

**AHŞAP MALZEMEDEN ÜRETİLEN KÖŞE BİRLEŞTİRMELERİN SİMÜLASYON
(ANSYS) ORTAMINDA TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

**2012
DOKTORA TEZİ**

HÜSEYİN YÖRÜR

**AHŞAP MALZEMEDEN ÜRETİLEN KÖŞE BİRLEŞTİRMELERİN SİMÜLASYON
(ANSYS) ORTAMINDA TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

HÜSEYİN YÖRÜR

**Bartın Üniversitesi
Fen Bilimler Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalında
Doktora Tezi Olarak Hazırlanmıştır**

**BARTIN
Şubat 2012**

KABUL:

Hüseyin YÖRÜR tarafından hazırlanan "AHŞAP MALZEMEDEN ÜRETİLEN KÖŞE BİRLEŞTİRMELERİN SİMÜLASYON (ANSYS) ORTAMINDA TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 10/02/2012.

Başkan : Prof. Dr. Burhanettin UYSAL (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Selman KARAYILMAZLAR (BÜ)

Üye : Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ (KBÜ)

Üye : Doç .Dr. Bülent KAYGIN (BÜ)

Üye : Doç .Dr. Mustafa YAŞAR (KBÜ)



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım. 14/02/2012



Prof. Dr. Ali Naci TANKUT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Hüseyin YÖRÜR

ÖZET

Doktora Tezi

AHŞAP MALZEMEDEN ÜRETİLEN KÖŞE BİRLEŞTİRMELERİN SİMÜLASYON (ANSYS) ORTAMINDA TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Hüseyin YÖRÜR

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Bülent KAYGIN

Şubat 2012, 161 sayfa

Bu çalışmada, ahşap köşe birleştirmelerin direnç özelliklerini belirlemede kullanılan bazı “uygulamalı metotlarla elde edilen veriler”, bilgisayar ortamında Sonlu Elemanlar Metodu kullanılarak yapılan “teorik modelleme ile elde edilen verilerle” karşılaştırılmıştır. Sarıçam ve Doğu kayınından elde edilen kavelalı ve zıvanalı L tipi köşe birleştirmelerde diyagonal Çekme, diyagonal basınç deneyi ve eğilme direnci deneyi yapılmıştır. Ayrıca, analiz programına malzeme özelliği girebilmek için eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel çekme, poisson oranı belirleme ve strengelerle gerinim ölçüm deneyleri yapılmıştır. Deneylerde meydana gelen deformasyon (açılma-daralma) miktarları bilgisayar ortamında Sonlu Elemanlar Metodu (SEM-ANSYS Multiphysics) ile analiz edilerek teorik modelleme yapılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda uygulamalı deneylerden elde edilen deformasyon miktarının, teorik modelleme ile yaklaşık % 90 – 99 uyumlu olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, ahşap köşe birleştirmelerin direnç özelliklerinin belirlenmesinde Sonlu Elemanlar

ÖZET (devam ediyor)

Metodu kullanımının gerçeğe çok yakın değerler verdiği belirlenmiştir. İleride yapılacak çalışmalarda parametrelerin doğru seçimi ile ANSYS gibi sonlu elemanlar programları, ahşap köşe birleştirmelerin direnç özelliklerinin modellenmesinde kullanılabilir. Bu metodun kullanılmasıyla ahşap köşe birleştirmelerin direnç özellikleri hakkında deney yapmadan bilgi sahibi olunabilir.

Anahtar Sözcükler: ANSYS/LS-DYNA, Sonlu elemanlar metodu, Gerinim analizi, gerilme analizi, Strengçeç, Poisson oranı, Ahşap köşe birleştirmeler

Bilim Kodu : 502.08.01

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL PROPERTIES IN SIMULATION (ANSYS) OCCASION FOR WOODEN CORNER JOINTS

Hüseyin YÖRÜR

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Forest Industrial Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof.Dr. Bülent KAYGIN

February 2012, 161 pages

In this study some of the data obtained by actual tests used for the determination of mechanical performance of wooden corner joints were compared with the theoretical data obtained from finite element analysis. In L type corner joints, using Yellow pine and Beech, as dowel and mortise diagonal tension, diagonal compression, and bending strength tests were carried out. Also, to enter data in the analyze programmed, elastic modulus in bending, lateral tension, determining Poisson rate and strain measurement with the strain gauges tests were carried out. The data in terms of deformation values were analyzed by using finite element analysis (SEM-ANSYS-Multiphysics) and theoretical modeling was carried out. It is determined that the actual data was found out 90-99% compatible with theoretical model. As a result, using finite element method for determining the resistance characteristics of wood corner joints, the theoretical values are found very close to actual values.

ABSTRACT (Continued)

In future studies, software such as ANSYS finite element programs with the right choice of parameters, can be used for determining resistance characteristics of wood corner joints without doing experimental research.

Key Words : ANSYS/LS-DYNA, Finite Elements Method, Strain analysis, Strength analysis, Strength gauge, Poisson ratio, Wooden corner joints

Science Code : 502.08.01

TEŞEKKÜR

Doktora araştırma konumun seçiminde ve tezin yürütülmesi sırasında değerli bilimsel uyarı ve önerilerinden yararlandığım kıymetli hocam Karabük Üniversitesi Rektörü sayın Prof. Dr. Burhanettin UYSAL'a şükranlarımı arz ederim.

Doktora çalışmamın tüm aşamalarında desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, uyarı ve nasihatleriyle beni yönlendiren tez danışmanım sayın Doç. Dr. Bülent KAYGIN'a şükranlarımı arz ederim.

Doktora çalışmamın yürütülmesi sırasında yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen ve her zaman destekçi olan, çalışmam boyunca yönlendirme yapan sayın Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ'ye ve doktora çalışmamın temel konusu olan ANSYS programını bana öğreten ve tezde ANSYS programını uygulamamda yardımcı olan sayın Doç. Dr. Mustafa YAŞAR'a teşekkürü bir borç bilirim.

Doktora çalışmam sırasında değerli önerilerinden yararlandığım ve sıcak kişiliğiyle yardımcı olan Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi Dekanı sayın Prof. Dr. Selman KARAYILMAZLAR'a teşekkürü bir borç bilirim. Doktora çalışmamın yürütülmesi sırasında yardımlarını esirgemeyen Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü sayın Prof. Dr. Ali Naci TANKUT ve sayın Doç. Dr. Nurgül TANKUT'a da teşekkür ederim.

Çalışmalar boyunca birlikte olduğumuz laboratuvar ve tezin yazım aşamasında yardımlarını esirgemeyen sayın Yrd. Doç. Dr. Fatih YAPICI'ya ve Öğretim Görevlisi Halil İbrahim Yumrutaş'a ve tezde emeği geçen adını saymadığım tüm arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Her zaman manevi desteğini gördüğüm büyükbabama, emekli olan öğretim görevlisi babama, anneme ve eşime, tez boyunca çalışmamı sürekli engelleyen oğlum ve kızıma sevgilerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLOLAR DİZİNİ.....	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxi
BÖLÜM 1 GENEL BİLGİLER.....	1
1.1 GİRİŞ.....	1
1.2 LİTERATÜR ÖZETİ.....	5
1.3 MOBİLYA VE YAPI ELEMANLARINDA KÖŞE BİRLEŞTİRMELER	16
1.3.1 Kavelalı Birleştirme Tekniği.....	18
1.3.2 Zıvanalı Birleştirme Tekniği.....	20
1.4 AHŞAP MALZEME VE ÖZELLİKLERİ.....	22
1.4.1 Sarıçam (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	22
1.4.1.1 Makroskobik Özellikler	22
1.4.1.2 Mikroskobik Özellikler	23
1.4.1.3 Bazı Teknolojik Özellikler.....	23
1.4.1.4 Fiziksel ve Mekanik Özellikler	24
1.4.2 Doğu Kayını (<i>Fagus orientalis</i> L.)	24
1.4.2.1 Makroskobik Özellikler	24
1.4.2.2 Mikroskobik Özellikler.....	24
1.4.2.3 Bazı Teknolojik Özellikler.....	25

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
1.4.2.4 Fiziksel ve Mekanik Özellikler	25
1.5 YAPIŞTIRICI	25
1.5.1 Yapışma ile Birleşme Tasarımı.....	28
1.5.2 Tutkallı Birleştirmelerde Mekanik Deneyler	30
1.5.3 Polivinil-Asetat Tutkalı (PVAc Tutkalı).....	30
1.6 MOBİLYA MÜHENDİSLİK TASARIMI.....	32
1.6.1 Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD).....	34
1.6.1.1 Solidwork.....	35
1.7 SONLU ELEMENLAR METODU (SEM).....	35
1.7.1 ANSYS	37
1.7.1.1 LS-Dyna.....	37
1.8 GERİNİM VE GERİLME	38
1.8.1 Gerinim (Strain).....	38
1.8.2 Gerinim Pulu- Gerinim Ölçer (Strain Gauge).....	41
1.8.3 Gerilme	43
1.9 POISSON ORANI	44
BÖLÜM 2 MATERYAL VE YÖNTEM	47
2.1 MATERYAL	47
2.1.1. Ahşap Malzeme	47
2.1.2 Yapıştırma Elemanı	47
2.1.3 Gerinim pulu (Strengçeç)	49
2.2 DENEY ÖRNEKLERİNİN HAZIRLANMASI.....	50
2.2.1 Kavelalı Birleştirme Deney Örneklerinin Hazırlanması.....	52
2.2.2. Zıvanalı Birleştirme Deney Örneklerinin Hazırlanması	53
2.3. YÖNTEM	54
2.3.1 Deneylerde Kullanılan Ahşap Malzemelerin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Tespit Edilmesi	54
2.3.1.1 Hava Kuru Yoğunluk Tayini.....	54

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.3.1.2 Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü Deneyi.....	55
2.3.1.3 Liflere Paralel Çekme Direnci	56
2.3.1.4 Poisson oranının tespiti	57
2.3.2 Uygulamalı Deneysel Çalışmalar	58
2.3.2.1 Eğilme Deneyi	58
2.3.2.2 Diyagonal Basınç Deneyi	59
2.3.2.3 Diyagonal Çekme Deneyi	61
2.3.3 Bilgisayar Destekli ANSYS/LS-DYNA ile Modelleme ve Analiz Çalışmaları.....	62
2.3.3.1 ANSYS/LS-DYNA Modellemesi.....	62
2.3.3.2 ANSYS/LS-DYNA ile Eğilme Deneyleri	65
2.3.3.3 ANSYS/LS-DYNA ile Diyagonal Basınç Deneyleri	66
2.3.3.4 ANSYS/LS-DYNA ile Diyagonal Çekme Deneyleri	67
2.4 VERİLERİN İSTATİSTİKSEL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ.....	68
BÖLÜM 3 BULGULAR VE İRDELEME.....	69
3.1 AHŞAP MALZEMELERİN BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE AİT BULGULAR	69
3.1.1 Hava Kurusu Yoğunluklar	69
3.1.2 Eğilme Direnci	70
3.1.3 Eğilmede Elastikiyet Modülü	71
3.1.4 Liflere Paralel Çekme Direnci	73
3.1.5 Poisson Oranı	74
3.2 UYGULAMALI DENEYSEL ÇALIŞMALARA AİT BULGULAR	75
3.2.1 Eğilme Deneyi	75
3.2.1.1 Eğilme Deneyinde Sehim Değişimi.....	77
3.2.2 Diyagonal Basınç	79
3.2.2.1 Diyagonal Basınç Sehim Değişimi	81
3.2.3 Diyagonal Çekme.....	83
3.2.3.1 Diyagonal Çekmede Sehim Değişimi.....	85

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.2.4 Gerinim Analizi	86
3.2.4.1 Eğilme Deneylerindeki Gerinimler	87
3.2.4.2 Diyagonal Basınç Deneylerindeki Gerinimler	88
3.2.4.3 Diyagonal Çekme Deneyindeki Gerinimler	90
3.2.5 Gerilme Analizi	91
3.2.5.1 Eğilme Deneylerindeki Gerilmeler	92
3.2.5.2 Diyagonal Basınç Deneylerindeki Gerilme	93
3.2.5.3 Diyagonal Çekme Deneylerindeki Gerilmeler	94
3.3 BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANSYS/LS-DYNA İLE ANALİZE AİT BULGULAR ...	95
3.3.1 Eğilme Direnci Analizi	96
3.3.1.1 Sarıçam Kavelalı Birleştirme	96
3.3.1.2 Sarıçam Zıvanalı Birleştirme	100
3.3.1.3 Kayın Kavelalı Birleştirme	104
3.3.1.4 Kayın Zıvanalı Birleştirme	108
3.3.2 Diyagonal Basınç Analizi	112
3.3.2.1 Sarıçam Kavelalı Birleştirme	112
3.3.2.2 Sarıçam zıvanalı Birleştirme	116
3.3.2.3 Kayın Kavelalı Birleştirme	120
3.3.2.4 Kayın Zıvanalı Birleştirme	124
3.3.3 Diyagonal Çekme Analizi	128
3.3.3.1 Sarıçam Kavelalı Birleştirme	128
3.3.3.2 Sarıçam Zıvanalı Birleştirme	131
3.3.3.3 Kayın Kavelalı Birleştirme	136
3.3.3.4 Kayın Zıvanalı Birleştirme	140
BÖLÜM 4 SONUÇ VE ÖNERİLER	145
KAYNAKLAR	153
ÖZGEÇMİŞ	161

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 İzotrop, ortotrop ve anizotrop malzemelerde gerilmeye bağlı davranışlar.....	2
1.2 Ahşap malzemede yönler.....	3
1.3 Ağaç malzemede çalışma şekilleri.....	4
1.4 Birleştirme şekillerinin sınıflandırılması	16
1.5 Kavelalı birleştirilmiş ahşap parça.....	19
1.6 Kavela ve tutkal.....	20
1.7 Zıvanalı birleştirilmiş ahşap parça.....	21
1.8 Zıvanalı parçalar	21
1.9 Ahşap birleştirmeler arasındaki tutkal katmanı kalınlığı.....	27
1.10 Kuvvet karşında uzama.....	38
1.11 Kayın numunesine ait eğilme deneyinde gerilme deformasyon eğrisi.....	39
1.12 Sarıçam numunesine ait liflere paralel çekme deneyinde elde edilen gerilme deformasyon eğrisi.....	40
1.13 Strengaç örnekleri.....	42
1.14 Çelik vida üzerinde mikro strengaç örneği.....	43
1.15 Cisimlere uygulanan kuvvet (F) karşısında çekme ve basınç gerilmesi.....	44
1.16 Çekme durumunda şekil değişimi.....	45
1.17 Basınç durumunda şekil değişimi	46
2.1 Yüzeyle sürülen tutkalın enjektörle ayarlanması.....	48
2.2 Tutkal katmanlar	48
2.3 Deneylerde kullanılan cihazlar.....	49
2.4 Deneylerde gerinim ölçümü uygulaması.....	49
2.5 Strengaçlerin kalibrasyon ayarı.....	50
2.6 A ve B elemanlarından oluşan deney örnekleri.....	51
2.7 Deney örneklerindeki kavelalı birleştirme.....	52
2.8 Deney örneklerine ait kavela ölçüleri.....	52

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.9 Zıvanalı birleştirme örneklerindeki ölçüler.	53
2.10 Deney örneklerindeki zıvana kesiti.....	53
2.11 Eğilme dayanımı ve eğilmede elastikiyet modülü test düzeneği.	55
2.12 Liflere paralel çekme direnci deney örnekleri.	56
2.13 Liflere paralel çekme direnç deneyi örneği.	57
2.14 Poisson oranının strengaç yardımıyla belirlenmesi.	58
2.15 Eğilme deneyi düzeneği modellemesi.	59
2.16 Eğilme deneyi düzeneği.	59
2.17 Diyagonal basınç deneyi düzeneği modellemesi.	60
2.18 Diyagonal basınç deneyi düzeneği.....	60
2.19 Diyagonal çekme deneyi düzeneği modellemesi.	61
2.20 Diyagonal çekme deneyi düzeneği.	61
2.21 ANSYS Multiphysics/LS-DYNA.	63
2.22 Bilgisayarda LS-DYNA/Explicit modülü seçimi.	64
2.23 Solid 164 sonlu elemanlar özellikleri.	64
2.24 ANSYS’de eğilme deneyi modellemesi.	65
2.25 ANSYS’de diyagonal basınç deneyi modellemesi.	66
2.26 ANSYS’de diyagonal çekme deneyi modellemesi.	67
3.1 Eğilme direnci değişimi.	70
3.2 Eğilmede elastikiyet modülü.....	72
3.3 Liflere paralel çekme direnci değişimleri.	73
3.4 Poisson oranı değişimleri.	74
3.5 Eğilme direnci değerlerinin değişimi.	75
3.6 Eğilme deneyi sehim değişimi.	77
3.7 Diyagonal basınç değerlerinin değişimi.....	79
3.8 Diyagonal basınç sehim değerlerinin değişimi.	81
3.9 Diyagonal çekme değerlerinin değişimi.	83
3.10 Diyagonal çekmede sehim değerlerinin değişimi.	85
3.11 Eğilme deneyinde oluşan gerinim değişimi.	87
3.12 Strengaç bağlanmış eğilme deney numunesi.	88

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
3.13 Diyagonal basınç deneyinde oluşan gerinim değişimi.....	88
3.14 Diyagonal basınç deneyi erkek ve dişi parça.....	89
3.15 Strengaç bağlanmış diyagonal basınç deney numunesi.....	89
3.16 Diyagonal çekme deneyinde oluşan gerinim değişimi.....	90
3.17 Strengaç bağlanmış diyagonal çekme deney numunesi.....	91
3.18 Eğilme deneyinde elde edilen gerilime değerleri.....	92
3.19 Diyagonal basınç deneyinde elde edilen gerilim değerleri.....	93
3.20 Diyagonal çekme deneyinde elde edilen gerilime değerleri.....	94
3.21 Deney parçaları üzerinde uygulanan kuvvetlerin dağılımı.....	95
3.22 Sarıçam kavelalı birleştirme örneğindeki eğilme deformasyonu.....	96
3.23 Sarıçam kavelalı birleştirmede oluşan gerilim.....	97
3.24 Eğilme deneyinde kavelada oluşan gerilme değişimleri.....	98
3.25 Çam kavelalı birleştirmede zaman bağlı kuvvet değişimi.....	98
3.26 Gerinim değişimi (microstrain).....	99
3.27 Gerilme değişimi.....	99
3.28 Çam zıvanalı birleştirme örneğindeki eğilme deformasyonu.....	100
3.29 Zıvanalı birleştirmede oluşan gerilme.....	101
3.30 Zıvanalı birleştirmede oluşan gerilme ve deformasyon.....	102
3.31 Çam zıvanalı birleştirmede kuvvet değişimi.....	102
3.32 Gerinim değişimi.....	103
3.33 Gerilme değişimi.....	103
3.34 Kayın kavelalı birleştirme örneğindeki eğilme deformasyonu.....	104
3.35 Kayın kavelalı birleştirmede oluşan gerilme ve deformasyon.....	105
3.36 Kavelada gerilme ve deformasyon.....	106
3.37 Kayın kavelalı birleştirmede kuvvet değişimi.....	106
3.38 Gerinim değişimi.....	107
3.39 Gerilme değişimi.....	107
3.40 Kayın zıvanalı birleştirme örneğindeki eğilme deformasyonu.....	108
3.41 Zıvanalı birleştirmede oluşan gerilim.....	109
3.42 Dişi zıvanada oluşan gerilme ve deformasyon.....	110

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
3.43 Kayın zıvanalı birleştirmede kuvvet değişimi.	110
3.44 Gerinim değişimi.	111
3.45 Gerilme değişimi.....	111
3.46 Sarıçam kavelalı birleştirme örneğindeki gerilme ve deformasyon.	112
3.47 Diyagonal basınç deneyinde oluşan gerilme ve deformasyon.	113
3.48 Kavelada gerilme ve deformasyon.....	114
3.49 Çam kavelalı birleştirmede kuvvet değişimi.....	114
3.50 Gerinim değişimi.	115
3.51 Gerilme değişimi.....	115
3.52 Sarıçam zıvanalı birleştirme örneğindeki gerilme ve deformasyon.	116
3.53 Zıvanalı birleştirmede oluşan gerilme.	117
3.54 Dişi zıvanada oluşan gerilme ve deformasyon.	118
3.55 Çam zıvanalı birleştirmede kuvvet değişimi.....	118
3.56 Gerinim değişimi.	119
3.57 Gerilme değişimi.....	119
3.58 Kayın kavelalı birleştirme örneğindeki gerilme ve deformasyon.....	120
3.59 Diyagonal basınç deneyinde oluşan gerilme ve deformasyon.	121
3.60 Kavelada gerilme ve deformasyon.....	122
3.61 Kayın kavelalı birleştirmede kuvvet değişimi.	122
3.62 Gerinim değişimi.	123
3.63 Gerilme değişimi.....	123
3.64 Kayın zıvanalı birleştirme örneğindeki gerilme ve deformasyon.....	124
3.65 Zıvanalı birleştirmede oluşan gerilme.	125
3.66 Dişi zıvanada oluşan gerilme ve deformasyon.	126
3.67 Kayın zıvanalı birleştirmede kuvvet değişimi	126
3.68 Gerinim değişimi.	127
3.69 Gerilme değişimi.....	127
3.70 Sarıçam kavelalı birleştirme örneğindeki gerilme ve deformasyon.	128
3.71 Diyagonal çekme deneyinde oluşan gerilme ve deformasyon.....	129
3.72 Kavelada gerilme ve deformasyon.....	130

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
3.73 Çam kavelalı birleştirmede kuvvet değişimi.....	130
3.74 Gerinim değişimi.	131
3.75 Gerilme değişimi.....	131
3.76 Çam zıvanalı birleştirme örneğindeki gerilme ve deformasyon.	132
3.77 Diyagonal çekme deneyinde oluşan gerilme ve deformasyon.....	133
3.78 Dişi zıvanada oluşan gerilme ve deformasyon.	134
3.79 Çam zıvanalı birleştirmede kuvvet değişimi.....	134
3.80 Gerinim değişimi.	135
3.81 Gerilme değişimi.....	135
3.82 Kayın kavelalı birleştirme örneğindeki gerilme ve deformasyon.....	136
3.83 Diyagonal çekme deneyinde oluşan gerilme ve deformasyon.....	137
3.84 Kavelada gerilme ve deformasyon.....	138
3.85 Kayın kavelalı birleştirmede kuvvet değişimi.	138
3.86 Gerinim değişimi.	139
3.87 Gerilme değişimi.....	139
3.88 Kayın zıvanalı birleştirme örneğindeki gerilme ve deformasyon.....	140
3.89 Diyagonal çekme deneyinde oluşan gerilme ve deformasyon.....	141
3.90 Dişi zıvanada oluşan gerilme ve deformasyon.	142
3.91 Kayın zıvanalı birleştirmede kuvvet değişimi.	142
3.92 Gerinim değişimi.	143
3.93 Gerilme değişimi.....	143

TABLolar DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Birleştirmede kullanılan elemanların kalınlığına göre kullanılacak kavelaların çap, boy ve boy ve aralıkları.....	19
1.2 Direnç özelliklerine göre tutkalların sınıflandırılması.....	28
1.3 Ortotropik özellikler.....	41
1.4 Bazı malzemelerin poisson değerleri.....	45
2.1 Deneme deseni.....	51
2.2 Ansys/Is-dyna programında kullanılan malzeme özellikleri.....	68
3.1 Eğilme direnci değişimine ilişkin sonuçlar.....	70
3.2. Eğilme direnci çoğul varyans analizi sonuçları.....	71
3.3 Eğilmede elastikiyet modülü değişimine ilişkin sonuçlar.....	71
3.4 Eğilmede elastikiyet modülü çoğul varyans analizi sonuçları.....	72
3.5 Liflere paralel çekme direncine ait aritmetik ortalama değerleri.....	73
3.6 Ağaç türlerine göre poisson oranları.....	74
3.7 Eğilme direnci değerlerine ilişkin sonuçlar.....	75
3.8 Eğilme direnci değerlerine birleştirme elemanının etkisini belirlemek için yapılan çoğul varyans analizi sonuçları.....	76
3.9 LSD testi sonuçları.....	76
3.10 Sehim değerlerine ilişkin sonuçlar.....	77
3.11 Çoğul varyans analizi sonuçları.....	78
3.12 LSD testi sonuçları.....	78
3.13 Ağaç türü ve bağlantı çeşitlerine göre diyagonal basınç deneyi değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar.....	79
3.14 Çoğul varyans analizi sonuçları.....	80
3.15 LSD testi sonuçları.....	80
3.16 Ağaç türü ve bağlantı çeşitlerine göre sehim değerlerine ilişkin sonuçlar.....	81
3.17 Çoğul varyans analizi sonuçları.....	82

TABLULAR DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
3.18 LSD testi sonuçları.....	82
3.19 Ağaç türü ve bağlantı elemanlarına göre diyagonal çekme deneyi değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar.	83
3.20 Çoğul varyans analizi sonuçları.	84
3.21 LSD testi sonuçları.....	84
3.22 Ağaç türü ve bağlantı çeşitlerine göre sehim değerlerine ilişkin sonuçlar.	85
3.23 Çoğul varyans analizi sonuçları.	86
3.24 LSD testi sonuçları.....	86
4.1 L tipi köşe birleştirmelerin eğilme deneyleri karşılaştırmaları.	146
4.2 L tipi köşe birleştirmelerin diyagonal basınç deneyleri karşılaştırmaları.	147
4.3 L tipi köşe birleştirmelerin diyagonal çekme deneyleri karşılaştırmaları.....	148

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1 MPa	: 1 N/mm ²
E	: Elastiklik modülü
L	: Uzunluk
Mikrostrain	: 10 ⁻⁶
Mm	: Milimetre
MPa	: Megapaskal
R	: Direnç
V	: Varyasyon katsayısı, %
ε	: Birim boydaki değişme
P	: Özdirenç
σ	: Gerilme
σ _b	: Basınç direnci, N/mm ²
σ _ç	: Çekme direnci, N/mm ²

KISALTMALAR

ASTM	: American Society for Testing and Materials
MAX.	: Maksimum Değer
MDF	: Orta Yoğunluklu Levha (Medium Density Fiberboard)
MIN.	: Minimum Değer
MOE	: Elastikiyet Modülü (Modulus of Elasticity)
MOR	: Eğilme Direnci (Modulus of Rupture)
ORT	: Ortalama Değer
PVAc	: Polyvinyl Acetate Klorür
STD	: Standart sapma
TS	: Türk Standardı

BÖLÜM 1

GENEL BİLGİLER

1.1 GİRİŞ

Ahşap; organik, anizotrop ve heterojen bir yapıya sahiptir. Hücrelerden meydana gelen ve lifli bir yapıya sahip olan ahşabın özelliği, ağaçtan ağaca değiştiği gibi bir ağacın çeşitli kısımlarında da değişik olabilir. Bu bakımdan ağaç türüne ve yetiştirme bölgesine bağlı olarak ahşabın fiziksel, mekanik ve diğer özellikleri geniş sınırlar içerisinde değişir. Lifli dokuya sahip olması nedeniyle ahşabın mukavemeti liflere paralel ve dik yönlerde farklılık gösterir. Ayrıca, rutubet de mukavemeti etkileyen önemli bir faktördür. Ahşap malzeme, rutubet karşısında üç yönde farklı çalışması nedeniyle deformasyona uğrar. Bu özellik ahşap mobilya yapımında sorun oluşturmaktadır (Uysal 2005).

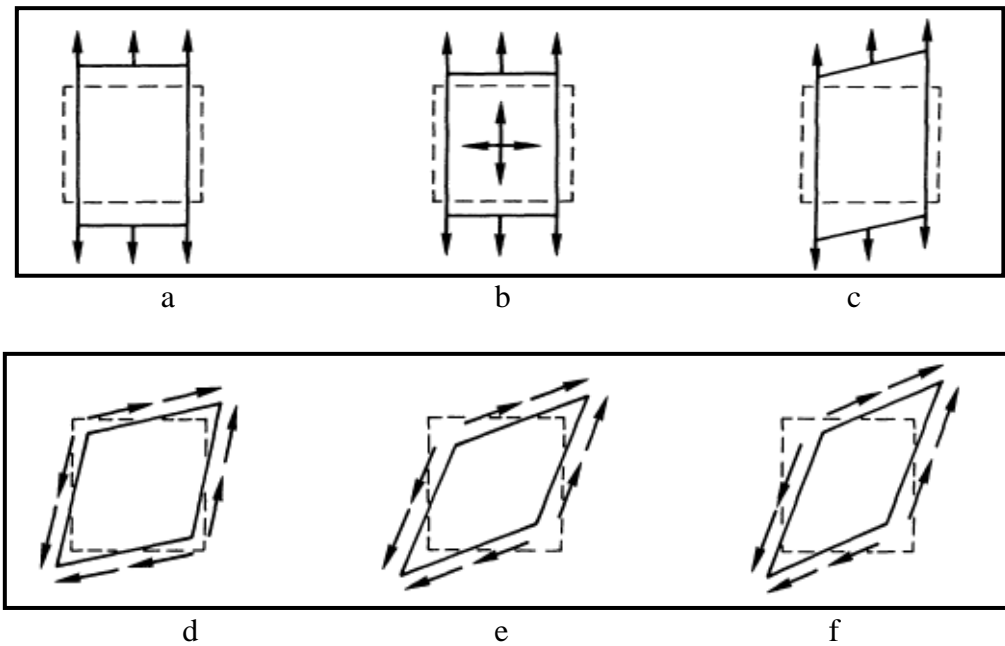
Ahşap malzeme organik bir cisimdir. Organik cisimler hem yaşarken hem de yaşamlarını kaybettikten sonra su ile ilişkilerini devam ettirirler. Ağaç kesildikten sonra bünyesindeki suyun bir bölümü buharlaşır. Doğal ortamda kuruyan ağaçta, suyun tümü buharlaşamaz. Bulunduğu ortamın şartlarına göre içinde az veya çok su bulunur. Ahşap malzemedeki suyun azlığı veya çokluğu, ahşap malzemedeki suyun kalitesini ve dayanımını doğrudan etkiler. Bünyesinde, bulunduğu ortamdan az veya çok su bulunan ahşap malzeme çalışmasını sürdürür (Özçifçi 2001). Ahşap malzeme organik olması nedeniyle mikroorganizmalar için bir gıda maddesidir. Bu nedenle, kıymetli ahşap mobilyaların bu etkiye karşı korunmadığı takdirde zaman içinde yok olması sonucunu da doğurmaktadır (Kurt 2006).

Ahşap malzeme insan yaşamında yapılarda taşıyıcı eleman, dış cephe kaplaması, döşeme ve çatı malzemeleri olarak kullanıldığı gibi, endüstriyel konstrüksiyonlar da köprü, iskele ve daha pek çok alanda da yoğun olarak kullanılmaktadır. Ahşabın yapılarda taşıyıcı malzeme olarak kullanılması 19 yy. başlarıdır. Endüstri devriminden sonra malzeme teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak mimari anlayış belirli ölçüde özgürlük kazanmıştır. Gelişen

ekonominin ve tekniklerin etkisiyle doğal ahşap yeniden yorumlanarak, ahşaptan kompozit malzemeler elde edilmeye başlanmış, kullanım alanı genişlemiş ve esneklik kazanmıştır (Kurt 2006).

Kolay işlenmesi, ısı ve sese karşı yalıtkan olması, doğal yapısından kaynaklanan tekstür, renk ve estetik özellikleri nedeniyle ağaç malzemeye karşı talep her geçen gün artmaktadır. Bu talebin karşılanabilmesi için ormanların bilimsel esaslara uyularak işletilmesi ve kesilen ağaçların verimli kullanılması gerekmektedir. İnsan yaşamı ve kültürünün gelişme sürecinde uzun ve mükemmel bir tarihe sahip olan ağaç malzeme; yapılarda taşıyıcı eleman, dış cephe kaplaması, döşeme ve çatı malzemeleri olarak kullanıldığı gibi, endüstriyel konstrüksiyonlar da köprü, iskele ve daha pek çok alanda da yoğun olarak kullanılmaktadır (Erdin 2003).

Malzemelerin izotrop veya anizotrop oluşuna göre mekanik davranışları farklı özellikler gösterir. İzotrop malzemeler, yapılarında herhangi bir yöne göre değişiklik göstermeyen malzemelerdir. Metal (çelik, bronz) gibi malzemeler izotropik özellik gösterir. Normal gerilme altında, Hooke Kanunu sınırları içinde, şekil değişikliği gösterirler. Bu malzemelerin bünyelerinde kayma gerilmeleri meydana gelmesi halinde, malzemede açı değişikliği görülmektedir (İmirzi 2008). Şekil 1.1’de İzotrop, ortotrop ve anizotrop malzemelerde gerilmeye bağlı davranışlar gösterilmiştir.



Şekil 1.1 İzotrop, ortotrop ve anizotrop malzemelerde gerilmeye bağlı davranışlar.

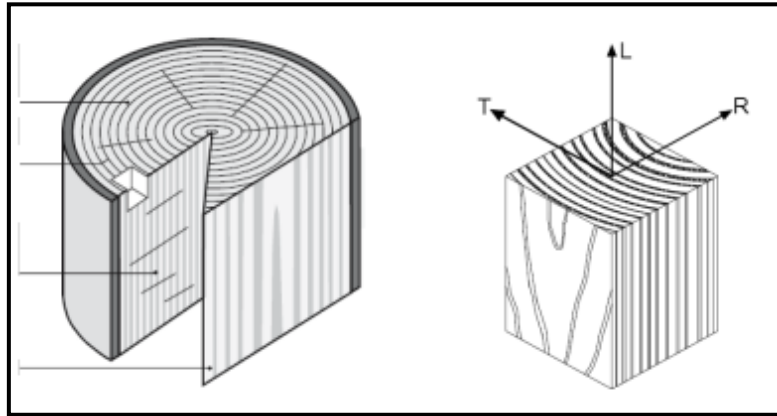
a. İzotrop malzeme (izotropik) normal gerilme, b. Ortotrop malzeme (ortotropik) normal gerilme, c. Anizotrop malzeme (anizotropik) normal gerilme, d. İzotrop malzeme (izotropik) kayma gerilmesi, e. Ortotrop malzeme (ortotropik) kayma gerilmesi, f. Anizotrop malzeme (anizotropik) kayma gerilmesi

a. İzotropik Malzeme: Bir malzemenin tüm kütlesi düşünüldüğünde her bir yönde eşit özellik göstermesidir.

b. Ortotropik Malzeme: Malzemenin herhangi bir noktasında, karşılıklı üç farklı yönde farklı özellikler göstermesidir.

c. Anizotropik Malzeme: Bir malzemenin tüm kütlesi düşünüldüğünde her bir yönde farklı özellik göstermesidir.

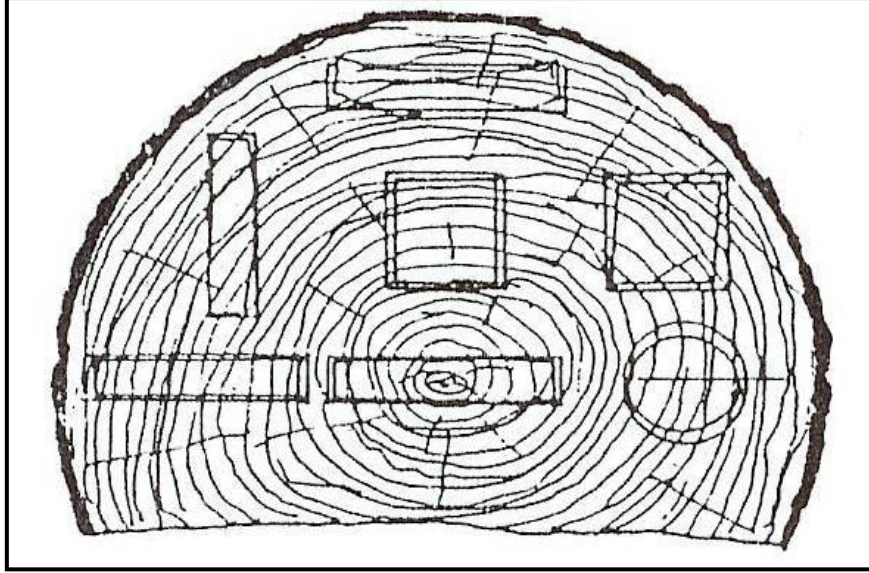
Anizotrop olan ahşap malzeme, ortotropik özellik gösterir. Anizotrop bir malzeme olması nedeniyle ahşap malzemede elastiklik modülü liflere paralel, radyal ve yıllık halkalara teğet olmak üzere üç esas yönde farklı bulunmaktadır. Her bir farklı yönde malzeme, yönlere bağlı olarak farklı mukavemet özellikleri gösterir. Elastiklik modülü değeri, liflere paralel yönde en yüksek, radyal yönde daha küçük, yıllık halkalara teğet yönde ise en düşüktür. Şekil 1.2’de ahşap malzemenin yönleri verilmiştir (İmirzi 2008).



Şekil 1.2 Ahşap malzemede yönler.

Uygulamada kullanılacak ağaç malzemede yön seçimi, malzemenin maruz kaldığı kuvvete göre seçilmelidir. Ahşap malzeme ile yapılan analiz programlarında, malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri malzemede oluşacak deformasyonları etkilemektedir. Bu sebeple, ağaç malzemenin mekanik özellikleri bilinmelidir (Yaşar 2006). Bir ağaç tomruğunun değişik yerlerinden alınan numuneler de, farklı şekillerde ve oranda çalışmaktadır. Ağaç malzeme,

boyuna yönde % 0,1-0,3, teğet yönde %7 ve radyal yönde %4,5-5 oranında çalışmaktadır. Bir ağaç tomruğunun değişik yerlerinden kesilen parçaların çalışma şekilleri Şekil 1.3'de görülmektedir (Karayılmazlar vd. 2007).



Şekil 1.3 Ağaç malzemedeki çalışma şekilleri.

Ağaç malzeme, bünyesinde bulunan suyun kuruma anında ortama verilmesi ya da bulunduğu ortamdaki havadan bünyesine rutubet alması ile boyutsal şekil değişimine uğramakta, bu da ağaç malzemedeki iç gerilmelere neden olmaktadır.

Mobilya performans testleri, ürünün ön görülen fonksiyonları yerine getirip getirmediğini anlamak için uygulanan hızlandırılmış kullanım deneyleri olarak tanımlanabilir. Performans deneyleri, mobilya ürün mühendisliğinin son aşamasıdır. Bu deneylerin amacı, kullanım sırasında karşılaşılabilecek problemleri önceden belirlemek ve mobilya henüz kullanıma girmeden ve üretilmeden önce değişiklikleri ve geliştirmeleri yapmak amacıyla tasarımcıya ön bir bilgi sağlamaktır. Sonuç olarak, performans deneyleri, üründe ön görülen fonksiyonlarını yerine getirip getirmediğini ve kullanım yerinde ne gibi sıkıntılarla karşılaşılacağını anlamak için uygulanan hızlandırılmış kullanım deneyleri olarak tanımlanabilir (Erdil 2002).

Teknolojinin hızlı ilerlemesi günlük hayatta karşılaştığımız problemlerin çözümünü daha zor ve karmaşık hale getirmektedir. Bilgisayarlar ise karşılaşılan bu zorlukları ve problemin çözümünü kolaylaştıran birer analiz aracı haline gelmişlerdir. Bunun bir sonucu olarak

problemin karmaşıklığına dokunmadan veya problemin fiziğinde çok küçük kabuller ile yaklaşık sayısal çözümler üretmek mümkün olmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi ise; problemin geometrisinin, malzeme özelliklerinin ve yükleme durumunun sonlu elemanlar paket programına veri olarak girilmesi ile problemin simülasyonunun gerçekleştirildiği bir sayısal analiz yöntemidir. Bu analizlerin doğruluğu, büyük ölçüde sonlu elemanlar paket programına girilen geometri, malzeme özellikleri ve yükleme durumunun gerçekliliğine bağlı olmaktadır (Soyel 2008).

Mühendislik problemlerinin bilgisayar destekli çözümünde sonlu elemanlar yöntemi vazgeçilmez bir hale gelmiş ve bu yöntem temelinde hazırlanan çok kapsamlı paket programlar yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. ANSYS programı ise bugün için tüm dünyada en çok kullanılan programlar arasında ilk sıralarda yer almaktadır.

Sonlu elemanlar yöntemi özellikle son yıllarda çok büyük bir gelişme kaydetmiştir. Bu yöntemde gerçek bir problem daha basit bir problem şeklinde modellenip çözüldüğünden yaklaşık çözüm bulunmaktadır. Esas itibarıyla basit olan bu maksatlı ve güçlü yöntem, bilim adamlarına ve mühendislere tamamen yeni bir alan açmıştır. Bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesiyle de çok yakın geçmişte zor ve karmaşık olarak bilinen problemler bu yöntemle daha kolay çözümler hale gelmiştir (İslamoğlu 1997).

Bu çalışmanın amacı, ağaç işleri endüstrisinde kullanılan bazı birleştirme metotları kullanılarak elde edilen numunelerin bilgisayar destekli 3 boyutlu yapısal analizler ve performans deneylerini kapsayan mühendislik yaklaşımının uygulanabilirliğini araştırmak, kuvvet altında meydana gelen hasarı gerçekçi olarak modelleyebilmek ve analiz edebilmektir. Strengç (Gerinim Ölçer) yardımıyla yapılan şekil değiştirme ölçümlerinin ve bilgisayarda yapılan gerilme analizlerinin birleştirme şekillerini geliştirmede kullanılabileceğinin gösterilmesi de amaçlanmaktadır.

1.2 LİTERATÜR ÖZETİ

Yapılan literatür taraması sonucunda makine, inşaat, dişçilik (ortodonti), jeoloji gibi farklı alanlarda çok değişik malzemeler ve metotlar kullanılarak Sonlu Elemanlar Metodu ve ANSYS uygulamalarına ilişkin bir çok çalışmanın yapıldığı tespit edilmiştir. Ancak özellikle Türkiye’de, ahşap ve türevlerine ilişkin çok sayıda deneysel çalışma olmasına karşın, sonlu

elemanlar metodu ve ANSYS uygulamalarına ait çok az çalışma olduğu belirlenmiştir. Aşağıda tez konusuna ilişkin geçmiş yıllarda yapılmış olan çalışmalar kronolojik olarak ham bir literatür özeti halinde sunulmuştur.

Engleson (1973), çalışmasında birleştirme yapılacak malzemelere yeterli miktarda tutkal kullanmanın kavala çekme mukavemeti üzerinde etkili bir faktör olduğuna değinmiştir. Yonga levhalarla oluşturulan kavelalı köşe birleştirmelerle yaptığı deneylerin kıyaslanmasında elde ettiği veriler, tutkalın hem kavala yüzeylerine hem de kavala deliği duvarlarına sürülmesinin, sadece kavala deliği duvarlarına sürülmesine kıyasla birleştirmelerin mukavemetini % 35 arttırdığını bildirmiştir. Gawroński (2006), çalışmasında mobilyaların köşe birleşmelerinde kullanılan zivanalı birleştirmelerin sonlu elemanlar metodu ile PVAc tutkalı ve kayın ağacını analiz etmişlerdir. Analiz programında malzeme ile ilgili verileri tam olarak girmiş tutkal kalınlığında 0,15 mm olarak tanıtılmıştır. Deneyi sonlu elemanlar yöntemiyle laboratuvar deneyleri arasında sayısal hesapların sonuçları, % 9,8 farklılık çıkmıştır.

Eckelman (1979), ceviz odunundan farklı boyutlardaki kavelalarla hazırlanmış 60 adet deney örneğini karşılaştırmıştır. Tüm örnekleri üre-formaldehit tutkalı ile yapıştırılmıştır. Ayrıca çerçeve tipi ve kasa tipi kavelalı birleştirmelerde eğilme karakteristiklerini incelemiştir. Sonuç olarak, kavala çekme mukavemeti ile birleştirmenin konstrüksiyonunda kullanılan ahşap malzemenin liflere paralel makaslama direnci arasında güçlü bir ilişki olduğunu da tespit etmiştir. Kasa tipi birleştirmelerin, çerçeve tipi birleştirmelere göre daha mukavemetli, kayıt kalınlığı 20 mm olan birleştirmelerin, kayıt kalınlığı 25, 30 ve 38 mm olanlara göre 14 kat daha esnek olduğunu bildirmiştir.

Hayashi ve Eckelman (1986), çalışmalarında demonte masa ayak–kayıt birleştirmelerde kayıt yüksekliği, civata ve vidaların etkisinden bağımsız olmak üzere birleştirme mukavemeti üzerinde en etkili faktör olduğunu belirtmektedirler.

Örs ve Efe (1998), mobilya çerçeve konstrüksiyon tasarımında uygulanan geleneksel ve alternatif birleştirmelerin mekanik özelliklerinin araştırıldığı çalışmada, sökölüp takılabilen bir birleştirme sağlayan alternatif bağlantı elemanlarıyla yapılan birleştirmelerin, rijit birleştirme sağlayan geleneksel tutkallı birleştirmelere göre daha başarılı olduğunu bulmuşlardır. Demonte edilmiş mobilyalarda multifiks ve minifiks bağlantı elemanları

kullanılmış birleştirmeler, geleneksel birleştirme çeşitlerinden kavelalı ve zıvanalı birleştirmelere göre daha iyi sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir.

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

Özçifçi ve Doğanay (1999), deneylerinde mobilya endüstri üretiminde çok kullanılan Doğu Kayını, Ladin ve Etiket Yonga Levha malzemelerini kullanmışlardır. Deneylerinde malzemeye liflere paralel ve dik olmak üzere vida ve çivi tutma dirençlerini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmalarında, vida tutma deneylerinde en yüksek çekme direncini kayın odununda elde etmiş, liflere dik yönde 20x35 boyutunda vida ile liflere paralel yönde 16x30 boyutunda çivi ile elde etmişlerdir.

Efe ve İmirzi (2001), çerçeve konstrüksiyonlu T birleştirmelerinin çekme dirençlerini karşılaştırdıkları çalışmalarında, Doğu kayını, sarıçam ve meşeden oluşan üç ahşap malzeme ile zıvanalı-tutkallı, kavelalı-tutkallı, minifiks-tutkalsız, vidalı-tutkalsız birleştirme çeşitleri kullanılarak oluşturulan numuneler, çekme deneyine tabi tutulmuş, ahşap malzeme türleri arasındaki başarı sıralaması Doğu kayını, meşe ve sarıçam şeklinde çıkmış, ayrıca demonte birleştirmelerin de sabit birleştirmelere göre daha başarılı olduğu belirtilmiştir.

Gökdemir ve Yıldız (2001), çalışmalarında TS 4905 “Ahşap birleştirmeler-zıvanalı birleştirme kuralları” standardına uygun olarak deney numuneleri hazırlamış ve hazırlanan deney numuneleri kereste cinslerine göre PVA tutkalı ile kapı üst seresinde köşede dik birleştirme yapılarak çekme dayanımını araştırmışlardır. Deney numuneleri için doğrama ve mobilya sektöründe yaygın olarak kullanılan kestane, çam ve kavak keresteleri kullanılmıştır. Çam kerestesinin ($1,009 \text{ N/mm}^2$), kavak ($0,5620 \text{ N/mm}^2$) ve kestane ($0,5467 \text{ N/mm}^2$) kerestelerinden daha fazla çekme dayanımı gösterdiğini bildirmişlerdir. Numuneler laboratuvar şartlarında basınç altında çekme deneyine tabi tutulduktan sonra bilgisayar ortamında düzlem gerilme kabulü ile sabit birim deformasyon elemanları kullanılarak sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilmiştir. Ülkemizdeki doğrama ve mobilya sektöründe bu tip bir geçme

uygulamasında çam kerestesinin kullanılması, kestane ve kavak kerestesine göre %50 oranında daha iyi sonuç vereceğini bildirmişlerdir.

Erdil (2002), çalışmasında okullarda kullanılan sıra ve sandalyelerin tasarımı ve analizlerini içeren deneylerini yapmıştır. Deney sonuçlarında uygun tasarımları ve ölçüleri elde etmiş, deney yönteminin uygun olduğunu bildirmiş, ayrıca sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan yapı analizlerinin karşılaştırılmasında mobilyanın genel mukavemeti bakımından uygun değerler sağladığını belirtmiştir.

Eckelman vd. (2002), çalışmalarında zig zag yaylarla döşenen bir kanepenin iskeleti tasarımının, zig zag yayların basite indirgenerek analiz edilmesi gerektiğini bildirmişlerdir. Sonlu elemanlar metodu analiziyle yaptıkları çalışmada, masif ahşap malzemeden olan ön kayıt yerine bu elemana yapısal olarak eşdeğer sayılabilecek bir paralel tel sistem konulduğunu varsaymışlar, bu modelde tel kirişler kayıtın düzlem yüzey dışı yüklemesini temsil ederken, diyagonal elemanlar da kayıtın burulma hesabında kullanılmıştır. Böylelikle, malzeme karakteristiklerine ilişkin verilere olan ihtiyaç en alt düzeye indirilmiştir. Sonuç olarak, sadece kayıt malzemesinin maksimum eğilme direnci, elastikiyet modülü ve rijitlik modülü kullanılarak analizin gerçekleştirilebildiğini kanıtlanmıştır.

Smardzewski (2002), çalışmasında 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 tutkalın kayma direnci ve birleştirmelerin yapıldığı ahşap türünün basınç direnci etkilidir. Ayrıca zıvanalı birleştirmenin sıkı bir şekilde yerleştirilmesiyle, tutkal hattındaki gerilmelerin azaldığı ve dolayısıyla mukavemetin arttığı bildirilmiştir.

Burdurlu vd. (2003), çalışmalarında masa ve sehpa gibi mobilyalarının ayak-kayıt birleştirmelerinde uygulanan ayak-kayıt birleştirme ve köşe takozu bağlantı tipinin eğilme direnci üzerine etkilerini araştırmışlardır. Uygulamada daha çok tercih edilmeleri nedeniyle zıvanalı ve kavelalı olmak üzere iki adet ayak-kayıt birleştirme tipi, kınıklı ve vidalı olmak üzere iki adet köşe takozu bağlantı türü seçilmişlerdir. Köşe elemanlarının bağlanmasında

PVAc tutkalı kullanılmış. Eğilme direnci tespiti için ISO 6237 standardına uygun olarak Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky)'ndan 40 adet numune hazırlanmış ve numunelere Seider eğilme cihazında eğilme testi uygulamışlardır. Deney sonuçlarına göre en yüksek eğilme direnci (6,054 N/mm²) kavelalı birleştirmede elde edilmiştir. Eğilme direnci açısından bakıldığında kavelalı birleştirmenin zıvanalı birleştirmeye oranla daha az direnç göstermesinin yüzey alanınının 1,41 kat daha fazla olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Efe vd. (2003), çerçeve konstrüksiyonlu mobilyada silindirik zıvanalı birleştirme kullanarak, iki adet okul sandalyesini “devirli basamaklı yük metodu” ile test etmişlerdir. Deney numunelerini sonlu elemanlar metodu ile analizlerini yapmışlardır. Araştırmanın sonuçlarına göre sonlu elemanlar metodu ile elde edilen analiz sonuçlarını değerlendirdiklerinde mobilyanın mukavemeti açısından tahmini değerler sağladığını tespit etmişlerdir.

Tankut ve Tankut (2005), zıvanalı birleştirmelerdeki zıvana uçlarının düz ve yuvarlatılmış olarak kıyaslamasının yapılarak, yuvarlatılmış zıvana ucunun %15 daha dirençli olduğunu belirtmişlerdir.

Şen ve Yeşilkaya (2005), ahşap yapılarda kullanılan (sarıçam, köknar, ardıç) ahşap malzemelerle değişik boy birleştirmeler yapılarak çekme mukavemeti özellikleri araştırılmıştır. Numunelerin birleştirilmesinde polivinilasetat (PVA) yapıştırıcısı kullanılmıştır. Yapılan deneylerde en iyi sonucu bindirmeli boy birleştirme vermiştir. Yapım olarak da en kolay yapılan boy birleşimde bindirmeli boy birleşimdir. Boy birleştirme türlerinden bindirme boy birleştirme tercih edilebilir. Birleştirme türlerinde en iyi performansı sarıçam vermiştir. Ahşap türlerinden de sarıçam önerilmiştir.

Dursun (2006), cıvata bağlantılı tabakalı kompozit levhaların çekme kuvveti altındaki davranışlarını incelemiş, meydana gelen hasar biçimlerini belirleyebilmek için maksimum yük taşıma kapasitelerini doğru şekilde hesaplayabilmek amacıyla üç boyutlu hasar ilerleme modellenmesi yapabilen bir program geliştirmiştir. Geliştirdiği program ile ANSYS programını beraber kullanıp, gerilme ve hasar analizleri yapmıştır. Sonlu eleman analizlerinde cıvata, kompozit levha ve metal levhalar üç boyutlu ve elastik olarak modellenmiş, cisimler arasında temas tanımlanarak gerilme analizlerini gerçekleştirmiştir. Gerilme analizleri bulgularına bakıldığında yazılan programın ANSYS ile birlikte uyumlu sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir.

Kasal vd. (2007), Masif ahşap ve ahşap kompozit malzemelerden üretilmiş çerçeve konstrüksiyonlu koltukların performansının araştırıldığı çalışmada, oturma mobilyası sektöründe ahşap kompozitlerin masif ahşap malzemeye alternatif olarak kullanılabilceğini belirtmişlerdir. Ahşap kompozit malzeme kullanımının kapalı döşeme gerektiren koltuk ve kanepelerde estetik sorunlar oluşturmayacağını, sökölür-takılır birleştirme tekniklerinin tasarım, üretim ve kullanımında esneklik sağlayabileceğini bildirmiştir. Ayrıca sonlu elemanlar metodu ile yapılan analizlerin, mobilyanın genel mukavemeti açısından makul tahmini değerler verdiğini tespit etmişlerdir.

Tankut (2007), çalışmasında tutkal hattı kalınlığı, yapıştırma tipi ve rutubet oranının, lamba-zıvana birleştirmenin direnç özellikleri üzerine etkisini araştırmıştır. PVAc, PÜ ve hayvansal tutkal kullanılmış ve bunlar 3 farklı tutkal hattı kalınlığında kombine edilmiştir. Sonuçlar, lamba-zıvana birleştirme arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermiştir. Erdil vd. (2005), çalışmalarında ahşap türü, yapıştırıcı çeşidi, zıvana derinliği ve zıvana uzunluğunun T-tipi zıvanalı birleştirmelerin eğilme direncine ve esnekliğine etkilerini incelemiş ve sonuç olarak; zıvanalı birleştirmelerin zıvana boyu ve derinliği arttıkça daha dayanıklı olduklarını göstermiştir. Ayrıca zıvana derinliğinin zıvana boyuna oranla birleştirmenin esnekliği üzerinde daha etkili olduğunu belirtmiştir.

Efe ve İmirzi (2007), çalışmasında mobilya endüstrisinde sık kullanılan masif ve ahşap kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile T-tipi birleştirmelerin performans özelliklerini araştırmışlardır. Deneylerinde sarıçam ve Doğu kayını, yonga levha, OSB, werzalit, suntalam, MDF kullanılmıştır. Mekanik bağlantı elemanı olarak ise eksantrik bağlantı elemanı (blum), trapez, minifix, yıldız ve alyan başlı vidalar ve ahşap kavela kullanılarak birleştirme örnekleri hazırlanmıştır. Deneylerde her bir birleştirme tekniği için bir bağlantı elemanı kullanılmış olup, malzeme türüne göre başarılı sıralaması en yüksek Doğu kayınında elde edilmiş, bunu sırasıyla kontrplak, werzalit, MDF, OSB, sarıçam, suntalam, kaplamalı yonga levha ve yonga levha izlemiştir. Sonuç olarak malzeme türlerine göre istatistiksel anlamda; kontrplak ve werzalit, MDF ve OSB, sarıçam ve suntalam, sunta ve suntalam değerleri yaklaşık değerler elde edilmiştir. Birleştirme türüne göre yük karşısındaki performansı değerleri karşılaştırıldığında ise en yüksek direnci kavelalı birleştirmeler vermiştir.

Kılıçalp (2007), kutu mobilyalarda bazı modüler bağlantı elemanları ile yapılan köşe birleştirmelerin diyagonal basınç ve diyagonal çekme dirençlerini belirlemek amacıyla Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.), Sariçam (*Pinus sylvestris* L.), MDF lam ve suntalam kullanmıştır. Deney örneklerinde meydana gelen deformasyon miktarını bilgisayar ortamında Sonlu Elemanlar Metodu (ANSYS Multiphysics) ile analiz edilerek teorik modelleme yapmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda uygulamalı deneylerden elde edilen deformasyon miktarının, teorik modelleme ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Deneylerindeki sonuçlarla ANSYS’deki sonuçlara bakıldığında ahşap malzeme kullanılarak yapılan köşe birleştirmelerindeki diyagonal basınç ve çekme deneylerinde yaklaşık olarak %90, kompozit malzeme kullanılarak yapılan köşe birleştirmelerdeki diyagonal basınç ve çekme deneylerinde yaklaşık olarak %80 doğrulukta tespit edilmiştir. Buna göre, hem SEM’de hem de basınç ve çekme deneylerinin birleşme noktalarında oluşan açılma miktarı yaklaşık 2–3,5 mm ölçülmüştür. En yüksek basınç direnci Doğu kayınından üretilen çift çektirmeli bağlantı elemanında; en düşük, suntalamdan üretilen kendinden plastik dübelli metal minifiks bağlantı elemanında elde edilmiştir. En yüksek çekme direnci, Doğu kayınından üretilen çift çektirmeli Sonlu Elemanlar Metodu (SEM) ile elde edilen moment-rotasyon değerleri ile laboratuarda yapılan statik yükleme testlerinden elde edilen moment-rotasyon değerleri karşılaştırılmıştır. SEM modelleri ile uygulamalı test sonuçları birbirine çok yakın değerler vermiştir. Deney çeşidi bakımından; en yüksek direnç diyagonal çekmede, en düşük diyagonal basınçta bulunmuştur. Deney çeşidi bakımından direnç sıralaması diyagonal çekme ve diyagonal basınç şeklinde olmuştur. Malzeme türü bakımından; en yüksek direnci doğu kayınında, en düşük direnci ise suntalamda bulunmuştur. Doğu kayınındaki direnç, suntalam’dan yaklaşık %155 daha fazla çıkmıştır.

İşcan (2007), çalışmasında “Z” şeklinde bükülmüş çelik sacları, yapıştırıcı ile birleştirip gerilme analizlerini incelemiştir. Çalışmasında yapıştırıcı kalınlığını 0.20 mm ve bindirme açısını (45°) alarak bindirme mesafesini değiştirip analiz gerçekleştirmiştir. Analizde sonlu elemanlar metodu (SEM) kullanılmıştır. Bu metodun en yaygın programı olan ANSYS (10.0) tercih edilmiştir. Analiz sonuçları ile deneysel sonuçları grafiklerle karşılaştırmıştır. Sonuçların oldukça iyi bir uyum gösterdiklerini belirtmiştir. Çalışmasında yapıştırıcı ile birleştirilmiş Z şeklindeki bağlantıların çekme yüküne maruz halde oluşan gerilme dağılımları incelenmiştir. Bindirme mesafesinin açısız kısmı “b” açılı kısmı ise “a” olarak tanımlanmıştır. a bindirme mesafesi sabit iken b bindirme mesafesinin değiştirilmesiyle gerilmeler üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Ertay (2007), çalışmasında gerinim ölçer teknolojisini ile gerilme analizi yöntemlerini, endüstri ürünleri tasarımında nasıl kullanılabilirlerini araştırmıştır. Tasarlanmış oturma elemanı yapılan ölçüm ve analiz sonuçlarına göre eksiklikleri giderilmiş ve yeniden tasarlanmıştır. Yeniden tasarlanan ürün üzerinde aynı yöntemlerle çalışma yapılmıştır. Endüstri rnleri tasarımında güçlü olmayan veya sorunlu bölgelerin tespitinde ve geliştirilmesinde analiz programlarının yararlı olabileceği gözlenmiştir. Tasarımın, ürünün mukavemeti, malzeme seçimi ve dengesi göz önünde bulundurularak yapılmasının önemini vurgulamıştır. Deneylerinde kullanılan sandalye de oluşan gerilmeleri Abaqus programı ile incelemiş çıkan fazla gerilmeleri değerlendirerek tekrar modelleme yapmıştır. Gerilmeleri sandalye yüklemeleriyle incelemiş farklı kg'larda yükler koymuş ve oluşan gerinimleri strengler yardımıyla ölçmüştür. Gerinimlerden elde edilen sonuçları gerilim MPa'a çevirmiş ve malzemedeki gerilimi bulmuştur. Gerilimin fazla oluştuğu bölgeler tekrar gözden geçirilerek sandalyenin tekrar modellenmesi yapılmıştır.

Solmaz ve Turgut (2007), çalışmalarında bir düzlem taşıyıcı sistemin ANSYS paket programı kullanılarak yapısal tasarım optimizasyonunu gerçekleştirilmişlerdir. Uygulama olarak 47 elemandan oluşan düzlem bir güç iletim kulesi göz önüne alınmıştır. Elastik davranış kabul yapılmış ve yapının uygulanan yükleri emniyetli bir şekilde taşıyabilmesi için yapısal tasarım optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Son olarak taşıyıcı sistemin ve taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların optimum geometrik boyutları belirlenmiştir. Optimizasyon işlemi sonucunda düzlem taşıyıcı sistemin toplam ağırlığı %60 oranında azalmıştır. Yapılan rnek uygulamadan hareketle mühendislerin amaç ve taleplerine uygun daha hafif yeni tasarım geometrileri elde etmenin mümkün olduğu gösterilmiştir.

Kasal vd. (2007), çalışmalarında tutkalsız-vidalı olarak birleştirilmiş ahşap ve kompozit malzemelerin üç farklı yan ereve tipi oluşturularak deneysel ve sonlu elemanlar analizini yapmışlardır. Denemelerinde koltuk iskeletleri kullanım esnasında maruz kalabilecekleri muhtemel yükleme biçimine göre TS 9215 de belirtilen kurallara uyularak statik oturma ve arkalık yüklemeleri ile denemişlerdir. Koltuk iskeletlerinin yapısal zm için sonlu elemanlar analizi (Finite Element Analysis) yöntemi kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre, üç farklı yan ereve tipi ile oluşturulmuş koltuk iskeletleri farklı mekanik özellikler göstermişler ve sonlu eleman analizinin uygun değerler verdiğini tespit etmişlerdir. Malzeme çeşidine göre, deformasyon özelliklerinde çok önemli farklılıklar görülmediğini bildirmişler fakat deformasyon miktarlarında farklılıklar gözlenmiştir. Eğilme direnci yüksek olan

malzemelerden üretilen koltuk elemanlarının daha az, düşük eğilme direncine sahip malzemelerden üretilmiş koltuk elemanlarının ise daha çok deforme oldukları gözlenmiştir. Sonuç olarak mobilyalarda kritik noktaların birleştirmeler olduğunu, eğilme direnci yüksek malzemelerle daha mukavemetli birleştirmeler yapılabileceğini belirtmişler ve sonlu elemanlar analizini uygulamanın mukavemet yönünden yararlı olacağını bildirmişlerdir.

Mihăilescu (2008), sonlu elemanlar programı ANSYS programı yardımı ile zıvanalı birleştirme yapılmış ve yapılan zıvana bağlantılarının optimum ölçüleri elde edilmeye çalışmıştır. Deney örneklerinin hazırlanmasında kayın ağacı kullanılmıştır. Malzemeye uygulanan yük karşısında zıvana ölçülerinin bağlantı mukavemetini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.

Özçifçi vd. (2008), kutu mobilyalarda kullanılan bazı modüler bağlantı elemanları ile yapılan köşe birleştirmelerin diyagonal basınç ve diyagonal çekme dirençlerini belirlemek amacıyla çalışma yapmışlardır. Bu maksatla Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), suni reçine ile kaplanmış lif levha (MDF lam) ve suni reçine ile kaplanmış yonga levha (sunta lam) kullanılarak elde edilen köşe birleştirmelere TS 5913 ve ASTM 1037 standartlarına uygun diyagonal basınç ve diyagonal çekme direnci testleri uygulanmıştır. Deneylerinde en yüksek basınç direnci doğu kayınından üretilen çift çektirmeli bağlantı elemanında (1530,61 N); en düşük, suntalamdan üretilen kendinden plastik dübelli metal minifiks bağlantı elemanında (117,87 N) elde edilmiştir. En yüksek çekme direnci, Doğu kayınından üretilen çift çektirmeli bağlantı elemanında (2668,92N); en düşük, suntalamdan üretilen kendinden plastik dübelli metal minifiks bağlantı elemanında (316,66 N) elde edilmiştir. Buna göre, mekanik bağlantı elemanları ile yapılan köşe birleştirmelerde çift çektirmeli bağlantı elemanı avantaj sağladığı görülmüştür.

Özgan ve Kap (2008), düz zıvanalı, düz zıvanalı-kavelalı, gizli zıvanalı, gizli zıvanalı-kavelalı birleştirme teknikleriyle oluşturulan köşe birleştirmelerin eğilme momenti etkisi altındaki performanslarını incelemiştirlerdir. Ortalama bileşik basınç gerilmesinin düz zıvana kavelalı olarak birleştirilen çam ağacında, buna karşılık eğilme etkisindeki en düşük ortalama basınç gerilmesinin ise gizli zıvana kavelalı olarak birleştirilen köknar ağacında meydana geldiği belirlenmiştir.

Ban vd. (2008), kompozit elemanların yapılarının bağlanmasında kullanılan yapıştırıcıların sonlu elemanlar metodu ile katmanlar halinde bağlantı kurularak tanımlamışlardır. Yapılan uygulamalı deneylerle sonlu elemanlar metodunda yapılan testlerde yapıştırıcı bağlantısında % 20 farklılık çıktığını bildirmişlerdir.

