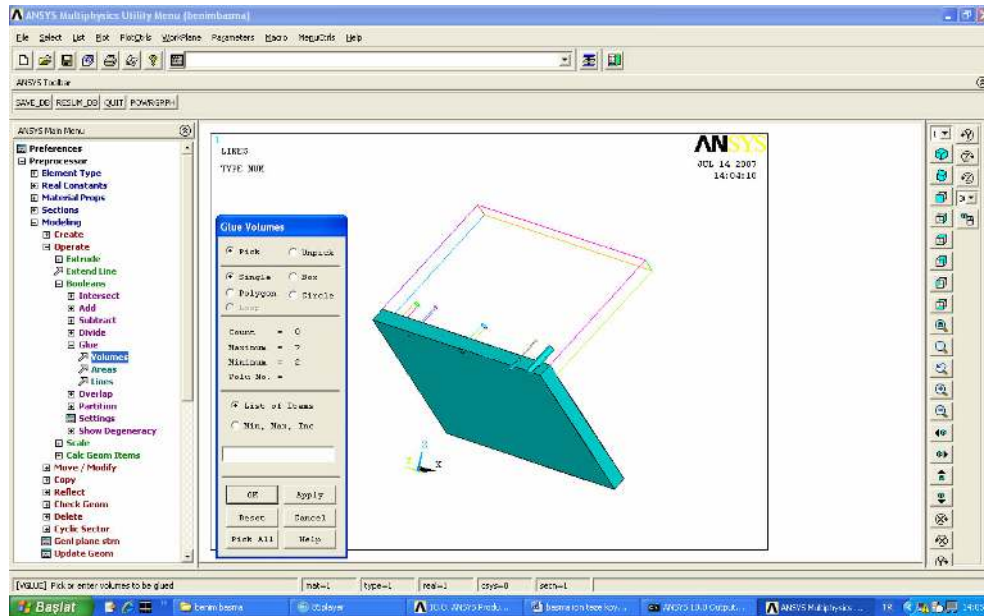
Resim 3.21. Tel kafes görünümündeki şeklin katı modele dönüştürülmesi

- a) Modelin tel kafes görünümü
- b) Modelin katı model görünümü

Main Menu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Glue>Volumes, yolu izlenerek, hacimlerin birleştirilmesinde Glue komutu kullanılır, burada örnek olarak penel ile kavelanın hacimlerinin birleştirilmesi verilmiştir.



(a)



(b)

Resim 3.22. Hacimlerin birleştirilmesi

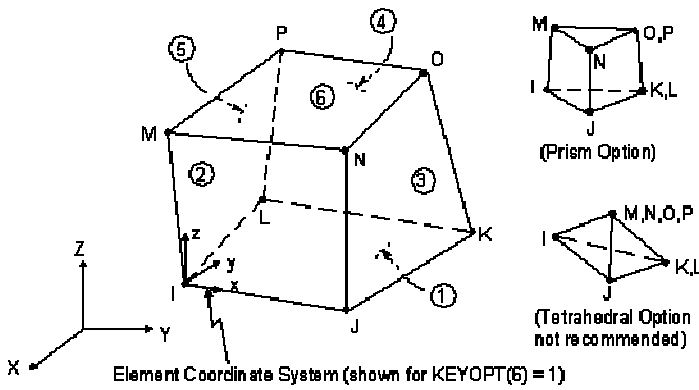
a) Levha ve kavelanın birleştirilmesi

b) Levha ve kavelanın birleştirilmiş görünümü

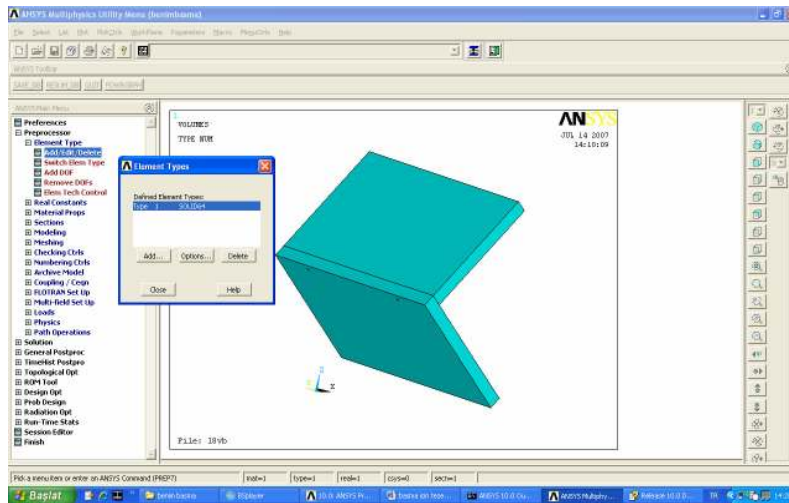
Eleman tipi ve özelliklerinin belirlenmesi

Hem “L” tipi birleştirmeleri hem de kutu tipi mobilyaları modellemek için ANSYS®’in bünyesinde yer alan eleman tiplerinden Solid 64 elemanı kullanılmıştır. Solid 64 elemanı çekmede çatlama, basınçta ezilme, plastik deformasyon ve sünme özelliklerini barındıran 8 düğüm noktalı solid elemandır (Şekil 3.16). Her düğüm noktasında x, y ve z yönlerinde 3 ötelenme serbestlik derecesine sahiptir [103].

Main Menu>Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete tıklanır. Çıkan ekranda Add tıklanır. Bundan sonra çıkan ekranda ‘Solid 64 elemanı’ seçilir (Resim 3.23).



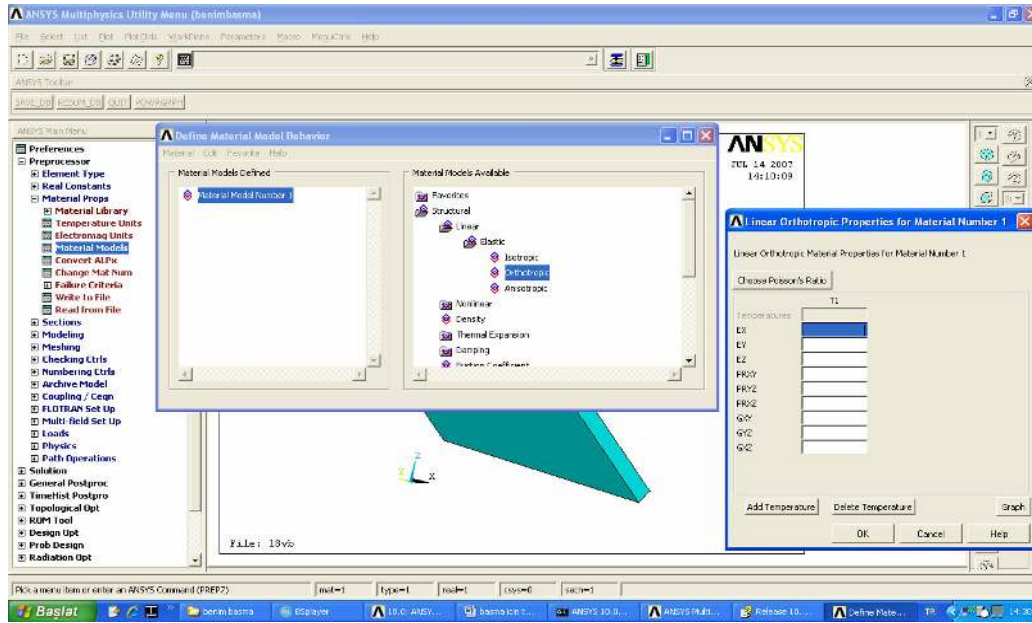
Şekil 3.16. Solid 64 sonlu eleman özellikleri



Resim 3.23. Eleman tipinin belirlenmesi

Malzeme özelliklerinin belirlenmesi

Ahşap ve ahşap kompozit malzeme ortotropik yapıdadır. Malzemenin mekanik özellikleri girilir. Main Menu>Preprocessor > Material Props > Material Models tıklanır. Çıkan pencerede Material Model Number > Structural > Linear > Elastic > Orthotropic seçilir ve malzemelerin mekanik özellikleri girilir (Resim 3.24).



Resim 3.24. Malzeme özelliklerinin belirlenmesi

Bu bölümde ahşap tabakalı kompozitlerin genel özellikleri hakkında bilgi verilmiştir.

Ahşap kompozit malzeme

Ahşap organik bir malzeme olarak, lifli yapısıyla çeşitli yönlerden gelen mekanik etkilere değişik seviyede direnç göstermekte, genellikle su ve nemden aşırı ölçüde etkilenmektedir. Ayrıca, türüne göre masif ahşap malzeme ancak belirli boyutlarda kullanılabilir, doğal ahşaptan büyük boyutlu levhalar üretilmemektedir. Ayrıca, genel olarak doğal ahşap günümüzde pahalı bir malzeme niteliğindedir ve giderek masif ahşabın kullanım alanı mobilya üretimiyle sınırlanmakta, diğer alanlarda

alternatif malzemeler ve ahşap kompozitler her geçen gün daha fazla oranda kullanılmaktadır [104].

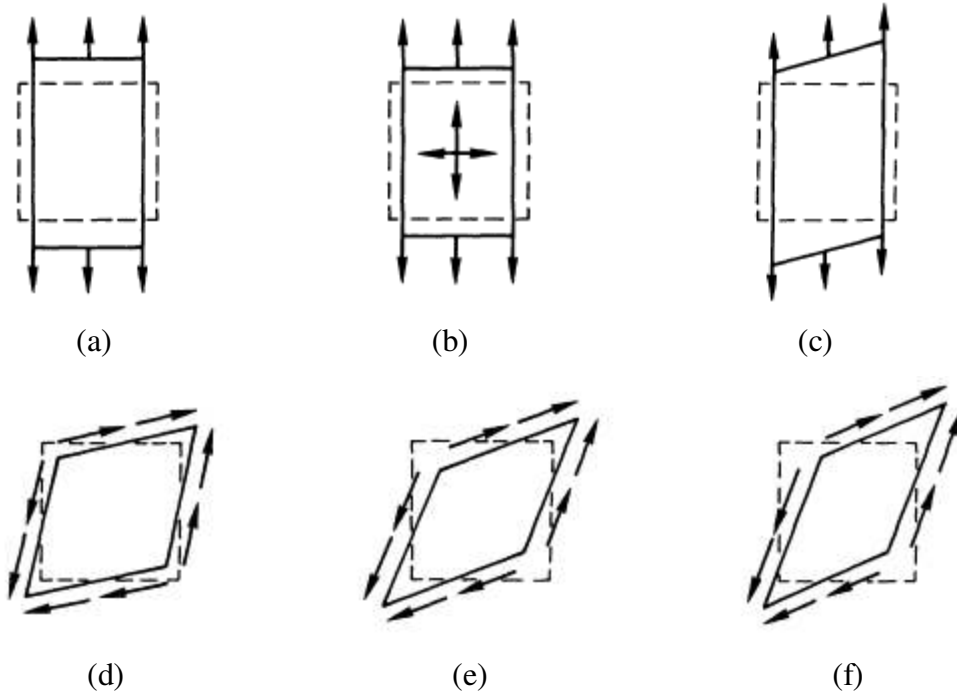
Tabakalı kompozitlerin yük altındaki davranışları

Kompozit malzemelerin mekanik davranışları diğer birçok malzemeye uymamaktadır. Uygulamada kullanılan malzemelerin birçoğu homojen (yapısı ve özellikleri her yerinde özdeş olan madde), ve izotrop (özellikleri tüm doğrultuda özdeş olan ortam), özellikler göstermektedir. Buna karşılık kompozit malzemeler genelde heterojen ve anizotrop yapıya sahiptirler. Heterojen malzemede, malzemenin özellikleri bir noktadan başka bir noktaya geçildiğinde değişir. Buna benzer şekilde, anizotrop bir malzemede de özellikler, bir noktada değişen doğrultuya göre farklılık gösterir. Bu değişim, birbirine dik üç düzlemde yer alan veya üç doğrultudaki özellikler olarak ele alınabilir [118].

Uygulamada kullanılan birçok kompozit malzeme, yapıları bakımından heterojen niteliğe sahiptirler. Kompozit malzemelerin mekanik davranışları genelde;

- Kompoziti oluşturan malzemelerin ve bunların birbirleriyle ilişkilerinin mikroskobik düzeyde ele alındığı mikro mekanik davranışlar,
- Kompozit malzemedan kaynaklanan ortalama özelliklerin bir bütün olarak ele alınarak değerlendirildiği makro mekanik davranışlar olarak ayrı başlık altında ele alınarak irdelenir [105].

Malzemelerin izotrop veya anizotrop oluşuna göre mekanik davranışları farklı özellikler gösterir. Uygulamada, anizotrop malzemelerin birçoğu genel olarak ortotrop (orthotropic-ortotropik) özellikler göstermektedir. İzotrop malzemeler, yapılarında herhangi bir yöne göre değişiklik göstermeyen malzemelerdir. Normal gerilme altında, Hooke Yasası sınırları içinde, şekil değişikliği gösterirler (Şekil 3.17) bu malzemelerin bünyelerinde kayma gerilmeleri meydana gelmesi halinde, malzemede açı değişikliği görülmektedir [105].



Şekil 3.17. İzotrop, ortotrop ve anizotrop malzemelerde gerilmeye bağlı davranışlar

- a) İzotrop malzeme(izotropik) normal gerilme
- b) Ortotrop malzeme (ortotropik) normal gerilme
- c) Anizotrop malzeme(anizotropik) normal gerilme
- d) İzotrop malzeme(izotropik) kayma gerilmesi
- e) Ortotrop malzeme (ortotropik) kayma gerilmesi
- f) Anizotrop malzeme(anizotropik) kayma gerilmesi

Ortotrop malzemelerde, birbirine dik doğrultulardaki malzeme özellikleri farklılıklar gösterir. Yüklemin asal malzeme doğrultusunda olması halinde, malzeme üzerinde etkili olan kuvvetin yönüne bağlı olarak uzama veya kılma şeklinde kendini gösteren, izotrop hale benzer bir şekil değışikliğı meydana gelir. Kayma halinde ise, malzemenin yönler'e göre zaten farklı olan Poisson oranlarından (ν_1, ν_2) ve elastisite modüllerinden (E_1, E_2) bağımsız bir açı değışikliğı görülebilir [105].

Anizotrop malzemelerde, normal gerilme doğrultusu, asal malzeme doğrultularıyla çakışmamaktadır. Bu durumda, normal gerilme altında hem boyutsal deformasyon, hem de açısal değışiklik meydana gelir. Aynı durum, basit kayma etkisi altında da görülmektedir [105].

Tabakalı bir kompozit malzeme, çeşitli tabakaların bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bu tabakalar, farklı malzemelerden yapılmış olabileceği gibi, aynı malzemeden elde edilmiş de olabilmektedir. Ancak aynı malzemenin tabakalarının bir araya getirilmesi halinde, genelde bu malzeme ahşap gibi yönlere göre farklı özellikler gösteren bir malzeme olmaktadır [104].

Kompoziti oluşturacak tabakaların bir araya getirilmesi işlemi sırasında, tabakaların farklı özellikler gösteren yönleri istendiği gibi düzenlenebilir. Örneğin, tek sayıda, beş adet tabaka içeren bir kompozitte tabakalar, genellikle yapıldığı gibi, özelliklerine göre birbirleriyle 90° açı yapacak şekilde, orta tabakaya göre simetrik olarak düzenlenebileceği gibi, gereksinime göre asimetrik olarak da (45°) düzenlenebilir [104].

Tabakalı kompozit malzeme üretiminde, her bir tabakanın mekanik özellikleri dikkate alınarak, kompozitin maruz kalacağı öngörülen etkiye göre tabaka düzenlemesi yapılabilir. Bu durumda, gereksinim görülen yönlerde tabakalar yerleştirilmektedir. Örneğin bir yönden daha fazla dayanım gerektiren beş tabakalı bir kompozit malzemenin üretiminde, beş tabakadan üçü daha fazla gerilme doğacak olan yöne, diğer ikisi de buna dik yöne getirilebilir [104].

Tabakalı kompozit malzemelerle ilgili bir diğer konu, tabakalar arasında meydana gelen kesme gerilmeleridir. Özellikle farklı özelliklere sahip tabakaların bir araya getirilmesi yoluyla üretilen kompozitlerde bu konu daha fazla önem taşımakla birlikte, sadece farklı özelliklere sahip katmanlarda görülen bir durum değildir. Örneğin, ahşap gibi değişik yönlerine göre farklı özellikler gösteren malzemelerden hazırlanan tabakalı kompozitlerde bir yöndeki gerilme altında farklı yönlerdeki tabakaların farklı davranış göstermeleri nedeniyle benzeri durumlar ortaya çıkabilmektedir [104].

Tabakalı kompozit levhalarda, yukarıda belirtilen nedenlerle ortaya çıkan tabakalar arası kesme gerilmesi kenarda en yüksek düzeye ulaşmaktadır. Bunun sonucu olarak, zaten kompozitin zayıf bir bölgesi olan bu kısımda tabakaların birbirlerinden

ayrıldıkları görülmektedir. Öte yandan, tabakalı kompozitlerde, dış etkiler sonucunda görülen enine doğrultudaki normal gerilmeler de, belirli bir düzeyden sonra tabakalar arası ayrışmaya neden olabilmektedir [105].

Elastiklik özellikleri, elastiklik, şekil değişimi (deformasyon) ve elastiklik modülü

Katı bir cismin dışarıdan tesir eden bir kuvvet ile yüklenmesinde meydana gelen uzama, kısalma, eğilme gibi deformasyonları yükün kaldırılması halinde bertaraf ederek tekrar başlangıçtaki orijinal şeklini alabilmesi kabiliyetine *elastiklik* denmektedir. Ahşap malzemede şekil değişmesi (deformasyon) meydana getiren kuvvetler çeşitli şekillerde tesir edebilmekte ve buna göre deformasyon da değişik olabilmektedir. İki ucundan dayanan bir kirişin ortasına uygulanan bir yükleme ile kirişte eksenden uzaklaşma ile *eğilme* meydana gelmektedir. Şekil değişmesi mm veya cm olarak ölçülmekte ve birim uzunluktaki değer olarak belirtilmektedir. Buna, *birim deformasyon* veya *izafi deformasyon* denmektedir. Birim deformasyon miktarı aşağıdaki formüle göre, birbirine ters iki yönde çekme ile meydana gelen uzama veya basınç ile meydana gelen kısalma miktarı (Δl)'nin cismin başlangıçtaki orijinal uzunluğu (L)'ye oranlanması suretiyle Eş. 3.22 ile hesaplanmaktadır [106].

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{L} \quad (3.22)$$

Bu formülde; ε = birim deformasyon miktarı, Δl = deformasyon miktarı, L = cismin başlangıçtaki orijinal uzunluğunu göstermektedir. Örneğin, cismin basınç yapılmadan evvelki uzunluğu (L), basınç yapıldıktan sonraki kısalmış haldeki yeni uzunluğu (l) olsa, deformasyon miktarı ($\Delta l = L - l$)'dir. Gerilme (σ), bir (F) yüzeyine tesir eden (P) kuvvetinin veya yükünün birim alan (mm^2 veya cm^2) ye isabet eden kısmı olup, Kg/mm^2 veya Kg/cm^2 olarak ifade edilmektedir. 1 cm boyunda olan bir (L) çubuğunun her 1 Kg/cm^2 'lik gerilmeye karşılık meydana getirdiği deformasyon (α) ile gösterilmektedir. (α) Eş. 3.23 ile hesaplanmaktadır [106].

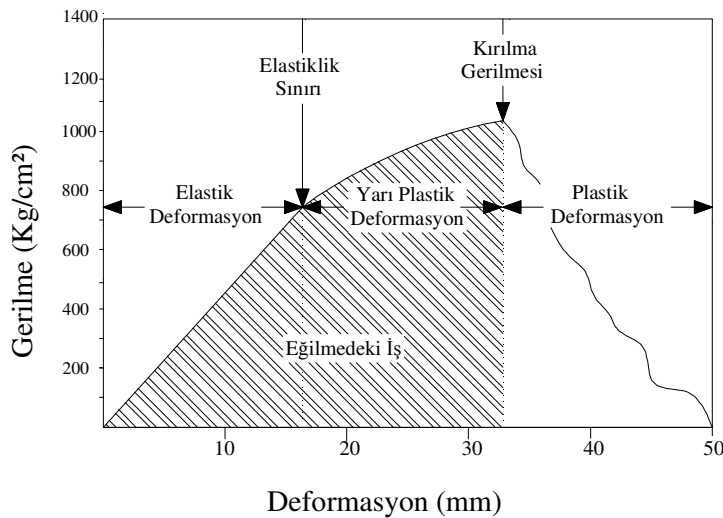
$$\alpha = \frac{\Delta l}{L \times \sigma} \quad (cm^2 / Kg) \quad (3.23)$$

Burada, α =Deformasyon sabitesi olup, deneme ile tespit edilmektedir. Δl = Belirli bir gerilmede meydana gelen deformasyon miktarı, L = Deneme çubuğu uzunluğu (1cm), σ =Gerilme miktarı (Kg/cm^2)'dir.

Deformasyon gerilmenin bir sonucu olduğuna göre, her ikisi arasında bir ilişki bulunmaktadır. Çoğunlukla katı cisimlerde ve bu arada ahşap malzemede, elastiklik sınırına kadar deformasyon (ϵ) ile gerilme (σ) arasındaki ilişki doğru orantılı olup, Hooke kanunu geçerlidir. Böylece;

$$\epsilon = \alpha \times \sigma_p \text{ dir.} \quad (3.24)$$

Burada; ϵ = Birim deformasyon, α = Deformasyon sabitesi, yani 1 cm boyunda olan bir çubuğun her Kg/cm^2 'lik gerilmeye karşılık meydana getirdiği deformasyon, σ_p = Elastiklik sınırı içerisinde belirli bir gerilmedir. Yukarıdaki eşitliğe göre, elastiklik sınırına kadar gerilme arttıkça bununla doğru orantılı olarak deformasyon da artmaktadır. Bu yasa katı cisimlerde uzama ve kısalmadan başka eğilmeler için de geçerlidir [106].



Şekil 3.18. Bir kayın numunesine ait eğilme deneyinde elde edilen gerilme-deformasyon eğrisi

Şekil 3.18’de bir kayın ağacı numunesinde eğilme deneyi ile elde edilen gerilme-deformasyon eğrisi görülmektedir. Bu diyagram yük-deformasyon eğrisi olarak da çizilebilir. Burada düşey eksen üzerinde gerilmeler, yatay eksen üzerinde ise birim deformasyon değerleri gösterilmiştir. Bu eğride görüldüğü gibi, elastiklik sınırına kadar gerilme ile deformasyon arasındaki ilişki doğru orantılıdır. Elastiklik sınırına kadar yükün kaldırılması ile deformasyon, yani örnekte meydana gelen eğilme ortadan kalkarak numune başlangıçtaki düzgün şeklini alır. Elastiklik bölgesi içerisindeki şekil değişmesine *elastik deformasyon* adı verilir. Elastiklik sınırı aynı zamanda *doğru oranlılık* sınırı adını da almaktadır. Elastiklik sınırı aşıldıktan sonra yük veya gerilme miktarı arttırıldığı takdirde gerilme ile deformasyon arasındaki doğru oranlılık bozulmakta ve deformasyon yük veya gerilmeden daha fazla artmaktadır. Elastiklik veya doğru oranlılık sınırının aşılmasından sonra yükün kaldırılması ile ahşap numune başlangıçtaki orijinal şekline ve büyüklüğüne dönememekte, meydana gelen deformasyon numunede sabit kalmaktadır. Böylece elastiklik sınırından sonra elastik deformasyonlar değil, kalıcı ve plastik deformasyonlar söz konusudur. Yükün ve dolayısı ile gerilmenin devamlı olarak arttırılması halinde lif toplulukları içerisinde liflerde evvela kaymalar ve daha sonra kopmalar meydana gelmekte ve nihayet ahşap numune yüke mukavemet edemeyerek kırılmaktadır. Bu noktaya *kırılma sınırı* veya *kırılma gerilmesi* denmektedir. Şekil 3.18’de gerilme-deformasyon eğrisinde görüldüğü gibi, elastiklik sınırı ile kırılma sınırı arasındaki deformasyona *yarı plastik deformasyon*, kırılma sınırından sonraki deformasyona ise *plastik deformasyon* adları verilmektedir. Kırılma sınırında tesir eden yüke *maksimum yük* (P maksimum) denir. Ahşap malzemenin kırıldığı bu yüke *kırılma yükü* adı verilir. Ahşap malzemenin elastik deformasyon kabiliyeti oldukça yüksektir. Böylece, ahşap malzeme önemli miktardaki yüklemelerden sonra tekrar başlangıçtaki orijinal şekline dönebilmektedir [106].

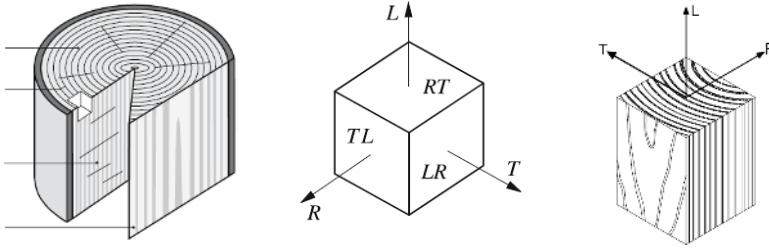
Yukarıda belirtilen *Deformasyon sabitesi* (α) değeri çok küçük olduğundan, malzemenin elastiklik durumunu belirtmek üzere bunun yerine pratikte *Elastiklik Modülü* (E) kullanılmaktadır. Elastiklik modülü deformasyon sabitesi (α) nin ters değeri olup Kg/cm^2 olarak ifade edilmektedir. Böylece;

$$E = \frac{1}{\alpha} [Kg / cm^2] \text{ dir.} \quad (3.25)$$

Elastiklik modülü (E) teorik ve gerçekte ulaşılamayan, belirli bir malzemenin elastiklik durumunu karakterize eden sabit bir değer olup, bir deneme çubuğunun başlangıçtaki uzunluğunun iki katına çıkarılması için gerekli gerilme miktarını, yani 1 cm² ye yüklenmesi gereken yük miktarını göstermektedir. Halbuki, gerçekte ahşap malzeme de bu kadar büyük bir şekil değişimi (deformasyon) mümkün değildir. Zira, pratikte elastiklik modülünden çok daha küçük gerilmelerde kırılma sınırına ulaşılmakta ve ahşap malzeme kırılmaktadır [106].

Örneğin, Kayın ahşap malzemedede hava kurusu rutubette liflere paralel yönde çekme deneyinde elastiklik modülü yaklaşık olarak $E = 180\,000 \text{ Kg/cm}^2$ dir. Halbuki, pratikte bu değere yaklaşık olarak dahi ulaşılamamakta ve gerilme 1600 Kg/cm² ye yükseldiği zaman numune kırılmaktadır. Böylece elastiklik modülü teorik bir değer olmakla beraber, çeşitli malzemelerin elastiklik özelliğini ve durumunu göstermesi bakımından değer taşımaktadır. Elastiklik modülü ne kadar küçük ise o cismin şekil değiştirici mekanik etkilere o kadar az karşı koyduğu, yani tekrar eski orijinal şekline dönüşebilecek deformasyonlara kolaylıkla elverişli olduğu anlaşılmaktadır [106].

Anizotrop olan yapısı dolayısıyla ahşap malzemedede elastiklik modülü liflere paralel, radial ve yıllık halkalara teğet olmak üzere üç esas yönde farklı bulunmaktadır (Şekil 3.19). Ahşap malzemedede elastiklik modülü değeri liflere paralel yönde en yüksek radial yönde daha küçük, yıllık halkalara teğet yönde ise en düşüktür. Elastiklik modülü büyüdükçe, cisimler deformasyon meydana getiren kuvvetlere karşı daha yüksek bir karşı koyma göstermekte, küçüldükçe daha kolay deforme olmaktadır. Elastiklik modülü küçüldükçe cisim elastikleşir [106].



Şekil 3.19. Ahşap malzemede yönler

Bir malzemenin değeri ve kalitesi yalnız onun kırılma sınırında daha yüksek gerilmelere karşı koymasına, yani direncine bağlı olmayıp, elastik sınırı ile kırılma sınırı arasındaki çalışması da önemlidir. Bir cismin *deformasyon veya eğilme kabiliyeti* (Z), eğilme deneyi ile Eş.3.26 ile hesaplanmaktadır [106].

Deformasyon veya eğilme kabiliyeti:

$$Z = \frac{Y_B - Y_P}{\sigma_B - \sigma_P} \quad (3.26)$$

Burada;

Y_B = Kırılma sınırındaki eğilme miktarı,

Y_P = Elastiklik sınırındaki eğilme miktarı,

σ_B = Kırılma sınırındaki gerilme miktarı,

σ_P = Elastiklik sınırındaki gerilme miktarıdır.

Elastiklik sınırı aşıldıktan sonra uzunca bir süre şekil değiştirerek kırılmaya karşı koyan cisimlerin deformasyon ve eğilme kabiliyeti yüksektir. Bu gibi cisimlerde elastiklik sınırı ile kırılma sınırı arasındaki mesafe uzuncadır. Deformasyon ve eğilme kabiliyetinin aksi *gevreklik* tir. Gevrek olan cisimler elastiklik sınırı aşıldıktan kısa bir süre sonra kırılırlar. Böylece, elastiklik sınırı ile kırılma sınırı arasındaki mesafe kısadır. Uygulamada büyük önemi ve deney uygulamalarının basit oluşu dolayısı ile çoğunlukla eğilme halindeki elastiklik modülü hesaplanmaktadır [106].

Kaymada elastik deformasyon sabitesi

Kaymada elastik deformasyon sabitesi ahşap malzemenin bir düzlem üzerinde bulunan yan yana ve bitişik iki kısmını liflere paralel yönde birbiri üzerinde kaydırma etkisi yapan kuvvetin her bir Kg/cm^2 'lik gerilimine karşılık cisimde meydana gelen ve (cm) cinsinden ölçülen elastik kayma olup, cm^2/Kg olarak ifade edilmektedir. Kaymada elastik deformasyon sabitesi (β) ile gösterilir. Bunun ters bir değeri olan *kaymada elastiklik modülü* (G) ise Eş. 3.27 ile hesaplanmaktadır [106].

$$G = \frac{1}{\beta} \quad [\text{Kg} / \text{cm}^2] \quad (3.27)$$

Makaslama gerilmeleri rijitlik (G) veya kayma modülü (kaymada elastiklik modülü), münferit tabakaların makaslama dolayısıyla birbiri üzerinde kaymalarıyla bir gama (γ) açısı meydana gelir. Ahşap malzemenin çekme, basınç ve eğilmede elastikiyet modülleri takriben eşittir. Aralarında şu münasebetler vardır $e_z > e_b > e_d$. elastikiyet bir maddenin sertliğine ait bir ölçüdür. Ahşap malzemenin elastik özelliklerini anlayabilmek için, izotrop maddelerdeki oranlardan yararlanılmalıdır. Boyuna uzamanın enine daralmaya oranı, enine daralma değeri (m) olarak bilinmektedir (Eş. 3.28).

$$m = \varepsilon_x / \varepsilon_q \text{ dir.} \quad (3.28)$$

Enine daralma değerinin tersi ise Poisson sabitesi olarak bulunur. Eş. 3.29 ile hesaplanır.

$$\mu = \frac{1}{m} = \varepsilon_q / \varepsilon_x \text{ dir.} \quad (3.29)$$

Birçok maddede $m = 3 \dots 4$ arasında bulunmaktadır.

Ahşap malzeme anizotrop bir madde olduğu için üç ana gerilme yönü, boyuna, radyal ve teğet yönlerde fark etmektedir. Bu yönlerin her biri için ayrı bir E-modül

geçerlidir. E-Modülü radyal yönde boyuna yöndekinden takriben 10 misli daha küçüktür. Teğet yönde ise radyal yöndeğinin yarısı kadardır. Doğu kayını için deformasyon katsayıları şu şekildedir [107].

Deformasyon katsayısı

Teğet yönde	$E_X = 11\ 600\ \text{Kp / cm}^2$
Boyuna yönde	$E_Y = 140\ 100\ \text{Kp / cm}^2$
Radyal yönde	$E_Z = 22\ 800\ \text{Kp / cm}^2$
Kayma	$G_{YZ} = 16\ 400\ \text{Kp / cm}^2$
	$G_{ZX} = 4700\ \text{Kp / cm}^2$
	$G_{XY} = 10\ 800\ \text{Kp / cm}^2$

Ortotropik ve izotropik malzemeler için Ansys10.0 programında istenen elastik sabit değerler ve deneylerde kullanılan malzemeler için programa girilen teknolojik özellikleri Çizelge 3.4’de verilmiştir [108-113].

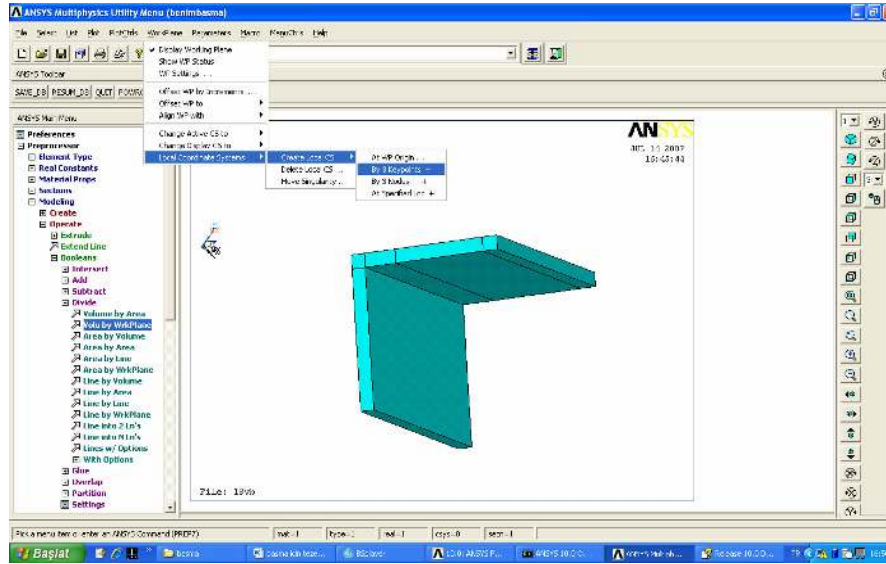
Çizelge 3.4. Malzemelerin programa girilen elastik sabit değerleri

Malzeme	Elastiklik modülü (N/mm ²)			Poisson sabiti			G rijitlik modülü (N/mm ²)		
	E_X	E_Y	E_Z	ν_{XY}	ν_{YZ}	ν_{XZ}	G_{XY}	G_{YZ}	G_{XZ}
Doğu Kayını ¹	14010	1160	2280	0,448	0,073	0,708	470	1640	1080
MDF ²	3200	3400	50	0,45	0,5	0,5	68	68	58
Yonga levha ³	1900	1900	95	0,3	0,3	0,3	794	137	137
K.plak ⁴	4800	4800	384	0,3	0,3	0,3	342	322	34
PVAc Tutkalı ⁵	460			0,3			177		
Vida ⁶	200 000			0,3			-		

¹ (108), ² (109), ³ (110), ⁴ (111), ⁵ (112), ⁶ (113)

Malzeme özellikleri her malzeme için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Levhalar için ayrı kavelalar için ayrıdır. Birleştirmelerde kavela Doğu kayınından üretildiği için Doğu kayını 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 (Resim 3.25).

Utility Menu> WorkPlane> Local Coordinate Systems> Create Local CS> By3Keypoints yolu izlenerek work plane çalışma düzlemleri belirlenir. Burada dikey parça için z yönü yatay parçada doğal olarak z yönü olmayacaktır. Bu yüzden z yönünü yatay parçada da tanımlanması gerekmektedir. “L” tipi birleştirmelerde ve kutu tipinde de bu duruma dikkat edilmiş olup analizin güvenilirliği artırılmıştır. Kutu tipinde ön çerçeve için örnek vermek gerekirse dikey parçada boy yönündeki koordinat x, yatay parçada ise yatay düzlemdeki koordinat x olarak düzenlenmiştir.

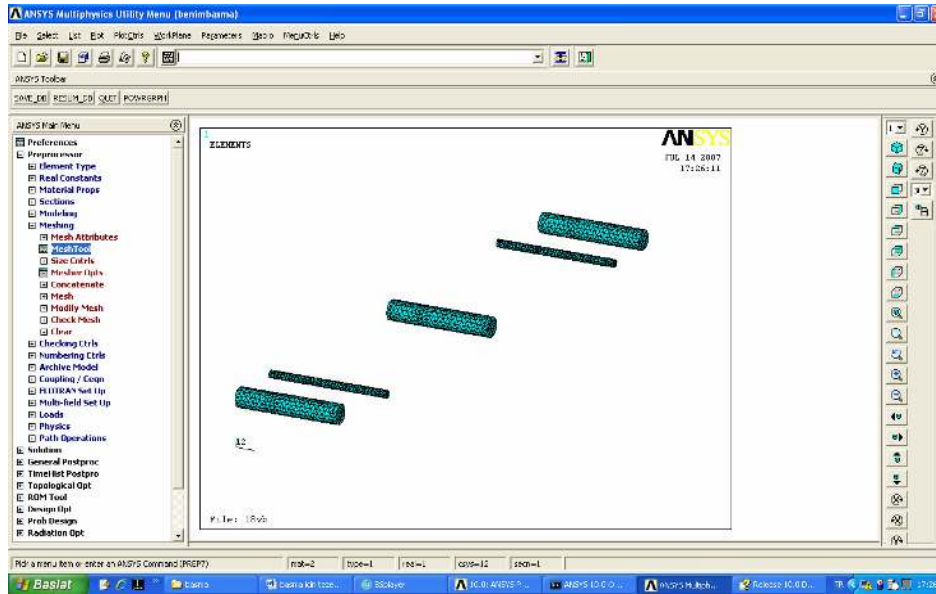


Resim 3.25. Çalışma düzlemlerinin belirlenmesi (work plane)

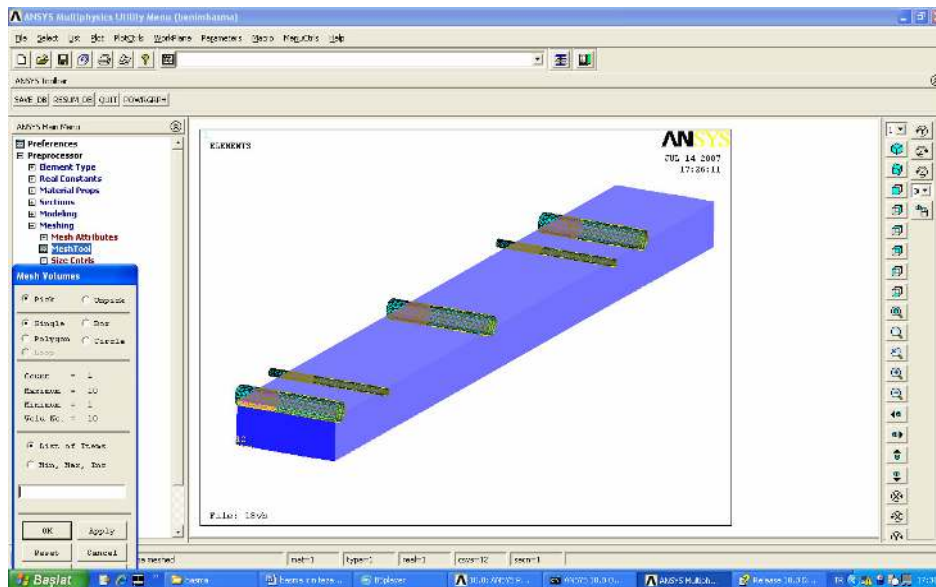
Elemanlara ayırma (meshing)

MeshTool tıklanıp, çıkan MeshTool penceresinde önce Mapped sonra Mesh işaretlenip eleman seçilir ve ‘Ok’ tuşuna basılarak meshleme yapılır. Burada küçük olan

parçalardan meshleme yapılmasına dikkat edilmelidir ve şekle göre program bölme işlemini gerçekleştirmektedir. Ayrıca birleştirme yapılan yerlerde elemanlar daha sık ayırma işlemine tabi tutulmuştur. Bu durum analizin güvenilirliğini artırmaktadır (Resim 3.26). Main Menu> Preprocessor> Meshing>MeshTool yolu izlenir (Resim 3.27).

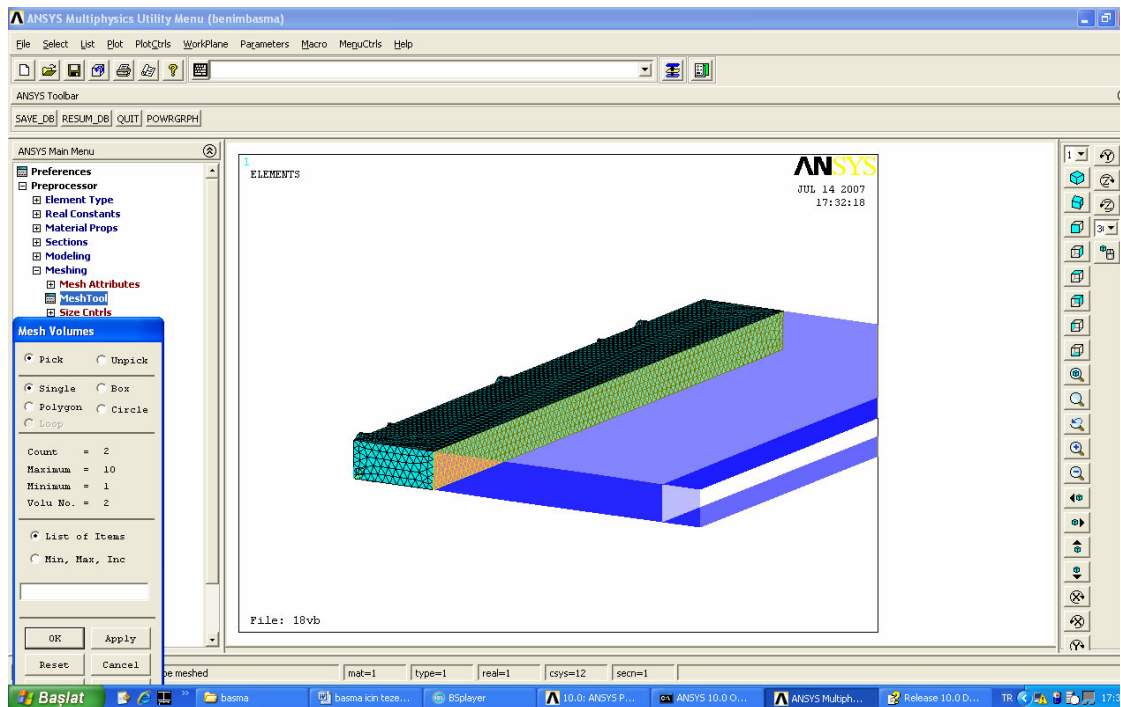


(a)

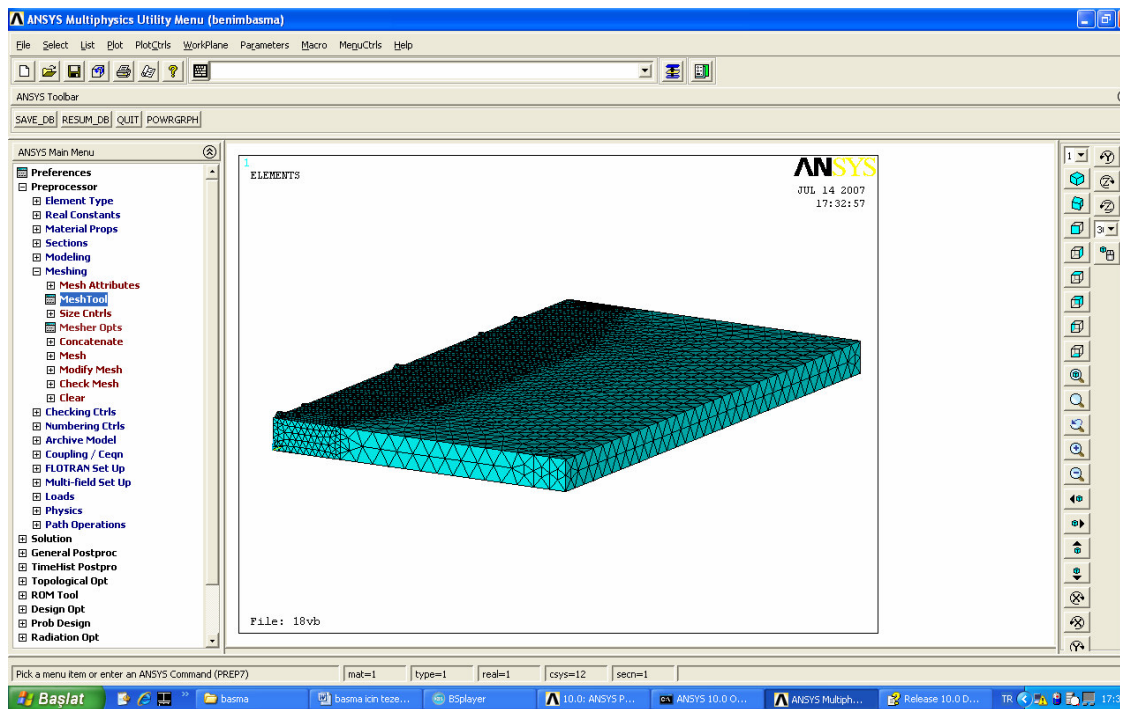


(b)

Resim 3.26. Elemanlara ayırma (meshing) işlemi
a) Kavala ve vida mesh işlemi
b) Levhada elemanlara ayırma (mesh) işlemi



(a)



(b)

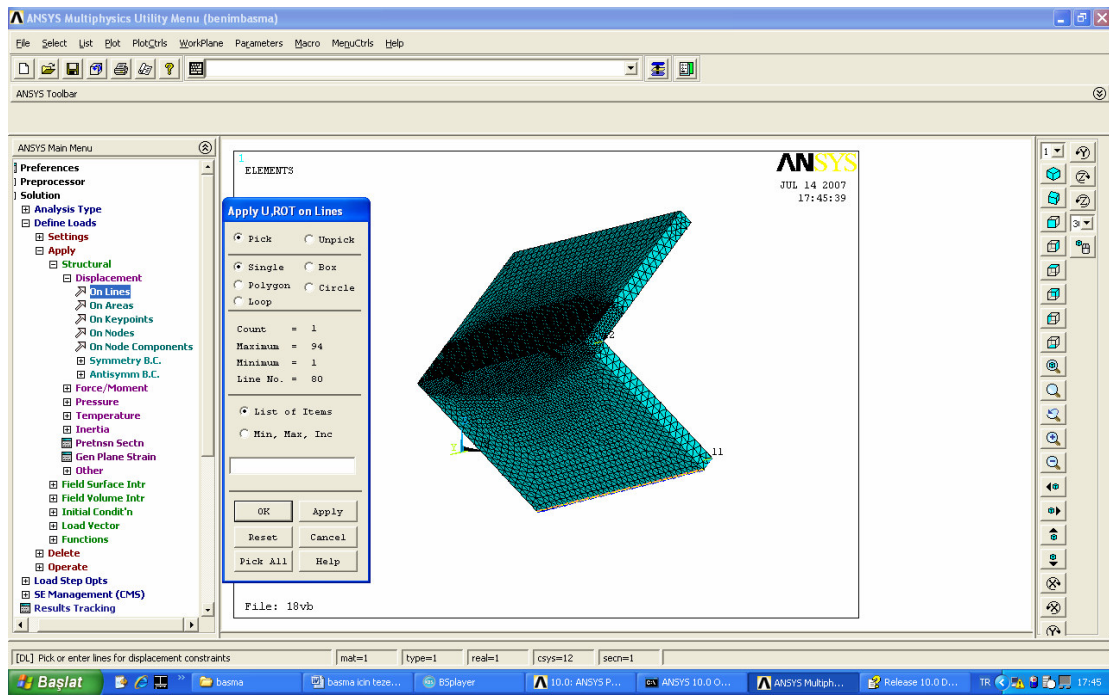
Resim 3.27. “L” tipi birleştirmelerde elemanlara ayırma (meshing) işlemi

a) Yatay levhada mesh işlemi

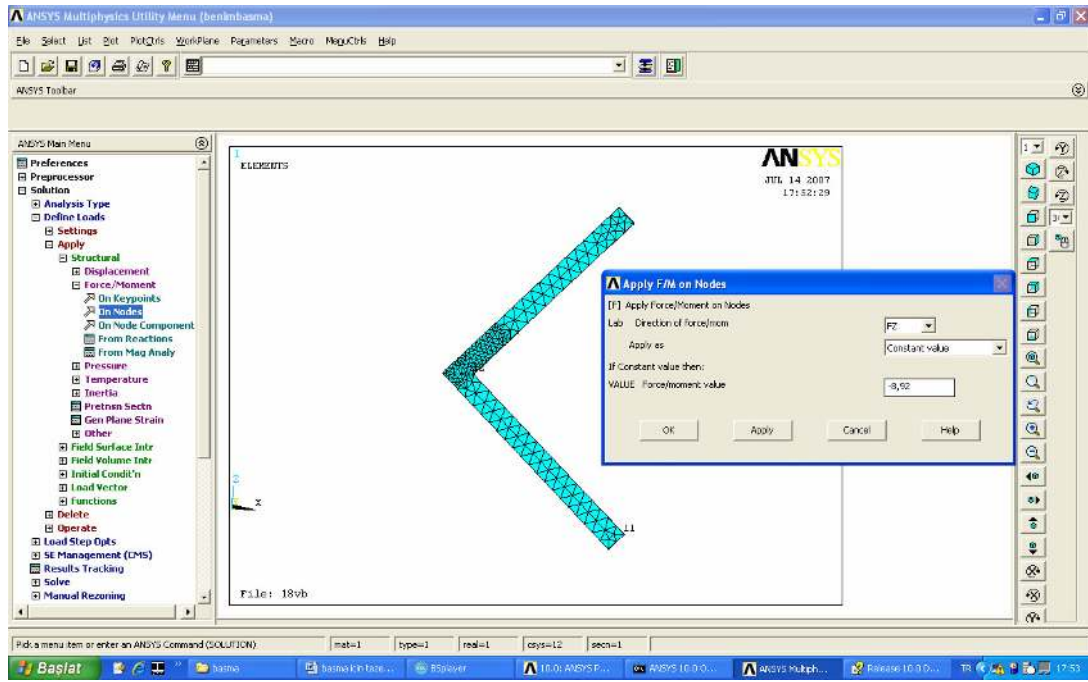
b) Mesh işlemi bitirilmiş görüntü

Sınır şartlarının (mesnet noktaları) ve yüklemenin tanımlanması

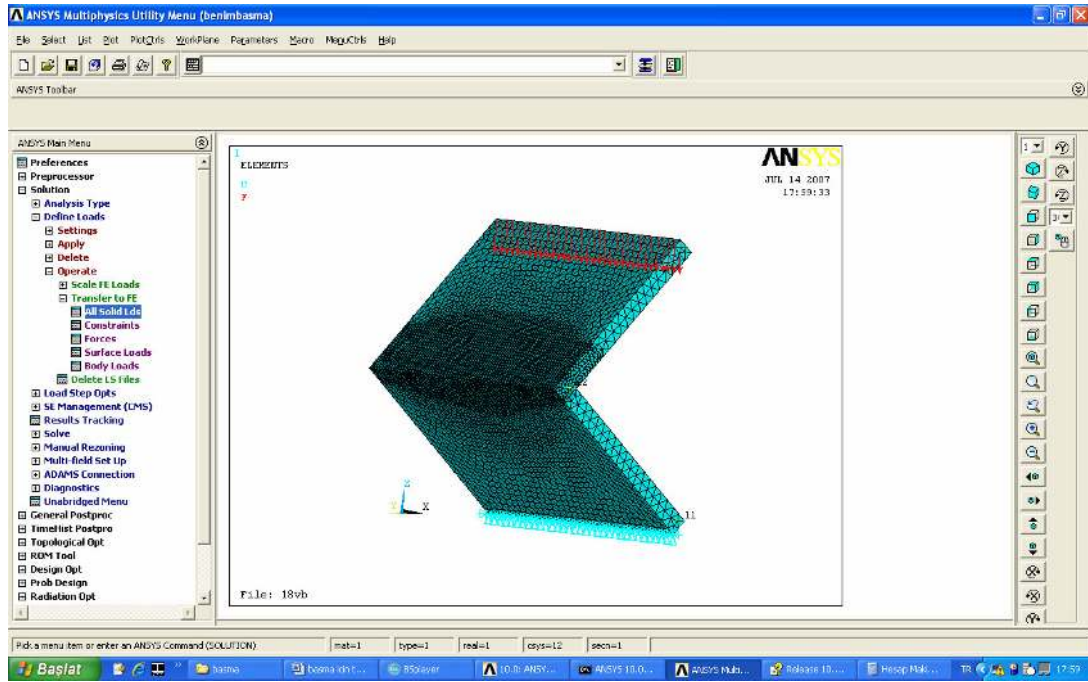
Elemanlara bölünmüş levhanın sınır şartları belirlenir. Main Menü > Solution> Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Nodes tıklanır. –Z yönünde kuvvet uygulanır. Main Menü > Solution> Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Nodes tıklanır. Basma deneyi elemanlarında sınır şartları (Resim 3.28) ve yükleme modeli Resim 3.29 ve Resim 3.30’da verilmiştir. Benzer şekilde eğilme, çekme (Resim 3.31) ve kutu tipi çerçevesiz ve çerçevesli mobilyalarda uygulanan sınır şartları ve yük uygulama noktası gösterilmiştir (Resim 3.32). Main Menu> Solution> Define Loads> Apply> Structural> Displacement>on lines yolu izlenir.



Resim 3.28. Basınç deneyinde sınır şartları



(a)

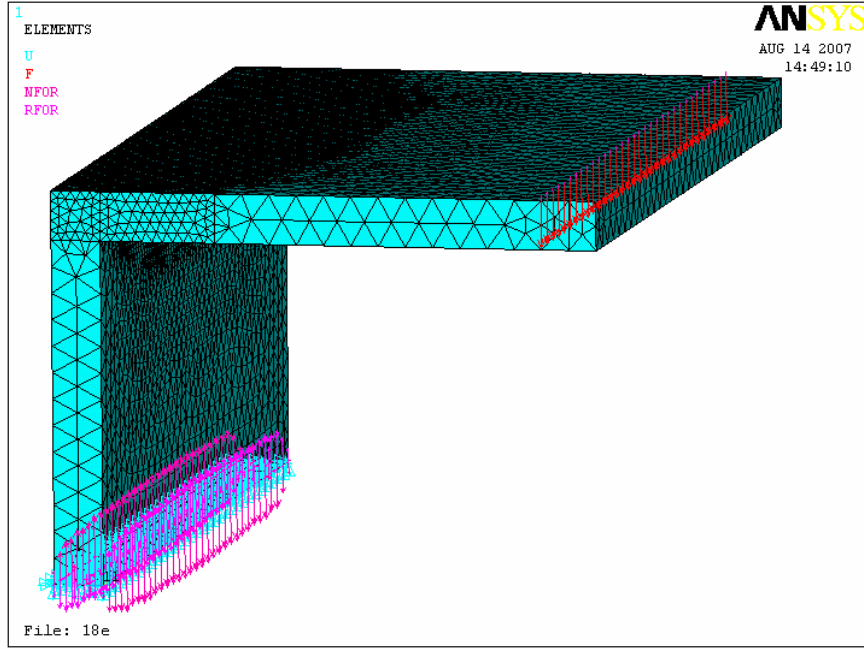


(b)

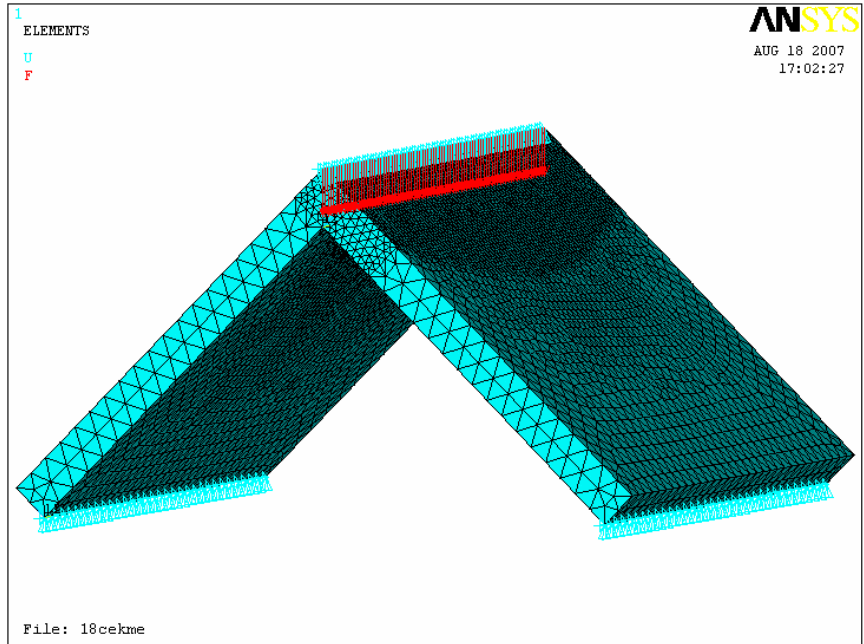
Resim 3.29. Basınç deneyinde yükün uygulanması

a) Z yönünde yük uygulama

b) Mesnet ve yük uygulama noktası



(a)

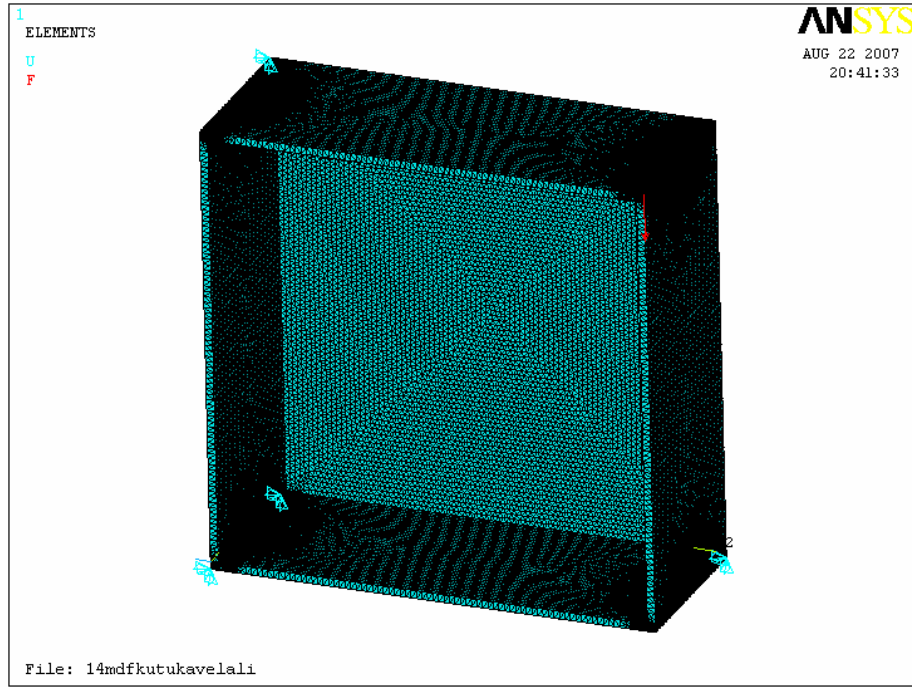


(b)

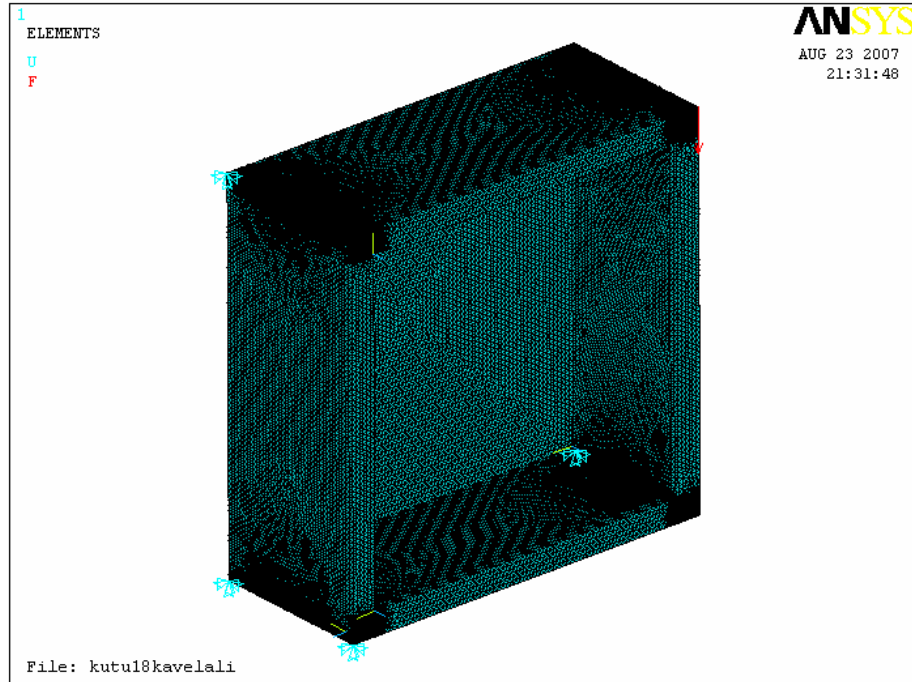
Resim 3.31. Eğilme ve çekme deneylerine sınır şartları ve yükleme modeli

a) Eğilme deney örneklerinde sınır şartları

b) Çekme deney örneklerinde sınır şartları



(a)



(b)

Resim 3.32. Kutu tipi deneylerde sınır şartları ve yükleme modeli
 a) Çerçevesiz kutu tipinde sınır şartları ve yük uygulama noktası
 b) Çerçevesiz kutu tipinde sınır şartları ve yük uygulama noktası

Çözüm aşaması

Main Menü > Solution> Solve > Current LS tıklanır. Çıkan ekranda ‘Ok’ tuşuna basılır.

Sonuçların Okunması

General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solu tıklanır. Çıkan pencerde DOF Solution ve Z-Component of displacement seçilir.

