

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MASİF VE LAMİNE AHŞABIN DURABİLİTESİ VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE ORTAM ŞARTLARININ ETKİSİ**

DOKTORA TEZİ

Tuğba Gülfem KAYA

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

HAZİRAN 2017

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MASİF VE LAMİNE AHŞABIN DURABİLİTESİ VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE ORTAM ŞARTLARININ ETKİSİ**

DOKTORA TEZİ

**Tuğba Gülfem KAYA
(502102018)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa Erkan KARAGÜLER

HAZİRAN 2017

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502102018 numaralı Doktora Öğrencisi Tuğba Gülfem KAYA, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “MASİF VE LAMİNE AHŞABIN DURABİLİTESİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ORTAM ŞARTLARININ ETKİSİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı: **Doç. Dr. Mustafa Erkan Karagüler**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Nihal Arıoğlu**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Leyla Tanaçan
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa Özgünler
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

Prof. Dr. Fevziye Aköz
Hasan Kalyoncu Üniversitesi

Teslim Tarihi : 29 Mayıs 2017
Savunma Tarihi : 19 Haziran 2017





Eşime, çocuklarıma ve aileme,



ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bana rehberlik eden, tecrübe ve bilgi birikimini benimle paylaşan kıymetli hocam Doç. Dr. Mustafa Erkan Karagüler'e çok teşekkür ederim. Deney çalışmalarımda kullandığım ahşap numunelerini tedarik etmemi sağlayan, her türlü üretim talebimizi karşılayan Nasreddin Group firmasına, tutkal ihtiyacımızı karşılayan Akzo Nobel firmasına, laboratuvardaki makineleri kullanmamda her zaman yardımcı olan teknisyen İbrahim Öztürk'e çok teşekkür ederim.

Doktora çalışmam sırasında bana maddi, manevi destek olan eşim Talip Kaya'ya ve varlıklarıyla bana moral ve enerji veren kıymetli oğullarım Yavuz ve Yaman Kaya'ya, çocukluğumdan bu yana eğitim konusunda bana yön ve vizyon kazandıran annem Aslı Bank'a, babam İsmet Bank'a, ablalarım Müjgan Mihmanlı'ya, Şenay Akyıldız'a ve abim Tolga D. Bank'a minnettarım.

Mayıs 2017

Tuğba Gülfem KAYA
(Yüksek Mimar)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
SEMBOLLER.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET.....	xxv
SUMMARY	xxix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı	2
1.2 Çalışmanın Önemi	3
1.3 Çalışmanın Kapsam ve Yöntemi	4
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1 Ahşabın Yapısı.....	5
2.1.1 Ahşabın mikroskobik yapısı.....	5
2.1.2 Ahşabın makroskobik yapısı.....	8
2.1.2.1 Öz	9
2.1.2.2 Kambiyum	9
2.1.2.3 Yıllık halkalar	9
2.1.2.4 Öz ışınlar	9
2.1.2.5 Diri odun-öz odun	10
2.1.2.6 Bahar odunu-yaz odunu	11
2.1.2.7 Gözenekler	11
2.1.2.8 Genç odun.....	12
2.1.2.9 Ahşabın eksenleri.....	12
2.1.3 Ahşabın kimyasal yapısı.....	13
2.2 Ahşabın Fiziksel Özellikleri.....	14
2.2.1 Ahşabın nem ile olan ilişkisi	14
2.2.1.1 Ahşabın bünyesindeki su	14
2.2.1.2 Higroskopik denge.....	15
2.2.1.3 Ahşapta adsorbsiyon ve desorbsiyon	15
2.2.1.4 Ahşapta nem derecesi ve histerezis	16
2.2.1.5 Ahşabın şişmesi ve büzülmesi.....	16
2.2.2 Özgül ağırlık.....	19
2.2.3 Ahşabın ısı özellikleri.....	21
2.2.4 Ahşabın ısı iletkenlik özellikleri	21
2.2.5 Ahşabın akustik özellikleri	23
2.3 Ahşabın Mekanik Özellikleri	23
2.3.1 Ahşabın elastiklik özellikleri.....	24
2.3.2 Ahşabın dayanım özellikleri.....	25
2.3.2.1 Ahşabın basınç dayanımı	25
2.3.2.2 Ahşabın çekme dayanımı	26
2.3.2.3 Ahşabın eğilme dayanımı	28
2.3.2.4 Ahşabın makaslama dayanımı	30
2.3.2.5 Ahşabın burulma dayanımı.....	30

2.4 Lamine Ahşap	31
2.4.1 Lamine ahşabın kısa tarihçesi	31
2.4.2 Lamine ahşabın üretimi	32
2.4.2.1 Kurutma.....	33
2.4.2.2 Dayanım sınıfı belirleme	33
2.4.2.3 Parmak birleşim.....	34
2.4.2.4 Laminasyon	37
2.4.2.5 Yapıştırıcılar	38
2.4.2.6 Birleşimler	38
2.4.3 Lamine ahşap ile ilgili yeni araştırmalar ve teknolojiler	40
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	43
3.1 Deney Programı	44
3.2 Deneyde Kullanılan Cihazlar	53
3.3 Deney Metodları	59
3.3.1 Islanma-kuruma deney metodları	59
3.3.2 Şişme-büzülme deney metodları	62
3.3.3 Elastisite modülü tayini deney metodları.....	62
3.3.4 Ultra-ses deney metodları	65
3.3.5 Sıcaklığa dayanıklılık deney metodları	66
3.3.6 Tutkalda kayma deneyi metodu.....	69
3.3.7 Aderans deneyi metodu	72
3.4 Deney Sonuçları.....	74
3.4.1 Islanma deneyi mekanik deney sonuçları	74
3.4.2 Kuruma deneyi mekanik deney sonuçları	85
3.4.3 Islanma deneyi şişme deney sonuçları	98
3.4.4 Kuruma deneyi büzülme deney sonuçları.....	107
3.4.5 Elastisite modülü tayini deney sonuçları	116
3.4.6 Ultra-ses deney sonuçları.....	131
3.4.7 Sıcaklığa dayanıklılık deneyi sonuçları	132
3.4.8 Tutkalda kayma deneyi sonuçları	146
3.4.9 Aderans deneyi sonuçları.....	147
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE İRDELENMESİ	149
4.1 Islanma Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	149
4.2 Kuruma Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	151
4.3 Şişme – Büzülme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	153
4.4 Elastisite Modülü Tayini Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	155
4.5 Ultra – Ses Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	160
4.6 Sıcaklığa Dayanıklılık Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	162
4.7 Tutkalda Kayma Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	163
4.8 Aderans Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi.....	164
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	167
REFERANSLAR.....	175
ÖZGEÇMİŞ	183

KISALTMALAR

B.H.A	: Birim hacim ağırlık
DOL	: Yük süresi
EMC	: Denge nem içeriği
FSP	: Fiber doyma noktası
MC	: Nem içeriği
MOE	: Elastisite modülü
RH	: Bağıl nem





SEMBOLLER

α_{wl}	: Ahşabın liflere paralel yönde ısı genleşme katsayısı
α_{wr}	: Ahşabın radyal yönde ısı genleşme katsayısı
α_{wt}	: Ahşabın yıllık halkalara teğet yönde ısı genleşme katsayısı
α_{wv}	: Ahşabın ısı genleşme katsayısı
a	: Numunenin genişliği
b	: Numunenin yüksekliği
β	: Ahşabın çalışma miktarı
β_l	: Ahşabın liflere paralel yönde çalışma miktarı
β_r	: Ahşabın radyal yönde çalışma miktarı
β_t	: Ahşabın teğet yönde çalışma miktarı
β_v	: Ahşabın hacimsel çalışma miktarı
bt	: Uç genişliği
C	: Spesifik ısı
e	: Boşluk
E	: Elastisite modülü
$E_{c,0}$	: Liflere paralel elastisite modülü
$E_{c,90}$	: Liflere dik elastisite modülü
E_l	: Liflere paralel yöndeki elastiklik modülü
E_r	: Radyal yöndeki elastiklik modülü
E_t	: Yıllık halkalara teğet yöndeki elastiklik modülü
ε	: Birim deformasyon miktarı
$f_{c,0}$	: Liflere paralel basınç dayanımı
$f_{c,90}$	: Liflere dik basınç dayanımı
f_m	: Eğilme dayanımı
$f_{m,j,dc,k}$	: Parmak birleşimin karakteristik eğilme dayanımı
F	: Kayma yükü
$F_{c,0}$	: Liflere paralel basınç yükü
$F_{c,90}$	: Liflere dik basınç yükü
$F_{t,90}$	: Eğilme-çekme yükü
h	: Numunenin enine kesit yüksekliği
λ	: Isı iletkenlik katsayısı
l	: Numunenin iki ucu arasındaki dayandığı nokta arasındaki açıklık
l_j	: Parmak uzunluğu
Δl	: Deformasyon miktarı
L	: Cismin orijinal uzunluğu
Φ	: Lif yönü ile yükleme arasındaki açı
σ	: Dayanım
p	: Eğim uzunluğu
r	: Elemanın en küçük yarıçapı
u	: Nem içeriği
t	: Bitmiş lamine kalınlığı
v	: İndirgeme katsayısı
V	: Hız
W	: Kesit genişliği
λ	: Isı iletkenlik katsayısı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Yumuşak ve sert ağaçlarda hücre fonksiyon çizelgesi.	5
Çizelge 2.2 : Ahşabın yönlerine bağlı olarak çalışma çizelgesi (Berkel, 1970).	17
Çizelge 2.3 : Bazı malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları (Berkel, 1970).	22
Çizelge 2.4 : Bazı önemli ağaç cinsleri ahşaplarında çeşitli yönlerde ortalama ısı iletkenliği katsayıları (Berkel, 1970).	22
Çizelge 2.5 : Bazı ağaç cinsleri ahşapların liflere paralel ve dik yönlerde basınç dirençleri. (Berkel, 1970).	26
Çizelge 2.6 : Budakların çekme ve basınç dirençleri üzerine etkisi (Berkel, 1970)	27
Çizelge 2.7 : Önerilen parmak birleşim ölçüleri (TS EN 14080, 2013).	36
Çizelge 2.8 : Önerilen lamine kalınlığı (TS EN 14080,2013).	37
Çizelge 3.1 : Test numuneleri üretim şartları.	43
Çizelge 3.2 : MUF tutkal özellikleri.	44
Çizelge 3.3 : Deney programı.	44
Çizelge 3.4 : Test numune kodları ve ebatları.	46
Çizelge 3.5 : Test numune kodları, deneyler ve adetler.	47
Çizelge 3.6 : Islanma ve kuruma testleri numune adetleri ve test periyodu.	59
Çizelge 3.7 : Elastisite modülü tayini deneyi numune ölçüleri.	63
Çizelge 3.8 : Farklı sıcaklıklarda elastisite modülü tayini için 9 lamelli D numune ölçüleri.	64
Çizelge 3.9 : Farklı sıcaklıklarda elastisite modülü tayini için 4 lamelli E numune ölçüleri.	65
Çizelge 3.10 : 50°C için numune örnekleri, ağırlık, ebat ve nem değerleri.	67
Çizelge 3.11 : 75°C için numune örnekleri, ağırlık, ebat ve nem değerleri.	68
Çizelge 3.12 : 100°C için numune örnekleri, ağırlık, ebat ve nem değerleri.	69
Çizelge 3.13 : Dokuz lamelli lamine ahşap numuneler için ıslanma (%90 RH) deneyi sonuçları.	75
Çizelge 3.14 : Dokuz lamelli numunelerin ıslanma ortamında (%90 RH) dayanım değerleri.	76
Çizelge 3.15 : Dört lamelli lamine ahşap numuneler için ıslanma (%90RH) deneyi sonuçları.	78
Çizelge 3.16 : Dört lamelli B kodlu lamine numunelerin ıslanma (%90 RH) ortamında dayanım değerleri.	79
Çizelge 3.17 : Masif ladin numuneler için ıslanma (%90 RH) deneyi sonuçları.	82
Çizelge 3.18 : Masif ladin numuneler için ıslanma (%90RH) deneyi sonuçları.	83
Çizelge 3.19 : Masif ladin numunelerin ıslanma ortamında (%90RH) dayanım değerleri.	84
Çizelge 3.20 : Dokuz lamelli lamine ahşap numuneler için kuruma (%40 RH) deneyi sonuçları.	86
Çizelge 3.21 : Dokuz lamelli numunelerin kuruma ortamında (%40 RH) dayanım değerleri.	87
Çizelge 3.22 : : Dört lamelli lamine ahşap numuneler için kuruma (%40 RH) deneyi sonuçları.	89

Çizelge 3.23 : Dört lamelli numunelerin kuruma ortamında (%40 RH) dayanım değerleri.	90
Çizelge 3.24 : Masif ladin ahşap numuneler için kuruma (%40 RH) deneyi sonuçları.	92
Çizelge 3.25 : Masif ladin ahşap numuneler için (%40 RH) deneyi sonuçları.	94
Çizelge 3.26 : Masif ladin numunelerin kuruma ortamında (%40 RH) dayanım değerleri.	96
Çizelge 3.27 : A-22 Kodlu (9 lamelli) numunenin şişme (uzama) şekil değiştirme çizelgesi.	98
Çizelge 3.28 : A-23 Kodlu (9 lamelli) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme çizelgesi.	99
Çizelge 3.29 : A-24 Kodlu (9 lamelli) numunenin şişme-uzama şekil değiştirmesi çizelgesi.	100
Çizelge 3.30 : B-22 Kodlu (4lamelli) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme çizelgesi.	101
Çizelge 3.31 : B-23 Kodlu (4 lamelli) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme çizelgesi.	102
Çizelge 3.32 : B-24 Kodlu (4 lamelli) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme çizelgesi.	103
Çizelge 3.33 : : L-22 Kodlu (masif ladin) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme çizelgesi.	104
Çizelge 3.34 : L-23 Kodlu (masif ladin) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme çizelgesi.	105
Çizelge 3.35 : L-24 Kodlu (masif ladin) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme çizelgesi.	106
Çizelge 3.36 : A-46 Kodlu (9 lamelli) numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme çizelgesi.	107
Çizelge 3.37 : A-47 Kodlu (9 lamelli) numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme çizelgesi.	108
Çizelge 3.38 : A-48 Kodlu (9 lamelli) numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme çizelgesi.	109
Çizelge 3.39 : B-46 Kodlu (4 lamelli) numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme çizelgesi.	110
Çizelge 3.40 : B-47 Kodlu (4 lamelli) numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme çizelgesi.	111
Çizelge 3.41 : B-48 Kodlu büzülme-kısalma şekil değiştirme çizelgesi.	112
Çizelge 3.42 : L-46 Kodlu masif ladin numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme çizelgesi.	113
Çizelge 3.43 : L-47 Kodlu masif ladin numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme çizelgesi.	114
Çizelge 3.44 : L-48 Kodlu masif ladin numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme çizelgesi.	115
Çizelge 3.45 : 20C°'de bekletilen numuneleri dayanım, elastisite modülü değerleri.	119
Çizelge 3.46 : Numunelerin sıcaklığa bağlı elastisite modülü ve basınç dayanımları çizelgesi.	127
Çizelge 3.47 : D ve E kodlu numunelerin sıcaklığa bağlı elastisite modülü ve basınç dayanımı ortalamaları grafiği.	127
Çizelge 3.48 : Lifleri yük yönüne ters olan numunelerin dayanım, elastisite modülü çizelgesi.	130
Çizelge 3.49 : Ultra ses deneyi sonuçları.	131
Çizelge 3.50 : Silindir numuneler için ultra-ses deney sonuçları.	132
Çizelge 3.51 : 20C°'de numunelerin yük ve dayanım değerleri.	133
Çizelge 3.52 : 50C°'de bekletilen numunelerin dayanım ve mukavemet değerleri.	134

Çizelge 3.53 : 75C°'de bekletilen numunelerin dayanım ve mukavemet değerleri.....	134
Çizelge 3.54 : 100C°'de bekletilen numunelerin dayanım ve mukavemet değerleri.	135
Çizelge 3.55 : Tutkalda kayma deneyi değerleri.....	146
Çizelge 3.56 : Numunelerin aderans deneyi sonuçları.	148





ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1: Chapel Köprüsü, Luzern/İsviçre, yapım; 1333 (Url-1)	1
Şekil 2.2: Tracheid hücreleri (Ansel, 2015).....	6
Şekil 2.3: Yumuşak ağaç hücre kesiti (Url-2).....	6
Şekil 2.4: Yumuşak ve sert ağaç hücre yapısı (Ansel, 2015).....	7
Şekil 2.5: Sert ağaç hücre kesiti (Url-2).....	8
Şekil 2.6: Ağacın bölümleri (Desch ve Dinwoodie, 1996)	8
Şekil 2.7: Gözle görülebilen öz ışınlar (Stalnaker ve Harris, 1989)..	10
Şekil 2.8: Ağaç kesiti, öz odun - diri odun (Url-3).....	10
Şekil 2.9: Bahar odunu-yaz odunu (Url-4).	11
Şekil 2.10: Gözenek yapısı (Url-3)	11
Şekil 2.11: Ahşabın eksenleri	12
Şekil 2.12: Ahşabın eksenleri; A: Enine, B: Radyal, C: Teğetsel (Tsoumis,1991)...	13
Şekil 2.13 : Ahşapta adsorpsiyon ve desorpsiyon sonucu oluşan histerezis (Berkel, 1970).	16
Şekil 2.14: a; kurumaya maruz kalan ahşap kesit, b; ıslanmaya maruz kalan ahşap kesit (Welling, 2010) ...	18
Şekil 2.15: Liflere dik doğrultuda çekme gerilmesi gösteren ahşap elemanlar (Gustafsson, 2003).....	28
Şekil 2.16: Oslo Leonardo da Vinci Köprüsü (Url-5).	31
Şekil 2.17: Richmond Olimpik Oval spor salonu. (Url-6).....	32
Şekil 2.18: Glulamın üretim aşamaları (Ansel, 2015).....	33
Şekil 2.19: Lamine ahşap yatay ve düşey birleşim şekli (Glulam handbook, 2003).	34
Şekil 2.20: Parmak birleşim profili (TS EN 14080,2013).	34
Şekil 2.21 : Glulamda parmak uzunluğu ve basınç dayanımı arasındaki ilişki (TS EN 14080, 2013).	35
Şekil 2.22:Parmak birleşim konfigürasyonları (Bustos, 2003).....	36
Şekil 2.23: Glulam kirişlerde tipik laminasyon düzenlemesi ve parmak birleşim aralığı (Glulam handbook, 2003) ...	37
Şekil 2.24: Lamine ahşap bağlantı örneği (Url-7).....	39
Şekil 2.25: Gömülmüş gizli bağlantılar epoksi türü yapıştırıcılar ile malzemeye sabitleniyor (Url-8).....	39
Şekil 2.26: Moment karşıtı bağlantı tipi (Bainbridge ve Mettem, 1998).	40
Şekil 3.1: Deneylerde kullanılan numune tipleri. Foto a; A, B, L, M, Me, N kodlu kare prizma numuneler, foto b; E ve D kodlu silindir numuneler, foto c; La kodlu küp numuneler; foto d; K kodlu numuneleri, e; C kodlu silindir numuneleri, f; V kodlu silindir numuneler.	45
Şekil 3.2: Islanma-kuruma deneylerinde kullanılan A, B ve L kodlu numuneler.	47
Şekil 3.3: Islanma-kuruma deneylerinde kullanılan La kodlu masif ladin numune...	47
Şekil 3.4: Kare kesitli test numune örnekleri.....	48
Şekil 3.5: Şişme-büzülme deney düzeneği.....	48
Şekil 3.6: Şişme büzülme deneyi numune örnekleri..	48
Şekil 3.7: Silindir numune örnekleri çizimi	49
Şekil 3.8 : a: Lifleri yük yönüne paralel silindir numuneler, b: Lifleri yük yönüne dik silindir numuneler.	50
Şekil 3.9: Ultrases ve elastisite modü tayini deneyi için silindir numune örnekleri...	50

Şekil 3.10: Ultrases deneyi için kullanılan kare kesitli prizma numune örnekleri	51
Şekil 3.11: Sıcaklığa dayanıklılık testleri için 75C°'ye konulan numuneler	51
Şekil 3.12: Tutkalda kayma deneyi numune çizimleri	52
Şekil 3.13: Kayma deneyi numuneleri	52
Şekil 3.14: Aderans deney düzeneği çizimi	53
Şekil 3.15: Form + Test Seidner D 7940 marka pres. Form + Test Seidner D 7940 marka pres.	54
Şekil 3.16: Prüf Und Mess MFL Systeme Çekme ve Eğilme cihazı	55
Şekil 3.17: Kumpass ve Precisa marka tartı.	55
Şekil 3.18: Rötire cihazı	56
Şekil 3.19: Prolab marka fırın, Espec marka iklim dolabı	56
Şekil 3.20: Tico marka ultra-ses cihazı, Testo marka nem ölçer	57
Şekil 3.21: Memmert marka fırın.	57
Şekil 3.22: Makita marka planya ve Makita marka yatar	58
Şekil 3.23: Scepachh marka torna ve Bosch marka zımpara	58
Şekil 3.24: Aderans deneyi için pull off cihazı	58
Şekil 3.25 : İklim dolabı.	59
Şekil 3.26: Klima dolabının içine yerleştirilen numuneler.	60
Şekil 3.27: Liflere dik eğilme-çekme deneyi çizimi	60
Şekil 3.28: 4 lamelli B kodlu ve masif ladin L kodlu numunelerin eğilme dayanımı testi uygulaması.	61
Şekil 3.29 : Ladin numuneye liflere dik ve liflere paralel doğrultuda basınç uygulaması.	61
Şekil 3.30: Şişme-büzülme deney düzeneği	62
Şekil 3.31: Elastisite Modülü Tayini deneyi silindir numune örneği	62
Şekil 3.32: Deformasyon ölçüm çerçevesi	63
Şekil 3.33: Elastisite modülü tayini için yük altında şekil değiştirme okumaları	64
Şekil 3.34 :Ultra-ses deney düzeneği	65
Şekil 3.35: Kare kesitli masif ladin numune örnekleri	66
Şekil 3.36: 50°C'de bekletilen numune örnekleri	66
Şekil 3.37: 75°C'de bekletilen numune örnekleri	67
Şekil 3.38 : 100°C'de bekletilen numune örnekleri	68
Şekil 3.39: Tutkalda kayma deneyi numune örneği	70
Şekil 3.40: Çekme deneyi numuneleri	70
Şekil 3.41: Çekme deneyi sonrası kopma şekli örneği.	71
Şekil 3.42 : Tutkal çekme deneyi düzeneği.	71
Şekil 3.43: Besmak marka aderans deneyi cihazı ve deney uygulaması	72
Şekil 3.44: Aderans deneyi deney düzeneği	73
Şekil 3.45: Kuvvete göre numunelerin lif yönü düzeni	73
Şekil 3.46: Aderans deneyi için üretilen numune tipleri	74
Şekil 3.47 : A numunesi ıslanmada eğilme-çekme dayanımı grafiği.	76
Şekil 3.48: A numunesi ıslanmada liflere dik basınç dayanımı grafiği	77
Şekil 3.49: A numunesi ıslanmada liflere paralel basınç dayanımı grafiği	77
Şekil 3.50: B numunesi ıslanmada eğilme-çekme dayanımı grafiği	79
Şekil 3.51 : B numunesi ıslanmada liflere dik basınç dayanımı grafiği	80
Şekil 3.52: B numunesi ıslanmada liflere paralel basınç dayanımı grafiği	80
Şekil 3.53: Özgül ağırlığı yüksek olan L-5 kodlu numune	81
Şekil 3.54: Masif ladin numunede ıslanmada eğilme dayanımı grafiği	84
Şekil 3.55: Masif ladin numunede ıslanmada liflere dik basınç dayanımı grafiği	85
Şekil 3.56: Masif ladin numunede ıslanmada liflere paralel basınç dayanımı grafiği	85
Şekil 3.57: Yük ekseninde budak olan A-29 kodlu numune.	87
Şekil 3.58 : A numunesinde (9 lamelli) kurumada eğilme dayanımı grafiği	88
Şekil 3.59: A numunesinde (9 lamelli) kurumada liflere dik basınç dayanımı grafiği	88

Şekil 3.60: A numunesinde (9 lamelli) kurumada liflere paralel basınç dayanımı grafiği	88
Şekil 3.61: B numunesinde (4 lamelli) kurumada eğilme dayanımı grafiği.	91
Şekil 3.62: B numunesinde (4 lamelli) kurumada liflere dik basınç dayanımı grafiği.....	91
Şekil 3.63: B numunesinde (4 lamelli) kurumada liflere paralel basınç dayanımı grafiği	91
Şekil 3.64 : Masif ladin La-57 ve La-58 kodlu numuneler..	93
Şekil 3.65: La kodlu masif ladin numune örnekleri.....	95
Şekil 3.66: Masif ladin La-83, La-84 ve La-85 kodlu numuneler	96
Şekil 3.67: Masif ladin numunede kuruma ortamında eğilme dayanımı grafiği.	97
Şekil 3.68 : Masif ladin numunede kurumada liflere dik basınç dayanımı grafiği	97
Şekil 3.69: Masif ladin numunede kurumada liflere paralel basınç dayanımı grafiği.....	97
Şekil 3.70: A-22 Kodlu (9 lamelli) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme grafiği.....	99
Şekil 3.71: A-23 Kodlu (9 lamelli) numunenin zamana bağlı şişme şekil değiştirme grafiği.....	100
Şekil 3.72: A-24 Kodlu (9 lamelli) numunenin zamana bağlı şişme-uzama şekil değiştirme grafiği.....	101
Şekil 3.73: B-22 Kodlu (4 lamelli) numunenin zamana bağlı şişme-uzama şekil değiştirme grafiği.....	102
Şekil 3.74: B-23 Kodlu (4 lamelli) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme grafiği.....	103
Şekil 3.75 : B-24 Kodlu (4 lamelli) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme grafiği.....	104
Şekil 3.76 : L-22 Kodlu (masif ladin) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme grafiği.....	105
Şekil 3.77: L-23 Kodlu (masif ladin) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme grafiği.....	106
Şekil 3.78: L-24 Kodlu (masif ladin) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme grafiği.....	107
Şekil 3.79 : A-46 Kodlu (9 lamelli) numunenin büzülme şekil değiştirme grafiği....	108
Şekil 3.80: A-47 Kodlu (9 lamelli) numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme grafiği.....	109
Şekil 3.81: A-48 Kodlu (9 lamelli) numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme grafiği.....	110
Şekil 3.82: B-46 Kodlu (4 lamelli) numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme grafiği.....	111
Şekil 3.83 : B-47 Kodlu (4 lamelli) numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme grafiği.....	112
Şekil 3.84 : B-48 Kodlu (4 lamelli) numunenin büzülme şekil değiştirme grafiği....	113
Şekil 3.85 : L-46 Kodlu masif ladin numunenin büzülme şekil değiştirme grafiği..	114
Şekil 3.86: L-47 Kodlu masif ladin numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme grafiği.....	115
Şekil 3.87: L-48 Kodlu masif ladin numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme grafiği.....	116
Şekil 3.88: a. Lifleri yük (kuvvet) yönüne paralel numune, b. Lifleri yük (kuvvet) yönüne dik numune.	116
Şekil 3.89 : Numunelerin yük altında şekil değiştirme okumaları	117
Şekil 3.90: D-1 Numunesi için 20C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği	117
Şekil 3.91: D-2 Numunesi için 20C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği	118
Şekil 3.92 : D-3 Numunesi için 20C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği..	118
Şekil 3.93: E-1 numunesi için 20C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.	118

Şekil 3.94 E-2 numunesi için 20C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği	119
Şekil 3.95: E-3 Numunesi için 20C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.	119
Şekil 3.96 : D-6 Numunesi için 50C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği	120
Şekil 3.97 : D-7 Numunesi için 50C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği	120
Şekil 3.98 : D-8 Numunesi için 50C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği..	121
Şekil 3.99: E-6 Numunesi için 50C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği	121
Şekil 3.100: E-7 Numunesi için 50C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği	121
Şekil 3.101: E-8 Numunesi için 50C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.	122
Şekil 3.102 : D-9 Numunesi için 75C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği	122
Şekil 3.103 : D-10 Numunesi için 75C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği	122
Şekil 3.104: D-11 Numunesi için 75C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği	123
Şekil 3.105 : E-9 Numunesi için 75C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği	123
Şekil 3.106: E-10 Numunesi için 75C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği	123
Şekil 3.107: E-11 Numunesi için 75C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği	124
Şekil 3.108 : D-12 Numunesi için 100C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği..	124
Şekil 3.109: D-13 Numunesi için 100C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.	125
Şekil 3.110: D-14 Numunesi için 100C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği	125
Şekil 3.111: E-12 Numunesi için 100C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.	125
Şekil 3.112 : E-13 Numunesi için 100C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği	126
Şekil 3.113 : E-14 Numunesi için 100C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği	126
Şekil 3.114 : D-16 kodlu numunenin lifleri yük yönüne ters gerilme şekil değiştirme grafiği.....	128
Şekil 3.115: D-17 kodlu numunenin lifleri yük yönüne ters gerilme şekil değiştirme grafiği.....	128
Şekil 3.116: D-18 kodlu numunenin lifleri yük yönüne ters gerilme şekil değiştirme grafiği.....	128
Şekil 3.117: E-16 kodlu numunenin lifleri yük yönüne ters gerilme şekil değiştirme grafiği.....	129
Şekil 3.118 : E-17 kodlu numunenin lifleri yük yönüne ters gerilme şekil değiştirme grafiği.....	129
Şekil 3.119 : E-18 kodlu numunenin lifleri yük yönüne ters gerilme şekil değiştirme grafiği.....	129
Şekil 3.120: Lifleri yük yönüne ters dokuz lamelli D-16 kodlu numuneye basınç dayanım testi uygulaması	130
Şekil 3.121 : Lifleri yük yönüne dik dört lamelli E-18 kodlu numuneye basınç dayanım testi uygulaması	131
Şekil 3.122: Malzemede sıcaklık dayanım ilişkisini incelemek için kodlanan ve 75C°'ye konulan numuneler	133
Şekil 3.123 : 20C°'de eğilme-çekme mukavemeti için numunelerin karşılaştırma grafiği.....	136
Şekil 3.124: 50C°'de eğilme-çekme mukavemeti için numunelerin karşılaştırma grafiği.....	136
Şekil 3.125: 75C°'de eğilme-çekme mukavemeti için numunelerin karşılaştırma grafiği.....	137
Şekil 3.126 : 100C°'de eğilme-çekme mukavemeti için numunelerin karşılaştırma grafiği.....	137
Şekil 3.127: 20C°'de liflere dik basınç mukavemeti için numunelerin karşılaştırma grafiği.....	138
Şekil 3.128: 50C°'de liflere dik basınç mukavemeti için numunelerin karşılaştırma grafiği.....	138
Şekil 3.129: 75C°'de liflere dik basınç mukavemeti için numunelerin karşılaştırma grafiği.....	139
Şekil 3.130 : 100C°'de liflere dik basınç mukavemeti için numunelerin karşılaştırma grafiği.....	139

Şekil 3.131 : 20C°'de liflere paralel basınç mukavemeti için numunelerin karşılaştırma grafiği	140
Şekil 3.132 : 50C°'de liflere paralel basınç mukavemeti için numunelerin karşılaştırma grafiği	140
Şekil 3.133: D75C°'de liflere paralel basınç mukavemeti için numunelerin karşılaştırma grafiği	141
Şekil 3.134 : 100C°'de liflere paralel basınç mukavemeti için numunelerin karşılaştırma grafiği	141
Şekil 3.135: 4 lamelli M numunesinin sıcaklığa bağlı eğilme mukavemeti karşılaştırma grafiği.....	142
Şekil 3.136: 4 lamelli M numunesinin sıcaklığa bağlı liflere dik basınç mukavemeti karşılaştırma grafiği.....	142
Şekil 3.137 : 4 lamelli M numunesinin sıcaklığa bağlı liflere paralel basınç mukavemeti karşılaştırma grafiği..	143
Şekil 3.138: 9 lamelli N numunesinin sıcaklığa bağlı eğilme-çekme mukavemeti karşılaştırma grafiği.....	143
Şekil 3.139: 9 lamelli N numunesinin sıcaklığa bağlı liflere dik basınç mukavemeti karşılaştırma grafiği.....	144
Şekil 3.140: 9 lamelli N numunesinin sıcaklığa bağlı liflere paralel basınç mukavemeti karşılaştırma grafiği.	144
Şekil 3.141 : Masif ladin L numunesinin sıcaklığa bağlı eğilme-çekme mukavemeti karşılaştırma grafiği.....	145
Şekil 3.142 : Masif ladin L numunesinin sıcaklığa bağlı liflere dik basınç mukavemeti karşılaştırma grafiği.....	145
Şekil 3.143 : Masif ladin L numunesinin sıcaklığa bağlı liflere paralel basınç mukavemeti karşılaştırma grafiği..	146
Şekil 3.144: Sıcaklığa bağlı tutkalda kayma mukavemetlerinin karşılaştırma grafiği.....	147
Şekil 3.145 : Aderans deney düzeneği, numune örnekleri ve deney sonrası kopma anı	147
Şekil 3.146 : Numunelerin aderans deneyi çekme dayanımı karşılaştırma grafiği.....	148
Şekil 4.1: Islanma ortamında eğilme mukavemeti testi numune karşılaştırma grafiği.....	149
Şekil 4.2: Islanma ortamında liflere dik basınç mukavemeti testi numune karşılaştırma grafiği.....	150
Şekil 4.3: Islanma ortamında liflere paralel basınç mukavemeti testi numune karşılaştırma grafiği..	150
Şekil 4.4: Kuruma ortamında eğilme mukavemeti testi numune karşılaştırma grafiği.....	151
Şekil 4.5: Kuruma ortamında liflere dik basınç mukavemeti testi numune karşılaştırma grafiği.....	152
Şekil 4.6: Kuruma ortamında liflere paralel basınç mukavemeti testi numune karşılaştırma grafiği	152
Şekil 4.7 : Numunelerin RH %90'da şişme-uzama karşılaştırma grafiği..	154
Şekil 4.8: Numunelerin RH %90'da şişme-uzama karşılaştırma grafiği.	154
Şekil 4.9: 20C°'de bekleyen, dokuz lamelli ladin lamine D kodlu numuneler ile dört lamelli ladin lamine E kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme karşılaştırma grafiği	155
Şekil 4.10: 50C°'de bekleyen, dokuz lamelli ladin lamine D kodlu numuneler ile dört lamelli ladin lamine E kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme karşılaştırma grafiği.	156

Şekil 4.11: 75C°'de bekleyen, dokuz lamelli ladin lamine D kodlu numuneler ile dört lamelli ladin lamine E kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme karşılaştırma grafiği	156
Şekil 4.12: 100C°'de bekleyen, dokuz lamelli ladin lamine D kodlu numuneler ile dört lamelli ladin lamine E kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme karşılaştırma grafiği	156
Şekil 4.13: Dokuz lamelli lamine D kodlu numuneler ile dört lamelli ladin lamine E kodlu numunelerin lifleri yüke dik yönde gerilme-şekil değiştirme karşılaştırma grafiği.	157
Şekil 4.14: Dokuz lamelli ladin lamine D kodlu numunelerin 20C°, 50C°, 75C° ve 100C°'de elde edilen gerilme – şekil değiştirme karşılaştırma grafiği.....	158
Şekil 4.15: Dört lamelli ladin lamine E kodlu numunelerin 20C°, 50C°, 75C° ve 100C°'de elde edilen gerilme – şekil değiştirme karşılaştırma grafiği.....	158
Şekil 4.16: D kodlu ve E kodlu numunelerin sıcaklık artışına bağlı elastisite modülü değişimi karşılaştırma grafiği.	159
Şekil 4.17: Dokuz lamelli ladin lamine D kodlu numunelerin lifleri yük yönüne dik ve paralel gerilme-şekil değiştirme karşılaştırma grafiği.....	159
Şekil 4.18 : Dört lamelli ladin lamine E kodlu numunelerin lifleri yük yönüne dik ve paralel gerilme-şekil değiştirme karşılaştırma grafiği.....	160
Şekil 4.19: Masif ladin ve masif meşe numunelerin ses hızı birim hacim ağırlık grafiği.	160
Şekil 4.20: Numunelerin ses hızı-birim hacim ağırlık karşılaştırma grafiği	161
Şekil 4.21: D ve E kodlu numunelerin basınç dayanımı-ses hızı karşılaştırma grafiği.....	161
Şekil 4.22: D ve E kodlu numunelerin elastisite modülü-ses hızı karşılaştırma grafiği.....	162
Şekil 4.23: Numunelerin sıcaklığa bağlı eğilme-çekme mukavemeti karşılaştırma grafiği.....	163
Şekil 4.24: Numunelerin sıcaklığa bağlı liflere dik basınç mukavemeti karşılaştırma grafiği.....	163
Şekil 4.25: Numunelerin sıcaklığa bağlı liflere paralel basınç mukavemeti karşılaştırma grafiği.....	164
Şekil 4.26 : Epoksi tutkalı kullanılan aderans deneyleri için karşılaştırma grafiği..	165
Şekil 4.27: MUF tutkalı kullanılan aderans deneyleri için karşılaştırma grafiği.	165

MASİF VE LAMİNE AHŞABIN DURABİLİTESİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ORTAM ŞARTLARININ ETKİSİ

ÖZET

Enerji kaynaklarının tükendiği günümüzde yapı malzemesi seçiminde önceliği geri dönüşümü olabilen, üretimi sırasında çevreye zararı olmayan ve enerji verimi yüksek malzemeler almaktadır. Bu anlamda ahşap beklenen performansları fazlasıyla karşılamakta ve öncü yapı malzemelerinin başında gelmektedir. Masif ahşabın boyunun limitli olduğu da bir gerçektir. Lamine ahşap ya da artık dilimize yerleşmiş olan glulam ahşabın ilk mühendislik ürünüdür. Ahşap parçaların, uzun parçalar elde etmek için yapıştırılması ile elde edilir. Yapılan bu çalışmanın, literatür kısmında ahşap ve lamine ahşap malzemenin yapısı, fiziksel ve mekanik özellikleri irdelenmiş deneysel çalışma kısmında ise değişen ortam şartlarına bağlı olarak malzemenin durabilitesi ve mekanik özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar literatür kısmındaki bilgiler ışığında yorumlanarak ortaya konulmuştur.

Masif ahşap iç yapısından dolayı ortotropik bir malzemedir. Yani ahşabın fiziksel ve mekanik özellikleri, boyuna, radyal ve teğetsel yönde farklılık göstermektedir. Ahşabın çalışması, nem karşısında şişmesi ve sıcaklık karşısında büzülmesi üç yönde farklılık göstermektedir. Ahşap en fazla teğet yönde, daha sonra radyal yönde en az da boyuna yönde çalışmaktadır. Bu nedenle dayanım ve elastisite modülü de üç yönde değişmektedir.

Nem dalgalanmaları, sıcaklık değişimleri şişme ya da büzülme eğilimine neden olur. Böylelikle gerilme dağılımı değişerek ahşabın yük taşıma kapasitesi etkilenir. Ahşap malzemede sıklıkla karşılaşılan ve göz önünde bulundurulması gereken en önemli durumlardan birisi de, malzeme kesiti ıslanmaya maruz kaldığında kenarlarda basınç dayanımı ve merkezde çekme dayanımı görülmesidir. Kuruma durumunda da bu durumun tam tersi olmakta yani kenarlarda çekme dayanımı merkezde basınç dayanımı gözlenmektedir. Farklı dayanımlerin meydana gelmesi malzemede özellikle liflere dik doğrultuda çatlakların oluşmasına neden olmaktadır.

Lamine ahşap elemanlarda ise elemanı oluşturan lamellerin yapısı, dizilişi ve komşu lamellerin nem içerikleri önem kazanmaktadır. Standartlara bakıldığında, mobilya üretiminde kullanılacak lamine elemanlarda komşu lameller arasındaki nem içeriği farkı %2'yi, lamine kirişlerde ise komşu lameller arasındaki nem içeriği farkı %4'ü geçerse bozulmalar ve çatlaklar başlar. Farklı nem içeren lamellerde nem taşınımı yavaş olduğundan büyük elemanlar genelde kesit boyunca düzgün olmayan nem içeriği gösterir. Böylelikle iç gerilmeler oluşabilecek ve oluşan bu gerilmeler çatlaklara neden olabilecektir. Lamine elemanların boyutsal değişimlerini minimize etmek için, elemanlar montaj öncesi, karşılaşılabilecek denge nem içeriğine kadar kurutulmalıdır. Yoksa sıkıştırılmış büzülme deformasyonu meydana gelir. Bunun sonucunda da liflere dik doğrultuda gerilme ve buna bağlı olarak hasar oluşur.

Yapılan deneysel çalışmada masif ladin ahşap ve ladin lamine ahşap tercih edilmiştir. Lamine ahşap numuneler de dört lamelli ladin ve dokuz lamelli ladin numuneler olarak hazırlanmıştır. Malzemelerin durabilitesini ve mekanik özelliklerine ortam şartlarının etkisini inceleyebilmek için fiziksel ve mekanik deneyler

uygulanmıştır. Islanma ve kurumaya maruz kalan numunelere uygulanan dayanım testlerine bakıldığında deney programında belirlenen altı haftalık sürede dayanım değerlerinde ciddi anlamda bir etkilene görülmemiştir. Malzemedeki budak, çatlak, lamine elemanlarda lamellerin iyi yapışmaması gibi yapısal özellikler dayanım değerlerini azaltma konusunda daha etkili olmuştur. Koyu renk yıllık halkalara sahip numunelerde daha yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir. Yıllık halka sayısı da arttıkça dayanımın arttığı gözlenmiştir. Yaz odunu fazla olan masif ladin numunelerde liflere dik basınç ve liflere paralel basınç dayanım değeri yüksek çıkmıştır. Bunun yanında lamine numunelerin bazılarında küçük çatlaklar meydana gelmiştir. Islanma ve kurumaya bağlı olarak lamellerde oluşan iç gerilmeler, özellikle bölgesel gerilmeler çatlakların oluşmasına neden olmuştur. Ahşabın liflere dik yönünün dayanım açısından en zayıf yönü olduğu gözlenmiştir.

Şişme-büzülme deneylerinde lamine ladin numunelerin masif ladin numunelere göre daha fazla uzama davranışı gösterdiği sonucuna varılmıştır. Belli bir nem değerine kadar kurutulan masif ladin numuneler ıslanma ve kuruma ortamına maruz kaldıklarında daha kararlı bir davranış göstererek rijitliklerini korumaktadır. Farklı lamel sayısındaki numuneler farklı çalışma davranışı göstermiştir. Bu durum da lamine numuneleri oluşturan lamellerin yapısındaki farklılıkla ve bazı lamellerin bünyesine daha fazla su çekerek şişme davranışı gösterirken bazı lamellerin nemden daha az etkilenecek daha az çalışma göstermesi ile açıklanabilir. Aynı durum kurumaya maruz kalan numunelerdeki kılma davranışı için de geçerlidir. Şişme ve büzülme etkisi ile numunelerde gözle görülür bir çarpılma meydana gelmiştir. Masif ladin numuneler bütün bir parça halinde deformasyona uğrarken kompozit bir malzeme olan lamine numunelerde lamellerin herbiri farklı miktarlarda çarpılma davranışı göstermişlerdir.

Elastisite modülü tayini deneylerinde normal oda sıcaklığında $20^{\circ}\pm 2^{\circ}$ 'de dört lamelli silindirik ladin numunelerin elastisite modülü değerleri dokuz lamelli silindirik ladin numunelerden yüksek çıkmıştır. Sıcaklığın malzemedeki elastisite modülü değeri üzerindeki etkisini inceleyebilmek için numuneler 50° , 75° ve 100° 'de 14 gün süre ile bekletilmiş ve ölçümler yapılmıştır. Sıcaklık etkisi ile iki tip ladin lamine numune için de elastisite modülü değerinde bir azalma olmakla beraber numune türleri arasında önemli bir farklılık gözlenmemiştir. Bu noktada lamellerin yapısı, dizilişi ve tutkalın sıcaklık karşısındaki davranışı etkili olmakta ve malzemenin şekil değiştirme rijitliğini etkilemektedir.

Sıcaklığın malzemenin dayanıklılığı ile ilişkisini irdeleyebilmek için numuneler belirlenen 20° , 50° , 75° ve 100° 'de bekletilmiş ve mekanik deneylere tabi tutulmuştur. Sıcaklık etkisi ile dört lamelli numunelerin liflere dik eğilme dayanımı değerlerinde azalma görülürken dokuz lamelli numunelerde önce azalma görülürken daha sonra artış gözlenmiştir. Tutkalın belirlenen sıcaklık artışına kadar bir rijitlik kazandığı sonucuna varılabilir. Bunun yanında masif ladin numunelerin eğilme dayanımında ciddi bir değişim söz konusu olmamıştır. Sıcaklık etkisi ile dört lamelli lamine ladin numunelerin liflere dik basınç mukavemetinde önce bir miktar artış daha sonra sıcaklık artışına bağlı olarak azalma gözlenirken, dokuz lamelli lamine ladin numunelerin liflere dik basınç mukavemetinde artış gözlenmiştir. Dört lamelli lamine ladin numunelerin ve dokuz lamelli lamine ladin numunelerin, liflere paralel basınç mukavemetinde sıcaklık artışına paralel bir artış söz konusudur. Masif ladin numunelerde ise sıcaklığın artışı ile liflere dik basınç mukavemetinde azalma görülürken, liflere paralel basınç mukavemetinde artış görülmüştür. Sıcaklık etkisi ile budak olan numunelerde budakların ayrıştığı hatta bazılarında düştüğü gözlenmiştir.

Tutkalla sıcaklık artışının ilişkisini ortaya koyabilmek için tutkalda kayma deneyi programlanmıştır. İlgili standarda bağlı kalınarak numune örnekleri hazırlanmış ve deney 20° , 50° , 75° ve 100° için uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında sıcaklık artışının tutkalda kayma dayanımını yüzde elli oranında

düşürdüğü sonucu elde edilmiştir. Sıcaklık artışı malzemede de dönme etkisine neden olmuş bunun sonucunda da kopmalar daha çabuk olmuştur. Kopmaların sıklıkla tutkal kısmından ve gevrek bir kırılma davranışı göstermesi ile anlaşılmıştır.

Ahşapta ultrases hızını ve süresini ölçerek ahşabın boşluk yapısı, kusur ve çatlakları, dayanımı hakkında fikir yürütebilmek için hasarsız yöntem kabul edilen ultra-ses deney yöntemi uygulanmıştır. Bazı numunelerde ses hızı oldukça düşük çıkmıştır. Bu tip numunelerde iç kısımda çatlak olabileceği tahmin edilmiştir. Masif ladin numunelerde birim hacim ağırlığı yüksek olan numunelerde ses hızı daha yüksek çıkmıştır. Böyle bir genelleme lamine numuneler için geçerli değildir. Lamine ladin numunelerde ses geçiş hızında diğer deneylerde olduğu gibi lamellerin dizilişi, yapısı daha etkili olmaktadır.

Ahşap numunelerin yapışma mukavemetlerini ölçmek için farklı tutkal türleri için aderans deneyleri programlanmıştır. Ahşap numuneler yapıştıkları ahşap yüzeye lif yönleri farklı alternatiflerde olacak şekilde yapıştırılmışlardır. Deney metodu ile ilgili detaylı bilgi üçüncü bölümde yer almaktadır. Aderans deneylerinde ayrılmalar genelde yapışma yüzeyindeki ahşap kısımdan gerçekleşmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, lifleri yük yönüne paralel olan ahşap numunelerin epoksi ile lifleri yük yönüne paralel olan ahşap yüzeye yapıştırıldığı deney düzeneğinde en yüksek aderans dayanım değeri elde edilmiştir. Lamine numunelerin üretiminde kullanılan melamin üre formaldehit tutkalının kullanıldığı aderans deney düzeneklerinde en yüksek değer, lifleri yük yönüne dik olan ahşap numune ile lifleri yük yönüne paralel ahşap yapışma yüzeyi arasında elde edilmiştir. Deney sonuçları ile ilgili detaylı bilgi üçüncü bölümde yer almaktadır. Kompozit bir yapı malzemesi olan lamine ahşap için, malzemenin dayanıklılığı ve kendinden beklenen performansı karşılaması bakımından laminasyonda kullanılan tutkalla lameller arasında oluşacak aderans büyük önem kazanmaktadır.

Sonuç olarak ahşap hücrelerden oluşan, doğal bir malzeme olduğu için ortam şartlarından etkilenen, şartlara cevap veren ve uyum sağlayan bir malzemedir. Kullanımı sırasında yapısal özellikleri ve kullanılacağı ortam çok iyi analiz edilmeli ve detaylandırma böylelikle yapılmalıdır. Deneyisel çalışma sonuçlarına bakıldığında ahşap malzemeye laminasyon işlemi uygulandığında kompozit bir malzemeye dönüşmekte ve sahip olduğu yapısal özellikler farklılık göstermektedir. Masif ahşapta kullanılacağı yere göre yapısı, ağaçtan alındığı kısım, ağacın cinsi önemli iken lamine ahşapta lamellerin geometrik dizilişi, lamellerin her birinin ayrı ayrı yapısı, nem içerikleri, tutkalın cinsi ve uygulanışı önem kazanmaktadır. Her iki malzemenin durabilitesinde bulundukları ortamın nemi ve kendi nem değerleri, malzemelerde kusur olup olmadığı, uygulama şekli ve detayları etkilidir. Lamine ahşap elemanda, lamellerin yapısal özellikleri, yıllık halka dizilişi, diziliş sırasında bulundukları yer elemanın bütününde ve performansında büyük önem kazanmaktadır. Laminasyondan önce geometrik diziliş optimizasyonu çok iyi hesaplanmalı ve laminasyon işlemi ondan sonra gerçekleştirilmelidir. Mevcut alının aksine masif ahşap ve lamine ahşap birbirlerinin yerine kullanılabilecek alternatif malzemeler değildir. İki malzemenin de birbirinden üstünlüğü söz konusu değildir. Masif malzemenin kullanılabileceği durumlarda lamine malzeme kullanılmamalı ya da lamine malzemenin kullanılacağı durumlarda da masif ahşap kullanılmamalıdır. Aksi halde yapılan uygulama kendinden beklenen performansı karşılayamayacak, ekonomik, sağlam ve uzun ömürlü olamayacaktır. Başarılı bir mimarlık ve mühendislik yapısı elde edebilmenin yollarından birinin de doğru yerde doğru malzeme kararı verebilmekten geçtiği unutulmamalıdır.



DURABILITY OF TIMBER AND LAMINATED TIMBER AND THE EFFECTS OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS ON ITS MECHANICAL PROPERTIES

SUMMARY

Now that energy sources are coming to an end, materials that are recyclable, do not damage the environment during their production and have high energy efficiency, gain priority in the selection of building materials. In this sense, wood meets the expected performance amply and tops the list of leading building materials. It is also a fact that the length of massive wood is limited. Laminated timber or glulam, as it is now used in our language, is the first engineered product of timber. It is manufactured by bonding together wood strands to get long pieces. Glulam is a challenging material as it can be produced in any form and size in large scale constructions. The structure, physical and mechanical properties of wood and laminated timber have been examined in the literature section of this study and the change in the durability and mechanical properties due to changing environmental conditions have been analyzed in the experimental study section. The results obtained have been presented after being interpreted in the light of information given in the literature section.

Massive wood is an orthotropic material due to its internal structure. In other words, the physical and mechanical properties of wood show variance in lengthwise, radial and tangential direction. Dimensional change in wood, swelling with moisture and shrinkage due to heat shows difference in three directions. Wood shows dimensional change mostly in the tangential direction, less in the radial direction and least in the longitudinal direction. Therefore, the resistance and elasticity modules also change in three directions. In addition, different kinds of wood also show differences in dimensional change due to their different cell types. Properties of wood such as its specific weight, proportion of summer wood, grain direction, grain angle, and knots also affect its durability properties.

Humidity fluctuations and changes in temperature lead to swelling or shrinkage. Hence, stress distribution changes affect the load bearing capacity of the wood. One of the most important conditions often encountered and which should definitely be kept in mind regarding wood materials is the fact that when the section of the material is exposed to wetness, compression stress is observed at the edges and tensile stress is observed at the center. The exact opposite is observed in case of drying, i.e. tensile stress at the edges and compression stress at the center. These different stresses result particularly in cracks perpendicular to grain. Studies of literature show that stresses generated by wetness are generally greater than those that arise due to drying.

The structure of the lamellas, their geometrical configuration and the moisture content of the neighboring lamellas gain importance in laminated timber. Looking at standards shows that cracks and deformation starts if the difference in the moisture content of laminated components to be used in furniture making exceeds 2% and 4% for those in laminated beams. Since moisture carryover in lamellas containing different moisture contents is slow, large components generally show irregular moisture content along the section. Hence, this may cause interior stresses which, in turn, can cause cracks. While cracks occur inside the component in moisture

conditions, they start on the surface during the drying phase. As opposed to massive components, the local stresses in laminated components are much more than the average stresses. If the annual ring configuration of the lamellas in the section are changed or optimized, the stresses can be decreased. In order to minimize the dimensional changes of laminated components, prior to assembling, the components must be dried to the equilibrium moisture content level. Compressed shrinkage deformation will occur otherwise. This will result in stress perpendicular to the grain and in turn will result in damage.

Massive spruce wood and spruce laminated timber were selected for the experimental study conducted. The laminated timber samples were prepared as spruce with four lamellas and spruce with nine lamellas. Physical and mechanical experiments were conducted to analyze the environmental effects on the durability and mechanical properties of the materials. No significant effect was observed in the strength values of mechanical tests conducted on samples exposed to six-week long wetting and drying. Structural properties such as knots, cracks and deficient adhesion of lamellas in laminated components were more effective in reducing the strength values. Higher strength values were obtained in samples with dark colored annual rings. It was also observed that strength increased as the number of annual rings increased. Compression strength values increased in compression perpendicular to grain and parallel to grain in massive spruce samples with high levels of summer wood. In addition, some small cracks occurred in some of the spruce samples. Interior stresses and particularly local stresses in lamellas subject to wetting-drying exposure were the cause of these cracks. It was observed that the direction perpendicular to the wood grain was the weakest from the point of view of strength.

The swelling-shrinkage tests led to conclude that laminated spruce samples show more longitudinal change than massive spruce samples. When massive spruce samples which are dried up to a certain moisture content are exposed to wetting and drying they show a more determined behavior and retain their rigidity. Samples with different numbers of lamellas have shown different behavior in dimensional change. This can be explained by the difference in the structure of the lamellas constituting the laminated samples and by the fact that while some lamellas showed a swelling behavior by drawing a lot of moisture, some other lamellas were less affected by moisture and therefore, showed less dimensional change. The same situation is also valid for the shrinkage of samples exposed to drying. A noticeable distortion was observed in the samples as a result of the effect of swelling-shrinkage. While the massive spruce samples underwent distortion as a whole, in laminated samples, which are a composite material, each lamella showed different amounts of distortion.

In the modulus of elasticity determination tests, the modulus of elasticity values of the four-lamella cylindrical spruce samples at the normal room temperature of $20^{\circ}\text{C}\pm 2$ was higher than those of nine-lamella cylindrical spruce samples. Samples were kept at temperatures of 50°C , 75°C and 100°C for 15 days to determine the effect of temperature on the modulus of elasticity of the material and measurements were taken. Although there was a decrease in the modulus of elasticity values of both types of spruce laminated samples, no significant difference was observed in either type of sample. At this point, the structure of the lamellas, their configuration and the behavior of the adhesive exposed to heat was instrumental and affected the rigidity of the change of form of the material.

In order to study the relation between the strength of the material and heat, the samples were exposed to the determined temperatures of 20°C , 50°C , 75°C and 100°C and were exposed to mechanical tests. While a decrease was observed in the perpendicular to the grain bending strength values of four-lamella samples

exposed to heat, first a decrease followed by an increase was observed in the nine-lamella samples. It can be assumed that adhesive obtains rigidity up to a determined increase of temperature. However, no significant change was observed in the bending strength of the massive spruce samples. In laminated spruce samples with four lamellas, some increase due to heat was observed in the strength of compression perpendicular to grain. However, later as temperature increased a decrease was observed. In laminated spruce samples with nine lamellas an increase was observed in the compression strength perpendicular to grain. An increase parallel to the increase in temperature is observed in the compression strength parallel to grain both in four lamella laminated spruce samples and nine lamella laminated spruce samples. However, while a decrease in compression strength perpendicular to grain is observed in massive spruce samples, an increase is observed in the compression strength parallel to grain. In samples with knots, it was observed that knots shrank and even fell in some samples as a result of heat. Parallel to heat increase a twisting effect was observed in the materials and it was concluded that twisting was more pronounced in laminated samples.

A shear test in adhesive was programmed to put forth the relation between adhesive and increase in temperature. Samples were prepared abiding by the related standards and the experiment was carried out for 20C°, 50C°, 75C° and 100C°. The results have shown that increase in temperature decreased shear stress in the adhesive by fifty percent. Increase in temperature induced twisting effect in the material, too, which resulted in faster rupture. The fact that ruptures generally occurred at the bonding section and showed a brittle rupture behavior led to consider that adhesive was affected negatively by high temperature.

The ultra-sound test method considered a non-destructive method of testing and uses the speed and duration of ultrasound to determine the porous structure, defects and cracks was used get an idea about the strength of wood. The speed of sound was quite low in some samples. It was estimated that this type of samples could contain some cracks inside. The sound speed in samples of massive spruce with high unit volume weight was higher. Such a generalization is not valid for laminated samples. Just as in other tests, the configuration and structure of the lamellas is important in the ultrasound pulse velocity in laminated spruce samples.

Various pull-off tests were conducted on various types of adhesive to measure the adherence strength of timber samples. The wood samples were bonded to the wood surface with their grain in different directions. Detailed information regarding the test method is given in section three. At pull-off tests ruptures generally occurred at the wood section of the bonding surface. Results obtained showed that adherence strength values were highest in testing set-ups where timber samples with grains parallel to load direction were bonded with epoxy to a wood surface with grain parallel to load direction. The highest value obtained in pull-off test set ups where melamine urea formaldehyde adhesive which is also used in laminated timber was found between the wood samples where grains were perpendicular to the load direction and wood adherence surfaces where the grain direction was parallel to the load direction. Detailed information regarding the test results is given in section three. For laminated timber, which is a composite building material, durability of the material and its meeting the performance expected, adherence between the adhesive used in the lamination and the lamellas is of major importance.

In conclusion, as wood is a natural material consisting of cells, it is a material affected by, responding to and complying with the conditions of the environment. Its structural characteristics and the environment it will be used in should be very well analyzed and detailing should be done accordingly. Looking at the results of the experimental study shows that when lamination is applied on timber, it turns into a composite material and the structural characteristics show a serious difference.

