

T.C.
MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AĞAÇIŞLERİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

AĞAÇ TÜRÜ, TUTKAL ÇEŞİDİ VE ZIVANA
ÖLÇÜLERİNİN L-TİPİ MOBİLYA
BİRLEŞTİRMELERİNİN MOMENT KAPASİTESİNE
ETKİLERİ VE GERÇEK DENEY SONUÇLARININ
SONLU ELEMANLAR ANALİZİ SONUÇLARIYLA
KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İBRAHİM YALÇIN

MART 2014

MUĞLA

T.C.
MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AĞAÇIŞLERİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

AĞAÇ TÜRÜ, TUTKAL ÇEŞİDİ VE ZIVANA
ÖLÇÜLERİNİN L-TİPİ MOBİLYA
BİRLEŞTİRMELERİNİN MOMENT KAPASİTESİNE
ETKİLERİ VE GERÇEK DENEY SONUÇLARININ
SONLU ELEMANLAR ANALİZİ SONUÇLARIYLA
KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İBRAHİM YALÇIN

MART 2014

MUĞLA

MUGLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEZ ONAYI

İbrahim YALÇIN tarafından hazırlanan **AĞAÇ TÜRÜ, TUTKAL ÇEŞİDİ VE ZIVANA ÖLÇÜLERİNİN L-TİPİ MOBİLYA BİRLEŞTİRMELERİNİN MOMENT KAPASİTESİNE ETKİLERİ VE GERÇEK DENEY SONUÇLARININ SONLU ELEMANLAR ANALİZİ SONUÇLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI** başlıklı tezinin, 11/04/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ağaççileri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans derecesi için gerekli şartları sağladığı oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

TEZ SINAV JURİSİ

Prof. Dr. Yusuf Ziya ERDİL (**Jüri Başkanı**)

Ağaççileri End. Müh. Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Prof. Dr. Ali KASAL (**Danışman**)

Ağaççileri End. Müh. Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Yrd. Doç. Dr. Harun DİLER (**Üye**)

Akdeniz Üniversitesi Teknik Bilimler Yüksek Okulu
Mobilya ve Dekorasyon Bölümü, Antalya

İmza:

İmza:

İmza:

ANA BİLİM DALI BAŞKANLIĞI ONAYI

Prof Dr. Ergün BAYSAL

Ağaççileri End. Müh. Ana Bilim Dalı Başkanı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Prof. Dr. Ali KASAL

Danışman, Ağaççileri End. Müh Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza:

İmza:

Savunma Tarihi: 11/04/2014

*Jüri Başkanının ismi birinci sırada verilecektir

**Danışmanın ismi ikinci sırada verilecektir

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

İbrahim YALÇIN
07/03/2014

ÖZET

AĞAÇ TÜRÜ, TUTKAL ÇEŞİDİ VE ZIVANA ÖLÇÜLERİNİN L-TİPİ MOBİLYA BİRLEŞTİRMELERİNİN MOMENT KAPASİTESİNE ETKİLERİ VE GERÇEK DENEY SONUÇLARININ SONLU ELEMANLAR ANALİZİ SONUÇLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI

İbrahim YALÇIN

Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Ağaççşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali KASAL

Mart 2014, 122 Sayfa

Bu çalışmada, çerçeve konstrüksiyonlu mobilyalarda, özellikle de sandalyelerde ön ayak–yan kayıt bağlantısını temsil eden L-tipi birleştirme elemanlarının, statik diyagonal basınç ve çekme altındaki moment kapasitelerinin ve elastikiyetlerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, 2 ağaç türü, 2 tutkal çeşidi, 9 zıvana ölçüsü, 3 genişlik (30, 40, 50 mm), 3 uzunluk (30, 40, 50 mm), 2 yükleme tipi ve her örnekten 5 adet olmak üzere toplam 360 adet deney örneği hazırlanmış ve test edilmiştir. Deney örnekleri, Türkiye Mobilya Endüstrisi'nde yaygın olarak kullanılan Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) ve Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunlarından üretilmiş olup, zıvanaların yapıştırılmasında, polivinilasetat (PVAc) ve poliüretan (PÜ) tutkallarından yararlanılmıştır. Çalışmada ayrıca, L-tipi deney örneklerinin bilgisayar destekli üç boyutlu yapısal analizleri bir sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS Workbench ile yapıp, gerçek test sonuçları ile analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Son olarak da, birleştirmelerin basınç ve çekme altındaki moment kapasitelerinin, ağaç türü, tutkal çeşidi ve zıvana ölçülerine göre tahmin edilebileceği bir eşitlik geliştirilmiş ve kabul edilebilir tahmini değerlere ulaşılmıştır.

Deney sonuçlarına göre, hem zıvana genişliği hem de zıvana uzunluğundaki artışın moment kapasitesini arttırdığı, Doğu kayınından hazırlanan birleştirmelerin sarıçamdan hazırlanan birleştirmelere, PU tutkallı birleştirmelerin de PVAc tutkallı birleştirmelere üstünlük sağladığı belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda, ön ayak – yan kayıt birleştirmesini temsil eden L-tipi zıvanalı birleştirmeler için optimum ölçüler basınç için 50x50 mm (genişlik x uzunluk), çekme için ise 40x50 mm olarak belirlenmiştir. Sonlu elemanlar metoduyla yapılan üç boyutlu yapısal analizlerin, L-tipi birleştirmelerin moment kapasitesi açısından yaklaşık % 50 tahmini değerler sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Mobilya mühendislik tasarımı, sonlu elemanlar metodu, çerçeve konstrüksiyon, L-tipi birleştirmeler, zıvanalı birleştirmeler.

ABSTRACT

EFFECTS OF THE WOOD SPECIES, ADHESIVE TYPE, AND TENON SIZE ON BENDING MOMENT CAPACITY OF L-TYPE FURNITURE JOINTS AND COMPARISON OF THE ACTUAL TEST AND FINITE ELEMENT ANALYSIS RESULTS

İbrahim YALÇIN

Master of Science (M.Sc.)

Institute of Science and Technology

Department of Woodworking and Industrial Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ali KASAL

March 2014, 122 Pages

Tests were carried out to compare the bending moment capacities and rigidities of L-shaped mortise and tenon furniture joints that especially represent the front leg to side rail joint of a chair under both static diagonal compression and tension loadings. In the scope of study, a total of 360 L-shaped round-edge mortise and tenon joint specimens were constructed and tested including the 2 wood species, 2 adhesive types, 3 tenon width, 3 tenon length, 2 loading types and 5 replications for each group. The specimens were constructed of Turkish beech (*Fagus oriesantalis L.*) and Scotch pine (*Pinussylvestris L.*) that are commonly used in Turkish Furniture Industry and tenons were glued with polyvinylacetate (PVA) or polyurethane (PU) adhesives. In the study, also computer aided three dimensional structural analyses of test chairs were analyzed with ANSYS Workbench software that is a finite element method, and the results of analyses were compared to the actual test results. Furthermore, an empirically derived expression was developed to estimate average ultimate bending moment capacity of joints under compression and tension loads as a function of wood species, adhesive type, and tenon size, and acceptable estimated values were obtained by the developed predictive expression.

Result of the tests indicated that moment capacity increased as either tenon width or tenon length increased. The result also indicated that tenon length had a greater effect on moment capacity than tenon width. In both compression and tension tests, Turkish beech joints were stronger than Scotch pine joints, and PU joints were stronger than PVA joints. At the end of the study, it was determined that for optimum tenon size; 50x50 mm (width x length) tenons for compression, and 40x50 mm tenons for tension and these dimensions could be applied for front leg to side rail joints in the production of chairs. It was observed that the three dimensional structural analyses by means of finite element method provide approximately 50 percent estimated values in terms of the bending moment capacities of L-type furniture joints.

Keywords: L-shaped furniture joints mortise and tenon joints, tenon size, moment capacity, compression load, tension load.

ÖNSÖZ

Yapılan çalışmanın planlanması ve yürütülmesinde, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım tez danışmanım değerli hocam Prof. Dr. Ali KASAL' a ve tez savunmamdaki yapıcı eleştirileri ile tezimin bilimsel kalitesini arttıran Prof. Dr. Yusuf Ziya ERDİL' e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışması kapsamında geliştirilen matematiksel modelin oluşturulmasında çok değerli katkıları olan kıymetli hocalarım Prof. Dr. Carl ECKELMAN ve Doç. Dr. Eva HAVIAROVA' ya teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarım sırasında gerek laboratuvar testlerinde gerekse sonlu elemanlar analizlerinde yardımcı olan araştırma görevlisi Tolga KUŞKUN' a, yine laboratuvar testleri sırasında yardımını esirgemeyen arkadaşım Adem UÇMAK' a teşekkür ederim.

Bana tez çalışmalarım sırasında manevi destek olan eşim Tülay YALÇIN' a minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Bu tez çalışması, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından (BAP proje no: 12127) desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Problemin Tanımlanması	3
1.2. Çalışmanın Hipotezi ve Özgün Değeri	4
1.3. Çalışmanın Amaçları.....	6
1.4. Çalışmanın Kapsam ve Yöntemi.....	7
2. KAYNAK ÖZETLERİ	9
2.1. Zıvanalı Birleştirmeler	9
2.2. Sonlu Elemanlar Analizi	11
3. MALZEME VE YÖNTEM	17
3.1. Ağaç Malzeme	17
3.1.1.Doğu kayını (<i>Fagus Orientalis L.</i>).....	17
3.1.2.Sarıçam (<i>Pinus Sylvestris L.</i>)	18
3.2. Tutkallar	19
3.2.1.Polivinil setat Tutkalı (<i>PVAc</i>)	19
3.2.2.Poliüretan Tutkalı.....	19
3.3. Deney örneklerinin Üretiminde Kullanılan Malzemenin Gerekli Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi	20
3.3.1.Yoğunluk ve rutubet.....	21
3.3.2.Liflere paralel çekme direnci	22
3.3.3.Liflere paralel basınç direnci.....	23
3.3.4.Liflere dik eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü.....	23
3.4. Deney Örneklerinin Hazırlanması.....	24
3.5. Deneylerin Yapılışı	28
3.6. L Tipi Deney Örneklerinin Bilgisayar Destekli Yapısal Analizi	32
3.7. Doğrusal Olmayan Regresyon Modeli.....	49
3.8. Verilerin değerlendirilmesi	51
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	52

4.1. Deney Örneklerinin Üretiminde Kullanılan Ağaç Malzemenin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri.....	52
4.2. Diyagonal Basınç Yükü Altındaki L-Tipi Zıvanalı Birleştirmelerin Deformasyon Karakteristikleri.....	52
4.3. Diyagonal çekme yükü altındaki L-tipi zıvanalı birleştirmelerin deformasyon karakteristikleri.....	57
4.4. Diyagonal Basınç Deneyi Sonuçları	61
4.5. Diyagonal Çekme Deneyi Sonuçları	68
4.6. L-Tipi Birleştirme Elemanlarının Basınç Yükü Altındaki Gerçek Mekanik Davranış Özelliklerinin Sonlu Elemanlar Analizi İle Karşılaştırılması	74
4.7. L-Tipi Birleştirme Elemanlarının Çekme Yükü Altındaki Gerçek Mekanik Davranış Özelliklerinin Sonlu Elemanlar Analizi İle Karşılaştırılması	85
4.8. Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi Sonuçları	95
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	99
KAYNAKLAR	102
ÖZGEÇMİŞ.....	107

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Doğu kayını ve Sarıçam malzemelerinin programa girilen özellikleri..	39
Çizelge 4.1. Deneyleerde kullanılan ağaç malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik değerleri.....	52
Çizelge 4.2. Diyagonal basınç deneylerinden elde edilen moment ve rijitlik ortalama ve varyasyon katsayıları	61
Çizelge 4.3. Ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğunun basınçta taşınan momente etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.....	62
Çizelge 4.4. Ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğuna ait rijitliğe ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları	63
Çizelge 4.5. Ağaç malzeme türünün moment ve rijitlik değerlerine etkilerine ilişkin ortalamaların karşılaştırılması	63
Çizelge 4.6. Tutkal çeşidinin ortalama moment değerlerine etkilerine ait ortalamaların karşılaştırma sonuçları	64
Çizelge 4.7. Zıvana genişliğinin ortalama moment ve rijitlik değerleri üzerindeki etkilerine ait ortalamaların karşılaştırma sonuçları	64
Çizelge 4.8. Zıvana uzunluğunun ortalama moment değerleri üzerindeki etkilerine ait ortalamaların karşılaştırma sonuçları	65
Çizelge 4.9. Ağaç malzeme türü – tutkal çeşidi ikili etkileşiminin moment kapasitesi değerlerine etkilerine ilişkin karşılaştırma sonuçları	65
Çizelge 4.10. Zıvana genişliği – zıvana uzunluğu ikili etkileşiminin moment kapasitesi değerlerine etkilerine ilişkin karşılaştırma sonuçları.....	66
Çizelge 4.11. Zıvana genişliği – zıvana uzunluğu ikili etkileşiminin moment kapasitesi değerlerine etkilerine ilişkin karşılaştırma sonuçları.....	67
Çizelge 4.12. Diyagonal çekme deneylerinden elde edilen moment ve rijitlik ortalamaları ve varyasyon katsayıları.....	68
Çizelge 4.13. Ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğunun çekmede taşınan momente etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.....	68
Çizelge 4.14. Ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğunun çekme yükü altında rijitlik değerlerine etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları	69
Çizelge 4.15. Ağaç malzeme türünün moment değerlerine etkilerine ilişkin ortalamaların karşılaştırılması	70
Çizelge 4.16. Tutkal çeşidinin ortalama moment değerlerine etkilerine ait ortalamaların karşılaştırma sonuçları	70

Çizelge 4.17. Zıvana genişliğinin ortalama moment değerleri üzerindeki etkilerine ait ortalamaların karşılaştırma sonuçları	71
Çizelge 4.18. Zıvana uzunluğunun ortalama moment ve rijitlik değerleri üzerindeki etkilerine ait ortalamaların karşılaştırma sonuçları	71
Çizelge 4.19. Ağaç malzeme türü – tutkal çeşidi ikili etkileşiminin moment kapasitesi değerlerine etkilerine ilişkin karşılaştırma sonuçları.....	72
Çizelge 4.20. Zıvana genişliği – zıvana uzunluğu ikili etkileşiminin moment kapasitesi değerlerine etkilerine ilişkin karşılaştırma sonuçları.....	72
Çizelge 4.21. Tutkal çeşidi - zıvana genişliğinin ortalama moment ve rijitlik değerleri üzerindeki etkilerine ait ortalamaların karşılaştırma sonuçları	73
Çizelge 4.22. Ağaç türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğu dördü etkileşimine ait karşılaştırma sonuçları	73
Çizelge 4.23. Rijitlik katsayıları ve maksimum uzamalara ait karşılaştırma sonuçları	94
Çizelge 4.24. Diyagonal basınç için teorik ve deney sonuçlarının karşılaştırılması..	97
Çizelge 4.25. Diyagonal çekme için teorik ve deney sonuçlarının karşılaştırılması .	97

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Yoğunluk ve rutubet deney örneği.....	22
Şekil 3.2. Masif ağaç malzeme için çekme deneyi örneği (ölçüler mm’dir)	22
Şekil 3.3. Basınç direnci deneyi örneği (ölçüler mm’dir).....	23
Şekil 3.4. Eğilme direnci deneyi düzeneği, örneği (ölçüler mm’dir).....	24
Şekil 3.5. Deneylerde kullanılan L-tipi birleştirme örneği (ölçüler mm)	25
Şekil 3.6. Planya makinesinde yüz, cumba açılması.....	25
Şekil 3.7. Kalınlık makinesinde kalınlığın çıkarılması	25
Şekil 3.8. Daire testere makinesinde en ve boy kesimi.....	26
Şekil 3.9. Erkek zıvana açma makinesi.....	26
Şekil 3.10. Dişi zıvana açma makinesi	26
Şekil 3.11. Deney örneklerine açılan zıvana ölçüleri (ölçüler mm).....	27
Şekil 3.12. Yağlı kağıt ile kaplanmış erkek zıvanalar.....	27
Şekil 3.13. İşkencelerle sıkılmış 10’lu deney numuneleri	28
Şekil 3.14. Diyagonal basınç (a) ve çekme (b) deney düzeneği ve yük uygulama biçimi.....	29
Şekil 3. 15. Diyagonal basınç deney düzeneği.....	29
Şekil 3. 16. Diyagonal çekme deney düzeneği	30
Şekil 3. 17. Üniwersal test cihazında yük –yer değiştirme grafiği	31
Şekil 3.18. Diyagonal basınç (a) ve çekme (b) yükü altındaki yer değiştirme (rotasyon)	32
Şekil 3.19. Ansys programı çalışma sayfası	33
Şekil 3. 20. Birim sisteminin ayarlanması	33
Şekil 3. 21. Geometri seçeneğinin ANSYS çalışma sayfasına taşınması	34
Şekil 3.22. Modelin programa yüklenmesi	34
Şekil 3.23. Model için ölçü biriminin ayarlanması	35
Şekil 3.24. Modelin import edilerek Ansys ekranına taşınması.....	35
Şekil 3.25. Modelin Ansys ekranına taşınması	36
Şekil 3.26. Deney örneğinin eksenlere göre ayarlanması	36
Şekil 3. 27. Modelin “Generate” edilmesi ve “Geometry” çalışma sayfasına getirilmesi.....	37
Şekil 3.28. Analiz tipinin “Static Structural (ANSYS)” olarak seçilmesi	37

Şekil 3.29. “Static Structural (ANSYS)” aşamaları	38
Şekil 3.30. Malzeme aktarımı	38
Şekil 3.31. Malzemenin programa tanıtılma penceresi	39
Şekil 3.32. Malzeme özelliklerinin programa tanıtılması	40
Şekil 3.33. Model sayfasına geçiş	41
Şekil 3.34. Birleştirme modellerine Doğu kayını ve Sarıçam malzemelerinin atanması.....	41
Şekil 3.35. Birleştirme noktalarının tanımlanması.....	42
Şekil 3.36. “Mesh” menüsü.....	43
Şekil 3.37. Mesh yönteminin belirlenmesi.....	43
Şekil 3.38. Mesh yönteminin "Hex Dominant" olarak ayarlanması	44
Şekil 3.39. Mesh örgüsünün ölçülendirilmesi.....	45
Şekil 3.40. Mesh (ağ oluşturma) işleminin gerçekleştirilmesi.....	45
Şekil 3.41. Mesh işlemi tamamlanmış deney örneği.....	46
Şekil 3.42. Deney kuvvetinin tanımlanması	46
Şekil 3.43. Deney Kuvvetlerinin Uygulanması	47
Şekil 3.44. Mesnet noktalarının tanımlanması.....	48
Şekil 3.45. Çözüm aşamasına geçiş	49
Şekil 3.46. Çözüm aşamasına geçiş	49
Şekil 4.1. Basınç deneylerinde gözlenen birinci deformasyon biçimi	53
Şekil 4.2. Basınç deneylerinde gözlenen ikinci deformasyon biçimi	55
Şekil 4.3. Basınç deneylerinde gözlenen üçüncü deformasyon biçimi.....	56
Şekil 4.4. Çekme deneylerinde gözlenen birinci deformasyon biçimi.....	58
Şekil 4.5. Çekme deneylerinde gözlenen ikinci deformasyon biçimi.....	59
Şekil 4.6. Çekme deneylerinde gözlenen üçüncü deformasyon biçimi	60
Şekil 4.7. 30x30 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması.....	76
Şekil 4.8. 30x40 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması.....	77
Şekil 4.9. 30x50 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması.....	78
Şekil 4.10. 40x30 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması.....	79
Şekil 4.11. 40x40 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması.....	80

Şekil 4.12. 40x50 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması.....	81
Şekil 4.13. 50x30 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması.....	82
Şekil 4.14. 50x40 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması.....	83
Şekil 4.15. 50x50 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması.....	84
Şekil 4.16. 30x30 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması.....	85
Şekil 4. 17. 30x40 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması.....	86
Şekil 4.18. 30x50 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması.....	87
Şekil 4. 19. 40x30 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması.....	88
Şekil 4.20. 40x40 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması.....	89
Şekil 4.21. 40x50 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması.....	90
Şekil 4.22. 50x30 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması.....	91
Şekil 4.23. 50x40 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması.....	92
Şekil 4.24. 50x50 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması.....	93

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

D_o	Tam Kuru Yoğunluk
σ_E	Eğilme Direnci
σ_B	Basınç Direnci
m_r	Hava Kuru Ağırlık
m_o	Tam Kuru Ağırlık
N	Newton
S	Kesme Direnci
D	Yoğunluk
L	Uzunluk
M	Moment
E	Elastikiyer
F	Kuvvet
W	Genişlik
d	Zıvana Alın Mesafesi
ks	Rijitlik Katsayısı
Yd	Yer Değiştirme
nm/radyan	Rijitlik
PVAc	Polivinil Asetat Tutkalı
PÜ	Poliüretan

1. GİRİŞ

Eckelman (1966) mobilya üretiminde genel olarak, kutu, çerçeve ve kombine olmak üzere üç temel konstrüksiyon tipi 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 karakterize edilmektedir.

Çerçeve konstrüksiyonlu mobilyalarda, örneğin döşemeli koltuk, kanepeler gibi mobilyaların iskelet kısımlarında, çeşitli sandalyelerde; çerçeve sistemini oluşturan elemanlar gerekli noktalarda birbirlerine farklı birleştirme teknikleriyle bağlanmaktadır. Bu tekniklerden zıvanalı birleştirmeler tutkallı olarak uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Çerçeve konstrüksiyonlu mobilyalarda birleştirmelerin sağlamlığı, çerçeve sisteminin bütününe sağlamlığını temsil etmektedir. Bu nedenle, çerçeve sistemini oluşturan elemanların ve özellikle de sistemin en kritik yerleri olan birleştirmelerin yeterli mukavemete sahip olmaları gerekir.

Çerçeve sistemlerde, T-tipi ve L-tipi birleştirme elemanları ile sıkça karşılaşılır. Bu elemanlara örnek olarak; sandalyelerde, döşemeli koltuk ve kanepeler iskeletlerinde; ön kayıt-ara kayıtlar, arka kayıt-ara kayıtlar, arka kayıt-arkalık ara kayıtları, arka ayak-yan kayıt, ön ayak-yan kayıt, arka ayak-yan ara kayıt, ön ayak-yan ara kayıt, arka ayak-kolçak gibi birleştirme noktaları verilebilir. Bu birleştirmeler, kullanım sırasında yükleme biçimine göre çekme, eğilme, kesme (makaslama) ve burulma gibi zorlayıcı kuvvetlerin etkisinde kalmaktadır.

Efe (1994) bir mobilya yaratılırken dikkate alınması gereken üç tasarım alanı vardır. Bunlardan birincisi olan işlevsel tasarım, mobilyanın ne işe yarayacağını, mobilyadan beklenen temel yararların ne olduğunun belirlenmesidir. Estetik tasarım ise, ilgili kültürün ya da modanın etkisinde, ayrıca kullanıcı talepleri de dikkate alınarak mobilyada biçim, doku, renk, çizgi vb. özelliklerin tasarlanmasını konu alan sanatsal bir çalışmadır. Son tasarım alanı olan mühendislik tasarımı da, mobilyada

ergonomik ölçütlerin, malzemelerin, yapım tekniklerinin ve üretim teknolojilerinin en uygun biçimde belirlenmesi işlemleridir.

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

Kasal (2004) mobilyada mühendislik tasarımı ve mukavemet analizi kavramları nispeten yeni kavramlar olup, Türkiye dâhil birçok ülkede sistematik olarak uygulanmamaktadır. 1950'lerin ortalarına kadar, mobilya; yapısal bir konstrüksiyon sistemi olarak tanımlanması gerçeğine rağmen yapısal anlamda analiz edilmemiş olup, mobilya elemanlarının ve birleştirmelerinin tasarımı neredeyse hiçbir zaman matematiksel teorilerin konusu olmamıştır. Bunun yerine, eleman ölçülerinin ve birleştirme konstrüksiyonlarının belirlenmesinde geçmiş tecrübeler ve estetik faktörler etkili olmuştur. Mühendislik tasarımı, mobilyada ergonomik kriterlerin, malzemelerin, konstrüksiyonların (yapım teknikleri) ve üretim teknolojilerinin optimum şekilde belirlenmesi işlemlerini kapsar. Mühendislik tasarımı, ekonomik, estetik ve teknik hususların ideal arakesitinde oluşan ürün tasarımlarının gerçekleştirilebilmesi açısından önemlidir ve kesinlikle bilimsel esaslara dayalı olarak yapılmalıdır.

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

Eckelman (1991) mobilya mühendisliği kavramı halen metodolojik olarak uygulanmaması ve anlaşılmamasına rağmen, son zamanlarda ilgi çekici hale gelmeye başlamıştır. Bunun nedeni olarak, kullanıcıların daha güvenilir ürünler talep etmesi, bazı ülkelerde devletin ürün garantisi konusundaki baskıları, ekonomik

malzemelere olan ihtiyacın artması ve sezgiyle yapısal olarak sağlam ve güvenilir mobilya tasarlayabilen tecrübeli ustaların sayılarının giderek azalması gösterilebilir.

1.1. Problemin Tanımlanması

Kasal (2004) günümüz itibarıyla Türkiye’ de mobilya üretiminde iç pazar isteği neredeyse tamamıyla karşılanabilmektedir. Ayrıca, coğrafi konumu, dinamizmi ve son yıllarda yükselen gelişme trendleri gibi nedenlerle Türkiye, öncelikle Avrupa ülkeleri olmak üzere ilişkili olduğu tüm ülkelere ürünlerini pazarlayabilecek duruma gelmiştir. Ancak, arzu edilen bu durumun gerçekleşebilmesi için, üretilen ürünlerde istikrarlı bir kalite düzeyinin yerleştirilmesi gerekmektedir. Amaçlanan kalite düzeyinin yerleştirilebilmesi ise bilimsel ve teknik yaklaşımlar gerektirir.

Mobilya mühendisliği konusu, günümüzde halen çocukluk dönemini yaşamaktadır ve mobilya tasarımcıları yapısal tasarımı gerçekleştirirken mühendislik işlemlerini metodolojik olarak uygulamamakta, kendi kararlarına ve tecrübelerine güvenmektedirler. Ayrıca, bu konuda geniş kapsamlı bir sayısal veri tabanı hala oluşturulamamıştır ve çözümlenmeyi bekleyen birçok problemler mevcuttur. Bir başka önemli faktör de, mobilya olgusunun mühendislik yönünün olması ile birlikte, sanatsal bir boyutunun da olduğu unutulmamalıdır. Mobilya sanat ve bilimin arakesitinde bir endüstriyel ürün olarak nitelendirilmektedir. Bununla birlikte, özellikle çerçeve (iskelet) konstrüksiyonlu mobilyaların yapısal analizi ile ilgili büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Çözülmeyi bekleyen en büyük problem kullanım yüklerinin belirlenmesi ve birleştirme konstrüksiyonları için kabul edilebilir tasarım yükü değerlerinin tespit edilmesidir. Bu problemleri çözmek amacıyla geniş kapsamlı çalışmalar yapılmaktadır ve buna bağlı olarak sürekli yeni çözümler ortaya çıkmaktadır.

Bir mobilyada meydana gelebilecek deformasyonların, çok istisnai diğer nedenler ve koşullar dışında, sistemin elemanlarından ziyade birleştirmelerinde meydana geleceğini söylemek yanıltıcı olmaz. Bu konularda bugüne kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde, sistemin elemanlarının mekanik direnç özellikleri ile ilgili yapılan çalışmaların, sistemin düğüm noktalarının (birleştirmelerin) mukavemeti ile ilgili yapılan çalışmalardan daha fazla olduğu görülmektedir. Ancak, şunu da belirtmek

gerekir ki, birleştirmelerin mukavemeti ile ilgili yapılan çalışmaların sayısı da giderek artmakta ve özellikle sayısal bir veri tabanı oluşturma açısından bu durum önem arz etmektedir.

Kasal (2004) teknolojinin hızlı geliştiği günümüzde, bilgisayar teknolojilerinin kullanımı yaygınlaşmış, modern mobilya tasarım sürecinin birçok basamağında bu teknolojilerin kullanımı mümkün olmaktadır. Modern bilgisayarların yaygın bir Şekilde kullanılmaya başlanması bu zorlukları ortadan kaldırmıştır.

Efe (2003) mühendislik işlemleri yapılırken kullanılan teknik imknlar da büyük önem taşımaktadır. Günümüzde mobilya sistemlerinin mühendislik tasarımı, katı modelleme ve yapısal analiz programları kullanarak yapılabilmektedir. Sistemin tüm elemanları bilgisayar ortamında parametrik olarak modellenenbilmekte ve gerekli değişiklikler katı modellemenin sağladığı avantajlar sayesinde kolayca yapılarak optimizasyonlar sağlanabilmektedir. Ayrıca, mobilya sisteminin tüm mukavemet hesapları da bilgisayar destekli analiz programları tarafından yapılabilmektedir.

Haviarova vd (2001); Gustafsson (1996), bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve retim (CAM), mobilya üretim ve tasarımında kullanılmakta ve ürün kalitesine büyük katkılar sağlamaktadır. Ayrıca, bilgisayar destekli yapı analizlerinin mobilyaya uyarlanması ile ilgili örnekler de mevcuttur. Yapılan bu uygulamalarda amaç, bir mobilya üretilmeden önce sanal bilgisayar ortamında yapı analizi teknikleriyle mukavemet bakımından optimum bir düzeye getirilmesidir.

1.2. Çalışmanın Hipotezi ve zgn Değer

Bu çalışmanın hipotezi; bilim ve sanatın arakesitinde; kaliteli, sağlam ve ekonomik zıvanalı ereve konstrüksiyonlu mobilyalar üretebilmek için, mobilya mühendisliğindeki yöntemlerinin, mobilyadaki birleştirmelerin tasarımında uygulanabilirliğini ispat etmektir.

Günümüz mobilya sektöründe, mobilya tasarımının doğal ve vazgeçilmez bir tasarımı olan mühendislik tasarımı ülkemizde ve dünyada henüz sistematik olarak uygulanmamaktadır. Mobilya mühendislik tasarımına verilmesi gereken değer

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

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

Literatürde, mobilya mühendisliği, performans testleri ve birleştirme tasarımı ile ilgili çalışmalar olmasına rağmen, bilgisayar destekli üç boyutlu yapısal analizlerin mobilya mühendisliği sürecinde kullanılması ile ilgili ayrıntılı araştırmalar mevcut değildir. Mobilya mühendislik tasarımı için gerekli veri tabanına katkı sağlamaya yönelik bu çalışmada, sonlu elemanlar analizi yöntemiyle bilgisayar destekli üç boyutlu yapısal analizlerin kullanılması ve gerçek test sonuçlarıyla karşılaştırılacak olması uluslararası ve ulusal literatürdeki sınırlı çalışmalardan bir tanesi olup,

çalışmanın özgünlüğünün bir göstergesidir. Bu çalışma ileride bu konularda çalışacak olan araştırmacılar için önemli bir referans teşkil etmektedir.

Çalışmada, L-tipi birleştirmelerin mukavemetinin önceden tahmin edilebileceği formüller geliştirilmiş olması da ulusal ve uluslararası literatür incelemelerine göre özgün bir yaklaşım olacaktır. Literatürde, L-tipi zıvanalı birleştirmelerin mukavemetini tahmin edebilmek için formül geliştirme ile ilgili çalışmalara rastlanmamıştır.

1.3. Çalışmanın Amaçları

Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye Mobilya Endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Doğu kayını ve Sarıçam odunlarından polivinilasetat (PVAc) ve Poliüretan (PÜ) tutkalıyla, 3 zıvana genişliği ve 3 zıvana uzunluğu olmak üzere 9 farklı ölçülerde zıvanalı birleştirme uygulanarak üretilmiş L-tipi birleştirme elemanlarının statik diyagonal basınç ve çekme yükü altındaki moment kapasiteleri hakkında sayısal veriler elde etmektir.

Çalışmanın yukarıda belirtilen temel amacı yanında;

- L-tipi birleştirmelerin moment kapasitesi üzerinde ağaç türünün etkisinin belirlenmesi,
- L-tipi birleştirmelerin moment kapasitesi üzerinde tutkal çeşidinin etkisinin belirlenmesi,
- L-tipi birleştirmelerin moment kapasitesi üzerinde zıvana genişliğinin etkisinin belirlenmesi,
- L-tipi birleştirmelerin moment kapasitesi üzerinde zıvana uzunluğunun etkisinin belirlenmesi,
- L-tipi birleştirmelerin moment kapasitesinin önceden tahmin edilebileceği matematiksel modeller geliştirilmesi,
- Sonlu elemanlar analiziyle yapılan bilgisayar destekli üç boyutlu yapısal analizlerin, L-tipi birleştirmelerin mukavemeti ve davranışı hakkında uygun tahmini değerler sağlayıp sağlamadığının belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.4. Çalışmanın Kapsam ve Yöntemi

Deneyleerde, bir sandalyenin ön ayak – yan kayıt bağlantısını temsil eden L-tipi birleştirmeler örnek olarak alınmışlardır. Sandalye kullanımı sırasında önden arkaya veya arkadan öne doğru yapılan zorlama hareketleri, sandalyenin ön ayak-yankayıt birleştirmelerini diyagonal basınç ve çekme etkisinde bırakır. Diyagonal çekme ve basınçta birleştirme noktalarında önemli bir moment oluşur ve birleştirmeler oluşan bu momenti güvenli bir şekilde taşıyacak kapasitede olmalıdır.

Bu çalışma, çerçeve konstrüksiyonlu mobilyalarda ön ayak – yan kayıt birleştirmelerini temsil eden L-tipi zıvanalı birleştirmelerin diyagonal çekme ve basınç yükleri altındaki moment kapasitelerinin gerçek testlerle belirlenmesi, testlerden elde edilen verilerin bilgisayar destekli analiz verileriyle karşılaştırılması ve bu tip birleştirmelerinin mukavemetlerinin önceden belirlenebileceği formüller geliştirilmesini kapsamaktadır.

Çalışma kapsamında, 2 ağaç türü, 2 tutkal çeşidi, 9 farklı zıvana ölçüsü, 2 yükleme tipi ve her örnekten 5 adet olmak üzere toplam 360 adet L-tipi deney örneği hazırlanmıştır. Deney örnekleri Türkiye Mobilya Endüstrisi'nde yaygın olarak kullanılan Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) ve Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunundan üretilmiştir. Hazırlanan deney örnekleri statik yükleme ile diyagonal basınç ve çekme testine tabi tutulmuştur.

Bu çalışmada, belirlenen amaçlara ulaşabilmek için izlenen yöntemler;

1. L-tipi deney örneklerinin üretiminde kullanılan malzemelerin, mukavemet tasarımında ihtiyaç duyulacak bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin ilgili standartlara uyularak belirlenmesi ve sandalye birleştirmelerini temsil eden, her bir zıvana ölçüsüne uygun olarak hazırlanmış L-tipi (ön ayak – yan kayıt) birleştirmesi deney örneklerinin hazırlanması ve statik yükleme ile diyagonal basınç ve çekme testine tabi tutulması ,
 - a. Yoğunluk ve rutubet tayini
 - b. Liflere paralel çekme dirençleri
 - c. Liflere paralel basınç dirençleri

- d. Liflere dik eğilme dirençleri
 - e. Elastikiyet modülü değerleri
 - f. Liflere paralel makaslama dirençleri
 - g. L-tipi birleştirme elemanlarının moment taşıma kapasiteleri ve elastikiyetleri.
2. Her bir zıvana ölçüsüne göre üretilen L-tipi deney örneklerinin 1/1 ölçekte üç boyutlu katı model olarak bilgisayar ortamına aktarılması,
 3. Gerçek deneylerden elde edilen veriler kullanılarak, L-tipi deney örneklerinin bilgisayar ortamında üç boyutlu yapısal analizlerinin yapılması,
 4. Analiz sonuçları ile gerçek deney sonuçlarının karşılaştırılması,
 5. L-tipi birleştirme elemanlarının mukavemetlerinin önceden tahmin edilebileceği matematiksel modeller geliştirilmesi,
 6. İstatistiksel analizlerin yapılması ve değerlendirilmesi,
 7. Sonuçların tartışılması ve yorumlanması.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Zıvanalı Birleştirmeler

Kürelî (1998) mobilya endüstrisinde üretilen sandalyelerin büyük çoğunluğunu ahşap sandalyeler oluşturmaktadır. Metalden yapılanlara göre ahşap sandalye daha hafif olduğu için, her insan kullanım esnasında kolayca hareket ettirebilmekte ve değişik amaçlar için kullanabilmektedir. Bu nedenle, riskli oturma ve dinamik kullanmalardan dolayı mekanik zorlanmalara maruz kalmaktadır.

Kürelî (1998) sandalyeler, hemen her yerde mekanik darbelere maruz kalarak kullanılan bir mobilya çeşididir. Bu bakımdan özellikle birleştirme yerlerinden çok zorlanır ve kullanılma sırasında açılma, ayrılma, kırılma gibi kusurlar meydana gelir. Sandalyelerin kullanılma anında birleşme yerlerinde meydana gelen momentler, birleştirme metodunun önemini ortaya çıkarmıştır. Sandalyede kullanılan ahşap birleştirmelerin özelliği, vida, çivi vb metal bağlama elemanlarına ihtiyaç duyulmadan, tutkal ile yapıştırılabilmektedir.

Hill ve Eckelman (1973), zıvanalı birleştirmeler, uzun yıllardır çok çeşitli mobilyaların yapımında kullanılmaktadır. Çerçeve köşe birleştirmelerinde, T-tipi birleştirmelerde ve ayak-kayıt birleştirmelerde kullanılan; açık zıvanalı, yarım açık zıvanalı, hampaylı zıvanalı vb. gibi çeşitli zıvanalı birleştirme teknikleri vardır. Zıvanalı birleştirmelerde önceleri tutkal kullanılmadığı, zıvanaların sıkı bir şekilde zıvana yuvasına oturtulduktan sonra, zıvananın yük yüzeyine dik olacak şekilde yerleştirilen kavelalar sayesinde kilitlendiği, bu şekilde sağlam ve güçlü birleştirmelerin elde edildiği anlaşılmıştır.

Sparkes (1968) zıvana uçlarının köşeli ya da dairesel olmasının eğilme mukavemeti üzerindeki etkilerini incelemiştir. Sonuçta, her iki durumun da mukavemet üzerindeki etkilerinin eşit olduğunu, ancak köşeli uçlu zıvananın dairesel uçlu zıvana deliğine girmesi durumunda diğer iki duruma oranla mukavemetin % 15 azaldığını

belirtmiştir. Ayrıca, zıvana genişliği ve uzunluğunun artırılmasıyla, eğilme mukavemetinin de artırılabilceğini bildirmiştir.