İyiiiş (2009), kutu konstrüksiyonlu mobilyalarda yaygın olarak kullanılan köşe birleştirme tekniklerinden olan kavelalı ve kavelalı-vida köşe birleştirmelerin, moment taşıma performanslarının deneysel olarak araştırılması ve ABAGÜS ile analizi yapılmıştır. Deneyde malzeme olarak MDF ve yongalevha kullanılmıştır. MDF ve sunta kullanılarak elde edilen köşe birleştirme numuneleri diyagonal basınç ve diyagonal çekme testlerine tabi tutmuştur. Yapıştırıcı olarak PVAc tutkalı kullanmıştır. Birleştirme tekniği ve malzeme çeşidinin ikili etkileşimine göre en iyi sonucu MDF malzeme üzerine kavelalı vidalı birleştirme vermiştir. Ampirik deneyler, üç boyutlu Sonlu Eleman Analizi (SEM) ile yapılan bilgisayar destekli analizlerin sonuçları ile karşılaştırılmış, %3-5 hata payı ile tüm sonuçların birbirleri ile örtüştüğünü bildirmiştir. Kullanılan malzemeye göre MDF, yonga levhaya göre %20 daha rijit olduğu görülmüştür. Yonga levha ile üretilen kavelalı birleştirmeler ise düşük sonuç vermiştir. Basınç deneylerinde yük-yer değiştirme sonucu elde edilen rijitlik değerleri ve sonlu elemanlar programında elde edilen rijitlik değerleri sonuçlarına göre, sonlu elemanlar programının ve deney sonuçlarının % 0,7 ile % 16,4 aralığında bilgisi verilmiştir. Konstrüksiyon bakımından kavelalı birleştirmeler kavelalı vidalı birleştirmelere kıyasla daha kısa sürede kırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda bilgisayarda oluşturulan sonlu eleman modelinin gerçek davranışa oldukça yaklaştığı fakat deney elemanına göre bilgisayar modelinin daha rijit davrandığını bildirmişlerdir.

İmirzi ve Efe (2009), çalışmalarında 14, 16 ve 18 mm kalınlığında yonga levha (YL), orta yoğunlukta lif levha (MDF) ve okume kontrplak (OKP) kullanarak “L” tipi olarak üretilmiş kutu konstrüksiyonlu mobilya köşe birleştirmelerinde kavela ve kavelalı vidalı birleştirmeler kullanarak birleştirmelerin mukavemet özelliklerini araştırmışlardır. Birleştirmelerin sonlu elemanlar analizini yapmışlar ve elde edilen sonuçları deneylerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucunda sonlu elemanlar metodu ile yapılan analizlerden elde edilen verilerin gerçek değerlere yaklaştığını tespit etmişlerdir. Analizlerin sonucunda vidalı birleştirmelerin kavelalı birleştirmelere göre daha uzun sürede deforme olduğunu ve kontrplak ve MDF ile üretilen kavelalı-vidalı birleştirmenin daha fazla yük taşıdığını tespit etmişlerdir.

Altınok vd. (2009), çalışmalarında tek ve çift zıvanalı doğrama köşe birleştirmelerinde ağaç türü, presleme yönü ve tutkal çeşitlerinin diyagonal basınç dayanımına etkileri araştırmışlardır. Deney örneklerinin hazırlanmasında sarıçam ve Uludağ göknarı odunları, zıvanaların yapıştırılmasında PVAc-D3 ve PVAc-D4 tutkallarını kullanmışlardır. Deney numunelerine diyagonal basınç deneyi uygulamışlardır. Verilen Sonuçta en yüksek diyagonal basınç dayanımı, PVAc-D3 tutkallı kenar+yüzeyden preslenmiş çift zıvanalı sarıçam örneklerde, en düşük ise, PVAc-D3 tutkallı kenardan preslenmiş tek zıvanalı göknar örneklerde elde edilmiştir.

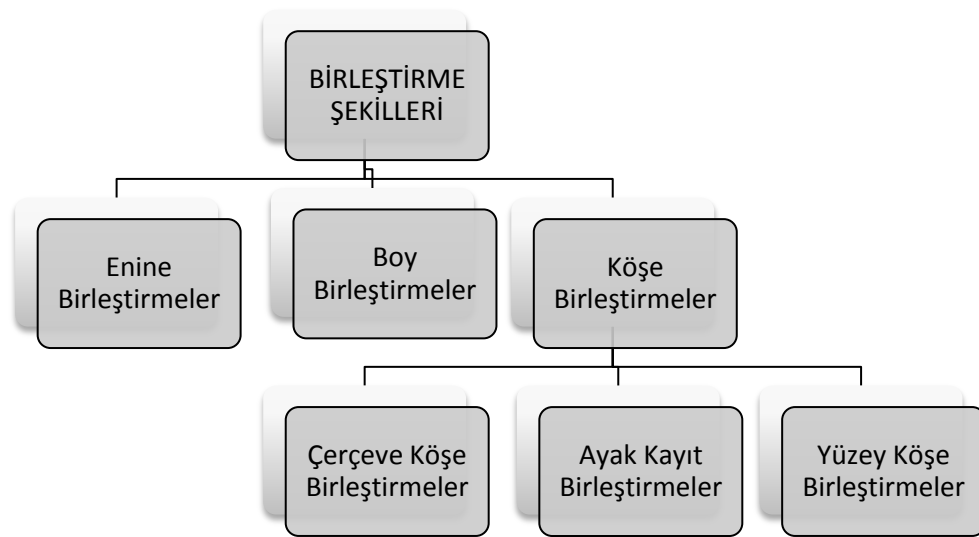
Tankut ve Tankut (2009), çalışmalarında PVC, melamin ve odun kaplamaları, kenar bantlama materyalinin kalınlıkları ve sentetik reçine kaplı MDF ve sentetik reçine kaplı yonga levha odun kompozit panel türlerinin diyagonal basınç ve çekme direnç özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. L tipi köşe birleştirmelerde yapılan deneylerde diyagonal çekme direnci, diyagonal basınç direncinden yüksek bulunmuştur. Sentetik reçine kaplı MDF köşe birleştirmeleri, sentetik reçine kaplı yonga levha köşe birleştirmelerinden daha dirençli sonuç verdiğini bildirmişlerdir.

Karabulut (2010), çalışmasında çerçeve konstrüksiyonlu “T” tipi köşe birleştirmelerinde farklı bağlantı elemanlarının mukavemet özellikleri araştırmıştır. Deneylerinde ahşap malzeme olarak Doğu kayını kullanmıştır. 2 deney türü, 1 ahşap türü, plastik ‘L’ köşe bağlantı, minifiks, metal ‘T’ bağlantısı, eğri metal ‘T’ çektirme bağlantı elemanı olmak üzere 4 farklı bağlantı elemanı ile deney örneklerini hazırlamış ve TS 5913 standardına uygun olarak diyagonal basınç ve diyagonal çekme testi uygulamıştır. Deney örneklerinin modellemesini Solidworks paket programı ile analizler ANSYS 12.1 Workbench yapılmış ve deney sonuçları ile analiz verileri karşılaştırmıştır. ANSYS paket programına ortalama direnç değerleri uygulamıştır. Deney sonuçları ile analiz sonuçları arasında % 88,7 uyum gözlenmiştir. ANSYS bilgisayar programı ile yapılan analizler testlerden elde edilen sonuçlara göre daha ayrıntılı olarak elde edildiğini bildirmiştir. Deney sonuçlarına göre en yüksek basınç direnci plastik ‘L’ birleştirme elemanı ile (622,733 N) en düşük basınç direnci minifiks birleştirme elemanı ile (400,5 N) elde edilmiştir. En yüksek çekme direnci eğri metal ‘T’ çektirme birleştirme elemanında (1693,4 N) elde edilmiştir. En düşük çekme direnci minifiks ile (470,6 N) yapılan birleştirmelerden elde edilmiştir. Deneylerinde kullandığı malzemelerde meydana gelen ezilmeler, sonlu eleman analizinde elde edilen sonuçlarla benzerlik taşımakta ve aynı bölgede gerilmelerin yoğun olduğunu gözlemlemiştir.

Yörür vd. (2010), çalışmalarında ahşap lamine malzemelerin iç ve dış ortam şartlarında uzun süre dayanıklı kalabilmesini sağlamak için ahşap malzeme çeşitli emprenye maddeleriyle muamele edilmektedir. Bu işlem sonrasında malzemenin rutubet arttığı için ahşap malzemenin birbirlerine tutunma yetenekleri düşmektedir. Yapışma direncinin artmasıyla daha mukavemetli malzemeler elde edilmektedir. Yapışma direncinin zayıflığını engellemek için yapışmayı etkileyen faktörlerin bilinmesi önem arz etmektedir. Çalışmada yapışmayı etkileyen en önemli faktörler araştırılmışlardır.

1.3 MOBİLYA VE YAPI ELEMANLARINDA KÖŞE BİRLEŞTİRMELER

Mobilya ve yapı elemanlarında farklı özellikler ve fonksiyonlar değişik birleştirme yöntemleri ile sağlanabilmektedir. Bu birleştirme yöntemlerinde, mobilyada kullanılan malzemeye, birleştirme şekline, birleştirme şeklinin oluşturduğu mukavemete ve elemanların sökölüp takılabilir olmasına göre değişik şekiller uygulanabilir. Mobilyada veya yapı elemanlarında birleştirme şeklinin seçimi, özellikle mukavemet, malzeme, zaman gibi üretimi doğrudan etkileyen faktörlere bağlıdır. Bu nedenle yapılacak birleştirmenin kullanım yerine göre sınıflandırması yapılmalıdır (Kurtuluş vd. 1993). Ağaç işleri endüstrisinde birleştirmeler, ahşap malzemeyi değerlendirmek, daha geniş yüzeyler elde etmek ve bir mobilyayı meydana getirmek için tutkal haricinde yabancı gereç kullanmadan mobilya elemanlarını birleştirmek için kullanılır (Kürel 1998). Şekil 1.4’de birleştirme şekillerinin sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 1.4 Birleştirme şekillerinin sınıflandırılması (Kurtuluş vd. 1993).

En birleştirmeler;

Ahşap malzemelerde enine birleştirmeler, malzemenin boyuna yöndeki dar yüzeylerinin aı yapmayacak şekilde sklp takılabilir veya sabit olarak birleştirilmesidir. Bu tip birleştirmelerde malzeme arasında genişlik ölçüleri farklı olabilir ancak kalınlık farkı olmamalıdır.

Boy birleştirmeler;

Aća malzemenin sınırlı boyda olması endüstride kullanımını da etkilemektedir. Uzun malzeme elde edebilmek için boyuna yönünde ekleme yapılmaktadır. Fakat ahřap malzemelerde dićer birleřtirme yönlerindeki gibi yüzey birleřtirmesi yani maktan birleřtirmek zordur ve mukavemeti düřüktür (Kurtoćlu vd. 1993).

Köşe birleştirmeler;

Birleřtirme elemanın köře çizgisi, geniş yüzeye paralel ise yüzey köře, dik ise ereve köře birleştirme olarak adlandırılır. Uygulama alanları, kapı, pencere, iskelet birleştirmeleri yani aćır yüke maruz kalan köře birleştirmeleridir. Ayak kayıt birleştirmeleri masif aćalardan yapılır. Ayak kayıt birleştirmeleri sandalyelerde ve koltuklarda kullanılmaktadır (Kurtoćlu vd. 1993). Mobilya konstrüksiyonlarında baćlayıcı olarak tutkal, pim, çivi, vida, ektirme gibi baćlayıcı elemanlar kullanılmaktadır. Eski mısır mobilyalarında yapılan birleştirmelere bakıldıćında mobilya elemanları ıslak keten ipi ile sıkı bir şekilde baćlanıyordu. Islak keten ipi kurudućunda gerilmenin etkisiyle parçalar daha fazla sıkışıyordu. Keten ipinden sonra çiviler ve basit pimler kullanılmıştır. Daha sonra ahşap geçmeler yapılmıştır. Gemelerle birlikte hayvansal tutkalların kullanılması birleşme noktalarının saćlamlıćını arttırmıştır. Yapıştırıcı olarak ise hayvansal ve bitkisel olan tutkallar birleştirmelerde kullanılmıştır. Ahřap konstrüksiyonun bazı birleştirme yöntemleri de bu dönemde uygulanmıştır. Geniř tablalar dar parçalardan, kinişli, kavelalı ve yabancı ıtalı olarak hazırlanmış, zıvanalı ve kırlangi kuyruću geçmeler, gnyeburun birleştirmeler yaygın olarak kullanılmıştır (şanıvar ve Zorlu 1998). Zıvanalı ve kavelalı birleştirmeler yine basit ve kolay kullanımdan dolayı tercih edilmiştir.

Günümüz mobilyasında ektirme, hızlı yapıştırıcı gibi teknolojik ürünler kullanılmaktadır. Bu rnlerin saćlamlıćı kullanılan hammaddenin özelliklerine ve bileşim oranlarına baćlıdır. Genellikle erevesiz masif ahşap malzemeden yapılp birbirlerine zıvanalı ya da kavelalı birleştirilir. Çerçevesiz kutular normal olarak kenar levhalarına alt ve üst levhaları baćlamak

için kavelalı birleştirilir. Çerçevesi kutularda eğilme direnci, elemanların rijitlikleri ve birleştirmelere bağlıdır. Her iki sistemin de davranışları birbirinden farklıdır (Kürelî 1998). Ahşap malzemenin birleştirilmesinde piyasada yaygın kullanıma sahip olan kavelalı ve zıvanalı birleştirme türleridir.

1.3.1 Kavelalı Birleştirme Tekniğı

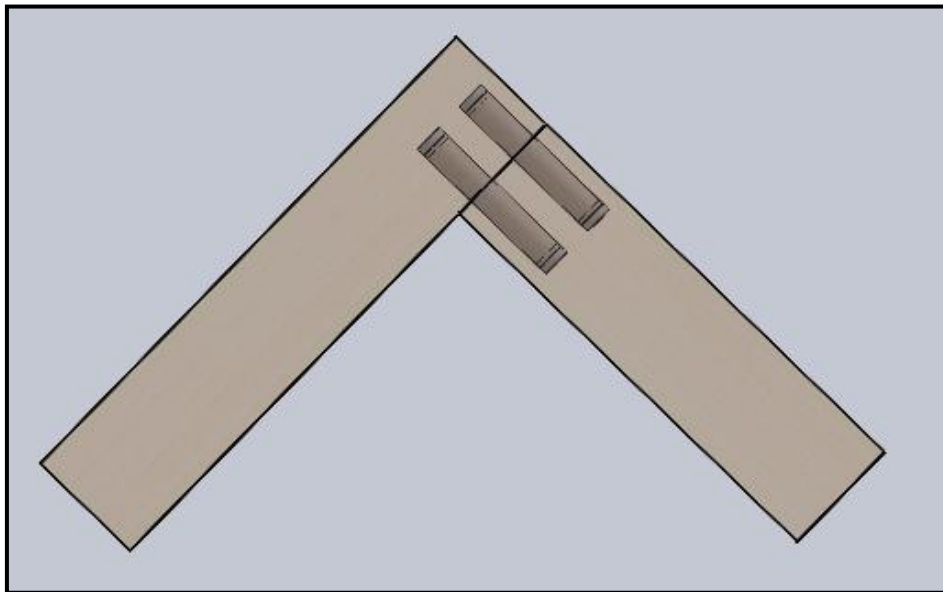
Kavela, iki ahşap elemanın birleştirilmesinde kullanılan silindirik biçimde ağaç parçasıdır. Pah, kavelanın alın çevresinde 45 derece kırılmak sureti ile meydana getirilen dar yüzeydir. Havşa, kavela deliğinin ağız kısmında meydana getirilen 45 derecelik dar yüzeydir. Kavelalı birleştirme, kavela kullanmak suretiyle iki elemanın köşe, en, boy veya gönyeburun şeklinde birleştirilmesidir (TS 4539).

Kavelalar, yapraklı sert ağaç kerestelerinin düzgün lifli ve sağlam olanlarından silindirik biçimde hazırlanmalıdır. Kavelaların üzerinde tutkal yüzeyini artırıcı yivleri olmalıdır. Alın kısımlarında çakılacağı deliğın taban alanına uygun şekilde pah kırılmalıdır. Kavela deliklerinin ağız kısımlarına havşa açılmalıdır. Kavela delikleri özel haller dışında birleştirme yüzeylerinin orta kısımlarında açılmalıdır. Kavela çapları, çakıldıkları parça kalınlığının 1/2-1/3 kadar olmalıdır. Kavela delikleri çakıldıkları parçanın köşesinden en az parça kalınlığı kadar içeriden başlamalıdır. Kavelaların rutubeti % 7 olmalıdır. Kavela deliklerinin derinliğı lif yönünde en az parça kalınlığı, liflere dik yönde ise parça kalınlığının en az 2/3 kadar olmalıdır. Kavela, kavela deliğinin tabanına oturmalıdır. Kavela, birleştirileceğı parçadaki delik boyundan 1 mm kısa hazırlanmalıdır. Kavelalar birleştirilecek elemanın kalınlığına göre 6-8-10-12 mm çaplarında 30-60 mm boylarında olmalı ve Tablo 1.1’de gösterilen aralıklarda kullanılmalıdır (TS 4539).

Tablo 1.1 Birleştirmede kullanılan elemanların kalınlığına göre kullanılacak kavelaların çap, boy ve aralıkları (TS 4539).

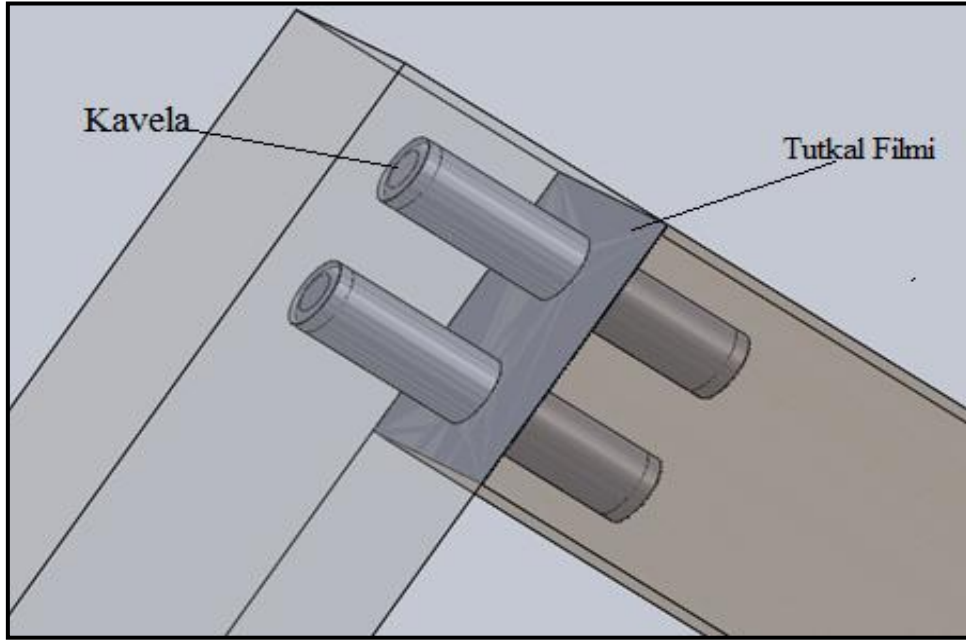
Elemanın Kalınlığı (mm)	Kavelanın apı (mm)	Kavelanın Boyu (mm)	Kavelalar arası En az ve En çok uzaklık (mm)
10	6	30	10 – 100
12	6	30	12 – 120
14	6 – 8	40	14 – 140
26	8	40	16 – 160
18	8 – 10	50	18 – 180
20	10	50	20 – 200
25	10 – 12	60	60 - 600

Kavela çapları akılacağı deliğın çapından % 4 daha kalın olarak hazırlanmalıdır. Kavelaların alın kısımlarında törpü veya boy kesme makinesi ile pah kırılmalıdır. Kavela deliklerinin ağız kısımlarına havşa matkabı veya düz kalemle havşa açılmalıdır. Kavela delikleri ve kavelaya yeterli tutkal sürülmelidir. Kavelalar, kavela deliğinin tabanına oturacak şekilde akılmalıdır. Kavela delik tabanına oturduktan sonra deliğın ağız kısmında toplanan talaş parçaları buradaki havşadan dışarı taşmamalıdır ve delik çevresini atlatmamalıdır. Tutkal sürülerek birleştirilen elemanlar tutkal ve malzemenin özeliğine göre basınç altında belli bir süre bekletilmeli ve basınç merkezleri kavelalar üzerinde olmalıdır (TS 4539). Uygulanmadaki kolaylığınan dolayı mobilya üretiminde en çok tercih edilen birleştirme çeşidi kavelalı birleştirmelerdir. şekil 1.5’de deneylerde kullanılan kavelalı birleştirme tekniğı gösterilmiştir.



şekil 1.5 Kavelalı birleştirilmiş ahşap parça.

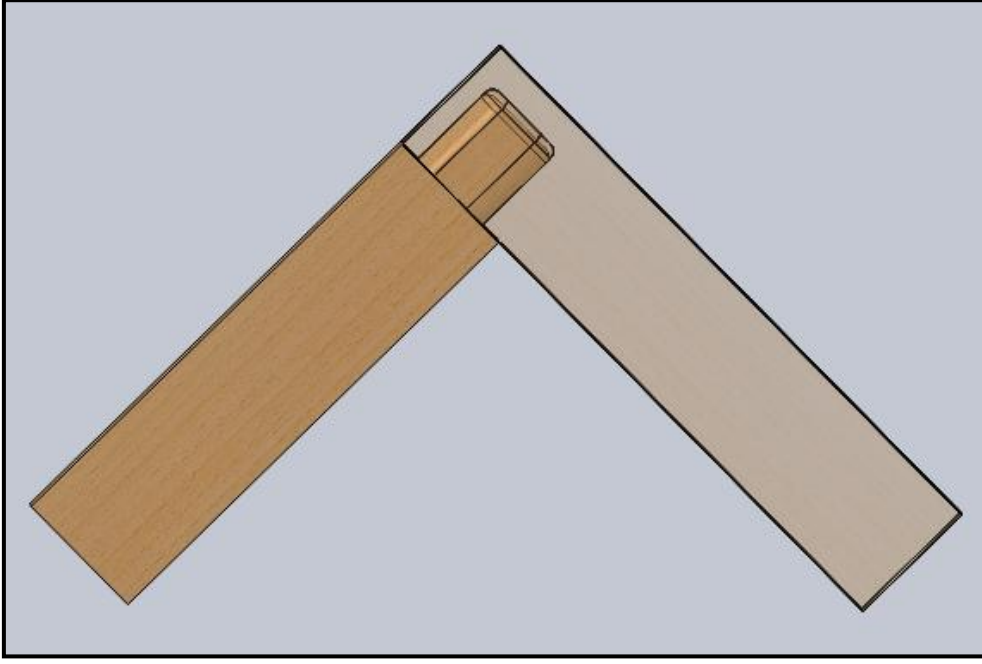
Kavelalı birleştirme yapılan yüzeyler birbirine iyice alıştırılmalıdır. Tutkal sürülerek pekiştirilen yüzeylerde 0,1 mm den daha fazla tutkal katmanı bulunmalıdır (TS 4539). Kavelanın kalınlığı (çapı) en fazla parça kalınlığının yarısı kadar ve uzunluğu ise parça kalınlığından biraz fazla olmalıdır (Megep 2006). Şekil 1.6’da deneylerde kullanılan kavelalı birleştirme gösterilmiştir.



Şekil 1.6 Kavela ve tutkal.

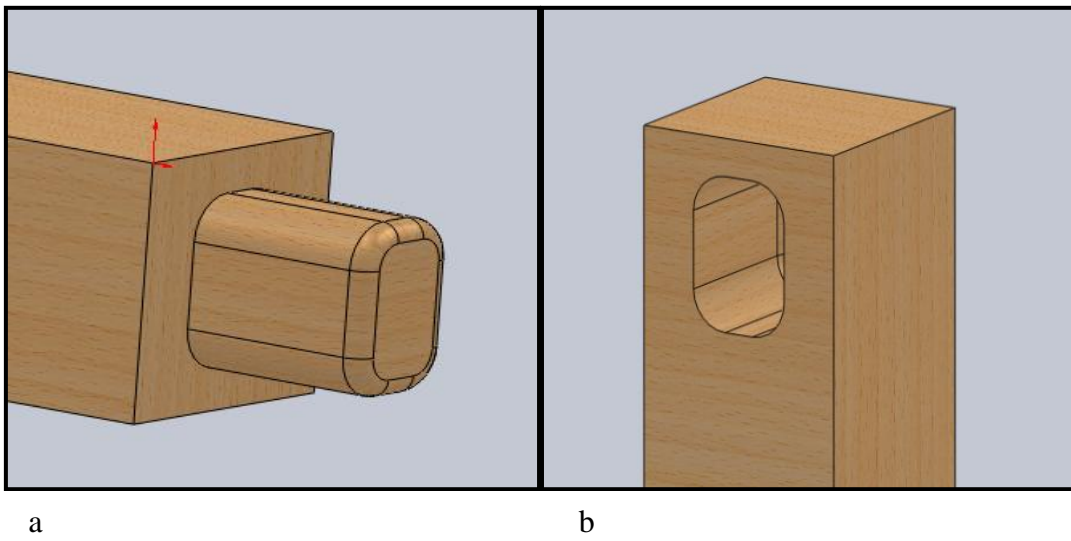
1.3.2 Zıvanalı Birleştirme Tekniği

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. Şekil 1.7’de deneylerde kullanılan zıvanalı birleştirme tekniği gösterilmiştir.



Şekil 1.7 Zıvanalı birleştirilmiş ahşap parça.

Bir elemanın ucunda yapılan zıvananın diğerelemanda açılan deliğe yerleştirilmesiyle yapılan birleştirme tekniği olarak tanımlanan zıvanalı birleştirmelerde tutkal her iki elemana da sürüldükten sonra sıkıştırılır. Zıvana, tatlı sıkılıkla yerleştirilir. Tutkal sıkma esnasında fazla basınç etkisiyle tutkalı dışarı atar. Zıvanaya $150\text{--}200\text{ g/m}^2$ hesabıyla tutkal sürülür. Özellikle kapı, pencere, ayak-kayıt ve çerçeveler gibi konstrüksiyonlarda kullanılmaktadır (Kürelı 1988). Şekil 1.8a ve 1.8b’de zıvanalı erkek ve zıvanalı dişi parçaları görülmektedir.



Şekil 1.8 Zıvanalı parçalar. a. Erkek parça, b. Dişi parça.

Zıvanalı birleştirme yapılacak elemanlar tercihen aynı cins malzemeden seçilmeli ve rutubetleri %8'den fazla olmamalıdır. Zıvanalı birleştirme yapılacak elemanların uçlarına zıvanalar açıldıktan sonra en çok 24 saat içinde birleştirilmelidir. Pahlı zıvanalı birleştirmelerde erkek zıvana uçları arasında bir tutkal boşluğu bırakılmalıdır. Zıvanalı birleştirmelerde erkek zıvana kalınlığı parça kalınlığının en az 1/3'ü, en çok 1/2'si kadar olmalıdır. Zıvanalı birleştirmelerde birleştirilen yüzeyler birbirine çok iyi alıştırılmalıdır (TS 4905).

1.4 AHŞAP MALZEME VE ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde araştırmada kullanılan ağaç türlerinin coğrafi yayılışı, makroskobik ve mikroskobik özellikleri, fiziksel ve mekanik özellikleri ile bazı teknolojik özelliklerine ilişkin genel bilgiler verilmiştir.

1.4.1 Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.)

Mevcut çam türleri içerisinde en geniş coğrafi yayılışı olan Sarıçam, Avrupa da ve Asya'da 14700 km uzunluğunda ve yaklaşık 3700 km eninde çok geniş bir bölgeye sahip alanda yayılış göstermektedir. Sarıçam, 20-40 m arasında boy yapmakta, ülkemizde saf ve karışık olarak bir milyon hektara yakın bir saha üzerinde yayılmıştır. Kuzey Doğu Anadolu, Ardahan, Oltu, Posof, Sarıkamış dolaylarında çoğunlukla saf, Yanlızçam Dağları'nda saf veya Ladin ve Gökmar gibi diğer ağaç taksonları ile karışık olarak geniş ormanlar kurar. Karadeniz Bölgesi'nde Of, Sürmene, Artvin, Rize, Gümüşhane, Giresun, Amasya, Sinop ve Abant çevresinde geniş bir yayılış gösteren Sarıçam Türkiye toplam orman alanının % 5,5'ini oluşturmaktadır (Yaltırık 1994; Aslan 1994; Anşin ve Özkan 1993, Yapıcı 2008).

1.4.1.1 Makroskobik Özellikler

Yetiştirme muhiti sarıçam odununun özellikleri üzerine çok etkilidir. Yüksek rakımlarda yıllık halkalar dar, deniz seviyesine yakın yerlerde ise geniştir. Dağlık ve alçak bölgelerde yetişen üstün özellikli odunlarda koyu renkli bir öz odunu vardır. Kötü yetiştirme koşullarında öz odunu oluşmaz. Boyuna reçine kanalları enine, radyal ve teğet kesit düzlemlerinde çıplak gözle rahatlıkla görülür (Merev 2003).

1.4.1.2 Mikroskopik Özellikler

İlkbahar odunu traheitlerinin radyal çeperlerindeki kenarlı geçitler çoğunlukla üniseridir. Yaz odunu traheitlerinin teğet çeperlerinde de nadiren küçük çaplı kenarlı geçitlere rastlanabilir. Özışınları üniseri ve heterojendir. Özışını yüksekliği 15 hücreyi geçmez. Enine traheidler, özışını paranzim hücrelerine göre daha bol miktarda olup, çeperleri belirgin testere dişi gibi kalınlaşma içerir. Enine traheitler bol miktarda küçük kenarlı geçitler içermektedir. Boyuna traheitlerle özışını paranzim hücrelerinin karşılaşma yerlerinde pencere şeklinde geçitler vardır. Reçine kanalları normal boyuna ve enine kanallardır. Boyuna kanallar genellikle yaz odunu sonunda yer alır. Kanalların epitel hücreleri ince çeperlidir. Boyutları 100-150 mikrondur. Enine reçine kanalları öz ışınları multiseridir (Merev 2003).

Traheidlerin oduna katılım oranı % 93,1 olup uzunluğu 1,8 – 4,5 mm ve teğet çapları 10- 50 µm'dur. Özışınları heterojen ve üniseridir. Enine reçine kanallarının bulunduğu özışınları multiseridir. Özışınları genellikle 1-12 bazen 15 den fazla hücrelidir. Karşılaşma yeri geçitleri 1-2 adet pencere tipindedir. Boyuna reçine kanalları tek tek ve çoğunlukla yaz odunu içinde ve çapları 100-150 µm olup epitel hücreleri ince çeperlidir. Sarıçam odununda selüloz miktarı % 40-57, lignin miktarı % 25-29, pentozan miktarı % 8-11 ve alkol benzende çözünen ekstraktif madde miktarı % 3,4'dür (Bozkurt ve Erdin 1989).

1.4.1.3 Bazı Teknolojik Özellikler

Sarıçam odunu kolay kurutulur, çatlamaya ve oluklaşama, burkulma eğilimi azdır. İyi işlenebilme ve yapışma özelliğine sahiptir. Yüzey işlemlerinde, reçine sızıntısı nedeniyle güçlük meydana gelebilir. Öz odunu oldukça dayanıklı, diri odunu mantar ve böceklere karşı hassas olup odunun rutubetinin % 25'ten fazla olduğu hallerde ve 20–25 °C sıcaklıklarda mavi renk oluşumu görülür. Öz odun orta derecede güç, diri odun kolay emprenye edilmektedir. Binalarda iç ve dış maksatlarda, emprenye edildiğinde toprak ve su tahkimatında, maden direği, tel direği ve travers olarak, kaplama levha ile kâğıt endüstrisinde ve mobilya yapımında kullanılmaktadır (Aslan 1994; Bozkurt vd. 2000).

1.4.1.4 Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Sarıçamın tam kuru yoğunluk değeri ortalama olarak 0,47-0,49 g/cm³ ve hava kurusu yoğunluk ise 0,52 g/cm³' dir (Bozkurt ve Erdin 1989). Liflere paralel basınç direnci, 550 kg/cm², eğilme direnci, 1000 kg/cm², makaslama direnci, 100 kg/cm², dinamik eğilme direnci 0,4 kg/ cm², yarıлма direnci 4,6 kg/ cm² 'dir (Örs ve Keskin, 2001).

1.4.2 Doğu Kayını (*Fagus orientalis* L.)

Doğu kayını, genel görünüşü bakımından kardeş tür olan Avrupa kayını'na çok benzer. Avrupa kayınına göre daha yerel bir coğrafi yayılışı vardır. Kafkasya, Kuzey İran, Türkiye ve Kuzey Doğu Avrupa' da yayılır. Türkiye' de asıl yayılışını ve en iyi gelişimini Karadeniz sahillerinde yapmaktadır. Doğu'da Türk-Rus sınırından başlayarak tüm Karadeniz sahilleri boyunca batıya doğru Demirköy, Kırklareli bir başka deyişle, Istranca dağlarına kadar uzanır. Doğu kayını 30-40 m.'ye kadar boylanabilen 1 metreye kadar çap yapabilen dolgun ve düzgün gövdeli orman ağacıdır. Açık kül renginde olan kabuğu incedir. Yaprakları elips ve ters biçiminde sivri ya da kısa uçludur (Anşın ve Özkan 1993; Hafizoğlu 1994).

1.4.2.1 Makroskobik Özellikler

Doğu kayını odunu doğal halde kırmızımsı beyaz, fırınlanmış halde tuğla kırmızısı renktedir. İleri yaşlarda meydana gelen kırmızımsı kahverenkli ve içerisinde daha koyu şeritler bulunan bir öz odun vardır. Genellikle 80-100 yaşlarında oluşun bu yalancı öz odunu kusur sayılır. Kırmızı yürek odunun doğal güzelliğini bozar ve emprenye edilmesini zorlaştırır. Ayrıca, gevrek yapılı olup asitli koku yayar (Örs ve Keskin 2001).

1.4.2.2 Mikroskobik Özellikler

Dağınık küçük traheli yapraklı ağaç grubundandır. Trahe çevresindeki paranzim hücresinde tül oluşmaktadır. Besi suyu iletme görevi yapan boyuna yönde vasküler traheidler bulunur. Kalın ve yüksek öz ışınları radyal kesitte parlak öz ışını levhaları oluşturur. Her üç kesitte de öz ışınları açık olarak görülür. Enine kesiti genellikle tek renklidir. 80-100 yaşından sonra kırmızı kahverengi bir öz odunu oluşur. Yaşlı ağaçlarda öz çürümüş durumdadır. Yıl halkaları enine kesitte oldukça belirgindir. Sonbahar halkası ilkbahar halkasına göre daha

koyu renktedir. Yıllık halkalar teğet kesitte ince parlak çizgiler, radyal kesitte sivri uçlu iğler şeklinde sıralanmıştır (Örs ve Keskin 2001; Hafizoğlu 1994).

1.4.2.3 Bazı Teknolojik Özellikler

Doğu kayını düzgün yapılıdır. Fırınlandığında çalışması daha da azalır. Nemli ortamda kolay çürür ve kuru ortamda oldukça dayanıklıdır. Buharlanınca bu direncinden biraz kaybeder. Orta sertlikte bir ağaçtır. Kolay işlenir. Buharla bükme işlemine elverişlidir. Kırılma direnci az fakat aşınma direnci fazladır. Genç iken kolay yarılr ve kalite yüksektir. Rendelenen yüzey parlak ve pürüzsüzdür. Yaşlı ağaçlarda yüzey daha pürüzlüdür. Ülkemizde mobilya yapımında kullanım alanı en geniş ağaçtır. Her çeşit masif mobilya işinde, iç doğramalarda, merdiven basamak ve korkuluklarında, parke döşemelerinde, dilme ve soyma kaplama olarak, yonga levha yapımında, araba ve ambalaj sanayinde, kalıp işlerinde, oturma mobilyası, bükme sandalye, alet sapı, iş tezgâhı, okul sırası yapımında, torna işlerinde çok kullanılır. Kimyasal boyalarla, değişik renklere boyanmaya elverişlidir. Her çeşit cila ve vernik işlemi başarı ile uygulanabilir (Bozkurt vd. 2000, Malkoçoğlu 1994).

1.4.2.4 Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Doğu Kayınının tam kuru yoğunluk değeri ortalama olarak $0,61- 0,63 \text{ g/cm}^3$ ve hava kurusu yoğunluk ise $0,66 \text{ g/cm}^3$ dür. Doğu Kayını odununun hacim yoğunluk değeri $0,44 \text{ g/cm}^3$ dür (Bozkurt ve Erdin 1989). Liflere paralel basınç direnci, 644 kg/cm^2 , eğilme direnci, 870 kg/cm^2 , makaslama direnci, 150 kg/cm^2 , dinamik eğilme direnci $1,0 \text{ kg/cm}^2$, yarılrma direnci $8,6 \text{ kg/cm}^2$ 'dir (Örs ve Keskin 2001).

1.5 YAPIŞTIRICI

İki malzemeyi birbirine yapıştırmada kullanılan sıvı kıvamda metalik olmayan maddelerdir. Sertleşmiş bir tutkal katmanı beş farklı halkadan meydana gelmektedir. Birinci halka, yapıştırılacak ahşap malzemelerden bağımsız olup yapıştırıcı filmini gösterir. Bu halkanın mukavemeti, tamamıyla yapıştırıcının yapısal özelliklerine bağlı olup, kohezyon kuvveti ile açıklanmaktadır. Bütün maddeler gibi, yapıştırıcılarda gerek sıvı, gerek katı durumda olsun, kendi molekülleri arasında elektro manyetik kurallara bağlı olarak belli bir çekim kuvvetine sahiptir.

Katı ve sıvı maddelerin kendi molekülleri arasındaki bu çekim kuvvetine “kohezyon kuvveti” denir. Kohezyon kuvveti, malzemenin mekanik özelliklerini belirler. Kohezyon kuvvetinin büyüklüğü ise yapıştırıcının kimyasal yapısına bağlı olup, ortalama %30’dan fazla dolgu maddesi kullanılması kohezyon kuvvetini olumsuz yönde etkiler. Tutkal katmanında hapsedilen hava veya buhar miktarı da bu halkanın mukavemetini önemli miktarda etkilemektedir (Kurt 2006).

Tutkal eriyiğinin hazırlanması ve yüzeye sürülmesi esnasında, yani sıvı halde iken moleküllerle beraber hareketli olan kohezyon kuvveti, yapıştırıcının sertleşmesinden sonra sabitleşir. Yapıştırıcılardan beklenen başarının sağlanabilmesi için üretimlerinde kullanılan yüksek moleküllü maddelerdeki kohezyon kuvvetleri diğer maddelerden daha büyük olmalıdır. Yeterli miktarda yapıştırıcı kullanılmayan birleştirmelerde, birinci halka kısmen ya da tamamen yoktur. 2. ve 3. halkalar, yapıştırıcı ve birleşimi yapılacak ahşap malzeme yüzeyleri arasında oluşturulması gereken bağı göstermektedir. Farklı iki maddenin yüzey molekülleri arasındaki atomik çekim kuvvetine adezyon kuvveti denir.

Yapıştırma işleminde mekanik adezyon ve kohezyon olmak üzere iki kuvvet etkilidir. Yan yana duran iki cismin molekülleri arasındaki çekiş kuvvetine “adezyon kuvveti” denir. Adezyon kuvveti, yapışmayı sağlayan önemli nedenlerden biridir. Ahşaba sürülen tutkalın molekülleri ile ahşabın molekülleri arasında oluşur. Ahşapla tutkal arasındaki adezyon kuvveti, tutkalın ağaca yapışmasını sağlar. Adezyon kuvvetine, moleküller ara çekiş kuvveti de denilir. Yapıştırılan yüzey ne kadar düzgünse, adezyon kuvveti o kadar büyük olur (Kurt 2006).

Bu özellikten yararlanılarak tutkal tüketiminden ekonomi sağlanabilir. Şekil 1.9’da ahşap birleştirmeler bölgesinden kesit alınmış 0,92 mm kalınlığında bilgisayara bağlı mikroskopla çekilmiştir.



Şekil 1.9 Ahşap birleştirmeler arasındaki tutkal katmanı kalınlığı.

Bir cismin kendi molekülleri arasındaki çekiş kuvvetine kohezyon kuvveti denir. Ağır molekülle cisimlerde kohezyon kuvveti büyük, hafif molekülle cisimlerde kohezyon kuvveti küçüktür Tutkal filminin sağlamlığı, kendi molekülleri arasındaki çekim kuvvetine bağlıdır. Kohezyon kuvveti büyük olan tutkalların, ek yerinde oluştuğunda tutkal filmi çok sağlam bir cisim haline gelir. Yapıştırılan malzemenin ek yeri koparıldığında ayrılmanın tutkalda değil de ahşaptan küçük parçacıklar halinde kopması yapıştırıcının sağlam bir şekilde yapıştığının örneğidir. Ek yerindeki tutkalın kohezyon kuvveti, ağacın molekülleri arasındaki kohezyon kuvvetinden büyüktür. Tutkallarda elde edilebilecek kohezyon kuvveti yapışma için önemlidir. 4. aşama sıvı halde iken ahşapla ilişki kurmasıdır. Bu koşul, tutkalın sıvı halde iken ağaca sürülmesi veya film tutkalında olduğu gibi sıcak preste sıkıldığı zaman sıvı hale gelmesi ile gerçekleştirilebilir. İkinci koşul, ek yerindeki tutkalın kendi yapısına uygun bir değişiklik geçirerek kuruyup sertleşmesidir. Kuruyup sertleşme, tutkal molekülleri arasındaki kohezyonu oluşturur ve güçlendirir.

Yapıştırıcı sürülmüş karşılıklı iki yüzeye basınç uygulandığında, tutkal girinti ve çıkıntılara doğru kendiliğinden dağılır. Tutkal her iki ahşap malzeme yüzeyine hemen hemen aynı anda transfer olur. Akış ve transfer aşamalarını tutkalın ahşap malzeme gözeneklerine nüfuz etmesi

izler, nüfuz etme işlemi akışkanlık ve transfer sona erinceye kadar devam eder. Birleştirmenin başarısı, tutkalın ahşap malzeme yüzeyini ıslatabilme ve hücre çeper boşluklarına nüfuz etme özelliğine bağlıdır. Tutkal katmanı oluşumundaki 5. aşama tutkalın sertleşmesidir. Ahşap malzeme kullanılan tutkalları su kaybederek ve soğuyarak fiziksel, kimyasal yoldan katılaşırlar (Keskin 2001). Ağaç işleri endüstrisinde kullanılan tutkallar TS 5430 EN 204’de direnç özelliklerine göre Tablo 1.2’de sınıflandırılmıştır (TS 5430 EN 204, 2003).

Tablo 1.2 Direnç özelliklerine göre tutkalların sınıflandırılması.

Sınıflar	Direnç Özellikleri
A	Sıcaklık ve hava rutubetiyle temas halinde olmayan, genellikle düşük rutubetli kapalı yerlerdeki şartlara dayanıklı olup, kuru ortamdaki oda kapılarında ve mobilyalarda kullanılır
B	Mutfak ve banyo gibi kısa süreli yüksek rutubet ve zaman zaman su etkilerine maruz kalan kapalı yerlerdeki hava şartlarına karşı dayanıklıdır.
C	Pencere, dış kapı ve dış merdiven gibi zaman zaman yüksek rutubet ve kısa süreli su tesirlerine maruz kalan ortamlardaki şartlara dayanıklıdır.
D	Banyo ve duş kabinleri gibi ekstrem klima değişiklikleri ve su etkilerine maruz kalan kapalı ortam şartlarıyla; dış pencere, dış kapı gibi ekstrem klima şartlarına sahip olan açık hava ortamındaki kullanımlara dayanıklıdır.

D sınıfı tutkallar dayanıklılıklarına göre; D₁, D₂, D₃, ve D₄ olarak gruplandırılır. (BS EN 204, 1991).

Bu tutkalların kullanım alanları:

D₁: Sıcaklığın 50°C civarında, rutubetin maksimum %15 olduğu iç mekânlar

D₂: Akan veya yoğunlaşan suya kısa aralıklarla maruz kalan iç mekânlar

D₃: Kısa aralıklarla akan ya da yoğunlaşan suya veya rutubete maruz kalan iç mekânlar

D₄: Sık sık uzun süre ile akan ya da yoğunlaşan suya maruz kalan iç ve dış mekânlar

1.5.1 Yapışma ile Birleşme Tasarımı

Yapılan tasarımlarda, mukavemet tasarımın önemli bir ayağıdır. Mukavemeti sağlamak, malzeme ve onun bileşenleri ile uyumlu hale getirmekle olur. Ürünlerin yapışma ile birleşme tasarımı yapılırken, mukavemeti yüksek bir ürün elde etmek için tasarımdaki birleşen

elemanlar arasında yükün emniyetli bir şekilde dağılımının sağlanması önem arz etmektedir. Emniyetli, ekonomik ve yüksek performanslı bir birleşmeyi yapıştırıcı ile tasarlamak; genel olarak yapışma birleşmesi için yapılan gerilme analizlerine ve yapıştırıcının taşıyabileceği maksimum yüke bağlıdır. Emniyetli tasarım, yapıştırıcının taşıyabileceği maksimum gerilmeler ile tasarımda hesaplanan gerilmelerin karşılaştırılması suretiyle gerçekleştirilir. Hesaplanan gerilmelerin, emniyet gerilmelerin altında olacak şekilde tasarımı yapılır. Yapılan yorulma testleri ile yapışma birleşmesinin ömür hesabı yapılır. Ekonomik olarak optimum tasarım elde etmek için yapışma bölgesinde kullanılacak yapıştırıcı miktarının en aza indirilmesi gerekmektedir. Yapışma ile birleşme tasarımında, bu üç unsurun sağlanması ve birbirleri ile uyumlu hale getirildiğinde her açıdan ergonomik bir tasarım yapılmış olur (İşcan 2007).

Mobilya konstrüksiyonlarında uygulanan birleştirmelerin kararlılığı ve mukavemeti, mobilya sisteminin mukavemetini etkiler. Mobilya iskeletlerinde her zaman istenilen performans değerlerine ulaşamamaktadır. Bu durum daha güçlü, daha mukavemetli birleştirmelerin kullanılması gereğini ortaya çıkarmıştır. Birleştirmelerin mukavemeti, yalnızca kullanım esnasında taşınmaları gereken yüklerle ilişkilidir. Çeşitli mobilya birleştirmelerinin mukavemet gerekliliklerinin önceden belirlenmesini sağlayacak analitik yöntemlerinin kullanılması birleşme tasarımını destekleyecektir. Yapışma veya bağlantı elemanı ile birleştirilmiş bölgeler diğer bölgelere oranla daha zayıftır. Doğal olarak gerilme yoğunluğu bu bölgede daha fazla oluşur. Yapışma birleşmeleri genel olarak çekme, kayma, basma, yarıma ve ayrılma yüklerine maruz kalır. Yapışma birleşmeleri çekme, kayma ve basma yüklerine karşı mukavemetli olmalarına rağmen, yarıma ve ayrılma kuvvetlerine karşı zayıftır. Yapıştırıcı veya bağlantı elemanı ile birleşme tasarımında, yapının hangi tip yüklemeye maruz kalacağı önceden tespit edilip tasarıma bu 3 ana unsur ışığında yön verilmelidir. Genel olarak yapışma ile birleşmenin mukavemeti; birleşen parçaların büyüklüğüne, kalınlığına, elastik modülüne, yapıştırıcının kayma modülüne, yapışma uzunluğuna, yapışma yüzeylerinin ön işlemlerine, yapışma işlemine ve yapışma birleşmesinin maruz kalacağı şartlara bağlıdır (İşcan 2007).

Mobilya konstrüksiyonlarında önemli olan kullanılacak olan tutkalın seçimi ve uygulama şeklidir. Tutkallı birleştirmelerin performansı üzerinde, tutkalın özellikleri yanında, yapıştırılan malzemenin yapısı, tutkal bileşimi, tutkal tabakasının nitelikleri etkili olmaktadır. Tutkallı birleştirmelerin başarısını etkileyen tutkal özelliklerinden katı madde oranı, viskozite, kül miktarı ve PH önemli sayılırken, birleştirmelerin performansını değerlendirmek için

standartlara uygun test metotları kullanılır (Kurt 2006). Tutkalın ahşap malzemede yapışma esnasında oluşturduğu bağlar, van der waals ve hidrojen bağları veya mekanik yapışma sağlayan zayıf bağlardır (Skeist 1962).

1.5.2 Tutkallı Birleştirmelerde Mekanik Deneyler

Ahşap malzemenin tutkalla yapıştırılması sonucu elde edilen malzemelerin, yapışma mukavemetinin belirlenmesinde kullanılan deneyler iki ana grupta toplanmaktadır (Öktem 1976):

1) Birbirine yapıştırılan iki odun parçasını birbirinden ayırmak için gerekli kuvveti tespit eden makaslama, kopma ve yarıma deneyleri,

2) Yapışan odun yüzeylerinde kopmadan sonra görülen odun ve lif miktarını belirleme (lif oranı metodu). Bu metoda yapıştırılmış iki odun parçasını birbirinden ayırmada çekme – makaslama, yarıma deneyleri kullanılmaktadır.

Bu metotlardan birincisi, özellikle kontrplakların yapışma mukavemetlerinin tespitinde ve çeşitli tutkalların denenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Masif odunların yapışma mukavemetlerinin belirlenmesinde kullanılan yarıma deneyinde ise, kama etkisiyle iki parçayı tutkal hattı boyunca ayıracak şekilde kuvvet uygulanır ve yapışmış odunların ayrılması için gerekli kuvvet deney makinesi kadranından okunur. Lif oranı metodunda, yapıştırılmış odunun gösterdiği yapışma mukavemetinin en az odunun kendi direnci kadar olması genel bir kriter olarak kabul edilmiştir. Buna göre, numunenin çeşitli yöntemlerde koparılmasından sonra, her iki yapışma yüzeyinde ortaya çıkan lif ve odun kaplı alanların büyüklüğü oranında yapışma mukavemetinin yüksekliğine karar verilir.

1.5.3 Polivinil-Asetat Tutkalı (PVAc Tutkalı)

Piyasada plastik tutkal, beyaz tutkal, formika tutkalı vb. gibi değişik isimler altında adlandırılırlar. Süt renginde bir görünüme sahip, koyuca bir sıvıdır. Günümüzde çok kullanılan bir tutkal çeşididir. Bilimsel adı ise polivinil asetat tutkalıdır. Polivinil asetat yapay reçine türüdür. Polivinil asetatın kimyasal anlamını açıklayacak olursak, polivinil asetat su, kömür, kireç ve sirke asidinden kimyasal yollarla elde edilir (Huş 1977). PVAc,

kokusuz, yanıcı olmayan tutkaldır. Oda sıcaklığında ve hızlı bir şekilde katılaştır. Bu tutkalın uygulanması oldukça kolaydır, makinelerin kesicilerine zarar vermez. Ancak, ısı arttıkça PVAc tutkalının mekanik özellikleri azalır bunun sebebi Pvac tutkalının termoplastik özellikli olmasıdır. Pvac tutkalı 70°C'nin üstünde yapışma direncini kaybeder. Uygun şartlarda malzemenin sadece bir yüzeyine 150–200 g/m² tutkal sürülür (Örs 1987).

Tutkalın temel gereci olan polivinilasetat (PVAc) termoplastik özellikte ve katıdır. Tutkalın bünyesinde uçucu bölümler, yani eritici sıvı veya su yoktur. 180–200 °C gibi yüksek sıcaklıkta katı halden sıvı hale geçer, yani erir. Ancak bu sıcaklıkta sıvı halde kalabilir ve bu sıcaklıkta işe sürülmelidir. Tutkal bir tarafa, yani yalnız tablaya sürülmelidir. Masif çitasına, kaplamaya, plastik banta yüksek sıcaklıkta ergiyen masifleme tutkalı sürülmez. Tablanın cumbasına tutkal sürüldükten sonra, masifleme gerecinin vakit geçirilmeden yerleştirilmesi ve sıkılması gerekir. Masifleme makinesinde tutkalın sürülmesi, masifleme gerecinin konulması ve sıkılması otomatik olarak düzenlenir. Ek yerindeki tutkal çok kısa sürede soğur ve sertleşir. Yapıştırma gücünü hemen kazanır. Masif ahşap malzeme için presleme süresi 5-15, kaplamalar içinde 30-60 dakika olarak verilmektedir. Beyaz tutkal genellikle soğuk olarak uygulanır. Soğuk tutkallamada tutkal henüz ıslak bir durumda iken tutkallanan parçalar birbiri üzerine konur, sıcak yöntem uygulanmak istendiğinde malzeme üzerine sürülen kurumuş tutkal tabakası 100 °C de tekrar yumuşak bir duruma getirilebilir. Bu bakımdan beyaz tutkal termoplastik bir niteliktedir.

Beyaz tutkala bazı dolgu maddeleri, örneğin az miktarda Bentonit katmak suretiyle tutkalı ucuzlatmak ve yapıştırma özelliğini daha iyi bir duruma getirmek mümkün olmaktadır. Tutkala ayrıca tebeşir, kalsiyum silikat, talk gibi maddelerde katılabilir. PVAc disperziyon tutkalı, özellikle bina içerisinde kullanılan mobilya ve diğer ahşap malzemedan yapılmış eşyanın tutkallanmasında, keza büyük ölçüde kitap ciltleme işinde, kâğıt, deri, karton ve tekstil maddelerinin yapıştırılmasında kullanılır. Tutkal kabı olarak her türlü malzeme kullanılabilir. Beyaz tutkalla yapıştırma, fırça, spatül, elle kullanılan silindir biçimindeki tutkallama aleti veya tutkallama makineleri kullanılmak suretiyle yapılır. Yapışma, tutkal dispersiyonunun içerdiği suyun odun içerisine sızması, polimerizat parçacıklarının da bir film halinde yüzeye yayılması suretiyle olur. Kurumuş olan tutkalın çözülmesi mümkün olmadığından, tutkallamada kullanılan araçların vakit geçirilmeden suyla temizlenmesi gerekmektedir.

PVAc ahşap malzeme tutkalları ile sıvanmış olan yüzeyler, bakterilere karşı dayanıklı iseler de suda çözünmelerine rağmen uzun süre su ile temas ettikleri takdirde tahribe uğrarlar. Bu bakımdan açık hava ile karşı karşıya kalan kısımların tutkallanmaları için elverişli değildir. Ancak, yüksek hava rutubetine karşı oldukça dayanıklıdır. Her ne kadar yapıştırma direnci yüksek rutubette özellikle su buharı adsorpsiyonu nedeni ile düşerse de kuru havada tekrar eski normal durumunu alır. Plastik tutkal 1,5 kg kutularda, 30 kg'lık bidonlarda ve 200 kg'lık varillerde sıvı olarak piyasada bulunurlar. Normal koşullar altında ağzı kapalı muhafaza edilir ve bozulmadan uzun süre kullanılırlar. Sonuç olarak PVA reçine emülsiyonlarının kolay hazırlanma veya hazır satılma, oda sıcaklığında çabuk sertleşme ve genel olarak renksiz bir tutkal hattı oluşturma avantajlarına karşılık, çeşitli dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar, gerilme altındaki eklemlerde sünme uzunca bir sürede 49 0C'nin yukarısındaki sıcaklıklarda daha fazla deformasyona konu olması rutubet ve suya karşı direncinin zayıf olmasıdır. Yani geliştirilen çapraz bağlı tiplerde bu kusurlar en aza indirilmiştir (Özçifçi 2005).

1.6 MOBİLYA MÜHENDİSLİK TASARIMI

Teknolojinin hızlı geliştiği günümüzde, bilgisayar teknolojilerinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Modern mobilya tasarım sürecinin birçok basamağında bu teknolojilerin kullanımı mümkün olmaktadır. Günümüzde mobilyada mukavemet (mühendislik) tasarımı, katı modelleme ve yapısal analiz programları ile yapılabilmektedir. Ürünün tüm elemanları parametrik olarak modellenebilmekte ve gerekli değişiklikler katı modellemenin sağladığı avantajlarla basit olarak yapılabilmektedir. Bilgisayar imkânlarının artması, paket analiz programlarının yaygınlaşması sonucu, matematikten ileri derecede yararlanılarak geliştirilmiş üretim plânlama model ve teknikleri uygulamada görülmektedir (Karayılmazlar ve Balaban 1998). Aynı şekilde ürün mukavemet hesapları da bilgisayar destekli analiz programları tarafından yapılabilmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde, mobilya sistemlerinin yapısal analizinde, bilgisayar programlarının, özellikle de sonlu elemanlar metodunun (FEM) kullanıldığı görülmektedir (Kasal vd. 2007). Sonlu elemanlar metodunda programa girilen veriler sonuca dair çok farklılık çıkarmaktadır. Malzemenin izotrop veya anizotrop olması aynı malzeme üzerinde farklı sonuçlar çıkarmıştır. Ahşap malzemenin artan önemine bağlı olarak, bu malzemenin yanlış kullanılmasının çok büyük ekonomik kayıplara yol açacağı gerçeğinden de yola çıkarak ahşap malzemedeki en az zayıyla ve optimum verimle yararlanma yollarının araştırılmasına katkıda bulunmaktır (Kaygın ve Aytakin 2005)

Mobilya konstrüksiyon tasarımında performans analizi, ekonomik, estetik ve teknik bakımdan en iyi tasarımların yapılabilmesi açısından önemli olup bilimsel esaslara dayanmalıdır. Bir mobilya üretilirken üç tasarım alanı dikkate alınmalıdır. Bunlardan birincisi olan işlevsel tasarım, mobilyanın ne işe yarayacağını, mobilyadan beklenen temel yararların ne olduğunu belirler. İkincisi estetik tasarım, ilgili kültürün ya da moda etkisinde, ayrıca kullanıcı talepleri de dikkate alınarak mobilyada biçim, doku, renk, çizgi vb. özelliklerin tasarlanması 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 (Kılıçalp 2007).

Mobilya mühendislik tasarımı yapının; kullanım yerinde maruz kalacağı yüklere veya deformasyonlara güvenli bir şekilde dayanabilmesi ve estetiklik sağlamasıdır. Mobilyaların yük altındaki kararlılığı ve mukavemeti; elemanların birleştirme tekniklerine, üretilmiş oldukları malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlıdır. Bu durumda mobilyada mühendislik tasarımının önemini artırmaktadır. Mobilya mühendisliği tasarımı dediğimiz anda estetiklik çok önemli bir faktör haline gelmiş oluyor. Mobilya mühendislik tasarımında dikkat edilmesi gereken aşamalar vardır. Mobilyanın kullanım sırasında maruz kalacağı yüklerin belirlenmesidir. Mobilya kullanım gereği statik ve dinamik yük altındadır. Statik, kuvvet tesiri altındaki rijit cisimlerin durağan dengesini, dinamik ise rijit cisimlerin hareketlerini ve dinamik haldeki dengesini inceler. Statik, dinamiğin, ivmenin sıfır olduğu özel bir durumu olarak görülebilmekle birlikte, mühendislik eğitiminde ayrı olarak ele alınır. Statik kuvvetlerin ölçülmesi ve hesaplanması genellikle kolaydır. Örneğin bir masanın maruz kalacağı statik kuvvetleri ölçmek için taşınması beklenen nesnelerin geometri ve ağırlıklarının ölçülmesiyle hesaplanabilir. Yalnız dinamik kuvvette bu daha zordur. Mobilyanın kullanım alanında maruz kaldığı kuvvetler çok çeşitlidir. Üretilen mobilyalarda farklı hammadde, geometri, bağlantı şekli gibi özelliklerden dolayı farklı sonuçlar vermektedir. Mobilya elemanları ve bağlantı noktalarının performansları kullanım yerinde maruz kalacakları yükleri ve gerilmeleri güvenli bir şekilde taşıyabilecek şekilde tasarlanması gerekir. Elemanlar üzerinde fazla gerilme var ise tekrar modelleme veya optimizasyonu sağlayacak gerekli deney yapısının tekrar düzenlenmesi ve hiçbir parçada gereğinden fazla gerilme kalmayınca kadar işlemlerin tekrar edilmesi gerekir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre daha önce yapılan işlemlerde gerekli görülen değişiklik yapılarak kullanım amacına en uygun ürünün elde edilmesi mümkün olacaktır (İmirzi 2008). Mühendislik tasarımı sayesinde bir mobilyanın yapım ve tasarımında deneme yanılma yöntemini ortadan kaldırmış gereksiz uygulamalar

yerine bilimsel gerçeklere dayanan veriler kullanılarak tasarım tamamlanmıştır (Tankut vd. 2000).

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte mobilya sektöründe değişik tiplerde mobilya konstrüksiyonları geliştirilmektedir. Yapılan bu konstrüksiyonlar işin değerine ve görseelliğine göre değişiklik göstermektedir. Kullanılan malzeme ve modelin yapısına göre, ne tür birleştirmenin uygun olacağı araştırılmaktadır. Tasarımda istenen mukavemeti sağlayacak kadar fazla, ancak nesneyi ağırlaştırmayacak, maliyetini ve malzeme kullanımını artırmayacak kadar az malzemeyle uygun boyutta üretmek, doğru çözüme ulaştıracak malzemeyi ve miktarını belirlemek, optimum biçimi tasarlamak önemlidir. Tasarımlardan beklenen özellikler arasında işlevsellik, ergonomik olma, moda uygun olma, gelecekteki ihtiyaçları karşılayabilme, iyi görünüm, kullanışlılık, pratik ve rahat kullanılabilir olma, ekonomiklik, sağlamlık vs. gibi özellikler yer almaktadır. Bu özelliklerin yanı sıra uygun malzemenin ekonomik bir şekilde kullanımı, hafiflik, parça sayısının azlığı ve biçimlerinin basit olması, bağlantı noktalarının işçilik isteyen bölgelerin azaltılarak malzeme ve işçilik maliyetinin düşürülmesi gibi kriterlerde tasarımlardan beklenenler arasında yer alabilmektedir. Bu tür araştırmaların zaman ve maddi kayıplar önüne geçilmesi için bilgisayar destekli tasarım ve analiz programlarından faydalanılmaktadır (Günel Ertaş 2007).

1.6.1 Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD)

Bilgisayar destekli tasarımların (CAD) her geçen gün öneminin arttığı ve bu alanda yazılmış programların sürekli olarak yenilediği günümüzde bilgisayar destekli programları kullanmak ve diğer programlarla bütünleştirmek lazımdır. Bilgisayar destekli tasarım sayesinde makinelerin tasarım ve resimlendirilme süreleri oldukça kısalmış durumdadır. Önceleri sadece teknik resim hazırlama amacıyla kullanılan CAD programları günümüzde artık 3D tasarımlama ve hatta tasarım aşamasında bulunan bir makinenin çalışmasını animasyona dönüştürerek bilgisayar ortamında çalışmasını görmek mümkün hale gelmiştir. Bugün yaygın olarak kullanılan CAD yazılımlardan bazıları AutoCAD, DesingCAD, CadKey, CATIA, SolidWorks olarak sayılabilir. Bu çalışmada ise bilgisayar destekli tasarım programlarında biri olan SolidWorks tasarım programı kullanılmıştır. SolidWorks kısaca “üç boyutlu katı modelleme yapmamızı sağlayan programdır” şeklinde tanımlayabiliriz. Özellikle kalıpcılık gibi sürekli 3 boyutlu çizim yapmayı gerektiren ve katı modellemenin sıkça kullanıldığı alanlarda, SolidWorks, AutoCAD vb. gibi programlar kullanılır. İki boyutlu tasarım ihtiyacını

karşılamaya yönelik olarak yapılmış olan programlardan farklı olarak, çizimi render, hide veya shade etmemize gerek kalmadan doğrudan katı model olarak parçayı çizmemize ve üzerindeki modifikasyonları bizzat görerek yapmamıza olanak verir. Ayrıca mevcut komutlarla, özellikle diğer çizim programlarının yapamadığı helis ve yay gibi nesnelere kolayca yapabilmemizi sağlar (Görgülü 2001).

1.6.1.1 Solidwork

SolidWorks Windows için hazırlanmış 3 boyutlu tasarım programıdır. SolidWorks her türlü makine, tesis, ürün tasarımında kullanıcıya Windows'un kolaylıklarını kullanarak hızlı bir şekilde çizim yapılmasını sağlar. SolidWorks, parasolid prensibinde çalıştığı için kullanıcıya, tasarımın her aşamasında müdahale şansı vererek, modelin boyutlarının, ölçülerini ve ayrıntılarının istenilen şekilde değiştirilmesine imkân tanır, teknik resim ve montajların yapılmasını sağlar. Feature tree (tasarım ağacı) ile yapılan işlemlerin sıraları ve yapıları değiştirilebilir. Üstelik yapılan değişiklikler sonucu varsa yapılmış olan montaj ve teknik resim anında güncelleşir. Böylece kullanıcıya teknik resimde veya montajda parçaya müdahale edebilme şansı doğar. Katı modellerin avantajlarını kullanarak kolayca ve hızlı şekilde tasarım yapabilme imkânı sağlar. İstenildiği anda ölçü değiştirerek tasarımı kolayca düzeltebilme imkânı sağlar. Parça tasarımında diğer parçalara bağlı ölçü verebilme imkânı sağlar. Feature Tree (Tasarım Ağacı) sayesinde yapılan işlemlerin sırasını değiştirebilme imkânı sağlar. Karmaşık parçaların açılımlarını elde eder. Parçalar ister düz ister konik olsun SolidWorks'te açılımlarını elde edebilme, otomatik olarak teknik resmini çıkarabilme imkânı sağlar. CAD datası uzantılarını IGES SAT, DXF STL, DWG VDA, SAT PARASOLID gibi formatlarla da diğer analiz ve çizim programlarında da açılabilir (URL-1, 2012).