While the structure, the part of the tree it was taken from, the kind of tree, and where it is to be used is important in the case of massive wood, the geometrical configuration of lamellas, the different structure of each lamella, their moisture content, the kind of adhesive and the way it is applied gains importance in the case of laminated timber. The surrounding moisture and the materials' own moisture value, whether or not the materials have a defect, application method and details are important in the durability of both materials. In the case of laminated timber components, the structural characteristics, the annual ring configuration and their location in the configuration process have a serious effect in the whole of the element component and its performance. The geometrical configuration optimization must be calculated very well before lamination and the lamination process must be conducted afterwards. Contrary to existing perception, massive wood and laminated timber are not alternative materials which can be used interchangeably. Neither of the two materials is superior to the other. Laminated timber cannot be used in instances where massive wood is to be used and massive wood cannot be used in cases where laminated timber is to be used. Otherwise, the application will not meet the performance expected and will not be economical, sturdy and long-lived. It must be kept in mind that one of the ways of obtaining a successful architectural and engineering structure is to make the right choice at the right time.

1. GİRİŞ

Eski zamanlardan beri yapısal amaçlı kullanılmış olan ahşap en eski yapı malzemesidir. Sandal yapımı, barınma ve köprü gibi yapılarda, kolay uygulanabilirliği ve her yerde kullanıma uygunluğundan ötürü çok yaygın olarak kullanılmıştır. Modern yapı elemanları kullanılmadan önce köprü yapımında öncü malzeme ahşaptı. En eskilerden ve hala var olan ahşap köprü Chapel Bridge 1333 yılında yapılmıştır. İsviçre'nin Luzern şehrinde yer almaktadır (Thelandersson 2003). Bu örnek, malzemenin özenli ve düzgün bir şekilde tasarlanıp, korunması durumunda mükemmel bir dayanıklılığı olduğunu göstermektedir (Şekil 1.1),



Şekil 1.1: Chapel Köprüsü, Luzern/İsviçre, yapım;1333 (Url 1).

Bu günlerde ahşap yapı malzemesi olarak çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Konutlarda, büyük ölçekli rezidanslarda, endüstri binalarında, ek olarak köprülerde ve daha birçok yapıda kullanılabilmektedir. Ahşabın diğer yapı elemanlarına kıyasla çok fazla avantajı vardır. Çevre dostudur, kolayca ger dönüşebilen bir malzemedir, üretimi sırasında çok düşük enerji tüketimine sahiptir. Ağırlığına oranla çok yüksek dayanıma sahiptir. Depremde çok iyi performans gösterir. Ek olarak ahşap çok estetik bir malzemedir. Bu sebeple mimari tasarımda çok fazla olanak sağlar.

Ahşap doğal, geri dönüşümlü ve kaynağı yenilenebilen bir yapı malzemesi olduğu için, 21. yüzyılda batı ülkelerinde artık çok katlı yapılarda da kullanılmaya başlanmıştır. Bu durumu bir ölçüde küresel ısınmaya da bağlayabiliriz. Dünyada enerjinin önemli bir kısmı, inşaat sektörü ve yapılarda kullanılmaktadır. Ahşap, üretimi çok daha az enerji gerektirdiği için, çevre açısından diğer yapı

malzemelerine nazaran daha üstündür. Çünkü çimento üretebilmek, demiri eritebilmek için çok daha fazla enerji gereklidir. Ancak ahşabın beton ve çeliğe alternatif olarak yapı malzemesi olarak rahatlıkla kullanılabilmesi için sürdürülebilir ormancılığın ülkemiz tarafından benimsenmesi gerekmektedir. Ormanların artması ve ahşap yapıların karbon depolaması, karbon ekonomisinde ülkemize büyük yararlar sağlayacaktır.

Masif ahşabın boyunun limitli olduğu da bir gerçektir. Lamine ahşap ya da artık dilimize yerleşmiş olan glulam, ahşabın ilk mühendislik ürünüdür. Ahşap parçaların, uzun parçalar elde etmek için yapıştırılması ile elde edilir. Glulam büyük ölçekli inşaatlarda herhangi bir şekilde ve ölçüde üretilebilmesinden dolayı iddialı bir malzemedir. Bazı yapılarda görülen ahşabın bozulması ya da taşıyıcılığını kaybetmesi gibi hasarlar insanlarda ahşaba karşı bir önyargı oluşmasına neden olmuştur. Fakat yapılan incelemeler göstermektedir ki bu hasarlar tamamen insan hatasından, yanlış detaylandırıp, yanlış uygulamaktan kaynaklanmaktadır. Hasar analizleri sonucu hataların en fazla yanlış varsayımlar, yetersiz yük ve hareket hesaplarından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Ortam şartlarının ve etkilerinin eksik göz önünde bulundurulması ahşap yapılarda geri dönülemez hasarlara sebep olmuştur.

1.1 Çalışmanın Amacı

Ekolojik dengelerin bozulduğu, enerji kaynaklarının tükendiği günümüzde, mimar ve mühendislerin yapı malzemesi seçerken dikkate aldıkları kriterler de değişim göstermektedir. Önceliği, üretimi sırasında çevreye zararlı olmayan, geri dönüşümlü, sürdürülebilir, enerji verimi yüksek malzemeler almaktadır. Bu anlamda ahşap çevre dostu olması, kolayca geri dönüşebilen bir malzeme olması, üretimi sırasında çok düşük enerji tüketimine sahip olması ve ağırlığına oranla çok yüksek taşıma kapasitesine sahip olması gibi üstün özelliklerinden dolayı diğer yapı malzemelerine kıyasla daha öndedir. Bu noktada yapı tasarımcıları için en önemli husus malzemenin özelliklerinin çok iyi bilinmesi ve detayların bu özellikler doğrultusunda oluşturulmasıdır. Böylece malzemeden beklenen performans özellikleri sağlanmış ve yapı ömrü uzatılmış olmaktadır. Ahşap yapısal anlamda komplike bir malzemedir. Ahşabın higroskopik ve ortotropik yapısından dolayı ortam koşullarına karşı her seferinde farklı özellikler göstermektedir. Bu durumda da ahşabın ve ahşabın endüstri ürünü malzemesi olan lamine ahşabın maruz kaldığı ortam şartlarındaki davranışı bilinmeli, tahmin edilmeli ve detaylandırma ve daha sonrasında koruma bu bilgiler doğrultusunda yapılmalıdır. Yurt dışında bu konu ile ilgili çok çalışma

olmasına rağmen lamine ahşap ülkemizde henüz yeni bir yapı malzemesidir. Malzeme konusunda daha fazla araştırma yapılması gerektiği düşünülerek masif ve lamine ahşap üzerinde doktora çalışması yapılmasına karar verilmiştir. Bu çalışmanın amacı, deneysel ve teorik olarak masif ve lamine ladin ahşabın ortam şartları karşısındaki durabilitesini incelemek ve bu şartların mekanik özellikleri üzerindeki etkisini ortaya koymaktır. Malzemeyi kullanmayı amaçlayan meslek profesyonelleri ya da adayları için bilimsel yenilik getirmek hedeflenmiştir. Lamine ahşabın yapısal anlamda kullanımının yaygınlaştırılması da çalışmanın amaçlarından biridir.

1.2 Çalışmanın Önemi

Sürdürülebilirlik tanımı genel anlamda günümüz ihtiyaçlarının gelecek nesillerin ihtiyaçlarını engellemeyecek biçimde karşılanması şeklinde yapılabilir. Amaçlanan doğal kaynakların tüketilmeden kullanılmasıdır. Hızlı nüfus artışının neden olduğu, çarpık kentleşme, hızlı ve sağlıklı sanayileşme, iklim değişiklikleri, kirliliğin artışı, canlı türlerinin azalması ve yok olması gibi faktörler ekosistemin sürdürülebilirliğini tehlikeye sokmaktadır. Bina ölçeğinde yapı tasarımcılarının üzerine düşen görevlerden biri sürdürülebilirliğe katkı sağlayan malzeme ile tasarım ve detaylandırma yapmaktır. Ahşabın ve lamine ahşabın bu noktada en doğru malzemelerin başında geldiği düşünülürse malzemenin doğru kullanılabilmesi için komplike yapısından dolayı yapısal özellikleri çok iyi bilinmesi gerekir. Bu çalışma ahşabın ve lamine ahşabın malzeme özelliklerinin paralelinde durabilite anlamında yapılan deneysel çalışmalar ve sonuçları ışığı altında meslek profesyonellerine ve üreticilere farklı bir bakış açısı katmaktadır. Aynı lamine elemandan elde edilen numunelerle yapılan deneylerde elde edilen farklı okumalar aslında lamine elemanı oluşturan lamellerin bireysel özelliklerinin malzemenin dayanımında belirleyici olduğunu göstermektedir. Belirli bir nem değerine kadar kurutulan ahşap numunelerde (± 2), çevredeki fiziksel değişimler malzemenin durabilite değerlerini ciddi anlamda etkilememektedir. Bu noktada bu tez çalışmasında da özellikle vurgulandığı gibi, lamine ahşap elemanda, lamellerin yapısal özellikleri, yıllık halka dizilişi, diziliş sırasında bulundukları yer elemanın bütününde ve performansında büyük önem kazanmaktadır.

1.3 Çalışmanın Kapsamı ve Yöntemi

Yapılan çalışma beş temel bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde çalışmanın amacı, önemi, kapsam ve yöntemine değinilmiştir. İkinci bölüm, literatür araştırması

bölümüdür. Literatür kısmında malzeme ile ilgili yayınlanan kaynaklar, yayınlar, makaleler, standartlar, bildiriler okunarak elde edilen bilgiler ışığında ahşabın yapısal, fiziksel ve mekanik özelliklerine ve lamine ahşabın üretimine ve malzeme özelliklerine değinilmiştir. Literatür kısmı daha sonra yapılan deneysel çalışmadaki deney sonuçlarını anlamada ve yorumlamada son derece etkili olmuştur. Tezin üçüncü bölümünde deneysel çalışma yer almaktadır. Yapılan deneysel çalışmada malzeme türü olarak masif ladin ve lamine ladin numuneler kullanılmıştır. Masif ladin, dokuz lamelli lamine ladin ve dört lamelli lamine deney numunelerine yapılan fiziksel ve mekanik deneyler sonucu elde edilen dayanım ve dayanıklılık değerleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Deney numuneleri mevcut deney düzeneklerine göre belirlenen ebatlarda üretilmiştir. Numunelerde yıllık halka düzeni, budak, reçine paketleri gibi kusurlar gözardı edilmiştir. Belirli bir nem değerine kadar kurutulan numuneler için bağıl nem değerleri değiştirilerek nem içeriğindeki değişimlerin malzemeye etkisi ya da bağıl nem sabit tutularak farklı sıcaklıklarda bekletilen numunelerin davranışları incelenmiştir. Malzemede ıslanma-kuruma etkisi ile oluşan boyuna şişmenin ve boyuna büzülmenin hesaplanması, farklı ortam şartları için elde edilen elastisite modülü değerleri, ultra-ses deneyi, tutkalda kayma deneyi ve aderans deneyleri de yapılan çalışmalar arasındadır. Dördüncü bölümde elde edilen deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi, beşinci ve son bölümde literatür araştırmaları ışığı altında deney sonuçlarının yorumları ve öneriler yer almaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Ahşabın Yapısı

Ticari ahşap ürünler iki grupta toplanır. Yumuşak ağaçlar (iğne yapraklı ağaçlar) ve sert ağaçlardır (yapraklı ağaçlar). Bu türleri oluşturan ağaç sınıfları da kendi içlerinde oldukça farklıdır. Ahşabın yapısı mikroskopik yapısı, makroskopik yapısı ve kimyasal yapısı olarak incelenebilir (Desch ve Dinwoodie,1996).

2.1.1 Ahşabın mikroskopik yapısı

Ahşabın temel elementi hücredir. Ahşap homojen bir cisim değildir. Çeşitli hücrelerin yan yana gelmesi ile oluşmuştur. Hücreler üç temel işlevi gerçekleştirirler. İletim, desteklemek ve depolamaktır. Ahşabın bünyesinde bulunan hücreler ölü hücrelerdir. Sadece kambiyum tabakasında yer alan parankima hücreleri canlıdır ve büyümeyi sağlarlar. Parankima hücreleri depolamaya yarar. Hem yatay hem de düşeyde yer alırlar.

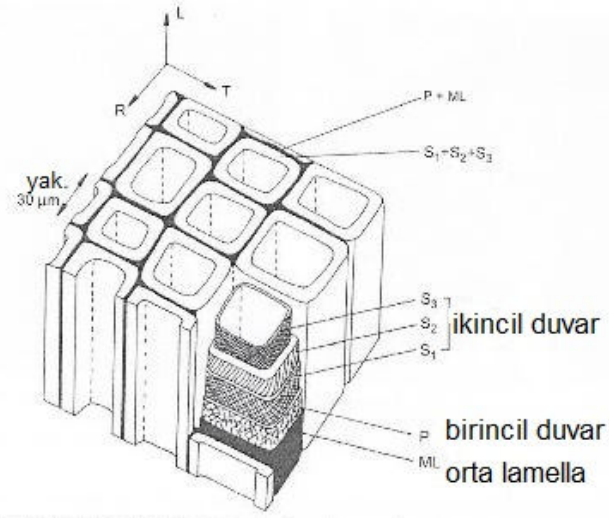
Yumuşak ağaçlarda iki hücre tipi bu üç işlevi gerçekleştirirken sert ağaçlarda dört hücre tipi aynı işlevleri gerçekleştirir (Desch and Dinwoodie,1996). Yapraklı ağaç hücreleri, iğne yapraklı ağaç hücrelerine nazaran görevleri bakımından daha komplikedirler (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1: Yumuşak ve sert ağaçlarda hücre fonksiyon çizelgesi.

Hücreler	Yumuşak Ağaç	Sert Ağaç	İşlev
Parankima	x	x	Depolama
Tracheidler	x	x	Destekleme/iletim
Fibriller		x	Destekleme
Vesseller (gözenekler)		x	İletim

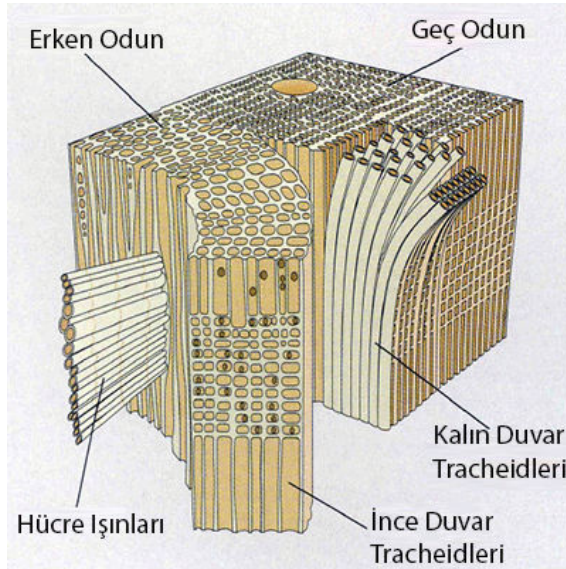
Yumuşak ağaçlar; yumuşak ağaçlarda iletim ve mekanik fonksiyonlar tek tip hücre tipi olan tracheid hücreler tarafından sağlanır. Ağacı desteklerler aynı zamanda su ve mineral tuzları kökten dallara taşırlar. Bu hücreler içi boş, iğne şeklinde ve genellikle 2,5-5.0mm boyunda, bazı tiplerde 10mm boyunda olabilmektedir. Tracheid hücreleri sıkışık şeklinde paket halinde bir araya geldikleri için kesitleri bal

peteğine benzemektedir. Yumuşak ağaçların hücrelerinin %90'ını tracheid hücreleri oluşturur (Şekil 2.2) (Berkel, 1970).



Şekil 2.2: Tracheid hücreleri (Ansel, 2015).

Depolama hücreleri parankima olarak bilinmektedir. İki çeşit hücre içermektedir. Bu iki hücrenin yapısal detayları benzemektedir. Farklılık ahşabın içindeki dağılımlarından görülmektedir. Bu hücreler tuğla şeklindedir. Yatay olarak yer aldıklarında ışın olarak bilinmektedirler. Bu ışınlar sürekli ve yüzeyseldirler. Çünkü kambiyal hücreler her bölünmelerinde bu ışınları oluştururlar. Işınlar çıplak gözle radyal yüzeylerde görülebilir. İnce yatay kanallar 0,05mm ile 0,5mm genişliğindedir. Enine ve teğetsel yüzeylerde ışınlar çıplak gözle görülmez. Bir lens yardımına ihtiyaç duyulur (Şekil 2.3) (Kollmann ve Cote, 1968).

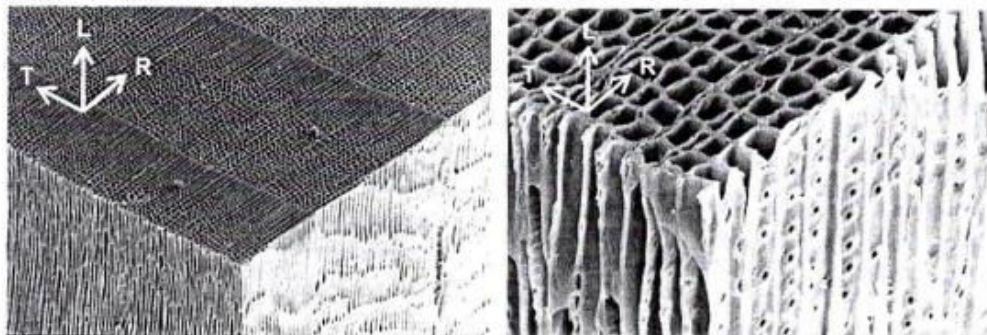


Şekil 2.3: Yumuşak ağaç hücre kesiti (Url-2).

Tracheidlerden farklı olarak gelişimini tamamladıktan sonra birkaç yıl daha canlı kalabilirler. Enine kesit, radyal ve teğetsel yönde hücreler farklı dağılım gösterir. Bu durum da ahşabın üç farklı yönde farklı davranış göstermesini açıklar. Bu durum da anizotropi olarak bilinir.

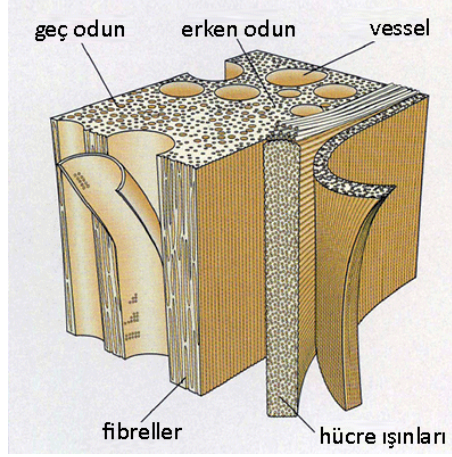
Reçine, parankima hücrelerinin içinde oluşur. Bazı türlerde reçine kanalları denilen kanallar da oluşur. Bu kanallar hücre değildir, ahşabın içinde boşluklardır. Parankima hücrelerinin epitelyumu ile yanyana dizilirler. Bu kabuklu hücreler reçineyi kanalların içine saklar. Reçine kanalları ahşapları ayırt etmek için elverişlidir. Örneğin Karaçam, Amerikan Köknarı, çam ve ladin gibi iğne yapraklı ağaçlarda daima vardır. Fakat köknar, kızılğayağ gibi iğne yapraklılarda yoktur. Ek olarak çamı, ladin, karaçam ve Amerikan köknarından ayırmak mümkündür. Çam ince duvarlı, kabuksu hücrelere sahipken diğer üç ağaç kalın duvarlı kabuksu hücrelere sahiptir (Kollmann ve Cote, 1968).

Sert ağaçlar; iğne yapraklı yumuşak ağaçlarda iletim ve destekleme fonksiyonları tracheid adında tek tip hücre tipinde gerçekleşirken sert ağaçlarda iletim hücreleri ve mekanik destek hücreleri arasında belirgin farklılık vardır. Bu ağaç türleri için trahee, tracheid, fibriller, öz ışını parankim hücreleri ve boyuna parankim hücrelerinde oluşmaktadır denilebilir. Sert ağaç hücrelerinin en tipik özelliği yumuşak ağaçlarda bulunmayan özellikle besi suyunu iletmekle görevli olan boru şeklinde trahee, vessel hücrelerinin bulunmasıdır. İletim hücreleri vesseller, mekanik destek sağlayan fibrillerden (liflerden) ayrılır. Bu özelleşmiş iletim sistemi sert ağaçları yumuşak ağaçlardan ayıran bir özelliktir (Şekil 2.4) (Kollmann ve Cote, 1968).



Şekil 2.4: Yumuşak ve sert ağaç hücre yapısı (Ansel, 2015).

Sert ağaçlardaki kambiyal hücreleri yumuşak ağaçlardakinden daha kısadır. Olgun hücreler bu kambiyal hücrelerin bölünmesinden yükselirler. Maksimum boyları nadir olarak 2mm'ye ulaşır. Bunun yanında bazı yumuşak ağaç tracheidleri 10mm'e ulaşmaktadır (Şekil 2.5) (Desch ve Dinwoodie, 1996).



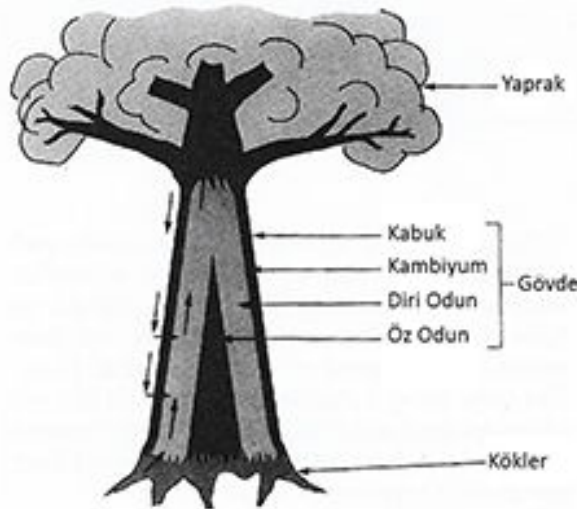
Şekil 2.5: Sert ağaç hücre kesiti (Url-2).

Sert ağaçlarda yumuşak ağaçlarda olduğu gibi aynı kambiyal hücreleri başarılı bir şekilde büyüme sağlar. Sert ağaçlarda kalın duvarlarda, yumuşak ağaçlardaki iletimi sağlayan tracheidlerin yerini vessel elemanları alır. Herbiri 0,2-0,5mm boyunda ve 20 ile 400µm çapları arasında değişen ölçülere sahiptir. Yapraklı ağaçlarda traheelerin çeperlerinin iç yüzeylerinde iğne yapraklı ağaçlardaki tracheidlerin sahip olduğundan daha fazla kalınlaşmalar görülür.

Sert ağaçlardaki parانشima hücrelerinin en önemli görevi besin depo etmektir. Bu hücreler iki tiptir. Gövde eksenine paralel uzanan boyuna parانشima hücreleri, eksene dik uzanan öz ışını parانشima hücreleri (Desch ve Dinwoodie, 1996).

2.1.2 Ahşabın makroskobik yapısı

Makroskopik özellikler çıplak gözle ya da el büyüteci ile 2-3 kere büyütülmüş şekilde görülebilen özelliklerdir. Ağaç üç ana kısımda incelenir; kök, gövde ve dallar veya yapraklar (Şekil 2.6).



Şekil 2.6: Ağacın bölümleri (Desch ve Dinwoodie, 1996).

Esas yapı malzemesi anlamında ağacın gövde kısmı dikkate alınmaktadır. Gövde kısmı enine ya da ters kesit olarak incelendiğinde kesitin genellikle yuvarlak olduğu görülmektedir. Üç ana kısım ayırt edilmektedir. Öz, odun ve kabuk. Odun ve kabuk arasında sadece mikroskop ile görülebilen kambiyum tabakası vardır (Desch ve Dinwoodie, 1996).

2.1.2.1 Öz

Öz genellikle gövdenin merkezinde yer alır. Yumuşak ağaçlarda öz belirgindir fakat sert ağaçlarda şekli, rengi ve yapısı değişir. Örneğin meşede yıldız şeklindedir, kayın ağacında üçgen, huş ve kızılâğaçta üçgen, ıhlamur, akçaağaç, dişbudak ağacında elips, ceviz, karaağaç, söğüt ve kızılçık ağacında yuvarlak ve tik ağacında kareye yakındır. Öz siyahtan beyazımsıya doğru renk çeşitliliği gösterir. Boyuna yönde en iyi şekilde görülen yapısı ya sürekli, gözenekli, odalı ya da oyuk şeklindedir (Stalnaker ve Harris, 1989).

2.1.2.2 Kambiyum

Yeni ahşap hücreleri, hücre bölünmesi ile şekillenir ve kambiyum tabakası tarafından üretilir. Yeni hücreler kambiyumun iç kısmına eklenir, ağacın çapı artar. Aynı zamanda kambiyum iç kabuğa da, iç kabuğun hemen iç kısmına da yeni hücreler ekler. Kambiyum hücrelerinin bölünmesinden sonra yeni oluşan hücreler hem boyuna hem de çap yönünde büyümeye başlar. Bu büyüme boyunca hücre duvarı ince ve esnektir.

Fakat büyümenin kapanmasından sonra ikinci bir tabaka hücre duvarına eklenir ve onu kalınlaştırır. Bu aşamada hücre duvarı başlıca selülozdur. Hücre kalınlaşması sona erdiğinde, lignin depolanır. Lignifikasyon denilen bu süreçte lifler birbirlerine yapışır (Desch ve Dinwoodie, 1996).

2.1.2.3 Yıllık halkalar

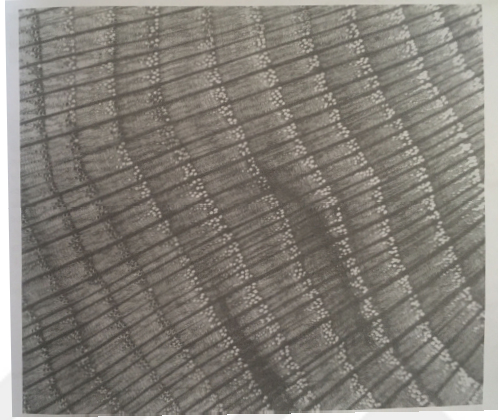
Her yıl erken odun bandı ve sonra geç odun bandı ağaca eklenir. Beraber bu iki bant bir yıllık halkayı meydana getirir. Yıllık halkalar sert ve yumuşak ağaçlarda kolaylıkla görülebilir. Genellikle yıllık halkaların geç odun kısmı erken odun kısmına göre daha koyudur. Bazı tropikal ağaçlarda yıllık halkalarda renk farkı ayırt edilemez (Kollmann ve Cote, 1968).

2.1.2.4 Öz ışınlar

Öz ışınlar ağaçtaki hücrelerin çember demeti şeklinde radyal yönde düzenlenmesidir. Yıllık halkalara diktiler ve merkezden kabuğa doğru sıralanırlar.

Öz ışınlar bazı türlerde göze çarparken bazılarında da hiç görünmezler (Şekil 2.4). Ağaçta besinlerin depolanmasını ve yatay olarak taşınmasını sağlarlar. Işınlar yapısal fonksiyon için avantajdır. Boyuna hücreleri bağlarlar, böylelikle eğilme dayanımları yüksektir.

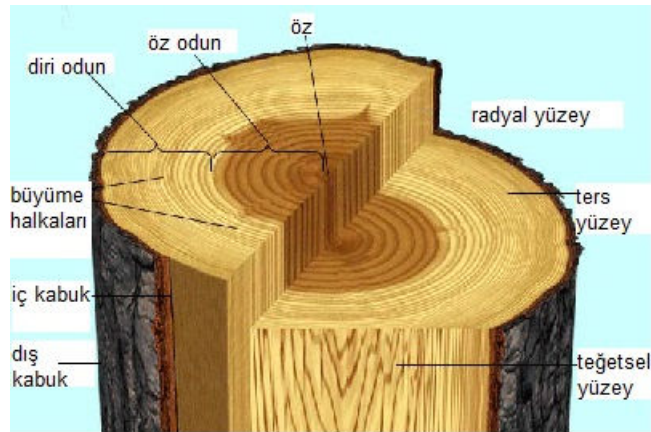
Işınların varlığı ile çekme dayanımı yıllık halkalara dik doğrultuda bir miktar olumlu sonuç verebilir. Fakat, teğetsel (yıllık halkalara paralel ve ışınlara dik) yönde çekme dayanımı ışınların etkisi ile bir miktar azalır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: Gözle görülebilen öz ışınlar (Stalnaker ve Harris, 1989).

2.1.2.5 Diri odun - öz odun

Odunun ağacın dış kısmına yakın yıllık halkalarının oluşturduğu daha yeni kısmına diri odun denir. Bu kısım ağacın yaşam sıvısını taşır. Merkeze yakın olan ve herhangi bir sıvı, besin taşınması ve depolaması yapmayan kısmına öz odun denir. Ağaç büyürken, diri odunun yeni yıllık halkaları dış kısma eklenir ve iç kısımdaki eski diri odun halkaları öz oduna dönüşür. Genellikle öz odun diri odundan daha koyu iken bazı ağaç türlerinde bunu ayırt etmek çok zordur. Öz oduna renk veren koyu maddeler böcek ve mantarlar için zehirlidir. Bu nedenle öz odun birçok türde diri oduna göre çürümeye daha fazla direnç gösterir. Her ikisi de aynı kesit alanda aynı miktarda selüloz içermektedir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8: Ağaç kesiti, öz odun - diri odun (Url 3).

Öz odun ve diri odun aynı mukavemet özelliklerine sahiptir. Diri odunun sıvı taşıyabilme kapasitesinden dolayı öz odun diri odundan geçirgenlik, vernik emme ve boya tutma özellikleri açısından farklı davranabilir (Desch ve Dinwoodie,1996).

2.1.2.6 Erken odun - geç odun

Bahar dönemi boyunca büyüme hızlıdır ve yeni oluşan hücreler oldukça büyük hücre boşluklarına ve ince duvarlara sahiptir. Bu dönemde oluşan yeni kısma erken odun (bahar odun-spring wood) denir. Yıl içinde daha sonra daha az nem olan yaz döneminde daha küçük boşluklar ve kalın duvarlar oluşur. Ahşabın bu kısmına da geç odun (yaz odun-summer wood) denir. Geç odun birim kesit alanda erken odundan daha fazla selüloz içerir (Desch ve Dinwoodie,1996). Bu nedenle de geç odun erken odundan daha serttir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9: Bahar odunu-yaz odunu (Url 4).

2.1.2.7 Gözenekler

Sert ağaç ve yumuşak ağaç arasındaki en önemli fark gözenek içermesidir. Sert ağaç gözeneklere sahipken yumuşak ağaçta gözenekler yoktur. Bu yapılar suyu taşımaya yarar. Gözenekler, geniş çaplı, ince duvarlı yapılardır (Şekil 2.10). Birçok sert ağaçta gözenekler çıplak gözle görülebilir boyutlardadır. Gözeneklerin temel önemi ahşabın görüntüsüne olan etkisidir (Stalnaker ve Harris, 1989).



Şekil 2.10: Gözenek yapısı (Url-3).

2.1.2.8 Genç odun

Ağaç erken yıllarında geç yıllara göre daha hızlı büyür. Bu erken yıllar boyunca daha fazla erken odun üretir. Ağacın bu kısmına genç odun denir.

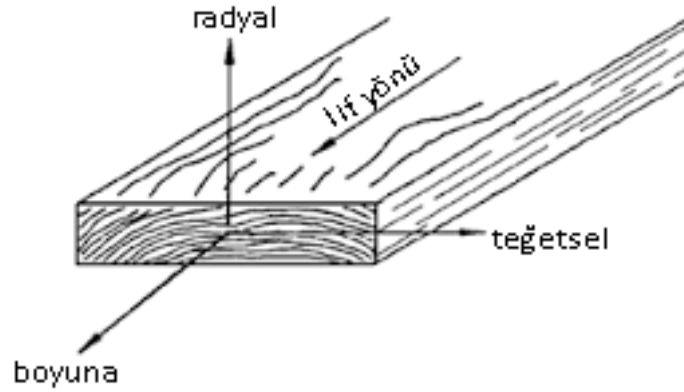
Özgül ağırlığı ve dayanımı genç odunun daha düşüktür. Boyuna deformasyonu erişkin ağaca göre daha fazladır. Ağacın iç yapısının ne kadarının genç odun olduğu türüne ve diğer faktörlere bağlıdır. Genellikle 5 ile 20 yıllık halka aralığında değişir. Ağacın genç odun içeren kısmı yapısal sistemlerde kullanılmamaktadır (Desch ve Dinwoodie,1996).

2.1.2.9 Ahşabın eksenleri

İç yapısından dolayı ahşap ortotropik bir malzemedir. Yani ahşabın fiziksel ve mekanik özellikleri birbirine dik, üç temel yönde farklılık göstermektedir. Boyuna (longitudinal), radyal (radial) ve teğetsel (tangential).

Dayanım ve elastiklik modülü üç yönde değişmektedir. Ahşapta, bir yöndeki birim deformasyonunun diğer yöndeki birim deformasyonuna oranı olan poisson oranından altı adet vardır. Ahşabın çalışması (şişme ya da büzülme), ahşabın nem miktarının bu üç yönde farklılık göstermesi ile meydana gelir (Şekil 2.11). Bu nedenle ahşap kurusa da ilave nem de alsa döner, çalışır.

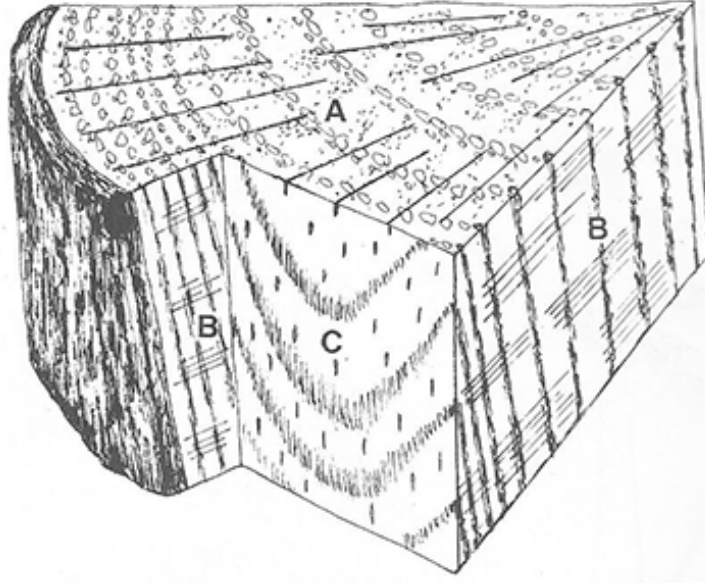
Anizotrop yapısı ahşabın en karakteristik özelliğidir. Yapı tasarımcılarının dikkat etmesi gereken en önemli unsurdur (Tsoumis,1991).



Şekil 2.11: Ahşabın eksenleri

Radyal ve teğetsel kesitlerin oluşturduğu yüzeyler belirgin bir şekilde birbirlerinden farklıdır (Şekil 2.12).

Radyal yüzeyler gövdenin merkeze, öze doğru dilimlenmesinden elde edilir. Ahşabın büyüme halkalarına teğet yönde kesilmesi ile teğetsel yüzeyler elde edilir. Teğetsel yüzeylerde erken odun ve geç odun arasındaki farklılığa bağlı olarak çok ya da az dalgalı yüzey görünüşü elde edilir (Tsoumis,1991).



Şekil 2.12: Ahşabın eksenleri; A: Enine, B: Radyal, C: Teğetsel (Tsoumis, 1991).

2.1.3 Ahşabın kimyasal yapısı

Karbon, hidrojen ve oksijen birleşerek ahşabın temel bileşenlerini oluşturur. Selüloz, hemiselüloz ve lignin ayrıca az miktarda pektik maddeleri de mevcuttur. Ahşabın temel yapı elemanı hücredir. Hücre duvarı temelde selüloz ve lignin içerir. Kuru ahşabın ağırlığının;

- %45-50'sini selüloz,
- %20-30'unu lignin,
- %20-25'ini hemiselüloz,
- ve kalan kısmını da türden türe değişen küçük içerikler, doğal reçine, yağlar, tanen ve alkalaidler oluşturur.

Ahşapta yer alan tüm karbonhidratlar; selüloz, hemiselüloz ve pektik maddeleri bazen kısaca holoselüloz adını alır.

Selüloz ahşaba dayanımını verir ve yük taşıyan malzemedir. Lignin ise yapıştırıcıdır. Hücre duvarı bileşeni olarak diğer selülozik maddelerden ayrılır. Lifler arasındaki boşlukları doldurur ve lifleri sağlamlaştırır. Lignifikasyon denilen bu olay lignin depolanmasıdır. Ayrıca hücre duvarı gelişiminin son aşamasıdır. Lignin bir karbonhidrat değildir. Ligninin kimyasal yapısı tam olarak bilinmemekle beraber bileşimi yumuşak ve sert ağaç arasında hatta sert ağaç türleri arasında da farklılık gösterir (Desch ve Dinwoodie, 1996).

2.2 Ahşabın Fiziksel Özellikleri

Ahşabın fiziksel özellikleri olarak başlıca; nem ile olan ilişkisi, özgül ağırlık, ısı özellikleri, ısı iletkenlik özellikleri ve akustik özellikleri sayılabilir.

2.2.1 Ahşabın Nem İle Olan İlişkisi

Nem içeriği MC ile ifade edilir. Ahşaptaki MC değerini bulabilmek için numune önce mevcut nemi ile tartılır, daha sonra ağırlığı sabit hale gelinceye kadar fırında kurutulur. Soğutulur ve tekrar tartılır. Orijinal numunedeki mevcut su uzaklaşınca kadar kurutulur, sonuç yüzde ile ifade edilir.

$$MC = 100(\text{orijinal ağırlık} - \text{kuru ağırlık}) / \text{kuru ağırlık}$$

Ahşap, ağaçta genelde %30 nem içeriğindedir. Hücre duvarları tamamen doygundur. Ağaç kesildikten sonra yaş ahşap atmosferik şartlara maruz kalır. Çevresindeki atmosferin nem değeri ile dengeye gelene kadar nemini kaybeder. Buna denge nem içeriği (EMC) denir (Skaar, 1988).

EMC, farklı ağaç türleri, öz odun-diri odun arasında, hücre duvarı tipi, sıcaklık etkisi, malzemenin önceden maruz kaldığı ortam ve mekanik gerilim gibi etkenlerle değişiklik gösterir. EMC mevcut bağıl nemde sabit değildir. Ahşaptaki nem seviyesi dengeye ulaşana kadar yükselir ya da alçalır.

Ahşaptaki EMC'yi etkileyen en önemli faktör ahşabın maruz kaldığı bağıl nem ya da bağıl buhar basıncıdır. Bu anlamda ahşabın dayanımı nem içeriğine (MC) ve yük etkisine bağlıdır. Nem dalgalanmaları bölgesel şişme ya da büzülme eğilimine neden olur. Bu durumda da gerilim dağılımı değişir ve ahşabın yük taşıma kapasitesi etkilenir (Skaar, 1988).

2.2.1.1 Ahşabın bünyesindeki su

Su ahşapta hücre duvarında ya da duvarlar doygunluğa eriştiğinde hücre boşluklarında yer alır. Birinciye sınır su ikinciye de serbest su denir. Malzemenin bünyesine çektiği su selüloz ve lignini yumuşatır. Bu nedenle ahşap zayıflar, tüm dayanımları azalır. Pratik olarak denebilir ki tüm dayanım özellikleri MC'nin yükselmesiyle azalır.

Ahşap kurutulduğunda, ilk önce serbest su kaybolur. Hücre duvarları su ile doyduğunda fakat hücre çeperinde hiç serbest su kalmadığında nem içeriğindeki bu noktaya fiber doyma noktası (FSP) denir. Genellikle fiber doyma noktası aralığı %25-35, %30 birçok pratik uygulama için ortalama kabul edilebilir bir değerdir (Glass ve Zelinka, 2010).

Su hücre çeperinde üç şekilde bulunmaktadır:

- Hücre çeperinin yapısında bulunan sudur. Bu suyun ahşabın kimyasal yapısını bozmadan çıkarılması mümkün değildir.
- İkincisi hücre çeperinin iç yüzeylerine bağlı bulunan sudur.
- Sonuncusu da hücre çeperi içerisinde kapiler boşluklarda kondanse edilmiş bulunan sudur (Berkel, 1970).

2.2.1.2 Higroskopik denge

Ahşap her zamanki MC değerine kurutulursa, bunun yanında daha kuru bir yerde kullanılacaksa, örneğin ısıtılan bir iç mekanda, malzeme atmosfere nem vermeye devam edecektir. Böylelikle büzülme ve belki devamında malzemede dönme gerçekleşecektir. Diğer taraftan ahşap, çok nemli bir yerde kullanılacaksa, banyo, yüzme havuzu üzeri gibi atmosferden nem alacaktır, şişecektir ve belki yine dönme gerçekleşecektir. Ahşapta nem almak ya da vermek yavaş bir süreçtir. Bu nedenle atmosfer koşulları değişkense, MC ortalama koşullara uyar.

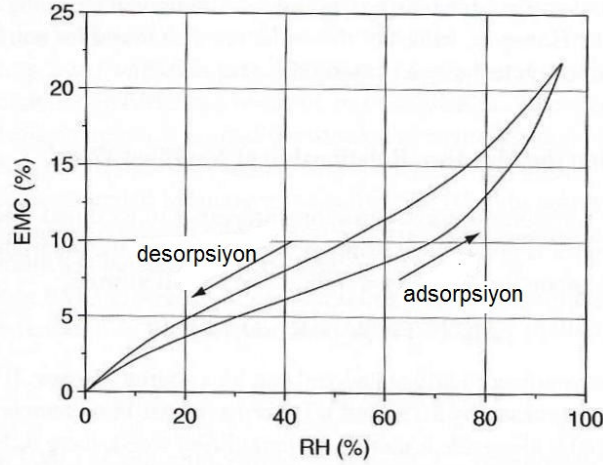
Ortalama %30 rutubet derecesinin altındaki rutubet derecelerinde ahşabın nemi ile çevresindeki havanın nemi arasında belirli bir denge meydana gelmektedir. Bu belirli rutubet dengesine ulaşma hızı ağaç türüne ve malzemenin yoğunluğuna göre değişir. Ahşabın nemi ile çevresindeki havanın sıcaklık derecesi ve bağıl nemi arasında oluşan bu dengeye higroskopik denge denir. Malzemenin teknik bakımdan kullanılışında higroskopik dengenin bilinmesi önemlidir (Skaar, 1988).

2.2.1.3 Ahşapta adsorpsiyon ve desorpsiyon

Ahşap higroskopik bir malzemedir yani bünyesine suyu alır. Tam kuru bir ahşap malzeme, havanın nemi ile karşılaşır, etrafındaki havanın nem basıncı malzemenin içerisindeki su geçme gücüne eşit oluncaya kadar ve hava ile ahşap arasında higroskopik bir denge meydana gelinceye kadar bünyesine su alır. Bütün boşluklu ve gözenekli malzemelerde görülen bu olaya adsorpsiyon denir. Ahşabın yapısında bulunan selüloz ve hemiselülozun önemli ölçüde su çekme kabiliyeti vardır. Selüloz zincir moleküllerinin yan yana gelerek meydana getirdiği mikrofibrillerden dolayı geniş bir iç yüzeye sahiptir. Bir cismin iç yüzeyi ne kadar geniş olursa su çekme kabiliyeti de o derece yüksek olmaktadır. Yüzey sayısı arttıkça adsorpsiyon etkisi artmaktadır. Bu durumun aksi olarak, nemli bir ahşap nem basıncı düşük olan çevresindeki kuru havaya nem vererek kurumaktadır. Bu olaya da desorpsiyon denmektedir (Skaar, 1988).

2.2.1.4 Ahşapta nem oranı ve histerezis

Histerezis; ahşap numuneleri, lif doygunluğu rutubet derecesinden tam kuru hale gelinceye kadar kurutulur ve belirli aralıklarla havanın çeşitli bağıl neminde higroskopik denge ile malzeme içinde meydana gelen denge rutubetleri tesbit edilirse şekilde görülen desorpsiyon eğrisi elde edilir. Buna karşılık, tam kuru halde bulunan aynı ağaç türünden elde edilen ahşap numuneleri havanın çeşitli nisbi nem derecelerinde nemlendirilerek nihai lif doygunluğu rutubet derecesine getirilir ve aynı şekilde havanın çeşitli nisbi nem derecelerindeki denge rutubetleri ile adsorpsiyon eğrisi çizildiği takdirde bu iki eğrinin birbirinin üzerinde bulunmadığı görülür. Desorpsiyondaki denge rutubetleri adsorpsiyondaki denge rutubetlerinden daha yüksek bulunmaktadır. Bu iki olaydaki denge farkına histerezis denmektedir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 : Ahşapta adsorpsiyon ve desorpsiyon sonucu oluşan histerezis (Berkel, 1970).

Higroskopik denge sırasında ahşap malzeme nemli ise içindeki nem miktarı, kuru halde iken bünyesine nem alacak malzemeye göre daha fazla olacaktır. Başlangıçta iyi kurutulmuş olan bir malzeme, yaş iken kuru hale geçmiş olan malzemeye nazaran havanın aynı nisbi nem derecesinde daha az su içerecektir. Bu nokta malzemenin kullanılmadan önce iyi kurutulmasının önemini göstermektedir (Berkel,1970).

2.2.1.5 Ahşabın şişmesi ve büzülmesi

Ahşap hücre çeperi tam kuru hal olan %0 ve fiber doyma noktası olan ortalama %30 rutubet arasında bünyesine su almakla hacmini genişletmekte, bünyesinden su kaybetmekle de hacmini daraltmaktadır. Bu genişleme ve daralmaya pratikte ahşabın çalışması denmektedir. Bu durum özgül ağırlık ile orantılı olarak

değişmektedir. Hacim genişleme ve daralması ağır odunlarda daha fazla, hafif odunlarda ise daha azdır. Avrupada yetişen ağaç türleri odunlarında liflere paralel radyal, yıllık halkalara teğet ve hacim daralma ortalama, minimum ve maksimum değerleri aşağıdaki Çizelge 2.2'de belirtilmiştir.

Çizelge 2.2: Ahşabın yönlerine bağlı olarak çalışma çizelgesi (Berkel, 1970).

Liflere paralel yönde	Radial yönde	Teğet yönde	Hacim çalışması
β_l %	β_r %	β_t %	β_v %
0,4 (0,1-0,8)	4,3 (2,3-6,8)	8,2 (6,0-11,85)	12,9 (8,5-18,8)

Anizotrop bir cisim olan ahşap çeşitli yönlerde değişik özellikler gösterdiğinden, genişleme ve daralma da her yönde aynı miktarlarda olmayıp, malzemede anatomik yapı bakımından mevcut üç esas eksen veya yönde farklılık göstermektedir. Genel prensip olarak, her ağacın odunu liflere paralel yönde en az, radial yani yarı çap yönünde daha fazla, yıllık odun halkalarına teğet yönde ise en fazla çalışmaktadır. Hacim yönünden çalışma ise bu üç yöndeki çalışmanın bir bütünüdür. Üç yönde farklı çalışma iç gerilmelere sebep olarak, çeşitli kullanım yerlerinde boyutların değişmesi, çarpılma, eğilme, yüzey, kenarların ve profillerin kamburlaşması, çatlama gibi kusurların meydana gelmesine yol açmaktadır (Berkel, 1970).

Bazı ağaçlar çalışma bakımından farklılık gösterirler. Örneğin, çamda liflere paralel yönde çalışma diğer iğne yapraklı ağaçlara nazaran daha fazladır. Kayın teğet yönde, Gürgen radyal yönde fazla miktarda çalışır. Ihlamurda hacim daralma yüzdesi özellikle yüksektir. Bu nedenle taşıyıcı sistemlerde tercih edilmez. Bir ağaç gövdesi içerisinde de odunun yoğun ve kaba yapılı oluşuna göre çalışma farklılıklar gösterir. Örneğin, bir yıllık halka içerisinde yaz odunu bahar odununa göre daha fazla çalışır. Ahşap içerisinde yaz odunu oranı fazla ise hacim genişleme ve daralma yüzdeleri artar. İğne yapraklı ağaçlarda çoğunlukla liflere paralel yöndeki çalışma diğer ağaçlara nazaran daha azdır ve yaz odununda radyal ve teğet yönlerdeki çalışma miktarları arasındaki fark azalmaktadır. Bundan dolayı yaz odunu bakımından zengin bir ahşap malzemede hacim bakımından fazla çalışma görülse de çarpılma ve eğilmeler daha azdır. Hacim bakımından çalışma, odunun içerisindeki selüloz miktarının artması ile fazlalaşır (Berkel, 1970).

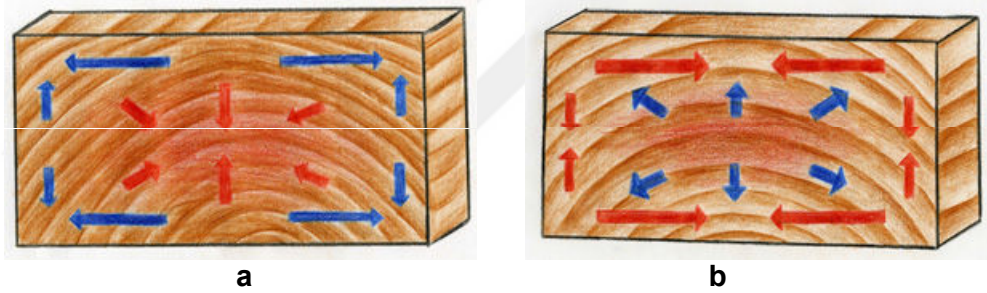
Nem ile ortaya çıkan şişme ve büzülme boyuna yönde çok düşüktür. Yaş ağacın kurutulmasında, boyuna yönde hareket %0,1 ile %0,2 arasında değişir. Bunun yanında radyal yönde gözle görülebilir anlamda daha fazladır %4-4,5, teğetsel yönde bütünüyle en fazladır, %7-8. Genelde yıllık halkaların dizilişi pek bilinmez. Bu

nedenle boyutsal değişimin tahmin edilmesinde, tasarımcılar en fazla boyutsal değişimin olduğu teğetsel yönü dikkate almalıdırlar (Nicolier, 2012).

RH'deki değişimler yapı elemanının, glulam kiriş gibi, kesitinde homojen olmayan nem dağılımına neden olur. Nemden dolayı oluşan genişleme kısıtlandığında nem, liflere dik doğrultuda gerilme meydana getirir.

Lamine ahşapların yapıştırılmış tabakalar arasında fazla rutubet farkı var ise, tutkallama ve kullanım yeri rutubet değişmesi ile eşit olmayan rutubet azalmaları ortaya çıkmakta, bu nedenle oluşan gerilmeler liflere dik yöndeki çekme direncini aştığında çatlamlar meydana gelmektedir (Nicolier, 2012).

Kesit kurumaya maruz kaldığında kenarlarda çekme gerilmesi merkezde basınç gerilmesi görülür; kesit ıslanmaya maruz kaldığında ise kenarlarda basınç gerilmesi, merkezde çekme gerilmesi görülür. Bu gerilmeler ahşabın dayanım değerlerini aşarsa malzemede küçük çatlaklar oluşmaya başlar. Literatür araştırmaları göstermektedir ki ıslanmada oluşan gerilmeler genellikle kurumada oluşan gerilmelerden daha büyüktür (Welling,2010) (Şekil 2.14).



Şekil 2.14: a; kurumaya maruz kalan ahşap kesit, b; ıslanmaya maruz kalan ahşap kesit (Welling, 2010).

Nem genleşme katsayıları teğetsel ve radyal nem genleşme katsayısı olarak ayrılmalıdır. Lamine elemanların boyutsal değişimlerini minimize etmek için, elemanlar montaj öncesi, karşılaşılabilecek denge nem içeriğine kadar kurutulmalıdır. Yoksa sıkıştırılmış büzülme deformasyonu meydana gelir. Bunun sonucunda da liflere dik doğrultuda gerilme ve hasar oluşur (Jönsson, 2004).

Glulam elemanların nem içerikleri çevresindeki ortam koşullarının farklılığı ile farklılık gösterir. Masif ahşap ve ya lamine elemanlarda nem taşınımı yavaş olduğundan büyük elemanlar genelde kesit boyunca düzgün olmayan nem içeriği gösterirler. Bu nem dalgalanmaları, iç gerilmelere neden olur. Özellikle lamine elemanlarda, ahşap kesit gerçek nem içeriğine göre genleşemeyecek, büzülemeyecek çünkü farklı nem içeriği gösteren komşu ahşap tarafından kısıtlanacak (Angst ve Malo, 2012).

Islak durumda, örneğin, nem içeriği dış kısımda yükselecek ve genişlemeye çalışacak fakat bu genişleme hareketi daha düşük nem içeriğine sahip kesitin iç kısmı tarafından kısıtlanacak. Kısıtlamaların sonucunda, basınç gerilmeleri dış kısımda, çekme gerilmeleri de kesitin merkezinde oluşacaktır. Kuruma evresinde de bu durumun tam zıttı gerleşecektir. Dış kısım nem içeriğinde azalma gösterir, büzülme eğilimi gösterir. İç kısıtlamalardan dolayı çekme gerilmeleri dış kısımda, basınç gerilmeleri merkezde oluşur (Angst ve Malo, 2012).

Sonuç olarak basınç ve çekme gerilmeleri kesit içinde dengelenir. Fakat nemin neden olduğu gerilme liflere dik doğrultuda lamine elemanlarda çatlamalara neden olur. Bu yöndeki düşük çatlama direncinden dolayı bu çatlaklar eleman boyunca hasara neden olur (Nicollier, 2012).

Nemli durumda nem gerilme dağılımına karşılık olarak bu çatlaklar kirişin merkezinde başlarken kuruma evresinde yüzeyde başlar. Nemin oluşturduğu gerilmeler deney ortalamaları ile ya da simülasyonlarla değerlendirilmektedir. Genellikle gerilmenin ölçülmesi için dilimleme tekniği en yaygın olanıdır (Jönsson, 2004), (Svensson ve Toratti, 2002). Farklı deneysel çalışmalar arasında prosedür benzerdir. Ahşap ve glulam örnekler, tüm kesit boyunca nem içeriği homojen oluncaya kadar belirli iklim koşullarında bekletilir. Sonra tek yönlü nem taşınmasına olanak verecek şekilde diğer yüzeyler sızdırmaz yapılır. Belirli bir süre ortama maruz kaldıktan sonra, numune farklı boyutsal değişiklikler gösterir. Numune sonra yükseklik boyunca dilimlere kesilir. Yükseklik boyunca oluşan deformasyon ölçülür. Açığa çıkan deformasyonları ölçmek için dijital kamera ya da video ekstensometre gibi farklı aletler kullanılır. Numunedeki her dilim üst ve alt taraf boyunca noktalanır. Numunenin dilimlere kesilmesinden önce ve sonra kamera ya da video ekstensometre noktaların yerini kayıt eder. Bu noktalar arasındaki uzunluk her kayıta ölçülür (Svensson ve Toratti 2002), (Angst ve Malo, 2012).

Ahşap yapıların maruz kaldığı ortam koşullarından etkilendiği bilinmektedir. RH'deki değişimler glulam kiriş gibi yapı elemanının kesitinde homojen olmayan nem dağılımına neden olurlar. Nemden dolayı oluşan genişleme kısıtlandığında liflere dik doğrultuda gerilme meydana gelir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki gerilmelerin yükselmesi büyük oranda yıllık halka dizilişine bağlıdır. Bu da göstermektedir ki kesitteki geometrik dizilişin optimize edilmesiyle gerilmeler azalabilir.

2.2.2 Özgül ağırlık

Ahşapta tüm dayanım ve sertlik özellikleri ne kadar selüloz olduğu ile bağlantılıdır. Beklenildiği gibi yapılan araştırmalar ağır ağaçların hafif ağaçlara göre daha sağlam

ve sert olduğunu göstermiştir. Yapılan testler de bu durumu ispatlamıştır. Hesaplar bu hipotezi doğrulamakta fakat yapı tasarımı sınırlı bir değere sahip olmaktadır. Çünkü özgül ağırlığın arkasında dayanımı etkileyen daha birçok faktör vardır. Yapısal anlamda dayanıklılık ve sağlamlık tüm bu faktörlerin birleşimi ile olur (Kollmann ve Cote, 1968).

Özgül ağırlığı etkileyen faktörler:

Ahşabın yapısını meydana getiren çeşitli hücrelerin ve yıllık halka içerisindeki bahar ve yaz odunu bulunma oranlarının özgül ağırlık üzerine etkileri vardır. Bahar odunu daha gözenekli ve hafif, bunun yanında yaz odunu, daha yoğun ve koyu renklidir. Bahar ve yaz odununda yoğunluk bakımından da bir farklılık vardır. Belirli bir odun hacmi içinde yaz odunu oranı arttıkça özgül ağırlık da artmaktadır (Berkel 1970).

Yıllık halka genişliği ile malzeme kalitesi arasında bir ilişki olduğu önceki çalışmalarda kabul edilmiştir. İğne yapraklı ağaçlarda yıllık halkaların genişlemesi ile özgül ağırlığın azaldığı görülür. Bunun nedeni, yıllık halkaların genişlemesi ile sık yapılı ve ağır olan yaz odunu içeriğinin azalmasıdır. Meşe, kestane, dişbudak gibi ağaçlarda yıllık halka genişlemesi ile özgül ağırlık artmaktadır, yaz odunu ihtivasi arttığı için malzeme ağırlaşmaktadır. Yıllık halka genişliğinin özgül ağırlık üzerine etkisi ağaç gövdesinin alt kısımlarında en fazla olup, gövdede yukarıya doğru çıkıldıkça bir azalma göstermektedir (Berkel 1970).

Ağaç yaşının özgül ağırlık üzerine etkisi vardır. Ağaç yaşı ilerledikçe gövdede özden çevreye doğru iğne yapraklı ağaçlarda daha ağır, yapraklı ağaçlarda ise daha hafif odun yer almaktadır. İğne yapraklı ve yapraklı ağaçlarda yaş arttıkça gövdede çevreye doğru daha dar yıllık halkalar yer almaktadır. Yapılan araştırmalar neticesinde yıllık halka genişliğinin etkisinden bağımsız olarak ahşabın yaşının etkisi iğne yapraklı ağaçlarda ileri yaşlarda ağır odunun, yapraklı ağaçlarda ise hafif odunun meydana gelmesi ile kendini gösterir (Tsoumis, 1991).

Ağaçta yer alan dal odunu gövde odunundan iğne yapraklı ve yapraklı ağaçlarda daha ağırdır. İğne yapraklı ağaç dallarının alt tarafında bulunan basınç odunu, yapraklı ağaç dallarının ise üst tarafında yer alan çekme odunu özgül ağırlığı artırıcı bir etki yapmaktadır. Dal odunu gövde odununa nazaran yapraklı ağaçlarda %6, iğne yapraklı ağaçlarda %25 daha ağırdır. Kök odunu ise gövde odunundan daha hafiftir. Bunun nedeni kök odununun tamamen su iletme görevinde olmasıdır (Berkel 1970).

Malzeme içindeki su miktarı arttıkça ağırlık artacak bunun sonucunda da özgül ağırlıkta artış olacaktır.