Kürel (1998) sandalye üretiminde kullanılan köşe birleştirmelerden kavelalı-zıvanalı birleştirmeler ile ilgili yapılan sağlamlık deneylerine göre; sandalyenin ön ve arka kayıtları ayaklara kavelalı birleştirme ile, yan kayıtları ön ve arka ayaklara zıvanalı birleştirme ile birleştirilmelidir.

Dupont (1963) zıvanalı birleştirmelerde optimum mukavemeti sağlamak için, hem zıvanaya hem de zıvana deliğine ait tüm yüzey alanlarının tutkalllanması gerektiğini vurgulamıştır. Ayrıca, zıvanalı birleştirme yapılacak ağaç malzeme rutubetinin %7–9 olmasının, birleştirmenin mukavemeti açısından en uygun rutubet derecesi olduğunu belirtmiştir.

Örs ve Altınok (1999), kayın ve çamdan hazırlanan deney örneği sandalyelere test kuvveti uygulama anında sandalyelerin zıvanalarındaki yapışma yüzeyinin açılıncaya kadar kuvvet taşıdığı, yapışma yüzeyinin açılmasından sonra zıvana sağlam kalmasına rağmen kuvvet taşımadığı bildirilmiştir.

Milham (1949) zıvana ile zıvana deliği arasındaki toleransın en az olduğu durumda, birleştirmenin mukavemet düzeyinin en yüksek olacağını kanıtlamıştır. Ayrıca, zıvana genişliğinin kayıt genişliğinden az olmasının, yani kayıt elemanının ayak elemanına bir dayanma yüzeyinin olmasının mukavemeti artırıcı etkisi olduğunu bildirmiştir.

Willard (1964, 1966, 1967), zıvanalı birleştirmelerde, yüzeyden presleme yönteminin, geleneksel kenardan presleme yönteminden daha güçlü bir bağlantı sağladığını bildirmiştir.

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

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

ölçümlerini yapmıştır. Mukavemet analizlerini bilgisayar destekli bir programdan yararlanarak 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.

2.2. Sonlu Elemanlar Analizi

Anıl ve Belgin (2007), 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.

Laemlaksakul (2008) Mobilya tasarımındaki en önemli gereklilikler güç ve dayanıklılıktır. Güç ve dayanıklılığı belirleyen sayısal bir yöntem başarılı bir şekilde geliştirilmiş ve sandalyelerin kalite kontrolü ve yapısal tasarımı için kullanılmaktadır. Bu çalışmada statik ve dinamik yüklemeler altında lamine bambu sandalyelerin dayanıklılık testi analizi değerlendirilmektedir. ISO 7173 sayısal modeli (Mobilya - Sandalye ve Tabureler - Güç ve Dayanıklılığın incelenmesi), yapısal hataları, örnek testlerin maliyetini ve süreci azaltmak için lamine bir ürüne sanal test yapılmasını içerir. Simülasyonlar doğrusal olmayan dinamik sonlu elemanlar (FE) yazılımını içerir. Sanal testler, lamine bambu sandalye tasarımının geliştirilmesini sağlamıştır.

Topçu ve Taşgetiren (1998), 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.

Smardzewski ve Prekrat (2009), Döşemeli mobilya üreticilerinin büyük çoğunluğu mühendislik uygulamaları yerine ustanın sezgi ve imitasyon becerisini kullanarak 36 tasarımlar yaparlar. Bu çalışmanın amacı, kanepenin çerçeve yapısının kesit çaplarının alt optimizasyonu için bir yöntem sunmak ve entegre bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli mühendislik ortamlarında döşemeli mobilyanın sanal prototip ihtiyacını göstermektir. Yapılan incelemelerin kapsamında, geliştirilen masif modellerin rakamsal hesaplamalarını temel alan iki kişilik kanepenin çerçevesinin kurucu elemanlarının inşasının kesit ve kalınlığının alt-optimal boyutlarını seçme ihtiyacı kabul edilir. Ancak planlanan inşanın alt optimizasyonuna yönelik uygun tedbirlerin üstlenilmesi, sınırlı element yöntemi ortamında geliştirilmiş modellerin uygunluğunu doğrulamak amaçlı dayanıklılık testlerinin yapılmasını gerektirir. Bu hesaplamaların sonuçlarının tatmin edici kalitesinin teyit edilmesi, azaltılmış boyutlu kesitlerinin önerilmesine ve daha sonra da endüstriyel uygulamalarda yeterli dayanıklılık ve sertlikte deneysel konstrüksiyon üretimine olanak tanır. Ana konstrüksiyon elemanlarının önerilen boyutlarıyla yapılan incelemelerin ışığında uygulanan alt optimizasyon sonucu kayın tüketimi %36 oranında azalırken sunta tüketimi %25 oranında azalmıştır. En önemli yapı elemanlarının boyutlarının azaltılması kanepenin çerçevesinin sertliği ve gücünde önemli bir azalma meydana getirmemiştir.

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 bir çok basamağında kullanımının mümkün olduğunu vurgulamıştır. Bu maksatla, bir sandalyenin yapısal analizini sonlu elemanlar metodu kullanarak yapmış, sonuçta kullanılan eleman ölçülerinin biraz daha düşürülmesi durumunda dahi sandalyenin aynı mukavemeti gösterebileceğini belirlemiştir.

Koç ve diğeri (2010). Bilgisayar Destekli Mühendislik (CAE) endüstride her geçen gün daha yaygın hale gelmektedir. Bunun nedeni kişisel bilgisayarlar ile yönetim anlayışı ve sanayinin gelişmesinin yanı sıra CAE sisteminin uygulama imkanları olarak tespit edilebilir. Bu çalışmada çok önemli bir mühendislik tekniği olan sonlu elemanlar yöntemi uygulaması (FEM), SolidWorks / CosmosWorks sistemi ile birlikte araştırılmıştır. Ahşap malzemenin yapısından ve bu malzemenin Mobilya Endüstrisine nakil koşullarından kaynaklanan zorlukların tartışılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, uygun analiz katsayısı ve sanal direnç değerleri, mevcut standart teorik bilgi ve endüstriyel uygulama örnekleri ile geliştirilmiştir. İkinci aşamada bu analiz gerçek bir ürün üzerinde uygulanmış ve analiz yaklaşımının uygulanabilirliği, yazılımdaki gerçek uygulama sonuçlarını temel alan teorik davranışlar ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Gustafsson (1996) benzer bir çalışmada huş ağacından basit bir sandalye hazırlamış, bu sandalyenin kullanım sırasında etkilenebileceği çeşitli yüklere karşı mukavemetini test etmiştir. Ayrıca aynı sandalyeyi modelleyerek sonlu elemanlar metodu ile aynı yükler karşısında çeşitli noktalarındaki gerilmeleri belirlemiştir. Test sonuçları ile analiz verilerinin mantıklı bir şekilde birbirini karşıladığını bildirmiştir.

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

ve köşelerdeki mukavemeti ANSYSTM tarafından analiz edilmiştir. Bu çalışmada mobilya tasarımcı ve üreticileri için önerilerde bulunulmuştur.

Gustafsson (1997) iskelet mobilyaların, yapısal olarak çözümü zor ve zaman alıcı olan çerçevelerden meydana geldiğini ve bunların analizinin problemlili bir iş olduğunu belirtmiş, bu sorunun sonlu elemanlar metodu yazılımları ile çözülebileceğini bildirmiştir. Çalışmasında, sonlu elemanlar metoduyla bir sandalyenin nasıl analiz edileceğini ve tasarlanacağını göstermiş, dışbudaktan hazırladığı gerçek sandalyenin gerilme diyagramları ile test sonuçlarını vermiştir.

Smardzewski (1998) mobilya tasarımının prensiplerini rasyonel hale getirmek ve malzeme kullanımını en aza indirirken elemanların ve birleştirme noktalarının mukavemetini en üst düzeye çıkaran konstrüksiyonlara ulaşmak için mobilya yan çerçevelerinin mukavemet analizini yapabilen bir yazılım geliştirme, işletme ve etkinliğini ölçme amacıyla bir araştırma projesi yürütmüştür. Örnek olarak bir sandalye yan çerçevesini analiz etmiş, geliştirilen bu programın doğru ve hızlı bir şekilde ahşap mobilya konstrüksiyonlarının rijitliğini ve mukavemetini analiz edilebildiğini kanıtlamıştır.

Daudeville vd. (1999), civatalı ahşap birleştirmelerin statik yük taşıma kapasitelerini deneysel ve teorik olarak analiz etmişler, civata çapı, eleman kesit ölçüleri gibi farklı yapısal parametrelerin mukavemet üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bilgisayar destekli teorik analizlerde bir sonlu elemanlar metodu olan “doğrusal elastik kırılma mekaniğinden faydalanmışlardır. Deneysel ve teorik sonuçlar karşılaştırıldığında, sonlu elemanlar metodunun, civatalı birleştirmelerin yük taşıma performansını tahmin etmede uygun bir metot olduğu bildirilmiştir.

Jensen vd. (2001) kavelalı birleştirmelerin aksenal çekme mukavemetlerini, doğrusal elastik kırılma mekaniği (ideal plastiklik) ve doğrusal elastik gerilme analizi olmak üzere iki ayrı bilgisayar destekli teorik çözüm kullanarak incelemişlerdir. Teorik ve deneysel sonuçları kıyaslamışlar, sonuçta tutkal hattındaki kayma direnci ve kırılma enerjisinin birleştirmelerin mukavemet özelliklerinin göstergesi olduğunu belirtmişlerdir.

Erdil (2002) 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.

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.

Smardzewski (2002), diğer bir çalışmada ise iskelet mobilyaların konstrüksiyonunda yaygın olarak kullanılan zıvanalı birleştirmelerin eğilme direncini incelemek amacıyla matematiksel bir metot geliştirmiş ve tutkallı zıvanalı birleştirmelerin mukavemetini etkileyen faktörleri belirlemeye çalışmıştır. Analizler, Ponzan Ziraat Üniversitesi’nde tasarlanmış ve geliştirilmiş olan bir bilgisayar programında yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; zıvanalı tutkallı birleştirmelerin eğilme direnci üzerinde kullanılan tutkallı kayma direnci ve birleştirmelerin yapıldığı ağaç türünün basınç direnci etkilidir. Ayrıca zıvanalı birleştirmenin sıkı bir şekilde yerleştirilmesiyle, tutkal hattındaki gerilmelerin azaldığı ve dolayısıyla mukavemetinin arttığı bildirilmiştir.

Nicholls ve Crisan (2002), kutu konstrüksiyonlu kavelalı ve minifiks tipi bağlantı elemanlı köşe birleştirmelerdeki gerilmeleri ve zorlanmaları sonlu elemanlar metoduyla analiz etmişlerdir. Sonuçta, katı modellerde oluşan gerilme konsantrasyon alanlarının, gerçek birleştirmelerdeki gibi geliştiğini gözlemlemişler ve köşe birleştirmelerdeki gerilme dağılımlarını doğru olarak tahmin edebilmişlerdir.

Cai ve diğeri (1995) kutu konstrüksiyonlu “moltinject” tipi köşe birleştirmelerin, kavelalı birleştirmeler ile kıyaslamalı olarak mukavemeti ve rijitliğini analiz etmişlerdir. Ayrıca “moltinject” tipi köşe birleştirmelerin yer değıştirmesi sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak anlamlı bir şekilde elde edilebilmiştir.

Eckelman vd. (2002), zig zag yaylarla döşenen bir kanepenin iskeleti tasarımının, zig zag 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 metodu 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 konulduğunu varsayımlar, bu modelde tel kirişler kayıttın düzlem yüzey dışı yüklemesini temsil ederken, diyagonal elemanlar da kayıttın burulma hesabında kullanılmıştır. Böylelikle, malzeme karakteristiklerine ilişkin verilere olan ihtiyaç minimum düzeye indirilmiştir. Sonuç olarak, sadece kayıt malzemesinin maksimum eğilme direnci, elastikiyet modülü ve rijitlik modülü kullanılarak analizin gerçekleştirilebildiğı kanıtlanmıştır.

Efe vd. (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 sağladığını belirlemişlerdir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Ağaç Malzeme

Deneyleerde malzeme olarak, ÷lkemizde yetişen doğu kayını (*Fagus Orientalis Lipsky*) ve sarıçam (*Pinus Sylvestris Lipsky*) kullanılmıştır. Deney ÷rneklerinin hazırlanmasında kullanılan ağaç malzemelerin yoğunluk ve rutubet tayini, çekme, basınç, eğilme direnci ve elastikiyet mod÷lü değerleri sırasıyla TS (2471), TS (2472), TS (2475), TS (2595), TS (2474) ve TS (2478) standartlarında belirtilen esaslara göre belirlenmiştir. Deneyleer, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Teknoloji Fak÷ltesi, Ağaç işleri End÷stri Mühendisliği Bölümü, Mekanik Test Laboratuvarında bulunan 5 ton kapasiteli üniversal test cihazında gerçekteştirilmiştir.

3.1.1. Doğu kayını (*Fagus Orientalis L.*)

Bozkurt ve Erdin (2000), fagaceae familyası türlerinden olup, ÷lkemizde doğal olarak yetişmektedir. Diri odun ile öz odun arasında renk farkı yoktur. Odunu kırmızımsı beyaz renktedir. Olgun odun özelliklerine sahiptir. Geniş öz işinleri çıplak gözle dahi gör÷lebilmekte, 0,5–0,1 mm aralıkla uzanmakta ve kalın öz işinleri yıllık halka sınırında genişlemektedir. Radyal yüzeylerde koyu renkli geniş aynacıklar, teğet kesitte kırmızımsı iç şeklinde lekeler halindedir. Odunu sert ve ağırdır.

Bozkurt ve Erdin (2000), tam kuru yoğunluğu (D_0) 0,68 g/cm³, hava kuru yoğunluğu (D_{12}) 0,72 g/cm³ tür. E-mod÷lü 15700 N/mm², eğilme direnci (σ_E) 120 N/mm², liflere paralel çekme direnci (σ_C) 132 N/mm², liflere paralel basınç direnci (σ_B) 60 N/mm² dir. İşlenmesi kolaydır. K÷rleştirme etkisi orta derecededir. Soyulabilir, kesilebilir, çok iyi ternalanabilir. Yapıştırma ve yüzey işlemlerinde güçlük yoktur. Boyanması iyi değildir. İyi renk verilebilir ve iyi cila kabul eder.

Bozkurt ve Erdin (2000), geniş bir kullanım alanına sahiptir. Masif mobilya, bükme mobilya, spor aletleri, alet sapları, tornacılıkta, kontrplak, kaplama levha, parke, fiçı sanayiinde, karoser yapımı, yonga levha, lif levha ve kağıt odunu olarak, emprenye edildiği takdirde travers yapımında kullanılır. Ayrıca odun kömürü yapımında da değerlendirilmektedir.

3.1.2. Sarıçam (*Pinus Sylvestris L.*)

Giray (1994) sarıçam, kapalı tohumlular sınıfının kozalaklı çamgiller familyasına mensup iğne yapraklı ve reçineli orman ağacıdır.

Bozkurt ve Erdin (2000), çamlar, Pinaceae familyasının en önemli cinslerinden biridir. Ülkemizde 5 tür ile temsil edilmektedir. Sarıçam 30–45 m boy, 0,6–1,0 m çap yapmakta, gövde şekli düzgün ve dolgun olup, kullanılabilir gövde uzunluğu 18–20 m dir. Diri odun 5–10 cm genişlikte, sarımsı beyaz renkte, öz odun kırmızımsı sarı ve kırmızımsı kahverengindedir. Kesimden sonra daha da koyulaşır. Yıllık halka sayıları belirgin ve hafif dalgalıdır. Yaz odunu koyu renkli olup, açık renkli ilkbahar odunu ile kontrast yaratır. Odunu mat olup, parlak değildir. Taze halde iken reçine kokuludur. Dekoratif bir görünüşü vardır. Odunu oldukça sert ve orta ağırlıktadır.

Bozkurt ve Erdin (2000), tam kuru yoğunluğu (D_0) 0,49 g/cm³, hava kurusu yoğunluğu (D_{12}) 0,52 g/cm³ tür. E-modülü 11700 N/mm², eğilme direnci (σ_E) 98 N/mm², liflere paralel çekme direnci (σ_C) 102 N/mm², liflere paralel basınç direnci (σ_B) 54 N/mm² dir.

Bozkurt ve Erdin (2000), kolay kurutulur, çatlamaya ve dönüklüğe eğilimi azdır. İyi işlenir ve yapıştırılır. Yüzey işlemlerinde reçine sızıntısı nedeniyle güçlük çıkar. Güç cilalanır. Öz odunu oldukça dayanıklı, diri odunu mantar ve böceklere karşı hassas, odununun rutubeti %25'ten fazla olduğu hallerde, 20–25°C sıcaklıklarda mavi renk oluşumu görülür. Öz odun orta derecede güç, diri odun kolay emprenye edilmektedir.

Bozkurt ve Erdin (2000), binalarda iç ve dış maksatlarda, pencere doğramalarında, emprenye edildiğinde toprak ve su tahkimatında, maden direği, tel direği ve travers olarak, kaplama levha, kontrplak, lif ve yonga levha ile kağıt endüstrisinde ve

mobilya yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca dikili ağaçlardan reçine elde edilmektedir.

3.2. Tutkallar

3.2.1. Polivinil setat Tutkalı (PVAc)

TS. (3891) PVAc yapıştırıcısı; vinil asetat monomerinin sulu ortamdaki polimerizasyonu ile elde edilen polivinilasetat ile bazı katkı maddeleri içeren sulu emülsiyonlardır.

Örs (1987) polivinilasetat tutkalının, 150-200 g/m² hesabı ile, birleştirilecek yüzeylerden bir tanesine sürülmesi iyi bir birleştirme için yeterli olmaktadır. Ancak yapıştırıcının yapışma niteliğini kazanması için beklenen süre, bileşimi ile birleştirme ortamının sıcaklığına göre değişebilmekle birlikte, ortalama 5-15 dakikadır.

Örs (1987) Masif ağaç malzemenin beyaz tutkal ile birleştirilmesinde odun rutubeti % 6-15, presleme süresi ise soğuk tutkallama için gerekli olmamakla birlikte, 20°C 20 dakika, 80°C 2 dakika olarak verilmekte ve üstün nitelikte bir yapışma sağlanması için, presleme ortamında soğuyuncaya kadar bekletilmesi önerilmektedir. PVAc tutkalının yoğunluğu 1,1 gr/ cm³, viskozitesi 160-200 cps, ph değeri 5.0, elastiklik modülü 25 mp/ cm², kül miktarı %3'tür.

3.2.2. Poliüretan Tutkalı

Diler (2001) poliüretan tutkalı kondenzasyon polimeri sınıfındadır. Bu yüzden su ve neme dayanıklı, çözücü içermeyen tek komponentli poliüretan tip aktif maddeli bir tutkaldır.

Polisan (1996) poliüretan tutkalı; ahşap, metal, polyester, taş, seramik, PVC ve diğer plastik malzemelerin birbirine bağlanmasında üstün sonuç verir. Su ve havanın rutubetine karşı üstün dayanıklılığı yönünden özellikle deniz ve göl araçlarıyla binaların dış cephe aksamalarının montaj ve tamirinde kullanılır.

Polisan (1996) poliüretan tip yapıştırıcılar su ile reaksiyona girdiklerinde uygulama esnasında gaz çıkarmaları nedeniyle problem olmaktadır. Bu sistemde katalizörün reçine içerisinde dağılmasını sağlamak ve sıcak karıştırılması gerekmektedir. Reçineye karıştırılan katalizör reçinenin etkisini değiştirdiği için son karıştırma işleminde dikkatli olunmalı ve gazı çıkarıldıktan sonra kullanılmaya başlanmalıdır.

Polisan (1996) oda sıcaklığı 3000 – 5000 psi’ de (204 – 340 atm) gevşeme elde edilir. Fakat makaslama gücü presleme durumuna göre değişir. Polimarın tutkalının kohezyon gücü adezyon gücünden daha iyidir. Yapıştırma esnasında tutkal tabakasının kalınlığı 0,05 mm ile 0,15 mm arasında değişir. Yoğunluğu 1,11 g/cm³, viskozitesi 3300-4000 cps, elastiklik modülü 40 mp/ cm², makaslama gücü 8000 psi (544 atm) de ve 423 F’ de (217 °C) gevşeyecektir. Fakat yüksek ısılarda tahmini olarak 250 F’de (121,1 °C) gevşer. İşlenmesi zordur ve şok darbelere karşı mükemmel bir dayanma gücüne sahiptir. Yüksek sıcaklığa dayanıklı değildir.

Bu tutkalın uygulamasında TS 3891/ T1’e göre bir yüzeye 180 g/m² olacak şekilde tutkal tatbik edilmiştir birleştirme noktasına 1,2 kg/ cm² basınç uygulanarak 1 saat bekletilmiştir.

3.3. Deney örneklerinin Üretiminde Kullanılan Malzemenin Gerekli Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Mobilya mühendislik tasarımında ilk adım, üretimde kullanılan malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesidir. Deney örneklerinin üretiminde kullanılan malzemelerin, mukavemet (mühendislik) tasarımında ihtiyaç duyulacak bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin ilgili standartlara uyularak belirlenmesi amacıyla deney örnekleri hazırlanmıştır. Yapılan deneyler:

- a. Yoğunluk ve rutubet tayini (TS 2471, TS 2472)
- b. Liflere paralel çekme dirençleri (TS 2475)
- c. Liflere paralel basınç dirençleri (TS 2595)
- d. Liflere dik eğilme dirençleri (TS 2474)
- e. Elastikiyet modülü değerleri (TS 2478) ’ dir.

Hazırlanan deney örnekleri, deneylerden önce 20 ± 2 °C sıcaklık ve $\% 65 \pm 3$ bağıl nem koşullarında ($r = \%12$) iklimlendirme dolabında dengeye ulaşıncaya kadar bekletilip kondisyonlanmıştır. Yapılan rutubet kontrollerinde örneklerin yaklaşık bir ayda denge rutubeti miktarına ulaştıkları gözlemlenmiştir.

3.3.1. Yoğunluk ve rutubet

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

$$\delta_o = \frac{m_o}{V_o} \quad ve \quad \delta_{12} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad (3.1)$$

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

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

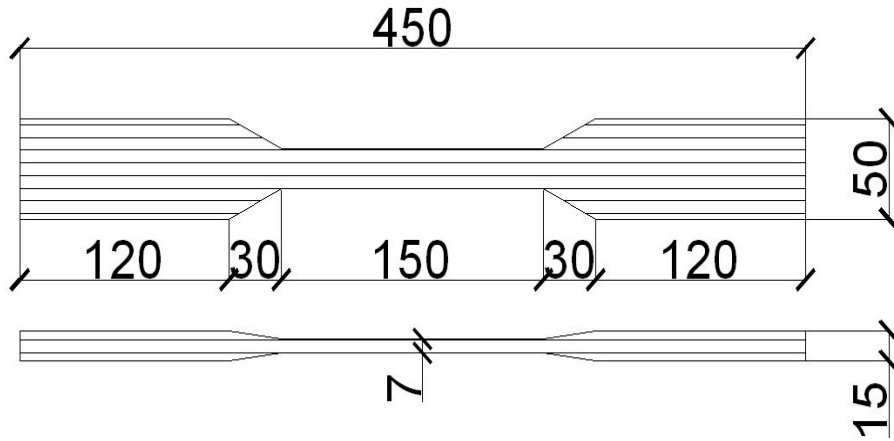
eşitlikleri kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Yoğunluk ve rutubet deney örneği

3.3.2. Liflere paralel çekme direnci

Masif ağaç malzemelerin liflere paralel yöndeki çekme dirençleri TS (2475) esaslarına göre belirlenmiştir. Çekme deneyi örnekleri masif ağaç malzemeler için (Şekil 3.2) 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Masif ağaç malzeme için çekme deneyi örneği (ölçüler mm'dir)

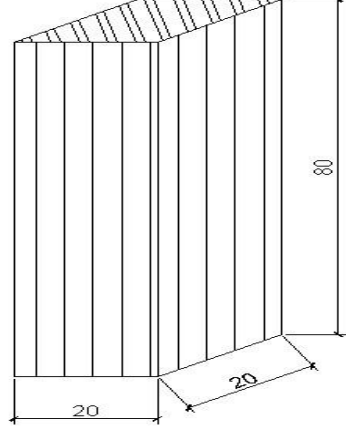
Deneysel yüklem hızı 2 mm/dak olarak sabit tutulmuştur. Kopma anındaki kuvvet ($F_{max\zeta}$) ve kopmanın meydana geldiği kesit alanı (A_{ζ}) için çekme direnci (σ_{ζ});

$$\sigma_{\zeta} = \frac{F_{max\zeta}}{A_{\zeta}} \quad (3.3)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır.

3.3.3. Liflere paralel basınç direnci

Basınç dirençlerinin belirlenmesinde, TS (2595)'de belirtilen esaslara uyulmuştur. Liflere veya yüzeye paralel basınç direnci deneylerinde 20 x 20 kare kesitli ve lifler yönünde 80 mm uzunluğundaki numuneler kullanılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Basınç direnci deneyi örneği (ölçüler mm' dir)

Deneyleerde yükleme hızı 2 mm/dak arttırılmış ve kopma anındaki kuvvet (F_{maxb}) ve örnek enine kesit alanı (A_b) için basınç direnci (σ_b) ;

$$\delta_b = \frac{F_{maxb}}{A_b} \quad (3.4)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır.

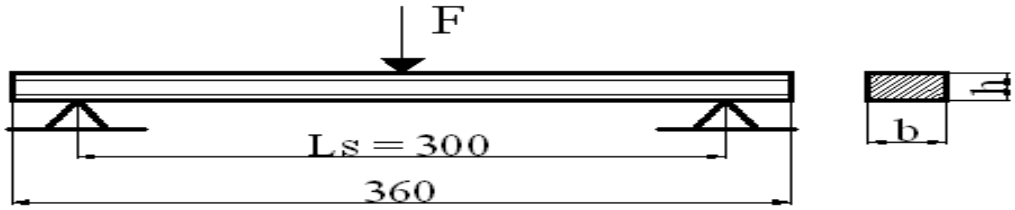
3.3.4. Liflere dik eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü

Ağaç malzemeler için TS (2474) esaslarına uyulmuştur. Örnek boyutları, ağaç malzemeler için 360 x 20 x 20 mm olacak şekilde 10 adet hazırlanmıştır. Deneyleerde kuvvet numunelerin tam ortasından uygulanmış ve deney cihazının yükleme hızı dakikada 2 mm/dak olarak ayarlanmıştır. Kırılma anındaki maksimum yük (F_{maxe}) için eğilme direnci (σ_e);

$$\delta_e = \frac{3}{2} \times \frac{FxL_s}{bxh^2} \quad (3.5)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada kesit genişliği (b), kesit yüksekliği ise (h)' dir.

Eğilme direnci deney düzeneği (Şekil 3.4)'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Eğilme direnci deney düzeneği, örneği (ölçüler mm' dir)

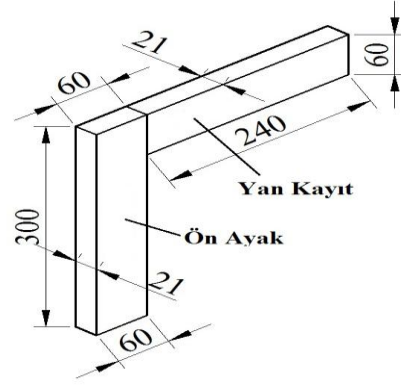
Eğilme deneylerinde, eğilmede elastiklik modülü değerleri de hesaplanmıştır. Bu maksatla ağaç malzemelerde TS (2478) esaslarına uyulmuştur. Elastiklik modülü (E), yük-yer değiştirme eğrisinin doğrusal kısmından yararlanılarak hesaplanmıştır. Yük-yer değiştirme eğrisinin doğrusal kısmına isabet eden her bir yük için belirli bir yer değiştirme değeri söz konusu olduğundan, (F_1) ve (F_2) kuvvetleri farkına (F) karşılık oluşan çökme miktarı (f) olmak üzere, elastikiyet modülü (E) ;

$$E = \frac{F \times L_s^3}{4 \times bxh^3 \times f} \quad (3.6)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır.

3.4. Deney Örneklerinin Hazırlanması

Çalışmada, ön ayak – yan kayıt birleştirmelerini temsil eden deney örnekleri (Şekil 3.5)'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Deneilerde kullanılan L-tipi birleştirme örneği (ölçüler mm)

Deney örneğini oluşturacak parçalar, kaba ölçülerinde kesilip istiflenerek bir süre bekletildikten sonra planya, kalınlık ve daire testere makinelerinde işlenerek net ölçülerine getirilmiştir (Şekil 3. 6,7,8).



Şekil 3.6. Planya makinesinde yüz, cumba açılması



Şekil 3.7. Kalınlık makinesinde kalınlığın çıkarılması



Şekil 3.8. Daire testere makinesinde en ve boy kesimi

Daha sonra, 3 zıvana genişliği ve 3 zıvana uzunluğu olmak üzere 9 farklı kombinasyonda zıvanalı birleştirmeler hazırlanmıştır. Zıvanaların açılmasında erkek ve dişi zıvana makineleri kullanılmış, zıvana kalınlıkları parça kalınlığının 1/3'ü olacak şekilde 7 mm olarak alınmıştır (Şekil 3.9,10).

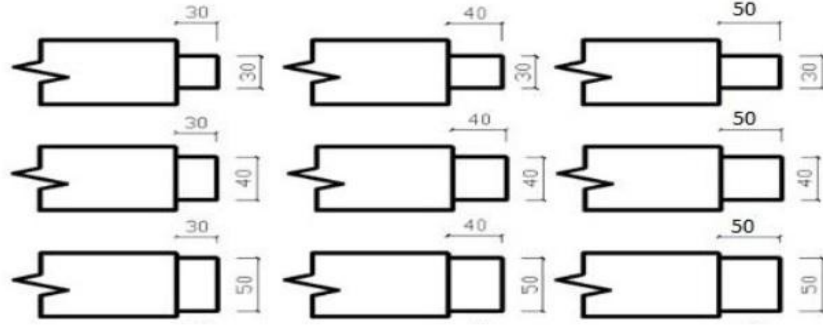


Şekil 3.9. Erkek zıvana açma makinesi



Şekil 3.10. Dişi zıvana açma makinesi

Deney örneklerinde uygulanan farklı zıvana kombinasyonları Şekil (3.11)'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Deney örneklerine açılan zıvana ölçüleri (ölçüler mm)

Örneklerin yapıştırılmasında, tutkal tamamen üretici firma önerilerine uyularak $180 \pm 10 \text{ g/cm}^2$ hesabıyla sürülmüştür. Presleme işleminden önce, zıvanalı birleştirmelerin arakesit yüzeylerine yağlı kâğıt konulmak suretiyle bu alanlardaki yapışma engellenmiş ve sadece zıvanaların mukavemet göstermesi için gerekli koşullar sağlanmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Yağlı kağıt ile kaplanmış erkek zıvanalar

Bundan sonra deney örnekleri mengenerler yardımıyla 10'arlı gruplar halinde sıkılmış ve 24 saat sıkılı vaziyette kurumaya bırakılmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. İşkencelerle sıkılmış 10'lu deney numuneleri

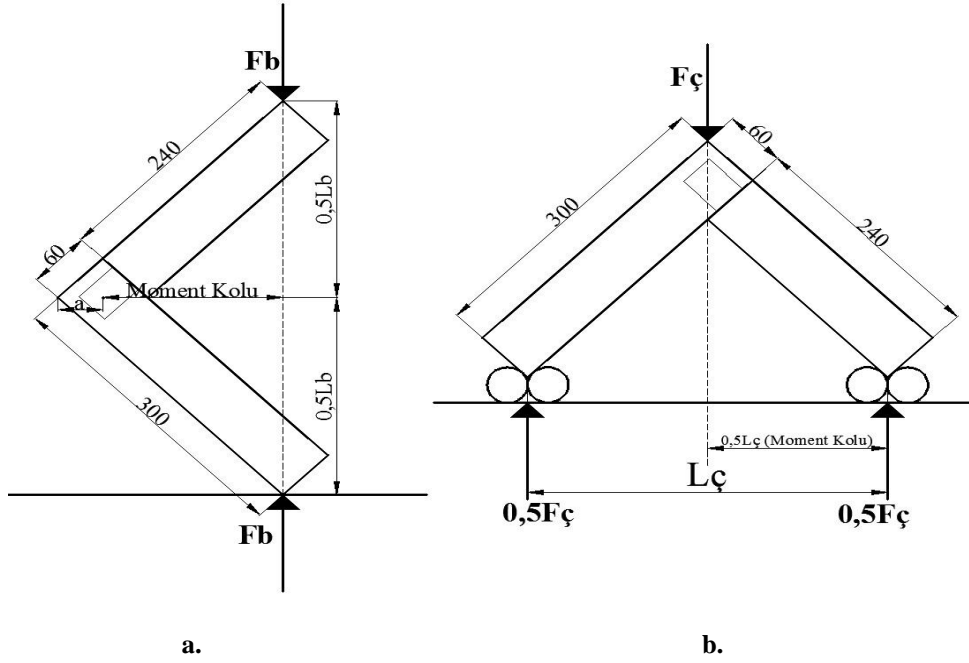
Hazırlanan deney örnekleri, kullanılan tutkalın kurumasını tam olarak tamamlamasını sağlamak için 3 hafta deneylere alınmamış, rutubet farklılıklarının giderilmesi amacıyla 20 ± 2 °C sıcaklık % 65 ± 3 bağıl nem şartlarındaki iklimlendirme dolabında değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmişlerdir. Rutubet kontrolü ve yoğunluklar TS (2471) ve TS (2472)' deki esaslara göre yapılmıştır.

3.5. Deneylerin Yapılışı

Sandalyelerde, özellikle ön ayak-yan kayıt köşe birleşim yerlerinde önden arkaya ve arkadan öne doğru yaslanma eylemlerinden dolayı mekanik zorlanmalar meydana gelmektedir. Periyodik olarak gerçekleştirilen bu eylemler sonucunda, birleştirme noktalarına gelen zorlayıcı kuvvetler zamanla buralarda açılmalara ve/veya kırılmalara neden olmaktadır.

Bu çalışmada, ön ayak – yan kayıt birleştirmelerini temsil eden L-tipi birleştirme elemanlarının çekme ve basınç deneyleri yapılmıştır. Deneyler, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaççileri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mekanik Test Laboratuvarı'nda bulunan 5 ton kapasiteli universal test cihazında gerçekleştirilmiştir. Birleştirmelerin mukavemet deneylerinde, statik yükleme yapılacak ise, deney süresinin 30–90 saniye arasında gerçekleşmesi beklenmektedir. Bu çalışmada, yapılan ön deneylerde ortalama kırılma süresinin beklentilere uygun olması için gerekli olan yükleme hızı 6 mm/dak olarak tespit edilmiş ve deneylerde

uygulanmıştır. Birleştirme yüzeylerinin açılarak deformasyona uğraması veya elemanların kırılması anındaki maksimum kuvvetler Newton (N) cinsinden kaydedilmiştir. Diyagonal çekme deneyinde örneklerin tepki kuvveti gösteren kısımlarında hareketli silindir mesnetler kullanılmıştır. Deneylerde uygulanan yük uygulama biçimi ve kullanılan diyagonal basınç ve diyagonal çekme deney düzenekleri (Şekil 3.14.a,b)' de gösterilmiştir.

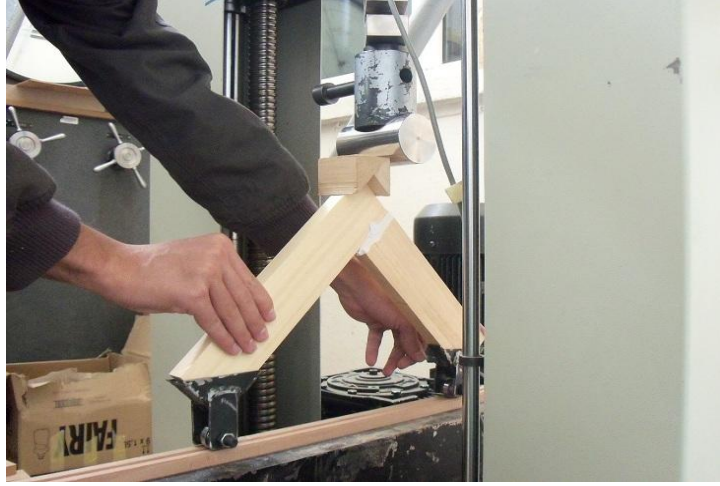


Şekil 3.14. Diyagonal basınç (a) ve çekme (b) deney düzenekleri ve yük uygulama biçimi

Diyagonal basınç ve çekme deneylerindeki yük uygulama biçimi ve deney düzeneklerine ilişkin gerçek resimler Şekil (3.15,16)'da sırasıyla verilmiştir.



Şekil 3.15. Diyagonal basınç deney düzenekleri



Şekil 3. 16. Diyagonal çekme deney düzeneği

Birleştirmelerin performansı, deney yükleri ve koşulları altında taşınan momentler olarak alınmış ve her bir örnek tarafından diyagonal çekme ve basınç yükleri altında taşınan momentler hesaplanmıştır.

Diyagonal basınç deneylerinde moment (M_b), formül 1'e göre hesaplanmıştır.

$$M_b = F_b \times \left[\sqrt{(300)^2 - (0,5L_b)^2} - a \right] \quad (Nm) \quad (3.7)$$

Burada;

M_b = Basınç yükü altında taşınan moment (Nm)

F_b = Göçme anındaki maksimum kuvvet (N)

L_b = Moment kolu ($0,1697 \text{ m}$)

$a = 42,42 \text{ mm}$ 'dir.