1.7 SONLU ELEMANLAR METODU (SEM)

Sonlu elemanlar metodu ilk olarak yapı analizinde kullanılmaya başlanmıştır. İlk çalışmalar 1940'lı yıllarda Hrennikoff ve Mc Henry tarafından geliştirilen yarı analitik analiz metodlarıdır. Günümüzde karmaşık mühendislik problemlerinin hassas olarak çözülmesinde etkin olarak kullanılan sayısal bir metottur. Sonlu elemanlar yöntemi aynı zamanda mühendislikte malzemelerin veya sistemlerin dış etkenlere (kuvvet, ısı, elektrik, vb.) karşı davranışlarının analizinde de kullanılır (İmirzi 2008). Sonlu elemanlar metodundaki temel düşünce, karmaşık bir problemi, en basite indirgeyerek bir çözüm bulmaktır. Sonlu elemanlar

metodunda, çözüm bölgesi, çok sayıda, basit, küçük, birbirlerine düğüm noktaları adı verilen noktalarla birbirine bağlanmaktadır (Yaşar 2006). Her bir elemanda fiziksel davranış diferansiyel denklemler ile tanımlanmaktadır. Bütün bu sistemlerin bütününde elemanlar birleştirilmekte ve birbirine komşu elemanlarda süreklilik ve denge şartları sağlanmaktadır. Lineer cebri denklem takımı ile problemin tümünün fiziksel davranışı tanımlamakta ve uygun sayısal metod ile çözüm elde edilmektedir. Çeşitli zor problemlerin çözümünün yapılabilmesi amacıyla sonlu elemanlar metodu güçlü bir araç olmuş ve çok sayıda paket program geliştirilmiştir. Bu paket programlardan bazıları ANSYS, NASTRAN, ADINA, COSMOS, BERSAFE ve MARC'dır. Bu paket programlardan NASTRAN uçak veya otomobil gövdesini analizi yapabilmektedir (Karabulut 2010). Sonlu elemanlar metodu, ürünlerin henüz prototipleri üretilmeden sanal ortamda test edilmelerini olanak sağlar. Elde edilen verilerin sonuçlarına göre sistemdeki zayıf noktalarının tespiti ve iyileştirilmesi, optimizasyonu, ömür hesabı ve muhtemel problemlerin önceden görülmesini sağlar (Dursun 2006). Mobilya elemanlarının yapısal tasarımının matematiksel teorilerin konusu olmadığını, bunun yerine eleman ölçülerinin belirlenmesinde geçmiş tecrübelerin ve estetik faktörlerin etkili olduğunu belirtip, bilgisayar kullanımının yaygınlaşması ve teknolojinin gelişmesiyle, modern sonlu elemanlar programlarının tasarım sürecinin birçok basamağında kullanımının mümkün olduğunu vurgulamıştır. Bu amaçla, bir sandalyenin yapısal analizini sonlu elemanlar yöntemi kullanarak yapmış, sonuçta kullanılan eleman ölçülerinin biraz daha düşürülmesi durumunda dahi sandalyenin aynı mukavemeti gösterebileceğini belirlemiştir (Gustafsson 1995).

Sonlu elemanlar metodunun çözümü, incelemek istenilen cismin sonlu sayıda küçük elemana bölünerek inceleme yapıldığı için Sonlu Elemanlar Yöntemi (The Finite Element Method) olarak adlandırılır. Bu metod ile yapılacak deney, düğüm noktalarından birbirine bağlı sonlu sayıda küçük elemana bölünür. Seçilen birim eleman, geometrik bir şekildir. Bunun amacı, geometrik yapısını bildiğimiz küçük elemanlar üzerinde inceleme ve çözüm yapmamızın kolay olmasıdır. Bu işlem "AĞ" komutuyla yapılır. Birim eleman boyunun küçülmesi, daha hassas çözüm yapmamızı sağlarken, denklem sayısını arttırdığı için işlem süresini uzatır. Sonlu elemanlar metodunun esnekliği sayesinde çok yönlü karmaşık yapılarda bile problemleri etkin bir şekilde çözüm sağlar. Sonuçları diğer analitik veya deneysel metodlarla daha iyi karşılaştırılabilir. Sonlu elemanlar yöntemi ile verilen şekil ne kadar karışık olursa olsun, şekle ve boyutlarına esneklik kazandırmaktadır. Sınır şartları kolayca tespit edilir. Değişik malzeme özellikleri ve geometri kolayca tanımlanabilir ve ilgili olduğu alanlar arttırılabilir (Pençe 2007).

1.7.1 ANSYS

ANSYS (Swanson Analysis System) yazılımı, mühendislerin mukavemet, titreşim, akışkanlar mekaniği ve ısı transferi ile elektromanyetik alanlarında fiziğin tüm disiplinlerinin birbiri ile olan etkileşimlerini gerçeğe uygun bir şekilde kullanılabilen genel amaçlı yazılmış sonlu elemanlar programıdır. Bu program sayesinde gerçekleştirilen testlerin ya da çalışma şartlarının simüle edilmesine olanak sağlayan ANSYS, ürünlerin henüz prototipleri üretilmeden sanal ortamda test edilmelerine olanak sağlar. Ayrıca sanal ortamdaki 3 boyutlu modellemeler neticesinde yapıların zayıf noktalarının tespiti ve iyileştirilmesi ile ömür hesaplarının gerçekleştirilmesi ve muhtemel problemlerin öngörülmesi mümkün olmaktadır. ANSYS’de kullanılan mukavemet, titreşim, yorulma, çarpma ve devrilme simülasyonları, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, ısı transferi hesapları, metal şekillendirme hesapları, elektromanyetik hesaplar, mekanizma dinamiği hesapları, Test ve Ölçüm Sistemleri, Sistem Modelleme Otomatik Kontrol Simülasyonları’dır (Pençe 2007).

ANSYS yazılımı hem dışarıdan CAD verilerini alabilmekte hem de içindeki menü imkânları ile geometri oluşturulmasına izin vermektedir. Aynı menü içinde hesaplama için gerekli olan sonlu elemanlar modelinde ağ da oluşturulmaktadır. Yüklerin tanımlanmasından sonra ve gerçekleştirilen analiz neticesinde sonuçlar sayısal ve grafiksel olarak elde edilebilir. ANSYS’de analizi yapılan model sonlu sayıda elemana bölünerek, sonlu elemanlar ağı oluşturulur. Önemli olan geometrik modeli doğru ve sağlam bir şekilde oluşturmaktır. ANSYS’de farklı analiz tipleri için geliştirilmiş yaklaşık 140 eleman tipi mevcuttur. Sonlu elemanlar ağı oluşturulduktan sonra yükleme ve sınır koşulları belirlenir ve programa işlenir. Bu aşamada problemin çok iyi yorumlanması ve modele gelen yüklerin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekir (Solmaz 2008).

1.7.1.1 LS-DYNA

LS-DYNA, gerçek yaşamdaki kompleks olayların bilgisayar simülasyonunun yapılabildiği, sonlu elemanlar metodunun kullanıldığı nonlineer dinamik analiz yapabilen bir program olup; çarpma güvenliği, metal formasyonu, Metal kesimi, biyomedikal, patlamalar, akışkan-yapı etkileşimi, deprem mühendisliği vb. gibi konularda uygulamalar yapılabilmektedir. LS-Dyna ile nonlineer dinamik analiz, rijit kütlelerin dinamik analizi, lineer statik analiz, termal analiz, akışkan analizi, kırılma analizi, çatlak yayılma analizi, dizayn optimizasyonu ve bir takım

simülasyonlar gerçekleştirilebilmektedir. LS-DYNA programında analiz yapabilmek için data dosyasının hazırlanması gerekmektedir. Data dosyası LS-DYNA'nın yardımcı programı olan FEM kullanılarak hazırlanabilmektedir. FEM programında, ortam 3 boyutlu olarak görsel bir şekilde modellenir ve LS-DYNA'nın kabul edeceği data dosyası çıktısı alınır. Bu çıktı LS-DYNA'ya yönlendirilerek analiz yapılması sağlanmaktadır. Analiz sonuçları LS-DYNA'nın diğer bir yardımcı programı olan Ls-Post tarafından takip edilebilmektedir. Ls-Post ile analiz sonuçlarının simülasyonu ve her türlü sayısal sonuç görsel olarak alınabilmektedir.

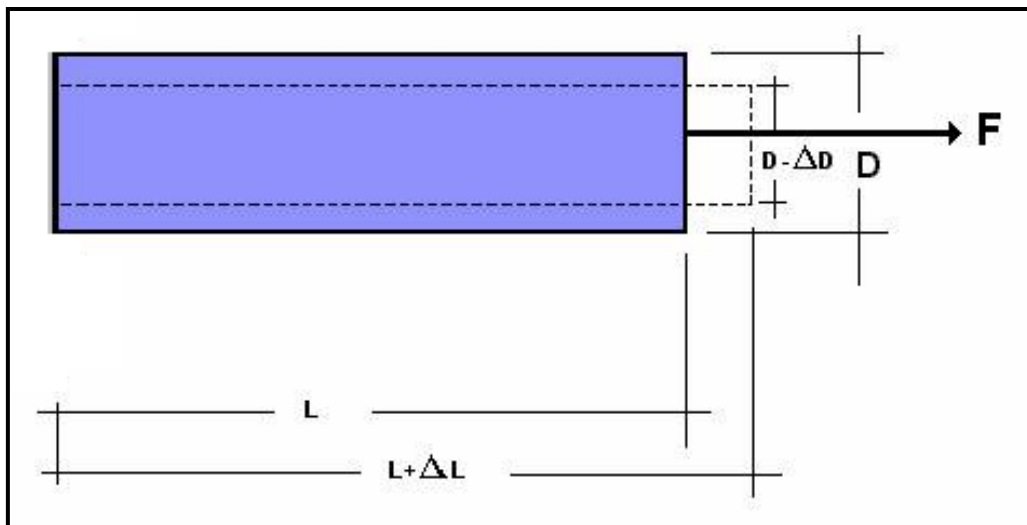
1.8 GERİNİM VE GERİLME

1.8.1 Gerinim (Strain)

Gerinim bir cismin, uygulanan kuvvet yüzünden deforme olmasıdır. Deformasyon, cisim üzerine yük uygulandığında, birim uzunlukta ve birim genişlikte meydana gelen değişim miktarı olarak adlandırılır. Gerinim (ϵ), D kalınlığında ve L uzunluğundaki bir kütle için ΔL kadar uzamasının boyuna olan oranı olarak tanımlanır (Ertaş 2007). Şekil 1.10'da kuvvet karşısında uzama verilmiştir. Boyuna deformasyon oranı Eşitlik 1.1'de ve enine deformasyon oranı Eşitlik 1.2'de verilmiştir.

$$\epsilon_l = \Delta L / L \text{ (Boyuna deformasyon oranı)} \quad (1.1)$$

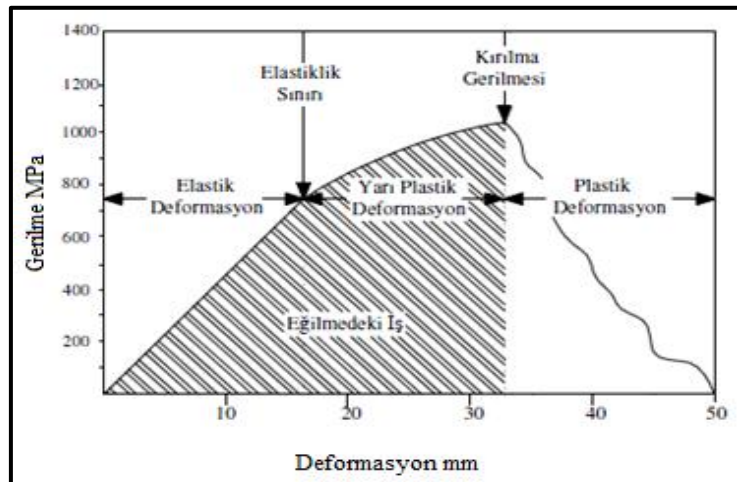
$$\epsilon_d = \Delta D / D \text{ (Enine deformasyon oranı)} \quad (1.2)$$



Şekil 1.10 Kuvvet karşısında uzama.

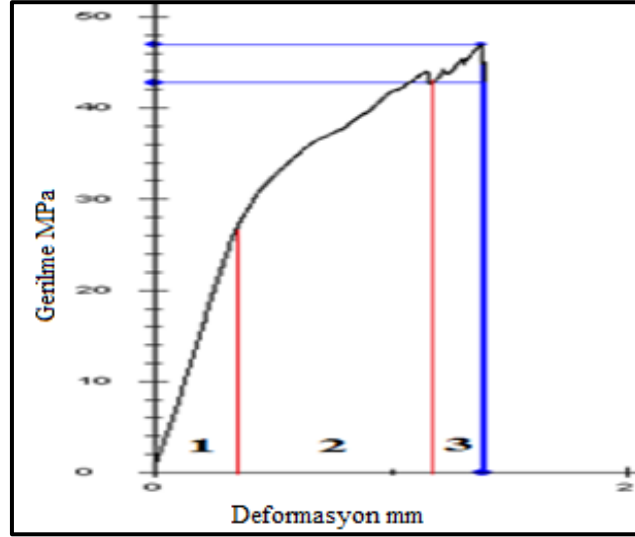
Uygulanan dış kuvvetler, iç kuvvetleri kesit yüzeyine dik tesir ettirirse meydana gelen gerilmeye normal gerilme denir. Normal gerilme; çekme ve basınçta meydana gelir. Katı cisimlere etki eden dış kuvvetler, bu cisimleri şekil değiştirmeye zorlar. Cisimlerin moleküler yapıları da, uygulanan kuvvete tepki göstererek cismin şekil değiştirmesini önlemeye çalışır, moleküllerin dış kuvvetlere karşı gösterdiği bu tepkiye iç kuvvetler denir (Ertaş 2007). Cisimlerin şekil değiştirmeye durması Elastikiyet Modülüne bağlıdır. Elatisite modülü, malzemenin dayanımının (mukavemetinin) ölçüsüdür. Kaynaklarda Young modülü olarak da geçer. Birim uzama ile normal gerilme (çekme ya da basma gerilmesi) arasındaki doğrusal ilişkinin bir sonucu olup birim uzama başına gerilme olarak tanımlanır. Elastikiyet modülü malzemeye ait karakteristik bir özelliktir.

Ağaç malzemeye uygulanan düşük gerilmelerde meydana gelen şekil değişiminin (deformasyonun), yük kaldırıldıktan sonra tamamen ortadan kalkması geri kazanılması özelliğini ifade eden bir değerdir. Mukavemet hesaplamalarında malzemenin elastikiyet modülüne ihtiyaç vardır. Birimi N/mm^2 veya megapaskaldır. Von Misses Teorisi olarak bilinen bu teoriye göre şekil değiştirme enerjisinin belli bir sınırı aşması ile cisimde hasar başlar ve malzemenin akma sınırı başlamış olur. Akma sınırı ve cisimde oluşan gerilmeler grafik yardımıyla deformasyon noktaları belirlenebilmektedir (Bozkurt ve Göker 1987). Şekil 1.11’de doğu kayını numunesine ait eğilme deneyinde elde edilen gerilme deformasyon eğrisi görülmektedir.



Şekil 1.11 Kayın numunesine ait eğilme deneyinde gerilme deformasyon eğrisi(İmirzi 2008).

Sarıçam numunesine ait liflere paralel çekme deneyinde elde edilen gerilme deformasyon eğrisi Şekil 1.12’de görülmektedir.



Şekil 1.12 Sarıçam numunesine ait liflere paralel çekme deneyinde elde edilen gerilme deformasyon eğrisi.

Şekil 1.12’de görülen 1 nolu bölge elastiklik sınırı içerisinde olan bölgedir. 2 nolu bölge akma noktası olan malzemenin yarı plastik bölgesidir. 3 nolu bölge malzemenin kırılma noktası veya kopma noktasıdır. Şekil 1.11 ve 1.12’de görülen gerilme deformasyon eğrisinde, elastiklik sınırına kadar gerilme ile deformasyon arasındaki ilişki doğru orantılı olarak hareket yönündedir. Elastiklik sınırına kadar yükün uygulanması ile deney örneğinde meydana gelen deformasyon ortadan kalkarak numune başlangıçtaki ilk şeklini alır. Elastiklik bölgesi içerisindeki şeklin değişmesine elastik deformasyon adı verilir. Elastiklik sınırı aşıldıktan sonra gerilme miktarı arttırıldığında gerilme ile deformasyon arasındaki doğru orantılılık bozulmaktadır ve gerilme eğrisi yönü deformasyona doğru yönelmektedir. Elastiklik sınırının aşılmasından sonra kuvvetin kaldırılması ile ahşap numune başlangıçtaki orijinal şekline ve büyüklüğüne dönememekte, meydana gelen deformasyon numunede sabit kalmaktadır. Böylece elastiklik sınırından sonra elastik deformasyonlar değil, kalıcı ve plastik deformasyonlar oluşmaktadır. Kuvvetin devamlı olarak arttırılması halinde lifler içerisinde ilk önce kaymalar ve daha sonra kopmalar meydana gelmekte ve nihayet ahşap numune yüke mukavemet edemeyerek kırılmaktadır. Bu noktaya kırılma sınırı veya kırılma gerilmesi denmektedir (İmirzi 2008).

Gerilme-deformasyon eğrilerinde görüldüğü gibi, elastiklik sınırı ile kırılma sınırı arasındaki deformasyona yarı plastik deformasyon (akma noktası), kırılma sınırından sonraki deformasyona ise plastik deformasyon adları verilmektedir. Kırılma sınırında tesir eden yüke maksimum yük (P maksimum) denir. Ahşap malzemenin kırıldığı bu yüke kırılma yükü adı

verilir. Ahşap malzemenin elastik deformasyon kabiliyeti oldukça yüksektir. Böylece, ahşap malzeme önemli miktardaki yüklemelerden sonra tekrar başlangıçtaki orijinal şekline dönebilmektedir (Berkel 1970).

Elastiklik modülü ne kadar küçük ise cismin mekanik kuvvetler karşısında şekil değiştirici etkilere o kadar az karşı koyduğu, tekrar eski orijinal şekline dönüşebilecek deformasyonlara kolaylıkla elverişli olduğu anlaşılmaktadır. Anizotrop olan malzemeler ortotropik özellik gösterirler. ahşap malzeme anizotrop bir malzeme olması dolayısıyla ahşap malzemede elastiklik modülü liflere paralel, radyal ve yıllık halkalara teğet olmak üzere üç esas yönde farklı bulunmaktadır. Ahşap malzemede elastiklik modülü değeri liflere paralel yönde en yüksek radyal yönde daha küçük, yıllık halkalara teğet yönde ise en düşüktür. Elastiklik modülü arttıkça, cisimler deformasyon meydana getiren kuvvetlere karşı daha yüksek bir mukavemet göstermekte, elastikiyet modülü azaldıkça daha kolay deforme olmaktadır. Elastikiyet modülü küçüldükçe cisim elastikleşir (Berkel 1970). Tablo 1.3’de kayın ve çam odununa ait programa veri olarak girilen orthotropic özellikler verilmiştir (Bozkurt ve Göker 1987; Gawroński 2006).

Tablo 1.3 Ortotropik özellikler.

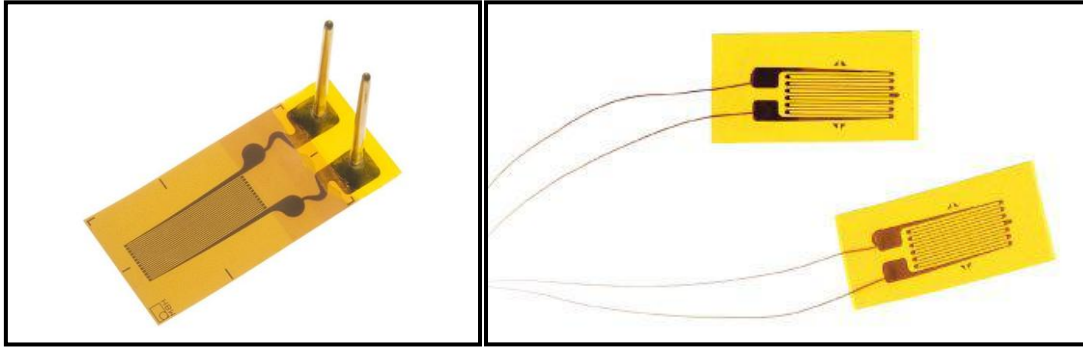
Mekanik Özellikler	Kayın	Çam	PVAc
Hava kurusu ağırlık	0,65 g/cm ³	0,52 g/cm ³	1,1 g/cm ³
Elastikiyet-Modülü (X)	14010 MPa	11700 MPa	
Elastikiyet-Modülü (Y)	1160 MPa	820 MPa	460 MPa
Elastikiyet-Modülü (Z)	2280 MPa	1660 MPa	
Poisson Sabiti XY	0.448	0.413	
Poisson Sabiti YZ	0.073	0.063	0,3
Poisson Sabiti XZ	0.708	0.685	
Kayma Modülü XY	470 MPa	370 MPa	
Kayma Modülü YZ	1640 MPa	1440 MPa	177 MPa
Kayma Modülü XZ	1080 MPa	1050 MPa	
Akma Gerilmesi	50 MPa	32 MPa	
Kopma Gerilmesi	75 MPa	45 MPa	

1.8.2 Gerinim Pulu- Gerinim Ölçer (Strengçeç)

Gerinim ölçer tekniğiyle, gerilme analizi yapmanın yanı sıra birçok büyüklüğün ölçülmesinde kullanılır hale gelmiştir. Bunlardan bazıları, kuvvet, moment, deplasman, basınç, sıcaklık, ağırlık gibi büyüklüklerin statik durumlarını veya değişimlerini ölçmek için tasarlanan

elektronik algılayıcıların çoğunluğu gerinim ölçer (birim uzama) uygulamasıdır. Hassas dijital kuyumcu terazilerinde, gıda sektöründeki otomatik ambalajlama sırasında kullanılan tartı cihazlarının yapımında çoğunlukla gerinim ölçerler kullanılır. Mühendislik uygulamalarında deneysel gerilme analizi yapılırken gerilmelerin ölçülmesi pratik yönden mümkün değildir. Ancak şekil değiştirme elemanlarının ölçülmesi ve bu büyüklüklerle gerilmeler arasındaki bağıntıları ve diğer mukavemet bağıntılarını kullanarak analiz yapmak mümkün olabilmektedir. Şekil değiştirme bileşeninin (birim uzama) ölçülmesinde pratikte en fazla kullanılan, en güvenilir ve hassas sonuçları veren yöntem strengeç uygulamasıdır (Ertaş 2007).

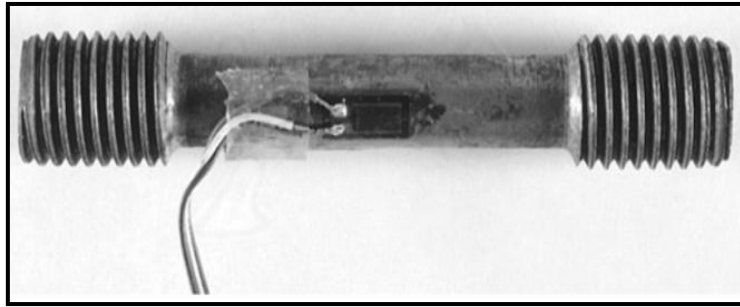
Üç Boyutlu elemanlarda şekil değiştirme (deformasyon) üç boyutta birden meydana gelmektedir. Malzemelerde mekanik kuvvet karşısında şekil değiştirmesiyle malzemede gerilme (direnc) ortaya çıkmaktadır. Bu dirençleri hassas bir şekilde gerinim pulu olarak adlandırılan strengeçlerle ölçülmektedir. Direncin değişimiyle hangi ekseninde ne büyüklükte deformasyon olduğu da anlaşılmaktadır. Ayrıca parçanın boyutları büyükse parça üzerinden birkaç strengeç yardımıyla gerinimin hangi bölgelerde olduğu incelenmiş olur. Bu pullar Şekil 1.13'de gösterildiği üzere, bir doğrultuya yönlendirilmiş dairesel kesitli bir teli içeren yalıtılmış elemanlardır (Zor 2011).



Şekil 1.13 Strenges örnekleri.

Bu pulu ölçüm yapmak istenilen parçanın üstüne istenilen doğrultuda yapıştırıp direnc değişimini ölçebilmekte ve bu yolla birim şekil değiştirme hesaplanabilmektedir (Zor 2011). Gerinim pulu, elastik bir taşıyıcı üzerinde bulunan birbirine paralel bağlantılı ince direnc tellerinden oluşmaktadır. Gerinim ölçerler çoğu katı cisme uygulanabilir. Gerinim pulu, gerinimi ölçülecek malzemenin deformasyonuna bakılması istenilen yüzeyine yapıştırılır. Ancak yapıştırılacak zemin uygun şekilde hazırlanmalıdır. Metalik malzemeler, plastik,

beton, taş, ağaç gibi farklı birçok malzeme üzerinde gerinim ölçerlerle ölçme yapılabilir. Yapıştırılacak zeminin hazırlanmasında ve bantın seçiminde titiz davranılmalıdır. Ölçüme uygun gerinim ölçer kullanılması önemlidir. Gerinim ölçer seçimi değişik uygulamalarda değişik amaçlarla kullanılmak üzere farklı tip ve boyutlarda gerinim ölçerler üretilir. Ölçümü yapılacak her problemin şartlara uygun kendine özel gerinim ölçerlerin seçilmesi gerekir. Gerinim ölçerinin ölçüm yapılacak zemine yapıştırma bölgesinde yeterli pürüzlülüğe sahip, temizlenmiş bir yüzey elde etmektir. Şekil 1.14’ da mikro gerinim pulu kullanılmıştır.



Şekil 1.14 Çelik vida üzerinde mikro strengaç örneği.

Üzerine yapıştırıldığı yüzeyde meydana gelen birim deformasyonu ölçmek için kullanılır. Uygulanan yükte doğru orantılı olarak gerinim pulu uzayacak ya da kısılacaktır. Pul üzerindeki teller de aynı şekilde uzunluğu değişecek ve direnci orantılı olarak azalır ya da artacaktır. Strengaçler mekanik hareketi elektronik sinyale çevirmek için tasarlanmışlardır. Dirençteki değişim ohm-metre birimi cinsinden ölçülebildiği halde, birim uzama ölçüm cihazları, direnç değişimini voltaj birimine çevirir. Giriş ile çıkış voltajı arasındaki ilişki, sistem hassasiyetinin saptanmasında kullanılır. Kuvvet uygulanan malzemede delik veya çentik etrafındaki gerilme yığılma katsayılarının belirlenmesinde de strengaç kullanılabilir (URL-2, 2011).

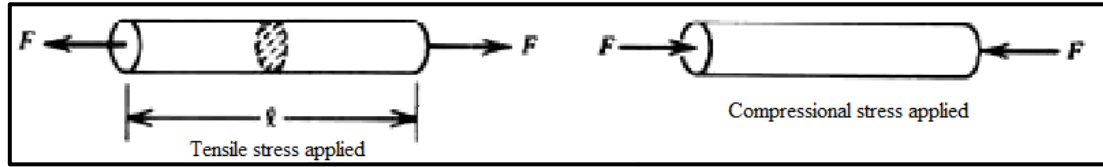
1.8.3 Gerilme

Gerilme, birim yüzeye düşen kuvvettir. Gerilme alanı, kesit yüzeye dikey etkiyorsa, bu gerilmeye normal gerilme, gerilmenin kesit düzleminde olması halinde oluşan gerilmeye ise kayma gerilmesi denmektedir. Dış kuvvete maruz kalan bir cisim, gerilme ve uzama altındadır. Gerilim doğrudan ölçülemez. Fakat etkisi ölçü ile bilinir. Elastikiyet modülü ile gerinim arasındaki ilişki bilinirse gerilme hesaplanabilir. Pozitif gerinim çekme (tensile),

negatif gerinim ise basma (compressive) olarak adlandırılır. Şekil 1.15’de çekme ve basma gerilmesi gösterilmiştir.

Gerilme değerlerinin hesaplanmasında;

Gerilme = Gerinim x Elastikiyet modülü ($\sigma = \epsilon \cdot E$) formülü kullanılmaktadır.



Şekil 1.15 Cisimlere uygulanan kuvvet (F) karşısında çekme ve basınç gerilmesi.

Çekme gerilmesi malzemenin çekmeye karşı gösterdiği dirençtir. Gerilme değeri kuvveti kesit alanına bölerek bulunur. Bir malzemenin çekmeye karşı gösterdiği maksimum direnç çekme deneyi ile bulunur. Çekme deneyinde cisim, bir süre uzadıktan sonra kopar. Koptuğu andaki gerilme değeri maksimum çekme gerilmesi değeridir. Bu değer birim uzama miktarı ve elastikiyet modülünün çarpılması ile bulunur. Birim uzama miktarı, toplam uzama miktarının malzemenin toplam uzunluğuna bölünmesi ile bulunur. Basma gerilmesi, malzemenin basmaya karşı gösterdiği dirençtir. Gerilme değeri kuvveti kesit alanına bölünerek bulunur. Bir malzemenin basmaya karşı gösterdiği maksimum direnç basma deneyi ile bulunur. Basma deneyinde cisim, bir süre kısalır daha sonra ya kırılır ya ezilir ya da yeterli kuvvet verilemezse şeklini korur. Kırıldığı andaki gerilme değeri maksimum basma gerilmesi değeridir (Yaşar 2006).

1.9 POISSON ORANI

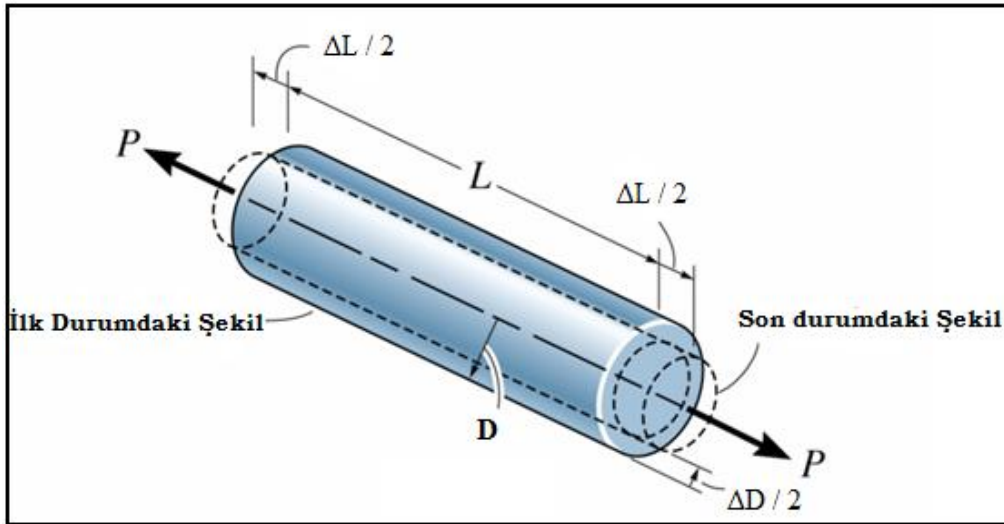
Simeon Denis Poisson tarafından ortaya atılan ve kendi adını taşıyan poisson oranı günümüzde çoğu mühendislik alanında malzemenin yapısını belirlemeye yarayan önemli özelliklerden biridir. Birçok farklı tanımlamanın yapıldığı poisson oranı, bir malzemede kuvvet uygulanan yöndeki kısalma miktarı ile diğer yöndeki uzama miktarı arasındaki bağıntıdır. Diğer bir deyişle cisimlerdeki enine kısalmanın boyuna uzamaya oranıdır. Bu oran pozitif ve negatif olabilir. Çoğu malzeme pozitif poisson oranına sahipken yakın geçmişte bazı negatif poisson oranına sahip doğal ve yapay malzemeler bulunmuştur. Poisson oranı teorik olarak $-1 < \nu < 0,5$ arasında değişmektedir. Tablo 1.4' de bazı malzemelerin Poisson

değerleri verilmiştir. Lastik ve kauçuk gibi elastik malzemelerde oran pozitif yönde artarken daha katı malzemelerde sifıra yakındır (Uzun 2009).

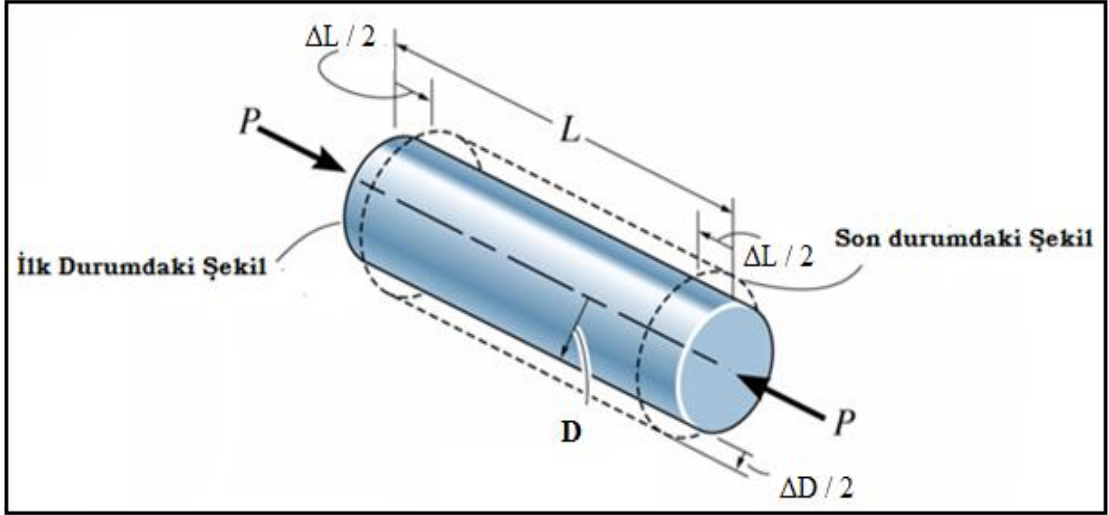
Tablo 1.4 Bazı malzemelerin poisson değerleri.

Malzeme	Poisson oranı
Cam	0,24
Bakır	0,36
Beton	0,13
Çelik	0,27-0,30
Epoxy reçine	0,38
Kauçuk	0,48-0,50
PVC	0,35
Kayın	0,35
Çam	0,30

Enine genişlemenin boyuna genişlemelere oranının her malzeme türü için sabit bir oran olduğu tespit edilmiş ve bu değer Poisson Katsayısı veya Poisson Oranı denmektedir. Genellikle (ν) ile gösterilir. Poisson oranı malzemeye bağlı bir katsayıdır (Yaşar 2006). Şekil 1.16'da çekilen malzemedeki uzama oranının daralmaya oranı gösterilmiştir. Malzeme uzama yaptıkça enine kesitte daralma meydana gelmektedir.



Şekil 1.16 Çekme durumunda şekil değişimi (Mecitoğlu 2005).



Şekil 1.17 Basınç durumunda şekil değişimi (Mecitoğlu 2005).

Şekil 1.17’de ise basınç kuvveti uygulanması sırasında malzemedeki boyuna kışalmanın enine büyümeye oranı gösterilmiştir. Boyuna deformasyon oranı Eşitlik 1.3’de ve enine deformasyon oranı Eşitlik 1.4’de, poisson oranı Eşitlik 1.5’ de verilmiştir.

$$\varepsilon_l = \Delta L / L \text{ (Boyuna deformasyon oranı)} \quad (1.3)$$

$$\varepsilon_d = \Delta D / D \text{ (Enine deformasyon oranı)} \quad (1.4)$$

$$\nu = \varepsilon_d / \varepsilon_l \text{ (Poisson Oranı) (ASTM - E 132 2010)} \quad (1.3)$$

BÖLÜM 2

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 MATERYAL

2.1.1. Ahşap Malzeme

Bu çalışmada, mobilya endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) ve Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) kullanılmıştır. Ahşap malzeme piyasadan rastgele seçim yöntemi ile temin edilmiştir. Deney örnekleri kaba ölçülerine getirilerek güneş ışığı almayan ve havalandırılabilen bir ortamda 20 ± 2 °C sıcaklık ve % 65 ± 5 bağıl nem şartlarında % 12 rutubete ulaşmaya kadar bekletilmiştir. Ahşap malzemenin piyasadan temini sırasında çatlaksız, budaksız, kuru ve böceklerden etkilenmemiş olmasına dikkat edilmiştir. Örneklerin hazırlanma işlemi Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya Dekorasyon Eğitimi Bölümü Uygulama Atölyesi ve laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

2.1.2 Yapıştırma Elemanı

Deney örneklerinin yapıştırılmasında PVAc-D3 tutkalı kullanılmıştır. Zıvana ve kavela birleştirme bölgelerine firmanın önerileri doğrultusunda yaklaşık 200 gr/m^2 olacak şekilde tutkal uygulanmıştır. Yüzeyle uygulanacak tutkal miktarı oranı 20 cc'lik tıbbi enjektör yardımıyla ayarlanmıştır. TS 3891 standardına göre PVAc tutkalı uygulanmıştır. PVAc tutkalının yoğunluğu, $1,1 \text{ g/cm}^3$, viskozitesi 13.000 - 17.000 mPas, 20 °C'deki pH değeri $2,8 \pm 0,1$ ve kül oranı % 3'dür. Pres süresi % 6–15 rutubet derecelerinde, soğuk preste 20 dakika ve 80 °C'deki preste 2 dakika olarak tavsiye edilmektedir. Şekil 2.1'de yapıştırılacak yüzeyle enjektörle tutkal sürülmesi işlemi gösterilmiştir (Örs 1987).



Şekil 2.1 Yüzeyle sürülen tutkalın enjektörle ayarlanması.

Sıcak pres sürecinden sonra, malzeme normal sıcaklığa gelinceye kadar bekletilmiştir (TS 3891, 1983). Deneylede kullanılan ve analiz programında tanıtılan tutkal filminin kalınlığı 0.15 mm şeklindedir. Deneyledeki birleştirmelerde dişi ve erkek parçaların arasında kalan düz tutkal katmanı Şekil 2.2’de görülmektedir.



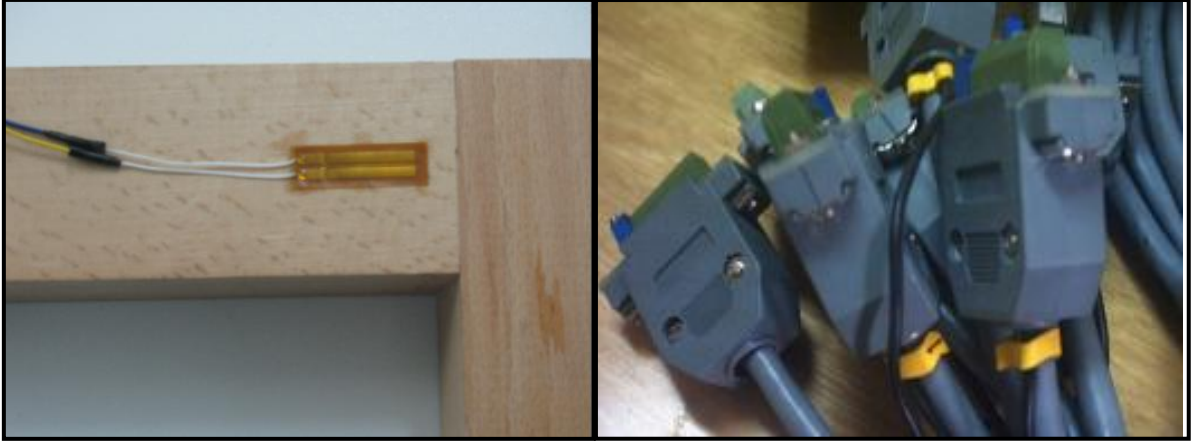
a

b

Şekil 2.2 Tutkal katmanları a. Basınc deneyi öncesi, b. Basınc deneyi sonrası.

2.1.3 Gerinim pulu (Strenggeç)

Çalışmada kullanılan strenggeçler HBM firmasından temin edilmiş olup, strenggeçlerin 120Ω (ohm) $\pm \%0.35$ standart değerlerinde olduğu belirtilmiştir. Deneyleerde 20/120LY41 strenggeç tipi kullanılmıştır. Strenggeç uygulamalarında HBM firmasının kullanım önerilerine uyulmuştur. Kullanılan strenggeçler 32x3,2 mm boyutlarındadır. Şekil 2.3’de deneyleerde kullanılan strenggeç ve veri kablosu örnekleri gösterilmiştir.



a

b

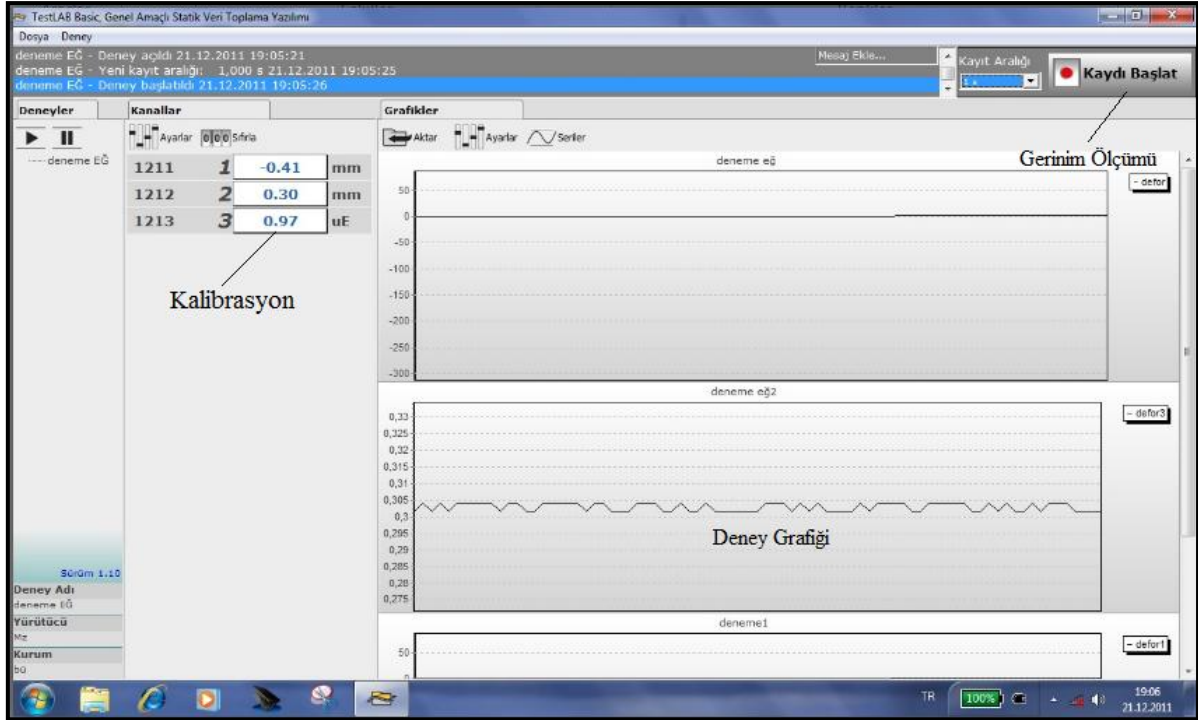
Şekil 2.3 Deneyleerde kullanılan cihazlar a. Strenggeç, b. Veri aktarım kablosu.

Gerinim ölçme deneyleeri Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Laboratuvarı’nda yapılmış olup deneyleerde 10.000 kg kapasiteli test cihazı kullanılmıştır. Deneylee aşamasında testbox-1001 cihazından okunan birim deformasyon değerleri kaydedilerek, gerinim değerleri elde edilmiştir. Şekil 2.4’de deneyleerde gerinim ölçümü uygulaması görülmektedir.



Şekil 2.4 Deneyleerde gerinim ölçümü uygulaması.

Deneylerde, ahşap malzemelerin gerinimlerini ölçmek için kullanılan gerinim ölçer cihazı 10^{-6} hassasiyetle çalışmaktadır. Gerinim ölçümüne başlamadan cihazların kalibrasyon ayarının yapılması gerekmekte olup, bu işlem Şekil 2.5’de gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Strengaçlerin kalibrasyon ayarı.

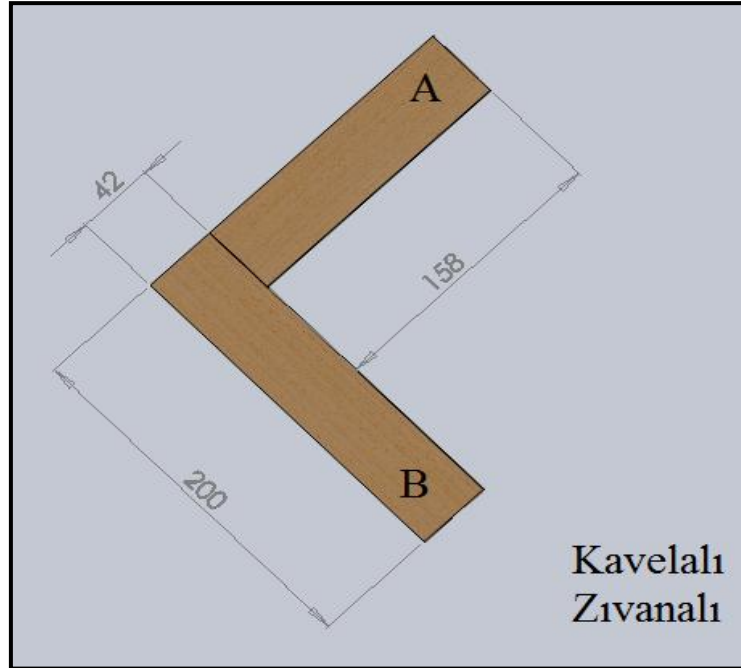
2.2 DENEY ÖRNEKLERİNİN HAZIRLANMASI

Sarıçam ve Doğu kayını ağaçlarından seçilen ahşap örnekler, ağaç türünü temsil edecek şekilde budaksız, ardaksız, sağlam, düzgün lifli, diri odun kısmından, reçinesi ve büyüme kusuru bulunmayan parçalardan seçilerek hazırlanmıştır. Buna göre; 2 ahşap malzeme, 2 birleştirme tekniği, 3 yükleme çeşidi (Diyagonal Çekme, Diyagonal Basma ve Eğilme) ve 10 adet numune olmak üzere (2x2x3x10) toplam 120 adet deney örneği hazırlanmıştır. Her bir deney örneği A ve B elemanından oluşmaktadır. A elemanı 200x42x42 mm, B elemanı ise 158x42x42 mm ölçülerindedir. Deneme deseni Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1 Deneme deseni.

Ahşap Türü	Birleştirme Tekniği	Deney metodu
Sarı Çam	Kavela	Diyagonal çekme
		Diyagonal basınç
	Zıvana	Eğilme
		Diyagonal çekme
Doğu Kayını	Kavela	Diyagonal basınç
		Eğilme
	Zıvana	Diyagonal çekme
		Diyagonal basınç
		Eğilme

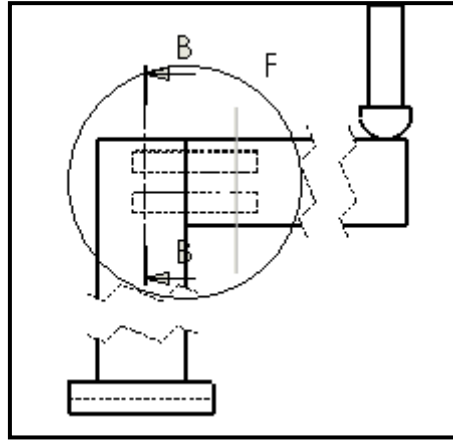
Numunelerin genişlik ölçüsü TS. 5913'e göre belirlenirken, boyları da test cihazının minimum ve maksimum ölçüleri göz önüne alınarak tespit edilmiştir. Şekil 2.6'da A ve B elemanlarından oluşan deney örnekleri görülmektedir.



Şekil 2.6 A ve B elemanlarından oluşan deney örnekleri.

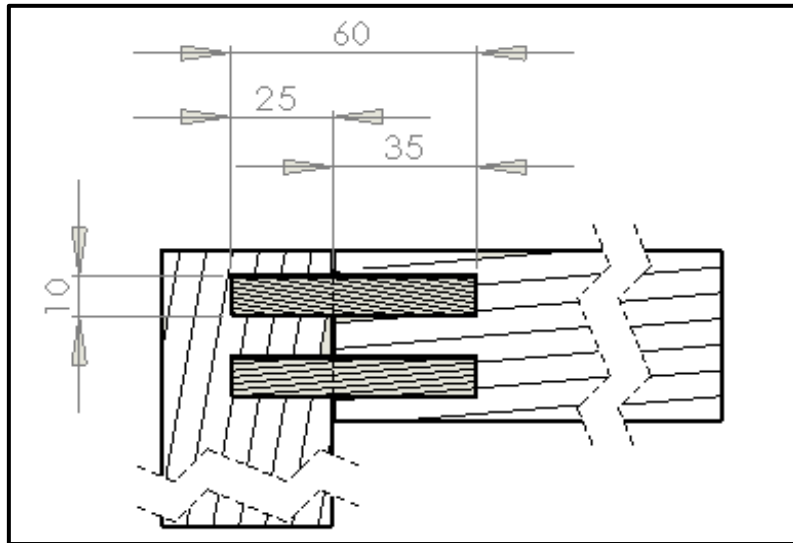
2.2.1 Kavelalı Birleştirme Deney Örneklerinin Hazırlanması

Deney örneklerinin bir bölümünü birleştirmek ve sistemin mukavemetini arttırmak amacıyla kavelalar kullanılmıştır. Ahşap malzemelerin deliklerinin hassasiyetini sağlamak amacıyla CNC matkap ile A elemanına $\phi 10$ 'luk 35 mm derinliğinde delik, B elemanına ise 25 mm derinliğinde delik açılmıştır. Kullanılan kavelanın boyu 57 mm'dir. A ve B parçalarında toplam 60 mm kavela için delik açılmıştır. Tutkal boşluğu için 3 mm pay bırakılmıştır. Şekil 2.7'de deney örneklerindeki kavelalı birleştirme şekli görülmektedir.



Şekil 2.7 Deney örneklerindeki kavelalı birleştirme.

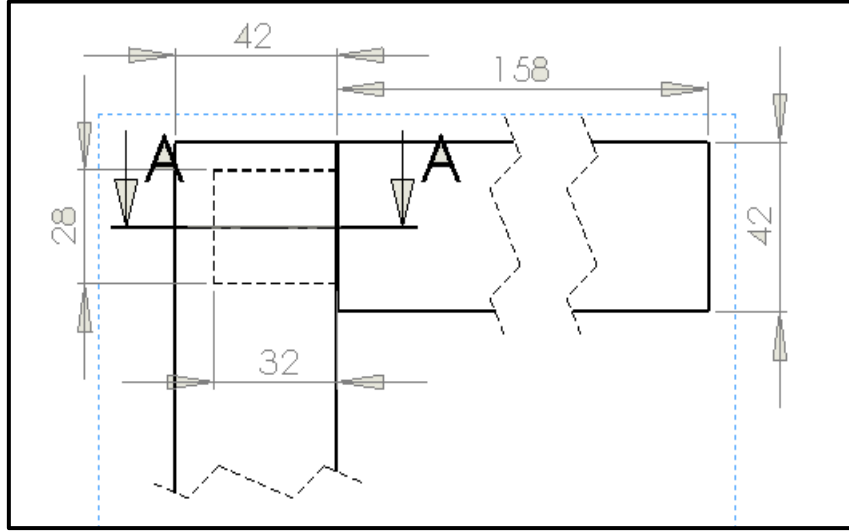
Yapılan birleştirmelerde kullanılan kavela çapı ve boyuna ilişkin ölçüler Şekil 2.8'de görülmektedir.



Şekil 2.8 Deney örneklerine ait kavela ölçüleri.

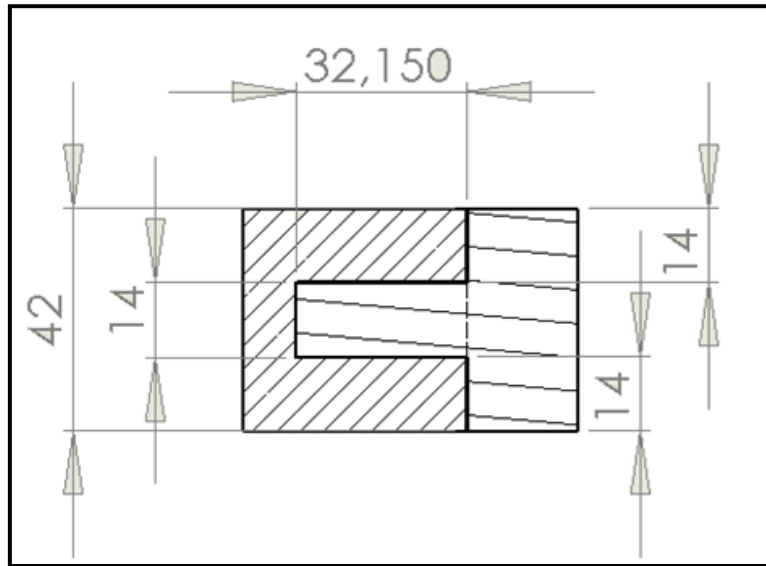
2.2.2. Zıvanalı Birleştirme Deney Örneklerinin Hazırlanması

İşlem sırası olarak önce parçalara dişi zıvana delikleri açılmış, daha sonra erkek zıvanalar açılmıştır. Örneklerin köşelerine perdah yapılarak, erkek ve dişi parçalar uyumlu hale getirilmiştir. Şekil 2.9’da zıvanalı birleştirme örneklerindeki ölçüler görülmektedir.



Şekil 2.9 Zıvanalı birleştirme örneklerindeki ölçüler.

Deney örneklerine ait zıvana kesiti Şekil 2.10’da görülmektedir. Zıvanalı birleştirmelerde tutkal her iki elemana da sürülmüş olup sıkıştırma işlemi her iki yüzde yapılmıştır.



Şekil 2.10 Deney örneklerindeki zıvana kesiti.

2.3. YÖNTEM

Araştırma kapsamında ilk olarak deneylerde kullanılan ağaç türlerinin eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel çekme direnci ve poisson oranı gibi bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Ahşap köşe birleştirmelerinin mekanik mukavemetlerini ölçmek için L tipi birleştirmelerde diyagonal basınç, diyagonal çekme ve eğilme dirençleri uygulamalı deneysel yöntemlerle belirlenmiştir.

Uygulamalı deneylerde elde edilen mekanik veriler, sonlu elemanlar metodu ile çalışan ANSYS programına yüklenmiş ve bu bilgiler ışığında L tipi köşe birleştirmelere kuvvet uygulanmıştır. Birleştirme şekilleri Solidworks'de tasarlanmıştır. Yapılan tasarım *.İges formatı ile ANSYS-LSDYNA/multifizik programına aktarılmaktadır. Modelleme sonucunda ANSYS programına girilen değerlerin analiz sonuçlarına ilişkin bulgular elde edilmiştir.

2.3.1 Deneylerde Kullanılan Ahşap Malzemelerin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Tespit Edilmesi

Ahşap köşe birleştirmelerinin mekanik mukavemetlerini ölçmeden önce, araştırmada kullanılan ağaç türlerinin eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel çekme direnci ve poisson oranı gibi bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş ve ANSYS programında bu ağaç türlerine ait gerçek veriler kullanılmıştır.

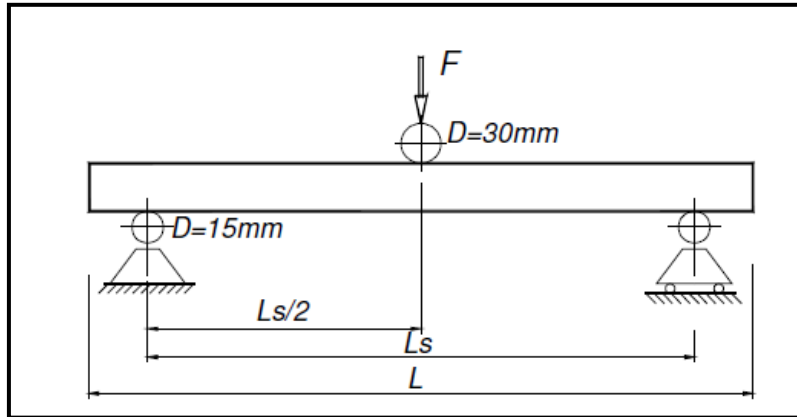
2.3.1.1 Hava Kuru Yoğunluk Tayini

Hava kuru yoğunluğun belirlenmesi için 20x20x30 mm boyutlarında örnekler kullanılmıştır. Örneklerin rutubetleri TS 2471, yoğunlukları TS 2472 esaslarına uyularak belirlenmiştir (TS 2471, 1976; TS 2472, 1976). Buna göre; deney örnekleri 20±2 °C sıcaklık ve % 65±3 bağıl nem şartlarında bekletilerek değişmez ağırlığa ve boyutsal stabiliteye ulaştıktan sonra 0.001 g duyarlıklı analitik terazide tartılmış, boyutları ±0,01 mm duyarlıklı kompas ile ölçülerek hacimleri belirlendikten sonra hava kuru haldeki ağırlık (M_{12}) ve hacim (V_{12}) değerine göre hava kuru yoğunluk (V_{12}). Eşitlik 1.6' daki formüle göre hesaplanır.

$$V_{12} = \frac{M_{12}}{V_{12}} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (1.6)$$

2.3.1.2 Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü Deneyi

Eğilme direnci deneylerinde TS 2474 (1976) esaslarına uyulmuştur. Deneylerden önce hava kurusu getirilen örneklerin genişlik ve yükseklikleri 0.01 mm duyarlıklı kumpasla ölçülerek kesit yüzeyleri hesaplanmıştır. Test makinesinin yükleme mekanizmasının hızı 2 mm/dk olarak ayarlanmıştır. Kırılmanın yükleme anından itibaren 1-1.5 dakika içinde meydana gelmesini sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Dayanak noktaları açıklığı 30 cm olacak şekilde yerleştirilen örneklere, yıllık halkalara teğet yönde ve dayanak açıklığının orta kısmından kırılma işlemi gerçekleştirinceye kadar yük uygulanmıştır. Şekil 2.11’de deney numunesi görülmektedir.



Şekil 2.11 Eğilme dayanımı ve eğilmede elastikiyet modülü test düzeneği.

Eğilme direncinin hesaplanmasında;

E: Eğilmede elastikiyet modülü (N/mm²)

F: Yük-sehim oranlılık bölgesindeki yük artışı (N)

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

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

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

B: Deney parçasının genişliği (mm),

H: Deney parçasının kalınlığı veya yüksekliği (mm),

F : (F2 – F1) kuvvet artışı nedeniyle deney parçası uzunluğunun ortasında meydana gelen sehim artışı (mm)' dir.

2.3.1.3 Liflere Paralel Çekme Direnci

Deney örneklerinin liflere paralel çekme direnci TS 2475 standardına göre belirlenmiştir. Kayın ve çam çekme örneklerinden 20'şer adet hazırlanmıştır. Liflere paralel çekme direnci deneyi değerlerinin belirlenmesi için deney numunesinin esas çekilme bölgesi kalınlığı (a) = 7 mm, genişlik (b) = 15 mm, deney bölgesi uzunluğu $L_v = 150$ mm'dir. Uç kalınlığı = 15 mm, genişlik = 40 mm olup deney örnekleri Şekil 2.12'de görülmektedir.



Şekil 2.12 Liflere paralel çekme direnci deney örnekleri.

Deneyler Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü Laboratuvarı'nda bulunan 5000 kg kapasiteli Universal Zwick Roell Z50 test cihazında yapılmıştır. Deneylere ilişkin veriler test cihazına bağlı olan bilgisayara aktarılmıştır. Deney örneğinin kopma anındaki görüntüsü Şekil 2.13'deki gibidir.



Şekil 2.13 Liflere paralel çekme direnç deneyi örneği.

Bu deneylerden elde edilen sonuçlar Eşitlik 1.7 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma_{\parallel} = \frac{P_{max}}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (1.7)$$

Burada;

σ_{\parallel} = Liflere paralel çekme direnci (kg/cm²)

P_{max} = Kırılma anında oluşan yük (kg)

A = Enine kesit alanı (cm²) dir.

2.3.1.4 Poisson oranının tespiti

Deney numuneleri TS 2475'e göre hazırlanmış ve poisson oranındaki daralmanın uzamaya oranı ölçülmüştür. Deneylerde birim ölçme olarak strengaçler kullanılmıştır. Strengaçler 10⁻⁶ hassasiyetle ölçüm almaktadır. Deneylerde Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi Odun Mekaniği ve Teknolojisi Laboratuarından ve Karabük Üniversitesi Mekanik Laboratuarından faydalanılmıştır. Poisson oranının belirlenmesinde strengaçler yardımıyla ölçümler Şekil 2.14'de görülmektedir.



Şekil 2.14 Poisson oranının strengaç yardımıyla belirlenmesi.

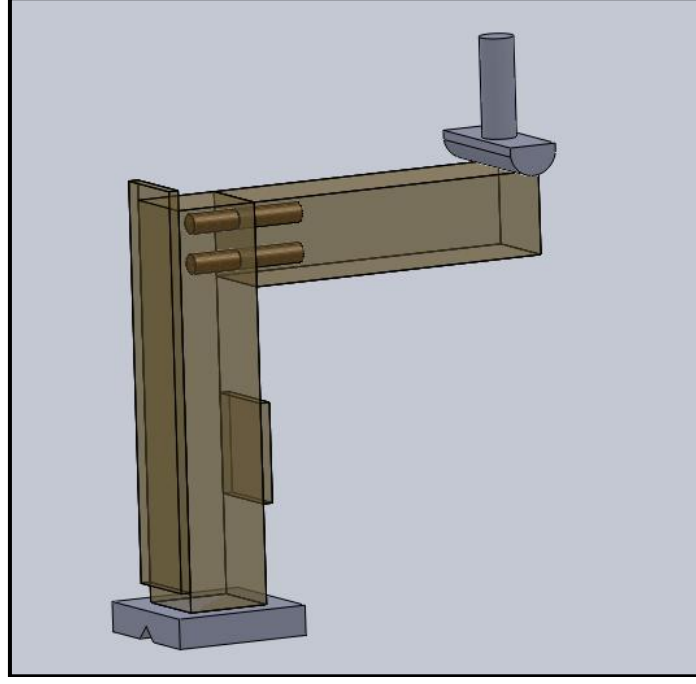
2.3.2 Uygulamalı Deneysel Çalışmalar

L tipi köşe birleştirmeler TS 5913 ve ASTM 1037 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Deneyler için Karabük Üniversitesi Mobilya Dekorasyon Eğitimi Bölümü'nde bulunan 5000 kg kapasiteli Zwick Roell Z50 Üniversal test cihazı ve Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi Odun Mekaniği ve Teknolojisi laboratuvarındaki test cihazı kullanılmıştır. Deney sırasında kırılma anındaki kuvvet miktarı ve grafik cihaza bağlı bilgisayara aktarılmaktadır.

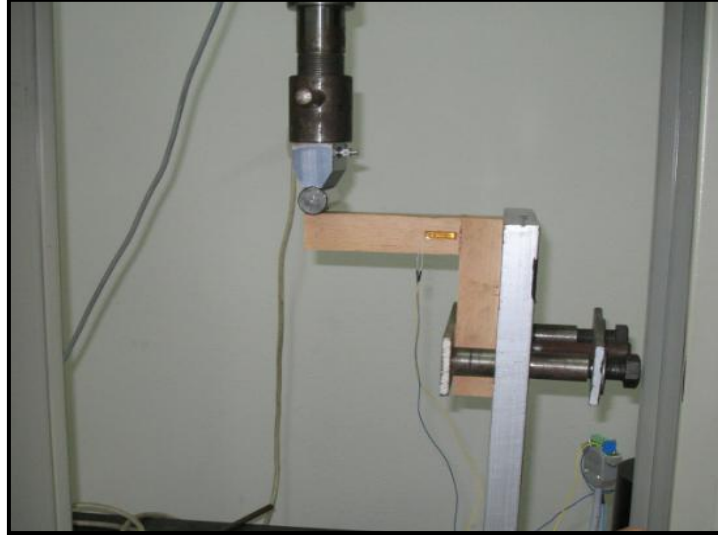
2.3.2.1 Eğilme Deneyi

Köşe birleşme yerlerindeki açılma ve kapanmayı temsil eden eğilme deneyi yapılmıştır. Eğilme deneyinde deney düzeneği modellemesi ve uygulamadaki deney düzeneği Şekil 2.15 ve 2.16'da gösterilmiştir. Şekil 2.15'deki resim solidworks programı ile çizilmiş olup ANSYS programına *igs formatında aktarılmıştır. Eğilme deneyi için A elemanı platforma dik şekilde sabitlenmiş, B elemanının uç kısmına ise kuvvet uygulanmıştır. Birleştirmenin gösterdiği dirençte azalma olana kadar devam etmiştir.

$M = F_{max} \times L$ formülü ile hesaplanmıştır.



Şekil 2.15 Eğilme deneyi düzeneği modellenmesi.