2.2.3 Ahşabın ısı özellikleri

Ahşabın fiziksel özelliklerinden biri ısı özellikleridir. Isıl genleşme ve ısı iletkenliği malzemenin kullanımı bakımından en önemli özelliklerdendir. Bütün cisimler ısı etkisi ile moleküllerin birbirinden uzaklaşması ve aralarındaki mesafenin artması sonucu genişlerler; soğuma ile de mesafenin azalması sonucu daralırlar. Ahşap anizotrop bir malzeme olduğu için ısı etkisi ile her doğrultuda aynı miktarda genişlemez. Liflere paralel, radyal ve yıllık halkalara teğet yönlerde farklı genişlemeler gösterir (Tsoumis, 1991). Liflere paralel, radyal ve yıllık halkalara teğet yönlerde ısı genleşme katsayıları bilindiği takdirde aşağıdaki formülle hacim bakımından ısı genleşme katsayısı (α_{wv}) hesaplanabilir.

$$\alpha_{wv} = (1 + \alpha_{wl}) (1 + \alpha_{wr}) (1 + \alpha_{wt}) - 1 \quad (2.1)$$

Bu formülde:

α_{wl} = Liflere paralel yönde ısı genleşme katsayısı

α_{wr} = radyal yönde ısı genleşme katsayısı

α_{wt} = yıllık halkalara teğet yönde ısı genleşme katsayısı

Ahşabın 0 derecenin üzerinde, higroskopik sınırlar içerisinde su kaybetmesi ve daralması, su alması ve genişlemesi esnasında küçük olan ısı genleşme ve daralma fark edilememektedir. Yangınlarda ise ısı etkisi ile ağaç malzemenin hacmini çok az genişletmesi önemli bir özellik olup, duvarlarda ve çatılarda çökmeye izin vermemektedir. Buna karşılık demir ve betonun yüksek olan ısı genleşme katsayılarından dolayı çatlama ve çökmelere çok sık rastlanmaktadır (Berkel 1970).

2.2.4 Ahşabın ısı iletkenlik özellikleri

Bir malzemenin içinde ne kadar fazla hava boşluğu var ise ısı iletkenlik katsayısı o kadar azalmaktadır. Bunun sonucunda denebilir ki içerisinde hava boşluğu olan malzemelerin ısı iletkenlikleri kötü, ısıyı izole edebilme kapasiteleri yüksektir. Ahşap ise bünyesinde fazla miktarda hava boşluğu barındırdığı için ısı iletkenliği kötü yani iyi bir ısı yalıtkanıdır (Tsoumis, 1991).

Teknik bakımdan ısı iletkenlik katsayısı (λ) küp şeklindeki $1m^3$ hacmindeki bir cismin aralarında $1^\circ C$ sıcaklık farkı bulunan iki karşılıklı yüzeyinin birisinden diğerine bir saatlik bir zaman içerisinde geçen ve kilo kalori (Kcal) cinsinden ölçülen ısı miktarına denilmektedir. Böylece, ısı iletkenlik katsayısı ($kcal/mh^\circ C$) olarak ifade edilmektedir. Ahşabın iyi bir ısı yalıtkanı olduğunu aşağıdaki çizelgede yer alan diğer yapı malzemeleri ile ısı iletkenlik değerleri kıyaslanarak anlaşılır (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3: Bazı malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları (Berkel, 1970).

Malzeme	Isı İletkenlik Katsayısı (kcal/mh°C)
Ahşap	0,09-0,28
Demir	330
Tuğla ve Cam	4,5
Alüminyum	1400
Mermer	18
Kum	0,5
Kauçuk	1
Su	4
Çimento	2

Ahşapta özgül ağırlık arttıkça ısı iletkenlik katsayısı artmaktadır. Ağaç cinslerine göre de ısı iletkenlik katsayıları farklılık göstermektedir. Çizelge 2.4’de türlere göre ısı iletkenlik katsayıları yer almaktadır (Berkel, 1970).

Çizelge 2.4: Bazı önemli ağaç cinsleri ahşaplarında çeşitli yönlerde ortalama ısı iletkenliği katsayıları (Berkel, 1970).

Ağaç cinsi	Özgül ağırlık gr/cm ³	Su miktarları %	20 C°’de ortalama ısı iletkenliği katsayısı [Kkal/mh°C]		
			Liflere paralel	Radial	Yıllık halkalara teğet
Maun	0,70	15	0,2664	0,1440	0,1332
Ceviz	0,65	12	0,2844	0,1260	0,1188
Dışbudak	0,74	15	0,2628	0,1512	0,1404
Ladin	0,41	16	0,1908	0,1044	0,0900

Ahşabın ısı ile olan ilişkisinden bahsederken bir diğer önemli husus da spesifik ısı konusudur. Herhangi bir cismin 1 kg’ının sıcaklığını 1°C değiştirmek için o cisme verilmesi ve ya alınması gereken ısı (kcal) miktarı olarak tanımlanan spesifik ısı (C) aşağıda bazı değerler verilmiştir.

Su: 1kcal/kg

Demir ve Bakır : 0,1 kcal/kg

Beton: 0,18-0,20 kcal/kg

Ahşap: 0,324 kcal/kg ortalama değerdir.

Değerlere bakıldığında ahşap aynı miktarda ısı ile demir, taş ve betona göre daha az ısınmakta olduğu kolayca görülmektedir. Mevcut verilerden 1 kg odunun 1°C ısıtılması için demire nazaran üç kat daha fazla ısıya ihtiyaç olduğu sonucu çıkarılabilir (Berkel 1970).

2.2.5 Ahşabın akustik özellikleri

Ahşapta hem ses yayılması hem de ses emilmesi meydana gelmekte olup malzemenin hücre yapısının özelliğine uygun olarak bu iki olay diğer katı, sıvı, gaz cisimlerden farklı olarak meydana gelmektedir. Malzeme, ses dalgalarını yayma ve emme bakımlarından diğer malzemelere nazaran üstündür. Bunun sonucunda da ahşap, müzik aletleri yapımında, konser ve tiyatro salonlarında akustik bakımdan duvar kaplaması olarak öncelikli tercih edilmektedir (Tsoumis, 1991).

Sesin bir saniyede aldığı yola sesin yayılma hızı denir. Ses dalgalarının ahşap içerisinde yayılma hızı ağaç türüne, odun yapısına yani liflerin yönüne, yıllık halka yapısına, hücre çeperi ve hava boşluğu oranına, rutubet miktarına, sıcaklık derecesine, özgül ağırlığa ve dalga frekansına göre değişmektedir. Ahşabın akustik bakımdan en önemli özelliği, ağırlığının az oluşuna karşılık içerisinde sesin yayılma hızının yüksek bulunuşu ve aynı zamanda ses dalgalarının yayılmasına karşı gösterdiği direncin düşük olmasıdır (Hill, 2006).

Ahşap ses enerjisini iki şekilde azaltır. Birincisi, malzeme içerisinde geçen ses dalgalarının çevredeki cisimlere verilerek azalmasıdır. Diğer ise, malzeme içerisinde ses dalgalarının yayılması esnasında moleküllere sürtünme ile bir kısım ses enerjisinin kaybedilmesidir (Rowell 2012).

2.3 Ahşabın mekanik özellikleri

Anizotrop olan ve özellikleri çeşitli yönlerde farklı bulunan ahşap malzemede mekanik kuvvetlerin etkisi büyük ölçüde yetiştiği ortam şartlarına, ağaç türüne, rutubet miktarına, anatomik yapısına, özgül ağırlığa, çürük ya da sağlam oluşuna, kimyasal bileşimine, kusurlarının bulunup bulunmamasına, ısı derecesine, kuvvetin etki yönüne ve lif doğrultusu ile arasındaki açığa bağlı bulunmaktadır. Maalesef ahşap malzemelerin mekanik özelliklerinin tespiti diğer homojen yapı malzemeleri kadar basit olamamaktadır (Shmulsky ve Jones, 2011).

Ağaç malzeme üzerine yapılan yüklemeler, basınç, çekme, eğme, makaslama, burkulma şekillerinde olabilir. Kuvvet yavaş yavaş artarak etki ederse bu yüklemeye şekli statik yüklemeye olurken, kuvvet ani, şok şeklinde etki ettiği takdirde dinamik yüklemeye gerçekleşir. Tek ve uzun süreli yüklemelere devamlı yüklemesi ve ya yorma yüklemesi denirken kuvvetin yönünün değişmesi halinde gerçekleşen yüklemelere de değişken yüklemeler denmektedir. Ahşap malzemenin mekanik özelliklerine ait değerler geniş bir korelasyon göstermektedir. Bu dağılışı

deneylerde kullanılan numunelerin boyutları ve böylece malzemede budak, reçine paketleri, spiral liflilik gibi kusurlar arttıkça fazlalaşmaktadır (Botannini, 2011).

2.3.1 Ahşabın elastiklik özellikleri

Katı bir cismin dışarıdan etki eden bir yük ya da kuvvet ile yüklenmesinde meydana gelen uzama, kısılma, eğilme gibi deformasyonları yük kaldırıldığında tolere ederek tekrar başlangıçtaki şeklini alabilme kabiliyetine elastiklik denmektedir. Bir cisim ne kadar elastikse dış kuvvet etkisi ile kolaylıkla şekil değiştirebilir ve yükün kaldırılmasından sonra tekrar eski haline dönebilir. Örneğin iki ucundan ters yönlerde çekilen ağaç çubukta bir uzama, liflerine paralel veya dik yönde basınç yapılan ağaç prizmada basılma, kısılma, iki ucundan dayanan bir kirişin ortasına uygulanan bir yükleme ile kirişte eksenden uzaklaşma ile eğilme meydana gelmektedir. Deformasyon mm veya cm olarak ölçülmekte ve birim uzunluktaki değer olarak belirtilmektedir. Birim deformasyon miktarı aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$\epsilon = \Delta l / L \quad (3.2)$$

ϵ = Birim deformasyon miktarı

Δl = Deformasyon miktarı (cm/mm)

L = Cismin orjinal uzunluğu (cm/mm)

Ahşabın elastik deformasyon kabiliyeti oldukça yüksektir. Böylece, ağaç malzeme önemli miktardaki yüklemelerden sonra tekrar başlangıçtaki orjinal şekline dönebilmektedir (Botannini, 2011).

Anizotrop yapısından dolayı ahşapta elastiklik modülü liflere paralel, radyal ve yıllık halkalara teğet olmak üzere üç esas yönde farklılık bulunmaktadır. Malzemede elastiklik modülü değeri liflere paralel yönde en yüksek, ağaç gövdesinde radyal yönde daha küçük, yıllık halkalara teğet yönde ise en düşüktür. Elastiklik modülü büyüdükçe, cisimler deformasyon meydana getiren kuvvetlere karşı daha yüksek bir karşı koyma göstermekte, küçüldükçe daha kolay deforme olmaktadır.

Ahşap malzemenin elastiklik özellikleri üzerine malzemenin yıllık halka genişliğinin, özgül ağırlığının, lif yönünün, yaz odunu bulunma oranının, su miktarının, budaklılığın, sıcaklığın, lif açısının, liflere dik yönde yıllık halkaların gidiş yönünün etkisi vardır (Botannini, 2011).

Yıllık halka içerisinde yaz odunu miktarı arttıkça elastiklik modülü de artma göstermektedir. Özgül ağırlığın artması ile elastiklik modülü değeri de yükselmektedir. Bunun nedeni yaz odunu elastiklik modülünün ilkbahar odununa nazaran daha yüksek oluşudur.

İğne yapraklı ağaçlarda yıllık halka oranı daraldıkça yaz odunu miktarı ve özgül ağırlık artmakta ve böylece elastiklik modülü değerinde de artış görülmektedir. Aynı durum geniş yapraklı ağaçlarda da gözlenmektedir.

Ahşapta, higroskopik bölge içerisinde fiber doyma noktası %30'a kadar su miktarı arttıkça elastiklik modülü değeri azalmaktadır. Fakat fiber doyma noktasından sonra ahşap bünyesine giren su hücre çeperine değil hücre boşlukları içerisine girdiğinden, su miktarının artması ile elastiklik modülünde önemli bir değişme olmamaktadır (Tsoumis, 1991).

Ahşap malzemede elastiklik modülü değerinin üç esas yönde farklılık gösterdiğine değinilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda malzemede oluşan gerilmeleri hesaplamak için doğru elastisite modülü değerinin seçilmesi önemlidir. Değer literatürden seçilebileceği gibi direk deney numunesinden de hesaplanabilir. Elastisite modülü (E) değerinin doğruluğu yapılan ölçüm prosedürüne bağlıdır. Özellikle lamine elemanlarda E değeri geometrik dizilişten önemli ölçüde etkilenmektedir. Yani aynı ebattaki iki farklı numune farklı E değeri ve böylece farklı gerilme dağılışı gösterebilir. Liflerle beraber budaklar da elastiklik modülü üzerine önemli miktarda etki yapmaktadır (Botannini, 2011).

2.3.2 Ahşabın dayanım özellikleri

Ahşabın dayanım özelliklerinin başında basınç, çekme, eğilme, makaslama ve burulma dayanımı gelmektedir.

2.3.2.1 Ahşabın basınç dayanımı

Basınç dayanımı ahşap malzemenin kalitesi hakkında fikir veren belirgin bir özelliği olmasından dolayı günümüze kadar çok fazla araştırılmıştır. Basınç direnci ile diğer statik dirençler arasında çoğunlukla belirli bir orantı vardır. Bu nedenle basınç deneyinden alınan sonuçlar malzemenin direnç özellikleri hakkında genel bir fikir vermektedir (Shmulsky ve Jones, 2011).

Yapılan araştırmalara göre ahşap malzemede liflere paralel yönde basınç direnci değeri liflere paralel yönde çekme direnci değerinin yaklaşık olarak %50'sine ulaşabilmektedir. Buna karşılık, taş ve betonda ise tamamen tersine olarak basınç direnci çekme direncinin birden fazla katına yükselmektedir. Bunun yanında bu yapı malzemelerinde yükleme yönünün direnç üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. Fakat ahşapta liflere dik yönde basınç direnci, liflere paralel yöndeki basınç direncinin ortalama olarak ancak %10-%20'si kadardır. Çizelge 2.5'de bazı ağaç türlerinin liflere paralel ve dik yönlerdeki basınç dirençleri verilmiştir.

Çizelge 2.5: Bazı ağaç cinsleri ahşapların liflere paralel ve dik yönlerde basınç dirençleri (Berkel, 1970).

Ağaç cinsleri	Basınç direnci (Kg/cm ²)			
	Liflere paralel yönde		Liflere dik yönde	
	u=%12	u=%30	u=%12	u=%30
a) iğne yapraklı ağaçlar				
Çam	550	250	77	35
Ladin	500	230	58	29
Douglasie	470	230	65	34
Melez	550	250	75	---
b) yapraklı ağaçlar				
Kayın	620	290	---	---
Meşe	650	380	110	---
Dişbudak	520	290	110	---
Akasya	730	480	199	100
Kavak	845	160	33	27

Ahşapta higroskopik sınır içerisinde, yani %0 nem ile fiber doyma noktası arasında rutubet miktarının artması basınç direncini önemli ölçüde azaltıcı etki yapmaktadır. Bunun nedeni, tam kuru hal ile fiber doyma noktası arasında hücre çeperine yerleşen su moleküllerinin hücrelerin çekme gücünün ve böylece kohezyonun azalmasıdır. Hücre çeperinin su ile doymuş hale gelmesi, yani fiber doyma noktasından sonra malzeme içerisine yerleşen su hücre boşluklarına, kapillerler içerisine girmekte ve direnç özelliklerini azaltıcı bir etki yapmamaktadır.

Ahşapta bulunan budaklar da direnç özelliklerini önemli ölçüde düşürür. Bunun nedenleri, liflerin paralel gidişini düzensiz bir hale getirmesi ve böylece kuvvetin etki yönü ile liflerin gidiş yönü arasında lif açısının meydana gelmesi, budak ve etrafındaki ahşap arasında özgül ağırlık bakımından farkların meydana gelmesi ve lifler arasındaki bağlantının kopmasıdır (Berkel, 1970).

Rutubet değişimleri liflere paralel yöndeki basınç direncini liflere dik yöndeki basınç direncine nazaran daha fazla etkilemektedir. Ayrıca yapılan araştırmalar ahşabın kimyasal yapısının basınç direncini etkilediğini göstermektedir. Lignin maddesi miktarının artması basınç direncini artırmaktadır. Lignin maddesi zengin olan tropikal iklim ağaçları ahşaplarında basınç direncinin ılıman iklimde yetişen ağaçlara nazaran daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Berkel, 1970).

2.3.2.2 Ahşabın çekme dayanımı

Çekme direnci ahşapta liflere paralel ve liflere dik yönde olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Ahşap malzemenin deney numunesi hazırlanmasında bir takım zorluklar yaşanmaktadır. Bunun nedeni, deney düzeneğinde liflere dik yönde en yüksek çekme dayanımına ulaşmadan malzemenin baş kısımlarında ezilmeler

görülmektedir. Budaklar ve diğer malzeme yapısına ait kusurlar çekme direncini diğer direnç özelliklerine nazaran çok fazla etkilemektedir.

Ahşapta liflere paralel yönde çekme direnci bütün direnç özellikleri içerisinde en yüksek değeri vermektedir. Özgül ağırlığın artması ile doğru orantılı olarak liflere paralel çekme direnci de artmaktadır. Ahşapta, özgül ağırlık statik dirençler içerisinde en fazla çekme direncini, sonra eğilme direncini, daha sonra makaslama direncini ve en az basınç direncini etkilemektedir. Bütün ağaç türlerinde ahşabın özgül ağırlığı arttıkça bununla doğru orantılı olarak direnç de artmaktadır. Yani özgül ağırlık malzemenin direnç özelliklerini belirten önemli bir faktördür. Yaz odunu oranının artması özgül ağırlığı artırmakta bunun sonucu olarak da yaz odununun artması çekme direncini de yükseltmektedir (Shmulsky ve Jones, 2011).

Budaklar da statik dirençler arasından en çok çekme direncini azaltıcı bir etkiye sahiptirler. Çizelge 2.6'da çekme ve basınç dirençleri ve budaklılık dolayısı ile dirençlerdeki yüzde azalma oranları gösterilmiştir.

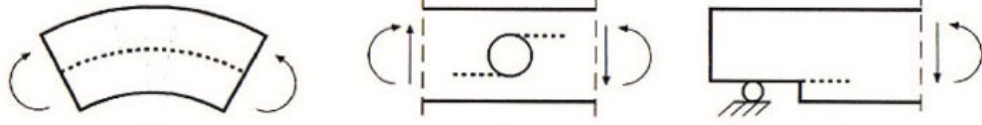
Çizelge 2.6: Budakların çekme ve basınç dirençleri üzerine etkisi (Berkel, 1970).

Çam	Özgül ağırlık gr/cm ³	Çekme direnci		Basınç direnci	
		Kg/cm ²	Direnç azalması %	Kg/cm ²	Direnç azalması %
Tam budaksız	0,50	780	---	403	---
Az budaklı	0,53	384	51	361	10
Çok budaklı	0,57	119	85	314	22

Ahşabın tam kuru hali ile fiber doyma noktası arasındaki rutubet değişmesi diğer dirençlerde olduğu gibi çekme direncini de etkilemektedir. U.S. Forest Products Laboratory'e göre, malzemede %1'lik rutubet artmasına karşılık liflere paralel yönde çekme direncinin yaklaşık olarak %3 azaldığı, azalmasına karşılık ise %3 yükseldiği kabul edilir. %1 nem artışının basınç direncinde %4-%6 bir azalma meydana getirdiği dikkate alınırsa, çekme direncinin nem değişiminden daha az etkilendiği sonucuna varılabilir. Liflere dik yönde %1'lik nem artışı çekme direncini %1,5 oranında azaltmaktadır. Ters durum da geçerlidir (Berkel, 1970).

Yapılan araştırmalar liflere paralel yönde maksimum çekme direnci değerine masif ağaçlarda tam kuru yani %0 nem içeriğinde değil, malzemenin %8-%12 nem dereceleri arasında ulaşıldığını göstermektedir. Bu nem derecelerinden fiber doyma noktasına (yaklaşık %30) doğru nem miktarının artması ile çekme direncinin tekrar azaldığı görülmektedir (Tsoumis, 1991).

Gustafsson (2003)'un yaptığı çalışmada belirttiği gibi çeşitli sebepler liflere dik doğrultuda çekme gerilmesi oluşmasına neden olur. Öncelikle yapısal elemanın belli geometrik şekilleri, yükleme anında liflere dik doğrultuda gerilmelerin ortaya çıkmasına neden olur. Örneğin eğik glulam kirişler momente maruz kaldıklarında liflere dik radyal gerilmeler gösterirler. Eğer moment kirişi düzleştirmeye çalışırsa radyal gerilmeler liflere dik çekme gerilmeleri olacaktır. Benzer olarak eğimli glulam kirişler, dikey olarak aşağıya doğru yüklemelerde eğik kısım içinde liflere dik çekme gerilmesi gösterirler. Glulamlarda ve yapısal ahşaplarda geniş açıklıklar kesitteki ani değişimler yük akışını engeller. Bu durumda da yükleme esnasında açıklık kenarlarında gerilmeler oluşur. Kiriş sonlarındaki çentikler düşük yükleme de bile çatlaklara yol açabilecek yoğunlaşmış çekme gerilmelerine neden olur (Şekil 2.15).



Şekil 2.15: Liflere dik doğrultuda çekme gerilmesi gösteren ahşap elemanlar (Gustafsson, 2003).

Kuvvetin etki yönü ile lif açısı arasındaki ilişkinin çekme direnci üzerinde etkisi çok fazladır. Lif açısı arttıkça çekme direnci, basınç ve eğilme dirençlerine nazaran çok daha fazla bir azalma göstermektedir. Onbeş derecelik bir lif açısının dahi çekme direncini %50'den daha fazla düşürdüğü görülmektedir.

Ahşaptaki öz ışınları ne kadar fazla ise yıllık halkalara radyal yöndeki çekme direnci o derece yükselmektedir.

2.3.2.3 Ahşabın eğilme dayanımı

Ahşapla ilgili yapılan mekanik deneyler içinde liflere paralel basınç deneyinden sonra en fazla yapılan deney türü eğilme direnci deneyidir. Çünkü malzeme yapıda daha çok eğilme direnci ile karşılaşmaktadır.

İki ucu mesnetlenen ahşap çubuk ya da kiriş eğilme etkisi yapacak şekilde yüklendiği takdirde, malzeme içerisinde basınç, çekme ve makaslama gerilmeleri meydana gelmektedir (Botannini, 2011).

Yükleme etkisi ile eğilen bir ahşap kirişte, kirişin üst kısmında basınç gerilmeeri, alt kısmında ise çekme gerilmeleri meydana gelmektedir. İki eşit gerilme gösteren malzemenin alt ve üst kısımları arasında ne basınç ne de çekme etkisi görülen nötr bir bölge yer almaktadır.

Ahşap malzemenin eğilme direnci deneylerinde numune boyutları önem kazanmaktadır. Numunenin iki ucu arasındaki dayandığı nokta arasındaki açıklık (l) ile, numunenin enine kesit yüksekliği (h) arasındaki (l/h) ilişkinin eğilme direnci üzerinde etkisi vardır. Yapılan araştırmalar göre mesnet noktaları arasındaki (l) açıklığın numunenin kesit yüksekliğine oranı ne kadar düşükse eğilme direnci de o derece düşük olmaktadır. Hesaplamalarda $l/h \geq 15$ bulunduğu takdirde, eğilme direnci artık büyük bir artış göstermemektedir. Kısa boylu numunelerde eğilme direncinin düşük olmasının nedeni bu numunelerde makaslama gerilmelerinin etkisinin ortaya çıkması ve mesnet noktalarında numunenin deformasyona maruz kalmasıdır (Shmulsky ve Jones, 2011).

Budaklar eğilme direnci üzerinde kuvvetli bir şekilde azaltıcı etki meydana getirmektedir. Budaklar özellikle kirişin alt tarafında, çekme etkisi görülen kısımda bulundukları zaman kirişin üst tarafında basınç etkisi altındaki kısma nazaran eğilme direncini daha fazla azaltmaktadırlar. Bunun içindir ki çeşitli iğne yapraklı yapı kerestesi kalite sınıflarında DIN 1052'ye göre özellikle budakların artan çapları dolayısı ile eğilmede emniyet gerilmeleri I. Kalite sınıfında 130kg/cm^2 , II. kalite sınıfında 100kg/cm^2 ve III. Kalite sınıfında 70kg/cm^2 olarak alınmaktadır (Berkel 1970).

Liflerin gidiş yönü ile numunenin boyuna eksen arasındaki açının eğilme direnci üzerine etkisi büyüktür. Lif yönü ile numune boyuna eksen arasındaki açı 0° olduğu takdirde eğilme direnci maksimum değerinde, buna karşılık açı 90° olduğu takdirde ise en düşük değerindedir. Özellikle 45° 'lik açıya kadar açının artması ile eğilme direnci kuvvetli bir düşüş göstermektedir (Berkel 1970).

Eğilme dayanımı uzun dönem yükleme altında azalmaktadır. DOL (duration of load) yükleme süresini ifade etmektedir.

DOL'da genellikle uzun dönem yüklenen numunelerin testlerindeki dayanım değerleri ile kısa dönem testlerdeki dayanım kıyaslanır. Farklı numuneler bu iki deney için kullanılır. Aynı numune iki kere kırılmaz.

Uzun dönem testlerde, sabit ve düzenli yükleme, kırılma meydana gelinceye kadar yapılır. Uzun dönem ve kısa dönem yüklemede, hasardaki gerilme seviyesi DOL etkisini belirtir (Tsoumis, 1991).

2.3.2.4 Ahşabın makaslama dayanımı

Makaslama direnci ahşap malzemede özellikle birleşim yerlerinde önem kazanmaktadır. Makaslama direncinde, ahşap malzemede yan yana iki düzlemi aksi yönlerde kaydırarak birbirinden ayırmaya çalışan kuvvetlere gösterilen direnç anlaşılmaktadır. Yapılan deneylerde sadece makaslama gerilmeleri oluşmamakta, bunun yanında basınç, eğilme, ezilmeler dolayısı ile yan gerilmeler ortaya çıkarak kırılmayı etkilemektedir (Botannini, 2011).

Makaslama kuvveti değeri, etki yönü ile lif yönü arasındaki açı (ϕ) 0° ile 90° arasında değişmektedir. $\Phi=0^\circ$ olduğu takdirde makaslama kuvveti etki yönü liflere paralel yöndedir. $\Phi=90^\circ$ olduğunda makaslama kuvveti etki yönü liflere dik doğrultudadır. Liflere dik yöndeki makaslama direnci, liflere paralel yöndeki makaslama direncinden önemli ölçüde düşük bulunmaktadır (Berkel 1970).

Genellikle ağaçların tümünde özgül ağırlık artmasına paralel olarak makaslama direnci de artış göstermektedir. Özgül ağırlığın direnç üzerindeki artırıcı etkisi en fazla çekme direncinde görülmektedir. Daha sonra eğilme direnci, makaslama direnci ve en son olarak da basınç direnci sayılabilir (Botannini, 2011).

2.3.2.5 Ahşabın burulma dayanımı

Burulma direnci bir ahşap çubuğun iki ucundan eksene dik ve ters yönlerde olmak üzere etki eden ve malzemeyi eksen etrafında burmaya çalışan kuvvetlere karşı kırılma anında gösterdiği karşı koyma olarak tanımlanabilir. Birimi kg/cm^2 'dir.

Bir ahşap çubuk, eksen etrafında ters yönlerde etki eden iki kuvvet tarafından çevrilerek burulursa bir burulma momenti meydana gelir. Burulma momentinin büyüklüğü cismin yapısından başka, malzemenin enine kesitine de bağlıdır. Burulmada meydana gelen deformasyonlar ve kırılma şekli enine kesitin daire, dikdörtgen ve kare olmasına göre farklılık göstermektedir. Özgül ağırlığın artması burulma direncini de artırmaktadır. Fiber doyma noktasına kadar rutubetin artması ile burulma direnci ters orantılı olarak azalmaktadır (Berkel 1970).

Liflere paralel burulma direnci liflere dik yöndeki burulma direncine nazaran iğne yapraklı ağaçlarda yaklaşık 3 kat, yapraklı ağaçlarda ise yaklaşık 1,5 kat daha yüksek bulunmaktadır. Liflere paralel burulmada en yüksek gerilme sınırında numunede boyuna çatlamlar, enine kesiti köşeli olan numunelerde köşelerde kıymıklanma görülmektedir. Liflere dik yönde burulmada ise öz ışını boyunca düzgün yüzeyli kırılmalar meydana gelmektedir (Berkel 1970).

2.4 Lamine Ahşap

Ahşap tüm dünyada çok geniş kullanım alanı olan bir malzemedir. Yapı alanındaki kullanımı neredeyse insan medeniyetleri kadar eskidir. Ahşap, malzeme özellikleri anlaşıldıkça, ileri araştırmalar sonucu özellikleri iyileştirildikçe üstün yapı malzemesi olmaya devam etmektedir. Yapı teknolojisindeki en önemli ahşap malzemesi, lamine ahşaptır. Glulam olarak da anılmaktadır. Glulam ileri bir mühendislik ürünü olup, çeşitli yapısal ve mimari uygulamalarda kullanılmaktadır. Gerçekten çelik ve betona kıyasla glulam daha iyi bir dayanım ağırlık oranı göstermektedir. Çok iyi bir yangın dayanımına sahiptir. Geniş kesit alanı ve çok yönlü boyutları ile kemer, kiriş ve kolon yapımında kullanılabilir. (Ansel, 2015).

2.4.1 Lamine ahşabın kısa tarihçesi

Lamine ahşap, yük taşıyıcı kemerler olarak ilk defa İngiltere ve Scotland arasındaki demiryolu köprülerinde (1835-1855) kullanılmıştır. Glulam tarihi kayıtlı olarak İngiltere'nin Southampton şehrinde King Edward Koleji'nin salonunda (1860) kullanılmaya başlanmıştır. İlk patent Otto Hetzer tarafından Almanya Weimer'de (1906) alınmıştır. Malzemenin bazı ilk yapıları; İsviçre Basel'deki oditoryum (1893) , Amerika'daki United States Department of Agriculture (USDA) Forest Service, The Forest Product Laboratory Servisi, İsveç Stocholm'daki Merkez Tren İstasyonu bekleme salonu (1925).

Lamine ahşabın çok yönlülüğü mühendis ve mimarlara hayal ettiği yapıyı inşa etme fırsatı vermektedir. Örneğin Norveç'teki Oslo Leonardo da Vinci Köprüsü'nün estetiği Şekil 2.16'de görülmektedir.



Şekil 2.16: Oslo Leonardo da Vinci Köprüsü (Url-5).

Diğer bir örnek Kanada'daki Richmond Olimpik Oval Kapalı spor salonudur. Ana kemerleri yaklaşık 100m'lik açıklığı geçebilmektedir (Şekil 2.17).



Şekil 2.17: Richmond Olimpik Oval spor salonu (Url-6).

Glulam farklı ebatlarda ve kompleks şekillerde üretilerek, geniş açıklıklı yapı üretimine olanak sağlamakta aynı zamanda yapısal mühendislik esaslarını karşılayarak mimari estetik beklentisine de son derece başarılı bir şekilde cevap verebilmektedir. (Ansel, 2015)

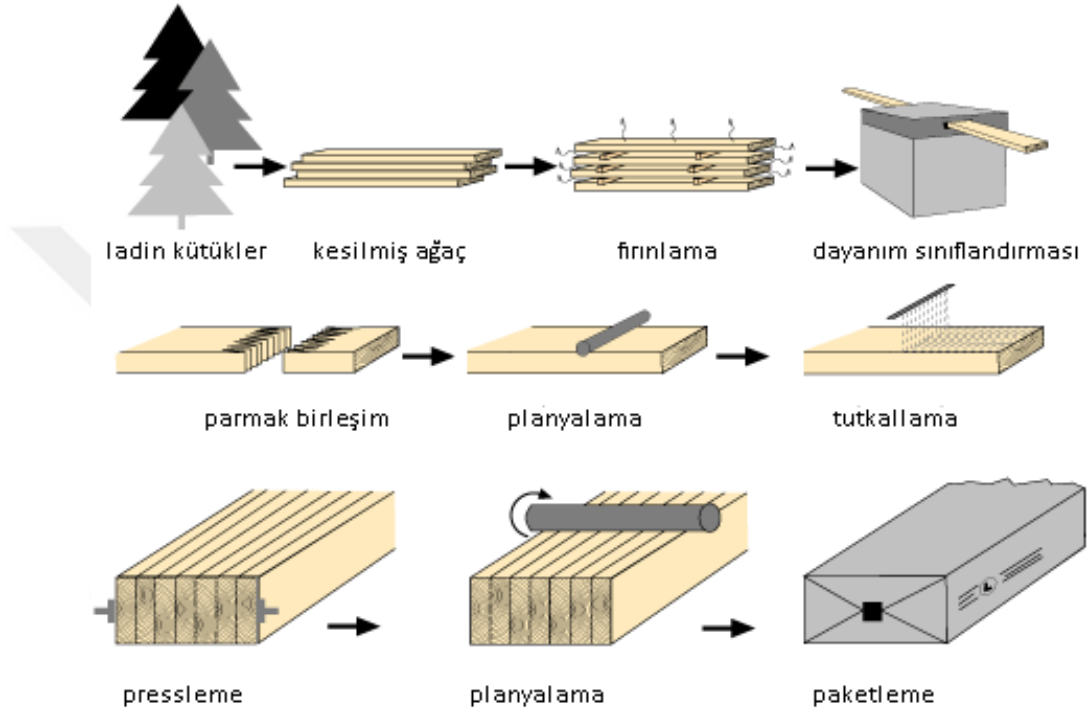
2.4.2 Lamine ahşabın üretimi

Glulam küçük ahşap parçaların tüm katmanlarındaki liflerin boyuna yönde paralel yapıştırılıp lamine edilmesi ile elde edilir. Yapı endüstrisindeki taleplere bağlı olarak boyunun, derinliğinin ve eninin artırılması ve yapısal uygulamalar için tek bir geniş eleman elde edilmesi mümkündür. Lamine ahşap üretimi için, ahşabın küçük parçaları, özel orman koruluklarından, çok hızlı büyüyen, kütük çapı daha küçük olan ağaçlardan elde edilir. Glulam üretimi için kullanılabilecek genel Avrupa menşeli ağaç türleri BS EN 14080 (2013)'de listelenmiştir (Issa ve Kmeid, 2005).

Glulamın fabrikada üretim aşamaları Şekil 2.18'de gösterilmiştir. İlk aşama ahşap kalasların fırında kurutulması ile başlar. Ahşap parçalar fırında yeterli hava sirkülasyonu alacak şekilde düzenlenir ve dizilirler. Kurutma işlemi bittikten sonra ham malzeme dayanım bakımından sınıflandırılır. Dayanımı azaltan kusurlar tespit edilir. Gerekirse malzeme kesilerek bu kusurlar uzaklaştırılır. Daha sonra ahşap parçalar parmak birleşim (finger-joint) makinesi ile kesilir ve istenilen boyutta tutkal ile birleştirilerek külemeye bırakılır. Ahşap parçalar daha sonra planyalanır ve tutkal düzgün bir şekilde düz yüzeye uygulanarak yapışma sağlanır. Yapıştırılan ahşaplar sıkıştırılarak külemeye alınır. En sonunda glulam ahşaplar yüzeylerindeki pürüzleri ve tutkal kalıntılarını temizlemek için planyalanır ve paketlenir (Şekil 2.18)(Glulam handbook, 2003).

2.4.2.1 Kurutma

Kütükten kesilen ahşap parçalar fırında 6-15% nem içeriğine kadar kullanılacak tutkal türüne göre kurutulurlar. Bu durum laminasyon sırasında iyi yapışma sağlar. Ayrıca fırının, kuruma gerilmelerini minimize etmek için bütününde üniform nem içeriğinde olması tavsiye edilir (Ansel, 2015).



Şekil 2.18: Glulamın üretim aşamaları (Ansel, 2015).

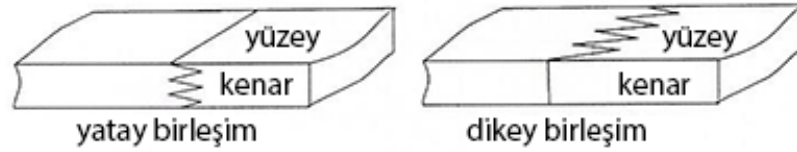
2.4.2.2 Dayanım sınıfı belirleme

Fırın kurusu ahşap parçalar, planyalanıp farklı ülkelerde geçerli olan standartlara göre görsel ya da makine metodu ile dayanım sınıflandırmasına alınırlar. Birçok Avrupa ülkesinde BS EN 14080 (2013) standardındaki bilgiler glulam için referans alınır. BS EN 14081 de ahşabı görsel ya da makine ile sınıflandırmak için gerekli genel şartları belirtir. Görsel sınıflandırma subjektiftir. Daha çok bu konuda uzman kişilerin deneyimine bağlıdır. Genel olarak fırın içindeki malzemelerin tek tek incelenmesi zor olduğundan grup olarak karar verilir. Bu karar sürecine kaba tahmin de denilebilir. Bunun yanında makine ile yapılan sınıflandırma çok daha kısa süreli ve doğru sonuçlar verir. Makinenin olmadığı yerlerde genelde görsel sınıflandırma yapılır.

Sınıflandırma makinesi kullanılarak çok daha kolay ölçülen dayanım sınıfları sayesinde ahşabın üç temel özelliği elde edilir. Dayanım, sertlik ve yoğunluk (Glulam handbook,2003).

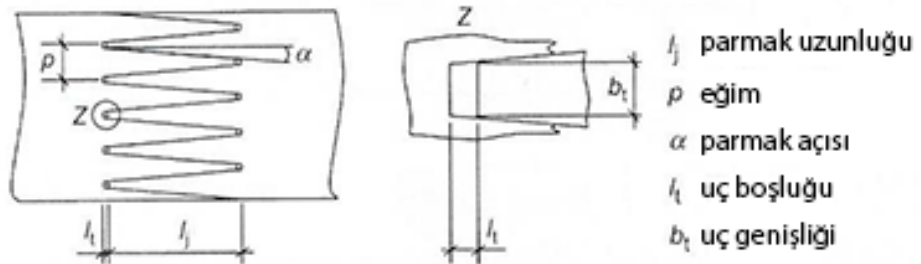
2.4.2.3 Parmak birleşim

Sınıflandırma sürecinden sonra ahşabın dayanımını azaltan kusurlar kesilir, temizlenir ve parçalar tekrar birleştirilir. Lamine ahşap üretiminde parmak birleşim uzun parçalar yapımında sıklıkla kullanılır. Yatay ve dikey birleşim Şekil 2.19’de gösterilmiştir.



Şekil 2.19: Lamine ahşap yatay ve dikey birleşim şekli (Glulam handbook, 2003).

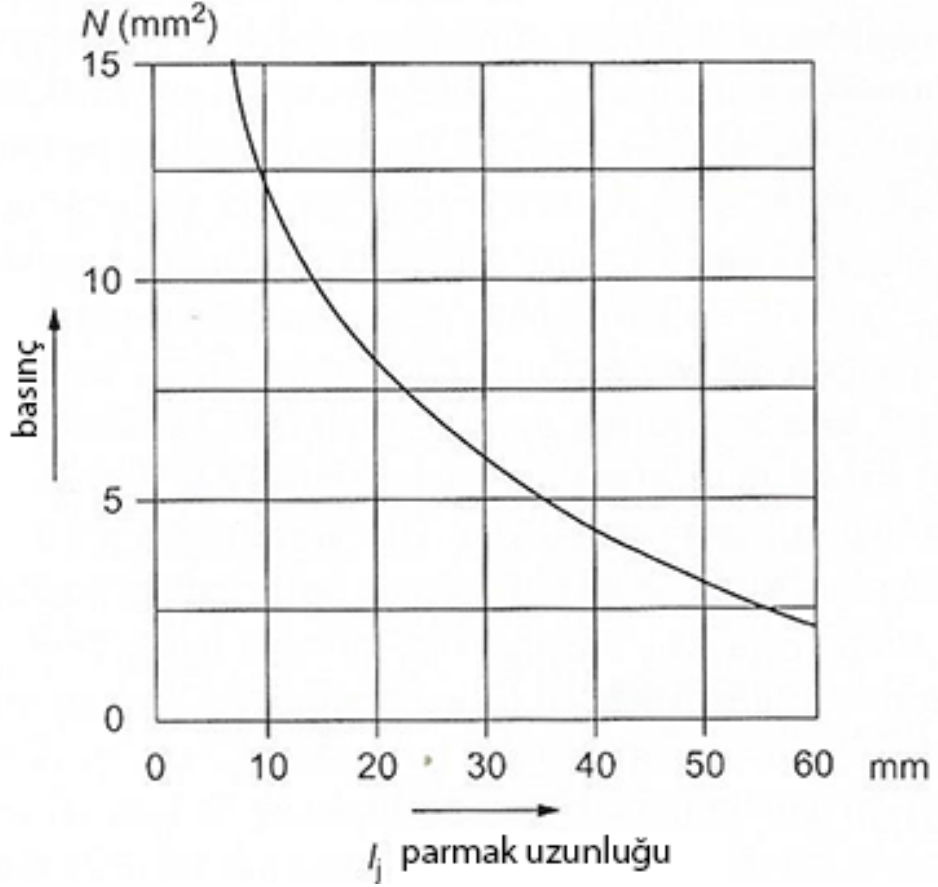
Doğru parmak birleşimler elde etmek için özenli uygulama yapılmalıdır. Şekil 2.20’de parmak birleşim profili TS EN 14080’deki ifadesine göre görülmektedir



Şekil 2.20: Parmak birleşim profili (TS EN 14080,2013).

Birçok standartta belirtilen talepler dikkate alınmalı malzemenin doğal büyüme özellikleri ve kusurlarına, budak, lif deformasyonu, yarıklar, kenar hasarı ve bunların parmak birleşim özellikleri üzerindeki etkisine dikkat edilmelidir. Tüm şartlar sağlandıktan sonra ahşap parçalar tutkallamadan önce parmak profil kesici ile kesilir. Tutkallamadan önce parmak birleşim yapılacak yüzeylerin temiz olması çok önemlidir. TS EN 14080’e göre kesim ve yapışma süresi arasındaki zaman 6 saatten fazla olmamalıdır. Dahası, makinedeki yapışma aşamasında tutkal ahşabın tüm uçlarına uygulanmalı, parmak uzunluğunun en az %75’ine ulaşmalıdır. Etkili yapışma için sıkışma anında bu durum gözlenmelidir. Ahşap için farklı parmak uzunluklarında 20C’de istenen sıkışma basıncı Şekil 2.21’de yaklaşık olarak verilmiştir (Ansel, 2015).

Sıkıştırma işleminden sonra ürünler kütleme için alınırlar ve fazla tutkaldan temizlenirler. İstenilen dayanım sağlandıktan sonra farklı birleşim alternatifleri kullanılabilir. TS EN 14080 (2013) parmak birleşim profili geometrisi için Çizelge 2.7’de bazı öneriler sunar.



Şekil 2.21 : Glulamda parmak uzunluğu ve basınç dayanımı arasındaki ilişki (TS EN 14080, 2013).

Çizelge 2.7: Önerilen parmak birleşim ölçüleri (TS EN 14080, 2013).

Parmak Uzunluğu l_f (mm)	Eğim uzunluğu p (mm)	Uç Genişliği b_t (mm)	İndirgeme Katsayısı v
15	3.8	0.42	0.11
20	5.0	0.5	0.10
20	6.2	1.0	0.16
30	6.2	0.6	0.10

Ayrıca Çizelge 2.7’de yer alan değerler de aşağıdaki denklemlerden çıkan değerlerdir.

$$v = b_t / p \quad v \leq 0.18 \text{ olmalı,} \quad (3.3)$$

$$l_f \geq 4p \quad (1-2v) \quad l_f > 10 \text{ mm olmalı} \quad (3.4)$$

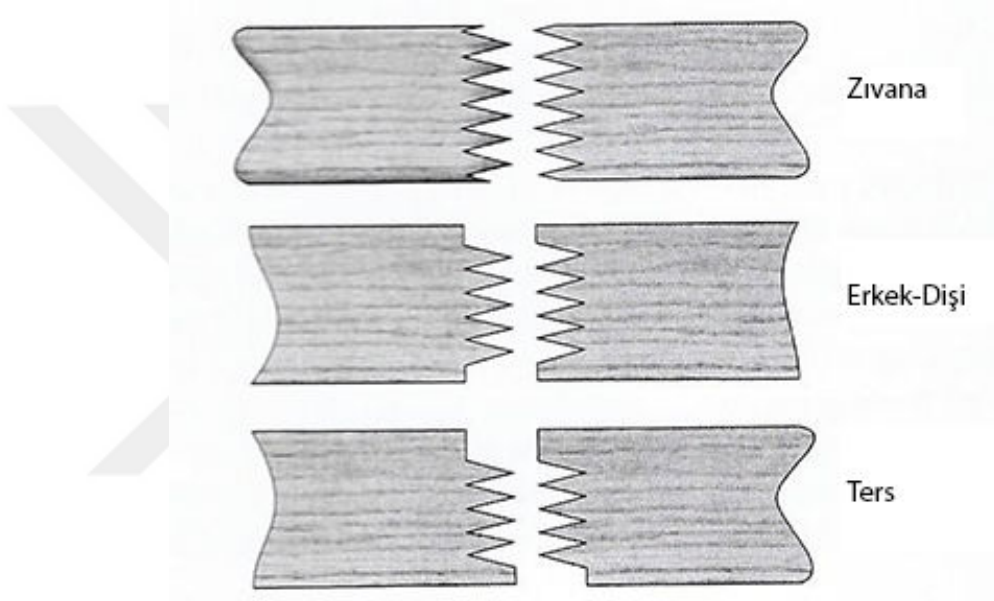
$$\alpha \leq 7.1^\circ$$

$$e = l_t / l_j \quad 0.01 < e < 0.08 \text{ olmalıdır.} \quad (3.5)$$

v = indirgeme faktörü

e = boşluk

Parmak birleşimin performansını artırmak için birçok çalışma yapılmaktadır. Geometri optimizasyonu üzerinde çalışılmaktadır (Tran. 2014). Vrazel ve Sellers (2004) farklı ahşap türleri ve tutkallarının kombinasyonunun dayanım üzerine etkilerini değerlendirdi. Bustos (2003) farklı birleşim konfigürasyonlarını ve bunların eğilme ve çekme dayanımı üzerindeki etkilerini ortaya koydu. Şekil 2.22’de farklı birleşim türleri görülmektedir.



Şekil 2.22: Parmak birleşim konfigürasyonları (Bustos, 2003).

Parmak profilin uzunluğu parmak birleşimin verimini önemli ölçüde etkilemektedir (Ayarkwa ve Diğ.,2000). Parmak birleşim Ayarkwa ve diğerlerine göre optimum performansı 18mm parmak uzunluğunda ve düşük yoğunluklu sert ağaç için 8MPa basınçta, orta yoğunluktaki sert ağaçta 12MPa’da göstermiştir.

Yapılan çalışmalarda, parmak birleşimli glulam elemanın dayanımı aynı tür için masif ahşapla kıyaslanmıştır. Parmak birleşimin özenli üretim yapıldığı takdirde dayanımının, masif ahşap elemanın dayanımının %75’ine ulaştığı görülmüştür (Moody ve Diğ., 1999).

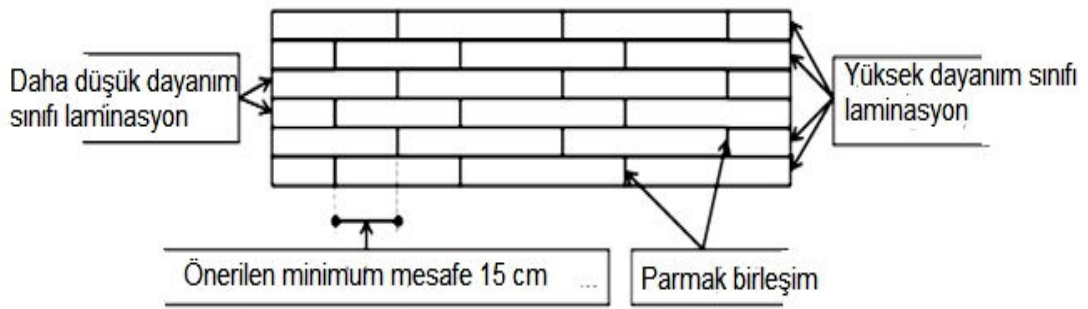
Genellikle parmak uzunluğu 45mm’den büyük kullanılır. Glulam kirişin genişliği geniş parmak birleşim profilinin parmak boyundan en az beş kat fazla olmalıdır (BS EN 14080 Annex I, 2013).

2.4.2.4 Laminasyon

Parmak birleşimlerin kürlenmesinden sonra, kürlenmiş ahşap fazla tutkalın ve pürüzlü yüzeylerin düzleştirilmesi için planyalanır. Planya işleminden sonra 24 saat içinde laminasyon işlemine geçilir. Şekil 2.10. Bazı üreticiler tutkal sürmeden önce lamine elemanları parmak birleşim yerleri üst üste gelmeyecek şekilde dizerler.

Bazı kaynaklar komşu parmak birleşimler arası en az 15cm şaşırtma olması gerektiğini ifade eder. Aynı zamanda çekme gerilmesi tarafında yer alan laminelerde son birleşim yeri kenardan en az 1.8m içeride ve toplam kiriş derinliğinin 1/10'u kadar olmalıdır (Glulam handbook, 2003).

Laminasyon düzenlemesi homojen ve birleşik katmanlı olarak ikiye ayrılır. Homojen lamine ahşaplar aynı dayanım sınıfındaki laminelerden oluşur. Birleşik katmanlılar ise farklı dayanım sınıfındaki lamellerin laminasyonundan elde edilir. Prensipte birleşik glulam elemanlarda dayanım değeri yüksek lameller yüksek gerilmeyi karşılamak için dış bölüme yerleştirilir (Şekil 2.23).



Şekil 2.23: Glulam kirişlerde tipik laminasyon düzenlemesi ve parmak birleşim aralığı (Glulam handbook, 2003).

Falk ve diğerleri (1992) yaptıkları çalışmada homojen ve birleşik katmanlı lamine ahşaplardan oluşan kirişlerin eğilme dayanımlarını kıyaslamıştır. İç kısımda 5 katmanlı düşük dayanımlı lamellerin ve dış kısımda 4 katmanlı yüksek dayanımlı lamellerin yer aldığı kiriş ile bütünüyle yüksek dayanım sınıfından olan lamellerden üretilen kirişi karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak birleşik katmanlı elemanın homojen elemanla kıyaslanabilir olduğu görülmüştür. TS EN 14080'e göre Çizelge 2.8'de düz ve eğik glulam kirişlerin bitmiş laminasyon kalınlıkları önerilmiştir.

Çizelge 2.8: Önerilen lamine kalınlığı (TS EN 14080,2013).

Servis Sınıfı (SC) EN 1995-1-1 (2004)'e göre	Yapıştırılmış Ahşap	Lamine	Yapıştırılmış Masif Ahşap
SC 1 ya da 2	$6 \leq t \leq 45$		$45 < t \leq 85$
SC 3	$6 \leq t \leq 35$		-

AITC 117'e göre denklem 7.5'de kavisli glulam elemanlar için bitmiş lamine kalınlığının kavisin yarıçapına oranı güney çamında 1/100, diğer yumuşak ağaçlarda 1/125 ile limitlendirilir.

$$t \leq r/250 (1 + (f_{m,j,dc,k}/150)) \quad (3.6)$$

t : bitmiş lamine kalınlığı (mm)

r: elemanın en küçük yarıçapı (mm)

$f_{m,j,dc,k}$: parmak birleşimin karakteristik eğilme dayanımı (N/mm²)

2.4.2.5 Yapıştırıcılar

Yapıştırıcılar lamine elemanların önemli komponentlerindendir. Glulam teknolojisinin ilk patent dönemi Hertzer Sistemi'nde (1893) kullanılan tutkalların su geçirmezlik özelliği yoktu. Daha sonraki araştırma ve gelişmelerde tutkal teknolojisinde, özellikle sentetik reçine tutkallarında suya dayanım özelliği ön plana çıktı. Bu sayede de glulamın köprü ve diğer yüksek nemli yerlerde ya da dış ortam koşullarında kullanılmasına teşvik edilmiş oldu. (Moody ve Diğerleri, 1999)

Glulamın üretiminde lamellerin yapışması ve parmak birleşim için genellikle fenolik ve aminoplastik tutkallar, nem ile kürlenerek tek bileşenli poliüretan (PUR) tutkalları ve emülsiyon polimer izosiyanat (EPI) tutkallar kullanılır. Bu tutkallar iki gruba ayrılır. Tip I ve Tip II; üç farklı servis sınıfında son kullanımlarına göre gruplandırılırlar. Genelde servis sınıfı 1 daha çok iç ortamda ve ortalama nem içeriği %12'yi geçmeyen daha çok yumuşak ağaçların tercih edildiği mekanlar için kullanılır. Servis sınıfı 2 nem içeriği %20'yi geçmeyen daha çok yumuşak ağaçların kullanıldığı, dış ortamda üstü kapalı, yarı açık mekanları tanımlar. Servis sınıfı 3 ise servis sınıfı 2'den daha yüksek nem içeriğindeki dış mekanları tanımlar.

Çoğunlukla fenolik ve aminoplastik tutkal örnekleri; melamin formaldehit, melamin üre formaldehit, fenol rezorsin formaldehit ve üre formaldehittir. Yük taşıyan bu tutkallardan, fenolik ve aminoplastik için sınıflandırma ve performans şartları BS EN 301'de açıklanmıştır. Tek bileşenli PUR, BS EN 15425 (2008) 'de EPI ise BS EN 16254 (2013)'de açıklanmıştır. Tutkalların uygulaması için gerekli olan şartlar ve test methodları BS EN 302 ve BS EN 15416'da belirtilmiştir (Ansel, 2015).

2.4.2.6 Birleşimler

Ahşap yapıların montajı bağlantı sistemleri olmadan mümkün değildir (Şekil 2.24). Bağlantı sistemlerinin uygulaması, yeri ve sistem detayları elemanın statik açısından büyük önem kazanmaktadır. Bu nedenle projeye hazırlık aşamasında hesabı ve her

türlü detaylandırması sistem mühendisleri tarafından titizlikle yapılmalıdır. Genellikle montaj elemanları projeye ve kullanılacakları bağlantı yerine göre detaylandırılıp üretimi yaptırılmaktadır.



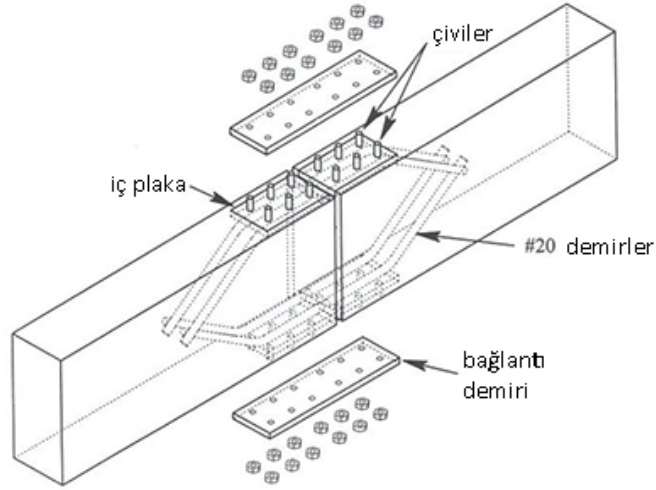
Şekil 2.24: Lamine ahşap bağlantı örneği (Url-7).

Bağlantı sistemleri açık ve gizlenmiş olarak kategorize edilebilir. Gizlenmiş birleşimler estetik olarak açıkta olanlara nazaran tercih edilebilir. Dahası sert çevre şartlarından ve yangından korunmuş olurlar (Şekil 2.24).



Şekil 2.25: Gömülmüş gizli bağlantılar epoksi türü yapıştırıcılar ile malzemeye sabitleniyor (Url-8).

Gizlenmiş bağlantılar Şekil 2.26'teki gibi moment karşıtı kapasiteleri ile, çubuk şeklinde gizli bağlantılar, plaka şeklinde gizli bağlantılar, ek yerlerine gömülmüş ahşap bağlantılar, kavela tipinde bağlantılar olarak sınıflandırılabilirler (Bainbridge ve Mettem, 1998).



Şekil 2.26: Moment karşıtı bağlantı tipi (Bainbridge ve Mettem, 1998).

2.4.3 Lamine ahşap ile ilgili yeni araştırma ve teknolojiler

Lamine ahşaptaki son gelişmeler, çok katlı ahşap bina yapımını ve geniş açıklıklı yapıların inşaatını olanaklı hale getirmiştir. Örnek olarak Norveç'teki 14 katlı ahşap apartmanda glulam yük taşıyan destek şeklinde kullanılmıştır. Bu bina en yüksek ahşap binaların başındadır (Abrahamsen ve Malo, 2014). Glulam ayrıca İsveç'teki bir nehirde kullanılmış ve 47,4km uzunluğunda kemerlerle 2013 yılına kadar en geniş açıklık geçen ahşap köprü inşa edilmiştir (Ekholm ve diğerleri, 2013).

Yapılan çalışmalar glulam ürünlerden daha iyi performans, daha uygun maliyet ve verim elde edilmediğine yöneliktir. Son zamanlarda tutkal teknolojisindeki gelişmelerle laminasyonun performansını ortaya koymaya yöneliktir (Serrano ve diğerleri, 2014). Ayrıca tutkal performansının iyileştirilmesi ile parmak birleşim performansı da incelenmiştir. Tek bileşenli PUR tutkalları kullanarak yeni kesilmiş ahşaptan elde edilen glulam kirişlerin performansı ortaya konulmaktadır (Sterley ve diğerleri, 2014). Yaş ahşabı tutkallamadaki amaç normal üretim sürecinde fırında yapılan kurutma işlemi sırasında harcanan zamanı kaldırmaktır. Çalışmada ahşap kirişler nem içeriği fiber doyma noktasına yakın ya da daha yüksek nem içeriğindeki yeni kesilmiş ladin kullanılarak yapıldı. Yaş glulam kirişler daha sonra fırında kurutuldu. Belirli ebatlarda işlendi ve test edildi (Serrano ve diğerleri, 2014). Böylelikle yüksek eğilme dayanımında glulam kiriş üretiminin mümkün olduğu sonucuna varıldı. Nemli yüzey laminasyonu ile, yeni kesilmiş ahşabın parmak birleşim ile birleşmesinde, kuru şekilde parmak birleşim ile çekme dayanımında rekabet edebildiği tespit edilmiştir (Sterley ve diğerleri, 2014).

Hızlı büyüyen koru ağaçları glulamın üretiminde hammadde olması bakımından popülerite kazanmaktadır. Küçük çaplı kütükler glulam teknolojisinde küçük parçaların tutkallanarak ve birleştirilerek büyük boyutlar elde edilmesinden dolayı tercih sebebidir.

Lamine ahşap yapıların tamirinde, yapışma kusurlarını taraması, çatlak ve kusurlardan dolayı zayıf kesitin belirlenmesi için yıkıcı olmayan (non-destructive) metodlar çok elverişlidir. Teder ve Wang (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, Forest Products Laboratory'de, 75 yaşında sökülmüş glulam kemerin durumu değerlendirilmiştir. Birçok yıkıcı olmayan method kullanılmıştır. Bu metodlardan biri olan gerilim dalgası zamanlama (stress wave timing) ve ultrasonik yayılmanın (ultrasonic propagation) geniş yapışma delaminasyonunu ortaya çıkarabildiği sonucuna varmışlardır. İç kusurları ortaya çıkarmak için bu metodların hepsi ve mikro delme (micro-drilling) metodu yapılabilir. Diğer bir çalışma Neuenschwander (2013) tarafından yapıldı. Doksan yaşındaki eski bir glulam elemanın yapışma delaminasyonunu yıkıcı olmayan test olan kuru nokta temas metodu (dry point-contact method) ile ortaya koydu. Gelecekteki amaç ise tomografik muayene (tomographin inspection) sistemlerini glulam kesitlerindeki daha küçük kusurları tespit etmek için geliştirmek.