Diyagonal çekme deneylerinde ise moment (M_ζ), formül 2'ye göre hesaplanmıştır.

$$M_\zeta = 0,5F_\zeta \times 0,5L_\zeta \quad (Nm) \quad (3.8)$$

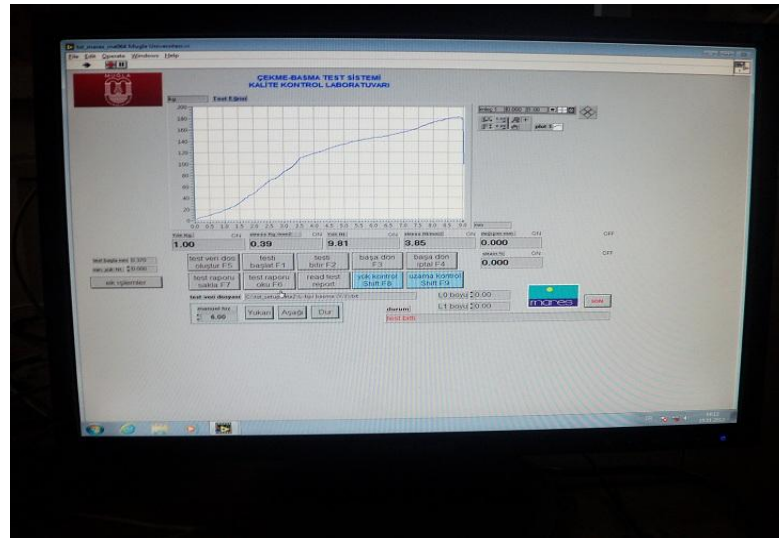
Burada;

M_ζ = Çekme yükü altında taşınan moment (Nm)

F_ζ = Göçme anındaki maksimum kuvvet (N)

$0,5L_{\phi} = \text{Moment kolu (0,1697 m)}$

Deney örneklerinin diyagonal basınç ve çekme yükleri altındaki elastikiyet değerleri de belirleneceği için, deneyler sırasında yüke karşılık gelen yer değiştirme (uzama) miktarları da alınmıştır. Deney örneklerinin kuvvet – yer değiştirme grafikleri, deney cihazına bağlı olan bilgisayardan alınmış olup (Şekil 3.17), excell programında karşılık gelen moment – açisal deformasyon (rotasyon) grafiklerine dönüştürülmüştür.



Şekil 3. 17. Üniversal test cihazında yük –yer değiştirme grafiği

Deney örneklerinde diyagonal basınç ve çekme yüklemesi altında meydana gelen açisal deformasyon aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır (Şekil 3.18);

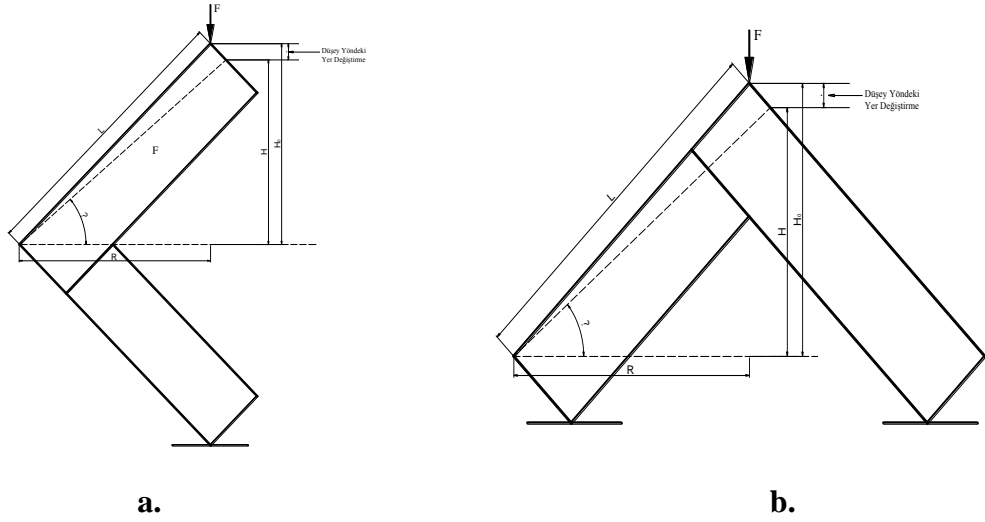
$$L^2 = H^2 + R^2 \text{ den } R^2 = L^2 - H^2$$

$$\Phi = \sin^{-1} . (H/L)$$

$H = H_0$ –Düşey yöndeki yer değiştirme

$$\text{Rotasyon} = 90 - 2 \cdot \Phi$$

$$\text{Elastikiyet} = \frac{\text{Moment}}{\text{Rotasyon}} = \text{Nm / Radyan} \quad (3.9)$$

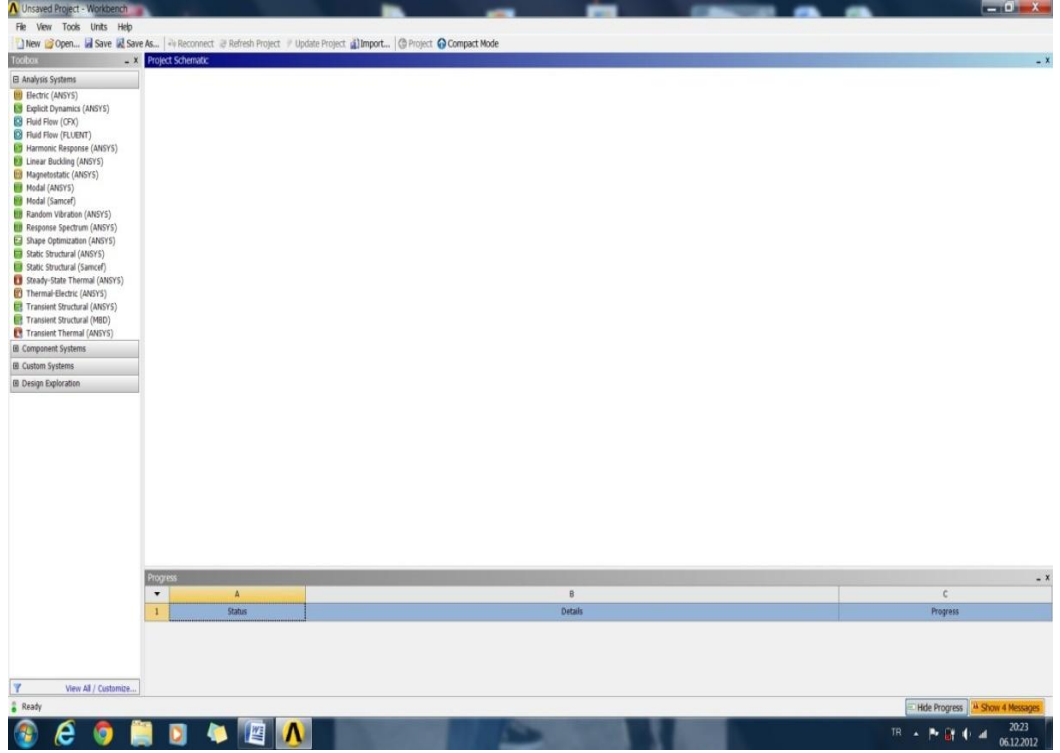


Şekil 3.18. Diagonal basınç (a) ve çekme (b) yükü altındaki yer değiştirme (rotasyon)

3.6. L Tipi Deney Örneklerinin Bilgisayar Destekli Yapısal Analizi

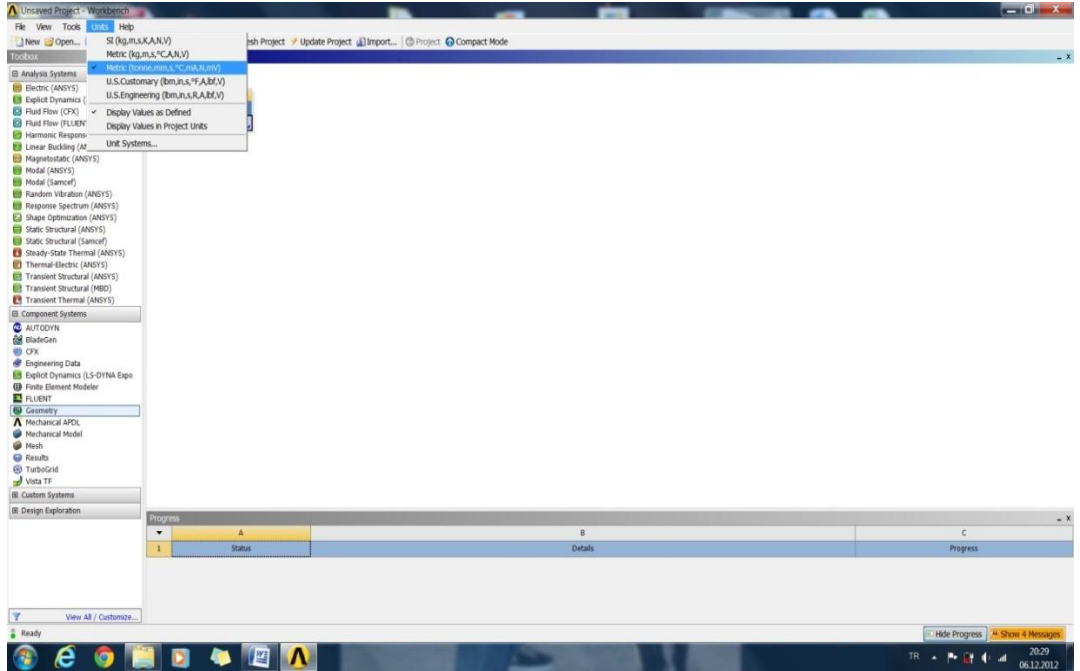
İmirzi (2008) bilgisayar destekli analizler bir sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS 14 programında yapılmıştır. Bu tür sonlu elemanlar programlarında yapılan yapısal analizlerde genellikle malzemeler homojen ve izotropik olarak kabul edilir. Homojen ve izotropik özelliklerin kullanılması, ahşap malzemedan üretilmiş modeller için gerçek test sonuçları ile farklılıklar çıkmasına neden olabilmektedir [47]. Bu nedenle bu çalışmada oluşturulan modellerin malzemesi ortotropik olarak tercih edilmiştir. Sonlu elemanlar yönteminde ahşap için ortotropik malzemenin seçilmesi, üç yöndeki elastikiyet özellikleri ve bu yönlere ait Poisson sabitlerinin kullanılması homojen olmayan ve anizotrop durumlardan dolayı ortaya çıkacak problemlerin önüne geçilmesinde yardımcı olmuştur.

ANSYS çalışma sayfası (Şekil 3.19)' da olduğu gibi açılmaktadır. Çalışma sayfası "Toolbox" menüsünde bulunan alt menüler yardımıyla yapılacak işlemleri göstermektedir. Yapılacak olan işlemler çalışma sayfasına atandıktan sonra analizler yapılabilir. Bu nedenle yapılmak istenen bütün işlemler çalışma sayfasında görülmelidir.



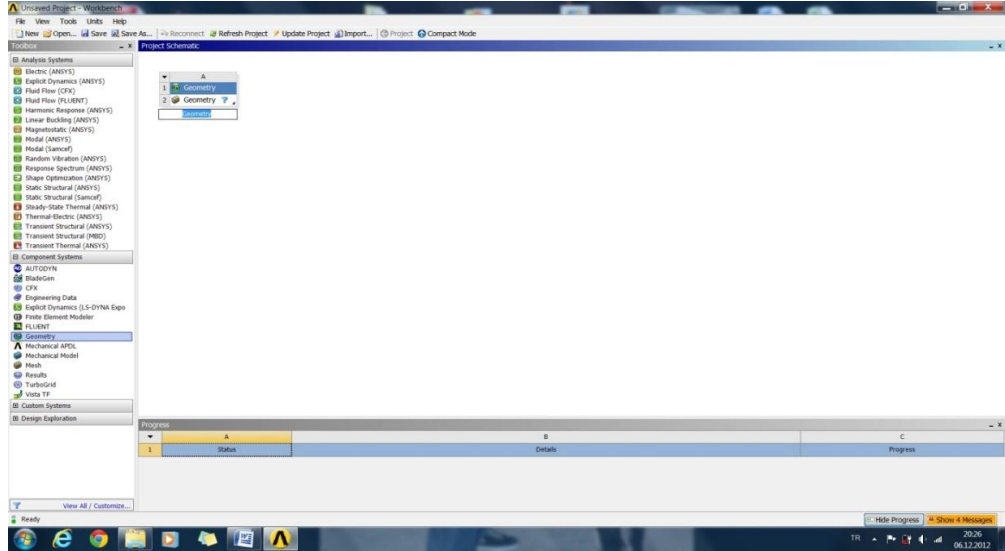
Şekil 3.19. Ansys programı çalışma sayfası

Çalışma sayfası açıldıktan sonra menu'deki unit seçeneği yardımıyla çalışmada kullanılacak olan birimler "Metric (tonne,mm,s,°C,mA,N,mV)" olarak ayarlanmıştır (Şekil 3.20)



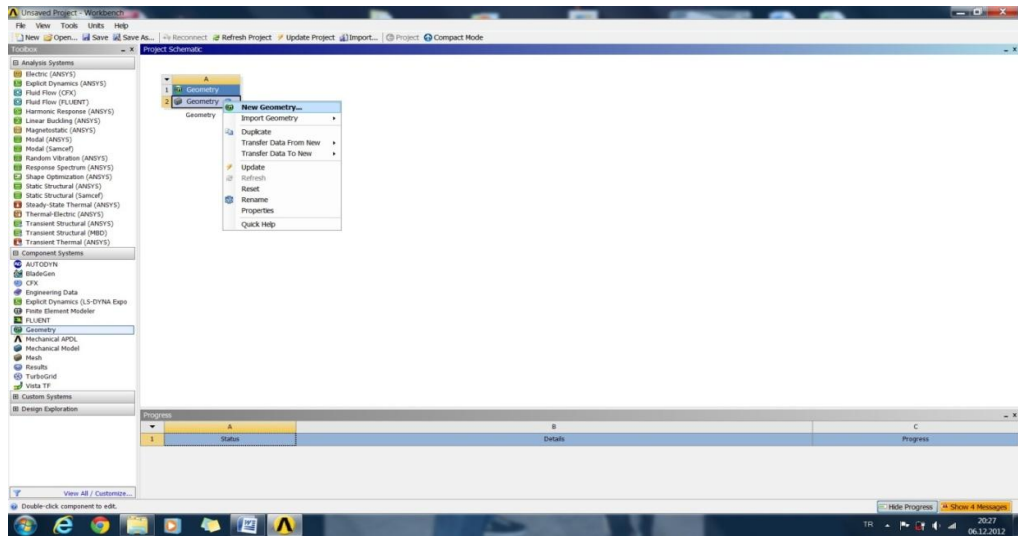
Şekil 3. 20. Birim sisteminin ayarlanması

Birim sistemi ayarı yapıldıktan sonra "Toolbox" menüsünden "Component System" alt menüsünde bulunan "Geometry" seçeneği ANSYS çalışma sayfasına taşınmıştır. Çalışmanın geometrisinin atanması ve çalışmanın geometrisi ile ilgili yapılacak bütün değişiklikler buradan yapılabilmektedir (Şekil 3.21).



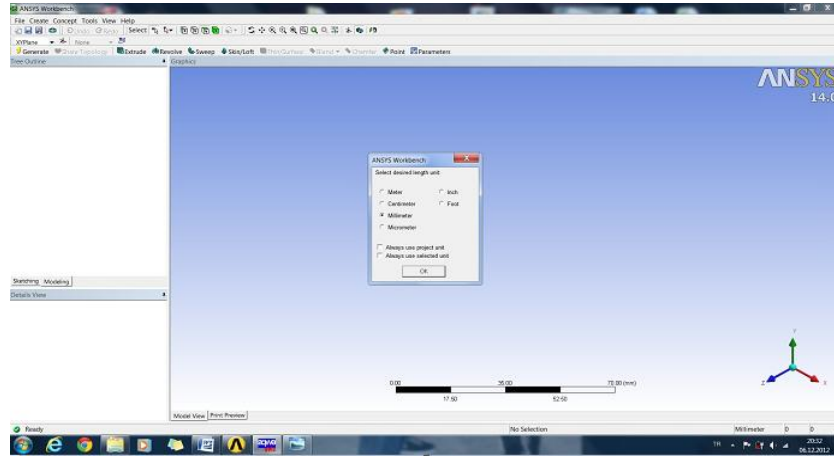
Şekil 3. 21. Geometri seçeneğinin ANSYS çalışma sayfasına taşınması

Analizi yapılacak olan nesneyi modellemek veya hazır olan bir model programa yükleyebilmek için ANSYS çalışma sayfasında bulunan "Geometry" bölümü farenin sağ tuşu ile tıklanarak açılacak olan pencerede "New Geometry" seçilmiştir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Modelin programa yüklenmesi

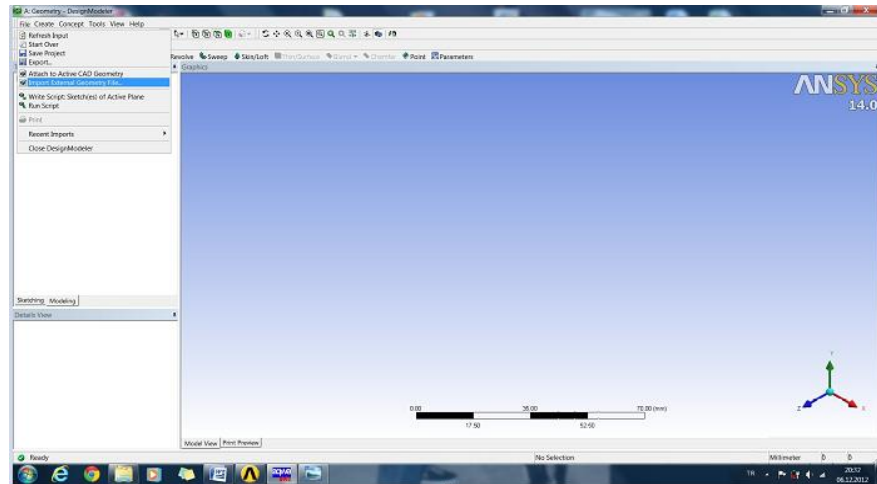
Açılacak olan yeni pencerede çalışmak istenilen ölçü birimi (mm) olarak ayarlanmıştır (Şekil 3.23).



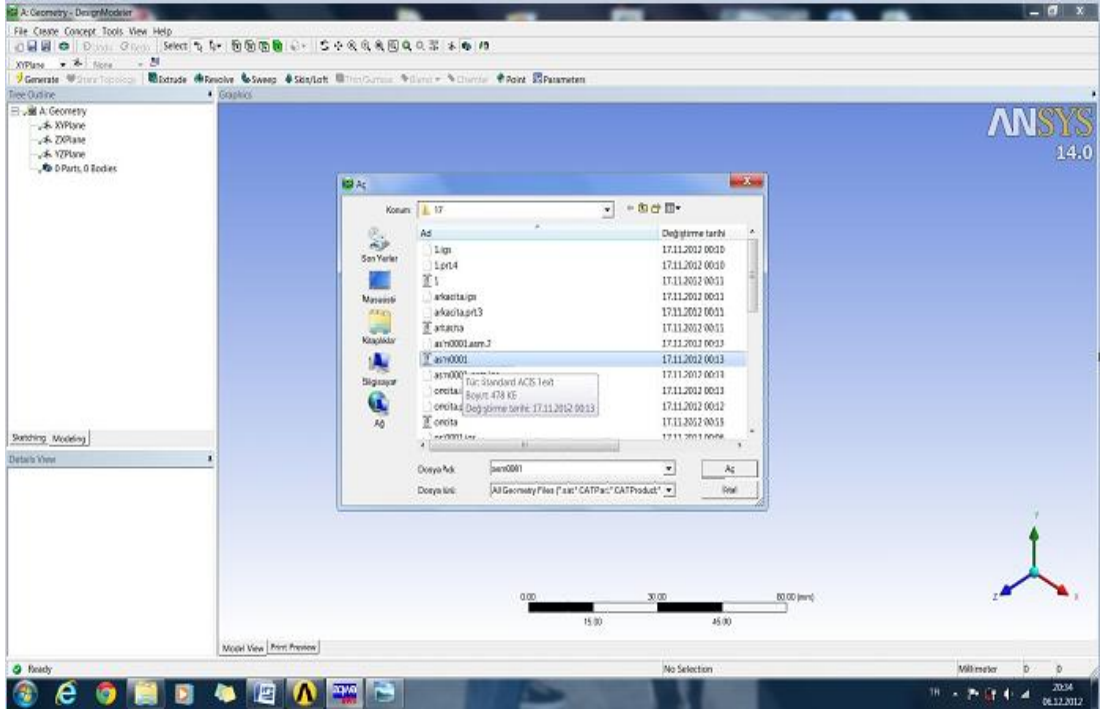
Şekil 3.23. Model için ölçü biriminin ayarlanması

ANSYS'in geometry çalışma sayfasında model oluşturulabileceği gibi diğer çizim programlarında yapılmış olan modeller de programa alınabilmektedir. Deney örnekleri için ANSYS çizim tabanında model hazırlamak zor olduğundan, çalışmada kullanılan tüm deney örnekleri Autocad programında üç boyutlu olarak modellenmiş ve ANSYS programına aktarılmıştır.

Autocad programında modellenen birleştirmelerin her birini ANSYS geometry çalışma sayfasına taşımak için; Autocad programında oluşturulan dosya "export" edilerek ".sat" veya ".iges" uzantılı olarak kaydedilmiştir. Oluşan dosya Ansys üzerinden "import external geometry file" seçeneği kullanılarak çalışma alanına taşınmıştır (Şekil 3.24,25).

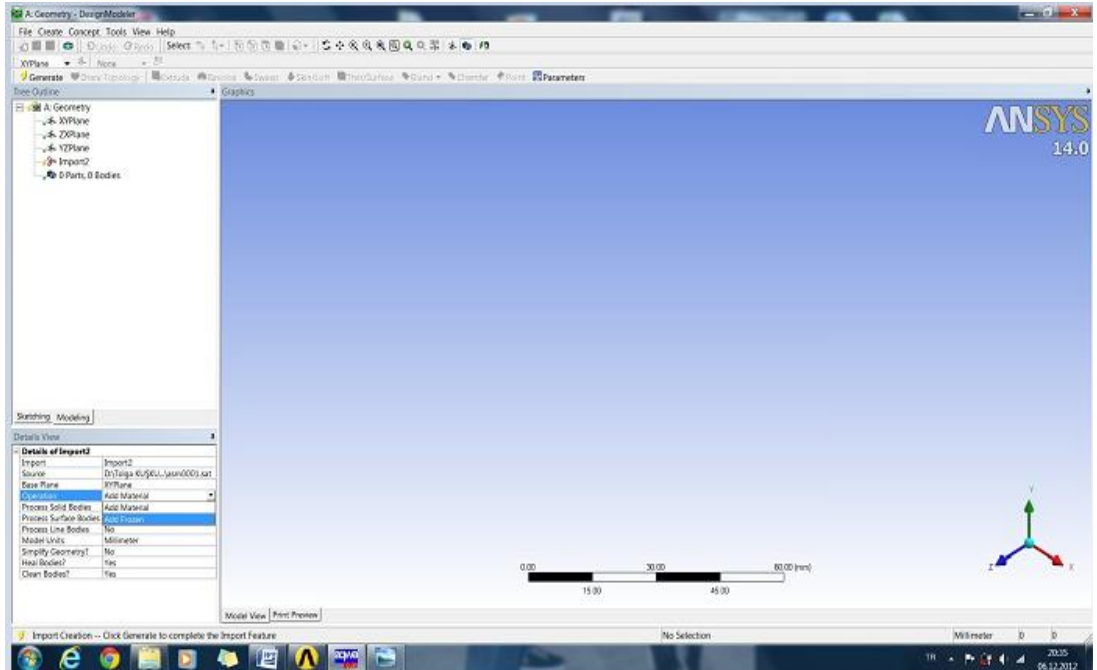


Şekil 3.24. Modelin import edilerek Ansys ekranına taşınması



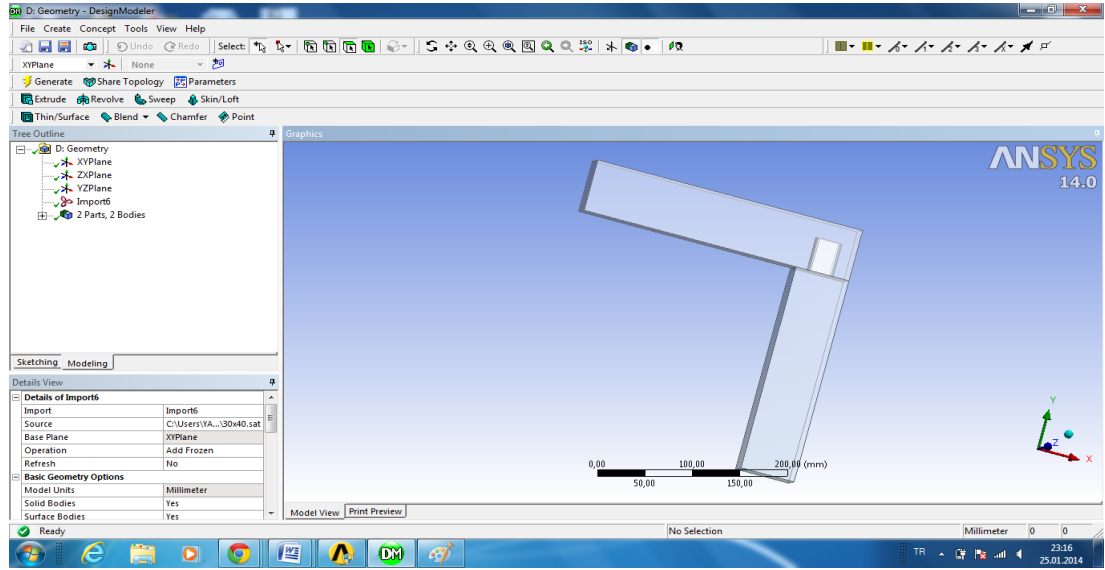
Şekil 3.25. Modelin Ansys ekranına taşınması

Dosya seçiminden sonra gelen ekranda sol alt köşede bulunan "Details View" menüsünde oluşan "Operation" seçeneğinin "Add Material" konumundan "Add Frozen" konumuna getirilerek "Generate" edilmiş ve analizlerin daha kolay yapılması sağlanmıştır. (Şekil 3.26).



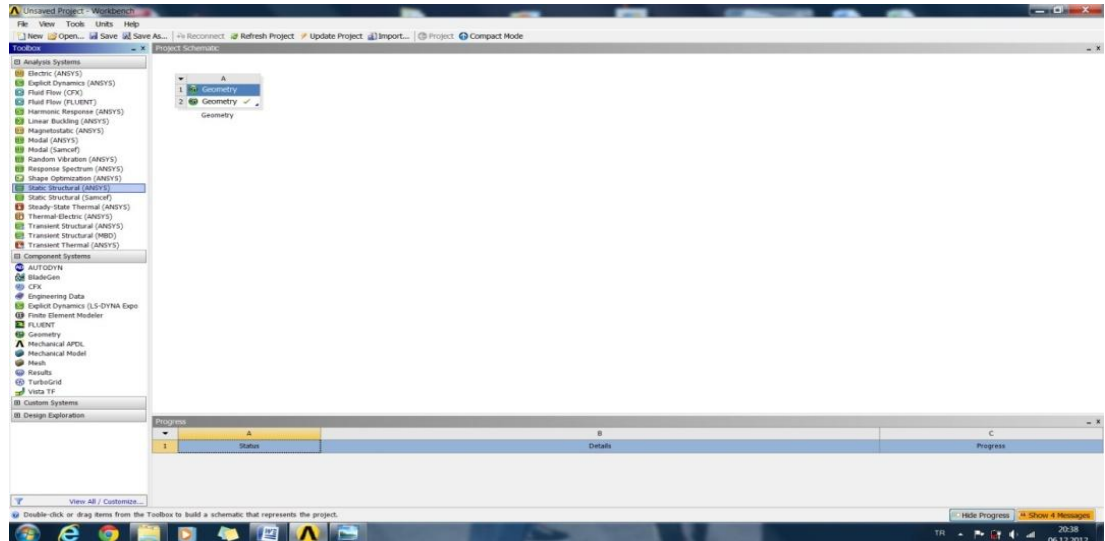
Şekil 3.26. Deney örneğinin eksenlere göre ayarlanması

"Generate" işlemi bittikten sonra, cismin ekranda gözükmesi ile Geometry çalışma sayfasında işlem tamamlanmıştır (Şekil 3.27).



Şekil 3. 27. Modelin “Generate” edilmesi ve “Geometry” çalışma sayfasına getirilmesi

Geometri ekranda görüldükten sonra Şekil 23'deki pencere kapatılarak ANSYS çalışma sayfasına geri dönmüştür. ANSYS Çalışma sayfasında "Toolbox" menüsünde bulunan "Analysis System" seçeneğinden "Static Structural (ANSYS)" analizi çalışma sayfasında bulunan "Geometry" dosyasının üzerine eklenmek suretiyle eklenerek yapılmış olan analiz tipi belirlenmiştir (Şekil 3.28).

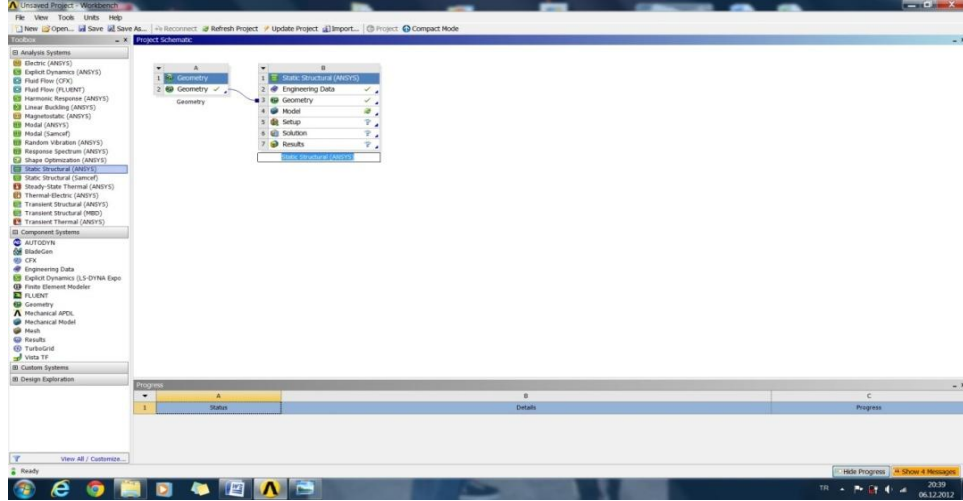


Şekil 3.28. Analiz tipinin “Static Structural (ANSYS)” olarak seçilmesi

"Static Structural" analizinin "Geometry" bölümüne ait olduğunu gösteren ok işareti çıkması, yapılacak olan analizin hangi geometriye ait olduğunu belirtmektedir.

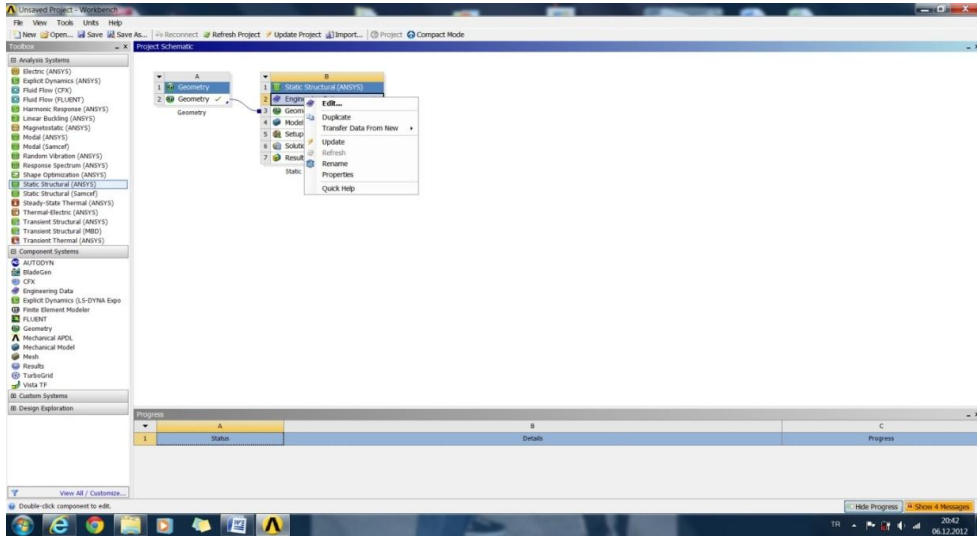
"Static Structural" analiz menüsünde yapılacak olan işlemler aşağıdaki sırayla gerçekleştirilmiştir:

1. Malzemelerin tanımlanması (Engineering Data)
2. Birleştirme yerlerinin tanımlanması (Model)
3. Kuvvetlerin ve mesnet noktalarının tanımlanması (Setup)
4. Çözüm aşaması (Solution) (Şekil 3.29).



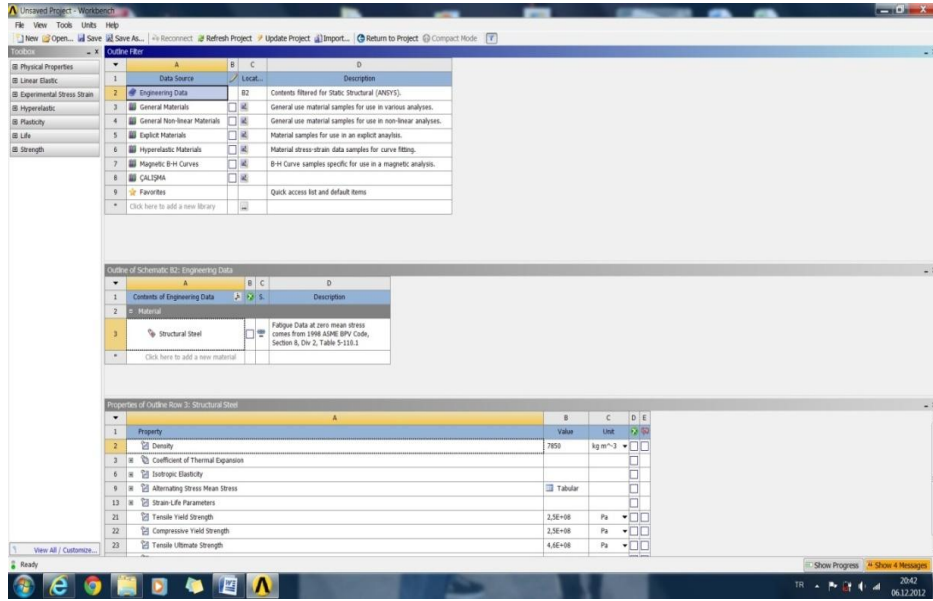
Şekil 3.29. "Static Structural (ANSYS)" aşamaları

"Static Structural" analiz menüsünde "Engineering Data" seçeneği fare ile işaretlenerek "edit" (düzenle) komutu seçilmiş ve bu bölümde malzeme tanımlamaları yapıldıktan sonra, kullanılacak olan malzeme (Doğu kayını veya sarıçam) çalışma menüsüne aktarılmıştır (Şekil 3.30)



Şekil 3.30. Malzeme aktarımı

Bu işlemlerin ardından, malzemelere ilişkin özelliklerin programa girilebilmesi amacıyla açılan yeni pencere (Şekil 3.31)'de gösterilmiştir.

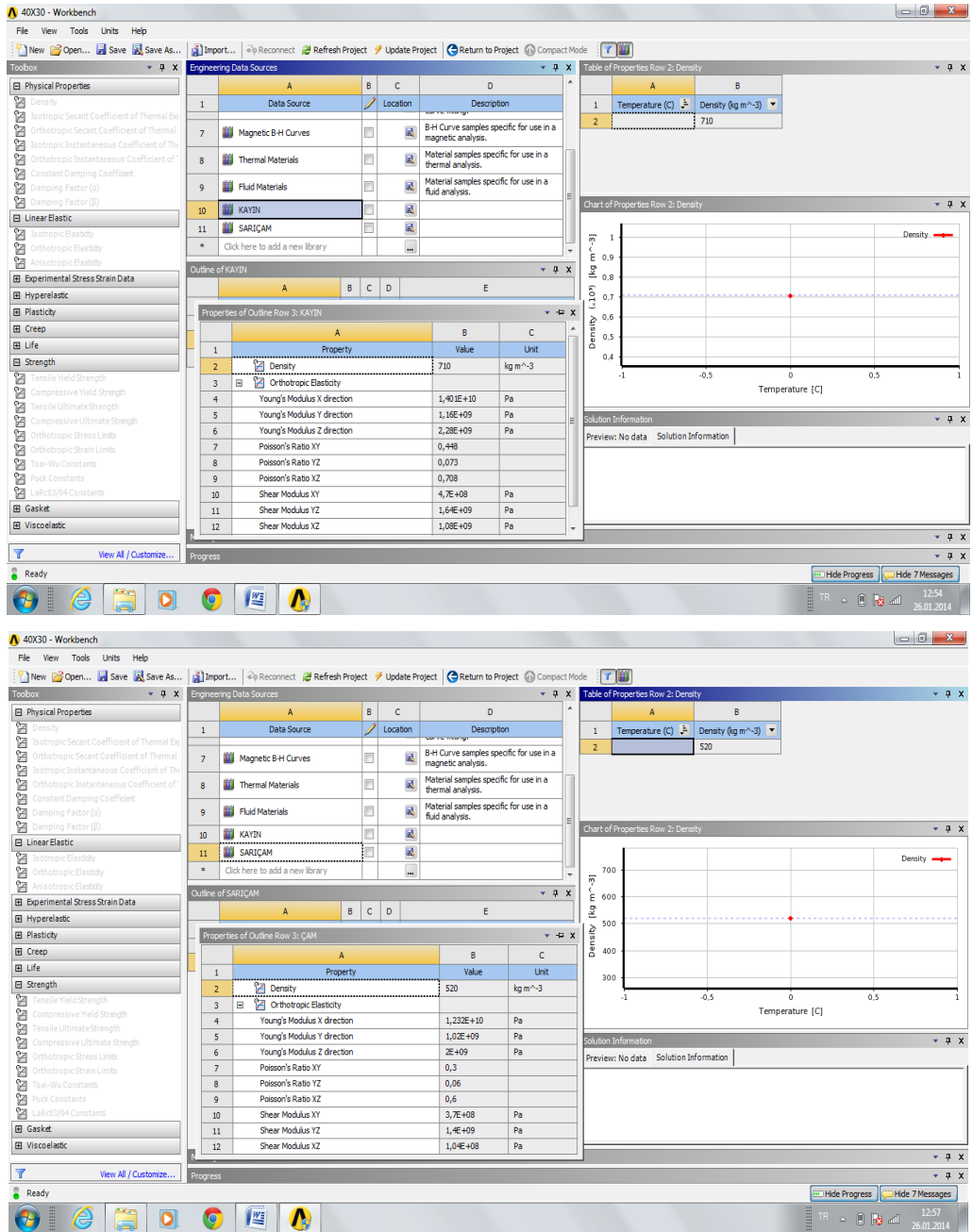


Şekil 3.31. Malzemenin programa tanıtılma penceresi

Çalışmada kullanılan birleştirmelerin 180 tanesi Doğu kayını, 180 tanesi Sarıçamdan üretildiği için "Engineering Data" bölümüne yeni materyal eklemek suretiyle bu malzemelerin özellikleri girilmiştir (Şekil 3.32). Doğu kayını ve Sarıçam malzemelerine ilişkin programa girilen veriler (Çizelge 3.1)' de verilmiştir.