3.4. Deney Kutularında Kuvvet-Yer Değiştirme İlişkileri

Deneyler sırasında, her 5 kgf (yaklaşık 50 N)’ luk kuvvet artışına karşılık oluşan yer değiştirme miktarları milimetre (mm) cinsinden kaydedilerek, kuvvet–yer değiştirme ilişkileri belirlenmiştir. Bu ilişkilerin tanımlanmasında, en küçük kareler yöntemine göre “regresyon analizleri” yapılmıştır. Ayrıca, determinasyon katsayıları da hesaplanarak, regresyon modellerinin güvenilirlik düzeyleri belirlenmiştir.

3.5. Rijitlik Katsayısı Karşılaştırmaları

Literatürde ve standartlarda öngörülen rijitlik katsayısı değerleri bulunmaktadır. Bu çalışmada standart veriler esas alınarak, yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. ISO 7170 standartına göre; bir kutunun konstrüksiyon rijitliği Eş.3.30 ile tahmin edilir [70,114].

$$k = \frac{P_x}{\Delta_x} \geq 20000 \left[\frac{N}{m} \right] \quad (3.30)$$

Burada;

k	:	konstrüksiyon rijitliği (N/m)
P _x	:	dış kuvvet (N)
Δ _x	:	P _x kuvveti yönündeki hareket (m)

3.6. Verilerin Değerlendirilmesi

Belirlenen mekanik özellikler üzerinde, ahşap malzeme çeşidinin etkisini belirlemek amacıyla “ Tek Düzeyli Varyans Analizi ” (ANOVA) yapılmıştır.

Levha türü, levha kalınlığı ve konstrüksiyon tipi ve birleştirme çeşidinin ve bu faktörlerin ikili, üçlü ve dörtlü etkileşimlerinin, kutu mobilyaların kuvvet taşıma performansı üzerindeki etkisi “ Çoklu Varyans Analizi ” ile belirlenmiş, farklılıkların $p < 0,05$ ’ e göre istatistiksel anlamda farklı çıkması halinde bu farklılıkların gruplar arasındaki önemi için “En Küçük Önemli Fark” (LSD : Least Significant Difference) testi kullanılmıştır. Böylece, denemeye alınan faktörlerden levha türü, kalınlığı, konstrüksiyon ve birleştirme çeşidinin, birbirleri arasındaki başarı sıralamaları homojenlik gruplarına ayrılmak suretiyle belirlenmiştir.

Deney kutularının sonlu elemanlar yöntemi (Finite Element Analysis) kullanılarak bilgisayar destekli üç boyutlu yapısal analizleri yapılmıştır. Buna göre yapısal analiz (structural analysis) programlarının kutu mobilya mukavemet tasarımında kullanılabilirliği değerlendirilerek, deney kutularının genel mukavemeti hakkında anlamlı değerler verip vermediği irdelenmiştir.

Deney kutularının rijitliğini belirlemek amacıyla, tüm gruplar için regresyon analizleri yapılarak kuvvet–yer değiştirme ilişkileri tanımlanmış, determinasyon katsayıları ile birlikte bu ilişkiler için elde edilen matematiksel formüller verilmiştir. Denemeye alınan faktörlerin ve etkileşimlerinin, elde edilen rijitlik katsayıları üzerindeki etkileri için çoklu varyans analizi kullanılmış, $p < 0,05$ ’ e göre anlamlı olan gruplar için ise başarı sıralamaları LSD testi ile belirlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Ahşap Malzemelerin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

4.1.1. Yoğunluk ve rutubet

Deney kutularının üretiminde kullanılan ahşap ve ahşap kompozit malzemelerin yoğunluk ve rutubetine ilişkin istatistik değerler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Ahşap ve ahşap kompozit malzemelerin ortalama rutubetleri (%)

Malzeme Çeşidi	Tam Kuru Yoğunluk (gr/cm ³)		Hava Kuru Yoğunluk (gr/cm ³)		Rutubet Oranı (%)	
	X _{ort}	v (%)	X _{ort}	v (%)	X _{ort}	v (%)
Doğu Kayını	0,55	8,77	0,56	8,66	6,21	4,39
14 mm YL	0,63	2,65	0,64	2,56	5,09	3,31
16 mm YL	0,65	1,84	0,66	1,68	5,06	1,30
18 mm YL	0,59	6,27	0,61	6,36	5,06	2,41
14 mm MDF	0,74	2,71	0,75	2,81	4,64	1,58
16 mm MDF	0,78	1,09	0,79	0,98	4,86	1,26
18 mm MDF	0,69	1,22	0,70	1,16	4,98	2,06
14 mm OKP	0,49	1,70	0,50	1,70	6,73	3,17
16 mm OKP	0,56	1,77	0,57	2,06	5,90	3,02
18 mm OKP	0,46	1,10	0,47	0,89	6,48	2,76

X_{ort} : Ortalama değer v : Varyasyon katsayısı

Kullanılan ağaç esaslı malzemelerde ortalama rutubet değeri %4-6’dır. Yani kullanılan kompozit malzemeler istenilen denge rutubetinden daha düşük bir rutubete ulaşmıştır. Bunun sebebi kullanılan tutkal ve bu malzemelerin üretim sırasında maruz kaldığı yüksek sıcaklık olabilir [43].

Yoğunluk; ahşap ve kompozit ahşap malzemelerin birçok fiziksel, mekanik ve işleme özelliklerini etkilemektedir. Uygulamada genel olarak, yoğunluğu düşük ancak direnç özellikleri yüksek olan malzemeler tercih edilmektedir. Denemeye tabi tutulan malzemelerin birim hacim ağırlıkları 0,4-0,7 g/cm³ aralıklarındadır. Bu değerler standartların öngördüğü değerlere uyum sağlamaktadır. Deneyler sonucunda da MDF’nin mekanik özellikleri yonga levhaya göre daha yüksektir, bu MDF’nin daha yüksek özgül ağırlıkta olmasından kaynaklanabilir.

4.1.2. Yüzeye veya liflere paralel çekme direnci

Deney kutularının yapımında kullanılan ahşap malzemelerde liflere paralel, ahşap kompozit malzemelerde yüzeye paralel çekme direnci için, istatistik değerler ve homojenlik grupları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Ahşap ve ahşap kompozit malzemelerin çekme direnci değerleri

Malzeme Çeşidi	Çekme Direnci (N/mm ²)				
	X _{min}	X _{max}	X _{ort}	v (%)	HG
Doğu Kayını	87,87	109,52	99,67	10,92	A
14 mm YL	2,47	3,85	2,99	19,46	E
16 mm YL	5,33	6,65	5,95	8,45	E
18 mm YL	4,13	5,69	5,14	11,68	E
14 mm MDF	16,65	19,18	17,45	6,10	D
16 mm MDF	14,01	16,75	14,77	7,62	D
18 mm MDF	13,73	16,12	14,61	6,57	D
14 mm OKP	25,45	30,46	27,00	12,45	C
16 mm OKP	28,53	38,51	34,66	10,74	B
18 mm OKP	21,72	24,46	23,54	4,68	C

Ahşap ve ahşap kompozit malzemelerin liflere veya yüzeye paralel çekme direnci ortalamalarına göre; en yüksek değer Doğu kayını’nda elde edilmiş bunu sırasıyla kontrplak, MDF ve yonga levha izlemiştir. Kontrplaklarda levha boyunca kesintisiz bir yapı, yüzeye paralel çekme direncinin yüksek çıkmasına neden olmuştur [115].

Ahşap malzemelerin, liflere ve yüzeye paralel çekme direnci değerleri üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla yapılan tek düzeyli varyans analizi sonuçları Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Ahşap malzeme çeşidinin çekme direnci etkisine ilişkin varyans analizi

Varyans Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Hata İhtimali p < 0,05
Tekerrür	4	54,227	13,557	0,9024	
Malzeme	9	35906,972	3989,664	265,5807	0,0000
Hata	36	540,807	15,022		
Toplam	49	36502,006			

Buna göre; malzeme çeşitlerinin liflere ve yüzeye paralel çekme direnci değerlerine etkisi 0,05 yanılma olasılığı için istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. Malzeme çeşidinin, çekme direnci etkilerine ait ortalamaları LSD değeri 4,926 N/mm² için karşılaştırılması Çizelge 4.2’de verilmiştir.

4.1.3. Yüzeye veya liflere paralel basınç direnci

Deney kutularının üretiminde kullanılan ahşap malzemeler için liflere paralel, ahşap kompozit malzemeler için yüzeye paralel basınç direnci değerleri Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Ahşap ve ahşap kompozit malzemelerin basınç direnci değerleri

Malzeme Çeşidi	Basınç Direnci (N/mm ²)				
	X _{min}	X _{max}	X _{ort}	v (%)	HG
Doğu Kayını	53,96	69,90	60,97	14,46	A
14 mm YL	8,49	9,18	8,02	20,97	G
16 mm YL	10,66	13,88	12,41	10,11	F
18 mm YL	7,42	14,64	10,25	31,27	FG
14 mm MDF	19,42	24,20	22,22	8,30	D
16 mm MDF	22,53	25,75	24,40	5,71	CD
18 mm MDF	17,58	18,44	17,98	1,89	E
14 mm OKP	24,30	29,23	27,71	7,04	C
16 mm OKP	30,21	33,28	32,24	3,91	B
18 mm OKP	23,90	26,21	24,90	3,69	CD

Ahşap malzemelerin, liflere ve yüzeye paralel basınç direnci değerleri üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla yapılan tek düzeyli varyans analizi sonuçları Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Malzeme çeşidinin basınç direncine etkisine ilişkin varyans analizi

Varyans Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Hata İhtimali p < 0,05
Tekerrür	4	50,544	12,636	1,2429	0,3103
Malzeme	9	10337,774	1148,642	112,9846	0,0000
Hata	36	365,989	10,166		
Toplam	49	10754,307			

Buna göre; malzeme çeşidinin liflere ve yüzeye paralel basınç direnci değerlerine etkisi 0,05 yanılma olasılığı için istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. Malzeme çeşidinin, basınç direnci etkisine ait ortalamaları LSD değeri 4,052 N/mm² için karşılaştırılması Çizelge 4.4’de verilmiştir.

4.1.4. Liflere veya yüzeye paralel makaslama (kesme) direnci

Deney kutularının üretiminde kullanılan ahşap ve ahşap kompozit malzemeler için liflere ve yüzeye paralel makaslama (kesme) direnci değerleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Ahşap ve ahşap kompozit malzemelerin makaslama direnci değerleri

Malzeme Çeşidi	Makaslama direnci(N/mm ²)				
	X _{min}	X _{max}	X _{ort}	v (%)	HG
Doğu Kayını	14,19	19,50	17,23	11,98	A
14 mm YL	1,71	1,97	1,81	5,48	E
16 mm YL	1,00	1,86	1,44	21,32	E
18 mm YL	2,74	3,66	3,21	13,21	CD
14 mm MDF	2,75	3,50	3,07	10,79	CD
16 mm MDF	1,96	2,48	2,22	10,62	DE
18 mm MDF	1,93	2,51	2,26	10,83	DE
14 mm OKP	4,81	5,98	5,39	8,53	B
16 mm OKP	2,25	4,52	3,50	24,59	C
18 mm OKP	2,67	4,76	3,65	20,58	C

Malzeme çeşitlerinin, liflere ve yüzeye paralel makaslama direnci değerleri üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla yapılan tek düzeyli varyans analizi sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Malzeme çeşidinin makaslama direnci etkisine ilişkin varyans analizi

Varyans Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Hata İhtimali p < 0,05
Tekerrür	4	1,118	0,280	0,4195	
Malzeme	9	974,851	108,317	162,4926	0,0000
Hata	36	23,997	0,667		
Toplam	49	999,967			

Buna göre; malzeme çeşidinin liflere ve yüzeye paralel makaslama direnci değerlerine etkisi 0,05 yanılma olasılığı için istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. Malzeme türlerinin, makaslama direnci etkilerine ait ortalamaları LSD değeri $1,038 \text{ N/mm}^2$ için karşılaştırılması Çizelge 4.6’da verilmiştir.

4.1.5. Liflere veya yüzeye dik çekme direnci

Deney kutularının üretiminde kullanılan ahşap ve ahşap kompozit malzemeler için liflere veya yüzeye dik çekme direnci değerleri Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Liflere veya yüzeye dik çekme direnci direnci değerleri

Malzeme Çeşidi	Yarılma-yüzeye dik çekme direnci (N/mm^2)				
	$X_{\min}$	$X_{\max}$	X_{ort}	v (%)	HG
Doğu Kayını	0,87	1,11	0,95	10,42	B
14 mm YL	0,20	0,38	0,30	20,99	FG
16 mm YL	0,20	0,30	0,27	14,36	G
18 mm YL	0,39	0,61	0,50	15,73	EF
14 mm MDF	0,48	0,93	0,72	22,65	CD
16 mm MDF	0,40	0,84	0,69	25,42	CDE
18 mm MDF	0,40	0,77	0,59	24,48	DE
14 mm OKP	1,20	1,64	1,45	13,34	A
16 mm OKP	0,48	1,09	0,84	26,82	ABC
18 mm OKP	0,34	0,95	0,64	41,93	CDE

Levha yüzeyine dik yönde çekme direnci levhanın ayrılma ya da yarılmaya karşı olan direncini ifade eder. Yüksek yüzeye dik çekme direnci mobilya ve aksesuar üretimi için ve özellikle levhaların mekanik araçlarla kenarlarının birleştirilmesinde çok önemlidir. Aynı zamanda tutkalın yapışma dayanımı hakkında bilgi verir [48]. Literatürde yüzeyden kavala tutma mukavemetinin, kullanılan malzemenin iç yapışma direnci ile ilişkili olduğunu bildirilmiştir [18]. Örneğin yüzeye dik yönde çekme direnci ortalama değeri, 12-19 mm arası kalınlıklardaki MDF levhalar için TS 64-5 standardının öngördüğü minimum $0,55 \text{ N/mm}^2$ değerinin üstünde çıkmıştır. TS EN 312’e göre ise yonga levhalarda iç yapışma direnci $0,35 \text{ N/mm}^2$ olarak belirtilmiştir. Deneylerde ise bu değer standart değerinin altında çıkmıştır. Bu durum tutkallamanın ve/veya presleme şartlarının üretim süreci içerisinde aynı şekilde sürdürülemediğini ifade etmektedir [48].

Malzeme çeşitlerinin, yarılma ve levha yüzeyine dik çekme direnci değerleri üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla yapılan tek düzeyli varyans analizi sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Malzeme çeşidinin yarılma ve levha yüzeyine dik çekme direnci etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Şekil 5.1.

Varyans Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Hata İhtimali $p < 0.05$
Tekerrür	4	0,046	0,011	0,4081	
Malzeme	9	5,232	0,581	20,7697	0,0000
Hata	36	1,008	0,028		
Toplam	49	6,285			

Buna göre; malzeme çeşitlerinin yarılma ve levha yüzeyine dik çekme direnci değerlerine etkisi 0,05 yarılma olasılığı için istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. Malzeme türlerinin, yarılma ve levha yüzeyine dik çekme direnci etkilerine ait ortalamaları LSD değeri $0,2127 \text{ N/mm}^2$ için karşılaştırılması Çizelge 4.8’de verilmiştir.

4.1.6. Eğilme direnci

Kutu mobilyaların üretiminde kullanılan ahşap malzemeler için eğilme direnci değerleri Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Ahşap ve ahşap kompozit malzemelerin eğilme direnci değerleri

Malzeme Çeşidi	Eğilme direnci (N/mm^2)				
	$X_{\min}$	$X_{\max}$	X_{ort}	v (%)	HG
Doğu Kayını	102,04	126,20	113,63	7,98	A
14 mm YL	7,30	12,55	10,16	15,41	E
16 mm YL	7,15	15,19	11,18	23,05	E
18 mm YL	9,01	18,04	12,31	24,75	E
14 mm MDF	27,88	33,54	31,24	5,72	CD
16 mm MDF	26,36	35,66	32,09	10,71	C
18 mm MDF	24,68	30,07	27,67	6,13	D
14 mm OKP	37,16	51,30	43,49	11,48	B
16 mm OKP	40,25	48,30	45,37	6,81	B
18 mm OKP	39,25	49,92	44,71	8,57	B

Eğilme direnci deney sonuçlarına göre ağaç malzemelerde Doğu kayını yaklaşık 110 N/mm² dir. Ağaç esaslı malzemelerde ise eğilme direnci ortalamaları kontrplakta yaklaşık 44 N/mm² MDF’de 33 N/mm², ve yonga levhada ise yaklaşık 11 N/mm² dir. Ahşap malzeme çeşidinin, eğilme direnci değerleri üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla yapılan tek düzeyli varyans analizi sonuçları Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Malzeme çeşidinin eğilme direnci etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Hata İhtimali p < 0.05
Tekerrür	9	160,239	17,804	1,0695	0,3942
Malzeme	9	81845,382	9093,931	546,2675	0,0000
Hata	81	1348,439	16,647		
Toplam	99	83354,060			

Buna göre; malzeme çeşitlerinin eğilme direnci değerlerine etkisi 0,05 yanılma olasılığı için istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. Malzeme türlerinin, eğilme direnci etkilerine ait ortalamaları LSD değeri 3,621 N/mm² için karşılaştırılması Çizelge 4.10’da verilmiştir.

4.1.7. Eğilmede elastikiyet modülü

Deney kutularının üretiminde kullanılan ahşap malzemeler için eğilmede elastikiyet modülü değerleri Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Ahşap ve ahşap kompozit malzemelerin elastikiyet modülü değerleri

Malzeme Çeşidi	Elastikiyet Modülü (N/mm ²)				
	X _{min}	X _{max}	X _{ort}	v (%)	HG
Doğu Kayını	10113,96	11964,01	11040	6,12	A
14 mm YL	1845,40	2424,09	2006	10,33	F
16 mm YL	1706,26	3027,97	2293	18,56	F
18 mm YL	1915,24	3316,66	2379	22,37	F
14 mm MDF	2634,34	2924,81	2821	3,74	E
16 mm MDF	2814,63	3245,57	3129	4,76	DE
18 mm MDF	3195,86	3613,78	3436	3,78	D
14 mm OKP	4494,57	5281,96	4905	4,77	C
16 mm OKP	4681,06	7230,17	5790	17,17	B
18 mm OKP	4871,77	5350,14	5048	3,37	C

Eğilmede elastikiyet modülü, levhaların dolap, raf gibi eğilmeye maruz kalan yerdeki deformasyonunda önem arz etmekte ve bu gibi yerlerde elastikiyet modülünün yüksek olması istenmektedir.

Elastikiyet modülü levhanın elastik bölgesindeki direncini ifade etmekte olup, eğilme direncini etkileyen faktörler elastikiyet modülünü de paralel şekilde etkilemektedir. Elastikiyet modülü arttıkça levhanın elastik bölgesindeki direnci de yüksek olmaktadır.

Eğilmede elastikiyet modülü değerleri de eğilme direncinde olduğu gibi en yüksek kayın ağaç malzemede yaklaşık 11 000N/mm² tespit edilmiş bunu sırasıyla kontrplak yaklaşık 5 000N/mm², MDF 3 000 N/mm², ve yonga levha 2 000 N/mm² değerleri izlemiştir.

Malzeme çeşitlerinin, elastiklik modülü değerleri üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla yapılan tek düzeyli varyans analizi sonuçları Çizelge 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Malzeme çeşidinin elastikiyet modülü etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Hata İhtimali p < 0,05
Tekerrür	9	839391,910	93265,768	0,4213	
Malzeme	9	659048670,791	73227630,088	330,7847	0,0000
Hata	81	17931418,128	221375,532		
Toplam	99	677819480,830			

Buna göre; malzeme çeşitlerinin elastiklik modülü değerlerine etkisi 0,05 yanılma olasılığı için istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur.

Malzeme türlerinin, elastiklik modülü etkilerine ait ortalamaları LSD değeri 417,5 N/mm² için karşılaştırılması Çizelge 4.12’de verilmiştir.

4.1.8. Vida çekme direnci

Yüzeyden vida çekme direnci

Deney kutularının yapımında uygulanan vidalı birleştirmelerde, ahşap malzemelerin yüzeyden vida çekme direnci değerleri Çizelge 4.14’de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Yüzeyden vida çekme direnci değerleri

Malzeme Çeşidi	Yüzeyden Vida Çekme Direnci (N/mm ²)				
	X _{min}	X _{max}	X _{ort}	v (%)	HG
14 mm YL	7,52	10,95	8,83	21,03	E
16 mm YL	6,05	7,68	7,08	12,71	E
18 mm YL	9,32	16,18	13,40	26,96	D
14 mm MDF	18,79	20,10	19,29	3,69	B
16 mm MDF	13,83	16,34	15,02	8,39	CD
18 mm MDF	11,93	16,02	13,57	15,96	D
14 mm OKP	17,81	22,73	19,56	14,04	B
16 mm OKP	20,43	26,48	22,83	14,07	A
18 mm OKP	14,87	20,76	17,00	19,20	C

Malzeme çeşidinin, yüzeyden vida çekme direnci değerleri üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla yapılan tek düzeyli varyans analizi sonuçları Çizelge 4.14’de verilmiştir.

Çizelge 4.15. Malzeme çeşidinin yüzeyden vida çekme direnci etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Hata İhtimali p < 0.05
Tekerrür	4	3,178	0,794	0,2489	
Malzeme	8	1047,763	130,970	41,0353	0,0000
Hata	32	102,133	3,192		
Toplam	44	1153,073			

Buna göre; malzeme çeşitlerinin yüzeyden vida çekme direnci değerlerine etkisi 0,05 yanılma olasılığı için istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. Malzeme türlerinin,

yüzeyden vida çekme direnci etkilerine ait ortalamaları LSD değeri $2,277 \text{ N/mm}^2$ için karşılaştırılması Çizelge 4.14’de verilmiştir.

Kenardan vida çekme direnci

Deney kutularının yapımında uygulanan vidalı birleştirmelerde, ahşap kompozit malzemelerin kenardan vida çekme direnci değerleri ise Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Kenardan vida çekme direnci değerleri

Malzeme Çeşidi	Kenardan vida çekme direnci (N/mm^2)				
	$X_{\min}$	$X_{\max}$	X_{ort}	v (%)	HG
14 mm YL	5,83	7,68	6,96	14,17	EF
16 mm YL	2,93	7,19	4,68	47,58	F
18 mm YL	7,35	9,81	8,77	14,48	E
14 mm MDF	14,71	18,63	17,00	12,00	AB
16 mm MDF	13,57	15,36	14,33	6,48	CD
18 mm MDF	9,97	13,24	11,88	14,32	D
14 mm OKP	10,46	19,78	14,82	31,62	BC
16 mm OKP	15,20	24,02	19,01	23,84	A
18 mm OKP	12,09	19,12	15,69	22,41	BC

Malzeme çeşitlerinin, kenardan vida çekme direnci değerleri üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla yapılan tek düzeyli varyans analizi sonuçları Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Malzeme çeşidinin kenardan vida çekme direnci etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Hata İhtimali $p < 0.05$
Tekerrür	4	4,887	1,222	0,2878	
Malzeme	8	938,254	117,282	27,6271	0,0000
Hata	32	135,845	4,245		
Toplam	44	1078,986			

Buna göre; malzeme çeşitlerinin kenardan vida çekme direnci değerlerine etkisi 0,05 yanılma olasılığı için istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur.

Malzeme türlerinin, kenardan vida çekme direnci etkilerine ait ortalamaları LSD değeri $2,626 \text{ N/mm}^2$ için karşılaştırılması Çizelge 4.16’da verilmiştir.

4.1.9. Kavela çekme direnci

Yüzeyden kavela çekme direnci

Deney kutularının yapımında uygulanan kavelalı birleştirmelerde, ahşap kompozit malzemelerin yüzeyden kavela çekme direnci değerleri Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.18. Yüzeyden kavela çekme direnci değerleri

Malzeme Çeşidi	Yüzeyden kavela çekme direnci (N/mm^2)			
	$X_{\min}$	$X_{\max}$	X_{ort}	v (%)
14 mm YL	6,80	11,48	9,44	25,38
16 mm YL	5,37	7,17	6,41	14,48
18 mm YL	6,21	9,1	7,68	24,53
14 mm MDF	5,91	11,81	7,87	43,30
16 mm MDF	5,37	11,60	8,20	38,39
18 mm MDF	6,70	8,33	7,79	12,10
14 mm OKP	6,46	11,37	8,58	29,35
16 mm OKP	7,45	10,84	9,59	19,40
18 mm OKP	8,58	10,05	9,27	7,99

Malzeme çeşidinin, yüzeyden kavela çekme direnci değerleri üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla yapılan tek düzeyli varyans analizi sonuçları Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Malzeme çeşidinin yüzeyden kavela çekme direnci etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Hata İhtimali $p < 0.05$
Tekerrür	4	3,178	0,795	0,3073	
Malzeme	8	41,874	5,234	2,0239	0,0752
Hata	32	82,758	2,586		
Toplam	44	127,810			

Buna göre; malzeme çeşitlerinin yüzeyden kavela çekme direnci değerlerine etkisi 0,05 yanılma olasılığı için istatistiksel anlamda önemsiz bulunmuştur. Bu sonuç malzemeler arasında anlamlı bir farklılığın olmadığını göstermektedir.

Kenardan kavela çekme direnci

Deney kutularının yapımında uygulanan kavelalı birleştirmelerde, ahşap kompozit malzemelerin kenardan kavela çekme direnci değerleri ise Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Kenardan kavela çekme direnci değerleri

Malzeme Çeşidi	Kenardan kavela çekme direnci (N/mm ²)				
	X _{min}	X _{max}	X _{ort}	v (%)	HG
14 mm YL	4,99	6,17	5,60	10,54	E
16 mm YL	6,87	8,58	7,82	11,11	BC
18 mm YL	6,13	8,89	7,37	18,97	CD
14 mm MDF	5,65	8,62	6,86	22,80	CD
16 mm MDF	4,77	9,06	7,56	31,96	BCD
18 mm MDF	4,82	8,76	6,61	30,15	D
14 mm OKP	5,04	8,14	6,67	23,37	D
16 mm OKP	7,79	10,90	9,27	16,83	A
18 mm OKP	8,28	8,71	8,42	2,96	AB

Malzeme çeşidinin, kenardan kavela çekme direnci değerleri üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla yapılan tek düzeyli varyans analizi sonuçları Çizelge 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Malzeme çeşidinin kenardan kavela çekme direnci etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Hata İhtimali p < 0.05
Tekerrür	4	20,595	5,149	8,2867	0,0001
Malzeme	8	46,985	5,873	9,4523	0,0000
Hata	32	19,883	0,621		
Toplam	44	87,463			

Buna göre; malzeme çeşitlerinin kenardan kavela çekme direnci değerlerine etkisi 0,05 yanılma olasılığı için istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. Malzeme türlerinin, ortalama kenardan kavela çekme direnci etkilerine ait ortalamaları LSD değeri $1,004 \text{ N/mm}^2$ için karşılaştırılması Çizelge 4.20’de verilmiştir.

4.2. Birleştirmelerde Göçme Tipleri

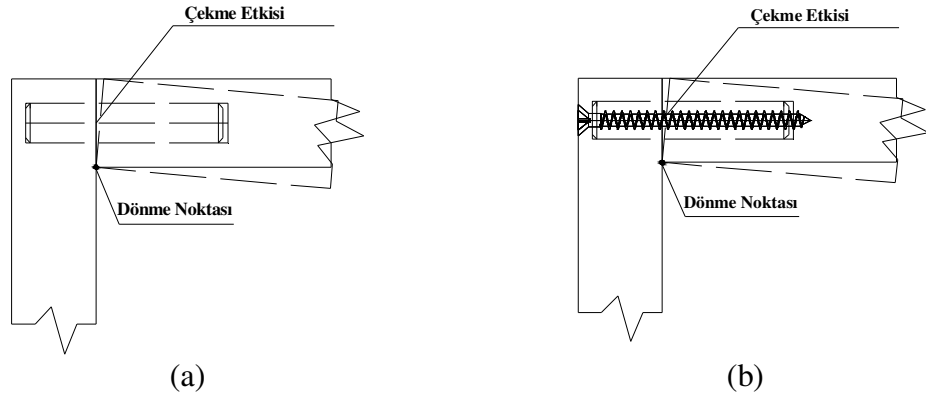
Deneylerde birleştirmelerin herhangi bir elemanında ya da birleştirme noktasında kırılma, açılma vb. yer değiştirmeler meydana gelinceye kadar yük uygulanmış ve birleştirmelerde meydana gelen göçme tipleri aşağıda açıklanmıştır.

4.2.1. “L” tipi birleştirmelerde göçme tipleri

Birleşme yerlerinde, ara kesit yüzeylerine tutkal sürülmüş olmasına karşı, bu yüzeylerin ahşap malzemelerde makta enine kesit, ahşap kompozit malzemelerde de kenar kesit olması sebebiyle buralarda meydana gelen yapışmanın birleştirmelerin ve dolayısıyla sistemin bütününe direncine katkısı birincil derecede önemli değildir. Sistemin rijitliği esasen kavelalar ve kavela yüzeylerindeki yapışma tarafından sağlanmaktadır. Ara kesit yüzeylerindeki tutkal derzinde normal (eksenel) gerilmeler meydana gelmekte, kavela yüzeylerindeki yapışmada ise kullanılan PVAc tutkalının makaslama–kesme (kayma) direnci önem kazanmaktadır. Burada meydana gelen kesme gerilmeleri, tutkalın kesme emniyet gerilmesi değerini aştığı anda birleştirmeler deformasyona uğramaktadırlar [9].

Eğilme deneyi

“L” Tipi eğilme deneylerinde kavelalı ve vidalı birleştirmelerde kuvvetin uygulanmasıyla buradaki kavelalar ve vidalar çekilme etkisinde kalmaktadır (Şekil 4.1). “L” tipi kavelalı ve vidalı birleştirmelerde eğilme deneyleri sonucunda meydana gelen deformasyon biçimleri Resim 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. "L" tipi eğilme deneylerinde birleştirmelerin deformasyon biçimleri
a) Kavelalı birleştirme
b) Vidalı birleştirme



(a)



(b)



(c)

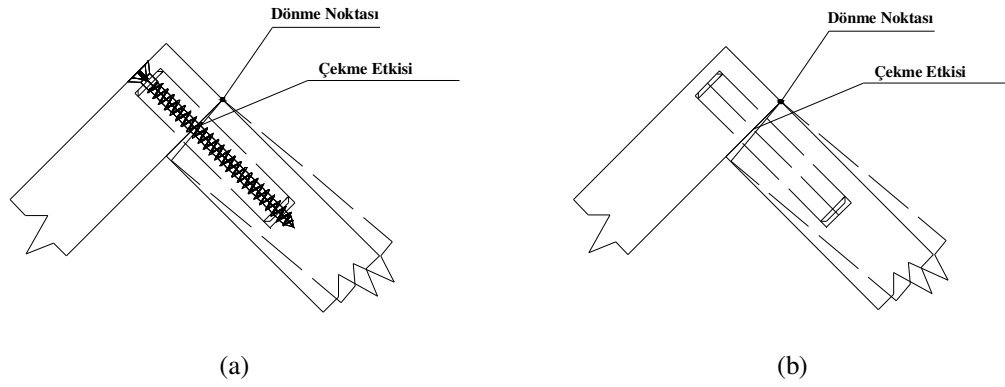


(d)

Resim 4.1. "L" tipi birleştirmelerde eğilme deneyleri sonucunda gözlenen deformasyon biçimleri
a) Yonga levha'da deformasyon
b) MDF'de deformasyon
c) Kontrplak'da deformasyon
d) MDF'de deformasyon

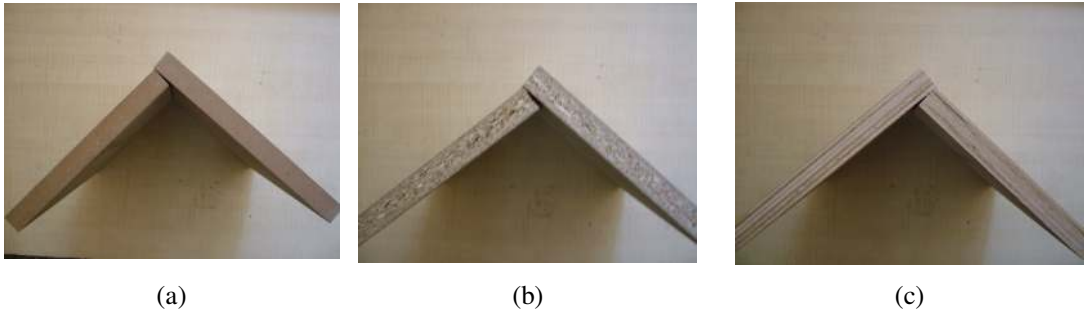
Diagonal çekme deneyi

“L” tipi çekme deneylerinde kavelalı ve vidalı birleştirmelerde kuvvetin uygulanmasıyla buradaki kavelalar ve vidalar çekilme etkisinde kalmaktadır (Şekil 4.2) “L” tipi kavelalı ve vidalı birleştirmelerde çekme deneyleri sonucunda meydana gelen deformasyon biçimleri Resim 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. “L” tipi birleştirmelerde çekme deneylerinde birleştirmelerin deformasyon biçimleri

- a) Vidalı birleştirme
- b) Kavelalı birleştirme

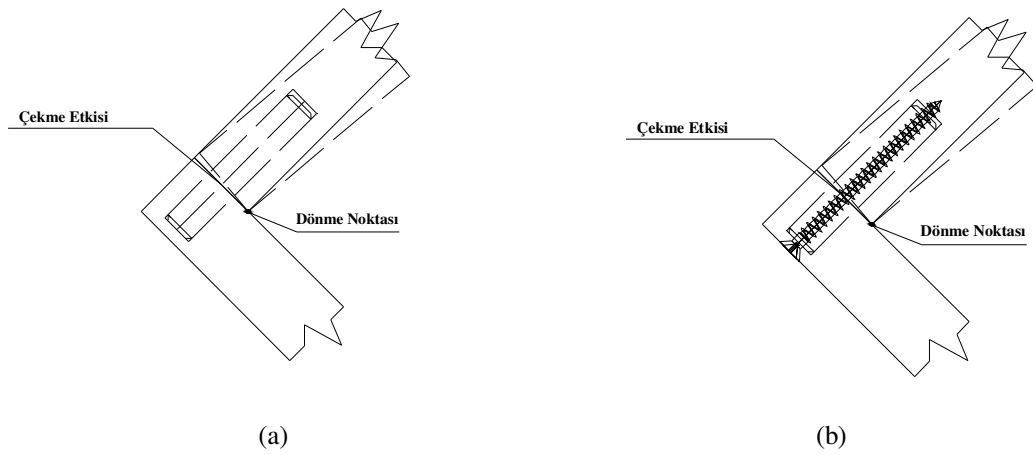


Resim 4.2. “L” tipi birleştirmelerde çekme deneyleri sonucunda gözlenen deformasyon biçimleri

- a) MDF
- b) Yonga levha
- c) Kontrplak

Diagonal basınç deneyi

“L” tipi basınç deneylerinde kavelalı ve vidalı birleştirmelerde kuvvetin uygulanmasıyla buradaki kavelalar ve vidalar çekilme etkisinde kalmaktadır (Şekil 4.3) “L” tipi kavelalı ve vidalı birleştirmelerde basınç deneyleri sonucunda meydana gelen deformasyon biçimleri Resim 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. “L” tipi basınç deneylerinde birleştirmelerin deformasyon biçimleri
a) Kavelalı birleştirme
b) Vidalı birleştirme

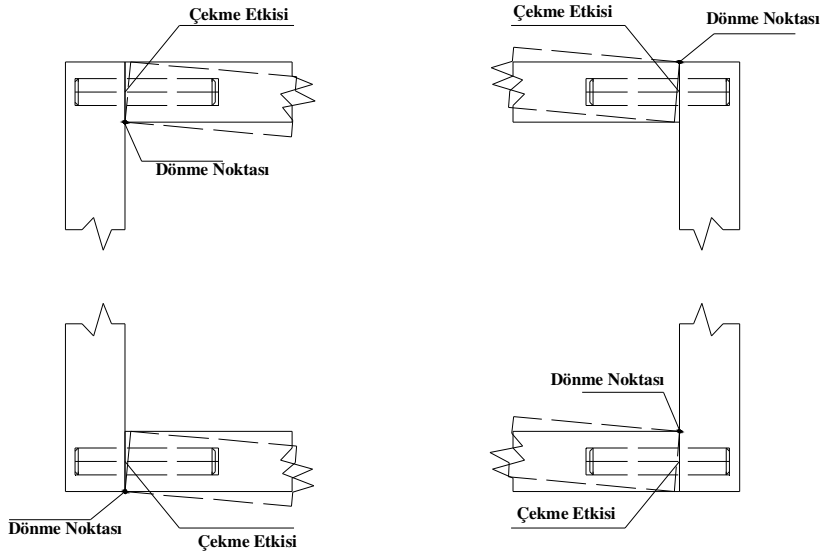


Resim 4.3. “L” tipi birleştirmelerde basınç deneyleri sonucunda gözlenen deformasyon biçimleri
a) MDF
b) Kontrplak

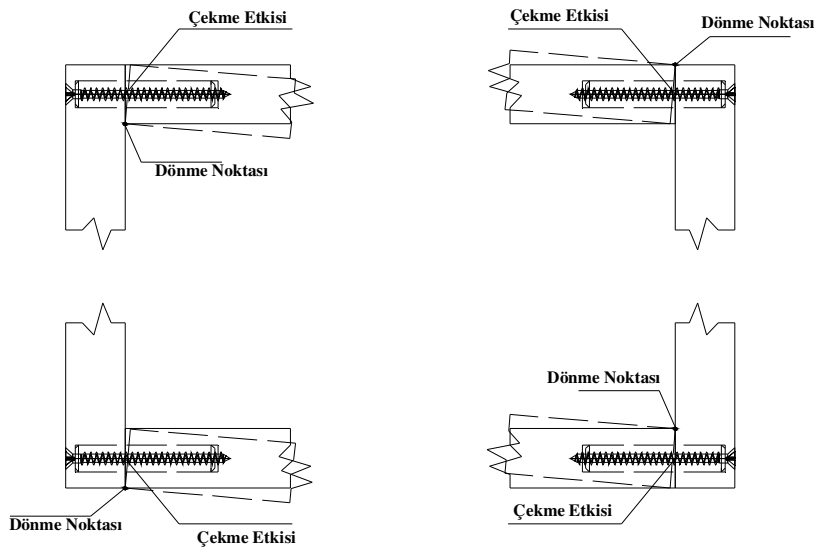
4.2.2. Deney kutularında göçme tipleri

Ön çerçevesiz kutular

Çerçevesiz kutu tipi mobilyalarda kuvvetin etkisi ile gözlenen göçme tipleri kavelalı birleştirmelerde Şekil 4.4’de, vidalı birleştirmelerde ise Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Kavelalı birleştirmelerde deformasyon



Şekil 4.5. Vidalı birleştirmelerde deformasyon

Ön çerçevesiz deney kutularında göçme tipleri Resim 4.4’de gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

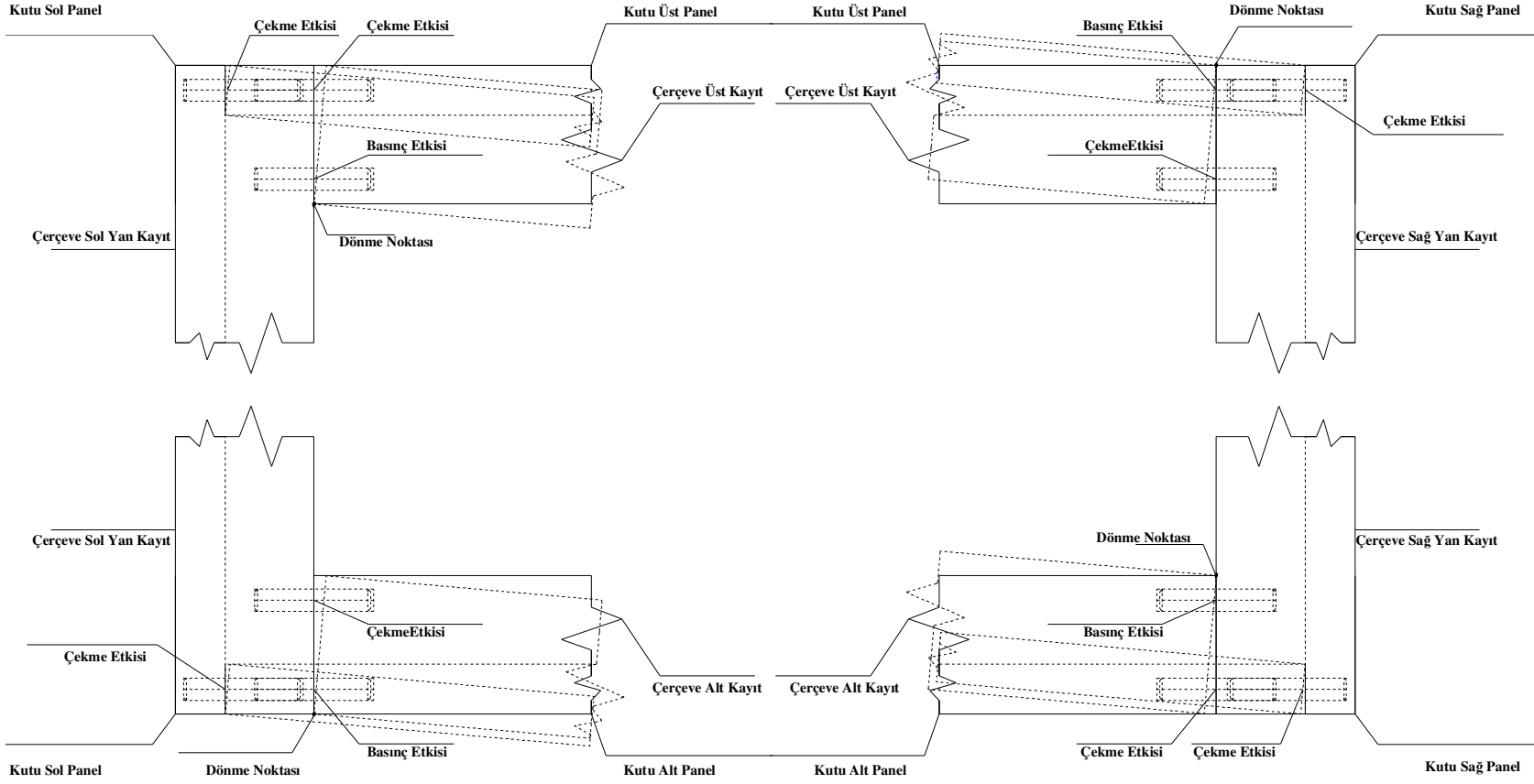
Resim 4.4. Çerçevesiz kutu tipi mobilyalarda deformasyon karakteristikleri

- a) Kontırplak’da deformasyon
- b) Kontırplak’da deformasyon
- c) MDF’de deformasyon
- d) Yonga levha’da deformasyon

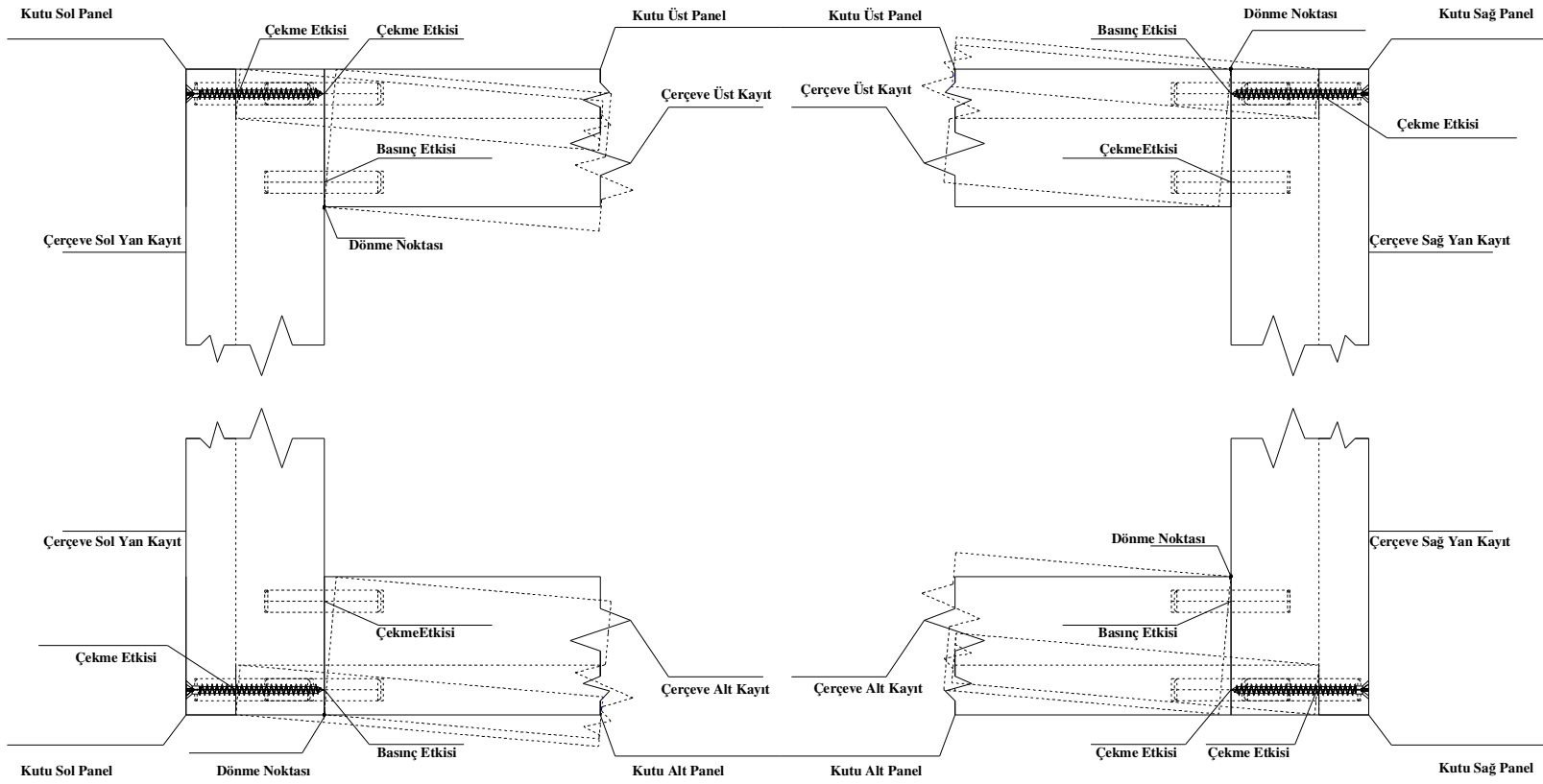
Ön çerçevesiz kutular

Ön çerçevesiz kutu tipi mobilyalarda kuvvetin etkisi ile gözlenen deformasyon karakteristikleri kavelalı birleştirmelerde Şekil 4.6’da, vidalı birleştirmelerde ise Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

Şekil 4.6. Ön çerçevesiz kavelalı kutu tipi mobilyalarda deformasyon karakteristikleri



Şekil 4.7. Ön çerçeve li kavelalı-vidalı kutu tipi mobilyalarda deformasyon karakteristikleri



Ön çerçeveli deney kutularında göçme tipleri Resim 4.5’de gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Resim 4.5. Ön çerçeveli kutu tipi mobilyalarda göçme tipleri

- a) Çerçeveli MDF kutuda deformasyon
- b) Çerçeveli yonga levhada deformasyon
- c) Çerçeveli MDF kutuda deformasyon
- d) Çerçeveli yonga levhada deformasyon
- e) Çerçeveli yonga levhada yarıлма
- f) Çerçeveli kontrplakda yarıлма

Ön çerçeveveli deney kutuları köşelerinde meydana gelen göçme tipleri Resim 4.6’da gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Resim 4.6. Ön çerçeveveli kutu tipi mobilyalarda köşe deformasyon karakteristikleri

- a. Sol üst köşe
- b. Sağ üst köşe
- c. Sol alt köşe
- d. Sağ alt köşe

4.3. “L” Tipi Köşe Birleştirmelerin Performansı

4.3.1. Eğilme deneyleri

“L” tipi köşe birleştirme eğilme deneyleri sonucunda elde edilen moment taşıma kapasite değerleri Çizelge 4.22’de verilmiştir.

Çizelge 4.22. Eğilme deneyleri sonucu elde edilen moment taşıma kapasite değerleri

Birleştirme Tekniği	Malzeme Çeşidi	Levha Kalınlığı (mm)	Ortalama Moment Kuvveti (Nm)	Min. Moment Kuvveti (Nm)	Max. Moment Kuvveti (Nm)	v (%)
Kavelalı	YL	14	28,05	22,81	31,78	11,90
		16	37,30	31,78	39,83	8,79
		18	57,45	55,62	60,34	3,44
	MDF	14	38,20	33,60	39,73	6,95
		16	41,72	39,73	47,68	8,25
		18	58,28	53,81	61,98	5,00
	OKP	14	52,96	47,68	57,91	7,61
		16	45,29	39,73	54,03	13,25
		18	81,76	71,51	87,41	7,47
Kavelalı Vidalı	YL	14	36,33	28,61	39,73	12,59
		16	55,35	47,68	59,28	8,40
		18	67,45	63,57	71,51	5,76
	MDF	14	57,61	55,62	63,57	5,97
		16	67,54	63,57	71,51	5,88
		18	92,17	87,41	98,53	5,31
	OKP	14	68,27	58,53	79,46	11,64
		16	65,69	59,13	71,51	7,21
		18	87,94	83,91	93,02	3,71

Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, “L” tipi köşe birleştirmelerinin moment taşıma kapasitesi etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.23’de verilmiştir.

Çizelge 4.23. Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, “L” köşe birleştirmelerinin moment taşıma kapasitesi etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi

Varyans Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Hata İhtimali p < 0,05
Birleştirme tekniği	1	6876,982	6876,982	355,5867	0,0000
Malzeme çeşidi	2	6100,941	3050,470	157,7301	0,0000
BT x MÇ	2	902,498	451,249	23,3326	0,0000
Levha kalınlığı	2	12565,468	6282,734	324,8601	0,0000
BT x LK	2	195,668	97,834	5,0587	0,0088
MÇ x LK	4	991,666	247,917	12,8190	0,0000
BT x MÇ x LK	4	463,518	115,879	5,9918	0,0003
Hata	72	1392,467	19,340		
Toplam	89	29489,208			

BT : Birleştirme tekniği

MÇ : Malzeme çeşidi

LK : Levha kalınlığı

Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, “L” tipi köşe birleştirmelerinin eğilme deneyi sonucunda elde edilen moment taşıma kapasitesi değerleri üzerindeki etkileri 0,05 yanılma olasılığı için önemli bulunmuştur. Yapılan ikili ve üçlü etkileşimlerde 0,05 yanılma olasılığı için önemlidir. Birleştirme tekniğinin, birleştirmelerin moment taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaları LSD değeri 1,842 Nm için karşılaştırılması Çizelge 4.24’de verilmiştir.

Çizelge 4.24. Birleştirme tekniğine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Birleştirme Tekniği	Moment Taşıma Kapasitesi (Nm)	
	(X)	HG
Kavelalı	49,00	B
Kavelalı Vidalı	66,48	A

LSD $\pm$ 1,842 Nm

HG : Homojenlik grubu

Kavelalı-vidalı birleştirmeler, kavelalı birleştirmelere göre yaklaşık % 26 oranında daha yüksek moment değeri vermiştir. Malzeme çeşidinin, birleştirmelerin moment taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 2,256 N.m için karşılaştırılması Çizelge 4.25’de verilmiştir.

Çizelge 4.25. Malzeme çeşidine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Malzeme Çeşidi	Moment Taşıma Kapasitesi (Nm)	
	(X)	HG
YL	46,99	C
MDF	59,25	B
OKP	66,99	A

LSD $\pm$ 2.256 Nm

HG : Homojenlik grubu

Malzeme çeşidine göre; kontrplaktan üretilen malzemeler MDF’ye göre % 10, yonga levhaya göre % 30 daha iyidir. Birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşimlerinin, birleştirmelerin moment taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaları LSD değeri 3,191 N.m için karşılaştırılması Çizelge 4.26’da verilmiştir.

Çizelge 4.26. Birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Birleştirme Tekniği	Moment Taşıma Kapasitesi (Nm)					
	Malzeme Çeşidi					
	YL		MDF		OKP	
	(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
Kavelalı	40,93	E	46,07	D	60,00	B
Kavelalı vidalı	53,04	C	72,44	A	73,97	A

LSD $\pm$ 3,191 Nm

HG : Homojenlik grubu

Birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre en iyi sonucu MDF ve kontrplak malzemeler üzerinde kavelalı vidalı birleştirilmiş deney örnekleri vermiştir. Yonga levha ile üretilen kavelalı birleştirmeler ise düşük sonuç vermiştir. Levha kalınlığının, birleştirmelerin moment taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 2,256 Nm için karşılaştırılması Çizelge 4.27’de verilmiştir.

Çizelge 4.27. Levha kalınlığına göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Levha Kalınlığı	Moment Taşıma Kapasitesi (Nm)	
	(X)	HG
14 mm	46,90	C
16 mm	52,15	B
18 mm	74,18	A

LSD $\pm$ 2.256 Nm

HG : Homojenlik grubu

Levha kalınlığına göre; 18 mm levha kalınlığında üretilen deney örnekleri, 16 mm kalınlığındaki örneklere göre yaklaşık % 29, 14 mm levha kalınlığındaki örneklere göre ise % 37 daha yüksek moment taşımıştır. 16 mm kalınlığındaki deney örneklerinin 14 mm kalınlığındaki örneklere göre oranı % 11’dir.

Birleştirme tekniği ve levha kalınlığı ikili etkileşimlerinin, birleştirmelerin moment taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaları LSD değeri 3,191 Nm için karşılaştırılması Çizelge 4.28’de verilmiştir.

Çizelge 4.28. Birleştirme tekniği ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Birleştirme Tekniği	Moment Taşıma Kapasitesi (Nm)					
	Levha kalınlığı					
	14 mm		16 mm		18 mm	
	(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
Kavelalı	39,74	D	41,44	D	65,83	B
Kavelalı vidalı	54,07	C	62,86	B	82,52	A

LSD $\pm$ 3,191 Nm

HG : Homojenlik grubu

Birleştirme tekniği ve levha kalınlığı ikili etkileşiminde en yüksek moment taşıma kavelalı vidalı birleştirilmiş 18 mm kalınlığındaki levhalarda yüksek olmakla birlikte, kavelalı 18 mm ve kavelalı vidalı birleştirilmiş 16 mm kalınlığındaki levhalarda da benzer olarak yüksek çıkmıştır. Bu sonuç bize 16 mm kalınlığındaki levhaların kullanılabilirliği ortaya koymaktadır.

Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşimlerinin, birleştirmelerin moment taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaları LSD değeri 3,908 Nm değeri için karşılaştırılması Çizelge 4.29’da verilmiştir.

Çizelge 4.29. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Malzeme Çeşidi	Moment Taşıma Kapasitesi (Nm)					
	Levha kalınlığı					
	14 mm		16 mm		18 mm	
	(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
YL	32,19	F	46,33	E	62,45	C
MDF	47,90	E	54,63	D	75,23	B
OKP	60,61	C	55,49	D	84,85	A

LSD $\pm$ 3,908 Nm

HG : Homojenlik grubu

Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre en iyi sonucu 18 mm kalınlığındaki kontrplak levhalar ile üretilen deney örnekleri vermiştir. Bunu sırası ile yine 18 mm levha kalınlığında hazırlanan MDF ve yongalevha örnekleri izlemiştir.

Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığı üçlü etkileşimi birleştirmelerin moment taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaları LSD değeri 5,527 Nm için karşılaştırılması Çizelge 4.30’da verilmiştir.

Çizelge 4.30. Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığı üçlü etkileşimine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Birleştirme Tekniği	Malzeme Çeşidi	Moment Taşıma Kapasitesi (N.m)					
		Levha kalınlığı					
		14 mm		16 mm		18 mm	
		(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
Kavelalı	YL	28,05	G	37,30	F	57,45	D
	MDF	38,20	F	41,72	EF	58,28	D
	OKP	52,96	D	45,29	E	81,76	B
Kavelalı Vidalı	YL	36,33	F	55,35	D	67,45	C
	MDF	57,61	D	67,54	C	92,17	A
	OKP	68,27	C	65,69	C	87,94	A

LSD $\pm$ 5,527N.m

HG : Homojenlik grubu

En iyi sonucu 18 mm kalınlığındaki levhalarda kontrplak ve MDF ile üretilen kavelalı vidalı birleştirilmiş deney örnekleri vermiştir. Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığı üçlü etkileşim sonuçları; kalınlığın artmasıyla momentin arttığını ve vidalı birleştirmelerde bu oranın artmasına sebep olduğunu göstermiştir.

4.3.2. Diyagonal basınç deneyleri

“L” tipi köşe birleştirme diyagonal basınç deneyleri sonucunda elde edilen moment taşıma kapasite değerleri Çizelge 4.31’de verilmiştir.

Çizelge 4.31. Diyagonal basınç deneyleri sonucu elde edilen moment taşıma kapasitesi değerleri

Birleştirme Tekniği	Malzeme Çeşidi	Levha Kalınlığı (mm)	Ortalama Moment Kuvveti (Nm)	Min. Moment Kuvveti (Nm)	Max. Moment Kuvveti (Nm)	v (%)
Kavelalı	YL	14	15,91	15,51	16,70	3,06
		16	31,25	30,30	31,99	1,96
		18	52,63	46,36	61,04	10,18
	MDF	14	35,34	33,78	37,20	3,47
		16	53,34	50,27	58,27	5,71
		18	53,83	52,89	54,94	1,37
	OKP	14	57,40	46,79	68,36	13,29
		16	45,16	37,29	49,93	10,76
		18	86,40	79,63	91,01	4,90
Kavelalı Vidalı	YL	14	24,80	21,91	26,25	7,15
		16	42,43	41,14	43,92	2,34
		18	64,56	62,57	65,61	1,89
	MDF	14	38,97	35,79	41,76	5,45
		16	57,22	53,50	63,09	6,36
		18	60,10	55,60	65,07	5,59
	OKP	14	78,23	75,89	80,57	2,11
		16	65,01	55,94	79,36	13,67
		18	81,49	76,71	89,98	6,19

Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, “L” tipi köşe birleştirmelerinin moment taşıma kapasitesi etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.32’de verilmiştir.

Çizelge 4.32. Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, moment taşıma kapasitesi etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi

Varyans Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Hata İhtimali p < 0.05
Birleştirme tekniği	1	1847,696	1847,696	117,8791	0,0000
Malzeme çeşidi	2	14134,024	7067,012	450,8602	0,0000
BT x MÇ	2	230,561	115,280	7,3546	0,0012
Levha kalınlığı	2	9685,026	4842,513	308,9420	0,0000
BT x LK	2	242,439	121,220	7,7335	0,0009
MÇ x LK	4	4268,296	1067,074	68,0770	0,0000
BT x MÇ x LK	4	845,109	211,277	13,4790	0,0000
Hata	72	1128,565	15,675		
Toplam	89	32381,715			

BT : Birleştirme tekniği

MÇ : Malzeme çeşidi

LK : Levha kalınlığı

Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, “L” tipi köşe birleştirmelerinin diyagonal basınç deneyi sonucunda elde edilen moment taşıma kapasitesi değerleri üzerindeki etkileri 0,05 yanılma olasılığı için önemli bulunmuştur. Yapılan ikili ve üçlü etkileşimlerde 0,05 yanılma olasılığı için önemlidir.

Birleştirme tekniğinin, birleştirmelerin moment taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaları LSD değeri 1,658 Nm için karşılaştırılması Çizelge 4.33’de verilmiştir.

Çizelge 4.33. Birleştirme tekniğine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Birleştirme Tekniği	Moment Taşıma Kapasitesi (Nm)	
	(X)	HG
Kavelalı	47,92	B
Kavelalı Vidalı	56,98	A

LSD $\pm$ 1,658 Nm

HG : Homojenlik grubu

Kavelalı-vidalı birleştirmeler, kavelalı birleştirmelere göre yaklaşık % 16 oranında daha yüksek moment değeri vermiştir.

Malzeme çeşidinin, birleştirmelerin moment taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 2,031Nm için karşılaştırılması Çizelge 4.34’de verilmiştir.

Çizelge 4.34. Malzeme çeşidine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Malzeme Çeşidi	Moment Taşıma Kapasitesi (Nm)	
	(X)	HG
YL	38,60	C
MDF	49,80	B
OKP	68,95	A

LSD $\pm$ 2.031 Nm

HG : Homojenlik grubu

Malzeme çeşidine göre; kontrplaktan üretilen malzemeler MDF’ye göre % 27, yonga levhaya göre % 44 daha iyidir. Birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşimlerinin, birleştirmelerin moment taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaları LSD değeri 2,873Nm için karşılaştırılması Çizelge 4.35’de verilmiştir.

Çizelge 4.35. Birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Birleştirme Tekniği	Moment Taşıma Kapasitesi (Nm)					
	Malzeme Çeşidi					
	YL		MDF		OKP	
	(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
Kavelalı	33,26	F	47,50	D	62,99	B
Kavelalı vidalı	43,93	E	52,10	C	74,91	A

LSD $\pm$ 2,873 Nm

HG : Homojenlik grubu

Birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre en iyi sonucu OKP ve MDF malzemeler üzerinde kavelalı vidalı birleştirilmiş deney örnekleri vermiştir. Yonga levha ile üretilen kavelalı birleştirmeler ise düşük sonuç vermiştir.

Levha kalınlığının, birleştirmelerin moment taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 2,031Nm için karşılaştırılması Çizelge 4.36’da verilmiştir.

Çizelge 4.36. Levha kalınlığına göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Levha Kalınlığı	Moment Taşıma Kapasitesi (Nm)	
	(X)	HG
14 mm	41,77	C
16 mm	49,07	B
18 mm	66,50	A

LSD $\pm$ 2.031 Nm

HG : Homojenlik grubu

Levha kalınlığına göre; 18 mm levha kalınlığında üretilen deney örnekleri, 16 mm kalınlığındaki örneklere göre yaklaşık % 25, 14 mm levha kalınlığındaki örneklere göre ise % 37 daha yüksek moment taşımıştır. 16 mm kalınlığındaki deney örneklerinin 14 mm kalınlığındaki örneklere göre oranı % 16’dır.