3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmanın amacı olan ahşabın ve lamine ahşabın durabilitesine ve mekanik özelliklerine ortam şartlarının etkisini ortaya koymak için deneysel çalışma programlanmıştır. Lamine ahşap endüstrisinde elde etme kolaylığı ve laminasyona uygun oluşundan dolayı en çok ladin ağacı tercih edilmektedir. Bu durum çalışmanın geçerliliğini sağlamak açısından ladin ağaç türünün seçilmesinde belirleyici bir faktör olmuştur. Numune tedariki için Türkiye'nin önde gelen lamine üreticilerinden biri ile irtibata geçilmiş ve istenilen numuneler, firmanın beyanına göre DIN 1052 standardına uygun olarak firma tarafından üretilmiş ve İTÜ Mimarlık Fakültesi Malzeme Laboratuvarı'na gönderilmiştir. Üretilen lamine ladin numuneler için yıllık halka düzeni, budağın varlığı, reçine paketleri gibi kusurlar göz ardı edilmiştir. Lamine ladin numunelerin birleşimi parmak birleşim ile sağlanmıştır. Çizelge 3.1'de lamine elemanların üretim şartları verilmiştir.

Çizelge 3.1: Test numuneleri üretim şartları.

Ağaç Türü	Ladin
Tutkal Harcı	Melamin Üre Formaldehit (MUF)
Tutkal Miktarı	350gr/m ²
Tutkal Pres Süresi	150dk/pres
Bağıl Nem	%60
Sıcaklık	23°C

Lamine ahşap numuneler yaklaşık %12±2 nem içeriğinde üretilmiştir. Lamine elemanların üretiminde kullanılan tutkal türü melamin üre formaldehittir (MUF). Karışım oranı 100 birim tutkal için 50 birim sertleştirici şeklindedir. Tutkal ve sertleştirici sıvı haldedir. Tutkalın rengi opak beyaz sertleştiricinin rengi ise beyaz renktedir. Melamin üre formaldehit tutkalının ürün özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Numuneler 9 lamelli, 4 lamelli ve masif ladin numuneler şeklinde hazırlanmıştır. Numunelerin nem değerlerine nem ölçer ile bakılmıştır. Hazırlanan numuneler laboratuvar ortamında %60 RH'de 20°C±2'de istiflenmiştir.

Çizelge 3.2: MUF tutkal özellikleri.

Ürün	MUF Tutkal			Sertleştirici		
Teslim Şekli	Sıvı			Sıvı		
Rengi	Opak Beyaz			Beyaz		
Viskozite (üretim anında)	10000-25000 poise			1700-2700 poise		
Yoğunluk	Yaklaşık 1270kg/m ³			Yaklaşık 1070 kg/m ³		
Ph (üretim anında)	9,5-10,7 (25°C'de)			1,3-2,0 (25°C'de)		
Kuru İçerik	64-69%			Uygun değil		
Raf Ömrü (Ay olarak)	15°C	20°C	30°C	15°C	20°C	30°C
	4	4	2	4	4	2,5
Formaldehit	≤8% serbest formaldehit			Formaldehit içermez		

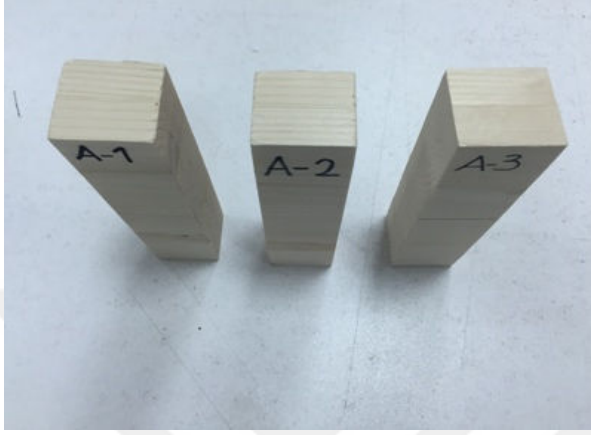
3.1 Deney Programı

Lamine ahşap ve masif ladin ahşap numunelerin mekanik ve fiziksel özelliklerini ölçmek için öncelikle bir deney programı oluşturulmuştur. Yapılan deney planı Çizelge 3.3'te yer almaktadır.

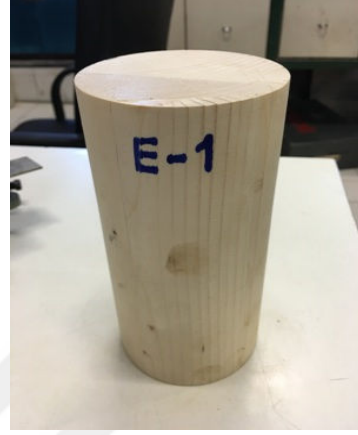
Çizelge 3.3: Deney programı.

Deney Adları	MEKANİK DENEYLER	FİZİKSEL DENEYLER
Islanma Deneyleri RH %60'dan %90'a 20C°±2C°	Liflere Dik Eğilme-Çekme Deneyi Liflere Dik Basınç D. Liflere Paralel Basınç D.	Şişme Deneyi Büzülme Deneyi
Kuruma Deneyleri RH %60'dan %40'a 20C°±2C°	Liflere Dik Eğilme-Çekme Deneyi Liflere Dik Basınç D. Liflere Paralel Basınç D.	Şişme Deneyi Büzülme Deneyi
Normal Ortam Şartları RH %60 20C°±2C°	Liflere Dik Eğilme-Çekme Deneyi Liflere Dik Basınç D. Liflere Paralel Basınç D. Elastisite Modülü Tayini D	Şişme Deneyi Büzülme Deneyi Aderans Deneyi
Sıcaklık Deneyleri - 20C° - 50C° - 75C° - 100C°	Liflere Dik Eğilme-Çekme Deneyi Liflere Dik Basınç D. Liflere Paralel Basınç D. Elastisite Modülü Tayini D	
Tutkal Çekme Deneyleri - 20 C°±2C° - 50C° - 75C° - 100C°	Çekme Deneyi - 20 C° - 50C° - 75C° - 100C°	

Gelen malzemeler incelenmiş, Testo 606-1 marka nem ölçer ile nem değerlerine tekrar bakılarak $\%12\pm2$ aralığında olduğu teyit edilmiştir. Bunun yanında hasarlı, kusurlu olan numuneler elenmiştir. Belirlenen deney programı doğrultusunda laboratuardaki mevcut deney cihazlarına göre numune ebatları ve şekilleri belirlenmiş ona göre malzemeler kesilmiştir. Deney numuneleri, dikdörtgen prizması, küp ve silindir şeklinde hazırlanmıştır. (Şekil 3.1)



a



b



c



d



e

Şekil 3.1: Deneylerde kullanılan numune tipleri. Foto a; A, B, L, M, Me, N kodlu kare prizma numuneler, foto b; E ve D kodlu silindir numuneler, foto c; La kodlu küp numuneler; foto d; K kodlu numuneleri, e; C kodlu silindir numuneleri.

Deney programında belirlenen fiziksel ve mekanik deneyler için numuneler farklı harf türleri ile kodlanmıştır. Laboratuarda yer alan deney düzeneklerine uygun olarak ebatları belirlenmiş ve numuneler o ebatlarda hazırlanmıştır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4: Test numune kodları ve ebatları.

KOD	AÇIKLAMA	a (mm)	b (mm)	L (mm)	Çap (mm)
A	Islanma-kuruma deneyleri için kullanılan 9 lamelli lamine numuneler	40	40	160	-
N	Sıcaklık deneyleri için kullanılan 9 lamelli lamine numuneler	40	40	160	-
B	Islanma-kuruma deneyleri için kullanılan 4 lamelli lamine numuneler	40	40	160	-
M	Sıcaklık ideneyleri için kullanılan 4 lamelli lamine numuneler	40	40	160	-
Me	Ultrases deneyinde kullanılan masif meşe numuneler.	40	40	160	-
L	Islanma- kuruma ve sıcaklık deneyleri için kullanılan masif ladin numuneler	40	40	160	-
La	Islanma-kuruma ve sıcaklık deneyleri için kullanılan masif ladin küp numuneler	40	40	40	-
D	Elastisite modülü ve ultra-ses deneyi için kullanılan 9 lamelli lamine numuneler	-	-	200	100
E	Elastisite modülü ve ultra-ses deneyi için kullanılan 4 lamelli lamine numuneler	-	-	200	100
K	Tutkalda kayma deneyi için kullanılan masif ladin numuneler	4	35	80	-
C	Aderans deneyi için kullanılan masif ladin numuneler	-	-	10	50

Programda belirlenen deneyler için numuneler kodlanmış, herbir numune tartılmış, ebatları en, genişlik,boy olarak ölçülmüş, tekrar nem değerlerine de bakılarak tüm bu veriler kayıt altına alınmıştır. Herbir deney için gerekli olan numune sayısı belirlenerek deney için hazır hale getirilmiştir (Çizelge 3.5).

Numunelerden 9 lamellilere A serisi, 4 lamellilere B serisi ve masif ladin numunelere L serisi ve basınç dayanımı için La serisi kodları verilmiştir. (Şekil3.2, Şekil 3.3)

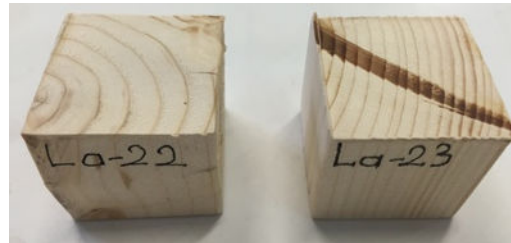
Çizelge 3.5: Test numune kodları, deneyler ve adetler.

KOD	DENEYLERDE KULLANILAN NUMUNE ADETLERİ							
Numune Adları	Eğilme Çekme Deneyi	Liflere Dik Basınç Deneyi	Liflere Paralel Basınç Deneyi	Rötre Den.	Elastisite Modülü Tayini Deneyi	Ultrases Deneyi	Kayma Deneyi (yapıştırıcı için)	Aderans Deneyi
A	36	36	36	6	-	-	-	-
B	36	36	36	6	-	-	-	-
L	36	-	-	6	-	-	-	-
La	-	36	36	-	-	-	-	-
K	-	-	-	-	-	-	6	-
D	-	12	-	-	12	12	-	-
E	-	12	-	-	12	12	-	-
C	-	-	-	-	-	-	-	16
Me	-	-	-	-	-	3	-	-
M*	9	9	9	-	-	-	-	-
N*	9	9	9	-	-	-	-	-
L*	9	-	-	-	-	-	-	-
La*	-	9	9	-	-	-	-	-

* Sıcaklık deneyleri için kullanılan numuneler

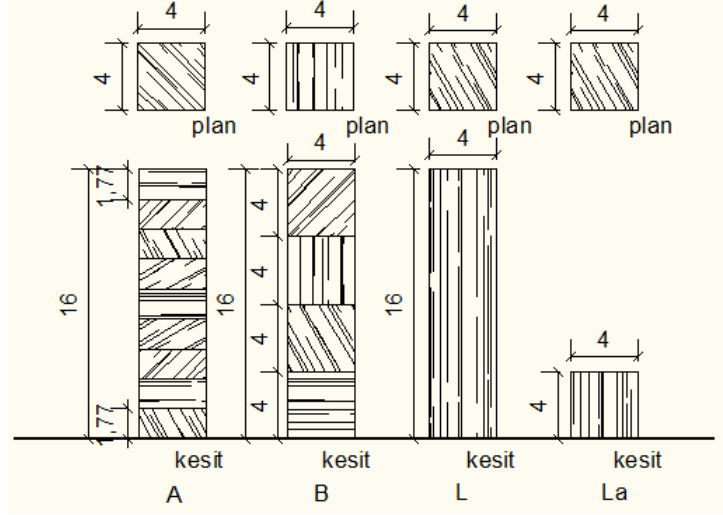


Şekil 3.2: Islanma-kuruma deneylerinde kullanılan A, B ve L kodlu numuneler.



Şekil 3.3: Islanma-kuruma deneylerinde kullanılan La kodlu masif ladin numune.

Büyük budaklı, lamelleri iyi yapışmamış, büyüme kusurlu numuneler ayıklanarak, deney için uygun numuneler seçilerek kodlama işlemi yapılmıştır. (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Kare kesitli test numune örnekleri.

Çimento bazlı harçların deneylerinde kullanılan şişme-büzülme deney düzeneği kullanılıp ahşap numunelerin baş kısımlarına çelik pim yerleştirilerek 24 saatte bir ölçümler yapılmıştır (Şekil 3.5).



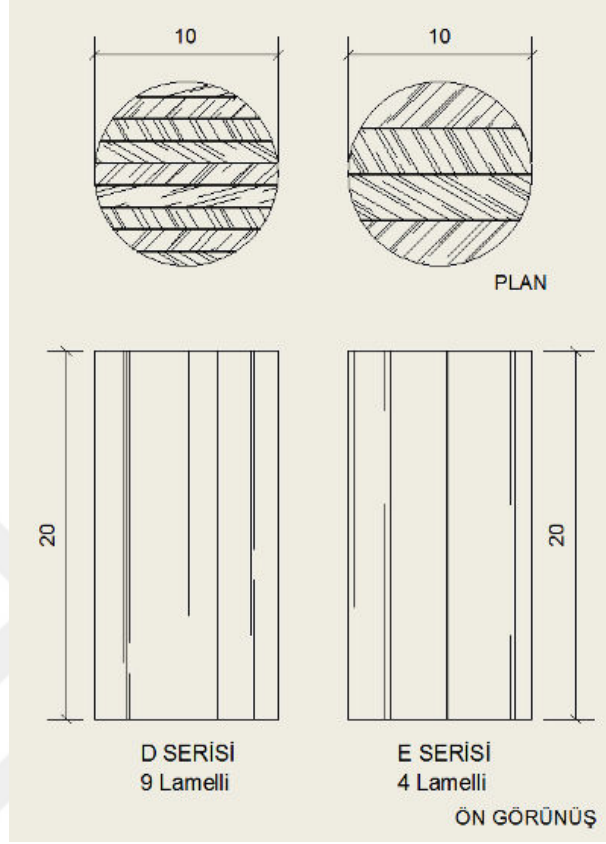
Şekil: 3.5: Şişme-büzülme deney düzeneği.

Aynı kodlama işlemi her bir numune türü için şişme ve büzülme deneyi için de yapılmıştır (Şekil 3.6)



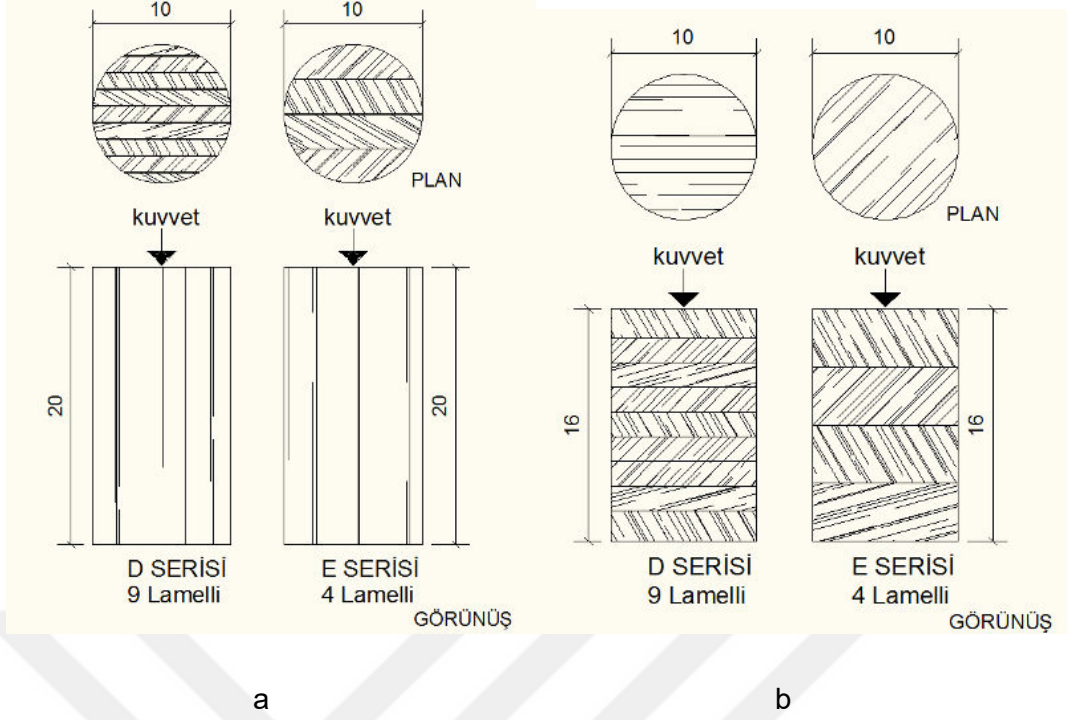
Şekil 3.6: Şişme büzülme deneyi numune örnekleri.

Elastisite modülü tayini deneyi için silindir numune örnekleri tornada 100mm çapında 200mm boyunda olacak şekilde hazırlanmıştır. Dört lamelli olan numuneler E serisi, dokuz lamelli olan numuneler ise D serisi olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: Silindir numune örnekleri çizimi.

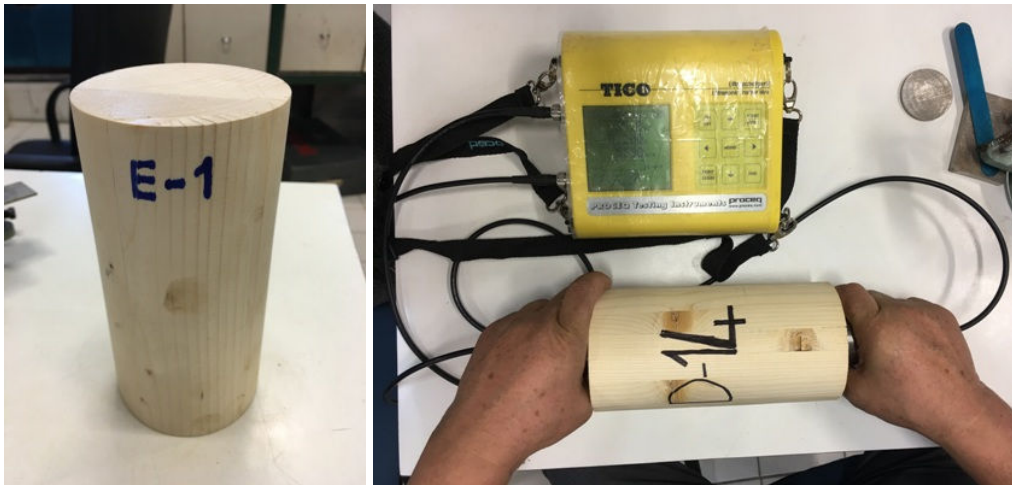
Ölçümleri yapılan ve lif yönleri yük yönüne paralel olan silindir ahşap numunelerin yük altındaki şekil değiştirme okumaları yapılmış ve kayıt altına alınmıştır. İlk olarak ortam sıcaklığındaki ($20C^{\circ} \pm 2$) silindir numunelerin elastisite modülleri ölçülmüş daha sonra sıcaklığın elastisite modülü üzerindeki etkisini incelemek için de $50C^{\circ}$, $75C^{\circ}$ ve $100C^{\circ}$ 'de bekletilen numunelere yük altında şekil değiştirme deneyleri uygulanmıştır. Son olarak da ahşaptaki lif yönlerinin elastik şekil değiştirme üzerindeki etkisini ortaya koyabilmek için lifleri yük yönüne ters yönde olacak şekilde tornada çekilen numunelere deney uygulanmıştır (Şekil 3.8). Farklı sıcaklıklar için numunelere uygulanan lif yönüne paralel ve lif yönüne dik elastisite modülü tayini deneyleri sonuçları kayıt altına alınmıştır. Deneyin metodu ve sonuçları ile ilgili detaylı bilgi deney metodları bölümünde yer almaktadır. Elde edilen değerlere bakılarak ilerleyen bölümlerde farklı numune tipleri ve farklı sıcaklıklar için karşılaştırma grafikleri çizilmiştir.



Şekil 3.8: a: Lifleri yük yönüne paralel silindir numuneler, b: Lifleri yük yönüne dik silindir numuneler.

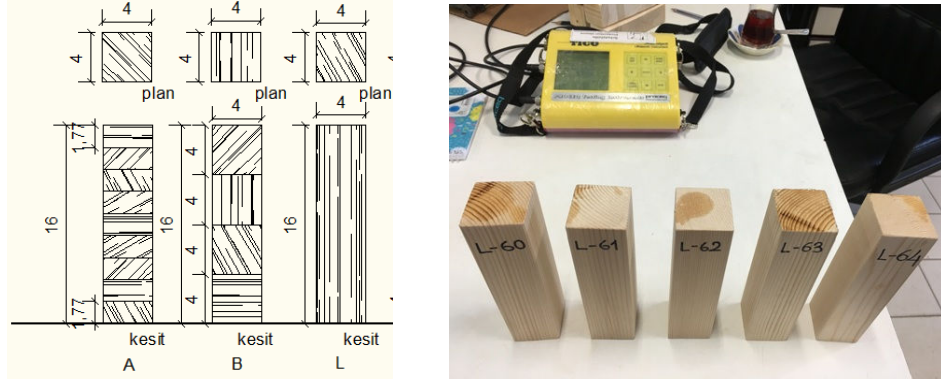
Ultra ses deneylerinde 40mmx40mmx160mm boyutlarında kare prizması ve 100mm çapında silindir şeklinde numuneler kullanılmıştır. Ahşap numuneler, 9 lamelli lamine, 4 lamelli lamine, masif ladin ve masif meşe numuneler olarak hazırlanmıştır. Silindir numuneler tornada çapı 100mm ve yüksekliği 200mm olacak şekilde hazırlanmıştır.

Tornada elde edilen, boyut ve ağırlık ölçümleri yapılan silindir numune örneklerinin Tico marka ultrases cihazı ile ölçümleri yapılmış ve kayıt altına alınmıştır (Şekil 3.9).



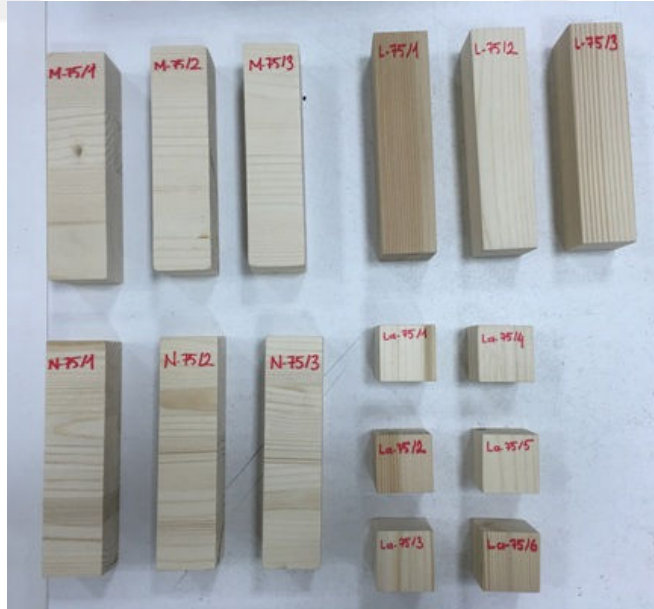
Şekil 3.9: Ultrases ve elastisite modü tayini deneyi için silindir numune örnekleri.

Kare prizması şeklindeki numunelere de ultrases deneyi uygulanmış ve elde edilen sonuçlar kayıt altına alınmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10: Ultrases deneyi için kullanılan kare kesitli prizma numune örnekleri.

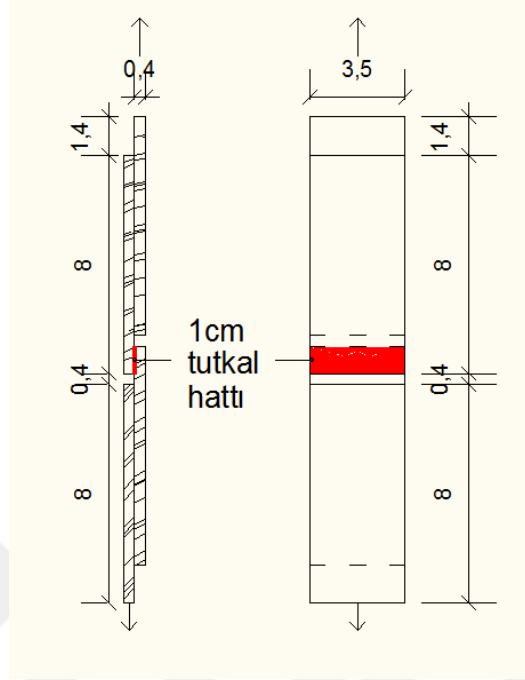
Sıcaklığın 4 lamelli M kodlu lamine ladinin, 9 lamelli N kodlu lamine ladinin ve L kodlu masif ladinin dayanımı üzerindeki etkisini incelemek üzere sıcaklığa dayanıklılık testleri planlanmıştır. Kare prizması şeklinde 40mmx40mmx160mm ebatlarındaki numuneler ve 40mmx40mmx40mm ebatlarında küp masif ladin numuneler kodlanmış, tartılmış ve ne içeriklerine bakılmıştır. Daha sonra 50C°, 75C° ve 100C°'ye koyulmak üzere gruplandırılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11: Sıcaklığa dayanıklılık testleri için 75C°'ye konulan numuneler.

Tutkalda kayma deneyi için ilgili standart olan DIN 53253'e bağlı kalınarak laboratuardaki cihazın çene açıklığına uygun boyutta numune üretilmiştir (Şekil 3.12). Kayma deneyi için 35x4x80(mm³) ebatlarında numuneler hazırlanarak 1'er

cm'lik yapışma yüzeylerinden MUF tutkalı ile yapıştırılmıştır. Daha sonra numuneler çekme ve eğilme cihazındaki çene açıklıklarına yerleştirilerek kayma deneyine tabi tutulmuştur. Tutkalda kayma deneyi $20C^{\circ} \pm 2$, $50C^{\circ}$, $75C^{\circ}$ ve $100C^{\circ}$ için yapılmıştır.



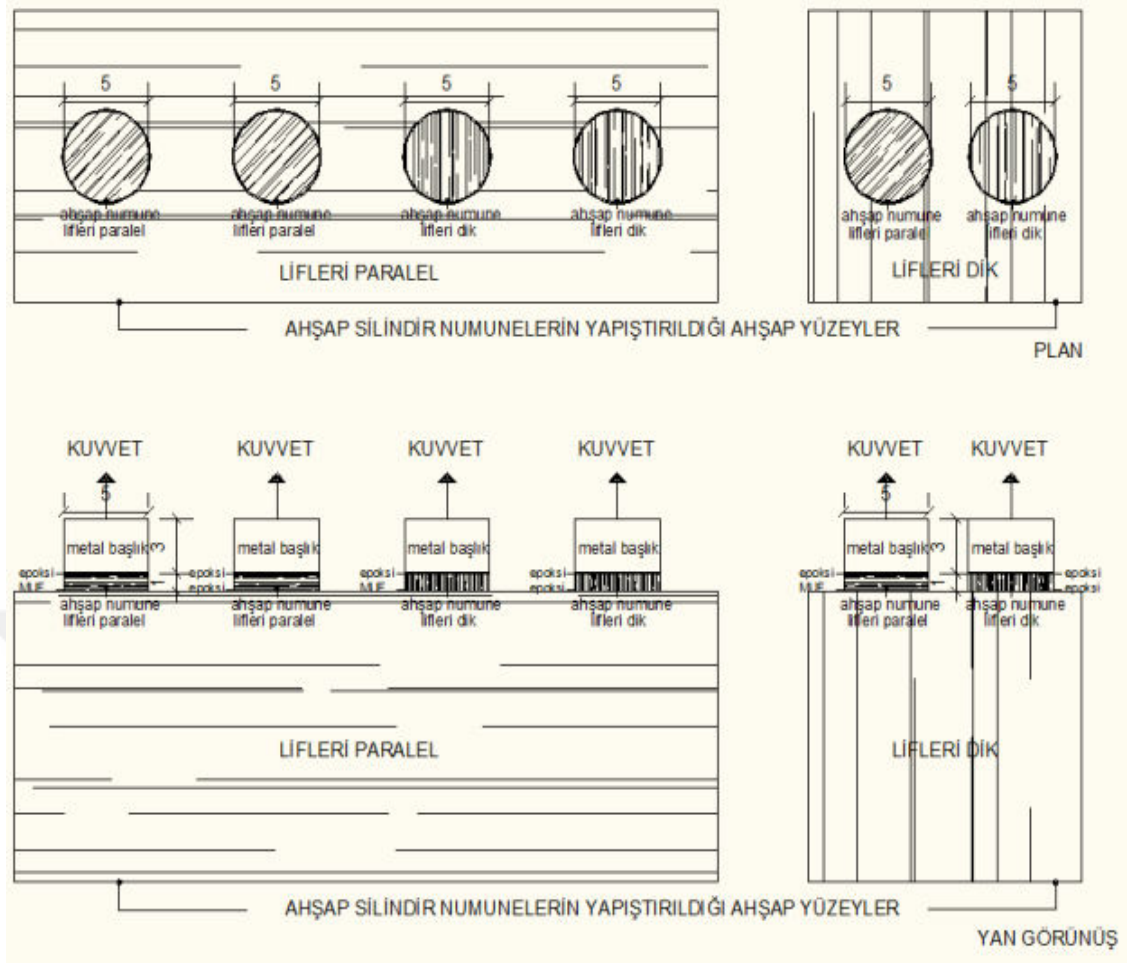
Şekil 3.12: Tutkalda kayma deneyi numune çizimleri.

Çekme deneyi numunelerine K kodu verilmiştir. Numunelere yapılan kayma deneyi neticesinde elde edilen her bir okuma kayıt altına alınmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13: Kayma deneyi numuneleri.

Ladin ahşabın yapışma dayanımını ölçmek için aderans deneyi planlanmıştır. Numuneler 50mm çapında silindirler şeklinde kesilmiş ve diğer bir ahşap yüzeye MUF ve epoksi tutkalları ile yapıştırılmıştır. Ahşabın lifleri paralel ve lifleri dik yönü esas alınarak farklı alternatiflerde aderans deneyleri uygulanmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır (Şekil 3.14). Şekil 3.14'te lif yönleri yüzeye göre belirtilmiştir.



Şekil 3.14: Aderans deney düzeneği çizimi.

3.2 Deneyde Kullanılan Cihazlar

Deneyler İ.T.Ü. Taşkışla Kampüsü Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi

laboratuarında yapılmıştır. Deneyde kullanılan cihazlar aşağıda listelenmiştir:

- Form + Test Seidner D 7940 marka 10 ton maksimum yükleme kapasitesi olan pres. Tip 501/200/10E
- Form + Test Seidner D 7940 marka 300 ton maksimum yükleme kapasitesi olan pres. Tip 502/3000/100E
- Prüf Und Mess MFL Sistem Universal deney cihazı (yüksek hassasiyette yükleme)
- Kumpass
- Tartı: Precisa marka, maksimum çekeri 10kg ve duyarlılığı 1gr'dır.
- Rötire Cihazı
- Etüv
- Espec iklim dolabı
- Ultra-ses cihazı

- Testo 606-1 nem ölçer
- Memmert marka fırın. 2006/95/EEC.
- Ahşap planya makinesi. Numuneleri şekillendirmek için ahşap atölyesinde kullanılmıştır.
- Ahşap daireli yatar makinesi. Numuneleri ebatlamak için ahşap atölyesinde kullanılmıştır.
- Ahşap torna cihazı. Numuneleri şekillendirmek için ahşap atölyesinde kullanılmıştır.
- Ahşap zımpara makinesi. Numunelerin pürüzlerini almak için ahşap atölyesinde kullanılmıştır.
- Aderans deneyi için Besmak marka pull off cihazı kullanılmıştır.
- Buhar geçirimsizlik deneyi için desikatör kullanılmıştır.

Deney programı içinde yer alan basınç ve eğilme deneylerinin uygulanmasında Form+Test Seidner marka 10 ton ve 300 ton yüklemeli cihazlar kullanılmıştır (Şekil 3.15).

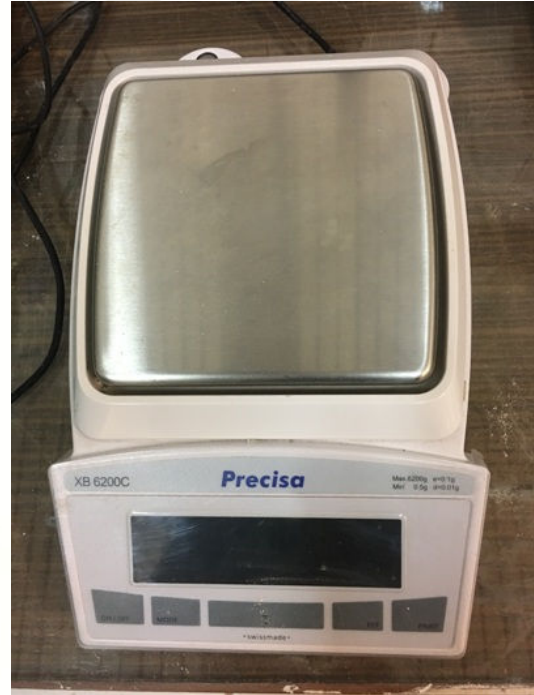


Şekil 3.15: Form + Test Seidner D 7940 marka pres. Form + Test Seidner D 7940 marka pres.

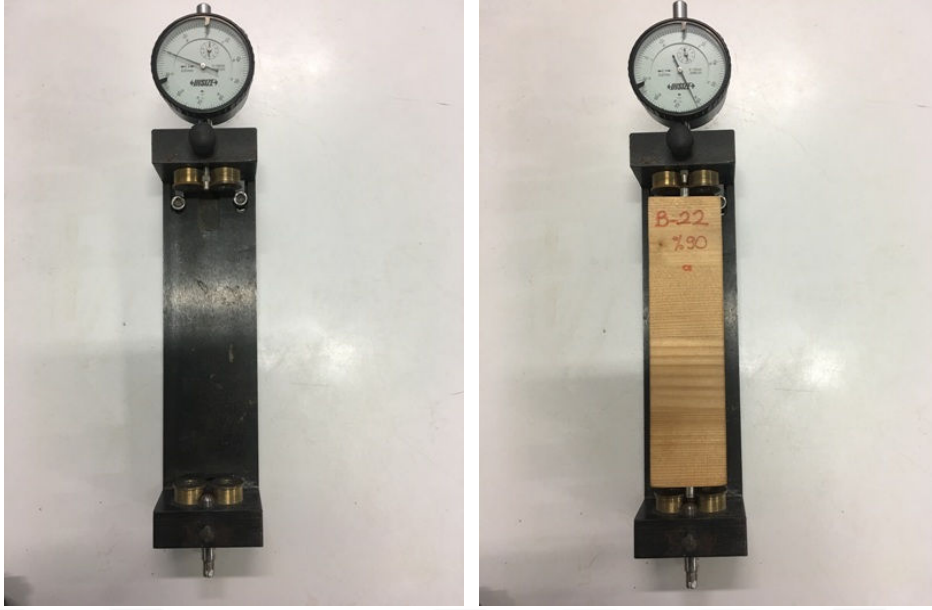
Eğilme çekme deneyi, elastisite modülü tayini deneyi için yüksek hassasiyette yükleme yapabilmek adına Prüf ve Mess MFL Sistem Universal deney cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.16). Numunelerin ebatlarını ölçmek için kumpass ve ağırlıklarını hassas ölçmek adına da maksimum çeki 10kg ve duyarlılığı 1gr olan Precisa marka tartı tercih edilmiştir (Şekil 3.17). Malzemenin şişme ve büzülme davranışını ölçmek için laboratuarda yer alan çimento bazlı malzemelerin rötre ölçümlerinde kullanılan cihazdan yararlanılmıştır. Ahşap numunelerin baş kısımlarına çelik pim monte edilerek deney düzeneğine yerleştirilmiş ve böylelikle şişme büzülme ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.18).



Şekil 3.16: Pruf Und Mess MFL Systeme Çekme ve Eğilme cihazı.



Şekil 3.17: Kumpass ve Precisa marka tartı.



Şekil 3.18: Rötre cihazı.

Sıcaklık deneyleri için Prolab marka fırın, ıslanma-kuruma deneylerinde yapılan iklimlendirme için de Espec marka iklim dolabı tercih edilmiştir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19: Prolab marka fırın, Espec marka iklim dolabı.

Ultra-ses deneyi ölçümlerinde Tico marka cihaz, ahşap numuneleri nem değerlerini ölçmek için de Testo 606-1 marka cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.20). Tico marka cihaza bağlı silindirik metal adaptörlerle ses dalgalarının numunelerin boyuna yönde geçiş hızı ve süresi ölçülmüştür. Testo 606-1 cihazında yer alan metal kalın iğne ucu şeklindeki adaptörler de numunenin yüzüne batırılarak malzemelerin içindeki nem yüzdeleri ölçülmüştür.



Şekil 3.20: Tico marka ultra-ses cihazı, Testo marka nem ölçer.

Memmert marka fırın da sıcaklık dayanım testlerinde kullanılmıştır (Şekil 3.21). Ahşap numuneleri istenilen ebatta kesmek için ahşap atölyesinde Makita marka yatardan ve kesilen parçaları yüzeylerini düzgünleştirmek için de Makita marka planyadan yararlanılmıştır (Şekil 3.22). Elastisite modülü tayini deneyi için gerekli olan ahşap silindir numuneleri elde etmek için Sceppachh marka torna cihazı ve makinelerden elde edilen numunelerde kalan fazlalıkları ve kıymık gibi parçaları temizlemek için Bosch marka zımpara cihazı ile zımparalanmıştır (Şekil 3.23).



Şekil 3.21: Memmert marka fırın.



Şekil 3.22: Makita marka planya ve Makita marka yatar.



Şekil 3.23: Scepterh marka torna ve Bosch marka zımpara.

Aderans deneyi için Besmak marka cihaz, buhar geçirimsizlik deneyi için kontrollü bir iklim ortamı sağlamak adına desikatör kullanılmıştır (Şekil 3.24).



Şekil 3.24: Aderans deneyi için pull off cihazı.

3.3 Deney Metodları

3.3.1 Islanma kuruma deney metodları

Tartılıp kodlanan numuneler, ıslanma ve kuruma deneyleri için programda belirtilen sayıda numune ile deney için hazır hale getirilmiştir. Çizelge 3.6'da da görüldüğü gibi A, B, L ve La kodlu numunelerin deney programına göre ıslanma ve kurumada 7,14, 21, 28, 35 ve 42 günlük periyotlarla kırılması planlanmıştır. Her bir haftalık periyotta, farklı kod numune tipi için üçer adet numune kırılmıştır.

Çizelge 3.6: Islanma ve kuruma testleri numune adetleri ve etki süresi.

Islanma-Kuruma Testleri	Ortam RH değeri	Set Adedi	Islanma (%90) RH	Kuruma (%40) RH	Toplam numune sayısı	Etki Süresi (gün)
Liflere Dik Eğilme Testi	%60	6	54	54	108	7, 14, 21, 28, 35, 42
Liflere Paralel Basınç Dayanımı Testi	%60	6	54	54	108	7, 14, 21, 28, 35, 42
Liflere Dik Basınç Dayanımı Testi	%60	6	54	54	108	7, 14, 21, 28, 35, 42

Numuneler öncelikle $20^{\circ}\text{C}\pm 2$ sıcaklıkta sabit tutularak, %60 RH'den %90 RH değerinde olan iklim dolabına konularak ıslanmaya maruz bırakılmıştır (Şekil 3.25).



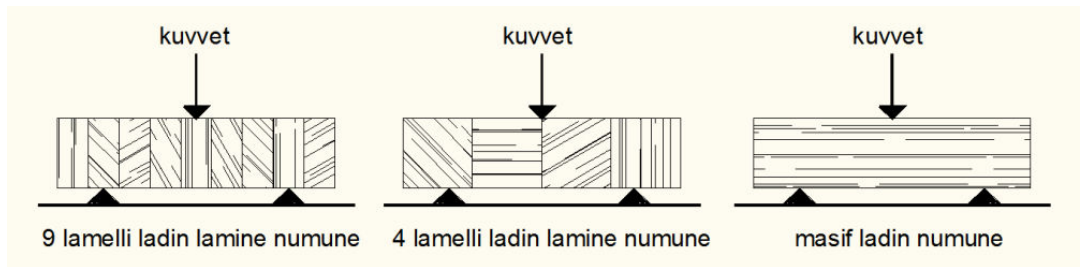
Şekil 3.25: İklim dolabı.

İklim dolabının iç ortamının $20^{\circ}\text{C}\pm 2$ sıcaklığa ve %90 RH'ye gelmesi beklendikten sonra numuneler birbirlerine değmeyecek ve hava dolaşımı rahatça olacak şekilde dikkatlice iklim dolabının içine yerleştirilmiştir (Şekil 3.26).



Şekil 3.26: Klima dolabının içine yerleştirilen numuneler.

Bir haftalık ilk periyot tamamlandıktan sonra her bir kod için üçer adet numune lifleri dik eğilme testine tabi tutulmuştur. (Şekil 3.27). Lamine numuneler liflere dik ve düşey yönde eğilme-çekme testine tabi tutulurken, masif ladin numuneler liflere dik ve boyuna yönde eğilme-çekme testine tabi tutulmuştur. Liflere dik eğilme deneyinde numuneler tablayı ortalayacak şekilde düzeneğe yerleştirildikten sonra kırılma anındaki değer kayıt altına alındı (Şekil 3.28). Daha sonraki yedi günlük periyotlarda da aynı işlem tekrar edildi.



Şekil 3.27: Liflere dik eğilme-çekme deneyi çizimi.

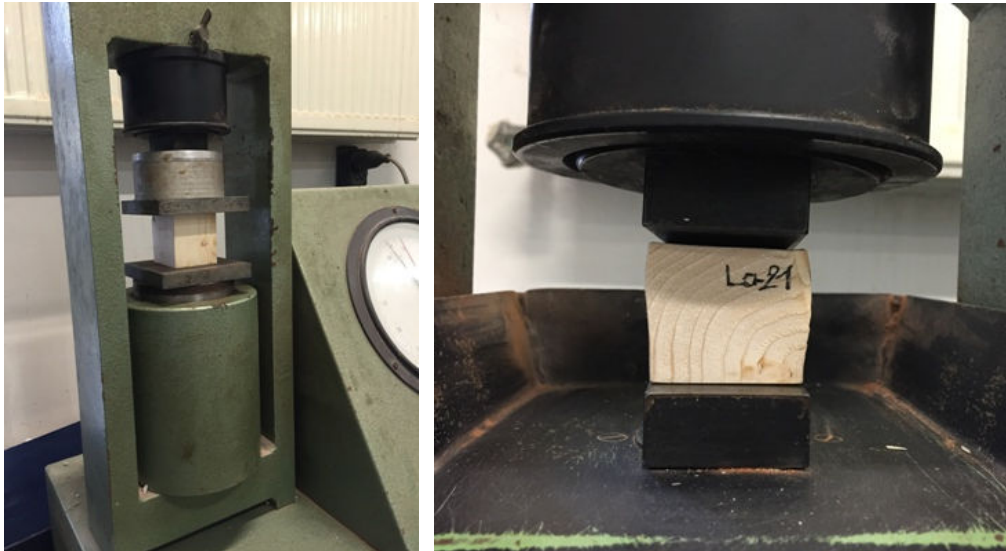
Islanma- kuruma deneylerinde hedeflenen, bağıl nem değişimlerinin malzemenin liflere dik basınç, liflere paralel basınç ve eğilme dayanım değerleri üzerindeki etkilerini belirleyip ortaya koymaktır. Eğilme dayanımı testinde malzemelerin bir kısmında gevrek kırılma, tutkal hattından ya da malzemedan kopmalar gözlemlendi.

Masif ladin numunede ise malzeme, lifleri doğrultusunda saçaklanarak ayrılma davranışı göstermiştir.



Şekil 3.28: 4 lamelli B kodlu ve masif ladin L kodlu numunelerin eğilme dayanımı testi uygulaması.

Liflere dik ve liflere paralel basınç dayanım testleri de yedi günlük periyotlarla ahşap numunelere uygulandı (Şekil 3.29).



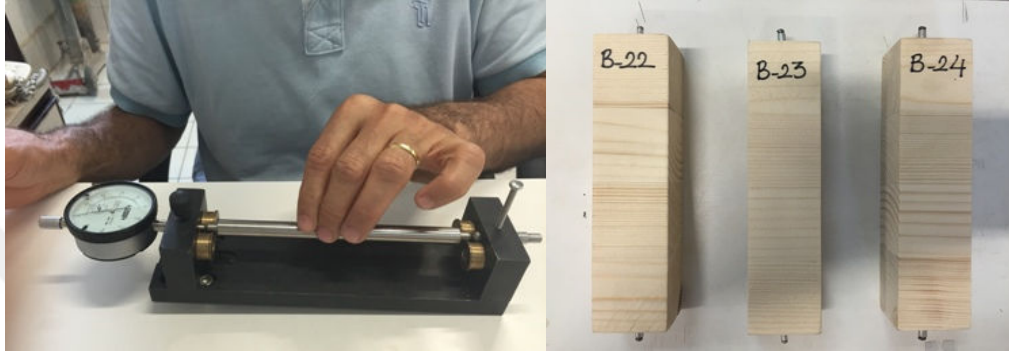
Şekil 3.29: Ladin numuneye liflere dik ve liflere paralel doğrultuda basınç uygulaması.

Liflere dik doğrultuda lamine ladin numunelerde genelde tutkal hattı kısmında ayrılmalar gözlenirken masif ladin numunelerde ezilme gözlenmiştir. Malzeme

parçalanmadan ezilerek küçülmeye devam etmiştir. Bunun yanında lamine örneklerde tutkal hattından ayrılmalar ve parçalanmalar olmuştur.

3.3.2 Şişme- büzülme deney metodları

Malzemenin ıslanma kuruma karşısındaki çalışmasının tespiti için şişme büzülme deneyleri yapılması planlanmıştır. Şişme ve büzülme deneyleri için çelik pim ekilen numuneler ıslanma ve kuruma olaylarında her bir numune türü için iklim dolabında bekletilmiş 24 saatte bir okumalar yapılarak kayıt altına alınmıştır (Şekil 3.30).



Şekil 3.30: Şişme-büzülme deney düzeneği.

3.3.3 Elastisite modülü tayini deney metodları

Basınçta elastisite modülü tayini deneyi için lamine ahşap numuneler yaklaşık 100mm çapında 200mm yüksekliğinde silindirik şeklinde kesilmiştir (Şekil 3.31). Lamine örneklerinden 9 lamelli olanlar D kodu ile 4 lamelli olanlar E kodu ile kodlanmıştır. Masif ladin için piyasada deney düzeneğine uygun kalınlıkta ağaç bulunamadığı için bu deneye dahil edilmemiştir (Çizelge 3.7).

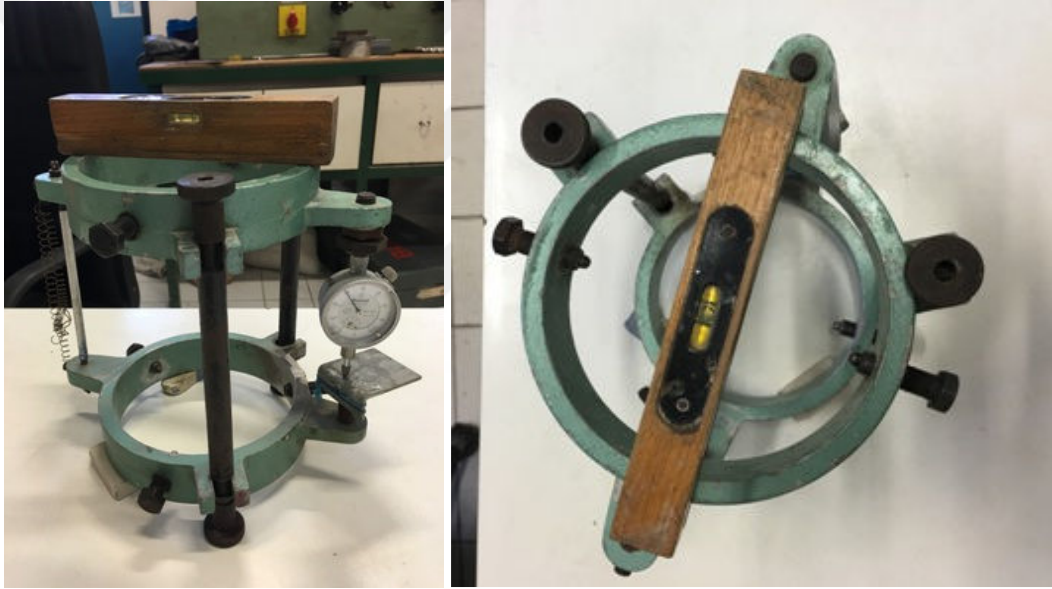


Şekil 3.31: Elastisite Modülü Tayini deneyi silindirik numune örneği.

Çizelge 3.7: Elastisite modülü tayini deneyi numune ölçüleri.

KOD	LAMEL SAYISI	SICAKLIK C°	ÇAP (mm)	YÜKSEKLİK (mm)
D-1	4	20	99,68	199,92
D-2	4	20	100,31	200,52
D-3	4	20	99,10	199,81
E-1	9	20	100,16	199,90
E-2	9	20	100,54	200,19
E-3	9	20	99,85	200,39

Deney öncesi deney düzeneği ayarları yapılmış düzgünlüğü kontrol edilmiştir (Şekil 3.32). Daha sonra numuneler düzeneğe yerleştirilerek okumalar kayıt altına alınmıştır (Şekil 3.33).



Şekil 3.32: Deformasyon ölçüm çerçevesi.

Sıcaklığın elastisite modülü üzerindeki etkisini incelemek üzere lifleri yük yönünde olan dokuz lamelli D kodlu (Çizelge 3.8), dört lamelli E kodlu (Çizelge 3.9) numune serileri 50°C, 75°C ve 100°C'de 10 gün bekletilmiş ve elastisite modülü tayini deneyi yapılmıştır. Elastisite modülü tayininden sonra numunelere basınç dayanımı testi uygulanmıştır.



Şekil 3.33: Elastisite modülü tayini için yük altında şekil değiştirme okumaları.

Çizelge 3.8: Farklı sıcaklıklarda elastisite modülü tayini için 9 lamelli D numune ölçüleri.

KOD	LAMEL SAYISI	SICAKLIK C°	ÇAP (mm)	BOY(mm)	AĞIRLIK (g)
D-6	9	50	100,77	199,76	632,29
D-7	9	50	100,11	199,42	629,64
D-8	9	50	100,25	199,52	630,86
D-9	9	75	99,80	199,97	608,47
D-10	9	75	99,92	199,88	630,67
D-11	9	75	101,30	199,93	646,05
D-12	9	100	100,70	199,92	663,42
D-13	9	100	99,96	199,71	641,09
D-14	9	100	100,75	199,54	655,57

Çizelge 3.9: Farklı sıcaklıklarda elastisite modülü tayini için 4 lamelli E numune ölçüleri.

KOD	LAMEL SAYISI	SICAKLIK C°	ÇAP (mm)	BOY(mm)	AĞIRLIK (g)
E-6	9	50	100,34	199,31	634,85
E-7	9	50	100,55	199,65	647,94
E-8	9	50	100,64	199,73	645,58
E-9	9	75	101,50	199,91	653,87
E-10	9	75	100,99	199,31	650,97
E-11	9	75	100,39	199,83	661,58
E-12	9	100	101,57	199,26	660,53
E-13	9	100	100,76	199,78	672,57
E-14	9	100	100,07	199,25	641,31

Basınçta elastisite modülü tayini deneylerinde farklı sıcaklıkların etkisinde kalan lifleri yük yönünde olan numunelerin elastik şekil değiştirmesi ölçülmüştür. Deney düzeneğine yerleştirilen numunelerin 2000N'da bir şekil değiştirmeleri ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Şekil değiştirme okumaları dayanım değeri 200000N'a ulaşınca kadar tekrarlanmıştır. Tüm numune örnekleri için deney yapıldıktan sonra numunelerin basınç dayanım değerleri ölçülmüştür.

3.3.4 Ultra ses deney metodu

Ahşap numuneler için malzeme içindeki boşlukları ya da kusurları malzemeyi tahrip edici olmayan bir metodla tespit etmek amacı ile yıkıcı olmayan test yöntemlerinden biri olarak ultra ses deneyi yapılmıştır. Ultra ses deneyi 10 cm çapındaki silindirik lamine numunelere ve 40mmx40mmx160mm ebatlarında kare kesitli ladin ve meşe ahşap numunelere uygulanmıştır (Şekil 3.34), (Şekil 3.35).



Şekil 3.34: Ultra ses deney düzeneği.



Şekil 3.35: Kare kesitli masif ladin numune örnekleri.

Ultrases deneyi için Tico marka cihazda yer alan prob başlıklar kullanılarak ölçüm yapılmıştır. Problar ile ahşap numune arasına jel sürülerek oluşabilecek boşluk minimize edilmiş ve sesin iki başlık arasındaki geçiş hızı ve süresi hassasiyetle ölçülmüştür. Yapılan okumalarda malzeme içinden geçen ses dalgalarının hızı baz alınarak malzemenin boşluk yapısı, hasarı hakkında fikir yürütülmüştür. Sonuçlar kısmında ultra ses deney okumaları değerleri ve yorumları bulunmaktadır.

3.3.5 Sıcaklığa dayanıklılık deney metodları

Nemin ahşap numunelerin dayanımı üzerindeki etkisi incelendikten sonra sıcaklığın malzemenin liflere dik basınç dayanımı, liflere paralel basınç dayanımı ve eğilme dayanımı üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Numuneler dört lamelli M numunesi, 9 lamelli N numunesi ve masif ladin L numunesi olarak ayrılmıştır. Numunelerin bırakılacağı sıcaklık dereceleri 50°C, 75°C ve 100°C olarak belirlenmiştir. Numuneler kodlanıp tartıldıktan ve nem değerleri ölçülüp kayıt altına alındıktan sonra 14 gün kalmak üzere fırına yerleştirilmiştir.

50°C’de bekletilecek numuneler bir araya getirilerek fırınlanmak üzere kodlanmış, tartılmış ve nem değerleri ölçülmüştür (Şekil 3.36) (Çizelge 3.10).



Şekil 3.36: 50°C’de bekletilen numune örnekleri.

Çizelge 3.10: 50°C için numune örnekleri, ağırlık, ebat ve nem değerleri.

Numune Adları	Sıcaklık Değerleri °C	İlk Ağırlık (g)	a (mm)	b (mm)	L (mm)	İlk Nem %
M-50/1	50	106	40,74	37,72	161,45	12,2
M-50/2	50	106,20	40,48	38,01	161,22	12,2
M-50/3	50	107,06	40,32	37,67	161,29	12,0
N-50/1	50	93,29	40,71	35,69	158,62	11,5
N-50/2	50	91,79	40,34	37,44	158,88	12,1
N-50/3	50	100,31	40,51	37,50	160,25	12,1
L-50/1	50	105,05	39,61	39,55	160,30	10,8
L-50/2	50	117,00	39,54	39,71	160,04	12,9
L-50/3	50	135,96	39,57	39,37	160,30	11,1
La-50/1	50	28,63	39,61	40,41	40,83	11,9
La-50/2	50	26,83	40,16	39,99	40,03	12,2
La-50/3	50	28,66	39,47	39,75	40,02	11,9
La-50/4	50	28,64	40,24	39,83	39,98	12,3
La-50/5	50	30,47	39,80	39,85	40,24	12,0
La-50/6	50	30,58	39,87	41,11	40,23	13,8

75°C'de bekletilecek numuneler bir araya getirilerek fırınlanmak üzere kodlanmış, tartılmış ve nem değerleri ölçülmüştür (Şekil 3.37) (Çizelge 3.11)



Şekil 3.37: 75°C'de bekletilen numune örnekleri.

Çizelge 3.11: 75°C için numune örnekleri, ağırlık, ebat ve nem değerleri.

Numune Adları	Sıcaklık Değerleri °C	İlk Ağırlık (g)	a (mm)	b (mm)	L (mm)	Nem %
M-75/1	75	109,00	40,82	37,31	161,06	12,2
M-75/2	75	98,16	40,05	37,29	160,65	12,4
M-75/3	75	97,30	40,25	37,88	161,30	12,4
N-75/1	75	99,42	40,16	37,61	160,42	12,1
N-75/2	75	94,34	40,13	37,51	158,85	12,0
N-75/3	75	94,92	40,36	38,11	158,84	12,0
L-75/1	75	121,85	39,66	39,68	160,30	12,8
L-75/2	75	109,34	39,67	39,54	160,31	11,1
L-75/3	75	98,15	39,53	39,60	159,92	12,3
La-75/1	75	25,96	40,57	40,19	39,86	12,3
La-75/2	75	30,82	39,90	39,80	39,97	13,5
La-75/3	75	28,89	40,56	40,31	40,29	11,6
La-75/4	75	26,87	39,74	40,19	40,62	12,0
La-75/5	75	28,23	39,87	40,11	40,05	12,1
La-75/6	75	27,81	40,01	40,57	40,21	13,2

100°C'de bekletilecek numuneler bir araya getirilerek fırınlanmak üzere kodlanmış, tartılmış ve nem değerleri ölçülmüştür (Şekil 3.38) (Çizelge 3.12)



Şekil 3.38: 100°C'de bekletilen numune örnekleri.

Çizelge 3.12: 100°C için numune örnekleri, ağırlık, ebat ve nem değerleri.