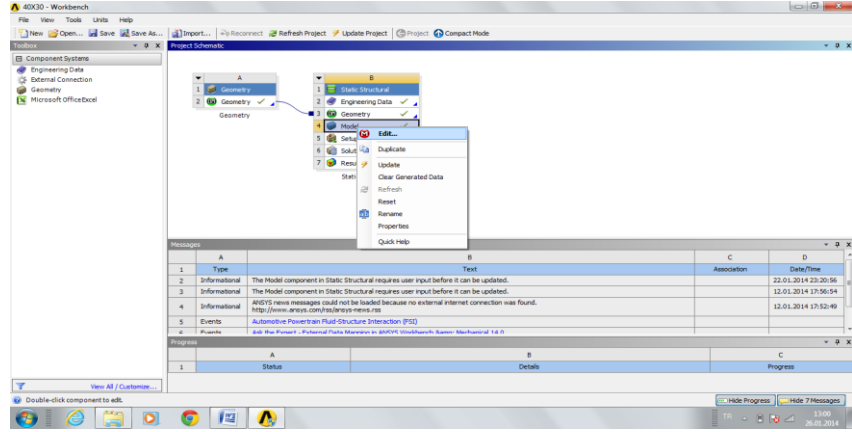
Çizelge 3.1. Doğu kayını ve Sarıçam malzemelerinin programa girilen özellikleri

Malzeme	Elastiklik modülü (N/mm ²)			Poisson sabiti			G rijitlik modülü (N/mm ²)		
	E _x	E _y	E _z	V _{xy}	V _{yz}	V _{xz}	G _{xv}	G _{yz}	G _{xz}
Doğu Kayını	14010	1160	2280	0,448	0,073	0,708	470	1640	1080
Sarıçam	12300	1020	2000	0,3	0,06	0,6	370	1400	1040



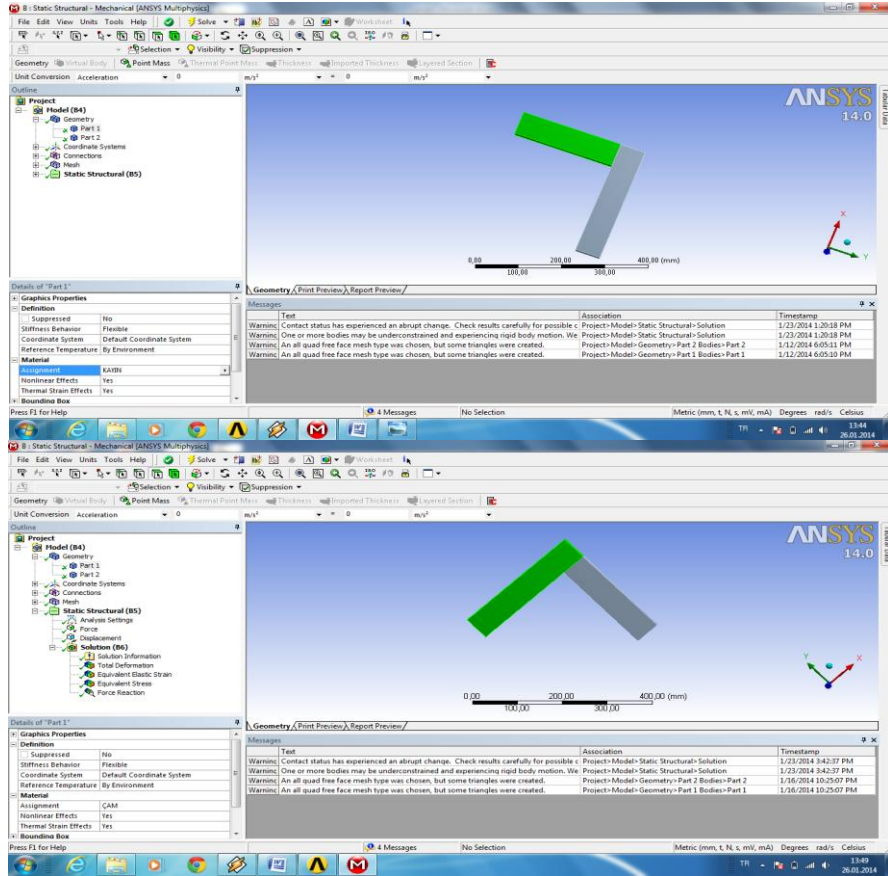
Şekil 3.32. Malzeme özelliklerinin programa tanıtılması

Malzeme tanımlama işlemi bittikten sonra diğer adımların yapılabilmesi için Ansys çalışma sayfasına geri dönmüştür. Mesh yapma (ağ oluşturma), mesnet noktalarının tanımlanması ve yüklerin uygulanabilmesi amacıyla, çalışma sayfasında "Static Structural" analiz menüsünde bulunan "Model" bölümü sağ tuşla işaretlenerek "Edit" komutu seçilmiştir (Şekil 3.33).



Şekil 3.33. Model sayfasına geçiş

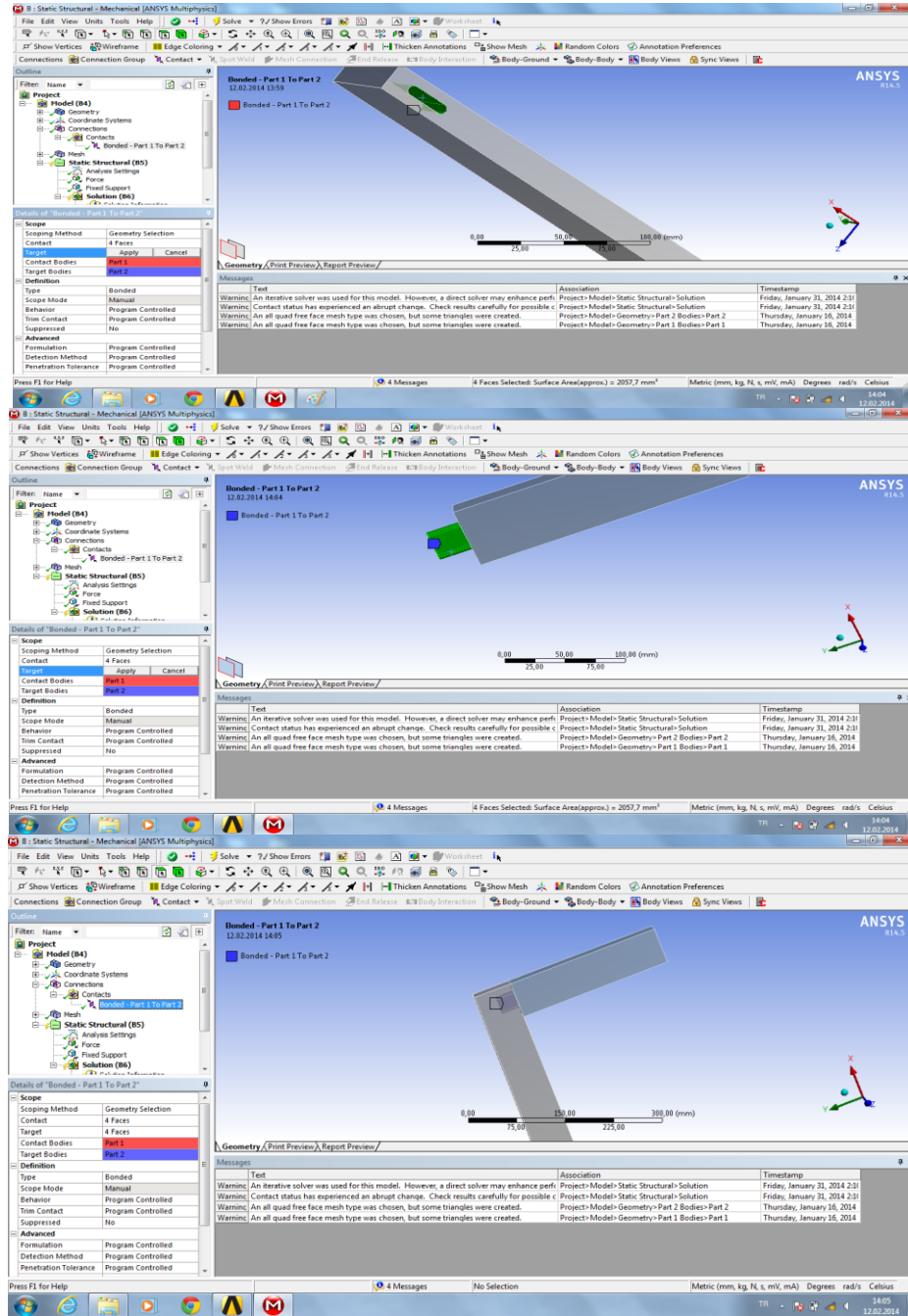
Açılan yeni pencerede, katı model halinde görülen deney örneklerine, programa daha önce özellikleri girilmiş olan Doğu kayını veya Sarıçam malzemesi atanmıştır (Şekil 3.34).



Şekil 3.34. Birleştirme modellerine Doğu kayını ve Sarıçam malzemelerinin atanması

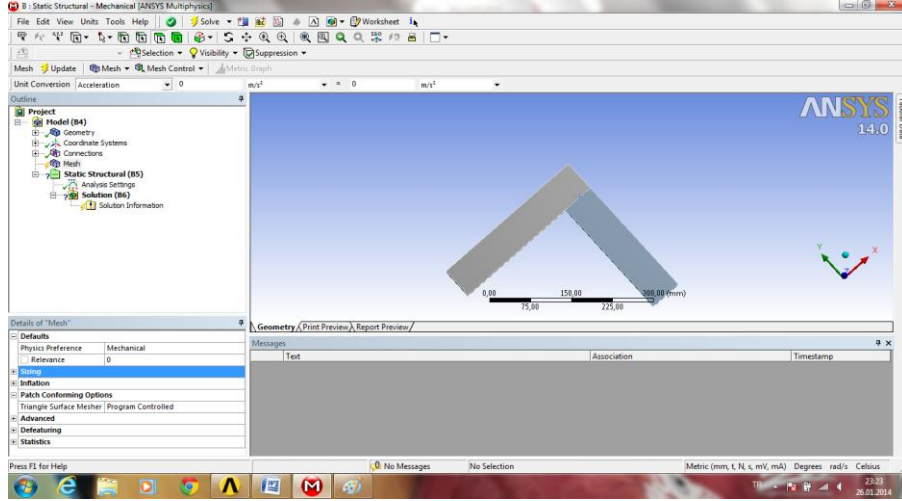
Atama işlemi, "Geometry" seçeneğinin altında bulunan tüm elemanlar için tek tek yapılmıştır. Tüm parçalara Doğu kayını veya Sarıçam malzemesinin özellikleri "Material" bölümündeki "Assignment" butonu kullanılarak atanmıştır. Malzeme atama işlemi bittikten sonra parçaların birleştirme noktalarının tanımlanması

işlemine geçilmiştir. Birleştirmelerin tanımlanması işlemi "bonded" seçeneği kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.35). Bir alt menü olan "details of bonded" butonu tıklanarak "program controlled" "manuel" olarak değiştirilir. "Normal stiffness factor" seçeneğinde katsayı olarak çok çeşitli denemeler sonucu doğru kayını, sarıçam PVAc tutkalı ile yapıştırılmış çekme deneylerinde 0,000005, basınç deneylerinde 0,000003, doğru kayını, sarıçam PÜ tutkalı ile yapıştırılmış çekme deneylerinde 0,00001, basınç deneylerinde 0,00006 girilmiştir.



Şekil 3.35. Birleştirme noktalarının tanımlanması

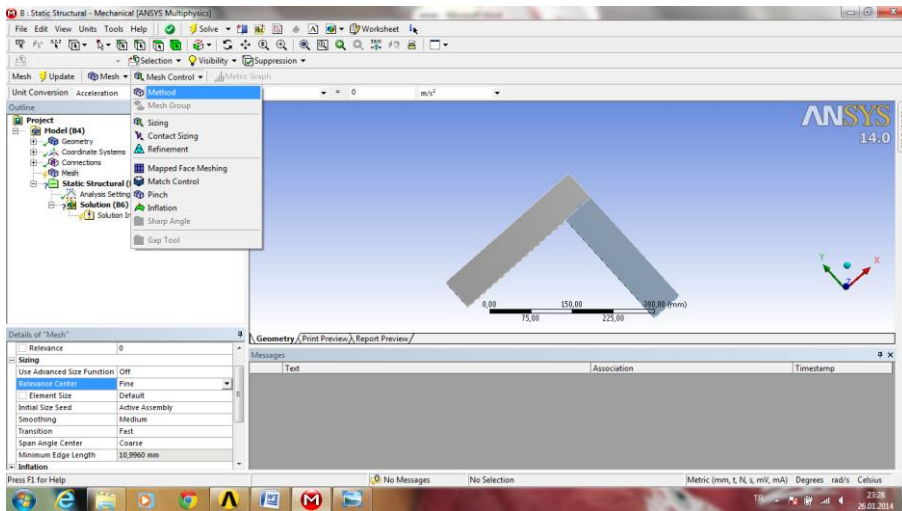
Bağlantı noktaları tanımlandıktan sonra, mesh oluşturma işlemine geçilmiştir. Bu işlem, ANSYS çalışma sayfasındaki "Outline" menüsünde bulunan "Mesh" bölümünden yapılmıştır (Şekil 3.36).



Şekil 3.36. "Mesh" menüsü

"Outline" menüsünün üzerindeki satırda çıkan alt menüde mesh işleminde kullanılacak olan komutlar yer almaktadır.

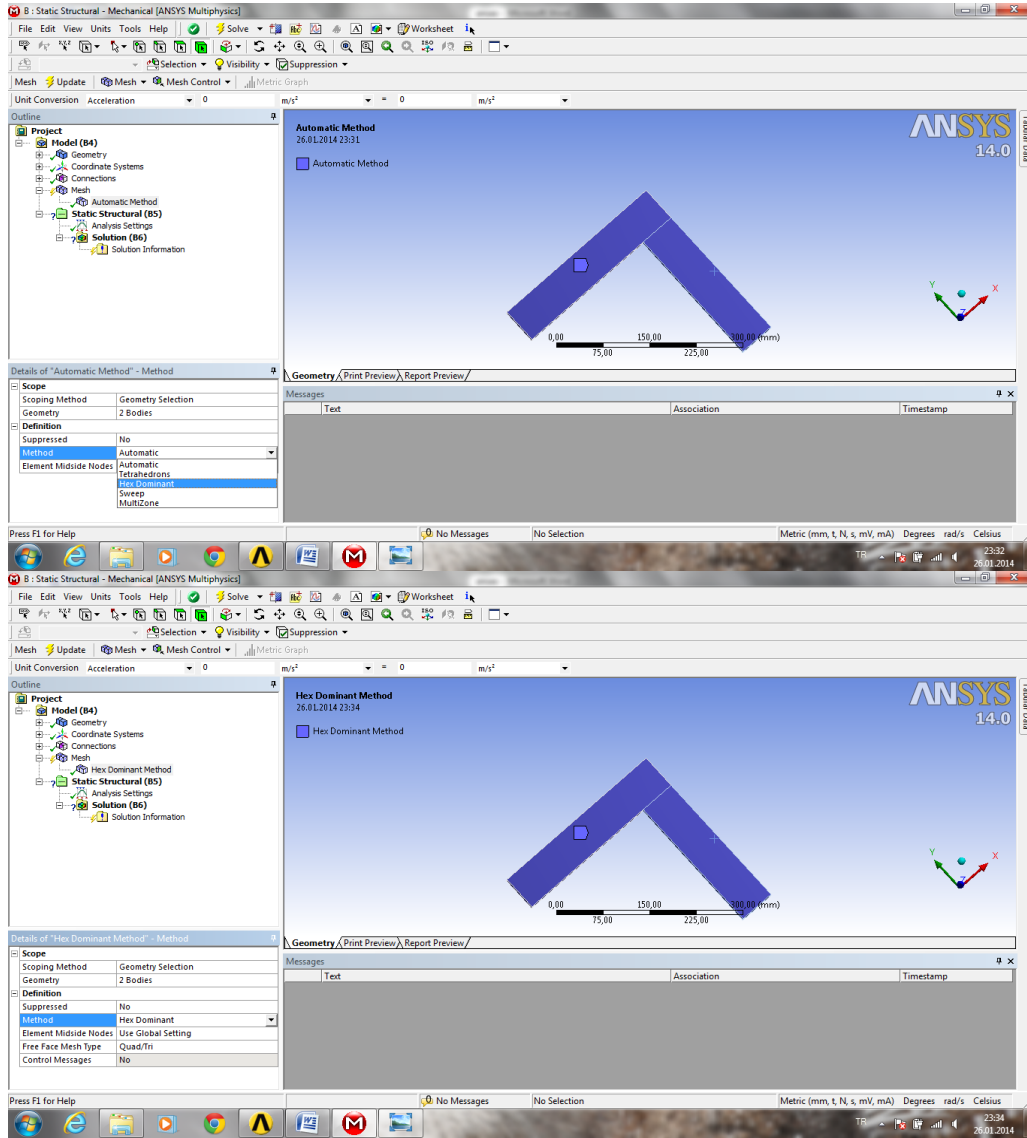
"Mesh Control" komutunda, bir alt komut olarak bulunan "Method" seçeneği kullanılarak; yapılmak istenen mesh türü uygulanabilmektedir. (Şekil 3.37).



Şekil 3.37. Mesh yönteminin belirlenmesi

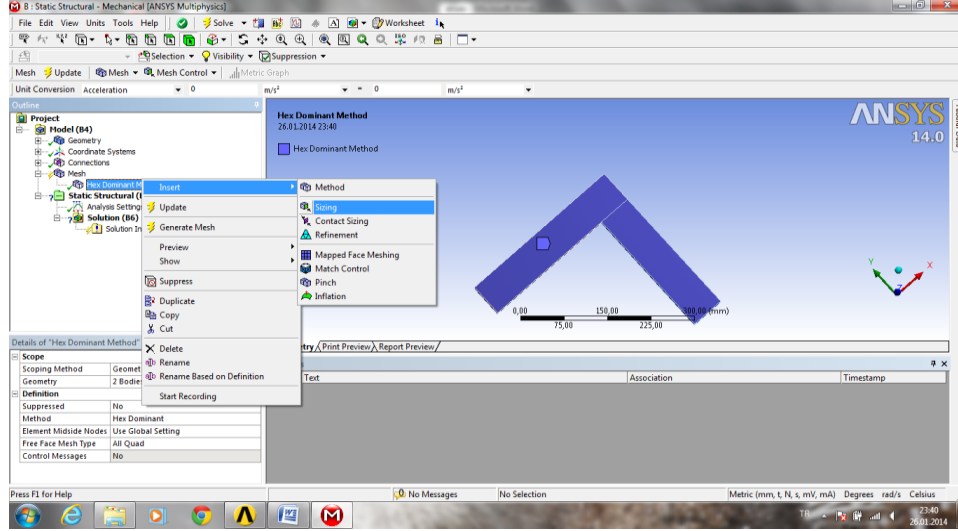
Mesh yöntemi olarak geçerli ayarlar "Automatic" yöntem olmasına karşın, bu yöntemle oluşturulan meshin düzgün ve homojen olmaması ve alınacak verilerin güvenilirliğini olumsuz etkileyeceği göz önünde bulundurularak, yöntem "Hex

Dominant" a çevrilmiştir (Şekil 3.38). "Hex Dominant" yöntemiyle oluşturulan "Mesh" te sözü geçen olumsuzluklar en aza indirgenmiştir.



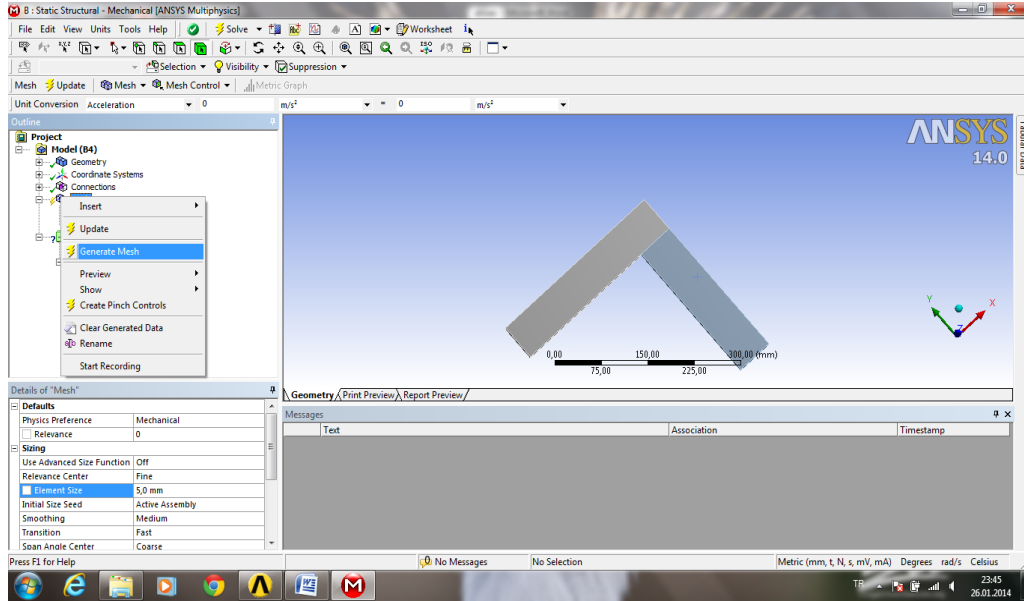
Şekil 3.38. Mesh yönteminin "Hex Dominant" olarak ayarlanması

Mesh yapılacak olan metot seçildikten sonra, oluşacak olan mesh örgüsünün ölçülendirilmesi gerekmektedir. Mesh işlemi sonucu ortaya çıkacak olan "Node" lar arası mesafenin ayarlanması ve mümkün olduğunca kısa tutulması analizin güvenilirliğini arttırmaktadır. Çalışmada Node lar arası mesafe 5 mm olarak ayarlanmıştır. Node mesafelerini ayarlamak için "Outline" menüsündeki "Mesh" bölümünde bulunan "Hex Dominant" yöntem sağ tuşla işaretlenerek açılacak olan penceredeki "Insert" komutundan "Sizing" seçeneği kullanılmıştır (Şekil 3.39).



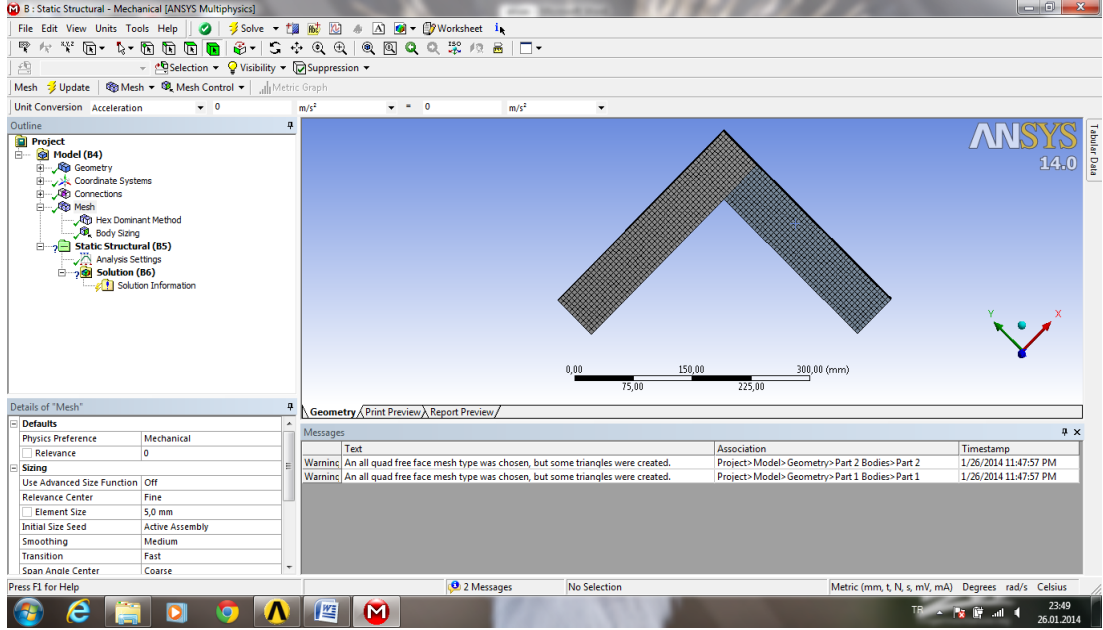
Şekil 3. 39. Mesh örgüsünün ölçülendirilmesi

"Mesh" uygulanacak olan parçaların ikisinde seçilip aynı anda uygulanmıştır. Bu işlem, "Mesh" ayarları yapıldıktan sonra "Outline" menüsünde bulunan "Mesh" bölümü sağ tuşla işaretlenerek açılan pencerede ki "Generate Mesh" seçeneği kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.40).



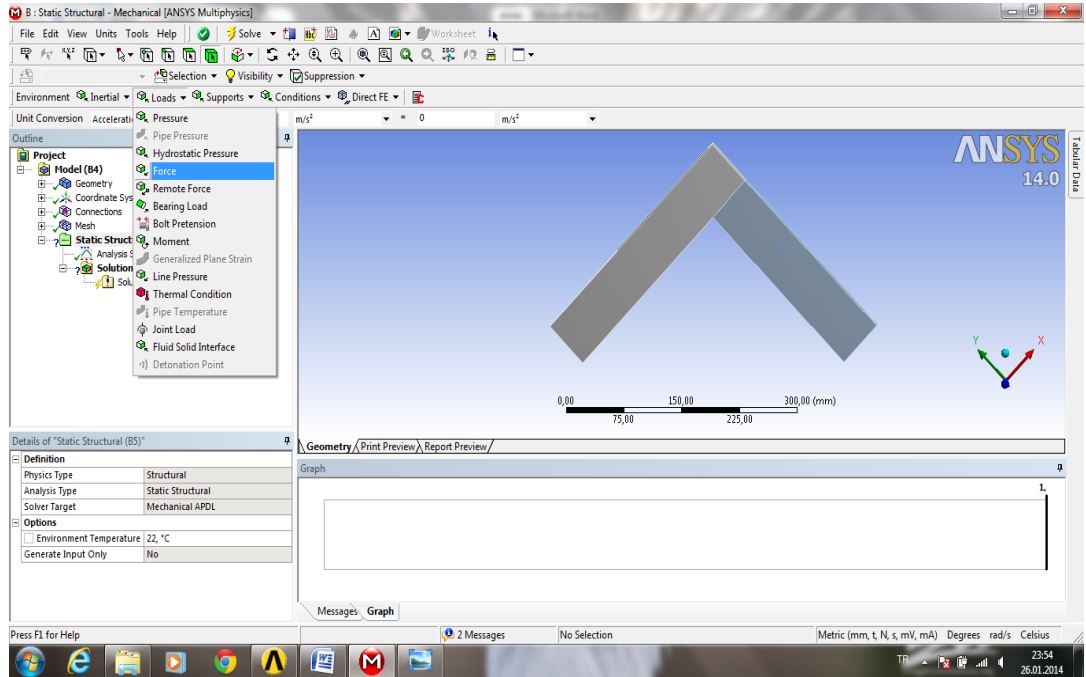
Şekil 3. 40. Mesh (ağ oluşturma) işleminin gerçekleştirilmesi

Mesh işlemi ve mesh işlemi bittikten sonra deney örneklerinin görünümü (Şekil 3.41) 'de gösterilmiştir.



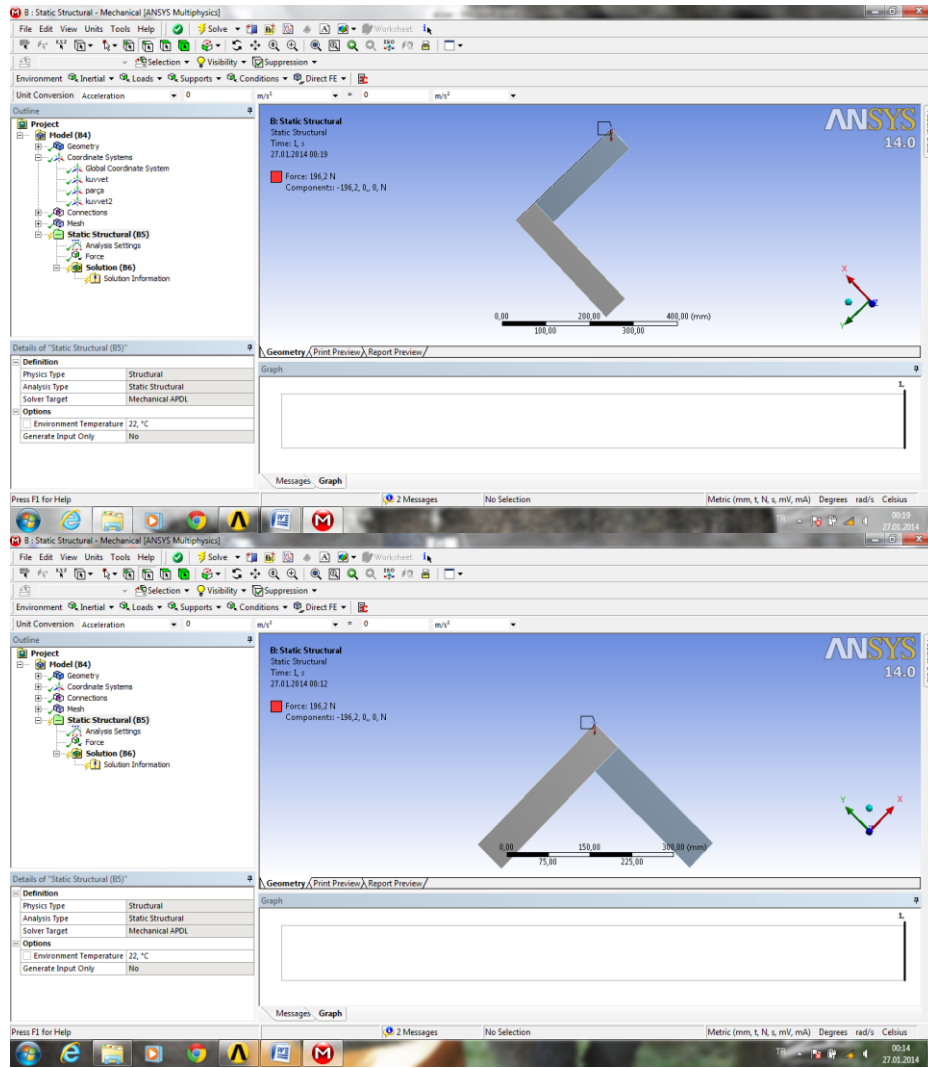
Şekil 3.41. Mesh işlemi tamamlanmış deney örneği

Mesh işlemi tamamlandıktan sonra "Static Structural" bölümü seçilerek kuvvet yükleme ve destek noktaları seçimi işlemleri yapılmıştır. "Outline" menüsündeki "Static Structural" bölümü seçildikten sonra, bu bölüme ait alt menü "Outline" menüsünün üzerinde görülmektedir. Alt menüde olan "Load" bölümünden seçilip, uygulanmış olan "Force" (tekil kuvvet) uygulama noktası belirlenmiştir (Şekil 3.42).

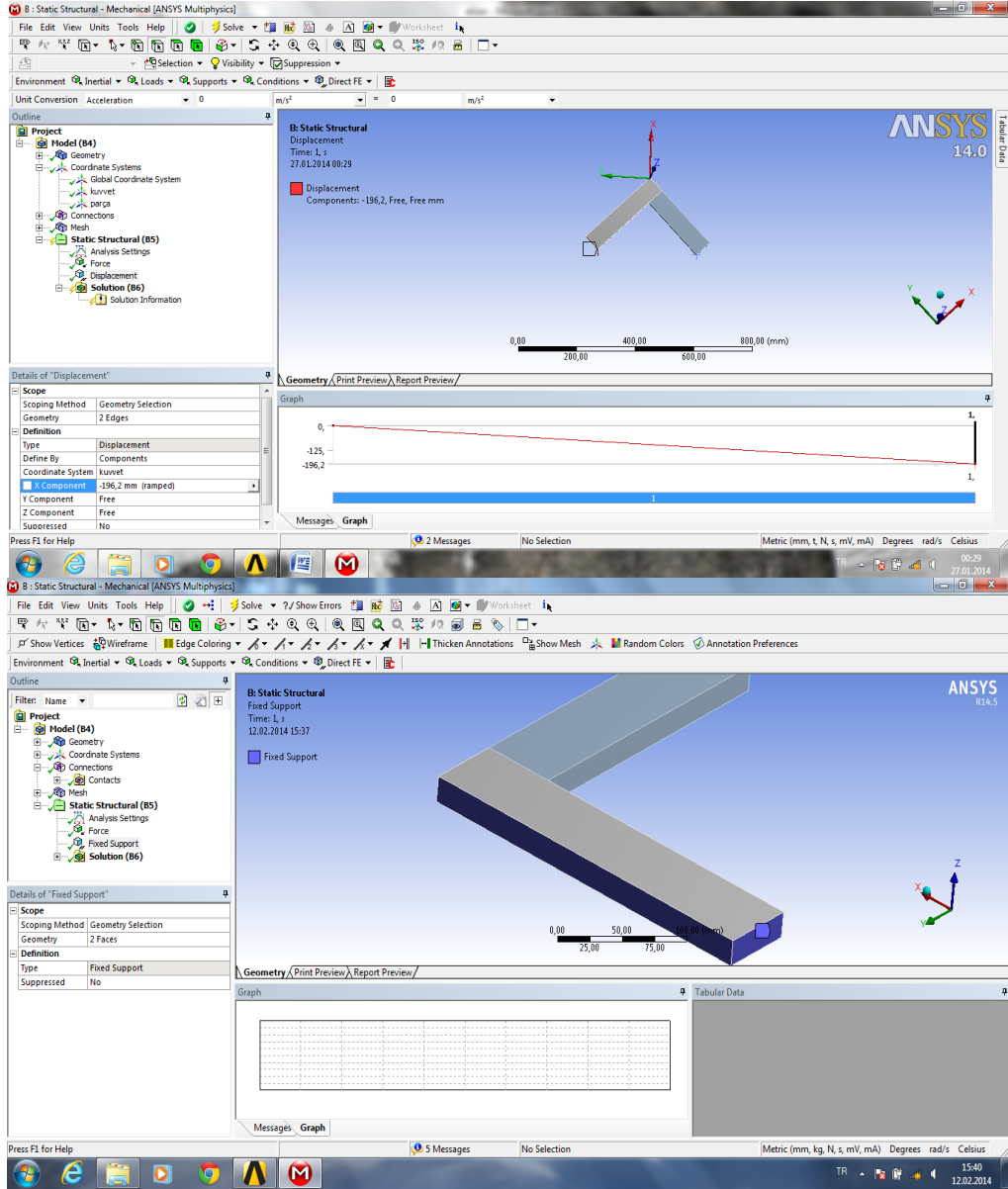


Şekil 3.42. Deney kuvvetinin tanımlanması

Kuvvet tanımlanırken, model için; yükleme yönüne göre 98,1 newton ve katları sisteme uygulanmıştır. Burada, gerçek deneylerdeki kırılma (deformasyon) anında, birleştirmelerin yapısal çözümünün yapılarak, her bir elemanda ve birleştirmelerde meydana gelen kuvvetler (eksenel kuvvetler, kesme kuvvetleri, momentler) ve gerilmeler (çekme-basınç, kesme, eğilme) analiz edilmiş ve zayıf noktalar belirlenmiştir. Kuvvet tanımlama işlemi bittikten sonra, mesnet noktaları belirtilmiştir. Deney örneğinde mesnet olarak çekme deneylerinde "Displacement" basınç deneylerinde "Fixed" mesnet tipi seçilmiştir. Çekme deneyinde mesnette x ve z yönlerindeki rotasyon ve yer değiştirmeler kısıtlanmış olup, y yönünde "Free" seçilmiştir. Basınç deneylerinde ise dişi parçanın dış yüzeyleri seçilmiştir. (Şekil 3.43 , 3.44).

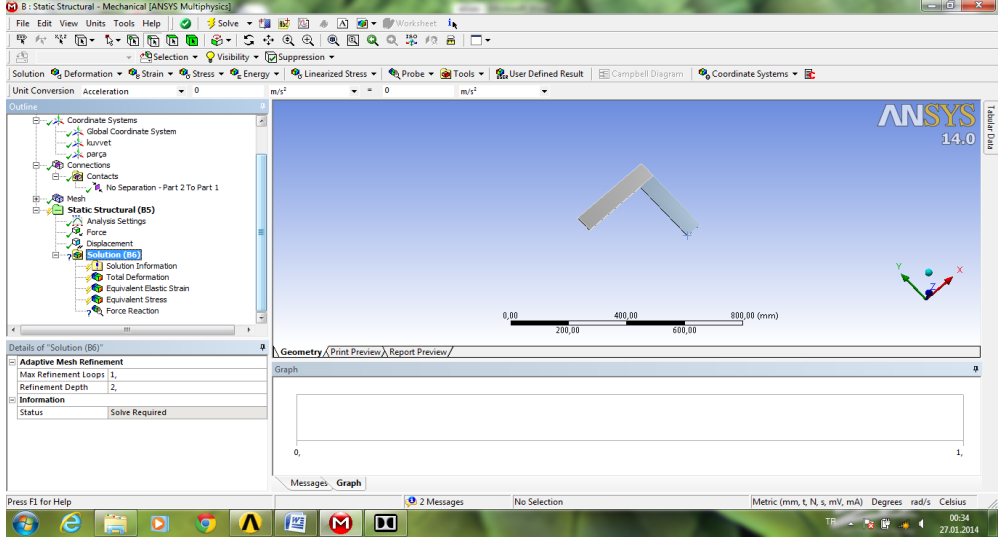


Şekil 3.43. Deney kuvvetlerinin uygulanması



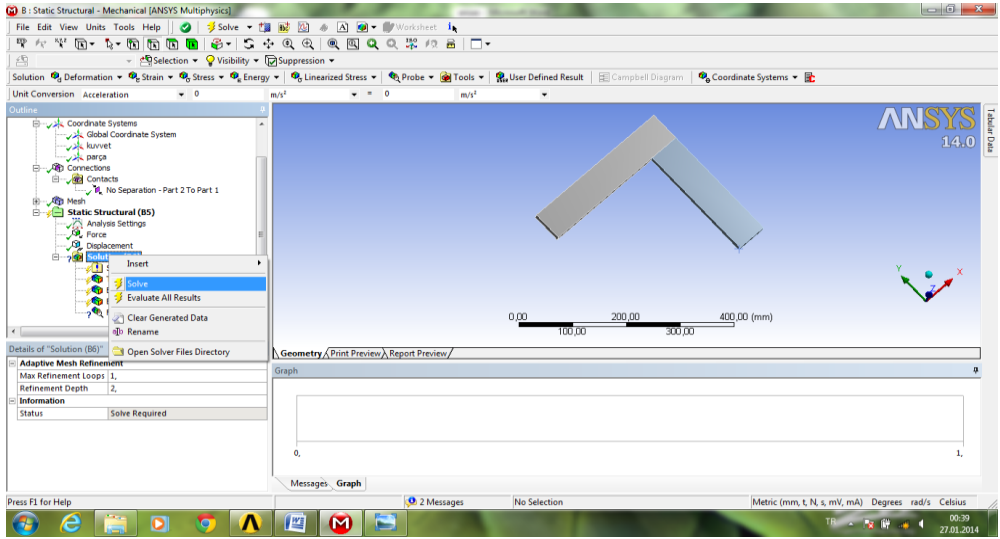
Şekil 3.44. Mesnet noktalarının tanımlanması

Mesnetlerin belirlenmesi işlemi sonrası çözüm aşamasına geçilmiştir. Çözüm aşamasında "Outline" menüsünde bulunan "Solution" bölümü seçilerek bu bölüme ait alt menü "Outline" menüsü üzerindeki satırda oluşturulmuştur. Her bir deney örneği için yapılan çözümlerlerde; "Deformation" bölümünden "Total" seçilerek Total deformation analizi, "Strain" bölümünden "Equivalent (von-Mises)" seçilerek Equivalent Elastic Strain analizi, "Stress" bölümünden "Equivalent (von-Mises)" seçilerek Equivalent Stress analizi seçilerek yapılmışlardır (Şekil 3.45).