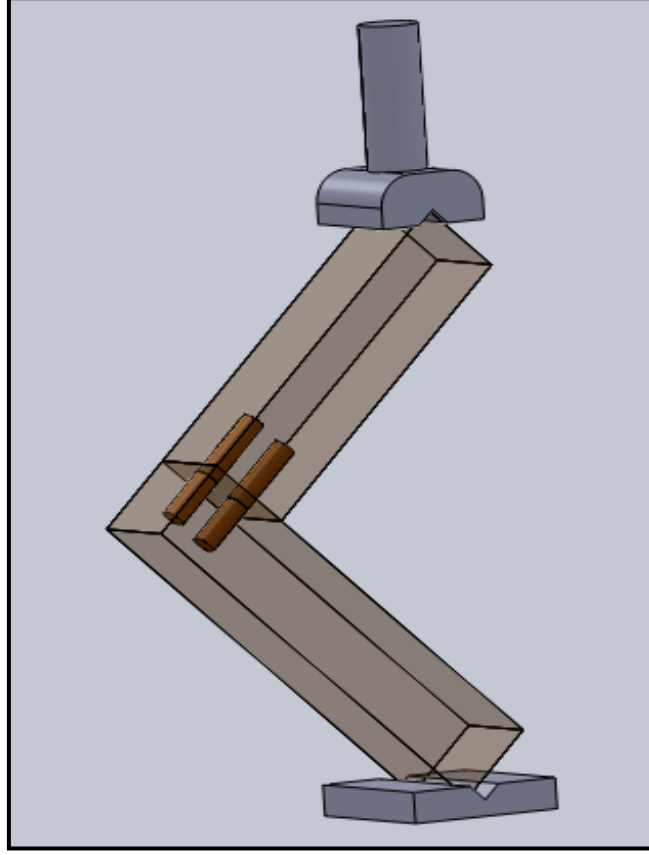


Şekil 2.16 Eğilme deneyi düzeneği.

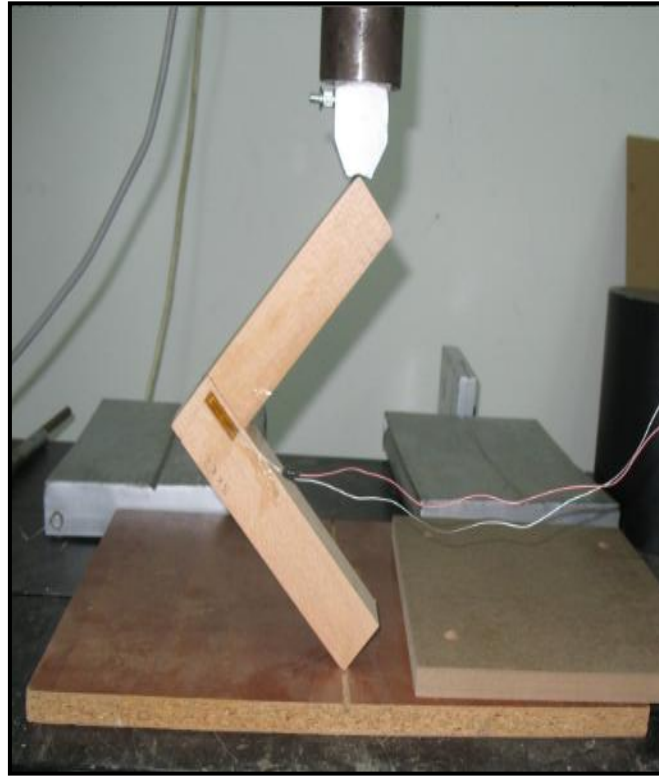
2.3.2.2 Diyagonal Basınç Deneyi

Köşe birleşme yerlerindeki açılma ve kapanmayı temsil eden diyagonal basınç deneyi yapılmıştır. Diyagonal basınç deneyinde deney düzeneği modellenmesi ve uygulamadaki deney düzeneği Şekil 2.17 ve 2.18’de gösterilmiştir. Şekil 2.17’deki resim solidworks programı ile çizilmiş olup ANSYS programına *igs formatında aktarılmıştır.

$M = F_{maxb} \times L_b$ formülü ile hesaplanır.



Şekil 2.17 Diyagonal basınç deneyi düzeneği modellemesi.

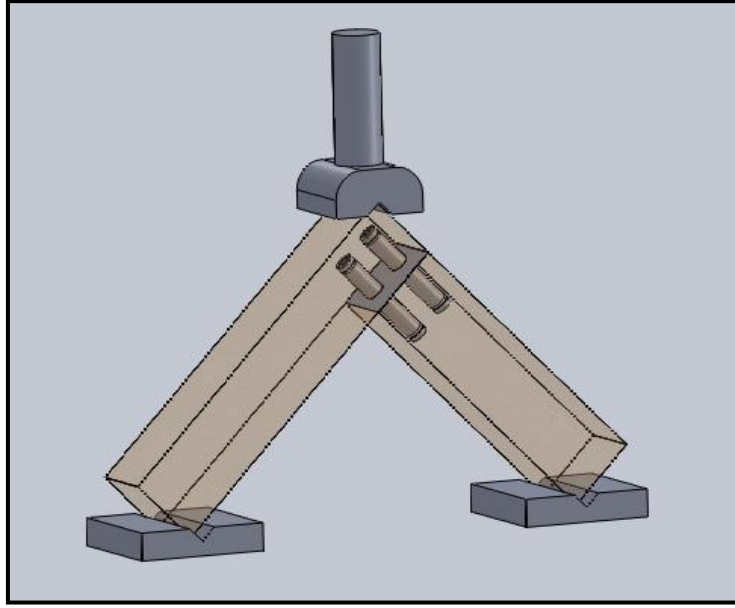


Şekil 2.18 Diyagonal basınç deneyi düzeneği.

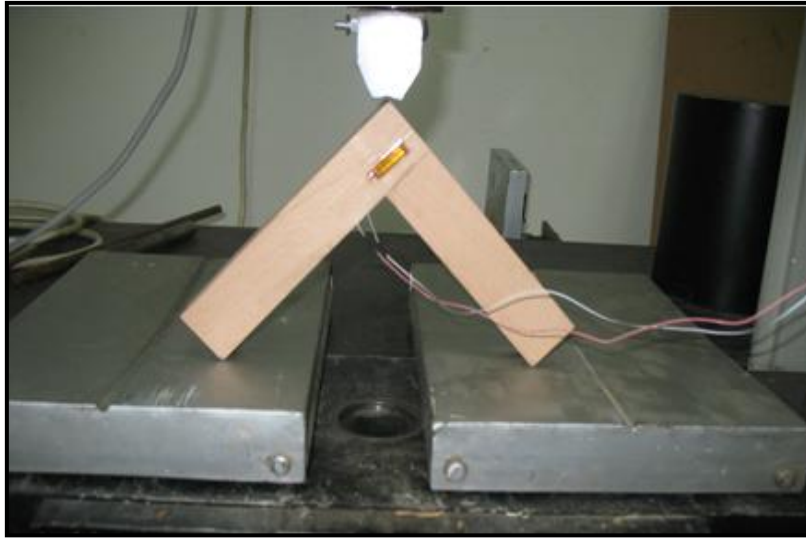
2.3.2.3 Diyagonal Çekme Deneyi

L tipi köşe birleştirme yerlerindeki açılma ve kapanmayı temsil eden diyagonal çekme deneyi yapılmıştır. Diyagonal çekme deneyinde birleştirme yapılmış parçalar hareketli yatakların üzerine konularak deney yapılmaktadır. Şekil 2.19 ve 2.20’de diyagonal çekme deneyi düzeneği ve modellemesi gösterilmiştir. Şekil 2.19’daki resim solidworks programı ile çizilmiş olup ANSYS programına *igs formatında aktarılmıştır.

$M_{\text{ç}} = F_{\text{maxç}} / 2 \times L_{\text{ç}}$ formülü ile hesaplanır.



Şekil 2.19 Diyagonal çekme deneyi düzeneği modellemesi.



Şekil 2.20 Diyagonal çekme deneyi düzeneği.

2.3.3 Bilgisayar Destekli ANSYS/LS-DYNA ile Modelleme ve Analiz Çalışmaları

Mobilya köşe birleştirme tasarımında kullanılan birleştirme elemanlarının sonlu elemanlar analizi ANSYS 12.1 programının LS-DYNA modülü ile yapılmıştır. Parametrik katı modeller Solidworks 2010 programı ile tasarımı yapılmıştır. Yapılan tasarımlar *İGS formatlı olarak Sonlu Elemanlar Metodu ANSYS' e aktarılmıştır.

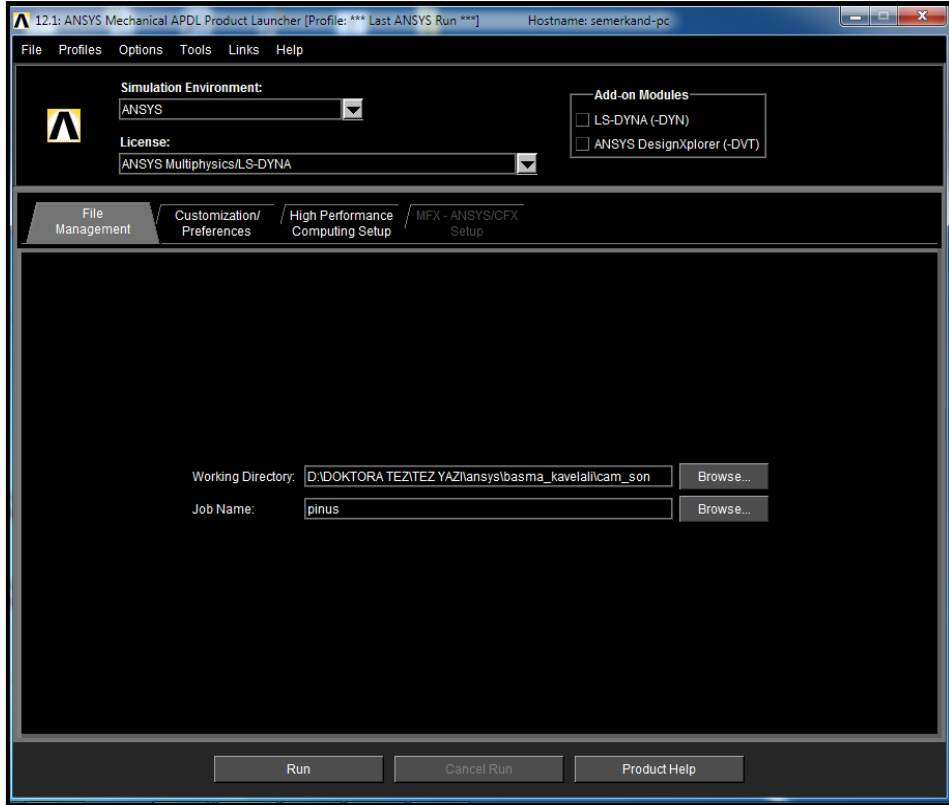
2.3.3.1 ANSYS/LS-DYNA Modellemesi

ANSYS çözüm mantığı, analizi yapılacak parçanın işlem sırası CAD (bilgisayar destekli tasarım) modelinin oluşturulması modelin ANSYS programı içerisinde yapılması da mümkün olup ANSYS programı diğer formattaki çizim programlarından aktarılmasıyla tanımlanıp ANSYS' deki analiz işlemlerine hazır hale getirilmiş olmaktadır. Sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS 12.1 programında, mobilya birleştirme elemanı gerçekte olduğu gibi üç boyutlu olarak analiz edilmektedir.

Yapısal analiz için ANSYS 12,1'de izlenen yollar;

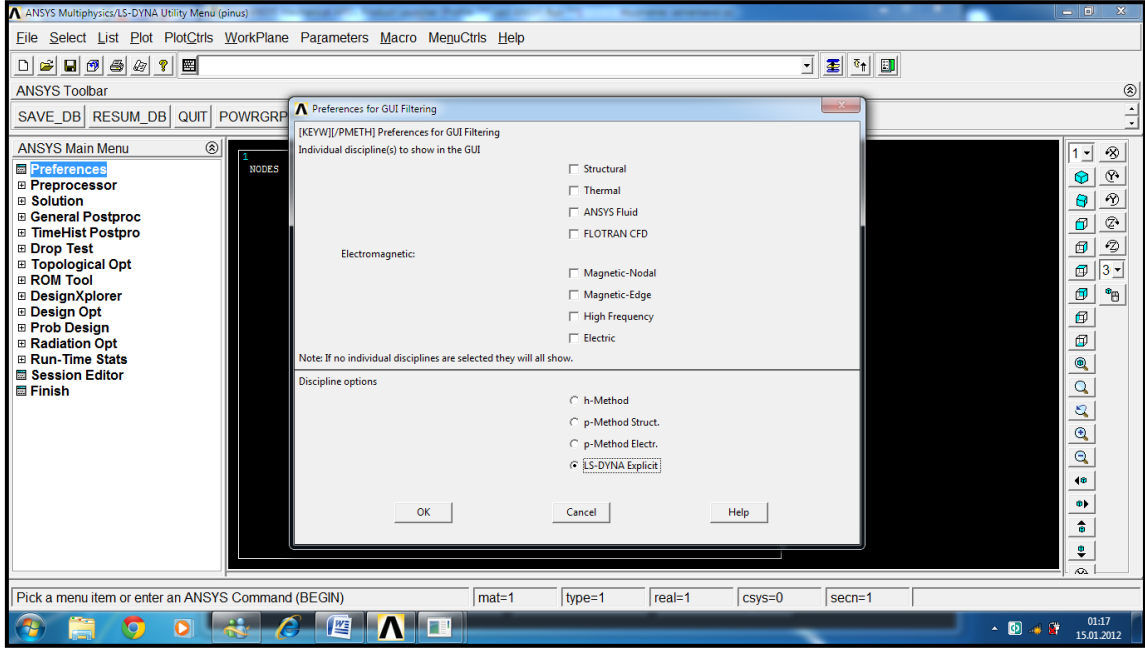
1. ANSYS'de analiz sisteminin belirlenmesi
2. Malzemelerin mekanik özelliklerinin tanımlanması
3. Model Aşaması CAD programlarından SOLIDWORKS' den aktarım
4. Elemanların Tanımlanması
5. Elemanların kesit özelliklerinin girilmesi
6. Niteliklerin Elemanlara Atanması
7. Her eleman için, malzeme ve kesit özelliklerinin tanımı
8. Elemanların ve uç (birleştirme) noktaların oluşması
9. Çözüm Aşaması
 - 9.1 Mesnet noktalarının ve mesnet tiplerinin belirlenmesi
 - 9.2 Deney yüklerinin uygulanması
 - 9.3 Sistemin çözümünün yapılması
10. Sonuçların Alınması
11. Reaksiyon kuvvetlerinin alınması
12. Elemanlara etkiyen kuvvet ve momentlerin alınması
13. Elemanlarda oluşan gerilmelerin alınması

Sonlu elemanlar metodu ile çalışan ANSYS 12.1 paket programında deneyi yapılmak istenen yapı seçilir. ANSYS programında multifizik/LS-DYNA Explicit modülü deneylerde kullanılmıştır. Şekil 2.21’de ANSYS Multiphysics/LS-DYNA programın seçimi gösterilmiştir.



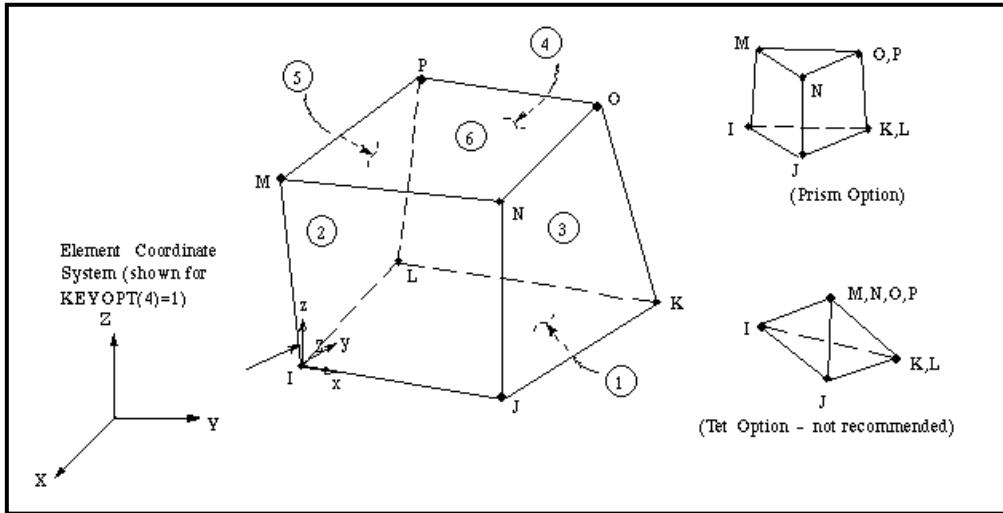
Şekil 2.21 ANSYS Multiphysics/LS-DYNA.

ANSYS/LS-DYNA’da programın seçimi yapıldıktan sonra çalışma alanı ve dosya ismi belirlenir, “run” komutu ile uygulama çalıştırılır. Analiz programlarının genelinde yapılan deneylerde bilgisayarın CPU ve RAM birimleri önemlidir. ANSYS programında CPU birimini daha fazla kullanmak için “high performance” bölümünden bilgisayar özelliğine göre seçim yapılmaktadır. Deneylerde Asus marka “core İ7 işlemcili” dizüstü bilgisayar kullanılmıştır. LS-DYNA solver bölümü 4 işlemci ile yapılmıştır. Run komutu başlatıldıktan sonra LS-DYNA analizinde işlem yapılacak bölüm seçilir. Şekil 2.22’de LS-DYNA programının alt komutunda LS-DYNA/Explicit ile deney metodu seçimine ilişkin uygulama görülmektedir.



Şekil 2.22 Bilgisayarda LS-DYNA/Explicit modülü seçimi.

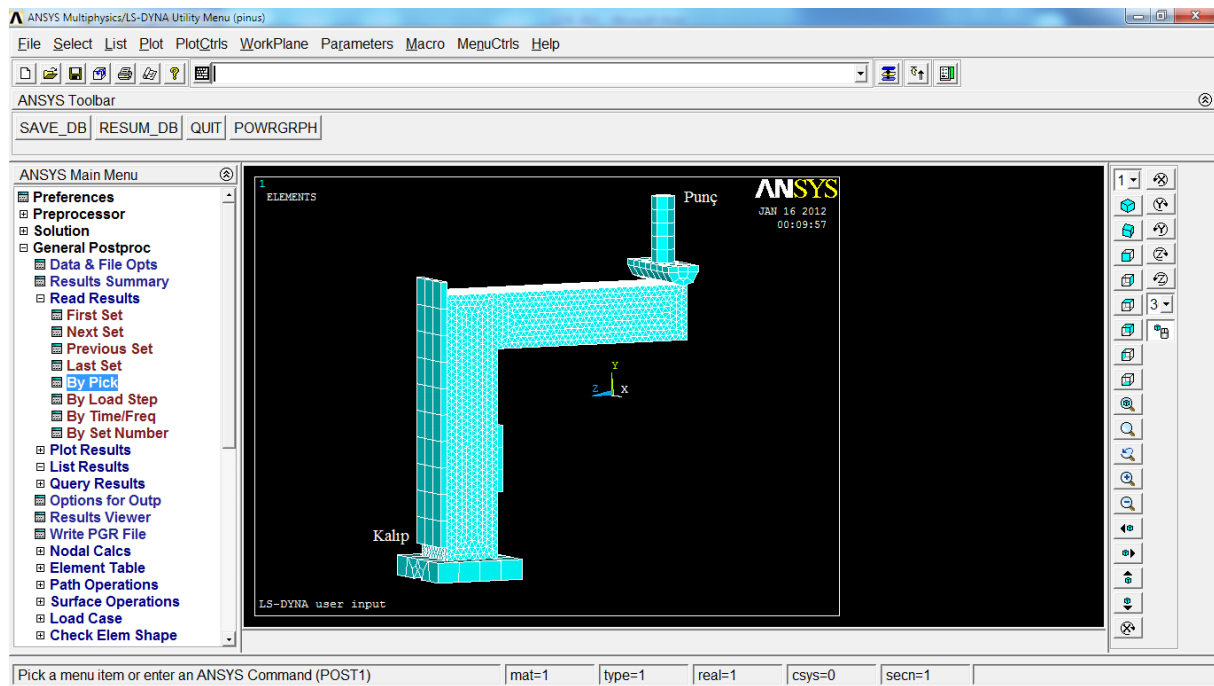
ANSYS/LS-DYNA analiz programında, deneyde kullanılacak metot seçildikten sonra malzeme seçimi yapılmaktadır. Deneylerde Şekil 2.23’de element tipi solid 164 seçilmiştir. Solid 164 elemanı çekmede çatlama, basınçta ezilme, plastik deformasyon ve sünme özelliklerini barındıran 8 düğüm noktalı solid elemandır. Her düğüm noktasında x, y ve z yönlerinde 3 ötelenme serbestlik derecesine sahiptir (ANSYS 2011). Zimba ve yataklar shell 163 seçilmiştir. ANSYS’de materyal olarak plastik kinematik seçilmiştir.



Şekil 2.23 Solid 164 sonlu elemanlar özellikleri.

2.3.3.2 ANSYS/LS-DYNA ile Eğilme Deneyleri

ANSYS/LS-DYNA programında uygulamalı deney düzeneğinde olduğu gibi B kenarından sabitleme, A kenarından kuvvet uygulaması olacak şekilde modelleme yapılmıştır. Deneylerde kullanılan kavelalı birleştirmelerde A ve B elemanları ile kavela, “kayın” ağacından yapılmış ve kayın ağacının mekanik değerlerini taşımaktadır. Deneylerde kullanılan A ve B elemanları ile yapılan birleştirme ANSYS’de Şekil 2.24’de görüldüğü gibi modellenmiştir.



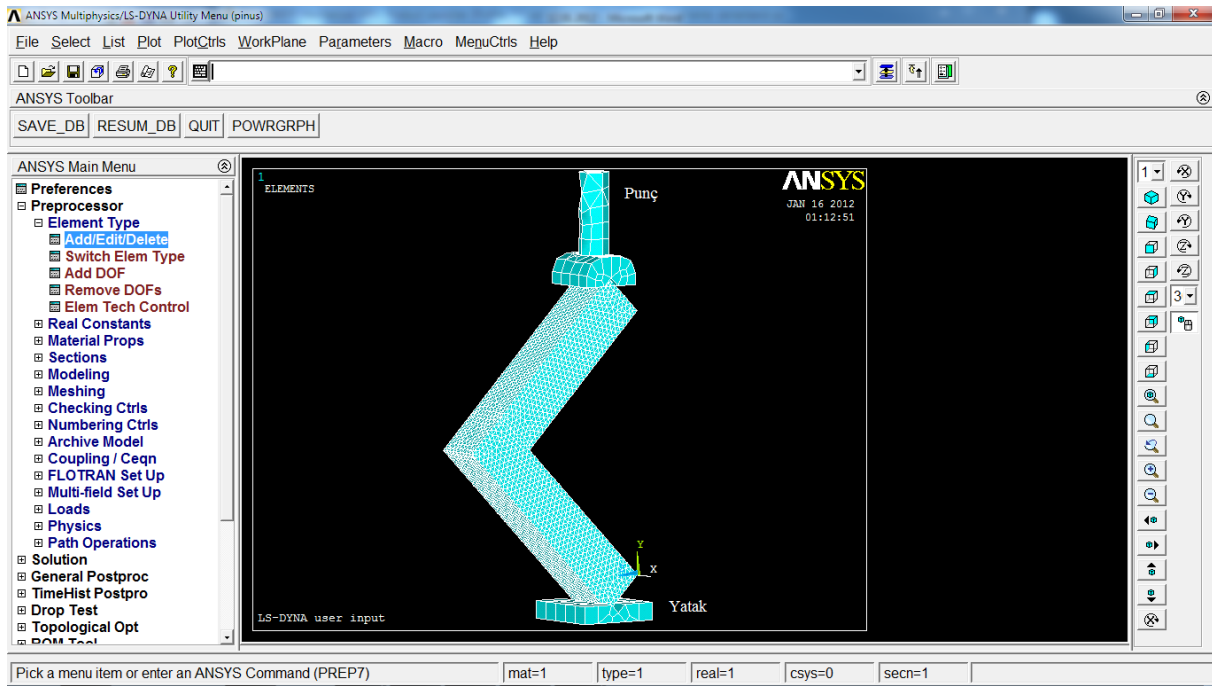
Şekil 2.24 ANSYS’de eğilme deneyi modellemesi.

Şekil 2.24’de görüldüğü üzere deney düzeneğine yerleştirilmiş L tipi köşe birleştirmedeki A parçası zımba değme noktasına kadar getirilmiş ve uygulamalı deneylerdeki aynı şartlar LS-DYNA’da modellenmiştir. B parçası uygulamalı deneylerde olduğu gibi metal kalıba yaslanmış, öne ve geriye doğru hareketi engellenmiştir. Metal kalıp LS-DYNA’da “x,y ve z” yönlerinde sabitlenmiştir. Zımba ise “x ve z” yönlerinde sabitlenmiş, “y” yönünde ise aşağı hareketine izin verilmiş fakat dönme yapmasına izin verilmemiştir. Daha önce Bölüm 2.3.1’de de belirtildiği üzere araştırmada kullanılan ağaç türlerinin eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel çekme direnci ve poisson oranı gibi bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş ve bu ağaç türlerine ait gerçek veriler LS-DYNA’da tanımlanmıştır. Yapılan modelleme ve verilerin tanımlanmasından sonra, program

çalıştırılmakta ve Şekil 2.24’de görülen zımba “y” yönünde hareket ederek deney numunesine kuvvet uygulamaktadır. Deneyde kullanılan element sayısı kavelalı için 47968, düğüm sayısı 10225’dir. Zıvanalı birleştirme için element sayısı 44908, düğüm sayısı 9532’dir.

2.3.3.3 ANSYS/LS-DYNA ile Diyagonal Basınç Deneyleri

ANSYS/LS-DYNA programında uygulamalı deney düzeneğinde olduğu gibi B kenarından sabitleme, A kenarından kuvvet uygulaması olacak şekilde modelleme yapılmıştır. Deneylerde kullanılan kavelalı birleştirmelerde A ve B elemanları ile kavala, “kayın” ağacından yapılmış ve kayın ağacının mekanik değerlerini taşımaktadır. Deneylerde kullanılan A ve B elemanları ile yapılan birleştirme ANSYS’de Şekil 2.25’de görüldüğü gibi modellenmiştir.



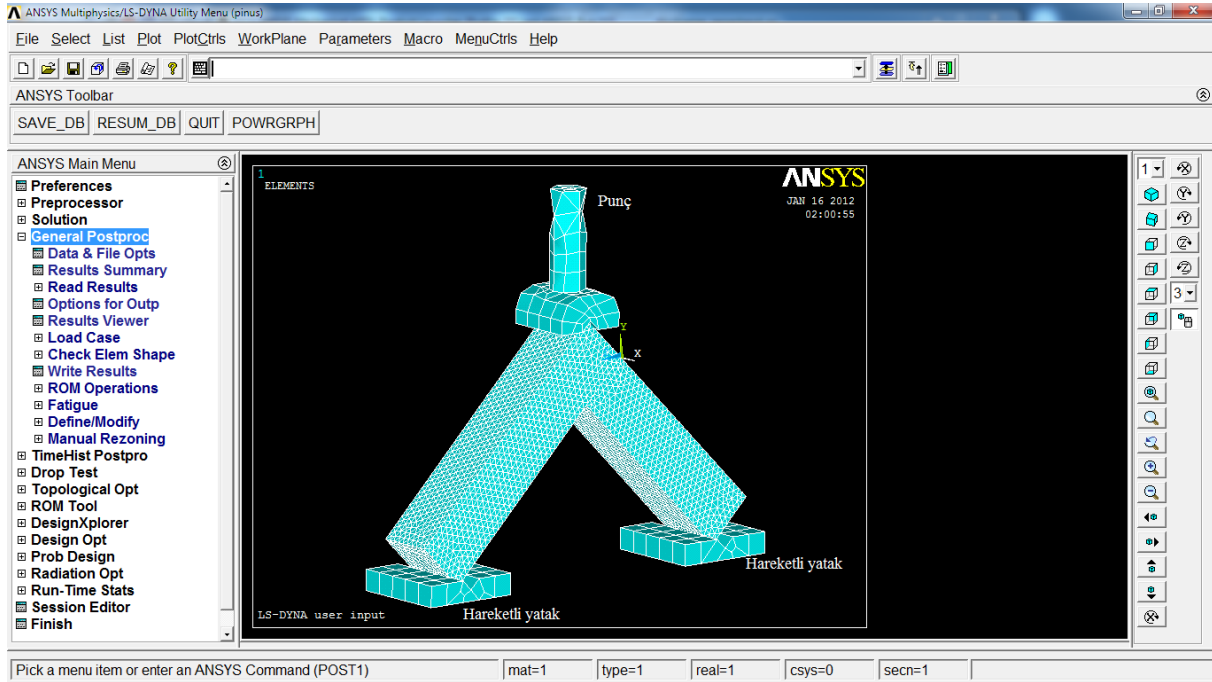
Şekil 2.25 ANSYS’de diyagonal basınç deneyi modellenmesi.

Şekil 2.25’de görüldüğü üzere deney düzeneğine yerleştirilmiş L tipi köşe birleştirmedeki A parçası zımba değme noktasına kadar getirilmiş ve uygulamalı deneylerdeki aynı şartlar LS-DYNA’da modellenmiştir. B parçası uygulamalı deneylerde olduğu gibi metal kalıpta bulunan kertiğe oturtulmuştur. Metal kalıp LS-DYNA’da “x,y ve z” yönlerinde sabitlenmiştir. Zımba ise “x ve z” yönlerinde sabitlenmiş, “y” yönünde ise aşağı hareketine izin verilmiş fakat dönme yapmasına izin verilmemiştir. Daha önce tespit edilmiş olan ağaç türlerinin

eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel çekme direnci ve poisson oranı gibi bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine ait gerçek veriler LS-DYNA’da tanımlanmıştır. Yapılan modelleme ve verilerin tanımlanmasından sonra, program çalıştırılmakta ve Şekil 2.25’de görülen zımba “y” yönünde hareket ederek deney numunesine kuvvet uygulamaktadır. Deneyde kullanılan element sayısı kavelalı için 45295, düğüm sayısı 9538’dir. Zıvanalı birleştirme için element sayısı 44725, düğüm sayısı 9450’dir.

2.3.3.4 ANSYS/LS-DYNA ile Diyagonal Çekme Deneyleri

ANSYS/LS-DYNA programında uygulamalı deney düzeneğinde olduğu gibi A ve B kenar köşeleri yatağa oturtularak sabitleme, B parçasının köşesinden zımba ile aşağı yönde kuvvet uygulaması olacak şekilde modelleme yapılmıştır. Deneylerde kullanılan kavelalı birleştirmelerde A ve B elemanları ile kavela, “kayın” ağacından yapılmış ve kayın ağacının mekanik değerlerini taşımaktadır. Deneylerde kullanılan A ve B elemanları ile yapılan birleştirme ANSYS’de Şekil 2.26’da görüldüğü gibi modellenmiştir.



Şekil 2.26 ANSYS’de diyagonal çekme deneyi modellemesi.

Şekil 2.26’da görüldüğü üzere deney düzeneğine yerleştirilmiş L tipi köşe birleştirmedeki B parçası zımba değme noktasına kadar getirilmiş ve uygulamalı deneylerdeki aynı şartlar LS-DYNA’da modellenmiştir. A ve B parçası uygulamalı deneylerde olduğu gibi metal kalıpta

bulunan kertiğe oturtulmuştur. Metal kalıp LS-DYNA’da “x ve y” yönlerinde sabitlenmiş, z yönünde ise hareket serbest bırakılmıştır. Zimba ise “x ve z” yönlerinde sabitlenmiş, “y” yönünde ise aşağı hareketine izin verilmiş fakat dönme yapmasına izin verilmemiştir. ANSYS’de diyagonal basınç deneyi modellemesinde olduğu gibi daha önce tespit edilmiş olan ağaç türlerinin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine ait gerçek veriler LS-DYNA’da tanımlanmıştır. Yapılan modelleme ve verilerin tanımlanmasından sonra, program çalıştırılmakta ve Şekil 2.26’da görülen zimba “y” yönünde hareket ederek deney numunesine kuvvet uygulamaktadır. Deneyde kullanılan element sayısı kavelalı için 48412, düğüm sayısı 10387’dir. Zıvanalı birleştirme için element sayısı 44797, düğüm sayısı 9526’dır. Analiz programında malzeme özellikleri olarak girilen değerler Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2 Ansys/ls-dyna programında kullanılan malzeme özellikleri.

Mekanik Özellikler	Sarıçam	Kayın
Yoğunluk	0,52	0,67
Elastikiyet modülü	10500	12500
Poisson oranı	0,3	0,35
Akma	32	50
Uzama	0,03	0,03
Kontak sürtünme	statik	0,3
	dinamik	0,7

2.4 VERİLERİN İSTATİSTİKSEL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan çalışmada verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi için SPSS paket programdan faydalanılmıştır. Çalışmada, faktörlerin elde edilen sonuçlar üzerinde anlamlı olup olmadığını belirleyebilmek için varyans analizine başvurulmuştur. Anlamlı bulunan faktörler üzerinde, farklılığın boyutunu belirleyebilmek için LSD testine başvurulmuştur. Ayrıca ortalama ve istatistiksel analizler için de yine tanımlayıcı istatistiklerden faydalanılmıştır.

BÖLÜM 3

BULGULAR VE İRDELEME

DeneySEL çalışmaların yanı sıra sonlu elemanlar yöntemi (Finite Element Analysis) kullanarak bilgisayar destekli üç boyutlu yapısal analizler yapılmıştır. Elde edilen deneySEL sonuçların, bilgisayar destekli analizler ile karşılaştırılması yapılmıştır. Deneylerde birleştirmelerin herhangi bir elemanın da ya da birleştirme noktasında kırılma, açılma vb. yer değiştirmeler meydana gelinceye kadar yük uygulanmış ve meydana gelen deformasyonlara bakılarak bilgisayar destekli analiz programıyla kıyaslanmıştır. Ağaç türü ve birleştirme çeşidi ile ikili etkileşiminin; deney örneklerinin eğilme, diyagonal çekme ve diyagonal basınç yükleri altında, birleştirme yerlerinde oluşan momentler üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla, çoğul varyans analizi yapılmıştır. Farklılıklar $p < 0,05$ 'e göre anlamlı çıkması halinde bu farklılıkların gruplar arasındaki önemi için LSD testi uygulanmıştır.

3.1 AHŞAP MALZEMELERİN BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE AİT BULGULAR

Ahşap köşe birleştirmelerin mekanik mukavemetlerinin belirlenmesi aşamasında ağaç türlerinin eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel çekme direnci ve poisson oranı gibi bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş, ANSYS/LS-DYNA modellemelerinde bu ağaç türlerine ait gerçek veriler tanımlamada kullanılmıştır.

3.1.1 Hava Kurusu Yoğunluklar

Deneylerde kullanılan ağaç malzemelerin sadece hava kurusu özgül ağırlıkları belirlenmiştir. Bölüm 2.3.3.1'de bahsedilen kurallara uygun olarak malzeme özelliği tespiti yapılmıştır. Buna göre belirlenen hava kurusu yoğunluk değerleri sarıçam odunu için $0,52 \text{ g/cm}^3$, kayın odunu için $0,67 \text{ g/cm}^3$ elde edilmiştir.

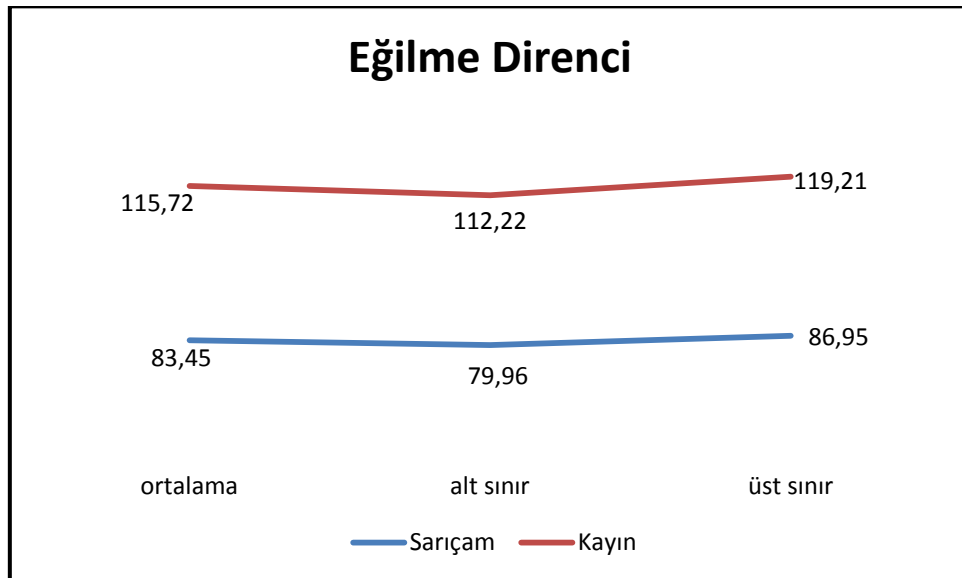
3.1.2 Eğilme Direnci

Deney örneklerinde belirlenen eğilme direncine ait aritmetik ortalama (X_{ort}), standart sapma (Std) değerleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 Eğilme direnci değişimine ilişkin sonuçlar.

Ağaç türü	Ortalama (N/mm ²)	Alt limit	Üst limit	Standart sapma
Sarıçam	83,45	79,96	86,95	5,99
Kayın	115,72	112,22	119,21	4,42

Eğilme direnci değeri en düşük sarıçam odunu örneklerinde 79,96 N/mm², en yüksek kayın odunu örneklerinde 119,21 N/mm² arasında değiştiği tespit edilmiştir. Kayın odununun ortalama eğilme direncinin 115,72 N/mm² iken sarıçam odununun ortalama eğilme direnci 83,45 N/mm² değerleri elde edilmiştir. Eğilme deneyi verileri incelendiğinde kayın odunundan elde edilen deney verileri sarıçam odunun daha yüksek mukavemet göstermiştir. Şekil 3.1’ de eğilme direnci alt – üst sınır değişimi görülmektedir.



Şekil 3.1 Eğilme direnci değişimi(N/mm²).

Ahşap malzemelerin daha yüksek mukavemet göstermesi elastikiyet modülüne bağlıdır. Elastikiyet modülü ahşap malzemenin elastik bölgesindeki direncini ifade etmekte olup, eğilme direncini etkileyen faktörler, elastikiyet modülünü de paralel şekilde etkilemektedir. Elastikiyet modülü arttıkça malzemenin elastik bölgesindeki direnci de yüksek olmakta ve daha fazla direnç göstermektedir. Deney örneklerinde eğilme direnci değerlerine ağaç türünün etkisini belirlemek için yapılan çoğul varyans analizine ilişkin sonuçlar Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Eğilme direnci çoğul varyans analizi sonuçları.

Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama kareler	F-hesap	P-değeri (p<0.05)
Ağaç türü	5204,18	1,00	5204,18	188,09	0,00
Hata	498,04	18,00	27,67		
Toplam	204045,67	20,00			

Çalışmada kullanılan ağaç türü örneklerin eğilme direncine etkilerini belirlemek için yapılan çoğul varyans analizi sonuçlarına göre sadece ağaç türünün % 95 güven aralığında eğilme direncine etkisinin anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

3.1.3 Eğilmede Elastikiyet Modülü

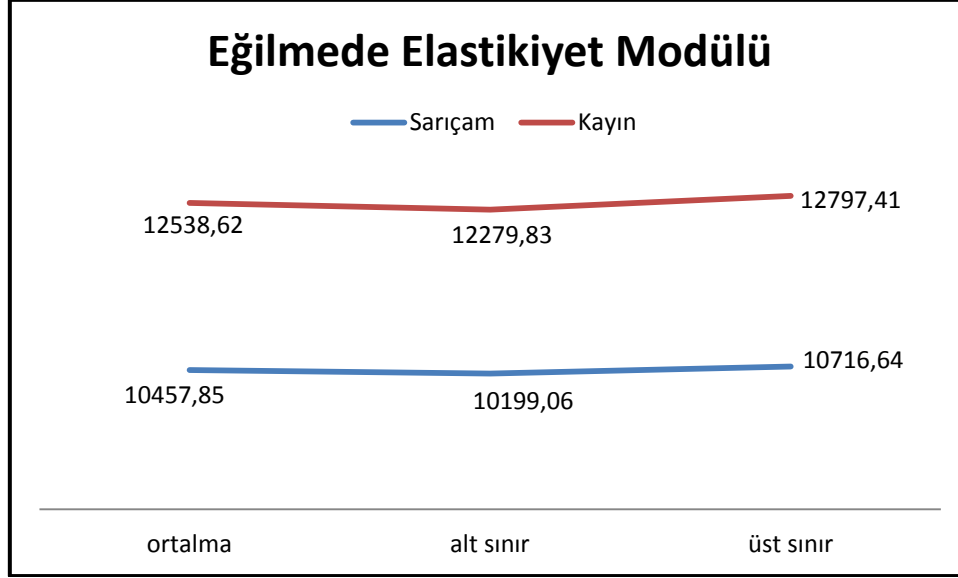
Eğilmede elastikiyet modülüne ilişkin sonuçlara ait aritmetik Ortalama (Xort), Standart Sapma (Std) değerleri Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3 Eğilmede elastikiyet modülü değişimine ilişkin sonuçlar.

Ağaç türü	Ortalama (N/mm²)	Alt limit	Üst limit	Standart sapma
Sarıçam	10457,85	10199,06	10716,64	499,02
Kayın	12538,62	12279,83	12797,41	233,34

Elastikiyet modülü en düşük sarıçamda 10199,06 N/mm² en yüksek kayın odununda 12797,41 N/mm² elde edilmiştir. Sarıçam odunu örneklerde ortalama 10457,85 N/mm², kayın

odunu örneklerde ortalama 12538,62 N/mm² bulunmuştur. Ağaç türlerine göre eğilmede elastikiyet modülüne ait ortalama, alt ve üst sınır değerleri Şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.2 Eğilmede elastikiyet modülü(N/mm²).

Eğilmede elastikiyet modülü, ahşap malzemelerden üretilen sandalye, dolap, masa, koltuk gibi ürünlerde eğilmeye maruz kalan yerlerdeki deformasyonlarda önem arz etmekte ve bu gibi yerlerde elastikiyet modülünün yüksek olması istenmektedir. Deney örneklerinde eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ağaç türünün etkisini belirlemek için yapılan çoğul varyans analizine ilişkin sonuçlar Tablo 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.4 Eğilmede elastikiyet modülü çoğul varyans analizi sonuçları.

Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama kareler	F-hesap	P-değeri (p<0.05)
Ağaç türü	21648102,20	1,00	21648102,20	142,67	0,00
Hata	2731165,79	18,00	151731,43		
Toplam	2668568350,15	20,00			

Çalışmada kullanılan ağaç türü örneklerinin eğilmede elastikiyet modülüne etkilerini belirlemek için yapılan çoğul varyans analizi sonuçlarına göre sadece ağaç türünün % 95 güven aralığında eğilme direncine etkisinin anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

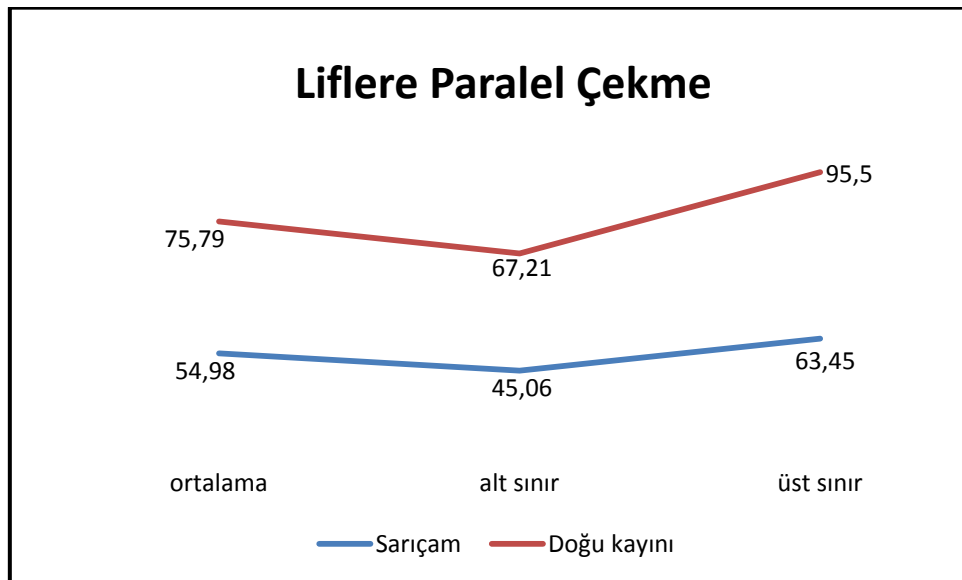
3.1.4 Liflere Paralel Çekme Direnci

TS 2475'e göre belirlenen liflere paralel çekme direncine ait Aritmetik Ortalama (X_{ort}) değerleri Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.5 Liflere paralel çekme direncine ait aritmetik ortalama değerleri.

Ağaç türü	Ortalama (N/mm ²)	Alt sınır	Üst sınır
Sarıçam	54,98	45,06	63,45
Doğu kayını	75,79	67,21	95,50

Liflere paralel çekme direncinde çam odunu örneklerde en az 45,06 N/mm² en fazla 63,45 N/mm² arasında değişmektedir. Çam odunu için ortalama çekme direnci 54,98 N/mm² bulunmuştur. Kayın odunu ile yapılan liflere paralel çekme direnci deneyinde 67,21 N/mm² ile 95,5 N/mm² arasında değişmektedir. Kayın odunu için ortalama çekme direnci 75,79 N/mm² bulunmuştur. Ağaç türlerine göre liflere paralel çekme direnci değişimlerine ait ortalama, alt ve üst sınır değerleri Şekil 3.3'de görülmektedir.



Şekil 3.3 Liflere paralel çekme direnci değişimleri.

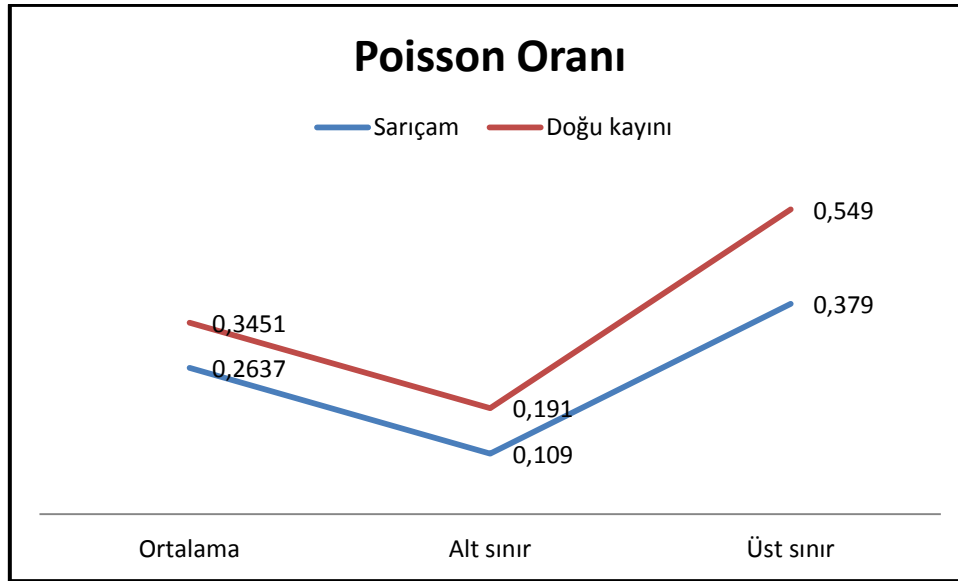
3.1.5 Poisson Oranı

Poisson oranının ölçümü 10^{-6} hassasiyetle çalışan strengeler yardımı ile yapılmıştır. Poisson oranının tespitine yönelik aritmetik ortalama (X_{ort}) değerleri Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6 Ağaç türlerine göre poisson oranları.

Ağaç türü	Ortalama	Alt sınır	Üst sınır
Sarıçam	0,2637	0,109	0,379
Doğu kayını	0,3451	0,191	0,549

Çam odunu için poisson oranları 0,109 ile 0,379 arasında değişmektedir. Çam odunu için ortalama 0,263 poisson oranı bulunmuştur. Kayın odunu için ise poisson oranları 0,191 ile 0,549 arasında değişmektedir. Kayın odunu için ortalama poisson oranı 0,345 olarak bulunmuştur. Ağaç türlerine göre Poisson oranı değişimleri Şekil 3.4'de görülmektedir.



Şekil 3.4 Poisson oranı değişimleri.

3.2 UYGULAMALI DENEYSEL ÇALIŞMALARA AİT BULGULAR

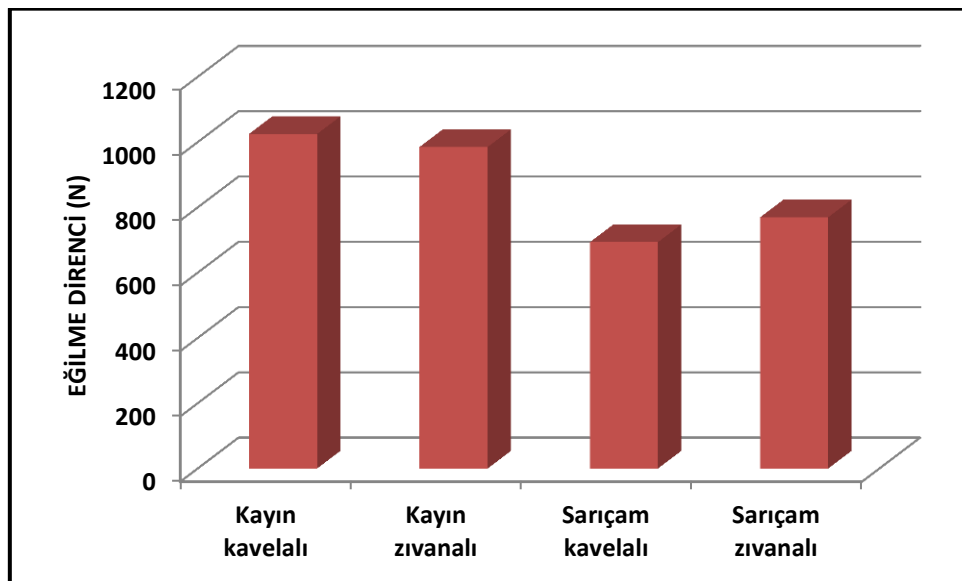
3.2.1 Eğilme Deneyi

Farklı odun türü ve bağlantı elamanlarından hazırlanan “L” tipi köşe birleştirme deney örneklerinin eğilme direncine ait ortalama (X_{ort}) ve standart sapma (Std) değerleri Tablo 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.7 Eğilme direnci değerlerine ilişkin sonuçlar.

Ağaç türü	Bağlantı tipi	Ortalama (N)	Alt limit	Üst limit	Standart sapma
Kayın	Kavela	1024,81	937,95	1111,67	214,61
	Zıvana	984,89	898,03	1071,75	93,88
Sarıçam	Kavela	693,45	606,59	780,31	69,49
	Zıvana	769,69	682,83	856,55	116,91

Tablo 3.7’ye göre deney örneklerindeki eğilme direnci 606,59 N ile 1111,67 N arasında değiştiği tespit edilmiştir. En yüksek 1024,81 N ile kayın odunundan ve en düşük ortalama eğilme direncinin ise 693,45 N ile sarıçam odunundan hazırlanan örneklerden elde edilmiştir. Şekil 3.5’de eğilme direnci değerlerinin değişimi verilmiştir.



Şekil 3.5 Eğilme direnci değerlerinin değişimi.

Eğilme deneyinde kayın odunundan elde edilen kavelalı birleştirme ile zıvanalı birleştirme mukayese edildiğinde, kavelalı birleştirmeye daha fazla yükleme yapılmıştır. Sarıçam odunu örneklerinde ise daha az yükleme yapılmıştır. Deney örneklerinde eğilme direnci değerlerine birleştirme elemanının etkisini belirlemek için yapılan çoğul varyans analizine ilişkin sonuçlar Tablo 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3.8 Eğilme direnci değerlerine birleştirme elemanının etkisini belirlemek için yapılan çoğul varyans analizi sonuçları.

Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama kareler	F-hesap	P-değeri (p<0.05)
Ağaç türü	746827,78	1,00	746827,78	40,72	0,00
Bağlantı tipi	3298,04	1,00	3298,04	0,18	0,67
Ağaç türü x Bağlantı	33734,61	1,00	33734,61	1,84	0,18
Hata	660299,79	36,00	18341,66		
Toplam	31595687,02	40,00			

Ağaç türü ve bağlantı elemanının, eğilme direncine etkilerini belirlemek için yapılan çoğul varyans analizi sonuçlarına göre sadece ağaç türünün % 95 güven aralığında eğilme direncine etkisi anlamlı iken, bağlantı tipi ve bunların karşılıklı etkileşimlerinin ise anlamlı olmadığı tespit edilmiştir. Farklılığın hangi uygulamalarda önemli olduğunu belirlemek için yapılan LSD testi sonuçları Tablo 3.9’da verilmektedir.

Tablo 3.9 LSD testi sonuçları.

Etkileşimler	Ortalama (N)	Homojenlik grubu
Sarıçam kavelalı	693,45	A
Sarıçam zıvanalı	769,69	A
Kayın zıvanalı	984,89	B
Kayın kavelalı	1024,81	B

LSD : ±122,95 (N)

Ayrıca LSD testi sonuçlarına göre arasındaki fark anlamlı bulunan gruplar farklı homojenlik gruplarında verilmiştir.

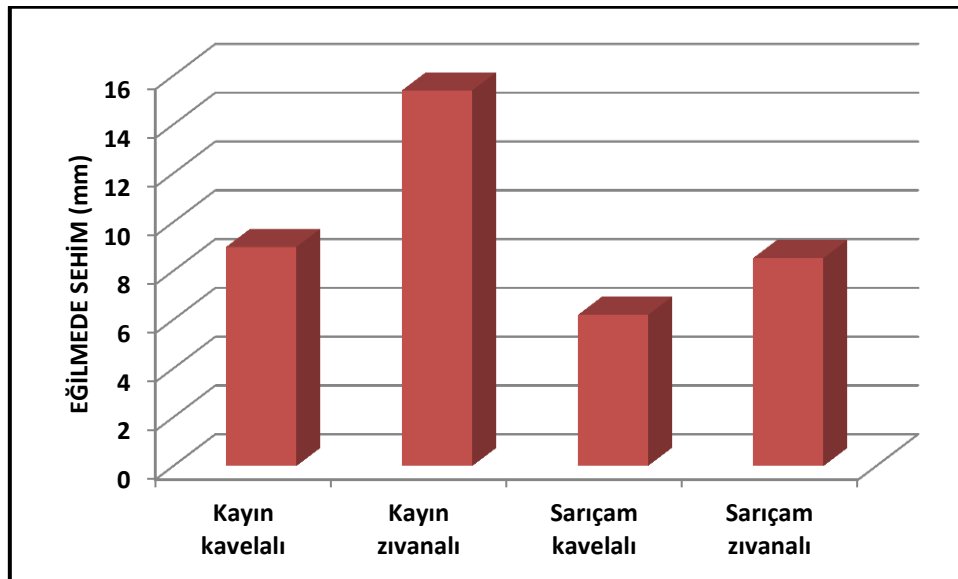
3.2.1.1 Eğilme Deneyinde Sehîm Değişimi

Ağaç türü ve bağlantı tipine göre deney örneklerinde uygulanan kuvvet ile oluşan ortalama sehîm ve standart sapma değerlerine ilişkin veriler Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10 Sehîm değerlerine ilişkin sonuçlar.

Ağaç türü	Bağlantı tipi	Ortalama (mm)	Alt limit	Üst limit	Standart sapma
Kayın	Kavelalı	8,98	7,68	10,27	2,20
	Zıvanalı	15,40	14,11	16,70	1,82
Sarıçam	Kavelalı	6,19	4,89	7,48	1,78
	Zıvanalı	8,53	7,23	9,82	2,23

En yüksek sehîm miktarı kayın odunundan hazırlanan kavelalı birleştirmede 16,70 mm, en düşük sarıçam odunundan hazırlanan kavelalı birleştirmede 4,89 mm ölçülmüştür. Eğilme deneyindeki en yüksek ortalama sehîm miktarı 15,40 mm ve en düşük 6,19 mm ile am kavelalı birleştirmesinde bulunmuştur. Şekil 3.6'da eğilme deneyindeki sehîm değişimi (mm) olarak verilmiştir.



Şekil 3.6 Eğilme deneyi sehîm değişimi.

Deney örneklerinde kuvvetin etkisiyle oluşan sehım miktarında ağaç türü ve bağlantı elemanının etkisini belirlemek için yapılan çoğul varyans analizine ilişkin sonuçlar Tablo 3.11’de verilmiştir.

Tablo 3.11 Çoğul varyans analizi sonuçları.

Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama kareler	F-hesap	P-değeri (p<0.05)
Ağaç türü	233,77	1,00	233,77	57,33	0,00
Bağlantı tipi	192,19	1,00	192,19	47,13	0,00
Ağaç türü x bağlantı	41,70	1,00	41,70	10,23	0,00
Hata	146,79	36,00	4,08		
Toplam	4435,31	40,00			

Ağaç türü ve bağlantı elemanın, eğilme ile oluşan sehım değerine etkisini belirlemek için yapılan çoğul varyans analizi sonuçlarına göre ağaç türü, bağlantı tipi ve etkileşimlerinin % 95 güven aralığında sehım değerine etkisinin anlamlı olduğu görülmüştür. Farklılığın gruplar arasındaki dağılımını belirlemek için yapılan LSD testi sonuçları Tablo 3.12’de verilmektedir.

Tablo 3.12 LSD testi sonuçları.

Etkileşimler	Ortalama (mm)	Homojenlik grubu
Sarıçam kavelalı	6,19	A
Sarıçam zıvanalı	8,53	B
Kayın zıvanalı	15,40	C
Kayın kavelalı	8,98	B

LSD : ±1,83 (mm)

Ayrıca LSD testi sonuçlarına göre arasındaki fark anlamlı bulunan gruplar farklı homojenlik gruplarında verilmiştir.

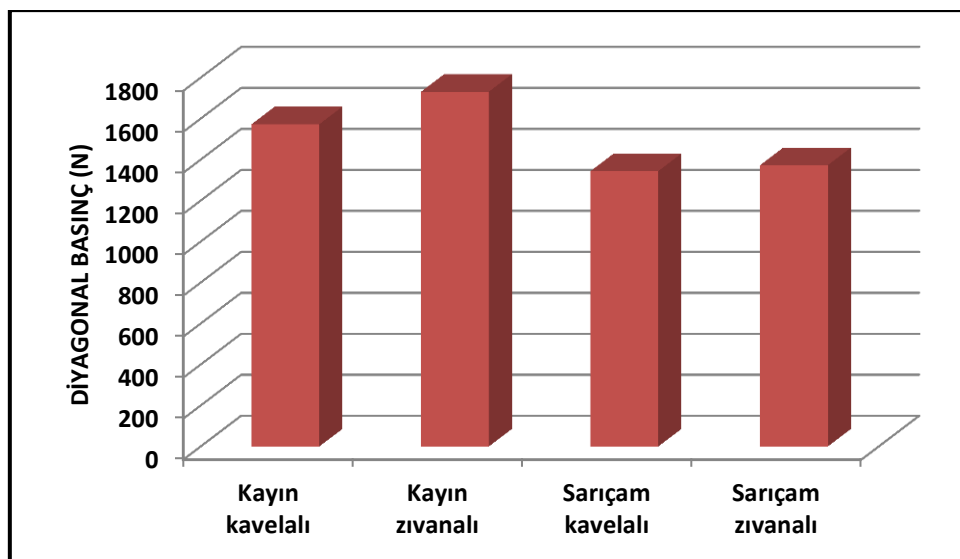
3.2.2 Diagonal Basınç

Farklı odun türü ve bağlantı elamanlarından hazırlanan “L” tipi köşe birleştirme deney örneklerinin diagonal basınç direncine ait ortalama (Xort), standart sapma (Std) değerleri Tablo 3.13’de verilmiştir.

Tablo 3.13 Ağaç türü ve bağlantı çeşitlerine göre diagonal basınç deneyi değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar.

Ağaç türü	Bağlantı tipi	Ortalama (N)	Alt limit	Üst limit	Standart sapma
Kayın	Kavela	1572,63	1448,91	1696,36	322,67
	Zıvana	1732,25	1607,53	1854,97	112,01
Sarıçam	Kavela	1343,77	1220,05	1467,50	114,78
	Zıvana	1372,65	1248,93	1496,37	137,93

Tablo 3.13’e göre deney örneklerindeki diagonal basınç değerlerinin 1220,05 N ile 1854,97 N arasında değiştiği tespit edilmiştir. En yüksek ortalama diagonal basınç değeri 1731,25 N ile kayın odununda, en düşük diagonal basınç değeri 1343,77 N ile sarıçam odununda elde edilmiştir. Diagonal basınç verilerine göre kayın ve sarıçam odunundan elde edilen zıvanalı birleştirme şekillerine daha fazla yükleme yapılmıştır. Şekil 3.7’de diagonal basınç değerlerinin değişimi (N) görülmektedir.



Şekil 3.7 Diagonal basınç değerlerinin değişimi.

Deney örneklerinde diyagonal basınç değerlerine birleştirme elemanın etkisini belirlemek için yapılan çoğul varyans analizine ilişkin sonuçlar Tablo 3.14’de verilmiştir.

Tablo 3.14 Çoğul varyans analizi sonuçları.

Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama kareler	F-hesap	P-değeri (p<0.05)
Ağaç türü	862770,19	1,00	862770,19	23,18	0,00
Bağlantı tipi	87887,81	1,00	87887,81	2,36	0,13
Ağaç türü x Bağlantı	42081,82	1,00	42081,82	1,13	0,29
Hata	1339776,44	36,00	37216,01		
Toplam	92942757,20	40,00			

Ağaç türü ve bağlantı elemanı çeşidinin diyagonal basınç etkilerini belirlemek için yapılan çoğul varyans analizi sonuçlarına göre sadece ağaç türünün % 95 güven aralığında diyagonal basınç değerlerine etkisi anlamlı iken bağlantı tipi ve bunların karşılıklı etkileşimlerinin ise etkisinin anlamlı olmadığı tespit edilmiştir. Farklılığın hangi uygulamalarda önemli olduğunu belirlemek için yapılan LSD testi sonuçları Tablo 3.15’de verilmektedir.

Tablo 3.15 LSD testi sonuçları.

Etkileşimler	Ortalama (N)	Homojenlik grubu
Sarıçam kavelalı	1343,77	A
Sarıçam zıvanalı	1372,65	A
Kayın zıvanalı	1572,63	B
Kayın kavelalı	1731,25	B

LSD : ±175,13 (N)

LSD testi sonuçlarına göre, ağaç türü arasında % 5 hata payı ile anlamlı bir fark bulunmuş olup farklı olan gruplar farklı homojenlik gruplarında gösterilmiştir.

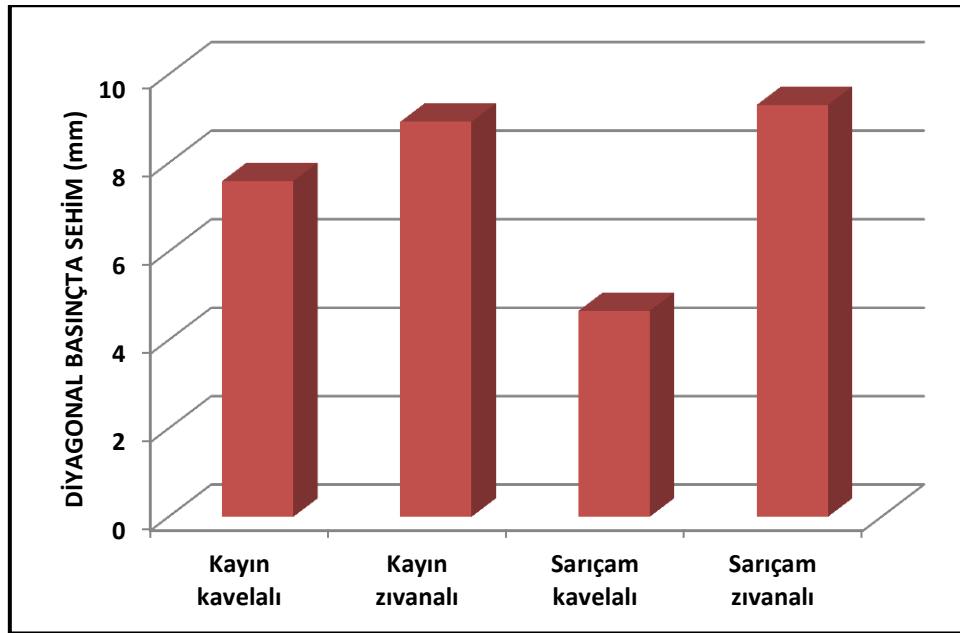
3.2.2.1 Diyagonal Basınç Sehim Değişimi

Ağaç türü ve bağlantı tipine göre diyagonal basınç deney örneklerinde uygulanan kuvvet ile oluşan ortalama sehim ve standart sapma değerlerine ilişkin veriler Tablo 3.16’da verilmiştir.

Tablo 3.16 Ağaç türü ve bağlantı çeşitlerine göre sehim değerlerine ilişkin sonuçlar.

Ağaç türü	Bağlantı tipi	Ortalama (mm)	Alt limit	Üst limit	Standart sapma
Kayın	Kavela	7,59	6,33	8,85	1,22
	Zıvana	8,93	7,67	10,19	3,41
Sarıçam	Kavela	4,66	3,39	5,92	0,52
	Zıvana	9,31	8,05	10,57	1,45

Tablo 3.16’da görüldüğü gibi en yüksek diyagonal basınç ortalama sehim miktarı sarıçam zıvanalı birleştirmede 9,31 mm, en düşük sarıçam kavelalı birleştirmede 4,66 mm ölçülmüştür. Şekil 3.8’de diyagonal basınçta sehim değerlerinin değişimi (mm) görülmektedir.