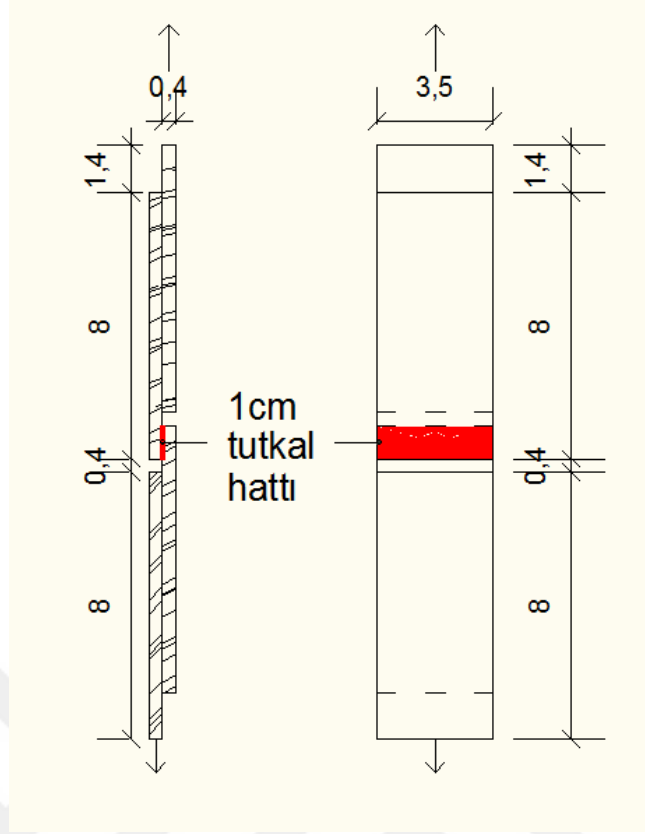
Numune Adları	Sıcaklık Değerleri °C	İlk Ağırlık (g)	a (mm)	b (mm)	L (mm)	Nem %
M-100/1	100	106,59	40,25	37,95	161,74	11,7
M-100/2	100	107,75	40,27	38,05	161,24	12,1
M-100/3	100	106,75	40,64	37,79	160,99	11,6
N-100/1	100	95,83	40,41	37,66	159,99	11,9
N-100/2	100	91,43	40,32	37,61	159,63	12,1
N-100/3	100	104,63	40,31	37,51	160,70	12
L-100/1	100	107,03	39,51	39,39	160,46	10,1
L-100/2	100	108,92	39,61	39,76	160,15	13,3
L-100/3	100	110,64	39,35	39,48	160,16	10,7
La-100/1	100	33,22	40,13	40,25	40,46	11,8
La-100/2	100	26,31	39,87	40,49	40,12	12,4
La-100/3	100	26,70	39,73	40,17	39,86	12
La-100/4	100	26,90	39,11	39,65	39,88	12,1
La-100/5	100	27,63	39,81	39,51	39,84	11,9
La-100/6	100	26,91	39,85	39,56	39,76	13,3

3.3.6 Tutkalda kayma deneyi metodu

Lamine ahşap elemanda en önemli bileşenlerden biri, laminasyonda kullanılan tutkal malzemesi çeşidi ve tutkalın lamellere doğru bir şekilde nüfuz etmesidir. Sıcaklığın tutkal malzemesi üzerindeki etkisini ortaya koymak amacı ile çalışmada belirtilen sıcaklık değerlerine maruz bırakılan numune örneklerine DIN 53253 standardına bağlı kalınarak kayma deneyi uygulanmıştır. Tutkalda kayma deneyi için 20°C (laboratuar sıcaklığı), 50°C, 75°C ve 100°C'lik sıcaklık değerleri belirlenmiştir. Kayma testi için 35mm x 4mm x 80mm ebatlarında hazırlanan numuneler 10mm'lik yapışma yüzeyinden yapıştırılarak 3 gün kurumaya bırakılmıştır (Şekil 3.39).

Kuruma işlemi gerçekleşikten sonra 20°C için liflere paralel yönde kayma deneyi uygulanmıştır (Şekil 3.40).

Deney sonrası numunelerde yapışma yüzeylerinden ve bazı numunelerde de malzemeden kopararak ayrılma görülmüştür (Şekil 3.41).

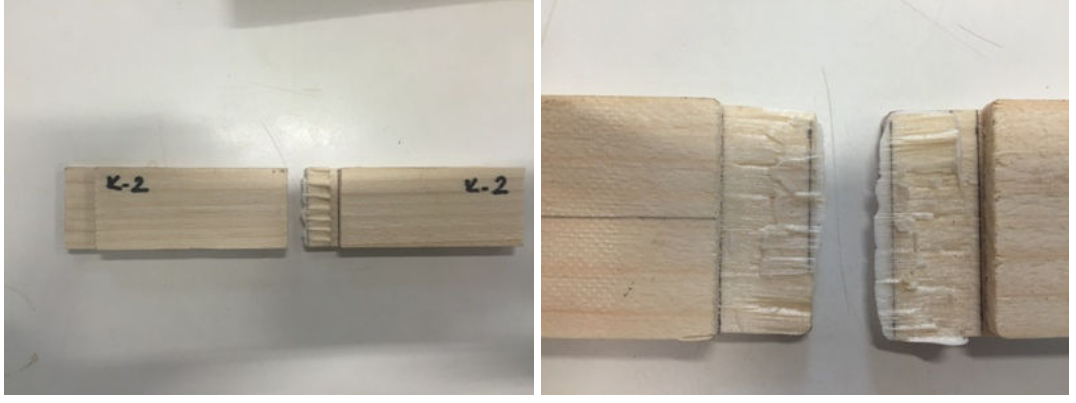


Şekil 3.39: Tutkalda kayma deneyi numune örneği.

Sıcaklığın tutkalda kayma dayanım etkisini incelemek için hazırlanan numune örnekleri 50°C, 75°C ve 100 °C'de 5 gün bekletildikten sonra Prüf Und Mess MFL Sistem Çekme ve Eğilme cihazında kayma deneyi uygulaması yapılmıştır (Şekil 3.42).



Şekil 3.40: Çekme deneyi numuneleri.



Şekil 3.41: Çekme deneyi sonrası kopma şekli örneği.



Şekil 3.42: Tutkal çekme deneyi düzeneği.

Çene açıklıklarına yerleştirilen numunelere zıt yönlerde çekme yükü uygulanmıştır. 1 cm'lik yüzeyden yapışan numuneler dayanım değerlerine ulaştıklarında yapışma yüzeylerinden kopmuştur. Deney sonucunda numunelerin 1cm'lik yapışma yüzeyinden koptuğu andaki değerler kayıt altına alınmıştır. Farklı sıcaklık değerleri için kayma deneyi tekrarları yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda sıcaklık artışının kayma dayanımı değerini azalttığı görülmüştür. Elde edilen değerler ve değerlere bağlı çizilen grafikler deney sonuçları kısmında yer almaktadır.

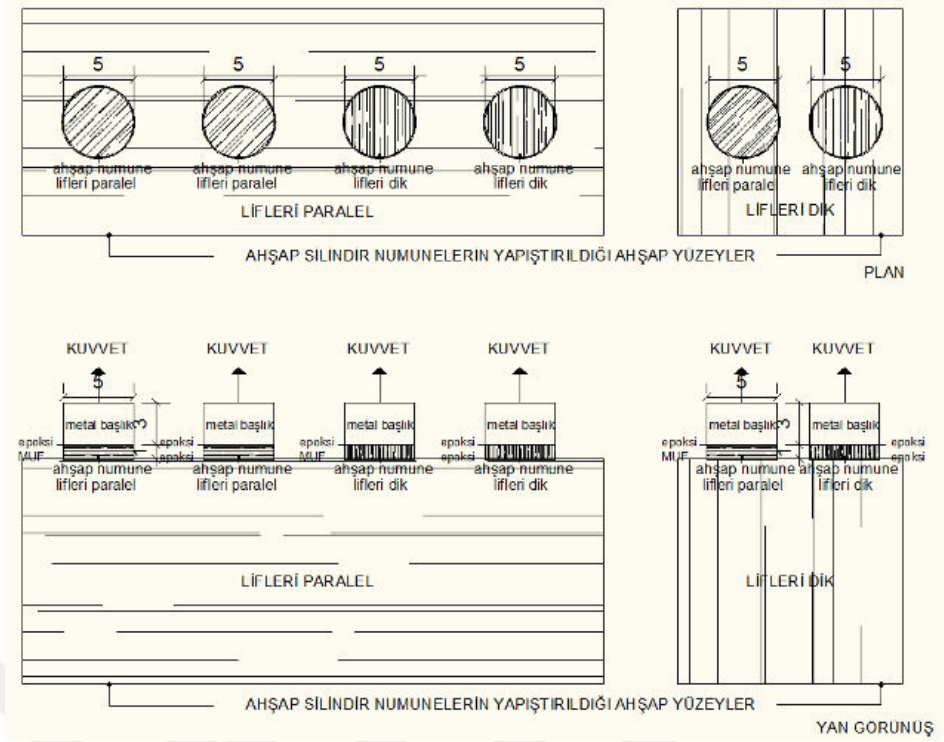
3.3.7 Aderans (Pull Off) deneyi metodu

Ahşabın yapışma dayanımını ölçmek ve lamine malzemenin üretiminde kullanılan MUF tutkalı ile termosetler grubundan olan sağlam bir dirence sahip epoksi tutkalını karşılaştırmak için aderans deneyi yapılmıştır. Deney uygulaması için Besmak marka pull off cihazı kullanılmış ve cihaz başlıklarına uygun olarak 50mm çapında lamine numuneler üretilmiştir (Şekil 3.43).



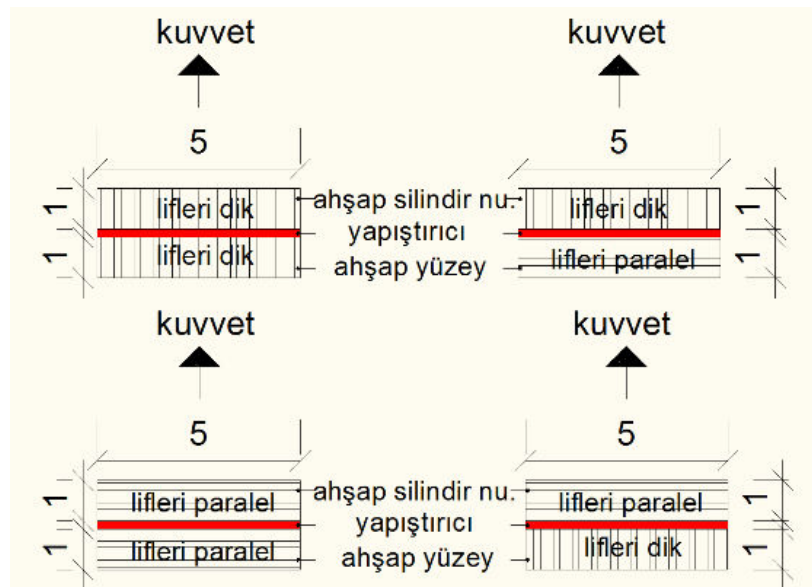
Şekil 3.43: Besmak marka aderans deneyi cihazı ve deney uygulaması.

Deneylerde kullanılan lamine örneklerinin laminasyonu için kullanılan MUF tutkalı aderans deney cihazındaki metal başlıklarla uygulandığında paslanmaya neden olduğu için deney ölçümleri doğru yapılamamıştır. Bu nedenle 50mm çapındaki silindir şeklindeki metal başlık için öncelikli olarak 50mm çapında 10mm yüksekliğinde silindir şeklinde ahşap numuneler üretilmiştir ve metal başlık ile ahşap numuneler arasındaki yapışma epoksi yapıştırıcı ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra da metale epoksi ile yapışan ahşap numuneler yine ahşap yüzeye MUF ya da epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Silindir ahşap numuneler ve yapışacakları ahşap yüzeyler için farklı lif yönü ve farklı tutkal türü deney kombinasyonları oluşturulmuştur. Deney numuneleri oluşturulan bu kombinasyonlar doğrultusunda yüzeylere yapıştırılmış ve kuruması için 2-3 gün bekletilmiştir. Daha sonra aderans deney cihazı (pull- off) ile ölçüm işlemleri yapılmıştır (Şekil 3.44). Şekil 3.44'te lif yönleri yer düzlemine göre belirtilmiştir.



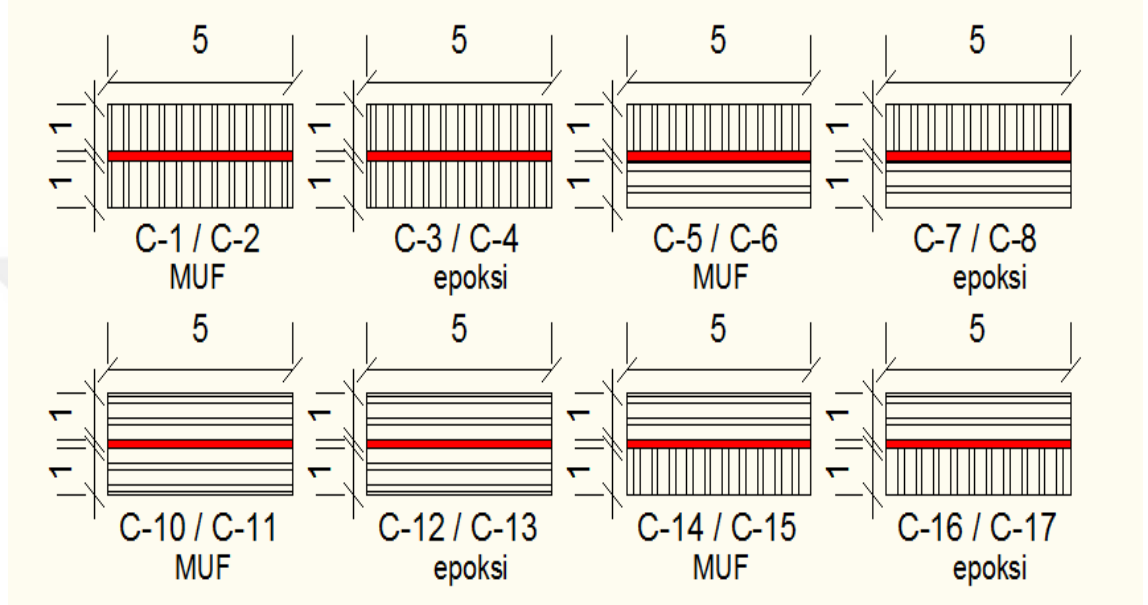
Şekil 3.44: Aderans deneyi deney düzeneği.

Ahşap yüzeye yapışan ahşap numunelere cihazdaki kuvvet kolu çevrilerek çekme kuvveti uygulanmıştır. Metal başlığa yapışan ahşap silindir numuneler lifleri, kuvvet yönüne dik ve paralel olarak kullanılmıştır. Aynı zamanda silindir ahşap numunelerin yapıştırıldığı ahşap yüzeyler de lifleri dik ve paralel olarak kullanılmıştır (Şekil 3.45). Lif yönleri yer düzlemi ve kuvvet yönüne göre zıtlık göstermektedir. Lifleri yer düzlemine göre dik olan kuvvet yönüne göre paralel, yer düzlemine göre paralel olan kuvvet yönüne göre dik olmaktadır.



Şekil 3.45: Kuvvete göre numunelerin lif yönü düzeni.

Deney cihazındaki metal başlıklarla silindir ladin ahşap numuneler arasındaki yapışmayı sağlayan epoksi yapıştırıcısı değişmemek şartıyla, silindir ahşap numuneler ile yapıştıkları ahşap yüzey arasındaki yapışmayı sağlayan tutkal türleri MUF ve epoksi olarak değişiklik göstermektedir. Herbir lif yönü ve yapıştırıcı türü için ikişer adet numune test edilmiş toplamda 16 adet numune için ölçüm yapılmıştır (Şekil 3.46).



Şekil 3.46: Aderans deneyi için üretilen numune tipleri.

3.4 Deney Sonuçları

3.4.1 Islanma deneyi mekanik deney sonuçları

Islanmaya maruz bırakmak için %60RH'de 20°C±2'de bekleyen 9 lamelli A numuneleri, 4 lamelli B numuneleri, masif ladin L numuneleri ve masif ladin La numuneleri sabit sıcaklıkta %90RH'de iklim dolabında bekletilmişlerdir. Bir haftalık peryotlar ile mekanik deneyler uygulanmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır (Çizelge 3.13)

İlk bir haftalık neme maruz kalmanın ardından üç adet numune serisine (A serisi, B serisi, L serisi, La serisi) sıra ile liflere dik eğilme-çekme deneyi, liflere paralel basınç ve liflere dik basınç deneyleri uygulanmıştır. Daha sonraki bir haftalık sürenin ardından ikinci üç adet numuneye tekrar aynı mekanik deneyler uygulanarak aynı işlemlerin tekrarı ile toplam altı haftalık sürenin sonunda mekanik deneyler tamamlanmıştır.

Çizelge 3.13: Dokuz lamelli lamine ahşap numuneler için ıslanma (%90 RH) deneyi sonuçları.

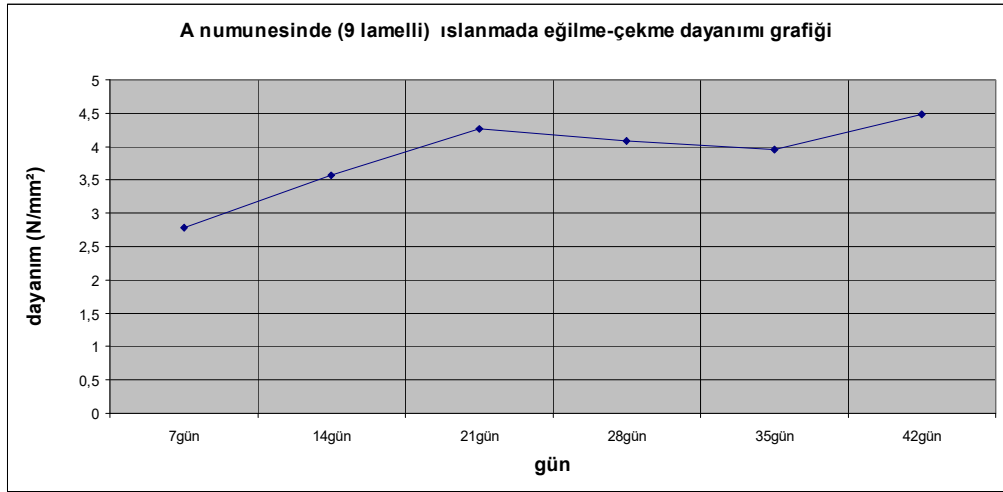
	KOD	a (mm)	b (mm)	L (mm)	İlk Ağırlık (g)	Eğilme Yükü $F_{t,90}$ (kN)	Basınç Yükü $F_{C,90}$ (kN)	Basınç Yükü $F_{C,0}$ (kN)
1. Hafta	A-1	40,74	37,99	161,54	94,89	1000	5500	37000
	A-2	40,41	39,12	161,34	94,65	1050	6000	38000
	A-3	40,52	39,30	162,19	101,18	1000	5000	43000
2. Hafta	A-4	40,81	39,98	161,41	108,71	750	4000	33000
	A-5	40,24	39,35	162,35	107,06	1500	6000	46000
	A-6	40,21	38,25	160,63	97,84	2000	6000	45000
3. Hafta	A-7	40,27	38,73	161,31	111,67	1350	7000	37000
	A-8	40,61	39,00	162,27	102,08	2050	6000	44000
	A-9	40,10	38,80	161,90	102,87	1700	7000	41000
4. Hafta	A-10	40,39	40,17	161,39	108,31	1600	7000	46000
	A-11	40,12	38,66	164,31	104,10	900	5000	45000
	A-12	40,43	38,48	161,59	113,91	800	5500	33000
5. Hafta	A-13	40,60	40,24	160,98	96,82	1500	7500	36000
	A-14	40,45	39,84	160,85	96,70	1500	7000	42000
	A-15	40,35	40,87	164,28	99,04	1700	6000	43000
6. Hafta	A-16	39,87	38,87	160,81	104,52	1700	7000	40000
	A-17	40,51	39,01	160,81	100,34	1850	6000	35000
	A-18	40,18	39,02	162,38	100,47	1100	6000	37000

Elde edilen yük değerlerine göre dayanım değerleri hesabı yapılmıştır. Eğilme dayanımı hesabında mesnet aralığı 100mm'dir. Çizelge 3.14'de eğilme mukavemet değerleri ortalamaları verilmiştir. Malzeme yapısında kusur olan numunelerde budak gibi ve numunelerin üretimi sırasında lamellerin iyi yapışmadığı numunelerde eğilme mukavemeti değerleri oldukça küçük çıkmıştır. 9 lamelli A numunelerinde kırılma daha çok ek yerlerinden gözlenmiştir. Lamel sayısı arttıkça yıllık halka düzeni de farklılaşmaktadır. Bu nedenle lamelin ait olduğu eksen, teğetsel ya da radyal numunenin dayanım özelliklerini de etkilemektedir. Özgül ağırlık ahşabın dayanımını pozitif yönde belirleyen önemli bir özellik olmasına rağmen lamine elemanlarda bazen özgül ağırlık yüksek olmasına rağmen ve malzemede herhangi bir yapısal kusur olmamasına rağmen dayanım değerleri düşük çıkmaktadır. Bu duruma sebep olarak da lamellerdeki yıllık halka dizilişi rahatlıkla gösterilebilmektedir. Ayrıca ıslanmaya maruz kalan numunelerde bazı lameller yine nemden daha fazla etkilenecek şekilde zayıflamakta ve ani kırılma davranışı gösterebilmektedir.

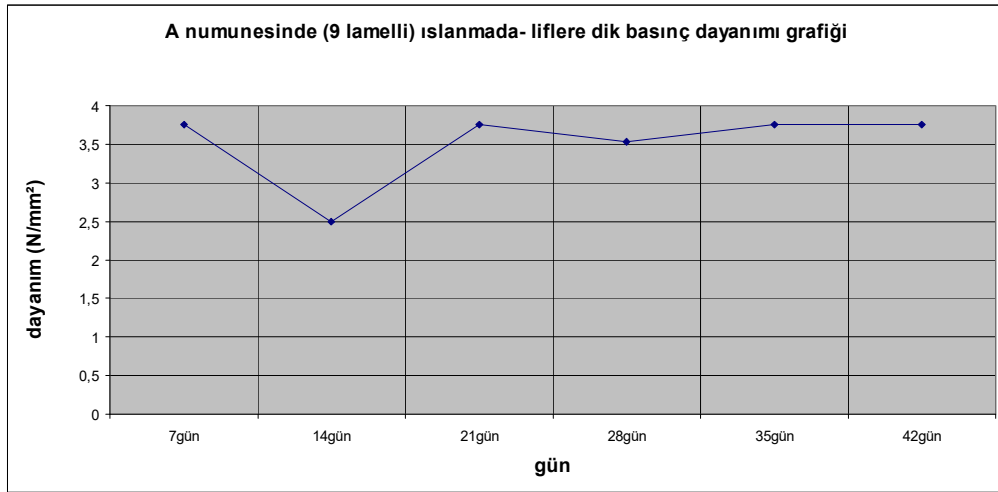
Çizelge 3.14: Dokuz lamelli numunelerin ıslanma ortamında (%90 RH) dayanım değerleri.

	KOD	Eğilme-Çekme Dayanımı f_m (N/mm ²)	Basınç Dayanımı $f_{c,90}$ (N/mm ²)	Basınç Dayanımı $f_{c,0}$ (N/mm ²)	ORT f_m N/mm ²	ORT $f_{c,90}$ N/mm ²	ORT $f_{c,0}$ N/mm ²
7günlük	A-1	2,84	3,43	23,12	2,78	3,43	24,80
	A-2	2,98	3,75	23,75			
	A-3	2,52	3,125	26,87			
14günlük	A-4	1,81	2,5	20,62	4,45	3,33	25,83
	A-5	3,80	3,75	28,75			
	A-6	5,10	3,75	28,12			
21günlük	A-7	3,35	4,37	23,12	4,26	4,16	25,41
	A-8	4,98	3,75	27,50			
	A-9	4,45	4,37	25,62			
28günlük	A-10	4,08	4,37	28,75	3,16	3,64	25,83
	A-11	2,25	3,125	28,12			
	A-12	2,00	3,43	20,62			
35günlük	A-13	3,79	4,68	22,50	3,95	4,26	25,2
	A-14	3,88	4,37	26,25			
	A-15	4,18	3,75	26,87			
42günlük	A-16	4,46	4,37	25	4,48	3,95	23,37
	A-17	4,50	3,75	21,87			
	A-18	2,70	3,75	23,12			

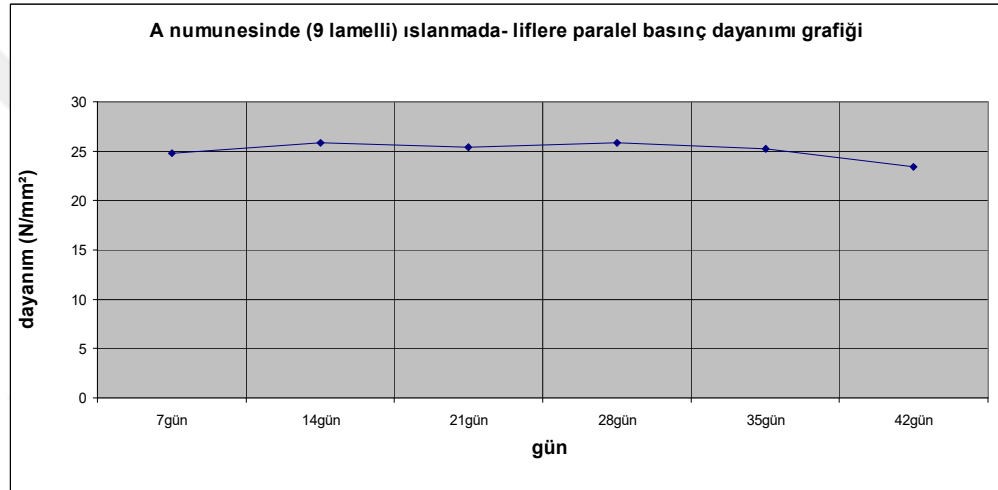
Ortalama mukavemet değerlerine bağlı olarak dayanım-zaman grafikleri çizilmiştir. (Şekil 3.47 , Şekil 3.48, Şekil 3.49).



Şekil 3.47: A numunesi ıslanmada eğilme-çekme dayanımı grafiği.



Şekil 3.48: A numunesi ıslanmada liflere dik basınç dayanımı grafiği.



Şekil 3.49: A numunesi ıslanmada liflere paralel basınç dayanımı grafiği.

A kodlu (9 lamelli) numunelere bakıldığında ıslanmanın yedi günlük 6 haftalık peryotlarda dayanım değerlerini ciddi anlamda etkilemediğini görülmüş. Belli bir nem değerine kadar kurutulmuş numuneler ($\%12 \pm 2$) neme kısa süreli maruz kaldıklarında dayanım değerlerinde ciddi anlamda bir etkilene olmayacağı sonucuna varılabilir. Grafiklerde görülen ani düşüşler malzemedeki budak, çatlak ya da lamellerin iyi yapışmadığı numunelerden elde edilen düşük dayanım değerlerinden olduğu düşünülmektedir.

B kodlu 4 lamelli lamine numunelerin deney süresi sonunda nem değerlerine bakıldığında maksimum $\%16$ nem değerine ulaşıldığı görülmüştür. Aynı zamanda B kodlu (4 lamelli) numunelerde de ıslanmanın numuneler üzerinde ciddi anlamda bir etkisi olmadığı bununla beraber zamanla eğilme ve liflere paralel basınç dayanımında az miktarda artış olduğu söylenebilir. (Çizelge 3.15).

Çizelge 3.15: Dört lamelli lamine ahşap numuneler için ıslanma (%90RH) deneyi sonuçları.

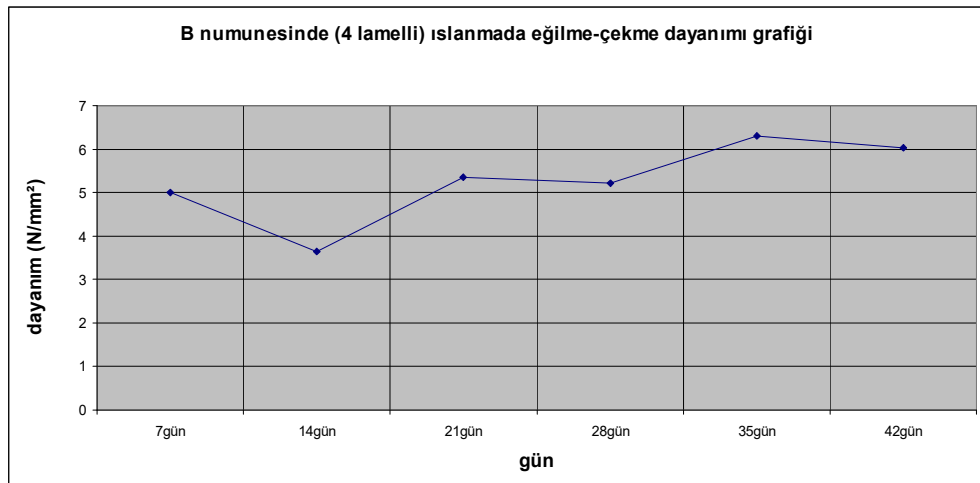
	KOD	a (mm)	b (mm)	L (mm)	İlk Ağırlık (g)	Eğilme Yüğü $F_{t,90}$ (kN)	Basınç Yüğü $F_{C,90}$ (kN)	Basınç Yüğü $F_{C,0}$ (kN)
1. Hafta	B-1	40,33	38,33	163,20	111,30	1850	7000	42000
	B-2	40,21	39,26	162,26	94,65	2300	8000	42000
	B-3	40,27	38,10	163,22	111,95	1750	6000	45000
2. Hafta	B-4	40,07	38,63	165,25	106,66	1450	5500	40000
	B-5	40,76	38,11	163,50	106,50	1500	5000	43000
	B-6	40,07	39,27	164,13	112,44	1200	5500	43000
3. Hafta	B-7	40,06	38,70	164,06	116,30	2200	6000	52000
	B-8	40,56	39,17	162,66	116,45	2500	7000	44000
	B-9	40,20	39,47	163,70	120,42	1600	7000	46000
4. Hafta	B-10	40,43	39,54	162,96	107,24	1900	5000	41000
	B-11	40,33	39,56	162,77	116,60	2200	7000	39000
	B-12	40,47	38,50	164,32	107,32	2050	7000	40000
5. Hafta	B-13	40,55	39,24	164,28	105,75	2300	6500	40000
	B-14	40,58	39,31	164,02	121,53	2650	7500	45000
	B-15	40,49	39,39	164,47	117,31	1400	7500	50000
6. Hafta	B-16	40,42	39,08	163,64	115,09	2350	7000	47000
	B-17	40,41	39,00	162,81	107,73	1900	6000	47000
	B-18	40,55	39,26	162,75	112,75	2850	7000	53000

Elde edilen yük değerlerine bağlı olarak dört lamelli numunelerin mukavemet değerleri hesaplanmıştır. (Çizelge 3.16). Dört lamelli B numunelerinin eğilme dayanımları dokuz lamelli numunelerin eğilme dayanımlarından yaklaşık %50 oranında yüksek çıkmıştır. Liflere dik basınç dayanımında numuneler arasında ciddi anlamda bir fark olmamasına rağmen liflere paralel basınç dayanımı da lamel sayısı azaldıkça bir miktar yükselmiştir. Belirli kesitteki eleman için lamel sayısı önem kazanmaktadır. Lamine elemandan beklenen mekanik dayanım elde edilebilmesi için en uygun lamel kalınlığı hesaplanarak üretim yapılması en doğru yöntem olacaktır.

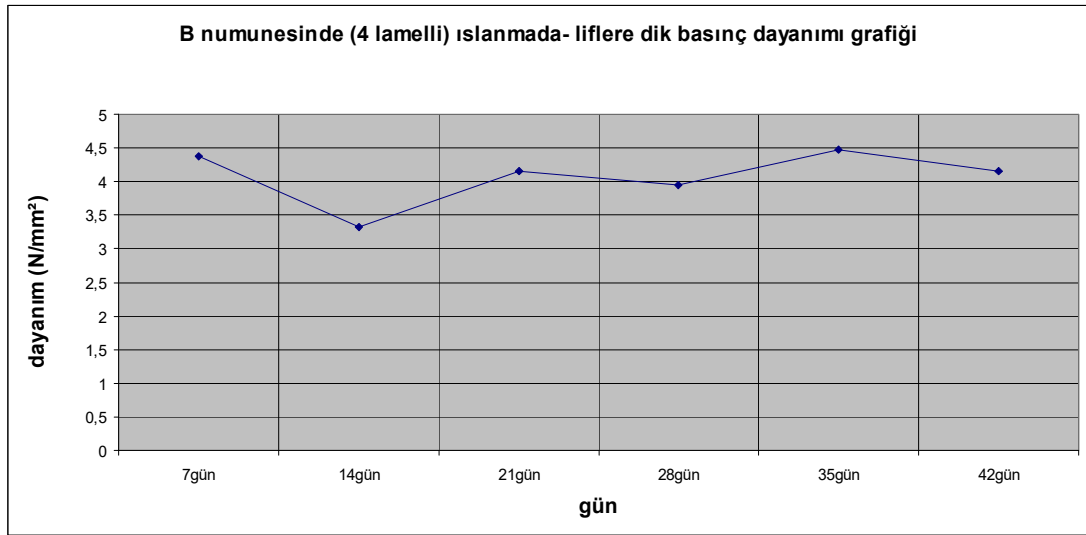
Çizelge 3.16: Dört lamelli B kodlu lamine numunelerin ıslanma (%90 RH) ortamında dayanım değerleri.

	KOD	Eğilme-Çekme Dayanımı f_m (N/mm ²)	Basınç Dayanımı $f_{c,90}$ (N/mm ²)	Basınç Dayanımı $f_{c,0}$ (N/mm ²)	ORT f_m N/mm ²	ORT $f_{c,90}$ N/mm ²	ORT $f_{c,0}$ N/mm ²
7 günlük	B-1	4,69	4,37	26,25	5,01	4,37	26,87
	B-2	5,86	5	26,25			
	B-3	4,49	3,74	28,125			
14 günlük	B-4	4,05	3,43	25	3,64	3,32	26,24
	B-5	3,80	3,125	26,87			
	B-6	3,07	3,43	26,87			
21 günlük	B-7	5,68	3,75	32,5	6,02	4,16	29,5
	B-8	6,35	4,37	27,5			
	B-9	4,03	4,37	28,75			
28 günlük	B-10	4,75	3,25	25,62	5,22	3,95	25
	B-11	5,50	4,37	24,37			
	B-12	5,40	4,37	25			
35 günlük	B-13	5,95	4,06	25	6,31	4,47	28,12
	B-14	6,67	4,68	28,125			
	B-15	3,52	4,68	31,25			
42 günlük	B-16	6,01	4,37	29,37	6,03	4,16	30,61
	B-17	4,88	3,75	29,37			
	B-18	7,20	4,37	33,12			

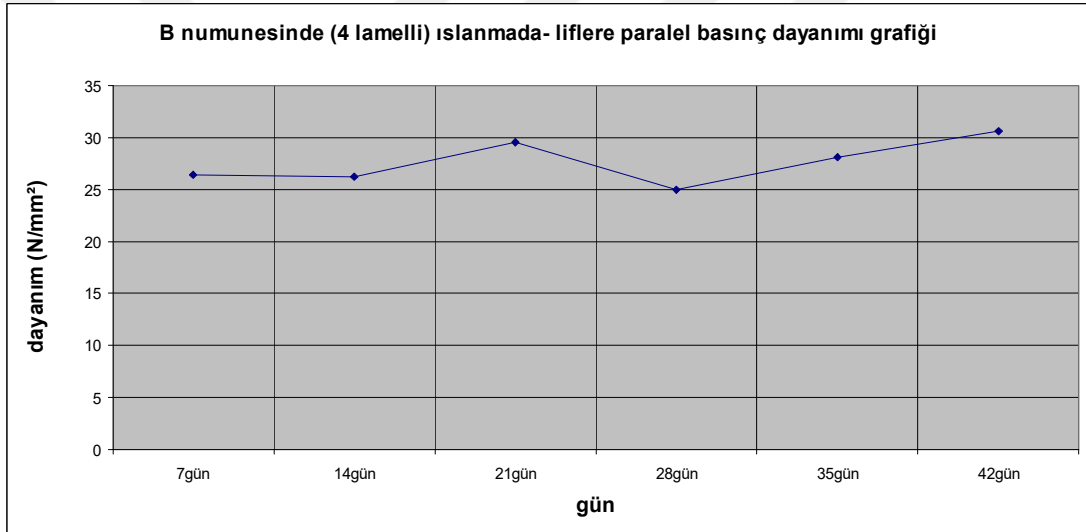
Dört lamelli numuneler için elde edilen mukavemet değerlerine bakılarak dayanım-zaman grafikleri çizilmiştir. (Şekil 3.50, Şekil 3.51, Şekil 3.52).



Şekil 3.50: B numunesi ıslanmada eğilme-çekme dayanımı grafiği.



Şekil 3.51: B numunesi ıslanmada liflere dik basınç dayanımı grafiği.



Şekil 3.52: B numunesi ıslanmada liflere paralel basınç dayanımı grafiği.

Liflere dik eğilme-çekme grafiğine bakıldığında mukavemet değerlerinde bir miktar artış olduğu söylenebilir. B-18 kodlu numunenin liflere dik eğilme-çekme mukavemet değeri yüksek çıkmıştır. Numune incelendiğinde koyu renk sık halkalara sahip olduğu görülmüştür. Koyu renk halkaları selüloz miktarının fazlalığını gösterir ki selüloz da dayanım değerini artırır. Bu nedenle sık ve koyu renkli halkalara sahip numunelerde herhangi bir yapısal kusur yoksa eğilme ve liflere paralel basınç dayanımı değerleri yüksek çıkmıştır.

Masif ladin numuneler tek parçadan oluştuğu için malzeme sahip olduğu fiziksel ve yapısal özelliklerle kendinden beklenen dayanım özellikleri büyük ölçüde karşılamaktadır. Lamine elemanlarda bir lamel üstün dayanım özelliğine sahipken komşu lamelin sahip olduğu zayıf özellikler numunenin bütününe dayanım özellikleri zayıflatabilmektedir. Masif ladin numunelerde özgül ağırlığı yüksek olan

numunelerin, örneğin L-5, L-6 kodlu numunelerde eğilme dayanım değerleri L-5 kodlu numunede budak olmasına rağmen yüksek çıkmıştır (Şekil 3.53, Çizelge 3.17). Numunede yer alan budak yük ekseninde olmadığı için numunenin liflere dik eğilme-çekme dayanımını önemli ölçüde etkilememiştir.



Şekil 3.53: Özgül ağırlığı yüksek olan L-5 kodlu numune.

Malzemenin dayanım ve sertlik özellikleri yapısındaki selüloz miktarı ile ilgilidir. Literatür araştırmalarına bakıldığında ağır ağaçların hafif ağaçlara göre daha sağlam ve sert olduğunu göstermiştir. Yapılan testler de bu durumu ispatlamıştır. Bu çalışmada yer alan deneysel çalışmada da L-5 ve L-6 gibi özgül ağırlığı yüksek olan malzemelerin dayanım değerleri yüksek çıkmıştır. Yapılan hesaplar bu bilgiyi doğrulamakta ama uygulamada her zaman da geçerli olamamaktadır. Çünkü özgül ağırlığın arkasında dayanımı etkileyen daha birçok faktör vardır. Tüm bu faktörlerin birleşimi yapısal anlamda dayanıklılığı ve sertliği belirler.(Kollmann ve Cote, 1968). Daha önce de belirtildiği gibi bahar ve yaz odunu miktarının ahşabın özgül ağırlığı üzerinde etkisi vardır. Bahar odunu daha gözenekli ve hafif, bunun yanında yaz odunu, daha yoğun ve koyu renklidir. Bahar ve yaz odunu arasında yoğunluk bakımından da bir farklılık vardır. Örneğin ladinde ilkbahar odunu özgül ağırlığı $0,307\text{gr/cm}^3$, yaz odunu özgül ağırlığı $0,601\text{gr/cm}^3$ 'tür. Belirli bir odun hacmi içinde yaz odunu oranı arttıkça özgül ağırlık da artmaktadır (Berkel 1970).

Çizelge 3.17: Masif ladin numuneler için ıslanma (%90 RH) deneyi sonuçları.

	KOD	a (mm)	b (mm)	L (mm)	İlk Ağırlık (g)	Eğilme Yükü $F_{t,90}$ (kN)
1. Hafta	L-1	40,41	40,60	160,98	116,29	9000
	L-2	40,56	40,76	160,74	107,20	6900
	L-3	40,52	41,18	160,59	113,04	7500
2. Hafta	L-4	39,40	39,99	161,21	104,97	7900
	L-5	40,19	40,80	160,80	144,60	9500
	L-6	40,57	38,84	161,05	136,98	10000
3. Hafta	L-7	40,63	40,12	161,52	112,86	7800
	L-8	40,67	39,86	161,44	136,52	8500
	L-9	40,49	38,96	161,90	133,88	9500
4. Hafta	L-10	40,55	39,72	161,17	145,54	9800
	L-11	40,59	41,12	160,81	126,25	8000
	L-12	39,99	40,50	161,19	95,84	6500
5. Hafta	L-13	40,69	40,47	161,02	102,82	7600
	L-14	40,74	40,71	161,77	107,49	8000
	L-15	40,44	40,56	160,97	125,30	9000
6. Hafta	L-16	39,93	40,45	160,84	94,46	7100
	L-17	40,83	40,48	161,05	122,89	9000
	L-18	40,66	39,81	160,72	125,64	10000

Ladin numunelerde yaz odunu halkaları koyu olan numunelerin liflere dik eğilme-çekme dayanımı daha yüksek çıkmıştır. Yine sık yıllık halkalara sahip numunelerde de dayanım değerlerinin yükseldiği görülmüştür.

Liflere dik ve liflere paralel dayanım değerlerini hesaplamak için küp şeklinde La kodlu ladin numuneler kullanılmıştır. La kodlu ladin numuneler için ıslanmada elde edilen dayanım değerleri Çizelge 3.18’de yer almaktadır. Burada da özgül ağırlığı yüksek olan ve yaz odunu fazla ve koyu renkli olan numunelerin dayanım değerlerinin daha yüksek çıktığı söylenebilir. Dayanım değerlerine bağlı olarak liflere dik basınç ve liflere paralel basınç mukavemet değerleri hesaplanmıştır. (Çizelge 3.19).

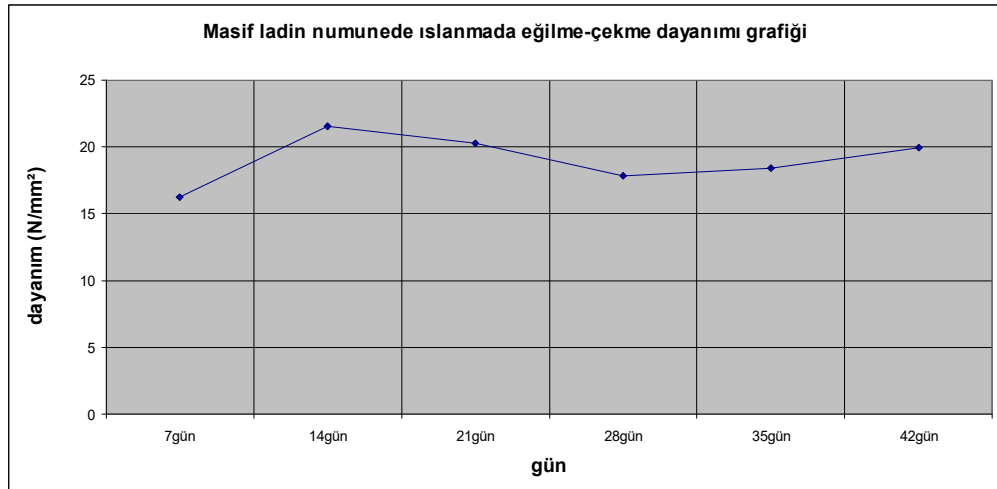
Çizelge 3.18: Masif ladin numuneler için ıslanma (%90RH) deneyi sonuçları.

	KOD	a (mm)	b (mm)	L (mm)	İlk Ağırlık (g)	Basınç Yüğü F _{C,90} (kN)	Basınç Yüğü F _{C,0} (kN)
1. Hafta	La-1	40,10	40,28	40,12	28,51		42000
	La-2	40,45	40,16	39,94	28,18		49000
	La-3	40,11	40,48	40,08	32,76		48000
1. Hafta	La-4	40,39	40,77	39,94	29,51	6000	
	La-5	40,50	40,41	40,69	32,03	6500	
	La-6	40,68	40,40	39,99	30,76	6500	
2. Hafta	La-7	40,60	40,43	40,04	30,51	6000	
	La-8	40,06	40,51	40,19	28,76	6000	
	La-9	40,07	40,70	40,06	30,08	7000	
2. Hafta	La-10	40,55	40,46	41,16	27,98		51000
	La-11	40,37	40,15	40,08	35,43		53000
	La-12	40,37	40,58	40,03	29,75		52000
3. Hafta	La-13	40,80	40,18	40,22	30,01		55000
	La-14	40,27	40,22	40,06	29,57		54000
	La-15	40,39	40,14	40,06	29,73		55000
3. Hafta	La-16	40,50	40,33	40,18	30,75	7000	
	La-17	40,73	39,99	39,87	31,15	7500	
	La-18	40,46	40,34	39,91	30,13	6000	
4. Hafta	La-19	40,08	40,08	40,49	26,90	6000	
	La-20	40,51	40,62	40,31	30,80	7000	
	La-21	40,23	40,57	39,93	28,71	6000	
4. Hafta	La-22	40,20	40,84	40,51	34,95		39000
	La-23	39,95	40,32	40,62	30,15		60000
	La-24	40,07	40,15	40,55	44,96		38000
5. Hafta	La-25	39,66	40,04	40,06	26,13	6500	
	La-26	39,84	39,77	40,06	28,72	6500	
	La-27	40,30	40,16	40,41	26,85	6500	
5. Hafta	La-28	39,91	39,89	40,17	29,18		68000
	La-29	40,14	39,86	39,79	29,31		46000
	La-30	39,79	39,95	40,13	26,23		52000
6. Hafta	La-31	40,34	40,27	39,52	30,09	6000	
	La-32	40,25	40,01	40,00	30,46	7000	
	La-33	40,10	40,78	40,36	30,53	6500	
6. Hafta	La-34	40,45	41,04	40,55	27,59		41000
	La-35	40,82	40,67	40,37	28,95		51000
	La-36	39,91	40,64	39,92	35,00		57000

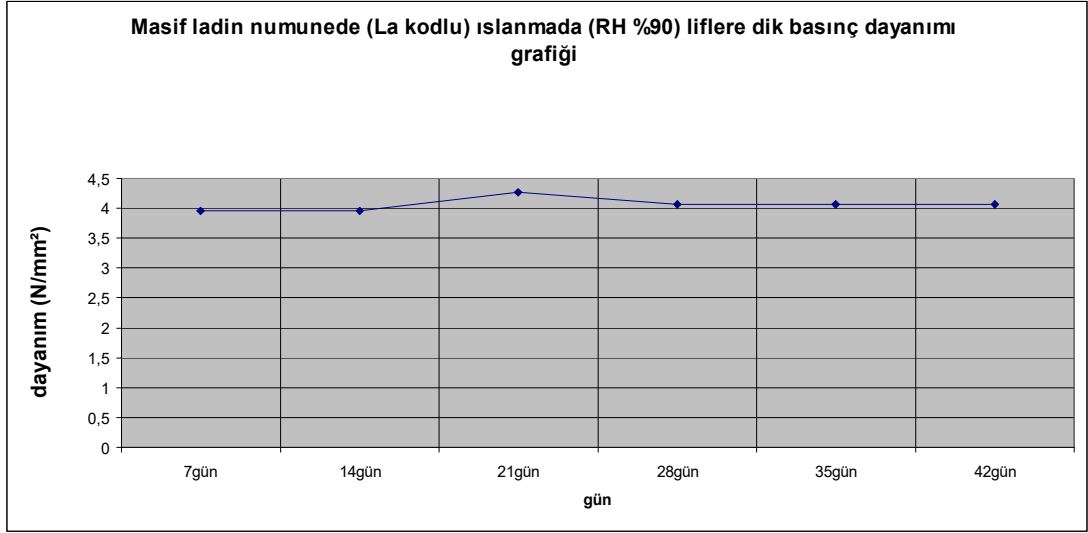
Çizelge 3.19: Masif ladin numunelerin ıslanma ortamında (%90RH) dayanım değerleri.

	KOD			Eğilme-Çekme Dayanımı f_m (N/mm ²)	Basınç Dayanımı $f_{c,90}$ (N/mm ²)	Basınç Dayanımı $f_{c,0}$ (N/mm ²)	ORT f_m N/mm ²	ORT $f_{c,90}$ N/mm ²	ORT $f_{c,0}$ N/mm ²
7 günlük	L-1	La-1	La-4	16,89	3,75	26,25	16,21	3,96	28,95
	L-2	La-2	La-5	15,36	4,06	30,62			
	L-3	La-3	La-6	16,37	4,06	30,00			
14 günlük	L-4	La-10	La-7	18,81	3,75	31,87	21,54	3,96	32,49
	L-5	La-11	La-8	21,30	3,75	33,12			
	L-6	La-12	La-9	24,51	4,38	32,50			
21 günlük	L-7	La-13	La-16	17,89	4,38	34,47	20,27	4,27	34,23
	L-8	La-14	La-17	19,73	4,69	33,75			
	L-9	La-15	La-18	23,19	3,75	34,37			
28 günlük	L-10	La-22	La-19	21,10	3,75	24,37	17,81	4,06	30,94
	L-11	La-23	La-20	17,48	4,38	37,50			
	L-12	La-24	La-21	14,86	3,75	23,75			
35 günlük	L-13	La-28	La-25	17,11	4,06	42,50	18,39	4,06	34,58
	L-14	La-29	La-26	17,77	4,06	28,75			
	L-15	La-30	La-27	20,29	4,06	32,50			
42 günlük	L-16	La-34	La-31	16,30	3,75	25,62	19,92	4,06	31,03
	L-17	La-35	La-32	20,18	4,37	31,87			
	L-18	La-36	La-33	23,28	4,06	35,62			

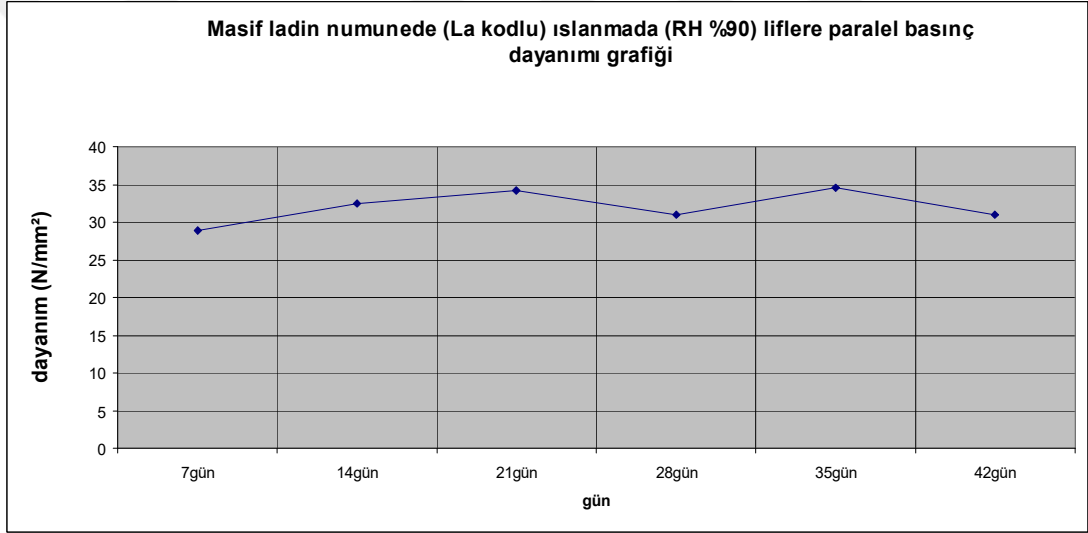
La-L kodlu masif ladin numunelerin mukavemet değerlerine bakılarak zamana bağlı liflere dik eğilme-çekme, liflere dik basınç ve liflere paralel basınç grafikleri çizilmiştir. (Şekil 3.54, Şekil 3.55, Şekil 3.56).



Şekil 3.54: Masif ladin numunede ıslanmada eğilme dayanımı grafiği.



Şekil 3.55: Masif ladin numunede ıslanmada liflere dik basınç dayanımı grafiği.



Şekil 3.56: Masif ladin numunede ıslanmada liflere paralel basınç dayanımı grafiği.

Masif ladin numunelerin zamana bağlı dayanım grafiklerine bakıldığında liflere dik eğilme-çekme dayanımının zamanla bir miktar arttığı daha sonra tekrar azaldığı görülmüştür. Liflere paralel basınç dayanımında bir miktar artış göstermiş daha sonra azalmaya başlamıştır. Belli bir nem değerine kadar kurutulan masif ladin numuneler $\%12 \pm 2$ belli bir süre ıslanma ortamına maruz bırakıldıklarında dayanım değerlerinde ciddi anlamda bir değişme olmayacağı sonucuna varılabilir.

3.4.2 Kuruma deneyi mekanik deney sonuçları

Numuneler $\%40$ RH nem ortamında kurumaya maruz bırakıldıktan sonra 7 günlük periyotlarla 6 haftalık süre ile eğilme, liflere dik basınç ve liflere paralel basınç dayanımı testlerine tabii tutulmuştur. Dokuz lamelli numuneler için elde edilen sonuçlar Çizelge 3.20'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.20: Dokuz lamelli lamine ahşap numuneler için kuruma (%40 RH) deneyi sonuçları.

	KOD	a (mm)	b (mm)	L (mm)	Ağırlık (g)	Eğilme-Çekme Yüğü $F_{t,90}$ (kN)	Basınç Yüğü $F_{C,90}$ (kN)	Basınç Yüğü $F_{C,0}$ (kN)
1. Hafta	A-25	40,09	38,45	158,20	90,96	1400	7000	64000
	A-26	40,30	37,67	158,53	93,11	1300	7000	66000
	A-27	40,13	37,53	159,07	90,16	1550	10000	53000
2. Hafta	A-28	40,00	37,48	159,01	94,74	2900	12000	54000
	A-29	39,79	37,34	158,67	95,59	800	8000	60000
	A-30	40,17	37,58	159,04	94,03	650	7000	71000
3. Hafta	A-31	40,20	38,38	159,65	97,89	1500	8000	77000
	A-32	40,50	38,14	159,21	88,87	1550	10000	59000
	A-33	40,17	38,78	159,50	101,87	1100	10500	74000
4. Hafta	A-34	40,65	37,02	158,77	91,96	2000	7000	73000
	A-35	40,22	38,88	158,79	93,31	1300	7500	78000
	A-36	40,15	38,55	157,55	88,47	1800	8000	65000
5. Hafta	A-37	40,17	38,84	159,08	101,45	1400	9000	69000
	A-38	40,17	38,64	158,07	90,51	1750	10000	70000
	A-39	40,26	36,50	158,83	92,78	1850	7000	78000
6. Hafta	A-40	40,27	37,51	158,28	91,41	2800	7500	52000
	A-41	40,27	39,36	159,40	92,36	1100	7000	62000
	A-42	40,41	39,46	157,65	93,66	1100	7500	64000

Dokuz lamelli lamine ahşap numunelerde kuruma etkisi malzemenin liflere dik eğilme-çekme dayanımını bir miktar artırmıştır. Özellikle yük eksenini altında budak yer alan numunelerde A-29 gibi ve iyi yapışmamış ek yeri olan numunelerde A-30 gibi eğilme-çekme dayanımı değeri oldukça düşük çıkmıştır ki bunun sebebi malzeme kusurlarıdır (Şekil 3.57). Ahşap ve özellikle lamine ahşap homojen bir malzeme olmadığından elde edilen değerlerde bir istikrar söz konusu olmamaktadır. Lamellerdeki halkaların dizilişi düzgün olan, ahşabın kuvvetli eksen bölgesinden kullanılan lamellerin oluşturduğu lamine elemanların A-28 gibi dayanım değerleri oldukça yüksek çıkmaktadır. Bu noktada lamine ahşap için en önemli faktör lamellerin yapısal kusurları dışında lamine eleman içinde dizilişleridir. Dokuz lamelli A kodlu numunelerin kuruma sonucunda elde edilen dayanım değerlerine bakılarak Çizelge 3.21’de yer alan eğilme, liflere dik basınç ve liflere paralel mukavemet değerleri hesaplanmıştır.



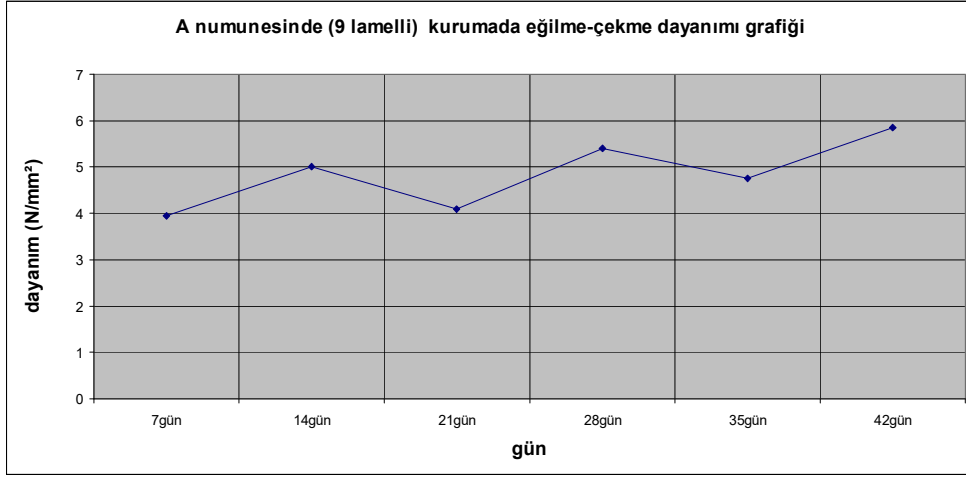
Şekil 3.57: Yük ekseninde budak olan A-29 kodlu numune.

Çizelge 3.21: Dokuz lamelli numunelerin kuruma ortamında (%40 RH) dayanım değerleri.