Şekil 3.45. Çözüm aşamasına geçiş

Yapılacak olan analizler seçildikten sonra çözüm aşamasının son adımı olarak "Solution" bölümü farenin sağ tuşuyla işaretlenerek çıkan pencerede "Solve" yazan satır seçilmiştir (Şekil 3.46).



Şekil 3.46. Çözüm aşamasına geçiş

3.7. Doğrusal Olmayan Regresyon Modeli

Regresyon analizi, bir değişkenin bir veya daha fazla değişkenle arasındaki ilişkinin matematik bir fonksiyonla ifade edilmesidir. Bu çalışmada, L-tipi zıvanalı köşe birleştirmelerin diyagonal basınç ve çekme yükü altındaki moment kapasitelerinin önceden tahmin edilebileceği bir formül geliştirilmiştir. Formülün geliştirilmesinde

“Non-Linear” programı kullanılarak doğrusal olmayan regresyon analizinden yararlanılmıştır. Yapılan analizlerde, diyagonal basınçta taşınan ortalama moment 163,3 Nm ve diyagonal çekme yükü altında taşınan ortalama moment 153,28 Nm gibi birbirine yakın değerler olduğundan, ortalama moment kapasitesi değerleri için ayrı formüller geliştirmek yerine tek bir formül geliştirilmiş ve aradaki fark her bir yükleme tipi için bir regresyon katsayısı olarak formüle dahil edilmiştir. Ayrıca, zıvanalı birleştirmelerin moment kapasitesindeki etkili faktörler olan ağaç malzemelerin kesme direnci ve zıvanaların yapıştırılmasında kullanılan tutkal çeşidi için de regresyon katsayıları geliştirilen formüle dahil edilmiştir. Bir başka ifade ile oluşturulan regresyon modelinde bağımlı değişken moment kapasitesi, bağımsız değişkenler ise yükleme tipi, ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğu olarak düşünülmüştür.

Doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen formülde izlenen yol kısaca şu şekilde özetlenebilir. L-tipi zıvanalı köşe birleştirmelerde natürel (asal) eksenin yeri ve pozisyonu tam olarak bilinmemekle birlikte, asal eksenin bir tarafındaki toplam çekme kuvvetlerinin (T) eksenin diğer tarafındaki toplam basınç kuvvetlerine (C) eşit olduğu bilinmektedir. Deney yükleri ve koşulları altında, oluşan dış momente karşılık, zıvanalı birleştirmelerde bir iç moment (M) meydana gelmektedir. Dış momente karşılık oluşan bu iç moment, asal eksenin alt veya üst tarafında oluşan çekme veya basınç kuvvetlerinden herhangi birisinin, bu iki vektör arasındaki mesafe (iç moment kolu) ile çarpımı sonucunda elde edilebilir. Buna göre, zıvanalı birleştirmelerde oluşan çekme kuvveti (T) “ a_0WL ” ve iç moment kolunu da “ a_1W+d ” olarak ifade edilecek olursa;

$$M = a_0WL \times (a_1W + d) \quad (3.10)$$

eşitliği elde edilir. Burada, M: diyagonal basınç veya çekme yükü altında taşınan moment kapasitesi, (Nm), W: birleştirmedeki zıvana genişliği, (mm), L: birleştirmedeki zıvana uzunluğu, (mm), d: zıvanadaki alın mesafesi (mm), a_0 ve a_1 : doğrusal olmayan regresyon analizi sonucunda elde edilen regresyon katsayılarıdır.

Buna ilave olarak, deneylerde birleştirmelerdeki zıvanaların yapıştırılmasında PVAc ve PÜ olmak üzere iki farklı tutkal çeşidi kullanıldığından, tutkal faktörünün de, k (PVAc veya PÜ) formül içerisinde hesaba alınması gerekmektedir. Bu katsayılar ve

daha önceden de belirtilen yükleme tipi (basınç, çekme) ve ağaç malzemenin kesme direnci, S , (N/mm^2) faktörleri için elde edilen katsayılarla kullanılarak düzenlenen yeni formül;

$$M = a_0(WL)(a_1W + d)S^{a_2}(a_3T + a_4C)(a_5pva + a_6pu) \quad (3.11)$$

şekline gelmiştir. Burada, $a_1 - a_6$: doğrusal olmayan regresyon analizinden elde edilen regresyon katsayıları, T ve C : sırasıyla çekme ve basınç kuvvetleri (N), pva ve pu : sırasıyla polivinil asetat ve poliüretan tutkalıdır.

3.8. Verilerin değerlendirilmesi

Deney sonuçlarının istatistiksel analizinde, ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği, zıvana uzunluğu ve bu faktörlerin ikili, üçlü ve dördü etkileşimlerinin, L-tipi birleştirmelerin diyagonal basınç ve çekme yükü altında taşıdığı moment kapasitesi ve rijitliği üzerindeki etkileri “çoklu varyans analizleri” (MANOVA) 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 ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği, zıvana uzunluğu ve dört faktörün eş zamanlı etkilerinin birbirleri arasındaki başarı sıralamaları homojenlik gruplarına ayrılmak suretiyle belirlenmiştir.

Deney örneklerinin, aynı deney şartları ve statik yük değerleri kullanılarak, sonlu elemanlar yöntemi (Finite Element Analysis) ile bilgisayar destekli üç boyutlu yapısal analizleri yapılmıştır. L-tipi birleştirme elemanı sistemlerinin çözümü “ANSYS 14 Workbench” yapısal analiz programı kullanılarak yapılmış ve buna göre yapısal analiz (structural analysis) programlarının mobilya mukavemet tasarımında kullanılabilirliği değerlendirilerek, deney örneklerinin genel mukavemeti hakkında anlamlı değerler verip vermediği irdelenmiştir. Sonlu elemanlar analizinde, L-tipi birleştirmelerden elde edilen rijitlik katsayısı ve maksimum yer değiştirme değerleri gerçek testlerden elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. DeneY Örneklerinin Üretiminde Kullanılan Ağaç Malzemenin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

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

Çizelge 4.1. DeneYlerde kullanılan ağaç malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik değerleri

Ağaç malzeme türü	Rutubet (%)	Tam kuru yoğunluk (g/cm^3)	Hava kurusu yoğunluk (g/cm^3)	Çekme direnci (N/mm^2)	Basınç direnci (N/mm^2)	Eğilme direnci (N/mm^2)	Elastikiyet modülü (N/mm^2)
Doğu kayını	9,7	0,58	0,60	102,3	65,2	112,8	12346
Sarıçam	7,65	0,49	0,52	97	56	87	10700

4.2. Diyagonal Basınç Yüğü Altındaki L-Tipi Zıvanalı Birleştirmelerin Deformasyon Karakteristikleri

Birleştirme elemanlarında diyagonal basınç deneyleri yaklaşık 60-90 saniyede tamamlanmış ve zıvanalı birleştirmeler yük taşıyamaz hale gelmiştir. DeneYlerde genel olarak üç farklı deformasyon karakteristiğı gözlenmiştir.

Birinci deformasyon karakteristiğı; birleştirmelerdeki erkek zıvananın dişı zıvana yuvasından ayrılması veya açıklık ile rotasyon oluşturacak şekilde geriye çıkması şeklinde gerçekleşmiştir. Bu açıklık bazı zıvanalarda 2-3 mm, bazılarında 10-12 mm, bazılarında ise 20-25 arasında olmuştur. Bu deformasyon, zıvana ölçüleri (genişlik x uzunluk) 40 x 30, 40 x 40, 50 x 50 mm poliüretan tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örneklerde, 30 x 30, 30 x 40, 40 x 30, 40 x 40, 40 x 50, 50 x 40 mm PVAc tutkalı ile yapıştırılmış Doğu kayını örneklerde, 40 x 50 mm PU tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam örneklerde, 30 x 40, 40 x 50 mm PVAc tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam örneklerde gözlemlenmiştir. (Şekil 4.1). Burada, birleştirmelere etkiyen moment karşısında

sadece zıvana yapışma yüzey alanındaki tutkal hattının direnç gösterdiği ve tutkalın kesme direncinin önemli olduğu açıkça anlaşılmaktadır. Tutkal hattındaki kayma direnci aşıldığı anda erkek zıvana dişi zıvana yuvasından geriye çıkmıştır. Zıvana genişliği 40 mm olan örnekler sayıca diğer örneklerden fazladır. PVAc tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örnekleri diğer örneklere göre sayıca üstünlük sağlamaktadır. Bu sonuç, PVAc tutkalının poliüretan tutkalına göre daha elastiki olmasından ve zıvanayı poliüretan tutkalı kadar sıkılaştırmamasından kaynaklanabilir.



Şekil 4. 1. Basınç deneylerinde gözlenen birinci deformasyon biçimi

İkinci deformasyon karakteristiği; deney yükleri altında birleştirmelerdeki erkek zıvanaların kopması şeklinde gerçekleşmiştir. Bu deformasyon, zıvana ölçüleri (genişlik x uzunluk) 30 x 30, 30 x 40, 30 x 50, 40 x 50 mm PU tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örneklerde, 30 x 50 mm PVAc tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örneklerde, 30 x 30, 30 x 40, 30 x 50, 50 x 40, 50 x 50 mm PU tutkalı ile yapıştırılmış sarı çam örneklerde, 30 x 30, 30 x 50, 40 x 40, 50 x 50 mm PVAc tutkalı ile yapıştırılmış Sarıçam örneklerde gözlemlenmiştir. (Şekil 4.2) 30 mm genişliğindeki PU tutkalı ile yapıştırılmış bütün örneklerde erkek zıvanaların koptuğunu gözlenmiştir. Sarıçam örneklerdeki kırılan birleştirme sayısı Doğu kayını örneklere göre daha fazladır. Bu sonuç, sarıçamın eğilme ve kesme direncinin Doğu kayınına göre daha az olmasından kaynaklanmış olabilir. Sonuçlar genel anlamda zıvana genişliği ve uzunluğunun artmasıyla basınç yükü altındaki dayanımının arttığını göstermektedir.



Şekil 4.2. Basınç deneylerinde gözlenen ikinci deformasyon biçimi

Üçüncü deformasyon karakteristiği; erkek zıvanaların dişi zıvana maktalarını patlatıp liflere paralel yönde yarması şeklinde olmuştur. Örneklerin yarısında tutkal hattı bırakarak patlatma yapmıştır diğer yarısında ise tutkal hattı bırakmadan patlatmıştır. Bu deformasyon, zıvana ölçüleri (genişlik x uzunluk) 50 x 30, 50 x 40 mm PU tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örneklerde, 50 x 30, 50 x 50 mm PVAc tutkalı ile

yapıştırılmış doğu kayını örneklerde, 40 x 30, 50 x 30 mm poliüretan tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam örneklerde, 40 x 30, 40 x 40, 50 x 30, 50 x 40 PVAc tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam örneklerde gözlemlenmiştir. (Şekil 4.3) Bu deformasyon biçimine, genişliği 50 mm olan bir başka ifade ile yapışma yüzey alanı büyük olan zıvanalarda karşılaşılmıştır. Bu durum, genişlik artışı, dişi zıvanada baş kesit (makta) tarafında fazla pay kalmaması nedeniyle oradaki malzemenin liflere paralel kesme ve liflere dik çekme direncinin düşmesi ile açıklanabilir. Bu deformasyon biçiminde de sarıçam örneklerde doğu kayını örneklere göre daha fazla rastlanmıştır. Dişi zıvana yuvalarının patlamasında, özellikle zamanla serleşip, kemikleşen ve genişleyen bir yapıya sahip olan PÜ tutkalının da katkısının olduğu düşünülmektedir.

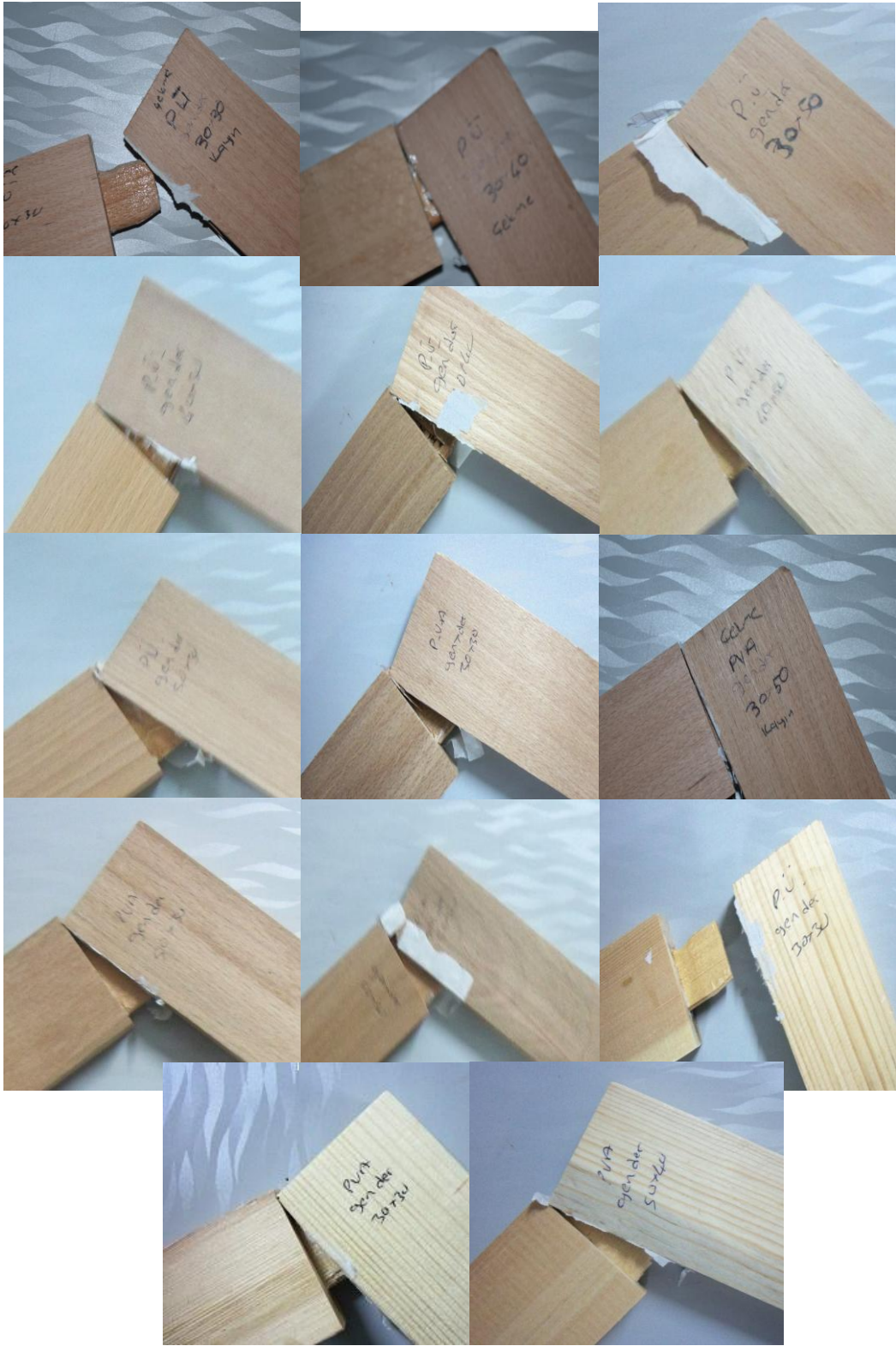


Şekil 4.3. Basınç deneylerinde gözlenen üçüncü deformasyon biçimi

4.3. Diyagonal çekme yükü altındaki L-tipi zıvanalı birleştirmelerin deformasyon karakteristikleri

Birleştirme elemanlarında diyagonal çekme deneyleri, yine yaklaşık 60-90 saniye içerisinde gerçekleşmiş ve zıvanalı birleştirmeler yük taşıyamaz hale gelmiştir. Burada da, diyagonal basınçta olduğu gibi genel anlamda üç farklı deformasyon karakteristiği gözlenmiştir.

Birinci deformasyon karakteristiği; diyagonal basınçta olduğu gibi birleştirmelerdeki erkek zıvananın dişi zıvana yuvasından ayrılması veya açıklık ile rotasyon oluşturacak şekilde geriye çıkması şeklinde gerçekleşmiştir. Bu açıklık bazı zıvanalarda 2-3 mm, bazılarında 10-12 mm, bazılarında ise 20-25 mm arasında olmuştur. Bu deformasyon biçimi, zıvana ölçüleri (genişlik x uzunluk) 30 x 30, 30 x 40, 30 x 50, 40 x 30, 40 x 40, 40 x 50, 50 x 30 mm PÜ tutkalı ile yapıştırılmış Doğu kayını örneklerde, 30 x 30, 30 x 50, 50 x 30, 50 x 50 mm PVAc tutkalı ile yapıştırılmış Doğu kayını örneklerde, 30 x 30 mm PÜ tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam örneğinde, 30 x 30, 50 x 40 PVAc tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam örneklerde gözlenmiştir (Şekil 4.4). Doğu kayını ve zıvana genişliği 30 mm ve 40 mm olan birleştirmeler genellikle bu deformasyon biçimine uğramışlardır. Buna göre, zıvana genişliği ve uzunluğunun artmasıyla diyagonal çekme yükü altında moment direncinin de arttığı söylenebilir.



şekil 4.4. Çekme deneylerinde gözlenen birinci deformasyon biçimi

İkinci deformasyon karakteristiğide diyagonal basınçta olduğu gibi; deney yükleri altında birleştirmelerdeki erkek zıvanaların kopması şeklinde gerçekleşmiştir. Bu deformasyon, zıvana lleri (genişlik x uzunluk) 30 x 40, 30 x 50, 40 x 40, 40 x 50, 50 x 50 mm P tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam örneklerde, 30 x 40, 30 x 50, 50 x 50

mm PVAc tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam örneklerde gözlemlenmiştir (Şekil 4.5). İkinci deformasyon karakteristiğinin sadece sarıçamdan hazırlanan örneklerde gerçekleştiği görülmüştür. Buna göre, zıvana genişliği 30 ve 40 mm olan sarıçam deney örneklerinin oluşan eğilme momenti karşısında direnemediği, zıvanalardaki eğilme ve kesme nedeniyle koptuğu söylenebilir.



Şekil 4.5. Çekme deneylerinde gözlenen ikinci deformasyon biçimi

Üçüncü deformasyon karakteristiği de yine diyagonal basınç deneylerindeki benzer şekilde; erkek zıvanaların dişi zıvana maktalarını patlatması şeklinde gerçekleşmiştir. Örneklerin tamamında tutkal hattı bırakarak patlatma olmuştur. Bu deformasyon, zıvana ölçüleri (genişlik x uzunluk) 50 x 40, 50 x 50 mm PÜ tutkalı ile yapıştırılmış Doğu kayını örneklerde, 30 x 40, 40 x 30, 40 x 40, 40 x 50, 50 x 40 mm PVAc tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örneklerde, 40 x 30, 50 x 30, 50 x 40 mm PÜ tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam örneklerde, 40 x 30, 40 x 40, 40 x 50, 50 x 30 PVAc tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam örneklerde gözlemlenmiştir. (Şekil 4.6.). Bu deformasyon karakteristiğinde 30 x 30 mm ölçülerindeki zıvanaların azınlıkta olması

40 ve 50 mm genişlik ile 40 ve 50 mm uzunluktaki zıvanaların fazla olması zıvana genişlik ve uzunluğu arttıkça çekmeye karşı olan dayanımın arttığını göstermektedir. Bu durum, genişlik artışı, dişi zıvanada baş kesit (makta) tarafında fazla pay kalmaması nedeniyle oradaki malzemenin liflere paralel kesme ve liflere dik çekme direncinin düşmesi ile açıklanabilir.



Şekil 4.6. Çekme deneylerinde gözlenen üçüncü deformasyon biçimi

4.4. Diyagonal Basınç Deneyi Sonuçları

Diyagonal basınç deneylerinden elde edilen moment kapasitesi ve rijitlik değerleri varyasyon katsayıları ile birlikte (Çizelge 4.2.)’ de verilmiştir. Ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğunun moment kapasitesine etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.3)’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Diyagonal basınç deneylerinden elde edilen moment ve rijitlik ortalama ve varyasyon katsayıları

		Zıvana Genişliği (mm)	Zıvana Uzunluğu (mm)	L - Tipi Deney Örnekleri			
				Moment (Nm)		Rijitlik (Nm/rad)	
				Xort	V (%)	Xort	V(%)
SARIÇAM	PVAc	30	30	69,92	2,92	508,77	18,92
			40	95,31	9,44	691,88	31,77
			50	133,44	16,22	777,76	50,02
		40	30	85,24	5,42	1230,97	23,89
			40	129,19	7,09	875,93	35,77
			50	131,94	10,19	1064,63	36,94
		50	30	111,55	10,97	1331,07	48,24
			40	129,03	4,52	1050,98	39,01
			50	183,47	2,28	1203,85	23,72
	PU	30	30	105,22	9,35	774,34	22,83
			40	112,71	3,36	601,61	22,01
			50	158,19	11,00	565,81	13,61
		40	30	155,74	4,83	1372,18	25,44
			40	190,21	2,35	992,11	46,24
			50	191,04	5,31	1109,37	14,67
		50	30	120,78	4,84	1541,81	27,04
			40	204,78	8,11	1400,09	27,68
			50	213,66	5,29	1518,76	47,10
DOĞU KAYINI	PVAc	30	30	122,72	3,89	1328,50	18,90
			40	145,27	3,74	638,46	32,89
			50	196,87	5,59	812,49	10,41
		40	30	163,99	11,18	1704,19	24,89
			40	155,25	5,94	346,81	11,81
			50	238,18	11,53	1207,44	63,33
		50	30	154,49	7,52	2101,98	38,82
			40	215,10	8,18	1355,53	22,84
			50	221,22	4,00	1502,42	36,78
	PU	30	30	156,91	7,59	1296,55	16,71
			40	155,33	5,75	885,29	77,83
			50	196,87	5,59	812,49	10,41
		40	30	168,71	1,45	1778,92	39,75
			40	146,84	9,28	1169,40	70,41
			50	222,55	9,11	619,57	23,57
		50	30	193,54	3,96	1611,51	13,34
			40	225,33	6,58	1926,90	15,27
			50	279,11	558,21	2241,19	33,05

Çizelge 4.3. Ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğunun basınçta taşınan momente etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P≤0,05
Faktör A	1	97266.058	97266.058	636.9237	0.0000
Faktör B	1	36885.548	36885.548	241.5363	0.0000
A * B	1	8759.942	8759.942	57.3624	0.0000
Faktör C	2	76048.159	38024.080	248.9917	0.0000
AC	2	2933.610	1466.805	9.6050	0.0001
BC	2	2110.284	1055.142	6.9093	0.0014
ABC	2	10089.834	5044.917	33.0354	0.0000
Faktör D	2	121542.486	60771.243	397.9461	0.0000
AD	2	6089.898	3044.949	19.9391	0.0000
BD	2	301.188	150.594	0.9861	
ABD	2	2394.769	1197.384	7.8408	0.0006
CD	4	9019.997	2254.999	14.7663	0.0000
ACD	4	9968.045	2492.011	16.3183	0.0000
BCD	4	3193.840	798.460	5.2285	0.0006
ABCD	4	5439.871	1359.968	8.9054	0.0000
Hata	144	21990.565	152.712		
Toplam	179	414034.095			

Faktör A: Ağaç malzeme türü

Faktör B: Tutkal çeşidi

Faktör C: Zıvana genişliği

Faktör D: Zıvana uzunluğu

Ağaç türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğunun diyagonal basınç yükü altında taşınan moment üzerindeki etkilerini belirlemek için yapılan çoklu varyans analizi sonuçlarında, ana faktörler, B*D (tutkal çeşidi – zıvana uzunluğu) etkileşimi dışındaki tüm ikili etkileşimler ve üçlü etkileşimin moment taşıma kapasitesi üzerindeki etkileri 0,05 hata payı ile istatistiksel anlamda önemli çıkmıştır.

Ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğunun rijitlik üzerindeki etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.4)'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğuna ait rijitliğe ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P≤0,05
Faktör A	1	51926902.290	51926902.290	12.4010	0.0006
Faktör B	1	5063765.308	5063765.308	1.2093	0.2733
A * B	1	2864470.418	2864470.418	0.6841	
Faktör C	2	113237471.391	56618735.695	13.5215	0.0000
AC	2	34369493.263	17184746.632	4.1040	0.0185
BC	2	8085008.077	4042504.039	0.9654	
ABC	2	13937534.281	6968767.141	1.6643	0.1930
Faktör D	2	1388473.039	694236.520	0.1658	
AD	2	1420208.999	710104.500	0.1696	
BD	2	25444681.359	12722340.679	3.0383	0.0510
ABD	2	10454217.521	5227108.761	1.2483	0.2901
CD	4	20362728.658	5090682.164	1.2157	0.3067
ACD	4	15641467.307	3910366.827	0.9339	
BCD	4	17776219.253	4444054.813	1.0613	0.3780
ABCD	4	14148467.705	3537116.926	0.8447	
Hata	144	602971876.701	4187304.699		
Toplam	179	939092985.570			

Ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğunun rijitliğe etkilerini belirlemek için yapılan çoklu varyans analizinde ağaç malzeme türü, zıvana genişliği faktörleri ve ağaç malzeme türü – zıvana genişliği ikili etkileşimi istatistiksel anlamda önemli çıkmıştır. Bunun dışındaki tüm ana faktörler ve etkileşimler istatistiksel olarak önemsizdir. Gruplar arasındaki farklılıkları belirlemek için varyans analizinde anlamlı bulunan faktörlere ve bazı etkileşimlere LSD testi uygulanmıştır.

Ağaç malzeme türünün basınç yükü altındaki moment ve rijitlik değerlerine etkilerini incelemek için yapılan LSD 3.641 ve 602.9 kritik değerlerine göre yapılan karşılaştırma testi sonuçları (Çizelge 4.5)'da verilmiştir.

Çizelge 4.5. Ağaç malzeme türünün moment ve rijitlik değerlerine etkilerine ilişkin ortalamaların karşılaştırılması

Ağaç malzeme türü	Moment (nm)	Homojenlik grubu	Rijitlik (nm/rad)	Homojenlik grubu
Doğu Kayını	187	A	2468	A
Sarıçam	140	B	1394	B

LSD (Moment) ± 3,641 LSD (Rijitlik) ± 602,9

Ağaç malzeme türüne göre ortalama momentte en yüksek değer (187 Nm) Doğu kayını örneklerinde, en düşük değer ise (140 Nm) sarıçam örneklerinde elde edilmiştir. Rijitlikte ise en yüksek değer (2468 Nm/rad) yine Doğu kayını örneklerinde, en düşük değerde (1394 Nm/rad) sarıçam örneklerinde elde edilmiştir.

Tutkal çeşidinin moment kapasitesi üzerindeki etkilerini belirlemek için LSD 3.641 kritik değerine göre yapılan karşılaştırma testi sonuçları (Çizelge 4.6)'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Tutkal çeşidinin ortalama moment değerlerine etkilerine ait ortalamaların karşılaştırma sonuçları

Tutkal çeşidi	Moment (nm)	Homojenlik grubu
PÜ	178	A
PVAc	149	B

LSD \pm 3.641

Tutkal çeşidine göre ortalama momentte en yüksek değer (178 Nm) PÜ tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde elde edilirken en düşük değerleri ise (149 Nm) PVAc tutkalı ile yapıştırılmış örnekler vermiştir.

Zıvana genişliğinin moment kapasitesi üzerindeki etkilerini belirlemek için LSD 4.460 ve 738,4 kritik değerlerine göre yapılan karşılaştırma testi sonuçları (Çizelge 4.7)'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Zıvana genişliğinin ortalama moment ve rijitlik değerleri üzerindeki etkilerine ait ortalamaların karşılaştırma sonuçları

Zıvana genişliği (mm)	Moment (nm)	Homojenlik Grubu	Rijitlik (nm/rad)	Homojenlik grubu
50	188	A	2980	A
40	165	B	1749	B
30	137	B	1063	B

LSD (Moment) \pm 4.460 LSD (Rijitlik) \pm 738.4

Zıvana genişliğine göre yapılan karşılaştırmalar sonucunda en yüksek moment kapasitesi (188 Nm) ile 50 mm genişliğindeki örneklerde, en düşük moment kapasitesi (137 Nm) ile 30 mm genişliğindeki örneklerde elde edilmiştir. Zıvana genişliği 30 mm'den 40 mm'ye çıktığında % 20,43'lük bir artış olurken, 40 mm'den 50 mm'ye çıktığında % 13,93'lük bir artış olmuştur. Rijitlikte de moment kapasitesinde olduğu gibi en yüksek değerler (2980 Nm/rad) 50 mm genişliğe ait örneklerden, en düşük değer ise (1063 Nm/rad) 30 mm genişliğe ait örneklerden elde

edilmiştir. Buna göre zıvana genişliğindeki artışın moment kapasitesini ve özellikle de rijitliği büyük oranda artırdığı söylenebilir.

Zıvana uzunluğunun moment kapasitesine etkilerini belirlemek için LSD 4.460 kritik değerine göre yapılan karşılaştırma testi sonuçları (Çizelge 4.8)'da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Zıvana uzunluğunun ortalama moment değerleri üzerindeki etkilerine ait ortalamaların karşılaştırma sonuçları

Zıvana uzunluğu (mm)	Moment (nm)	Homojenlik grubu
50	197	A
40	159	B
30	134	C

LSD \pm 4.460

Zıvana uzunluğuna göre yapılan karşılaştırma sonuçlarında en yüksek moment kapasitesi (197 Nm) 50 mm uzunluğundaki örneklerde elde edilirken en düşük moment kapasitesini (134 Nm) 30 mm uzunluğundaki örnekler vermiştir. Burada da zıvana uzunluğu ile moment kapasitesi arasında doğru orantılı bir ilişkiden söz edilebilir. Zıvana genişliği ve uzunluğu dikkate alındığında, genişliğin rijitlik üzerinde, uzunluğun ise moment kapasitesi üzerinde etkili olduğu anlaşılmaktadır.

Ağaç malzeme türü – tutkal çeşidi ikili karşılaştırma sonuçlarının, ortalama moment kapasitesi değerlerine etkisini belirlemek amacıyla LSD 5.149 kritik değerine göre yapılan karşılaştırma testi sonuçları (Çizelge 4.9)'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Ağaç malzeme türü – tutkal çeşidi ikili etkileşiminin moment kapasitesi değerlerine etkilerine ilişkin karşılaştırma sonuçları

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Moment (nm)	Homojenli grubu
Doğu Kayını	PÜ	194	A
	PVAc	179	B
Sarıçam	PÜ	161	C
	PVAc	119	D

LSD \pm 5.149

Ağaç malzeme türü – tutkal çeşidine göre ortalama momentte en yüksek değer (194 Nm), PÜ tutkalı ile yapıştırılmış Doğu kayını örneklerinde, en düşük moment değeri ise (119 Nm) PVAc tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam örneklerinde elde edilmiştir. Tablonun incelenmesinden, her iki tutkal çeşidinin de Doğu kayını ile yapışma direncinin daha yüksek olduğu, ayrıca PÜ tutkalının her iki ağaç türünde de PVAc

tutkalına üstünlük sağladığı görülmektedir. Özellikle de sarıçamda PÜ tutkalının kullanılması moment kapasitesini PVAc tutkalına göre % 35 oranında artırmıştır.

Zıvana genişliği – uzunluğu ikili karşılaştırma sonuçlarının moment kapasitesine etkilerini belirlemek için LSD 7.724 kritik değerine göre yapılan karşılaştırma testi sonuçları (Çizelge 4.10)'de verilmiştir.

Çizelge 4.10. Zıvana genişliği – zıvana uzunluğu ikili etkileşiminin moment kapasitesi değerlerine etkilerine ilişkin karşılaştırma sonuçları

Zıvana genişliği (mm)	Zıvana uzunluğu (mm)	Moment(nm)	Homojenlik grubu
50	50	224	A
40	50	196	B
50	40	194	B
30	50	171	C
40	40	155	D
50	30	145	E
40	30	143	E
30	40	127	F
30	30	114	G

LSD \pm 7.724

Zıvana genişliği – zıvana uzunluğu ikili etkileşimine göre yapılan karşılaştırma sonuçlarında en yüksek moment kapasitesi (224 Nm) değerleri 50 x 50 mm zıvanalı olan örneklerde elde edilirken, en düşük değerler ise (113 Nm) ise 30 x 30 mm zıvanalı olan örneklerde elde edilmiştir. 40 x 50 mm zıvanalı birleştirmeler ile 50 x 40 mm zıvanalı birleştirmeler ikinci sırada yer almış olup, bu birleştirmeler arasındaki farklar istatistiksel anlamda önemsiz bulunmuştur.

Ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğu dörtlü etkileşiminin moment kapasitesi üzerindeki etkilerine ilişkin ortalamaların LSD 15.45 kritik değerine göre yapılan karşılaştırma sonuçları (Çizelge 4.11)'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Zıvana genişliği – zıvana uzunluğu ikili etkileşiminin moment kapasitesi değerlerine etkilerine ilişkin karşılaştırma sonuçları

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Zıvana genişliği (mm)	Zıvana uzunluğu (mm)	Moment (nm)	Homojenlik grubu
D. Kayını	PÜ	50	50	279	A
D. Kayını	PVAc	40	50	238	B
D. Kayını	PÜ	50	40	225	BC
D. Kayını	PÜ	40	50	222	C
D. Kayını	PVAc	50	50	221	C
D. Kayını	PVAc	50	40	215	CD
Sarıçam	PÜ	50	50	214	CD
Sarıçam	PÜ	50	40	205	DE
D. Kayını	PÜ	30	50	197	EF
D. Kayını	PVAc	30	50	197	EF
D. Kayını	PÜ	50	30	194	EF
Sarıçam	PÜ	40	50	191	EF
Sarıçam	PÜ	40	40	190	EF
Sarıçam	PVAc	50	50	184	FG
D. Kayını	PÜ	40	30	169	GH
D. Kayını	PVAc	40	30	164	H
Sarıçam	PÜ	30	50	158	HI
D. Kayını	PÜ	30	30	157	HI
Sarıçam	PÜ	40	30	156	HI
D. Kayını	PÜ	30	40	155	HI
D. Kayını	PVAc	40	40	155	HI
D. Kayını	PVAc	50	30	155	HI
D. Kayını	PÜ	40	40	147	IJ
D. Kayını	PVAc	30	40	145	IJ
Sarıçam	PVAc	30	50	133	JK
Sarıçam	PVAc	40	50	132	JK
Sarıçam	PVAc	40	40	129	K
Sarıçam	PVAc	50	40	129	K
D. Kayını	PVAc	30	30	123	KL
Sarıçam	PÜ	50	30	121	KL
Sarıçam	PÜ	30	40	113	LM
Sarıçam	PVAc	50	30	112	LM
Sarıçam	PÜ	30	30	105	MN
Sarıçam	PVAc	30	40	95	NO
Sarıçam	PVAc	40	30	85	OP
Sarıçam	PVAc	30	30	70	P

LSD ± 15.45

Ağaç türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğu dörtlü etkileşimine göre en yüksek moment kapasitesi değerleri (279 Nm), 50 x 50 mm zıvanalı PÜ tutkalı ile yapıştırılmış Doğu kayını örneklerinde, en düşük değerler ise (70 Nm) , 30 x 30 mm zıvanalı PVAc tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam örneklerinde elde edilmiştir. 40 x 50 mm zıvanalı PVAc tutkalı ile yapıştırılmış Doğu kayını örnekler (238 Nm) ile ikinci sırada yer almıştır. Zıvana ölçüleri 50 x 40 mm , 40 x 50 mm olan PÜ tutkalı ile yapıştırılmış Doğu kayını örneklerin ortalaması ile, 50 x 50 mm PVAc tutkalı ile yapıştırılmış Doğu kayını örneklerin ortalamaları arasındaki farklar istatistiksel anlamda önemsiz bulunmuştur.