Birleştirme tekniği ve levha kalınlığı ikili etkileşimlerinin, birleştirmelerin moment taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaları LSD değeri 2,873 Nm için karşılaştırılması Çizelge 4.37’de verilmiştir.

Çizelge 4.37. Birleştirme tekniği ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Birleştirme Tekniği	Moment Taşıma Kapasitesi (Nm)					
	Levha kalınlığı					
	14 mm		16 mm		18 mm	
	(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
Kavelalı	36,21	F	43,25	E	64,29	B
Kavelalı vidalı	47,33	D	54,89	C	68,72	A

LSD $\pm$ 2,873 Nm

HG : Homojenlik grubu

Birleştirme tekniği ve levha kalınlığı ikili etkileşiminde en yüksek moment taşıma kavelalı vidalı birleştirilmiş 18 mm kalınlığındaki levhalarda yüksek olmakla birlikte, kavelalı 18 mm birleştirilmiş levhalarda da benzer olarak yüksek çıkmıştır. Bunu kavelalı vidalı birleştirilmiş 16 mm kalınlığındaki levhalar takip etmiştir.

Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşimlerinin, birleştirmelerin moment taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaları LSD değeri 3,518Nm değeri için karşılaştırılması Çizelge 4.38’de verilmiştir.

Çizelge 4.38. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Malzeme Çeşidi	Moment Taşıma Kapasitesi (Nm)					
	Levha kalınlığı					
	14 mm		16 mm		18 mm	
	(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
YL	20,35	E	36,84	D	58,60	C
MDF	37,15	D	55,28	C	56,96	C
OKP	67,81	B	55,09	C	83,94	A

LSD $\pm$ 3,518 Nm

HG : Homojenlik grubu

Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşim sonuçları; kontrplak malzemeden üretilen 18 mm kalınlığındaki örnekler ve yine kontrplaktan üretilen 14 mm kalınlığındaki örneklerde daha yüksek moment değerleri vermiştir. Bu durum 14 mm kalınlığındaki kontrplak malzemenin iç yapışma direncinin yüksek olmasından kaynaklanabilir. Bunu sırasıyla 18 mm kalınlığındaki MDF ve yonga levha deney örnekleri izlemiştir.

Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığı üçlü etkileşimi birleştirmelerin moment taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaları LSD değeri 4,975 Nm için karşılaştırılması Çizelge 4.39’da verilmiştir.

Çizelge 4.39. Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığı üçlü etkileşimine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Birleştirme Tekniği	Malzeme Çeşidi	Moment Taşıma Kapasitesi (N.m)					
		Levha kalınlığı					
		14 mm		16 mm		18 mm	
		(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
Kavelalı	YL	15,91	K	31,25	I	52,63	E
	MDF	35,34	HI	53,34	E	53,83	E
	OKP	57,40	DE	45,16	F	86,40	A
Kavelalı Vidalı	YL	24,80	J	42,43	FG	64,56	C
	MDF	38,97	GH	57,22	DE	60,10	CD
	OKP	78,23	B	65,01	C	81,49	AB

LSD $\pm$ 4,975N.m

HG : Homojenlik grubu

En iyi sonucu 18 mm kalınlığındaki levhalarda kontrplak, yongalevha ve MDF ile üretilen kavelalı vidalı birleştirilmiş deney örnekleri vermiştir.

Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığı üçlü etkileşim sonuçları; kalınlığın artmasıyla momentin arttığını ve vidalı birleştirmelerde bu oranın artmasına sebep olduğunu göstermiştir.

4.3.3. Diyagonal çekme deneyleri

“L” tipi köşe birleştirme diyagonal çekme deneyleri sonucunda elde edilen moment taşıma kapasitesi değerleri Çizelge 4.40’da verilmiştir.

Çizelge 4.40. Diyagonal çekme deneyleri sonucu elde edilen moment taşıma kapasitesi değerleri

Birleştirme Tekniği	Malzeme Çeşidi	Levha Kalınlığı (mm)	Ortalama Moment Kuvveti (Nm)	Min. Moment Kuvveti (Nm)	Max. Moment Kuvveti (Nm)	v (%)
Kavelalı	YL	14	29,49	23,82	32,33	11,79
		16	39,31	33,69	44,03	9,40
		18	71,75	67,54	76,38	4,37
	MDF	14	40,43	34,84	49,67	14,11
		16	48,50	45,95	49,77	3,22
		18	52,71	47,34	58,39	7,42
	OKP	14	68,81	67,74	70,96	1,91
		16	77,00	70,20	87,43	8,42
		18	109,20	100,36	126,24	9,56
Kavelalı Vidalı	YL	14	36,98	33,94	39,86	5,67
		16	51,69	46,58	54,24	6,05
		18	68,59	67,54	69,43	0,99
	MDF	14	63,44	58,06	67,74	5,49
		16	85,09	79,77	89,34	4,05
		18	88,69	87,11	90,27	1,26
	OKP	14	81,71	70,96	87,09	8,06
		16	89,34	86,15	92,53	2,53
		18	109,20	100,36	126,24	9,56

Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, “L” tipi köşe birleştirmelerinin moment taşıma kapasitesi etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.41’de verilmiştir.

Çizelge 4.41. Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, moment taşıma kapasitesi etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi

Varyans Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Hata İhtimali p < 0.05
Birleştirme tekniği	1	5253,875	5253,875	217,0169	0,0000
Malzeme çeşidi	2	24283,435	12141,718	501,5267	0,0000
BT x MÇ	2	3122,790	1561,395	64,4951	0,0000
Levha kalınlığı	2	13604,198	6802,099	280,9680	0,0000
BT x LK	2	345,516	172,758	7,1359	0,0015
MÇ x LK	4	1739,596	434,899	17,9640	0,0000
BT x MÇ x LK	4	530,143	132,536	5,4745	0,0007
Hata	72	1743,085	24,210		
Toplam	89	50622,637			

BT : Birleştirme tekniği

MÇ : Malzeme çeşidi

LK : Levha kalınlığı

Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, “L” tipi köşe birleştirmelerinin diyagonal çekme deneyi sonucunda elde edilen moment taşıma kapasitesi değerleri üzerindeki etkileri 0,05 yanılma olasılığı için önemli bulunmuştur. Yapılan ikili ve üçlü etkileşimlerde 0,05 yanılma olasılığı için önemlidir.

Birleştirme tekniğinin, birleştirmelerin moment taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaları LSD değeri 2,061 Nm için karşılaştırılması Çizelge 4.42’de verilmiştir.

Çizelge 4.42. Birleştirme tekniğine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Birleştirme Tekniği	Moment Taşıma Kapasitesi (Nm)	
	(X)	HG
Kavelalı	59,69	B
Kavelalı Vidalı	74,97	A

LSD $\pm$ 2,061 Nm

HG : Homojenlik grubu

Kavelalı-vidalı birleştirmeler, kavelalı birleştirmelere göre yaklaşık % 20 oranında daha yüksek moment değeri vermiştir.

Malzeme çeşidinin, birleştirmelerin moment taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 2,524Nm için karşılaştırılması Çizelge 4.43’de verilmiştir.

Çizelge 4.43. Malzeme çeşidine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Malzeme Çeşidi	Moment Taşıma Kapasitesi (Nm)	
	(X)	HG
YL	49,63	C
MDF	63,14	B
OKP	89,21	A

LSD $\pm$ 2.524 Nm

HG : Homojenlik grubu

Malzeme çeşidine göre; kontrplaktan üretilen malzemeler MDF’ye göre % 29, yonga levhaya göre % 44 daha iyidir. Birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşimlerinin, birleştirmelerin moment taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaları LSD değeri 3,570Nm için karşılaştırılması Çizelge 4.44’de verilmiştir.

Çizelge 4.44. Birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Birleştirme Tekniği	Moment Taşıma Kapasitesi (Nm)					
	Malzeme Çeşidi					
	YL		MDF		OKP	
	(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
Kavelalı	46,85	E	47,21	E	85,01	B
Kavelalı vidalı	52,42	D	79,07	C	93,42	A

LSD $\pm$ 3,570Nm

HG : Homojenlik grubu

Birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre en iyi sonucu OKP ve MDF malzemeler üzerinde kavelalı vidalı ve kavelalı birleştirilmiş deney örnekleri vermiştir. Yonga levha ile üretilen kavelalı birleştirmeler ise düşük sonuç vermiştir.

Levha kalınlığının, birleştirmelerin moment taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 2,524 Nm için karşılaştırılması Çizelge 4.45’de verilmiştir.

Çizelge 4.45. Levha kalınlığına göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Levha Kalınlığı	Moment Taşıma Kapasitesi (Nm)	
	(X)	HG
14 mm	53,48	C
16 mm	65,15	B
18 mm	83,36	A

LSD $\pm$ 2.524 Nm

HG : Homojenlik grubu

Levha kalınlığına göre; 18 mm levha kalınlığında üretilen deney örnekleri, 16 mm kalınlığındaki örneklere göre yaklaşık % 21, 14 mm levha kalınlığındaki örneklere göre ise % 36 daha yüksek moment taşımıştır. 16 mm kalınlığındaki deney örneklerinin 14 mm kalınlığındaki örneklere göre oranı % 18’dir.

Birleştirme tekniği ve levha kalınlığı ikili etkileşimlerinin, birleştirmelerin moment taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaları LSD değeri 3,570 Nm için karşılaştırılması Çizelge 4.46’da verilmiştir.

Çizelge 4.46. Birleştirme tekniği ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Birleştirme Tekniği	Moment Taşıma Kapasitesi (Nm)					
	Levha kalınlığı					
	14 mm		16 mm		18 mm	
	(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
Kavelalı	46,24	E	54,94	D	77,89	B
Kavelalı vidalı	60,71	C	75,37	B	88,83	A

LSD $\pm$ 3,570 Nm

HG : Homojenlik grubu

Birleştirme tekniği ve levha kalınlığı ikili etkileşiminde en yüksek moment taşıma kavelalı-vidalı birleştirilmiş 18 mm kalınlığındaki levhalarda yüksek olmakla birlikte, kavelalı 18 mm birleştirilmiş levhalarda da benzer olarak yüksek çıkmıştır. Bunu kavelalı-vidalı birleştirilmiş 16 mm kalınlığındaki levhalar takip etmiştir.

Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşimlerinin, birleştirmelerin moment taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaları LSD değeri 4,372Nm değeri için karşılaştırılması Çizelge 4.47’de verilmiştir.

Çizelge 4.47. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Malzeme Çeşidi	Moment Taşıma Kapasitesi (Nm)					
	Levha kalınlığı					
	14 mm		16 mm		18 mm	
	(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
YL	33,24	G	45,50	F	70,17	D
MDF	51,93	E	66,79	D	70,70	D
OKP	75,26	C	83,17	B	109,2	A

LSD $\pm$ 4,372 Nm

HG : Homojenlik grubu

Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşim sonuçları; kontrplak malzemeden üretilen 18 mm kalınlığındaki örnekler ve yine kontrplaktan üretilen 16 ve 14 mm kalınlığındaki örneklerde daha yüksek moment değerleri vermiştir. Bu durum 16 ve 14 mm kalınlığındaki kontrplak malzemenin iç yapışma direncinin yüksek olmasından kaynaklanabilir. Bunu sırasıyla 18 mm kalınlığındaki MDF ve yonga levha deney örnekleri izlemiştir.

Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığı üçlü etkileşimi birleştirmelerin moment taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaları LSD değeri 6,183 Nm için karşılaştırılması Çizelge 4.48’de verilmiştir.

Çizelge 4.48. Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığı üçlü etkileşimine göre moment taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Birleştirme Tekniği	Malzeme Çeşidi	Moment Taşıma Kapasitesi (N.m)					
		Levha kalınlığı					
		14 mm		16 mm		18 mm	
		(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
Kavelalı	YL	29,49	J	39,31	I	71,75	EF
	MDF	40,43	I	48,50	H	52,71	H
	OKP	68,81	FG	77,00	DE	109,2	A
Kavelalı Vidalı	YL	36,98	I	51,69	H	68,59	FG
	MDF	63,44	G	85,09	BC	88,69	B
	OKP	81,71	CD	89,34	B	109,2	A

LSD $\pm$ 6,183 N.m

HG : Homojenlik grubu

En iyi sonucu 18 mm kalınlığındaki levhalarda kontrplak, yongalevha ve MDF ile üretilen kavelalı vidalı birleştirilmiş deney örnekleri vermiştir.

Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığı üçlü etkileşim sonuçları; kalınlığın artmasıyla momentin arttığını ve vidalı birleştirmelerde bu oranın artmasına sebep olduğunu göstermiştir.

4.4. Deney Kutularının Performansı

Denemelerde kullanılan kutu tipi mobilyalara uygulanan mukavemet deneyleri sonucunda elde edilen kuvvet taşıma kapasite değerleri, ön çerçevesiz deney kutuları için Çizelge 4.49’da, ön çerçeveli deney kutuları için Çizelge 4.50’de verilmiştir.

Çizelge 4.49. Ön çerçevesiz deney kutularının kuvvet taşıma kapasitesi değerleri

Çerçeve Tipi	Birleştirme Tekniği	Malzeme Çeşidi	Levha Kalınlığı (mm)	Deney No	Deney Kuvveti (N)	Ort. Deney Kuvveti (N)	Min. Deney Kuvveti (N)	Max. Deney Kuvveti (N)	c.v. (%)
Ön Çerçevesiz Kutu	Kavelalı	YL	14	1	833,85	784,80	735,75	833,85	6,25
				2	735,75				
				3	784,8				
			16	1	1000,62	1043,13	1000,62	1079,10	3,80
				2	1049,67				
				3	1079,1				
			18	1	1520,55	1520,55	1471,50	1569,60	3,23
				2	1569,6				
				3	1471,5				
		MDF	14	1	1079,1	1111,80	1079,10	1128,15	2,55
				2	1128,15				
				3	1128,15				
			16	1	1618,65	1520,55	1422,45	1618,65	6,45
				2	1422,45				
				3	1520,55				
			18	1	1716,75	1765,80	1716,75	1814,85	2,78
				2	1765,8				
				3	1814,85				
		OKP	14	1	833,85	866,55	833,85	931,95	6,54
				2	931,95				
				3	833,85				
			16	1	1324,35	1389,75	1324,35	1471,50	5,39
				2	1373,4				
				3	1471,5				
			18	1	1422,45	1478,85	1422,45	1569,60	5,04
				2	1471,5				
				3	1569,6				
	Kavelalı Vidalı	YL	14	1	882,9	850,20	784,80	882,90	6,66
				2	882,9				
				3	784,8				
			16	1	1030,05	1111,80	1030,05	1177,20	6,74
				2	1128,15				
				3	1177,2				
			18	1	1667,7	1733,10	1667,70	1765,80	3,27
				2	1765,8				
				3	1765,8				
		MDF	14	1	1373,4	1383,21	1373,40	1402,83	1,23
				2	1373,4				
				3	1402,83				
			16	1	1863,9	1962,00	1863,90	2011,05	4,33
				2	2011,05				
				3	2011,05				
			18	1	2060,1	2109,15	2060,10	2158,20	2,33
				2	2109,15				
				3	2158,2				
		OKP	14	1	1030,05	1046,40	981,00	1128,15	7,16
				2	981				
				3	1128,15				
			16	1	1569,6	1602,30	1569,60	1667,70	3,53
				2	1569,6				
				3	1667,7				
			18	1	1765,8	1831,20	1765,80	1962,00	6,19
				2	1962				
				3	1765,8				

Çizelge 4.50. Ön çerçevesel deney kutularının kuvvet taşıma kapasitesi değerleri

Çerçeve Tipi	Birleştirme Tekniği	Malzeme Çeşidi	Levha Kalınlığı (mm)	Deney No	Deney Kuvveti (N)	Ort. Deney Kuvveti (N)	Min. Deney Kuvveti (N)	Max. Deney Kuvveti (N)	c.v. (%)
Ön Çerçevesel Kutu	Kavelalı	YL	14	1	1373,4	1471,5	1373,4	1520,55	5,77
				2	1520,55				
				3	1520,55				
			16	1	1618,65	1684,05	1618,65	1765,8	4,45
				2	1667,7				
				3	1765,8				
			18	1	1962	2076,45	1962	2256,3	7,59
				2	2011,05				
				3	2256,3				
		MDF	14	1	1765,8	1847,55	1765,8	1912,95	4,06
				2	1863,9				
				3	1912,95				
			16	1	1962	2076,45	1962	2256,3	7,59
				2	2011,05				
				3	2256,3				
			18	1	2158,2	2305,35	2158,2	2452,5	6,38
				2	2305,35				
				3	2452,5				
		OKP	14	1	1471,5	1635	1471,5	1716,75	8,66
				2	1716,75				
				3	1716,75				
			16	1	1667,7	1945,65	1667,7	2158,2	12,94
				2	2011,05				
				3	2158,2				
			18	1	2158,2	2207,25	2158,2	2256,3	2,22
				2	2207,25				
				3	2256,3				
	Kavelalı Vidalı	YL	14	1	1912,95	1749,45	1569,6	1912,95	9,85
				2	1569,6				
				3	1765,8				
			16	1	1716,75	1782,15	1716,75	1863,9	4,2
				2	1765,8				
				3	1863,9				
			18	1	2060,1	2092,8	2060,1	2158,2	2,71
				2	2158,2				
				3	2060,1				
		MDF	14	1	1716,75	1782,15	1716,75	1863,9	4,2
				2	1765,8				
				3	1863,9				
			16	1	2256,3	2174,55	1962	2305,35	8,54
				2	2305,35				
				3	1962				
			18	1	2158,2	2305,35	2158,2	2403,45	5,63
				2	2354,4				
				3	2403,45				
		OKP	14	1	1471,5	1716,75	1471,5	1863,9	12,45
				2	1814,85				
				3	1863,9				
			16	1	1863,9	1880,25	1863,9	1912,95	1,51
				2	1863,9				
				3	1912,95				
			18	1	2011,05	2158,2	2011,05	2305,35	6,82
				2	2158,2				
				3	2305,35				

Çerçeve tipi, birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, kutu tipi mobilyaların kuvvet taşıma kapasitesi etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.51’de verilmiştir.

Çizelge 4.51. Çerçeve tipi, birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, kutu tipi mobilyaların kuvvet taşıma kapasitesi etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi

Varyans Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Hata İhtimali $p < 0,05$
Çerçeve Tipi (ÇT)	1	7955564,727	7955564,727	687,6846	0,0000
Birleştirme Tekniği (BT)	1	533842,777	533842,777	46,1457	0,0000
ÇT x BT	1	254080,862	254080,862	21,9629	0,0000
Malzeme Çeşidi (MÇ)	2	2489596,689	1244798,344	107,6012	0,0000
ÇT x MÇ	2	173697,634	86848,817	7,5073	0,0011
BT x MÇ	2	22714,436	11357,218	0,9817	Ns*
ÇT x BT x MÇ	2	155966,295	77983,147	6,7409	0,0021
Levha Kalınlığı (LK)	2	6759366,562	3379683,281	292,1422	0,0000
ÇT x LK	2	311253,096	155626,548	13,4525	0,0000
BT x LK	2	421,552	210,776	0,0182	Ns*
ÇT x BT x LK	2	62984,826	31492,413	2,7222	0,0725
MÇ x LK	4	282739,971	70684,993	6,1101	0,0003
ÇT x MÇ x LK	4	73934,982	18483,745	1,5977	0,1842
BT x MÇ x LK	4	62727,319	15681,830	1,3555	0,2579
ÇT x BT x MÇ x LK	4	32945,259	8236,315	0,7120	Ns*
Hata	72	832940,897	11568,624		
Toplam	107	20004777,882			

Ns* : Önemsiz

Çerçeve tipi, birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, kutu tipi mobilyaların kuvvet taşıma değerleri üzerindeki etkileri 0,05 yanılma olasılığı için önemli bulunmuştur. Yapılan ikili etkileşimlerden çerçeve tipi-birleştirme tekniği, çerçeve tipi-malzeme çeşidi, çerçeve tipi-levha kalınlığı ve malzeme çeşidi-levha kalınlığı etkileşimleri 0,05 hata payı ile önemli, birleştirme tekniği-malzeme çeşidi ve birleştirme tekniği-levha kalınlığı etkileşiminin kuvvet taşıma kapasitesi değerlerin etkisi önemsiz çıkmıştır. Yapılan üçlü etkileşimlerden çerçeve tipi-birleştirme tekniği-malzeme çeşidi üçlü etkileşimi ise anlamlı, çerçeve tipi-birleştirme tekniği-levha kalınlığı, çerçeve tipi-malzeme çeşidi-levha kalınlığı ve birleştirme tekniği-malzeme çeşidi-levha kalınlığı üçlü etkileşimi ise anlamsız çıkmıştır.

4.4.1. Ortalamaların karşılaştırılması (LSD test sonuçları)

Çerçeve tipinin, deney kutularının kuvvet taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 41,03N değeri için karşılaştırılması Çizelge 4.52’de verilmiştir.

Çizelge 4.52. Çerçeve tipine göre kuvvet taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Çerçeve Tipi	Kuvvet Taşıma Kapasitesi (N)	
	(X)	HG
Ön çerçevesiz	1396	B
Ön çerçevesi	1938	A

LSD $\pm$ 41,03N

HG : Homojenlik grubu

Deney sonuçlarına göre; ön çerçevesi kutu tipi mobilyalar, ön çerçevesiz hazırlanan deney örneklerine göre yaklaşık % 28 daha yüksek kuvvet taşıma değeri vermiştir. Çerçevesiz olarak üretilen deney örneklerinde kutu köşelerinde katmanlarda yarılmalar sonucunda deforme olmuş, ön çerçevesi kutularda ise bütün yükün kutudan ziyade ön çerçevede meydana geldiği görülmüş ve deneylerde genellikle çerçeve köşelerindeki kavelalarda kırılmalar gözlenmiştir.

Birleştirme tekniğinin, deney kutularının kuvvet taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 41,03N değeri için karşılaştırılması Çizelge 4.53’de verilmiştir.

Çizelge 4.53. Birleştirme tekniğine göre kuvvet taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Birleştirme Çeşidi	Kuvvet Taşıma Kapasitesi (N)	
	(X)	HG
Kavelalı	1597	B
Kavelalı vidalı	1737	A

LSD $\pm$ 41,03N

HG : Homojenlik grubu

Kavelalı vidalı birleştirmeler, kavelalı birleştirmelere göre yaklaşık % 8 oranında daha yüksek kuvvet taşıma değeri vermiştir.

Çerçeve tipi ve birleştirme tekniği ikili etkileşimine göre; deney kutularının kuvvet taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 58,03N değeri için karşılaştırması Çizelge 4.54’de verilmiştir.

Çizelge 4.54. Çerçeve tipi ve birleştirme tekniğine göre kuvvet taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Çerçeve Tipi	Kuvvet Taşıma Kapasitesi (N)			
	Birleştirme Çeşidi			
	Kavelalı		Kavelalı vidalı	
	(X)	HG	(X)	HG
Ön çerçevesiz	1277	C	1514	B
Ön çerçeveli	1917	A	1960	A

LSD $\pm$ 58,03N

HG : Homojenlik grubu

Çerçeve tipi ve birleştirme tekniği ikili etkileşimine göre en iyi sonucu ön çerçeveli üretilen deney örnekleri vermekle birlikte kavelalı ve kavelalı vidalı birleştirme tekniğinin istatistiksel anlamda farklı olmadığı sonucuna varılmıştır. Diğer yandan ön çerçevesiz üretilen kavelalı vidalı deney kutularında ise; kavelalı birleştirilmiş deney kutularından yaklaşık % 15 oranında daha yüksek kuvvet taşıdığı ortaya çıkmıştır.

Malzeme çeşidinin, deney kutularının kuvvet taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 50,26N değeri için karşılaştırılması Çizelge 4.55’de verilmiştir.

Çizelge 4.55. Malzeme çeşidine göre kuvvet taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Malzeme Çeşidi	Kuvvet Taşıma Kapasitesi (N)	
	(X)	HG
YL	1492	C
MDF	1862	A
OKP	1647	B

LSD $\pm$ 50,26N

HG : Homojenlik grubu

Malzeme çeşidine göre MDF’den üretilen deney kutuları yüksek kuvvet taşıma değerleri vermiştir. MDF ile üretilen deney kutuları OKP ile üretilenden yaklaşık % 11, OKP ile üretilen kutular YL ile üretilenden ise yaklaşık % 9 daha yüksektir.

Çerçeve tipi ve malzeme çeşidi ikili etkileşimlerinin, deney kutularının kuvvet taşıma değerleri etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 71,07 N değeri için karşılaştırılması Çizelge 4.56'da verilmiştir.

Çizelge 4.56. Çerçeve tipi ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre kuvvet taşıma değeri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Çerçeve Tipi	Kuvvet Taşıma Kapasitesi (N)					
	Malzeme Çeşidi					
	YL		MDF		OKP	
	(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
Ön çerçevesiz	1174	F	1642	D	1371	E
Ön çerçeveveli	1809	C	2082	A	1924	B

LSD $\pm$ 71,07N

HG : Homojenlik grubu

Çerçeve tipi ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre ön çerçeveveli MDF ile hazırlanan deney kutularının en yüksek kuvvet taşıma değerini elde ettiği, bunu sırasıyla çerçeveveli hazırlanan kontrplak deney örnekleri ve yine çerçeve ile hazırlanan yonga levhaların olduğu görülmüştür. Çerçeve tipi, birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi üçlü etkileşimlerinin, mobilya kutularının kuvvet taşıma değerleri etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 100,5N değeri için karşılaştırılması Çizelge 4.57'de verilmiştir.

Çizelge 4.57. Çerçeve tipi, birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi üçlü etkileşimine göre kuvvet taşıma değeri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Çerçeve Tipi	Birleştirme Tekniği	Kuvvet Taşıma Kapasitesi (N)					
		Malzeme Çeşidi					
		Yongalevha		MDF		O.Kontrplak	
		(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
Ön Çerçevesiz	Kavelalı	1116	G	1466	E	1248	F
	Kavelalı vidalı	1232	F	1818	CD	1493	E
Ön Çerçeveveli	Kavelalı	1744	D	2076	A	1929	B
	Kavelalı vidalı	1875	BC	2087	A	1918	BC

LSD $\pm$ 100,5N

HG : Homojenlik grubu

Çerçeve tipi, birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi üçlü etkileşimine göre en iyi sonucu ön çerçeve ile hazırlanan MDF ve kontrplak malzeme ile üretilen kavelalı vidalı deney örnekleri vermiştir. Çerçevesiz yonga levha örnekleri ise düşük sonuç vermiştir.

Levha kalınlığının, deney kutularının kuvvet taşıma değerleri etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 50,26 N değeri için karşılaştırılması Çizelge 4.58’de verilmiştir.

Çizelge 4.58. Levha kalınlığına göre kuvvet taşıma kapasitesi ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Levha Kalınlığı (mm)	Kuvvet Taşıma Kapasitesi (N)	
	(X)	HG
14	1354	C
16	1681	B
18	1966	A

LSD $\pm$ 50,26N

HG : Homojenlik grubu

Levha kalınlığına göre ise kuvvet taşıma kapasitesi değerleri analiz edildiğinde; 18 mm kalınlığındaki levhaların 16 mm kalınlığındaki levhalara göre % 14, 14 mm kalınlığındaki levhalara göre ise yaklaşık % 31 oranında daha mukavemetli olduğu görülmüştür.

Çerçeve tipi ve levha kalınlığı ikili etkileşimlerinin, deney kutularının kuvvet taşıma değerleri etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 71,07 N değeri için karşılaştırılması Çizelge 4.59’da verilmiştir.

Çizelge 4.59. Çerçeve tipi ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre kuvvet taşıma değeri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Çerçeve Tipi	Kuvvet Taşıma Kapasitesi (N)					
	Levha Kalınlığı					
	14 mm		16 mm		18 mm	
	(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
Ön çerçevesiz	1007	E	1438	D	1741	C
Ön çerçevesiz	1700	C	1924	B	2191	A

LSD $\pm$ 71,07N

HG : Homojenlik grubu

Çerçeve tipi ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre en iyi sonucu çerçeve ile hazırlanan 18 mm ve 16 mm kalınlığındaki deney örnekleri vermiştir. 14 mm levha kalınlığı ve ön çerçevesiz hazırlanan deney örnekleri ise düşük sonuç vermiştir.

Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşimlerinin, deney kutularının kuvvet taşıma kapasitesi etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 87,05N için karşılaştırılması Çizelge 4.60’da verilmiştir.

Çizelge 4.60. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre kuvvet taşıma değeri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Malzeme Çeşidi	Kuvvet Taşıma Kapasitesi (N)					
	Levha kalınlığı (mm)					
	14		16		18	
	(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
YL	1214	G	1405	E	1856	B
MDF	1531	D	1933	B	2121	A
OKP	1316	F	1704	C	1921	B

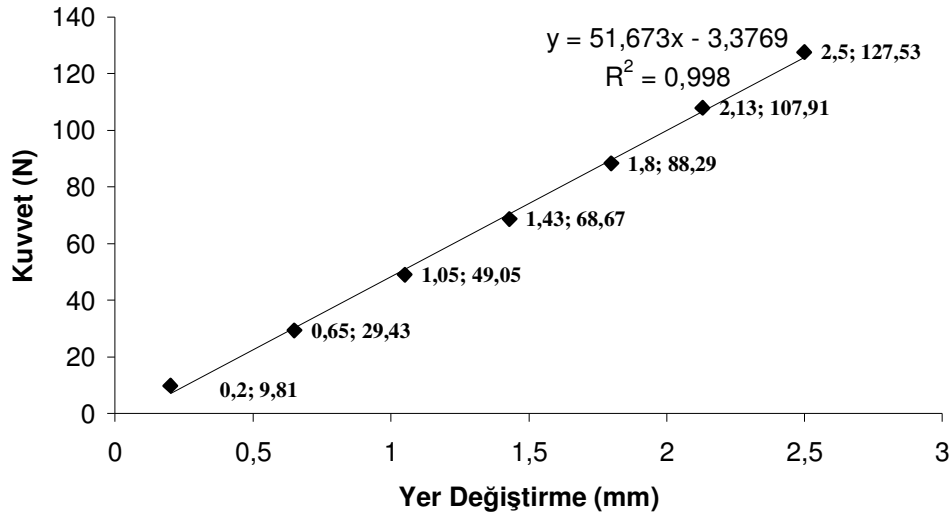
LSD $\pm$ 87,05

HG : Homojenlik grubu

Levha türü ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre en iyi sonucu 18 mm kalınlığındaki MDF deney örnekleri, bunu sırası ile kontrplak levhalar ile üretilen 18 mm kalınlığındaki deney örnekleri izlemiştir.

4.5. Kuvvet-Yer Değiştirme İlişkileri

Deneylerde, kuvvet–yer değiştirme ilişkilerinin tanımlanmasında ($y=ax+ b$) doğru denkleminde yararlanılmıştır. Burada; y : kuvvet (N), x : yer değiştirme miktarı (mm), a : regresyon katsayısı (doğrunun eğimi), b : sabit sayı (doğrunun ordinat eksenini kestiği nokta)’ dır. Buna göre, iki değişken arasındaki ilişki tüm gruplar için doğrusaldır. X değişkeninin eşit artışlarına karşılık, Y değişkeni de eşit artışlar göstermiştir. Doğrunun Y eksenini kestiği noktayı belirleyen (b) değeri “sabit sayı”, denkleminde X’ in önünde yer alan (a) değeri ise “regresyon katsayısı” dır. Bu katsayı da ilişkiyi tanımlayan doğrunun eğimini belirler. Örnek olarak, MDF ile üretilen kavelalı “L” tipi birleştirmelerdeki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Deneylerde kuvvet–yer değiştirme ilişkilerini belirleyen doğruların ordinat (y) eksenini kestiği noktalar (b) orijin noktasıdır [$b(0,0)$]. Yani kuvvet sıfır (0) iken yer değiştirme de sıfır (0) dır. Bu nedenle; elde edilen doğruların denklemi $y = ax$ şeklinde ifade edilebilir [7].



Şekil 4.8. 18 mm kalınlığında MDF ile üretilen kavelalı “L” tipi birleştirmelerde kuvvet–yer değiştirme ilişkisi

Birleştirmelerin rijitlik katsayılarının elde edilmesi için, genel bir ifade olan;

$$k_s = F / d \quad (4.1)$$

eşitliğinden yararlanılmıştır. Burada; k_s : rijitlik katsayısı (N/mm), F : kuvvet (N) d : yer değiştirme (mm)’ dir. Buradan elde edilen (k_s) rijitlik katsayısı, kuvvet–yer değiştirme ilişkisini tanımlayan doğrunun ($y=ax$) eğimini göstermektedir. Dolayısıyla, denklemdeki regresyon katsayısı (a) aynı zamanda rijitlik katsayısıdır. Yani, $k_s = a$ ’ dır [7].

4.5.1. “L” tipi köşe birleştirmelerde kuvvet-yer değiştirme ilişkileri

Eğilme deneylerinde rijitlik

Çizelge 4.61’de birleştirmelere ait rijitlik katsayıları (k_s : N/mm) ve ortalamaları (X : N/mm), varyasyon katsayıları (v : %) ve determinasyon katsayıları (R^2) verilmiştir.

Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, mobilya “L” köşelerinin yapımında kullanılan birleştirmelerin rijitliği üzerindeki etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.62’de verilmiştir.

Çizelge 4.61. Eğilme deneylerinde rijitlik katsayıları, ortalamaları, determinasyon ve yüzde varyasyon katsayıları

Birleştirme Tekniği	Levha türü	Levha Kalınlığı (mm)	Ortalama Rijitlik Katsayısı (k_s :N/mm)	Min Rijitlik Katsayısı (k_s :N/mm)	Max Rijitlik Katsayısı (k_s :N/mm)	v. (%)	(R^2)
Kavelalı	YL	14	21,91	14,73	27,56	20,99	0,97
		16	35,88	30,43	40,35	9,87	0,99
		18	51,35	47,53	54,14	5,35	0,99
	MDF	14	33,50	32,05	34,82	3,21	0,99
		16	45,82	44,03	48,51	3,60	0,99
		18	51,18	49,94	52,28	1,72	0,98
	OKP	14	40,54	35,11	43,94	8,74	0,98
		16	45,43	42,20	48,21	5,38	0,99
		18	75,26	62,90	81,11	9,59	0,99
Kavelalı Vidalı	YL	14	24,20	20,28	27,43	12,20	0,99
		16	39,58	32,16	42,90	10,93	0,99
		18	51,38	47,70	53,62	4,46	0,99
	MDF	14	33,27	31,52	34,31	3,20	0,99
		16	47,97	46,78	50,01	2,75	0,99
		18	54,41	51,48	58,70	4,86	0,99
	OKP	14	40,15	37,19	42,50	5,04	0,99
		16	58,55	52,83	64,99	7,88	0,99
		18	73,80	52,79	100,63	25,07	0,98

Çizelge 4.62. Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, eğilme deneylerinde birleştirmelerin rijitliğe etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi

Varyans Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Hata İhtimali $p < 0.05$
Birleştirme Tekniği	1	139,901	139,901	4,7857	0,0319
Malzeme Çeşidi	2	5080,851	2540,425	86,9025	0,0000
BT x MÇ	2	18,257	9,128	0,3123	Ns*
Levha kalınlığı	2	11183,775	5591,888	191,2865	0,0000
BT x LK	2	165,126	82,563	2,8243	0,0659
MÇ x LK	4	846,067	211,517	7,2355	0,0001
BT x MÇ x LK	4	198,029	49,507	1,6935	0,1609
Hata	72	2104,780	29,233		
Toplam	89	19736,786			

Ns* : Önemsiz

BT : Birleştirme tekniği

MÇ : Malzeme çeşidi

LK : Levha kalınlığı

Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının “L” köşe birleştirmelerinin rijitliği üzerindeki etkileri 0,05 yanılma olasılığı için önemli bulunmuştur. Yapılan birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre birleştirmelerin rijitliği üzerindeki etkisi 0,05 yanılma olasılığı için önemsiz, üçlü etkileşime göre ise anlamsızdır. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre birleştirmelerin rijitli üzerindeki etkisi 0,05 yanılma olasılığı için önemli bulunmuştur.

Eğilme deneylerinde ortalamaların karşılaştırılması (LSD test sonuçları)

Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı dikkate alınarak birleştirme tekniğinin, kutu tipi mobilya “L” köşelerinin yapımında uygulanan birleştirmelerin rijitliği üzerindeki etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 2,265 N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.63’de verilmiştir.

Çizelge 4.63. Birleştirme tekniğine göre rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Birleştirme Tekniği	Rijitlik Katsayısı (N/mm)	
	(X)	HG
Kavelalı	44,54	B
Kavelalı Vidalı	47,03	A

LSD $\pm$ 2,265 N/mm

HG : Homojenlik grubu

Ortalama rijitlik katsayısı değerlerine göre, kavelalı vidalı birleştirmeler kavelalı birleştirmelerden % 6 daha büyük çıkmıştır.

Malzeme çeşidinin birleştirmelerin rijitliği üzerindeki etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 2,774 N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.64’de verilmiştir.

Çizelge 4.64. Malzeme çeşidine göre rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Malzeme Çeşidi	Rijitlik Katsayısı (N/mm)	
	(X)	HG
YL	37,38	C
MDF	44,36	B
OKP	55,62	A

LSD $\pm$ 2,774 N/mm

HG : Homojenlik grubu

Malzeme çeşidine göre; 55,62N/mm değeri ile kontrplaktan üretilen malzemeler MDF'ye göre % 20, yonga levhaya göre % 32, MDF ile üretilen malzemeler ise YL ile üretilene göre % 15 daha rijitdir.

Levha kalınlığının birleştirmelerin rijitliği üzerindeki etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 2,774 N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.65'de verilmiştir.

Çizelge 4.65. Levha kalınlığına göre rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Levha Kalınlığı	Rijitlik Katsayısı (N/mm)	
	(X)	HG
14 mm	32,26	C
16 mm	45,54	B
18 mm	59,56	A

LSD± 2,774 N/mm

HG : Homojenlik grubu

Levha kalınlığına göre ise; 18 mm levha kalınlığında üretilen deney örnekleri 59,56N/mm ile 16 mm kalınlığındaki örneklere göre yaklaşık % 23, 14 mm levha kalınlığındaki örneklere göre ise % 45 daha rijitdir.

Malzeme çeşidi ve levha kalınlığının birleştirmelerin rijitliği üzerindeki etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 4,804 N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.66'da verilmiştir.

Çizelge 4.66. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığına göre rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Malzeme çeşidi	Rijitlik Katsayısı (N/mm)					
	Levha kalınlığı					
	14 mm		16 mm		18 mm	
	(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
YL	23,05	F	37,73	DE	51,36	BC
MDF	33,38	E	46,90	C	52,80	B
OKP	40,34	D	51,99	B	74,53	A

LSD ± 4,804 N/mm

HG : Homojenlik grubu

Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı rijitlik katsayısı ortalamalarına göre; kontrplak malzemeden üretilen 18 mm kalınlığındaki örnekler iyi sonuçlar vermekle beraber, MDF ile üretilen 18 mm kalınlığındaki örneklerin ve 16 mm kalınlığındaki kontrplak malzeme ile üretilen örneklerinde rijitlik değerleri yüksek çıkmıştır.

“L” tipi köşe birleştirme eğilme deneylerinde, yük-yerdeğiştirme sonucu elde edilen rijitlik değerleri ve Ansys sonlu elemanlar programında elde edilen rijitlik değerleri karşılaştırması Çizelge 4.67’de verilmiştir.

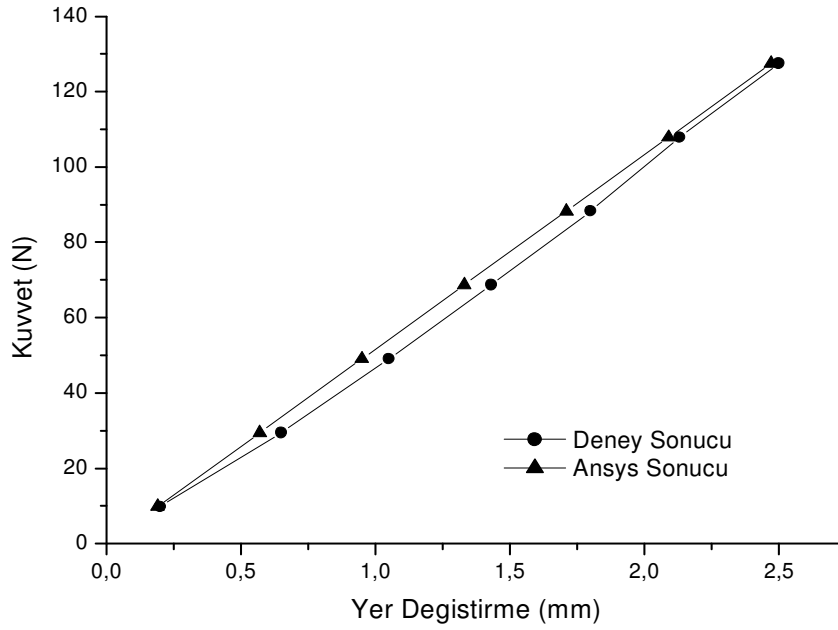
Çizelge 4.67. Eğilme deneylerinde ansys ve deney sonuçları karşılaştırmaları

Birleştirme Tekniği	Malzeme Çeşidi	Levha Kalınlığı (mm)	DENEY				ANSYS				Rijitlik Fark (%)
			50N Sehim (mm)	70N Sehim (mm)	90N Sehim (mm)	Rijitlik (N/mm)	50N Sehim (mm)	70N Sehim (mm)	90N Sehim (mm)	Rijitlik (N/mm)	
Kavelalı	YL	14	1,91	2,73	3,58	24,96	1,73	2,42	3,11	28,40	12,11
		16	1,40	1,99	2,51	34,09	1,29	1,81	2,31	38,02	10,34
		18	1,13	1,52	1,86	46,05	0,96	1,34	1,73	51,09	9,86
	MDF	14	1,78	2,35	2,89	29,56	1,57	2,20	2,83	31,24	5,38
		16	1,19	1,66	2,06	42,09	1,20	1,68	2,15	40,98	2,71
		18	1,07	1,49	1,87	46,59	0,94	1,31	1,69	52,36	11,02
	OKP	14	1,42	1,89	2,34	36,66	1,18	1,65	2,12	41,68	12,04
		16	0,99	1,43	1,83	48,33	0,89	1,25	1,60	55,11	12,30
		18	0,72	0,97	1,21	71,42	0,69	0,96	1,24	71,43	0,03
Kavelalı vidalı	YL	14	1,99	2,78	3,52	24,87	1,72	2,41	3,10	28,46	12,61
		16	1,19	1,63	2,09	42,00	1,26	1,77	2,27	38,82	8,19
		18	1,00	1,38	1,75	50,11	0,94	1,32	1,70	51,99	3,62
	MDF	14	1,71	2,27	2,84	30,40	1,52	2,13	2,74	32,27	5,79
		16	1,17	1,59	1,97	43,84	1,15	1,61	2,06	42,77	2,50
		18	1,00	1,37	1,72	50,67	0,90	1,26	1,62	54,50	7,03
	OKP	14	1,20	1,70	2,18	40,58	1,14	1,60	2,05	43,02	5,67
		16	1,01	1,33	1,63	52,23	0,86	1,20	1,54	57,25	8,77
		18	0,69	0,98	1,24	71,05	0,66	0,93	1,19	73,94	3,91

Deney ve sonlu elemanlar yazılımı programında, 18 mm kalınlığındaki MDF ile üretilen eğilme deneyleri sonucu oluşan yük-yer değiştirme arasındaki ilişki Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

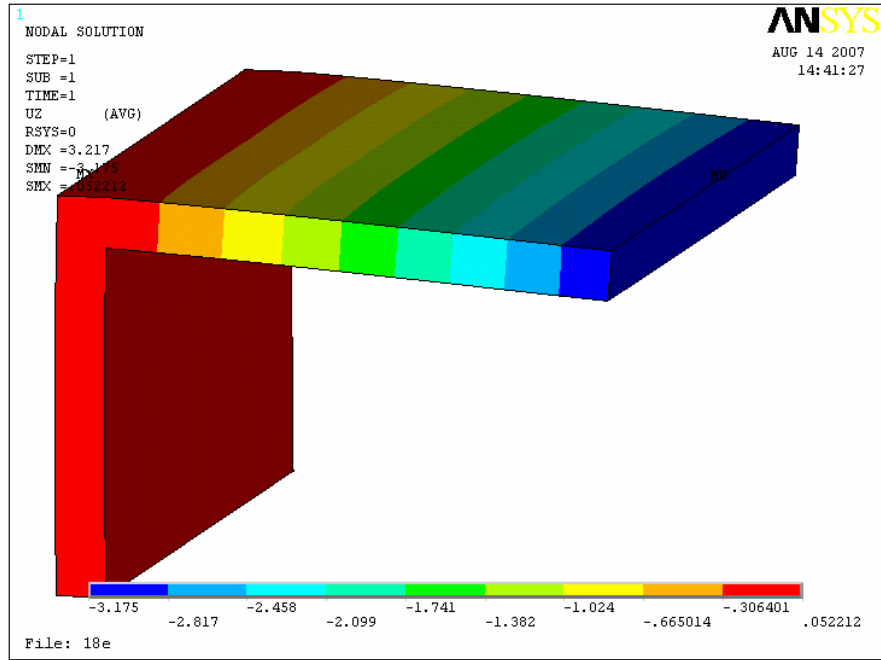
Kutu mobilya “L” tipi köşe birleştirmeleri eğilme deneylerinde bilgisayar destekli analiz sonuçlarına göre; kuvvet yer değiştirme ölçümleri esas alınarak yaklaşık 150N yük uygulanmış ve bu yükteki sehimler ölçülmüş, elde edilen değerler deneylerde

elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre eğilme deneylerinde Ansys ve deney sonuçlarının % 0,03 ve % 12,61 aralığında olduğu söylenebilir. Bu fark yapılan yapısal analizin güvenilirliğini ortaya koymaktadır.

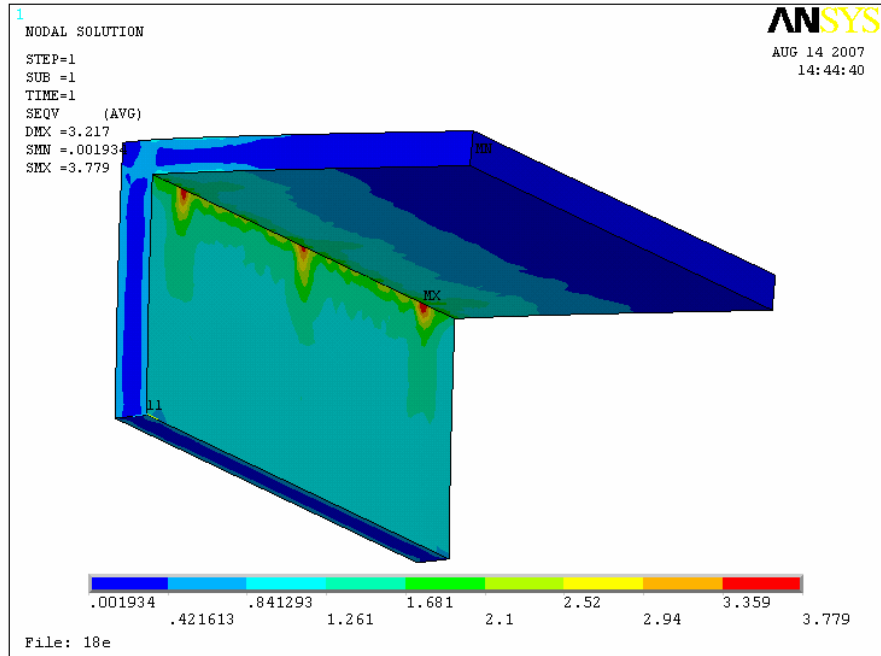


Şekil 4.9. 18 mm kalınlığındaki MDF ile üretilen eğilme deney örneklerinin yük-yer değiştirme sonucunda elde edilen Ansys ve deney sonuçları arasındaki ilişki

Eğilme deneylerinde “L” tipi malzemelerin, deney yükleri altında göstermiş oldukları genel yer değiştirme karakteristikleri Resim 4.7a’da, gerilme-stress değişimleri ise Resim 4.7b’de gösterilmiştir. Yer değiştirme ve elastik uzama değerlerini gösterir 3 boyutlu analiz sonuçları ise Resim 4.8’de gösterilmiştir. 16 mm MDF levhalarda eğilme deneyleri sonucu yapılan analizler Resim 4.9’da, 14 mm kontrplak deney örneklerinin uzama ve gerilmeleri ise Resim 4.10’da gösterilmiştir.

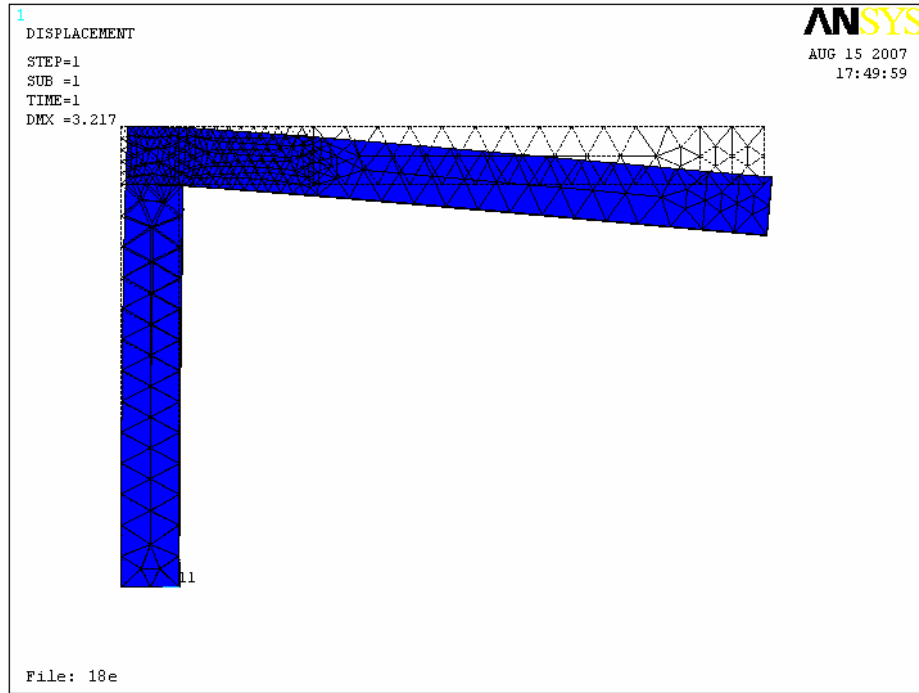


(a)

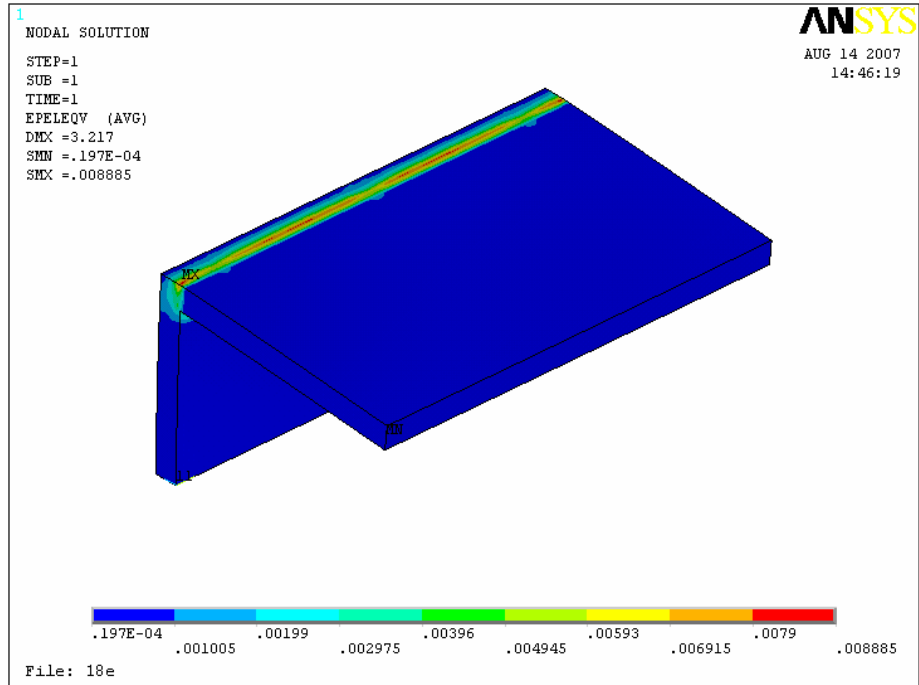


(b)

Resim 4.7. “L” tipi birleştirmelerin eğilme deneyi analiz sonuçları
a) Yer değiştirme (mm)
b) Gerilme

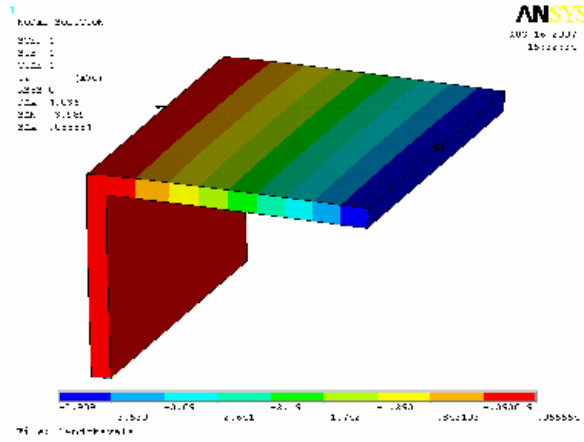


(a)

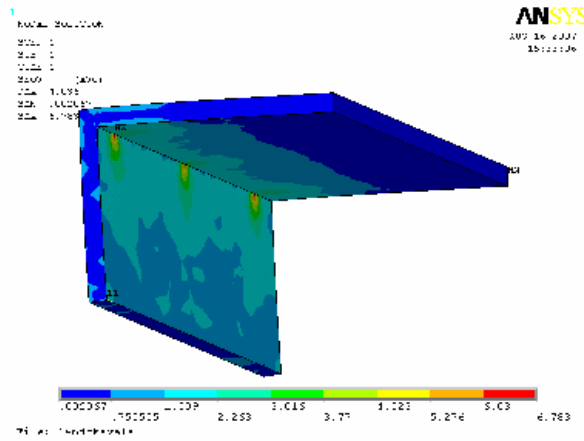


(b)

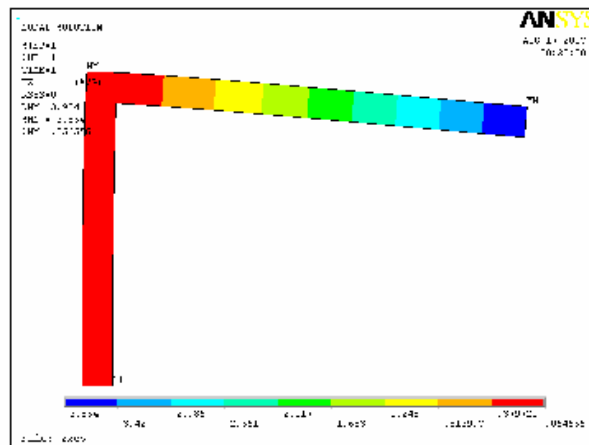
Resim 4.8. “L” tipi birleştirmelerin eğilme deneyi analiz sonuçları
a) Yer değiştirme
b) Elastik uzama



(a)



(b)



(c)

Resim 4.10. 14 mm kontrplak levhada kavelalı ve vidalı birleştirmelerde analiz sonuçları

- a) Uzama
- b) Gerilme
- c) Yer değiştirme

Diyagonal çekme deneylerinde rijitlik

Çizelge 4.68’de birleştirmelere ait rijitlik katsayıları (k_s : N/mm) ve ortalamaları (X : N/mm), varyasyon katsayıları (v : %) ve determinasyon katsayıları (R^2) verilmiştir.

Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, mobilya “L” köşelerinin yapımında kullanılan birleştirmelerin rijitliği üzerindeki etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.69’da verilmiştir.

Çizelge 4.68. Diyagonal çekme deneylerinde rijitlik katsayıları, ortalamaları, determinasyon ve yüzde varyasyon katsayıları

Birleştirme Tekniği	Malzeme Çeşidi	Levha Kalınlığı (mm)	Ortalama Rijitlik Katsayısı (k_s :N/mm)	Min Rijitlik Katsayısı (k_s :N/mm)	Max Rijitlik Katsayısı (k_s :N/mm)	v. (%)	(R^2)
Kavelalı	YL	14	150,64	145,89	153,02	1,93	0,98
		16	203,70	180,90	230,98	8,80	0,99
		18	266,12	259,44	278,23	2,79	0,99
	MDF	14	173,31	143,71	192,11	10,59	0,99
		16	280,72	265,92	293,26	3,48	0,99
		18	320,88	302,23	341,49	4,34	0,99
	OKP	14	220,79	208,02	238,36	5,04	0,98
		16	297,90	250,76	385,96	18,12	0,97
		18	303,54	301,08	306,42	0,63	0,99
Kavelalı Vidalı	YL	14	149,92	142,47	159,47	4,10	0,99
		16	203,76	193,86	208,71	2,98	0,99
		18	268,46	263,68	272,26	1,15	0,99
	MDF	14	213,71	189,31	226,17	6,99	0,99
		16	273,93	248,40	288,95	5,74	0,99
		18	273,80	260,87	286,73	3,34	0,99
	OKP	14	211,27	197,21	242,07	8,94	0,98
		16	283,24	211,25	337,20	16,20	0,98
		18	321,35	252,93	378,16	13,95	0,99

Çizelge 4.69. Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, diyagonal çekme deneylerinde birleştirmelerin rijitliğe etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi

Varyans Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Hata İhtimali $p < 0.05$
Birleştirme Tekniği	1	91,527	91,527	0,1798	Ns*
Malzeme Çeşidi	2	70291,488	35145,744	69,0538	0,0000
BT x MÇ	2	95,708	47,854	0,0940	Ns*
Levha kalınlığı	2	174032,265	87016,133	170,9680	0,0000
BT x LK	2	1652,032	826,016	1,6229	0,2045
MÇ x LK	4	6381,525	1595,381	3,1346	0,0196
BT x MÇ x LK	4	9468,432	2367,108	4,6509	0,0021
Hata	72	36645,240	508,962		
Toplam	89	298658,218			

Ns : Önemli

BT : Birleştirme tekniği

MÇ : Malzeme çeşidi

LK : Levha kalınlığı

Varyans analizi sonucuna göre; malzeme çeşidi ve levha kalınlığının “L” köşe birleştirmelerinin rijitliği üzerindeki etkileri 0,05 yanılma olasılığı için önemli bulunmuştur. Yapılan birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre birleştirmelerin rijitliği üzerindeki etkisi 0,05 yanılma olasılığı için önemli, üçlü etkileşime göre önemlidir. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre birleştirmelerin rijitli üzerindeki etkisi 0,05 yanılma olasılığı için önemli bulunmuştur.

Diyagonal çekme deneylerinde ortalamaların karşılaştırılması (LSD test sonuçları)

Malzeme çeşidinin birleştirmelerin rijitliği üzerindeki etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 11,57 N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.70’de verilmiştir.

Çizelge 4.70. Malzeme çeşidine göre rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Malzeme Çeşidi	Rijitlik Katsayısı (N/mm)	
	(X)	HG
YL	207,1	C
MDF	256,1	B
OKP	273,0	A

LSD $\pm$ 11,57 N/mm

HG : Homojenlik grubu

Malzeme çeşidine göre; 273N/mm değeri ile kontrplaktan üretilen malzemeler MDF'ye göre % 6, yonga levhaya göre % 24, MDF ile üretilen malzemeler ise YL ile üretilene göre % 19 daha rijittir. Levha kalınlığının birleştirmelerin rijitliği üzerindeki etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 11,57N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.71'de verilmiştir.

Çizelge 4.71. Levha kalınlığına göre rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Levha Kalınlığı	Rijitlik Katsayısı (N/mm)	
	(X)	HG
14 mm	186,6	C
16 mm	257,2	B
18 mm	292,4	A

LSD± 11,57 N/ mm

HG : Homojenlik grubu

Levha kalınlığına göre ise; 18 mm levha kalınlığında üretilen deney örnekleri 292,4N/mm ile 16 mm kalınlığındaki örneklere göre yaklaşık % 11, 14 mm levha kalınlığındaki örneklere göre ise % 36 daha rijittir. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığının birleştirmelerin rijitliği üzerindeki etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 20,05 N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.72'de verilmiştir.

Çizelge 4.72. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığına göre rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Malzeme çeşidi	Rijitlik Katsayısı (N/mm)					
	Levha kalınlığı					
	14 mm		16 mm		18 mm	
	(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
YL	150,3	F	203,7	DE	267,3	C
MDF	193,5	E	277,3	BC	297,3	AB
OKP	216,0	D	290,6	B	312,4	A

LSD ± 20,05 N/mm

HG : Homojenlik grubu

Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı rijitlik katsayısı ortalamalarına göre; kontrplak malzemedan üretilen 18 mm kalınlığındaki örnekler iyi sonuçlar vermekle beraber, MDF ile üretilen 18 mm kalınlığındaki örneklerin ve 16 mm kalınlığındaki kontrplak malzeme ile üretilen örneklerinde rijitlik değerleri yüksek çıkmıştır.

Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığı üçlü etkileşimi birleştirmelerin rijitlik katsayısı etkilerine ait ortalamaları LSD değeri 28,35N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.73’de verilmiştir.