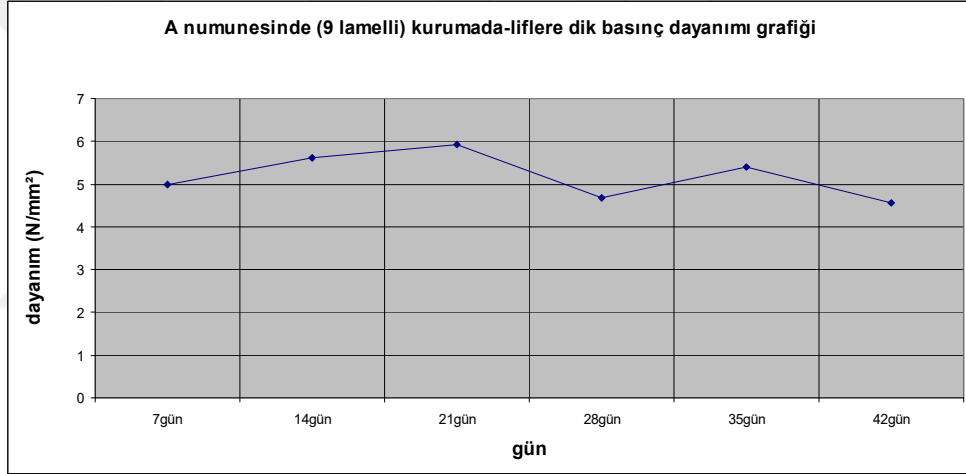
	KOD	Eğilme-Çekme Dayanımı f_m (N/mm ²)	Basınç Dayanımı $f_{c,90}$ (N/mm ²)	Basınç Dayanımı $f_{c,0}$ (N/mm ²)	ORT f_m N/mm ²	ORT $f_{c,90}$ N/mm ²	ORT $f_{c,0}$ N/mm ²
7 günlük	A-25	3,94	4,37	40	3,95	4,99	38,13
	A-26	3,80	4,37	41,25			
	A-27	4,11	6,25	33,12			
14 günlük	A-28	7,74	7,5	33,75	5,01	5,62	38,54
	A-29	2,28	5	37,50			
	A-30	1,72	4,37	44,37			
21 günlük	A-31	4,01	5	48,12	4,09	5,93	43,74
	A-32	4,16	6,25	36,87			
	A-33	2,88	6,56	46,25			
28 günlük	A-34	6,02	4,37	45,62	5,4	4,68	45,90
	A-35	3,77	4,68	48,75			
	A-36	4,77	5	40,62			
35 günlük	A-37	3,65	5,6	43,12	4,75	5,40	45,20
	A-38	4,81	6,25	43,75			
	A-39	5,79	4,37	48,75			
42 günlük	A-40	8,76	4,68	32,50	5,85	4,57	37,08
	A-41	2,94	4,37	38,75			
	A-42	2,93	4,68	40,00			

Kurumaya maruz kalan numunelerin dayanım değerleri doğrultusunda kurumada liflere dik eğilme-çekme dayanımı (Şekil 3.58), liflere dik basınç dayanımı (Şekil

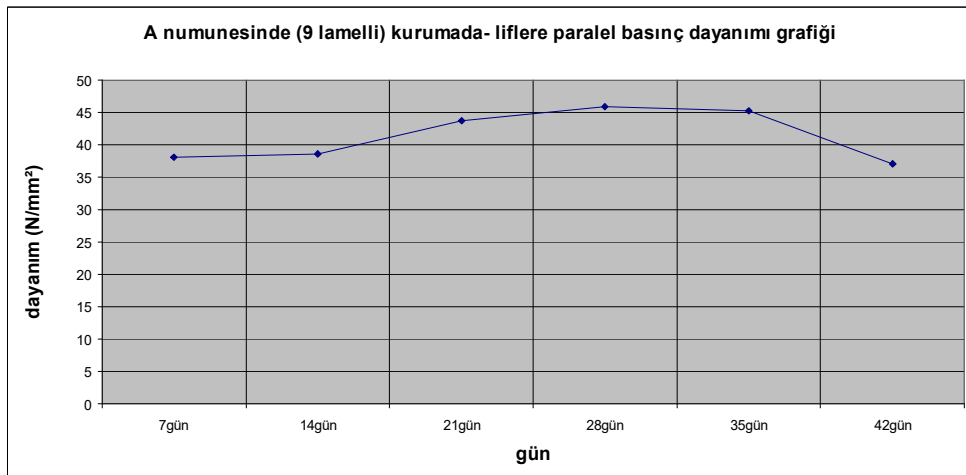
3.59) ve liflere paralel basınç dayanımı (Şekil 3.60) grafikleri zamana bağlı olarak çizilmiştir.



Şekil 3.58: A numunesinde (9 lamelli) kurumada eğilme dayanımı grafiği.



Şekil 3.59: A numunesinde (9 lamelli) kurumada liflere dik basınç dayanımı grafiği.



Şekil 3.60: A numunesinde (9 lamelli) kurumada liflere pararel basınç dayanımı grafiği.

Çizilen grafiklere bakıldığında kuruma etkisi ile liflere dik eğilme-çekme mukavemetinde az miktarda artış görülmektedir. Liflere dik basınç ve liflere basınç mukavemetlerinde kuruma etkisi ile bir miktar artış fakat zamana bağlı olarak azalma görülmektedir. Sonuç olarak belli bir nem değerinde $\%12\pm2$ olan numunelerde kuruma etkisinin malzemeyi ciddi anlamda etkilemediği sonucuna da varılabilir.

Dört lamelli B kodlu numuneler kuruma ortamına maruz kaldıktan sonra yedi günlük mekanik deney uygulamaları ile altı haftalık bir deney düzeneğine tabi tutulmuşlardır. Kuruma ortamında, hem dokuz lamelli hem de dört lamelli numunelerde kırılma türü gevrek kırılma olarak gözlenmiştir. Yapılan mekanik testlere göre Çizelge 3.22 'da yer alan sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 3.22: Dört lamelli lamine ahşap numuneler için kuruma ($\%40$ RH) deneyi sonuçları.

	KOD	a (mm)	b (mm)	L (mm)	İlk Ağırlık (g)	Eğilme-Çekme Yüğü $F_{t,90}$ (kN)	Basınç Yüğü $F_{C,90}$ (kN)	Basınç Yüğü $F_{C,0}$ (kN)
1. Hafta	B-25	40,24	38,33	159,74	97,58	2200	8000	69000
	B-26	40,25	38,05	159,69	101,03	2300	8000	67000
	B-27	40,24	38,44	159,63	98,11	2550	8000	67000
2. Hafta	B-28	40,02	38,20	159,07	106,29	3100	11000	65000
	B-29	39,95	38,20	159,83	112,57	1500	10000	80000
	B-30	40,17	38,26	159,12	105,19	3000	13000	74000
3. Hafta	B-31	40,22	38,20	159,65	103,06	1100	11000	75000
	B-32	40,26	38,39	159,88	97,34	2250	8000	74000
	B-33	40,23	38,22	159,27	99,45	1500	9500	72000
4. Hafta	B-34	40,23	38,08	159,32	108,58	3100	11000	86000
	B-35	40,05	37,55	159,57	95,84	2800	7000	82000
	B-36	40,20	38,09	159,10	105,60	2000	10000	69000
5. Hafta	B-37	40,43	38,54	159,53	99,52	2550	8500	68000
	B-38	40,04	38,25	158,96	101,04	1400	8000	68000
	B-39	40,07	38,97	159,26	105,45	2650	10000	84000
6. Hafta	B-40	39,82	38,51	158,84	95,25	1400	9500	66000
	B-41	40,39	38,34	158,76	103,88	2900	12000	70000
	B-42	40,32	38,93	159,76	102,92	2900	8000	58000

Daha önceki deneylerde olduğu gibi kurumaya maruz kalan dört lamelli B kodlu numunelerde de sık ve koyu renkli halkalara sahip lamellerden oluşan B-28, B-30, B-34, B-39 ve B-41 gibi numunelerde eğilme ve basınç dayanım değerleri yüksek

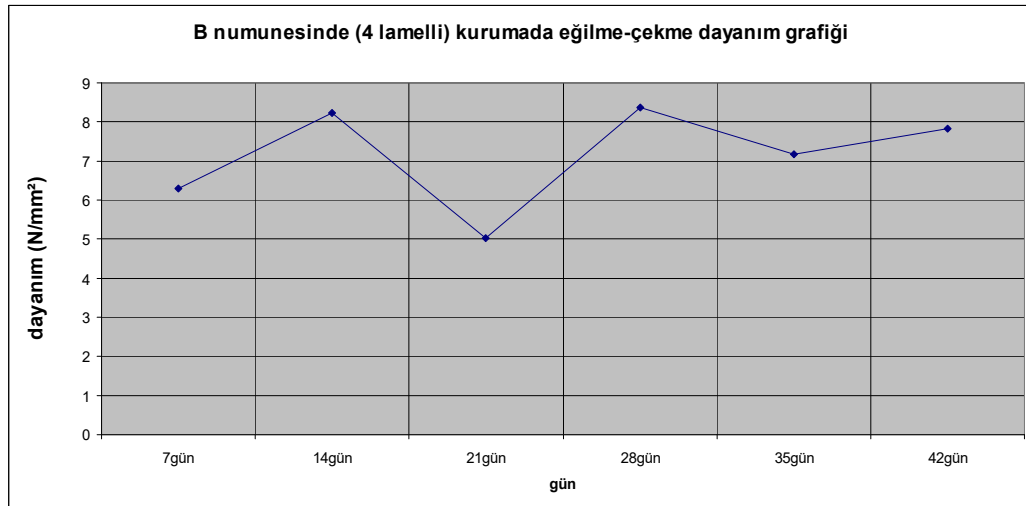
çıkıştır. Lameller arası budak içeren B-29, B-38 gibi numunelerde budağın varlığı düşük eğilme dayanımı elde edilmesine neden olmuştur.

Testlerden elde edilen dayanım değerleri okumaları neticesinde Çizelge 3.23'daki mekanik dayanımlar hesaplanmıştır. Dört lamelli B kodlu numunelerde %40 RH kuruma ortamında eğilme, liflere dik ve liflere paralel basınç dayanımlarına bakıldığında önce bir miktar artış daha sonra da az bir miktar azalma görülmektedir.

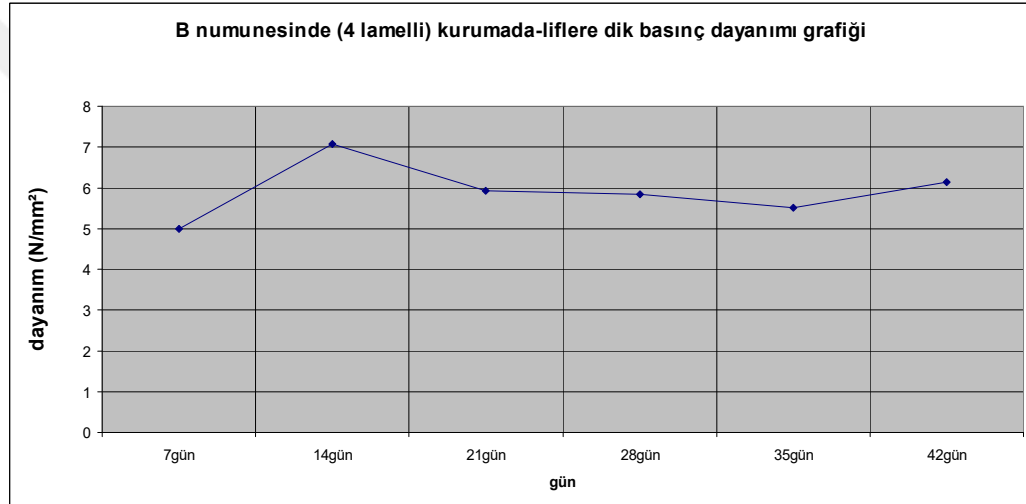
Çizelge 3.23: Dört lamelli numunelerin kuruma ortamında (%40 RH) dayanım değerleri.

	KOD	Eğilme-Çekme Dayanımı f_m (N/mm ²)	Basınç Dayanımı $f_{c,90}$ (N/mm ²)	Basınç Dayanımı $f_{c,0}$ (N/mm ²)	ORT f_m N/mm ²	ORT $f_{c,90}$ N/mm ²	ORT $f_{c,0}$ N/mm ²
7 günlük	B-25	5,88	5,00	43,12	6,30	5,00	42,28
	B-26	6,24	5,00	41,87			
	B-27	6,78	5,00	41,87			
14 günlük	B-28	8,40	6,87	40,62	8,24	7,08	45,62
	B-29	4,07	6,25	50,00			
	B-30	8,07	8,12	46,25			
21 günlük	B-31	2,96	6,87	46,87	5,02	5,93	46,04
	B-32	6,00	5,00	46,25			
	B-33	4,04	5,94	45,00			
28 günlük	B-34	8,41	6,87	53,75	8,36	5,83	49,37
	B-35	8,30	4,37	51,25			
	B-36	5,42	6,25	43,12			
35 günlük	B-37	7,09	5,31	42,50	7,18	5,52	45,83
	B-38	3,99	5,00	42,50			
	B-39	7,26	6,25	52,50			
42 günlük	B-40	3,75	5,93	41,25	7,82	6,14	40,41
	B-41	7,72	7,50	43,75			
	B-42	7,91	5,00	36,25			

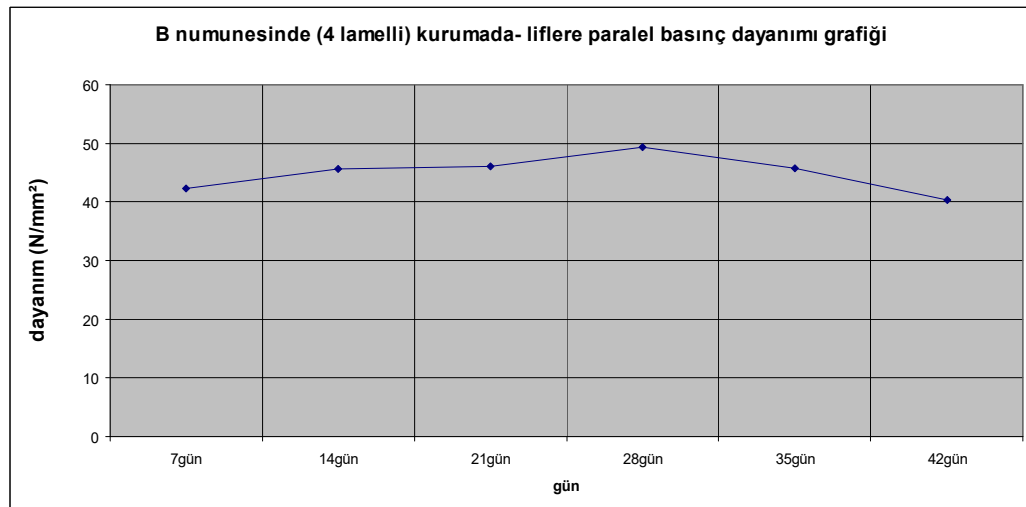
Numunelerin dayanım değerlerinin yer aldığı Çizelge 3.23'e bakılarak dayanım grafikleri çizilmiştir. (Şekil 3.61, Şekil 3.62, Şekil 3.63). 4 lamelli B kodlu lamine ladin numunenin kuruma ortamındaki eğilme-çekme dayanımı grafiğine bakıldığında 21.günde ani bir düşüş görülmektedir. Bu ani düşüş kuruma etkisinden ziyade o güne denk gelen lamine numunelerin yapısından kaynaklanmaktadır. Deneylerde kullanılan lamine numuneler farklı yıllık halkalara ve dizilişlere sahip numunelerdir. Bu nedenle heterojen bir düzen sergilemektedir.



Şekil 3.61: B numunesinde (4 lamelli) kurumada eğilme dayanımı grafiği.



Şekil 3.62: B numunesinde (4 lamelli) kurumada liflere dik basınç dayanımı grafiği.



Şekil 3.63: B numunesinde (4 lamelli) kurumada liflere paralel basınç dayanımı grafiği.

Zamana bağılı dayanım grafiklerine de bakıldığında dayanım değerlerinde bir miktar artış olduğu söylenebilir. Grafiklerdeki ani düşüşler üçlü numune setlerinde yer alan bazı numunelerin sahip oldukları yapısal kusurlardan ya da ani yükselişler üçlü numune setlerinde yer alan bazı numunelerin sahip oldukları yapısal uygunluktan kaynaklanmaktadır.

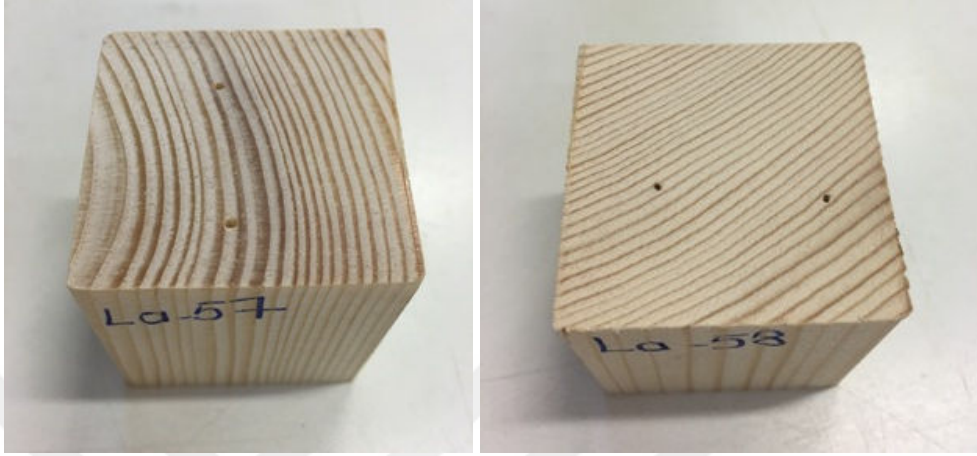
Kuruma ortamına maruz bırakılan masif ladin numune örneklerine bakıldığında yine ağır ve koyu sık halkalara sahip numunelerin daha yüksek dayanım değerine sahip oldukları görülmüştür (Çizelge 3.24).

Çizelge 3.24: Masif ladin ahşap numuneler için kuruma (%40 RH) deneyi sonuçları.

	KOD	a (mm)	b (mm)	L (mm)	İlk Ağırlık (g)	Eğilme-Çekme Yüğü $F_{t,90}$ (kN)
1. Hafta	L-25	39,60	39,60	160,59	93,48	8100
	L-26	39,71	39,82	160,56	101,47	8200
	L-27	39,62	39,34	160,49	109,72	10000
2. Hafta	L-28	39,05	39,48	160,38	92,78	9000
	L-29	39,20	39,01	160,61	91,20	9500
	L-30	39,69	38,98	160,41	96,96	9800
3. Hafta	L-31	39,17	39,40	161,21	102,10	10000
	L-32	39,96	39,65	160,51	123,61	10000
	L-33	39,67	39,43	161,23	112,39	10000
4. Hafta	L-34	39,65	39,31	160,37	104,12	10000
	L-35	39,28	39,16	160,73	110,67	9800
	L-36	39,44	39,41	160,60	100,65	9900
5. Hafta	L-37	39,57	39,60	160,91	102,00	10000
	L-38	39,10	39,56	160,49	99,28	10000
	L-39	39,56	39,37	160,58	103,94	10000
6. Hafta	L-40	39,65	40,05	160,72	98,49	10000
	L-41	39,50	39,60	160,71	88,04	9500
	L-42	39,67	39,51	160,68	94,79	10000

Liflere dik eğilme-çekme testi 40mmx40mmx160mm ebatlarındaki L kodlu dikdörtgen prizması deney numunelerine, liflere dik basınç ve liflere paralel basınç testleri 40mmx40mmx40mm ebatlarındaki La kodlu küp masif ladin numunelere yapılmıştır. La kodlu küp numunelerde birim hacim ağırlığı yüksek olan malzemenin yüksek dayanıma sahip olduğu daha net görülmektedir. La-57 kodlu, La-69 kodlu, La-70 kodlu numuneler diğer numunelerden yüksek birim hacim ağırlığa sahip olmakla beraber dayanım değerleri de daha yüksektir. La-57 kodlu numune koyu

renk ve fazla sayıda yaz odununa sahip olduğu için basınç dayanım değeri diğeri numunelere kıyasla oldukça yüksektir. Yine sık koyu halkalı numunelerde de dayanım değeri yüksek çıkmıştır. La-51, La-52, La-58, La-62, La-63, La-74, La-77, La-81 kodlu numuneler sık koyu halkalara ve buna bağılı olarak daha yüksek liflere dik ve liflere paralel basınç dayanımlarına sahip numunelerdir (Şekil 3.64, Şekil 3.65).



Şekil 3.64: Masif ladin La-57 ve La-58 kodlu numuneler.

La-56, La-64, La-67, La-78 ve La-84 kodlu numuneler seyrek ve açık renkli halkalara sahip ve dayanım değeri daha düşük numunelerdir (Şekil 3.65, Çizelge 3.25).

Literatür kısmında da belirtildiği gibi açık renk yıllık halkalar bahar odununu, koyu renk yıllık halkalar yaz odununu gösterir. Bahar dönemi boyunca büyüme daha hızlı olurken, hücreler geniş hücre boşluklarına ve ince duvarlara sahiptir. Yaz döneminde ise daha az nem varlığında yeni hücreler oluşurken, hücreler daha dar hücre boşluklarına ve daha kalın duvarlara sahiptir. Yaz odunu kısmı bahar odunu kısmından daha fazla selüloz içerir ki selüloz de ahşaba dayanım kazandıran maddedir. Koyu renk yaz odunu halkalara sahip La-83 ve La-85 kodlu numunelerin maksimum liflere dik basınç yük değeri yıllık halkaları arasında renk farklılığı çok belirgin olmayan La-84 kodlu numunenin maksimum liflere dik basınç yükünden fazla çıkmıştır (Şekil 3.66).

Kuruma ortamına (%40 RH) maruz bırakılan numunelerin dayanım değerlerine bakılarak liflere dik eğilme-çekme, liflere dik basınç ve liflere paralel basınç dayanım değeri hesaplanmıştır. (Çizelge 3.26).

Çizelge 3.25: Masif ladin ahşap numuneler için (%40 RH) deneyi sonuçları.

	KOD	a (mm)	b (mm)	L (mm)	İlk Ağırlık (g)	Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	Basınç Yüğü F _{C,90} (kN)	Basınç Yüğü F _{C,0} (kN)
1. Hafta	La-50	39,54	39,69	39,92	24,14	0,38		73000
	La-51	39,39	39,34	39,95	25,83	0,40		78000
	La-52	39,21	39,64	39,98	25,97	0,40		77000
1. Hafta	La-53	39,76	39,46	39,99	29,66	0,46	8000	
	La-54	39,58	40,15	40,12	28,32	0,44	10000	
	La-55	39,37	39,41	39,77	24,65	0,39	8000	
2. Hafta	La-56	39,51	39,23	40,14	22,86	0,36		66000
	La-57	39,48	39,19	40,21	34,90	0,55		110000
	La-58	39,32	39,74	39,93	25,83	0,40		78000
2. Hafta	La-59	39,37	39,82	39,92	26,21	0,40	6000	
	La-60	39,27	39,47	39,85	24,61	0,38	6000	
	La-61	39,44	39,41	40,02	25,48	0,40	8000	
3. Hafta	La-62	39,31	39,46	40,24	25,22	0,39		76000
	La-63	39,40	39,20	40,14	26,30	0,41		77500
	La-64	39,35	39,51	40,06	22,55	0,35		62000
3. Hafta	La-65	39,39	40,13	40,01	26,29	0,41	12000	
	La-66	39,50	39,10	40,37	28,22	0,44	9000	
	La-67	39,59	39,37	39,86	22,41	0,35	5000	
4. Hafta	La-68	39,54	39,37	40,36	26,83	0,42		79000
	La-69	39,33	39,52	39,95	33,12	0,52		110000
	La-70	39,43	39,29	39,96	32,67	0,51		108000
4. Hafta	La-71	39,39	39,47	40,23	28,89	0,45	9000	
	La-72	39,07	39,37	39,90	29,31	0,45	11000	
	La-73	39,92	39,82	40,10	26,23	0,40	9000	
5. Hafta	La-74	39,53	39,45	39,91	29,24	0,45		82000
	La-75	39,52	39,78	40,23	24,58	0,38		72000
	La-76	39,75	39,39	39,71	27,21	0,43		76000
5. Hafta	La-77	39,04	39,64	40,10	25,81	0,40	10000	
	La-78	39,80	40,16	40,11	25,17	0,39	6000	
	La-79	39,79	39,25	39,96	27,63	0,43	9000	
6. Hafta	La-80	39,38	39,80	40,03	25,54	0,40		63000
	La-81	39,75	39,15	39,91	29,09	0,45		80000
	La-82	39,84	40,12	40,55	25,93	0,41		62000
6. Hafta	La-83	39,80	39,68	40,10	28,20	0,44	9000	
	La-84	40,35	39,87	40,26	26,34	0,41	6000	
	La-85	39,42	39,74	40,13	26,68	0,42	9000	



Şekil 3.65: Masif ladin La kodlu numune örnekleri.

Hesaplanan dayanım değerleri ortalamalarına göre de zamana bağlı dayanım değerleri grafikleri çizilmiştir. (Şekil 3.67, Şekil 3.68, Şekil 3.69). Elde edilen liflere dik eğilme-çekme, liflere dik basınç ve liflere paralel basınç grafiklerine bakıldığında, %40RH'deki kuruma ortamında numunelerin dayanım değerlerinde önce bir miktar artış ve daha sonra tekrar azalma görülmektedir.



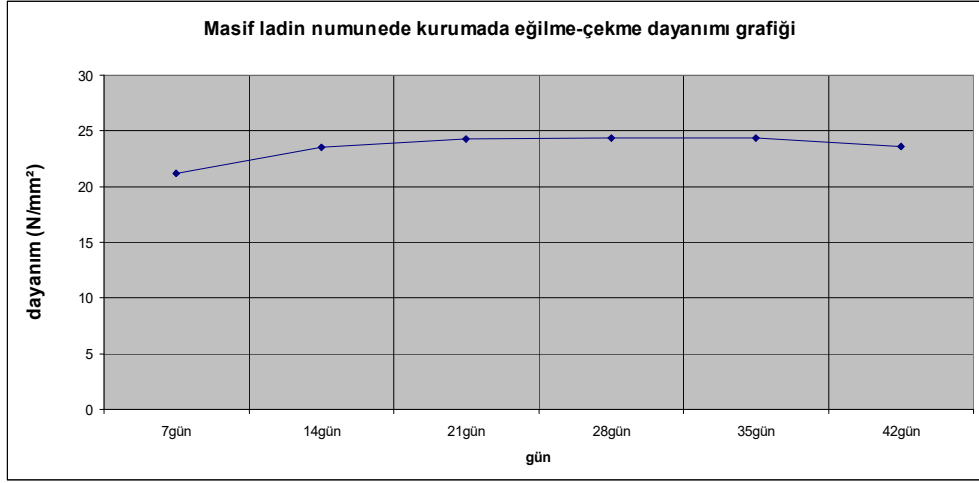
Şekil 3.66: Masif ladin La-83, La-84 ve La-85 kodlu numuneler.

Çizelge 3.26: Masif ladin numunelerin kuruma ortamında (%40 RH) dayanım değerleri.

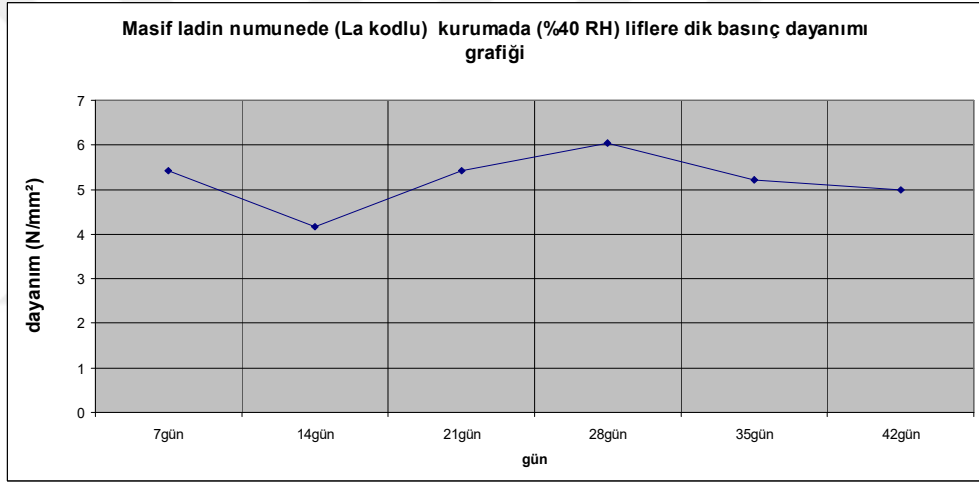
	KOD			Eğilme-Çekme Dayanımı f_m (N/mm ²)	Basınç Dayanımı $f_{c,90}$ (N/mm ²)	Basınç Dayanımı $f_{c,0}$ (N/mm ²)	ORT f_m N/mm ²	ORT $f_{c,90}$ N/mm ²	ORT $f_{c,0}$ N/mm ²
7 günlük	L-25	La-50	La-53	19,57	5	45,63	21,19	5,42	47,50
	L-26	La-51	La-54	19,53	6,25	48,75			
	L-27	La-52	La-55	24,46	5	48,13			
14 günlük	L-28	La-56	La-59	22,18	3,75	41,25	23,48	4,17	52,91
	L-29	La-57	La-60	23,89	3,75	68,75			
	L-30	La-58	La-61	24,38	5	48,75			
21 günlük	L-31	La-62	La-65	24,67	7,5	47,50	24,29	5,42	44,90
	L-32	La-63	La-66	23,08	5,63	48,44			
	L-33	La-64	La-67	24,32	3,13	38,75			
28 günlük	L-34	La-68	La-71	24,48	5,63	49,38	24,37	6,05	61,88
	L-35	La-69	La-72	24,40	6,88	68,75			
	L-36	La-70	La-73	24,24	5,63	67,50			
35 günlük	L-37	La-74	La-77	24,17	6,25	51,25	24,38	5,21	47,92
	L-38	La-75	La-78	24,51	3,75	45			
	L-39	La-76	La-79	24,46	5,63	47,5			
42 günlük	L-40	La-80	La-83	23,59	5,63	39,38	23,59	5	42,72
	L-41	La-81	La-84	22,95	3,76	50			
	L-42	La-82	La-85	24,22	5,63	38,80			

Fakat elde edilen sonuçlara bakıldığında deney başlangıcında %12±2 nem değerine kadar kurutulmuş olan numunelerin altı hafta kadar kuruma ortamına maruz bırakılması malzemede ciddi anlamda dayanım kaybına neden olmadığı

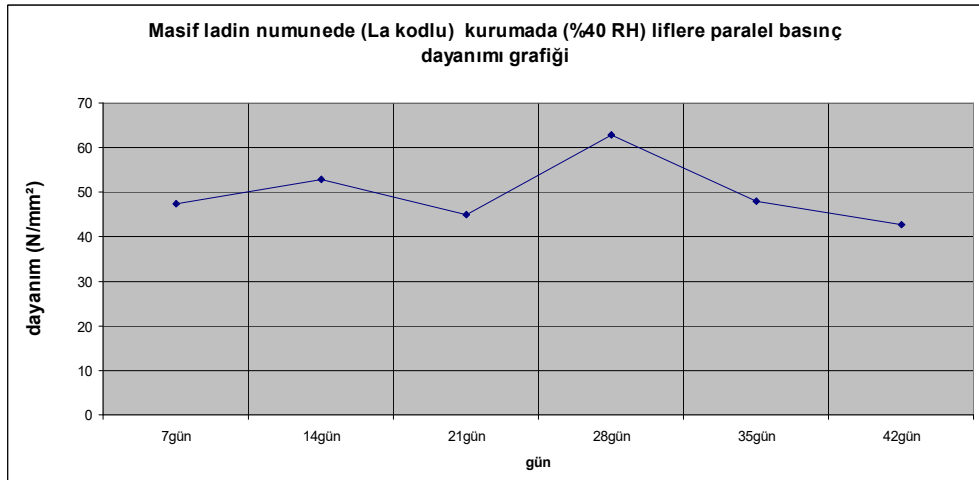
söylenir. Kısa vadede kuruma ve ıslanma olayı belli bir nem değeriindeki lamine ve masif ahşap malzemede önemli oranda etkisi yoktur.



Şekil 3.67: Masif ladin numunede kurumada ortamında eğilme dayanımı grafiği.



Şekil 3.68: Masif ladin numunede kurumada liflere dik basınç dayanımı grafiği.



Şekil 3.69: Masif ladin numunede kurumada liflere paralel basınç dayanımı grafiği.

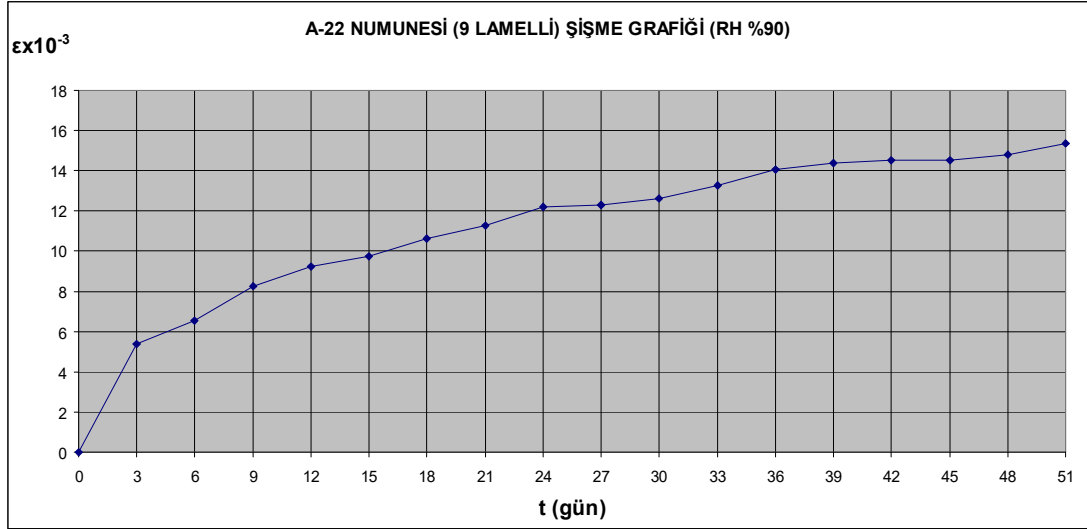
3.4.3 İslanma deneyi şişme deney sonuçları

İslanmaya (%90RH) maruz bırakılan 9 lamelli A kodlu, 4 lamelli B kodlu ve masif ladin L kodlu numuneler için üç günde bir şişme ölçümleri yapılmıştır. Herbir numune tipi için üçer adet numune örneği üzerinde çalışma yapılmıştır. A-22 kodlu 9 lamelli numune için üç günlük ölçümlerde elde edilen boy değişimleri ve şekil değiştirme değerleri Çizelge 3.27’de yer almaktadır.

Çizelge 3.27: A-22 Kodlu (9 lamelli) numunenin şişme (uzama) şekil değiştirme çizelgesi.

Gün	ΔL (mm)	$\epsilon \times 10^{-3}$
0	0	0
3	0,86	5,375
6	1,05	6,56
9	1,32	8,25
12	1,48	9,25
15	1,56	9,75
18	1,7	10,62
21	1,8	11,25
24	1,95	12,18
27	1,97	12,31
30	2,02	12,62
33	2,12	13,25
36	2,25	14,06
39	2,3	14,37
42	2,32	14,5
45	2,32	14,5
48	2,37	14,81
51	2,46	15,37

Elde edilen şişme şekil değiştirme (ϵ) değerlerine göre dokuz lamelli ladin lamine A-22, A-23 ve A-24 kodlu numunelerin zamana bağlı şişme şekil değiştirme grafiği Şekil 3.70, Şekil 3.71 ve Şekil 3.72’de verilmiştir. Grafiğe göre numune zamana bağlı olarak şişme hareketini devam ettirmiştir. Belli bir nem değerine kadar kurutulmuş olan numune ıslanma etkisi ile bünyesine su almaya ve genleşmeye devam etmiştir.

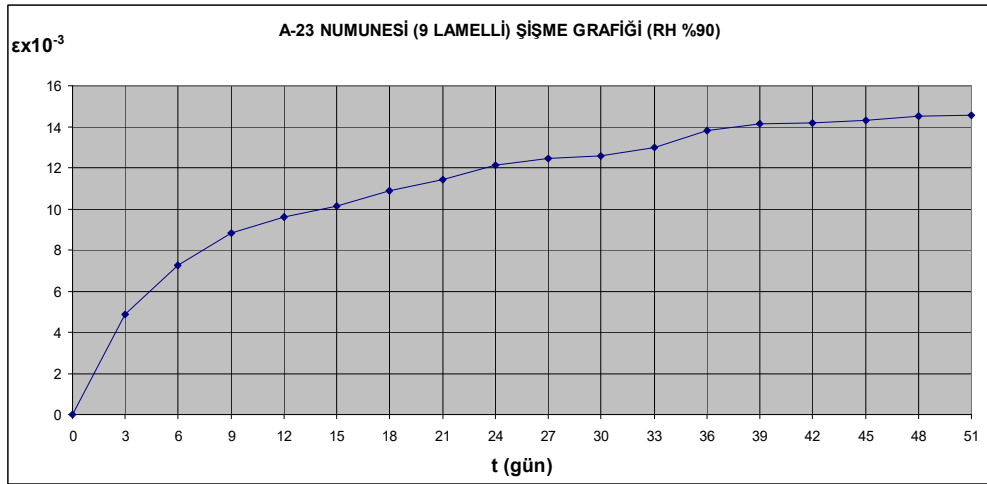


Şekil 3.70: A-22 Kodlu (9 lamelli) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme grafiği.

A-23 kodlu 9 lamelli numune için üç günlük ölçümlerde elde edilen boy değişimleri ve şekil değiştirme değerleri Çizelge 3.28'de yer almaktadır.

Çizelge 3.28: A-23 Kodlu (9 lamelli) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme çizelgesi.

Gün	ΔL (mm)	$\epsilon \times 10^{-3}$
0	0	0
3	0,78	4,87
6	1,16	7,25
9	1,41	8,81
12	1,54	9,62
15	1,62	10,12
18	1,74	10,87
21	1,83	11,43
24	1,94	12,12
27	1,99	12,43
30	2,01	12,56
33	2,08	13
36	2,21	13,81
39	2,26	14,12
42	2,27	14,18
45	2,29	14,31
48	2,32	14,5
51	2,33	14,56

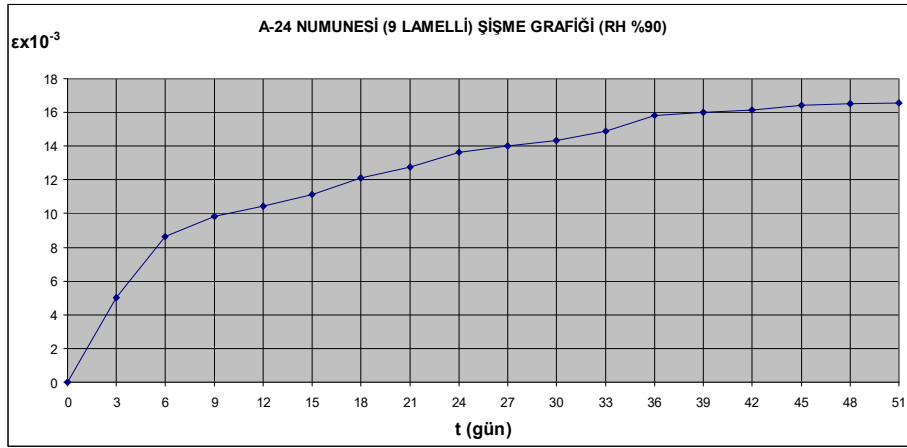


Şekil 3.71: A-23 Kodlu (9 lamelli) numunenin zamana bağlı şişme şekil değiştirme grafiği.

A-24 kodlu 9 lamelli numune için üç günlük ölçümlerde elde edilen boy değişimleri ve şekil değiştirme değerleri Çizelge 3.29'de yer almaktadır.

Çizelge 3.29: A-24 Kodlu (9 lamelli) numunenin şişme-uzama şekil değiştirmesi çizelgesi.

Gün	ΔL (mm)	$\epsilon \times 10^{-3}$
0	0	0
3	0,8	5
6	1,38	8,62
9	1,57	9,81
12	1,67	10,43
15	1,78	11,12
18	1,94	12,12
21	2,04	12,75
24	2,18	13,62
27	2,24	14
30	2,29	14,31
33	2,38	14,87
36	2,53	15,81
39	2,56	16
42	2,58	16,12
45	2,63	16,43
48	2,64	16,5
51	2,65	16,56

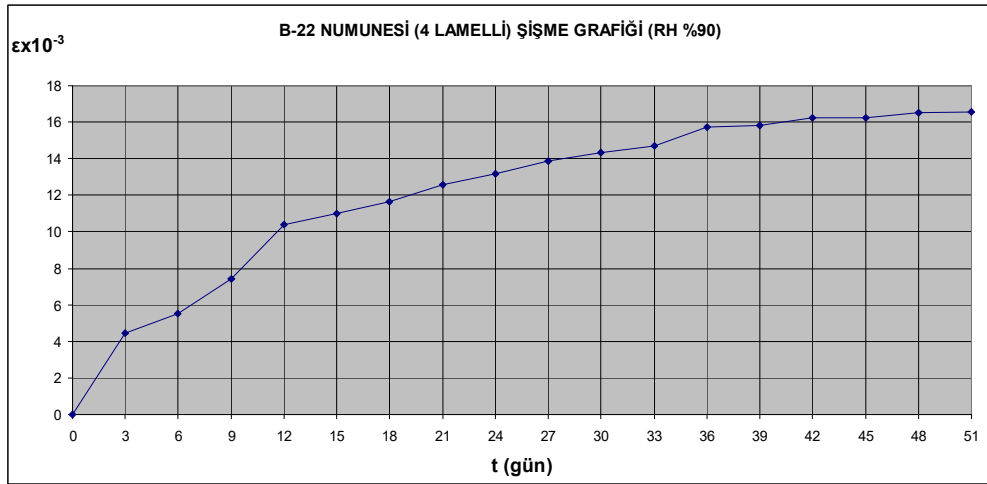


Şekil 3.72: A-24 Kodlu (9 lamelli) numunenin zamana bağlı şişme-uzama şekil değiştirme grafiği.

Belli bir nem değerine kadar kurutulmuş olan dört lamelli ladin lamine B-22 kodlu numune ıslanma etkisi ile bünyesine su almaya ve genişlemeye devam etmiştir (Çizelge 3.30, Şekil 3.73).

Çizelge 3.30: B-22 Kodlu (4lamelli) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme çizelgesi.

Gün	ΔL (mm)	ε x 10 ⁻³
0	0	0
3	0,71	4,43
6	0,88	5,5
9	1,19	7,43
12	1,66	10,37
15	1,76	11
18	1,86	11,62
21	2,01	12,56
24	2,11	13,18
27	2,22	13,87
30	2,29	14,31
33	2,35	14,68
36	2,52	15,75
39	2,53	15,81
42	2,6	16,25
45	2,6	16,25
48	2,64	16,5
51	2,65	16,56

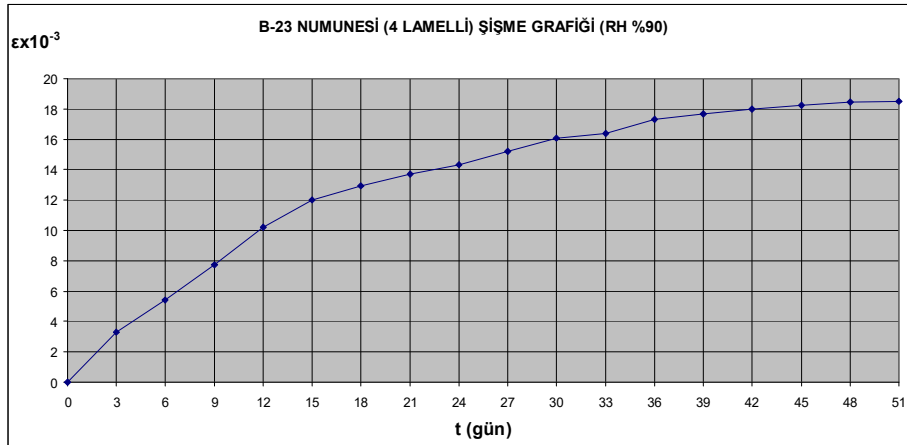


Şekil 3.73: B-22 Kodlu (4 lamelli) numunenin zamana bağlı şişme-uzama şekil değıştirme grafiğı.

Dört lamelli ladin lamine B-23 kodlu numune ıslanma etkisi ile bünyesine su almaya ve genleşmeye devam etmiştir (Çizelge 3.31, Şekil 3.74).

Çizelge 3.31: B-23 Kodlu (4 lamelli) numunenin şişme-uzama şekil değıştirme çizelgesi.

Gün	ΔL (mm)	ε x10 ⁻³
0	0	0
3	0,53	3,31
6	0,87	5,43
9	1,24	7,75
12	1,63	10,18
15	1,92	12
18	2,07	12,93
21	2,19	13,68
24	2,29	14,31
27	2,43	15,18
30	2,57	16,06
33	2,62	16,37
36	2,77	17,31
39	2,83	17,68
42	2,88	18
45	2,92	18,25
48	2,95	18,43
51	2,96	18,5

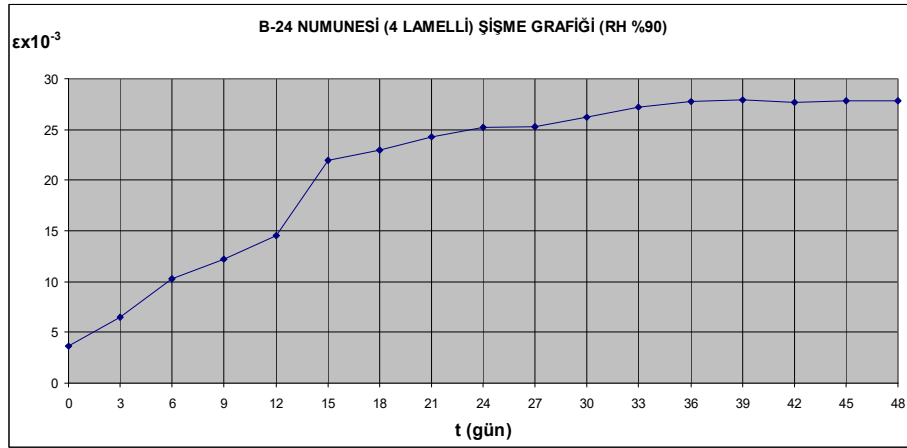


Şekil 3.74: B-23 Kodlu (4 lamelli) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme grafiği.

Şişme uzama deney sonuçlarına bakıldığında, dört lamelli ladin lamine B-24 kodlu numune ıslanma etkisi ile bünyesine su almaya ve genişlemeye devam etmiştir (Çizelge 3.32, Şekil 3.75).

Çizelge 3.32: B-24 Kodlu (4 lamelli) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme çizelgesi.

Gün	ΔL (mm)	$\epsilon \times 10^{-3}$
0	0	0
3	0,58	3,62
6	1,04	6,5
9	1,65	10,31
12	1,96	12,25
15	2,32	14,5
18	3,51	21,93
21	3,67	22,93
24	3,89	24,31
27	4,03	25,18
30	4,05	25,31
33	4,19	26,18
36	4,36	27,25
39	4,44	27,75
42	4,46	27,87
45	4,43	27,68
48	4,45	27,81
51	4,45	27,81

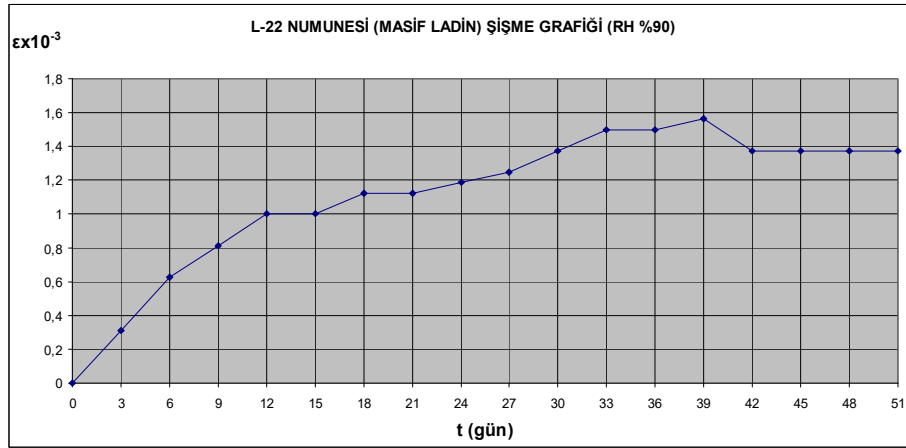


Şekil 3.75: B-24 Kodlu (4 lamelli) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme grafiği.

Belli bir nem değerine kadar kurutulan masif ladin L-22 kodlu numune ıslanma etkisi ile bünyesine su almaya ve genişlemeye devam etmiştir (Çizelge 3.33, Şekil 3.76).

Çizelge 3.33: L-22 Kodlu (masif ladin) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme çizelgesi.

Gün	ΔL (mm)	$\epsilon \times 10^{-3}$
0	0	0
3	0,05	0,31
6	0,1	0,62
9	0,13	0,81
12	0,16	1
15	0,16	1
18	0,18	1,12
21	0,18	1,12
24	0,19	1,18
27	0,2	1,25
30	0,22	1,37
33	0,24	1,5
36	0,24	1,5
39	0,25	1,56
42	0,22	1,37
45	0,22	1,37
48	0,22	1,37
51	0,22	1,37

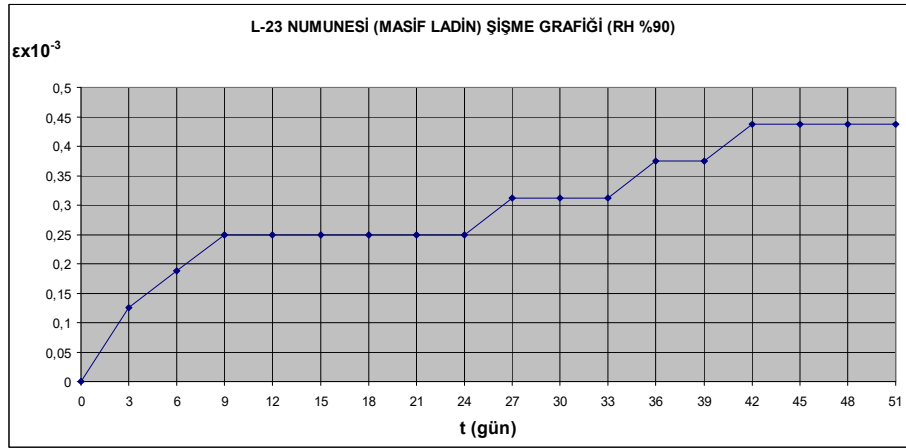


Şekil 3.76: L-22 Kodlu (masif ladin) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme grafiği.

Şişme (uzama) deney sonuçlarına bakıldığında, masif ladin L-23 kodlu numune ıslanma etkisi ile bünyesine su almaya ve genişlemeye devam etmiştir (Çizelge 3.34, Şekil 3.77).

Çizelge 3.34: L-23 Kodlu (masif ladin) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme çizelgesi.

Gün	ΔL (mm)	$\epsilon \times 10^{-3}$
0	0	0
3	0,02	0,12
6	0,03	0,18
9	0,04	0,25
12	0,04	0,25
15	0,04	0,25
18	0,04	0,25
21	0,04	0,25
24	0,04	0,25
27	0,05	0,31
30	0,05	0,31
33	0,05	0,31
36	0,06	0,37
39	0,06	0,37
42	0,07	0,43
45	0,07	0,43
48	0,07	0,43
51	0,07	0,43

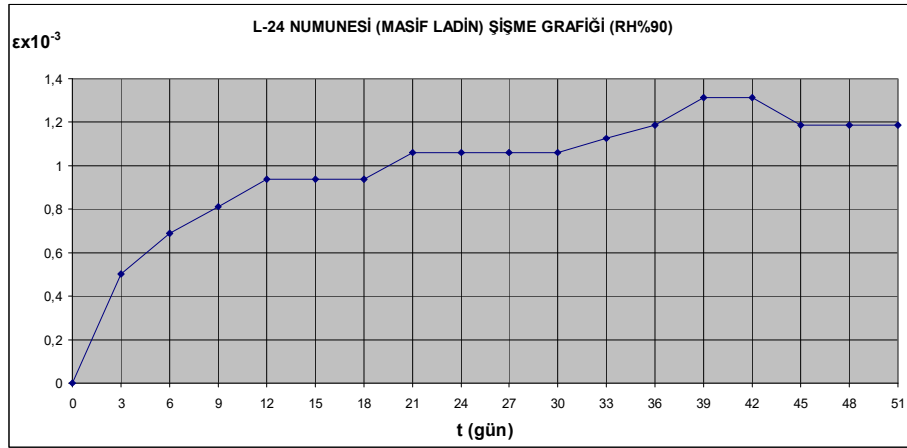


Şekil 3.77: L-23 Kodlu (masif ladin) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme grafiği.

Masif ladin L-24 kodlu numune ıslanma etkisi ile bünyesine su almaya ve genişlemeye devam etmiştir (Çizelge 3.35, Şekil 3.78).

Çizelge 3.35: L-24 Kodlu (masif ladin) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme çizelgesi.

Gün	ΔL (mm)	$\epsilon \times 10^{-3}$
0	0	0
3	0,08	0,5
6	0,11	0,68
9	0,13	0,81
12	0,15	0,93
15	0,15	0,93
18	0,15	0,93
21	0,17	1,06
24	0,17	1,06
27	0,17	1,06
30	0,17	1,06
33	0,18	1,12
36	0,19	1,18
39	0,21	1,31
42	0,21	1,31
45	0,19	1,18
48	0,19	1,18
51	0,19	1,18



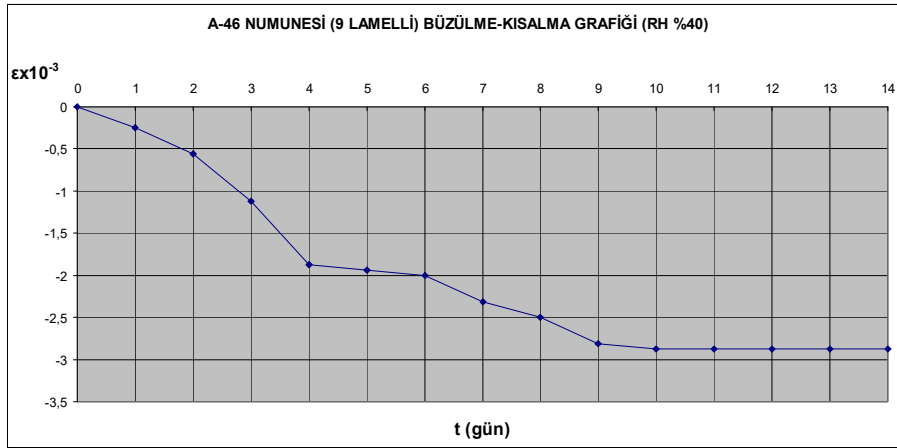
Şekil 3.78: L-24 Kodlu (masif ladin) numunenin şişme-uzama şekil değiştirme grafiği.

3.4.4 Kuruma deneyi büzülme deney sonuçları

Kurumaya (%40RH) maruz bırakılan 9 lamelli A kodlu, 4 lamelli B kodlu ve masif ladin L kodlu numuneler için üç günde bir büzülme ölçümleri yapılmıştır. Herbir numune tipi için üçer adet numune örneği üzerinde çalışma yapılmıştır. A-46 kodlu 9 lamelli numune için üç günlük ölçümlerde elde edilen boy değişimleri ve şekil değiştirme değerleri Çizelge 3.36'de yer almaktadır. Şekil değiştirme değerlerine bağlı olarak büzülme şekil değiştirme grafiği de Şekil 3.79'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.36: A-46 Kodlu (9 lamelli) numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme çizelgesi.

Gün	ΔL (mm)	$\epsilon \times 10^{-3}$
0	0	0
1.	6,95	-0,25
2.	6,9	-0,56
3.	6,81	-1,12
4.	6,69	-1,88
5.	6,68	-1,93
6.	6,67	-2
7.	6,62	-2,31
8.	6,59	-2,5
9.	6,54	-2,81
10.	6,53	-2,87
11.	6,53	-2,87
12.	6,53	-2,87
13.	6,53	-2,87
14.	6,53	-2,87

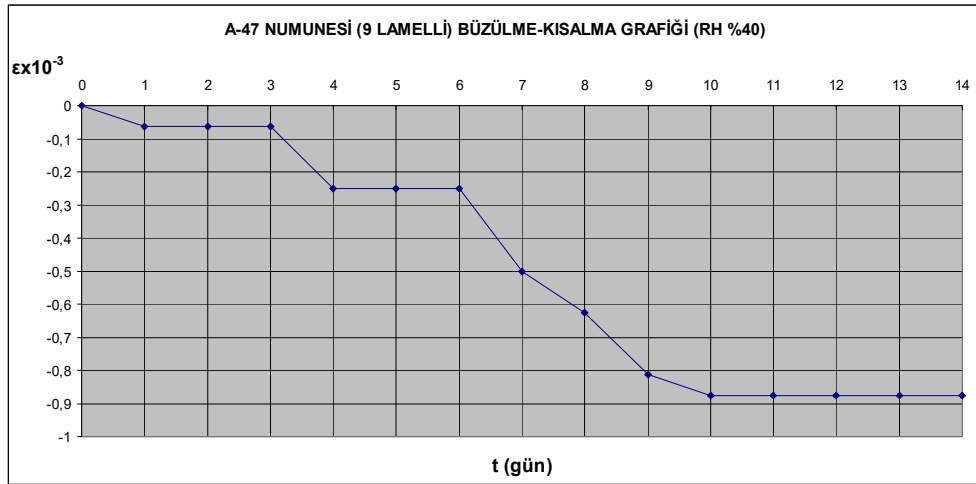


Şekil 3.79: A-46 Kodlu (9 lamelli) numunenin büzülme şekil değıştirme grafiğı.

Elde edilen değerlere bağılı olarak A-46 kodlu numunenin büzülme şekil değıştirme grafiğı Şekil 3.46'da yer almaktadır. Belli bir nem değerine kadar kurutulan dokuz lamelli ladin lamine A-47 kodlu numune kuruma etkisi ile ortama su vermeye ve büzölmeye devam etmiştir (Çizelge 3.37, Şekil 3.80).

Çizelge 3.37: A-47 Kodlu (9 lamelli) numunenin büzölme-kısalma şekil değıştirme çizelgesi.

Gün	ΔL (mm)	ε x10 ⁻³
0	0	0
1.	-0,01	-0,06
2.	-0,01	-0,06
3.	-0,01	-0,06
4.	-0,04	-0,25
5.	-0,04	-0,25
6.	-0,04	-0,25
7.	-0,08	-0,5
8.	-0,1	-0,625
9.	-0,13	-0,81
10.	-0,14	-0,87
11.	-0,14	-0,87
12.	-0,14	-0,87
13.	-0,14	-0,87
14.	-0,14	-0,87

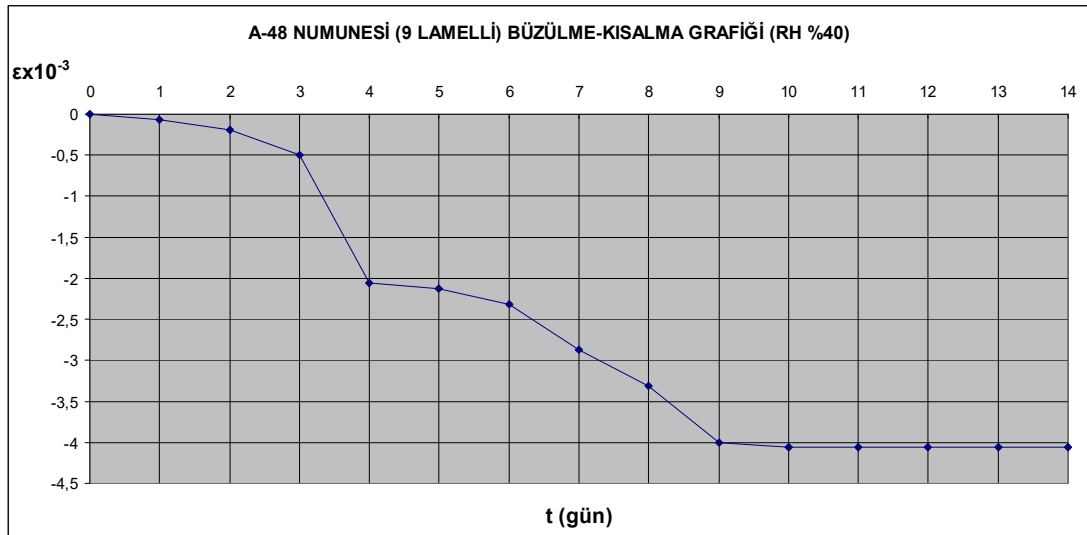


Şekil 3.80: A-47 Kodlu (9 lamelli) numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme grafiği.