4.5. Diyagonal Çekme Deneyi Sonuçları

Diyagonal çekme deneylerinden elde edilen moment kapasitesi ve rijitlik değerleri varyasyon katsayıları ile birlikte (Çizelge 4.12)' de verilmiştir. Ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğunun çekme yükü altında taşınan moment kapasitesine etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.13)'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Diyagonal çekme deneylerinden elde edilen moment ve rijitlik ortalamaları ve varyasyon katsayıları

	Zıvana Genişliği (mm)	Zıvana Uzunluğu (mm)	L - Tipi Deney Örnekleri				
			Moment (Nm)		Rijitlik (Nm/rad)		
			Xort	V (%)	Xort	V(%)	
SARIÇAM	PVAc	30	30	88,51	11,21	329,05	21,19
			40	120,70	11,00	329,30	40,15
			50	138,68	12,91	323,40	49,20
		40	30	69,51	8,66	234,91	18,52
			40	122,57	7,06	416,95	34,15
			50	136,52	9,25	336,60	25,36
	50	30	125,20	15,53	332,21	30,31	
		40	123,41	9,50	349,56	23,72	
		50	191,34	4,45	461,61	18,68	
	PU	30	30	97,19	10,98	281,49	20,19
			40	134,44	5,82	345,02	23,00
			50	87,24	7,58	279,42	44,79
		40	30	131,81	6,74	470,09	29,98
			40	215,26	6,77	503,04	21,08
			50	174,14	8,59	447,35	17,80
		50	30	155,46	7,79	390,21	17,02
			40	213,80	5,02	503,43	17,34
			50	228,64	5,27	534,89	30,02
DOĞU KAYINI	PVAc	30	30	140,06	11,76	277,06	53,23
			40	177,58	13,35	374,90	38,84
			50	245,50	6,45	479,98	24,67
		40	30	110,99	5,67	233,69	50,92
			40	159,83	6,82	315,21	40,40
			50	171,69	8,66	451,42	42,04
	50	30	92,68	14,65	177,66	13,35	
		40	155,66	6,19	446,25	32,91	
		50	209,15	3,53	435,37	25,31	
	PU	30	30	104,26	4,63	233,13	49,94
			40	194,58	5,56	323,94	21,08
			50	224,55	3,17	370,07	35,41
		40	30	95,07	6,68	347,81	11,40
			40	134,65	11,16	230,50	23,20
			50	269,98	4,21	505,53	20,57
		50	30	104,89	8,32	407,21	44,51
			40	131,25	9,11	334,68	25,55
			50	241,40	8,97	556,49	23,40

Çizelge 4.13. Ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğunun çekmede taşınan momente etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P≤0,05
Faktör A	1	23269.388	23269.388	147.9062	0.0000

Faktör B	1	17905.045	17905.045	113.8090	0.0000
A * B	1	11207.903	11207.903	71.2403	0.0000
Faktör C	2	11445.633	5722.816	36.3757	0.0000
AC	2	58106.681	29053.340	184.6704	0.0000
BC	2	23272.017	11636.009	73.9614	0.0000
ABC	2	4406.888	2203.444	14.0057	0.0000
Faktör D	2	210905.766	105452.883	670.2854	0.0000
AD	2	45703.092	22851.546	145.2502	0.0000
BD	2	2300.509	1150.255	7.3113	0.0009
ABD	2	22067.411	11033.705	70.1330	0.0000
CD	4	11709.746	2927.437	18.6075	0.0000
ACD	4	5624.730	1406.182	8.9381	0.0000
BCD	4	10397.334	2599.334	16.5220	0.0000
ABCD	4	12498.855	3124.714	19.8615	0.0000
Hata	144	22654.850	157.325		
Toplam	179	493475.848			

Ağaç türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğunun diyagonal çekme yükü altında taşınan moment üzerindeki etkilerini belirlemek için yapılan çoklu varyans analizi sonuçlarında, ana faktörler, ikili, üçlü ve dörtlü olmak üzere tüm etkileşimlerin moment taşıma kapasitesi üzerindeki etkileri 0,05 hata payı ile istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur.

Ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğunun rijitlik üzerindeki etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.14)' de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğunun çekme yükü altında rijitlik değerlerine etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P≤0,05
Faktör A	1	1967064.323	1967064.323	0.8538	
Faktör B	1	1207446.812	1207446.812	0.5241	
A * B	1	3330996.092	3330996.092	1.4458	0.2312
Faktör C	2	1751000.590	875500.295	0.3800	
AC	2	1524243.117	762121.559	0.3308	
BC	2	39629746.633	19814873.317	8.6003	0.0003
ABC	2	1118160.744	559080.372	0.2427	
Faktör D	2	16859659.275	8429829.637	3.6588	0.0282
AD	2	3299057.315	1649528.658	0.7160	
BD	2	12254452.013	6127226.007	2.6594	0.0734
ABD	2	9992150.435	4996075.218	2.1685	0.1181
CD	4	19641460.556	4910365.139	2.1313	0.0799
ACD	4	6568938.535	1642234.634	0.7128	
BCD	4	28270294.955	7067573.739	3.0676	0.0185
ABCD	4	3088695.390	772173.848	0.3351	
Hata	144	331771356.435	2303967.753		
Toplam	179	482274723.221			

Ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğunun rijitliğe etkilerini belirlemek için yapılan çoklu varyans analizinde sadece zıvana uzunluğu ana faktörü ve tutkal çeşidi – zıvana genişliği – zıvana uzunluğu üçlü etkileşimi

istatistiksel anlamda önemli çıkmıştır. Bunun dışındaki tüm ana faktörler ve etkileşimler istatistiksel olarak önemsizdir. Gruplar arasındaki farklılıkları belirlemek için varyans analizinde anlamlı bulunan faktöre ve etkileşime LSD testi uygulanmıştır.

Ağaç malzeme türünün basınç yükü altındaki moment ve rijitlik değerlerine etkilerini incelemek için yapılan LSD kritik değeri 3.696 Nm için yapılan karşılaştırma sonuçları (Çizelge 4.15)'da verilmiştir.

Çizelge 4.15. Ağaç malzeme türünün moment değerlerine etkilerine ilişkin ortalamaların karşılaştırılması

Ağaç malzeme türü	Moment ort. (nm)	Homojenlik grubu
Doğu Kayını	165	A
Sarıçam	142	B

LSD \pm 3.696

Ağaç malzeme türüne göre ortalama momentte en yüksek değer (165 Nm) doğu kayını örneklerinden, en düşük değer (142 Nm) sarıçam örneklerinden elde edilmiştir.

Tutkal çeşidinin moment kapasitesi üzerindeki etkilerini belirlemek için LSD 3.696 kritik değerine göre yapılmış olan karşılaştırma testi sonuçları (Çizelge 4.16)'de verilmiştir.

Çizelge 4.16. Tutkal çeşidinin ortalama moment değerlerine etkilerine ait ortalamaların karşılaştırma sonuçları

Tutkal çeşidi	Moment (nm)	Homojenlik grubu
PÜ	163	A
PVAc	143	B

LSD \pm 3.696

Tutkal türüne göre ortalama momentte en yüksek değer (163 Nm) PÜ tutkalı ile yapıştırılmış örneklerden, en düşük değer (143 Nm) PVAc tutkalı ile yapıştırılmış örneklerden elde edilmiştir.

Zıvana genişliğinin moment kapasitesi üzerindeki etkilerini belirlemek için LSD 4.526 kritik değerine göre yapılmış olan karşılaştırma testi sonuçları (Çizelge 4.17)'de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Zıvana genişliğinin ortalama moment değerleri üzerindeki etkilerine ait ortalamaların karşılaştırma sonuçları

Zıvana genişliği (mm)	Moment (nm)	homojenlik grubu
50	164	A
40	149	B
30	146	B

LSD \pm 4.526

Zıvana genişliğine göre ortalama momentte en yüksek değer (164 Nm), 50 mm genişliğindeki örneklerden, en düşük değer (146 Nm) 30 mm genişliğindeki örneklerden elde edilmiştir. Buna göre zıvana genişliği 30 mm'den 40 mm'ye çıktığında %2' lik bir artış ,40 mm'den 50 mm'ye çıktığında ise % 10'luk bir artış olmuştur.

Zıvana uzunluğunun moment kapasitesine etkilerini belirlemek için LSD 4.526 ve 547.8 kritik değerleri için yapılan karşılaştırma sonuçları (Çizelge 4.18)'da verilmiştir.

Çizelge 4.18. Zıvana uzunluğunun ortalama moment ve rijitlik değerleri üzerindeki etkilerine ait ortalamaların karşılaştırma sonuçları

Zıvana uzunluğu (mm)	Moment (nm)	Homojenlik grubu	Rijitlik (nm/rad)	Homojenlik grubu
50	193	A	1638	A
40	157	B	989	B
30	110	C	988	B

LSD (Moment) \pm 4.526

LSD (Rijitlik) \pm 547.8

Zıvana uzunluğuna göre ortalama momentte en yüksek değer (193 Nm), 50 mm uzunluğundaki örneklerden, en düşük değer (110 Nm) 30 mm uzunluğundaki örneklerden elde edilmiştir. Rijitlikte ise en yüksek değer (1638 Nm/rad) 50 mm uzunluğa ait örneklerden, en düşük değer ise (988 Nm/rad) 30 mm uzunluğa ait örneklerden elde edilmiştir. Buna göre zıvana uzunluğu 30 mm'den 40 mm'ye çıktığında %29,93 lük bir artış ,40 mm'den 50 mm'ye çıktığında ise %18,62'lik bir artış olmuştur. 30 mm'den 40 mm'ye çıktığındaki artış daha fazladır. Rijitlikte ise 30 mm'den 40 mm'ye çıktığında hemen hemen artış olmazken, 40 mm'den 50 mm'ye çıktığında % 65,62 oranında ciddi bir artış görülmüştür.

Ağaç malzeme türü – tutkal çeşidi ikili karşılaştırma sonuçlarının, ortalama moment kapasitesi değerlerine etkisini belirlemek amacıyla LSD kritik değeri 5.227 için yapılan karşılaştırma sonuçları (Çizelge 4.19)'de verilmiştir.

Çizelge 4.19. Ağaç malzeme türü – tutkal çeşidi ikili etkileşiminin moment kapasitesi değerlerine etkilerine ilişkin karşılaştırma sonuçları

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Moment (nm)	Homojenlik grubu
Doğu Kayını	PÜ	167	A
	PVAc	163	AB
Sarıçam	PÜ	160	B
	PVAc	124	C

LSD \pm 5.227

Ağaç türü ve tutkal çeşidine göre ortalama momentte en yüksek değer (1667Nm), PÜ tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örneklerinden, en düşük moment değeri (124 Nm) PVAc tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam örneklerinden elde edilmiştir. Buna göre Doğu kayını ağacından elde edilen örneklerde her iki tukulında birbirine yakın değer verdiği görülmektedir. Sarıçam ağacında ise PU tutkalı ile yapıştırılmış örnekler PVAc tutkalı ile yapıştırılmış örneklerden daha yüksek değer vermiştir.

Zıvana genişliği – uzunluğu ikili karşılaştırma sonuçlarının moment kapasitesine etkilerini belirlemek için LSD 7.840 kritik değeri kullanılarak yapılan karşılaştırma testi sonuçları (Çizelge 4.20)'de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Zıvana genişliği – zıvana uzunluğu ikili etkileşiminin moment kapasitesi değerlerine etkilerine ilişkin karşılaştırma sonuçları

Zıvana genişliği (mm)	Zıvana uzunluğu (mm)	Moment (nm)	Homojenlik grubu
50	50	218	A
40	50	188	B
30	50	174	C
40	40	158	D
30	40	157	D
50	40	156	D
50	30	120	E
30	30	108	F
40	30	102	F

LSD \pm 7.840

Zıvana genişliği ve zıvana uzunluğuna göre ortalama momentte en yüksek değer (218 Nm), 50x50 mm olan örneklerden, en düşük değer (102 Nm) ise 40x30 mm olan örneklerden elde edilmiştir. Buna göre zıvana uzunluğu momente doğrusal bir katkı sağlamaktadır. Zıvana genişliği ise inişli çıkışlı bir seyir göstermektedir.

Tutkal çeşidi – zıvana genişliğinin moment ve rijitlik değerlerine etkilerinin ikili karşılaştırma sonuçlarını belirlemek için LSD 6.401 ve 774.7 kritik değerleri kullanılarak yapılan karşılaştırma testi sonuçları (Çizelge 4.21)'de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Tutkal çeşidi - zıvana genişliğinin ortalama moment ve rijitlik değerleri üzerindeki etkilerine ait ortalamaların karşılaştırma sonuçları

Tutkal çeşidi	Zıvana genişliği (mm)	Moment (Nm)	Homojenlik grubu	Rijitlik (Nm/rad)	Homojenlik grubu
PÜ	50	179	A	1307	AB
PÜ	40	170	B	1784	A
PVAc	30	152	C	1873	A
PVAc	50	150	C	853	B
PÜ	30	140	D	770	B
PVAc	40	129	E	644	B

LSD (Moment) \pm 6.401

LSD (Rijitlik) \pm 774.7

Tutkal türü ve zıvana genişliğine göre ortalama momentte en yüksek değer (179 Nm), PÜ tutkalı ile yapıştırılmış 50 mm genişliğindeki örneklerden, en düşük değer (129 Nm) PVAc tutkalı ile yapıştırılmış 40 mm genişliğindeki örneklerden elde edilmiştir. Rijitlikte ise en yüksek değer (1873 Nm/rad) PVAc tutkalı ile yapıştırılmış 30 mm genişliğe ait örneklerden, en düşük değer ise (644 Nm/rad) PVA tutkalı ile yapıştırılmış 40 mm genişliğe ait örneklerden elde edilmiştir.

Ağaç türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğu dörtlü etkileşiminin moment kapasitesi üzerindeki etkilerine ilişkin ortalamaların LSD kritik değeri 15.68 için yapılan karşılaştırma sonuçları (Çizelge 4.22)'de verilmiştir.

Çizelge 4.22. Ağaç türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğu dörtlü etkileşimine ait karşılaştırma sonuçları

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Zıvana genişliği (mm)	Zıvana uzunluğu (mm)	Moment (Nm)	Homojenlik grubu
D. Kayını	PÜ	40	50	270	A
D. Kayını	PVAc	30	50	246	B

D. Kayını	PÜ	50	50	241	BC
Sarıçam	PÜ	50	50	229	CD
D. Kayını	PÜ	30	50	225	DE
Sarıçam	PÜ	50	50	215	DE
Sarıçam	PÜ	50	40	214	DE
D. Kayını	PVAc	50	50	209	EF
D. Kayını	PÜ	30	40	195	FG
Sarıçam	PVAc	50	50	191	GH
D. Kayını	PVAc	30	40	178	HI
Sarıçam	PÜ	40	50	174	IJ
D. Kayını	PVAc	40	50	172	IJ
D. Kayını	PVAc	40	40	160	JK
D. Kayını	PVAc	50	40	156	KL
Sarıçam	PÜ	50	30	156	KL
D. Kayını	PVAc	30	30	140	LM
Sarıçam	PVAc	30	50	139	MN
Sarıçam	PVAc	40	50	137	MNO
D. Kayını	PÜ	40	40	135	MNOP
Sarıçam	PÜ	30	40	134	MNOP
Sarıçam	PÜ	40	30	132	MNOP
D. Kayını	PÜ	50	40	131	MNOP
Sarıçam	PVAc	50	30	125	MNOPQ
Sarıçam	PVAc	50	40	123	NO PQ
Sarıçam	PVAc	40	40	123	OPQ
Sarıçam	PVAc	30	40	121	PQ
D. Kayını	PVAc	40	30	111	QR
D. Kayını	PÜ	50	30	105	RS
D. Kayını	PÜ	30	30	104	RS
Sarıçam	PÜ	30	30	97	RST
D. Kayını	PÜ	40	30	95	ST
D. Kayını	PVAc	50	30	93	ST
Sarıçam	PVAc	30	30	89	T
Sarıçam	PÜ	30	50	87	T
Sarıçam	PVAc	40	30	70	U

LSD \pm 15.68

Ağaç türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğuna göre ortalama momentte en yüksek değer (270 Nm), 40x50 mm PÜ tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örneklerinden, en düşük değer (70 Nm) , 40x30 mm PVAc tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam örneklerinden elde edilmiştir. 30x50 mm PVAc tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örneklerin ortalaması (246 Nm) ile ikinci en yüksek değere sahiptir.

4.6. L-Tipi Birleştirme Elemanlarının Basınç Yükü Altındaki Gerçek Mekanik Davranış Özelliklerinin Sonlu Elemanlar Analizi İle Karşılaştırılması

Birleştirmelerde basınç ve çekme yüklerinin uygulanması birleştirme yerlerinde rotasyon meydana getirmiştir. Bundan dolayı, birleştirmelerin gerçek deney koşulları

altında gösterdiği mekanik davranışlar incelenmiştir. Başka bir deyişle birleştirme elemanlarının her bir zıvana ölçüsüne göre kuvvet – yer değiştirme ilişkilerine ilişkin diyagramlar çizdirilmiştir. Sonra, ANSYS Workbench programında gerçek deney koşulları birebir yapısal analiz programına aktarılarak, zıvana ölçülerine göre her bir birleştirmenin kuvvet – yer değiştirme davranışını gösteren diyagramlar sanal ortamında da çizdirilmiş ve gerçek sonuçlar ile sonlu elemanlar analizi sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Zıvana ölçülerinin hepsi için, birleştirmelerde gerçek deneylerdeki kuvvet – yer değiştirme ilişkilerinin tanımlanmasında, en küçük kareler yöntemine göre “regresyon analizleri” yapılmıştır. Yapılan regresyon analizlerinde; kuvvet, yer değiştirmelerin fonksiyonu alınmış ve yapılan analizler sonucunda belirlenen ilişkiler matematiksel formüller haline dönüştürülmüştür. Birleştirmelerde, kuvvet–yer değiştirme ilişkilerinin tanımlanmasında;

$$y = ax + b \quad (4.1.)$$

eşitliği elde edilmiştir. Burada; y : kuvvet (N), x : yer değiştirme miktarı (mm), a : regresyon katsayısı (doğrunun eğimi), b : sabit sayı (doğrunun ordinat eksenini kestiği nokta)’dır.

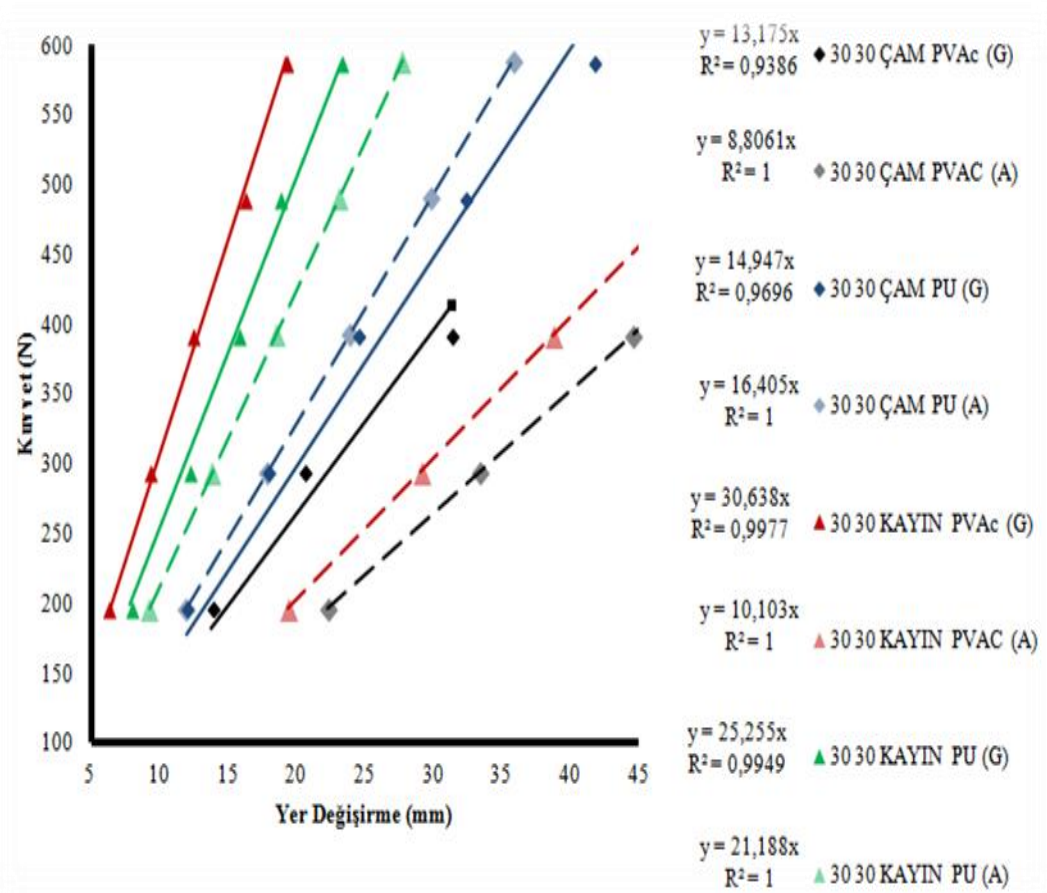
Buna göre, iki değişken arasındaki ilişki tüm gruplar için doğrusaldır. X değişkeninin eşit artışlarına paralel, Y değişkeni de eşit artışlar göstermiştir. Deneylerde kuvvet – yer değiştirme ilişkilerini belirleyen doğruların ordinat (y) eksenini kestiği noktalar (b) orijin noktasıdır [b (0, 0)]. Yani kuvvet sıfır (0) iken yer değiştirme de sıfır (0)’dır. Bundan dolayı; elde edilen doğruların denklemi “ $y = ax$ ” şeklinde ifade edilebilir. Birleştirmelerin rijitlik katsayılarının elde edilmesi için, genel bir ifade olan;

$$k_s = \frac{F}{d} \quad (N/mm) \quad (4.2.)$$

eşitliğinden faydalanılmıştır. 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 gstermektedir. Bundan dolayı, denklemdeki regresyon katsayısı (a) aynı zamanda rijitlik katsayısıdır. Yani, $k_s = a^2$ dir.

30 x 30 mm ölçülerindeki zıvanalar ile birleştirilmiş birleştirmelerin deney yükleri altında gstermiş oldukları kuvvet–yer değiştirme davranışları, yapısal analiz sonuçlarından elde edilen kuvvet–yer değiştirme davranışlarıyla karşılaştırmalı olarak (şekil 4.7)’de verilmiştir.

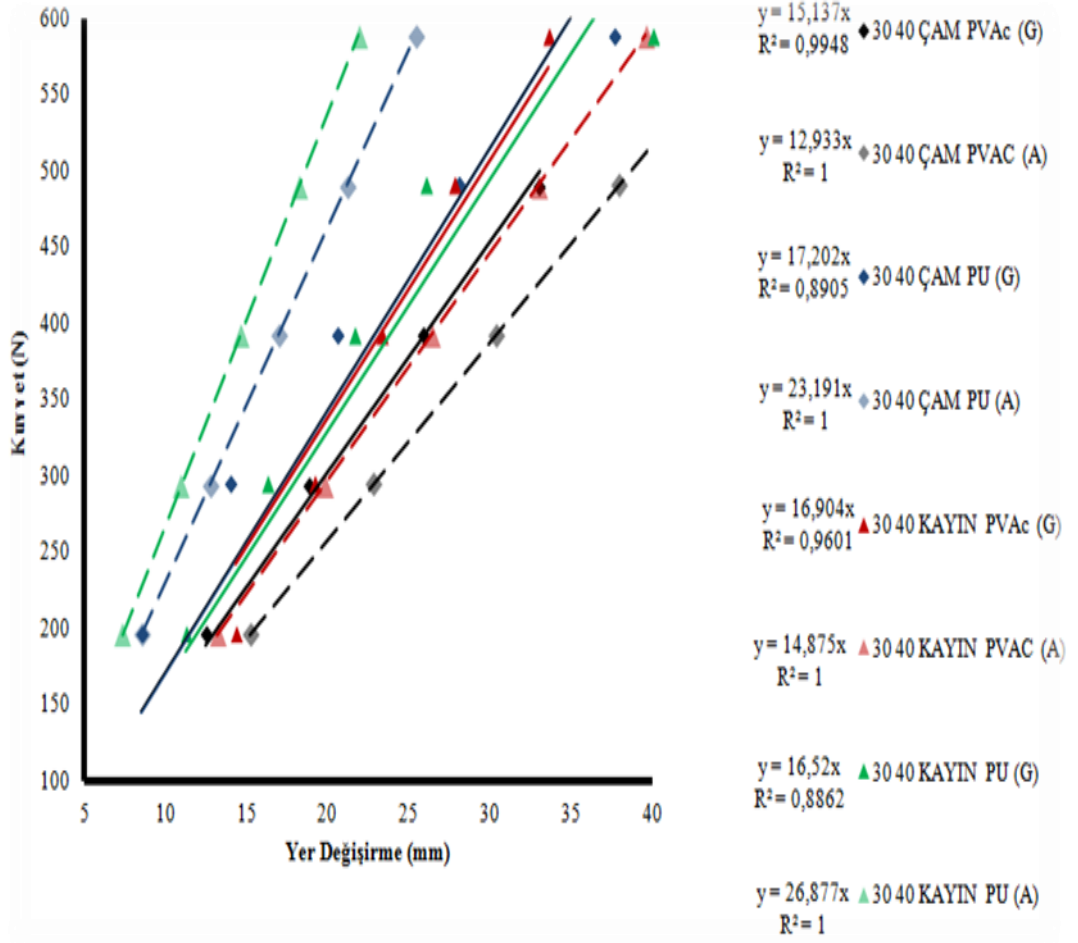


şekil 4.7. 30x30 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçeğ deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması

Buna göre sarıçam, hem gerçeğ deneylerde hem de ANSYS programında yapılan deneylerde PÜ tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit davranış sergilemiştir. Doğu kayını ise gerçeğ deneylerde PVAc tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit bir davranış sergilerken ANSYS programında yapılan deneylerde PÜ tutkalı ile yapıştırılmış örnekler daha rijit bir davranış sergilemiştir. Her iki ağaç türünde de en rijit davranışı gerçeğ deneylerde, PVAc tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örnekleri

sergilemiş olup, ANSYS programında yapılmış deneylerde, PÜ tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örnekleri sergilemiştir.

30 x 40 mm ölçülerindeki zıvanalar ile birleştirilmiş birleştirmelerin deney yükleri altında göstermiş oldukları kuvvet–yer değiştirme davranışları, yapısal analiz sonuçlarından elde edilen kuvvet–yer değiştirme davranışlarıyla karşılaştırmalı olarak (Şekil 4.8)'de verilmiştir.

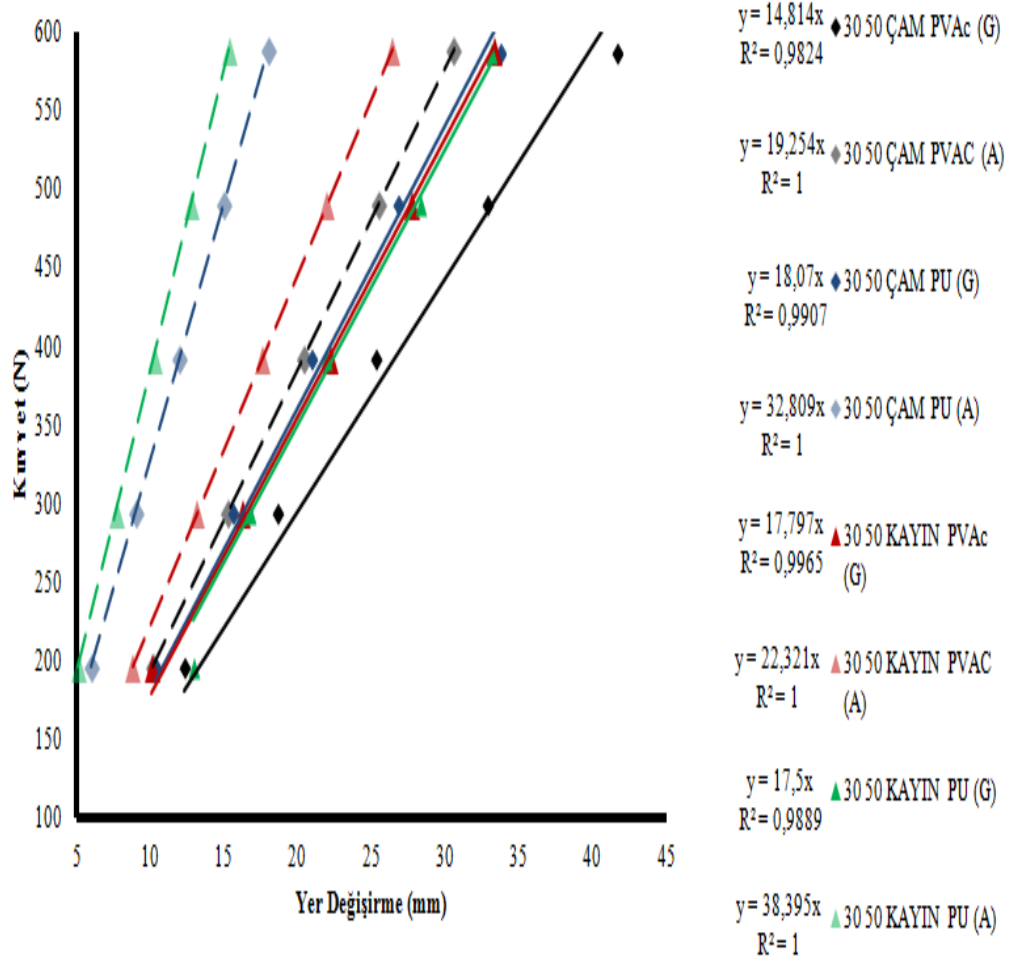


Şekil 4.8. 30x40 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması

Buna göre sarıçam, hem gerçek deneylerde hem de ANSYS programında yapılan deneylerde PÜ tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit davranış sergilemiştir. Doğru kayını ise, gerçek deneylerde Pvac tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit bir davranış sergilerken ANSYS programında yapılan deneylerde PÜ tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit bir davranış sergilemiştir. Her iki ağaç türünde de en rijit davranışı gerçek deneylerde, PÜ tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam örnekleri

sergilemiş olup, ANSYS programında yapılmış deneylerde, PÜ tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örnekleri sergilemiştir.

30 x 50 mm ölçülerindeki zıvanalar ile birleştirilmiş birleştirmelerin deney yükleri altında göstermiş oldukları kuvvet–yer değiştirme davranışları, yapısal analiz sonuçlarından elde edilen kuvvet–yer değiştirme davranışlarıyla karşılaştırmalı olarak (Şekil 4.9)'de verilmiştir.

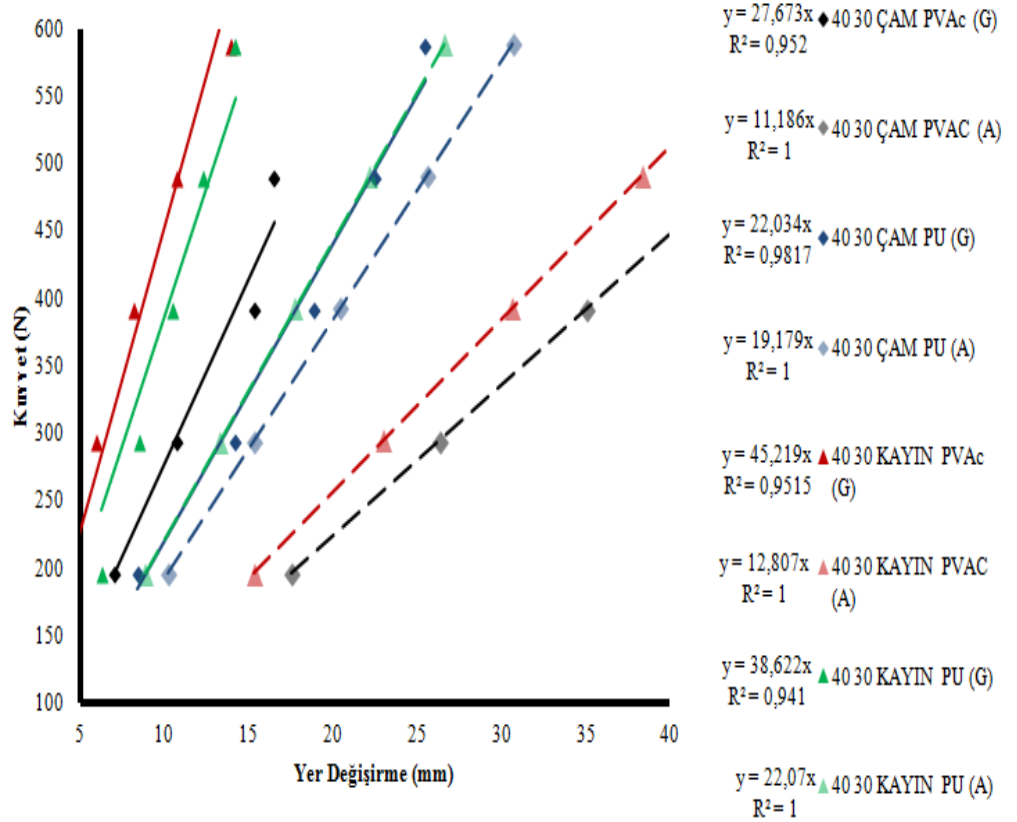


Şekil 4.9. 30x50 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması

Buna göre sarıçam, hem gerçek deneylerde hem de ANSYS programında yapılan deneylerde PÜ tutkalı ile yapıştırılmış örnekler daha rijit davranış sergilemiştir. Doğru kayını ise, gerçek deneylerde PVAc tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit bir

davranış sergilerken, ANSYS programında yapılan deneylerde PÜ tutkalı ile yapıştırılmış örnekler daha rijit bir davranış sergilemiştir. Her iki ağaç türünde de en rijit davranışı gerçek deneylerde, PÜ tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam örnekleri sergilemiş olup, ANSYS programında yapılmış deneylerde, PÜ tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örnekleri sergilemiştir.

40 x 30 mm ölçülerindeki zıvanalar ile birleştirilmiş birleştirmelerin deney yükleri altında göstermiş oldukları kuvvet–yer değiştirme davranışları, yapısal analiz sonuçlarından elde edilen kuvvet-yer değiştirme davranışlarıyla karşılaştırmalı olarak (Şekil 4.10)'da verilmiştir.

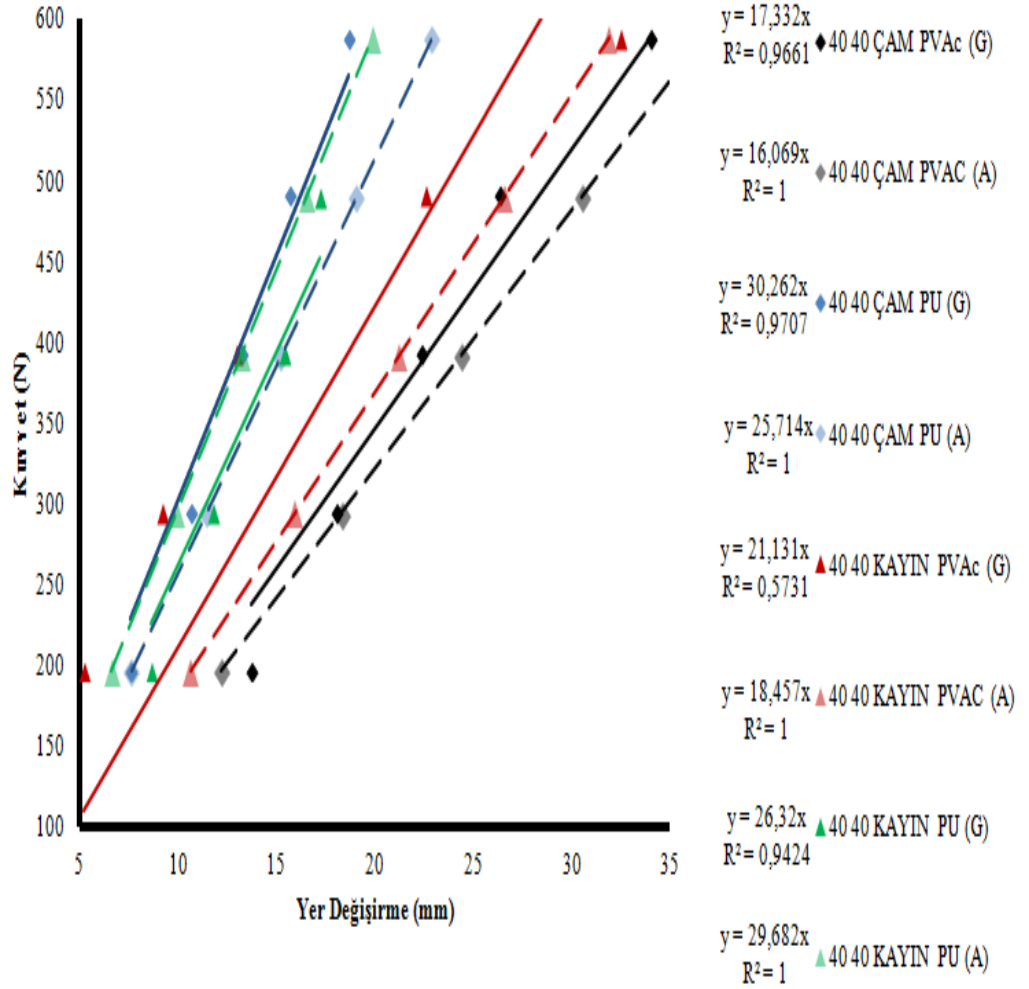


Şekil 4.10. 40x30 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması

Buna göre hem sarıçam hem de doğu kayını, gerçek deneylerde PVAc tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit davranış sergilemiştir. ANSYS programında yapılan deneylerde ise hem sarıçamda hem de doğu kayınında PÜ tutkalı ile yapıştırılmış örnekler daha rijit davranış sergilemiştir. Her iki ağaç türünde de en rijit davranışı gerçek deneylerde, PVAc tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örnekleri

sergilemiş olup, ANSYS programında yapılmış deneylerde, PÜ tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örnekleri sergilemiştir.

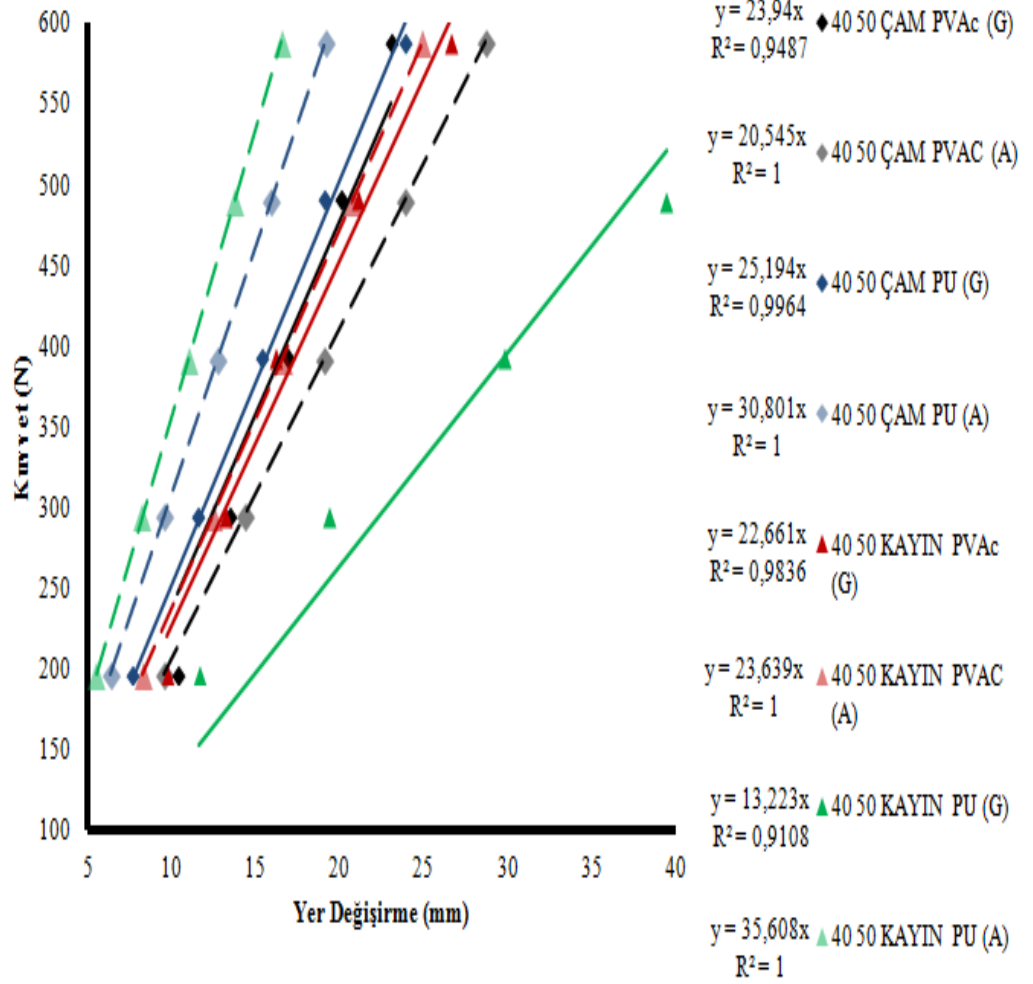
40 x 40 mm ölçülerindeki zıvanalar ile birleştirilmiş birleştirmelerin deney yükleri altında göstermiş oldukları kuvvet–yer değiştirme davranışları, yapısal analiz sonuçlarından elde edilen kuvvet–yer değiştirme davranışlarıyla karşılaştırmalı olarak (Şekil 4.11)'de verilmiştir.