Şekil 3.8 Diyagonal basınç sehim değerlerinin değişimi.

Deney örneklerinde diyagonal basınç sehım değerlerine birleştirme elemanının etkisini belirlemek için yapılan çoğul varyans analizine ilişkin sonuçlar Tablo 3.17’de verilmiştir.

Tablo 3.17 oğul varyans analizi sonuçları.

Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama kareler	F-hesap	P-değeri (p<0.05)
Ağaç türü	16,29	1,00	16,29	4,22	0,05
Bağlantı tipi	89,91	1,00	89,91	23,26	0,00
Ağaç türü x Bağlantı	27,41	1,00	27,41	7,09	0,01
Hata	139,15	36,00	3,87		
Toplam	2595,49	40,00			

Çalışmada kullanılan ağaç türü ve bağlantı elemanının, diyagonal basınç ile oluşan sehım değerine etkisini belirlemek için yapılan çoğul varyans analizi sonuçlarına göre, ağaç türünün, bağlantı tipinin ve bunların karşılıklı etkileşimlerinin % 95 güven aralığında sehım değerine etkisinin anlamlı olduğu grlmştir. Farklılığın hangi uygulamalarda önemli olduğunu belirlemek için yapılan LSD testi sonuçları Tablo 3.18’de verilmektedir.

Tablo 3.18 LSD testi sonuçları.

Etkileşimler	Ortalama (mm)	Homojenlik grubu
Sarıçam kavelalı	4,66	A
Sarıçam zıvanalı	9,31	B
Kayın zıvanalı	8,93	B
Kayın kavelalı	7,59	B

LSD : ± 1.78 mm

LSD testi sonuçlarına göre, ağaç türü, bağlantı tipi arasında % 5 hata payı ile anlamlı bir fark bulunmuş olup farklı olan gruplar farklı homojenlik gruplarında gösterilmiştir.

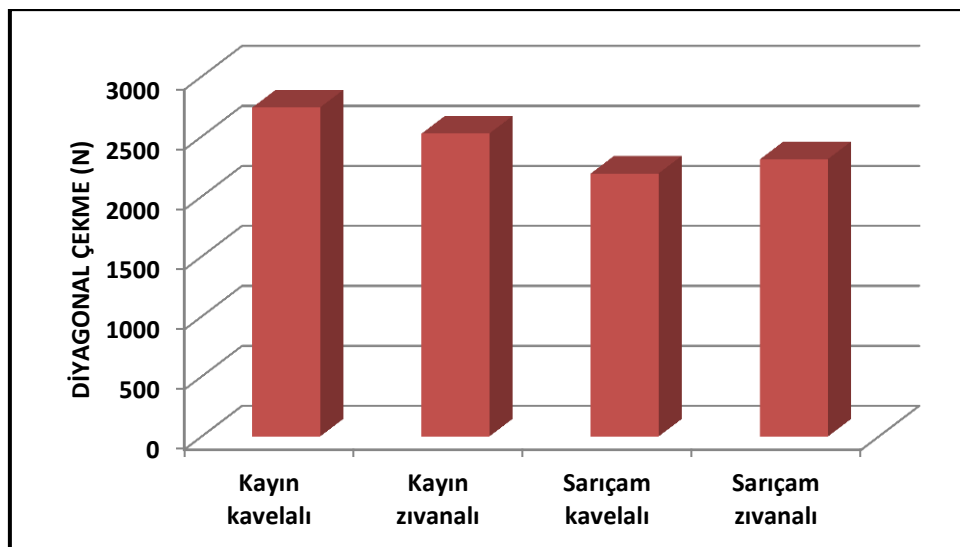
3.2.3 Diyagonal Çekme

Farklı odun türü ve bağlantı elemanlarından hazırlanan “L” tipi köşe birleştirme deney örneklerinin diyagonal çekme direncine ait ortalama (Xort), standart sapma (Std) değerleri Tablo 3.19’da verilmiştir.

Tablo 3.19 Ağaç türü ve bağlantı elemanlarına göre diyagonal çekme deneyi değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar.

Ağaç türü	Bağlantı tipi	Ortalama (N)	Alt limit	Üst limit	Standart sapma
Kayın	Kavela	2742,34	2612,26	2872,42	245,13
	Zıvana	2524,71	2394,62	2654,79	211,65
Sarıçam	Kavela	2192,65	2062,57	2322,74	143,06
	Zıvana	2311,85	2181,77	2441,94	198,03

Tablo 3.19’a göre deney örneklerindeki diyagonal çekme değerlerinin 2062,57 N ile 2872,42 N arasında değiştiği tespit edilmiştir. En yüksek diyagonal basınç değeri 2742,34 N ile Kayın odununda ve en düşük 2192,65 N ile Sarıçam odununda elde edilmiştir. Diyagonal çekme verilerine göre kayın odunundan elde edilen kavelalı birleştirme şekillerine daha fazla yükleme yapıldığı görülmüştür. Sarıçam odununda ise zıvanalı birleştirme şekline daha fazla yükleme yapılmıştır. Şekil 3.9’da diyagonal çekme değerlerinin değişimi (N) görülmektedir.



Şekil 3.9 Diyagonal çekme değerlerinin değişimi.

Deney örneklerinde diyagonal çekme değerlerine birleştirme elemanın etkisini belirlemek için yapılan çoğul varyans analizine ilişkin sonuçlar Tablo 3.20’de verilmiştir.

Tablo 3.20 Çoğul varyans analizi sonuçları.

Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama kareler	F-hesap	P-değeri (p<0.05)
Ağaç türü	1453683,38	1,00	1453683,38	35,33	0,00
Bağlantı tipi	24223,13	1,00	24223,13	0,59	0,45
Ağaç türü x Bağlantı	283642,86	1,00	283642,86	6,89	0,01
Hata	1481069,82	36,00	41140,83		
Toplam	241950494,9	40,00			

Ağaç türü ve bağlantı elemanı çeşidinin diyagonal çekme deneylerine etkilerini belirlemek için yapılan çoğul varyans analizi sonuçlarına göre ağaç türünün ve ağaç türü x bağlantı tipinin % 95 güven aralığında diyagonal çekme değerlerine etkisi anlamlı iken bağlantı tipinin ise etkisinin anlamlı olmadığı tespit edilmiştir. Farklılığın hangi uygulamalarda önemli olduğunu belirlemek için yapılan LSD testi sonuçları Tablo 3.21’de verilmektedir.

Tablo 3.21 LSD testi sonuçları.

Etkileşimler	Ortalama (N)	Homojenlik grubu
Sarıçam kavelalı	2192,65	A
Sarıçam zıvanalı	2311,85	A
Kayın zıvanalı	2524,71	B
Kayın kavelalı	2742,34	C

LSD : ±184,13 (N)

LSD testi sonuçlarına göre, ağaç türleri ve birleştirmeler arasında % 5 hata payı ile anlamlı bir fark bulunmuş bu da farklı olan gruplar farklı homojenlik gruplarında gösterilmiştir.

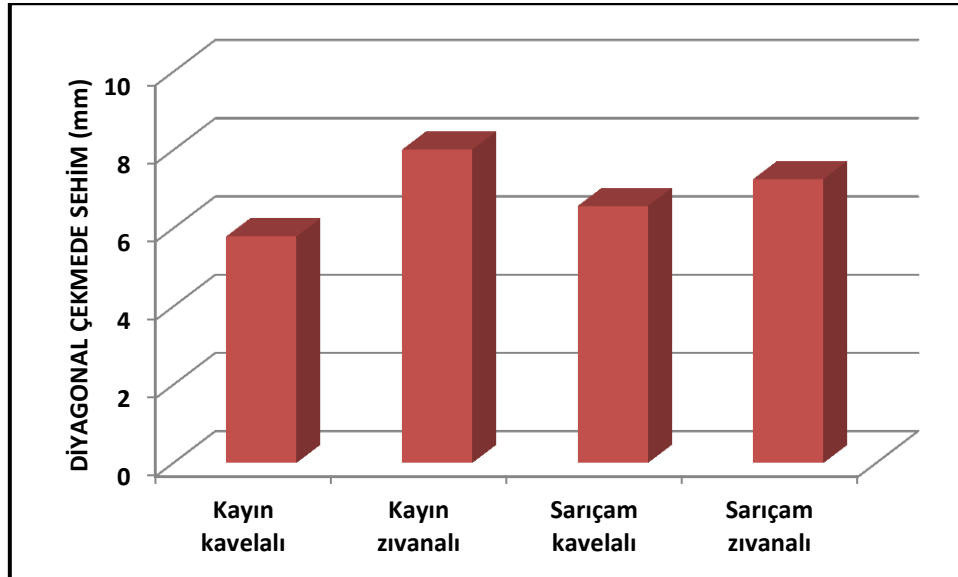
3.2.3.1 Diyagonal Çekmede Sehim Değişimi

Ağaç türü ve bağlantı tipine göre diyagonal basınç deney örneklerinde uygulanan kuvvet ile oluşan ortalama sehim ve standart sapma değerlerine ilişkin veriler Tablo 3.22’de verilmiştir.

Tablo 3.22 Ağaç türü ve bağlantı çeşitlerine göre sehim değerlerine ilişkin sonuçlar.

Ağaç türü	Bağlantı tipi	Ortalama(mm)	Alt limit	Üst limit	Standart sapma
Kayın	Kavela	5,79	4,78	6,79	0,95
	Zıvana	8,01	7,01	9,02	1,77
Sarıçam	Kavela	6,57	5,57	7,58	1,79
	Zıvana	7,26	6,25	8,27	1,62

Tablo 3.22’de en yüksek diyagonal çekme ortalama sehim miktarı kayın zıvanalı birleştirmede 8,01 mm, en düşük kayın kavelalı birleştirmede 5,79 mm ölçülmüştür. Şekil 3.10’da diyagonal çekmede sehim değerlerinin değişimi (mm) görülmektedir.



Şekil 3.10 Diyagonal çekmede sehim değerlerinin değişimi.

Deney örneklerinde diyagonal çekme sehim değerlerine birleştirme elemanının etkisini belirlemek için yapılan çoğul varyans analizine ilişkin sonuçlar Tablo 3.23’de verilmiştir.

Tablo 3.23 oğul varyans analizi sonuçları.

Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama kareler	F-hesap	P-değeri (p<0.05)
Ağaç türü	0,00	1,00	0,00	0,00	0,97
Bağlantı tipi	21,23	1,00	21,23	8,59	0,01
Ağaç türü x Bağlantı	5,93	1,00	5,93	2,40	0,13
Hata	88,92	36,00	2,47		
Toplam	2025,17	40,00			

Tablo 3.23'e göre ağaç türü ve bağlantı elemanı çeşidinin diyagonal çekme deneylerine etkilerini belirlemek için yapılan çoğul varyans analizi sonuçlarına göre ağaç türünün % 95 güven aralığında diyagonal çekme değerlerine etkisi anlamsız iken bağlantı tipinin ise etkisinin anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Farklılığın hangi uygulamalarda önemli olduğunu belirlemek için yapılan LSD testi sonuçları Tablo 3.24'de verilmektedir.

Tablo 3.24 LSD testi sonuçları.

Etkileşimler	Ortalama (mm)	Homojenlik grubu
Sarıçam kavelalı	6,57	AB
Sarıçam zıvanalı	7,26	AB
Kayın zıvanalı	8,01	B
Kayın kavelalı	5,79	A

LSD : 1,42 mm

LSD testi sonuçlarına göre, ağaç türü ve birleştirme elemanları arasında % 5 hata payı ile anlamlı bir fark bulunmuş olup farklı olan gruplar farklı homojenlik gruplarında gösterilmiştir.

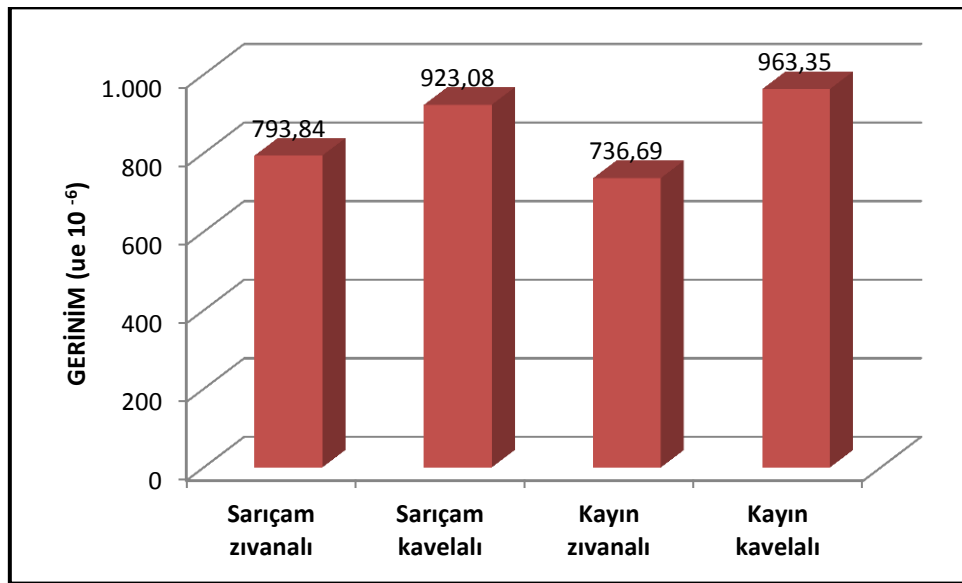
3.2.4 Gerinim Analizi

Mobilya sistemleri, kullanım yerinde harici yk ve kuvvetlere maruz kalmakta ve bunun sonucunda özellikle bağlantı yerlerinde deformasyonlar oluşmaktadır. Etki eden kuvvetlere

sistem tarafından tepki olarak iç kuvvetler oluşmaktadır. Bu etkileşimin yüzeyde oluşacak gerinimlerinin ve dağılımlarının bilinmesi mukavemet analizleri bakımından oldukça önemlidir. Aynı zamanda bunun üretim öncesinde belirlenmesi tasarım, imalat açısından üretici için büyük önem taşımaktadır.

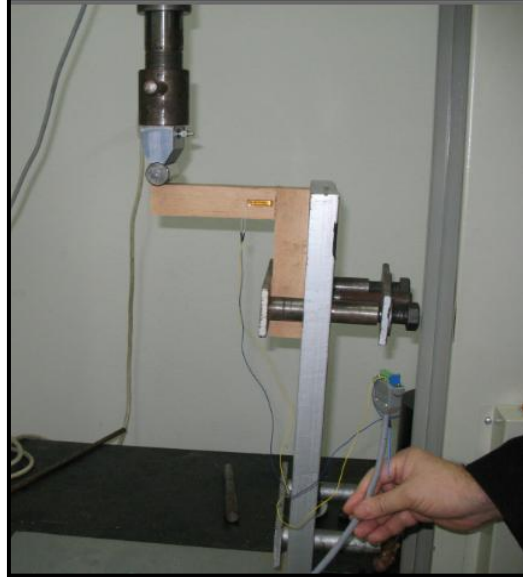
3.2.4.1 Eğilme Deneylerindeki Gerinimler

“L” tipi köşe birleştirme deney örneklerinin eğilme deneyindeki gerinimi ölçülmüş ve gerinim değerlerinin değişimi Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11 Eğilme deneyinde oluşan gerinim değişimi.

Eğilme deneyinde strengeler erkek deney parçasının birleştirme noktasına yakın bölgeye bağlanmıştır. Erkek deney parçasına strengeler bağlanmış deney numunesi Şekil 3.12’de görülmektedir.

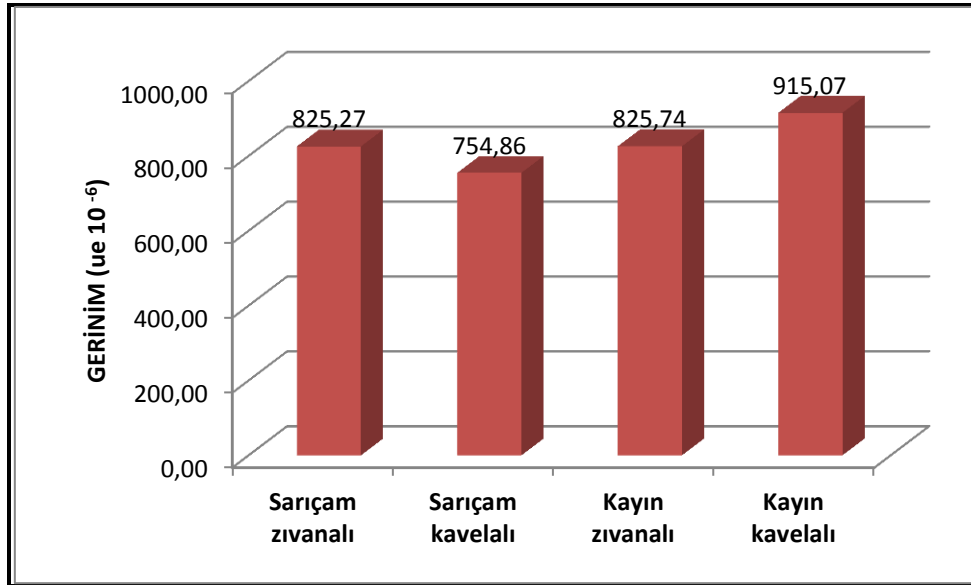


Şekil 3.12 Strengaç bağlanmış eğilme deney numunesi.

Eğilme deneyi sonucunda gerinim değerlerine incelendiğinde 736.694 (ue) kayın zıvanalı ile 963.353(ue) kayın kavelalı birleştirmelerde gerinim değerleri ölçülmüştür.

3.2.4.2 Diyagonal Basınç Deneylerindeki Gerinimler

“L” tipi köşe birleştirme deney örneklerinin diyagonal basınç deneyindeki gerinimi ölçülmüş ve gerinim verilerine ait ortalama Şekil 3.13’de verilmektedir.



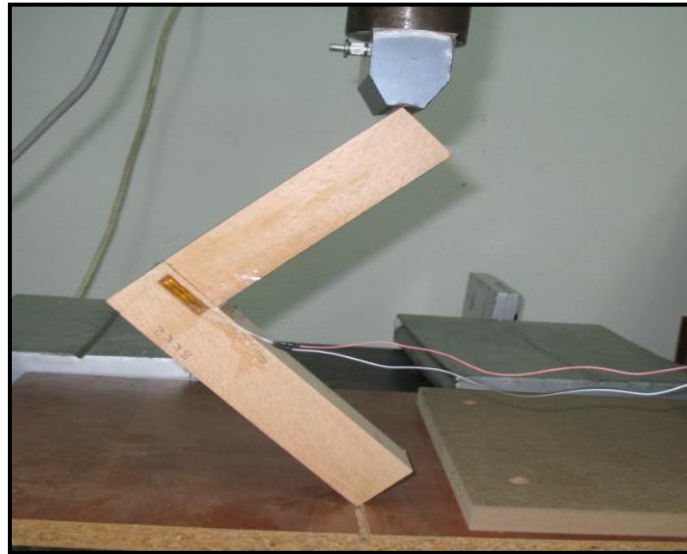
Şekil 3.13 Diyagonal basınç deneyinde oluşan gerinim değişimi.

Diyagonal basınç deneyinde strengeler dişi deney parçasının birleştirme bölgesine bağlanmıştır. Dişi deney parçaları kavala ve zıvana deliğinin bulunduğu bölgeye yapıştırılmıştır. Bu bölgelerde zıvana içinde sürtünme ve ezilme daha fazla olmaktadır. Diyagonal basınç kuvveti uygulandığında erkek parçanın dişi parçaya yüzey çizgisi olarak geçme yaptığı ve bu sırada yüzeysel gerininin arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.14’ de diyagonal basınç deneyinde kuvvet etkisiyle erkek parçanın dişi parçayı alt köşe yüzeyinde ezdiği görülmüştür.



Şekil 3.14 Diyagonal basınç deneyi erkek ve dişi parça.

Strengeliç bağılı diyagonal basınç deney numunesi düzeneğe sabitlenmiş olarak Şekil 3.15’de görülmektedir.

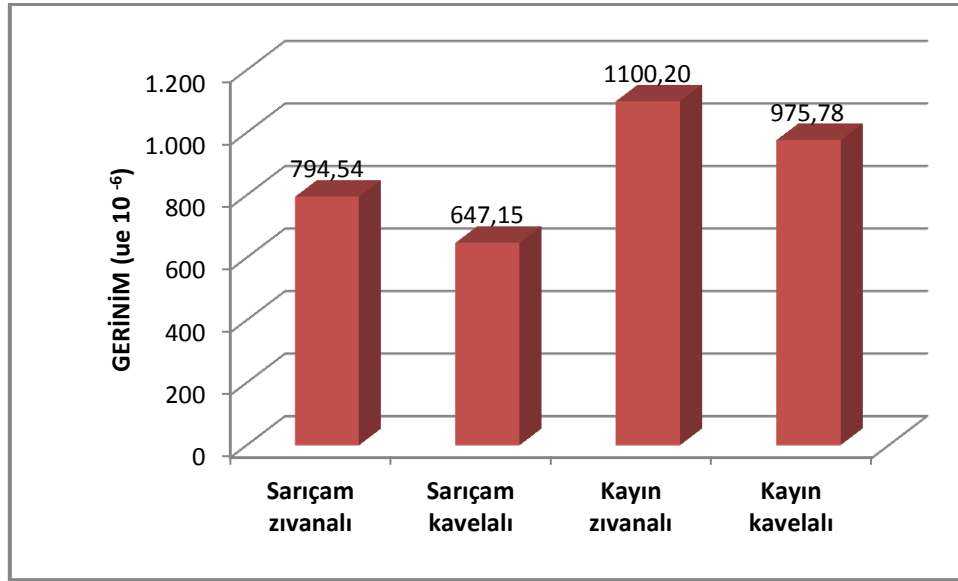


Şekil 3.15 Strengeliç bağılanmış diyagonal basınç deney numunesi.

Diyagonal basınç deneyi sonucunda gerinim değerleri en yüksek kayın kavelalı birleştirmede 915,07(ue), en düşük çam kavelalı 754,86 (ue) birleştirmede elde edilmiştir.

3.2.4.3 Diyagonal Çekme Deneyindeki Gerinimler

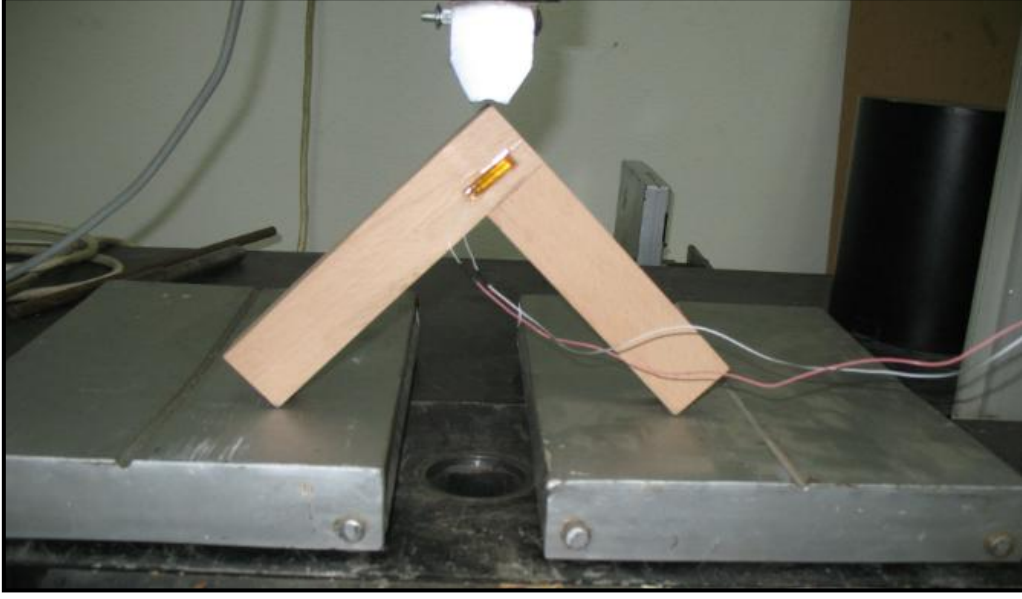
“L” tipi köşe birleştirme deney örneklerinin diyagonal çekme deneyindeki gerinimi ölçülmüş ve gerinimlerden elde edilen verilere ait ortalama Şekil 3.16’da verilmektedir.



Şekil 3.16 Diyagonal çekme deneyinde oluşan gerinim değişimi.

Diyagonal çekme deneyinde strengeler dışı deney parçasının birleştirme bölgesine bağlanmıştır. Dışı deney parçalarında kavela ve zıvana deliği bulunmaktadır. Kavela ve zıvana kuvvet karşısında malzemenin içerisinde deformasyona uğramaktadır. Birleşme bölgesinde sürtünme ve ezilme daha fazla olmaktadır. Bu nedenle strengeler deformasyonların en fazla olabileceği bölgeye yerleştirilmiştir. Strengeler bağlı diyagonal çekme deney numunesi Şekil 3.17’de görülmektedir.

Tasarımın, ürünün mukavemeti, malzeme seçimi ve dengesi göz önünde bulundurularak yapılmasının önemi ortaya konulmuştur. Mühendislik alanında geniş bir kullanım alanı olan bu ölçüm ve analiz yöntemlerinin endüstri ürünleri tasarımında farklı biçimlerin, malzemelerin avantajlarının anlaşılması ve özellikle de strüktürlerin geliştirilmesi konularında yararlı olabileceği öne sürülmektedir (Ertaş 2007).



Şekil 3.17 Strengaç bağlanmış diyagonal çekme deney numunesi.

Diyagonal çekme deneyi sonucunda gerinim değerleri en yüksek kayın zıvanalı birleştirmede 1100,2 (ue), en düşük çam kavelalı 647,15 (ue) birleştirmede elde edilmiştir.

3.2.5 Gerilme Analizi

Dış kuvvete maruz kalan bir cisim, gerilme ve gerinim altındadır. Gerilim direkt olarak ölçülemez. Fakat etkisi ölçü ile bilinir. Gerilim ile gerinim arasındaki ilişki bilinirse gerilme hesaplanabilir. Deneylerde strengaç yardımıyla gerinimler ölçülmüş ve gerilme değerlerine dönüştürülmüştür.

Gerilme Değerlerinin Hesaplanması (Eşitlik 3.1);

$$\text{Gerilme} = \text{Gerinim} \times \text{Elastisite modülü} \quad (\sigma = \varepsilon \cdot E) \quad (3.1)$$

1 kg =10 N, 1 N/mm² =1 MPa (Megapaskal) (mikrostrain 10⁻⁶)

Kayın odununun elastikiyet modülü 12500 N/mm², Örnek olarak eğilme deneyinde zıvanalı kayın odununda elde edilen gerinim değeri 736.694 ue ;

$$\sigma = (736.694 \times 10^{-6}) \times (1,25 \times 10^4)$$

$$\sigma = 0,000736694 \varepsilon \times 12500 \mathbf{E}$$

$$\sigma = 9,208 \text{ N/mm}^2 = 9,208 \text{ MPa}$$

Zıvanalı birleştirme yapılmış kayın odununda oluşan gerilme 9,208 MPa olarak bulunmuştur. Bu hesaplama göre diğer veriler elde edilmiştir.

Sarıçam odununun elastikiyet modülü 10500 MPa, Örnek olarak eğilme deneyinde zıvanalı sarıçam odununda elde edilen gerinim değeri 793,844 ue ;

$$\sigma = (793,844 \times 10^{-6}) \times (1,05 \times 10^4)$$

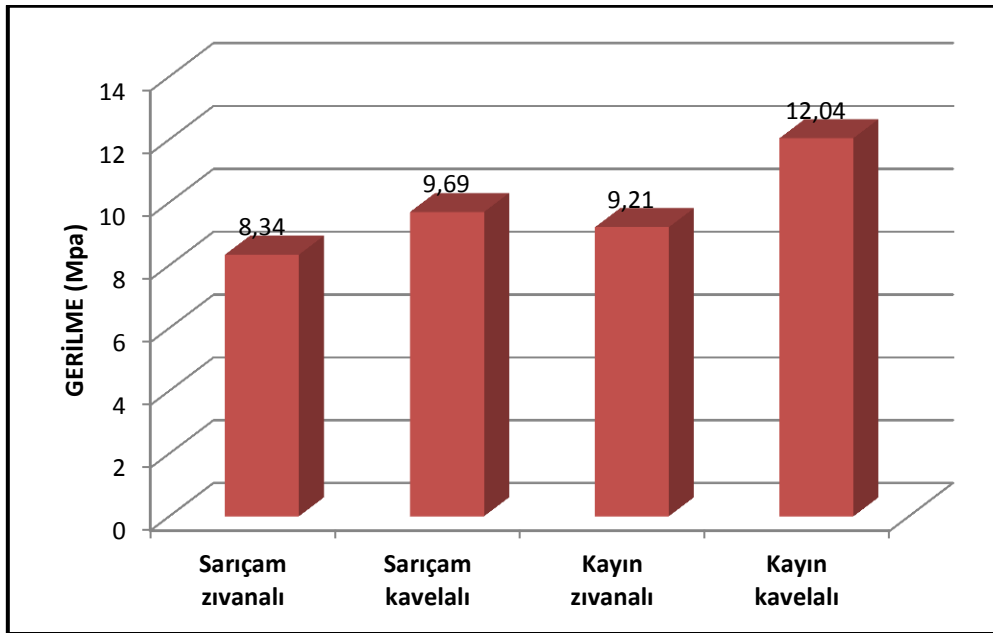
$$\sigma = 0,000793844 \epsilon \times 10500 \text{ E}$$

$$\sigma = 8,335 \text{ N/mm}^2 = 8,335 \text{ MPa}$$

Gerinim değeri sarıçam odununda, kayın odununa göre daha yüksek olmasına rağmen elastikiyet modülü yüksek olan kayın ağacında gerilme değeri daha yüksek elde edilmiştir. Gerilme hesaplamasında kullanılan formüle göre diğer hesaplamalar yapılmış ve grafik olarak verilmiştir.

3.2.5.1 Eğilme Deneylerindeki Gerilmeler

“L” tipi köşe birleştirme deney örneklerinin eğilme deneyindeki gerinimi strengeler yardımı ile ölçülmekte ve gerinim değerlerinden hesaplama yoluyla gerilme değerleri değişimi Şekil 3.18’de verilmektedir.

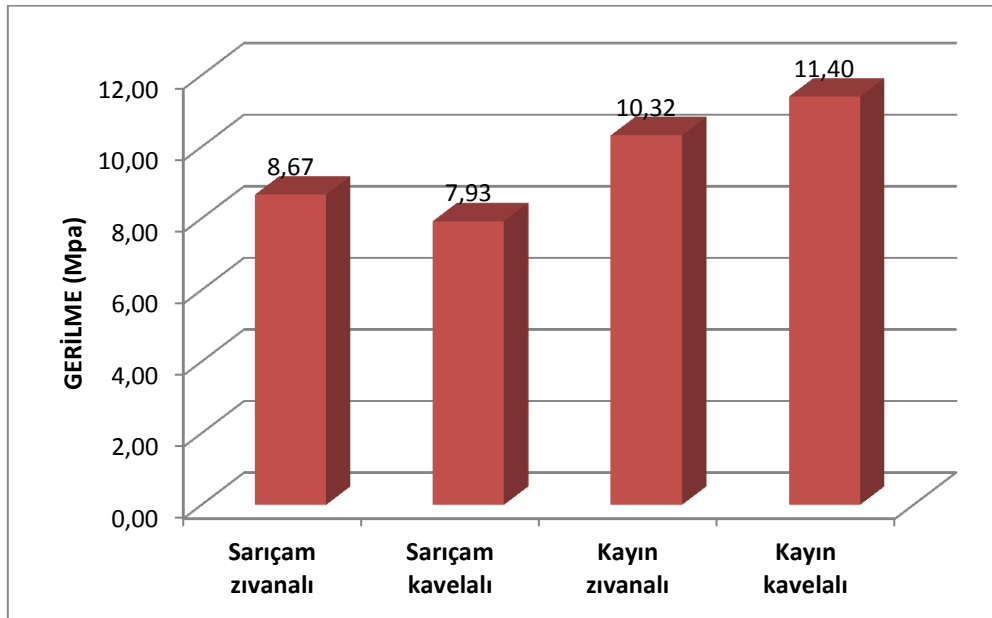


Şekil 3.18 Eğilme deneyinde elde edilen gerilme değerleri.

Eğilme deneyinden elde edilen gerinim verileri kullanılarak gerilme değerleri MPa cinsinden hesaplanmıştır. En yüksek gerilme değeri kayın odunuyla kavelalı birleştirilmiş parçalarda 12.041 (MPa) bulunmuştur. Eğilme deneyinde en düşük gerilme değeri çam odunuyla birleştirilmiş zıvanalı 8.335 (MPa) parçalarda bulunmuştur.

3.2.5.2 Diyagonal Basınç Deneylerindeki Gerilme

“L” tipi köşe birleştirme deney örneklerinin diyagonal basınç deneyindeki gerinimi strengeler yardımı ile ölçülmekte ve gerinim değerlerinden hesaplama yoluyla gerilim değerleri değişimi Şekil 3.19’da verilmektedir.

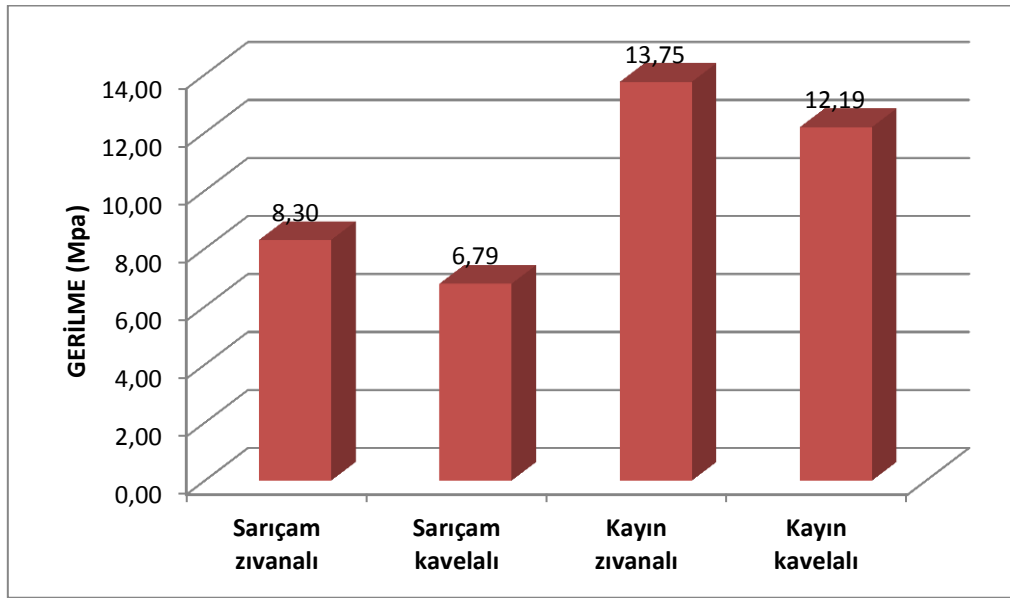


Şekil 3.19 Diyagonal basınç deneyinde elde edilen gerilim değerleri.

Diyagonal basınç deneyinden elde edilen gerinim verileri kullanılarak gerilme değerleri MPa cinsinden hesaplanmıştır. En yüksek gerilme değeri kayın odunuyla kavelalı birleştirilmiş parçalarda 11,4 (MPa) bulunmuştur. Diyagonal basınç deneyinde en düşük gerilme değeri sarıçam odunuyla birleştirilmiş kavelalı 7,93 (MPa) parçalarda bulunmuştur.

3.2.5.3 Diyagonal Çekme Deneylerindeki Gerilmeler

“L” tipi köşe birleştirme deney örneklerinin diyagonal çekme deneyindeki gerinimi ölçülmekte ve gerinim değerlerinden hesaplama yoluyla gerilim değerleri değişimi Şekil 3.20’de verilmektedir.

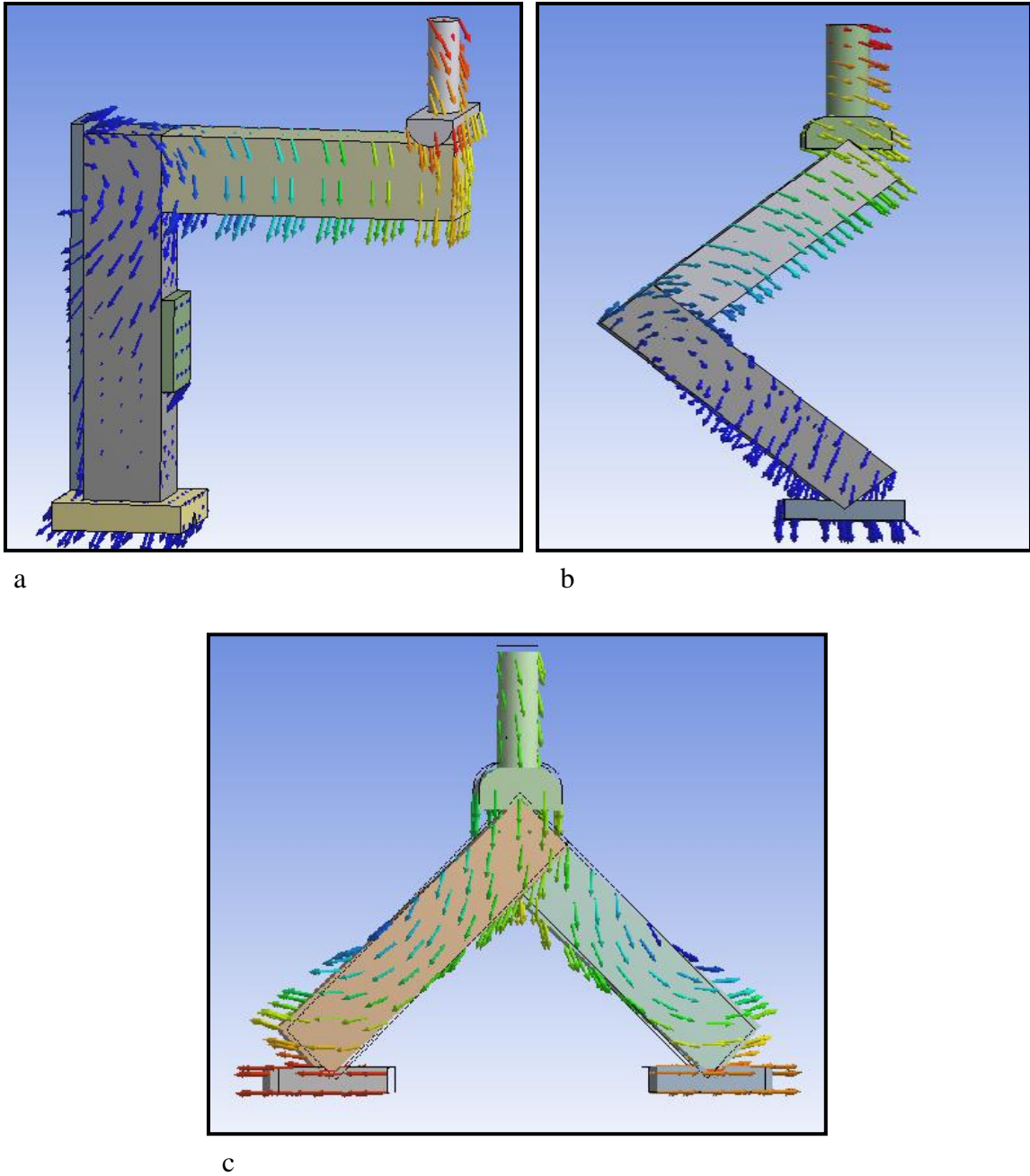


Şekil 3.20 Diyagonal çekme deneyinde elde edilen gerilime değerleri.

Diyagonal çekme deneyinden elde edilen gerinim verileri kullanılarak gerilme değerleri MPa cinsinden hesaplanmıştır. En yüksek gerilme değeri kayın odunuyla zıvanalı birleştirilmiş parçalarda 13,75 (MPa) bulunmuştur. Diyagonal basınç deneyinde en düşük gerilme değeri sarıçam odunuyla birleştirilmiş kavelalı 6,79 (MPa) parçalarda bulunmuştur.

3.3 BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANSYS/LS-DYNA İLE ANALİZE AİT BULGULAR

Deneylerden elde edilen malzemenin mekanik özellikleri Tablo 2.2'deki gibi ANSYS/LS-DYNA programında kullanılan malzeme özelliklerine veri olarak aktarılmıştır. Uygulamalı deneylerdeki şartlar göz önüne alınarak ANSYS/LS-DYNA ile analiz yapılmıştır. Şekil 3.21'de zımba hareketi sonucunda deney parçaları üzerinde meydana gelen kuvvet dağılımları ve yönlenmeleri görülmektedir.



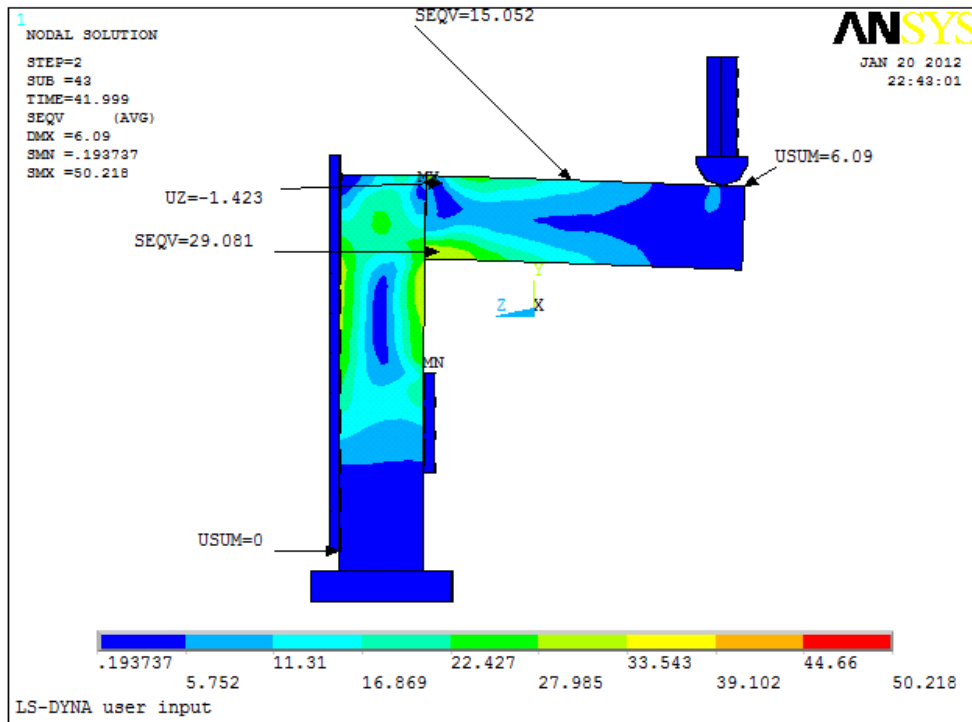
Şekil 3.21 Deney parçaları üzerinde uygulanan kuvvetlerin dağılımı. a. Eğilme, b. Diyagonal basınç, c. Diyagonal çekme.

3.3.1 Eğilme Direnci Analizi

Eğilme direnci analizinde, çam ile birleştirilmiş kavelalı ve zıvanalı, kayın ile birleştirilmiş kavelalı ve zıvanalı birleştirme türlerinden elde edilen Tablo 3.10'daki gibi deneysel bulgular ışığında ANSYS/LS-DYNA ile analiz yapılmıştır.

3.3.1.1 Sarıçam Kavelalı Birleştirme

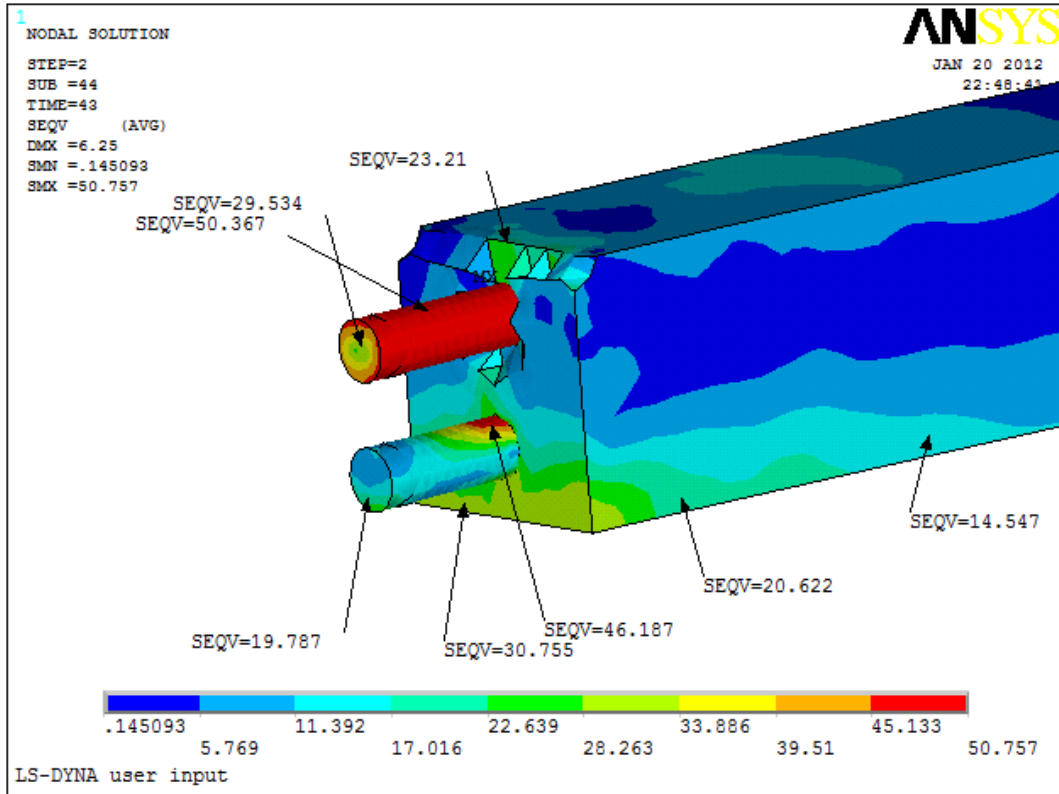
ANSYS/LS-DYNA programına istatistik verilerden elde edilen ortalama sehım değerleri Tablo 3.10'a göre girilmiş ve malzemede oluşan reaksiyon kuvveti, deformeasyon, gerilim ve gerinim değerleri elde edilmiştir. Uygulamalı deney düzeneğindeki Şekil 2.24'deki şartlar ANSYS/LS-DYNA'da modelleme ile oluşturulmuştur. Deney düzeneğinde parça, B kenarından sabitlenmiş, A kenarından kuvvet uygulanmıştır. Şekil 3.22'de Sonlu elemanlar metodu ile alışan ANSYS/LS-DYNA ile yapılan eğilme deneyi analizinde, am kavelalı birleştirme örneğinin deformeasyonu ve gerilme (von misses) gösterilmektedir.



Şekil 3.22 Sarıçam kavelalı birleştirme örneğindeki eğilme deformeasyonu.

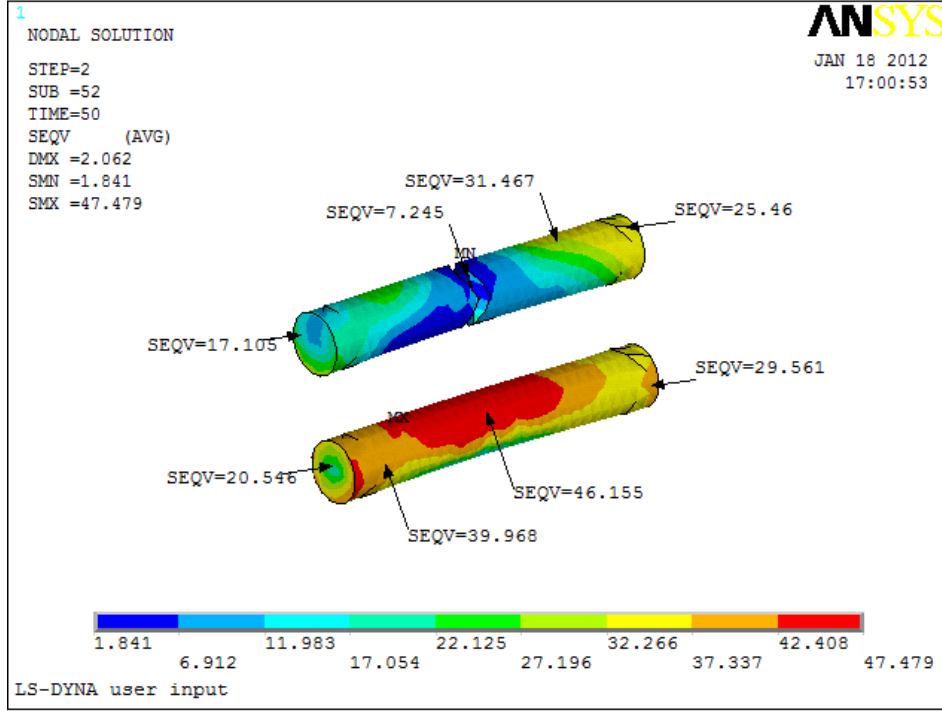
Yapılan birleştirmede en zayıf bölge, birleştirme elemanlarının bulunduğu kavelalı bölgedir. Zayıf bölgeleri daha iyi inceleyebilmek için ağ yoğunluğu daha fazla tutulmuştur.

Deformasyonla birlikte oluşan gerilim max. 50 MPa'dır. Kavelalı erkek parça ile dişi parça arasında oluşan açıklık 1,42 mm olarak (UZ) bulunmuştur. Erkek parçanın dişi parçaya yaptığı basınç, alt köşe yüzeyde yaklaşık 29 MPa olarak tespit edilmiştir. İç kesitteki kavela incelendiğinde gerilim değerleri yaklaşık 50 MPa'dır. Deney parçasında köşelerde kırılma görülmektedir. Kavelanın dişi parça ile birleştiği bölgede deformasyon oluşmuştur. Şekil 3.23'de eğilme deneyinde kavelalı birleştirmede oluşan gerilim görülmektedir.



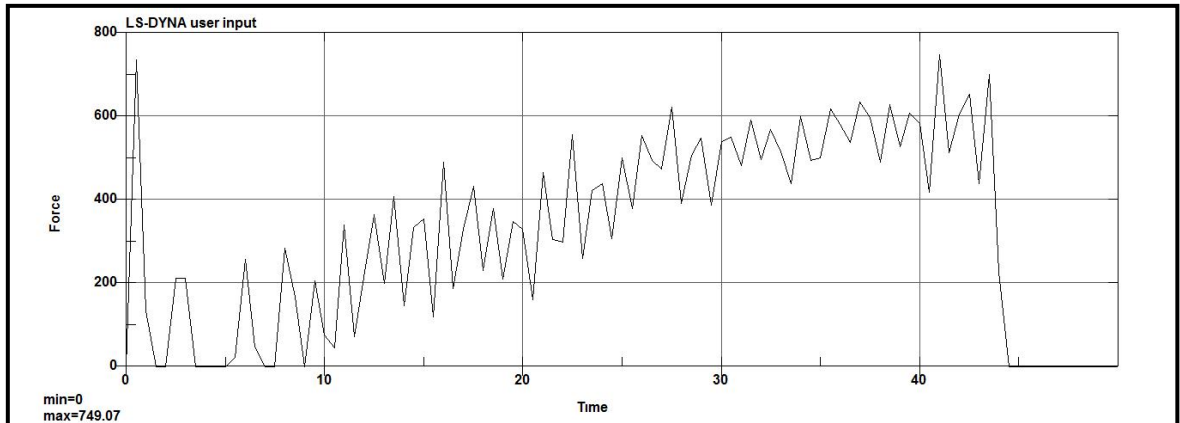
Şekil 3.23 Sarıçam kavelalı birleştirmede oluşan gerilim.

Kavelalı birleştirmede üst kavelalar moment etkisi ile daha çabuk gerilmeye ve deformasyona maruz kalmaktadır. Üst kavelada gerilme 27 ile 50 MPa arasında değişmektedir. Şekil 3.24'de 7,2 mm sehimde oluşan gerilim değişimi ve kaveladaki deformasyon görülmektedir.



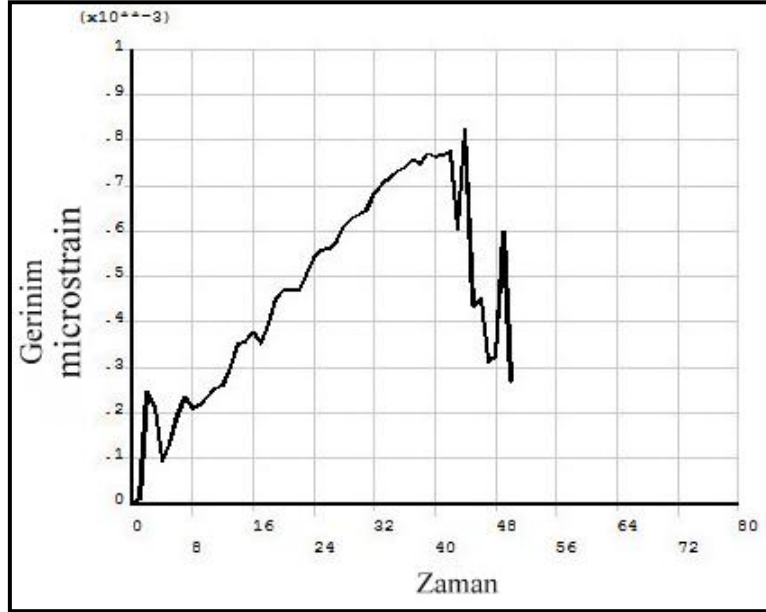
Şekil 3.24 Eğilme deneyinde kavelada oluşan gerilme değişimleri.

Kırılma öncesi üst kaveladan alınan gerilme değerleri, sehimdeki duruma göre kırılma sonrası daha düşük çıkmıştır. Gerilmenin düşük çıkmasının nedeni kavelanın sehim miktarına bağlı olarak kırılmanın gerçekleşmesi ve gerilmenin düşmesidir. Deneylerde alt kavela kırılmamış ve gerilme değeri en fazla 47 MPa'dır. Deneyde zımbanın 6,19 mm aşağı yönde hareket etmesine izin verilmiş ve hareket sonucunda malzemede oluşan reaksiyon kuvveti analiz edilmiştir. Şekil 3.25'de deney malzemesinde oluşan kuvvetin grafiği verilmiştir.



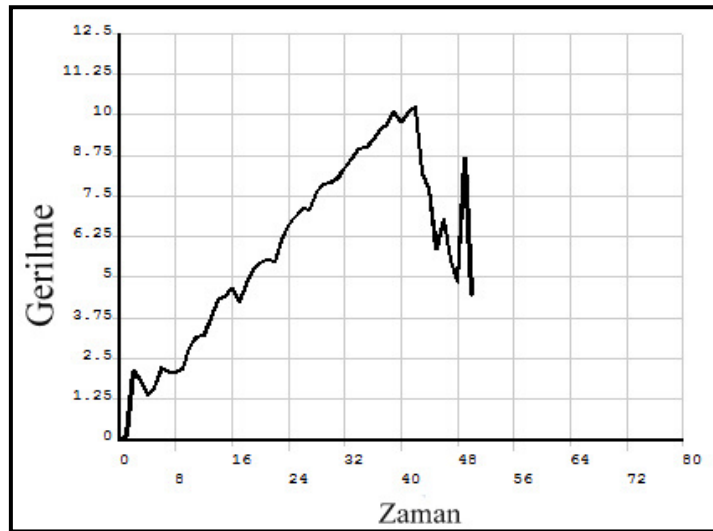
Şekil 3.25 Çam kavelalı birleştirmede zaman bağlı kuvvet değişimi.

Analizlerde, LSPREPOST programı yardımıyla kuvvetler, gerinimler ve gerilmeler ölçülmüştür. Hareket karşısında oluşan kuvvet incelendiğinde Fmax kuvvet 749,07 (N) olarak ölçülmüştür. Birleştirme bölgelerinde oluşan zamana bağlı ortalama gerinim değişimi Şekil 3.26'da verilmektedir.



Şekil 3.26 Gerinim değişimi (microstrain).

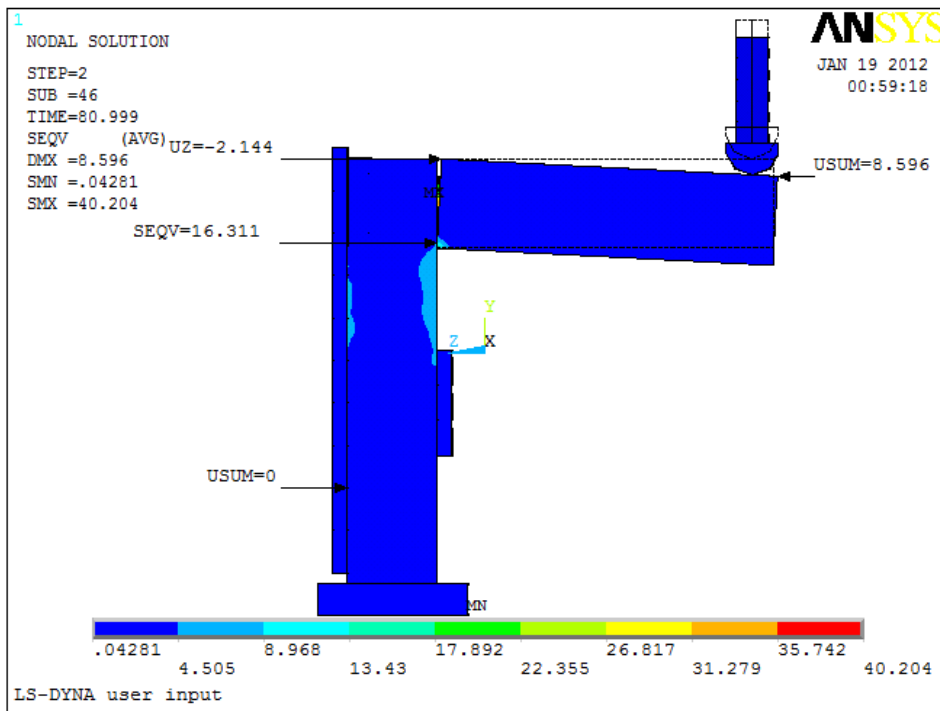
Birleştirme bölgesinde yüzeyden seçilen düğümlerden elde edilen ortalama gerinim değerleri 846,444 microstrain'dir. Birleşme bölgesindeki gerilme ortalama 10,3 MPa tespit edilmiştir. Şekil 3.27'de gerilme değişimi zamana bağlı olarak verilmektedir.



Şekil 3.27 Gerilme değişimi.

3.3.1.2 Sarıçam Zıvanalı Birleştirme

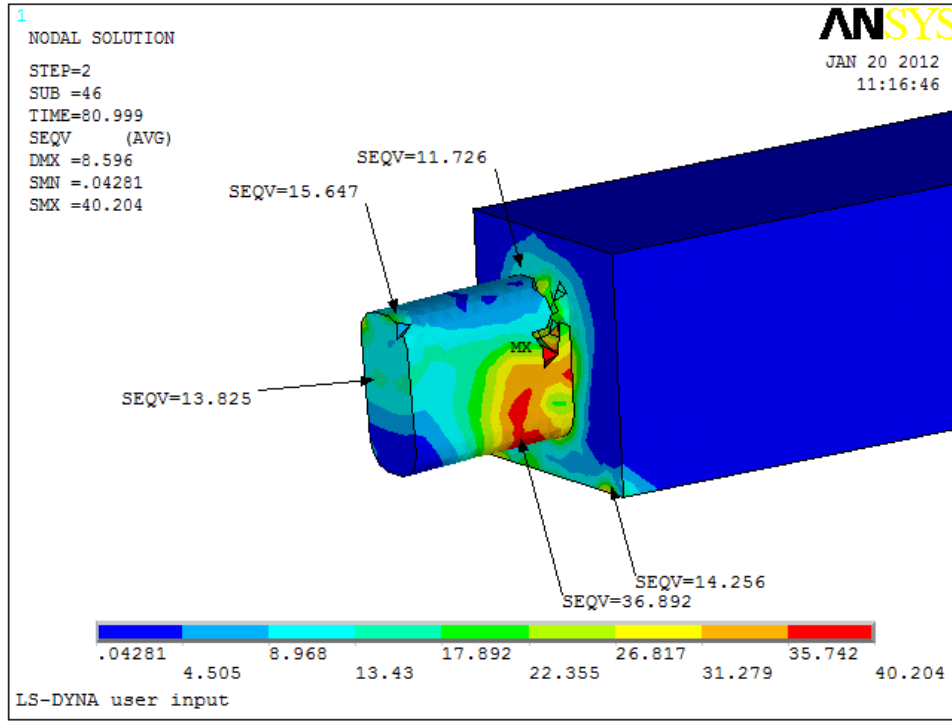
ANSYS/LS-DYNA programına istatistik verilerden elde edilen ortalama eğilme deneyindeki sehim değerleri Tablo 3.10'a göre girilmiş ve malzemede oluşan reaksiyon kuvveti, deformasyon, gerilim ve gerinim değerleri elde edilmiştir. Uygulamalı deney düzeneğindeki şartlar, Şekil 2.24'deki gibi ANSYS/LS-DYNA'da modelleme ile oluşturulmuştur. Deney düzeneğinde parça B kenarından sabitlenmiş, A kenarından kuvvet uygulanmıştır. Sonlu elemanlar metodu ile çalışan LS-DYNA'da yapılan eğilme deneyi analizinde Şekil 3.28'de çam zıvanalı birleştirme örneğinin deformasyonu ve gerilme (von mises) gösterilmektedir.



Şekil 3.28 Çam zıvanalı birleştirme örneğindeki eğilme deformasyonu.

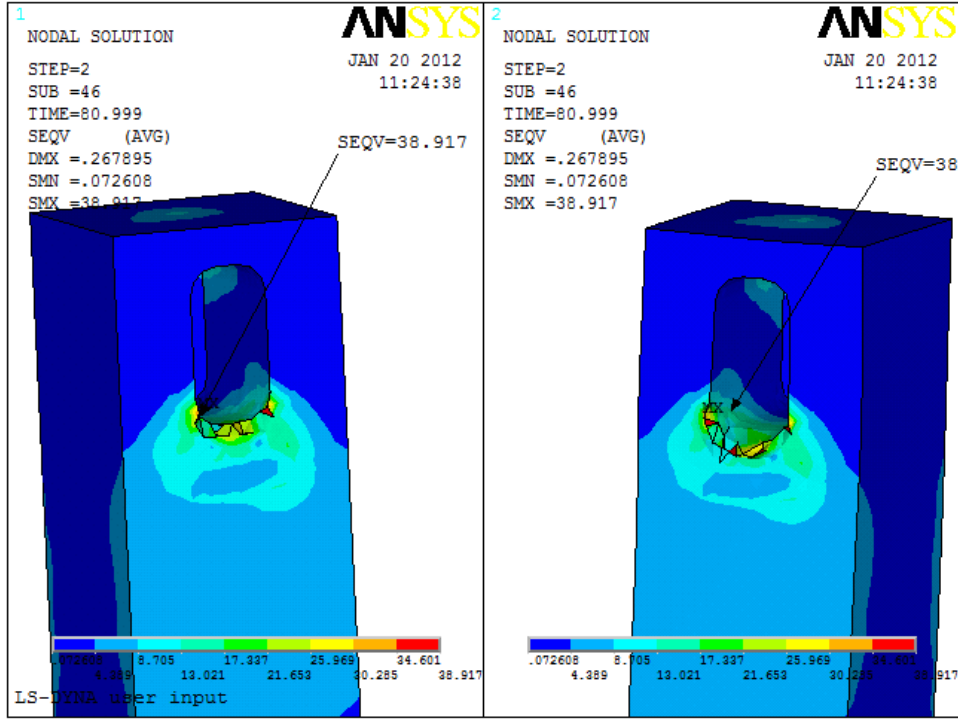
Yapılan birleştirmede en zayıf bölge birleştirme elemanlarının bulunduğu zıvanalı bölgedir. Zıvananın bulunduğu alanı daha iyi inceleyebilmek için ağ yoğunluğu daha fazla tutulmuştur. Deformasyonla birlikte gerilme dağılımı deney parçası üzerinde Şekil 3.28'de görülmektedir. Deformasyon yaklaşık 8,5 mm iken A parçası ile B parçası arasında 2,14 mm açıklık (UZ) görülmektedir. B deney parçasında açılma (US) 0 olarak görülmektedir. A parçasının kuvvet karşısında eğilmesi ile B parçasının alt köşesinde oluşan deformasyon 16 MPa olmuştur. Deformasyonla birlikte oluşan gerilim yaklaşık 50 MPa'dır. Şekilde görünen renk dağılımında gerilim yaklaşık 17 MPa olarak tespit edilmiştir. İç kesitteki zıvanaya

bakıldığında gerilim değerleri yaklaşık 36 MPa'dır. Zıvananın dişi parça ile birleştiği noktada malzemede deformasyon oluşmuştur. Zıvana ile parça arasında yapışmanın etkisi ile deformasyon ve gerilme fazla çıkmıştır. Dişi deney parçasındaki gerilme, kırılmadan önce yüzey gerilmesi yüksek, kırılmadan sonra ise düştüğü görülmüştür. Şekil 3.29'da eğilme deneyinde zıvanalı birleştirmede oluşan gerilim ve deformasyon görülmektedir.