Büzülme (kısalma) deney sonuçlarına bakıldığında, dokuz lamelli A-48 kodlu lamine ladin numune kuruma etkisi ile büzülmeye devam etmiştir. Düzenli yapılan ölçümlerle numuneye ait büzülme çizelgesi ve grafiği elde edilmiştir (Çizelge 3.38, Şekil 3.81).

Çizelge 3.38: A-48 Kodlu (9 lamelli) numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme çizelgesi.

Gün	ΔL (mm)	$\epsilon \times 10^{-3}$
0	0	0
1.	-0,01	-0,06
2.	-0,03	-0,19
3.	-0,08	-0,5
4.	-0,33	-2,06
5.	-0,34	-2,12
6.	-0,37	-2,31
7.	-0,46	-2,87
8.	-0,53	-3,31
9.	-0,64	-4
10.	-0,65	-4,06
11.	-0,65	-4,06
12.	-0,65	-4,06
13.	-0,65	-4,06
14.	-0,65	-4,06

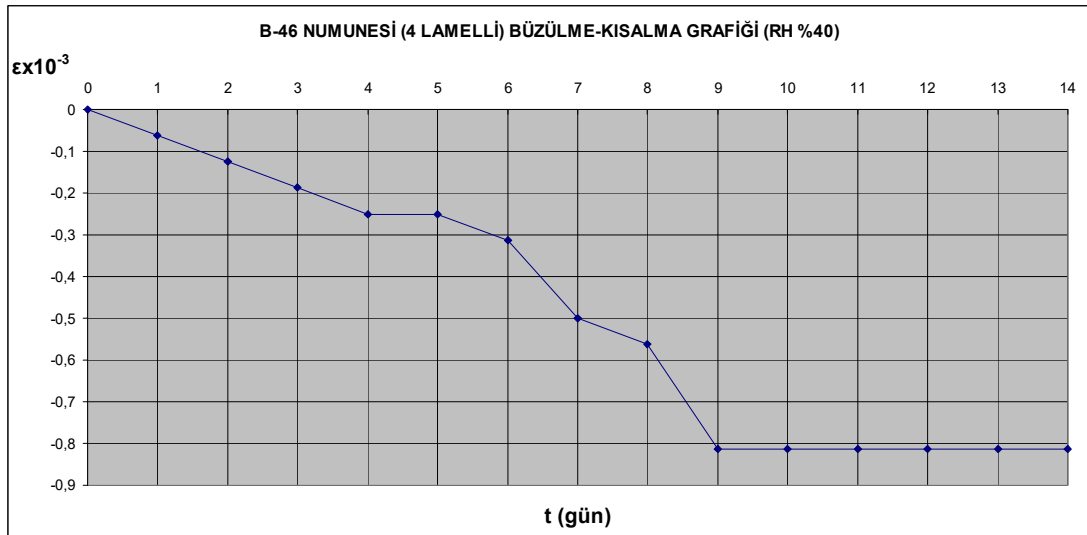


Şekil 3.81: A-48 Kodlu (9 lamelli) numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme grafiği.

Belli bir nem değerine kadar kurutulmuş olan dört lamelli ladin lamine B-46 kodlu numune kuruma etkisi ile bünyesinden su vermeye ve kısalmaya devam etmiştir (Çizelge 3.39, Şekil 3.82).

Çizelge 3.39: B-46 Kodlu (4 lamelli) numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme çizelgesi.

Gün	ΔL (mm)	$\epsilon \times 10^{-3}$
0.	0	0
1.	-0,01	-0,06
2.	-0,02	-0,12
3.	-0,03	-0,19
4.	-0,04	-0,25
5.	-0,04	-0,25
6.	-0,05	-0,31
7.	-0,08	-0,5
8.	-0,09	-0,56
9.	-0,13	-0,81
10.	-0,13	-0,81
11.	-0,13	-0,81
12.	-0,13	-0,81
13.	-0,13	-0,81
14.	-0,13	-0,81

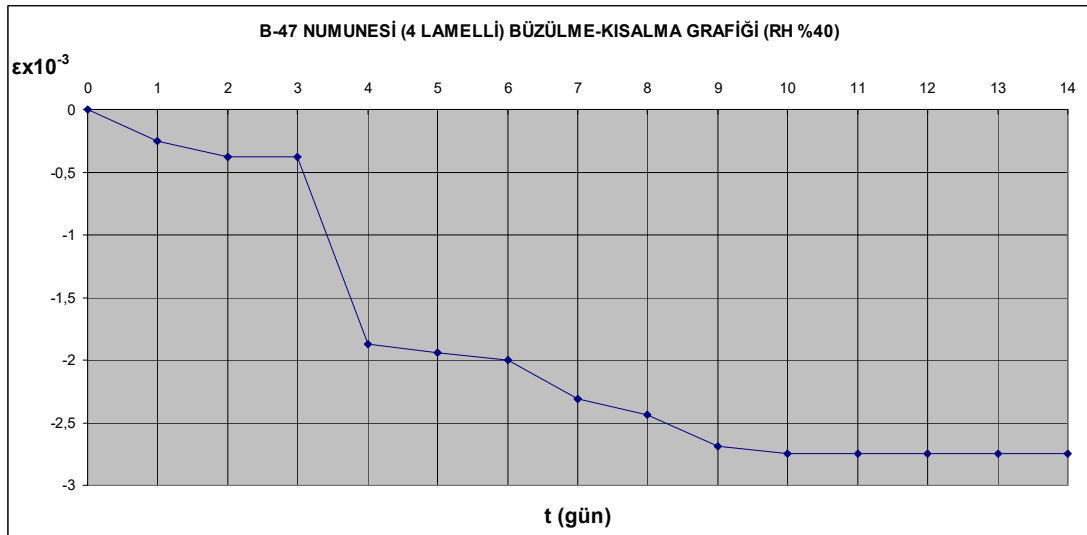


Şekil 3.82: B-46 Kodlu (4 lamelli) numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme grafiği.

Dört lamelli ladin lamine B-47 kodlu numune kuruma etkisi ile bünyesinden su vermeye ve büzülmeye devam etmiştir (Çizelge 3.40, Şekil 3.83).

Çizelge 3.40: B-47 Kodlu (4 lamelli) numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme çizelgesi.

Gün	ΔL (mm)	$\epsilon \times 10^{-3}$
0.	0	0
1.	-0,04	-0,25
2.	-0,06	-0,38
3.	-0,06	-0,38
4.	-0,3	-0,19
5.	-0,31	-0,19
6.	-0,32	-2
7.	-0,37	-2,31
8.	-0,39	-2,44
9.	-0,43	-2,69
10.	-0,44	-2,75
11.	-0,44	-2,75
12.	-0,44	-2,75
13.	-0,44	-2,75
14.	-0,44	-2,75

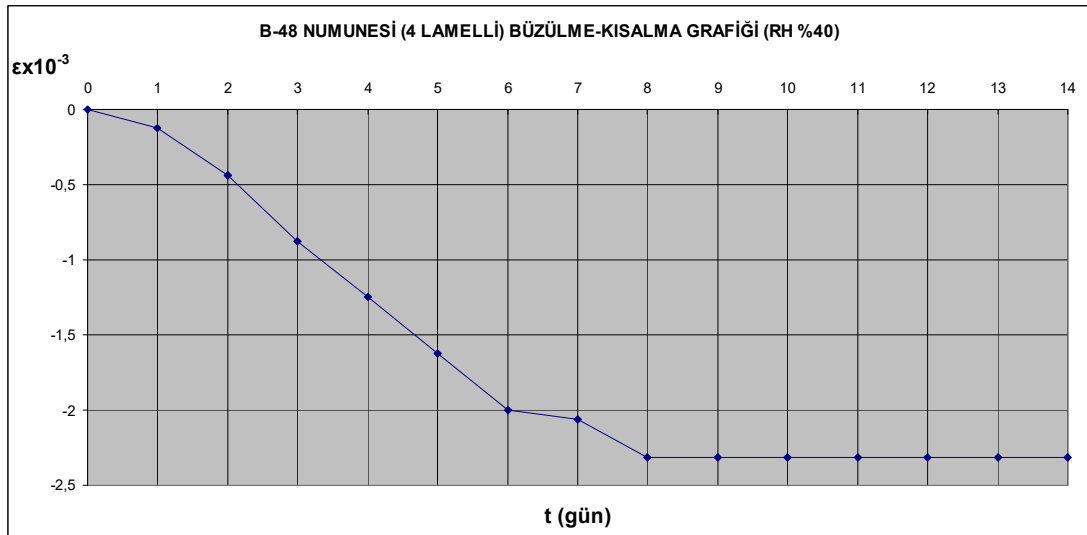


Şekil 3.83: B-47 Kodlu (4 lamelli) numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme grafiği.

Büzülme (kısalma) deney sonuçlarına bakıldığında, dört lamelli B-48 kodlu lamine ladin numune kuruma etkisi ile büzülmeye devam etmiştir. Düzenli yapılan ölçümlerle numuneye ait büzülme çizelgesi ve grafiği elde edilmiştir (Çizelge 3.41, Şekil 3.84).

Çizelge 3.41: B-48 Kodlu büzülme-kısalma şekil değiştirme çizelgesi.

Gün	ΔL (mm)	$\epsilon \times 10^{-3}$
0.	0	0
1.	-0,02	-0,13
2.	-0,07	-0,44
3.	-0,14	-0,88
4.	-0,2	-1,25
5.	-0,26	-1,62
6.	-0,32	-2
7.	-0,33	-2,06
8.	-0,37	-2,31
9.	-0,37	-2,31
10.	-0,37	-2,31
11.	-0,37	-2,31
12.	-0,37	-2,31
13.	-0,37	-2,31
14.	-0,37	-2,31

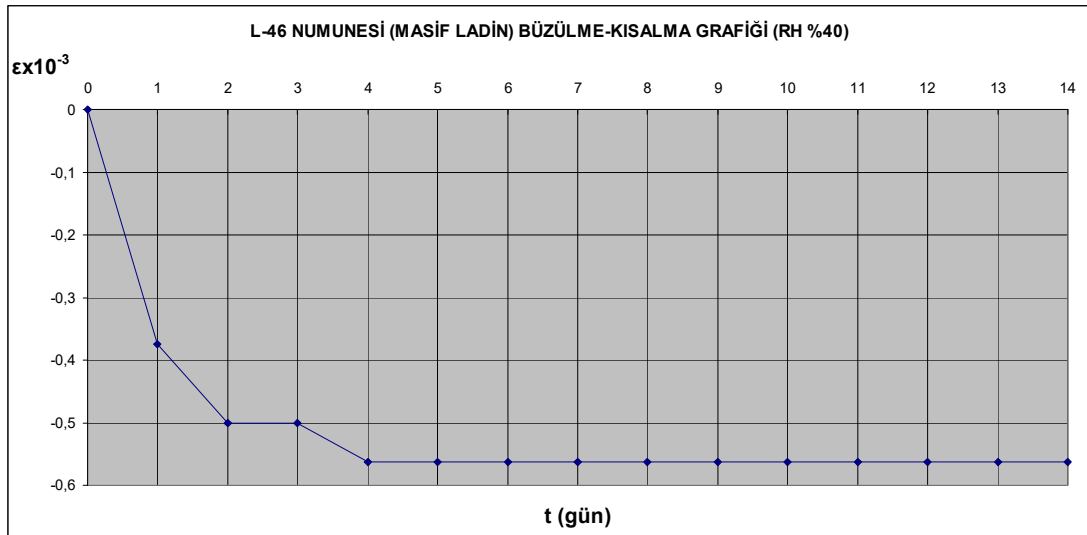


Şekil 3.84: B-48 Kodlu (4 lamelli) numunenin büzülme şekil değiştirme grafiği.

Belli bir nem değerine kadar kurutulan masif ladin L-46 kodlu numune kuruma etkisi ile bünyesindeki suyu kaybetmeye ve büzülmeye devam etmiştir (Çizelge 3.42, Şekil 3.85).

Çizelge 3.42: L-46 Kodlu masif ladin numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme çizelgesi.

Gün	ΔL (mm)	$\epsilon \times 10^{-3}$
0.	0	0
1.	-0,06	-0,38
2.	-0,08	-0,5
3.	-0,08	-0,5
4.	-0,09	-0,56
5.	-0,09	-0,56
6.	-0,09	-0,56
7.	-0,09	-0,56
8.	-0,09	-0,56
9.	-0,09	-0,56
10.	-0,09	-0,56
11.	-0,09	-0,56
12.	-0,09	-0,56
13.	-0,09	-0,56
14.	-0,09	-0,56

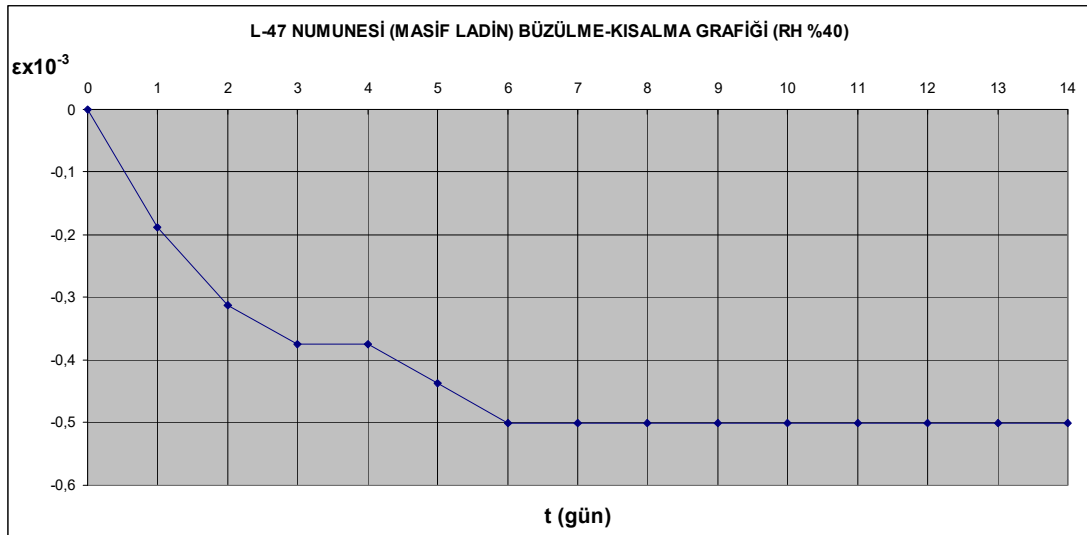


Şekil 3.85: L-46 Kodlu masif ladin numunenin büzülme şekil değiştirme grafiği.

Masif ladin L-47 kodlu numune kuruma etkisi ile bünyesindeki suyu kaybetmeye ve büzölmeye devam etmiştir (Çizelge 3.43, Şekil 3.86).

Çizelge 3.43: L-47 Kodlu masif ladin numunenin büzölme-kısalma şekil değiştirme çizelgesi.

Gün	ΔL (mm)	$\epsilon \times 10^{-3}$
0.	0	0
1.	-0,03	-0,19
2.	-0,05	-0,31
3.	-0,06	-0,38
4.	-0,06	-0,38
5.	-0,07	-0,44
6.	-0,08	-0,5
7.	-0,08	-0,5
8.	-0,08	-0,5
9.	-0,08	-0,5
10.	-0,08	-0,5
11.	-0,08	-0,5
12.	-0,08	-0,5
13.	-0,08	-0,5
14.	-0,08	-0,5

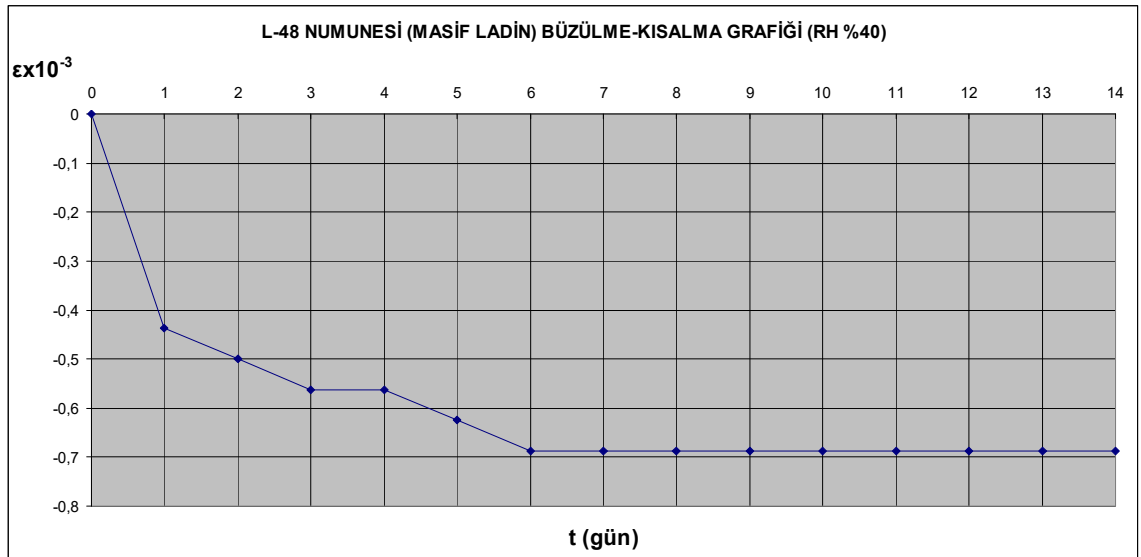


Şekil 3.86: L-47 Kodlu masif ladin numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme grafiği.

Büzülme (kısalma) deney sonuçlarına bakıldığında, masif ladin L-48 kodlu numune kuruma etkisi ile bünyesindeki suyu kaybetmeye ve büzülmeye devam etmiştir (Çizelge 3.44, Şekil 3.87).

Çizelge 3.44: L-48 Kodlu masif ladin numunenin büzülme-kısalma şekil değiştirme çizelgesi.

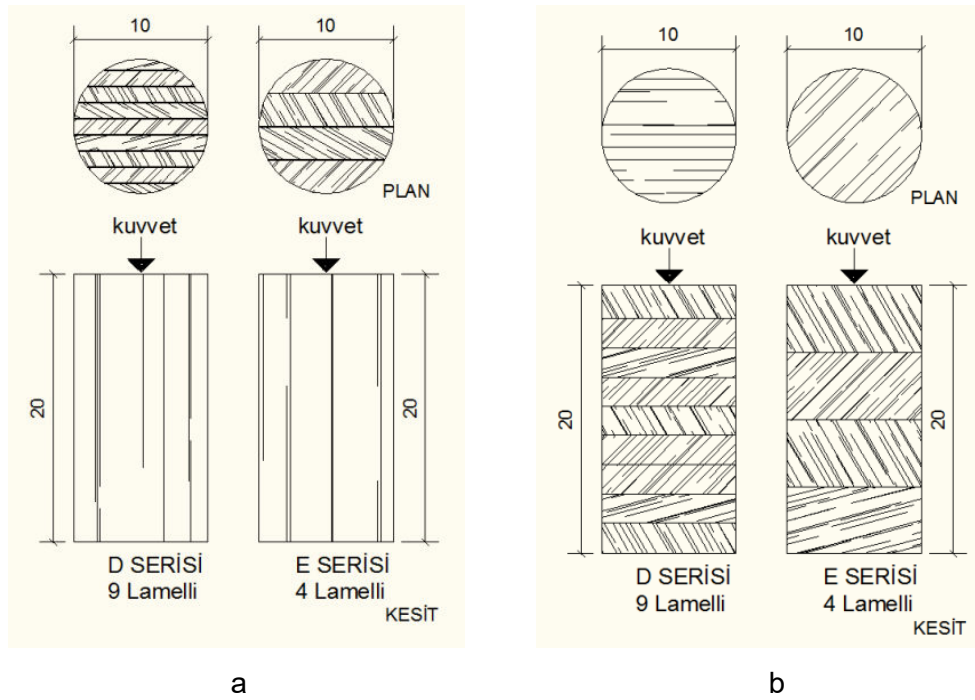
Gün	ΔL (mm)	$\epsilon \times 10^{-3}$
0.	0	0
1.	-0,07	-0,44
2.	-0,08	-0,5
3.	-0,09	-0,56
4.	-0,09	-0,56
5.	-0,1	-0,63
6.	-0,11	-0,69
7.	-0,11	-0,69
8.	-0,11	-0,69
9.	-0,11	-0,69
10.	-0,11	-0,69
11.	-0,11	-0,69
12.	-0,11	-0,69
13.	-0,11	-0,69
14.	-0,11	-0,69



Şekil 3.87: L-48 Kodlu masif ladin numunenin büzülme-kısılma şekil değiştirme grafiği.

3.4.5 Elastisite modülü tayini deney sonuçları

Basınçta elastisite modülü tayini deneyi için 100mm çapında, 200mm boyundaki lifleri yük yönüne paralel ve lifleri yük yönüne dik olarak üretilen silindir deney numunelerine test cihazında tek eksenli yükleme yapılarak tek eksenli basınç yükü altındaki elastik şekil değiştirme okumaları kayıt altına alınmıştır. (Şekil 3.88, Şekil 3.89).



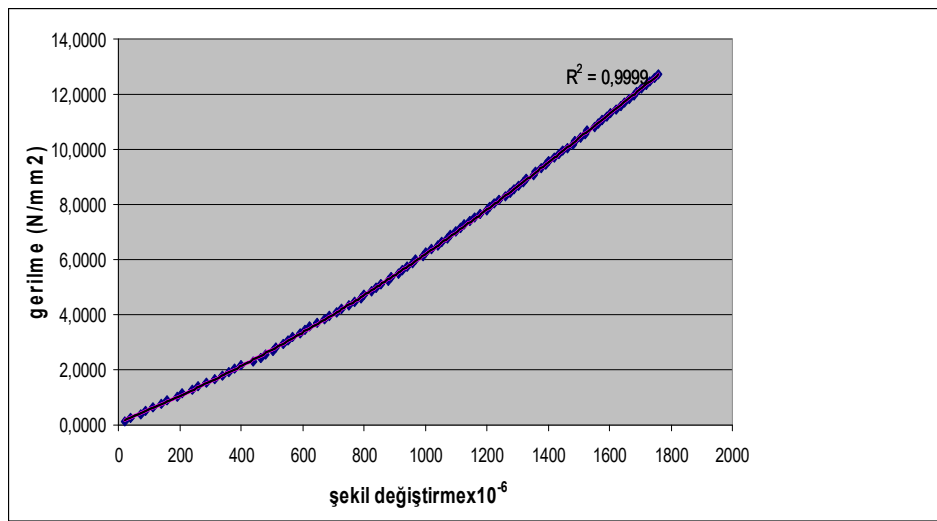
Şekil 3.88: a. Lifleri yük (kuvvet) yönüne paralel numune, b. Lifleri yük (kuvvet) yönüne dik numune.



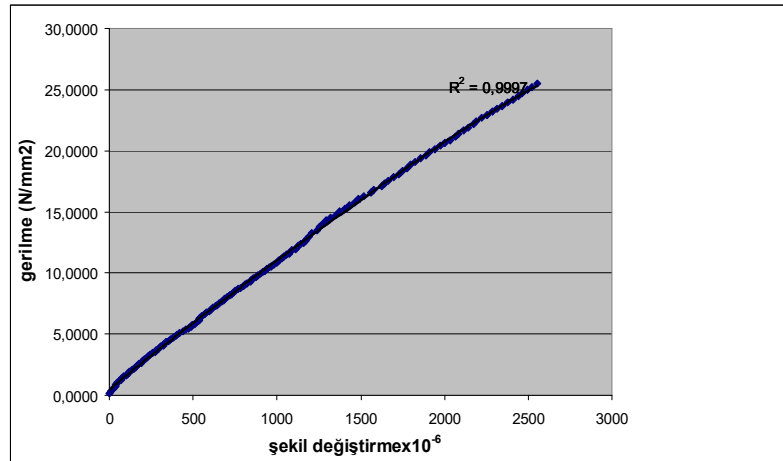
Şekil 3.89: Numunelerin yük altında şekil değiştirme okumaları.

Numunelerin dayanım ve şekil değiştirme değerlerine bağlı olarak aşağıda yer alan dayanım-şekil değiştirme grafikleri çizilmiştir. Dokuz lamelli D numuneleri için 20C°’de elde edilen dayanım şekil değiştirme grafikleri Şekil 3.90, Şekil 3.91 ve Şekil 3.92’de gösterilmiştir.

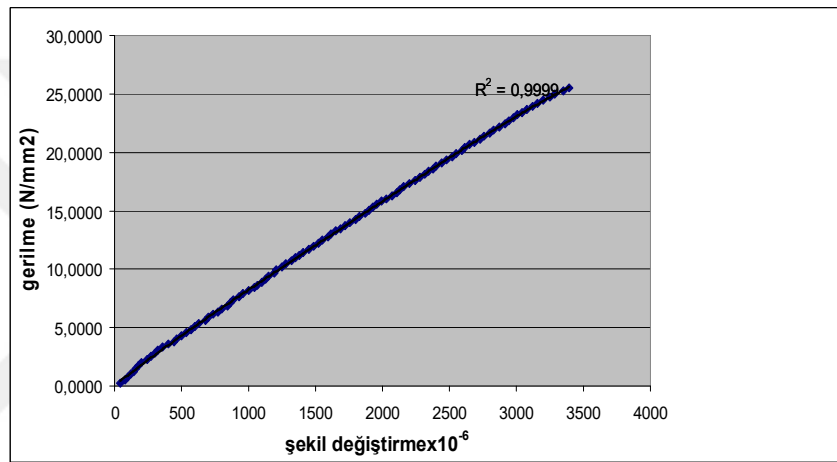
Lifleri yük yönüne paralel D-1, D-2 ve D-3 numuneleri için yapılan hesaplara göre liflere paralel basınç elastisite modülü değerleri sırası ile, 7391,83 N/mm², 7156,16 N/mm² ve 7547,05 N/mm² olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.90: D-1 Numunesi için 20C°’de gerilme-şekil değiştirme grafiği.

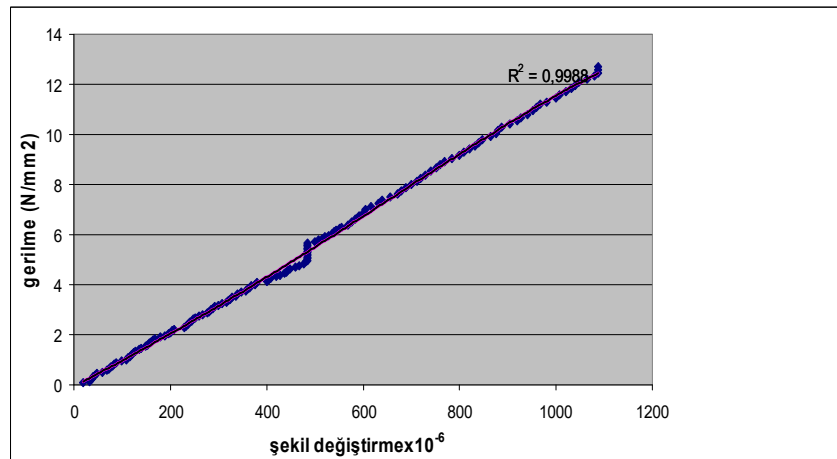


Şekil 3.91 : D-2 Numunesi için 20C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.

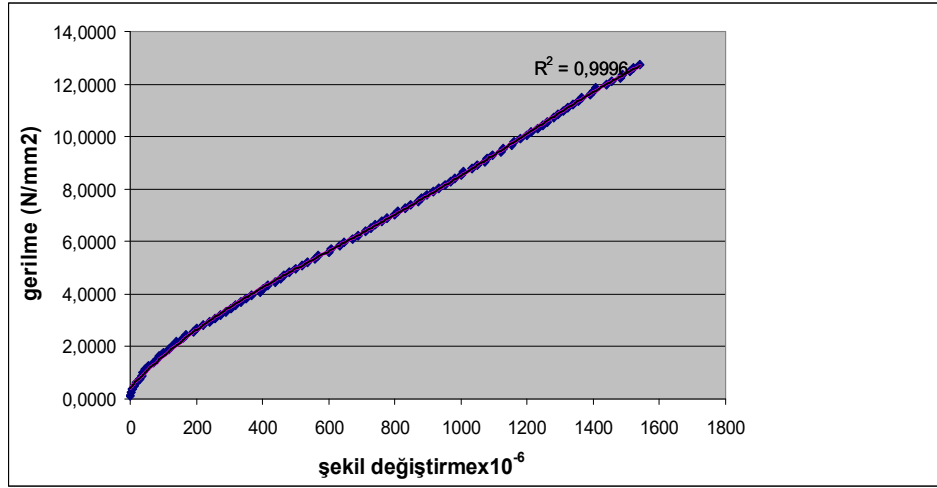


Şekil 3.92: D-3 Numunesi için 20C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.

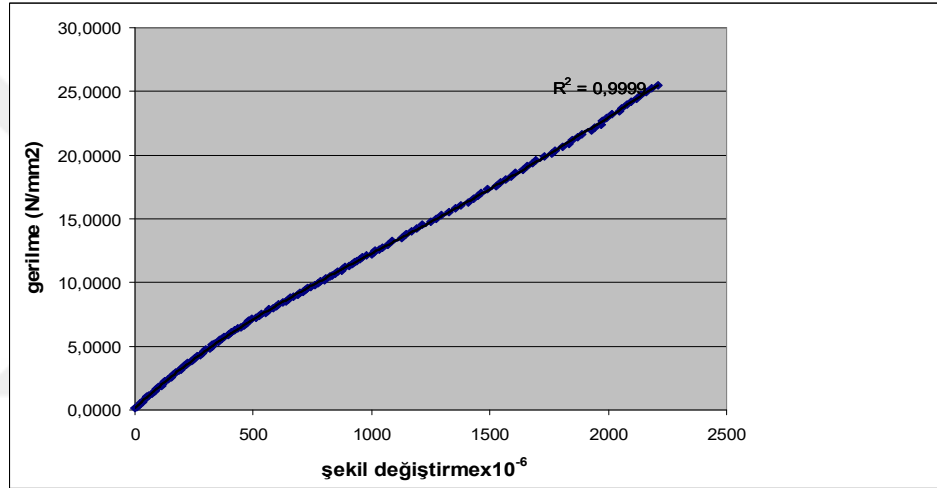
Dört lamelli E numuneleri için 20C°'de elde edilen dayanım şekil değiştirme grafikleri Şekil 3.93, Şekil 3.94 ve Şekil 3.95'da gösterilmiştir. E-1, E-2 ve E-3 numuneleri için yapılan hesaplara göre liflere paralel basınç elastisite modülü değerleri sırasıyla; 11789,93 N/mm², 7697,48 N/mm², 7895,70 N/mm² olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.93: E-1 numunesi için 20C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.



Şekil 3.94: E-2 numunesi için 20C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.



Şekil 3.95 : E-3 Numunesi için 20C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.

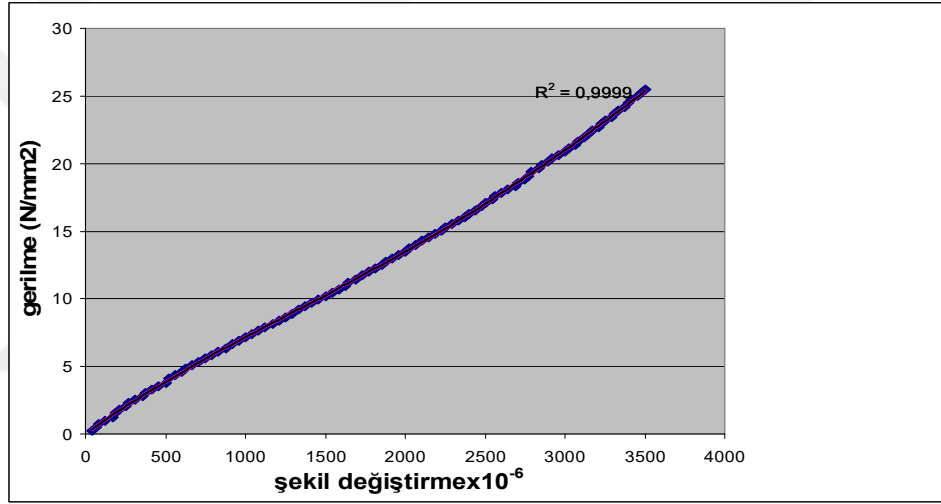
Şekil değiştirme ve dayanım değerleri sonucunda çizilen grafiklerin eğimlerinden elastisite modülü değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 3.45).

Çizelge 3.45: 20C°'de bekletilen numuneleri dayanım, elastisite modülü değerleri .

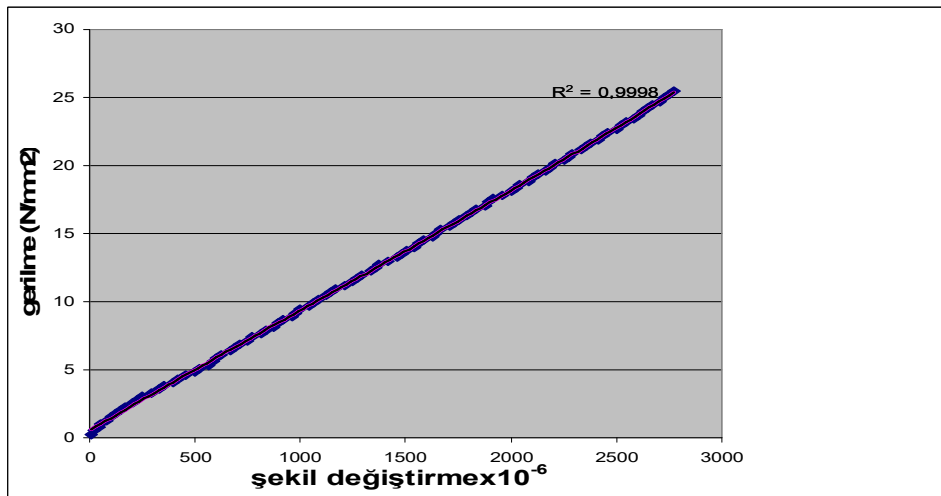
DENEY NUMUNELERİ	SICAKLIK (C°)	BASINÇ YÜKÜ $F_{c,0}(N)$	BASINÇ DAYANIMI $f_{c,0}$ (N/mm ²)	ELASTİSİTE MODÜLÜ $E_{c,0}$ (N/mm ²)	ELASTİSİTE MODÜLÜ ORT $E_{c,0,ort}$ (N/mm ²)	BASINÇ DAYANIMI ORT $f_{c,0}$ (N/mm ²)
D-1	20	270000	34,39	7391,83	7365,01	36,08
D-2	20	280000	35,66	7156,16		
D-3	20	300000	38,21	7547,05		
E-1	20	290000	36,94	11789,93	9127,70	38,63
E-2	20	290000	36,94	7697,48		
E-3	20	330000	42,03	7895,70		

Değerlere bakıldığında dört lamelli E numunelerinin elastisite modülü değerlerinin dokuz lamelli D numunelerinin elastisite modülü değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Normal oda sıcaklığında yapılan elastisite modülü tayini deneylerinin ardından farklı sıcaklıklar için de deney tekrarı yapılmıştır. Belirlenen 50C°, 75C° ve 100C° için dokuz lamelli D numuneleri ve dört lamelli E numuneleri için elastisite modülü tayini deneylerine devam edilmiştir.

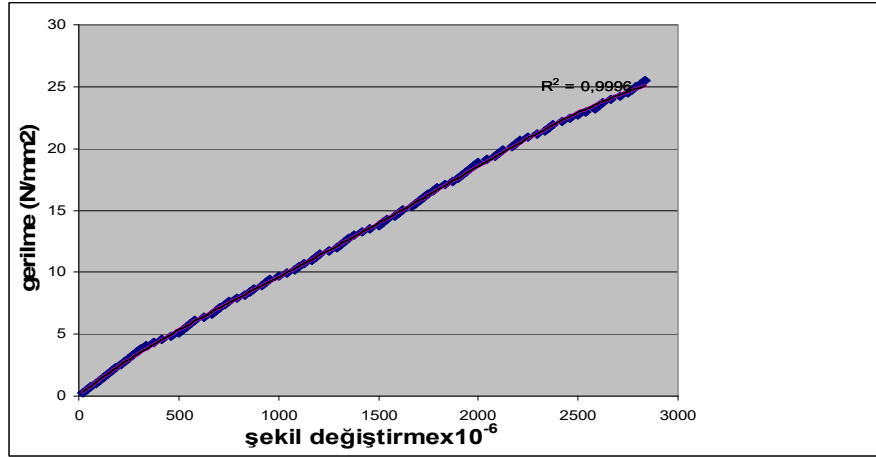
İlk aşamada numuneler 50C°'de bekletildikten sonra elastik şekil değiştirme okumaları ve dayanım değerleri hesaplanarak D numuneleri için Şekil 3.96, Şekil 3.97 ve Şekil 3.98 grafikleri elde edilmiştir. D-6, D-7 ve D-8 numuneleri için yapılan hesaplara göre liflere paralel basınç elastisite modülü değerleri sırasıyla; 6958,64 N/mm², 8880,68 N/mm², 8820,86, N/mm² olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.96: D-6 Numunesi için 50C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.

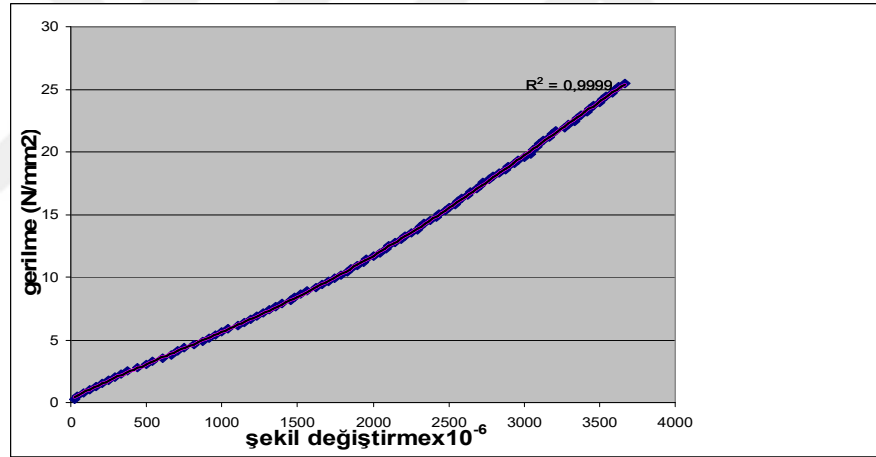


Şekil 3.97: D-7 Numunesi için 50C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.

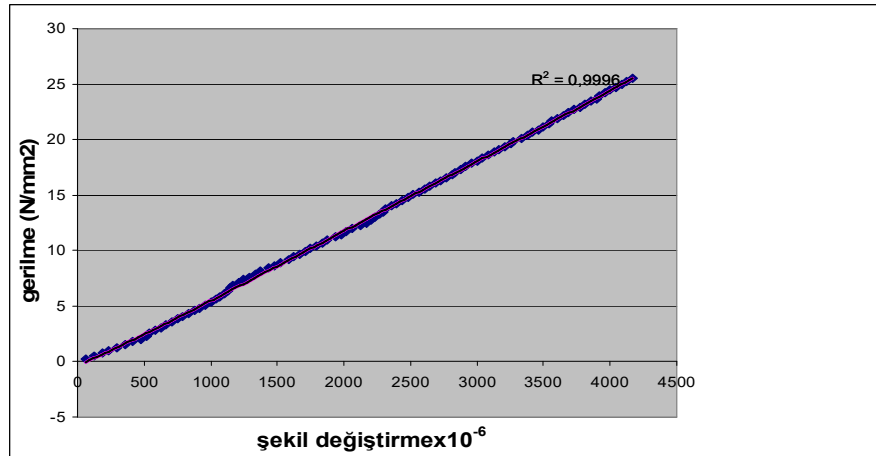


Şekil 3.98: D-8 Numunesi için 50C^o'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.

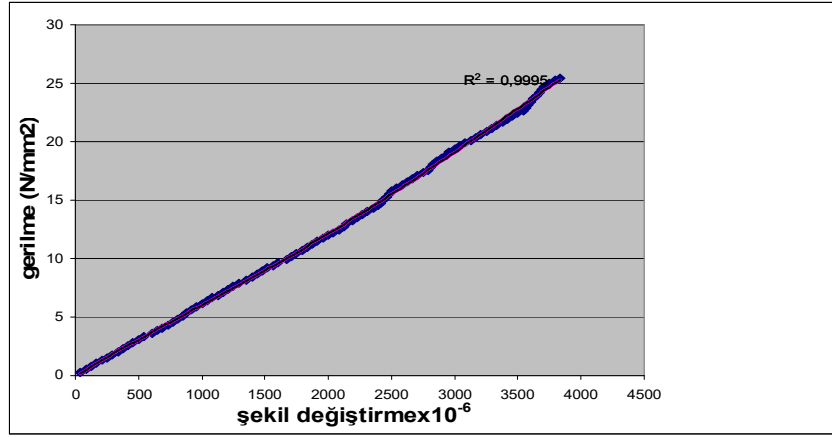
Dört lamelli E numuneleri için de 50C^o'de dayanım şekil değiştirme grafikleri Şekil 3.99, Şekil 3.100 ve Şekil 3.101'deki gibi elde edilmiştir. E-6, E-7 ve E-8 numuneleri için yapılan hesaplara göre liflere paralel basınç elastisite modülü değerleri sırasıyla; 6879,13 N/mm², 6265,32 N/mm², 6576,67 N/mm² olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.99: E-6 Numunesi için 50C^o'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.

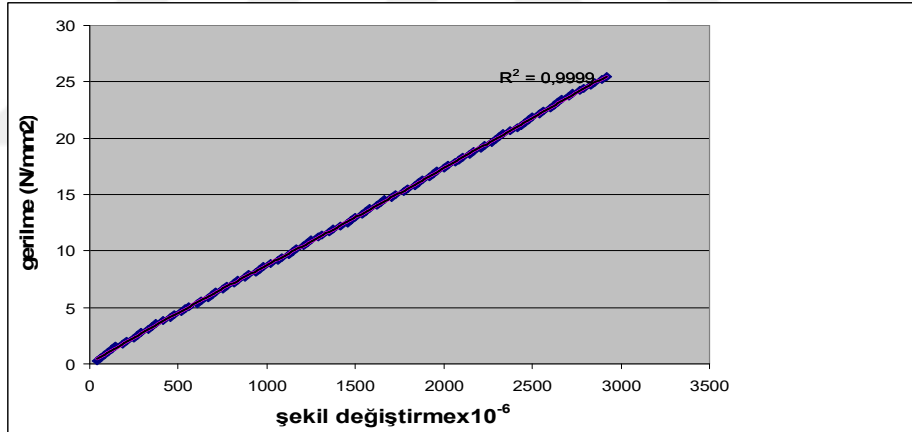


Şekil 3.100: E-7 Numunesi için 50C^o'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.

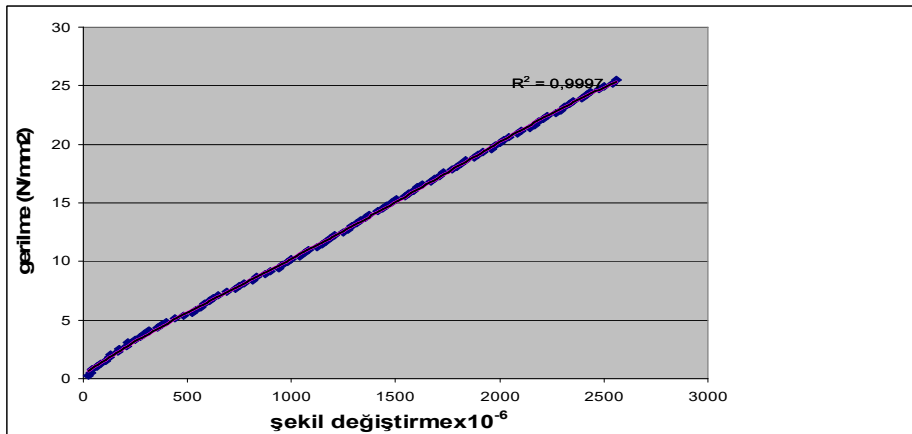


Şekil 3.101: E-8 Numunesi için 50C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.

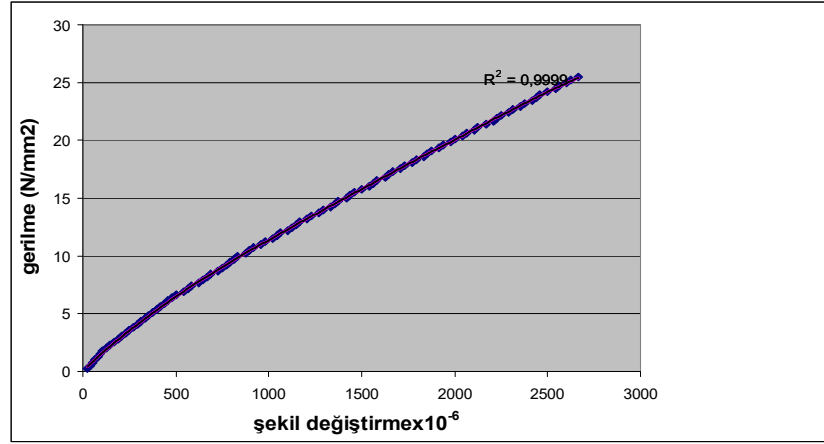
Deneylere devam edilerek 75C° için aynı deney prosedürü uygulanmıştır. Fırında bir hafta bekletilen dokuz lamelli numunelerde elastik şekil değiştirme okumalarına bakılarak Şekil 3.102, Şekil 3.103 ve Şekil 3.104'de yer alan dayanım şekil değiştirme grafikleri çizilmiştir. D-9, D-10 ve D-11 numuneleri için yapılan hesaplara göre liflere paralel basınç elastisite modülü değerleri sırasıyla; 8660,54 N/mm², 9733,97 N/mm², 9261,48 N/mm² olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.102: D-9 Numunesi için 75C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.

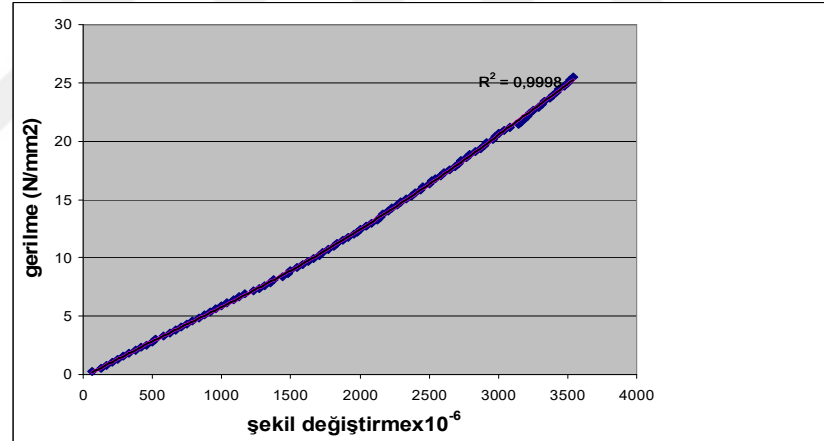


Şekil 3.103: D-10 Numunesi için 75C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.

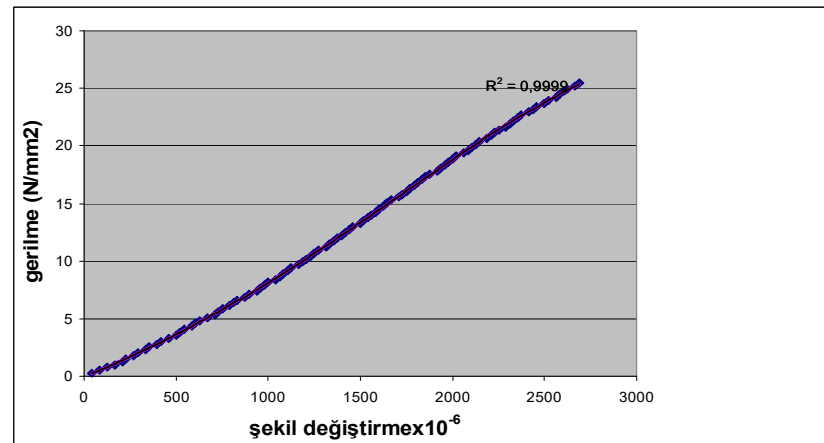


Şekil 3.104: D-11 Numunesi için 75C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.

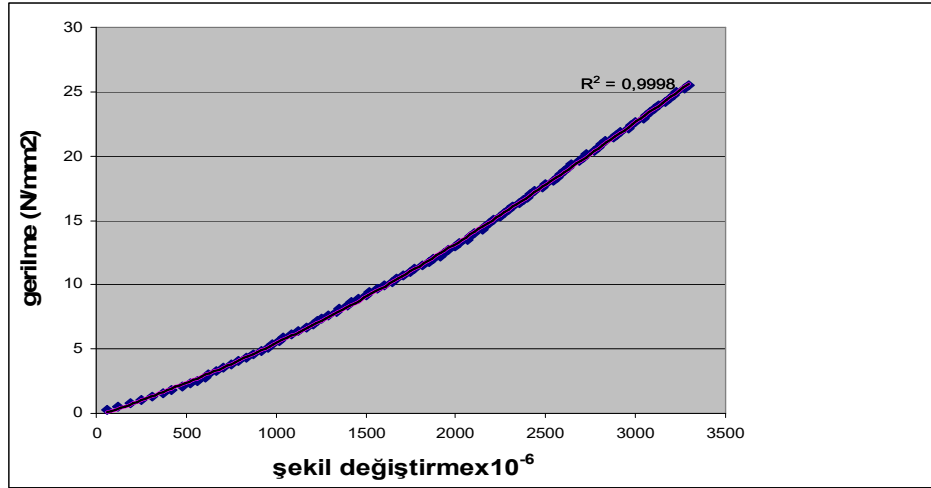
Dört lamelli E numuneleri için 75C°'de yapılan elastik şekil değiştirme okumalarına bağlı olarak, Şekil 3.105, Şekil 3.106 ve Şekil 3.107 yer alan dayanım şekil değiştirme grafikleri çizilmiştir. E-9, E-10 ve E-11 numuneleri için yapılan hesaplara göre liflere paralel basınç elastisite modülü değerleri sırasıyla; 7225,70 N/mm², 9990,27 N/mm², 8149,62 N/mm² olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.105: E-9 Numunesi için 75C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.



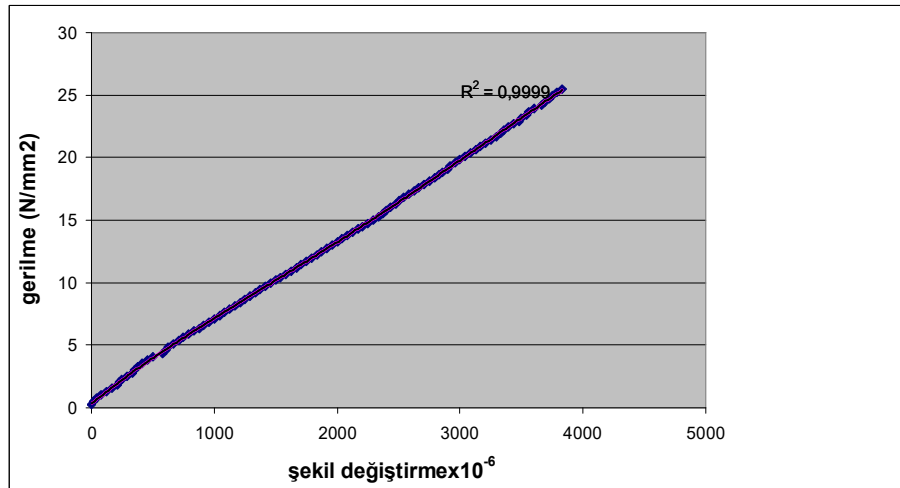
Şekil 3.106: E-10 Numunesi için 75C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.



Şekil 3.107: E-11 Numunesi için 75C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.

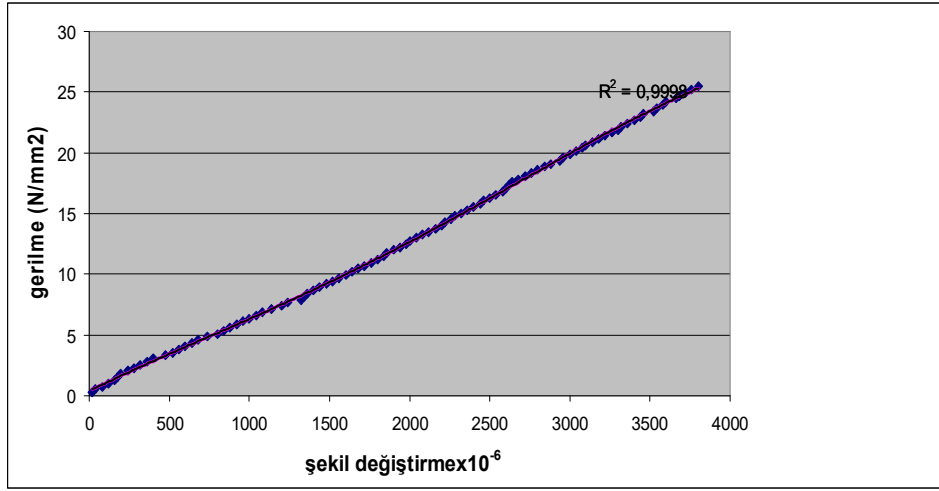
Lifleri yük yönüne paralel E-9,E-10 ve E-11 numuneleri için yapılan hesaplara göre lifleri paralel basınç elastisite modülü değerleri sırası ile, 7225,70 N/mm², 9990,27 N/mm² ve 8149,62 N/mm² olarak hesaplanmıştır.

Sıcaklık ile ilgili en son 100C° için dokuz ve dört lamelli lamine örnekler için elasite modülü tayini deneylerine devam edilmiştir. Dokuz lamelli D kodlu numuneler için elde edilen elastik şekil değiştirme değerleri doğrultusunda Şekil 3.108, Şekil 3.109 ve Şekil 3.110'de yer alan grafikler elde edilmiştir.

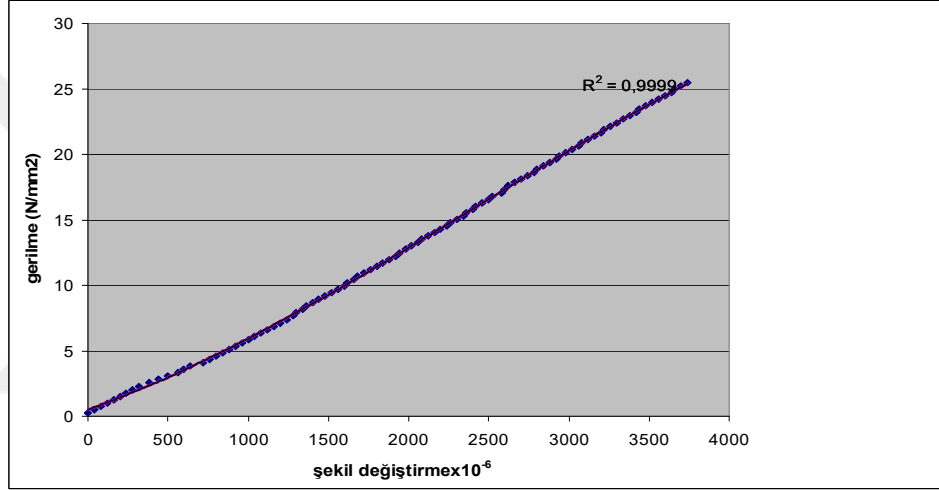


Şekil 3.108: D-12 Numunesi için 100C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.

Lifleri yük yönüne paralel D-12,D-13 ve D-14 numuneleri için yapılan hesaplara göre lifleri paralel basınç elastisite modülü değerleri sırası ile, 6409,64 N/mm², 6654,93 N/mm² ve 6913,91N/mm² olarak hesaplanmıştır. Lifleri yük yönüne paralel E-12, E-13 ve E-14 numuneleri için yapılan hesaplara göre lifleri paralel basınç elastisite modülü değerleri sırası ile, 7918,48 N/mm², 11245,02 N/mm² ve 8518,06 N/mm² olarak hesaplanmıştır.

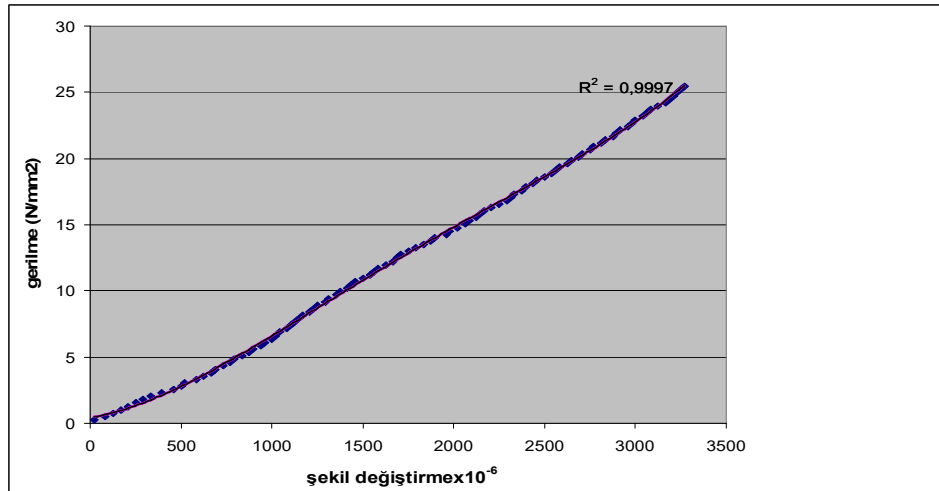


Şekil 3.109: D-13 Numunesi için 100C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.

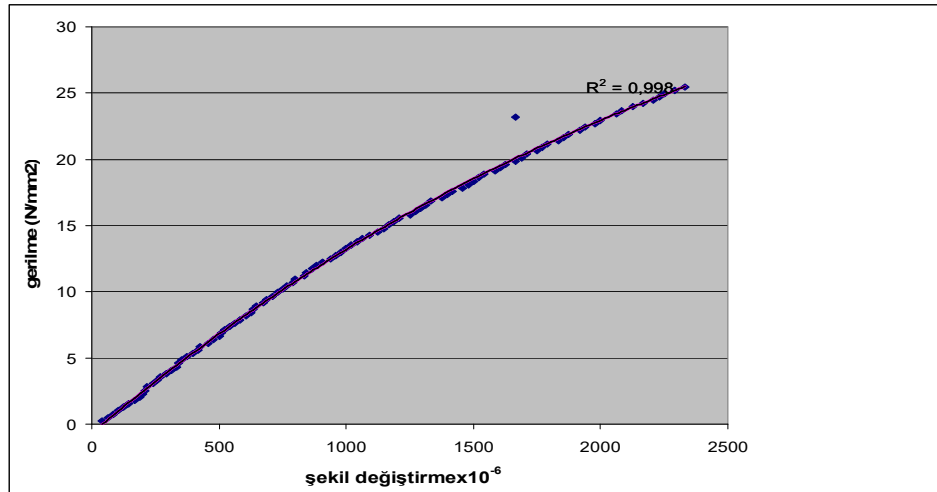


Şekil 3.110: D-14 Numunesi için 100C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.