Çizelge 4.73. Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığı üçlü etkileşimine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Birleştirme Tekniği	Malzeme Çeşidi	Rijitlik Katsayısı (N/mm)					
		Levha kalınlığı					
		14 mm		16 mm		18 mm	
		(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
Kavelalı	YL	150,6	F	203,7	E	266,1	D
	MDF	173,3	F	280,7	BCD	320,9	A
	OKP	220,8	E	297,9	ABC	303,5	AB
Kavelalı Vidalı	YL	149,9	F	203,8	E	268,5	D
	MDF	213,7	E	273,9	CD	273,8	CD
	OKP	211,3	E	283,2	BCD	321,4	A

LSD $\pm$ 28,35N/mm

HG : Homojenlik grubu

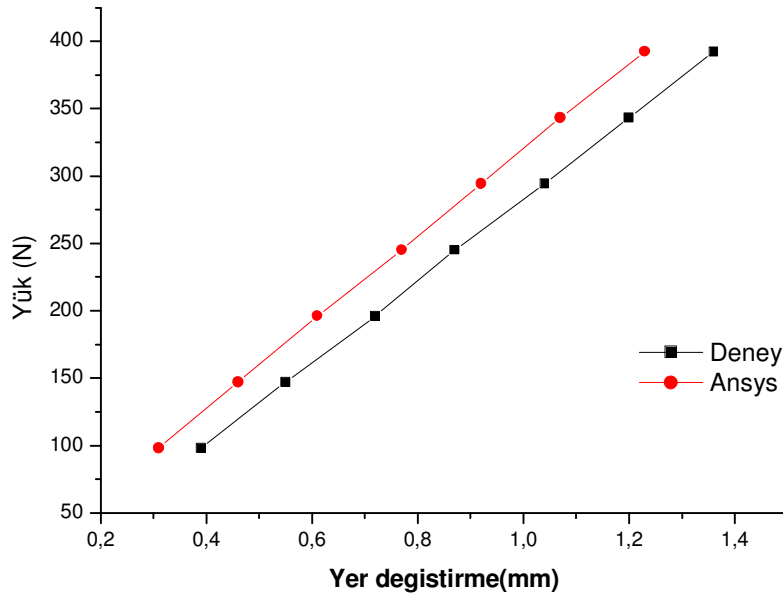
Birleştirme çeşidi, levha türü ve levha kalınlığı üçlü etkileşimine göre en iyi sonucu 18 mm kalınlığındaki levhalarda kontrplak ve MDF ile üretilen kavelalı ve kavelalı vidalı birleştirilmiş deney örnekleri vermiştir.

“L” tipi köşe birleştirme diyagonal çekme deneylerinde, yük-yer değiştirme sonucu elde edilen rijilik değerleri ve Ansys sonlu elemanlar programında elde edilen rijitlik değerleri karşılaştırması Çizelge 4.74’de verilmiştir.

Çizelge 4.74. Diyagonal çekme deneylerinde ansys ve deney sonuçları karşılaştırmaları

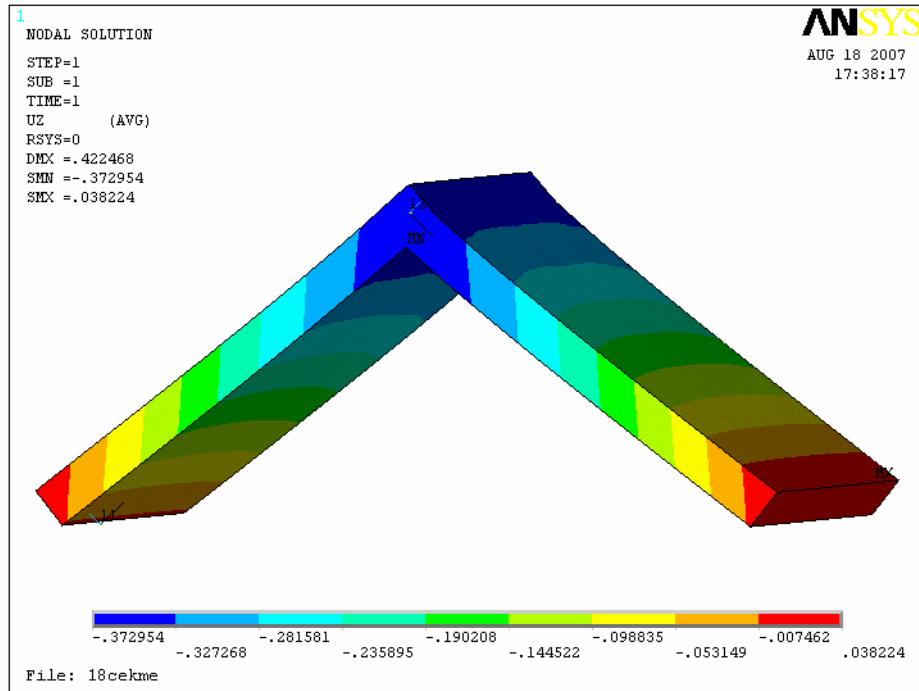
Birleştirme Tekniği	Malzeme Çeşidi	Levha Kalınlığı (mm)	DENEY				ANSYS				Rijitlik Fark (%)
			50N Sehim (mm)	100N Sehim (mm)	150N Sehim (mm)	Rijitlik (N/mm)	50N Sehim (mm)	100N Sehim (mm)	150N Sehim (mm)	Rijitlik (N/mm)	
Kavelalı	YL	14	0,58	0,98	1,32	150,64	0,20	0,41	0,61	241,23	37,55
		16	0,29	0,53	0,74	217,68	0,14	0,29	0,43	342,21	36,39
		18	0,23	0,42	0,60	278,23	0,11	0,22	0,33	459,84	39,49
	MDF	14	0,48	0,78	1,05	171,95	0,21	0,41	0,62	237,34	27,55
		16	0,20	0,39	0,55	279,60	0,15	0,31	0,46	319,89	12,59
		18	0,22	0,42	0,54	300,49	0,12	0,25	0,37	397,70	24,13
	OKP	14	0,39	0,64	0,90	238,36	0,15	0,31	0,46	319,89	25,49
		16	0,21	0,43	0,57	301,28	0,11	0,23	0,34	432,79	30,45
		18	0,20	0,40	0,56	303,13	0,09	0,17	0,26	565,96	46,37
Kavelalı vidalı	YL	14	0,40	0,80	1,11	149,92	0,20	0,40	0,60	245,25	38,87
		16	0,27	0,51	0,74	208,69	0,14	0,28	0,42	350,36	40,44
		18	0,25	0,43	0,62	265,07	0,11	0,22	0,33	459,84	42,36
	MDF	14	0,37	0,65	0,86	198,85	0,20	0,39	0,59	249,41	20,27
		16	0,22	0,39	0,59	264,56	0,15	0,29	0,44	334,43	20,89
		18	0,22	0,38	0,54	305,04	0,12	0,24	0,36	408,75	25,25
	OKP	14	0,32	0,59	0,78	242,07	0,15	0,29	0,44	334,43	27,54
		16	0,20	0,42	0,57	337,20	0,11	0,22	0,33	445,91	24,27
		18	0,22	0,39	0,52	378,16	0,08	0,17	0,25	588,60	35,71

Deney ve sonlu elemanlar yazılımı programında, 16 mm kalınlığındaki MDF ile üretilen örneklerin, diyagonal çekme deneyleri sonucu oluşan yük-yer değiştirme arasındaki ilişki Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Çekme deneylerinde yapılan üç boyutlu bilgisayar destekli analizlerin deneylere çok fazla yaklaştığı söylenemez. Bu farkın % 19 ile % 40'e kadar çıktığı söylenebilir. Bu durum şu şekilde açıklanabilir. Bilgisayar modeli ile deney sonuçları arasında fark oluşturabilecek en önemli nokta sınır koşullarıdır. Bilgisayar modelinde mesnet tanımlamaları hatasız, mükemmel bir şekilde uygulanır. Öte yandan deney düzeneği oluşturulurken yapının mesnet şartları kabullere birebir uydurulamaz. Mesnet koşulları açısından deney ile model arasında bir uyumsuzluk olması ve bu durumun sonuçlarda farklılığa yol açması kaçınılmazdır.

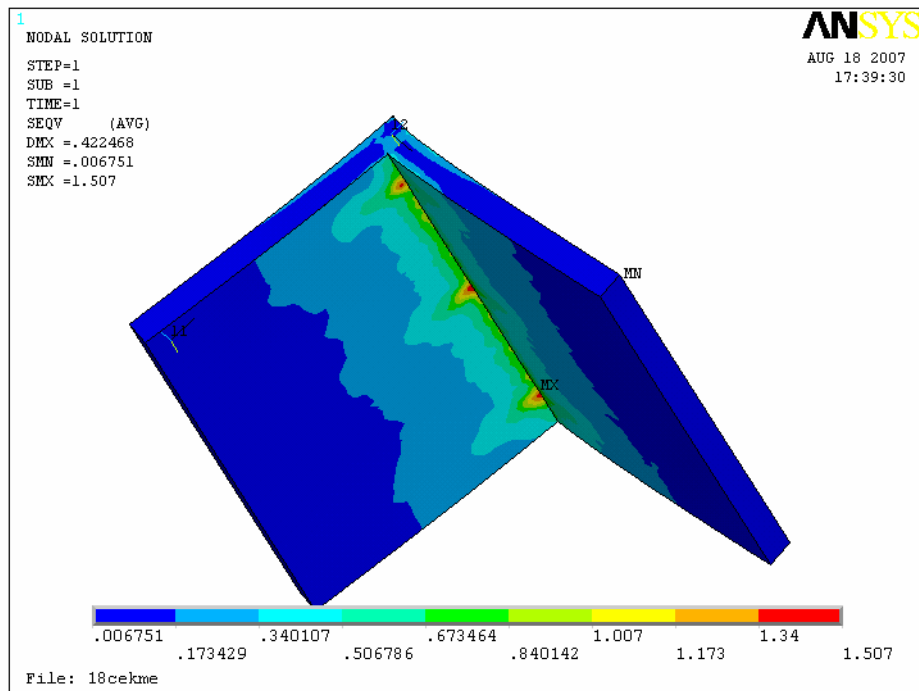


Şekil 4.10. 16 mm kalınlığındaki MDF ile üretilen eğilme deney örneklerinin yük-yer değıştirme sonucunda elde edilen Ansys ve deney sonuçları arasındaki ilişki

Çekme deneylerinde “L” tipi malzemelerin, kavelalı birleştirmelerde deney yükleri altında göstermiş oldukları genel yer değıştirme karakteristikleri Resim 4.11a’da, gerilme-stress değışimleri ise Resim 4.11b’de gösterilmiştir. Burada kırmızı olan renk değışimleri gerilmenin maksimum olduğu yerleri göstermekte, yaklaşık 150N luk bir kuvvet karşısındaki uzamanın ise 0,37 mm olduğu görülmektedir. Deneylerde ise bu sonucun 0,54 mm olduğu görülmüştür. Vidalı birleştirilmiş deney örneklerinin yer-değıştirme ve gerilme değışimleri Resim 4.12’de gösterilmiştir. Yer değıştirme ve elastik uzama değıerlerini gösterir Ansys analiz sonuçları ise Resim 4.13’de verilmiştir.



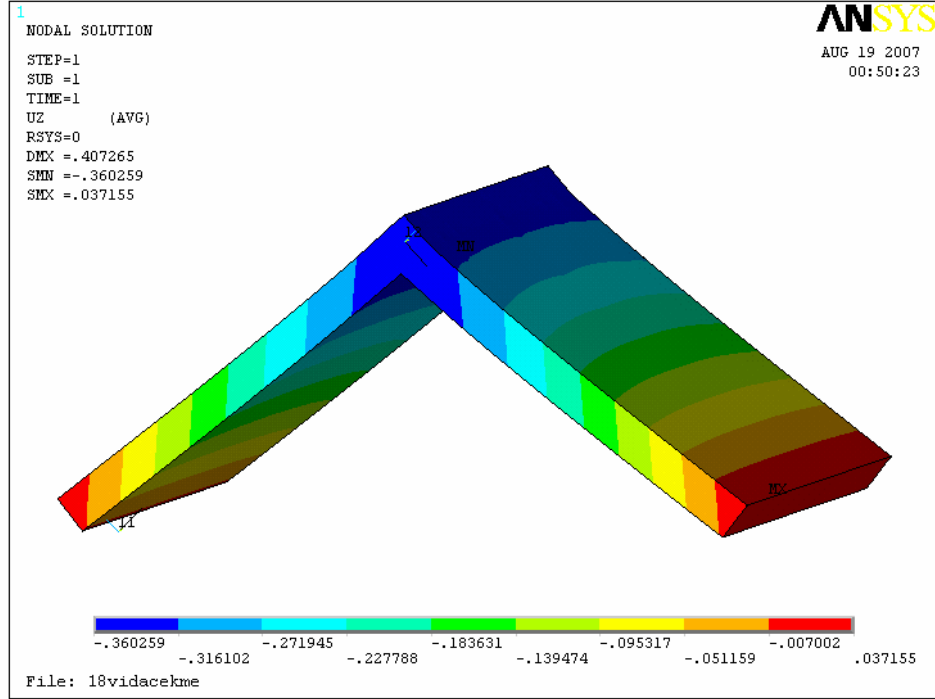
(a)



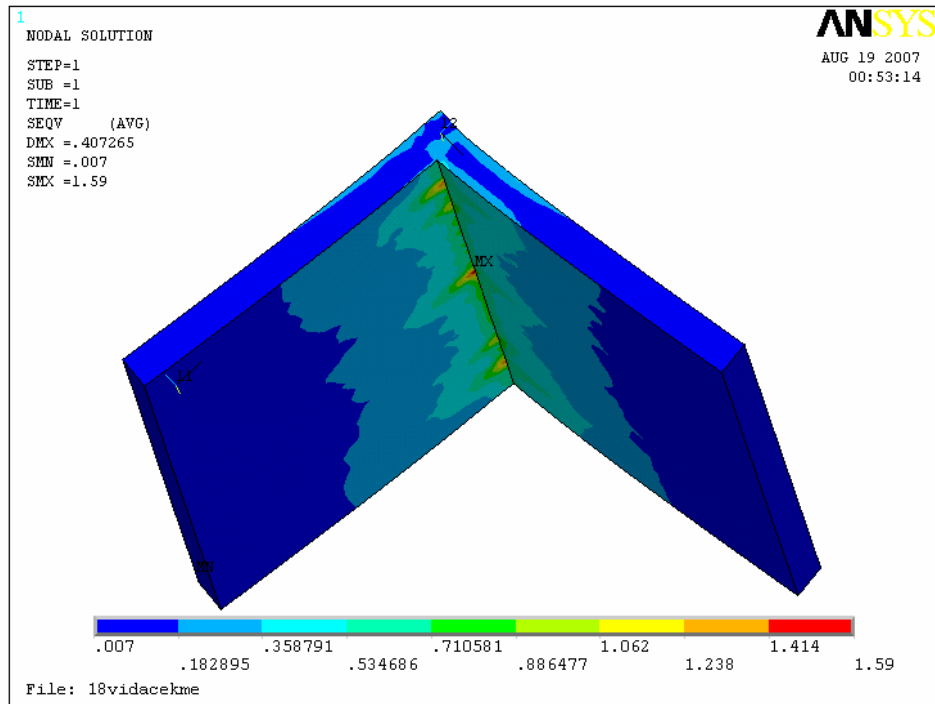
(b)

Resim 4.11. Kavelalı birleştirmelerde çekme deneyleri sonucu elde edilen analiz sonuçları

- a) Deformasyon
- b) Gerilme



(a)

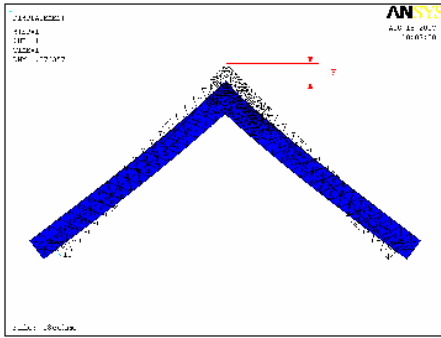


(b)

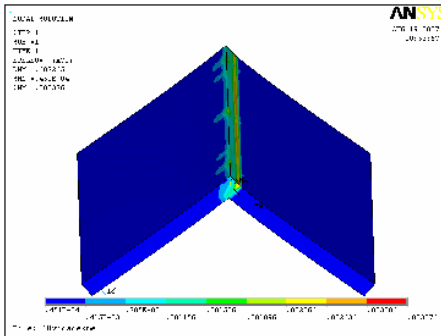
Resim 4.12. Vidalı birleştirmelerde çekme deneyleri sonucu elde edilen analiz sonuçları

a) Deformasyon

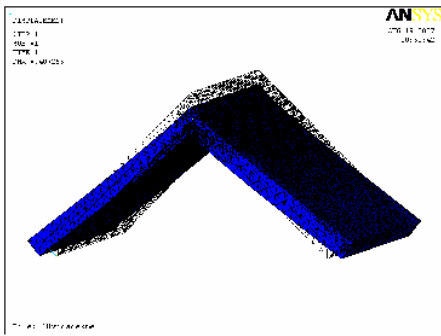
b) Gerilme



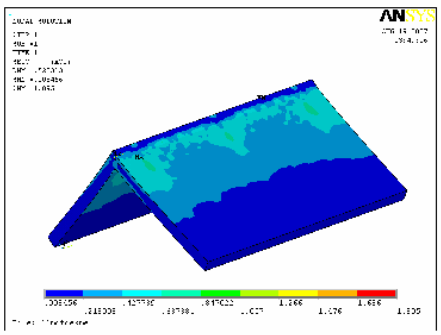
(a)



(b)



(c)



(d)

Resim 4.13. Birleştirmelerde çekme deneyleri sonucu elde edilen analiz sonuçları

- a) Deformasyon
- b) Elastic strain
- c) Şekil değişimi
- d) Gerilme değişimleri

Diyagonal basınç deneylerinde rijitlik

Çizelge 4.75’de birleştirmelere ait rijitlik katsayıları (k_s : N/mm) ve ortalamaları (X : N/mm), varyasyon katsayıları (v : %) ve determinasyon katsayıları (R^2) verilmiştir.

Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, mobilya “L” köşelerinin yapımında kullanılan birleştirmelerin rijitliği üzerindeki etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.76’da verilmiştir.

Çizelge 4.75. Diyagonal basınç deneylerinde rijitlik katsayıları, ortalamaları, determinasyon ve yüzde varyasyon katsayıları

Birleştirme Tekniği	Malzeme Çeşidi	Levha Kalınlığı (mm)	Ortalama Rijitlik Katsayısı (k_s :N/mm)	Min Rijitlik Katsayısı (k_s :N/mm)	Max Rijitlik Katsayısı (k_s :N/mm)	v. (%)	(R^2)
Kavelalı	YL	14	45,26	44,23	46,68	1,99	0,99
		16	89,99	83,99	95,98	4,71	0,99
		18	126,96	115,10	137,37	6,24	0,99
	MDF	14	82,78	80,52	84,27	1,70	0,99
		16	137,80	134,72	139,34	1,37	0,99
		18	153,25	152,29	154,70	0,59	0,99
	OKP	14	108,98	105,46	112,48	2,28	0,99
		16	140,11	112,32	166,77	13,75	0,98
		18	208,03	200,94	211,79	2,09	0,98
Kavelalı Vidalı	YL	14	54,87	48,74	60,15	7,41	0,99
		16	79,70	67,37	102,76	17,73	0,99
		18	128,29	121,99	135,84	3,86	0,99
	MDF	14	85,14	81,20	87,72	2,88	0,99
		16	124,74	121,62	129,04	2,18	0,99
		18	152,64	150,44	155,17	1,10	0,99
	OKP	14	119,40	115,02	123,78	2,59	0,99
		16	153,67	139,27	174,50	8,50	0,99
		18	203,40	197,69	209,93	2,14	0,99

Çizelge 4.76. Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, diyagonal basınç deneylerinde birleştirmelerin rijitliğe etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi

Varyans Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Hata İhtimali $p < 0.05$
Birleştirme Tekniği	1	21,015	21,015	0,4023	Ns*
Malzeme Çeşidi	2	69567,001	34783,500	665,8839	0,0000
BT x MÇ	2	398,023	199,012	3,8098	0,0267
Levha kalınlığı	2	94501,444	47250,722	904,5523	0,0000
BT x LK	2	489,371	244,685	4,6842	0,0122
MÇ x LK	4	3593,279	898,320	17,1971	0,0000
BT x MÇ x LK	4	817,553	204,388	3,9127	0,0062
Hata	72	3761,034	52,237		
Toplam	89	173148,720			

Ns : Önemli

BT : Birleştirme tekniği

MÇ : Malzeme çeşidi

LK : Levha kalınlığı

Varyans analizi sonucuna göre; malzeme çeşidi ve levha kalınlığının “L” köşe birleştirmelerinin rijitliği üzerindeki etkileri 0,05 yanılma olasılığı için önemli bulunmuştur. Yapılan birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre birleştirmelerin rijitliği üzerindeki etkisi 0,05 yanılma olasılığı için önemlidir. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre birleştirmelerin rijitliği üzerindeki etkisi 0,05 yanılma olasılığı için önemli bulunmuştur.

Diyagonal basınç deneylerinde ortalamaların karşılaştırılması (LSD test sonuçları)

Malzeme çeşidinin birleştirmelerin rijitliği üzerindeki etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 3,708 N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.77’de verilmiştir.

Çizelge 4.77. Malzeme çeşidine göre rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Malzeme Çeşidi	Rijitlik Katsayısı (N/mm)	
	(X)	HG
YL	87,51	C
MDF	122,7	B
OKP	155,6	A

LSD $\pm$ 3,708 N/mm

HG : Homojenlik grubu

Malzeme çeşidine göre; 155,6N/mm değeri ile kontrplaktan üretilen malzemeler MDF'ye göre % 21, yonga levhaya göre % 43, MDF ile üretilen malzemeler ise YL ile üretilene göre % 28 daha rijittir.

Birleştirme tekniği ve malzeme çeşidinin deney örneklerinin rijitliği üzerindeki etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 5,244 N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.78'de verilmiştir.

Çizelge 4.78. Birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre rijitlik katsayısı değeri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Birleştirme Tekniği	Rijitlik Katsayısı (N/mm)					
	Malzeme Çeşidi					
	YL		MDF		OKP	
	(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
Kavelalı	87,40	D	124,6	C	152,4	B
Kavelalı vidalı	87,62	D	120,8	C	158,8	A

LSD $\pm$ 5,244N.m

HG : Homojenlik grubu

Birleştirme çeşidi ve levha türü ikili etkileşimine göre en iyi sonucu OKP ve MDF malzemelerdeki kavelalı vidalı birleştirme örnekleri vermiştir. Levha kalınlığının birleştirmelerin rijitliği üzerindeki etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 3,708 N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.79'da verilmiştir.

Çizelge 4.79. Levha kalınlığına göre rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Levha Kalınlığı	Rijitlik Katsayısı (N/mm)	
	(X)	HG
14 mm	82,74	C
16 mm	121,0	B
18 mm	162,1	A

LSD $\pm$ 3,708 N/mm

HG : Homojenlik grubu

Levha kalınlığına göre ise; 18 mm levha kalınlığında üretilen deney örnekleri 162,1 N/mm ile 16 mm kalınlığındaki örneklere göre yaklaşık % 25, 14 mm levha kalınlığındaki örneklere göre ise % 49 daha rijittir.

Birleştirme tekniği ve levha kalınlığı ikili etkileşimlerinin, birleştirmelerin rijitlik katsayısı değerlerine ait ortalamaları LSD değeri 5,244N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.80’de verilmiştir.

Çizelge 4.80. Birleştirme tekniği ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Birleştirme Tekniği	Rijitlik Katsayısı (N/mm)					
	Levha kalınlığı					
	14 mm		16 mm		18 mm	
	(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
Kavelalı	79,01	D	122,6	B	162,7	A
Kavelalı vidalı	86,47	C	119,4	B	161,4	A

LSD $\pm$ 5,244N/mm

HG : Homojenlik grubu

Birleştirme tekniği ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre en iyi sonucu 18 mm kalınlığındaki kavelalı ve kavelalı vidalı deney örnekleri vermiştir.

Malzeme çeşidi ve levha kalınlığının birleştirmelerin rijitliği üzerindeki etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 6,422 N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.81’de verilmiştir.

Çizelge 4.81. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığına göre rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Malzeme çeşidi	Rijitlik Katsayısı (N/mm)					
	Levha kalınlığı					
	14 mm		16 mm		18 mm	
	(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
YL	50,07	F	84,85	E	127,6	C
MDF	83,96	E	131,3	C	152,9	B
OKP	114,2	D	146,9	B	205,7	A

LSD $\pm$ 6,422 N/mm

HG : Homojenlik grubu

Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı rijitlik katsayısı ortalamalarına göre; kontrplak malzemedan üretilen 18 mm kalınlığındaki örnekler iyi sonuçlar vermekle beraber, MDF ile üretilen 18 mm kalınlığındaki örneklerin ve 16 mm kalınlığındaki kontrplak malzeme ile üretilen örneklerinde rijitlik değerleri yüksek çıkmıştır.

Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığı üçlü etkileşimi birleştirmelerin rijitlik katsayısı etkilerine ait ortalamaları LSD değeri 9,083 N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.82’de verilmiştir.

Çizelge 4.82. Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığı üçlü etkileşimine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Birleştirme Tekniği	Malzeme Çeşidi	Rijitlik Katsayısı (N/mm)					
		Levha kalınlığı					
		14 mm		16 mm		18 mm	
		(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
Kavelalı	YL	45,26	I	89,99	F	127,0	D
	MDF	82,78	FG	137,8	C	153,3	B
	OKP	109,0	E	140,1	C	208,0	A
Kavelalı Vidalı	YL	54,87	H	79,70	G	128,3	D
	MDF	85,14	FG	124,7	D	152,6	B
	OKP	119,4	D	153,7	B	203,4	A

LSD $\pm$ 9,083 N/mm

HG : Homojenlik grubu

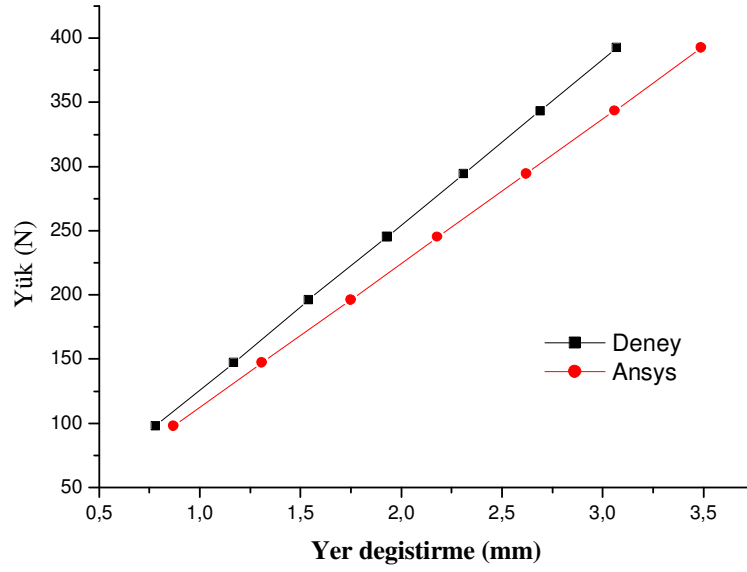
Birleştirme çeşidi, levha türü ve levha kalınlığı üçlü etkileşimine göre en iyi sonucu 18 mm kalınlığındaki levhalarda kontrplak ve MDF ile üretilen kavelalı ve kavelalı vidalı birleştirilmiş deney örnekleri vermiştir. Bunu sırasıyla; OKP ile üretilen 16 mm kalınlığındaki deney örnekleri izlemiştir.

“L” tipi köşe birleştirme diyagonal basınç deneylerinde, yük-yer değiştirme sonucu elde edilen rijitlik değerleri ve Ansys sonlu elemanlar programında elde edilen rijitlik değerleri karşılaştırması Çizelge 4.83’de verilmiştir.

Çizelge 4.83. Diyagonal basınç deneylerinde ansys ve deney sonuçları karşılaştırmaları

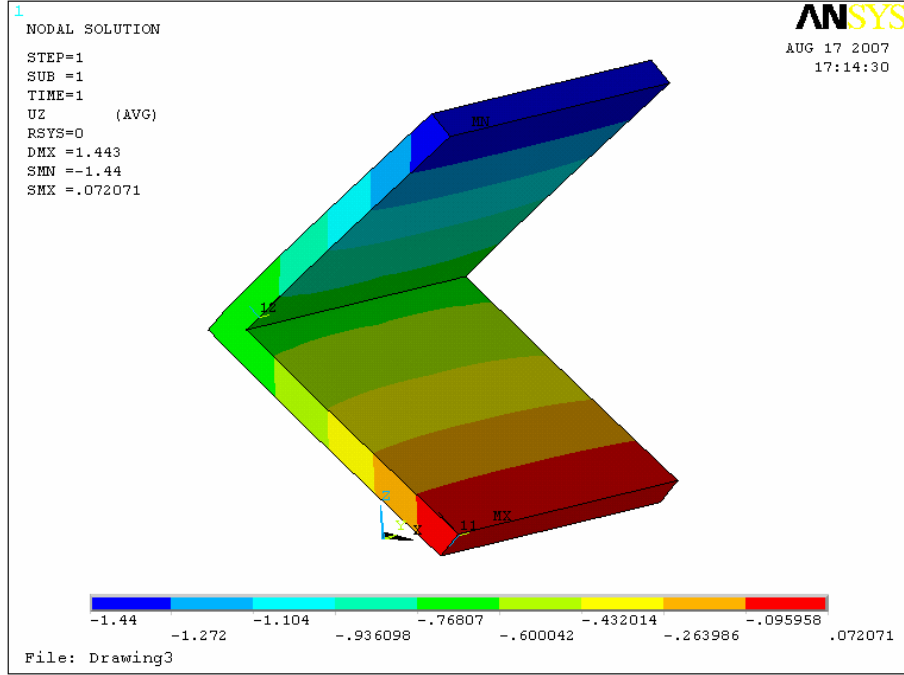
Birleştirme Tekniği	Malzeme Çeşidi	Levha Kalınlığı (mm)	DENEY				ANSYS				Rijitlik Fark (%)
			50N Sehim (mm)	100N Sehim (mm)	150N Sehim (mm)	Rijitlik (N/mm)	50N Sehim (mm)	100N Sehim (mm)	150N Sehim (mm)	Rijitlik (N/mm)	
Kavelalı	YL	14	1,13	2,39	3,23	46,71	0,81	1,62	2,43	60,55	22,86
		16	0,85	1,38	1,92	91,68	0,58	1,17	1,75	84,08	9,04
		18	0,56	0,99	1,44	111,46	0,44	0,87	1,31	112,33	0,77
	MDF	14	0,67	1,25	1,84	83,84	0,81	1,62	2,43	60,55	38,46
		16	0,40	0,87	1,28	111,30	0,61	1,21	1,82	80,85	38,75
		18	0,39	0,75	1,10	138,16	0,48	0,96	1,44	102,19	35,29
	OKP	14	0,55	1,04	1,50	103,23	0,62	1,24	1,86	79,11	28,75
		16	0,39	0,77	1,16	134,38	0,46	0,92	1,38	106,63	26,42
		18	0,35	0,63	0,90	158,17	0,36	0,71	1,07	137,52	15,33
Kavelalı vidalı	YL	14	0,92	1,79	2,67	55,80	0,80	1,61	1,41	61,05	8,60
		16	0,65	1,30	1,95	76,63	0,57	1,15	1,72	85,55	10,43
		18	0,44	0,83	1,23	124,17	0,43	0,86	1,29	114,07	8,85
	MDF	14	0,58	1,15	1,70	87,58	0,78	1,56	2,34	62,88	39,28
		16	0,51	0,94	1,33	119,54	0,58	1,17	1,75	84,08	41,67
		18	0,38	0,72	1,05	146,41	0,46	0,93	1,39	105,86	39,05
	OKP	14	0,46	0,93	1,36	108,93	0,59	1,19	1,78	82,66	30,12
		16	0,44	0,68	1,12	140,22	0,44	0,89	1,33	110,64	27,27
		18	0,30	0,59	0,84	181,34	0,35	0,69	1,04	141,49	28,37

Deney ve sonlu elemanlar yazılımı programında, 18 mm kalınlığındaki YL ile üretilen örneklerin, diyagonal basınç deneyleri sonucu oluşan yük-yer değiştirme arasındaki ilişki Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Basınç deneylerinde Ansys ve deney sonuçları arasındaki farklar % 0,77 ile % 41 arasında değişmiştir. Burada programa girilen malzeme özellikleri ve sınır şartları bu farkın ortaya çıkmasına yol açmıştır.

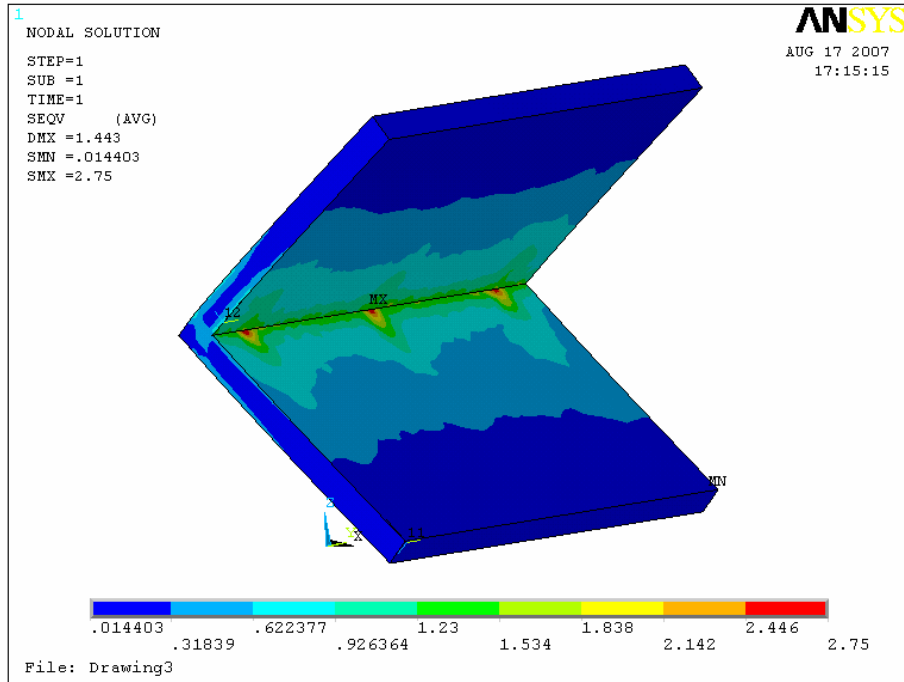


Şekil 4.11. 18 mm kalınlığındaki YL ile üretilen eğilme deney örneklerinin yük-yer değıstirme testi sonucunda elde edilen Ansys ve deney sonuçları arasındaki ilişki

Basınç deneylerinde “L” tipi malzemelerin, kavelalı birleştirmelerde deney yükleri altında göstermiş oldukları genel yer değıstirme karakteristikleri Resim 4.14a’da, gerilme-stress değışimleri ise Resim 4.14b’de gösterilmiştir. Burada kırmızı olan renk değışimleri gerilmenin maksimum olduğu yerleri göstermekte yaklaşık 150N luk bir kuvvet karşısındaki uzamanın 1,44 mm olduğunu göstermektedir. Deneylerde ise bu sonucun 1,02 mm olduğu görülmüştür. Vidalı birleştirilmiş deney örneklerinin yer değıstirme ve gerilme değışimleri Resim 4.15’de gösterilmiştir. Yer değıstirme ve gerilme değışimlerini gösterir ansys analiz sonuçları ise Resim 4.16’da verilmiştir.



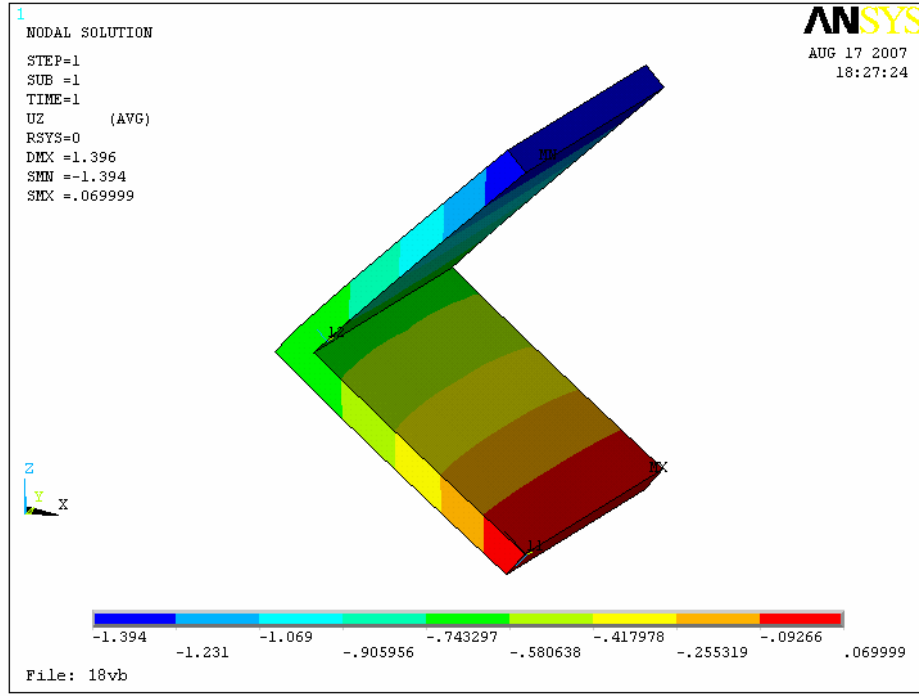
(a)



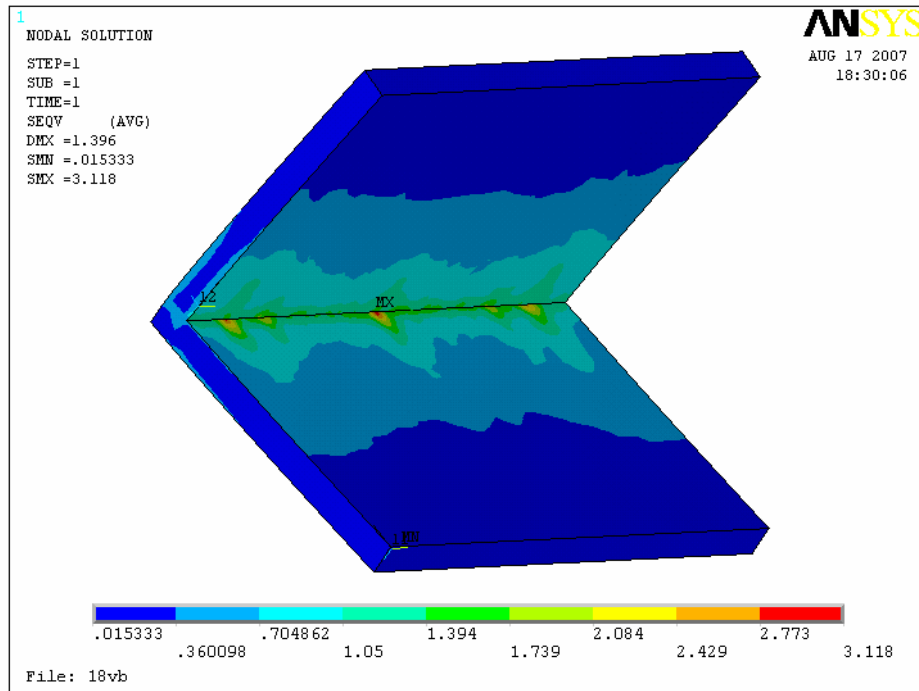
(b)

Resim 4.14. Kavelalı birleştirmelerde basınç deneyleri sonucu elde edilen analiz sonuçları

- a) Deformasyon
- b) Gerilme değişimleri



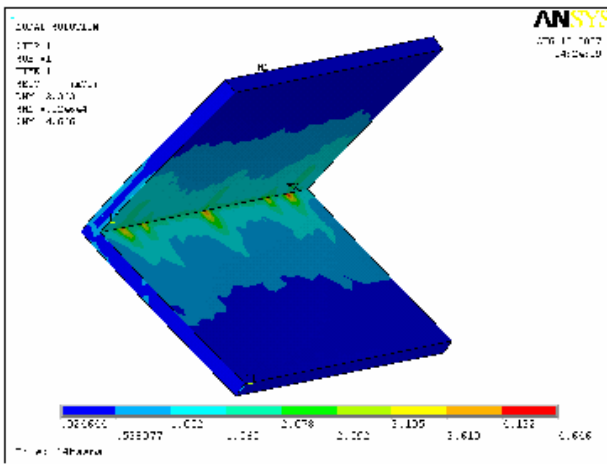
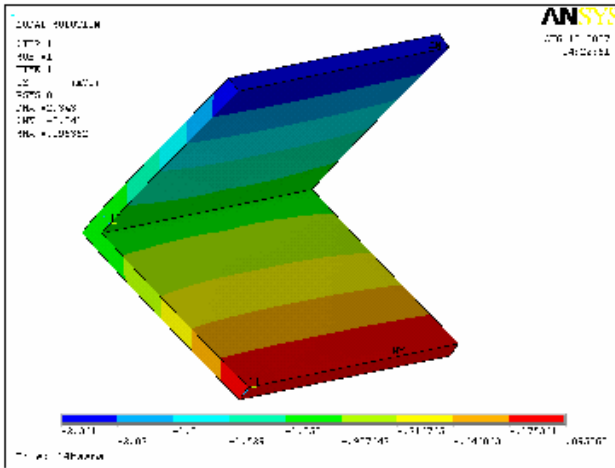
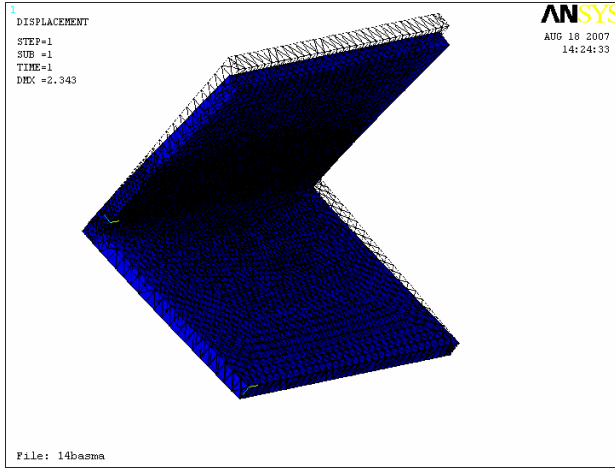
(a)



(b)

Resim 4.15. Vidalı birleştirmelerde basınç deneyleri sonucu elde edilen analiz sonuçları

- a) Deformasyon
- b) Gerilme değişimleri



Resim 4.16. Birleştirmelerde basınç deneyleri sonucu elde edilen analiz sonuçları

- a) Deformasyon
- b) Uzama
- c) Gerilme değişimleri

4.5.2. Panellerde kuvvet-yer değiştirme ilişkileri (Panellerde rijitlik)

Çizelge 4.84’de panellere ait rijitlik katsayıları (k_s : N/mm) ve ortalamaları (X : N/mm), varyasyon katsayıları (v : %) ve determinasyon katsayıları (R^2) verilmiştir. Levha türü ve levha kalınlığın, panel rijitliği üzerindeki etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları ise Çizelge 4.85’de verilmiştir.

Çizelge 4.84. Panellere ait rijitlik katsayıları, ortalamaları, determinasyon ve yüzde varyasyon katsayıları

Malzeme Çeşidi	Levha Kalınlığı (mm)	Ortalama Rijitlik Katsayısı (k_s :N/mm)	Min Rijitlik Katsayısı (k_s :N/mm)	Max Rijitlik Katsayısı (k_s :N/mm)	c.v. (%)	(R^2)
YL	14	3,59	3,37	3,85	5,10	0,99
	16	5,72	5,53	5,91	2,35	0,99
	18	8,47	8,09	8,99	3,89	0,99
MDF	14	5,84	5,79	5,89	0,61	0,99
	16	8,79	8,68	8,90	0,89	0,99
	18	10,38	9,86	11,29	5,41	0,99
OKP	14	3,92	3,90	3,94	0,36	0,99
	16	4,87	4,74	5,07	2,58	0,99
	18	7,26	7,07	7,43	1,76	0,99

Çizelge 4.85. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, ahşap kompozitlerin rijitliğine etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi

Varyans Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Hata İhtimali $p < 0,05$
MalzemeÇeşidi	2	75,303	37,652	658,6051	0,0000
Levha Kalınlığı	2	135,650	67,825	1186,4013	0,0000
Malzeme Çeşidi*Levha Kalınlığı	4	6,718	1,680	29,3781	0,0000
Hata	36	2,058	0,057		
Toplam	44	219,730			

Malzeme çeşidi, levha kalınlığı ve ikili etkileşimleri panellerin rijitliği üzerindeki etkileri 0,05 yanılma olasılığı için önemli bulunmuştur.

Panellerde ortalamaların karşılaştırılması (LSD testleri)

Malzeme çeşidine göre panellerin rijitliği üzerindeki etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 0,1757 N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.86’da verilmiştir.

Çizelge 4.86. Malzeme çeşidine göre rijitlik katsayısı ortalamaları karşılaştırma sonuçları

Malzeme Çeşidi	Rijitlik Katsayısı (N/mm)	
	(X)	HG
YL	5,927	B
MDF	8,336	A
OKP	5,349	C

LSD $\pm$ 0,1757 N/mm

HG : Homojenlik grubu

MDF, yonga levhaya göre % 36, kontrplak levhalara göre % 28 daha rijittir. Levha kalınlığının panellerin rijitliği üzerindeki etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 0,1757 N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.87’da verilmiştir.

Çizelge 4.87. Levha kalınlığına göre rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Levha Kalınlığı	Rijitlik Katsayısı (N/mm)	
	(X)	HG
14 mm	4,451	C
16 mm	6,459	B
18 mm	8,702	A

LSD $\pm$ 0,1757 N/mm

HG : Homojenlik grubu

18 mm kalınlığındaki paneller 16 mm kalınlığındai panellere göre % 26, 14 mm kalınlığında deney örneklerine göre ise % 49 daha rijit bulunmuştur.

Malzeme çeşidi ve levha kalınlığının panellerin rijitliği üzerindeki etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 0,3043N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.88’de verilmiştir.

Çizelge 4.88. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığına göre panellerin rijitlik katsayısı ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Malzeme Çeşidi	Rijitlik Katsayısı (N/mm)					
	Levha kalınlığı					
	14 mm		16 mm		18 mm	
	(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
YL	3,592	H	5,720	E	8,470	C
MDF	5,842	E	8,788	B	10,38	A
OKP	3,920	G	4,868	F	7,258	D

LSD $\pm$ 0,3043N/mm

HG : Homojenlik grubu

18 ve 16 mm kalınlığındaki MDF ile üretilen deney örnekleri daha rijit bulunmakla birlikte, bunu sırasıyla 18 mm kalınlığındaki YL ve yine 18 mm kalınlığındaki OKP ile üretilen deney örnekleri izlemiştir.

4.5.3. Deney kutularının rijitliği, teorik hesaplar ve yapısal analizler

Ön çerçevesiz deney kutularına ait rijitlik katsayıları (k_s : N/mm) ve ortalamaları ($\bar{X}$: N/mm), varyasyon katsayıları (v : %) ve determinasyon katsayıları (R^2), Çizelge 4.89’da, ön çerçeveli deney kutuları için ise Çizelge 4.90’da verilmiştir.

Çizelge 4.89. Ön çerçevesiz deney kutularına mobilyalara ait rijitlik katsayıları, ortalamaları, determinasyon ve yüzde varyasyon katsayıları

Çerçeve Tipi	Birleştirme Tekniği	Malzeme Çeşidi	Levha Kalınlığı (mm)	Deney No	Rijitlik Katsayısı Değerleri (k_s :N/mm)	Ortalama Rijitlik Katsayısı (k_s :N/mm)	Min Rijitlik Katsayısı (k_s :N/mm)	Max Rijitlik Katsayısı (k_s :N/mm)	v (%)	(R^2)
Ön Çerçevesiz Kutu	Kavelalı	YL	14	1	24,20	21,02	18,55	24,20	13,76	0,89
				2	20,30					
				3	18,55					
			16	1	32,96	32,46	31,96	32,96	1,54	0,90
				2	31,96					
				3	32,47					
			18	1	46,58	47,87	44,15	52,87	9,40	0,96
				2	44,15					
				3	52,87					
		MDF	14	1	30,65	31,38	30,65	32,41	2,92	0,87
				2	32,41					
				3	31,08					
			16	1	58,32	52,57	46,86	58,32	10,90	0,85
				2	46,86					
				3	52,52					
			18	1	59,40	59,27	59,00	59,40	0,39	0,95
				2	59,00					
				3	59,40					
		OKP	14	1	24,15	22,69	21,78	24,15	5,63	0,87
				2	22,14					
				3	21,78					
			16	1	36,97	35,79	34,23	36,97	3,94	0,92
				2	36,17					
				3	34,23					
			18	1	43,26	40,45	37,83	43,26	6,73	0,99
				2	37,83					
				3	40,25					
	Kavelalı Vidalı	YL	14	1	23,25	22,43	21,71	23,25	3,45	0,84
				2	21,71					
				3	22,33					
			16	1	28,05	29,87	28,05	31,19	5,45	0,87
				2	30,37					
				3	31,19					
			18	1	40,25	40,17	40,00	40,25	0,36	0,99
				2	40,25					
				3	40,00					
		MDF	14	1	34,66	34,22	34,00	34,66	1,11	0,96
				2	34,00					
				3	34,00					
			16	1	55,56	54,30	53,03	55,56	2,33	0,96
				2	53,03					
				3	54,32					
			18	1	57,29	57,73	56,96	58,94	1,84	0,99
				2	56,96					
				3	58,94					
		OKP	14	1	23,49	23,33	23,00	23,50	1,23	0,97
				2	23,00					
				3	23,50					
			16	1	33,97	36,67	33,97	38,15	6,38	0,92
				2	37,88					
				3	38,15					
			18	1	52,77	47,28	40,55	52,77	13,12	0,91
				2	40,55					
				3	48,52					

Çizelge 4.90. Ön çerçevesel deney kutularına mobilyalara ait rijitlik katsayıları, ortalamaları, determinasyon ve yüzde varyasyon katsayıları

Çerçeve Tipi	Birleştirme Tekniği	Malzeme Çeşidi	Levha Kalınlığı (mm)	Deney No	Rijitlik Katsayı Değerleri (k_s :N/mm)	Ortalama Rijitlik Katsayısı (k_s :N/mm)	Min Rijitlik Katsayısı (k_s :N/mm)	Max Rijitlik Katsayısı (k_s :N/mm)	v (%)	(R^2)
Ön Çerçevesel Kutu	Kavelalı	YL	14	1	172,47	171,82	170,00	173,00	0,93	0,82
				2	170,00					
				3	173,00					
			16	1	179,00	179,33	179,00	180,00	0,32	0,89
				2	180,00					
				3	179,00					
			18	1	195,00	195,00	194,00	196,00	0,51	0,84
				2	194,00					
				3	196,00					
		MDF	14	1	176,39	175,80	175,00	176,39	0,41	0,85
				2	175,00					
				3	176,00					
			16	1	181,96	181,65	178,00	185,00	1,93	0,89
				2	185,00					
				3	178,00					
			18	1	191,00	192,00	191,00	193,00	0,52	0,93
				2	193,00					
				3	192,00					
		OKP	14	1	170,00	171,00	170,00	172,00	0,58	0,88
				2	171,00					
				3	172,00					
			16	1	183,00	183,33	182,00	185,00	0,83	0,83
				2	185,00					
				3	182,00					
			18	1	194,00	195,33	194,00	198,00	1,18	0,87
				2	194,00					
				3	198,00					
	Kavelalı Vidalı	YL	14	1	175,00	176,67	175,00	178,00	0,86	0,84
				2	177,00					
				3	178,00					
			16	1	182,00	182,33	182,00	183,00	0,32	0,88
				2	183,00					
				3	182,00					
			18	1	191,00	193,00	191,00	195,00	1,04	0,82
				2	195,00					
				3	193,00					
		MDF	14	1	180,00	181,00	180,00	182,00	0,55	0,89
				2	181,00					
				3	182,00					
			16	1	188,19	187,40	185,00	189,00	1,13	0,95
				2	185,00					
				3	189,00					
			18	1	191,00	192,00	191,00	193,00	0,52	0,93
				2	192,00					
				3	193,00					
		OKP	14	1	172,90	173,63	172,00	175,00	0,68	0,83
				2	175,00					
				3	173,00					
			16	1	178,00	179,00	178,00	180,00	0,56	0,71
				2	180,00					
				3	179,00					
			18	1	185,00	186,00	185,00	188,00	0,93	0,75
				2	188,00					
				3	185,00					

Mobilya mukavemet deneyleri sonucunda; çerçeve tipi, birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, kutu tipi mobilyaların yapımında kullanılan birleştirmelerin rijitliği üzerindeki etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları ise Çizelge 4.91’de verilmiştir.

Çizelge 4.91. Çerçeve tipi, birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, kutu tipi mobilyaların rijitliğine etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi

Varyans Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Hata İhtimali $p < 0,05$
Çerçeve Tipi (ÇT)	1	565836,440	565836,440	120515,9544	0,0000
Birleştirme Tekniği (BT)	1	5,144	5,144	1,0956	0,2987
ÇT x BT	1	0,702	0,702	0,1496	Ns*
Malzeme Çeşidi (MÇ)	2	1855,449	927,725	197,5935	0,0000
ÇT x MÇ	2	961,414	480,707	102,3845	0,0000
BT x MÇ	2	47,808	23,904	5,0913	0,0085
ÇT x BT x MÇ	2	165,350	82,675	17,6087	0,0000
Levha Kalınlığı (LK)	2	7316,329	3658,165	779,1425	0,0000
ÇT x LK	2	257,144	128,572	27,3842	0,0000
BT x LK	2	118,980	59,490	12,6706	0,0000
ÇT x BT x LK	2	37,544	18,772	3,9982	0,0226
MÇ x LK	4	154,030	38,508	8,2016	0,0000
ÇT x MÇ x LK	4	144,463	36,116	7,6922	0,0000
BT x MÇ x LK	4	39,496	9,874	2,1030	0,0892
ÇT x BT x MÇ x LK	4	90,168	22,542	4,8012	0,0017
Hata	72	338,048	4,695		
Toplam	107	577368,511			

Ns : Önemsiz

Çerçeve tipi, malzeme çeşidi ve levha kalınlığının, kutu tipi mobilyaların rijitlik değerleri üzerindeki etkileri 0,05 yanılma olasılığı için önemli, birleştirme tekniği ise önemsiz bulunmuştur. Yapılan ikili etkileşimlere göre; çerçeve tipi-birleştirme tekniği istatistiksel anlamda önemsiz, çerçeve tipi-malzeme çeşidi, birleştirme tekniği-malzeme çeşidi, çerçeve tipi-levha kalınlığı, birleştirme tekniği-levha kalınlığı, malzeme çeşidi-levha kalınlığı etkileşimleri 0,05 hata payı ile önemli çıkmıştır. Üçlü etkileşimlere göre; çerçeve tipi-birleştirme tekniği-malzeme çeşidi, çerçeve tipi-birleştirme tekniği-levha kalınlığı, çerçeve tipi-malzeme çeşidi-levha kalınlığı, istatistiksel anlamda önemli, çerçeve tipi-malzeme çeşidi-levha kalınlığı üçlü etkileşimi ise önemsiz çıkmıştır. Çerçeve tipi-birleştirme tekniği-malzeme çeşidi-levha kalınlığı dördü etkileşimine göre, kutu tipi mobilyaların rijitlik değerleri üzerindeki etkileri 0,05 yanılma olasılığı için önemli bulunmuştur.

Kutu tipi mobilyalarda rijitlik ortalamaların karşılaştırılması

Çerçeve tipinin, deney kutularının rijitlik katsayısı değerlerine ait ortalamaların LSD değeri 0,8267 N/mm değeri için karşılaştırılması Çizelge 4.92’de verilmiştir.

Çizelge 4.92. Çerçeve tipine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Çerçeve Tipi	Rijitlik Katsayısı (N/mm)	
	(X)	HG
Ön çerçevesiz	38,31	B
Ön çerçeveli	183,1	A

LSD $\pm$ 0,8267 N/mm

HG : Homojenlik grubu

Kutu tipi mobilyaların rijitlik katsayısı değerleri sonuçlarına göre; ön çerçeveli kutular, ön çerçevesiz kutulara göre % 79 daha rijitdir.

Malzeme çeşidinin, deney kutularının rijitlik katsayısı değerlerine ait ortalamaların LSD değeri 1,012 N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.93’de verilmiştir.

Çizelge 4.93. Malzeme çeşidine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Malzeme Çeşidi	Rijitlik Katsayısı (N/mm)	
	(X)	HG
YL	107,7	B
MDF	116,5	A
OKP	107,9	B

LSD $\pm$ 1,012 N/mm

HG : Homojenlik grubu

Deney kutularının rijitlik katsayısı değerleri sonuçlarına göre; MDF ile üretilen örnekler YL ve OKP ile üretilene göre yaklaşık % 8 daha rijitdir.

Çerçeve tipi ve malzeme çeşidi ikili etkileşiminin, deney kutularının rijitlik katsayısı değerlerine ait ortalamaların LSD değeri 1,432 N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.94’de verilmiştir.

Çizelge 4.94. Çerçeve tipi ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Çerçeve Tipi	Rijitlik Katsayısı (N/mm)					
	Malzeme Çeşidi					
	YL		MDF		OKP	
	(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
Ön çerçevesiz	32,30	F	48,24	D	34,37	E
Ön çerçeveli	183,0	B	184,9	A	181,3	C

LSD $\pm$ 1,432 N/mm

HG : Homojenlik grubu

Deney kutularının rijitlik katsayısı değerleri sonuçlarına göre; ön çerçeveli MDF deney örnekleri en yüksek rijitlik değerini, ön çerçevesiz YL deney örnekleri ise en düşük rijitlik değerini vermiştir.

Birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşiminin, deney kutularının rijitlik katsayısı değerlerine ait ortalamaların LSD değeri 1,432 N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.95’de verilmiştir.

Çizelge 4.95. Birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Birleştirme Tekniği	Rijitlik Katsayısı (N/mm)					
	Malzeme Çeşidi					
	YL		MDF		OKP	
	(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
Kavelalı	107,9	C	115,4	B	108,1	C
Kavelalı vidalı	107,4	C	117,7	A	107,6	C

LSD $\pm$ 1,432 N/mm

HG : Homojenlik grubu

Birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşiminin rijitlik katsayısı değerleri sonuçlarına göre; MDF ile üretilen kavelalı vidalı deney örnekleri yüksek rijitlik değeri vermiş, bunu MDF ile üretilen kavelalı birleştirme örnekleri izlemiştir. İstatistiksel anlamda ise OKP ve YL ile üretilen ve kavelalı, kavelalı vidalı birleştirilmiş deney örnekleri arasında rijitlik farkı bulunmamıştır. Çerçeve tipi, birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi üçlü etkileşiminin, deney kutularının rijitlik katsayısı değerlerine ait ortalamaların LSD değeri 2,025 N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.96’da verilmiştir.

Çizelge 4.96. Çerçeve tipi, birleştirme tekniği, ve malzeme çeşidi üçlü etkileşimine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Çerçeve Tipi	Birleştirme Tekniği	Rijitlik Katsayısı (N/mm)					
		Malzeme Çeşidi					
		YL		MDF		OKP	
		(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
Ön Çerçevesiz	Kavelalı	33,78	EF	47,74	D	32,99	F
	Kavelalı Vidalı	30,82	G	48,75	D	35,76	E
Ön Çerçevesiz	Kavelalı	182,1	B	183,0	B	183,2	B
	Kavelalı Vidalı	184,0	B	186,7	A	179,4	C

LSD $\pm$ 2,025 N/mm

HG : Homojenlik grubu

Çerçeve tipi, birleştirme tekniği, ve malzeme çeşidi üçlü etkileşimine göre en iyi sonucu, ön çerçevesiz MDF ile kavelalı vidalı birleştirilmiş deney örnekleri vermiştir.

Levha kalınlığının, kutu mobilyaların rijitlik katsayısı değerleri etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 1,012 N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.97’de verilmiştir.

Çizelge 4.97. Levha kalınlığına göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Levha Kalınlığı (mm)	Rijitlik Katsayısı (N/mm)	
	(X)	HG
14	100,4	C
16	111,2	B
18	120,5	A

LSD $\pm$ 1,012 N/mm

HG : Homojenlik grubu

Deney sonuçlarına göre, 18 mm kalınlığında üretilen deney örnekleri, 16 mm kalınlığındaki örneklere göre % 7, 14’e göre ise % 16 daha rijitdir.

Çerçeve tipi ve levha kalınlığı ikili etkileşimlerinin, deney kutularının rijitlik katsayısı değerleri etkilerine ait ortalamaların LSD değeri 1,432 N/mm değeri için karşılaştırılması Çizelge 4.98’de verilmiştir.

Çizelge 4.98. Çerçeve tipi ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Çerçeve Tipi	Rijitlik Katsayısı (N/mm)					
	Levha Kalınlığı					
	14 mm		16 mm		18 mm	
	(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
Ön çerçevesiz	25,85	F	40,28	E	48,79	D
Ön çerçeveli	174,9	C	182,1	B	192,2	A

LSD $\pm$ 10,27N/mm

HG : Homojenlik grubu

Çerçeve tipi ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre en iyi sonucu çerçeve ile hazırlanan 16 mm ve 18 mm kalınlığındaki deney örnekleri vermiştir. 14 mm kalınlığındaki deney örnekleri 174,9 N/mm rijitlik değeri ile çerçevesiz olarak üretilmiş 18 mm kalınlığındaki örneklerden daha rijittir. Bu sonuç levha kalınlığının düşürülmesi ve ön çerçevenin ilavesinin rijitliği önemli derecede artırdığını göstermiştir.

Birleştirme tekniği ve levha kalınlığı ikili etkileşiminin, deney kutularının rijitlik katsayısı değerlerine ait ortalamaların LSD değeri 1,432 N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.99’da verilmiştir.

Çizelge 4.99. Birleştirme tekniği ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Birleştirme Tekniği	Rijitlik Katsayısı (N/mm)					
	Levha Kalınlığı (mm)					
	14		16		18	
	(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
Kavelalı	98,96	E	110,8	C	121,7	A
Kavelalı vidalı	101,8	D	111,6	C	119,4	B

LSD $\pm$ 1,432 N/mm

HG : Homojenlik grubu

Birleştirme tekniği ve levha kalınlığı ikili etkileşiminin rijitlik katsayısı değerleri sonuçlarına göre; 18 mm kalınlığındaki deney örnekleri 16 mm kalınlığındaki örneklere göre yaklaşık % 8 daha rijit bulunmuştur.