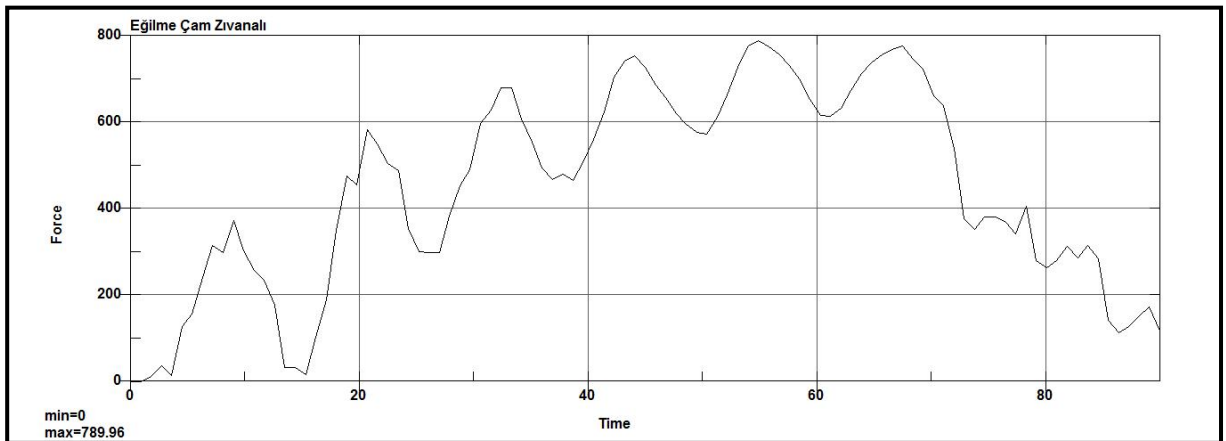
Şekil 3.29 Zıvanalı birleştirmede oluşan gerilme.

Zıvanalı birleştirmede üst kısımlar moment etkisi ile daha çabuk gerilmeye ve deformasyona maruz kalmakta, kırılma üst bölgeden başlamaktadır. Zıvana ucuna bakıldığında gerilmenin bu bölgede düşük olduğu görülmüştür. Zıvananın uç kısmında gerilme 13 MPa'dır. Zıvananın üst uç kısmında sürtünmenin etkisi ile gerilme artmış ve yaklaşık 16 MPa tespit edilmiştir. Zıvananın alt bölgesindeki gerilme değeri, zıvananın üst köşeden kırılmasından sonra yaklaşık 37 MPa'dır. Erkek zıvana parçasının gövde ile uç kısmının birleştiği bölgeye bakıldığında alt bölgedeki gerilme yaklaşık 14 MPa, üst bölgeye bakıldığında yaklaşık 11 MPa olarak görülmektedir. Şekil 3.30'da zıvanalı birleştirmede 8,5 mm sehimde oluşan gerilim değişimi ve zıvanadaki deformasyon görülmektedir.



Şekil 3.30 Zıvanalı birleştirmede oluşan gerilme ve deformasyon.

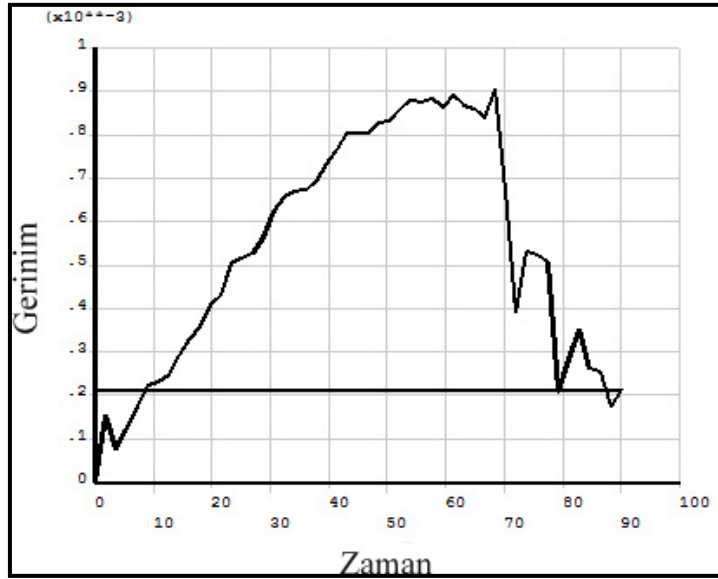
Şekil 3.30’da dişi zıvananın iç bölgesinde ve alt ağız bölgesinde ezilme görülmektedir. Zıvananın iç bölgesinde oluşan gerilme yaklaşık 39 MPa’dır. Deneyde zımbanın 8,5 mm aşağı yönde hareket etmesine izin verilmiş ve hareket sonucunda malzemede oluşan reaksiyon kuvveti gösterilmiştir. Şekil 3.31’de deney parçasında oluşan kuvvet gösterilmektedir.



Şekil 3.31 Çam zıvanalı birleştirmede kuvvet değişimi.

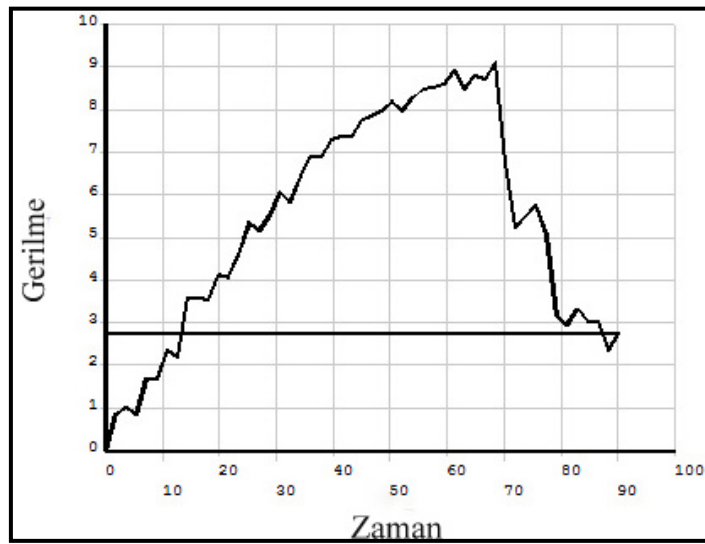
Analizlerde, LSPREPOST programı yardımıyla kuvvetler, gerinimler ve gerilmeler ölçülmüştür. Hareket karşısında oluşan kuvvet incelendiğinde Fmax kuvvet 789.96 (N) olarak

ölçülmüştür. Birleştirme bölgelerinde oluşan ortalama gerininin zamana bağlı (microstrain) değişimi Şekil 3.32’de verilmektedir.



Şekil 3.32 Gerinim değişimi.

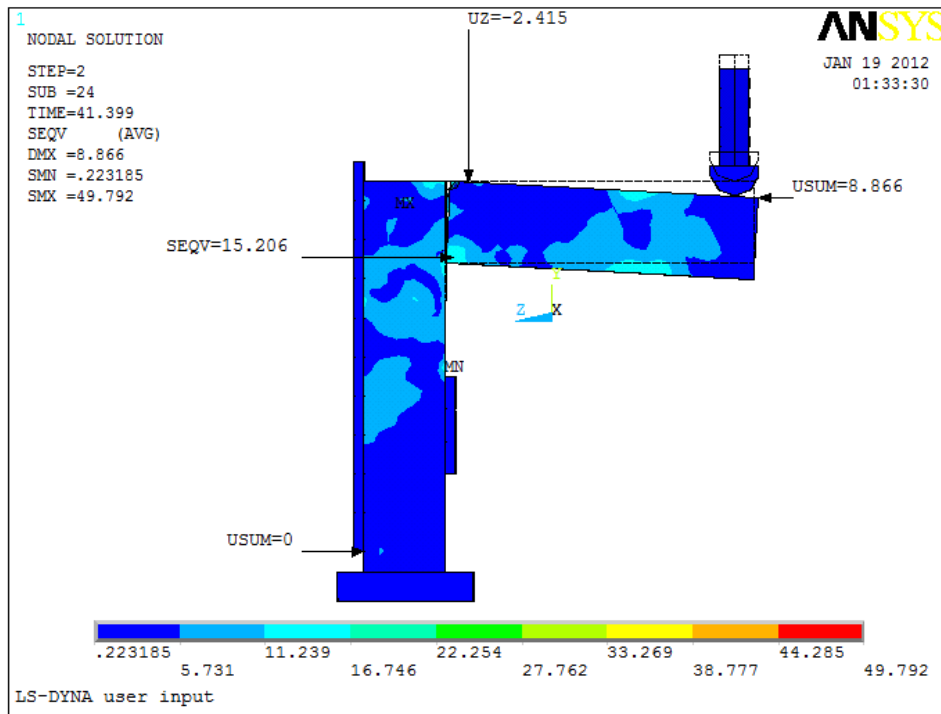
Birleştirme bölgesinde yüzeyden seçilen düğümlerden elde edilen ortalama gerinim değerleri 885.154 microstrain’dir. Birleşme bölgesinde ortalama gerilme 9,1 MPa tespit edilmiştir. Şekil 3.33’de gerilme değişimi zamana bağlı verilmektedir.



Şekil 3.33 Gerilme değişimi.

3.3.1.3 Kayın Kavelalı Birleştirme

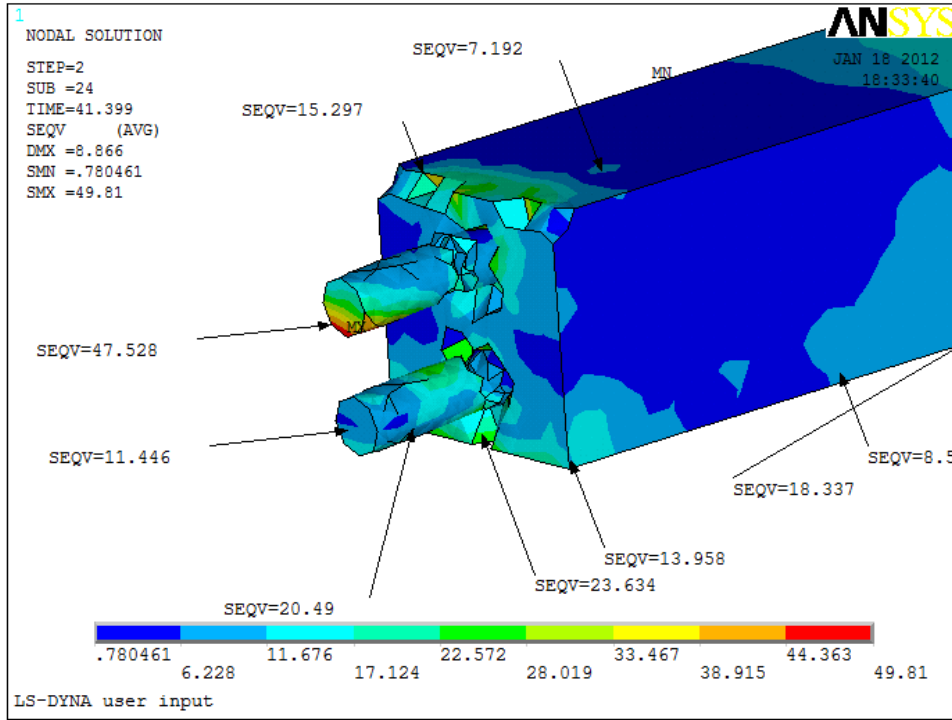
ANSYS/LS-DYNA programına istatistik verilerden elde edilen ortalama eğilme deneyindeki sehim değerleri Tablo 3.10'a göre girilmiş ve malzemede oluşan reaksiyon kuvveti, deformasyon, gerilim ve gerinim değerleri elde edilmiştir. Uygulamalı deney düzeneğindeki şartlar Şekil 2.24'deki gibi ANSYS/LS-DYNA'da modelleme ile oluşturulmuştur. Deney düzeneğinde parça B kenarından sabitlenmiş, A kenarından kuvvet uygulanmıştır. Sonlu elemanlar metodu ile çalışan ANSYS/LS-DYNA ile yapılan eğilme deneyi analizinde Şekil 3.34'de kayın kavelalı birleştirme örneğinin deformasyonu ve gerilme (von mises) gösterilmektedir.



Şekil 3.34 Kayın kavelalı birleştirme örneğindeki eğilme deformasyonu.

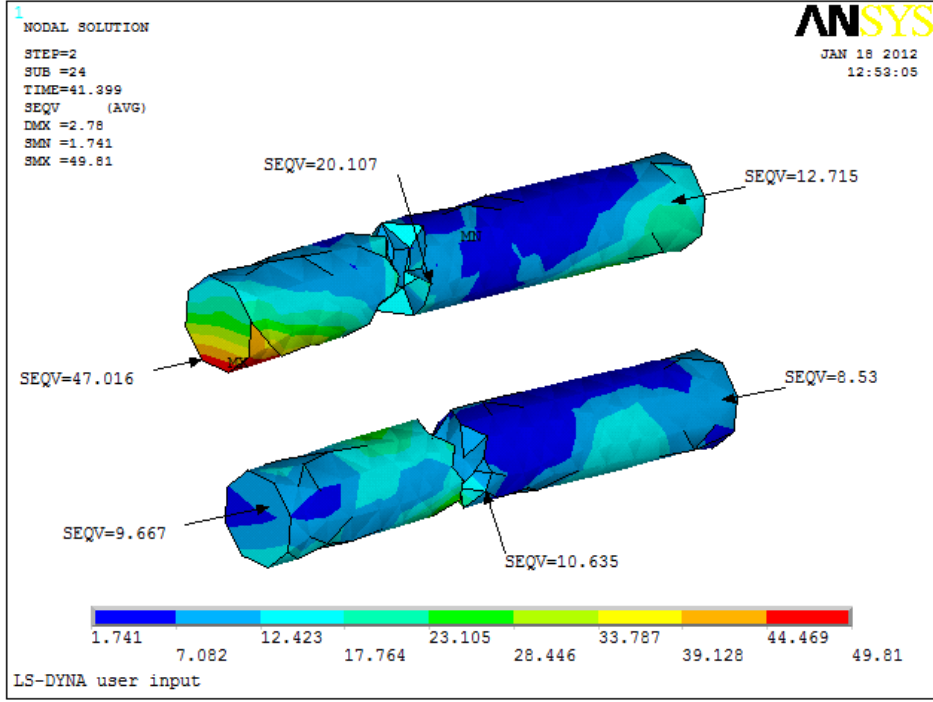
Yapılan birleştirmede en zayıf bölge, birleştirme elemanlarının bulunduğu kavelalı bölgedir. Kavelalı bölgeleri daha iyi inceleyebilmek için ağ yoğunluğu daha fazla tutulmuştur. Deformasyonla birlikte stress dağılımı deney parçası üzerinde Şekil 3.34'de görülmektedir. Deformasyon yaklaşık 8,86 mm de iken A parçası ile B parçası arasında açıklık 2.41 mm (UZ) olarak oluşmuştur. B deney parçasında açılma (US) 0 olarak görülmektedir. A parçasının kuvvet karşısında eğilmesi ile B parçasının alt köşede oluşan deformasyon 15,2 MPa olmuştur. Deformasyonla birlikte oluşan max. gerilme yaklaşık 50 MPa çıkmış fakat

şekilde görünen renk dağılımında gerilim yaklaşık 17 MPa olarak tespit edilmiştir. İç kesitteki kavelaların gerilme değerleri en fazla 47 MPa bulunmuştur. Deney parçasında köşelerde kırılma görülmektedir. Kavelanın dışı parça ile birleştiği noktada malzemede deformasyon oluşmuştur. Kavela ile parça arasında yapışmanın etkisi ile deformasyon ve gerilme fazla çıkmıştır. Dışı deney parçasındaki gerilme, kırılmadan önce yüksek olmuş fakat kırılmadan sonra düştüğü görülmüştür. Şekil 3.35’de eğilme deneyinde kavelalı birleştirmede oluşan gerilim ve deformasyon görülmektedir.



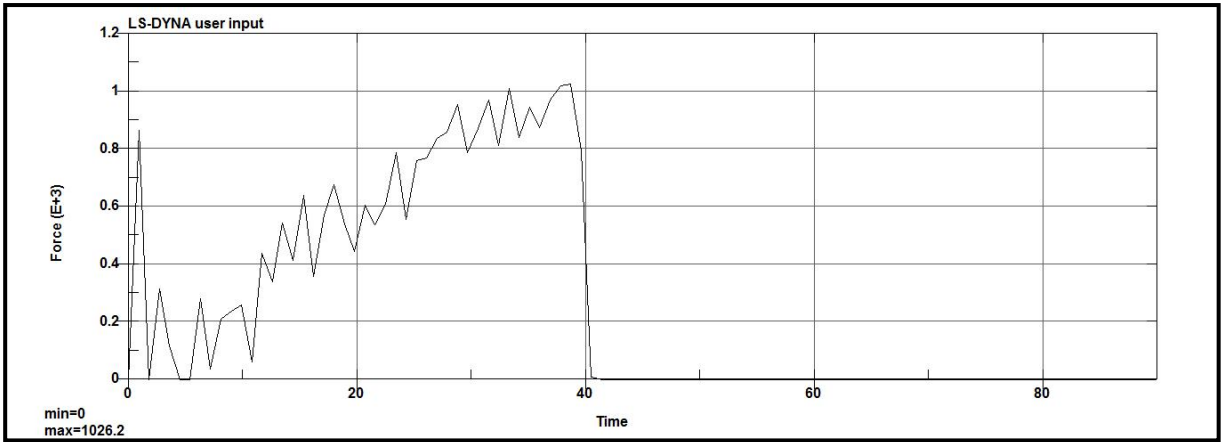
Şekil 3.35 Kayın kavelalı birleştirmede oluşan gerilme ve deformasyon.

Kavelalı birleştirmede üst kavelalar moment etkisi ile daha çabuk gerilmeye ve deformasyona maruz kalmakta ve daha erken kırılmaktadır. Üst kavelada gerilme 13 ile 47 MPa arasında değişmektedir. Üst kavela 8,8 mm sehimde kırılmış, yüzeylerdeki yapışma etkisi ile uç noktadaki gerilme belli düğüm aralıklarında devam etmiştir. Şekil 3.35’e göre alttaki kavelada dışı deney parçası ile birleşme yerindeki gerilme dağılımına bakıldığında kavelanın kırıldığı ve gerilme değerinin düşük olduğu görülmektedir. Gerilme dağılımı 11 ile 23 MPa arasında değişmektedir. Şekil 3.36’da kavelalı birleştirmede 8,8 mm sehimde oluşan gerilim değişimi ve kaveladaki deformasyon yaklaşık 2,78 mm olarak görülmektedir.



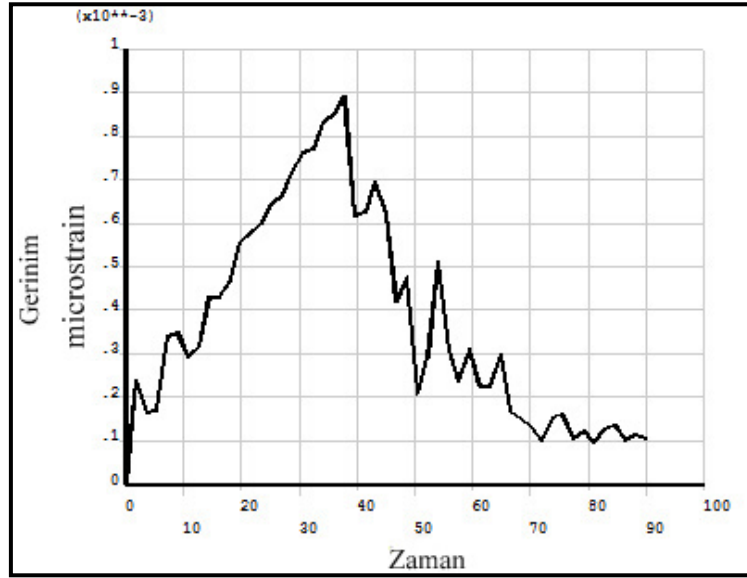
Şekil 3.36 Kavelada gerilme ve deformasyon.

Şekil 3.36’da kırılma öncesi üst kaveladan alınan gerilme değerleri ve alttaki kaveladan alınan gerilme değerleri yüksek çıkmış kırılma ile iki kavela gerilmesi düşmüştür. Bunun nedeni kavelanın sehim miktarına bağlı olarak kırılmanın iki kaveladan da olması ve gerilmenin düşmesidir. Eğilme deneyinde kullanılan kayın kavelalı birleştirme şeklinde olduğu gibi zımbanın 8,8 mm aşağı yönde hareket etmesine izin verilmiş ve hareket sonucunda malzemede oluşan reaksiyon kuvvetine bakılmıştır. Şekil 3.37’de deney malzemesinde oluşan kuvvet gösterilmektedir.



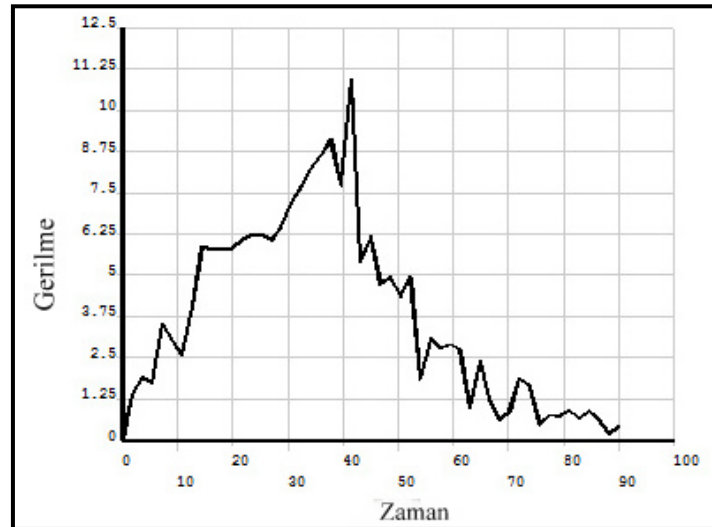
Şekil 3.37 Kayın kavelalı birleştirmede kuvvet değişimi.

Analizlerde, LSPREPOST programı yardımıyla kuvvetler, gerinimler ve gerilmeler ölçülmüştür. Hareket karşısında oluşan kuvvet incelendiğinde Fmax kuvvet 1026,2 (N) olarak ölçülmüştür. Birleştirme bölgelerinde oluşan ortalama gerinim değişimi Şekil 3.38’de verilmektedir.



Şekil 3.38 Gerinim değişimi.

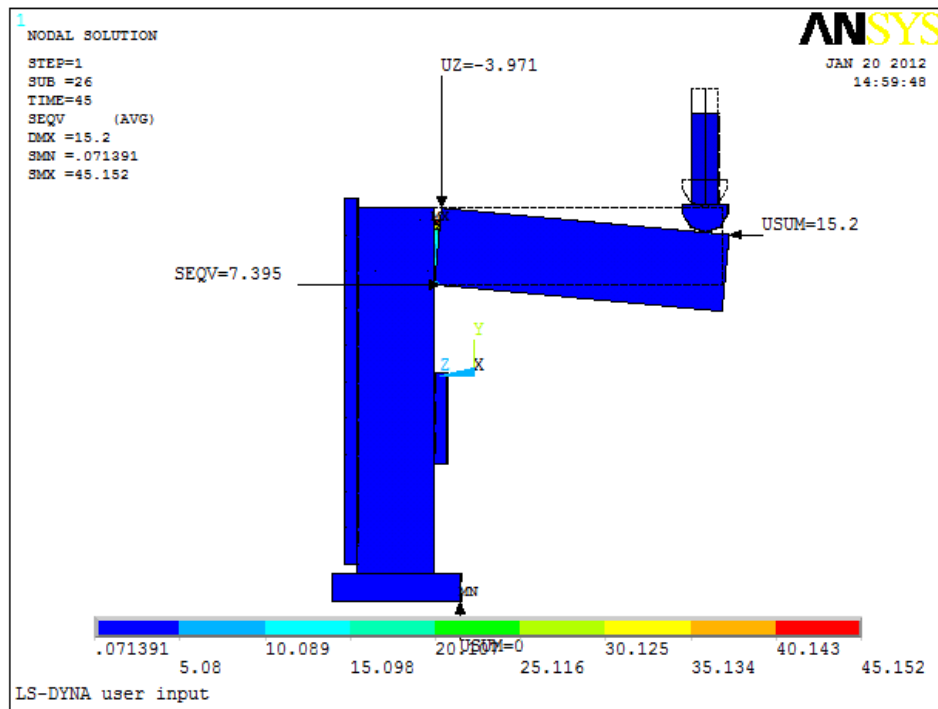
Birleştirme bölgesinde yüzeyden seçilen düğümlerden elde edilen ortalama gerinim değerleri 895,357 microstrain’dır. Birleşme bölgesindeki gerilmeye bakıldığında ortalama gerilme değerleri alınmış ve yaklaşık 11,2 MPa tespit edilmiştir. Şekil 3.39’da gerilme değişimi zamana bağlı verilmektedir.



Şekil 3.39 Gerilme değişimi.

3.3.1.4 Kayın Zıvanalı Birleştirme

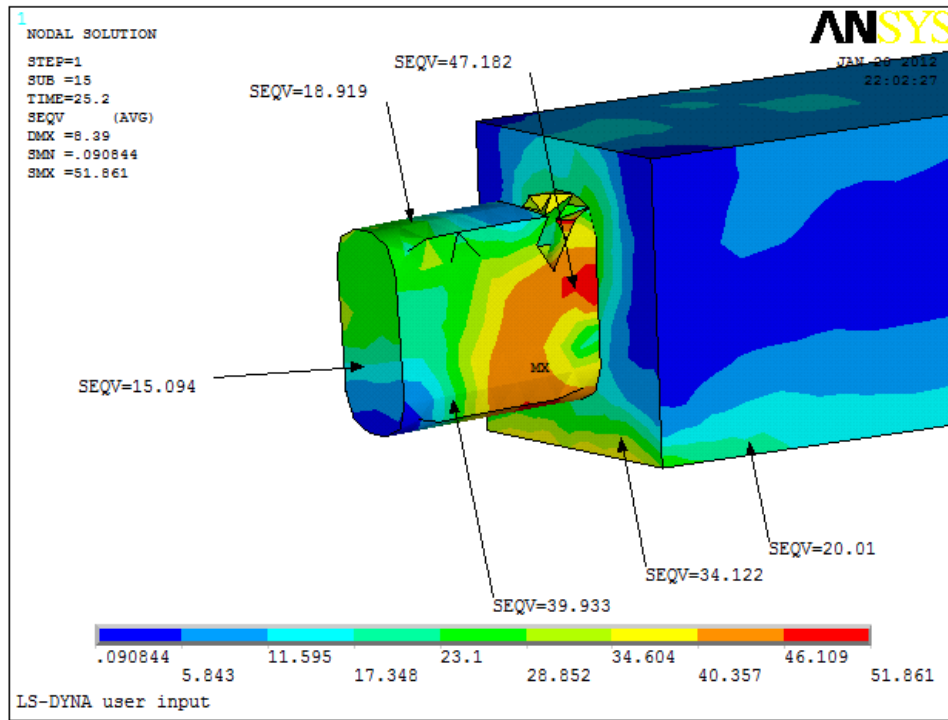
ANSYS/LS-DYNA programına istatistik verilerden elde edilen ortalama eğilme deneyindeki sehim değerleri Tablo 3.10'a göre girilmiş ve malzemede oluşan reaksiyon kuvveti, deformasyon, gerilim ve gerinim değerleri elde edilmiştir. Uygulamalı deney düzeneğindeki şartlar Şekil 2.24'deki gibi ANSYS/LS-DYNA'da modelleme ile oluşturulmuştur. Deney düzeneğinde parça, B kenarından sabitlenmiş, A kenarından kuvvet uygulanmıştır. Sonlu elemanlar metodu ile çalışan ANSYS/LS-DYNA ile yapılan eğilme deneyi analizinde Şekil 3.40'da kayın zıvanalı birleştirme örneğinin deformasyonu ve gerilme (von mises) gösterilmektedir.



Şekil 3.40 Kayın zıvanalı birleştirme örneğindeki eğilme deformasyonu.

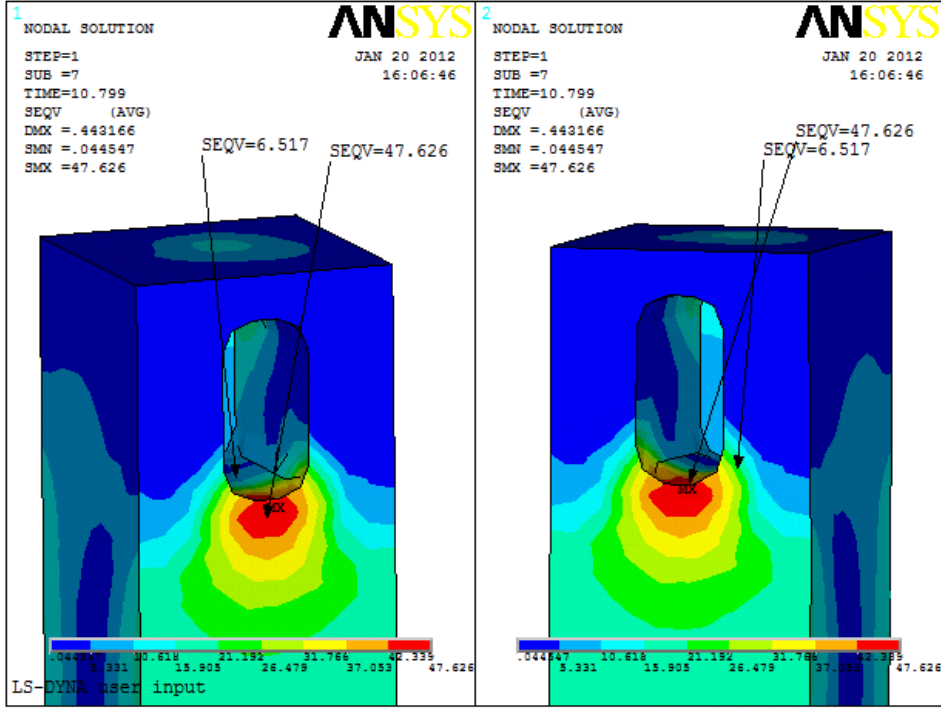
Yapılan birleştirmede en zayıf bölge birleştirme elemanlarının bulunduğu zıvanalı bölgedir. Zıvananın bulunduğu alanı daha iyi inceleyebilmek için ağ yoğunluğu daha fazla tutulmuştur. Deformasyonla birlikte gerilim dağılımı deney parçası üzerinde Şekil 3.19'da görülmektedir. Deformasyon yaklaşık 15,2 mm de iken A parçası ile B parçası arasında UZ 3,97 mm açıklık görülmektedir. B deney parçasında açılma (US) 0 olarak görülmektedir. A parçasının kuvvet karşısında eğilmesi ile B parçasının alt köşesinde oluşan deformasyon 7,3 MPa olmuştur. Deformasyonla birlikte oluşan gerilim 45 MPa çıkmış fakat şekilde görülen renk dağılımında

gerilme, deney parçaları üzerinde çok düşük değerde çıkmıştır. Gerilmenin düşük olmasının sebebi zıvananın 15,2 mm’de kırılmasıdır. Deneyde kırılma başlangıcında zıvanaya bakıldığında gerilme değerleri yaklaşık 40 MPa olmaktadır. Zıvananın dışı parça ile birleştiği yüzey bölgesindeki gerilme 34 MPa’dır. Zıvana ile parça arasında yapışmanın etkisi ile deformasyon ve gerilme fazla çıkmıştır. Erkek deney parçasındaki gerilme, kırılmadan önce yüzey gerilim dağılımı yüksek olmuş fakat kırılmadan sonra düştüğü görülmüştür. Şekil 3.41’de eğilme deneyinde kayın zıvanalı birleştirmede oluşan gerilim ve deformasyon gösterilmektedir.



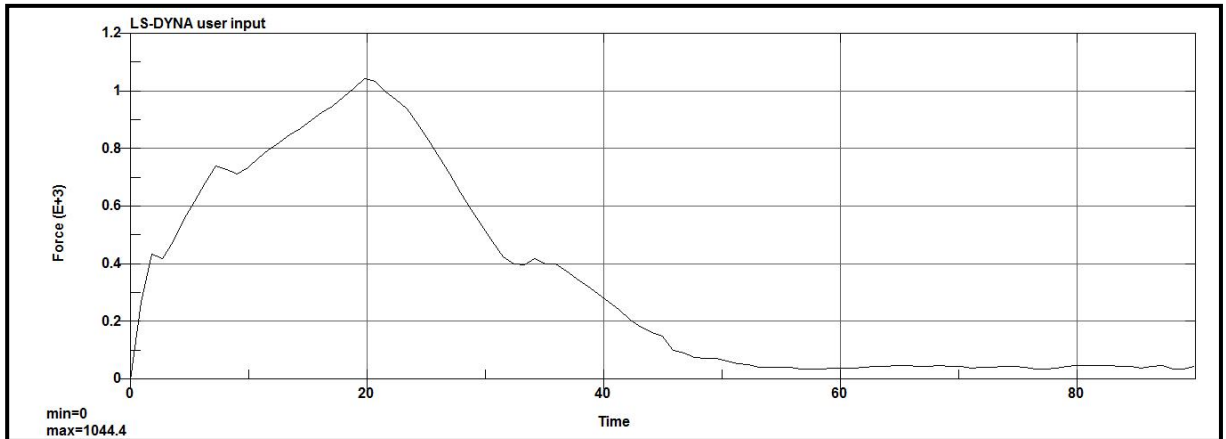
Şekil 3.41 Zıvanalı birleştirmede oluşan gerilim.

Zıvanalı birleştirmede üst kısımlar moment etkisi ile daha çabuk gerilmeye ve deformasyona maruz kalmakta ve kırılma üst bölgeden başlamaktadır. Zıvana ucuna bakıldığında gerilmenin bu bölgede düşük olduğu görülmüştür. Zıvananın uç kısmında gerilme yaklaşık 15 MPa çıkmıştır. Zıvananın üst uç kısmında sürtünmenin etkisi ile gerilme artmış ve yaklaşık 19 MPa olmuştur. Zıvananın alt kısmındaki gerilme değeri zıvananın üst köşeden kırılmasından sonra bile yaklaşık 40 MPa’dır. Erkek zıvana parçasının gövde ile uç kısmının birleştiği bölgeye bakıldığında alt bölgedeki gerilme yaklaşık 34 MPa, üst bölgeye bakıldığında yaklaşık 20 MPa olarak elde edilmiştir. Şekil 3.42’de zıvanalı birleştirmede 15 mm sehimde oluşan gerilim ve dışı zıvanadaki deformasyon görülmektedir.



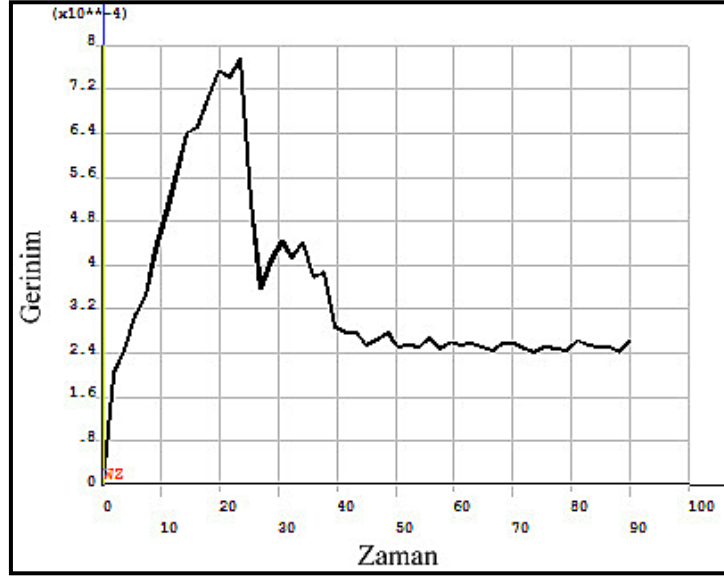
Şekil 3.42 Dişi zıvanada oluşan gerilme ve deformasyon.

Şekil 3.42’de dişi zıvananın iç bölgesinde ve alt ağız bölgesinde gerilme görülmektedir. Zıvananın iç bölgesinde oluşan gerilme yaklaşık 7 MPa’dır. Erkek zıvananın dişi zıvanaya baskı yaptığı bölgede gerilme yaklaşık 48 MPa çıkmıştır. Eğilme deneyinde kullanılan kayın ve zıvanalı birleştirme şeklinde olduğu gibi zımbanın 15,2 mm aşağı yönde hareket etmesine izin verilmiş ve hareket sonucunda malzemede oluşan reaksiyon kuvvetine bakılmıştır. Şekil 3.43’de kayın zıvanalı birleştirmede oluşan kuvvet gösterilmektedir.



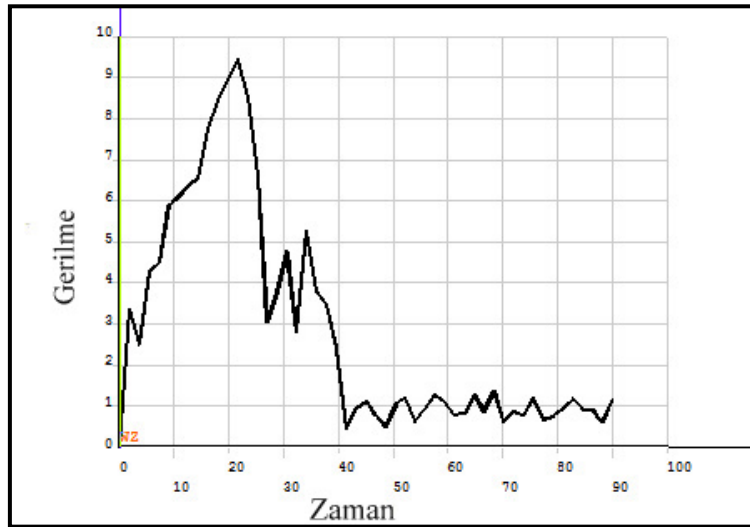
Şekil 3.43 Kayın zıvanalı birleştirmede kuvvet değişimi.

Analizlerde, LSPREPOST programı yardımıyla kuvvetler, gerinimler ve gerilmeler ölçülmüştür. Hareket karşısında oluşan kuvvet incelendiğinde Fmax kuvvet 1044 (N) olarak ölçülmüştür. Birleştirme bölgelerinde oluşan ortalama gerinim(microstrain) değişimi Şekil 3.44’de verilmektedir.



Şekil 3.44 Gerinim değişimi.

Birleştirme bölgesinde yüzeyden seçilen düğümlerden elde edilen ortalama gerinim değerleri 775.344 microstrain’dir. Birleşme bölgesindeki gerilmeye bakıldığında ortalama gerilme değerleri alınmış ve yaklaşık 9,6 MPa tespit edilmiştir. Şekil 3.45’de gerilme değişimi zamana bağlı verilmektedir.



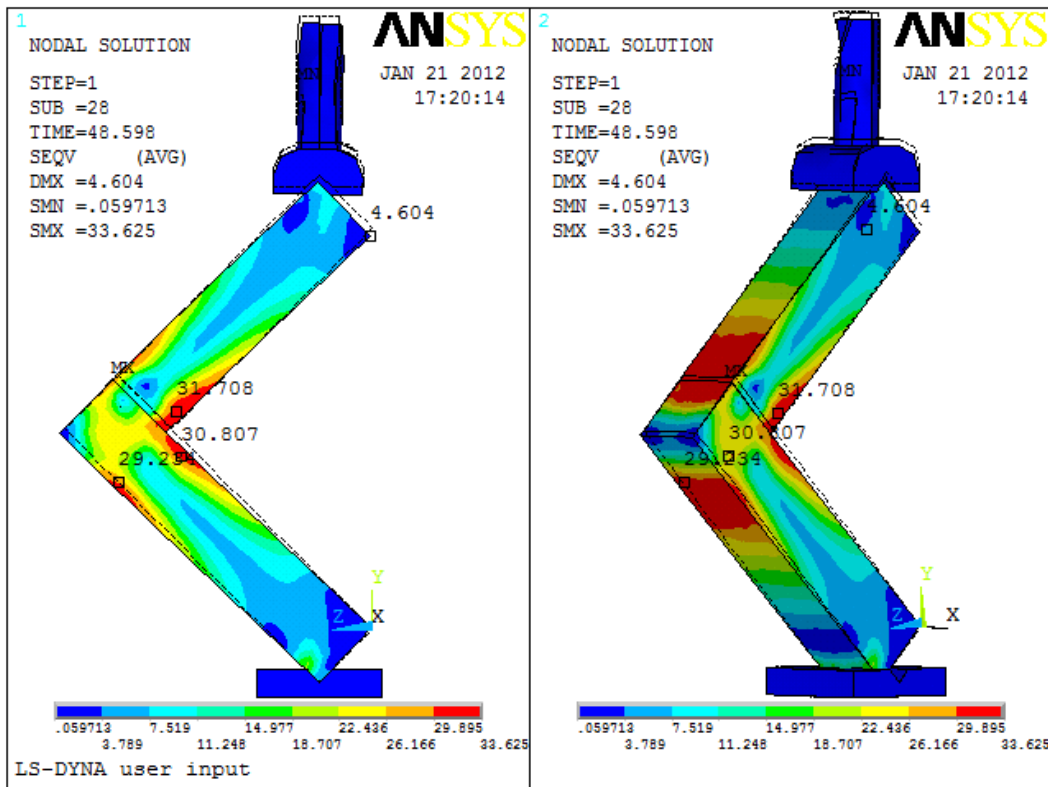
Şekil 3.45 Gerilme değişimi.

3.3.2 Diagonal Basınç Analizi

Diagonal basınç analizinde Tablo 3.16'daki gibi çam ile birleştirilmiş kavelalı ve zıvanalı, kayın ile birleştirilmiş kavelalı ve zıvanalı birleştirme türlerinden elde edilen deneysel bulgular ışığında ANSYS/LS-DYNA ile analiz yapılmıştır.

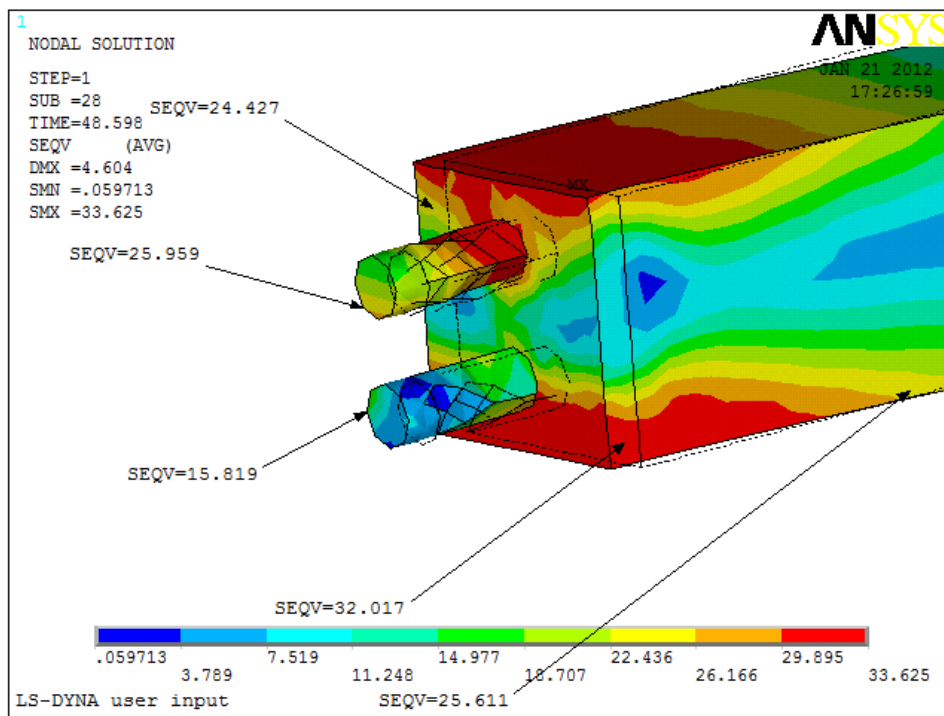
3.3.2.1 Sarıçam Kavelalı Birleştirme

ANSYS/LS-DYNA programına istatistik verilerden elde edilen ortalama diagonal basınç deneyindeki sehim değerleri Tablo 3.16'da girilmiş ve malzemede oluşan reaksiyon kuvveti, deformasyon, gerilim ve gerinim değerleri elde edilmiştir. Uygulamalı deney düzeneğindeki şartlar Şekil 2.25'deki gibi ANSYS/LS-DYNA'da modelleme ile oluşturulmuştur. Deney düzeneğinde parça B kenarı sabit yatak üzerine konulacak şekilde, A kenarı hareketli zımbanın altına gelecek şekilde kuvvet uygulanmıştır. Şekil 3.46'da sonlu elemanlar metodu ile çalışan ANSYS/LS-DYNA ile yapılan diagonal basınç analizinde çam kavelalı birleştirme örneğinin deformasyonu ve gerilme (von mises) gösterilmektedir.



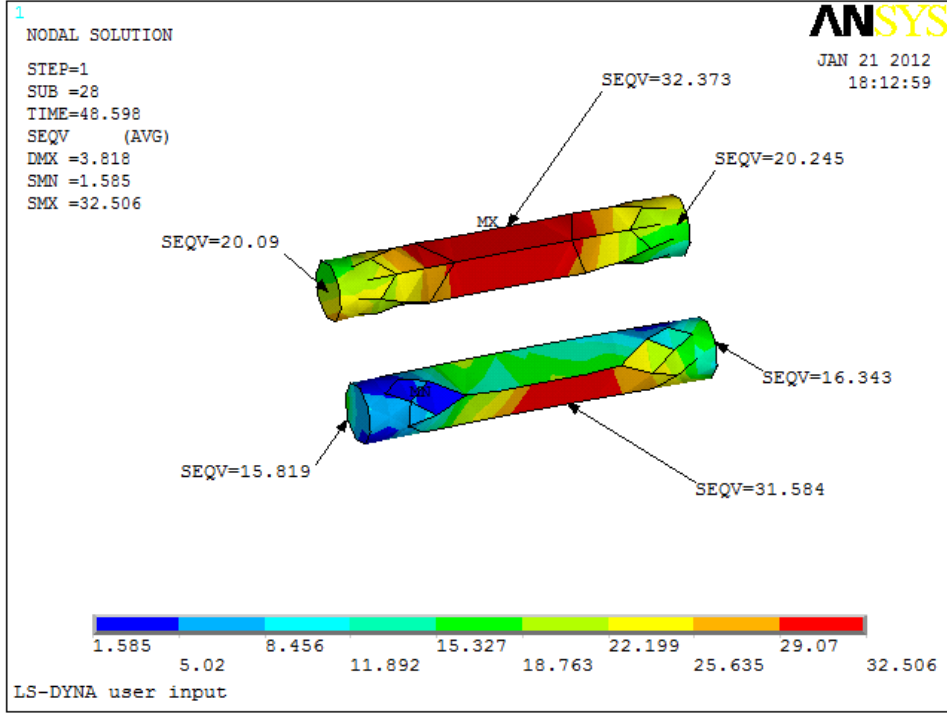
Şekil 3.46 Sarıçam kavelalı birleştirme örneğindeki gerilme ve deformasyon.

Yapılan birleştirmede en zayıf bölge birleştirme elemanlarının bulunduğu kavelalı bölgedir. Kavelanın bulunduğu bölgeyi daha iyi inceleyebilmek için ağ yoğunluğu daha fazla tutulmuştur. Deneysel parçasında yaklaşık 4,6 mm deformasyon görülmektedir. Deformasyonla birlikte gerilme dağılımı malzeme üzerindeki Şekil 3.46'da görülmektedir. Deformasyonla birlikte oluşan gerilme max. 34 MPa'dır. Erkek parçanın dişli parçaya yaptığı basınç alt köşe yüzeyde yaklaşık 32 MPa olarak tespit edilmiştir. Deneysel parçasında köşelerde gerilme yüksektir fakat kırılma görülmemektedir. Kavelanın dişli parça ile birleştiği noktada malzemede deformasyon oluşmuştur. Şekil 3.47'de diyagonal basınç deneyinde kavelalı birleştirmedeki erkek parçada oluşan gerilme ve deformasyon gösterilmektedir.



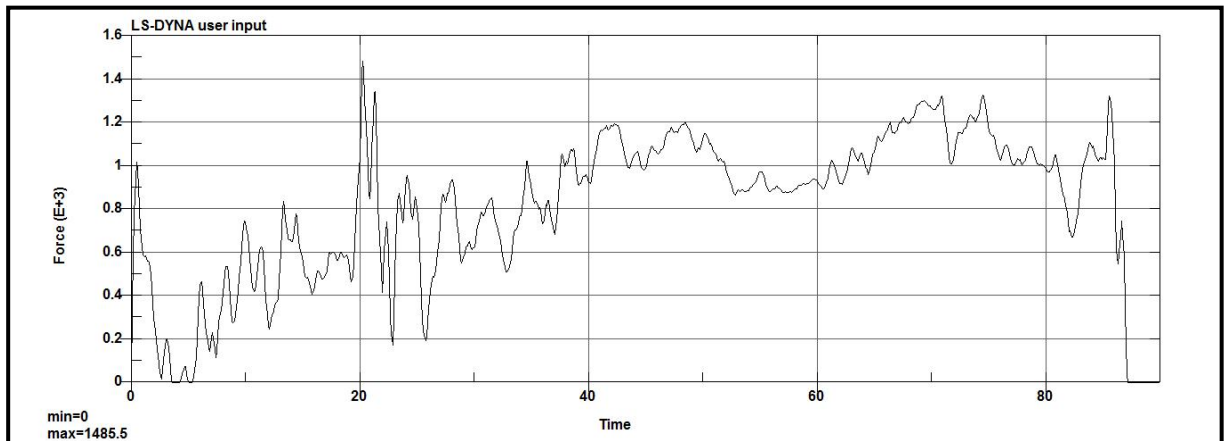
Şekil 3.47 Diyagonal basınç deneyinde oluşan gerilme ve deformasyon.

Kavelalı birleştirmede üst kavelalar moment etkisi ile daha fazla gerilmeye ve deformasyona maruz kalmıştır. Şekil 3.47'de alttaki kavelada dişli deney parçası ile birleşme yerindeki gerilme dağılımına bakıldığında yaklaşık 15 MPa gerilme olmuştur. Üst kavelaya bakıldığında uç kısmındaki gerilme yaklaşık 26 MPa, kavelanın erkek parça ile birleştiği bölgede ise 32 MPa'dır. Erkek parçanın yüzey kısmında oluşan gerilme yaklaşık 25 MPa yan yüzeylerde oluşan gerilme yaklaşık 26 MPa'dır. İç kesitteki kavelaya bakıldığında gerilme değerleri yaklaşık 32.5 MPa'lı bulunmaktadır. Şekil 3.48'de kavelalı birleştirmede 4,6 mm sehimde oluşan gerilme değişimi ve kaveladaki deformasyon 3,81 mm olarak görülmektedir.



Şekil 3.48 Kavelada gerilme ve deformasyon.

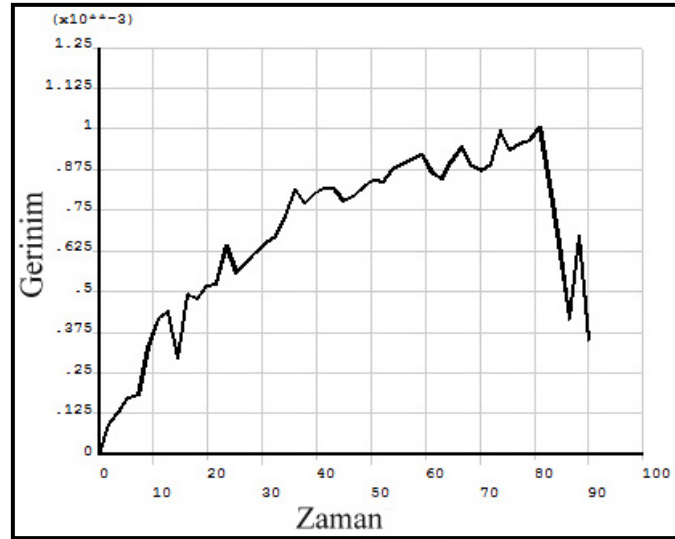
Şekil 3.48’de üst kaveladan alınan gerilme değerleri ve alttaki kaveladan alınan gerilme değerleri yüksek çıkmıştır. Uygulamalı diyagonal basınç deneyinde kullanılan kavelalı çam birleştirme şeklinde olduğu gibi zımbanın yaklaşık 4,6 mm aşağı yönde hareket etmesine izin verilmiş ve hareket sonucunda malzemede oluşan reaksiyon kuvvetine bakılmıştır. Şekil 3.49’da deney malzemesinde oluşan kuvvet değişimi gösterilmektedir.



Şekil 3.49 Çam kavelalı birleştirmede kuvvet değişimi.

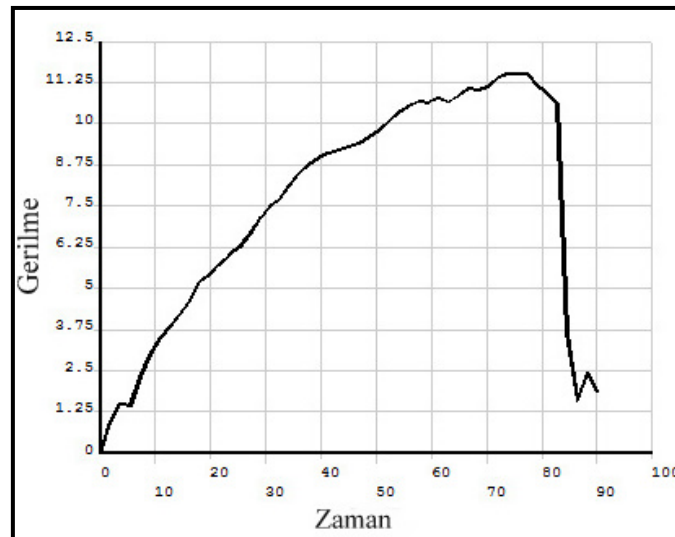
Analizlerde, LSPREPOST programı yardımıyla kuvvetler, gerinimler ve gerilmeler ölçülmüştür. Hareket karşısında oluşan kuvvet incelendiğinde Fmax kuvvet 1485,5 (N) olarak

ölçülmüştür. Birleştirme bölgelerinde oluşan ortalama gerinim(microstrain) değişimi Şekil 3.50'de verilmektedir.



Şekil 3.50 Gerinim değişimi.

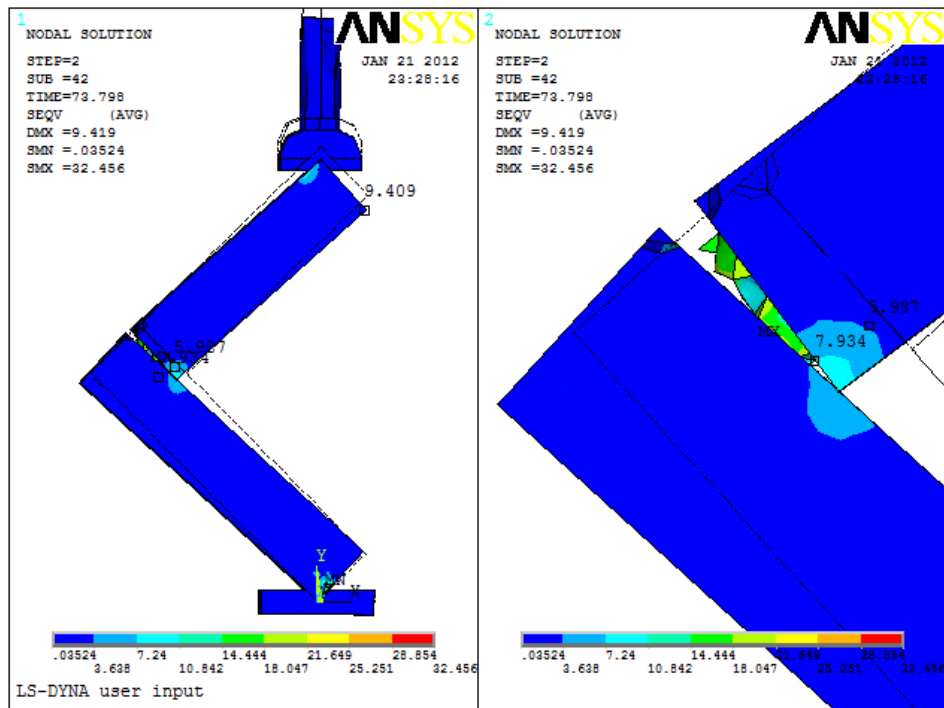
Birleştirme bölgesinde yüzeyden seçilen düğümlerden elde edilen ortalama gerinim değerleri 1057,35 microstrain'dir. Birleşme bölgesindeki gerilmeye bakıldığında ortalama gerilme değerleri alınmış ve yaklaşık 11 MPa tespit edilmiştir. Şekil 3.51'de gerilme değişimi zamana bağlı verilmektedir.



Şekil 3.51 Gerilme değişimi.

3.3.2.2 Sarıçam zıvanalı Birleştirme

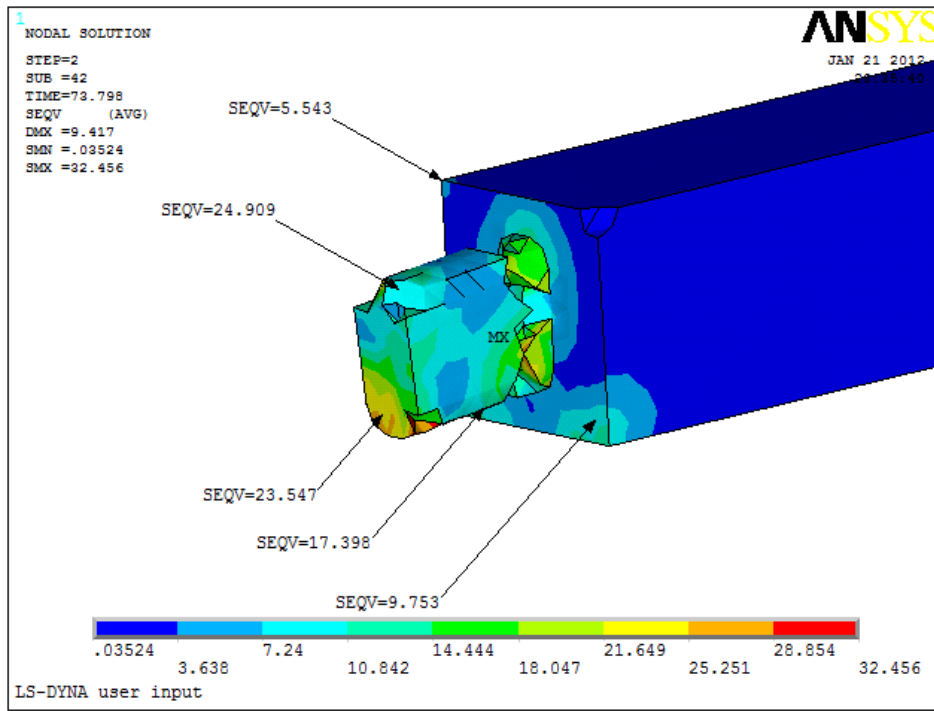
ANSYS/LS-DYNA programına istatistik verilerden elde edilen ortalama diyagonal basınç deneyindeki sehim değerleri Tablo 3.16'daki gibi girilmiş ve malzemede oluşan reaksiyon kuvveti, deformasyon, gerilim ve gerinim değerleri elde edilmiştir. Uygulamalı deney düzeneğindeki şartlar Şekil 2.25'deki gibi ANSYS/LS-DYNA'da modelleme ile oluşturulmuştur. Deney düzeneğinde parça, B kenarı sabit yatak üzerine konulacak şekilde, A kenarı hareketli zımba altına gelecek şekilde kuvvet uygulanmıştır. Şekil 3.52'de sonlu elemanlar metodu ile çalışan ANSYS/LS-DYNA ile yapılan diyagonal basınç analizinde çam zıvanalı birleştirme örneğinin deformasyonu ve gerilme (von misses) gösterilmektedir.



Şekil 3.52 Sarıçam zıvanalı birleştirme örneğindeki gerilme ve deformasyon.

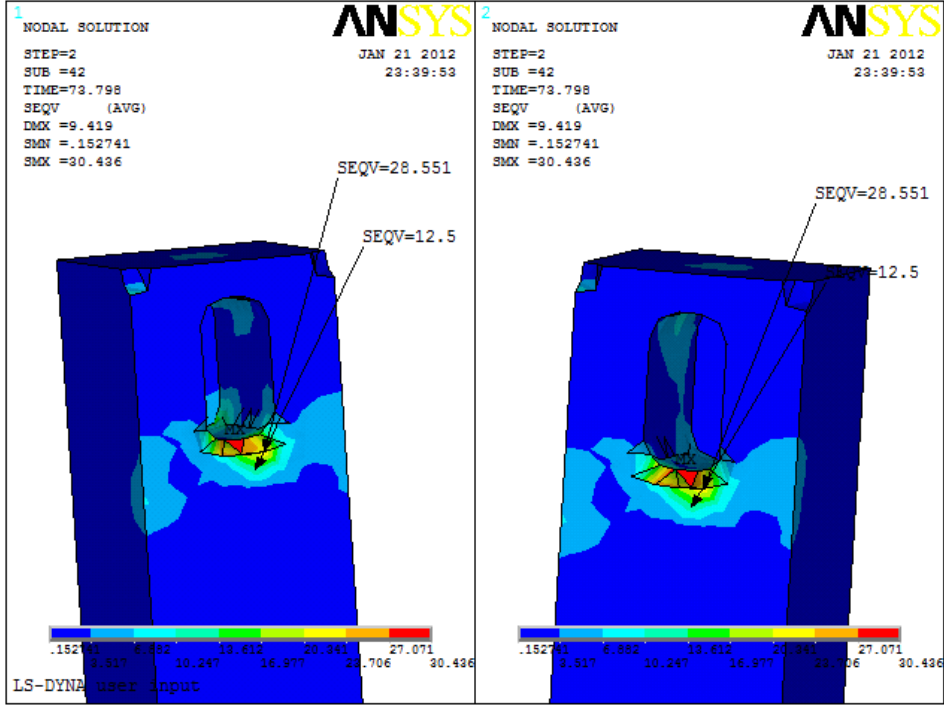
Yapılan birleştirmede en zayıf bölge birleştirme elemanlarının bulunduğu zıvanalı bölgedir. Zıvananın bulunduğu alanı daha iyi inceleyebilmek için ağ yoğunluğu daha fazla tutulmuştur. Deformasyonla birlikte stress dağılımı deney parçası üzerinde Şekil 3.52'de görülmektedir. Deformasyon yaklaşık 9,4 mm de iken A parçası ile B parçası arasında UZ 3,6 mm açıklık görülmektedir. A parçasının kuvvet karşısında eğilmesi ile B parçasının alt köşesinde oluşan deformasyon 7,9 MPa olmuştur. Deformasyonla birlikte oluşan gerilim yaklaşık 32 MPa'dır fakat şekilde görünen renk dağılımında gerilme, deney parçaları üzerinde çok düşük değerde

çıkmiştir. Gerilmenin düşük olması zıvananın 9,4 mm’de kırılmasından kaynaklanmaktadır. Deneyde kırılma başlangıcında zıvana bölgesindeki gerilim değerleri yaklaşık 33 MPa olmaktadır. Zıvananın dişi parça ile birleştiği yüzey bölgesindeki gerilme 10 MPa’dır. Zıvana ile parça arasında yapışmanın etkisi ile deformasyon ve gerilme fazla çıkmıştır. Erkek deney parçasındaki gerilme kırılmadan önce yüzey gerilim dağılımı yüksek olmuş fakat kırılmadan sonra düştüğü görülmüştür. Şekil 3.53’de diyagonal basınç deneyinde çam zıvanalı birleştirmede oluşan gerilim ve deformasyon gösterilmektedir.



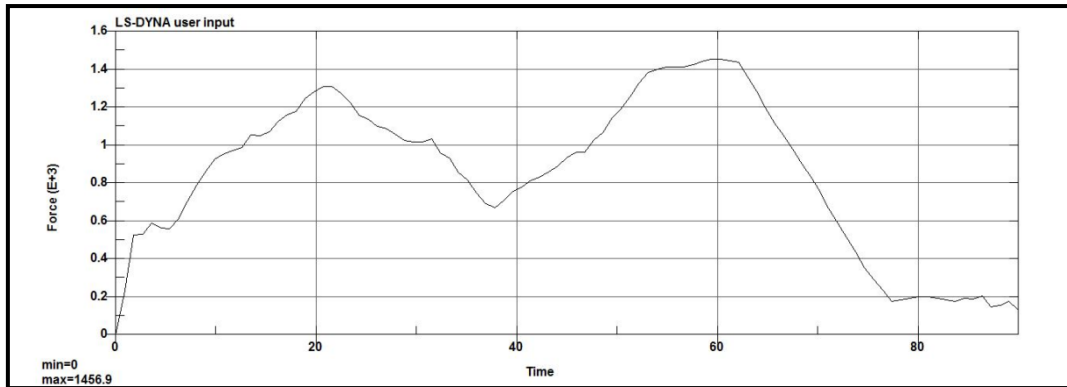
Şekil 3.53 Zıvanalı birleştirmede oluşan gerilme.

Zıvanalı birleştirmede üst kısımlar moment etkisi ile daha çabuk gerilmeye ve deformasyona maruz kalmakta ve kırılma üst bölgeden başlamaktadır. Zıvana ucuna bakıldığında gerilme bu bölgede yüksek olmuştur. Zıvana bölgesine bakıldığında ilk kırılma zıvana üst uç kısımdan gerçekleşmiştir. Zıvananın uç kısmında gerilme yaklaşık 24 MPa çıkmıştır. Erkek zıvana parçasının gövde ile uç kısmının birleştiği bölgeye bakıldığında alt bölgedeki gerilme yaklaşık 10 MPa, üst bölgeye bakıldığında ise yaklaşık 6 MPa olarak görülmektedir. Şekil 3.54’de zıvanalı birleştirmede 9,4 mm sehimde oluşan gerilme ve dişi zıvanadaki deformasyon görülmektedir.