Şekil 4.11. 40x40 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması

Buna göre hem sarıçam hem de doğu kayını, hem gerçek deneylerde hem de ANSYS programında yapılan deneylerde PÜ tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit davranış sergilemiştir. Her iki ağaç türünde de en rijit davranışı gerçek deneylerde, PÜ tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam örnekleri sergilemiş olup, ANSYS programında yapılmış deneylerde, PÜ tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örnekleri sergilemiştir.

40 x 50 mm ölçülerindeki zıvanalar ile birleştirilmiş birleştirmelerin deney yükleri altında göstermiş oldukları kuvvet–yer değiştirme davranışları, yapısal analiz sonuçlarından elde edilen kuvvet-yer değiştirme davranışlarıyla karşılaştırmalı olarak (Şekil 4.12)'de verilmiştir.

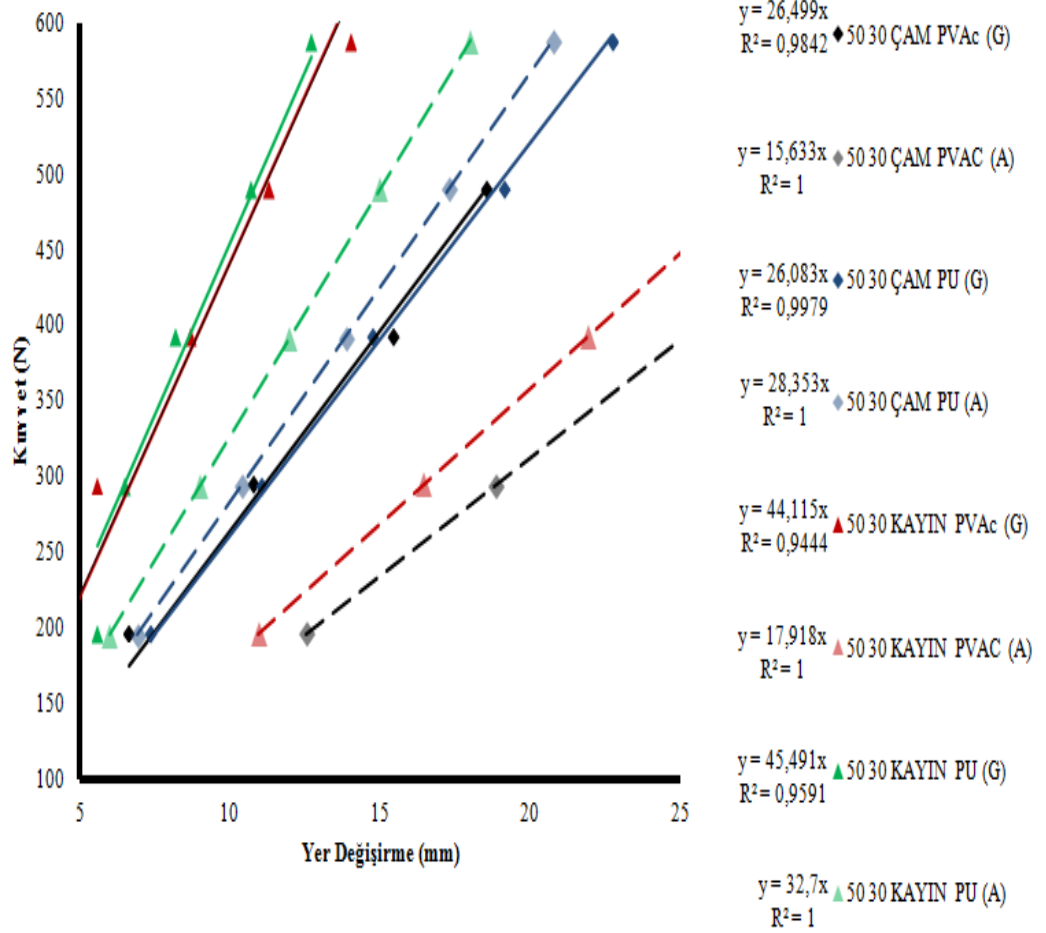


Şekil 4.12. 40x50 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması

Buna göre sarıçam, hem gerçek deneylerde hem de ANSYS programında yapılan deneylerde PÜ tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit davranış sergilemiştir. Doğu kayını ise, gerçek deneylerde PVAc tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit bir davranış sergilerken, ANSYS programında yapılan deneylerde PÜ tutkalı ile yapıştırılmış örnekler daha rijit bir davranış sergilemiştir. Her iki ağaç türünde de en rijit davranışı gerçek deneylerde, PÜ tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam örnekleri

sergilemiş olup, ANSYS programında yapılmış deneylerde, PÜ tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örnekleri sergilemiştir.

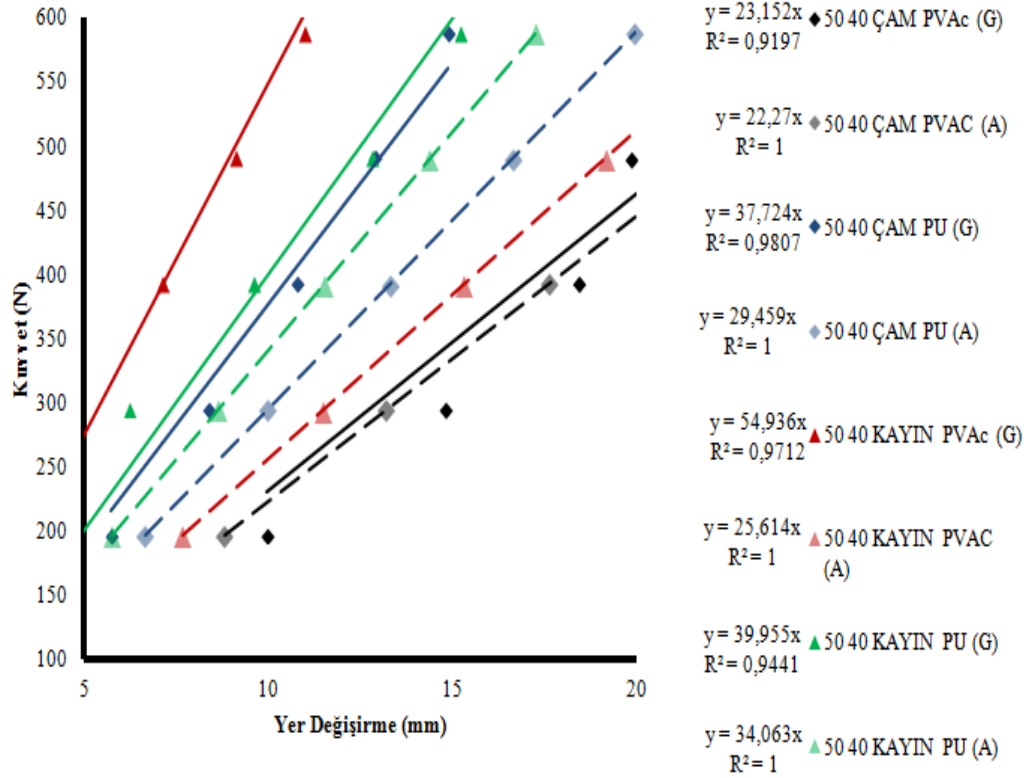
50 x 30 mm ölçülerindeki zıvanalar ile birleştirilmiş birleştirmelerin deney yükleri altında göstermiş oldukları kuvvet–yer değiştirme davranışları, yapısal analiz sonuçlarından elde edilen kuvvet–yer değiştirme davranışlarıyla karşılaştırmalı olarak (Şekil 4.13)'da verilmiştir.



Şekil 4.13. 50x30 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması

Buna göre sarıçam, gerçek deneylerde PVAc tutkalı ile yapıştırılmış örnekler daha rijit bir davranış sergilerken, ANSYS programında yapılan deneylerde PÜ tutkalı ile yapıştırılmış örnekler daha rijit bir davranış sergilemiştir. Doğru kayını ise, hem gerçek deneylerde hem de ANSYS programında yapılan deneylerde PÜ tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit bir davranış sergilemiştir. Her iki ağaç türünde de en rijit davranışı hem gerçek deneylerde hem de ANSYS programında PÜ tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örnekleri sergilemiştir.

50 x 40 mm ölçülerindeki zıvanalar ile birleştirilmiş birleştirmelerin deney yükleri altında göstermiş oldukları kuvvet–yer değiştirme davranışları, yapısal analiz sonuçlarından elde edilen kuvvet-yer değiştirme davranışlarıyla karşılaştırmalı olarak (Şekil 4.14)'da verilmiştir.

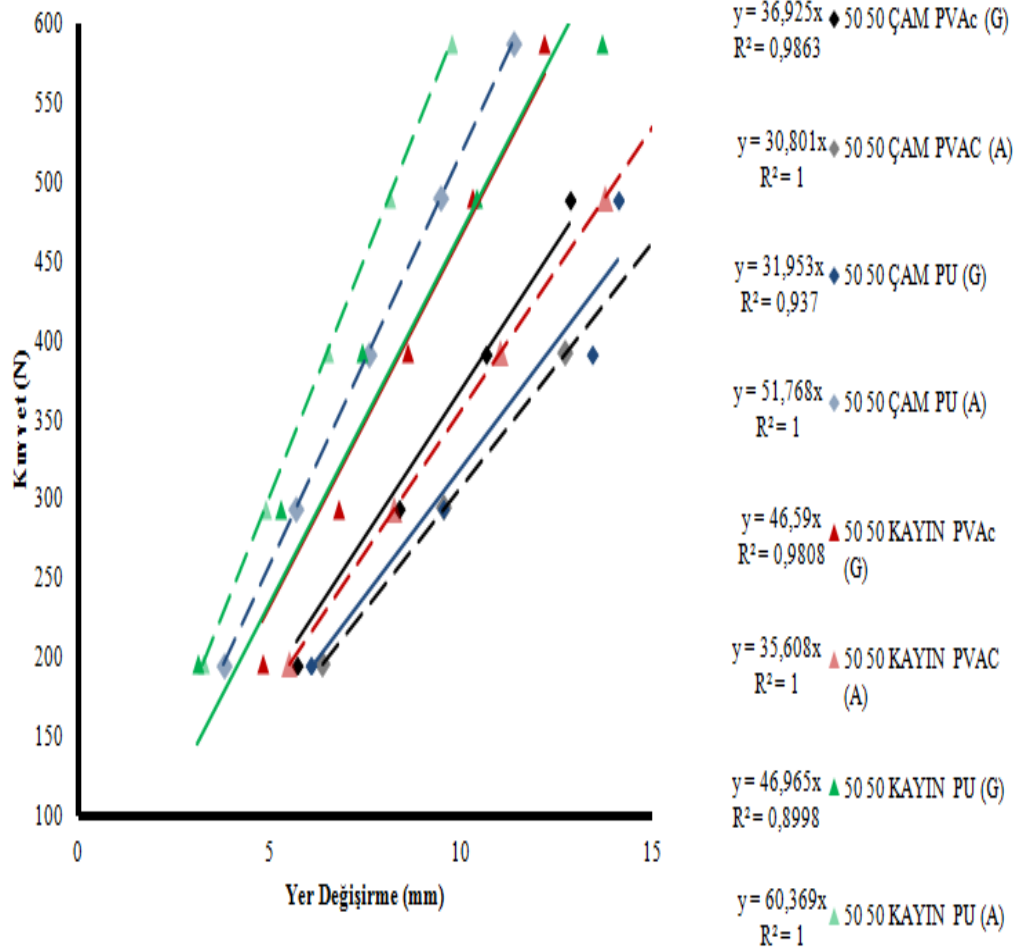


Şekil 4.14. 50x40 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması

Buna göre sarıçam, hem gerçek deneylerde hem de ANSYS programında yapılan deneylerde PÜ tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit davranış sergilemiştir. Doğu kayını ise, gerçek deneylerde PVAc tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit bir davranış sergilerken, ANSYS programında yapılan deneylerde PÜ tutkalı ile yapıştırılmış örnekler daha rijit bir davranış sergilemiştir. Her iki ağaç türünde de en rijit davranışı gerçek deneylerde, PVAc tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örnekleri sergilemiş olup, ANSYS programında yapılmış deneylerde, PÜ tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örnekleri sergilemiştir.

50 x 50 mm ölçülerindeki zıvanalar ile birleştirilmiş birleştirmelerin deney yükleri altında göstermiş oldukları kuvvet–yer değiştirme davranışları, yapısal analiz

sonuçlarından elde edilen kuvvet-yer değiştirme davranışlarıyla karşılaştirmalı olarak (şekil 4. 15)'de verilmiştir.

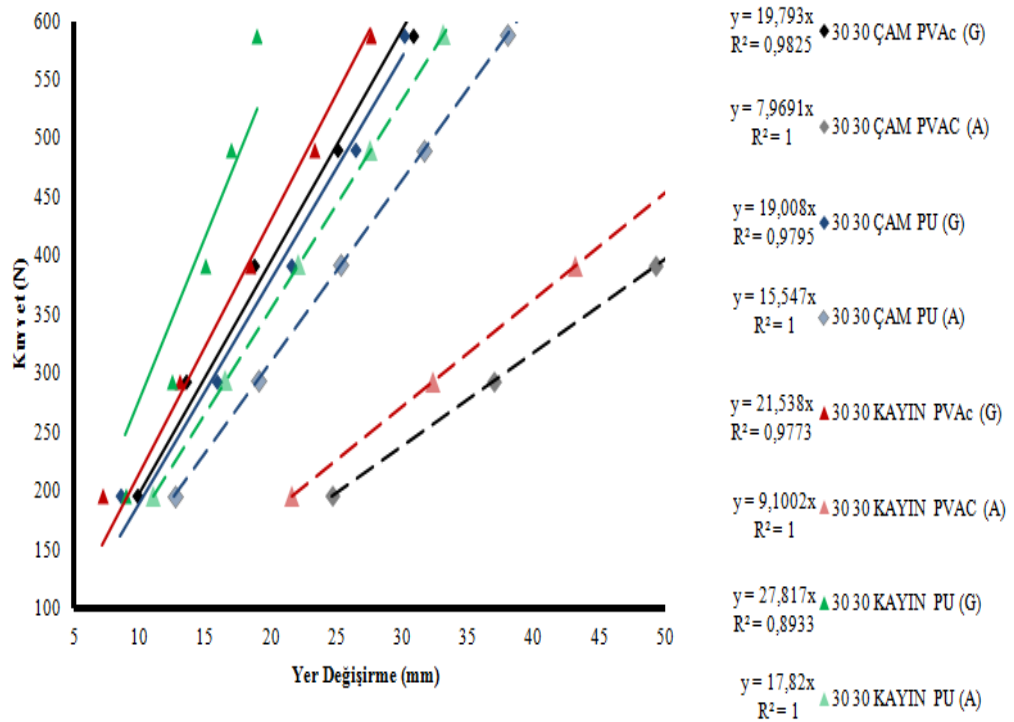


şekil 4.1547. 50x50 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçeğ deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması

Buna göre sarıçam, gerçeğ deneylerde PVAc tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit bir davranış sergilerken, ANSYS programında yapılan deneylerde P tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit davranış sergilemiştir. Doğu kayını ise, hem gerçeğ deneylerde hem de ANSYS programında yapılan deneylerde P tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit bir davranış sergilemiştir. Her iki aęaē türünde de en rijit davranışı hem gerçeğ deneylerde, hem de ANSYS programında yapılmış deneylerde P tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örnekleri sergilemiştir.

4.7. L-Tipi Birleştirme Elemanlarının Çekme Yükü Altındaki Gerçek Mekanik Davranış Özelliklerinin Sonlu Elemanlar Analizi İle Karşılaştırılması

30 x 30 mm ölçülerindeki zıvanalar ile birleştirilmiş birleştirmelerin deney yükleri altında göstermiş oldukları kuvvet–yer değiştirme davranışları, yapısal analiz sonuçlarından elde edilen kuvvet–yer değiştirme davranışlarıyla karşılaştırmalı olarak (Şekil 4.16)'de verilmiştir.

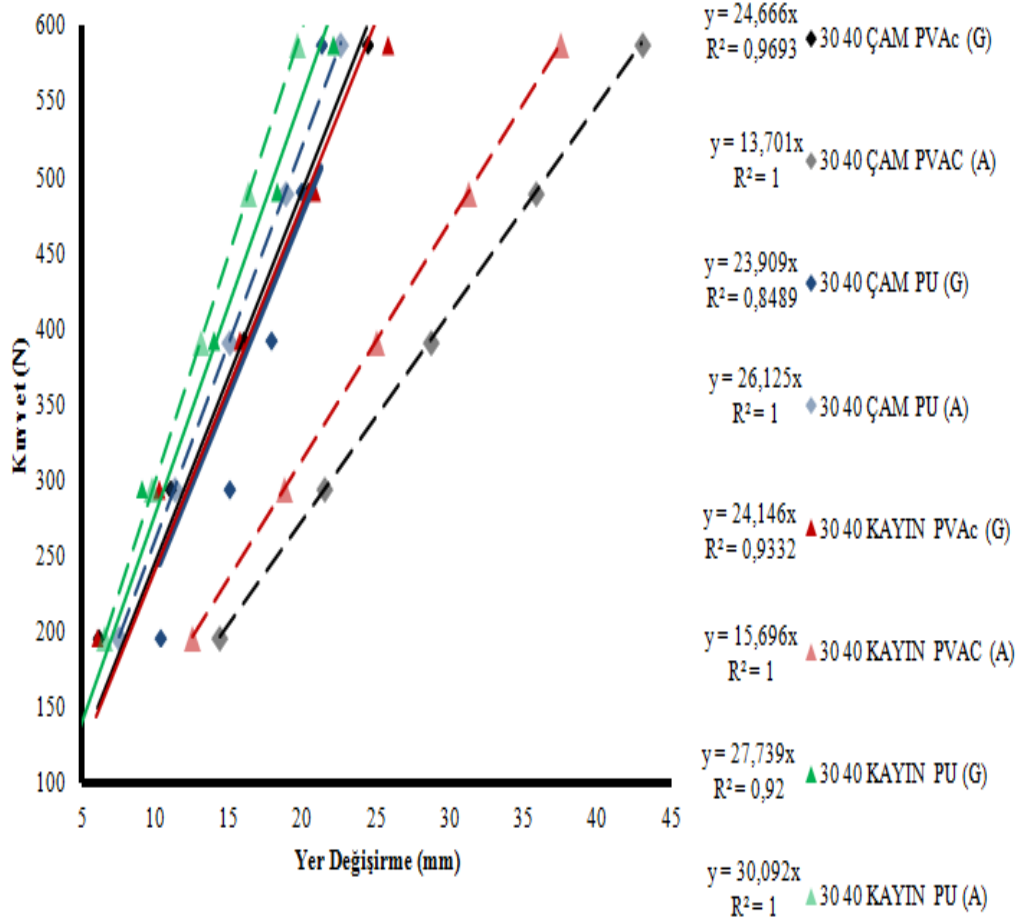


Şekil 4.16. 30x30 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması

Buna göre sarıçam, gerçek deneylerde PVAc tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit bir davranış sergilerken, ANSYS programında yapılan deneylerde PÜ tutkalı ile yapıştırılmış örnekler daha rijit bir davranış sergilemiştir. Doğu kayını, hem gerçek deneylerde hem de ANSYS programında yapılan deneylerde PÜ tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit bir davranış sergilemiştir. Her iki ağaç türünde de en rijit davranışı hem gerçek deneylerde hem de ANSYS programında yapılmış deneylerde, PÜ tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örnekleri sergilemiştir.

30 x 40 mm ölçülerindeki zıvanalar ile birleştirilmiş birleştirmelerin deney yükleri altında göstermiş oldukları kuvvet–yer değiştirme davranışları, yapısal analiz

sonuçlarından elde edilen kuvvet-yer değiştirme davranışlarıyla karşılaştirmalı olarak (şekil 4.17)'de verilmiştir.

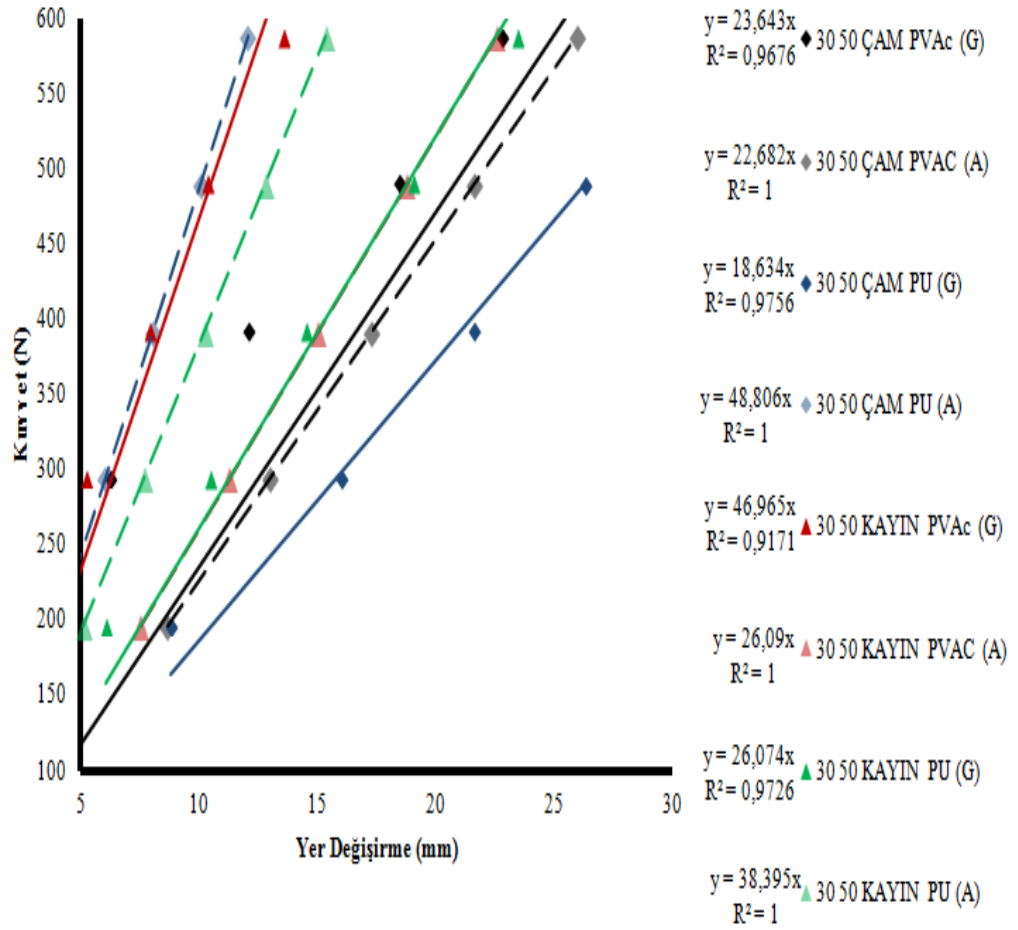


şekil 4. 17. 30x40 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması

Buna göre sarıçam, gerçek deneylerde PVAc tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit bir davranış sergilerken, ANSYS programında yapılan deneylerde P tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit davranış sergilemiştir. Doğu kayını ise, hem gerçek deneylerde hem de ANSYS programında yapılan deneylerde P tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit bir davranış sergilemiştir. Her iki ağaç türünde de en rijit davranışı hem gerçek deneylerde hem de ANSYS programında yapılmış deneylerde, P tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örnekleri sergilemiştir.

30 x 50 mm lerindeki zıvanalar ile birleştirilmif birleştirmelerin deney yükleri altında göstermiş oldukları kuvvet–yer değiştirme davranışları, yapısal analiz

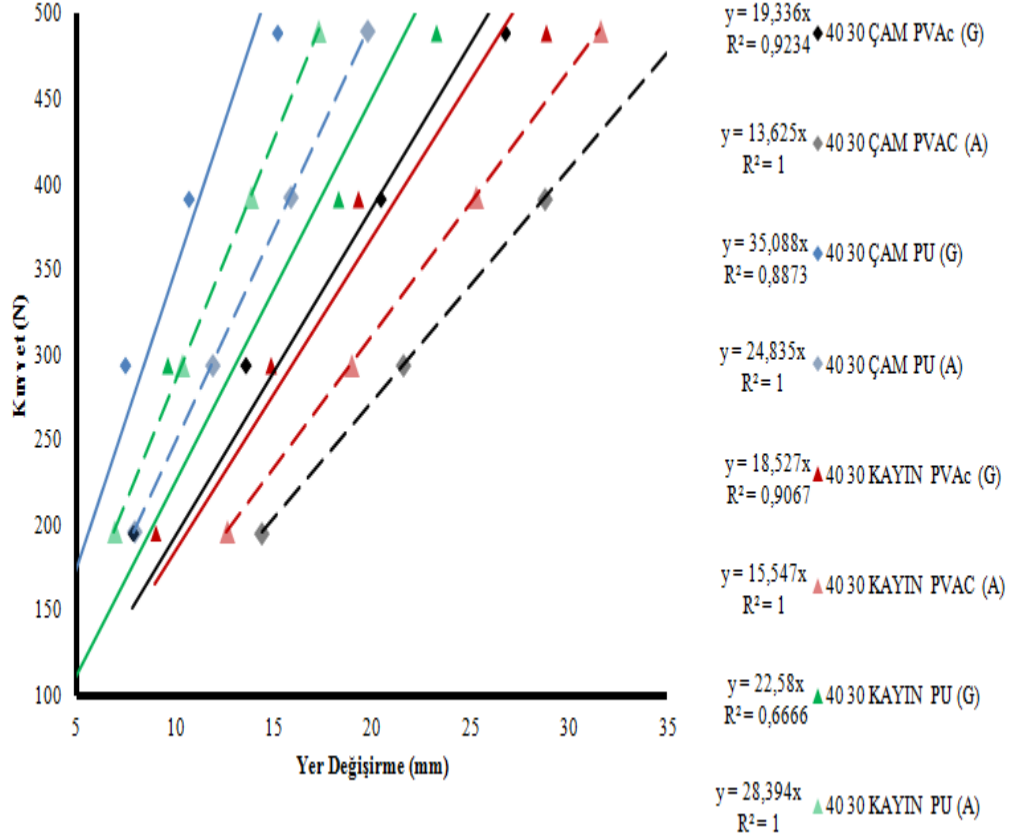
sonuçlarından elde edilen kuvvet-yer değişirme davranışlarıyla karşılaştırmalı olarak (şekil 4.18)'de verilmiştir.



şekil 4.18. 30x50 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması

Buna gore sarıçam, gerçek deneylerde PVAc tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit bir davranış sergilerken, ANSYS programında yapılan deneylerde P tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit davranış sergilemiştir. Doğu kayını ise, gerçek deneylerde PVAc tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit bir davranış sergilerken, ANSYS programında yapılan deneylerde P tutkalı ile daha rijit bir davranış sergilemiştir. Her iki ağaç türünde de en rijit davranışı gerçek deneylerde, PVAc tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örnekleri sergilemiş olup, ANSYS programında yapılmış deneylerde, P tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam örnekleri sergilemiştir.

40 x 30 mm ölçülerindeki zıvanalar ile birleştirilmiş birleştirmelerin deney yükleri altında göstermiş oldukları kuvvet–yer değiştirme davranışları, yapısal analiz sonuçlarından elde edilen kuvvet-yer değiştirme davranışlarıyla karşılaştırmalı olarak (Şekil 4.19)'de verilmiştir.

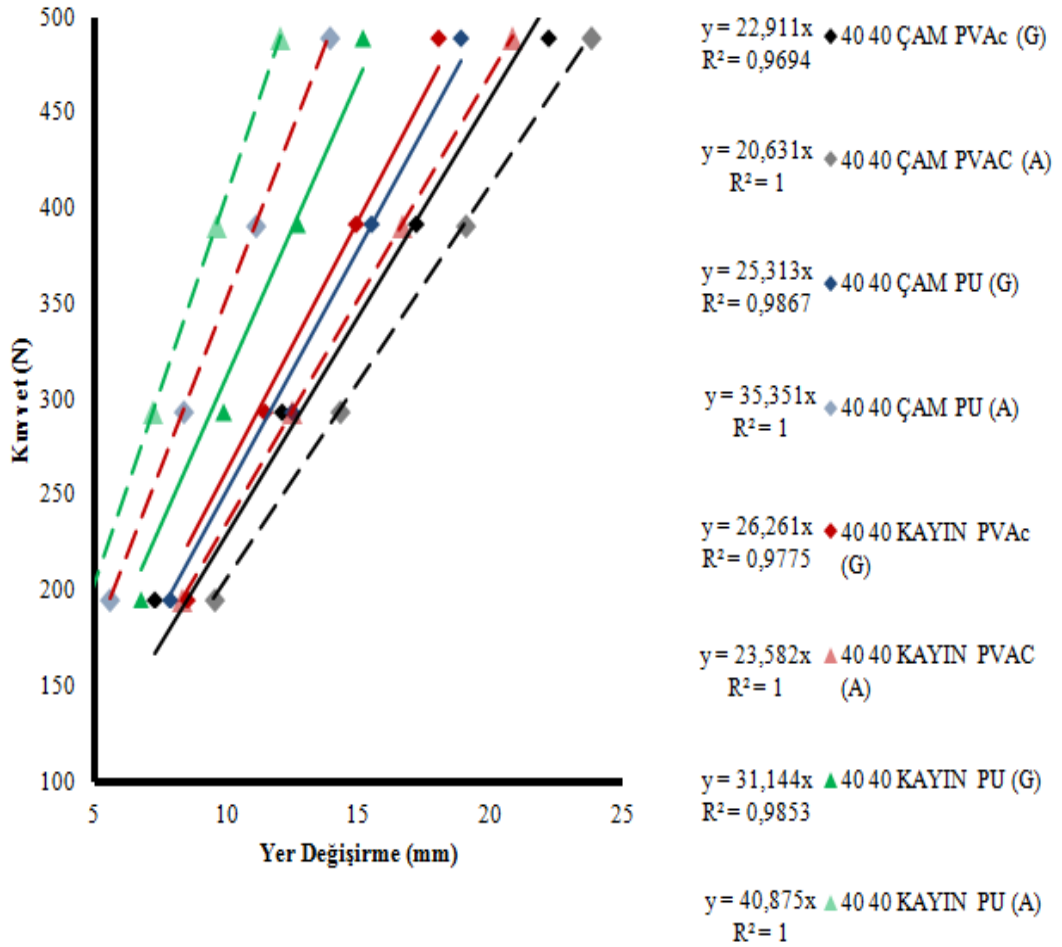


Şekil 4. 19. 40x30 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması

Buna göre sarıçam, hem gerçek deneylerde hem de ANSYS programında yapılan deneylerde PÜ tutkalı ile daha rijit davranış sergilemiştir. Doğu kayını ise, hem gerçek deneylerde hem de ANSYS programında yapılan deneylerde PÜ tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit bir davranış sergilemiştir. Her iki ağaç türünde de en rijit davranışı gerçek deneylerde, PÜ tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam örnekleri sergilemiş olup, ANSYS programında yapılmış deneylerde, PÜ tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örnekleri sergilemiştir.

40 x 40 mm ölçülerindeki zıvanalar ile birleştirilmiş birleştirmelerin deney yükleri altında göstermiş oldukları kuvvet–yer değiştirme davranışları, yapısal analiz

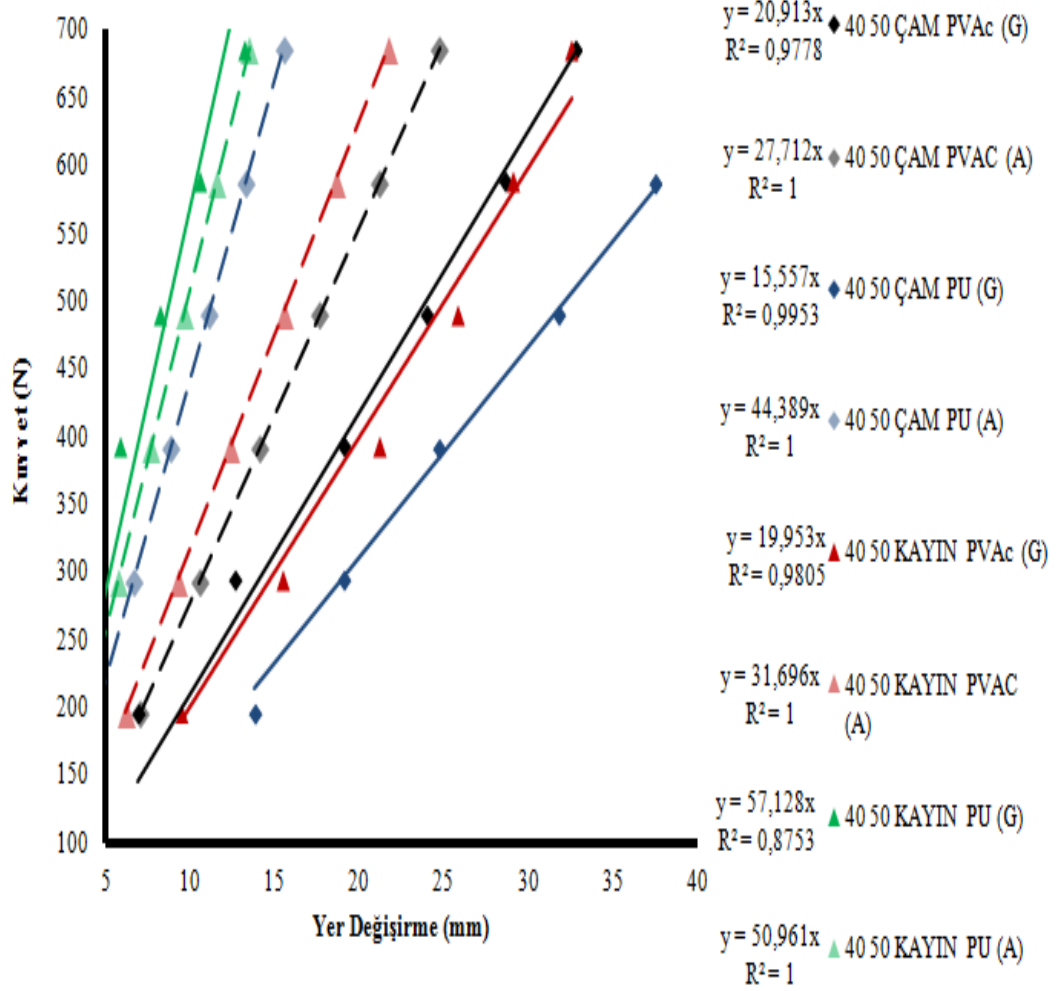
sonuçlarından elde edilen kuvvet-yer değiştirme davranışlarıyla karşılaştırmalı olarak (Şekil 4.20)'da verilmiştir.



Şekil 4.2048. 40x40 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması

Buna göre hem sarıçam hem de doğu kayını, hem gerçek deneylerde hem de ANSYS programında yapılan deneylerde PÜ tutkalı ile daha rijit davranış sergilemiştir. Her iki ağaç türünde de en rijit davranışı hem gerçek deneylerde hem de ANSYS programında yapılmış deneylerde , PÜ tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örnekleri sergilemiştir.

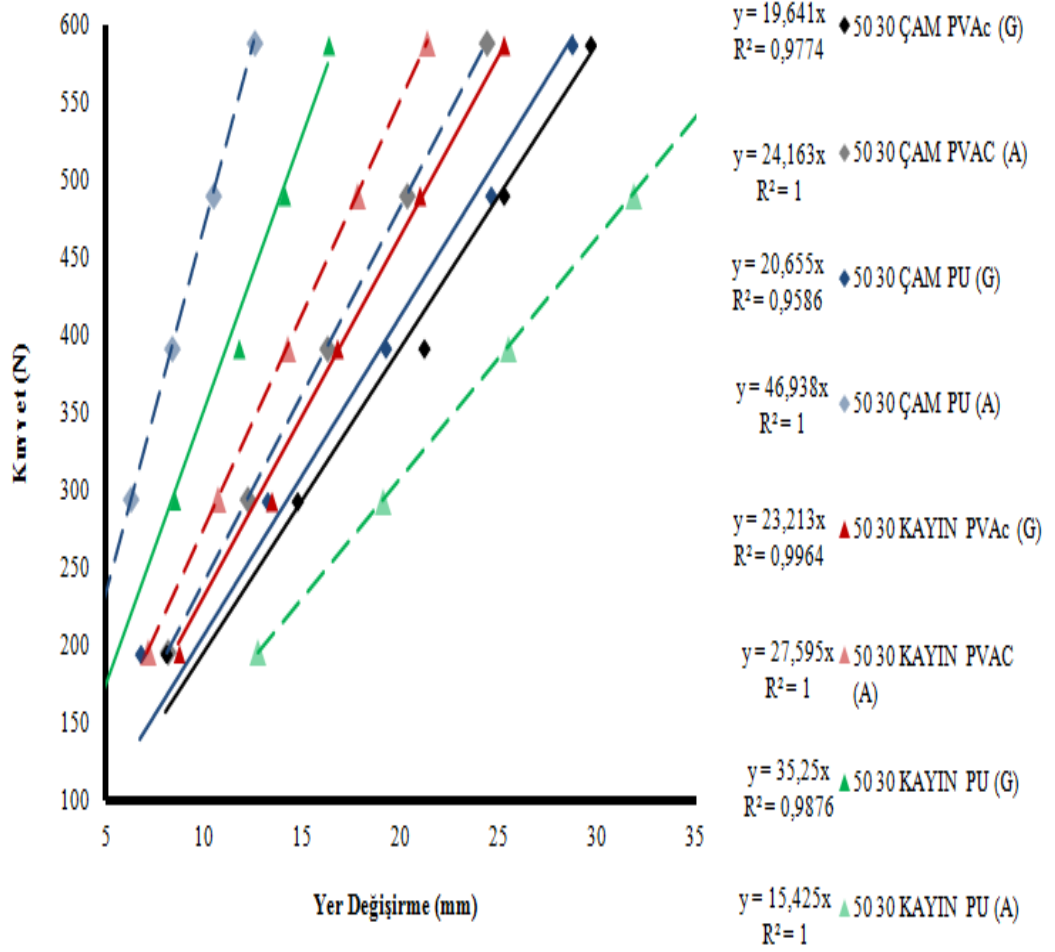
40 x 50 mm ölçülerindeki zıvanalar ile birleştirilmiş birleştirmelerin deney yükleri altında göstermiş oldukları kuvvet-yer değiştirme davranışları, yapısal analiz sonuçlarından elde edilen kuvvet-yer değiştirme davranışlarıyla karşılaştırmalı olarak (Şekil 4.21)'de verilmiştir.