Çerçeve tipi, birleştirme tekniği ve levha kalınlığı üçlü etkileşiminin, deney kutularının rijitlik katsayısı değerlerine ait ortalamaların LSD değeri 2,025 N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.100’de verilmiştir.

Çizelge 4.100.Çerçeve tipi, birleştirme tekniği, ve levha kalınlığı üçlü etkileşimine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Çerçeve Tipi	Birleştirme Tekniği	Rijitlik Katsayısı (N/mm)					
		Levha Kalınlığı (mm)					
		14		16		18	
		(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
Ön Çerçevesiz	Kavelalı	25,04	H	40,27	G	49,19	F
	Kavelalı Vidalı	26,66	H	40,28	G	48,39	F
Ön Çerçevesiz	Kavelalı	172,9	E	181,3	C	194,1	A
	Kavelalı Vidalı	176,9	D	182,9	C	190,3	B

LSD $\pm$ 2,025 N/mm

HG : Homojenlik grubu

Çerçeve tipi, birleştirme tekniği, ve levha kalınlığı üçlü etkileşimine göre en iyi sonucu, ön çerçevesiz kavelalı ve kavelalı vidalı birleştirilmiş 18 mm kalınlığındaki deney örnekleri vermiştir.

Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşiminin, deney kutularının rijitlik katsayısı değerlerine ait ortalamaların LSD değeri 1,754 N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.101’de verilmiştir.

Çizelge 4.101.Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Malzeme Çeşidi	Rijitlik Katsayısı (N/mm)					
	Levha Kalınlığı					
	14		16		18	
	(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
YL	97,98	E	106,0	D	119,0	B
MDF	105,5	D	118,9	B	125,2	A
OKP	97,60	E	108,7	C	117,3	B

LSD $\pm$ 1,754 N/mm

HG : Homojenlik grubu

Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşiminin rijitlik katsayısı değerleri sonuçlarına göre; MDF ile üretilen 18 ve 16 mm kalınlığındaki deney örnekleri ile 18 mm OKP ve YL örnekleri yüksek rijitlik değeri vermiş, bunu OKP ile üretilen 16 mm kalınlığındaki deney örnekleri izlemiştir.

Çerçeve tipi malzeme çeşidi ve levha kalınlığı üçlü etkileşiminin, deney kutularının rijitlik katsayısı değerlerine ait ortalamaların LSD değeri 2,480 N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.102’de verilmiştir.

Çizelge 4.102. Çerçeve tipi malzeme çeşidi ve levha kalınlığı üçlü etkileşimine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Çerçeve Tipi	Malzeme Çeşidi	Rijitlik Katsayısı (N/mm)					
		Levha Kalınlığı (mm)					
		14		16		18	
		(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
Ön Çerçevesiz	YL	21,72	L	31,17	K	44,02	I
	MDF	32,80	K	53,44	H	58,50	G
	OKP	23,03	L	36,23	J	43,86	I
Ön Çerçevesiz	YL	174,2	F	180,8	D	194,0	A
	MDF	178,2	E	184,3	C	192,0	AB
	OKP	172,2	F	181,2	D	190,7	B

LSD $\pm$ 2,480 N/mm

HG : Homojenlik grubu

Çerçeve tipi, malzeme çeşidi ve levha kalınlığı üçlü etkileşiminin rijitlik katsayısı değerleri sonuçlarına göre; ön çerçevesiz 18 mm kalınlığındaki YL, MDF ve OKP ile üretilen deney örnekleri yüksek rijitlik değeri vermiştir.

Çerçeve tipi, birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığı dördümlü etkileşiminin, deney kutularının rijitlik katsayısı değerlerine ait ortalamaların LSD değeri 3,507 N/mm için karşılaştırılması Çizelge 4.103’da verilmiştir.

Çizelge 4.103.Çerçeve tipi, birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığı dörtlü etkileşimine göre rijitlik katsayısı değerleri ortalamalarının karşılaştırma sonuçları

Çerçeve Tipi	Birleştirme Tekniği	Malzeme Çeşidi	Rijitlik Katsayısı (N/mm)					
			Levha Kalınlığı (mm)					
			14		16		18	
			(X)	HG	(X)	HG	(X)	HG
Ön Çerçevesiz	Kavelalı	YL	21,02	T	32,46	QRS	47,87	M
		MDF	31,38	RS	52,57	L	59,27	J
		OKP	22,72	T	35,79	PQ	40,45	N
	Kavelalı Vidalı	YL	22,43	T	29,87	S	40,17	NO
		MDF	34,22	PQR	54,30	KL	57,73	JK
		OKP	23,33	T	36,67	OP	47,28	M
Ön Çerçevesi	Kavelalı	YL	171,8	I	179,3	EF	195,0	A
		MDF	175,8	GH	181,3	DE	192,0	A
		OKP	171,0	I	183,3	CD	195,3	A
	Kavelalı Vidalı	YL	176,7	FGH	182,3	DE	193,0	A
		MDF	180,7	DE	187,3	B	192,0	A
		OKP	173,3	HI	179,0	EFG	186,0	BC

LSD ± 3,507 N/mm

HG : Homojenlik grubu

Sonuçlara göre; 18 mm kalınlığındaki ön çerçevesiz deney örneklerinde ve 16 mm kalınlığında kavelalı vidalı birleştirilmiş ön çerçevesiz MDF ile hazırlanan deney örneklerinde de yüksek rijitlik elde edilmiştir.

Ön çerçevesiz kutu tipi mobilyalarda teorik hesaplar

18 mm kalınlığında MDF malzeme ile üretilen bir kutuda;

$$\frac{f_v(T)}{y_v(T)}(\text{üst}) = \frac{f_v(B)}{y_v(B)}(\text{alt}) = \frac{(18)^3 \times 1366}{3 \times 764 \times 320} = 10,86 \text{ N/mm}$$

$$\frac{f_v(S)}{y_v(S)}(\text{yanlar}) = \frac{(18)^3 \times 1366}{3 \times 800 \times 320} = 10,37 \text{ N/mm}$$

$$\frac{f_v(R)}{y_v(R)}(\text{arka}) = \frac{(4)^3 \times 1000}{3 \times 784 \times 784} = 0,03 \text{ N/mm}$$

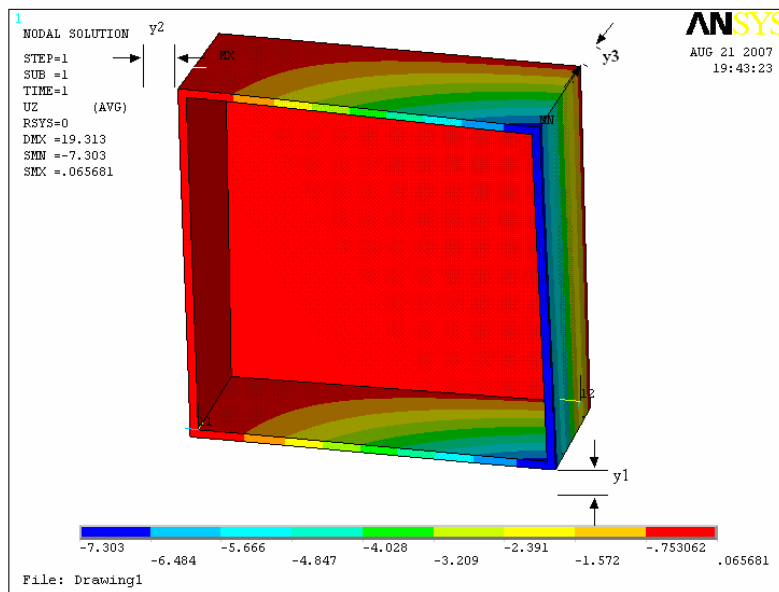
$$y(kutu) = \frac{F_v}{10,86 + 10,86 + 2 \frac{(800)^2}{(800)^2} \times 10,37 + \frac{(800)^2}{(320)^2} \times 0,03} = \frac{F_v}{42,69} = 0,023424 F_v \text{ mm.N}$$

Başka bir ifade ile Şekil 2.2’de gösterildiği gibi yükleme yapıldığında, Kutunun 1 mm’lik sapmasına karşılık 42,69N değerinde bir kuvvete ihtiyaç vardır.

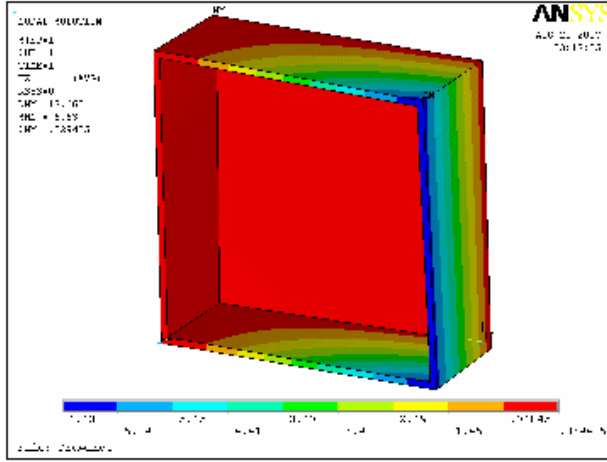
Örnek olarak 50kgf yaklaşık 490N luk bir kuvvete karşı dolapta meydana gelen sehim teorik olarak $490/42,69=11,47$ mm’dir. Deneylerde ise 492 N değerinde yük uygulandığında sehim (y1 değeri) ortalama 9,70 mm, Ansys sonlu elemanlar yazılımında-programında ise bu değer 6,63 mm olarak bulunmuştur.

Y₂ değeri formülde yerine konulduğunda teorik olarak 11,47 mm, deneylerde 5,66 ve ansys de 5,67 olarak bulunmuştur. Y₃ değeri ise teorik olarak 28,67 mm, deneylerde 23,72 mm ve ansys de 15,41 mm’dir.

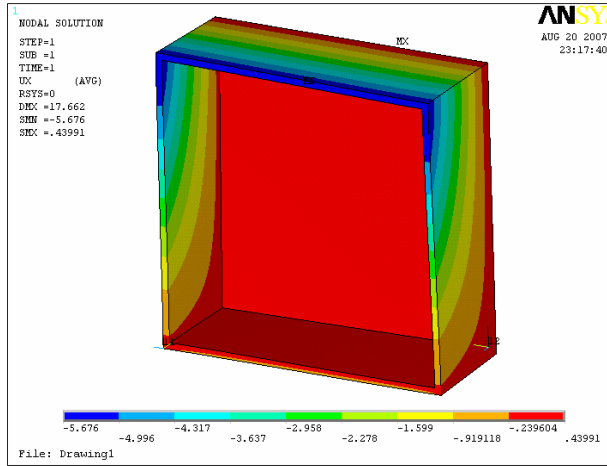
Kutulara ait genel görünüm ve yer değiştirme noktalarının ölçüm yerleri Resim 4.17’de, 18 mm kalınlığındaki kavelalı birleştirmelere ait bir kutuda üç yöndeki sehimler Resim 4.18’de gösterilmiştir.



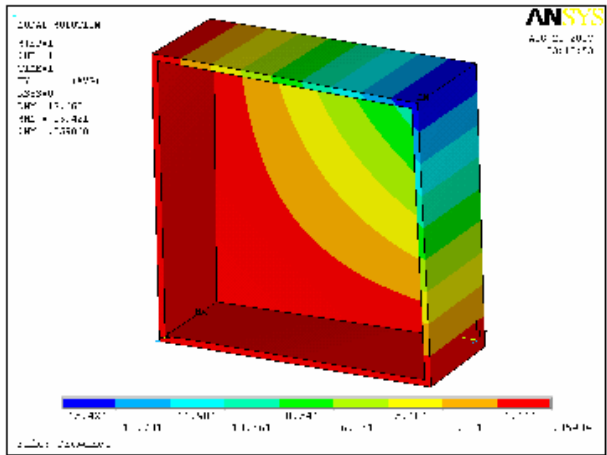
Resim 4.17. Kutulara ait genel görünüm ve uzama ölçüm noktaları y₁, y₂ ve y₃



(a)



(b)



(c)

Resim 4.18. Kavelalı birleştirmelerde çerçevesiz kutu tipi mobilya deneyleri sonucu elde edilen yer değıştirmeler

- a) y_1 yönündeki yer değıştirme
- b) y_2 yönündeki yer değıştirme
- c) y_3 yönündeki yer değıştirme

4.5.2.2. Çerçevesel kutu tipi mobilyalarda teorik hesaplar

18 mm kalınlığında MDF malzeme ile üretilen çerçevesel bir kutuda;

$$(1/y_{cf}) = 1/y_c + 4/(y_f) \quad (4.2)$$

y_{cf} : Çerçevesel kutunun rijitliği

y_c : Kutunun rijitliği

y_f : Çerçevenin rijitliği

$$y_f = F_4 \times [a^2/48] [b/(E_1 I_1) + a/(E_2 I_2) + b/(E_3 I_3) + a/(E_4 I_4)] \quad (4.3)$$

Burada;

E = Elastiklik Modülü (N/mm^2)

I = Her bir elemanın Atalet Momenti (mm^4)

Atalet momenti aşağıdaki eşitlik ile tanımlanır

$$I = w \times d^3 / 12 \quad (4.4)$$

w = Kalınlık (önden arkaya)

d = Her bir elemanın derinliği dir (41).

$$y_f = [F_4 \times [800^2/48]] \left[\frac{800/(11000 \times 208333) + 800/(11000 \times 208333)}{800/(11000 \times 208333) + 800/(11000 \times 208333)} \right]$$

E Doğru kayını için $11000 N/mm^2$,

$I = w \times d^3 / 12$ formülünde w =kalınlık deneylerde bu değer 20 mm'dir. d = genişlik 50 mm dir. Değerler yerleştirildiğinde $I= 208\,333\, mm^4$ olarak hesaplanmıştır.

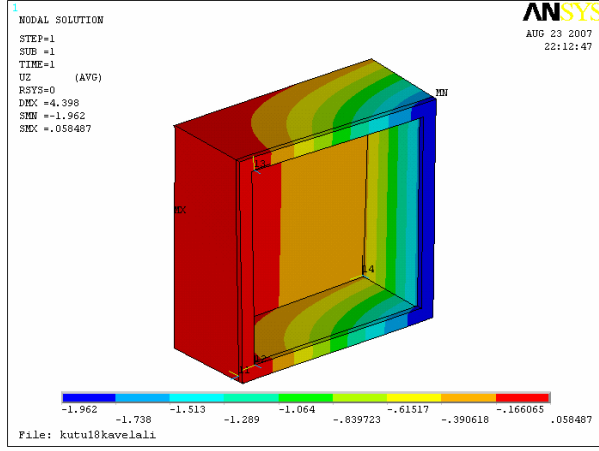
$y_f = 0,018618182 \times F$ mm olarak bulunur.

$(1/y_{cf}) = 1/y_c + 4/(y_f)$ formülünde değerler yerleştirilirse;

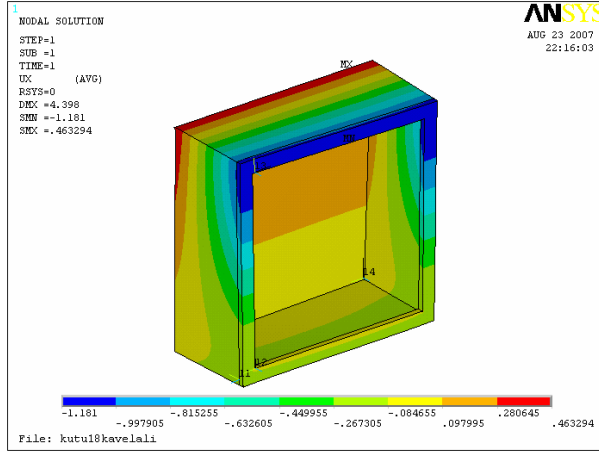
$y_{cf} = 1/0,023424 + 4/0,018618182 = 257,534 \text{ N/mm}$ olarak bulunur.

$y_{cf} = y_1 = 0,00388 \text{ F}_v \cdot \text{N} \cdot \text{mm}$ 'dir. Başka bir ifade ile Şekil 2.2'de gösterildiği gibi yükleme yapıldığında, Kutunun 1 mm'lik sapmasına karşılık yaklaşık 257N değerinde bir kuvvete ihtiyaç vardır. Örnek olarak 50kgf yaklaşık 490N luk bir kuvvete karşı dolapta meydana gelen sehim teorik olarak $490/257=1,91 \text{ mm}$ 'dir. Deneylerde ise 492 N değerinde yük uygulandığında sehim (y_1 değeri) ortalama 2,75 mm, Ansys sonlu elemanlar programında ise bu değer 1,96 mm olarak bulunmuştur.

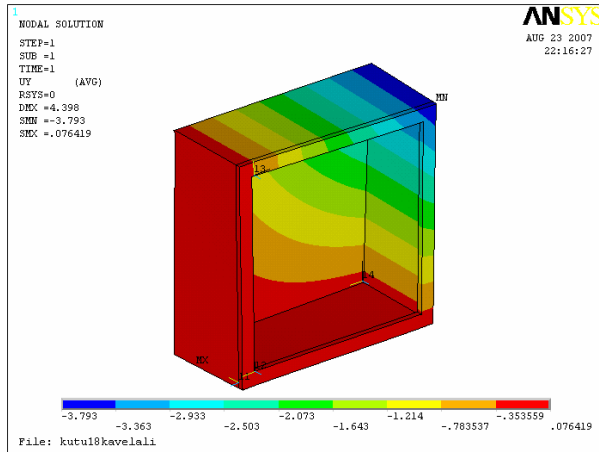
Y_2 değeri formülde yerine konulduğunda teorik olarak 1,91 mm, deneylerde 0,80 mm ve ansys de 1,18 olarak bulunmuştur. Y_3 değeri ise teorik olarak 4,77 mm, deneylerde 4,97 mm ve ansys de 3,79 mm'dir. Çerçevesiz kutularda 18 mm kalınlığındaki MDF ile üretilen kavelalı birleştirmelere ait bir kutuda üç yöndeki sehimler Resim 4.19'da gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Resim 4.19. Kavelalı birleştirmelerde çerçevesi kutu tipi mobilya deneyleri sonucu elde edilen yer değiştirmeler

- a) y_1 yönündeki yer değiştirme
- b) y_2 yönündeki yer değiştirme
- c) y_3 yönündeki yer değiştirme

Deney kutularında yük-yer değiştirme sonucu elde edilen rijitlik değerleri teorik ve Ansys sonlu elemanlar programında elde edilen rijitlik değerleri karşılaştırması Çizelge 4.104’de elastik sınırlar içinde 300 N’luk yükleme sonunda elde edilen y_1 , y_2 ve y_3 değerleri Çizelge 4.105’de verilmiştir.

Çizelge 4.104.Kutu tipi mobilyalarda deneysel, teorik ve sonlu eleman metoduna göre ortalama kuvvet-yer değiştirme ilişkileri (y_1)

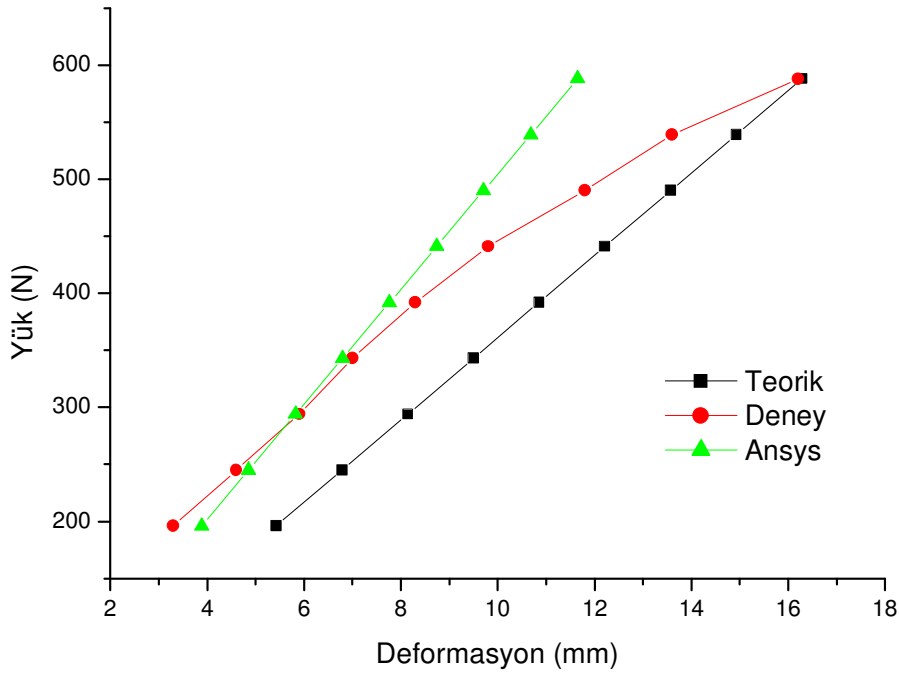
Çerçeve Tipi	Birleştirme Tekniği	Malzeme Çeşidi	Levha Kalınlığı	TEORİK (sehim-mm)				DENEY (sehim-mm)				ANSYS (sehim-mm)				RİJİTLİK FARKI (%)		
				200 N	250 N	300 N	Rijitlik (N/mm)	200 N	250 N	300 N	Rijitlik (N/mm)	200 N	250 N	300 N	Rijitlik (N/mm)	* Δ_1 (%)	** Δ_2 (%)	*** Δ_3 (%)
Ön Çerçevesiz	Kavetah	Y L	14	10,9	13,6	16,3	17,9	8,60	11,6	14,8	20,7	6,55	8,19	9,83	29,9	13,4	30,6	40,0
			16	8,3	10,3	12,4	23,5	5,50	7,65	9,30	32,4	6,07	7,59	9,10	32,3	27,6	0,53	27,2
			18	5,61	7,02	8,42	34,9	3,93	5,07	6,37	47,6	4,58	5,73	6,88	42,7	27,6	11,9	19,0
		M D F	14	8,16	10,2	12,2	24,0	5,73	7,58	9,87	31,3	4,74	5,92	7,11	41,3	22,5	24,3	41,4
			16	5,42	6,78	8,14	36,1	3,43	4,57	5,93	52,1	3,88	4,85	5,82	50,5	30,7	4,00	28,0
			18	4,58	5,73	6,88	42,7	3,10	4,10	5,10	59,4	2,65	3,31	3,97	73,9	28,8	19,1	42,4
		O K P	14	12,1	15,1	18,1	16,1	7,87	10,6	13,6	22,6	6,38	7,97	9,57	30,7	27,2	26,6	46,6
			16	9,74	12,1	14,6	20,1	5,05	6,80	8,53	35,7	6,46	8,07	9,69	30,3	28,5	16,6	16,6
			18	6,54	8,18	9,81	29,9	4,87	6,03	7,33	40,3	4,90	6,12	7,35	40,0	25,8	0,75	25,5
	Kavetah vidah	Y L	14	10,9	13,6	16,3	17,9	7,73	10,9	13,7	22,4	7,06	8,83	10,5	27,7	18,1	18,5	33,3
			16	8,3	10,3	12,4	23,5	5,93	8,07	10,3	29,8	6,07	7,59	9,10	32,3	20,0	6,25	25,0
			18	5,61	7,02	8,42	34,9	5,00	6,00	7,30	40,2	4,58	5,73	6,87	42,8	12,5	4,76	16,6
		M D F	14	8,16	10,2	12,2	24,0	5,50	6,80	8,80	34,6	4,21	5,26	6,31	46,5	28,5	22,2	44,4
			16	5,42	6,78	8,14	36,1	3,50	4,50	5,50	54,3	3,88	4,85	5,82	50,2	33,0	8,00	28,0
			18	4,58	5,73	6,88	42,7	3,27	4,23	5,17	57,8	2,92	3,65	4,38	67,1	24,5	14,9	35,8
		O K P	14	12,1	15,1	18,1	16,1	8,30	10,0	12,9	23,4	6,37	7,97	9,56	30,7	33,3	20,0	46,6
			16	9,74	12,1	14,6	20,1	5,07	6,77	8,17	36,6	6,40	8,01	9,61	30,6	44,4	20,0	33,3
			18	6,54	8,18	9,81	29,9	3,87	5,20	6,53	46,7	4,83	6,04	7,24	40,6	34,0	14,0	25,0
Ön Çerçeveli	Kavetah	Y L	14	0,85	1,07	1,28	229	1,00	1,40	1,80	172	1,06	1,33	1,60	183	33,1	6,01	25,1
			16	0,82	1,03	1,23	238	1,01	1,32	1,73	179	0,98	1,23	1,48	198	32,9	9,60	20,2
			18	0,78	0,98	1,18	248	0,9	1,2	1,60	195	0,94	1,18	1,41	207	27,1	5,80	19,8
		M D F	14	0,82	1,03	1,23	238	1,00	1,34	1,77	176	1,18	1,47	1,77	166	35,2	6,02	43,3
			16	0,78	0,98	1,17	250	1,00	1,30	1,7	181	0,90	1,13	1,36	216	38,1	16,2	15,7
			18	0,76	0,95	1,14	256	0,95	1,26	1,60	191	0,78	0,98	1,17	250	34,0	23,6	2,40
		O K P	14	0,84	1,06	1,27	231	1,00	1,42	1,80	170	0,94	1,18	1,41	207	35,8	17,8	11,5
			16	0,83	1,04	1,25	234	0,95	1,30	1,70	183	0,88	1,10	1,32	222	27,8	17,5	5,41
			18	0,80	1,00	1,20	245	0,94	1,20	1,60	194	0,84	1,05	1,26	232	26,2	16,3	5,60
	Kavetah vidah	Y L	14	0,85	1,07	1,28	229	0,99	1,35	1,78	175	1,05	1,32	1,58	185	30,8	5,41	23,7
			16	0,82	1,03	1,23	238	1,00	1,32	1,70	182	0,98	1,23	1,48	198	30,7	8,08	20,2
			18	0,78	0,98	1,18	248	0,90	1,24	1,63	191	0,95	1,19	1,42	206	24,6	7,20	15,5
		M D F	14	0,82	1,03	1,23	238	1,01	1,31	1,72	180	1,17	1,47	1,76	166	32,2	8,43	43,3
			16	0,78	0,98	1,17	250	0,98	1,28	1,62	188	0,91	1,14	1,36	215	32,9	12,5	16,2
			18	0,76	0,95	1,14	256	0,95	1,27	1,59	191	0,78	0,98	1,17	250	33,3	22,8	2,81
		O K P	14	0,84	1,06	1,27	231	1,00	1,40	1,80	172	0,93	1,16	1,39	210	34,3	18,1	10,0
			16	0,83	1,04	1,25	234	0,91	1,38	1,75	178	0,88	1,10	1,32	221	31,4	19,4	5,80
			18	0,80	1,00	1,20	245	0,90	1,34	1,66	185	0,84	1,05	1,26	232	32,4	20,2	5,60

Δ_1 (%) *(Teorik-Deney)100/Deney, Δ_2 (%)** (Deney-Fem)100/Fem, Δ_3 (%)*** (Teorik-Fem)100/Fem

Çizelge 4.105.Kutu tipi mobilyalarda deneysel (gerçek), teorik ve sonlu eleman metoduna göre ortalama y_1 - y_2 - y_3 yer değiştirme ilişkileri

Çerçeve Tipi	Birleştirme Tekniği	Malzeme Çeşidi	Levha Kalınlığı (mm)	Teorik y_1 (mm)	Deneysel y_1 (mm)	Ansysis y_1 (mm)	Teorik y_2 (mm)	Deneysel y_2 (mm)	Ansysis y_2 (mm)	Teorik y_3 (mm)	Deneysel y_3 (mm)	Ansysis y_3 (mm)
Ön Çerçevesiz Kutu	Kavelalı	YL	14	16,39	14,80	9,83	16,39	12,03	8,52	40,98	36,44	23,31
			16	12,47	9,30	9,10	12,47	6,71	7,91	31,18	23,4	21,62
			18	8,42	6,37	6,88	8,42	4,60	5,67	21,05	14,85	15,85
		MDF	14	12,25	9,87	7,11	12,25	6,49	6,22	30,63	21,59	16,95
			16	8,14	5,93	5,82	8,14	3,97	5,08	20,35	14,51	13,87
			18	6,88	5,10	3,97	6,88	3,13	3,40	17,2	13,32	9,24
		OKP	14	18,16	13,62	9,57	18,16	9,70	8,69	45,16	34,29	23,31
			16	14,62	8,53	9,69	14,62	6,09	8,87	36,55	18,31	23,73
			18	9,81	7,33	7,35	9,81	5,10	6,52	24,53	17,39	17,67
	Kavelalı Vidalı	YL	14	16,39	13,73	10,59	16,39	11,38	9,12	40,98	34,47	25,08
			16	12,47	10,37	9,10	12,47	5,38	7,91	31,18	24,26	21,62
			18	8,42	7,30	6,87	8,42	3,65	5,68	21,05	17,18	15,85
		MDF	14	12,25	8,80	6,31	12,25	6,71	5,51	30,63	22,18	15,04
			16	8,14	5,50	5,82	8,14	3,27	5,08	20,35	14,39	13,87
			18	6,88	5,17	4,38	6,88	3,03	3,64	17,2	12,15	10,13
		OKP	14	18,16	12,9	9,56	18,16	11,47	8,70	45,16	34,35	23,32
			16	14,62	8,17	9,61	14,62	5,50	8,79	36,55	18,48	23,52
			18	9,81	6,53	7,24	9,81	3,39	6,43	24,53	14,4	17,43
Ön Çerçevesiz Kutu	Kavelalı	YL	14	1,28	1,80	1,60	1,28	0,56	0,85	3,20	3,97	2,97
			16	1,23	1,73	1,48	1,23	0,55	0,77	3,07	3,72	2,73
			18	1,18	1,60	1,41	1,18	0,50	0,70	2,95	3,12	2,61
		MDF	14	1,23	1,77	1,77	1,23	0,62	0,85	3,07	3,66	2,64
			16	1,17	1,7	1,36	1,17	0,61	0,69	2,92	2,75	2,62
			18	1,14	1,60	1,17	1,14	0,60	0,70	2,85	2,26	2,27
		OKP	14	1,27	1,80	1,41	1,27	0,62	0,90	3,17	3,06	2,72
			16	1,25	1,70	1,32	1,25	0,60	0,84	3,12	3,02	2,53
			18	1,20	1,60	1,26	1,20	0,57	0,77	3,01	3,02	2,41
	Kavelalı Vidalı	YL	14	1,28	1,78	1,58	1,28	0,48	0,88	3,20	3,63	2,92
			16	1,23	1,70	1,48	1,23	0,46	0,82	3,07	3,60	3,00
			18	1,18	1,63	1,42	1,18	0,41	0,69	2,95	3,26	2,61
		MDF	14	1,23	1,72	1,76	1,23	0,61	0,73	3,07	3,60	2,64
			16	1,17	1,62	1,36	1,17	0,47	0,87	2,92	3,61	2,68
			18	1,14	1,59	1,17	1,14	0,45	0,69	2,85	3,62	2,25
		OKP	14	1,27	1,80	1,39	1,27	0,52	0,87	3,17	3,01	2,67
			16	1,25	1,75	1,32	1,25	0,50	0,84	3,12	3,00	2,53
			18	1,20	1,66	1,26	1,20	0,49	0,76	3,00	3,01	2,41

Deney, teorik ve sonlu elemanlar yazılımı programında deneyler sonucu oluşan yük-deformasyon arasındaki ilişki Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. 16 mm kalınlığındaki MDF ile üretilen deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen ansys, teorik ve deney sonuçları arasındaki ilişkiyi gösterir diyagram

4.6. Rijitlik Katsayısı Karşılaştırmaları

“Eş.3.30” formülüne göre kuvvet ve yer değiştirmeler değerlendirildiğinde çerçevesiz olarak üretilen 14 mm kalınlığındaki kavelalı ve vidalı yonga levha ile 14 mm kalınlığında üretilen kavelalı ve vidalı birleştirilmiş kontrplak deney malzemelerinin başarısız olduğu sonucuna varılmıştır (Çizelge 4.106).

Çizelge 4.106. Deney ve standarda göre rijitlik katsayısı değerleri ilişkileri

Çerçeve Tipi	Birleştirme Çeşidi	Levha türü	Levha Kalınlığı (mm)	Uygulanan yük (N)	Deney y1(mm)	$k = \frac{P_x}{\Delta_x} (N/m)$	$k = \frac{P_x}{\Delta_x} \geq 20000 \left[\frac{N}{m} \right]$	% Başarı
Çerçevesiz Kutu	Kavelalı	Yongalevha	14	492	27,15	18121,55	Başarısız	77
			16	492	18,20	27032,97	Başarılı	
			18	492	10,60	46415,09	Başarılı	
		Mdf	14	492	18,60	26451,61	Başarılı	
			16	492	11,46	42931,94	Başarılı	
			18	492	9,70	50721,65	Başarılı	
		Kontrplak	14	492	28,70	17142,86	Başarısız	
			16	492	17,33	28390,08	Başarılı	
			18	492	11,46	42931,94	Başarılı	
	Vidalı	Yongalevha	14	492	28,86	17047,82	Başarısız	77
			16	492	17,98	27363,74	Başarılı	
			18	492	12,66	38862,56	Başarılı	
		Mdf	14	492	18,03	27287,85	Başarılı	
			16	492	11,93	41240,57	Başarılı	
			18	492	9,70	50721,65	Başarılı	
		Kontrplak	14	492	28,55	17232,92	Başarısız	
			16	492	16,36	30073,35	Başarılı	
			18	492	11,83	41589,18	Başarılı	
Ön Çerçeve Kutu	Kavelalı	Yongalevha	14	492	4,20	117142,9	Başarılı	100
			16	492	3,40	144705,9	Başarılı	
			18	492	2,80	175714,3	Başarılı	
		Mdf	14	492	3,70	132973	Başarılı	
			16	492	3,10	158709,7	Başarılı	
			18	492	2,75	178909,1	Başarılı	
		Kontrplak	14	492	4,30	114418,6	Başarılı	
			16	492	3,60	136666,7	Başarılı	
			18	492	2,80	175714,3	Başarılı	
	Vidalı	Yongalevha	14	492	3,00	164000	Başarılı	100
			16	492	3,00	164000	Başarılı	
			18	492	2,90	169655,2	Başarılı	
		Mdf	14	492	3,30	149090,9	Başarılı	
			16	492	3,00	164000	Başarılı	
			18	492	2,77	177617,3	Başarılı	
		Kontrplak	14	492	3,60	136666,7	Başarılı	
			16	492	3,00	164000	Başarılı	
			18	492	2,50	196800	Başarılı	

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kutu tipi mobilyaların rijitliğini artırabilmek için, birleştirme noktalarındaki rijitlik değerleri üzerinde etkisi olan temel parametreler araştırılarak belirlenmiş ve rijitliği arttırmaya ilişkin gerekler irdelenmiş ve rasyonel bir köşe birleştirmesi yapılabilmesi için bir konstrüksiyon yöntemi geliştirilmiştir. Buna göre parametreler;

- Ön çerçeve tipi
- Levha kalınlığı
- Köşe birleştirme tekniği
- Malzeme çeşidi olarak belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda, ahşap kompozit malzemelerden üretilecek kutu tipi mobilyaların mukavemet analizi için gerekli olan veriler elde edilmiştir. Ahşap kompozit malzemelerden çerçeveli ve çerçevesiz olarak, farklı levha kalınlıklarında, kavelalı ve kavelalı-vidalı birleştirme teknikleriyle üretilmiş kutu tipi mobilyalar grupları itibari ile farklı mekanik davranış özellikleri göstermiştir.

Kutu mobilya “L” tipi köşe birleştirmeleri eğilme deneyleri sonucuna göre; kavelalı-vidalı birleştirmeler, kavelalı birleştirmelere göre yaklaşık % 26 oranında daha yüksek moment değeri vermiştir. Malzeme çeşidine göre; kontrplaktan üretilen malzemeler MDF’ye göre % 10, yonga levhaya göre % 30 daha başarılıdır. Birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre en iyi sonucu MDF ve OKP malzemeler üzerinde kavelalı-vidalı birleştirilmiş deney örnekleri vermiştir. Levha kalınlığına göre ise; 18 mm levha kalınlığında üretilen deney örnekleri, 16 mm kalınlığındaki örneklere göre yaklaşık % 29, 14 mm levha kalınlığındaki örneklere göre ise % 37 daha mukavemetlidir. Birleştirme tekniği ve levha kalınlığı ikili etkileşiminde en yüksek moment kavelalı-vidalı birleştirilmiş 18 mm kalınlığındaki levhalarda yüksek olmakla birlikte, kavelalı 18mm ve kavelalı-vidalı birleştirilmiş 16 mm kalınlığındaki levhalarda da benzer olarak yüksek çıkmıştır. Bu sonuç bize 16 mm kalınlığındaki levhaların kullanılabilirliği ortaya koymaktadır.

Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre en iyi sonucu 18mm kalınlığındaki kontrplak levhalar ile üretilen deney örnekleri vermiştir. Bunu sırası ile yine 18mm levha kalınlığında hazırlanan MDF ve yongalevha örnekleri izlemiştir. Birleştirme çeşidi, levha türü ve levha kalınlığı üçlü etkileşim sonuçlarına göre; 18mm kalınlığındaki levhalarda kontrplak ve MDF ile üretilen kavelalı-vidalı birleştirilmiş deney örnekleri en başarılı sonucu vermiştir. Birleştirme tekniği, malzeme çeşidi ve levha kalınlığı üçlü etkileşim sonuçları; kalınlığın artmasıyla momentin arttığını ve kavelalı-vidalı birleştirmelerde bu oranın artmasına sebep olduğunu göstermiştir.

Kutu mobilya “L” tipi köşe birleştirmeleri basınç deneyleri sonucuna göre; kavelalı-vidalı birleştirmeler, kavelalı birleştirmelere göre yaklaşık % 16 oranında daha yüksek moment değeri vermiştir. Malzeme çeşidine göre ise; kontrplaktan üretilen malzemeler MDF’ye göre % 27, yonga levhaya göre % 44 daha başarılıdır. Birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre en iyi sonucu OKP ve MDF malzemeler üzerinde kavelalı-vidalı birleştirilmiş deney örnekleri vermiştir. Yonga levha ile üretilen kavelalı birleştirmeler ise düşük sonuç vermiştir. Levha kalınlığına göre; 18 mm levha kalınlığında üretilen deney örnekleri, 16 mm kalınlığındaki örneklere göre yaklaşık % 25, 14 mm levha kalınlığındaki örneklere göre ise % 37 daha yüksek moment taşımıştır. 16 mm kalınlığındaki deney örneklerinin 14 mm kalınlığındaki örneklere göre oranı % 16’dır. Birleştirme tekniği ve levha kalınlığı ikili etkileşiminde en yüksek moment taşıma kavelalı-vidalı birleştirilmiş 18 mm kalınlığındaki levhalarda yüksek olmakla birlikte, kavelalı 18 mm birleştirilmiş levhalarda da benzer olarak yüksek çıkmıştır. Bunu kavelalı vidalı birleştirilmiş 16 mm kalınlığındaki levhalar takip etmiştir. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşim sonuçları; kontrplak malzemenin üretilen 18 mm kalınlığındaki örnekler ve yine kontrplaktan üretilen 14 mm kalınlığındaki örneklerde daha yüksek moment değerleri vermiştir. Bu durum 14 mm kalınlığındaki kontrplak malzemenin iç yapışma direncinin yüksek olmasından kaynaklanabilir.

Kutu mobilya “L” tipi köşe birleştirmeleri çekme deneyleri sonucuna göre; Kavelalı-vidalı birleştirmeler, kavelalı birleştirmelere göre yaklaşık % 20 oranında daha

yüksek moment değeri vermiştir. Malzeme çeşidine göre ise; kontrplaktan üretilen malzemeler MDF'ye göre % 29, yonga levhaya göre % 44 daha başarılıdır. Birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre en iyi sonucu OKP ve MDF malzemeler üzerinde kavelalı-vidalı ve kavelalı birleştirilmiş deney örnekleri vermiştir. Yonga levha ile üretilen kavelalı birleştirmeler ise düşük sonuç vermiştir. Levha kalınlığına göre; 18mm levha kalınlığında üretilen deney örnekleri, 16mm kalınlığındaki örneklerle göre yaklaşık % 21, 14 mm levha kalınlığındaki örneklerle göre ise % 36 daha yüksek moment taşımıştır. 16 mm kalınlığındaki deney örneklerinin 14 mm kalınlığındaki örneklerle göre oranı % 18'dir. Birleştirme tekniği ve levha kalınlığı ikili etkileşiminde en yüksek moment taşıma kavelalı-vidalı birleştirilmiş 18 mm kalınlığındaki levhalarda yüksek olmakla birlikte, kavelalı 18 mm birleştirilmiş levhalarda da benzer olarak yüksek çıkmıştır. Bunu kavelalı-vidalı birleştirilmiş 16 mm kalınlığındaki levhalar takip etmiştir.

Deney kutularının, kuvvet taşıma kapasitesi sonuçlarına göre; ön çerçeveli kutu tipi mobilyalar, ön çerçevesiz hazırlanan deney örneklerine göre yaklaşık % 28 daha yüksek kuvvet taşıma değeri vermiştir. Çerçevesiz olarak üretilen deney örneklerinde kutu köşelerinde katmanlarda yarılmalara sonucunda deforme olmuş, ön çerçeveli kutularda ise bütün yükün kutudan ziyade ön çerçevede meydana geldiği görülmüş ve deneylerde genellikle çerçeve köşelerindeki kavelalarda kırılmalar gözlenmiştir. Kavelalı-vidalı birleştirmeler, kavelalı birleştirmelere göre yaklaşık % 8 oranında daha yüksek kuvvet taşıma değeri vermiştir. Çerçeve tipi ve birleştirme tekniği ikili etkileşimine göre en iyi sonucu ön çerçeveli üretilen deney örnekleri vermekle birlikte kavelalı ve kavelalı-vidalı birleştirme tekniğinin istatistiksel anlamda farklı olmadığı sonucuna varılmıştır. Diğer yandan ön çerçevesiz üretilen kavelalı-vidalı deney kutularında ise; kavelalı birleştirilmiş deney kutularından yaklaşık %15 oranında daha yüksek kuvvet taşıdığı ortaya çıkmıştır. Malzeme çeşidine göre MDF'den üretilen deney kutuları 1862 N ile yüksek kuvvet taşıma değerleri vermiştir. MDF ile üretilen deney kutuları OKP (1647 N) ile üretilenden yaklaşık %11, OKP ile üretilen kutular YL (1492 N) ile üretilenden ise yaklaşık % 9 daha yüksektir.

Çerçeve tipi ve malzeme çeşidi ikili etkileşimine göre ön çerçeveli MDF ile hazırlanan deney kutularının en yüksek kuvvet taşıma değerini elde ettiği, bunu sırasıyla çerçeveli hazırlanan kontrplak deney örnekleri ve yine çerçeve ile hazırlanan yonga levhaların olduğu görülmüştür. Çerçeve tipi, birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi üçlü etkileşimine göre en iyi sonucu ön çerçeve ile hazırlanan MDF ve kontrplak malzeme ile üretilen kavelalı vidalı deney örnekleri vermiştir. Çerçevesiz yonga levha örnekleri ise düşük sonuç vermiştir. Levha kalınlığına göre ise kuvvet taşıma kapasitesi değerleri analiz edildiğinde; 18 mm kalınlığındaki levhaların 16 mm kalınlığındaki levhalara göre % 14, 14 mm kalınlığındaki levhalara göre ise yaklaşık % 31 oranında daha mukavemetli olduğu görülmüştür.

“L” tipi köşe birleştirme eğilme deneylerinde, yük-yerdeğiştirme sonucu elde edilen rijitlik değerleri ve Ansys sonlu elemanlar programında elde edilen rijitlik değerleri sonuçlarına göre; eğilme deneylerinde Ansys ve deney sonuçlarının % 0,03 ve % 12,61 aralığında olduğu söylenebilir. Bu fark yapılan yapısal analizin güvenilirliğini ortaya koymaktadır. Çekme deneylerinde ise yapılan üç boyutlu bilgisayar destekli analizlerin deneylere çok fazla yaklaştığı söylenemez. Bu fark %19 ile %40 aralığındadır. Bu durum şu şekilde açıklanabilir. Bilgisayar modeli ile deney sonuçları arasında fark oluşturabilecek en önemli nokta sınır koşullarıdır. Bilgisayar modelinde mesnet tanımlamaları hatasız, mükemmel bir şekilde uygulanır. Öte yandan deney düzeneği oluşturulurken yapının mesnet şartları kabullere birebir uydurulamaz. Mesnet koşulları açısından deney ile model arasında bir uyumsuzluk olması ve bu durumun sonuçlarda farklılığa yol açması kaçınılmazdır.

Kutu tipi mobilyaların rijitlik katsayı değerleri sonuçlarına göre; ön çerçeveli kutular, ön çerçevesiz kutulara göre %79 daha rijittir. Malzeme çeşidine göre ise; MDF ile üretilen örnekler YL ve OKP ile üretilene göre yaklaşık % 8 daha rijit bulunmuştur. Birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi ikili etkileşiminin rijitlik katsayı değerleri sonuçlarına göre; MDF ile üretilen kavelalı vidalı deney örnekleri yüksek rijitlik değeri vermiş, bunu MDF ile üretilen kavelalı birleştirme örnekleri izlemiştir. İstatistiksel anlamda ise OKP ve YL ile üretilen ve kavelalı, kavelalı vidalı birleştirilmiş deney örnekleri arasında rijitlik farkı bulunmamıştır. Çerçeve tipi,

birleştirme tekniği ve malzeme çeşidi üçlü etkileşimine göre en iyi sonucu, ön çerçeveli MDF ile kavelalı vidalı birleştirilmiş deney örnekleri vermiştir. Deney sonuçlarına göre, 18mm kalınlığında üretilen deney örnekleri, 16mm kalınlığındaki örneklerle göre % 7, 14'e göre ise % 16 daha rijitdir. Çerçeve tipi ve levha kalınlığı ikili etkileşimine göre en iyi sonucu çerçeve ile hazırlanan 16mm ve 18mm kalınlığındaki deney örnekleri vermiştir. 14 mm kalınlığındaki deney örnekleri 174,9 N/mm rijitlik değeri ile çerçevesiz olarak üretilmiş 18 mm kalınlığındaki örneklerden daha rijitdir. Bu sonuç levha kalınlığının düşürülmesi ve ön çerçevenin ilavesinin katılığı önemli derecede artırdığını göstermiştir. Malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ikili etkileşiminin rijitlik katsayı değerleri sonuçlarına göre; MDF ile üretilen 18 ve 16mm kalınlığındaki deney örnekleri ile 18mm OKP ve YL örnekleri yüksek rijitlik değeri vermiş, bunu OKP ile üretilen 16mm kalınlığındaki deney örnekleri izlemiştir.

Malzeme çeşidine göre, mekanik davranış özelliklerinde çok önemli farklılıklar görülmemiştir. Deformasyon karakteristikleri hemen hemen aynı şekilde gerçekleşmiş, ancak deformasyon miktarlarında farklılıklar gözlenmiştir. Eğilme direnci yüksek olan malzemelerden üretilen deney numuneleri daha az, düşük eğilme direncine sahip malzemelerden üretilmiş deney numunelerinin ise daha çok yer değiştirme yaptıkları gözlenmiştir.

Deney sonuçlarına göre; MDF ve yonga levhadan hazırlanan deney örneklerinin yapısal analiz programındaki sonuçlara daha fazla yaklaştığı, kontrplak deney örneklerinde ise deney ve ansys arasındaki farkın daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun nedeni kontraplağın katmanlı yapısıdır. Bu sebeple üç boyutlu analizlerde de kontraplağın katmanlı yapısına uygun olarak eleman tipi ve eleman özelliklerinin programa girilmesinde fayda görülmektedir.

Bu sonuçlara göre; kutu konstrüksiyonlu mobilya tasarımında, malzeme açısından ekonomik kriterler de dikkate alınarak malzeme tercihi, kontrplak, MDF ve yongalevha şeklinde yapılmalıdır.

Birleştirme noktalarındaki açılmalar kavelalı ve vidalı birleştirmelerde farklı şekillerde gerçekleşmiştir. Kavelalı birleştirme uygulanmış kutu tipi mobilyalar, vidalı birleştirme uygulanmış kutu tipi mobilyalara kıyasla daha kısa sürede kırılmışlardır.

Vidalı birleştirilmiş deney örnekleri kavelalı birleştirilmiş deney örneklerine göre yer değiştirmelerde önemli farklılıklar olmamakla birlikte daha uzun sürede deforme olduğu gözlenmiştir. Yani plastik deformasyon bölgesinin vidalı birleştirmelerde daha uzun sürdüğü görülmüştür.

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 oldukça yaklaştığı, fakat deney elemanına göre bilgisayar modelinin daha rijit davranış göstererek göçmeye ulaştığı görülmüştür.

Birleştirme elemanı olarak diğer kriterler saklı kalmak kaydıyla vida kullanımı tercih edilmelidir. Moment taşımanın önemli olduğu birleştirmelerde 18 mm tabla kalınlığı kullanılmalıdır. Konu ile ilgili malzeme ve birleştirmeler farklı varyasyonlar şeklinde denenmelidir.

“L” tipi birleştirmelerin eğilme, çekme ve basınç deney elemanları ile kutu mobilyalar aynı mekanik davranış özelliklerini göstermişlerdir. Burada fark kutulara ön çerçeve ilavesi ile görülmektedir. Sonuçta ön çerçeve ilavesinin kutularda rijitlik ve kuvvet taşıma performansında artışa neden olduğu ifade edilebilir.

Birleştirmelerde sadece bağlantı elemanın rijitliği değil aynı zamanda levhanında rijitliği önemlidir. Yani çalışmalarda hem bağlantı elemanları hem de levhaların rijitlikleri değerlendirmeye alınmalı ve deneyler bu prosedür ışığında irdelenmelidir.

Bu çalışmada yöne bağımlı eleman elastiklik katsayıları tanımlanmıştır. Literatürde ahşap malzeme için izotropik tanımlamaların yerine ortotropik malzeme tanımlamalarının gerekliliği üzerinde durulmuştur.

Sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılan üç boyutlu yapısal analizlere göre, bilgisayar destekli analiz programları, mobilya sistemlerinin genel mukavemeti hakkında anlamlı değerler sağlamıştır. Bilgisayar teknolojisinin hızla geliştiği ve kullanımının yaygınlaştığı günümüzde, tasarlanan bir mobilyanın üretimine geçilmeden önce mukavemeti hakkında ön bilgiler elde edilebilmesi ve bu bilgilere göre gerekli değişikliklerin yapılarak optimizasyonun sağlanması, tasarımcıların işini kolaylaştıracağı gibi ekonomik yararlar da sağlayacaktır. Bu sebeple, yapısal analiz programlarının, mobilya mühendislik tasarımında kullanılması gerekmektedir.

Birleştirmelerin en zayıf alanında gerilme modelinin tanımlanması sayısal analizde bazı kolaylıklar sağlamıştır. Bu köşe birleştirmelere yakın yerlerde eleman ayırma (mesh) işleminin daha fazla olması ile mümkün olmuş bu şekilde analizin güvenilirliği artmakla birlikte analiz çözümleri uzamıştır. Levha malzemesinin ortotropik lineer-elastik modelinin uygulanması ve bağlayıcıların kompleks geometrik formunun basitleştirilmesi ki örneğin vida burada bir dübel gibi modellenmiştir.

Deneyler ve ANSYS programında yapılacak analiz ve modelleme çalışmalarına ilişkin olarak;

- Farklı tutkallar ile çalışmaların yapılması,
- Ön çerçeve tipi değiştirilerek farklı konstrüksiyon ve malzeme değişkenleri ile denemelerin yapılması,
- Demonte birleştirilmiş (tutkalsız) kutu tipi mobilyalar ile ilgili deneylerin yapılması,
- Kutulara ara kayıt (sabit raf vb.) ilavesi ile oluşturulacak mobilyalar üzerinde deneylerin yapılması,

- Arkalık malzeme türü, kalınlığı ve konstrüksiyon tipi değişkenlerinden oluşturulacak mobilyaların denenmesi,
- Deney yöntemleri-yükleme modelleri değişkenlerine göre oluşturulacak sistemler üzerinde deneyler yapılması,
- Yeni geliştirilen kompozit paneller ile yapılacak mobilyaların denenmesi,
- Mobilyada kullanılan ahşap ve ahşap kompozit malzemeler için ayrı bir yapısal analiz programının oluşturulması.

KAYNAKLAR

1. Efe, H., “Modern Mobilya Çerçeve Konstrüksiyon Tasarımında Geleneksel ve Alternatif Bağlantı Tekniklerinin Mekanik Davranış Özellikleri”, Doktora Tezi, **Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Trabzon, 13-43 (1994).
2. Eckelman, C., A., “The withdrawal strength of screws from a commercially available medium density fiberboard”, **Forest Product Journal**, 38 (5): 21-24 (1988).
3. Eckelman, C., A., “Textbook of Product Engineering and Strength Design of Furniture, **Text Book**, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA, 3-10 (1991).
4. Wasti, S., T., “Limit Analizi Yapılar İçin Plastik Hesap Metodu”, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, **Orta Doğu Teknik Üniversitesi**, Ankara, 54-55 (1968).
5. Erman, B., “Nonlinear Ortotropik Malzemelerin Zamana Bağlı Davranışı” İTÜ İnşaat Fakültesi, **Boğaziçi Matbaası**, İstanbul, 1-3 (1974).
6. Nath, B., “Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodunun Temelleri”, Çeviri Editörü, Günay, D., **İ.T.Ü. Sakarya Mühendislik Fakültesi**, Adapazarı, 1-2 (1990).
7. Kasal, A., “Masif ve Kompozit Ağaç malzemelerden Üretilmiş Çerçeve Konstrüksiyonlu Koltukların Performansı”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 7-15 (2004).
8. Tora, S.G., “Strength and Construction Techniques for Kitchen Cabinet Back Panels”, Unpublished **MS thesis.**, **Purdue Univ.**, West Lafayette, 7-15 (2004).
9. Calhoun, K., “Modern cabinetmaking frameless and traditional construction”, **Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs**. New Jersey, 100-116 (1993).
10. Zhang, J., L., and Eckelman, C., “Rational Design of Multi-Dowel Corner Joints in Case Construction”, **Forest Product Journal**, 43(11/12): 52-58 (1993).
11. Gazo, R., Small Cabinets Shop Facts: Face Frames vs. Frameless Cabinets. Fact Sheet #3. **Lousiana Forest Products Laboratory**, Lousiana Agricultural Experimental Station, LSU., 1-2 (1995).
12. Scherer, G., W., “Step-by-step Guide to Designing, Building and Installing Home Custom Cabinets”, **Prentice Hall**. New York, 55-63 (1990).

13. Acord, T., "Which is Better, Face Frame or Frameless?", *Furniture and Design Manufacturing*, 58-62., (1999).
14. Kotas, T., "A Design Manual for Case Furniture", Furniture Development Council *Pergamaon Press*, New York, 20-25 (1958).
15. Efe, H., Kutu Konstrüksiyonlu Mobilya Köşe Birleştirmelerinde Rasyonel Kavela Tasarımı, *Politeknik Dergisi*, Ankara, 1(1-2): 41-54 (1998).
16. Efe, H., İmirzi, H., Ö., "Mobilya Üretiminde Kullanılan Çeşitli Bağlantı Elemanlarının Mekanik Davranış Özellikleri", *Politeknik Dergisi*, Ankara, 10(1) (2007).
17. Kasal, A., "Bazı Masif ve Kompozit Ağaç Malzemelerin Kavela Tutma Performanslarının Belirlenmesi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Ankara, 22(3) 387-397 (2007).
18. Eckelman, C., A., Cassens, D., L., "Withdrawal Strength of Dowels from Wood Composites", *Forest Product Journal*, 35 (5): 55-60 (1985).
19. Uysal, B., "Kenarları Masifli ve Masifsiz Yonga Levhada Kavela Çaplarının Çekme Direncine Etkileri", H.Ü. Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, *I. Uluslararası Mobilya Kongresi*, Bildiri Kitabı, İstanbul, 484-490 (1999).
20. Engleson, T., "Summary of the Investigations of Several Particleboards in the Swedish Forest Products Research Laboratory" Unnumbered Publication, *Swedish Forest Products Laboratory*, Stockholm, 35-38 (1973).
21. Eckelman, C., A., "Withdrawal Strength of Dowel Joints: Effect of Shear Strength", *Forest Product Journal*, 29(1): 48-52 (1979).
22. Cai, L., Wang, F., "Influence of the Stiffness of Corner Joints on Case Furniture Deflection", *Holz als Roh-und Werkstoff*, 51: 406-408 (1993).
23. Eckelman, C., A., "Which Screw Holds Best?", *Furniture Design and Manufacturing Magazine*, September, 46(9):184-186 (1974).
24. Rajak, Z., I., B., H., A., Eckelman, C., A., Edge and Face Withdrawal Strength of Large Screws in Particleboard and Medium Density Fiberboard, , *Forest Product Journal*, 43(4): 25-30 (1993).
25. Erdil, Y., Z., Zhang, J., L., Eckelman, C., A., "Holding Strength of Screws in Plywood and Oriented Stranboard", *Forest Product Journal*, 52(6) 55-62 (2002).
26. Efe, H., Erdil, Y., Z., Kasal, A., İmirzi, H., Ö., "Withdrawal Strength and Moment Resistance of Screwed T-Type End to Side Grain Furniture Joints", *Forest Products Journal*, 54(11): 91-97 (2004).

27. Broker, F. W., Krause, H.A., "Preliminary Investigations on the Holding Power of Dynamically Loaded Wood Screws", *Holz-als-Roh-und Werkstoff*, 49:10, 381-384 (1991).
28. Akyıldız, H., M., "Doğu Karadeniz Bölgesinde Yetişen Önemli Bazı Ağaç Odunlarının Çivi ve Vida Tutma Dirençleri", Yüksek Lisans Tezi, *K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzn, 1-2 (1999).
29. Örs, Y., Efe H., "Mobilya (Çerçeve Konstrüksiyon) Tasarımında Bağlantı Elemanlarının Mekanik Davranış Özellikleri", *Tr. J. of Agriculture and Forestry*, 22: 21-27, (1998).
30. Erdil, Y., Z., "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, 1-20 (1998).
31. Efe, H., "Kutu Konstrüksiyonlu Mobilyada Sabit (Yabancı Çıtalı) ve Demonte (Trapez) Köşe Birleştirmelerin Çekme ve Basma Dirençleri", *Politeknik Dergisi*, 2(4): 43-51, Ankara, (1999).
32. Efe, H., Kasal, A., "Kutu Konstrüksiyonlu Sabit ve Demonte Mobilya Köşe Birleştirmelerde Çekme Direnci", *Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, 8 (8) 61-74, Ankara, (2000).
33. Efe, H., Kasal, A., Tabla Tipi Mobilya Köşe Birleştirmelerinde Eğilme Direnci Özellikleri, *Teknoloji Dergisi*, 4(4) 33-45 (2000).
34. Efe, H., Kasal, A., Tabla Tipi Kavelalı Köşe Birleştirmelerde Tutkal Çeşidinin Çekme Direncine Etkileri, *Politeknik Dergisi*, 3(4): 67- 72, Ankara, (2000).
35. Örs, Y., Efe, H., Kasal, A., Kutu Konstrüksiyonlu Vidalı Mobilya Köşe Birleştirmelerinde Çekme Direnci, *Politeknik Dergisi*, 4(4) 1-9, Ankara, (2001).
36. Efe, H., Kasal, A., Gürleyen, L., Çeşitli Tutkallarla Yapıştırılmış Kutu Konstrüksiyonlu Kavelalı Köşe Birleştirmelerin Basınç Direnci, *Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, 10: 39 - 56, Ankara, (2002).
37. Efe, H., Kasal, A., Diler, H.,Kutu Konstrüksiyonlu Mobilyada Lambalı - Kınışlı Köşe Birleştirmelerin Eğilme Moment Direnci, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1): 111-124 (2003).
38. Efe, H., Kasal, A., Diler, H.,Kutu Konstrüksiyonlu Vidalı Mobilya Köşe Birleştirmelerde Eğilme Moment Dirençleri, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1): 97-110 (2003).

39. Zhang, J., L., and Eckelman, C., “The Bending Moment Resistance of Single-Dowel Corner Joints in Case Construction”, *Forest Product Journal*, 43(6): 19-24, (1993).
40. Lin, Shih-Chao., and Eckelman, C., “Rigidty of Furniture Cases With Various Joint Construction”, *Forest Product Journal* 37(1):23-27 (1987).
41. Eckelman, C., and S., Munz., “Rational Design of Cases With Front Frames and Semi-Rigid Joints”, *Forest Product Journal* 37(3):25-31 (1987).
42. Norvydas, V., Papreckis, b., Influence of Dowel Diameter on the Fracture Moment of Glued Doweled Joints, *Materials Science*, 7(3) 164-167 (2001).
43. Güntekin, E., “Montaja Hazır Mobilya Birleştirmelerinin Performansları”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 2: 37-48 (2003).
44. Özçiftçi, A., Altınok, M., Özen, R., Kutu Mobilyada Bazı Köşe Birleştirmelerin Mukavemet Özelliklerine Ait Deneysel Sonuçların İstatistiksel Analizi ve Değerlendirilmesi, *Journal of Scientific Research Foundation*, 1(2) 63-70 (1996).
45. Tankut, A., Optimum dowel spacing for corner joints in 32-mm cabinet construction *Forest Product Journal* 55(12): 100-104 (2005).
46. Mostowski, R., Sydor, M., “Board Delamination With Edge Breakage As One Of Failure Mechanisms In Semi-Rigid Corner Connections – Numerical Analysis”, *47th International Conference Of Departments Of Design Of Machine Elements And Mechanisms*, (2006).
47. Efe, H., Kasal, A., “Çeşitli Masif ve Kompozit Ağaç Malzemelerin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 10(3) (2007).
48. Göker, Y., Akbulut, T., Ayrılmış, N., “Türkiye’de Üretilen MDF Levhaların Teknolojik Özellikleri” İstanbul Üniversitesi *Orman Fakültesi Dergisi* ,13-33, (2002).
49. Zhang, J., Quin, F., and Tackett, B., “Bending Strength and Stiffness of Two-pin Dowel Joints Constructed of Wood and Wood Composites”, *Forest Product Journal*, 51 (2) : 29–35 (2001).
50. Anıl, Ö., Belgin, M., Ç., “Monotonik Yükleme Etkisi Altındaki Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kirişlerin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Doğrusal Olmayan Analizi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 22(1) 191-197 (2007).
51. Topçu, M., Taşgetiren, S., “Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi *Ders Kitapları*, Yayın No: 007, Denizli, 1-4 (1998).