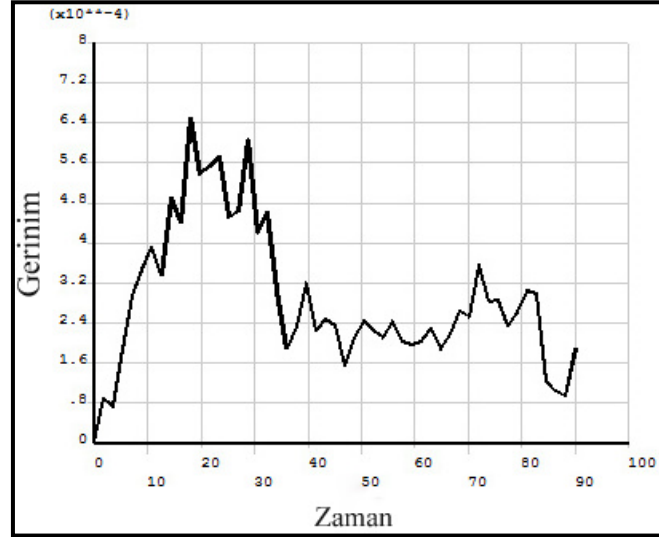
Şekil 3.54 Dişi zıvanada oluşan gerilme ve deformasyon.

Şekil 3.54’de dişi zıvananın iç bölgesinde ve alt ağız bölgesinde gerilme görülmektedir. Zıvananın iç bölgesinde oluşan gerilme yaklaşık 28 MPa’dır. Erkek zıvananın dişi zıvanaya baskı yaptığı bölgede gerilme yaklaşık 12 MPa çıkmıştır. Diyagonal basınç deneyinde kullanılan çam ve zıvanalı birleştirme şeklinde olduğu gibi zımbanın yaklaşık 9,4 mm aşağı yönde hareket etmesine izin verilmiş ve hareket sonucunda malzemede oluşan reaksiyon kuvvetine bakılmıştır. Şekil 3.55’de çam zıvanalı birleştirmede oluşan kuvvet gösterilmektedir.



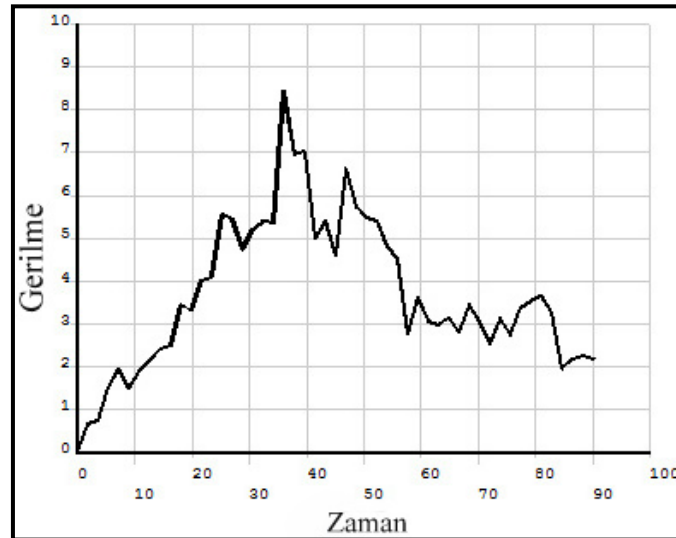
Şekil 3.55 Çam zıvanalı birleştirmede kuvvet değişimi.

Analizlerde, LSPREPOST programı yardımıyla kuvvetler, gerinimler ve gerilmeler ölçülmüştür. Hareket karşısında oluşan kuvvet incelendiğinde Fmax kuvvet 1456 (N) olarak ölçülmüştür. Birleştirme bölgelerinde oluşan ortalama gerinim(microstrain) değişimi Şekil 3.56'da verilmektedir.



Şekil 3.56 Gerinim değişimi.

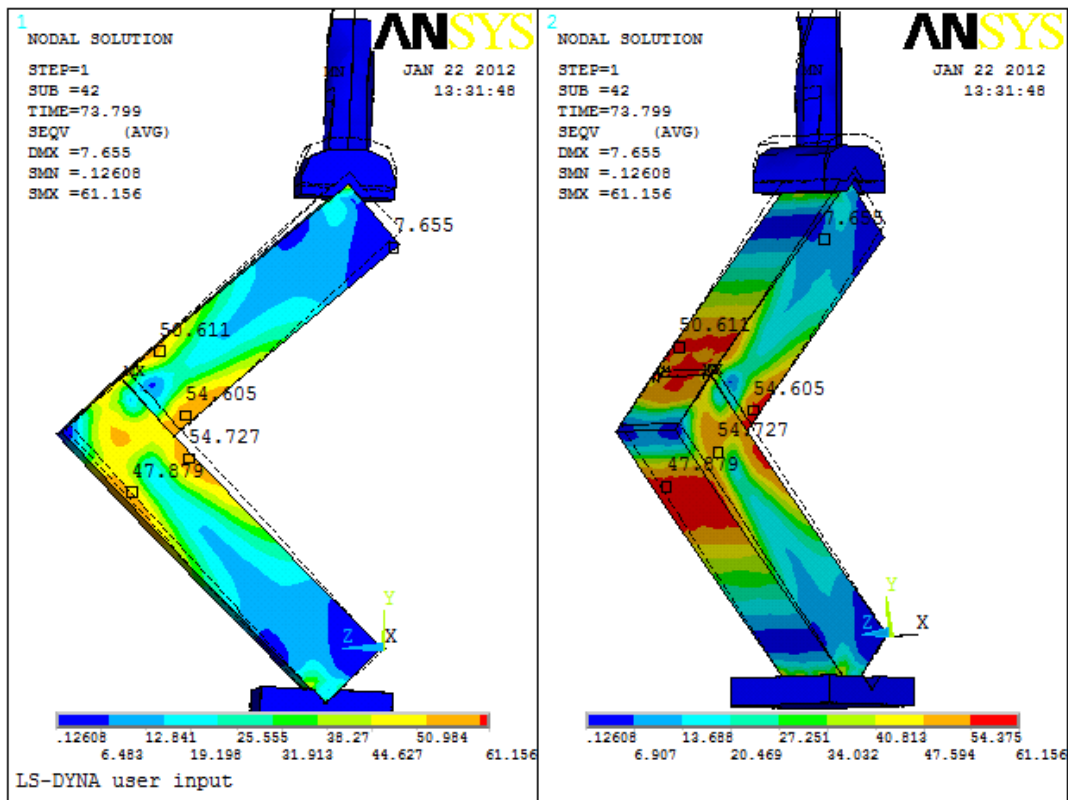
Birleştirme bölgesinde yüzeyden seçilen düğümlerden elde edilen ortalama gerinim değerleri 647.253 microstrain çıkmıştır. Birleşme bölgesindeki gerilmeye bakıldığında ortalama gerilme değerleri alınmış ve yaklaşık 8 MPa tespit edilmiştir. Şekil 3.57'de gerilme değişimi zamana bağlı verilmektedir.



Şekil 3.57 Gerilme değişimi.

3.3.2.3 Kayın Kavelalı Birleştirme

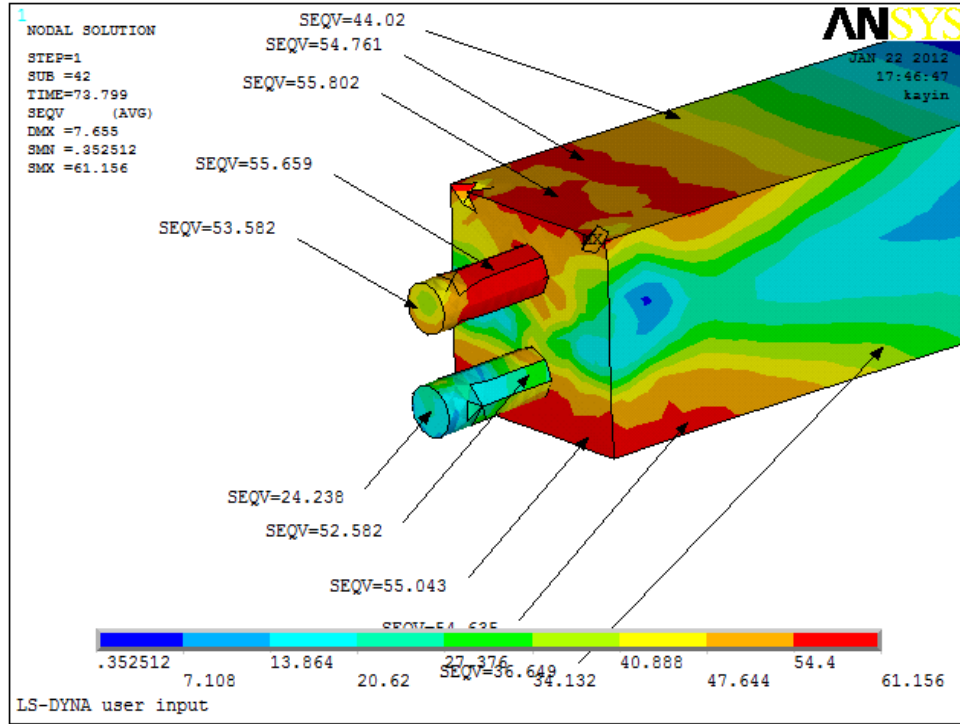
ANSYS/LS-DYNA programına istatistik verilerden elde edilen ortalama diyagonal basınç deneyindeki sehim değerleri Tablo 3.16'daki gibi girilmiş ve malzemede oluşan reaksiyon kuvveti, deformasyon, gerilim ve gerinim değerleri elde edilmiştir. Uygulamalı deney düzeneğindeki şartlar Şekil 2.25'deki gibi ANSYS/LS-DYNA'da modelleme ile oluşturulmuştur. Deney düzeneğinde parça, B kenarı sabit yatak üzerine konulacak şekilde, A kenarı hareketli zımba altına gelecek şekilde kuvvet uygulanmıştır. Şekil 3.58'de sonlu elemanlar metodu ile çalışan ANSYS/LS-DYNA ile yapılan diyagonal basınç analizinde kayın kavelalı birleştirme örneğinin deformasyonu ve gerilme (won misses) görülmektedir.



Şekil 3.58 Kayın kavelalı birleştirme örneğindeki gerilme ve deformasyon.

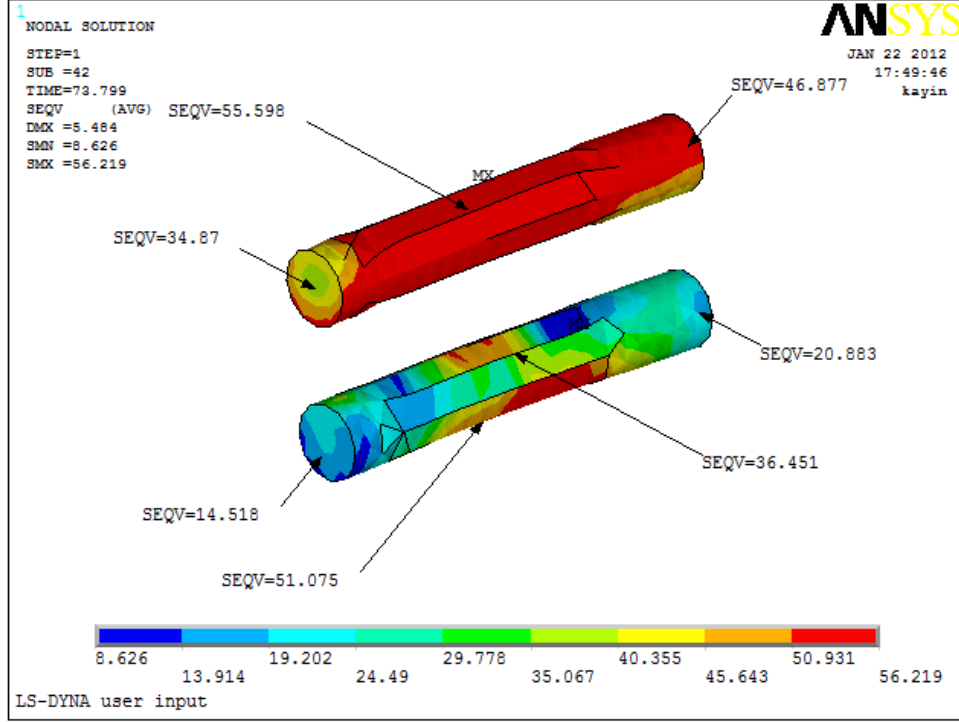
Yapılan birleştirmede en zayıf bölge birleştirme elemanlarının bulunduğu kavelalı bölgedir. Kavelanın bulunduğu bölgeyi daha iyi inceleyebilmek için ağ yoğunluğu daha fazla tutulmuştur. Deney parçasında yaklaşık 7,6 mm deformasyon görülmektedir. Deformasyonla birlikte stress dağılımı malzeme üzerinde Şekil 3.58'de görülmektedir. Deformasyonla birlikte oluşan gerilim max. 61 MPa çıkmıştır. Kavelalı erkek parça ile dişi parça arasında oluşan açıklık 2,1 mm olarak tespit edilmiştir. Erkek parçanın dişi parçaya yaptığı basınç alt

köşe yüzeyde yaklaşık 54 MPa olarak tespit edilmiştir. Deney parçasında köşelerde gerilme yüksek fakat kırılma çok az olmuştur. Kavelanın dışı parça ile birleştiği noktada malzemede deformasyon oluşmuştur. Şekil 3.59’da diyagonal basınç deneyinde kavelalı birleştirmedeki erkek parçada oluşan gerilme ve deformasyon gösterilmektedir.



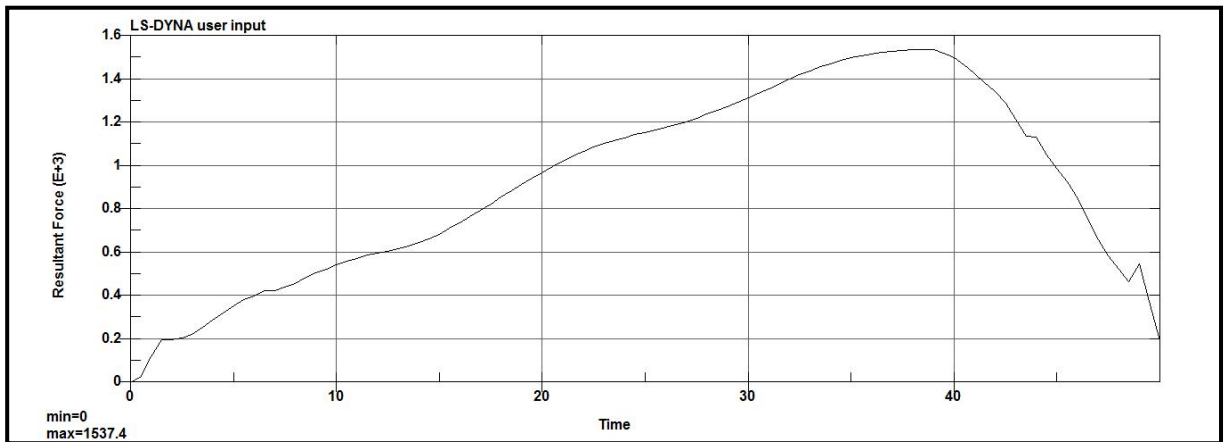
Şekil 3.59 Diyagonal basınç deneyinde oluşan gerilme ve deformasyon.

Kavelalı birleştirmede üst kavelalar moment etkisi ile daha fazla gerilmeye ve deformasyona maruz kalmıştır. Şekil 3.59’da alttaki kavelada gerilme dağılımına bakıldığında yaklaşık 24 ile 54 MPa arasında gerilme olmuştur. Üst kavelaya bakıldığında uç kısmındaki gerilme yaklaşık 53 MPa, diğer bölgelerde 55 MPa’dır. Erkek parçanın birleşme kısmında oluşan gerilme yaklaşık 54 MPa yan yüzeylerde oluşan yaklaşık gerilme 26 MPa’dır. Dışı parçanın üst kısmında oluşan gerilme 54 MPa ve alt kısmında oluşan gerilme 54 MPa oluşmuştur. Diyagonal basınç etkisiyle oluşan gerilmeler birleşme kesitinin yakın bölgelerine kadar aynı gerilme göstermektedir. Şekil 3.60’da kavelalı birleştirmede 7,6 mm sehimde oluşan gerilme değişimi ve kaveladaki deformasyon görülmektedir.



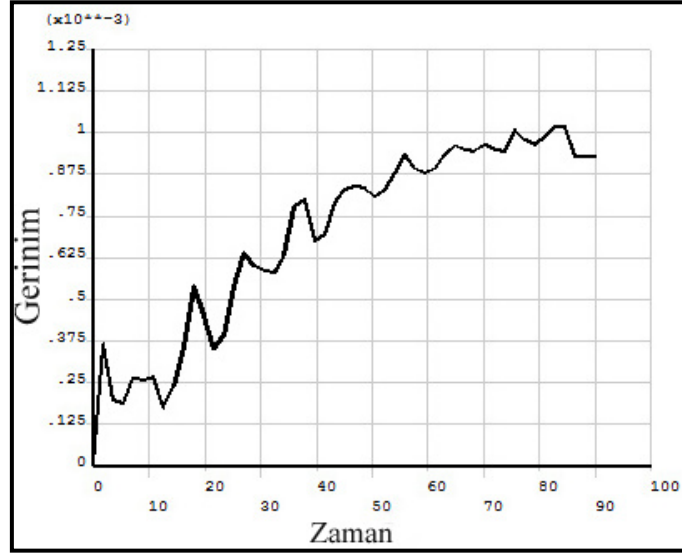
Şekil 3.60 Kavelada gerilme ve deformasyon.

Üst kaveladan alınan gerilme değerleri ve alttaki kaveladan alınan gerilme değerleri yüksek çıkmıştır. Üst kavelada gerilme 56 MPa, alttaki kavelada gerilme yaklaşık 36 ile 51 MPa çıkmıştır. Uygulamalı diyagonal basınç deneyinde kullanılan kayın kavelalı birleştirme şeklinde olduğu gibi zımbanın yaklaşık 7,6 mm aşağı yönde hareket etmesine izin verilmiş ve hareket sonucunda malzemede oluşan reaksiyon kuvvetine bakılmıştır. Şekil 3.61’de deney malzemesinde oluşan kuvvet değişimi gösterilmektedir.



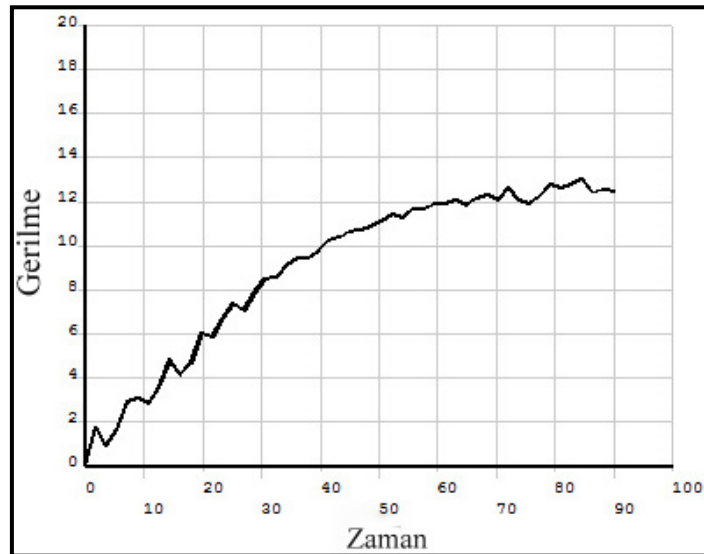
Şekil 3.61 Kayın kavelalı birleştirmede kuvvet değişimi.

Analizlerde, LSPREPOST programı yardımıyla kuvvetler, gerinimler ve gerilmeler ölçülmüştür. Hareket karşısında oluşan kuvvet incelendiğinde Fmax kuvvet 1537,4 (N) olarak ölçülmüştür. Birleştirme bölgelerinde oluşan ortalama gerinim(microstrain) değişimi Şekil 3.62’de verilmektedir.



Şekil 3.62 Gerinim değişimi.

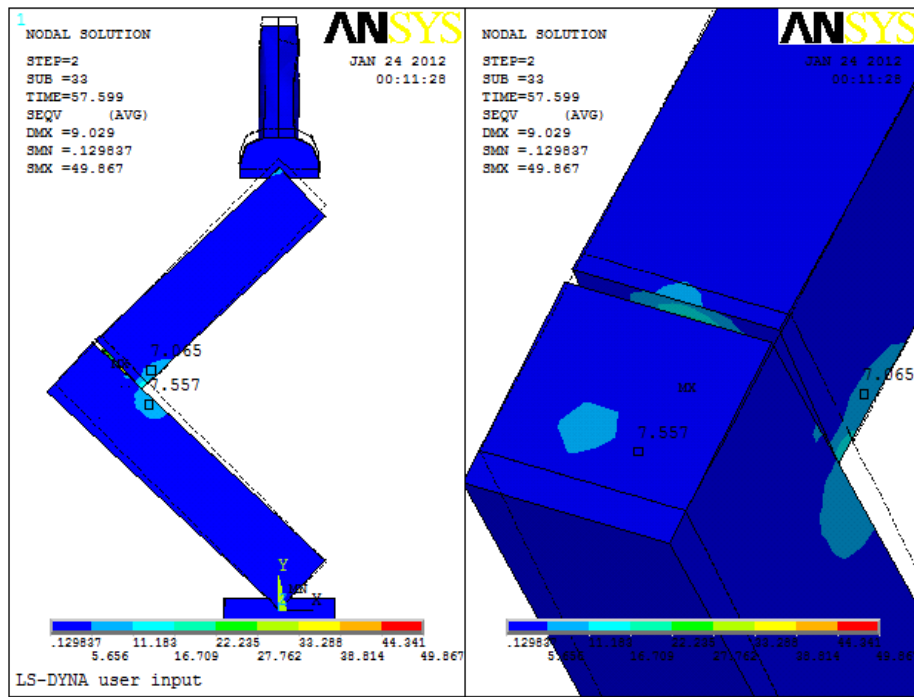
Birleştirme bölgesinde yüzeyden seçilen düğümlerden elde edilen ortalama gerinim değerleri 1013,125 microstrain çıkmıştır. Birleşme bölgesindeki gerilmeye bakıldığında ortalama gerilme değerleri alınmış ve yaklaşık 13 MPa tespit edilmiştir. Şekil 3.63’de gerilme değişimi zamana bağlı verilmektedir.



Şekil 3.63 Gerilme değişimi.

3.3.2.4 Kayın Zıvanalı Birleştirme

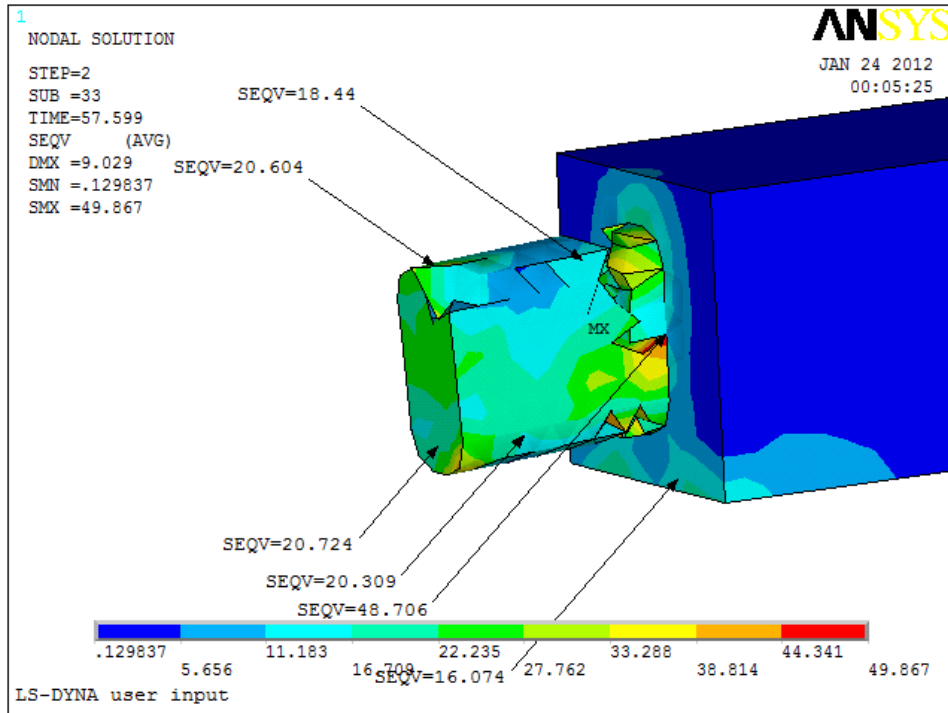
ANSYS/LS-DYNA programına istatistik verilerden elde edilen ortalama diyagonal basınç deneyindeki sehim değerleri Tablo 3.16'daki gibi girilmiş ve malzemede oluşan reaksiyon kuvveti, deformasyon, gerilim ve gerinim değerleri elde edilmiştir. Uygulamalı deney düzeneğindeki şartlar Şekil 2.25'deki gibi ANSYS/LS-DYNA'da modelleme ile oluşturulmuştur. Deney düzeneğinde parça, B kenarı sabit yatak üzerine konulacak şekilde, A kenarı hareketli zımba altına gelecek şekilde kuvvet uygulanmıştır. Şekil 3.64'de sonlu elemanlar metodu ile çalışan ANSYS/LS-DYNA ile yapılan diyagonal basınç analizinde kayın zıvanalı birleştirme örneğinin deformasyonu ve gerilme (von misses) görülmektedir.



Şekil 3.64 Kayın zıvanalı birleştirme örneğindeki gerilme ve deformasyon.

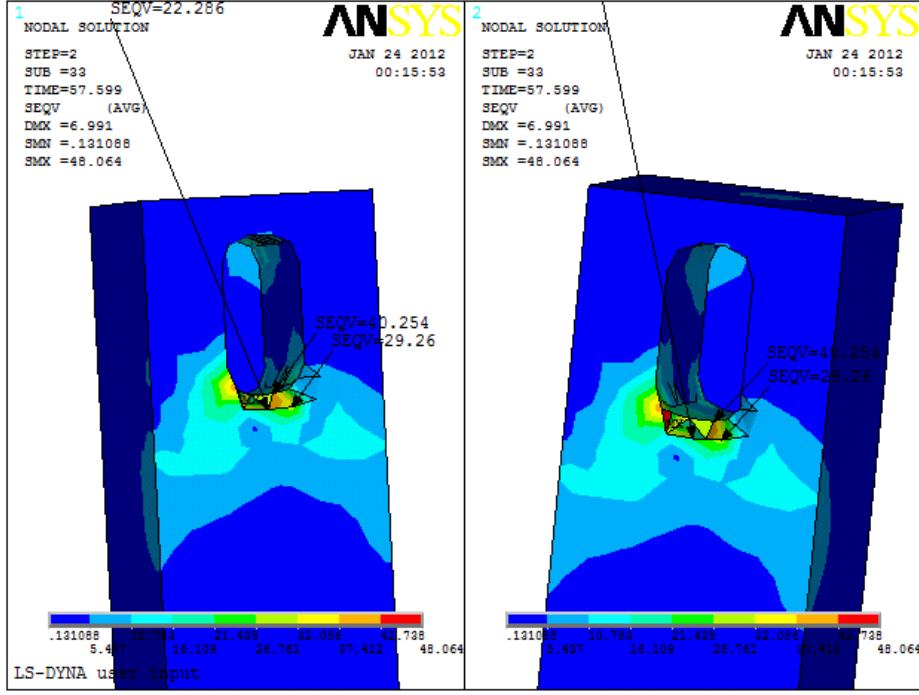
Yapılan birleştirmede en zayıf bölge birleştirme elemanlarının bulunduğu zıvanalı bölgedir. Zıvananın bulunduğu alanı daha iyi inceleyebilmek için ağ yoğunluğu daha fazla tutulmuştur. Deformasyonla birlikte stress dağılımı deney parçası üzerinde Şekil 3.64'de görülmektedir. Deformasyon yaklaşık 9 mm de iken A parçası ile B parçası arasında 3,4 mm açıklık görülmektedir. A parçasının kuvvet karşısında eğilmesi ile B parçasının alt köşede oluşan deformasyon 7,5 MPa olmuştur. Deformasyonla birlikte oluşan gerilim yaklaşık 49 MPa çıkmış fakat şekilde görünen renk dağılımında gerilme, deney parçaları üzerinde çok düşük

değerde çıkmıştır. Gerilmenin düşük olması zıvananın 9,4 mm’de kırılmasından kaynaklanmaktadır. Deneyde kırılma başlangıcında zıvanaya bölgesindeki gerilim değerleri yaklaşık 50 MPa olmaktadır. Zıvananın dişi parça ile birleştiği yüzey bölgesindeki gerilme 16 MPa’dır. Zıvana ile parça arasında yapışmanın etkisi ile deformasyon ve gerilme fazla çıkmıştır. Erkek deney parçasındaki gerilme kırılmadan önce yüzey gerilim dağılımı yüksek olmuş fakat kırılmadan sonra düştüğü görülmüştür. Şekil 3.65’de diyagonal basınç deneyinde kayın zıvanalı birleştirmede oluşan gerilim ve deformasyon gösterilmektedir.



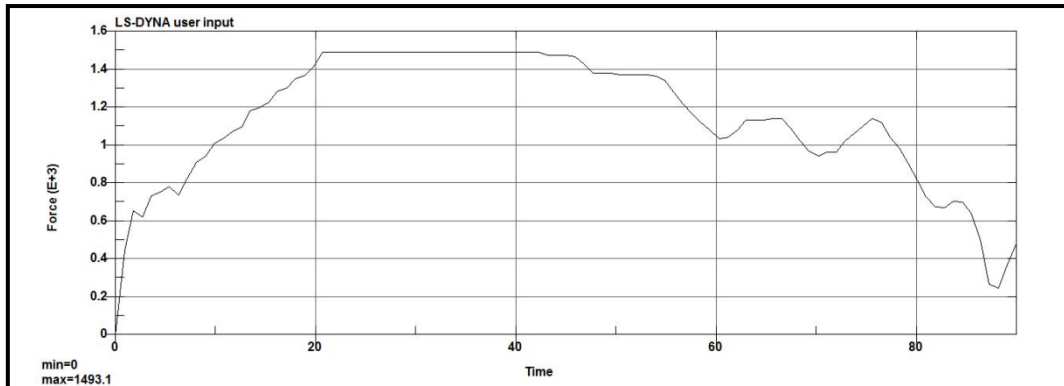
Şekil 3.65 Zıvanalı birleştirmede oluşan gerilme.

Zıvanalı birleştirmede üst kısımlar moment etkisi ile daha çabuk gerilmeye ve deformasyona maruz kalmakta ve kırılma üst bölgeden başlamaktadır. Zıvana ucuna bakıldığında gerilme bu bölgede yüksek olmuştur. Zıvana bölgesine bakıldığında ilk kırılma zıvana üst uç kısımdan gerçekleşmiştir. Zıvananın uç kısmında gerilme yaklaşık 20 MPa çıkmıştır. Erkek zıvana parçasının gövde ile uç kısmının birleştiği bölgeye bakıldığında alt bölgedeki gerilme yaklaşık 16 MPa, üst bölgeye bakıldığında yaklaşık 20 MPa olarak gerilme değeri çıkmıştır. Şekil 3.66’da zıvanalı birleştirmede 9 mm sehimde oluşan gerilme ve dişi zıvanadaki deformasyon görülmektedir.



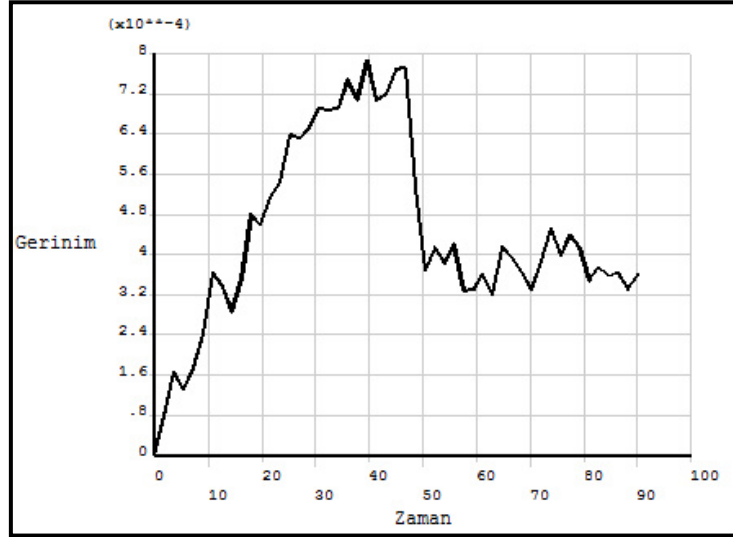
Şekil 3.66 Dişi zıvanada oluşan gerilme ve deformasyon.

Şekil 3.66’da dişi zıvananın iç bölgesinde ve alt ağız bölgesinde gerilme görülmektedir. Zıvananın iç bölgesinde oluşan gerilme yaklaşık 40 MPa’dır. Erkek zıvananın dişi zıvanaya baskı yaptığı bölgede gerilme yaklaşık 29 MPa çıkmıştır. Diyagonal basınç deneyinde kullanılan kayın ve zıvanalı birleştirme şeklinde olduğu gibi zımbanın yaklaşık 9 mm aşağı yönde hareket etmesine izin verilmiş ve hareket sonucunda malzemede oluşan reaksiyon kuvvetine bakılmıştır. Şekil 3.67’de kayın zıvanalı birleştirmede oluşan kuvvet gösterilmektedir.



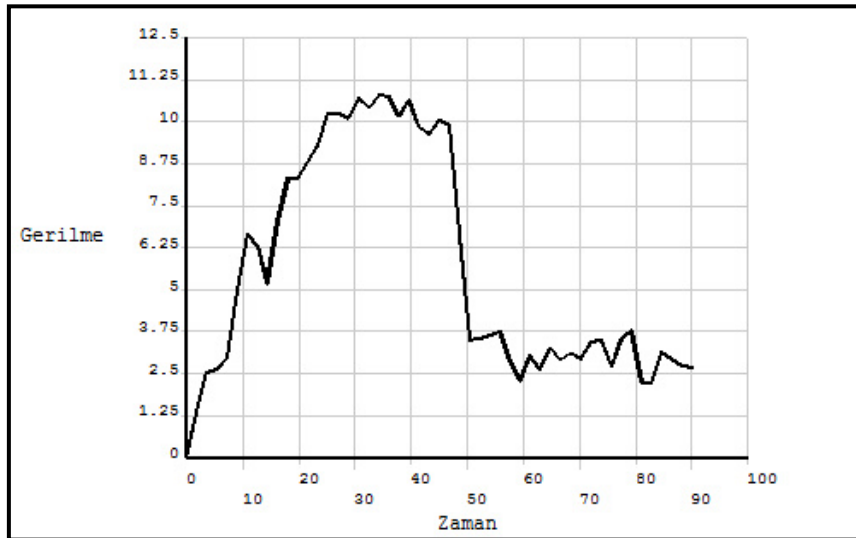
Şekil 3.67 Kayın zıvanalı birleştirmede kuvvet değişimi

Analizlerde, LSPREPOST programı yardımıyla kuvvetler, gerinimler ve gerilmeler ölçülmüştür. Hareket karşısında oluşan kuvvet incelendiğinde Fmax kuvvet 1493,1 (N) olarak ölçülmüştür. Birleştirme bölgelerinde oluşan ortalama gerinim(microstrain) değişimi Şekil 3.68’de verilmektedir.



Şekil 3.68 Gerinim değişimi.

Birleştirme bölgesinde yüzeyden seçilen düğümlerden elde edilen ortalama gerinim değerleri 795,623 microstrain çıkmıştır. Birleşme bölgesindeki gerilmeye bakıldığında ortalama gerilme değerleri alınmış ve yaklaşık 11 MPa tespit edilmiştir. Şekil 3.69’da gerilme değişimi zamana bağlı verilmektedir.



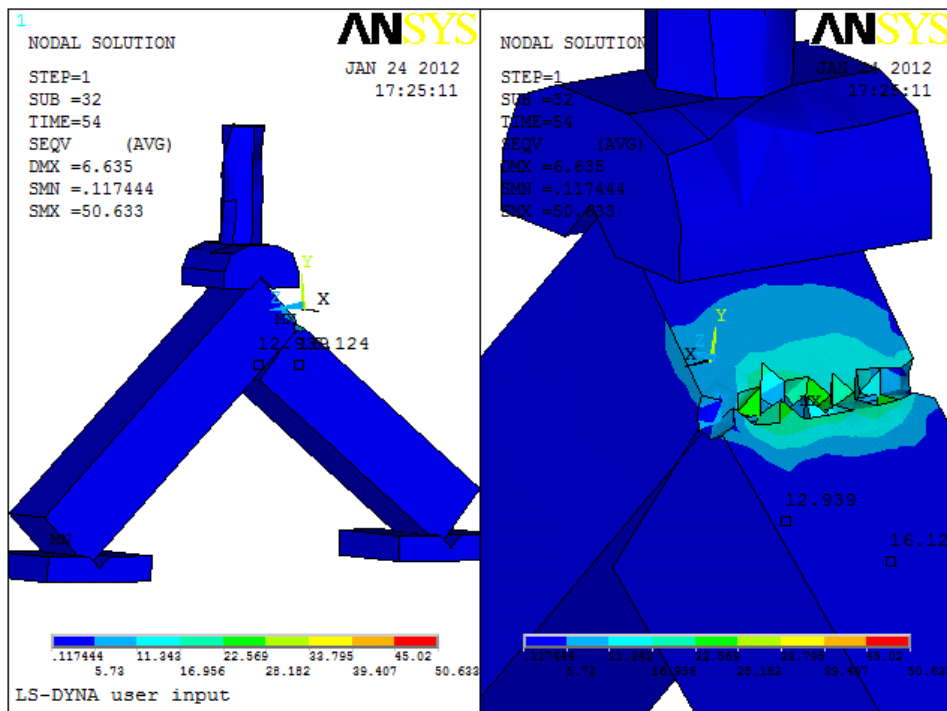
Şekil 3.69 Gerilme değişimi.

3.3.3 Diyagonal Çekme Analizi

Diyagonal çekme analizinde Tablo 3.22'deki gibi çam ile birleştirilmiş kavelalı ve zıvanalı, kayın ile birleştirilmiş kavelalı ve zıvanalı birleştirme türlerinden elde edilen deneysel bulgular ışığında ANSYS/LS-DYNA ile analiz yapılmıştır.

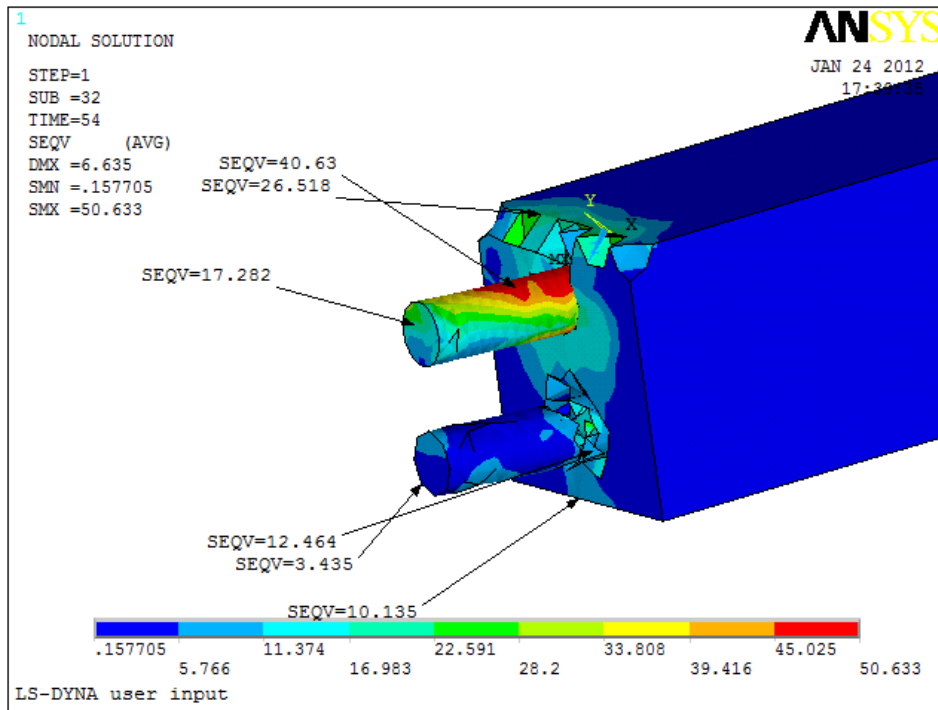
3.3.3.1 Sarıçam Kavelalı Birleştirme

ANSYS/LS-DYNA programına istatistik verilerden elde edilen ortalama diyagonal çekme deneyindeki sehim değerleri Tablo 3.22'deki gibi girilmiş ve malzemede oluşan reaksiyon kuvveti, deformasyon, gerilim ve gerinim değerleri elde edilmiştir. ANSYS/LS-DYNA programına Şekil 2.26'daki gibi A ve B kenar köşeleri hareketli yatağa oturtulmuş, B parçasının üst köşesinden zımba ile aşağı yönde hareket uygulanmıştır. Uygulamalı deney düzeneğindeki şartlar ANSYS/LS-DYNA'da modelleme ile oluşturulmuştur. Şekil 3.70'de sonlu elemanlar metodu ile çalışan ANSYS/LS-DYNA ile yapılan diyagonal çekme analizinde çam kavelalı birleştirme örneğinin deformasyonu ve gerilme (von mises) gösterilmektedir.



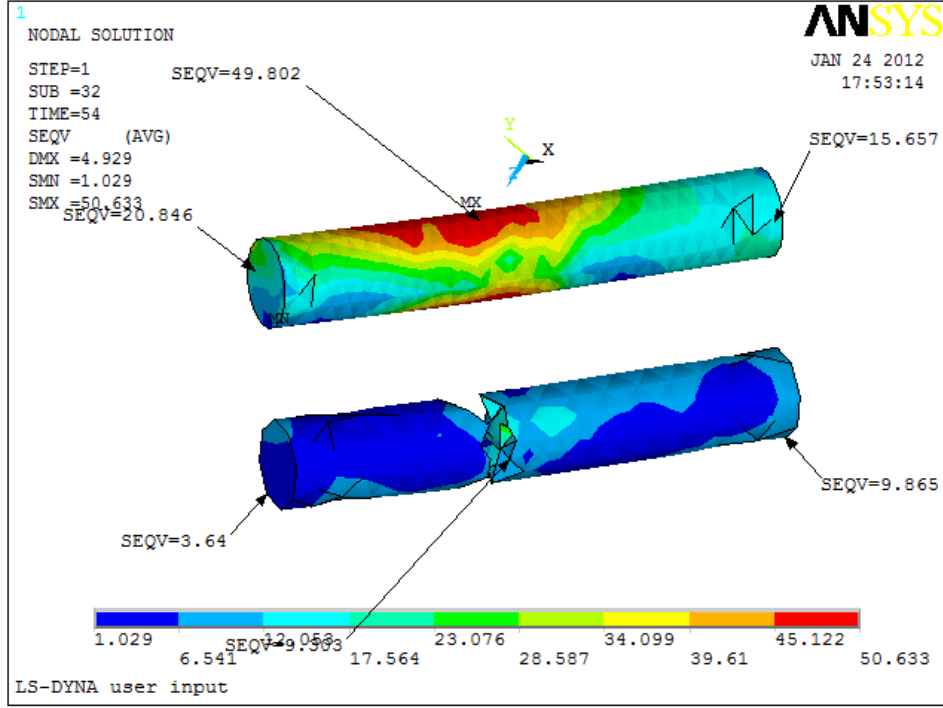
Şekil 3.70 Sarıçam kavelalı birleştirme örneğindeki gerilme ve deformasyon.

Yapılan birleştirmede en zayıf bölge birleştirme elemanlarının bulunduğu kavelalı bölgedir. Kavelanın bulunduğu bölgeyi daha iyi inceleyebilmek için ağ yoğunluğu daha fazla tutulmuştur. Deney parçasında yaklaşık 6,6 mm deformasyon görülmektedir. Deformasyonla birlikte malzeme üzerindeki gerilme dağılımı Şekil 3.70’de görülmektedir. Deformasyonla birlikte oluşan gerilim max. 51 MPa’dır. Erkek parçanın dişi parçaya yaptığı basınç üst köşe yüzeyde yaklaşık 26,5 MPa olarak tespit edilmiştir. Deney parçasında üst köşede kırılma görülmektedir. Kavelanın dişi parça ile birleştiği noktada malzemede deformasyon oluşmuştur. Şekil 3.71’de diyagonal çekme deneyinde kavelalı birleştirmedeki erkek parçada oluşan gerilme ve deformasyon gösterilmektedir.



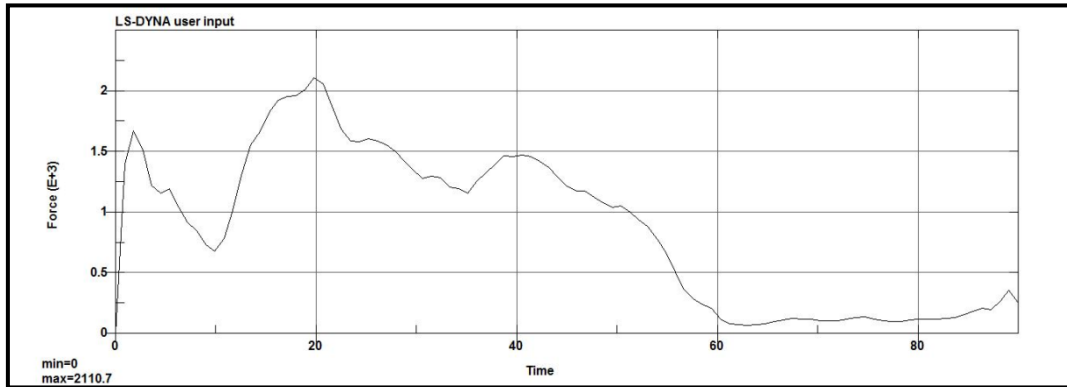
Şekil 3.71 Diyagonal çekme deneyinde oluşan gerilme ve deformasyon.

Kavelalı birleştirmede alt kavelalar moment etkisi ile daha fazla gerilmeye ve deformasyona maruz kalmıştır. Şekil 3.71’de alttaki kavelada dişi deney parçası ile birleşme yerindeki gerilme dağılımına bakıldığında yaklaşık 12 MPa gerilme oluşmuştur. Üst kavelaya bakıldığında uç kısmındaki gerilme yaklaşık 17 MPa, kavelanın erkek parça ile birleştiği bölgede ise 40 MPa’dır. Erkek parçanın yüzey kısmında oluşan gerilme yaklaşık 20 MPa, yan yüzeylerde oluşan gerilme yaklaşık 5 MPa’dır. Şekil 3.72’de kavelalı birleştirmede 6,6 mm sehimde oluşan gerilme değişimi ve kaveladaki deformasyon görülmektedir.



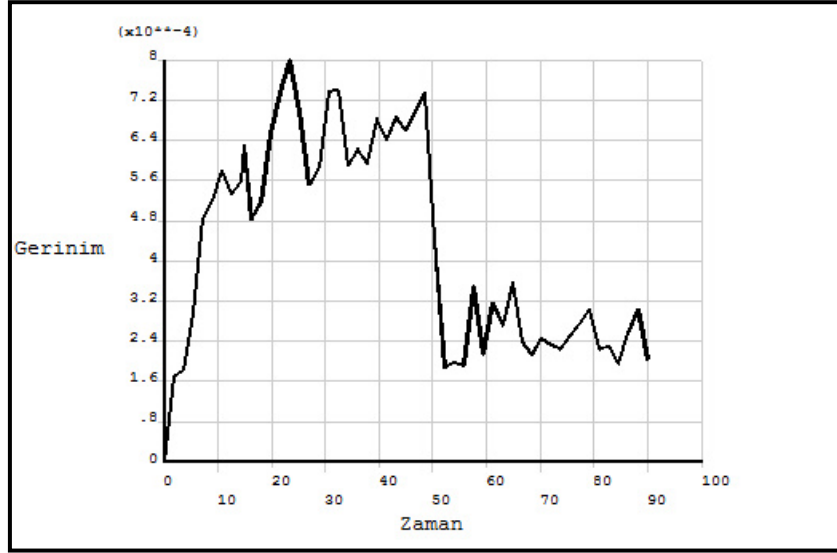
Şekil 3.72 Kavelada gerilme ve deformasyon.

Şekil 3.72’de üst kavelada oluşan gerilme değerleri 49 MPa çıkmıştır. Altteki kavela ise kırılmış ve yapıştırıcının etkisi ile kavela yüzeyinde gerilme kuvveti oluşmuştur. Uygulamalı diyagonal çekme deneyinde zımbanın 6,6 mm aşağı yönde hareket etmesine izin verilmiş ve hareket sonucunda malzemede oluşan reaksiyon kuvveti Şekil 3.73’de gösterilmiştir.



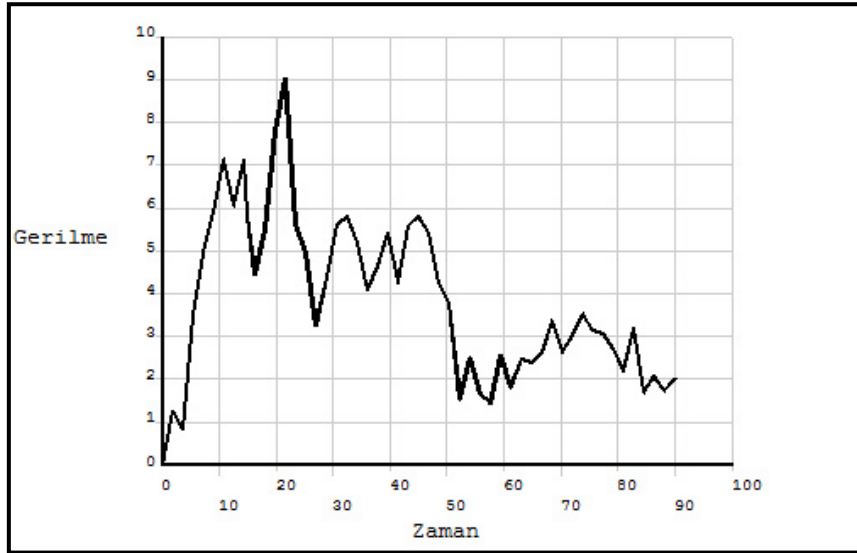
Şekil 3.73 Çam kavelalı birleştirmede kuvvet değişimi.

Analizlerde, LSPREPOST programı yardımıyla kuvvetler, gerinimler ve gerilmeler ölçülmüştür. Hareket karşısında oluşan kuvvet incelendiğinde Fmax kuvvet 2110,7 (N) olarak ölçülmüştür. Birleştirme bölgelerinde oluşan ortalama gerinim(microstrain) değişimi Şekil 3.74’de verilmektedir.



Şekil 3.74 Gerinim değişimi.

Birleştirme bölgesinde yüzeyden seçilen düğümlerden elde edilen ortalama gerinim değerleri 799,953 microstrain çıkmıştır. Birleşme bölgesindeki gerilmeye bakıldığında ortalama gerilme değerleri alınmış ve yaklaşık 9 MPa tespit edilmiştir. Şekil 3.75’de gerilme değişimi zamana bağlı olarak verilmektedir.

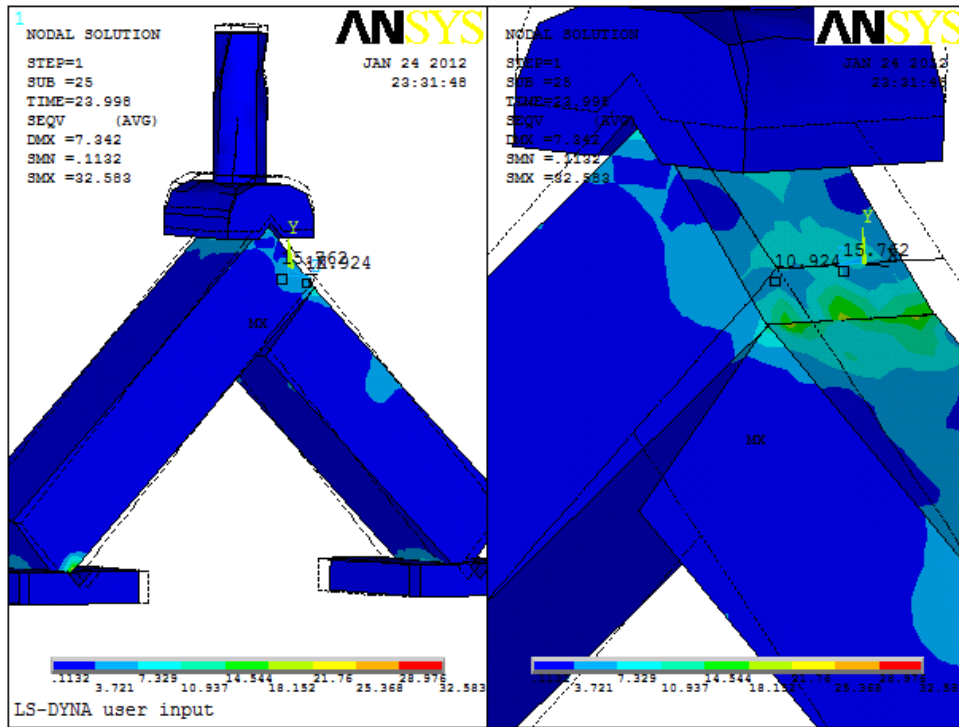


Şekil 3.75 Gerilme değişimi.

3.3.3.2 Sarıçam Zıvanalı Birleştirme

ANSYS/LS-DYNA programına istatistik verilerden elde edilen ortalama diyagonal çekme deneyindeki sehim değerleri Tablo 3.22’deki gibi girilmiş ve malzemede oluşan reaksiyon

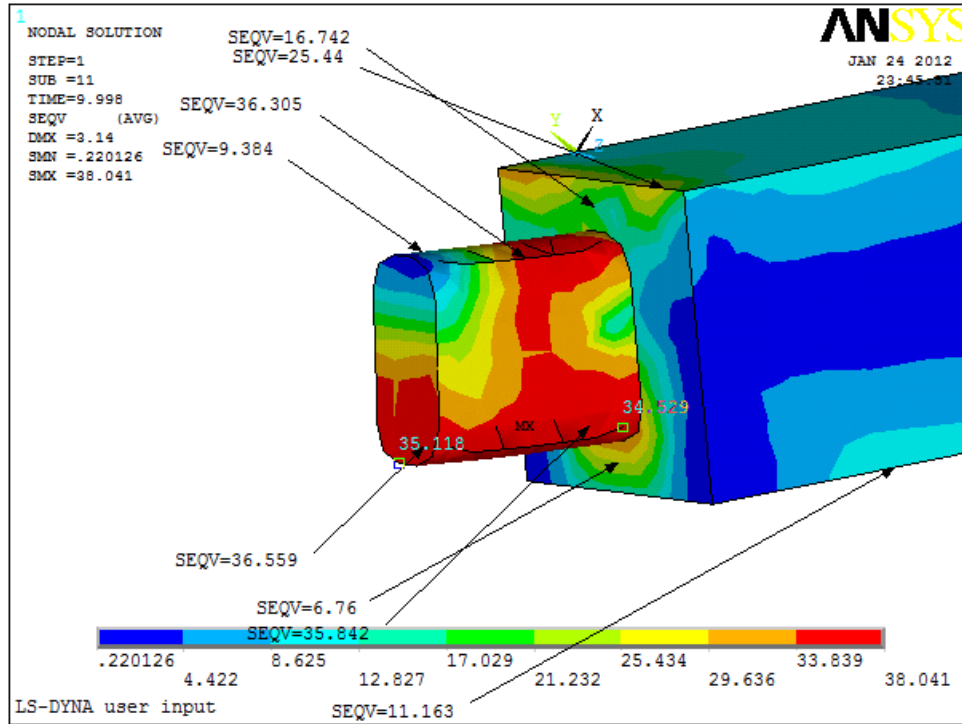
kuvveti, deformasyon, gerilim ve gerinim değerleri elde edilmiştir. ANSYS/LS-DYNA programına Şekil 2.26'daki gibi A ve B kenar kōřeleri hareketli yatağa oturtulmuş, B parçasının ũst kōřesinden zımba ile aşağı yōnde hareket uygulanmıştır. Uygulamalı deney dũzenesindeki şartlar ANSYS/LS-DYNA'da modellenme ile oluşturulmuştur. Şekil 3.76'da sonlu elemanlar metodu ile alışan ANSYS/LS-DYNA ile yapılan diyagonal çekme analizinde am zıvanalı birleştirme Örneğinin deformasyonu ve gerilme (von misses) gōsterilmektedir.



Şekil 3.76 am zıvanalı birleştirme Örneğindeki gerilme ve deformasyon.

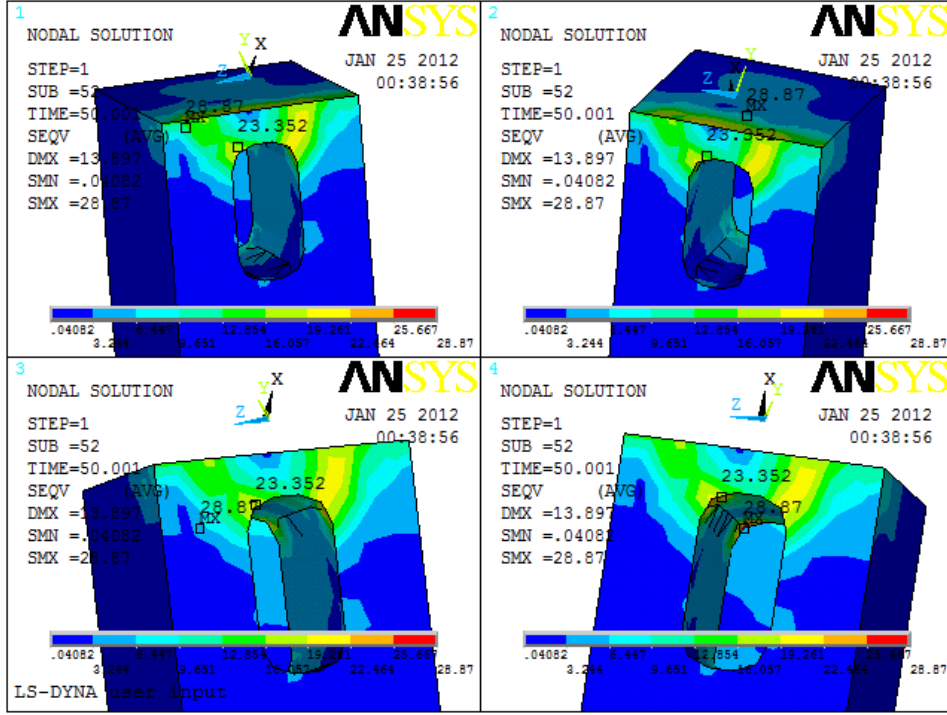
Yapılan birleştirmede en zayıf bōlge birleştirme elemanlarının bulunduğu zıvanalı bōlgedir. Zıvananın bulunduğu alanı daha iyi inceleyebilmek için ağ yoğunluğu daha fazla tutulmuştur. B parçasının kuvvet karşısında eğilmesi ile A parçasının ũst kōřesinde oluşan gerilme yaklaşık 20 MPa olmuştur. Deformasyonla birlikte oluşan gerilim yaklaşık 33 MPa çıkmış fakat şekilde gōrũnen renk dağılımındaki gerilme, deney parçaları ũzerinde çok dũřũk değerde çıkmıştır. Gerilmenin dũřũk olması zıvananın 7,3 mm'de kırılmasından kaynaklanmaktadır. Deneyde kırılmanın başlangıç zamanına gelindiğinde zıvana bōlgesindeki gerilim değerleri yaklaşık 40 MPa dır. Zıvananın dişi parça ile birleştiği yũzey bōlgesindeki gerilme 16 MPa'dır. Erkek parçadaki gerilme kırılmadan Önce yũzey gerilme dağılımı yũksek olmuş fakat kırılmadan sonra dũřtũęũ gōrũlmũřtũr. Şekil 3.77'de diyagonal çekme deneyinde

çam zıvanalı birleştirmede oluşan gerilme ve deformasyon, kırılma öncesi gerilme değişimi ve kırılma sonrası gerilme değişimi gösterilmektedir.



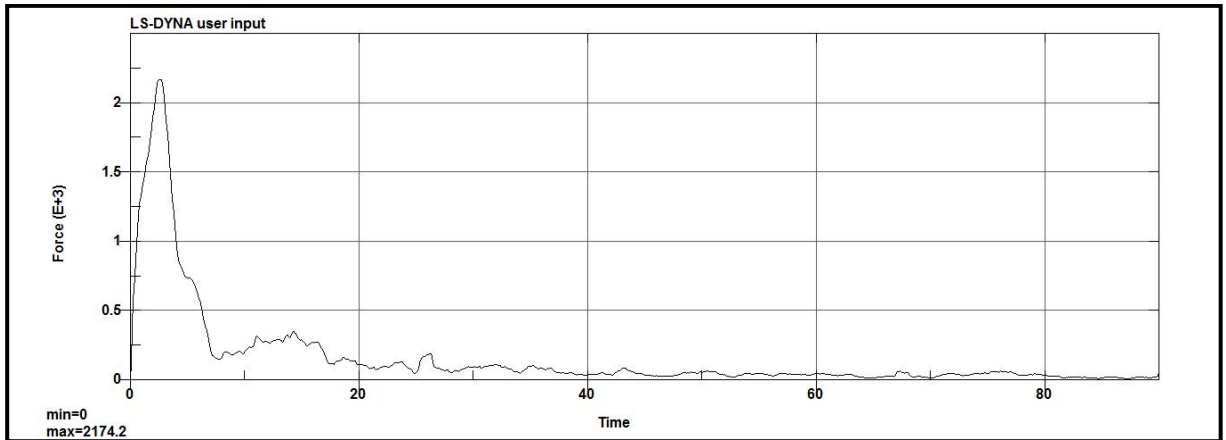
Şekil 3.77 Diyagonal çekme deneyinde oluşan gerilme ve deformasyon.

Zıvanalı birleştirmede alt kısımlar moment etkisi ve yüzey teması ile daha çabuk gerilmeye ve deformasyona maruz kalmakta ve kırılma alt bölgeden başlamaktadır. Zıvana alt kısmındaki gerilme yaklaşık 36 MPa ve gerilme zıvana boyunca devam etmektedir. Zıvana da gerilmenin yüksek olması sebebiyle bir sonraki adımda ilk kırılma başlangıç noktası zıvananın alt bölgesinde oluşmuştur. Zıvananın uç kısmında gerilme yaklaşık 36 MPa çıkmıştır. Erkek zıvana parçasının gövde ile uç kısmının birleştiği bölgeye bakıldığında alt bölgedeki gerilme yaklaşık 6 MPa, üst bölgeye bakıldığında yaklaşık 25 MPa olarak gerilme değeri çıkmıştır. Gerilmenin alt ve üstte değişik çıkması A ve B parçalarının üst köşelerinin birbirine yaptığı basınç etkisi sebebiyledir. Şekil 3.78'de zıvanalı birleştirmede 7,3 mm sehimde oluşan gerilme ve dişi zıvanadaki deformasyon görülmektedir.



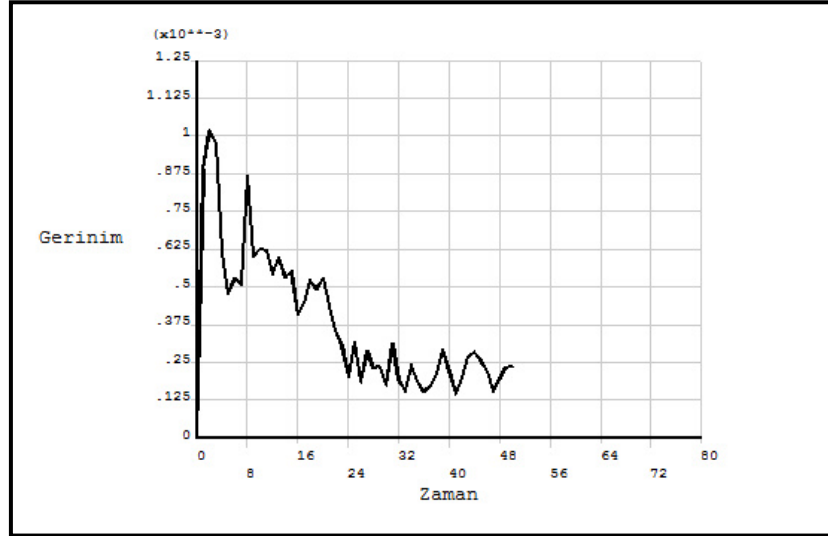
Şekil 3.78 Dişi zıvanada oluşan gerilme ve deformasyon.

Şekil 3.78’de dişi zıvananın iç bölgesinde ve üst dip noktasında max gerilme görülmektedir. Zıvananın iç bölgesinde oluşan gerilme yaklaşık 28 MPa’dır. Erkek zıvananın dişi zıvanaya basınç yaptığı bölgede gerilme yaklaşık 23 MPa çıkmıştır. Uygulamalı diyagonal çekme deneyinde zımbanın 7,3 mm aşağı yönde hareket etmesine izin verilmiş ve hareket sonucunda malzemede oluşan reaksiyon kuvvetine bakılmıştır. Şekil 3.79’da çam zıvanalı birleştirmede oluşan kuvvet gösterilmektedir.