Şekil 4.21. 40x50 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması

Buna göre sarıçam, gerçek deneylerde PVAc tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit bir davranış sergilerken, ANSYS programında yapılan deneylerde PÜ tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit davranış sergilemiştir. Doğu kayını ise, hem gerçek deneylerde hem de ANSYS programında yapılan deneylerde PÜ tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit bir davranış sergilemiştir. Her iki ağaç türünde de en rijit davranışı hem gerçek deneylerde hem de ANSYS programında yapılmış deneylerde, PÜ tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örnekleri sergilemiştir.

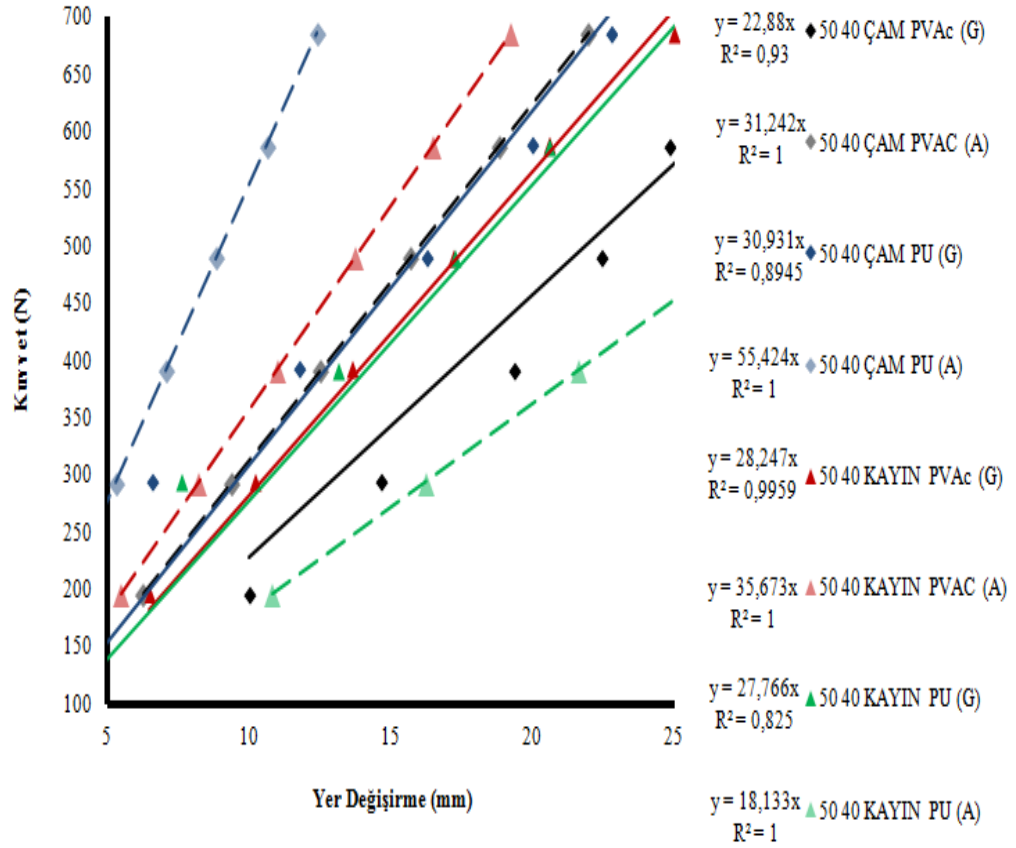
50 x 30 mm ölçülerindeki zıvanalar ile birleştirilmiş birleştirmelerin deney yükleri altında göstermiş oldukları kuvvet–yer değiştirme davranışları, yapısal analiz sonuçlarından elde edilen kuvvet–yer değiştirme davranışlarıyla karşılaştırmalı olarak (Şekil 4.22)’de verilmiştir.



Şekil 4.22. 50x30 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması

Buna göre sarıçam, hem gerçek deneylerde hem de ANSYS programında yapılan deneylerde PÜ tutkalı ile daha rijit davranış sergilemiştir. Doğu kayını ise, gerçek deneylerde PÜ tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit bir davranış sergilerken, ANSYS programında yapılan deneylerde PVAc tutkalı ile daha rijit bir davranış sergilemiştir. Her iki ağaç türünde de en rijit davranışı gerçek deneylerde, PÜ tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örnekleri sergilemiş olup, ANSYS programında yapılmış deneylerde, PÜ tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam örnekleri sergilemiştir.

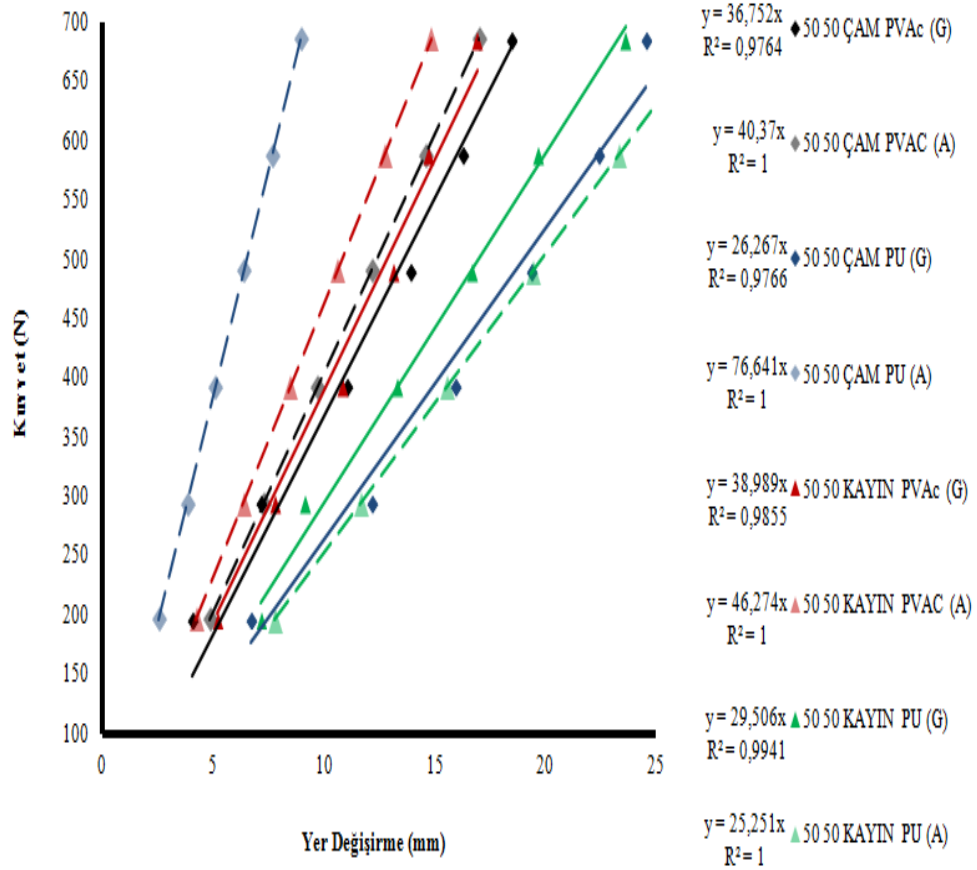
50 x40 mm ölçülerindeki zıvanalar ile birleştirilmiş birleştirmelerin deney yükleri altında göstermiş oldukları kuvvet–yer değiştirme davranışları, yapısal analiz sonuçlarından elde edilen kuvvet–yer değiştirme davranışlarıyla karşılaştırmalı olarak (Şekil 4.23)'da verilmiştir.



Şekil 4.23. 50x40 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması

Buna göre sarıçam, hem gerçek deneylerde hem de ANSYS programında yapılan deneylerde PÜ tutkalı ile daha rijit davranış sergilemiştir. Doğu kayını ise, hem gerçek deneylerde hem de ANSYS programında yapılan deneylerde PVAc tutkalı ile daha rijit bir davranış sergilemiştir. Her iki ağaç türünde de en rijit davranışı hem gerçek deneylerde hem de ANSYS programında yapılmış deneylerde, PÜ tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam örnekleri sergilemiş olup, PÜ tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam örnekleri sergilemiştir.

50 x50 mm ölçülerindeki zıvanalar ile birleştirilmiş birleştirmelerin deney yükleri altında göstermiş oldukları kuvvet–yer değiştirme davranışları, yapısal analiz sonuçlarından elde edilen kuvvet–yer değiştirme davranışlarıyla karşılaştırmalı olarak (Şekil 4.24.)’de verilmiştir.



Şekil 4.24. 50x50 mm zıvanalarla oluşturulmuş L-tipi birleştirmelerin gerçek deney ve yapısal analizlerdeki davranışlarının karşılaştırılması

Buna göre sarıçam, gerçek deneylerde PVAc tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit bir davranış sergilerken, ANSYS programında yapılan deneylerde PÜ tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit davranış sergilemiştir. Doğu kayını ise, hem gerçek deneylerde hem de ANSYS programında yapılan deneylerde PVAc tutkalı ile yapıştırılmış örneklerde daha rijit bir davranış sergilemiştir. Her iki ağaç türünde de en rijit davranışı gerçek deneylerde, PVAc tutkalı ile yapıştırılmış doğu kayını örnekleri sergilemiş olup, ANSYS programında yapılmış deneylerde, PÜ tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam örnekleri sergilemiştir.

L-tipi birleştirme elemanlarının eğilme deneylerinde göstermiş oldukları mekanik davranışların, yapısal analizlerden elde edilen kuvvet – yer değiştirme ilişkileri ile karşılaştırılmasından ayrı olarak; eğilme yükünün uygulanma noktasında ulaşılan düşey yöndeki maksimum uzama değerleri de yapısal analiz sonuçlarından elde

edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Tüm zıvana kombinasyonu ölçüleri için, gerçek deneylerden ve yapısal analizlerden elde edilen kuvvet – yer değiştirme ilişkileri ve basınç deneylerinde düşey yöndeki maksimum uzama miktarı sonuçları yüzde farklarıyla birlikte (Çizelge 4.23)’ de toplu olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.23. Rijitlik katsayıları ve maksimum uzamalara ait karşılaştırma sonuçları

PVAc Çam	Zıvana Ölçüleri (mm)	k_s (Gerçek) (N/mm)	k_s (ANSYS) (N/mm)	Fark (%)	Y_d (Gerçek) (mm)	Y_d (ANSYS) (mm)	Fark (%)	
Çekme	30x30	19,79	7,96	-148,62	30,83	73,86	58,26	
	30x40	24,66	13,70	-80	24,30	42,96	43,44	
	30x50	23,64	22,68	-4,23	22,80	25,95	12,14	
	40X30	19,42	13,63	-42,48	26,74	36	25,72	
	40X40	23,00	20,63	-11,49	22,18	23,78	6,73	
	40X50	20,91	27,71	24,54	32,78	24,78	32,28	
	50x30	19,64	24,16	18,71	29,58	24,36	-21,43	
	50x40	22,88	31,24	26,76	26,82	21,98	-22,02	
Basınç	50x50	36,75	40,37	8,97	18,46	17,01	-8,52	
	30x30	13,17	8,80	-49,66	31,40	44,56	29,53	
	30x40	15,13	12,93	-17,01	33,03	37,93	12,92	
	30x50	14,81	19,25	23,06	41,60	30,57	-36,08	
	40X30	27,67	11,18	-147,50	16,50	43,85	62,37	
	40X40	17,33	16,06	-7,91	34,06	36,63	7,02	
	40X50	23,94	20,54	-16,55	23,00	28,65	19,72	
	50x30	26,49	15,63	-69,48	18,50	31,38	41,05	
PÜ Çam	50x40	23,15	22,27	-3,95	23,45	26,43	11,28	
	50x50	37,80	30,80	-22,73	12,84	15,93	19,40	
	Çekme	30x30	19,00	15,54	-22,27	30,08	37,86	20,55
		30x40	23,90	26,12	8,50	21,20	22,53	5,90
		30x50	18,58	48,8	61,93	26,34	10,05	-162,09
		40X30	35,24	24,83	-41,93	15,18	19,75	23,14
		40X40	25,42	35,35	28,09	18,84	13,88	-35,73
		40X50	15,69	44,38	64,65	37,44	13,26	-182,35
50x30		20,65	46,93	56	28,70	12,54	-128,87	
50x40		30,93	55,42	44,19	22,78	12,39	-83,86	
Basınç	50x50	26,26	76,64	65,74	24,56	8,96	-174,11	
	30x30	14,94	16,40	8,90	33,24	29,90	-11,17	
	30x40	17,20	23,19	25,83	37,64	25,38	-48,31	
	30x50	18,07	32,80	44,91	33,76	17,94	-88,18	
	40X30	22,03	19,17	-14,92	25,46	30,69	17,04	
	40X40	30,26	25,71	-17,70	18,68	22,89	18,39	
	40X50	25,19	30,80	18,21	23,92	19,11	-25,17	
	50x30	26,08	28,35	8,01	22,70	20,76	-9,34	
50x40	37,72	29,45	-28,08	14,88	19,98	25,53		
50x50	31,77	51,76	38,62	14,10	9,48	-48,73		

Çizelge 4.23. (devam)

PVAc Kayın	Zıvana Ölçüleri (mm)	k_s (Gerçek) (N/mm)	k_s (ANSYS) (N/mm)	Fark (%)	Y_d (Gerçek) (mm)	Y_d (ANSYS) (mm)	Fark (%)
Çekme	30x30	21,53	9,10	-136,68	27,56	64,68	57,39
	30x40	24,14	15,69	-53,86	25,72	37,50	31,41
	30x50	46,96	26,09	-79,99	13,54	22,56	39,98
	40X30	18,59	18,52	-0,38	28,82	31,55	8,65
	40X40	26,26	23,58	-11,37	18,04	20,80	13,27
	40X50	19,95	31,69	37,05	32,54	21,66	50,23
	50x30	23,21	27,59	15,88	25,20	21,33	-18,14
	50x40	28,24	35,67	20,83	24,98	19,25	-29,77
Basınç	50x50	38,98	46,27	15,76	16,92	14,84	-14,02
	30x30	30,63	10,10	-203,27	19,30	58,26	66,87
	30x40	16,90	14,87	-13,65	33,60	39,57	15,09
	30x50	17,79	22,32	20,30	33,30	26,37	-26,28
	40X30	45,21	12,80	-253,20	13,90	45,96	69,76
	40X40	21,13	18,45	-14,53	32,50	31,89	-1,91
	40X50	22,66	23,63	4,10	26,60	24,90	-6,83
	50x30	44,11	17,91	-146,29	14,00	32,85	57,38
PÜ Kayın	50x40	54,93	25,61	-114,49	11,00	22,98	52,13
	50x50	46,59	35,60	-30,87	12,20	16,53	26,19
Çekme	Zıvana Ölçüleri (mm)	k_s (Gerçek) (N/mm)	k_s (ANSYS) (N/mm)	Fark (%)	Y_d (Gerçek) (mm)	Y_d (ANSYS) (mm)	Fark (%)
	30x30	27,81	17,82	-56,06	18,90	33,03	42,78
	30x40	27,73	30,09	7,84	22,06	19,56	-12,78
	30x50	26,07	38,39	32,09	23,44	15,33	-52,90
	40X30	22,67	28,39	20,15	23,26	17,27	-34,68
	40X40	31,28	40,87	23,46	15,18	12,00	-26,50
	40X50	57,12	50,96	-12,09	13,14	13,47	2,45
	50x30	35,25	15,42	-1218,60	16,30	38,16	57,29
	50x40	27,76	18,13	-53,12	27,20	37,87	28,18
50x50	29,50	25,25	-16,83	23,62	27,19	13,13	
Basınç	30x30	25,25	21,18	-19,22	23,30	27,78	16,13
	30x40	16,90	26,87	37,10	40,00	21,90	-82,65
	30x50	17,50	38,39	54,42	33,10	15,33	-115,92
	40X30	38,62	22,07	-74,99	14,20	26,67	46,76
	40X40	21,41	29,68	27,86	17,20	16,53	-4,05
	40X50	12,36	35,60	65,28	39,40	13,77	-186,13
	50x30	45,49	32,70	-39,11	12,70	18,00	29,44
	50x40	39,95	34,06	-17,29	15,20	17,28	12,04
50x50	46,96	60,36	22,20	13,70	9,75	-40,51	

4.8. Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi Sonuçları

L-tipi zıvanalı köşe birleştirmelerin diyagonal basınç ve çekme yükü altındaki moment kapasitelerinin önceden tahmin edilebilmesi amacıyla doğrusal olmayan bir regresyon modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan regresyon modelinde bağımlı

değişken moment kapasitesi, bağımsız değişkenler ise yükleme tipi, ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğu olarak hesaba alınmıştır.

Deneylelerden elde edilen veriler, oluşturulan doğrusal olmayan regresyon modeline yerleştirilerek analiz edildiğinde aşağıda verilen formül elde edilmiştir.

$$M = 0.00227(WL)(0.229W + d)S^{0.42}k_1k_2 \quad (4.3)$$

Burada, M: diyagonal basınç veya çekme yükü altında taşınan moment kapasitesi, (Nm), W: birleştirmedeki zıvana genişliği, (mm), L: birleştirmedeki zıvana uzunluğu, (mm), d: zıvanadaki alın mesafesi (mm), S: ağaç malzemenin kesme direnci, (N/mm²), k₁: yükleme tipi katsayısı, (çekme için 1, basınç için 1,066), k₂: tutkal çeşidi katsayısı, (PÜ için 1, PVAc için 0,85)' dir.

Oluşturulan doğrusal olmayan regresyon modelinin güvenilirliğinin ve geliştirilen bu formülün geçerliliğinin göstergesi olan determinasyon katsayısı (R²) % 61,6 olarak elde edilmiş olup, teorik ve gözlem değerlerinin yüzde farkları için hesaplanan standart sapma değeri 22,95' dir. Genel anlamda ağaç malzemelerin heterojenliği ve yapısındaki değişkenlik göz önünde bulundurulduğunda ve hesaplanan R² değerlerinin uygun olduğu anlaşılmaktadır. L-tipi zıvanalı birleştirmelerin diyagonal basınç ve çekme yükleri altındaki moment kapasitelerinin belirlenmesi için elde edilen formül kullanılarak hesaplanan teorik değerler ile deneyler sonucunda gözlenen değerlerin karşılaştırılması basınç için (Çizelge 4.24)' de, çekme için ise (Çizelge 4.25)' de verilmiştir.

Çizelge 4.24. Diyagonal basınç için teorik ve deney sonuçlarının karşılaştırılması

Basınçta Moment Kapasitesi (Nm)												
Malzeme	Zıv. Gen. (mm)	Zıv. Uz. (mm)	PVA					PU				
			Test değ. (Nm)	s	v (%)	Teorik değ. (Nm)	Test / Teorik Oranı	Test değ. (Nm)	s	v (%)	Teorik değ. (Nm)	Test / Teorik Oranı
DOĞU KAYINI	30	30	123	4,78	3,89	108	1,14	157	11,92	7,59	127	1,24
		40	145	5,42	3,74	144	1,01	155	8,91	5,75	169	0,92
		50	197	11,01	5,59	180	1,1	197	11,01	5,59	211	0,93
	40	30	164	18,34	11,2	126	1,3	169	2,45	1,45	148	1,14
		40	155	9,21	5,94	168	0,92	147	13,64	9,28	198	0,74
		50	238	27,44	11,5	210	1,13	223	20,32	9,11	247	0,9
	50	30	154	11,58	7,52	135	1,14	194	7,68	3,96	159	1,22
		40	215	17,59	8,18	180	1,19	225	14,81	6,58	212	1,06
		50	221	8,84	4	225	0,98	279	18,14	6,5	265	1,05
SARIÇAM	30	30	70	2,04	2,92	87	0,8	105	9,82	9,35	103	1,02
		40	95	8,97	9,44	116	0,82	113	3,8	3,36	137	0,83
		50	133	21,57	16,2	145	0,92	158	17,38	11	171	0,92
	40	30	85	4,61	5,42	102	0,83	156	7,53	4,83	120	1,3
		40	129	9,15	7,09	136	0,95	190	4,47	2,35	160	1,19
		50	132	13,45	10,2	170	0,78	191	10,14	5,31	200	0,96
	50	30	112	12,29	11	109	1,02	121	5,86	4,84	129	0,94
		40	129	5,83	4,52	146	0,89	205	16,63	8,11	171	1,2
		50	183	4,17	2,28	182	1	214	11,32	5,29	214	1

s: Standart sapma v: varyasyon katsayısı

Çizelge 4.25. Diyagonal çekme için teorik ve deney sonuçlarının karşılaştırılması

Çekmede Moment Kapasitesi (Nm)												
Malzeme	Zıv. Gen. (mm)	Zıv. Uz. (mm)	PVA					PU				
			Test değ. (Nm)	s	v (%)	Teorik değ. (Nm)	Test / Teorik Oranı	Test değ. (Nm)	s	v (%)	Teorik değ. (Nm)	Test / Teorik Oranı
DOĞU KAYINI	30	30	140	16,46	11,8	101	1,38	104	4,82	4,63	119	0,87
		40	178	23,76	13,4	135	1,32	195	10,84	5,56	159	1,23
		50	246	15,87	6,45	169	1,46	225	7,13	3,17	198	1,13
	40	30	111	6,29	5,67	118	0,94	95	6,35	6,68	139	0,68
		40	160	10,91	6,82	158	1,02	135	15,07	11,16	185	0,73
		50	172	14,9	8,66	197	0,87	270	11,37	4,21	232	1,17
	50	30	93	13,62	14,7	127	0,73	105	8,74	8,32	149	0,7
		40	156	9,66	6,19	169	0,92	131	11,93	9,11	199	0,66
		50	209	7,38	3,53	211	0,99	241	21,62	8,97	249	0,97
SARIÇAM	30	30	89	9,98	11,2	82	1,09	97	10,65	10,98	96	1,01
		40	121	13,31	11	109	1,11	134	7,8	5,82	128	1,04
		50	139	17,94	12,9	136	1,02	145	10,99	7,58	160	0,9
	40	30	70	6,06	8,66	96	0,73	132	8,9	6,74	112	1,17
		40	123	8,68	7,06	127	0,97	215	14,56	6,77	150	1,43
		50	137	12,67	9,25	159	0,86	174	14,95	8,59	187	0,93
	50	30	125	19,41	15,5	103	1,22	155	12,07	7,79	121	1,29
		40	123	11,69	9,5	137	0,9	214	10,74	5,02	161	1,33
		50	191	8,5	4,45	171	1,12	229	12,07	5,27	201	1,14

s: Standart sapma v: varyasyon katsayısı

Diyagonal basınç ve çekme deneylerinden elde edilen moment kapasitesi değerleri (gözlem değerleri) ile geliştirilen formül kullanılarak hesaplanan istatistiksel tahmin değerleri (teorik değerler) karşılaştırıldığında, doğrusal olmayan regresyon analizi ile geliştirilen formülün L-tipi zıvanalı birleştirmelerin moment kapasitesini makul bir şekilde tahmin ettiğini göstermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada çerçeve konstrüksiyonlu mobilya üretiminde yaygın olarak kullanılan Doğu kayını ve sarıçam odunlarından, PVAc ve PÜ tutkalları ile birleştirilerek elde edilmiş farklı zıvana ölçülerine sahip, özellikle de sandalyelerde ön ayak – yan kayıt bağlantısını temsil eden L-tipi birleştirmelerin moment kapasiteleri ve elastikiyetleri hakkında sayısal veriler elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler, doğrusal olmayan regresyon analizi ile değerlendirilerek, birleştirmelerin moment kapasitelerinin önceden tahmin edilmesini sağlayacak bir formül geliştirmiştir. Ayrıca, L-tipi deney örneklerinin mekanik davranış özellikleri sonlu elemanlar metodu ile analiz edilmiş ve elde edilen veriler gerçek deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Farklı ölçülerde zıvanalı birleştirme uygulanmış L-tipi birleştirmeler farklı performans ve mekanik davranış özellikleri göstermişlerdir. Deney sonuçlarına göre, genel olarak birleştirmelerinin elastikiyetinde zıvana genişliğinin, moment taşıma kapasitesinde ise zıvana uzunluğunun etkili olduğu, Doğu kayınının sarıçamdan ve PU tutkalının da PVAc tutkalından üstün olduğu söylenebilir. Bu durumda, mukavemet istenen durumlarda, ekonomik hususlarda göz ardı edilmemek koşuluyla Doğu kayını odununun sarıçama, PU tutkalının da PVAc tutkalına tercih edilmesi önerilebilir.

Diyagonal basınç deneylerinde zıvana genişliği 30 mm olan PVAc tutkalı ile yapıştırılmış örneklerin yarısı, poliüretan tutkalı ile yapıştırılmış örneklerin tamamında zıvanalarda kopma meydana gelmiştir. Zıvana genişliği ve uzunluğundaki artış hem moment hem de rijitlikte artışa neden olmuştur. Zıvana uzunluğu arttıkça zıvanalarda eğilerek ve/veya kesilerek kopma daha fazla yaşanmıştır. Zıvana uzunluğu - zıvana genişliği etkileşiminde en iyi sonuçları 50x50 mm ölçülerindeki birleştirmeler vermiş olup, 40x50 ile 50x40 ölçülerindeki birleştirmeler birbirlerine oldukça yakın değerler vermiştir. Dört faktörün etkileşiminde ise yine 50x50 mm ölçülerindeki birleştirmeler en iyi sonucu vermiş olup hem genişlikte hem de uzunlukta 40 ve 50 mm ölçülerindeki birleştirmeler birbirlerine yakın değerler vermiştir. PU tutkalı ile yapıştırılmış birleştirmelerin

PVAc tutkalı ile yapıştırılmış birleştirmelerden daha iyi sonuçlar verdiğini görülmüştür.

Diyagonal çekme deneylerinde de basınç deneylerinde olduğu gibi zıvana genişliği ve uzunluğu arttıkça moment ve elastikiyette artış görülmüştür. Zıvana genişliği – zıvana uzunluğu etkileşiminde zıvana uzunluğu arttıkça moment değerlerinin arttığı görülmüştür. Deney sonuçlarına göre, moment ve elastikiyet üzerinde zıvana uzunluğunun zıvana genişliğine göre daha etkili olduğu söylenebilir. PU tutkalı çekmede de PVAc tutkalından daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Çalışmada, birleştirmeler tarafından taşınan momentlerin makul bir şekilde tahmin edilebilmesi için bir eşitlik geliştirilmiş ve L-tipi birleştirmelerin taşıyabilecekleri momentlerin, yükleme tipi, ağaç türü, tutkal çeşidi, zıvana genişliği ve zıvana uzunluğunun fonksiyonu olarak tahmin edilebileceği bir eşitlik geliştirilmiştir. Geliştirilen eşitlik ile gerçek deney sonuçları ile son derece tutarlı değerlere ulaşılabilmektedir.

Sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılan bilgisayar destekli üç boyutlu yapısal analizler, birleştirme elemanlarının genel mukavemeti ve mekanik davranış özellikleri hakkında yaklaşık %50 yakın değerler sağlamıştır. Sonlu elemanlar metodu ile yapılan yapısal analizlerde, malzemenin programa doğru tanıtılabilmesi ve özellikle de yarı – rijit olarak kabul edilen birleştirme yerlerinin doğru olarak tanımlanabilmesi, analizlerden elde edilen verilerin gerçek değerlere yakın çıkmasında önemli rol oynamaktadır. Analizler yapılırken, malzemenin ve birleştirme noktalarının programa tanımlanmasında pek çok alternatifler olduğu görülmüş, gerçeklere en yakın sonuçlar almak adına pek çok deneme yanılma yapılmıştır. Bu deneme yanılmalar sonucunda da, optimum tanımlama kriterleri yakalanmaya çalışılmıştır. Ancak, mobilya mühendislik tasarımında yakın denebilecek bir geçmişte uygulanmaya başlayan sonlu elemanlar analizi yöntemi ile ilgili çok daha fazla çalışmalar yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Özellikle higroskopik, heterojen ve anizotropik yapıdaki ahşap malzeme ve ahşap birleştirme tekniklerinin programa daha doğru tanıtılabilmesi adına bu malzemelerin ve birleştirmelerin fiziksel ve mekanik davranış özellikleri ile ilgili ciddi bir veri tabanına ihtiyaç duyulduğu açıkça görülmüştür. Hatta ileriki çalışmalarda, sadece ahşap mobilya sistemlerinin analiz edilebileceği kapsamlı bir “mobilya yapısal

analizi” programı geliştirilmeli ve tasarımcıların hizmetine sunulmalıdır. Bununla birlikte, böyle bir analiz programının oluşturulabilmesi için, ahşap malzemeler ve her türlü birleştirme tekniği için gerekli olan veri tabanı sağlanmalıdır. Sonuç olarak, bilgisayar teknolojisinin hızla geliştiği ve kullanımının giderek yaygınlaştığı günümüzde, tasarlanan bir mobilyanın üretimine geçilmeden önce mukavemeti hakkında ön bilgiler elde edilebilmesi ve bu bilgilere göre gerekli değişikliklerin yapılarak optimizasyonun sağlanması, mobilya mühendislik tasarımcılarının işini kolaylaştıracaktır. Bu bağlamda, sonlu elemanlar metodu ile çalışan yapısal analiz programlarının, mobilya mühendislik tasarımında kullanılması önerilebilir.

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

Sonuç olarak, mobilyada kalite göstergesi estetik ve sağlamlık olduğundan, geliştirilen yöntemler, bilgisayar destekli analizler ve performans testleriyle, ülkemiz mobilya endüstrisi Avrupa standartları kalitesinde hatta daha kaliteli mobilyalar üreterek ülkemiz ekonomisine katkıda bulunulacağı söylenebilir.

KAYNAKLAR

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

Anıl, Ö. , Belgin, M. , Ç. (2007), “*Monotonik Yükleme Etkisi Altındaki Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kirişlerin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Doğrusal Olmayan Analizi*”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 22, No 1, 191-197.

Bozkurt, Y., Erdin, N. (2000), “*Odun Anatomisi*”. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.

Cai, L., Wang, F., Tan, H. (1995), “Study on the Strength of Moltinject Corner Joints of Furniture”, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 53 (6) : 385-388.

Crisan, R. (2001), “*An Investigation into the Stres-Strain State of Case Furniture*”, Ph.D. Thesis.

Çolakoğlu M.H., Apay A.C. (2012),““ Finite element analysis of wooden chair strength in free”” *International Journal of the Physical Sciences* V. 7(7): 1105 – 1114.

Daudeville, L. , Davenne, L. , Yasumura, M. (1999) , “Prediction of the Load Carrying Capacity of Bolted Timber Joint, Wood Science and Technology” , Vol: 33, p: 15- 29.

Diler H. (2001), “*Kutu Konstrüksiyonlu Mobilya Köşe Birleştirmelerde Vida Çapının Çekme Ve Basınç Dirençlerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi*”, Mobilya, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, s. 72.

Duppont, W.(1963) , “*Rationalization of Glue Joints in the Woodworking Industry*”, Department of Forestry, Forest Products Laboratory, Canada, 1-8.

Eckelman, C. , A. (1966) “*A Look At The Strength Design Of Furniture. Forest Product Journa*”l, Vol. (16) 3 : pp. 21–24.

Eckelman, C., A.(1991), “*Textbook of Product Engineering and Strength Design of* , Text Book, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA, 54-59.

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

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

Eckelman, C. A., Lin, F. C., Zhang, J. (2002), “A Technique for Structural Modeling of Front Rails for Sofas, *Holz als Roh-und Werkstoff*” , Vol: 60, p: 60-65.

Efe, H.(1994), “*Modern Mobilya Çerçeve Konstrüksiyon Tasarımında Geleneksel ve Alternatif Bağlantı Tekniklerinin Mekanik Davranış Özellikleri*”, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon,3-8.

Efe, H., Erdil, Y., Z., Kasal, A.(2003), “*Mobilya Mühendislik Tasarımında Mobilya Sistemlerinin Sonlu Elemanlar Metoduyla Optimizasyonu*”, G. Ü. T. E. F., I. İleri Teknolojiler Sempozyumu, Bildiri Kitabı, Ankara, 315-323.

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

Giray N (1994), “*Sarıçam*” , Ormançılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Muhtelif Yayınlar Serisi, Yayın No:4, s:57.

Gustafsson, S. I. (1995) , “*Furniture Design by Use of the Finite Element Method*”, *Holz als Roh-und Werkstoff* , 53 (4) : 257-260.

Gustafsson, S. I. (1996) , “*Finite Element Modelling Versus Reality for Birch Chairs*”, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 54 (5) : 355-359.

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

Haviarova, E., Eckelman, C.A., and Erdil, Y.Z. (2001), “*Design and Testing of Environmentally Friendly Wood School Chairs for Developing Countries*”, *Forest Product Journal*, 51 (3) : 58–64.

Haviarova, E., Eckelman, C.A., and Erdil, Y.Z. (2001), “*Design and Testing of Wood School Desk Frames Suitable for Production by Low Technology Methods From Waste Wood Residues*”, *Forest Product Journal*, 51 (5) : 79–88.

Hill, D., M., and Eckelman, C., A. (1973), “*Flexibility and Bending Strength of Mortise and Ten on Joints*”, Purdue University Paper, 4758 : 25–33.

İmirzi, H.,Ö. (2008), “*Farklı Yapım Teknikleri ve Değişik Kalınlıklardaki Levhalar ile Üretilmiş Kutu Tipi Mobilyaların Mukavemet Özellikleri*”, (Doktora Tezi), Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Jensen, J. L., Koizumi, A., Sasaki, T., Tamura Y., Lijima, Y. (2001), Axially Loaded Glued-in Hardwood Dowels, “*Wood Science and Technology*”, Vol: 35, p: 73- 83.

Kasal, A. (2004) , “*Masif ve Kompozit Ağaç Malzemelerden Üretilmiş Çerçeve Konstrüksiyonlu Koltukların Performansı*”, Doktora Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Koç K.H., Kızılkaya K., Erdinler E.S., Korkut D.S. (2011),““The use of Finite Element Method in the Furniture İndustry””, *African Journal of Business Management (AJBM)*, 5(3), 855-865.

Kürelİ, İ. (1998), “*Sandalyelerde Kullanılan Önemli Ahşap Birleştirmelerin Mekanik Özellikleri Yüksek Lisans Tezi*” , G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü s. 4-59,Ankara

Laemlaksakul V. (2008) ,““Investigation of Performance of Laminated Bamboo Chair through Virtual Testing””, *Proceedings of the 10th WSEAS International Conference on Mathematical and Computational Methods in Science and Engineering*, 39-44.

Milham, R. , M. (1949), “*A Comparison of Strength Characteristic of the Mortise and Tenon Joint and Dowel Joint*”, Master of Science, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, USA, 25-30.

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

Örs, Y. (1987), “*Kama Dişli Birleştirmeli Masif Ağaç Malzemedeki Mekanik Özellikler*”, K.T.Ü. Orman Fakültesi, 112-11, Trabzon.

Örs, Y. , Altınok, M (1999), “*Sandalye Tasarımında Kesit ve Çerçeve Optimizasyonu Modellemesi*” , Journal of Agriculture and Forestry, ek sayı 2, s. 473-479, Ankara.

Polisan (1996), “*Üretici firma dokümantasyonu*”, Kocaeli.

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

Smardzevski, J. (2002) , “*Strength of Profile-Adhesive Joints*”, Science and Technology, 36: 173-183.

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

Sparkes, A., J.(1968) , “*The Strength of Mortise-and-Tenon Joints*”, Furniture Industry Research Association, Maxwell Road Stenevage Hertfordshire, Great Britain, 48-52.

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

Efe, H. , Erdil, Y. , Z. , Kasal, A. (2003) , “*Mobilya Mühendislik Tasarımında Mobilya Sistemlerinin Sonlu Elemanlar Metoduyla Optimizasyonu*”, G. Ü. T. E. F., I. İleri Teknolojiler Sempozyumu, Bildiri Kitabı, Ankara, 315-323.

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

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

[TS 2474, (1976), “*Odunun Statik Eğilme Dayanımının Tayini*”, T.S.E. Ankara.

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

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

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

TS. 3891, (1983), “*Yapıştırıcılar-P.V.A. Esaslı emülsiyon, Terimler, Tanımlar*”, T.S.E. Ankara.

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

Willard, R. , “*Compressed Tenons–Parts I.*”, Furniture Design and Manufacturing Magazine, 38 (11), 3-10 (1966).

Willard, R. (1966) , “*Compressed Tenons–Parts II.*”, Furniture Design and Manufacturing Magazine, 38 (12), 9-12.[52] Willard, R. (1967), “*Compressed Tenons–Parts III.*”, Furniture Design and Manufacturing Magazine, 39 (1), 10-12.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Ad Soyad : İbrahim YALÇIN
Uyruk : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : DİYARBAKIR 19/09/1977
Medeni Hali :Evlü
Telefon : 0 505 629 03 12
E-posta : ibrahimasim06@hotmail.com.tr

Eğitim

Alınan Derece	Aldığı Kurum/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lise	Ankara Sincan Endüstri Meslek Lisesi	1995
Lisans	Gazi Üniversitesi	2001
Yüksek Lisans	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi	

İş Tecrübesi

Yıl	Yer	Pozisyon/görev
2001-	Didim Mesleki Eğitim Merkezi	Öğretmen

Yabancı Dil(ler)

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