52. Cai, L., Wang, F., Tan, H., Study on the Strength of Multinject Corner Joints of Furniture, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 53: 385-388 (1995).
53. Gustafsson, S. I., "Furniture Design by Use of the Finite Element Method", *Holz als Roh-und Werkstoff*, 53 (4): 257-260 (1995).
54. Gustafsson, S. I., "Finite Element Modelling Versus Reality for Birch Chairs", *Holz als Roh-und Werkstoff*, 54 (5) : 355-359 (1996).
55. Gustafsson, S. I., "Optimising Ash Wood Chairs", *Wood Science and Technology*, 31 (4) : 291-301 (1997).
56. Smardzewski, J., "Numerical Analysis of Furniture Constructions", *Wood Science and Technology*, 32 (4) : 273-286 (1998).
57. Smardzewski, J., "Strength of Profile-Adhesive Joints", *Wood Science and Technology*, 36 : 173-183 (2002).
58. Nicholls, T., Crisan, R., "Study of the Stress-Strain State in Corner Joints and Box Type Furniture Using Finite Element Analysis (FEA)", *Holz als Roh-und Werkstoff*, 60 : 66-71 (2002).
59. Eckelman, C. A., Lin, F. C., Zhang, J., "A Technique for Structural Modeling of Front Rails for Sofas", *Holz als Roh-und Werkstoff*, 60 : 60-65 (2002).
60. Efe, H., Erdil, Y., Z., Kasal, A., "Mobilya Mühendislik Tasarımında Mobilya Sistemlerinin Sonlu Elemanlar Metoduyla Optimizasyonu", G. Ü. T. E. F., *I. İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Bildiri Kitabı, Ankara, 315-323 (2003).
61. Crisan, R., An Investigation into the Stres-Strain State of Case Furniture, *Ph.D. Thesis*, (2000).
62. Erdil, Y., Z., "Integrated Product Engineering and Performance Testing of Furniture", Ph.D. Thesis, *Purdue University*, West Lafayette, Indiana, 2-19 (2002).
63. Eckelman, C., A., Erdil, Y., Z., Furniture Engeneering and Quality of Life, H.Ü., Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, *I.Uluslar arası Mobilya Kongresi*, Bildiri Kitabı, İstanbul, 306-332 (1999).
64. Altınok, M., "Sandalye Tasarımında Gerilme Analizine Göre Mukavemet Elemanlarının Boyutlandırılması", Doktora Tezi, *G. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 38-47 (1995).
65. Eren, S., Evaluation and Development of Methods of Improving Fasteners and Joints Performance in Wood-base Composite Case Furniture, Ph.D. Thesis, *Purdue University*, 1-4 (1999).

66. Güntekin E., Engineering Feasibility of Recyclable Space Board Panels in Construction of Case Furniture, Master of Science, *State University of New York Col. of Environmental Science&Forestry*, 1-2 (1996).
67. Denizli, N., Improving the Strength and Durability of Panel-Based Cabinet Furniture, *Ph.D. Thesis, Purdue University*, 1-2 (2001).
68. Hüsing, L., “Mathematical and experimental studies on strength end deformation of carcass furniture on the assumption of elasto-mechanical principles and shiftable angle joints”, Dissertation, Hamburg Univ. (Germany, F.R.). Fachbereich Biologie, *Institute for Wood Physics and Mechanical Technology of Wood*, Hamburg, (1986).
69. Eckelman, C., A., Rabiej, R., “A Comprehensive Method of Analysis of Case Furniture”, *Forest Product Journal* 35(4):62-68 (1985).
70. Norvydas, V., “Research And Evaluation Of Strength And Fracture Of The Doweled Furniture Joint”, *Kaunas University of Technology Institute Kaunas*, Doctoral Disertation, 4-8 (2004).
71. Park, H., J., Semple, K., Smith, G., D., “Kutu Konstrüksiyonda Vidalı Yonga Levha Birleştirmelerinin Yük Kapasiteleri Üzerine Vida Dış Şekli ve Bağlantı Tipinin Etkisi”, *Forest Product Journal* 56(4): 44-48 (2006).
72. TS EN 312, “Yonga Levhalar-Genel Özellikler”, *T.S.E.*, Ankara, (Mart), (2005).
73. TS 64-5 EN 622-5, “Lif Levhalar-Özellikler-Bölüm 5: Kuru İşlem Levhalarının (MDF) Özellikleri”, *T.S.E.*, Ankara, (Mart), (1999).
74. TS 4645 EN 636 “Kontreplak-Özellikler”, *T.S.E.*, Ankara, (Nisan), (2005).
75. TS 3891, “Yapıştırıcılar- Polivinil Asetat Esaslı Emülsiyon (Ahşap Malzeme İçin)”, *T.S.E.*, Ankara, (Şubat), (1983).
76. TS 4539, “Ahşap Birleştirmeler- Kavelalı Birleştirme Kuralları”, *T.S.E.*, Ankara, (Şubat), (1983).
77. TS 61, “Ağaç Vidaları”, *T.S.E.*, Ankara, (1978).
78. TS 80, “Bağlama Elemanları-Vida Dışı Açılmış Genel Esaslar”, *T.S.E.*, (Mart), Ankara, (1988).
79. Forest Products Laboratory, Wood handbook--Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, *Forest Products Laboratory*. Chapter 7 Fastening 7-10, (1999).

80. ASTM-D-1037, Standart Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials, *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.10., (2002).
81. TS 2472 “Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler İçin Birim Hacim Ağırlığı Tayini”, *T.S.E.*, Ankara, (1976).
82. TS EN 323 “Ahşap Esaslı Levhalar – Birim Hacim Ağırlığının Tayini”, *T.S.E.*, Ankara, (1999).
83. TS 2471, “Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler İçin Rutubet Miktarının Tayini”, *T.S.E.*, Ankara, (1976).
84. TS EN 322 “Ahşap Esaslı Levhalar – Rutubet Miktarının Tayini”, *T.S.E.*, Ankara, (1999).
85. TS 2475 “Odunda Liflere Paralel Doğrultuda Çekme Gerilmesinin Tayini”, *T.S.E.*, Ankara, (1976).
86. ASTM-D-3500-90, Standart Test Methods for Structural Panels in Tension, *ASTM Standards*, Vol 04.10., (2002).
87. TS 5191, Kontrplak-Çekme Mukavemeti ve Elastikiyet Modülünün Tayini, *T.S.E.*, Ankara, (1987).
88. TS 2595 “Odunun Liflere Paralel Doğrultuda Basınç Dayanımı Tayini”, *T.S.E.*, Ankara, (1977).
89. Göker, Y., Kantay, R., Kurtoğlu, A., Üç Tabakalı ve Okal Tipi Yongalevhaların Teknolojik Özellikleri Üzerine Araştırmalar, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*, No: 3243 66 (1983).
90. BS 1811, Methodsof Test for Wood Chipboard and Other Particle Board, *British Standards Institution*, (1969).
91. TS 2474 “Odunun Statik Eğilme Dayanımının Tayini”, *T.S.E.*, Ankara, (1976).
92. TS EN 310 “Ahşap Esaslı Levhalar–Eğilme Dayanımı ve Elastikiyet Modülünün Tayini”, *T.S.E.*, Ankara, (1999).
93. TS 2478 “Odunun Statik Eğilmede Elastikiyet Modülünün Tayini”, *T.S.E.*, Ankara, (1976).
94. TS EN 319, Yonga levhalar ve Lif levhalar-Levha Yüzeyine Dik Çekme Dayanımının Tayini, *T.S.E.*, Ankara, (1999).

95. TS 5192, Yonga levhalar- Yüzeye Paralel Yöndeki Makaslama Mukavemetinin Tayini, *T.S.E.*, Ankara, (1987).
96. TS EN 13446, “Ahşap Esaslı Levhalar-Bağlayıcıların Geri Çıkma Kapasitesinin Tayini”, *T.S.E.*, Ankara, (Şubat), (2005).
97. TS EN 320, “Lif Levhalar-Vida Tutma Kabiliyetinin (mukavemetinin) Tayini”, *T.S.E.*, Ankara, (Mart), (1999).
98. Albin, R., Müller, M., Scholze, H., “Investigations on the strength of corner joints in case-type furniture” *Holz als Roh- und Werkstoff* 45 (5): 171-178, (1987).
99. TS 4539, “Ahşap Birleştirmeler – Kavelalı Birleştirme Kuralları”, *T.S.E.* , Ankara, (1985).
100. Güntekin, E., “Kavelalı Mobilya Köşe Birleştirmelerinin Sonlu Elemanlar Analizi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri: A, 1: 159-169 (2004).
101. Jamaludin, M. A., “Prediction of the strength of typical furniture and its immediate members”, Ph.D. Dissertation, *Mississippi State University*, MS, USA, (1995).
102. MacNeal, B., E., FEA: A guide to the future. In: What every engineer should know about finite element analysis, Brauer, J.R. ed. Second edition. *Marcel Dekker*, Inc. New York. USA, (1993).
103. www1.ansys.com/customer/content/documentation/80/ansys/Hlp_E_SOLID64.html - 22k -(2007).
104. Ersoy, H., Y., “Kompozit Malzeme”, *Literatür Yayınları*, Ekim, İstanbul, 66: 184-197 (2001).
105. Jones, M., J., “Mechanics of Composite Materials”, Scripta Book Company, Washington, D.C., *Mcgraw-Hill Book Company*, New York, 12-14 (1975).
106. Berkel, A., “Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi” *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi*, İstanbul 432-440 .
107. Bozkurt, Y., Göker, Y., “Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi”, *Ders Kitabı*, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 230-240 1987.
108. Gawroński, T., “Rigidity-Strength Models And Stress Distribution In Housed Tenon Joints Subjected To Torsion”, *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, Wood Technology, Volume 9, Issue4. Available Online <http://www.ejpau.media.pl/volume9/issue4/art-32.html>, 2006.

109. De Magistris, F., Salmen L., “Combined shear and compression analysis using the losipescu device: analytical and experimental studies of medium density fiberboard”, *Wood Sci. Technol.* no 37. Online Springer-Verlag 509-521 (2004).
110. Sydor M.: Construction properties of semi-rigid joints of wood-based boards with fasteners. PhD dissertation, WMT, *Poznan University of Technology* (2005) (in Polish).
111. Bodig, J. and Jayne, B.A., “Mechanics of wood and wood composites”, *Krieger Publishing Company*, Malabar, Florida, (1982).
112. Serrano1, E., Enquist, B., “Assessment of the Strain Distribution in Wood Adhesive Bonds by Contact-free Measurement and Finite Element Analyses”, www.sp.se/sv/index/resources/contact-free deformation/Documents/Contact_free_article.pdf (2007).
113. Smardzewski J., Ożarska B., “Rigidity Of Cabinet Furniture With Semi-Rigid Joints Of The Conformat Type”, *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, Wood Technology, 8(2): (2005).
114. ISO 7170 Furniture-Storage units-Determination of strength and durability *ISO* 7170:2005(E).
115. Akbulut, T., Göker, Y., Ayrılmış, N., “OSB Levhalarının Kontrplak Yerine Kullanılması”, İstanbul Üniversitesi *Orman Fakültesi Dergisi*, 52(1): 65-74 (2002).

EKLER

EK-1 Eğilme deneyleri analizleri

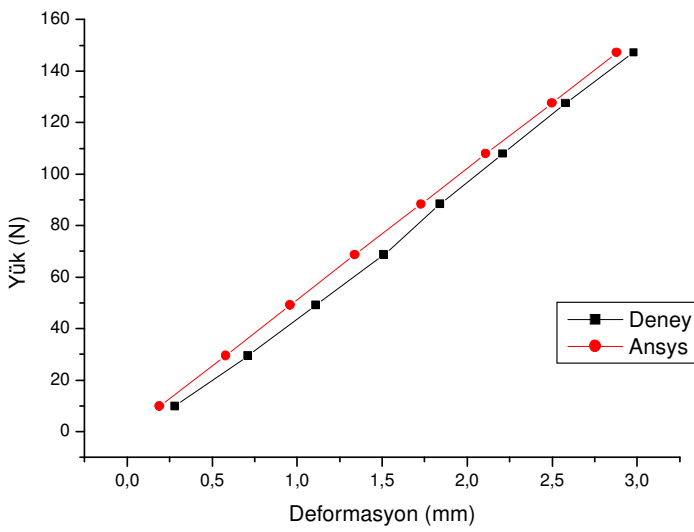
“L” tipi köşe birleştirme eğilme deneylerinde Ansys analiz sonucunda elde edilen düğüm ve eleman sayıları ise Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Eğilme deneylerinde ansys programında düğüm ve eleman sayıları

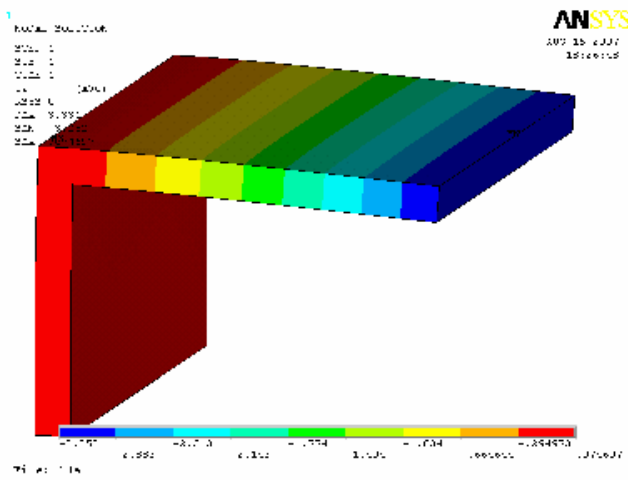
Birleştirme Tekniği	Levha Kalınlığı	Node-Düğüm Sayısı	Element-Eleman Sayısı
Kavelalı	14	17 517	84 009
	16	18 059	87 375
	18	20 361	100 732
Kavelalı Vidalı	14	20 989	104 576
	16	22 367	113 215
	18	25 823	133 340

EK-1 (Devam) Eğilme deneyleri analizleri

18 mm kalınlığında kavelalı birleştirilmiş yonga levha ile üretilen örneklerin, eğilme deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon Ansys ve deney sonuçları karşılaştırması Şekil 1.1’de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 1.1’de, gerilme-stress değişimleri Resim 1.2’de, üniversal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 1.3’de gösterilmiştir.

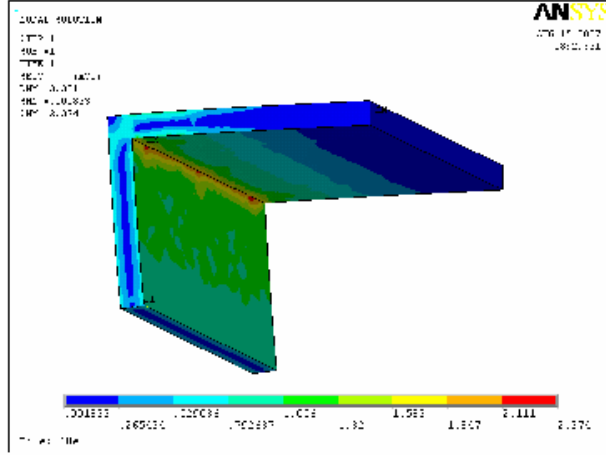


Şekil 1.1. 18 mm kalınlığındaki kavelalı birleştirilmiş yonga levha ile üretilen eğilme deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen ansys ve deney sonuçları arasındaki ilişki

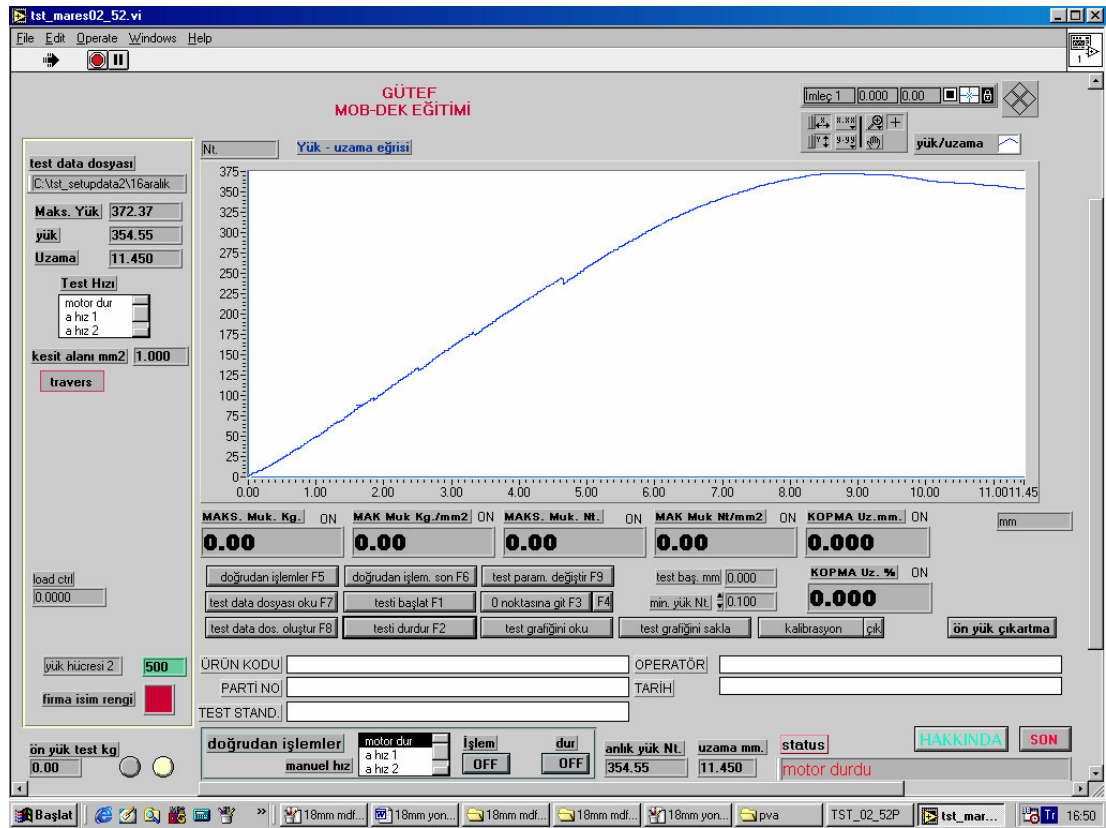


Resim 1.1. Ansys sonucu elde edilen yer-değiştirme (18 mm yonga levha kavelalı)

EK-1 (Devam) Eğilme deneyleri analizleri



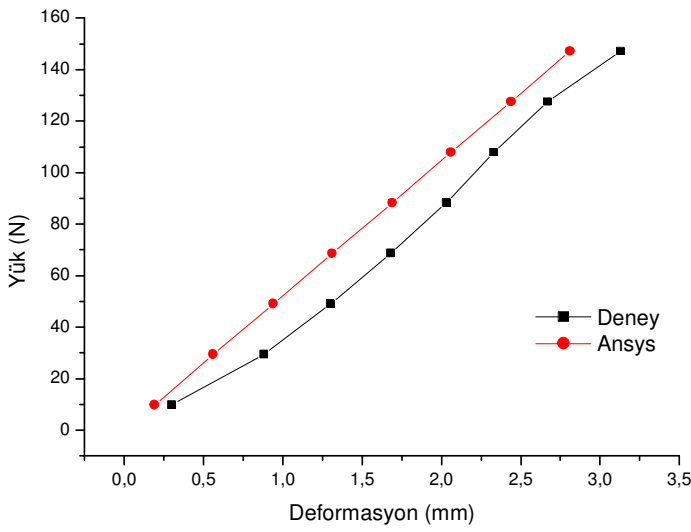
Resim 1.2. Ansys sonucunda elde edilen gerilme değeri (18 mm yonga levha kavelalı)



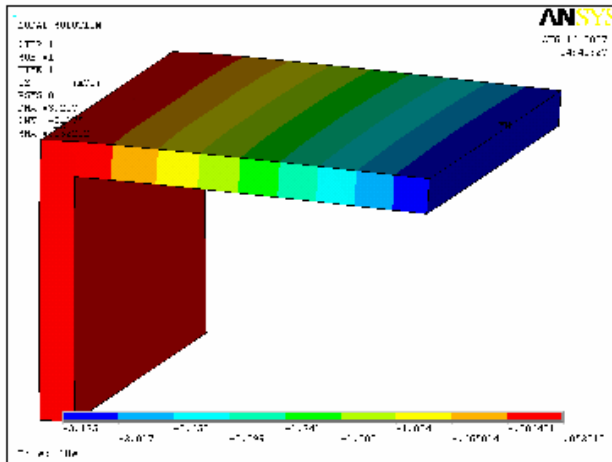
Resim 1.3. Üniversal test makinesinde eğilme deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon grafiği (18 mm yonga levha kavelalı)

EK-1 (Devam) Eğilme deneyleri analizleri

18 mm kalınlığında kavelalı birleştirilmiş MDF ile üretilen örneklerin, eğilme deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon Ansys ve deney sonuçları karşılaştırması Şekil 1.2’de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 1.4’de, gerilme-stress değişimleri Resim 1.5’de, universal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 1.6’da gösterilmiştir.



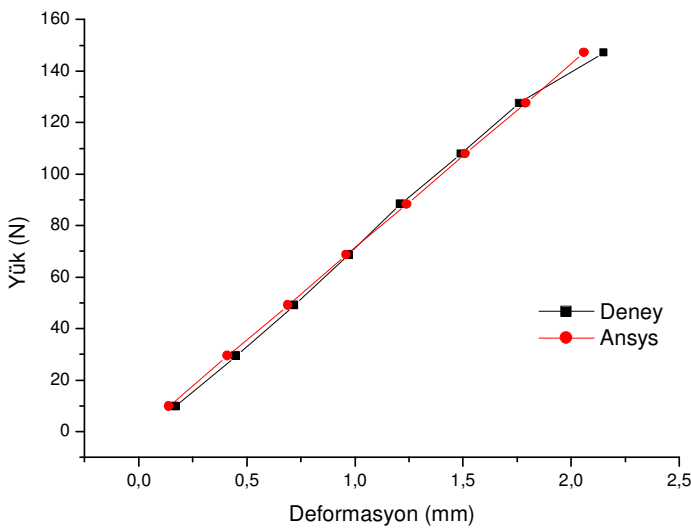
Şekil 1.2. 18 mm kalınlığındaki kavelalı birleştirilmiş MDF ile üretilen eğilme deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen ansys ve deney sonuçları arasındaki ilişki



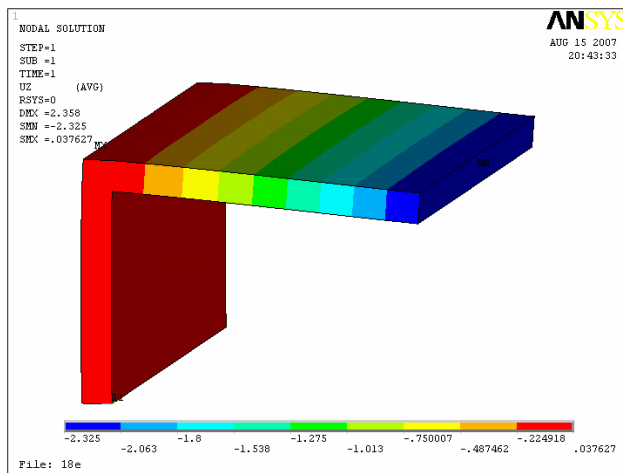
Resim 1.4. Ansys sonucu elde edilen yer-değiştirme (18 mm MDF kavelalı)

EK-1 (Devam) Eğilme deneyleri analizleri

18 mm kalınlığında kavelalı birleştirilmiş kontrplak ile üretilen örneklerin, eğilme deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon Ansys ve deney sonuçları karşılaştırması Şekil 1.3’de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 1.7’de, gerilme-stress değişimleri Resim 1.8’de, üniversal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 1.9’da gösterilmiştir.

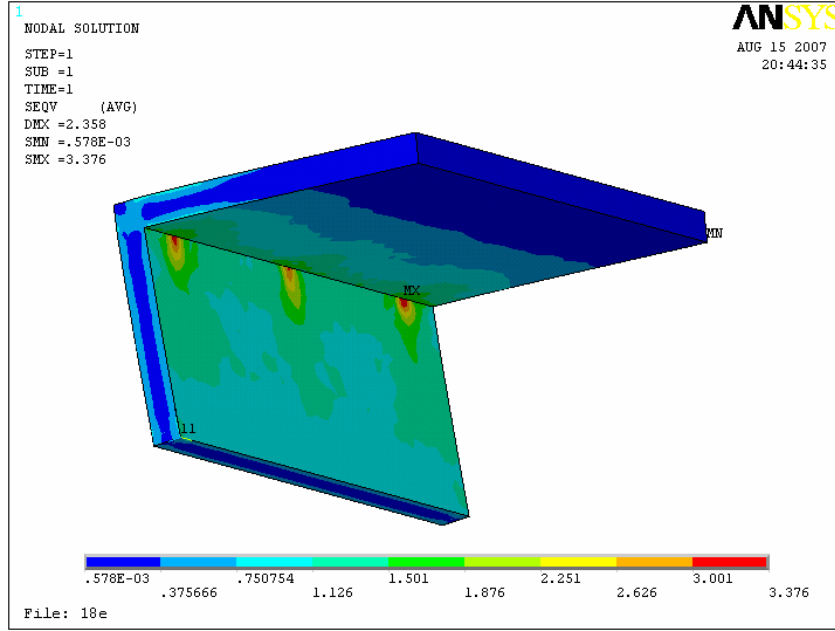


Şekil 1.3. 18 mm kalınlığındaki kavelalı birleştirilmiş kontrplak ile üretilen eğilme deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen ansys ve deney sonuçları arasındaki ilişki

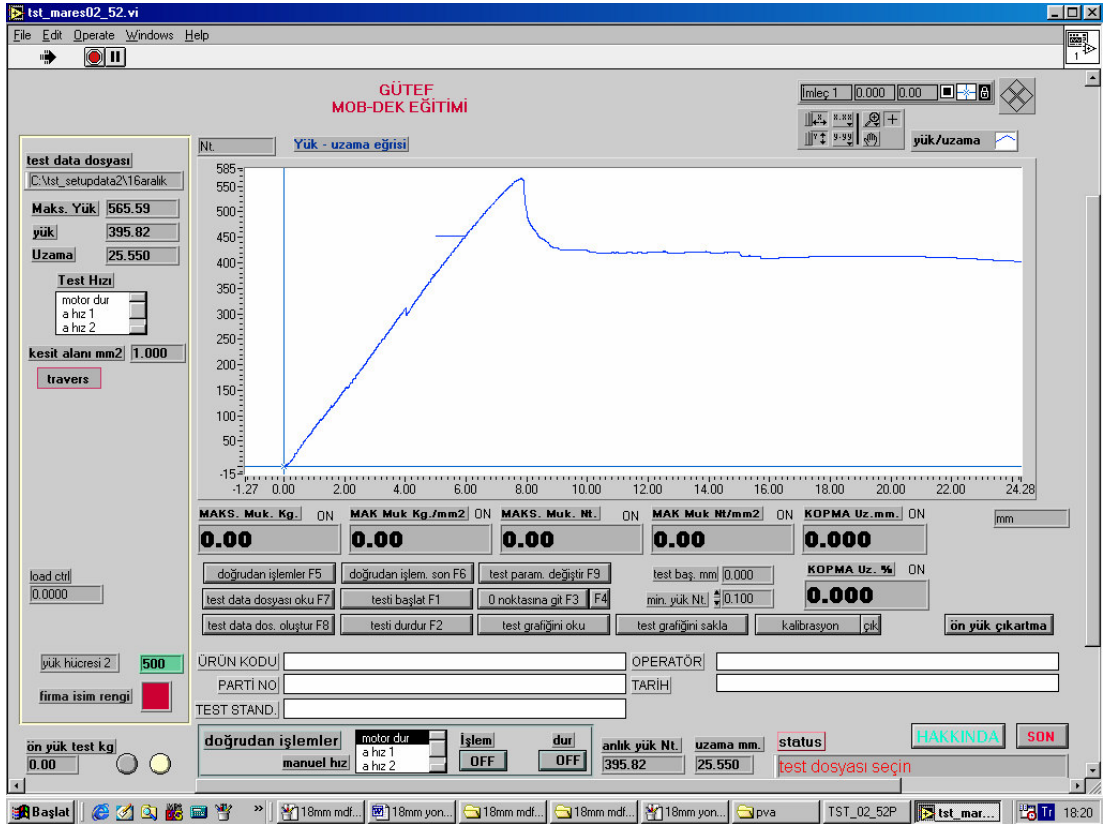


Resim 1.7. Ansys sonucu elde edilen yer-değiştirme (18 mm kontrplak kavelalı)

EK-1 (Devam) Eğilme deneyleri analizleri



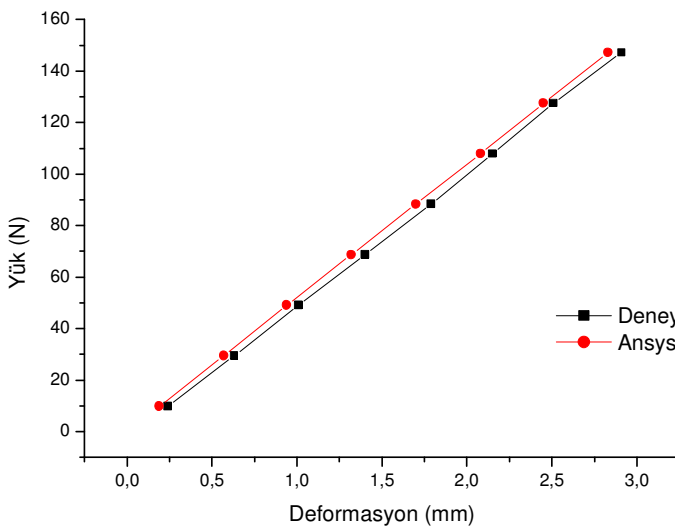
Resim 1.8. Ansys sonucunda elde edilen gerilme değeri (18 mm kontrplak kavelalı)



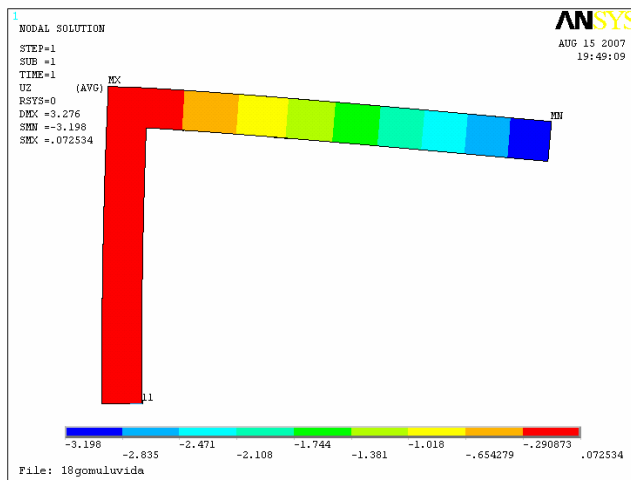
Resim 1.9. Üniversal test makinesinde eğilme deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon grafiği (18 mm kontrplak kavelalı)

EK-1 (Devam) Eğilme deneyleri analizleri

18 mm kalınlığında kavelalı vidalı birleştirilmiş yonga levha ile üretilen örneklerin, eğilme deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon Ansys ve deney sonuçları karşılaştırması Şekil 1.4’de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 1.10’da, gerilme-stress değişimleri Resim 1.11’de, üniversal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 1.12’de gösterilmiştir.

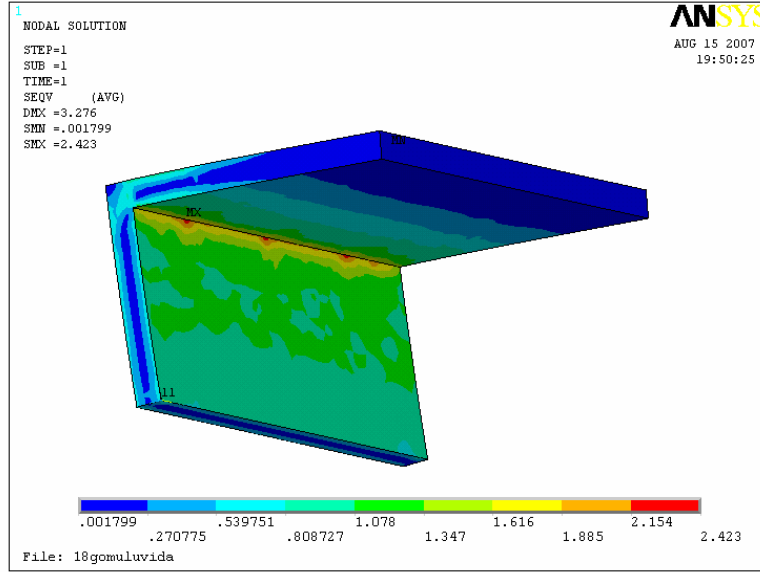


Şekil 1.4. 18 mm kalınlığındaki kavelalı vidalı birleştirilmiş yonga levha ile üretilen eğilme deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen ansys ve deney sonuçları arasındaki ilişki

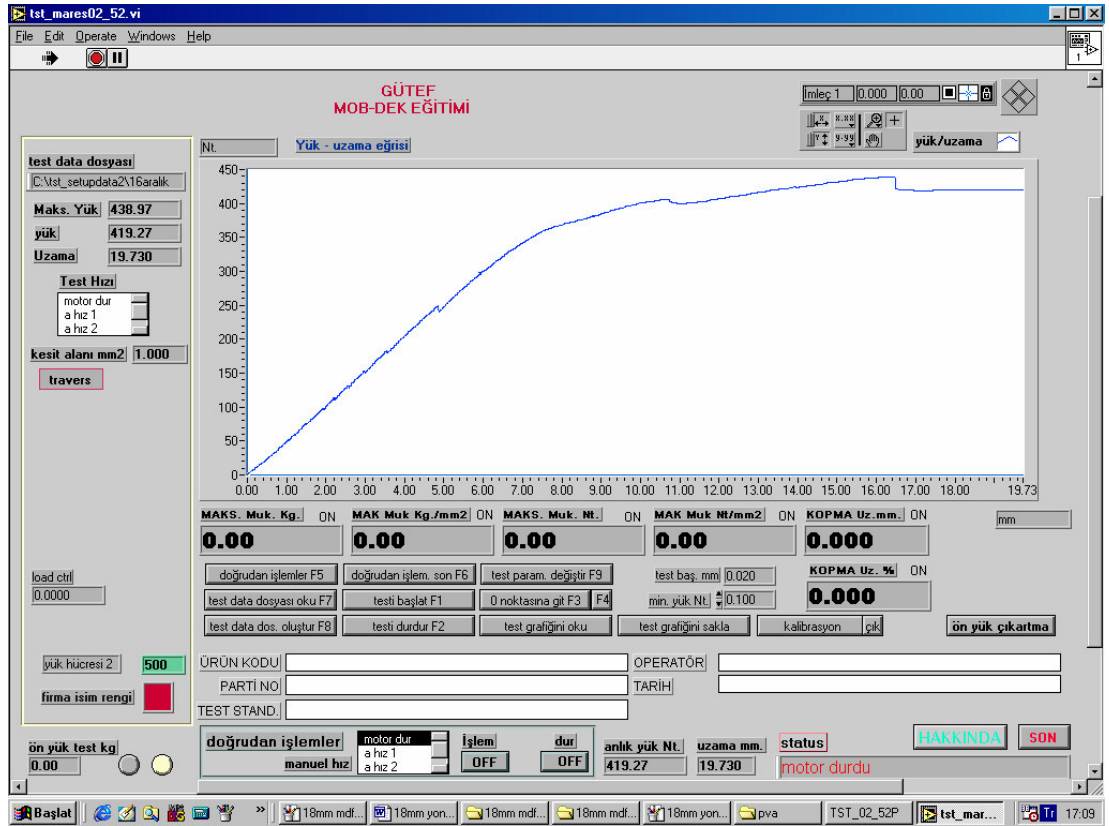


Resim 1.10. Ansys sonucu elde edilen yer-değiştirme (18 mm yonga levha vidalı)

EK-1 (Devam) Eğilme deneyleri analizleri



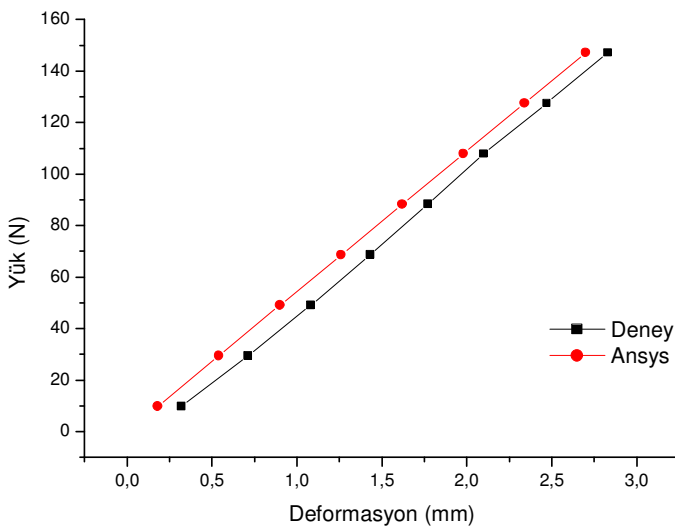
Resim 1.11. Ansys sonucunda elde edilen gerilme değeri (18 mm yonga levha vidalı)



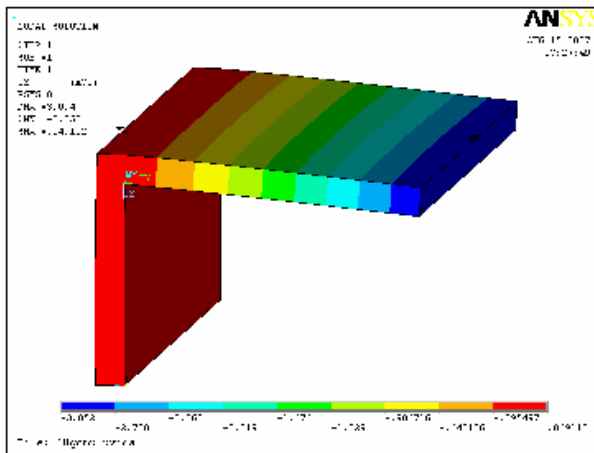
Resim 1.12. Üniversal test makinesinde eğilme deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon grafiği (18 mm yonga levha vidalı)

EK-1 (Devam) Eğilme deneyleri analizleri

18 mm kalınlığında vidalı birleştirilmiş MDF ile üretilen örneklerin, eğilme deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon Ansys ve deney sonuçları karşılaştırması Şekil 1.5’de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 1.13’de, gerilme-stress değişimleri Resim 1.14’de, üniversal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 1.15’de gösterilmiştir.

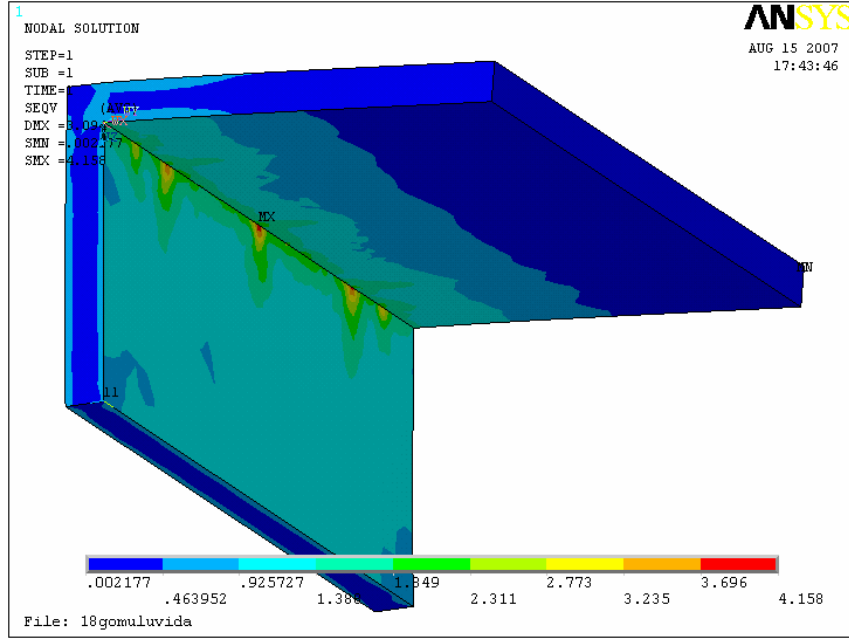


Şekil 1.5. 18 mm kalınlığındaki vidalı birleştirilmiş MDF ile üretilen eğilme deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen ansys ve deney sonuçları arasındaki ilişki

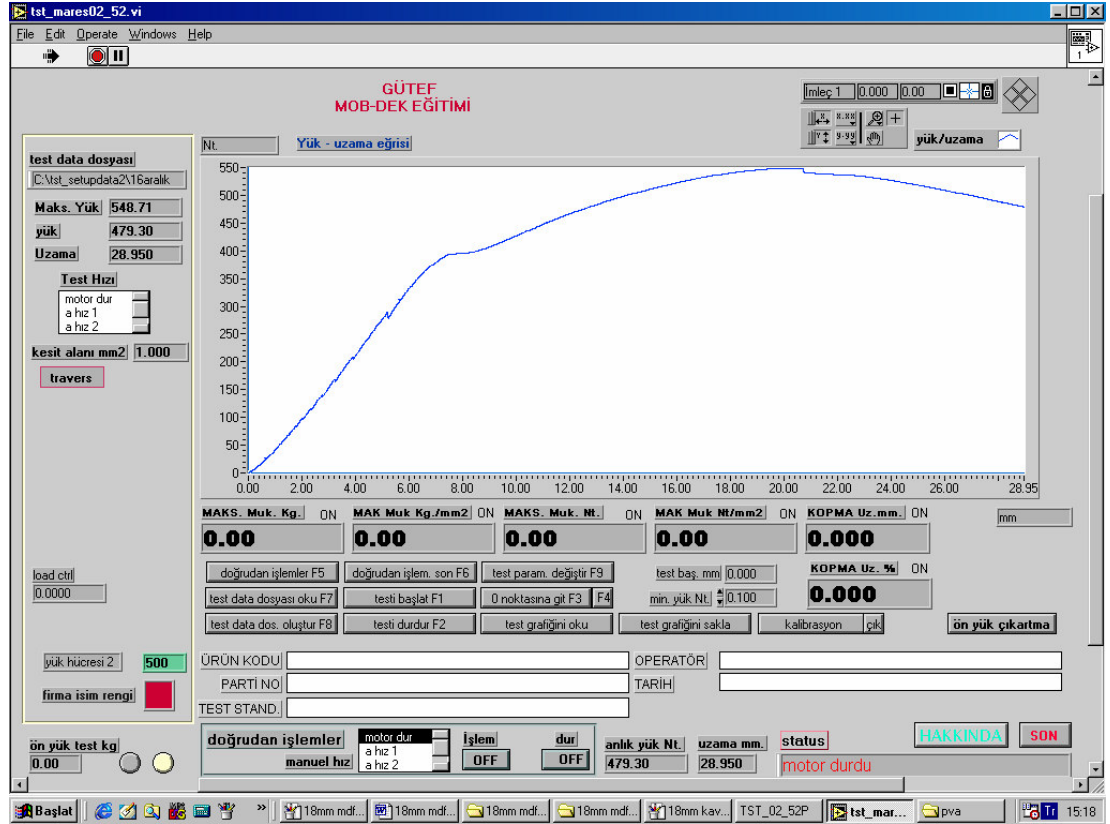


Resim 1.13. Ansys sonucu elde edilen yer-değiştirme (18 mm MDF vidalı)

EK-1 (Devam) Eğilme deneyleri analizleri



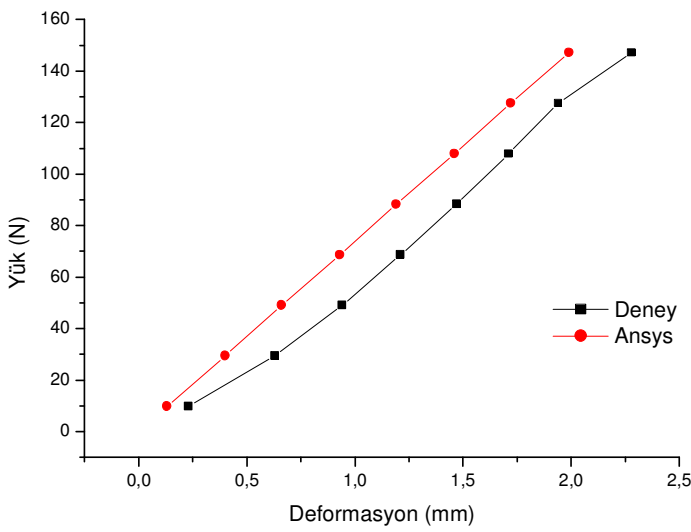
Resim 1.14. Ansys sonucunda elde edilen gerilme değeri (18 mm MDF vidalı)



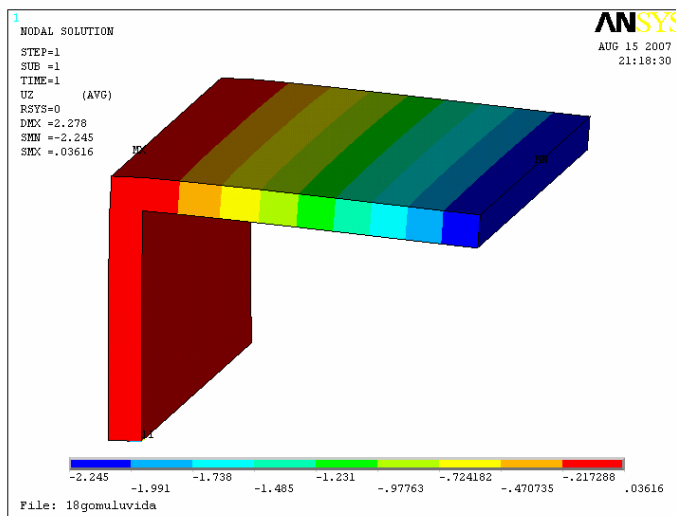
Resim 1.15. Üniversal test makinesinde eğilme deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon grafiği (18 mm MDF vidalı)

EK-1 (Devam) Eğilme deneyleri analizleri

18 mm kalınlığında vidalı birleştirilmiş kontrplak ile üretilen örneklerin, eğilme deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon Ansys ve deney sonuçları karşılaştırması Şekil 1.6'da, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 1.16'da, gerilme-stress değişimleri Resim 1.17'de, universal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 1.18'de gösterilmiştir.

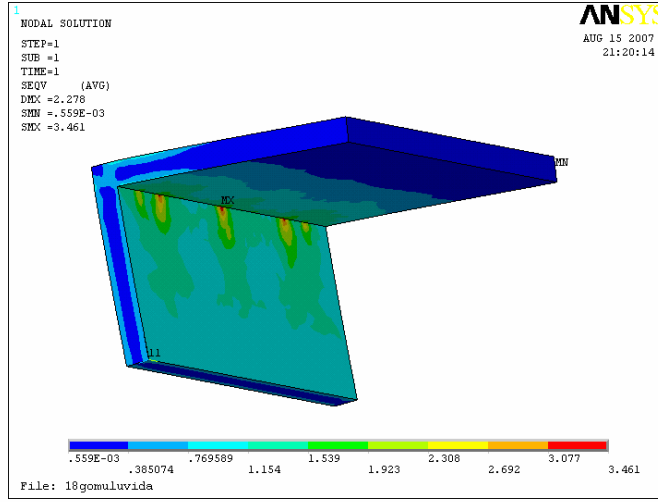


Şekil 1.6. 18 mm kalınlığındaki vidalı birleştirilmiş kontrplak ile üretilen eğilme deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen ansys ve deney sonuçları arasındaki ilişki

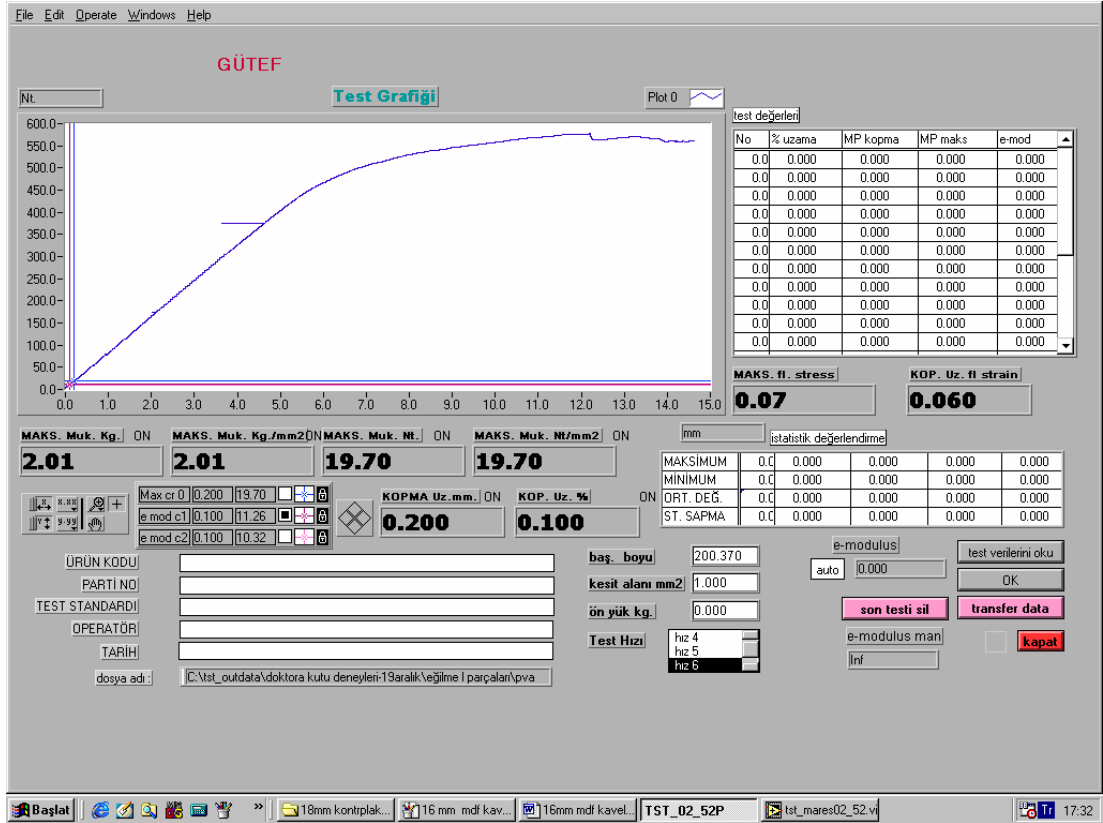


Resim 1.16. Ansys sonucu elde edilen yer-değiştirme (18 mm kontrplak vidalı)

EK-1 (Devam) Eğilme deneyleri analizleri



Resim 1.17. Ansys sonucunda elde edilen gerilme değeri (18 mm kontrplak vidalı)



Resim 1.18. Üniversal test makinesinde eğilme deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon grafiği (18 mm kontrplak vidalı)

EK-2 Çekme deneyleri analizleri

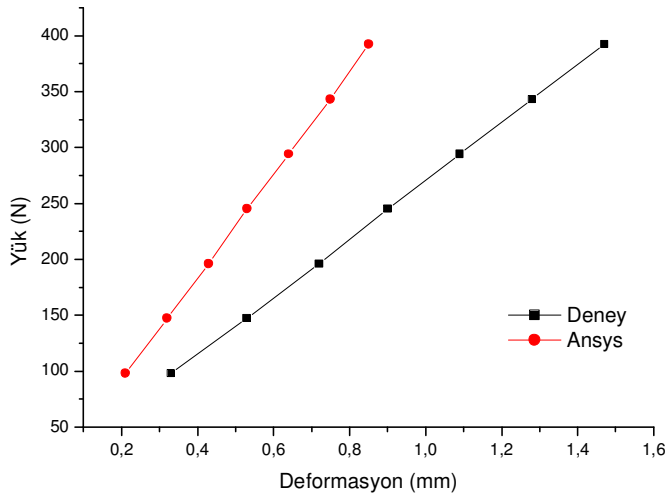
“L” tipi köşe birleştirme diyagonal çekme deneylerinde Ansys analiz sonucunda elde edilen düğüm ve eleman sayıları ise Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Diyagonal çekme deneylerinde ansys programında düğüm ve eleman sayıları

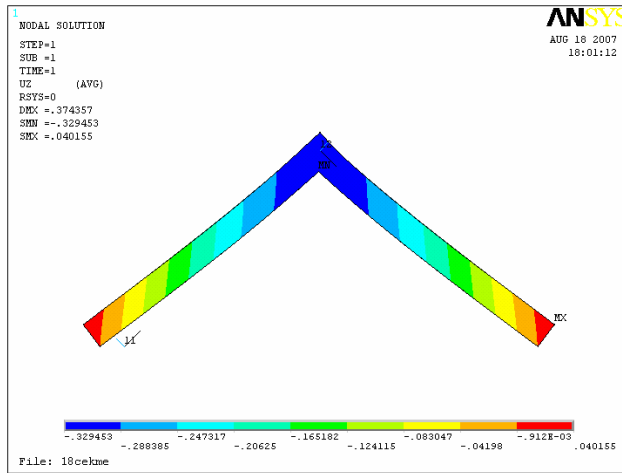
Birleştirme Tekniği	Levha Kalınlığı	Node-Düğüm Sayısı	Element-Eleman Sayısı
Kavelalı	14	18 922	89 733
	16	19 663	94 467
	18	21 109	103 366
Kavelalı Vidalı	14	22 366	109 930
	16	23 073	114 504
	18	26 618	135 667

EK-2 (Devam) çekme deneyleri analizleri

18 mm kalınlığında kavelalı birleştirilmiş yonga levha ile üretilen örneklerin, çekme deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon Ansys ve deney sonuçları karşılaştırması Şekil 2.1’de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 2.1’de, gerilme-stress değişimleri Resim 2.2’de, üniversal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 2.3’de gösterilmiştir.

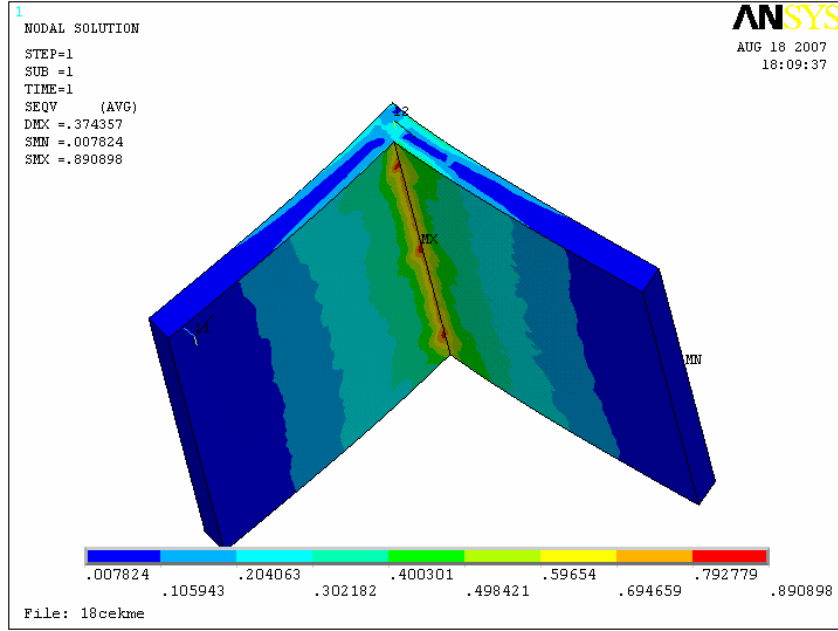


Şekil 2.1. 18 mm kalınlığındaki kavelalı birleştirilmiş yonga levha ile üretilen çekme deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen ansys ve deney sonuçları arasındaki ilişki

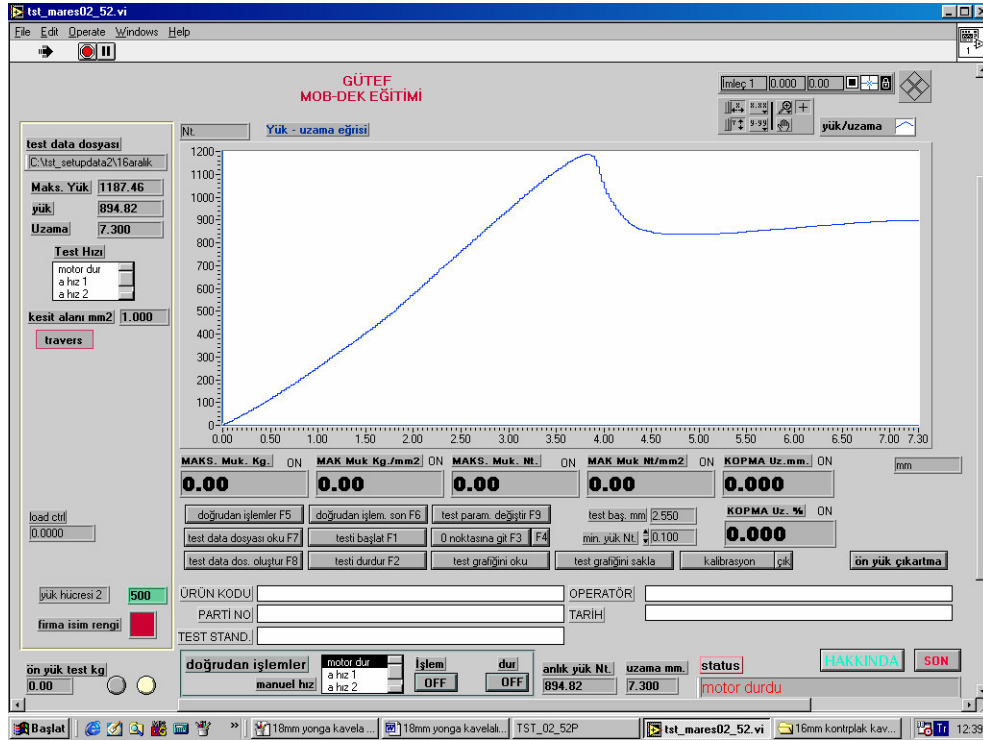


Resim 2.1. Ansys sonucu elde edilen yer-değiştirme (18 mm yonga levha kavelalı)

EK-2 (Devam) Çekme deneyleri analizleri



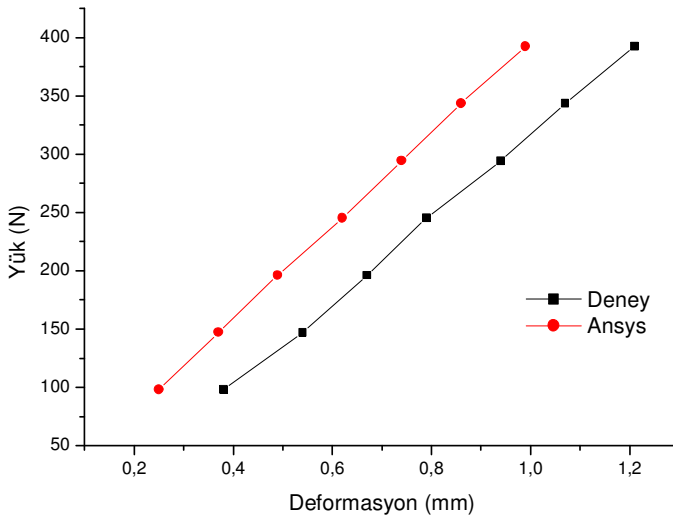
Resim 2.2. Ansys sonucunda elde edilen gerilme değeri (18 mm yonga levha kavelalı)



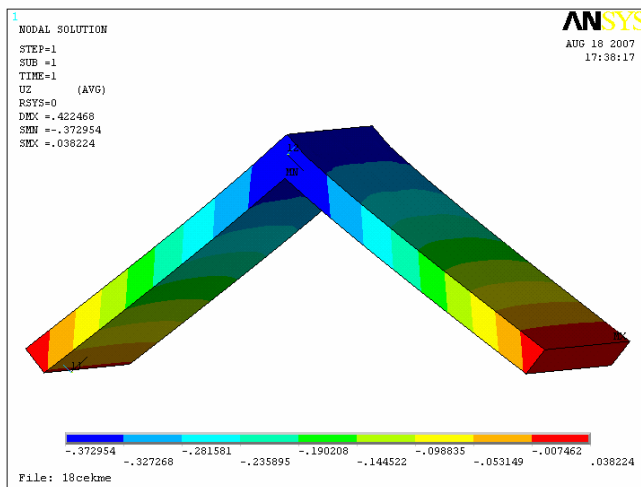
Resim 2.3. Ünlversal test makinesinde çekme deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon grafiğı (18 mm yonga levha kavelalı)

EK-2 (Devam) çekme deneyleri analizleri

18 mm kalınlığında kavelalı birleştirilmiş MDF ile üretilen örneklerin, çekme deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon Ansys ve deney sonuçları karşılaştırması Şekil 2.2’de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 2.4’de, gerilme-stress değişimleri Resim 2.5’de, universal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 2.6’da gösterilmiştir.