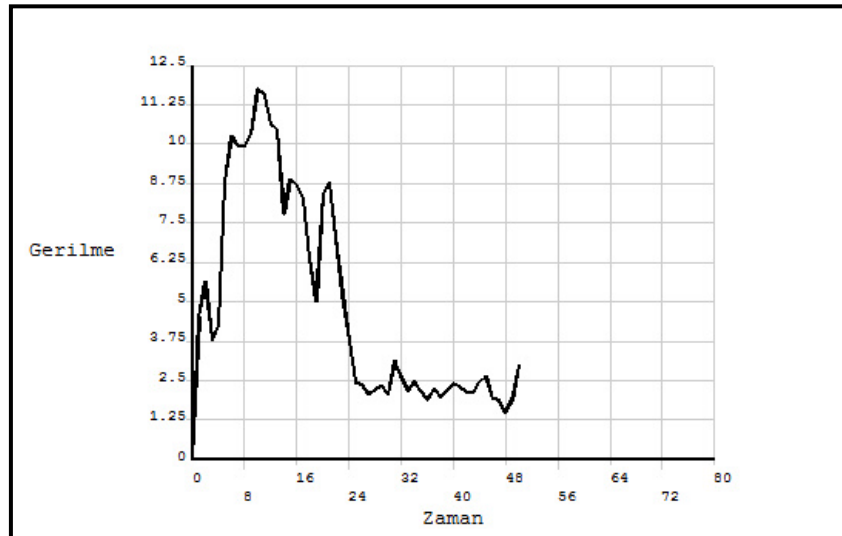
Şekil 3.79 Çam zıvanalı birleştirmede kuvvet değişimi.

Analizlerde, LSPREPOST programı yardımıyla kuvvetler, gerinimler ve gerilmeler ölçülmüştür. Hareket karşısında oluşan kuvvet incelendiğinde Fmax kuvvet 2174,2 (N) olarak ölçülmüştür. Birleştirme bölgelerinde oluşan ortalama gerinim(microstrain) değişimi Şekil 3.80’de verilmektedir.



Şekil 3.80 Gerinim değişimi.

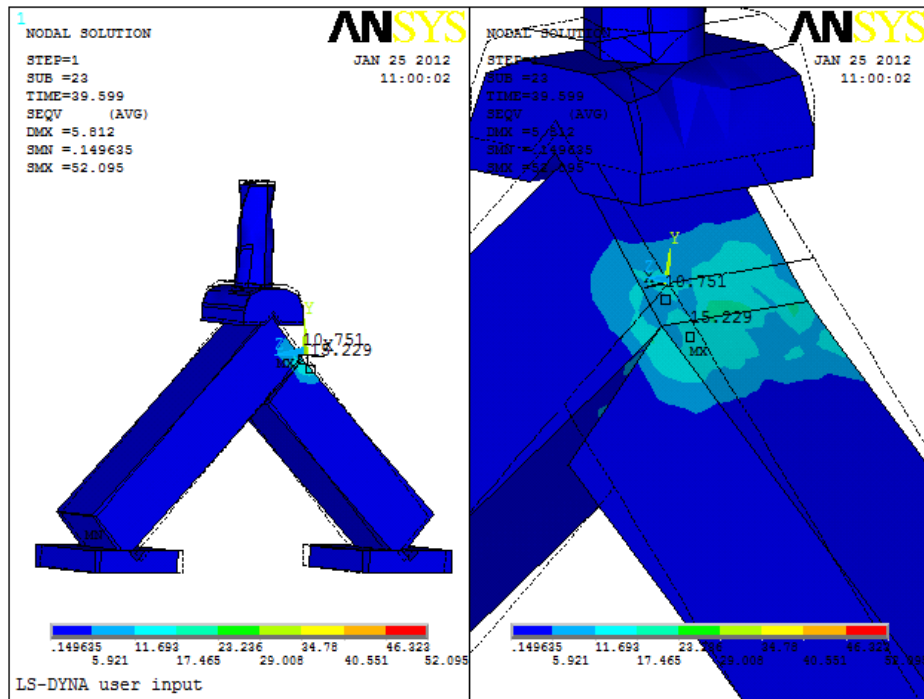
Birleştirme bölgesinde yüzeyden seçilen düğümlerden elde edilen ortalama gerinim değerleri 1018,352 microstrain çıkmıştır. Birleşme bölgesindeki gerilmeye bakıldığında ortalama gerilme değerleri alınmış ve yaklaşık 11,5 MPa tespit edilmiştir. Şekil 3.81’de gerilme değişimi zamana bağlı verilmektedir.



Şekil 3.81 Gerilme değişimi.

3.3.3.3 Kayın Kavelalı Birleştirme

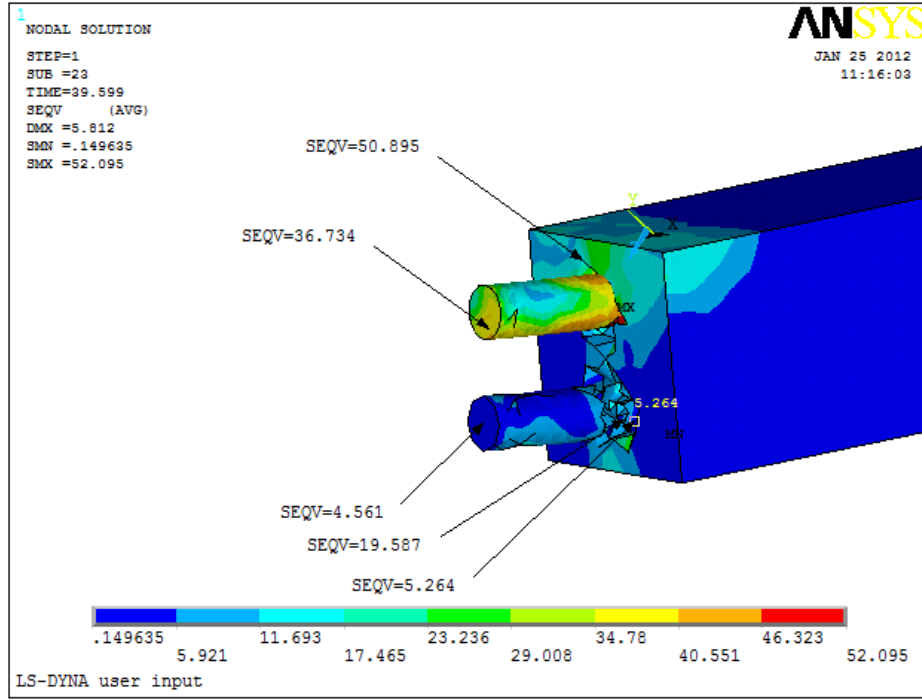
ANSYS/LS-DYNA programına istatistik verilerden elde edilen ortalama diyagonal çekme deneyindeki sehim değerleri Tablo 3.22'deki gibi girilmiş ve malzemede oluşan reaksiyon kuvveti, deformasyon, gerilim ve gerinim değerleri elde edilmiştir. ANSYS/LS-DYNA programına deney düzeneğindeki Şekil 2.26'daki gibi A ve B kenar köşeleri hareketli yatağa oturtulmuş, B parçasının üst köşesinden zımba ile aşağı yönde hareket uygulanmıştır. Uygulamalı deney düzeneğindeki şartlar ANSYS/LS-DYNA'da modelleme ile oluşturulmuştur. Şekil 3.82'de sonlu elemanlar metodu ile çalışan ANSYS/LS-DYNA ile yapılan diyagonal çekme analizinde kayın kavelalı birleştirme örneğinin deformasyonu ve gerilme (von mises) gösterilmektedir.



Şekil 3.82 Kayın kavelalı birleştirme örneğindeki gerilme ve deformasyon.

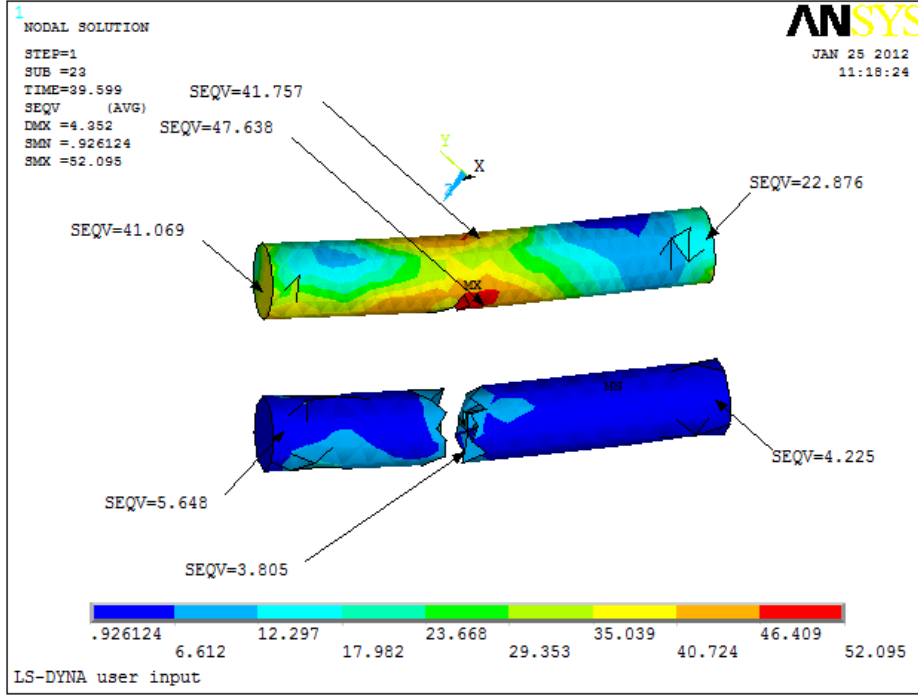
Yapılan birleştirmede en zayıf bölge, birleştirme elemanlarının bulunduğu kavelalı bölgedir. Kavelanın bulunduğu bölgeyi daha iyi inceleyebilmek için ağ yoğunluğu daha fazla tutulmuştur. Deney parçasında yaklaşık 5,8 mm deformasyon görülmektedir. Deformasyonla birlikte malzeme üzerindeki gerilme dağılımı Şekil 3.82'de görülmektedir. Deformasyonla birlikte oluşan gerilim max. 52 MPa'dır. Erkek parçanın dişi parçaya yaptığı basınç üst köşe yüzeyde yaklaşık 15 MPa olarak tespit edilmiştir. Kavelanın erkek parça ile birleştiği noktada

malzemede deformasyon oluşmuştur. Şekil 3.83’de diyagonal çekme deneyinde kavelalı birleştirmedeki erkek parçada oluşan gerilme ve deformasyon gösterilmektedir.



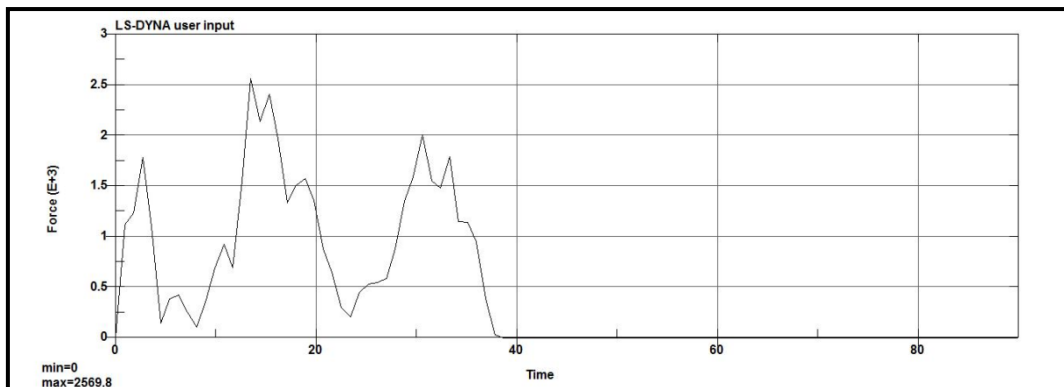
Şekil 3.83 Diyagonal çekme deneyinde oluşan gerilme ve deformasyon.

Kavelalı birleştirmede alt kavelalar moment etkisi ile daha fazla gerilmeye ve deformasyona maruz kalmış ve kırılmıştır. Şekil 3.83’de alttaki kavelada dişi deney parçası ile birleşme yerindeki gerilme dağılımına bakıldığında yaklaşık 19 MPa gerilme olmuştur. Üst kavela uç kısmındaki gerilme yaklaşık 36 MPa, kavelanın erkek parça ile birleştiği bölgede ise 50 MPa’dır. Erkek parçanın yüzey kısmında oluşan gerilme yaklaşık 5 ile 20 MPa’dır. Şekil 3.84’de kavelalı birleştirmede 5,8 mm sehimde oluşan gerilme değişimi ve kaveladaki deformasyon görülmektedir.



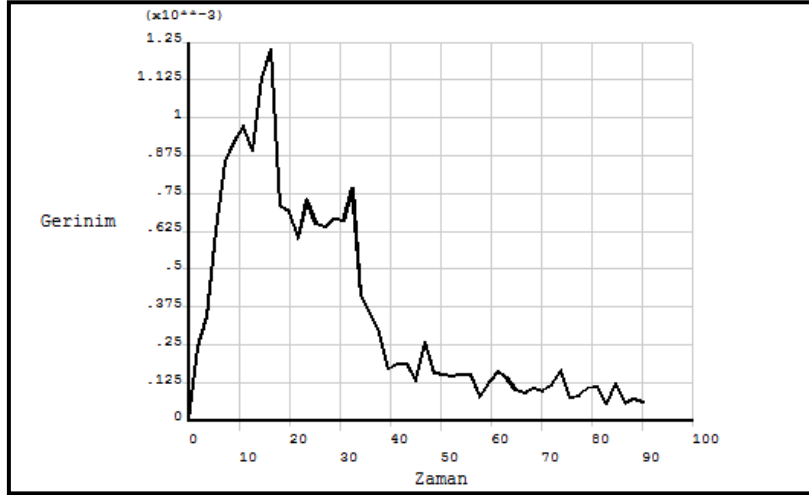
Şekil 3.84 Kavelada gerilme ve deformasyon.

Şekil 3.84’de üst kaveladan alınan gerilme değerleri yüksek çıkmıştır. İç kesitteki üst kavela gerilme değerleri yaklaşık 47 MPa’dır. Alttaki kavela kırılmış ve deney parçalarındaki gerilme etkisi ile kavelada düşük bir gerilme olduğu görülmüştür. Uygulamalı diyagonal çekme deneyinde kullanılan kavelalı kayın birleştirme şeklinde olduğu gibi zımbanın yaklaşık 5,8 mm aşağı yönde hareket etmesine izin verilmiş ve hareket sonucunda malzemede oluşan reaksiyon kuvvetine bakılmıştır. Şekil 3.85’de deney malzemesinde oluşan kuvvet değişimi gösterilmektedir.



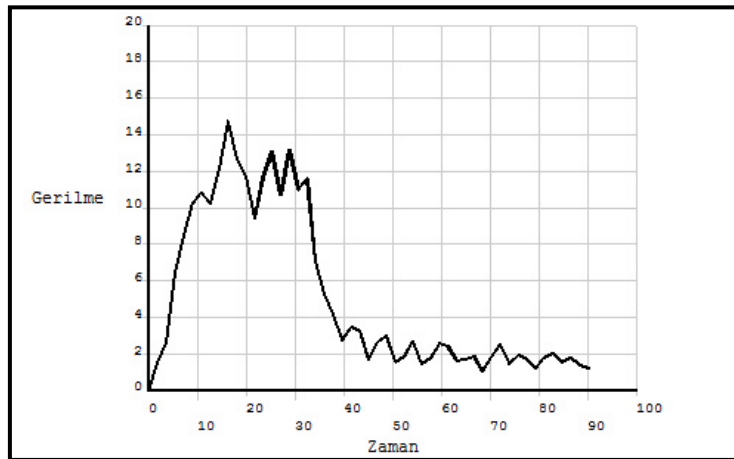
Şekil 3.85 Kayın kavelalı birleştirmede kuvvet değişimi.

Analizlerde, LSPREPOST programı yardımıyla kuvvetler, gerinimler ve gerilmeler ölçülmüştür. Hareket karşısında oluşan kuvvet incelendiğinde Fmax kuvvet 2569,8 (N) olarak ölçülmüştür. Birleştirme bölgelerinde oluşan ortalama gerinim(microstrain) değişimi Şekil 3.86’da verilmektedir.



Şekil 3.86 Gerinim değişimi.

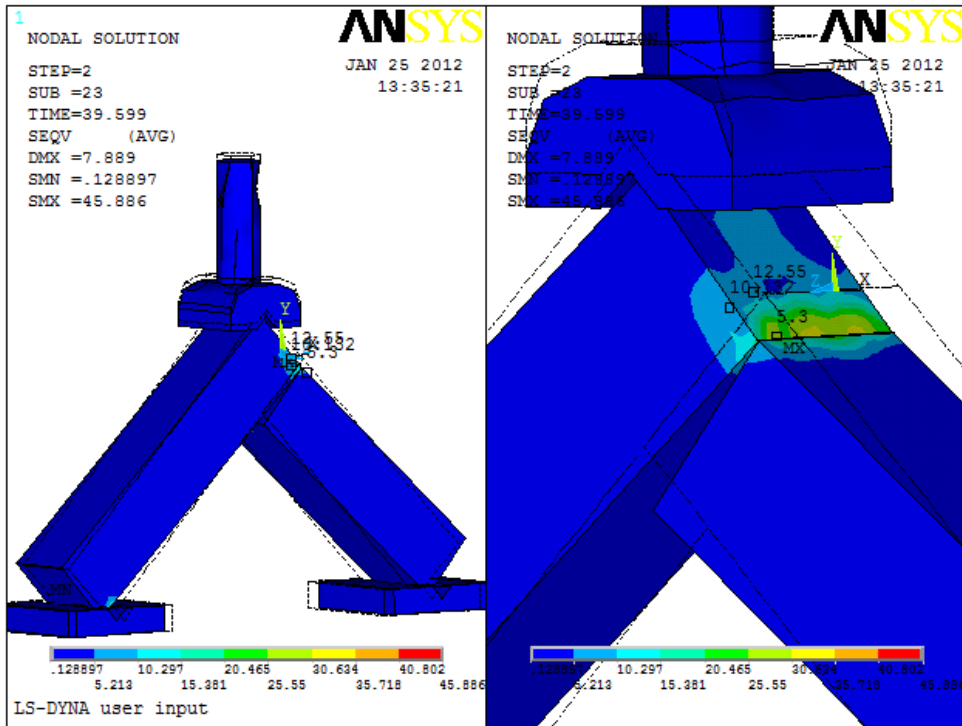
Birleştirme bölgesinde yüzeyden seçilen düğümlerden elde edilen ortalama gerinim değerleri 1225,784 microstrain çıkmıştır. Birleşme bölgesindeki gerilmeye bakıldığında ortalama gerilme değerleri alınmış ve yaklaşık 14,5 MPa tespit edilmiştir. Şekil 3.87’de gerilme değişimi zamana bağlı verilmektedir.



Şekil 3.87 Gerilme değişimi.

3.3.3.4 Kayın Zıvanalı Birleştirme

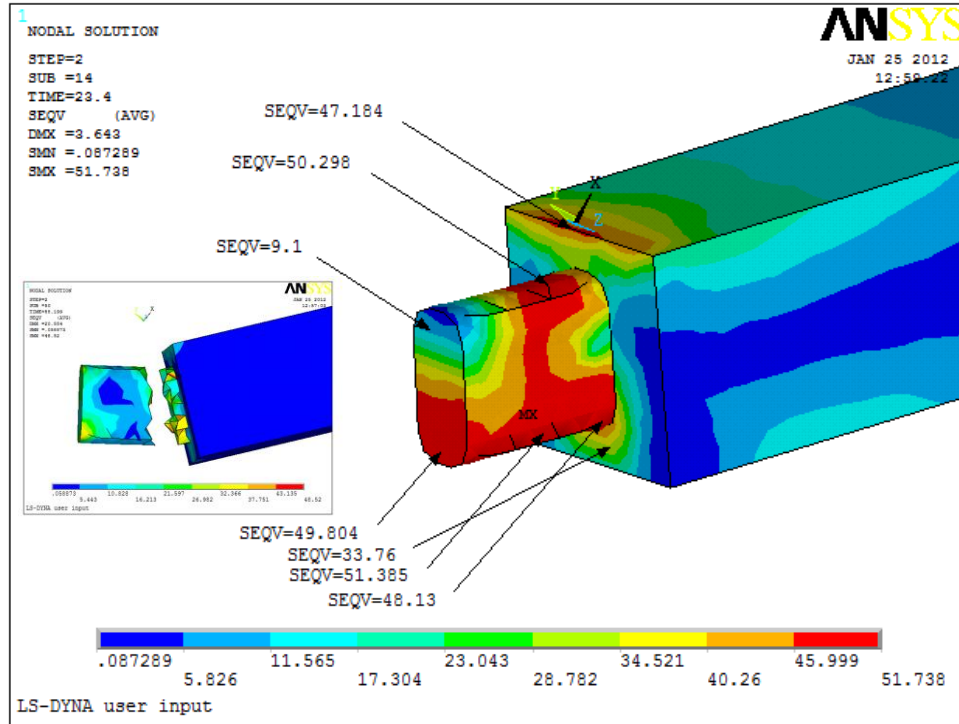
ANSYS/LS-DYNA programına istatistik verilerden elde edilen ortalama diyagonal çekme deneyindeki sehim değerleri Tablo 3.22'deki gibi girilmiş ve malzemede oluşan reaksiyon kuvveti, deformasyon, gerilim ve gerinim değerleri elde edilmiştir. ANSYS/LS-DYNA programına Şekil 2.26'daki gibi A ve B kenar köşeleri hareketli yatağa oturtulmuş, B parçasının üst köşesinden zımba ile aşağı yönde hareket uygulanmıştır. Uygulamalı deney düzeneğindeki şartlar ANSYS/LS-DYNA'da modelleme ile oluşturulmuştur. Şekil 3.88'de sonlu elemanlar metodu ile çalışın ANSYS/LS-DYNA ile yapılan diyagonal çekme analizinde kayın zıvanalı birleştirme örneğinin deformasyonu ve gerilme (von misses) gösterilmektedir.



Şekil 3.88 Kayın zıvanalı birleştirme örneğindeki gerilme ve deformasyon.

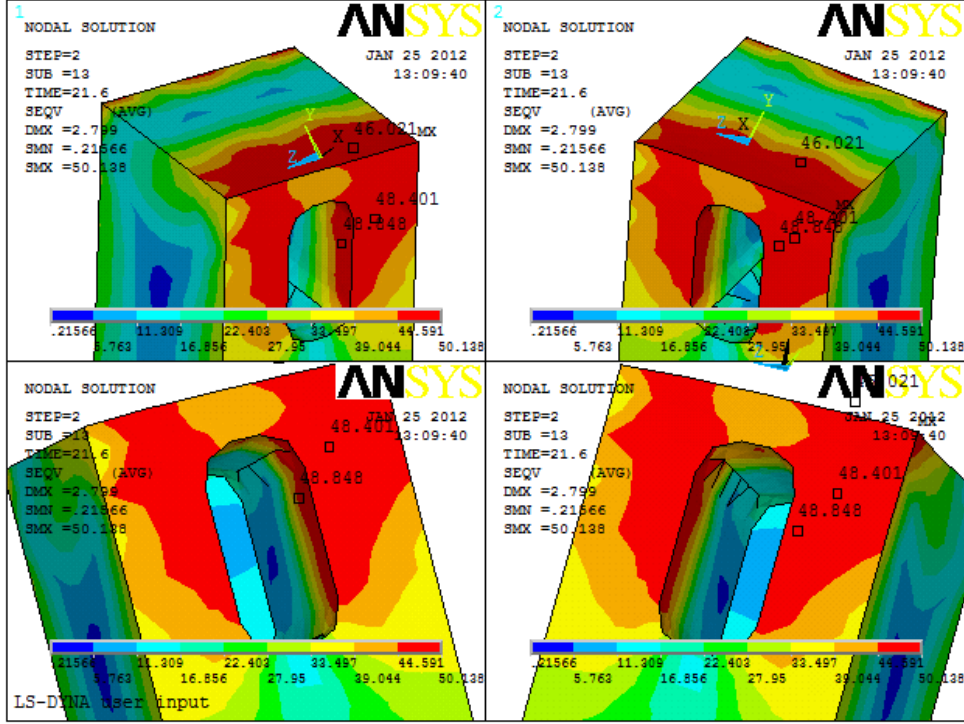
Yapılan birleştirmede en zayıf bölge, birleştirme elemanlarının bulunduğu zıvanalı bölgedir. Zıvananın bulunduğu alanı daha iyi inceleyebilmek için ağ yoğunluğu daha fazla tutulmuştur. B parçasının kuvvet karşısında eğilmesi ile A parçasının üst köşesinde oluşan gerilme yaklaşık 15 MPa olmuştur. Deformasyonla birlikte oluşan gerilim yaklaşık 45 MPa fakat şekilde görünen renk dağılımındaki gerilme, deney parçaları üzerinde çok düşük değerde çıkmıştır. Gerilmenin düşük olması zıvananın 8 mm sehimde kırılmasından

kaynaklanmaktadır. Deneyde kırılmanın başlangıç zamanına gelindiğinde zıvana bölgesindeki gerilim değerleri yaklaşık 50 MPa olmaktadır. Zıvananın dişi parça ile birleştiği yüzey bölgesindeki gerilme 33 MPa'dır. Erkek parçadaki gerilme, kırılmadan önce yüzey gerilme dağılımı yüksek olmuş fakat kırılmadan sonra düştüğü görülmüştür. Şekil 3.89'da diyagonal çekme deneyinde kayın zıvanalı birleştirmede oluşan gerilme ve deformasyon kırılma öncesi gerilme değişimi ve kırılma sonrası gerilme değişimi gösterilmektedir.



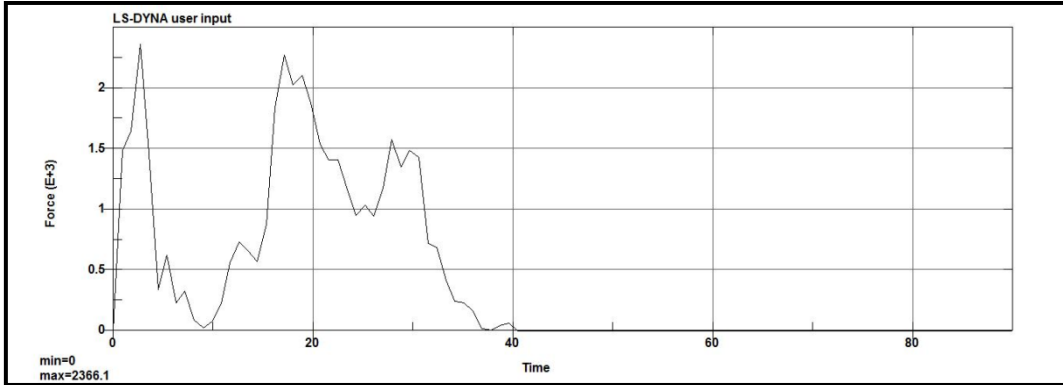
Şekil 3.89 Diyagonal çekme deneyinde oluşan gerilme ve deformasyon.

Zıvanalı birleştirmede alt kısımlar moment etkisi ve yüzey teması ile daha çabuk gerilmeye ve deformasyona maruz kalmakta ve kırılma alt bölgeden başlamaktadır. Zıvana alt kısmındaki gerilme yaklaşık 51 MPa olmakta ve gerilme zıvana boyunca devam etmektedir. Zıvanada gerilmenin yüksek olması sebebiyle bir sonraki adımda kırılma başlangıç noktası zıvananın alt bölgesinde oluşmuştur. Zıvananın uç kısmında gerilme yaklaşık 49 MPa çıkmıştır. Erkek zıvana parçasının gövde ile uç kısmının birleştiği bölgeye bakıldığında alt bölgedeki gerilme yaklaşık 30 MPa, üst bölgeye bakıldığında yaklaşık 47 MPa olarak elde edilmiştir. Gerilmenin alt ve üstte değişik çıkması A ve B parçalarının üst köşelerinin birbirine yaptığı basınç etkisiyle oluşmaktadır. Şekil 3.90'da dişi zıvanada kırılma öncesi oluşan gerilme ve deformasyon görülmektedir.



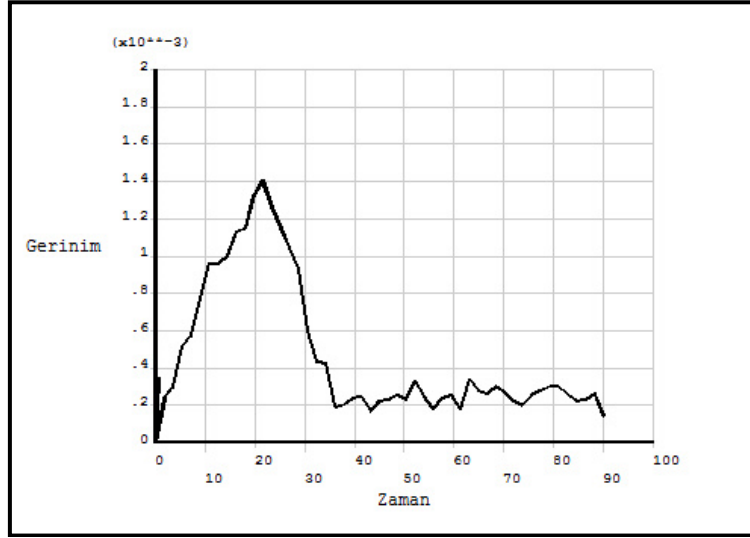
Şekil 3.90 Dişi zıvanada oluşan gerilme ve deformasyon.

Şekil 3.90’da görünen dişi zıvananın iç bölgesinde ve üst dip noktasında max gerilme görülmektedir. Zıvananın iç bölgesinde oluşan gerilme yaklaşık 30 MPa’dır. Erkek zıvananın dişi zıvanaya baskı yaptığı bölgede gerilme yaklaşık 48 MPa çıkmıştır. Diyagonal çekme deneyinde kullanılan kayın ve zıvanalı birleştirme şeklinde olduğu gibi zımbanın yaklaşık 8 mm aşağı yönde hareket etmesine izin verilmiş ve hareket sonucunda malzemede oluşan reaksiyon kuvvetine bakılmıştır. Şekil 3.91’de kayın zıvanalı birleştirmede oluşan kuvvet gösterilmektedir.



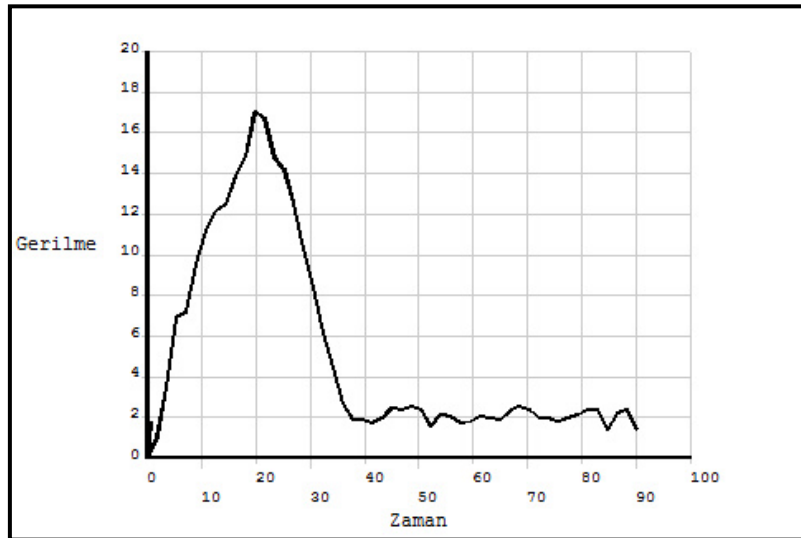
Şekil 3.91 Kayın zıvanalı birleştirmede kuvvet değişimi.

Analizlerde, LSPREPOST programı yardımıyla kuvvetler, gerinimler ve gerilmeler ölçülmüştür. Hareket karşısında oluşan kuvvet incelendiğinde Fmax kuvvet 2366,1 (N) olarak ölçülmüştür. Birleştirme bölgelerinde oluşan ortalama gerinim(microstrain) değişimi Şekil 3.92’de verilmektedir.



Şekil 3.92 Gerinim değişimi.

Birleştirme bölgesinde yüzeyden seçilen düğümlerden elde edilen ortalama gerinim değerleri 1404,126 microstrain çıkmıştır. Birleşme bölgesindeki gerilmeye bakıldığında ortalama gerilme değerleri alınmış ve yaklaşık 17,5 MPa tespit edilmiştir. Şekil 3.93’de gerilme değişimi zamana bağlı verilmektedir.



Şekil 3.93 Gerilme değişimi.

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ağaç işleri endüstrisinde kullanılan “kavelalı ve zıvanalı köşe birleştirmelerin” çeşitli kuvvetler altında gösterdikleri direnç özellikleri, “uygulamalı deneysel metotlar” ve “bilgisayar destekli analiz programı ANSYS/LS-DYNA” ile belirlenmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Deneysel örneklerinde kullanılan ağaç malzeme ve birleştirme bölgelerinin rijitlik değerleri ile “gerinim, gerilme ve Poisson oranı” gibi bazı temel parametreler de belirlenmiştir.

Bilgisayar destekli analiz programı ANSYS/LS-DYNA ile yapılan modelleme ve analizler ile uygulamalı deneysel metotların sonuçları birbirine yakın değerler vermiştir. Ayrıca ANSYS/LS-DYNA ile yapılan modelleme ve analiz çalışmaları ile deneysel metoda göre birleştirme elemanlarında, malzeme üzerinde gözle veya ölçümleme tekniği ile ulaşılması ya da gözlemlenmesi mümkün olmayan veriler daha hassas ve ayrıntılı bir şekilde elde edilmiştir.

Deneysel örneklerinin, birleştirme bölgesindeki rijitlik değerleri üzerindeki etkiyi belirlemek amacıyla “gerinim analizleri” yapılmıştır. Seçilen köşe birleştirme şekilleri üzerinde gerinim ölçerlerle ölçümler yapılarak, gerilmeler hesaplanmıştır. Bu teknik kullanılarak yapılan deneylerde birleştirmelerin kritik olabilecek noktalarındaki şekil değiştirmeler ölçülerek, bunlar gerilme değerlerine dönüştürülmüştür. Bu veriler sayesinde birleştirmelerin gerekli sağlamlıkta olan ve olmayan bölgeleri tespit edilebilecek ve bu sayede daha sağlam ve kararlı tasarımların geliştirilmesi için ne gibi değişiklikler yapılabileceği konusunda fikir sahibi olunabilecektir. Kısacası mühendis, araştırmacı ve tasarımcılar uygulamalı deneyler yapmadan, daha kısa sürelerde ve daha ekonomik şartlarda gerçek değerlere çok yakın veriler yardımıyla öngörülerde bulunabileceklerdir.

Özgül ağırlık faktörü kayın ve çam odununun mekanik özelliklerini etkileyen en önemli etkidir. Özellikle ahşap birleştirmelerin kullanım yerinde maruz kalacakları yük ve kuvvetlere direnç gösterebilmeleri için yüksek özgül ağırlık ve direnç değerlerine sahip olması gerekmektedir.

Deney örneklerinin “eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel çekme direnci ve poisson oranı” gibi bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş ve ANSYS programı ile modelleme yapılarak veriler karşılaştırılmıştır.

Bu bağlamda elde edilen sonuçlara göre, liflere paralel yönde çekme direnci bakımından kayın odununun, çam odununa göre % 27,46 daha fazla direnç gösterdiği belirlenmiştir. Eğilme direncinde ise, kayın odununun, sarıçam odunundan % 27,89 daha fazla direnç gösterdiği belirlenmiştir. Elastikiyet modülünün bulunmasına yönelik yapılan çalışmada kayın odununun, çam odununa göre % 16,59 daha yüksek değere sahip olduğu belirlenmiştir. Poisson oranları bakımından ise kayın odunu, çam odununa göre % 23,59 daha yüksek poisson oranına sahip olduğu tespit edilmiştir.

L tipi köşe birleştirmelerin “eğilme deneyi” için yapılan uygulamalı deneysel çalışmalarda, kırılmanın ilk olarak üst kavelada gerçekleştiği ve alt kavelada gerilmenin en üst seviyeye çıktığı ANSYS/LS-DYNA programı ile tespit edilmiştir. Burada kavelalı birleştirme parçalarında üst kavelaların moment etkisi ile daha fazla gerilme ve deformasyona maruz kaldığı, kırılmanın ilk olarak üst kaveladan başladığı gözlemlenmiştir. Uygulamalı deneysel çalışmalarda olduğu gibi, üst kavela kırıldıktan sonra alt kavelada da, gerilmenin en üst seviyeye çıktığı gözlemlenmiştir.

Zıvanalı birleştirmelerde, eğilme direnci için uygulamalı deneysel çalışmalarda kırılma yine üst bölgeden olmuş, dişi zıvanalı parçaların ağız kısımlarında ezilme ve deformasyon görülmüştür. ANSYS/LS-DYNA analiz programı ile yapılan deneylerde de benzer şekilde deformasyonun olduğu gözlemlenmiştir. Burada deformasyon ve gerilme ilk önce üst bölgeden başlamış daha sonra kırılma olmuştur. Tablo 4.1’de L tipi köşe birleştirmelerin eğilme deneylerinde elde edilen sonuçlar kuvvet, gerinim ve gerilme analizleri parametrelerine göre karşılaştırılmış aralarındaki uyum % olarak ortaya konmuştur.

Tablo 4.1 L tipi köşe birleştirmelerin eğilme deneyleri karşılaştırmaları.

EĞİLME DENEYİ										
		Direnc			Gerinim Analizi			Gerilme Analizi		
		Deney	ANSYS	Uygunluk	Deney	ANSYS	Uygunluk	Deney	ANSYS	Uygunluk
		(N)	(N)	(%)	(ue)	(ue)	(%)	(MPa)	(MPa)	(%)
Çam	Kavela	693,45	749,07	92,57	923,07	846,44	91,7	9,6	10,3	93,2
	Zivana	769,69	789,96	97,43	793,84	885,15	89,7	8,3	9,1	91,21
Kayın	Kavela	1024,8	1026,2	99,86	963,35	895,35	92,94	12,04	11,2	93,02
	Zivana	984,89	1044,1	94,33	736,69	775,34	95,02	9,2	9,6	95,83

Direnc bakımından deneylerin uygulama sonuçları ile ANSYS/LS-DYNA analiz sonuçları arasındaki en fazla uygunluk % 99,86 ile kayın kavelalı birleştirmede elde edilmiştir. Direnc bakımından en az uyum % 92,57 ile çam kavelalı birleştirme tipinde olduğu görülmektedir. Gerinim ve gerilme analizleri bakımından, alt-üst sınır değerlerinin % 89,7 ile % 95,83 arasında değişmekte olduğu görülmektedir. Gerinim ve gerilme analizlerindeki bu farkların uygulamalı deneysel metotlarda kullanılan gerinim ölçerlerin (strengeler) 10^{-6} hassasiyetle çalışmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

L tipi köşe birleştirmelerin “diyagonal basınç deneyi” için yapılan uygulamalı deneysel çalışmalarda, eğilme deneylerinde olduğu gibi kırılma olayının ilk olarak üst kavelada olduğu, daha sonra ise alt kavelada gerilmenin en üst seviyeye çıktığı gözlemlenmiştir. ANSYS/LS-DYNA programı ile yapılan modelleme çalışmalarının analiz ve gözlemlerinde de benzer şekilde davranışlar, bilgisayar programında daha detaylı bir şekilde animasyon ve sayısal veriler eşliğinde elde edilmiştir. Yine kavelalı birleştirme parçalarında üst kavelaların moment etkisi ile daha çabuk gerilme ve deformasyona maruz kaldığı, kırılmanın ilk olarak üst kaveladan başladığı gözlemlenmiştir. Uygulamalı deneysel çalışmalarda olduğu gibi, burada da üst kavela kırıldıktan sonra alt kavelada gerilmenin en üst seviyeye çıktığı belirlenmiştir.

Diyagonal basınç deneylerinde kırılma yine üst bölgeden olmuş ve dişi zıvanalı parçaların ağız kısımlarında ezilme ve deformasyon görülmüştür. Analiz programı ile yapılan deneylerde de benzer şekilde aynı bölgelerde deformasyonun olduğu gözlemlenmiş olup, deformasyon ve gerilme ilk önce üst bölgeden başlamış ve daha sonra kırılma olmuştur. Tablo 4.2’de L tipi köşe birleştirmelerin diyagonal basınç deneylerinde elde edilen sonuçlar kuvvet, gerinim ve gerilme analizleri parametrelerine göre karşılaştırılmış ve aralarındaki uyum % olarak verilmiştir.

Tablo 4.2 L tipi köşe birleştirmelerin diyagonal basınç deneyleri karşılaştırmaları.

DİYAGONAL BASINÇ DENEYİ										
		Direnç			Gerinim Analizi			Gerilme Analizi		
		Deney (N)	ANSYS (N)	Uygunluk (%)	Deney (ue)	ANSYS (ue)	Uygunluk (%)	Deney (MPa)	ANSYS (MPa)	Uygunluk (%)
Çam	Kavela	1343,7	1485	90,48	754,86	1057,3	71,4	7,93	11	72,09
	Zıvana	1372,6	1456,0	94,27	825,27	647,25	78,5	8,67	8	92,27
Kayın	Kavela	1572,6	1537,4	97,76	915,07	1013,1	90,32	11,4	13	87,69
	Zıvana	1732,2	1493,1	86,2	825,73	795,62	96,35	10,32	11	93,82

Diyagonal basınç değerlerinin uygulamalı direnç değerleri ile ANSYS/LS-DYNA analiz sonuçları arasındaki en fazla uygunluk % 97,76 ile kayın kavelalı birleştirmede elde edilmiştir. Direnç bakımından en az uyum % 86,2 ile kayın zıvanalı birleştirme tipinde olduğu görülmektedir. Gerinim ve gerilme analizleri bakımından alt-üst sınır değerlerinin % 71,4 ile % 96,35 arasında değişmekte olduğu görülmektedir. Yine kabul edilebilir sınırlarda oluşan bu farkların direnç değerlerine oranla daha yüksek sonuçlar verdiği görülmektedir. Gerinim ve gerilme analizlerindeki bu sonuçların uygulamalı deneysel metotlarda kullanılan gerinim ölçerlerin (strengaçlerin) 10^{-6} hassasiyetle çalışmasından kaynaklandığı söylenebilir.

L tipi köşe birleştirmelerin “diyagonal çekme deneyi” için yapılan uygulamalı deneysel çalışmalarda, eğilme ve basınç deneylerinin aksine kırılmanın ilk olarak alt kavelada daha sonra da üst kavelada en üst seviyeye çıktığı gözlemlenmiştir. ANSYS/LS-DYNA programı ile yapılan modelleme çalışmalarının analiz ve gözlemlerinde de benzer şekilde davranışlar, bilgisayar programında daha detaylı bir şekilde animasyon ve sayısal veriler eşliğinde elde edilmiştir. Yine kavelalı birleştirme parçalarında üst kavelaların moment etkisi ile daha çabuk gerilmeye ve deformasyona maruz kaldığı ve kırılmanın ilk olarak alt kaveladan başladığı gözlemlenmiştir. Uygulamalı deneysel çalışmalarda olduğu gibi, burada da alt kavela kırıldıktan sonra üst kavelada gerilmenin en üst seviyede olduğu bulunmuştur. Zıvanalı kayın ve çam örneklerde, diyagonal çekme direnci için yapılan deneysel çalışmalarda kırılma bu kez alt bölgeden olmuş ve dişi zıvanalı parçaların ağız kısımlarında ezilme ve deformasyon görülmüştür. Analiz programında yapılan deneylerde de benzer şekilde aynı bölgelerde deformasyonun olduğu gözlemlenmiş olup, deformasyon ve gerilme ilk önce alt bölgeden başlamış ve daha sonra kırılma olmuştur. Tablo 4.3’de L tipi köşe birleştirmelerin diyagonal çekme deneylerinde elde edilen sonuçlar kuvvet, gerinim ve gerilme analizleri parametrelerine göre karşılaştırılmış ve aralarındaki uyum % olarak ortaya konmuştur.

Tablo 4.3 L tipi köşe birleştirmelerin diyagonal çekme deneyleri karşılaştırmaları.

DİYAGONAL ÇEKME DENEYİ										
		Direnç			Gerinim Analizi			Gerilme Analizi		
		Deney	ANSYS	Uygunluk	Deney	ANSYS	Uygunluk	Deney	ANSYS	Uygunluk
		(N)	(N)	(%)	(ue)	(ue)	(%)	(MPa)	(MPa)	(%)
Çam	Kavela	2192,6	2110,7	96,24	647,15	799,95	80,9	6,79	9	75,44
	Zıvana	2311,8	2174,2	94,04	794,54	1018,3	78,1	8,3	11,5	72,17
Kayın	Kavela	2742,3	2569	93,68	975,78	1225,7	79,7	12,19	14,5	84,07
	Zıvana	2524,7	2366	93,71	1100,2	1404,1	78,4	13,75	17,5	78,57

Diyagonal basınç değerlerinin uygulamalı direnç değerleri ile ANSYS/LS-DYNA analiz sonuçları arasındaki en fazla uyum % 96,26 ile çam kavelalı birleştirme tipinde sağlanmıştır.

Direnç bakımından en uyum % 93,68 ile kayın kavelalı birleştirme tipinde olduğu görülmektedir. Gerinim ve gerilme analizleri bakımından değerlendirildiğinde ise, alt-üst sınır değerlerinin % 72,17 ile % 84,07 arasında değişmekte olduğu görülmektedir. Yine kabul edilebilir sınırlarda oluşan bu farkların kuvvet değerlerine oranla nispeten daha yüksek sonuçlar verdiği görülmektedir. Burada da kuvvet değerlerine göre, gerinim ve gerilme analizlerindeki bu farkların uygulamalı deneysel metotlarda kullanılan gerinim ölçerlerin (strengeler) 10^{-6} hassasiyetle çalışmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Deneysel çalışmalar ve ANSYS/LS-DYNA ile yapılan analizler, gerilmeler ve deformasyonların en fazla birleştirme elemanlarında olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuç da yapılacak ürün tasarımlarında ahşap malzemelerin kullanım yerlerinde karşılaşılabilecekleri olası yüklere karşı uygun konstrüksiyon seçiminin yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Rekabetin ve küreselleşen dünyanın acımasız kesin kuralları ağaç işleri ve özellikle mobilya sektöründe yeni tasarımlara olan ihtiyacın artmasına yol açmıştır. Bu rekabet ortamında diğer işletmelerin bir adım önüne geçebilmek ancak Sonlu Elemanlar Metodu, ANSYS/LS-DYNA vb. tasarım ve analiz programlarının etkin bir şekilde kullanımı sayesinde mümkün olabilir. Yapılan bu çalışmanın ileride yapılacak bu tarz çalışmalara temel teşkil etmesi düşünülmekte, farklı ağaç türleri, konstrüksiyon şekilleri ve birleştirme elemanları için de araştırmalar yapılması önerilebilir.

Uygulamalı deneylerde ahşabın anizotrop ve heterojen yapısından dolayı sağlıklı neticeye ulaşabilmek için çok sayıda örnek ile çalışılması zorunluluğu bulunmaktadır. Ayrıca bu deneylerde karşılaşılan en büyük problemlerden bir tanesi deneyin gerçekleştirilmesi safhasında numuneye geri dönüşümü söz konusu olmayan zararlar verilmesidir. Tüm bunlar göz önüne alındığında deneylerin, gerçek şartlar altında simüle edilebildiği ANSYS gibi bilgisayar destekli analiz programlarında gerçekleştirilmesi hem maliyetin düşürülmesi hem de malzemede oluşacak muhtemel tahribatın engellenmesi açısından önerilebilir.

Çalışmada “gerinim ölçer tekniği” de kullanılmış olup, özellikle tasarım alanında ölçülemeyen, somut hale getirilemeyen birçok kriteri içermesi ve daha hassas-somut veriler elde edilmesini sağlayarak karşılaşılan çeşitli darboğazlarda çözüm üretilmesini daha kolay hale getirmesi bakımından, araştırmacılara diğer uygulamalarla birlikte sağlayacağı katkılardan ötürü bu tekniğin de kullanılması önerilebilir.

Araştırma bulguları ve ANSYS/LS-DYNA analizine dayanılarak, birleştirme bölgesinin alanın artırılabilceği ve mevcut parçanın kesitlerinin inceltilmesi ile aynı mukavemet değerlerinin sağlanabileceği önerilebilir.

KAYNAKLAR

- Albin R, Müler M ve Scholze H** (1987) Investigations on the strength of corner joints in case-type furniture. *Holz als Roh und Werkstoff*, 45(5):171-178.
- Altınok M, Döngel N, Sgtl C ve Doruk Ő** (2009) Zıvanalı ahşap doğrama köşe birleştirmelerinin diyagonal basınç performansının belirlenmesi. *K. Orman Fakültesi Dergisi*, 10 (2): 96-101.
- Ansys (2011)** Explicit Dynamics with ANSYS/LS-DYNA, Yardım dosyası.
- Anşın R ve zkan ZC** (1993) *Tohumlu Bitkiler (Spermatophyta) Odunsu Taksonlar*, KT Orman Fakültesi, 167/19, 1.Baskı, Trabzon, 512 s.
- Aslan S** (1994) *Ağaç Dendrolojisi ve Odun Anatomisi*. Hacettepe Üniversitesi, Mesleki Teknoloji Yüksek Okulu Ağaç İsleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, 104 s.
- ASTM-E132** (2010) Standard Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature, Astm Standarts, USA.
- Berkel A** (1970) *Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi*. İ Orman Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, Yayın No:147, İstanbul.
- Bozkurt Y ve Göker Y** (1987) *Ağaç Malzemenin Fiziksel ve Mekaniksel zellikleri*. İ.., Orman Fakültesi yayını, Yayın No : 3445/388, İstanbul.
- Bozkurt Y ve Erdin N** (2000) *Odun Anatomisi*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No:466, İstanbul, 75 s.
- BS EN 204** (1991) Non-structural Adhesives for Joining of Wood and Derived Timber Products, British Standards, England.
- Burdurlu E, Kılıç M ve Altun S** (2003) Ayak kayıt birleştirmelerde köşe takozu ve birleştirme tipinin eğilme direncine etkileri. *G.. Fen Bilimleri Dergisi* 16(2): 357-367.
- Chang-Su B, Young-Hwan L, Jin-Ho C ve Jin-Hwe K** (2008) Strength prediction of adhesive joints using the modified damage zone theory. *Composite Structure*, 86(1-3): 96-100.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Dursun T** (2006) Civata Bağlantılı Tabakalı Kompozit Levhalarda Hasar Analizi. Doktora Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü ABD, Ankara, 174.
- Eckelman CA** (1979) Withdrawal strength of dowel joints: effect of shear strength. *Forest Product Journal*, 29(1): 48-52.
- Efe H ve İmirzi HÖ** (2009) Kutu tipi mobilya köşe birleştirmelerin sonlu elemanlar yöntemi ile mukavemet ve rijitlik analizi. 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, Türkiye, 627-630.
- Efe H, Erdil YZ ve Kasal A** (2003) Mobilya mühendislik tasarımında mobilya sistemlerinin sonlu elemanlar metoduyla optimizasyonu. *GÜTEF, I. İleri Teknolojiler Sempozyumu, Bildiri Kitabı*, Ankara, 315-323.
- Efe H, İmirzi H** (2007) Mobilya üretiminde kullanılan çeşitli bağlantı elemanlarının mekanik davranış özellikleri. *Politeknik Dergisi*, 10(1): 93-103.
- Efe H, İmirzi HÖ** (2001) Çerçeve konstrüksiyonlu masif mobilya 'T' birleştirmelerde çekme dirençleri karşılaştırılmaları. *Politeknik Dergisi* 4 (4): 95-101.
- Englesson T** (1973) *Summary of the Investigations of Several Particleboards in the Swedish Forest Products Research Laboratory*. Unnumbered Publication, Swedish Forest Products Laboratory, Stockholm, 38.
- Erdil YZ, Kasal A, Eckelman CA** (2005) Bending moment capacity of rectangular mortise and tenon furniture joints. *Forest Product Journal* 55(12): 209- 213.
- Erdil Y.Z** (2002) Integrated Product Engineering and Performance Testing of Furniture. PhD Thesis, Purdue University, Department of Forest Products, West Lafayette, Indiana, 243.
- Erdin N** (2003) Ağaç Malzeme Kullanımı Ve Çevreye Etkisi, İnterteks İnşaat 2003 Fuarı, Ahşap Seminerleri, İstanbul.
- Gawroński T** (2006) Rigidity-strength models and stress distribution in housed tenon joints subjected to torsion. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Wood Technology*, 9 (4):1-9.
- Gökdemir A ve Yıldız K** (2001) Farklı kerestelerle PVA tutkalı ile yapılan birleştirmelerde basınç altında çekme deneyi üzerine bir çalışma. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(1): 51-61.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Görgülü T** (2001) Solidworks İle Katı Modelleme. Lisans Tezi Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Denizli, 100 s.
- Gustafsson SI** (1995) Furniture design by use of the finite element method. *Holz als Roh und Werkstoff*, 53 (4): 257-260.
- Günel Ertaş D** (2007) Yapısal Özelliklerin Endüstri Ürünleri Tasarımına Etkileri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Endüstri Ürünleri Tasarımı ABD, 184 s.
- Hafizoğlu H** (1994) *Orman Yan Ürünleri Kimyası*, Ders Notları, 1994, Trabzon.
- Hayashi Y ve Eckelman CA** (1986) Design of corner block with anchor bolt table joints. *Forest Products Journal*, 36 (2): 44-48.
- Huş S** (1977) *Ahşap Yapıştırıcılar Ders Notu*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, İstanbul.
- İmirzi HÖ** (2008) Farklı Yapım Teknikleri Kullanılarak ve Değişik Kalınlıklardaki Levhalar ile Üretilmiş Kutu Tipi Mobilyaların Mukavemet Özellikleri. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü ABD, 271 s.
- İşcan B** (2007) Yapıştırıcı Malzeme İle Birleştirilmiş Z Tipi Bağlantıların Mekanik Analizi. Doktora Tezi, Fırat Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD, Elazığ, 295 s.
- İyiii C** (2009) Kutu Mobilyaların Köşe Birleştirmelerinde Mukavemet Özelliklerinin Belirlenmesi Ve Sonlu Eleman Benzetimiyle Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü ABD, Karabük, 69 s.
- Karabulut S** (2010) Mobilya Köşe Birleştirmelerinde Kullanılan Farklı Bağlantı Elemanlarının Sonlu Elemanlar Metodu İle Mukavemet Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü ABD, Karabük , 68 s.
- Karayılmazlar S ve Balaban E** (1998) Yongalevha endüstrisinde bir yöneylem araştırması uygulaması. *Turk J Agric For* 24: 11-18.
- Karayılmazlar S, Çabuk Y, Atmaca A ve Aşkın A** (2007). Orman ürünleri endüstrisinde laminasyon tekniği ve önemi. *ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi* 9(11): 78-86.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Kasal A, Efe H ve Erdil YZ** (2007) Montaja hazır koltuk iskeletlerinin mukavemetinin sonlu elemanlar analizi ile belirlenmesi. *Politeknik Dergisi* 10(4): 411-422.
- Kaygın B ve Aytekin A** (2005) Ahşap tekne konstrüksiyonu. *ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi*,7(7):14-23.
- Keskin H** (2001) Lamine Masif Ağaç Malzemelerin Teknolojik Özelliklerini ve Ağaç İşleri Endüstrisinde Kullanım İmkanları. Doktora Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü ABD, 150.
- Kılıçalp H** (2007) Kutu Mobilyalarda Kullanılan Bazı Modüler Bağlantı Elemanlarının Direnç Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mobilya Dekorasyon ABD, Zonguldak, 93 s.
- Kurt Ş** (2006) Emprenye Edilmiş Lamine Ağaç Malzemelerin Deniz Ortamında Bazı Teknolojik Özelliklerinin Değişimi, Doktora Tezi, Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 336 s.
- Kurtoğlu A, Kahveci M ve Dilik T** (1993) *Ahşap Mobilya Ve Yapı Elemanı Üretiminde Kullanılan Birleştirme Şekilleri* Ders Notları, İ.Ü. Orman Fakültesi, İstanbul.
- Kürelî İ** (1988) Sandalyelerde Kullanılan Önemli Ahşap Birleştirmelerin Mekanik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü ABD, Ankara, 63 s.
- Malkoçoğlu A** (1994) Doğu kayını Odununu Teknolojik Özellikleri. Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği ABD, Trabzon, 152 s.
- Mecitoğlu Z** (2005) Mukavemet Ders Notları, İTÜ.
- Merev N** (2003) *Odun Anatomisi ve Odun Tanıtımı*. KTÜ Orman Fak. Genel Yayın No:210, Fakülte Yayın No:32, ISBN- 975-6983-30-2, Trabzon.
- Mihălescu T** (2008) Geometry optimisation of the square-ended joints using finite element analysis. *ProLigno* 4(3): 47-53.
- Millî Eğitim Bakanlığı** (2006) Ahşap Teknolojisi Elde Birleştirme, Ankara.
- Oflazoğlu C** (2006) Mobilyada Mühendislik Tasarımına Yönelik Bilgisayar Yazılımının Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Z.K.Ü Fen Bilimler Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği ABD, Zonguldak, 440 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Öktem E** (1976) *Bazı Ağaç Türlerimiz Odunlarının Yapışma Özellikleri Üzerine Araştırmalar*. Orman Araştırma Enstitüsü Yayını, Teknik Bülten, No:81. Ankara.
- Örs Y** (1987) *Kama Dişli Birleşmeli Masif Ağaç Malzemedeki Mekanik Özellikler*. K.TÜ. Orman Fakültesi Yayını, No: 112, Fakülte Yayın No: 11, Trabzon, 107 s.
- Örs Y ve Keskin H** (2001) *Ağaç Malzeme Bilgisi*, Atlas Yayın Dağıtım, GÜTEF, Ankara, 183 s.
- Örs Y ve Efe H** (1998) Mobilya (çerçeve konstrüksiyon) tasarımında bağlantı elemanlarının mekanik davranış özellikleri, *Doğa Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 22 (5): 21-27.
- Özçifçi A** (2001) Emprenye Edilmiş Lamine Ağaç Malzemelerin Teknolojik Özellikleri. Doktora Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü ABD, Ankara, 97 s.
- Özçifçi A** (2005) *Ahşap Tutkalları*, Basılmamış Ders Notları, Z.K.Ü.Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük.
- Özçifçi A ve Doğanay S** (1999) Etiketli yongalı levha (waferboard) ile doğu kayını ve ladin odunlarının vida ve çivi tutma dirençleri. *Tr. J. of Agriculture and Forestry*, 23(5): 1207-1213.
- Özçifçi A, Kılıçalp H ve Toker H** (2008) Kutu mobilyalarda kullanılan bazı modüler bağlantı elemanlarının direnç özelliklerinin belirlenmesi. *Teknoloji*, 11 (1): 45-57.
- Özgan E ve Kap T** (2008) Eğilme momentine maruz çerçeve konstrüksiyonlu “L” tipi köşe birleştirmelerin performanslarının incelenmesi. *GÜ. Müh. Mim. Fak. Dergisi* 23(2): 385-394.
- Pençe E** (2007) Eğitim Amaçlı ANSYS Paket Programının Tanıtılması, ANSYS Öğretimi ve Uygulama Örnekleri ZKÜ, Karabük.
- Skeist I** (1962) *Hand Book of Adhesives*. vol. 669, 1st ed. New York: Van ostrand.
- Smardzewski J** (2002) Strength of profile-adhesive joints. *Wood Science and Technology*, 36: 173-183, 2002.
- Solmaz M ve Turgut A** (2007) Düzlem kafes sistemlerin ANSYS paket programı ile optimum geometri tasarımı. *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi* (2), 201-207.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Şanıvar N ve Zorlu İ** (1998) *Ağaçlıeri Gereç Bilgisi*, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, İstanbul, 472 s.
- Şen M ve Yeşilkaya E** (2005) Ahşap yapı elemanlarında farklı boy birleştirmelerinin çekme mukavemetlerinin araştırılması. *Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 4(6): 1-11.
- Tankut A N ve Tankut N** (2000) General concept of engineering design of furniture. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 3(1-2): 43-46.
- Tankut A N ve Tankut N** (2005) The effects of joint forms (shape) and dimensions on the strengths of mortise and tenon joints. *Turkish Journal Agriculture and Forestry*, 29:493-498.
- Tankut A N ve Tankut N** (2009) Evaluation the effects of edge banding type and thickness on the strength of corner joints in case-type furniture. *Materials and Design*, 31(6): 2956-2963.
- Tankut N** (2007) The effect of adhesive type and bond line thickness on the strength of mortise and tenon joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 27: 493-498.
- TS 2471** (1976) Odunun fiziksel ve mekanik deneyler için rutubet miktarı tayini. *TSE Standardı*, Ankara.
- TS 2472** (1992) Odunda fiziksel ve mekanik deneyler için birim hacim ağırlığı tayini. *TSE Standardı*, Ankara
- TS 2474** (1976) Odunun statik eğilme dayanımının tayini. *TSE Standardı*, Ankara
- TS 2478** (1976) Odunun statik eğilmede elastiklik modülünün tayini. *TSE Standardı*, Ankara.
- TS 3891** (1983) Yapıştırıcılar – Polivinilasetat Emülsiyonu, TSE Standardı, Ankara.
- TS 4539** (1985) Ahşap Birleştirmeler – Kavelalı Birleştirme Kuralları, T.S.E, Ankara.
- TS 4905** (1986) Ahşap Birleştirmeler –Zıvanalı Birleştirme Kuralları, T.S.E, Ankara
- TS 5430 EN 204** (2003) Yapısal Olmayan Uygulamalar İçin Termoplastik Ahşap Yapıştırıcıların Sınıflandırılması.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

TS 5913 (1993) Ahşap Mobilya – Kitap Dolabı. *T.S.E*, Ankara

URL-1 (2012) <http://www.muhturk.com/solidworks>

URL-2 (2011) http://www.batul.deu.edu.tr/mak/derslerpdf/S%C4%B1n%C4%B1f4/olcme_tasarim/mekanik_2.doc Strain gauge ölçümleri

URL_3 (2012) <http://www.slideshare.net/gamax01/mukavemet-bolum3>, Mecitoğlu Z, mukavemet ders notları.

Uysal B (1999) Kenarları Masifli ve Masifsiz Yonga Levhada Kavela Çaplarının Çekme Direncine Etkileri. H.Ü. Ağaç işleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, *I. Uluslararası Mobilya Kongresi*, Bildiri Kitabı, İstanbul, s. 484-490.

Uysal B (2010) *Ağaç Malzeme*. Yüksek Lisans Ders Notları, Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük.

Uzun M (2009) Negatif poisson oranına sahip (auxetic) malzemeler ve uygulama alanları. *The Journal of Textiles and Engineers*,77(17): 13-18.

Yaltırık F ve Efe A (1994) *Dendroloji* Ders Kitabı, Gymnospermae-Angiospermae, İ.Ü. Yayın No:3836, Fak. Yayın No:431, ISBN 975-404-363-9, İstanbul.

Yapıcı F (2008) Sarıçam (*pinus sylvestris* l.) Odununun OSB Üretiminde Kullanılmasında Bazı Üretim Faktörlerinin Levha Özellikleri Üzerine Etkisi. Doktora Tezi, B.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın, 143 s.

Yaşar M (2010) *Mukavemet*. Yüksek Lisans Ders Notları, Karabük Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük.

Yavuz Solmaz M (2008) Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Bağlantıların Mekanik Analiz Ve Tasarımları. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD, Elazığ, 153 s.

Yörür H (2007) Islak Mekânlarda Ahşap Tutkallarının Yapışma Mukavemetlerinin Belirlenmesi, Z.K.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Bilim Uzmanlığı Tezi, Karabük, 127 s.

Yörür H, Uysal B ve Aydemir D (2010) Emprenye edilmiş ahşap malzemenin yapışma direncini etkileyen faktörler. *Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 12(18): 99-106.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

Zor M (2011) Bahçe Oturma Mobilya Konstrüksiyonlarında Isıl İşlem Uygulanmış Ağaç Malzemenin Kullanım İmkânlarının Mühendislik Tasarımı Yaklaşımıyla İncelenmesi. Yüksek Mühendislik Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği ABD, Bartın, 143 s.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Gaziantep’de doğan Hüseyin YÖRÜR, ilköğretimini Karabük’de tamamladıktan sonra liseyi Karabük Endüstri Meslek Lisesi’nde 1995-1998 Eğitim-Öğretim yıllarında tamamlamıştır. 1999 yılında D.P.Ü Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya ve Dekorasyon Bölümü’nde Yüksek Öğrenimine başladı; 2003 yılında öğrenimini tamamlayarak Mobilya ve Dekorasyon öğretmeni ünvanıyla mezun oldu; 2003-2004 Eğitim-Öğretim yılında Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Mobilya ve Dekorasyon Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisansa başladı. 2007 yılının Ocak ayında yüksek lisansını tamamladı; 2007-2008 eğitim öğretim yılında ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda doktora programını kazanmış olup halen Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda doktora programına devam etmektedir. Yabancı dili İngilizce olan Hüseyin YÖRÜR evli ve iki çocuk babasıdır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Karabük Üniversitesi 100.yıl Balıklar kayası mevki
KARABÜK

Tel: (0370) 433 82 00
Cep Tel: 05325098885
E-posta: h_yorur@hotmail.com