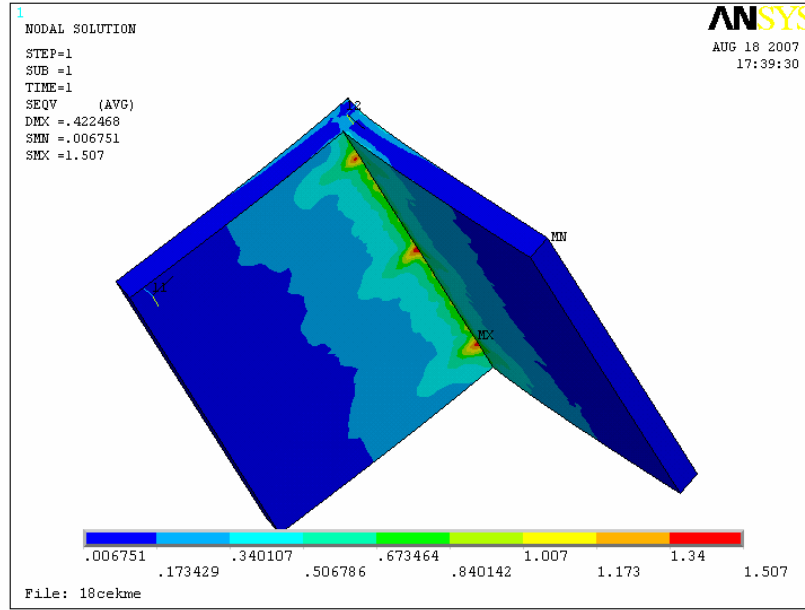


Şekil 2.6. 18 mm kalınlığındaki kavelalı birleştirilmiş MDF ile üretilen çekme deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen ansys ve deney sonuçları arasındaki ilişki

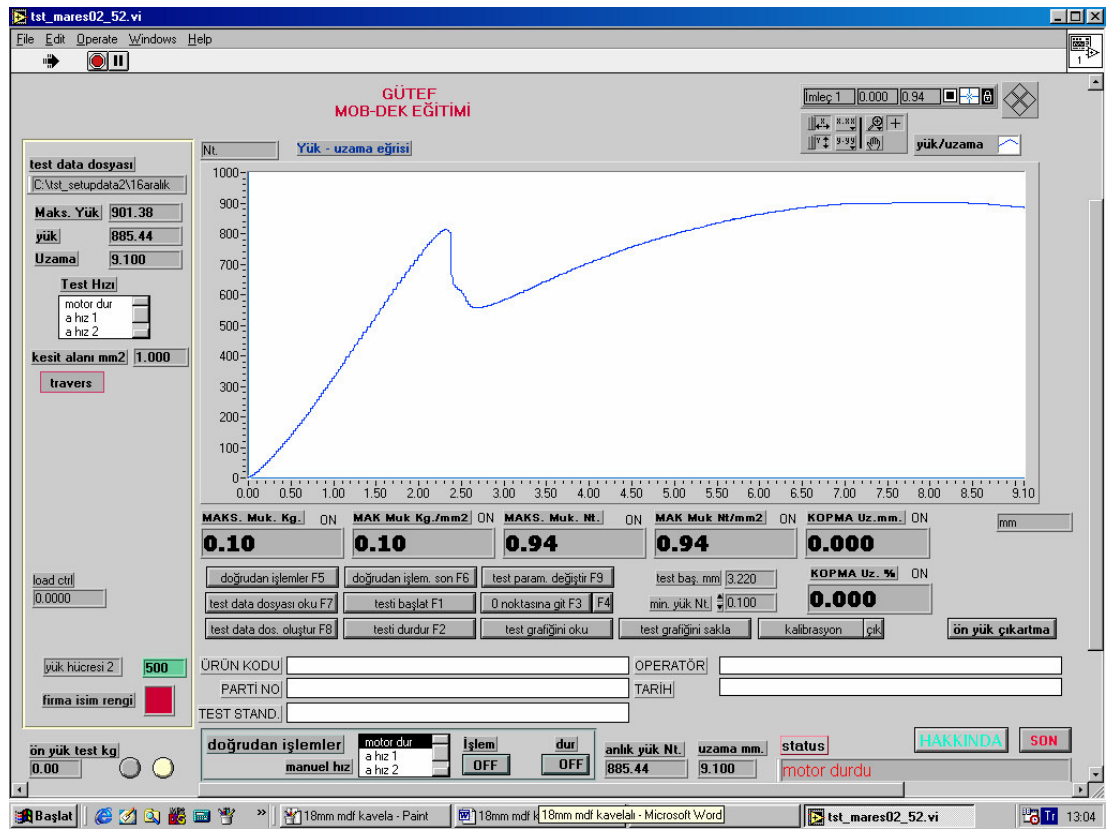


Resim 2.4. Ansys sonucu elde edilen yer-değiştirme (18 mm MDF kavelalı)

EK-2 (Devam) Çekme deneyleri analizleri



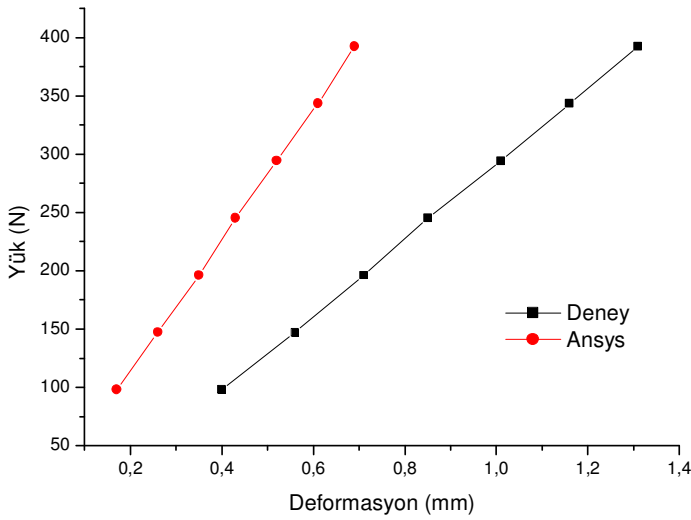
Resim 2.5 Ansys sonucunda elde edilen gerilme değeri (18 mm MDF kavelalı)



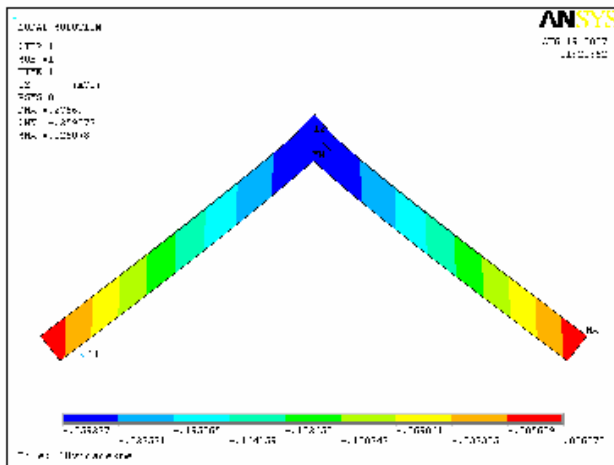
Resim 2.6. Üniversal test makinesinde çekme deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon grafiği (18 mm MDF kavelalı)

EK-2 (Devam) çekme deneyleri analizleri

18 mm kalınlığında kavelalı birleştirilmiş kontrplak ile üretilen örneklerin, çekme deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon Ansys ve deney sonuçları karşılaştırması Şekil 2.3’de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 2.7’de, gerilme-stress değişimleri Resim 2.8’de, üniversal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 2.9’da gösterilmiştir.

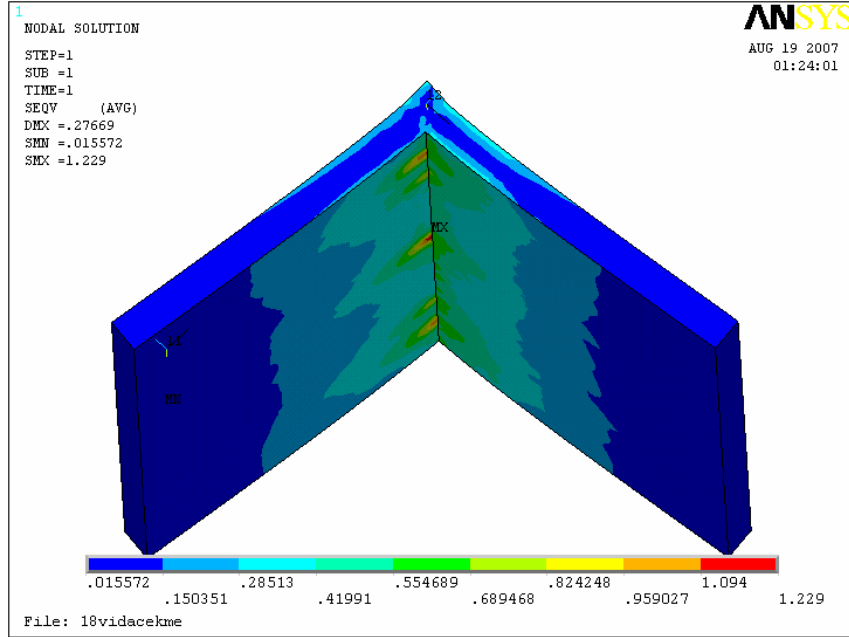


Şekil 2.3. 18 mm kalınlığındaki kavelalı birleştirilmiş kontrplak ile üretilen çekme deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen ansys ve deney sonuçları arasındaki ilişki

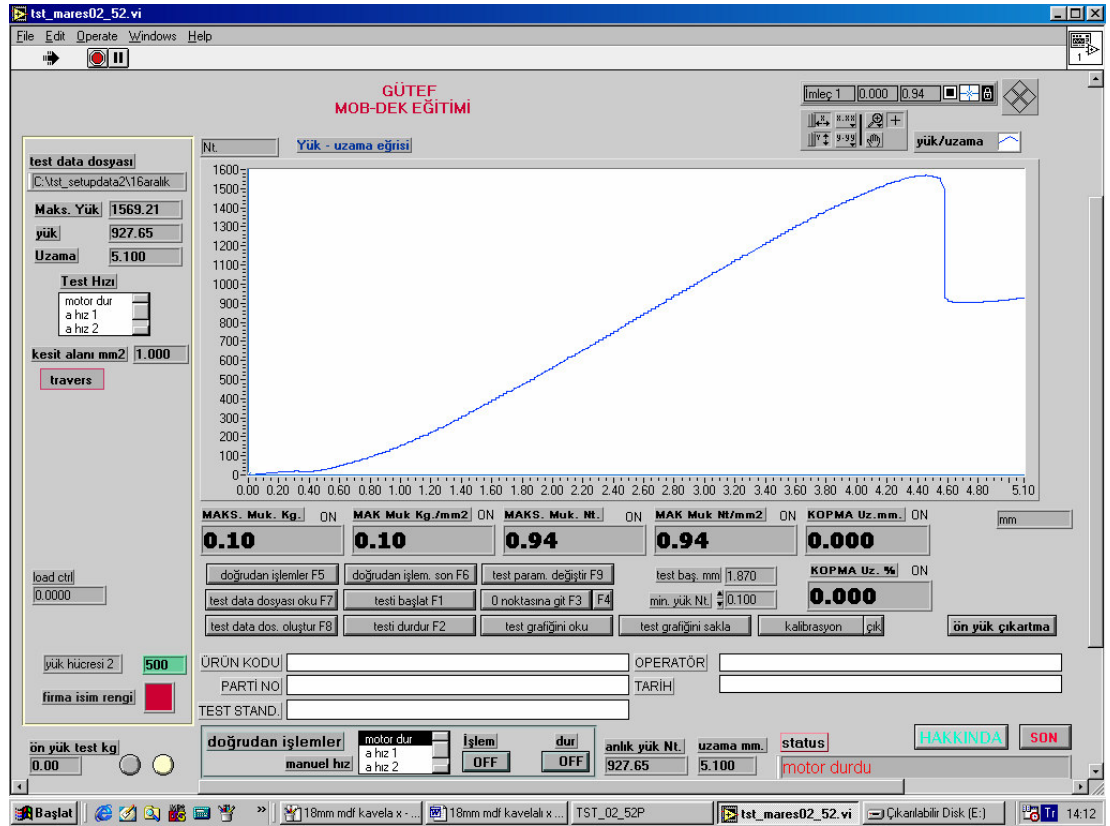


Resim 2.7. Ansys sonucu elde edilen yer-değiştirme (18 mm kontrplak kavelalı)

EK-2 (Devam) Çekme deneyleri analizleri



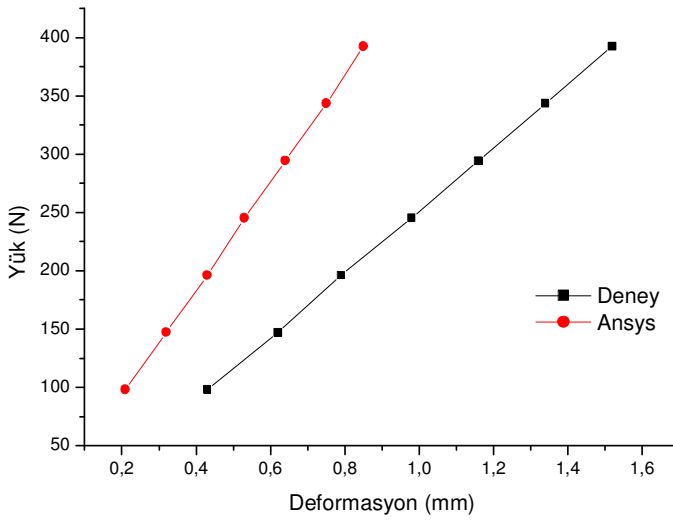
Resim 2.8. Ansys sonucunda elde edilen gerilme değeri (18 mm kontrplak kavelalı)



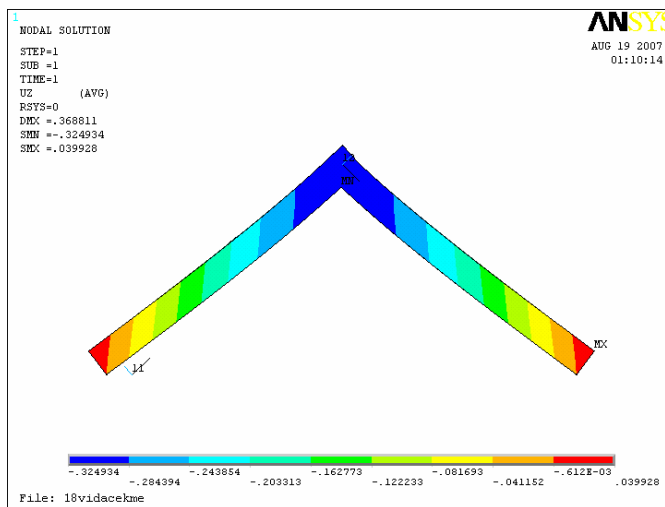
Resim 2.9. Üniversal test makinesinde çekme deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon grafiği (18 mm kontrplak kavelalı)

EK-2 (Devam) çekme deneyleri analizleri

18 mm kalınlığında kavelalı vidalı birleştirilmiş yonga levha ile üretilen örneklerin, çekme deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon Ansys ve deney sonuçları karşılaştırması Şekil 2.4’de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 2.10’da, gerilme-stress değişimleri Resim 2.11’de, universal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 2.12’de gösterilmiştir.

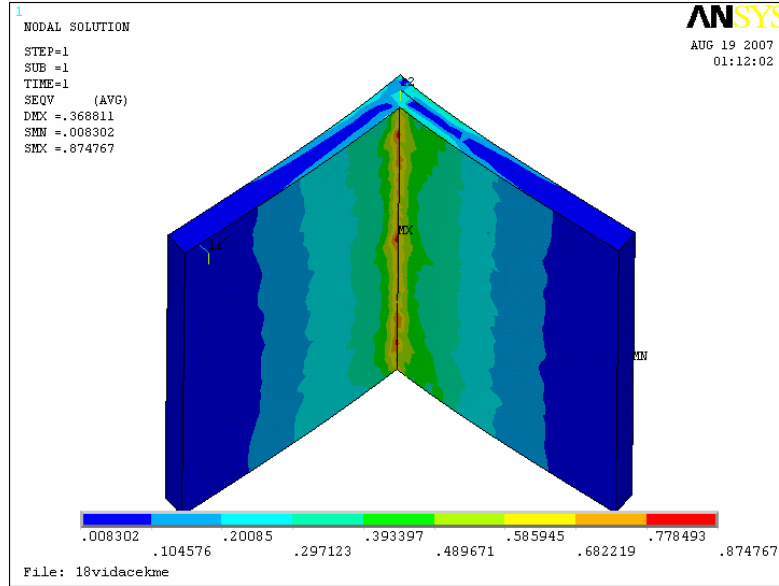


Şekil 2.4. 18 mm kalınlığındaki vidalı birleştirilmiş yonga levha ile üretilen çekme deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen ansys ve deney sonuçları arasındaki ilişki

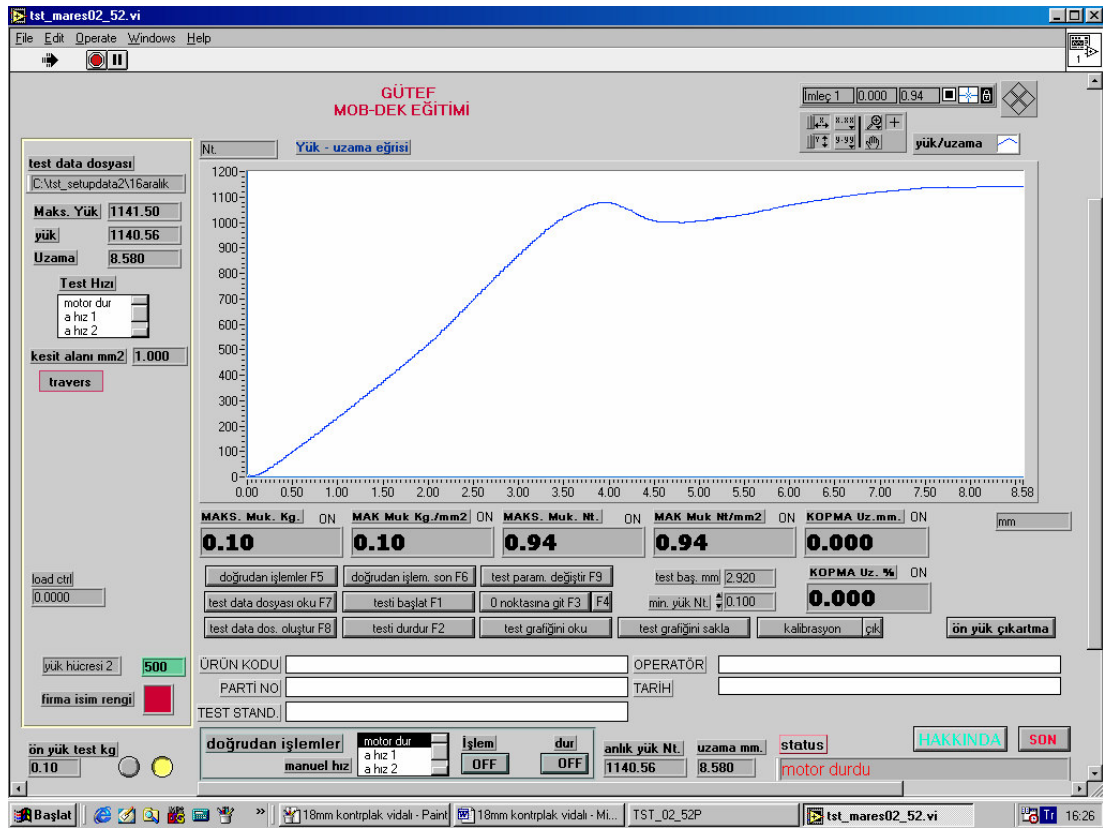


Resim 2.10. Ansys sonucu elde edilen yer-değiştirme (18 mm yonga levha vidalı)

EK-2 (Devam) Çekme deneyleri analizleri



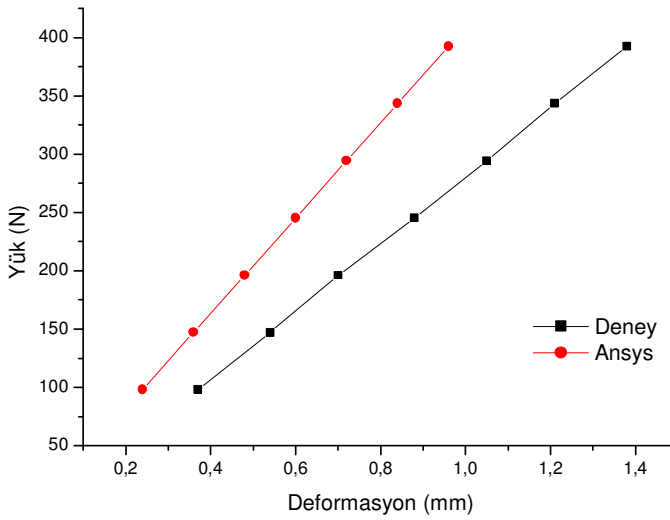
Resim 2.11. Ansys sonucunda elde edilen gerilme değeri (18 mm yonga levha vidalı)



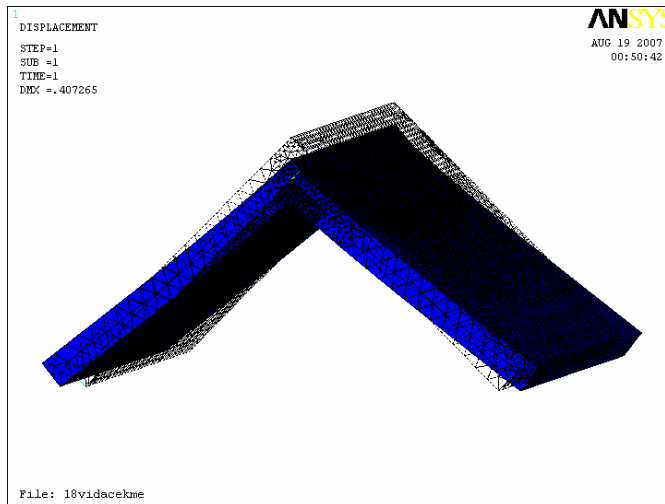
Resim 2.12. Üniversal test makinesinde çekme deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon grafiği (18 mm yonga levha vidalı)

EK-2 (Devam) Çekme deneyleri analizleri

18 mm kalınlığında vidalı birleştirilmiş MDF ile üretilen örneklerin, çekme deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon Ansys ve deney sonuçları karşılaştırması Şekil 2.5’de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 2.13’de, gerilme-stress değişimleri Resim 2.14’de, universal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 2.15’de gösterilmiştir.

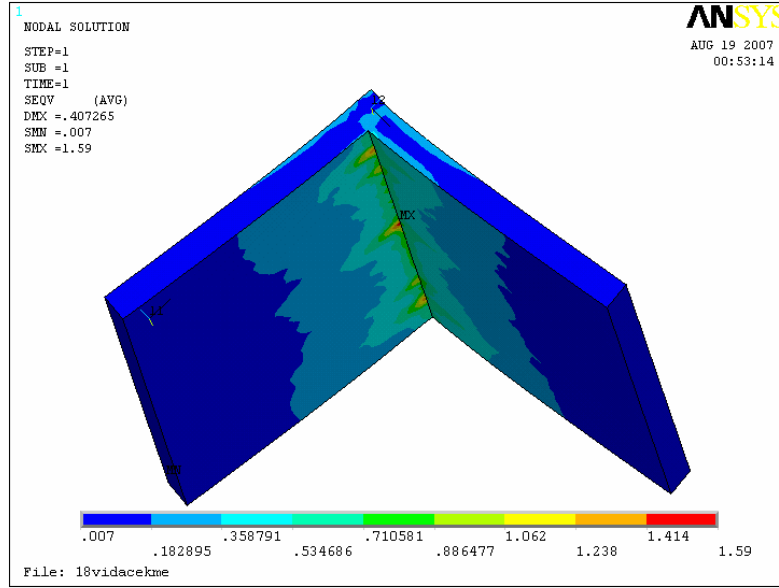


Şekil 2.5. 18 mm kalınlığındaki vidalı birleştirilmiş MDF ile üretilen çekme deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen ansys ve deney sonuçları arasındaki ilişki

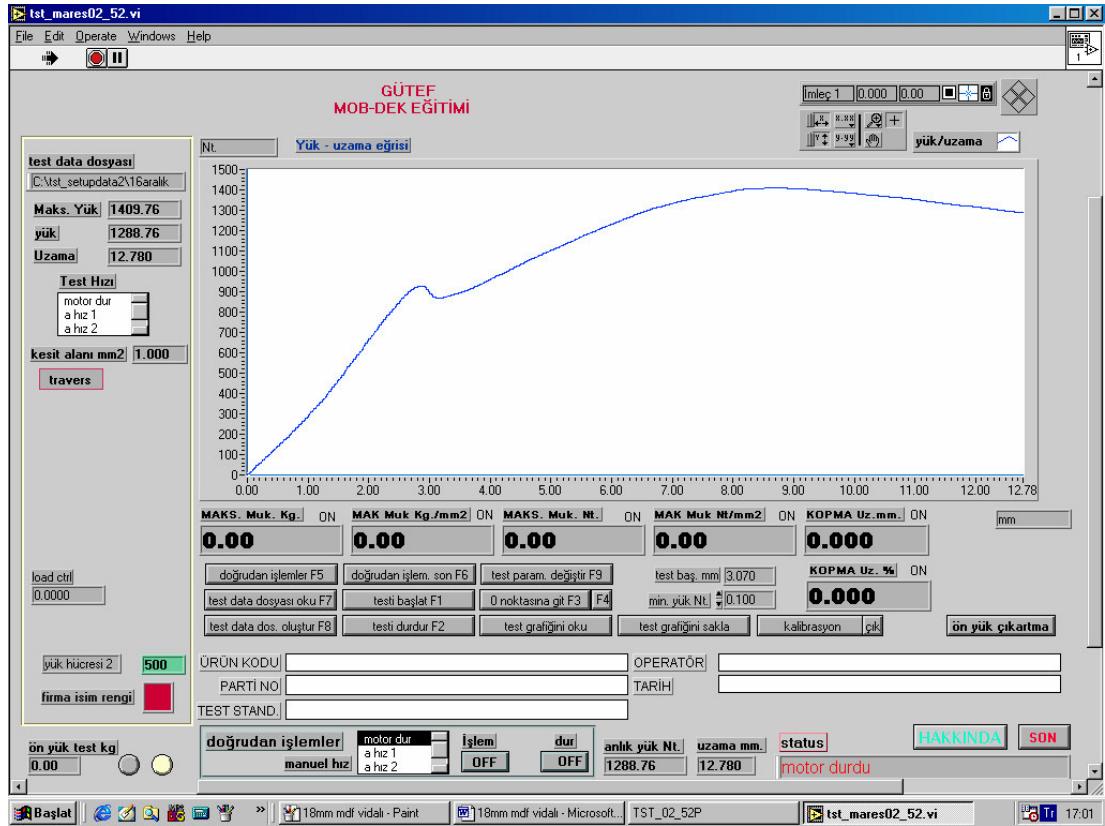


Resim 2.13. Ansys sonucu elde edilen yer-değiştirme (18 mm MDF vidalı)

EK-2 (Devam) Çekme deneyleri analizleri



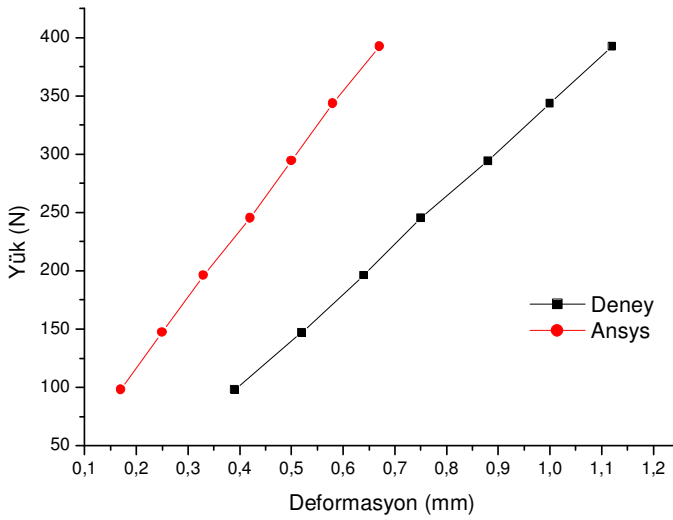
Resim 2.14. Ansys sonucunda elde edilen gerilme değeri (18 mm MDF vidalı)



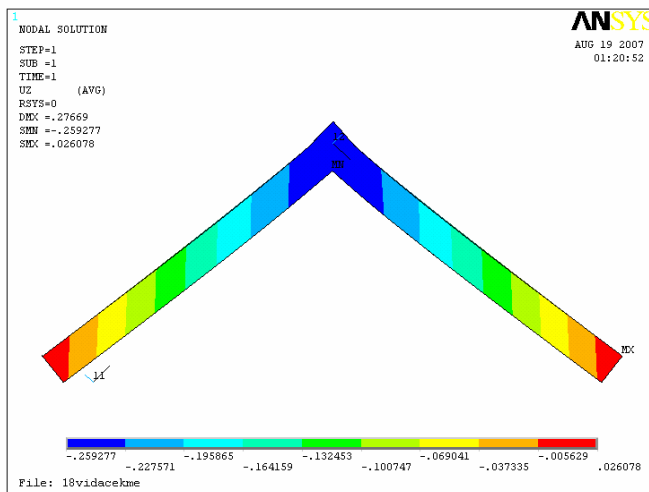
Resim 2.15. Üniversal test makinesinde çekme deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon grafiği (18 mm MDF vidalı)

EK-2 (Devam) Çekme deneyleri analizleri

18 mm kalınlığında vidalı birleştirilmiş kontrplak ile üretilen örneklerin, çekme deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon Ansys ve deney sonuçları karşılaştırması Şekil 2.6'da, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 2.16'da, gerilme-stress değişimleri Resim 2.17'de, universal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 2.18'de gösterilmiştir.

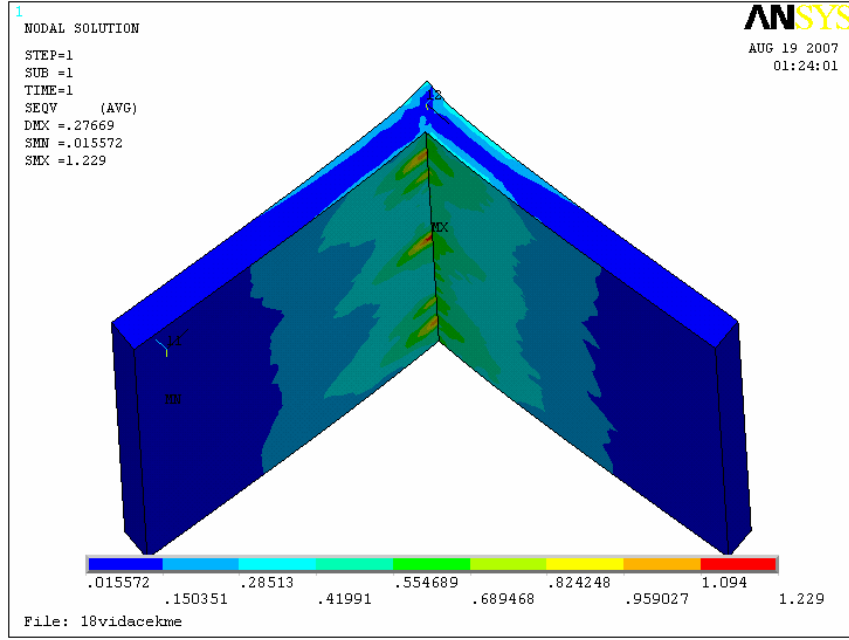


Şekil 2.6. 18 mm kalınlığındaki vidalı birleştirilmiş kontrplak ile üretilen çekme deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen ansys ve deney sonuçları arasındaki ilişki

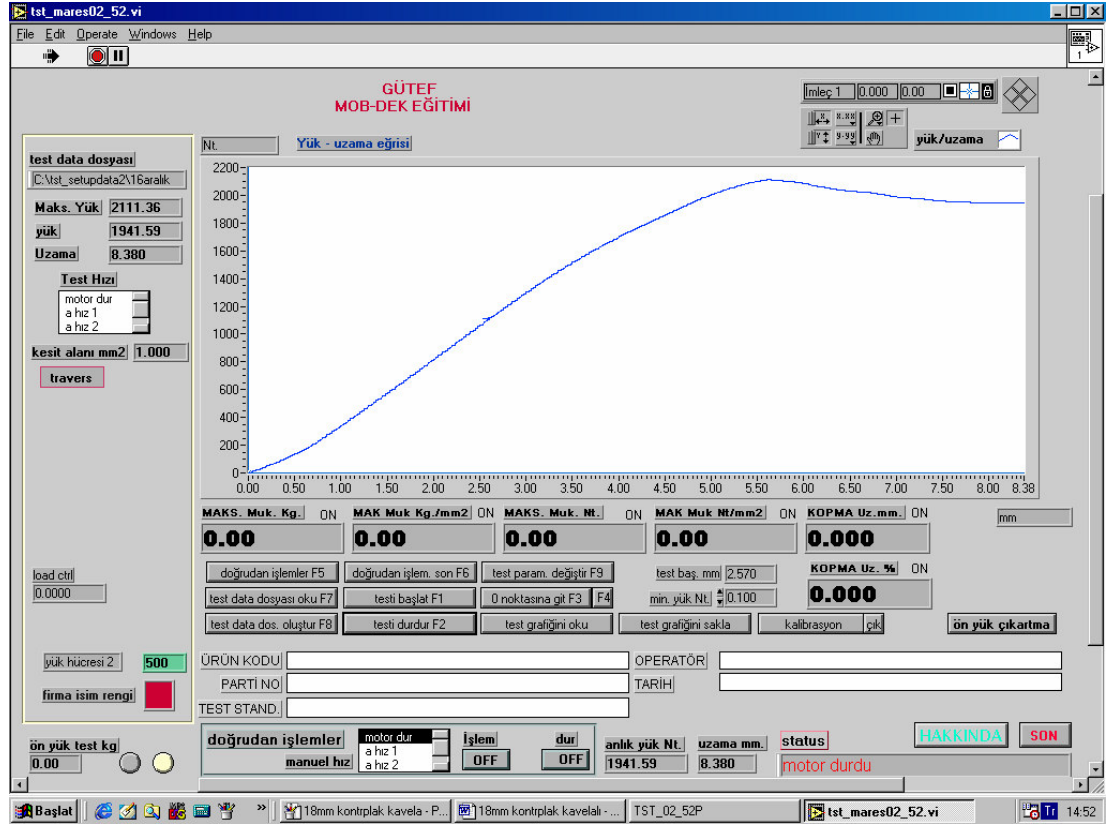


Resim 2.16. Ansys sonucu elde edilen yer-değiştirme (18 mm kontrplak vidalı)

EK-2 (Devam) Çekme deneyleri analizleri



Resim 2.17. Ansys sonucunda elde edilen gerilme değeri (18 mm kontrplak vidalı)



Resim 2.18. Üniversal test makinesinde çekme deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon grafiği (18 mm kontrplak vidalı)

EK-3 Basınç deneyleri analizleri

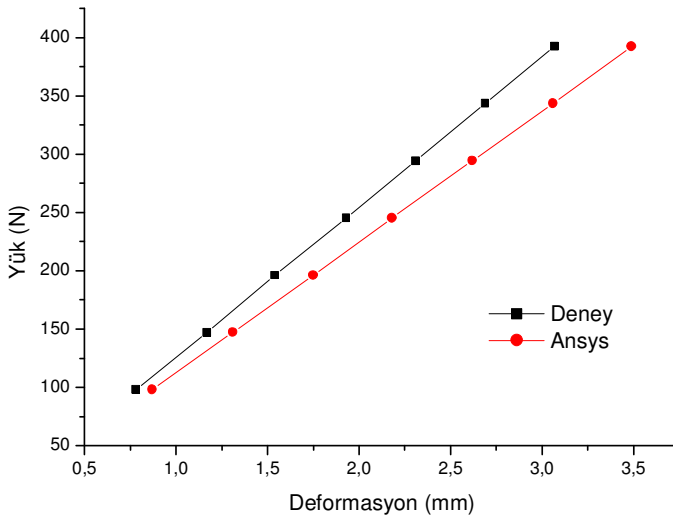
“L” tipi köşe birleştirme Diyagonal basınç deneylerinde Ansys analiz sonucunda elde edilen düğüm ve eleman sayıları ise Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Diyagonal basınç deneylerinde ansys programında düğüm ve eleman sayıları

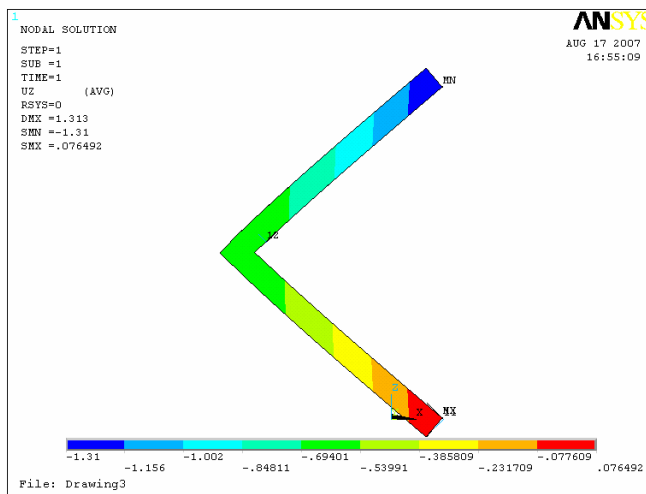
Birleştirme Tekniği	Levha Kalınlığı	Node-Düğüm Sayısı	Element-Eleman Sayısı
Kavelalı	14	18 635	88 385
	16	19 751	95 022
	18	22 171	109 436
Kavelalı Vidalı	14	24 488	121 054
	16	23 550	117 284
	18	26 350	134 058

EK-3 (Devam) Basınç deneyleri analizleri

18 mm kalınlığında kavelalı birleştirilmiş yonga levha ile üretilen örneklerin, basınç deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon Ansys ve deney sonuçları karşılaştırması Şekil 3.1’de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 3.1’de, gerilme-stress değişimleri Resim 3.2’de, üniversal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 3.3’de gösterilmiştir.

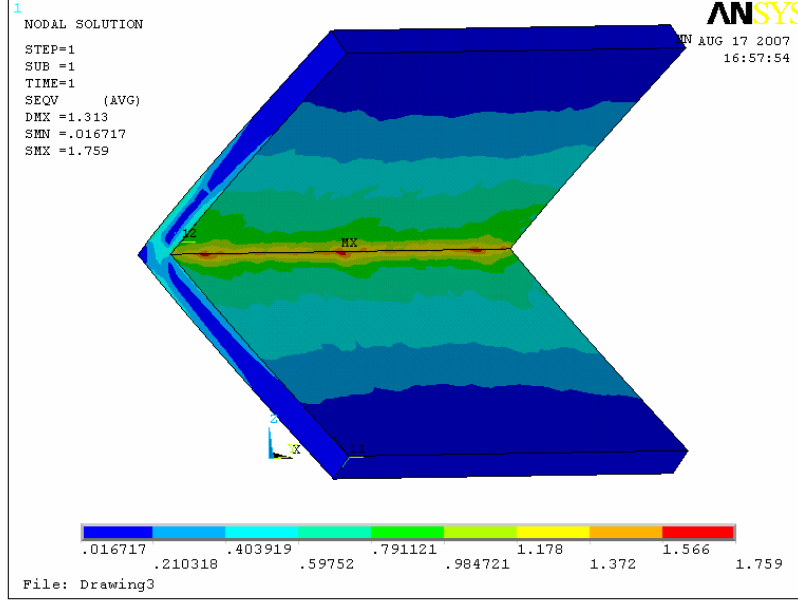


Şekil 3.1. 18 mm kalınlığındaki kavelalı birleştirilmiş yonga levha ile üretilen basınç deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen ansys ve deney sonuçları arasındaki ilişki

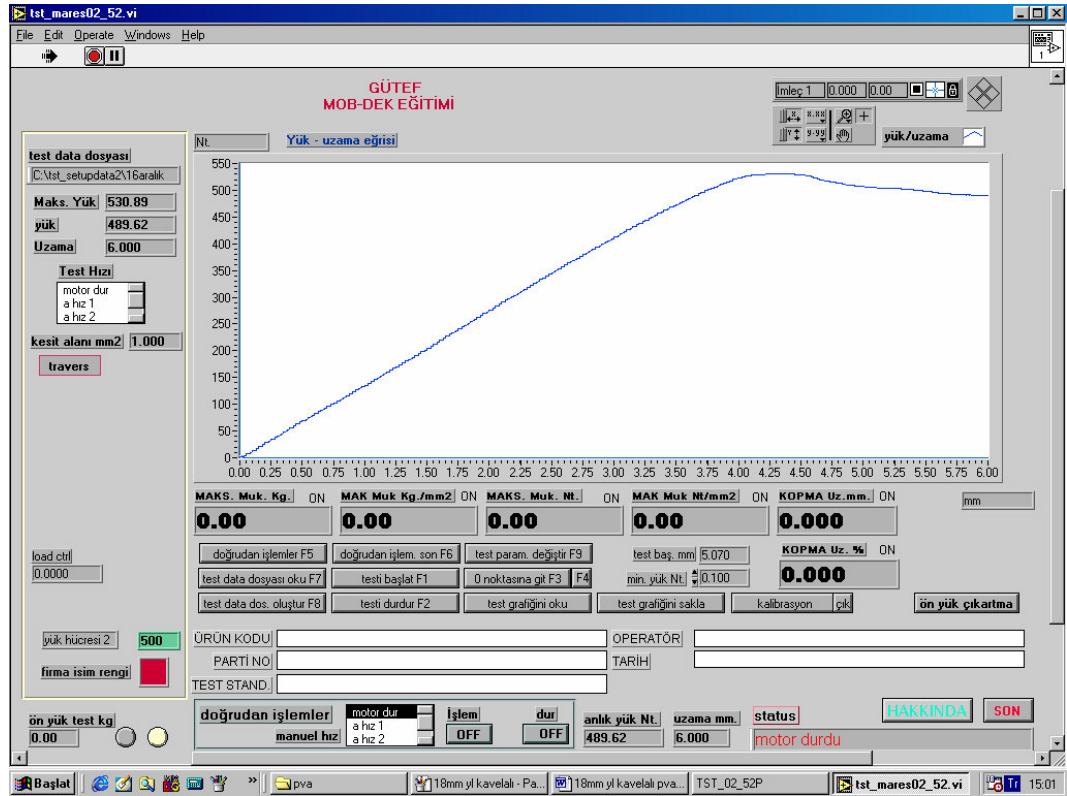


Resim 3.1. Ansys sonucu elde edilen yer-değiştirme (18 mm yonga levha kavelalı)

EK-3 (Devam) Basınç deneyleri analizleri



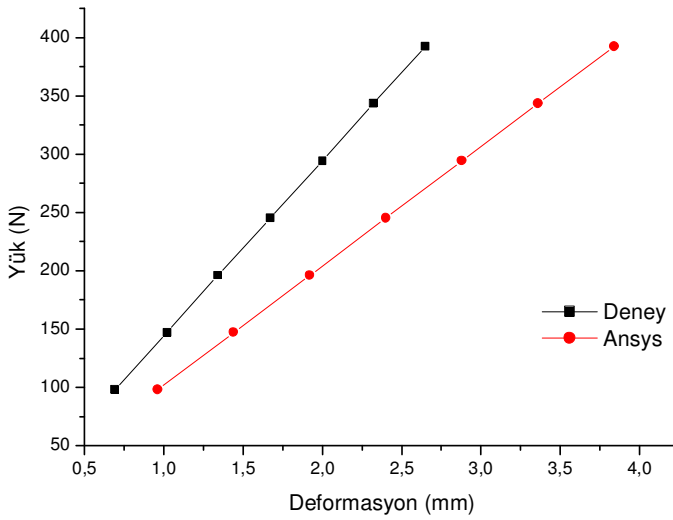
Resim 3.2. Ansys sonucunda elde edilen gerilme değeri (18 mm yonga levha kavelalı)



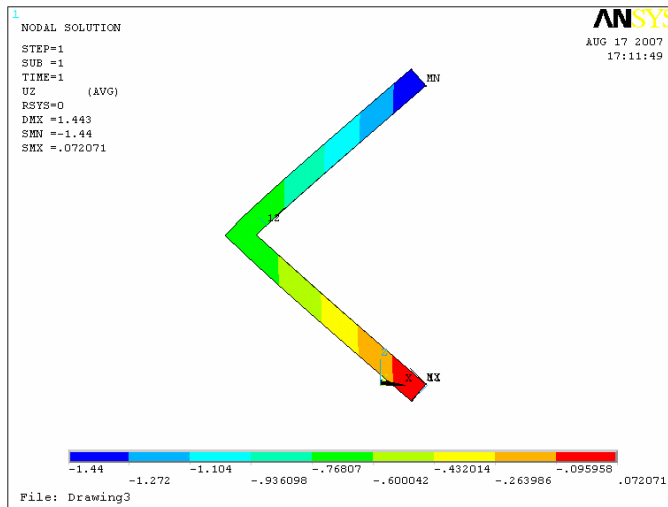
Resim 3.3. Üniversal test makinesinde basınç deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon grafiği (18 mm yonga levha kavelalı)

EK-3 (Devam) Basınç deneyleri analizleri

18 mm kalınlığında kavelalı birleştirilmiş MDF ile üretilen örneklerin, basınç deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon Ansys ve deney sonuçları karşılaştırması Şekil 3.2’de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 3.4’de, gerilme-stress değişimleri Resim 3.5’de, universal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 3.6’da gösterilmiştir.

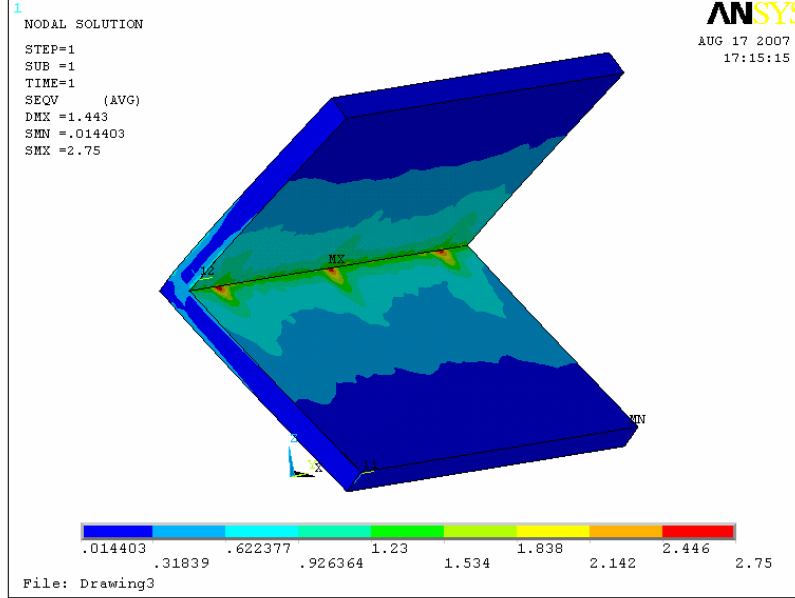


Şekil 3.2. 18 mm kalınlığındaki kavelalı birleştirilmiş MDF ile üretilen basınç deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen ansys ve deney sonuçları arasındaki ilişki

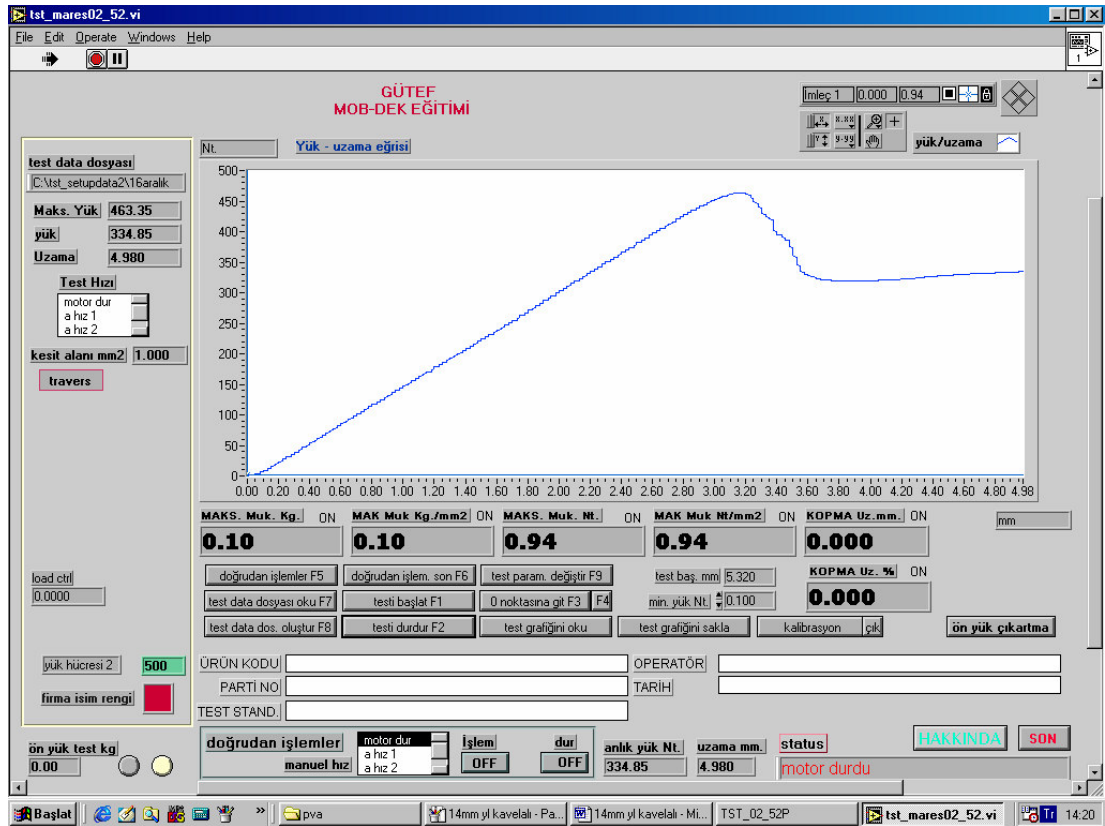


Resim 3.4. Ansys sonucu elde edilen yer-değiştirme (18 mm MDF kavelalı)

EK-3 (Devam) Basınç deneyleri analizleri



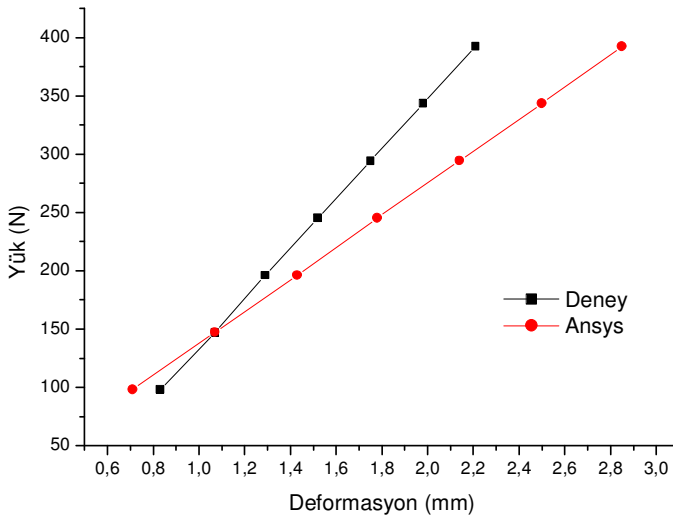
Resim 3.5 Ansys sonucunda elde edilen gerilme değeri (18 mm MDF kavelalı)



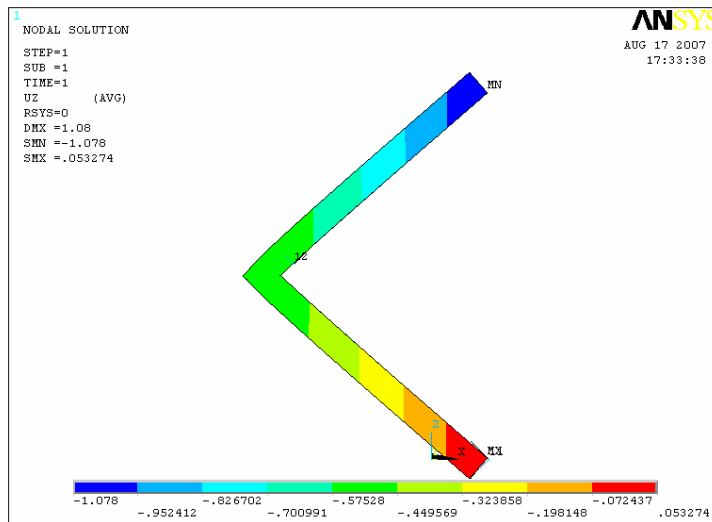
Resim 3.6. Üniversal test makinesinde basınç deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon grafiği (18 mm MDF kavelalı)

EK-3 (Devam) Basınç deneyleri analizleri

18 mm kalınlığında kavelalı birleştirilmiş kontrplak ile üretilen örneklerin, basınç deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon Ansys ve deney sonuçları karşılaştırması Şekil 3.3’de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 3.7’de, gerilme-stress değişimleri Resim 3.8’de, universal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 3.9’da gösterilmiştir.

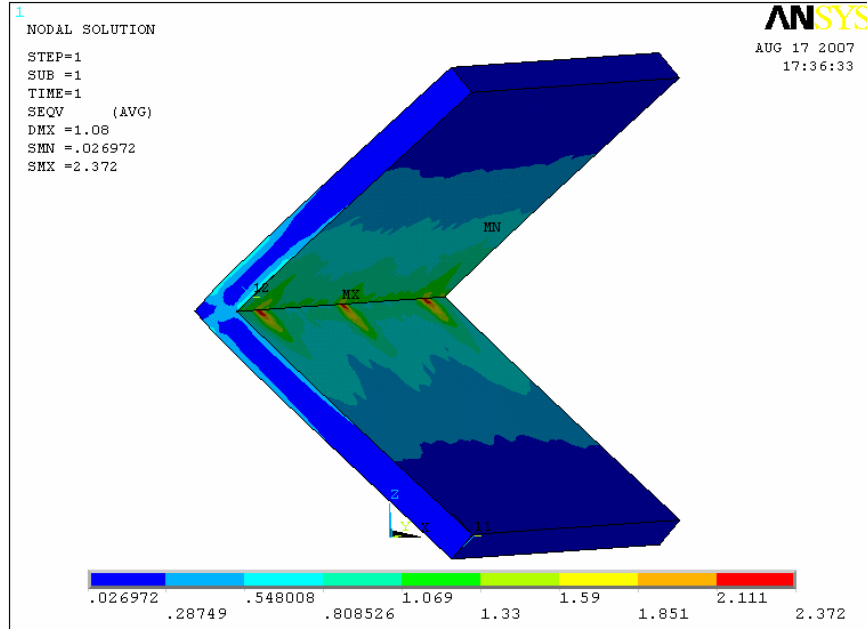


Şekil 3.3. 18 mm kalınlığındaki kavelalı birleştirilmiş kontrplak ile üretilen basınç deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen ansys ve deney sonuçları arasındaki ilişki

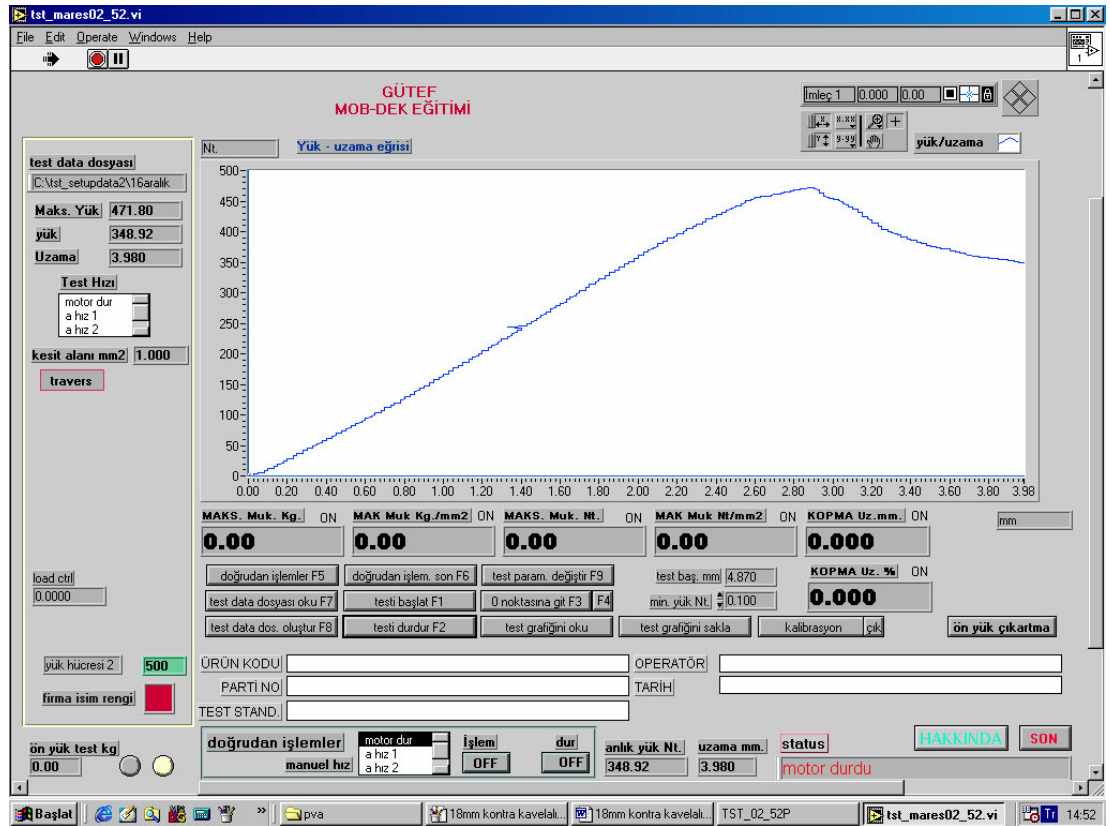


Resim 3.7. Ansys sonucu elde edilen yer-değiştirme (18 mm kontrplak kavelalı)

EK-3 (Devam) basınç deneyleri analizleri



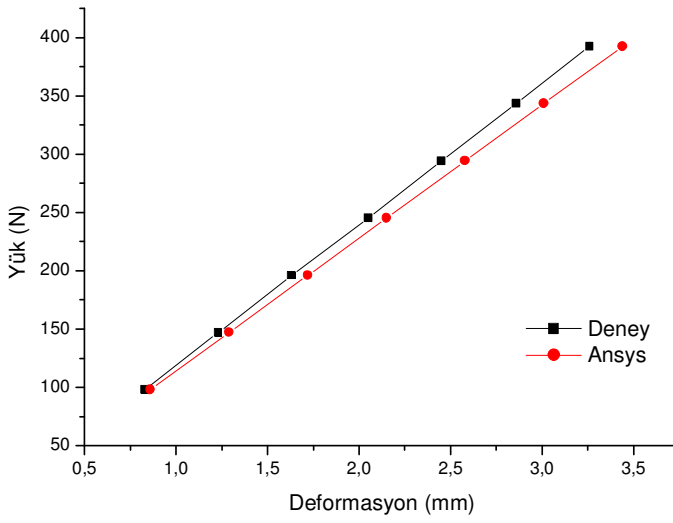
Resim 3.8. Ansys sonucunda elde edilen gerilme değeri (18 mm kontrplak kavelalı)



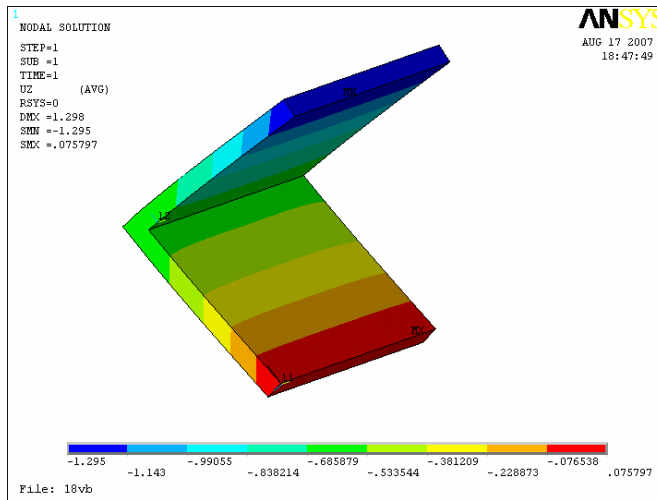
Resim 3.9. Üniversal test makinesinde basınç deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon grafiği (18 mm kontrplak kavelalı)

EK-3 (Devam) Basınç deneyleri analizleri

18 mm kalınlığında vidalı birleştirilmiş yonga levha ile üretilen örneklerin, basınç deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon Ansys ve deney sonuçları karşılaştırması Şekil 3.4’de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 3.10’da, gerilme-stress değişimleri Resim 3.11’de, universal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 3.12’de gösterilmiştir.

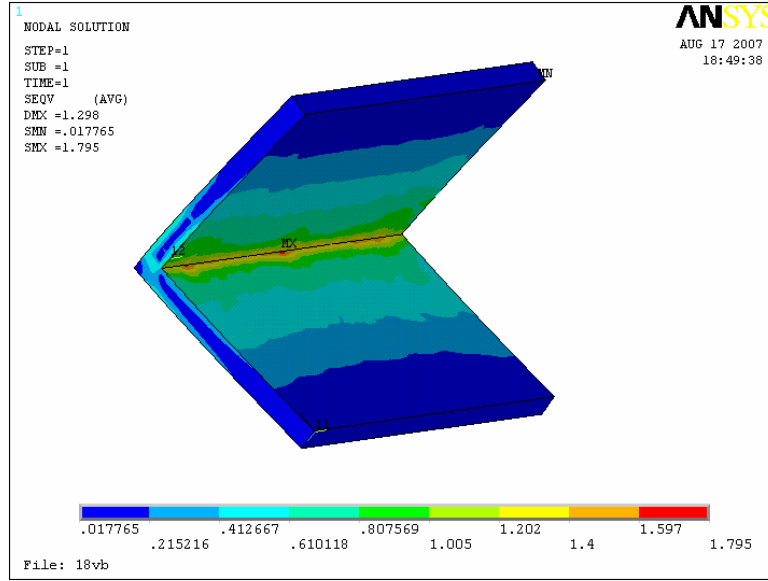


Şekil 3.4. 18 mm kalınlığındaki vidalı birleştirilmiş yonga levha ile üretilen basınç deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen ansys ve deney sonuçları arasındaki ilişki

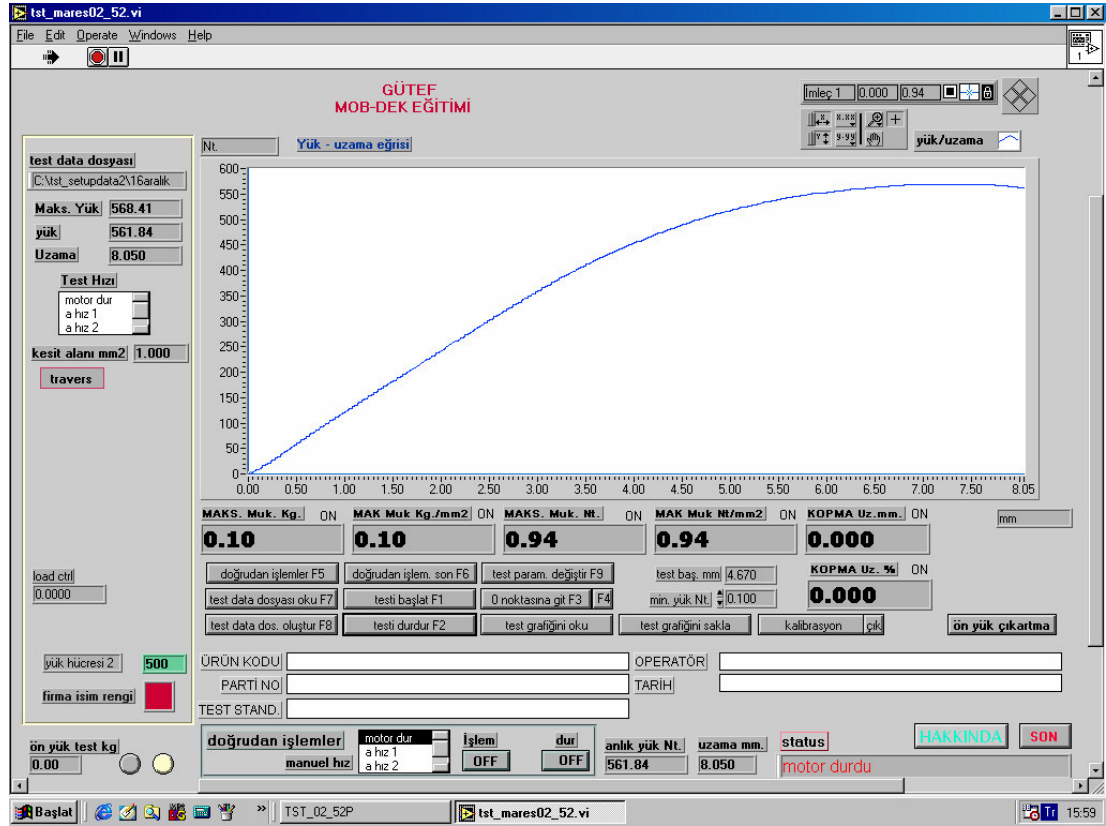


Resim 3.10. Ansys sonucu elde edilen yer-değiştirme (18 mm yonga levha vidalı)

EK-3 (Devam) Basınç deneyleri analizleri



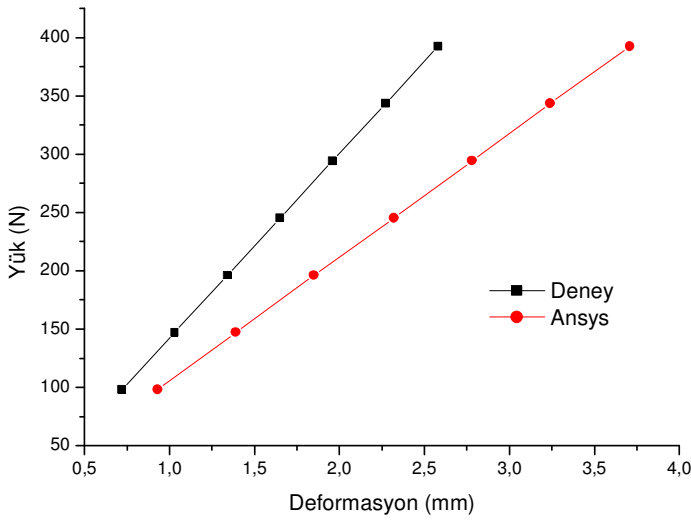
Resim 3.11. Ansys sonucunda elde edilen gerilme değeri (18 mm yonga levha vidalı)



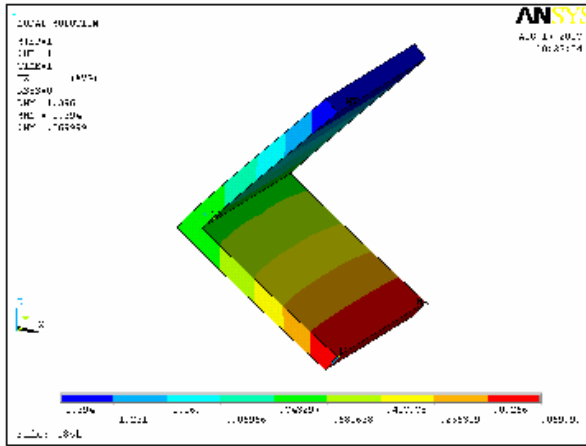
Resim 3.12. Üniversal test makinesinde basınç deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon grafiği (18 mm yonga levha vidalı)

EK-3 (Devam) Basınç deneyleri analizleri

18 mm kalınlığında vidalı birleştirilmiş MDF ile üretilen örneklerin, basınç deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon Ansys ve deney sonuçları karşılaştırması Şekil 3.5’de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 3.13’de, gerilme-stress değişimleri Resim 3.14’de, universal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 3.15’de gösterilmiştir.

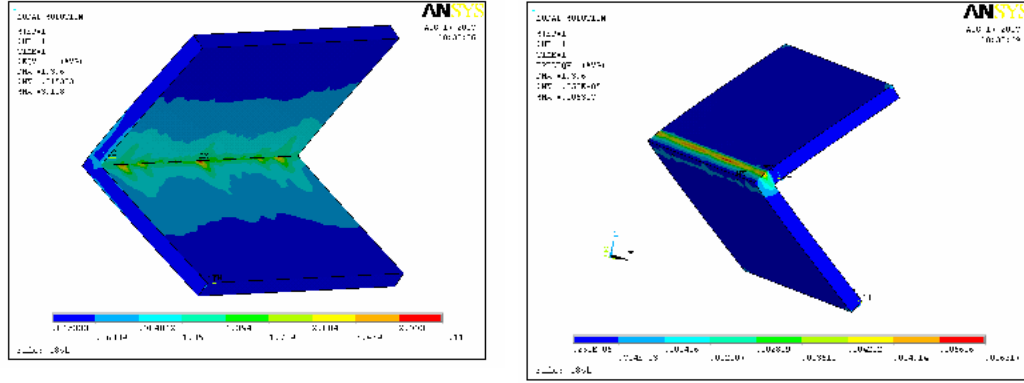


Şekil 3.5. 18 mm kalınlığındaki vidalı birleştirilmiş MDF ile üretilen basınç deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen ansys ve deney sonuçları arasındaki ilişki

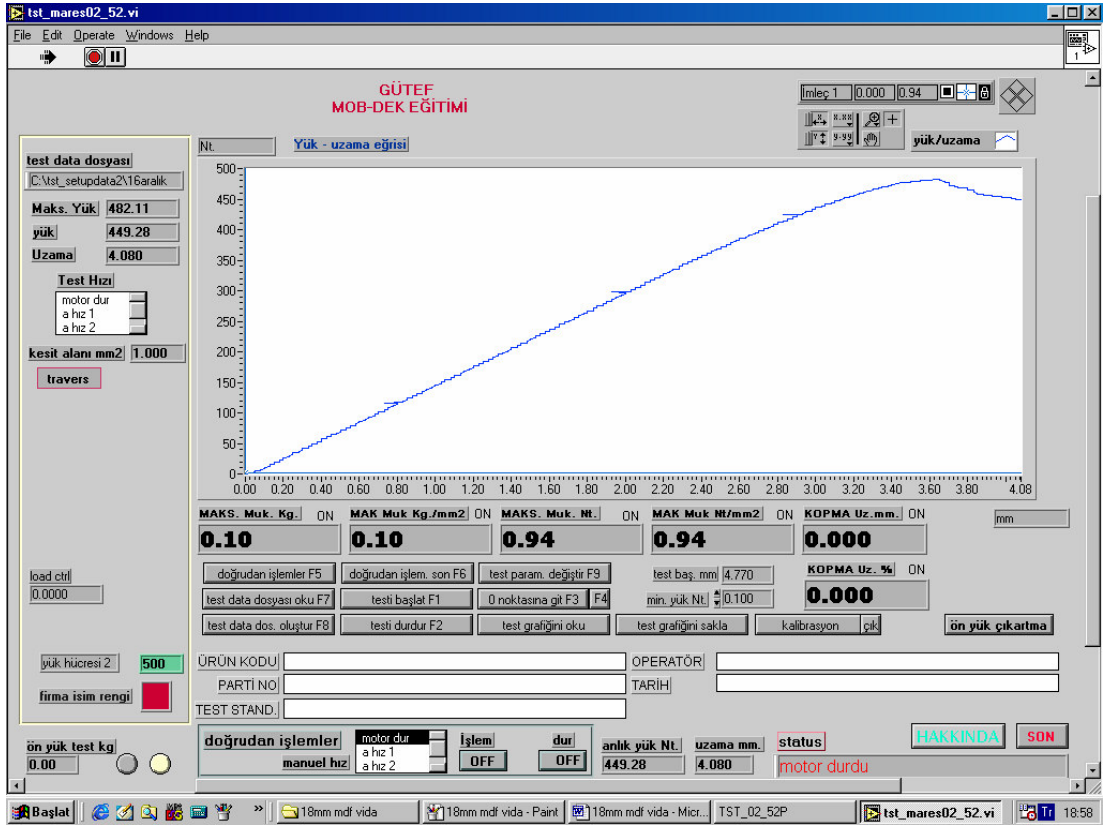


Resim 3.13. Ansys sonucu elde edilen yer-değiştirme (18 mm MDF vidalı)

EK-3 (Devam) Basınç deneyleri analizleri



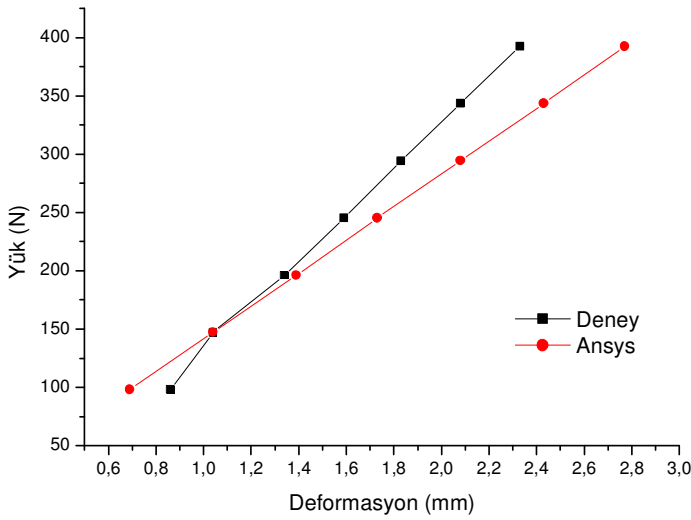
Resim 3.14. Ansys sonucunda elde edilen gerilme değeri (18 mm MDF vidalı)



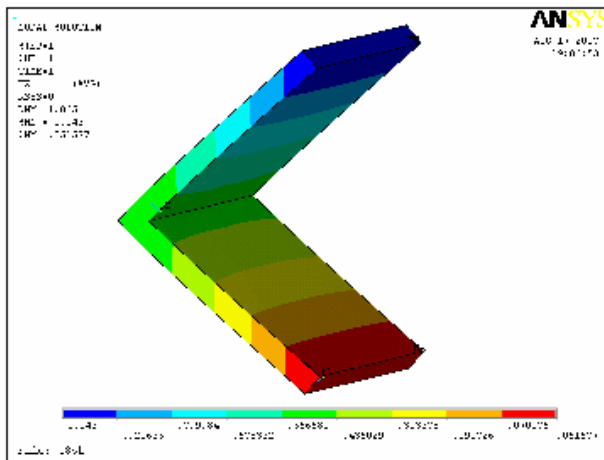
Resim 3.15. Üniversal test makinesinde basınç deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon grafiği (18 mm MDF vidalı)

EK-3 (Devam) Basınç deneyleri analizleri

18 mm kalınlığında vidalı birleştirilmiş kontrplak ile üretilen örneklerin, basınç deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon Ansys ve deney sonuçları karşılaştırması Şekil 3.6'da, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 3.16'da, gerilme-stress değişimleri Resim 3.17'de, universal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 3.18'de gösterilmiştir.

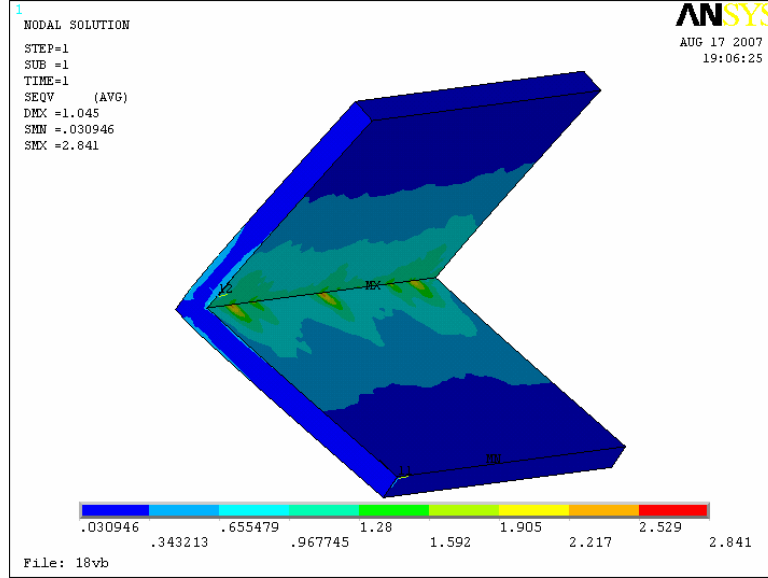


Şekil 3.17. 18 mm kalınlığındaki vidalı birleştirilmiş kontrplak ile üretilen basınç deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen ansys ve deney sonuçları arasındaki ilişki

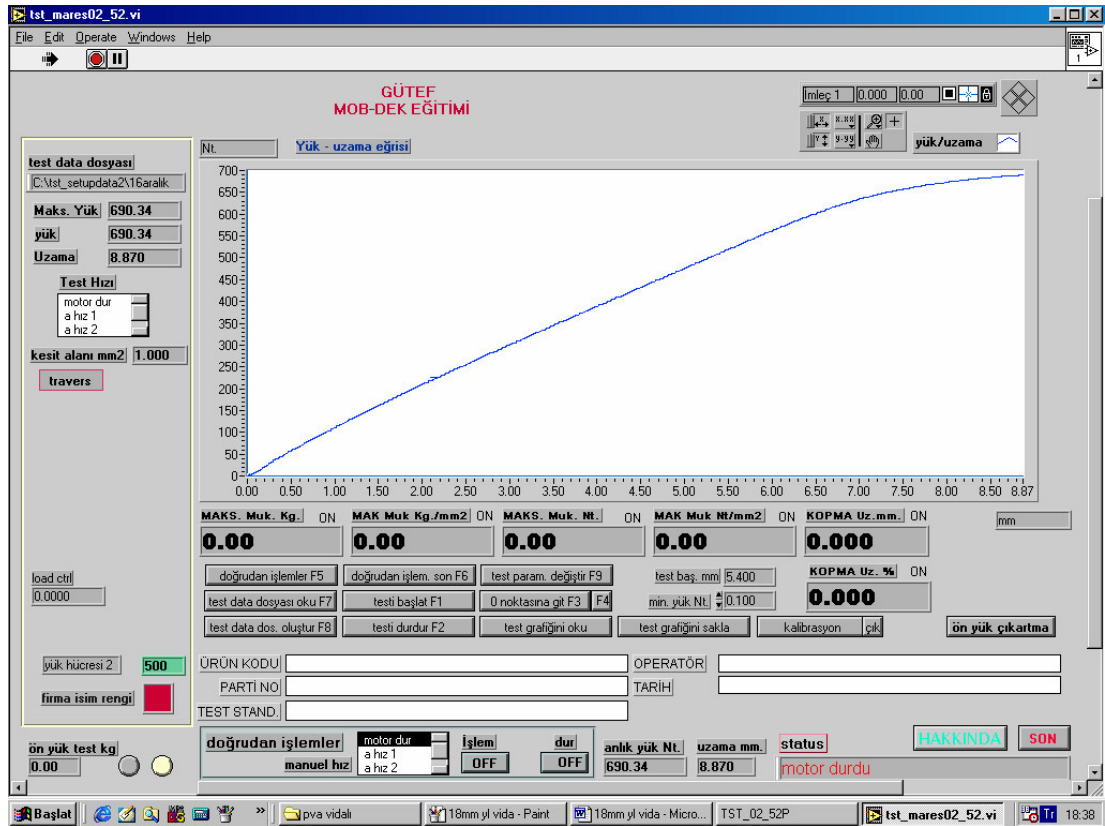


Resim 3.16. Ansys sonucu elde edilen yer-değiştirme (18 mm kontrplak vidalı)

EK-3 (Devam) Basınç deneyleri analizleri



Resim 3.17. Ansys sonucunda elde edilen gerilme değeri (18 mm kontrplak vidalı)



Resim 3.18. Üniversal test makinesinde basınç deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon grafiği (18 mm kontrplak vidalı)

EK-4 Çerçevesiz kutu tipi mobilya analizleri

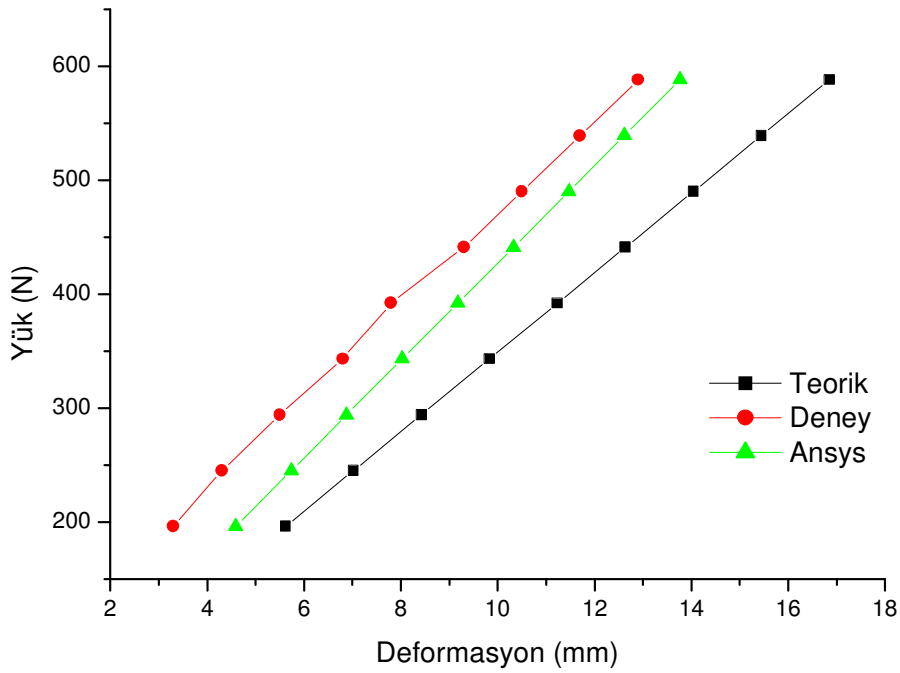
Kutu tipi mobilyalarda ansys analiz sonucunda elde edilen düğüm ve eleman sayıları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kutu tipi mobilyaların ansys programında elde edilen düğüm ve eleman sayıları

Çerçeve Tipi	Birleştirme Tekniği	Levha Kalınlığı	Node-Düğüm Sayısı	Element-Eleman Sayısı
Ön Çerçevesiz Kutu	Kavelalı	14	96 637	413 304
		16	103 886	458 212
		18	112 460	507 510
	Vidalı	14	115 086	518 992
		16	122 366	564 771
		18	139 760	665 955

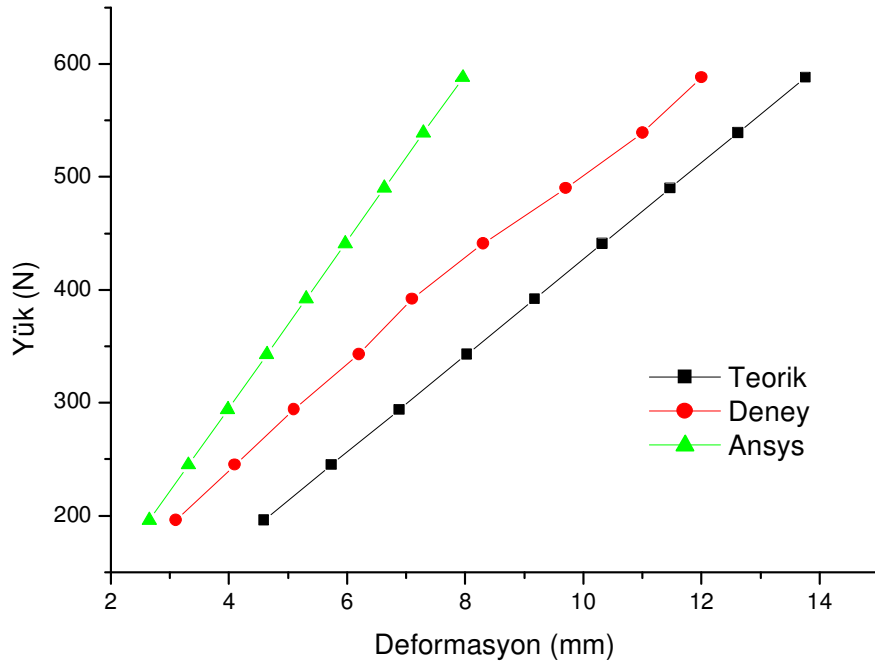
EK-4 (Devam) Çerçevesiz kutu tipi mobilya analizleri

Çerçevesiz, 18 mm kalınlığında kavelalı birleştirilmiş yonga levha ile üretilen örneklerin, teorik, deney ve sonlu elemanlar yazılımı programında deneyler sonucu oluşan yük-deformasyon (y_1 yönündeki uzama değerleri) arasındaki ilişki Şekil 4.1'de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 4.1'de, universal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 4.2'de gösterilmiştir.



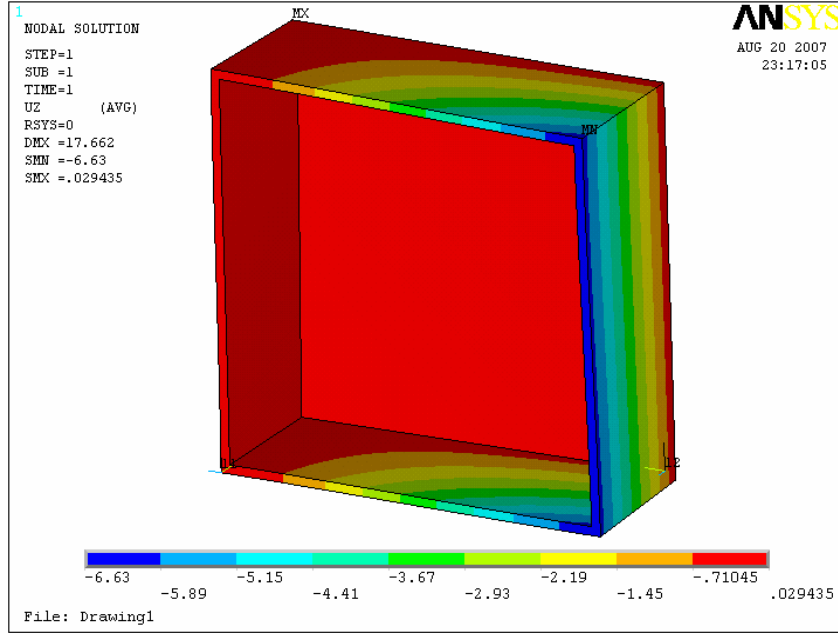
EK-4 (Devam) Çerçevesiz kutu tipi mobilya analizleri

Çerçevesiz, 18 mm kalınlığında kavelalı birleştirilmiş MDF ile üretilen örneklerin, teorik, deney ve sonlu elemanlar yazılımı programında deneyler sonucu oluşan yük-deformasyon (y_1 yönündeki uzama değerleri) arasındaki ilişki Şekil 4.2’de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 4.3’de, üniversal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 4.4’de gösterilmiştir.

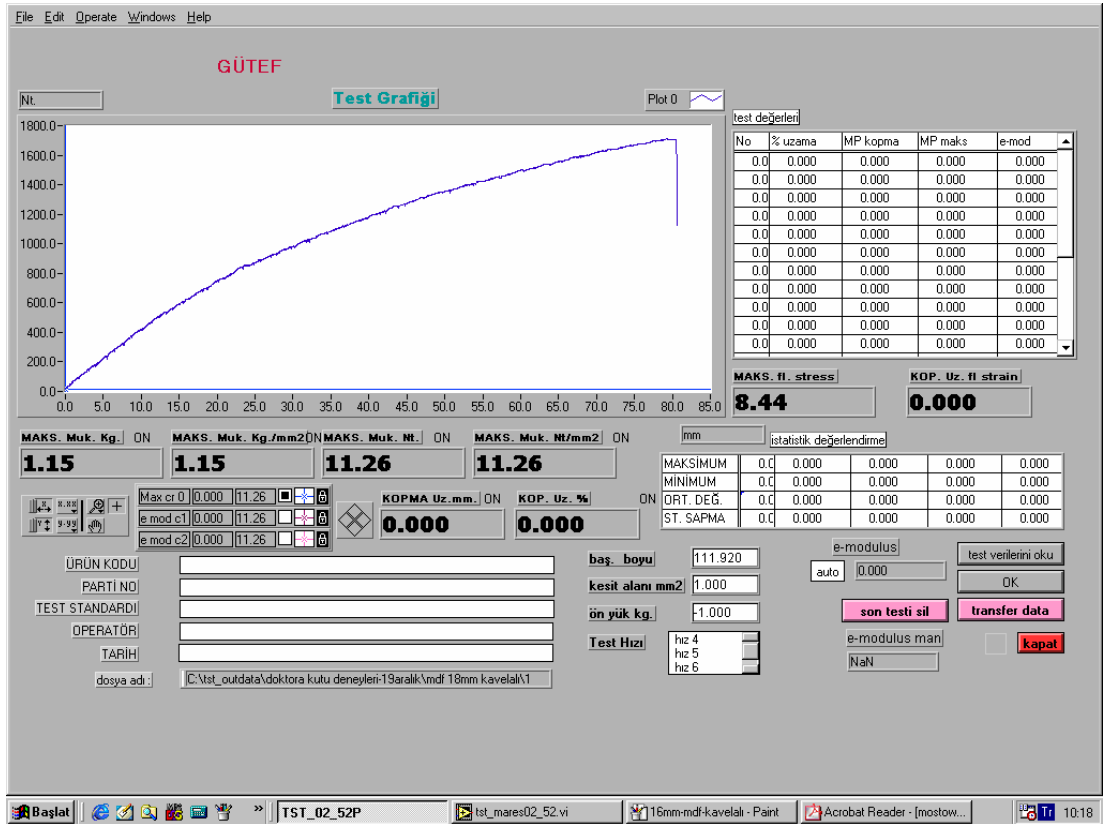


Şekil 4.2. Çerçevesiz ve kavelalı birleştirilmiş 18 mm kalınlığındaki MDF ile üretilen deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen teorik, deney ve ansys sonuçları arasındaki ilişkiyi gösterir diyagram

EK-4 (Devam) Çerçevesiz kutu tipi mobilya analizleri



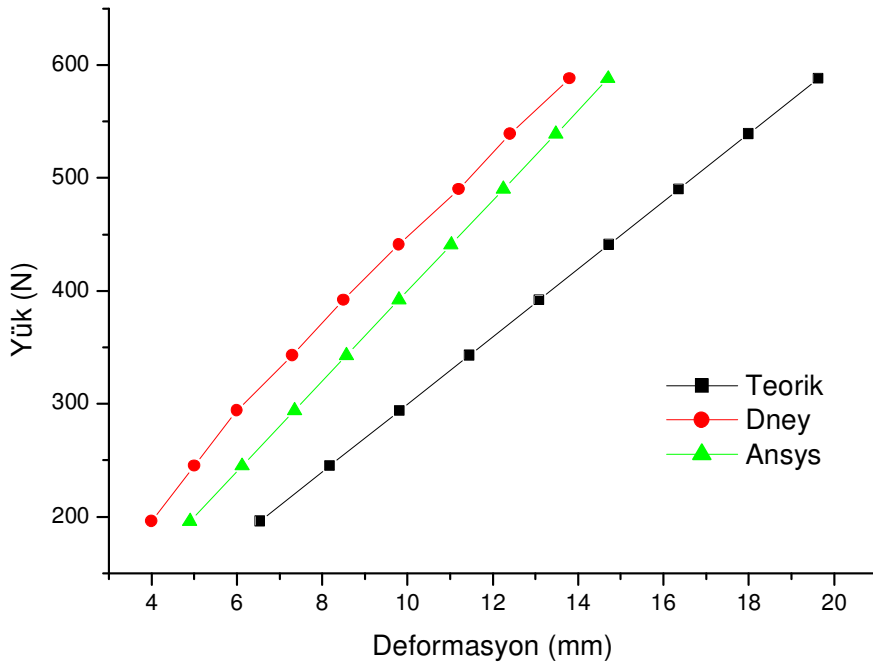
Resim 4.3. Ansys sonucu elde edilen yer-değiştirme (y_1) mm



Resim 4.4. Ünliversal test makinesinde kutu tipi mobilya deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon grafiğı (18 mm MDF çerçevesiz kavelalı)

EK-4 (Devam) Çerçevesiz kutu tipi mobilya analizleri

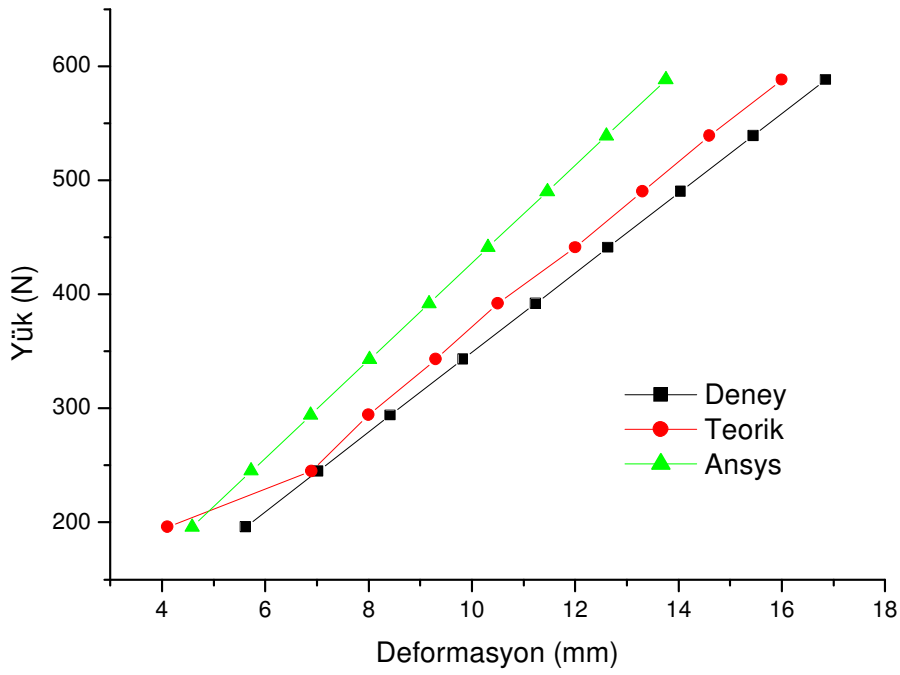
Çerçevesiz, 18 mm kalınlığında kavelalı birleştirilmiş kontrplak ile üretilen örneklerin, teorik, deney ve sonlu elemanlar yazılımı programında deneyler sonucu oluşan yük-deformasyon (y_1 yönündeki uzama değerleri) arasındaki ilişki Şekil 4.3’de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 4.5’de, universal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Çerçevesiz ve kavelalı birleştirilmiş 18 mm kalınlığındaki kontrplak ile üretilen deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen teorik, deney ve ansys sonuçları arasındaki ilişkiyi gösterir diyagram

EK-4 (Devam) Çerçevesiz kutu tipi mobilya analizleri

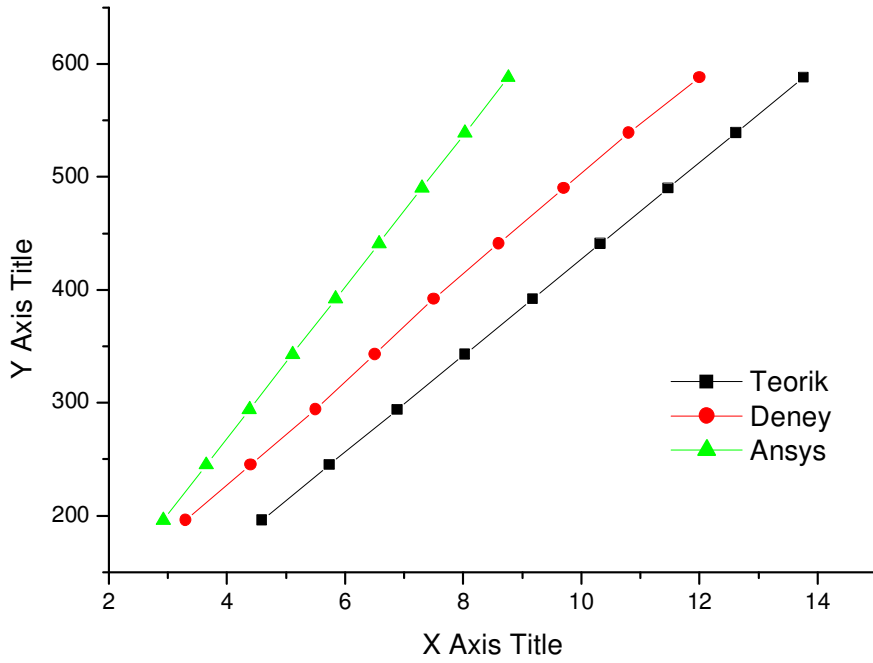
Çerçevesiz, 18 mm kalınlığında vidalı birleştirilmiş yonga levha ile üretilen örneklerin, teorik, deney ve sonlu elemanlar yazılımı programında deneyler sonucu oluşan yük-deformasyon (y_1 yönündeki uzama değerleri) arasındaki ilişki Şekil 4.4’de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 4.7’de, universal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Çerçevesiz ve vidalı birleştirilmiş 18 mm kalınlığındaki yonga levha ile üretilen deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen teorik, deney ve ansys sonuçları arasındaki ilişkiyi gösterir diyagram

EK-4 (Devam) Çerçevesiz kutu tipi mobilya analizleri

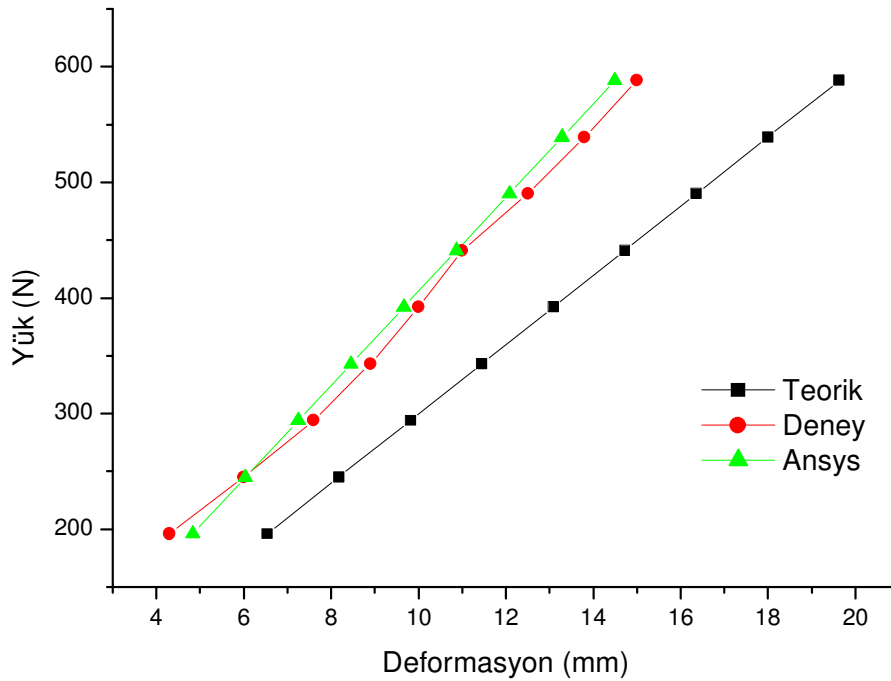
Çerçevesiz, 18 mm kalınlığında vidalı birleştirilmiş MDF ile üretilen örneklerin, teorik, deney ve sonlu elemanlar yazılımı programında deneyler sonucu oluşan yük-deformasyon (y_1 yönündeki uzama değerleri) arasındaki ilişki Şekil 4.5’de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 4.9’da, üniversal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 4.10’da gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Çerçevesiz ve vidalı birleştirilmiş 18 mm kalınlığındaki MDF ile üretilen deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen teorik, deney ve ansys sonuçları arasındaki ilişkiyi gösterir diyagram

EK-4 (Devam) Çerçevesiz kutu tipi mobilya analizleri

Çerçevesiz, 18 mm kalınlığında vidalı birleştirilmiş kontrplak ile üretilen örneklerin, teorik, deney ve sonlu elemanlar yazılımı programında deneyler sonucu oluşan yük-deformasyon (y_1 yönündeki uzama değerleri) arasındaki ilişki Şekil 4.6'da, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 4.11'de, universal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Çerçevesiz ve vidalı birleştirilmiş 18 mm kalınlığındaki kontrplak ile üretilen deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen teorik, deney ve ansys sonuçları arasındaki ilişkiyi gösterir diyagram

EK-5 Çerçevesi kutu tipi mobilya analizleri

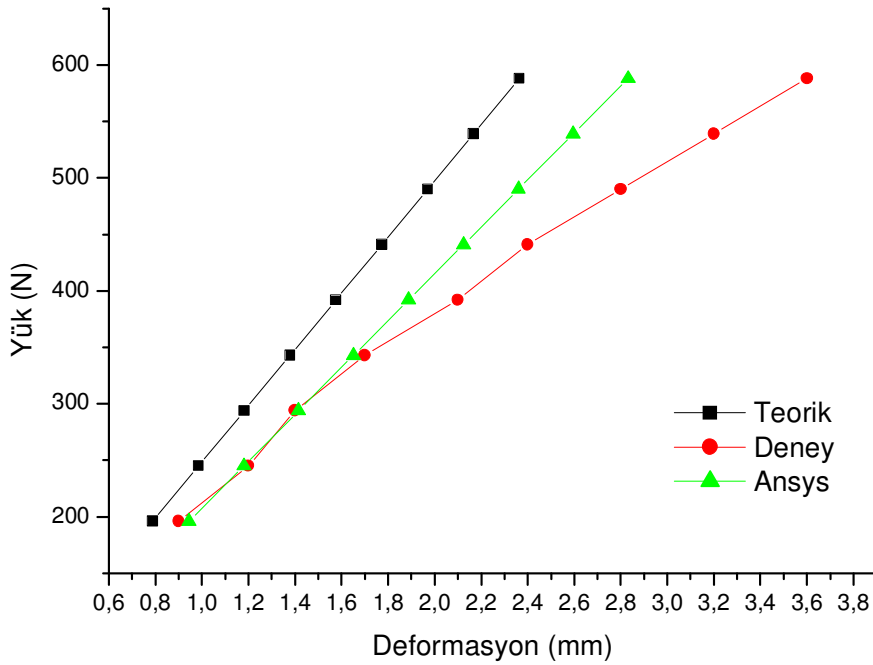
Kutu tipi mobilyalarda ansys analiz sonucunda elde edilen düğüm ve eleman sayıları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Kutu tipi mobilyaların ansys programında elde edilen düğüm ve eleman sayıları

Çerçeve Tipi	Birleştirme Tekniği	Levha Kalınlığı	Node-Düğüm Sayısı	Element-Eleman Sayısı
Ön Çerçevesi Kutu	Kavelalı	14	114 428	504 552
		16	122 940	556 138
		18	135 117	627 559
	Vidalı	14	133 885	616 558
		16	144 166	679 593
		18	156 680	753 868

EK-5 (Devam) Çerçevesi kutu tipi mobilya analizleri

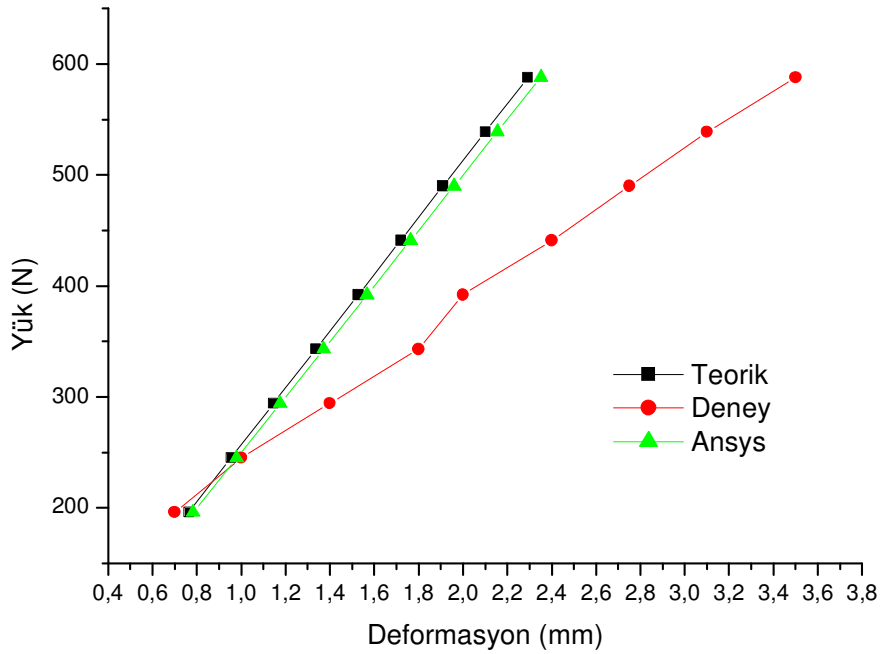
Çerçevesi, 18 mm kalınlığında kavelalı birleştirilmiş yonga levha ile üretilen örneklerin, teorik, deney ve sonlu elemanlar yazılımı programında deneyler sonucu oluşan yük-deformasyon (y_1 yönündeki uzama değerleri) arasındaki ilişki Şekil 5.1’de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 5.1’de, universal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Çerçevesi ve kavelalı birleştirilmiş 18 mm kalınlığındaki yonga levha ile üretilen deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen teorik, deney ve ansys sonuçları arasındaki ilişkiyi gösterir diyagram

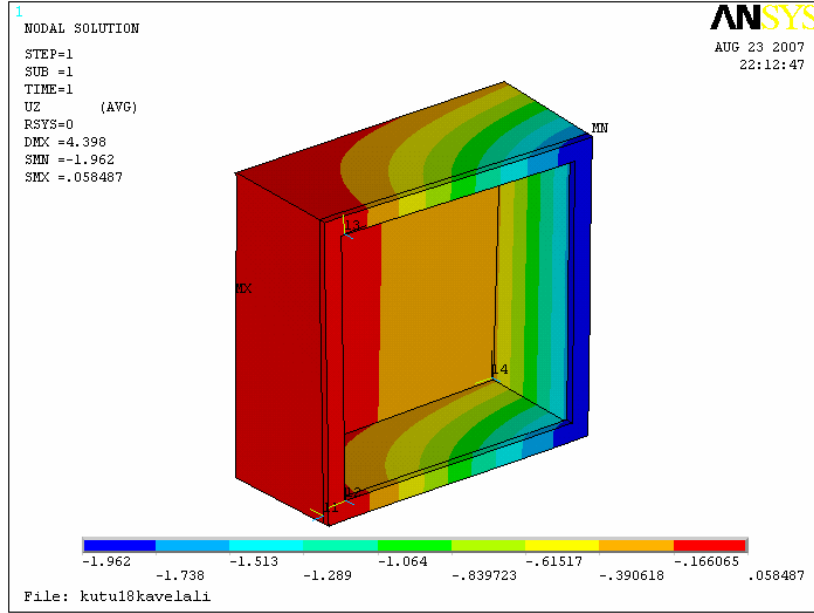
EK-5 (Devam) Çerçeveseli kutu tipi mobilya analizleri

Çerçeveseli, 18 mm kalınlığında kavelalı birleştirilmiş MDF ile üretilen örneklerin, teorik, deney ve sonlu elemanlar yazılımı programında deneyler sonucu oluşan yük-deformasyon (y_1 yönündeki uzama değerleri) arasındaki ilişki Şekil 5.2’de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 5.3’de, üniversal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 5.4’de gösterilmiştir.

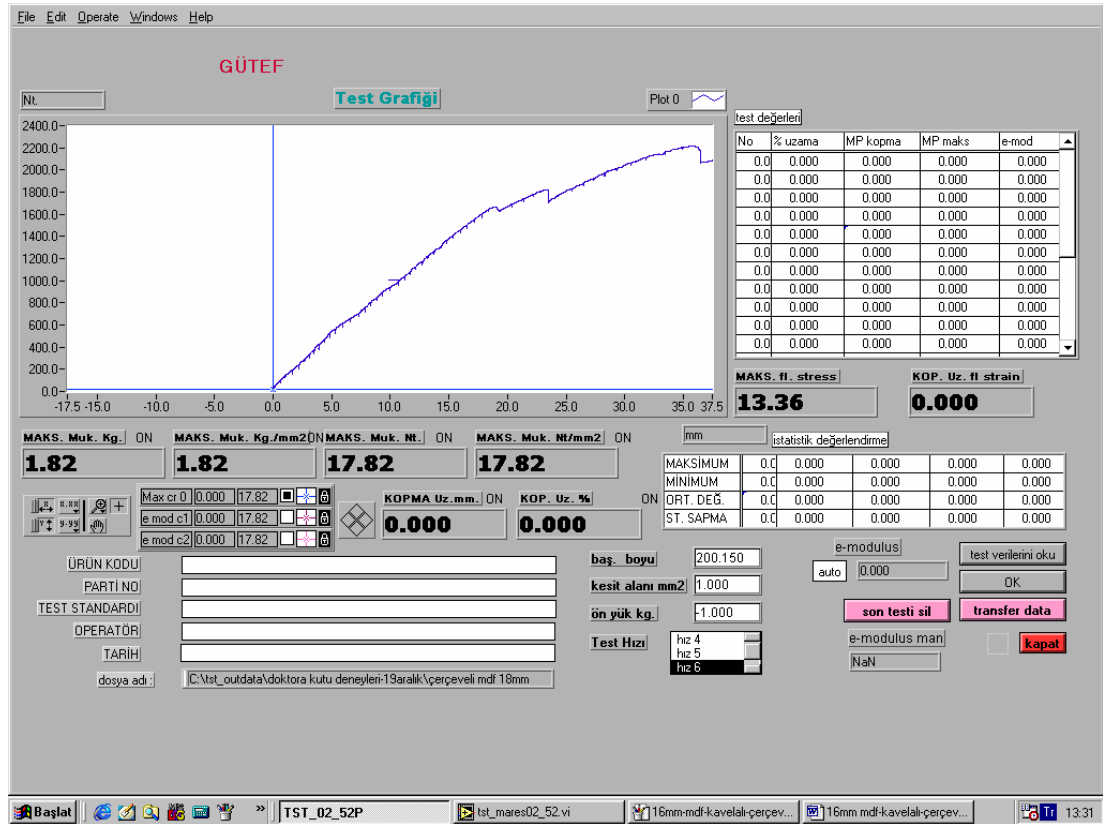


Şekil 5.2. Çerçeveseli ve kavelalı birleştirilmiş 18 mm kalınlığındaki MDF ile üretilen deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen teorik, deney ve ansys sonuçları arasındaki ilişkiyi gösterir diyagram

EK-5 (Devam) Çerçevesi kutu tipi mobilya analizleri



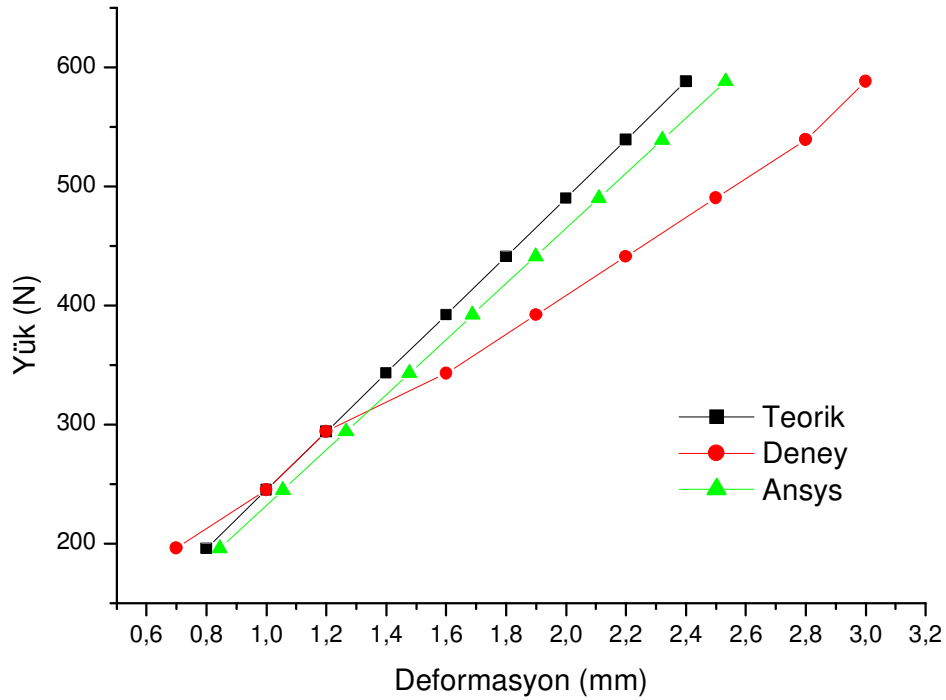
Resim 5.3. Ansys sonucu elde edilen yer-değiştirme (y_1) mm



Resim 5.4. Ünlversal test makinesinde kutu tipi mobilya deneyleri sonucunda elde edilen yük-deformasyon grafiğı (18 mm MDF Çerçevesi kavelalı)

EK-5 (Devam) Çerçeveseli kutu tipi mobilya analizleri

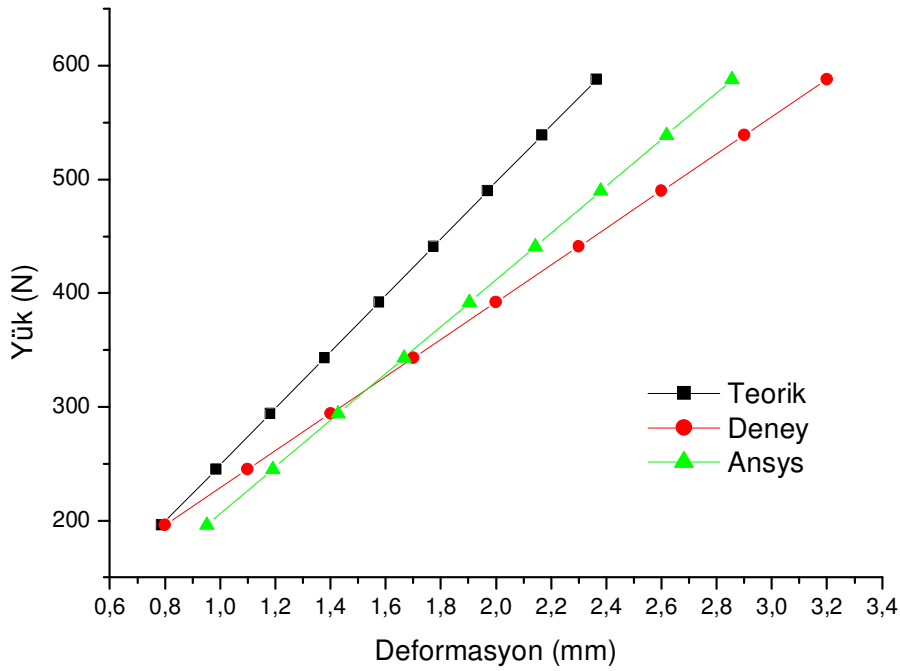
Çerçeveseli, 18 mm kalınlığında kavelalı birleştirilmiş kontrplak ile üretilen örneklerin, teorik, deney ve sonlu elemanlar yazılımı programında deneyler sonucu oluşan yük-deformasyon (y_1 yönündeki uzama değerleri) arasındaki ilişki Şekil 5.3’de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 5.5’de, üniversal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 5.6’da gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Çerçeveseli ve kavelalı birleştirilmiş 18 mm kalınlığındaki kontrplak ile üretilen deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen teorik, deney ve ansys sonuçları arasındaki ilişkiyi gösterir diyagram

EK-5 (Devam) Çerçevesi kutu tipi mobilya analizleri

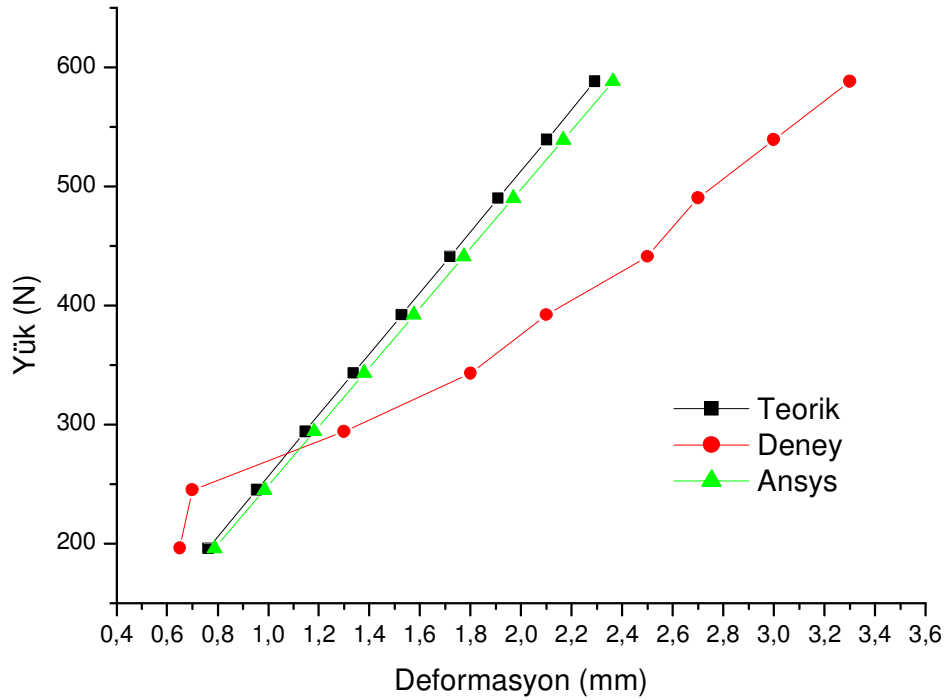
Çerçevesi, 18 mm kalınlığında vidalı birleştirilmiş yonga levha ile üretilen örneklerin, teorik, deney ve sonlu elemanlar yazılımı programında deneyler sonucu oluşan yük-deformasyon (y_1 yönündeki uzama değerleri) arasındaki ilişki Şekil 5.4'de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 5.7'de, universal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Çerçevesi ve vidalı birleştirilmiş 18 mm kalınlığındaki yonga levha ile üretilen deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen teorik, deney ve ansys sonuçları arasındaki ilişkiyi gösterir diyagram

EK-5 (Devam) Çerçeveseli kutu tipi mobilya analizleri

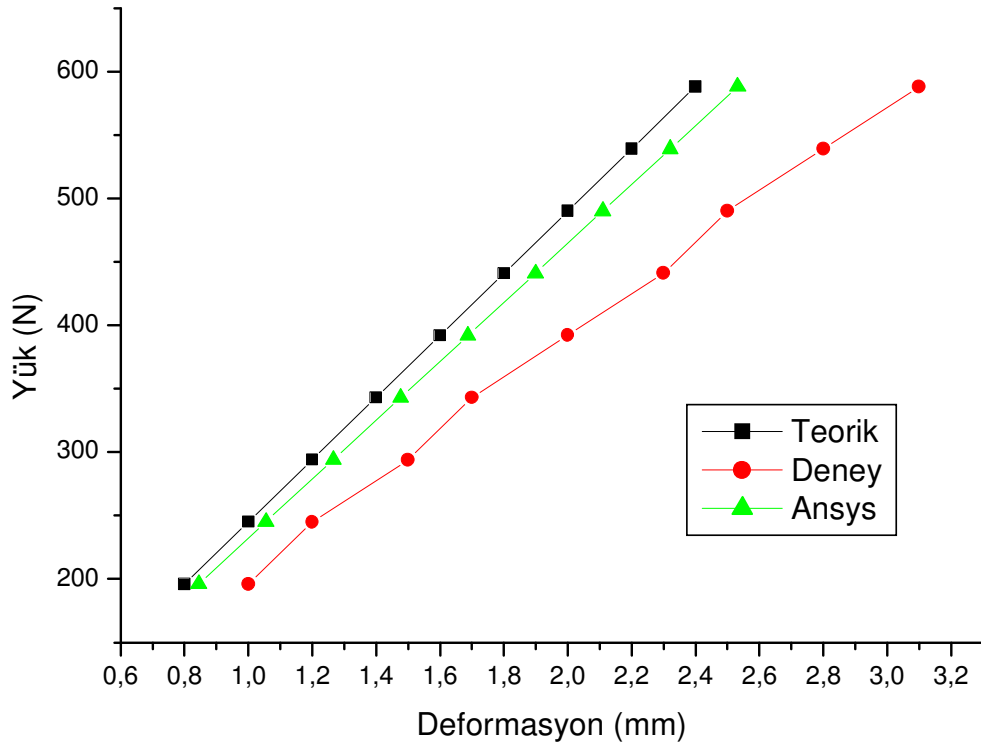
Çerçeveseli, 18 mm kalınlığında vidalı birleştirilmiş MDF ile üretilen örneklerin, teorik, deney ve sonlu elemanlar yazılımı programında deneyler sonucu oluşan yük-deformasyon (y_1 yönündeki uzama değerleri) arasındaki ilişki Şekil 5.5’de, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 5.9’da, üniversal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 5.10’da gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Çerçeveseli ve vidalı birleştirilmiş 18 mm kalınlığındaki MDF ile üretilen deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen teorik, deney ve ansys sonuçları arasındaki ilişkiyi gösterir diyagram

EK-5 (Devam) Çerçeveseli kutu tipi mobilya analizleri

Çerçeveseli, 18 mm kalınlığında vidalı birleştirilmiş kontrplak ile üretilen örneklerin, teorik, deney ve sonlu elemanlar yazılımı programında deneyler sonucu oluşan yük-deformasyon (y_1 yönündeki uzama değerleri) arasındaki ilişki Şekil 5.6'da, Ansys programı sonucu elde edilen yer değiştirme Resim 5.11'de, universal test cihazında görüntülenen yük-deformasyon değişimi ise Resim 5.12'de gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Çerçeveseli ve vidalı birleştirilmiş 18 mm kalınlığındaki kontrplak ile üretilen deney örneklerinin yük-deformasyon sonucunda elde edilen teorik, deney ve ansys sonuçları arasındaki ilişkiyi gösterir diyagram

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Hasan Özgür MİRZİ
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 10.10.1977 Mersin
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 2028839
 Faks : 0 (312) 2120059
 e-mail : himirzi@gazi.edu.tr

Eğitim Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/Mob ve Dek Eğt.	2000
Lisans	Gazi Üniversitesi/Mob ve Dek Eğt.	1998
Lise	Mersin E.M.L	1994

İş Deneyimi Yıl	Yer	Görev
1998-1999	Ergün Korkmaz E.M.L, Tekirdağ	Teknik Öğretmen
1999-2000	Sincan Fatih E.M.L, Ankara	Teknik Öğretmen
2001-2008	Gazi Üni. Tek.Eğt.Fak. Mob ve Dek Eğt.	Arş.Gör.

Yayınlar

1. Efe, H., İmirzi, H., Ö., “Çerçeve Konstrüksiyonlu Masif Mobilya “T” Birleştirmelerde Çekme Dirençleri Karşılaştırmaları” *Politeknik Dergisi*, , Ankara, 4(4): 95-101 (2001).
2. Efe, H., Gürleyen, L., İmirzi, H. Ö., “Mobilya Endüstrisinde Kullanılan Önemli Temel işlem Makinelerinin Ergonomik Tasarım Kriterleri Açısından İrdelenmesi”, *9. Ulusal Ergonomi Kongresi*, 16-18 Ekim, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2003.
3. Efe, H., Erdil, Y., Z., Kasal, A., İmirzi, H. Ö., “Withdrawal strength and moment resistance of screwed T-type end-to-side grain furniture joints”, *Forest Products Journal*, Nov, 54(11): 91-97 (2004).

4. Efe, H., İmirzi, H., Ö., Dizel, T., “Oturma Mobilyası Tasarımını Etkileyen Ergonomik Kriterler”, *Uluslar arası 10. Ergonomi Kongresi*, 07-09 Ekim, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 2004.
5. “Avrupa’da Mobilya Üretim Sektörü ve Gelişimi” *Leonardo Da Vinci Hareketlilik Projesi*, (2005).
6. “Ağaç ve Ağaç Esaslı Malzemelerin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi”, *Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri*, 07-2003-34, Sonuç Raporu, (2006).
7. Efe, H., İmirzi, H., Ö., “Mobilya Üretiminde Kullanılan Çeşitli Bağlantı Elemanlarının Mekanik Davranış Özellikleri”, *Politeknik Dergisi*, 10(1): 93-103 (2007).
8. Efe, H., İmirzi, H., Ö.,” Farklı Birleştirme Teknikleri ve Değişik Kalınlıklardaki Levhalarla Üretilmiş Kutu-Tipi Mobilya Köşe Birleştirmelerinin Moment Taşıma Kapasitesi”, *Politeknik Dergisi*, 11(1): 6575 (2008).

Hobiler

Sinema, tiyatro, müzik, kayak ve yüzme.