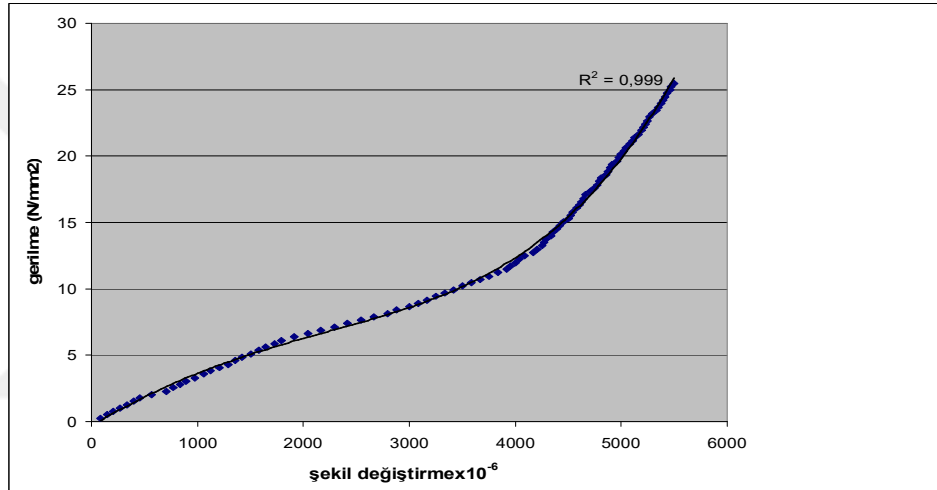
Dört lamelli E kodlu numuneler için de 100C° için Şekil 3.111, Şekil 3.112 ve Şekil 3.113'de yer alan dayanım şekil değiştirme grafikleri çizilmiştir.



Şekil 3.111: E-12 Numunesi için 100C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.



Şekil 3.112: E-13 Numunesi için 100C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.



Şekil 3.113: E-14 Numunesi için 100C°'de gerilme-şekil değiştirme grafiği.

Elde edilen grafiklerin eğimlerinden dokuz lamelli D kodlu ve dört lamelli E kodlu numunelerin elastisite modülü değerleri hesaplanmıştır. (Çizelge 3.46). Elastisite modülü değerlerinin ortalamalarına bakıldığında 50C° için dokuz lamelli D numunelerinin ortalama değeri dört lamelli E numunelerinin ortalama değerinden daha fazladır. Sıcaklık artıp 75C° olduğunda dokuz lamelli D numunelerinin elastisite modülü ortalamasının dört lamelli E numunelerinin ortalamasından yine fazla olduğu görülmektedir. Son sıcaklık değeri 100C°'de ise dokuz lamelli D kodlu numunelerin elastisite modüllerinin ortalamasının dört lamelli E kodlu numunelerinkinden daha düşük olduğu görülmektedir. Sonuç olarak 20C° ve 100C° sıcaklıklarda dört lamelli E kodlu numune daha yüksek elastisite modülü değerine sahip olurken 50C° ve 75C° sıcaklıklarda tersi olarak dokuz lamelli D kodlu numune daha yüksek elastisite modülü değerine sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 3.47).

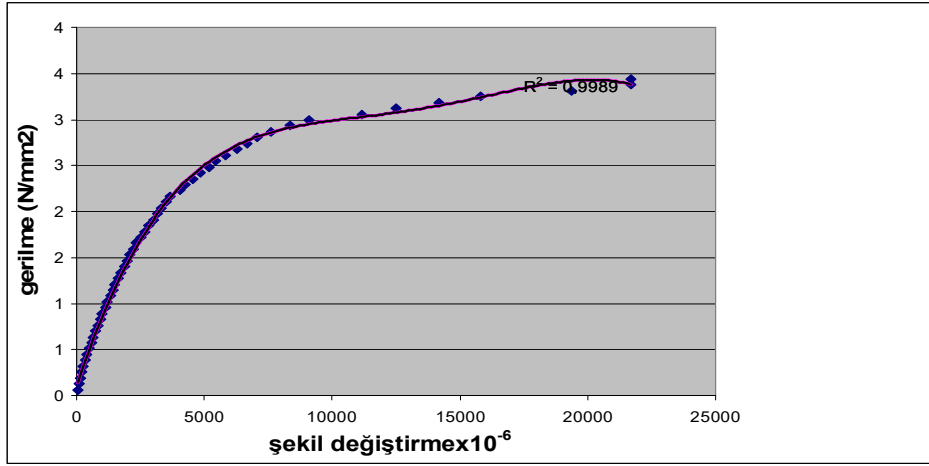
Çizelge 3.46: Numunelerin sıcaklığa bağlı elastisite modülü ve basınç dayanımları çizelgesi.

DENEY NUMUNELERİ	SICAKLIK (C°)	BASINÇ YÜKÜ $F_{c,0}$ (N)	BASINÇ DAYANIMI $f_{c,0}$ (N/mm ²)	ELASTİSİTE MODÜLÜ $E_{c,0}$ (N/mm ²)	ELASTİSİTE MODÜLÜ ORT $E_{c,0,ort}$ (N/mm ²)	BASINÇ DAYANIMI ORT $f_{c,0}$ (N/mm ²)
D-6	50	390000	49,68	6958,64	8220,06	49,68
D-7	50	390000	49,68	8880,68		
D-8	50	390000	49,68	8820,86		
E-6	50	350000	44,58	6879,13	6573,70	45,00
E-7	50	350000	44,58	6265,32		
E-8	50	360000	45,85	6576,67		
D-9	75	420000	53,50	8660,54	9218,66	50,1
D-10	75	360000	45,85	9733,97		
D-11	75	400000	50,95	9261,48		
E-9	75	420000	53,50	7225,70	8455,19	53,92
E-10	75	410000	52,22	9990,27		
E-11	75	440000	56,05	8149,62		
D-12	100	360000	45,85	6409,64	6659,49	46,27
D-13	100	380000	48,40	6654,93		
D-14	100	350000	44,58	6913,91		
E-12	100	400000	50,95	7918,48	9227,18	48,58
E-13	100	405000	51,50	11245,02		
E-14	100	340000	43,31	8518,06		

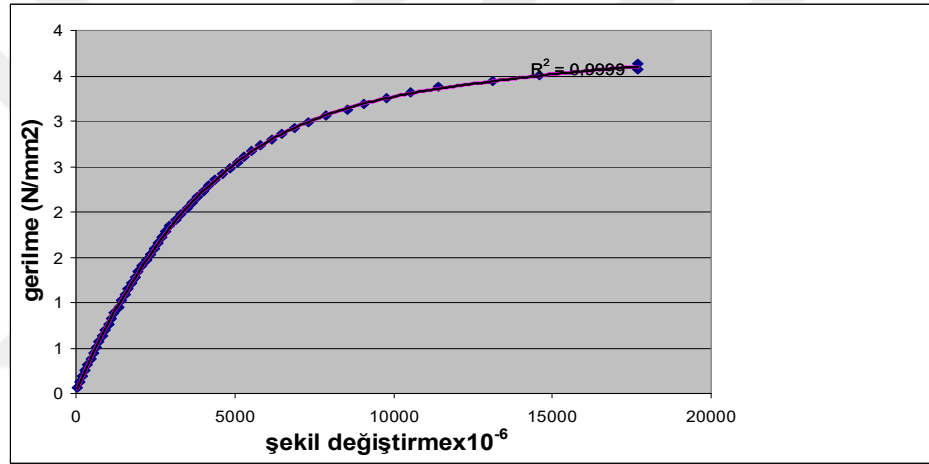
Çizelge 3.47: D ve E kodlu numunelerin sıcaklığa bağlı elastisite modülü ve basınç dayanımı ortalamaları grafiği.

SICAKLIK C°	ELASTİSİTE MODÜLÜ (N/mm ²)		BASINÇ DAYANIMI $f_{c,0}$ / (N/mm ²)	
	D (dokuz lam.)	E (dört lam.)	D (dokuz lam.)	E (dört lam.)
20	7365,01	9127,70	36,08	38,63
50	8220,06	6573,70	49,68	45,00
75	9218,66	8455,19	50,1	53,92
100	6659,49	9227,18	46,27	48,58

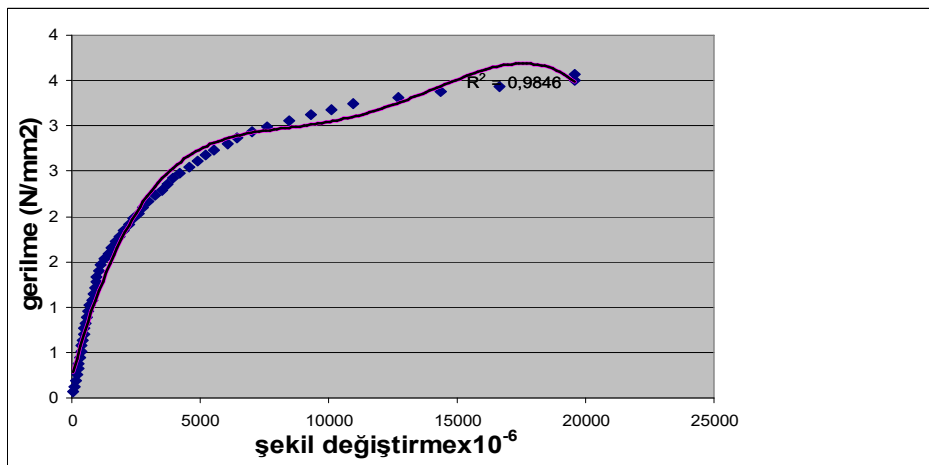
Basınçta elastisite modülü tayini deneyi, dokuz lamelli D numuneleri ve dört lamelli E numunelerine lifleri yük yönüne ters olacak şekilde de uygulanmıştır. Aşağıdaki grafiklerde dokuz lamelli D kodlu numunelerin elastik şekil değiştirme dayanım grafikleri yer almaktadır. (Şekil 3,114, Şekil 3,115, Şekil 3,116).



Şekil 3.114: D-16 kodlu numunenin lifleri yük yönüne ters gerilme şekil değiştirme grafiği.

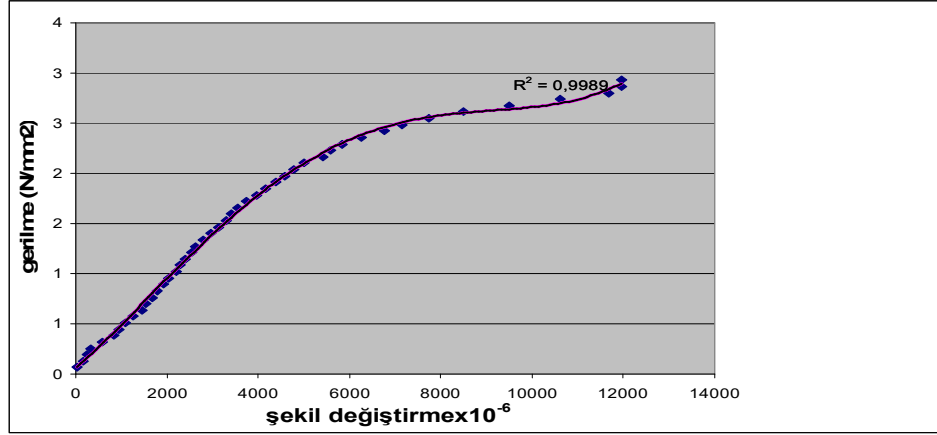


Şekil 3.115: D-17 kodlu numunenin lifleri yük yönüne ters gerilme şekil değiştirme grafiği.

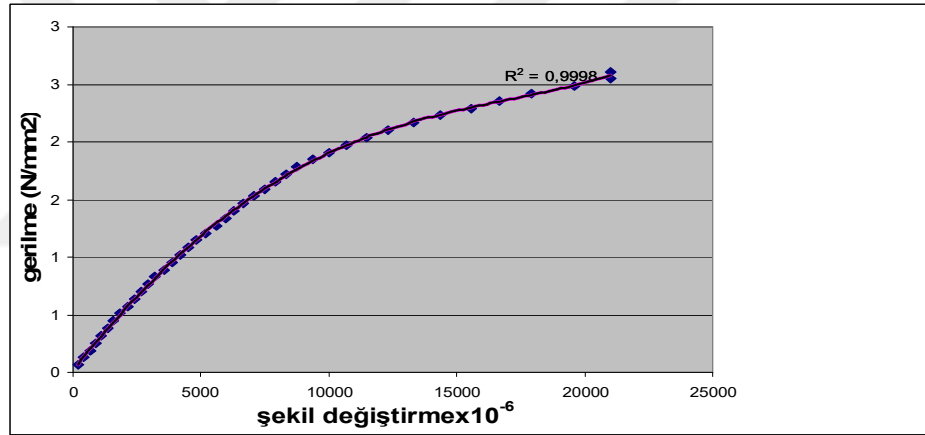


Şekil 3.116: D-18 kodlu numunenin lifleri yük yönüne ters gerilme şekil değiştirme grafiği.

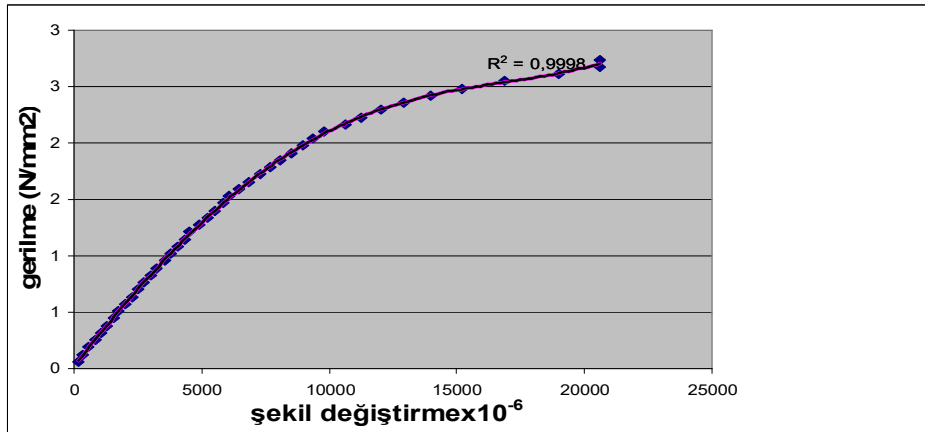
Lifleri yük yönüne ters dört lamelli E numunelerinin de yük altında elastik şekil değıştirme değeri ölçülmüştür. Bu ölçümlere bağılı olarak aşığıda yer alan grafikler çizilmiştir. (Şekil 3.117, Şekil 3.118, Şekil 3.119)



Şekil 3.117: E-16 kodlu numunenin lifleri yük yönüne ters gerilme şekil değıştirme grafiğı.



Şekil 3.118: E-17 kodlu numunenin lifleri yük yönüne ters gerilme şekil değıştirme grafiğı.



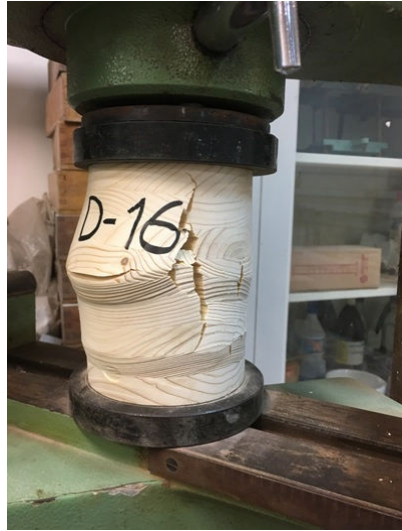
Şekil 3.119: E-18 kodlu numunenin lifleri yük yönüne ters gerilme şekil değıştirme grafiğı.

Yük altındaki şekil değiştirme ölçümleri sonucunda çizilen dayanım şekil değiştirme grafiklerine bakılarak elastisite modülü değerleri hesaplanmıştır. (Çizelge 3.48).

Çizelge 3.48: Lifleri yük yönüne ters olan numunelerin dayanım, elastisite modülü çizelgesi.

DENEY NUMUNELERİ	SICAKLIK (C°)	BASINÇ YÜKÜ $F_{c,90}$ (N)	BASINÇ DAYANIMI $f_{c,90}$ (N/mm ²)	ELASTİSİTE MODÜLÜ $E_{c,90}$ (N/mm ²)	ELASTİSİTE MODÜLÜ ORT $E_{c,90,ort}$ (N/mm ²)	BASINÇ DAYANIMI ORT. $f_{c,90,ort}$ (N/mm ²)
D-16	20	36800	4,69	155,22	184,78	4,80
D-17	20	40100	5,11	220,32		
D-18	20	36000	4,59	178,8		
E-16	20	31500	4,01	244,29	167,14	3,96
E-17	20	29000	3,69	121,67		
E-18	20	32800	4,18	135,48		

Elastisite modülü değerleri hesaplanan numunelere basınç testi uygulanmıştır. Lifleri yük yönünün tersi olan numunelerin basınç dayanım değerleri lifleri yük yönünde olan numunelere nazaran oldukça düşüktür (Şekil 3.120, Şekil 3.121).



Şekil 3.120: Lifleri yük yönüne ters dokuz lamelli D-16 kodlu numuneye basınç dayanım testi uygulaması.



Şekil 3.121: Lifleri yük yönüne dik dört lamelli E-18 kodlu numuneye basınç dayanım testi uygulaması.

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara bakıldığında lifleri yük yönünde ters olan numunelerde dokuz lamelli olan numunelerin dayanım ve elastisite modülü değerleri dört lamelli numunelerin elastisite modülü değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Bunun yanında lifleri yük yönünde olan numunelerde dokuz lamelli olan numunelerin dayanım ve elastisite modülü değerleri dört lamelli numunelerin elastisite modülü değerlerinden daha düşük çıkmıştır.

3.4.6 Ultra ses deneyi sonuçları

Ultrases deneyi 40mmx40mmx160mm ebatlarında kare kesitli dikdörtgen prizma ve 100mm çapında 200mm boyunda silindir numunelere uygulanmıştır. Numune kodları ve elde edilen ölçümler Çizelge 3.49 ve Çizelge 3.50’de yer almaktadır.

Çizelge 3.49: Ultra ses deneyi sonuçları.

KOD	a (mm)	b (mm)	L (mm)	Ağırlık (g)	B.H.A (kg/lt)	t (µ/s)	V (m/s)
A-60	0,40	0,37	1,59	0,095	0,40	92,8	1720
A-61	0,4	0,37	1,57	0,089	0,38	80,8	1980
A-62	0,4	0,37	1,57	0,093	0,40	80,7	1980
A-63	0,4	0,34	1,57	0,085	0,40	125,8	1270
A-64	0,4	0,37	1,58	0,099	0,42	89,7	1780
B-60	0,4	0,37	1,59	0,1	0,42	102,9	1560
B-61	0,4	0,37	1,59	0,1	0,42	122,8	1300
B-62	0,4	0,37	1,59	0,1	0,42	86,4	1850
B-63	0,4	0,37	1,6	0,094	0,40	90,8	1760
B-64	0,4	0,37	1,59	0,1	0,42	107,8	1480
L-60	0,39	0,39	1,6	0,091	0,37	30,5	5250
L-61	0,39	0,39	1,6	0,096	0,39	29,4	5440
L-62	0,39	0,39	1,59	0,1	0,41	28,4	5630
L-63	0,39	0,39	1,6	0,094	0,39	30,9	5180
L-64	0,38	0,39	1,6	0,1	0,42	29,7	5390
M-1	0,39	0,39	1,63	0,2	0,81	31,7	5050
M-2	0,38	0,39	1,61	0,18	0,75	32,7	4890
M-3	0,39	0,39	1,61	0,21	0,86	30,9	5180

Çizelge 3.50: Silindir numuneler için ultra-ses deney sonuçları.

Numuneler	Çap (mm)	Ağırlık (gr)	Sıcaklık C°	Dayanım N/mm ²	t (µ/s)	V (m/s)
D-1	99,44	620,20	20	34,39	34,50	5800
D-2	99,82	621,86	20	35,66	37,40	5350
D-3	98,68	612,85	20	38,21	35,70	5600
E-1	99,46	659,86	20	36,94	33,50	5970
E-2	98,96	689,94	20	36,94	33,90	5900
E-3	99,42	669,25	20	42,03	33,90	5900
D-6	99,04	577,08	50	49,68	36,5	5480
D-7	98,25	573,40	50	49,68	35,2	5680
D-8	99,12	574,60	50	49,68	36,3	5520
E-6	97,98	579,83	50	44,58	33,7	5940
E-7	98,73	595,05	50	44,58	35,1	5700
E-8	98,20	589,16	50	45,85	36,2	5720
D-9	98,07	543,85	75	53,50	34,0	5880
D-10	97,62	562,59	75	45,85	35,2	5680
D-11	98,53	579,86	75	50,95	34,4	5800
E-9	98,91	587,09	75	53,50	33,2	6020
E-10	99,40	586,57	75	52,22	32,7	6120
E-11	99,87	592,44	75	56,05	33,1	6040
D-12	98,93	587	100	45,85	34,6	5780
D-13	97,14	568,59	100	48,40	34,1	5870
D-14	97,19	583,54	100	44,58	35,8	5590
E-12	100,21	586,40	100	50,95	34,5	5800
E-13	100,77	596,24	100	51,59	33,5	5970
E-14	100,80	570,48	100	43,31	34,7	5760

3.4.7 Sıcaklığa Dayanıklılık Deney Sonuçları

Malzemeye sıcaklık etkisini incelemek amacı ile 20C°, 50C°, 75C° ve 100C°'lik fırınlara konulan numunelerin 14 günlük bekleme süresinin ardından eğilme, liflere dik basınç ve liflere paralel basınç dayanım değerlerine bakılmıştır. (Şekil 3.122).



Şekil 3.122: Malzemede sıcaklık dayanım ilişkisini incelemek için kodlanan ve 75C°'ye konulan numuneler.

Dört lamelli M kodlu numune, dokuz lamelli N kodlu numune, masif ladin L ve La kodlu numuneler oda sıcaklığında 20C° beklemenin ardından mekanik deneyler uygulanmış ve Çizelge 3.51'de yer alan değerler elde edilmiştir. Dayanım değerlerine bakılarak eğilme, liflere dik basınç ve liflere paralel basınç mukavemetleri hesaplanmıştır.

Çizelge 3.51: 20C°'de numunelerin yük ve dayanım değerleri.

Numune	Eğilme-Çekme Yüğü $F_{t,90}$ (N)	Liflere Dik Basınç Yüğü $F_{c,90}$ (N)	Liflere Paralel Basınç Yüğü $F_{c,0}$ (N)	Eğilme-Çekme Dayanımı f_m (N/mm ²)	Liflere Dik Basınç Day. $f_{c,90}$ (N/mm ²)	Liflere Paralel Basınç Day. $f_{c,0}$ (N/mm ²)
M-20/1	2200	9000	64000	5,16	5,63	40
M-20/2	3100	8500	78000	7,27	5,31	48,75
M-20/3	2400	9000	62000	5,63	5,63	38,75
N-20/1	1200	8500	61000	2,81	5,31	38,13
N-20/2	1900	6500	56000	4,45	4,06	35
N-20/3	1900	7000	40000	4,45	4,38	25
L-20/1	9120			32,06		
L-20/2	10200			35,86		
L-20/3	11750			41,31		
La-20/1			64000			40
La-20/2			75000			46,88
La-20/3			60000			37,5
La-20/4		7000			4,38	
La-20/5		9000			5,62	
La-20/6		10000			6,25	

Fırına koyulup 50C°'de on dört gün bekletilen numuneler fırından çıkarılarak dayanım testlerine tabii tutulmuşlardır (Çizelge 3.52).

Çizelge 3.52: 50C°'de bekletilen numunelerin dayanım ve mukavemet değerleri.

Numune	Eğilme-Çekme Yüğü $F_{t,90}$ (N)	Liflere Dik Basınç Yüğü $F_{c,90}$ (N)	Liflere Paralel Basınç Yüğü $F_{c,0}$ (N)	Eğilme-Çekme Dayanımı f_m (N/mm ²)	Liflere Dik Basınç Day. $f_{c,90}$ (N/mm ²)	Liflere Paralel Basınç Day. $f_{c,0}$ (N/mm ²)
M-50/1	2100	8000	90000	4,92	5	56,25
M-50/2	1800	8000	90500	4,22	5	56,56
M-50/3	2700	15000	97000	6,33	9,38	60,63
N-50/1	1200	7500	60000	2,81	4,69	37,5
N-50/2	500	8000	74000	1,17	5	46,25
N-50/3	1900	9500	85000	4,45	5,93	53,13
L-50/1	9350			32,87		
L-50/2	10200			35,86		
L-50/3	14100			49,57		
La-50/1			94000			58,75
La-50/2			78000			48,75
La-50/3			77000			48,13
La-50/4		10000			6,25	
La-50/5		9000			5,63	
La-50/6		18000			11,25	

Fırına koyulup 75C°'de on dört gün bekletilen numuneler fırından çıkarılarak dayanım testlerine tabii tutulmuşlardır. (Çizelge 3.53).

Çizelge 3.53: 75C°'de bekletilen numunelerin dayanım ve mukavemet değerleri.

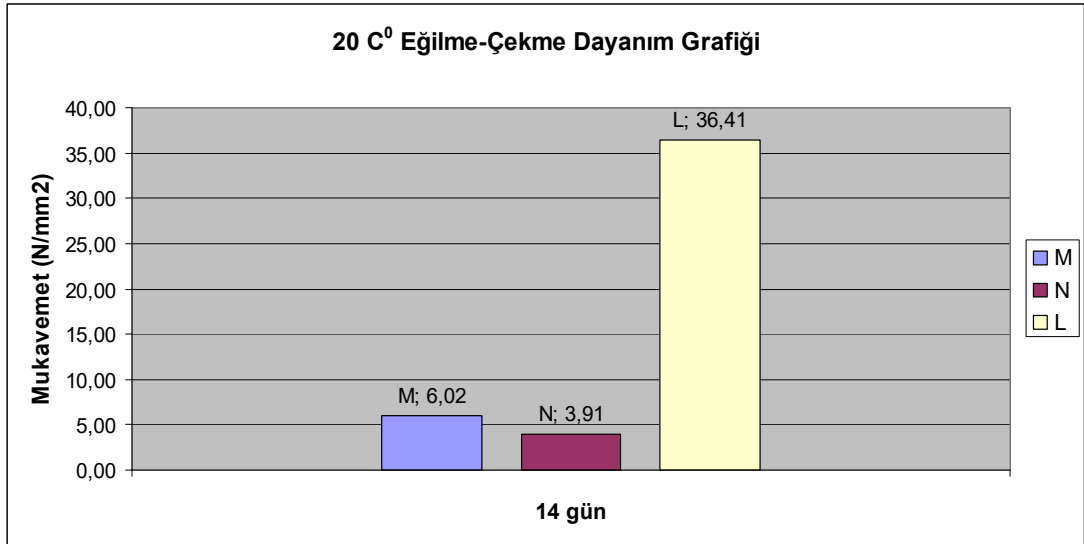
Numune	Eğilme-Çekme Yüğü $F_{t,90}$ (N)	Liflere Dik Basınç Yüğü $F_{c,90}$ (N)	Liflere Paralel Basınç Yüğü $F_{c,0}$ (N)	Eğilme-Çekme Dayanımı f_m (N/mm ²)	Liflere Dik Basınç Day. $f_{c,90}$ (N/mm ²)	Liflere Paralel Basınç Day. $f_{c,0}$ (N/mm ²)
M-75/1	1300	7000	79000	3,05	4,38	49,38
M-75/2	1700	11000	89000	3,98	6,88	55,63
M-75/3	2700	5500	86000	6,33	3,44	53,75
N-75/1	2800	6000	81000	6,56	3,75	50,63
N-75/2	2200	10500	70000	5,16	6,56	43,75
N-75/3	1400	9000	82000	3,28	5,63	51,25
L-75/1	10900			38,32		
L-75/2	11250			39,55		
L-75/3	10200			35,86		
La-75/1			98000			61,25
La-75/2			103000			64,38
La-75/3			115000			71,88
La-75/4		11000			6,88	
La-75/5		10500			6,56	
La-75/6		6000			3,75	

Fırına koyulup 100C°'de on dört gün bekletilen numuneler fırından çıkarılarak dayanım testlerine tabii tutulmuşlardır. (Çizelge 3.54).

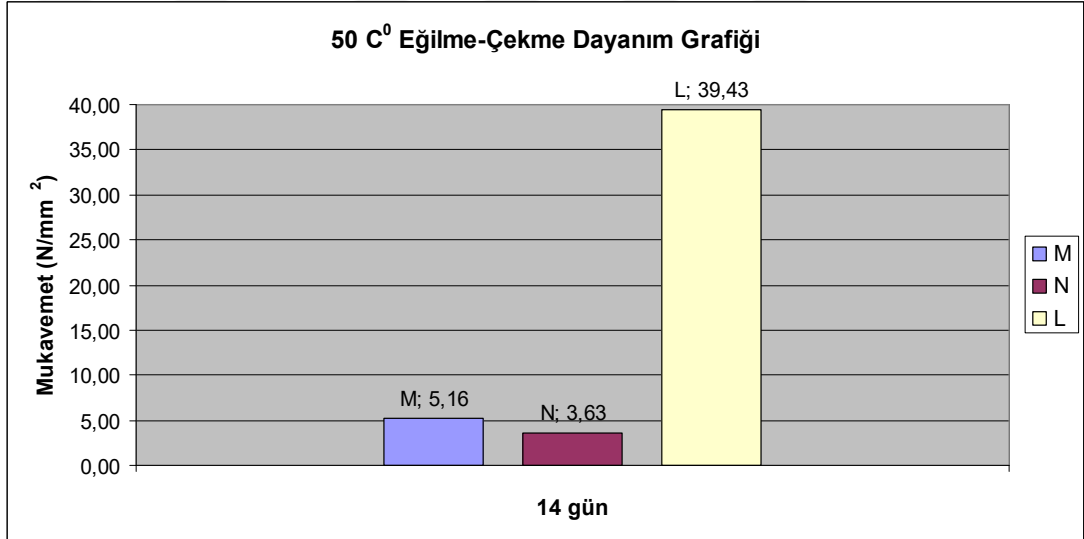
Çizelge 3.54: 100C°'de bekletilen numunelerin dayanım ve mukavemet değerleri.

Numune	Eğilme-Çekme Yüğü $F_{t,90}$ (N)	Liflere Dik Basınç Yüğü $F_{c,90}$ (N)	Liflere Paralel Basınç Yüğü $F_{c,0}$ (N)	Eğilme-Çekme Dayanımı f_m (N/mm ²)	Liflere Dik Basınç Day. $f_{c,90}$ (N/mm ²)	Liflere Paralel Basınç Day. $f_{c,0}$ (N/mm ²)
M-100/1	1500	7500	99000	3,52	4,69	61,88
M-100/2	1600	8000	100000	3,75	5	62,5
M-100/3	1400	8000	96000	3,28	5	60
N-100/1	2600	8000	92000	6,09	5	57,5
N-100/2	500	11000	78000	1,17	6,88	48,75
N-100/3	2400	12000	84000	5,63	7,5	52,5
L-100/1	13400			47,11		
L-100/2	10750			37,79		
L-100/3	9850			34,63		
La-100/1			82000			51,25
La-100/2			99000			61,88
La-100/3			101000			63,13
La-100/4		8500			5,31	
La-100/5		10000			6,25	
La-100/6		6000			3,75	

Sıcaklık deneyleri sonucunda elde edilen dayanım değerleri sonucunda 4 lamelli M kodlu numuneler, 9 lamelli N kodlu numuneler ve masif ladin numuneler için dayanım (mukavemet) karşılaştırma grafikleri çizilmiştir. Öncelikle eğilme-çekme mukavemeti için 20C°, 50C°, 75C° ve 100C° için karşılaştırma grafikleri çizilmiştir (Şekil 3.123, Şekil 3.124, Şekil 3.125, Şekil 3.126). 20C° için eğilme-çekme dayanımı karşılaştırma grafiğine bakıldığında (Şekil 3.60), dört lamelli M kodlu lamine ladin numunenin dokuz lamelli N kodlu lamine ladin numunenin dayanım değerinden yüksek bir değere sahip olduğu görülmüştür. Bunun yanında masif ladin numunenin eğilme dayanımı değeri en yüksek değere sahip olduğu gözlenmiştir. 50C°'de numunelerin eğilme çekme deneyi karşılaştırma grafiklerine bakıldığında (Şekil 3.123), lamine ladin numunelerin dayanım değerlerinde az bir miktar azalma görülmüş ve yine M kodlu dört lamelli ladin lamine numunelerin dayanım değerleri ortalamasının, N kodlu dokuz lamelli ladin lamine numunelerin dayanım değerleri ortalamasından yüksek olduğu sonucu elde edilmiştir. Masif ladin L kodlu numunelerin 50C°'de 20C°'ye kıyasla eğilme-çekme dayanım değerlerinde az bir miktar artış olduğu söylenebilir.

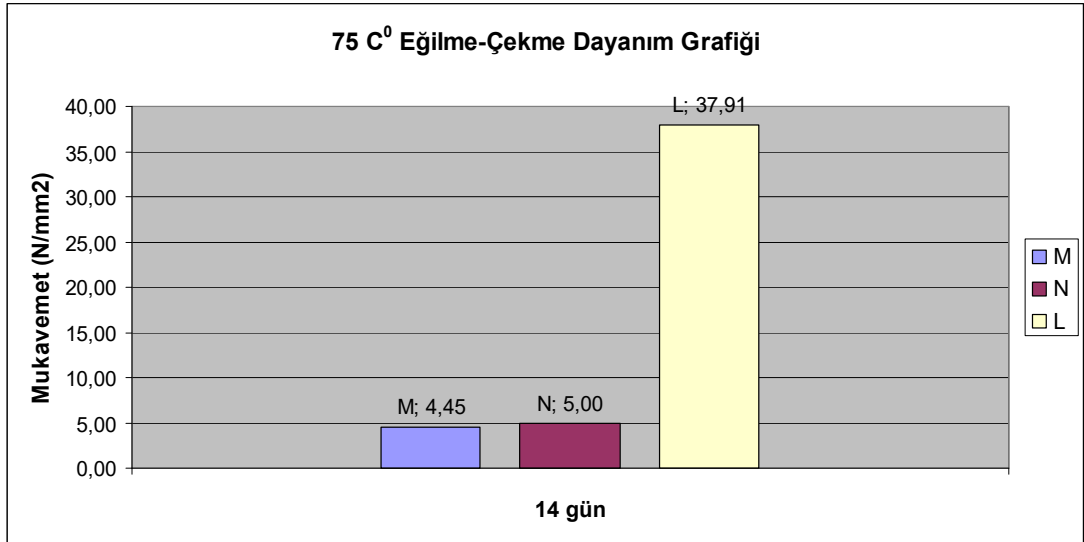


Şekil 3.123: 20C⁰'de eğilme-çekme mukavemeti için numunelerin karşılaştırma grafiği.

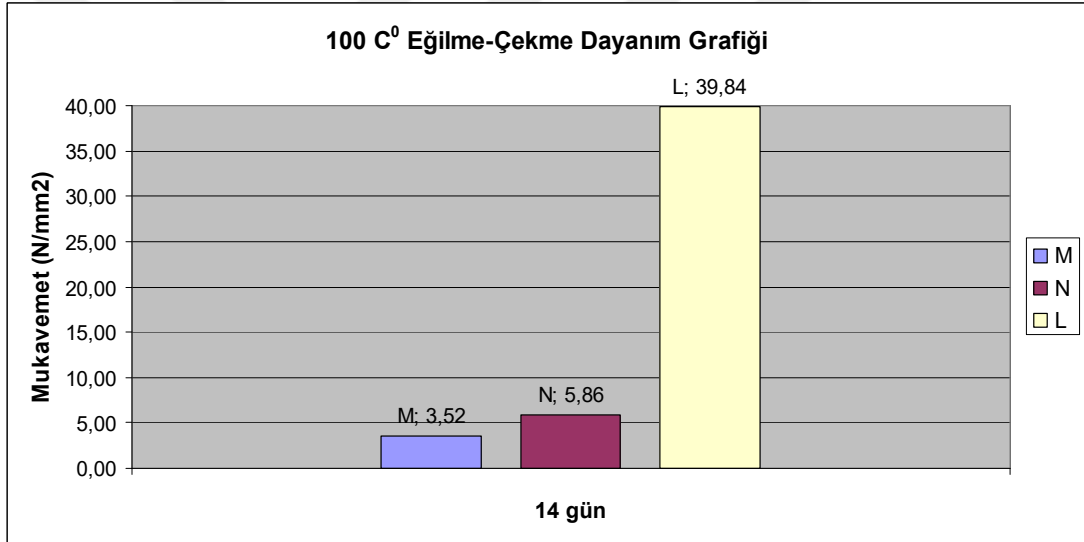


Şekil 3.124: 50C⁰'de eğilme-çekme mukavemeti için numunelerin karşılaştırma grafiği.

75C⁰ ve 100C⁰'deki eğilme-çekme dayanım değerleri sonuçlarına bakıldığında 20C⁰ ve 50C⁰'deki eğilme-çekme dayanım değerleri sonuç grafiklerinin aksine dokuz lamelli ladin lamine numunelerin dayanım değerleri ortalamalarının, dört lamelli ladin lamine numunelerinin dayanım değerleri ortalamalarından yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca sıcaklık değerindeki artış dokuz lamelli lamine ladin numunelerin dayanım değerlerini artırmıştır. En yüksek dayanım değeri ortalamasına sahip masif ladin numunelerde sıcaklık artışına bağlı olarak kendi numune tipi içinde dayanım değerlerinde önemli bir değişme gözlenmemiştir.



Şekil 3.125: 75C⁰'de eğilme-çekme mukavemeti için numunelerin karşılaştırma grafiği.

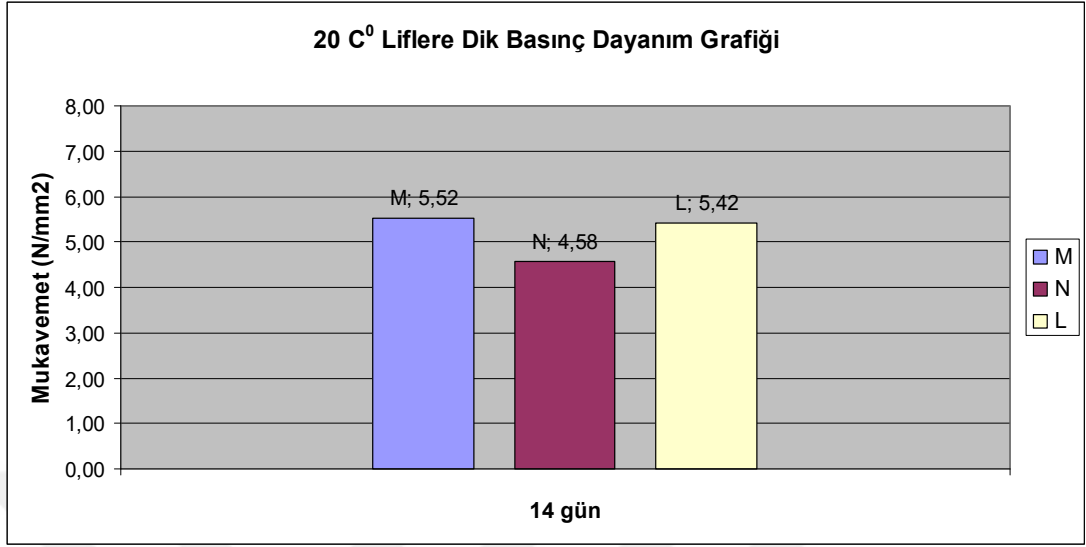


Şekil 3.126: 100C⁰'de eğilme-çekme mukavemeti için numunelerin karşılaştırma grafiği.

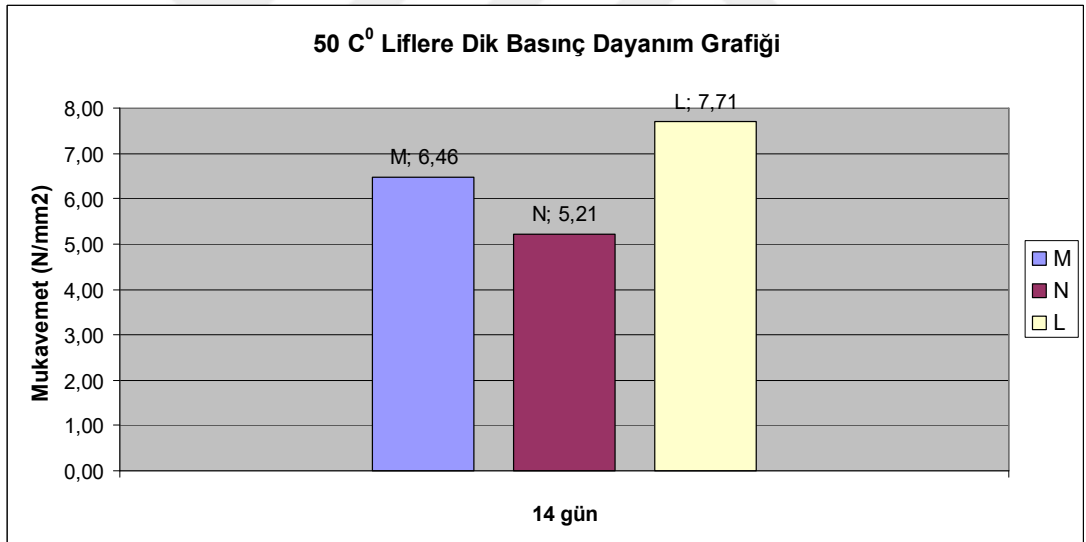
Sıcaklığa dayanıklılık deneyleri sonucunda numunelerin liflere dik basınç dayanım değerleri hesaplanmıştır. Liflere dik basınç dayanım değerlerine bakılarak 20C⁰, 50C⁰, 75C⁰ ve 100C⁰ için karşılaştırma grafikleri çizilmiştir. (Şekil 3.127, Şekil 3.128, Şekil 3.129, Şekil 3.130).

Sıcaklık değişimine bağlı olarak numunelerin liflere dik basınç dayanımı karşılaştırma grafiklerine bakıldığında, 20C⁰ ve 50C⁰ için en düşük dayanım değerine sahip numunelerin N kodlu dokuz lamelli ladin lamine numuneleri olduğu gözlenmiştir. Bunun yanında M kodlu dört lamelli ladin lamine numuneler ve L

kodlu masif ladin numuneler arasında liflere dik basınç dayanım değerleri bakımından önemli bir fark hesaplanmamıştır.



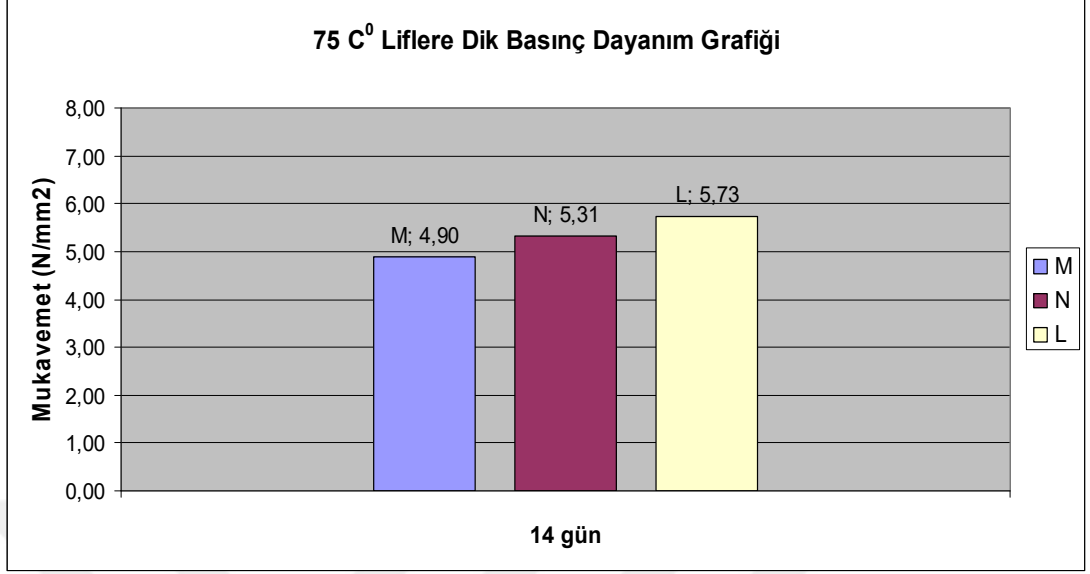
Şekil 3.127: 20C⁰'de liflere dik basınç mukavemeti için numunelerin karşılaştırma grafiği.



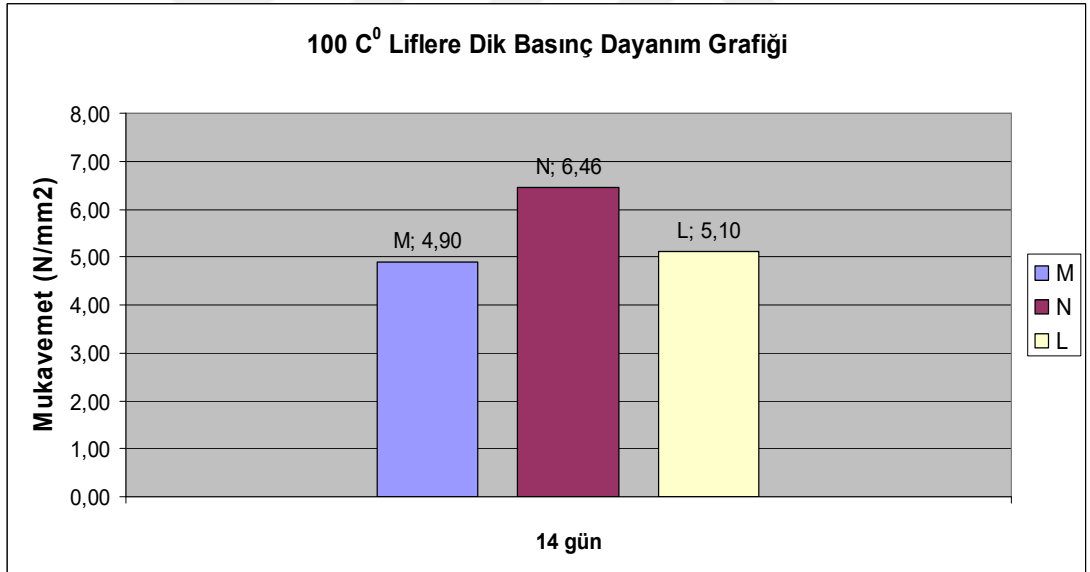
Şekil 3.128: 50C⁰'de liflere dik basınç mukavemeti için numunelerin karşılaştırma grafiği.

75C⁰ ve 100C⁰'deki liflere dik basınç dayanımı grafiğine bakıldığında M kodlu dört lamelli ladin lamine numuneler ve masif ladin numunelerin dayanım değerinde bir azalma görülürken, N kodlu dokuz lamelli ladin lamine numunelerin dayanım değerlerinde sıcaklık artışına bağlı olarak bir miktar artış gözlenmiştir. Sonuçlar genel anlamda değerlendirildiğinde sıcaklıktaki artışı, M kodlu dört lamelli lamine ladin numuneler ve L kodlu masif ladin numunelerin liflere dik basınç dayanımını önce bir miktar artırmış daha sonra da azaltmıştır. Bunun yanında sıcaklık artışı N

kodlu dokuz lamelli ladin lamine numunelerin liflere dik basınç dayanımının artırdığı gözlenmiştir.

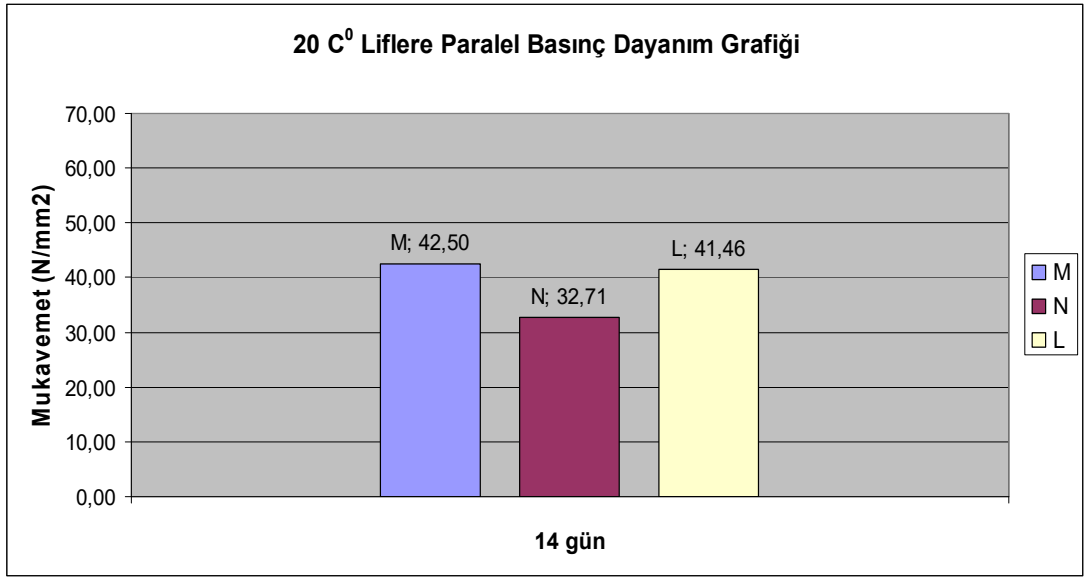


Şekil 3.129: 75C⁰'de liflere dik basınç mukavemeti için numunelerin karşılaştırma grafiği.



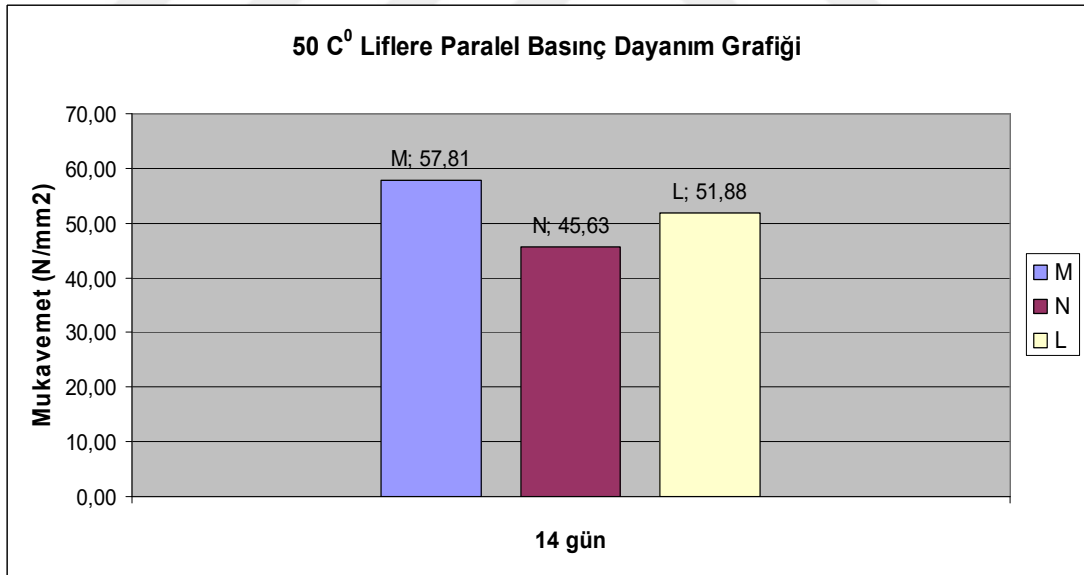
Şekil 3.130: 100C⁰'de liflere dik basınç mukavemeti için numunelerin karşılaştırma grafiği.

Sıcaklık dayanım deneyleri sonucunda numunelerin liflere paralel basınç dayanım değerleri hesaplanmıştır. Liflere paralel basınç dayanım değerlerine bakılarak 20C⁰, 50C⁰, 75C⁰ ve 100C⁰ için karşılaştırma grafikleri çizilmiştir. (Şekil 3.131, Şekil 3.132, Şekil 3.133, 3.134).



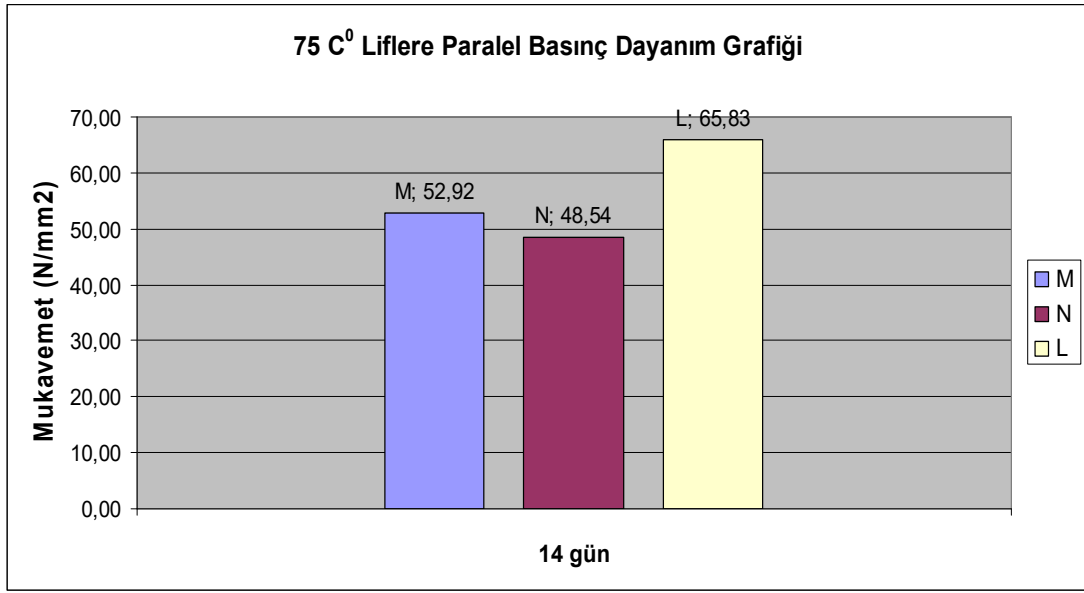
Şekil 3.131: 20C⁰'de liflere paralel basınç mukavemeti için numunelerin karşılaştırma grafiği.

Liflere paralel basınç dayanım grafiklerine bakıldığında 20C⁰ ve 50C⁰ için, M kodlu dört lamelli ladin lamine numunelerin N kodlu dokuz lamelli ladin lamine numunelerden yüksek dayanıma sahip olduğu görülmüşken, L kodlu masif ladin numunelerin dayanım değerleri ile arasında anlamlı bir fark olmadığı gözlenmiştir.

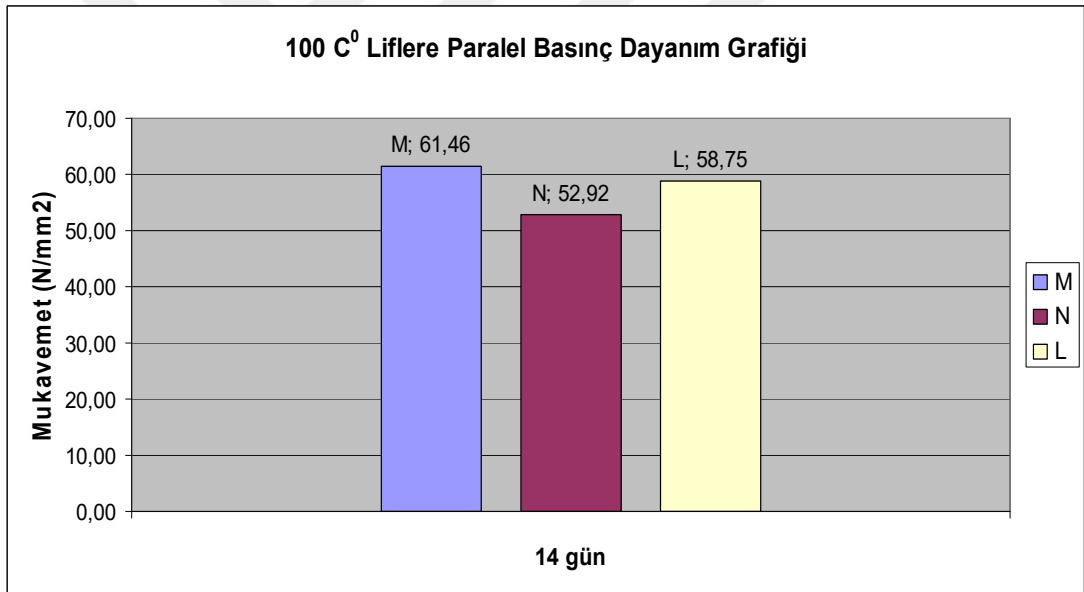


Şekil 3.132: 50C⁰'de liflere paralel basınç mukavemeti için numunelerin karşılaştırma grafiği.

Sonuç grafiklerine bakıldığında, sıcaklık artışına bağlı olarak her üç tip numune türü için liflere paralel basınç dayanım değerlerinde bir artış olduğu sonucuna varılabilir.

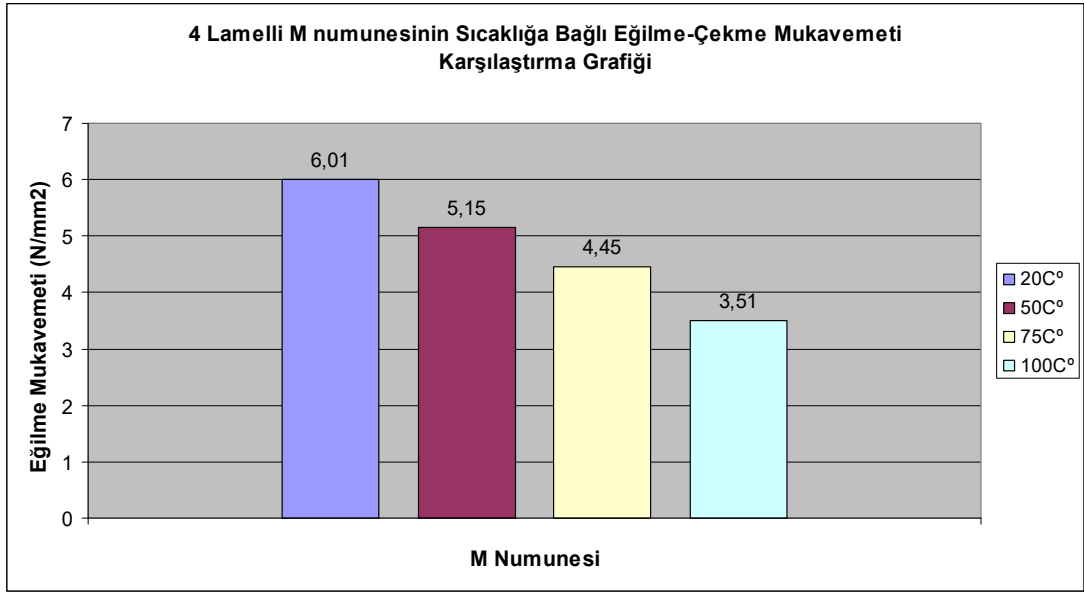


Şekil 3.133: 75C°'de liflere paralel basınç mukavemeti için numunelerin karşılaştırma grafiği.



Şekil 3.134: 100C°'de liflere paralel basınç mukavemeti için numunelerin karşılaştırma grafiği.

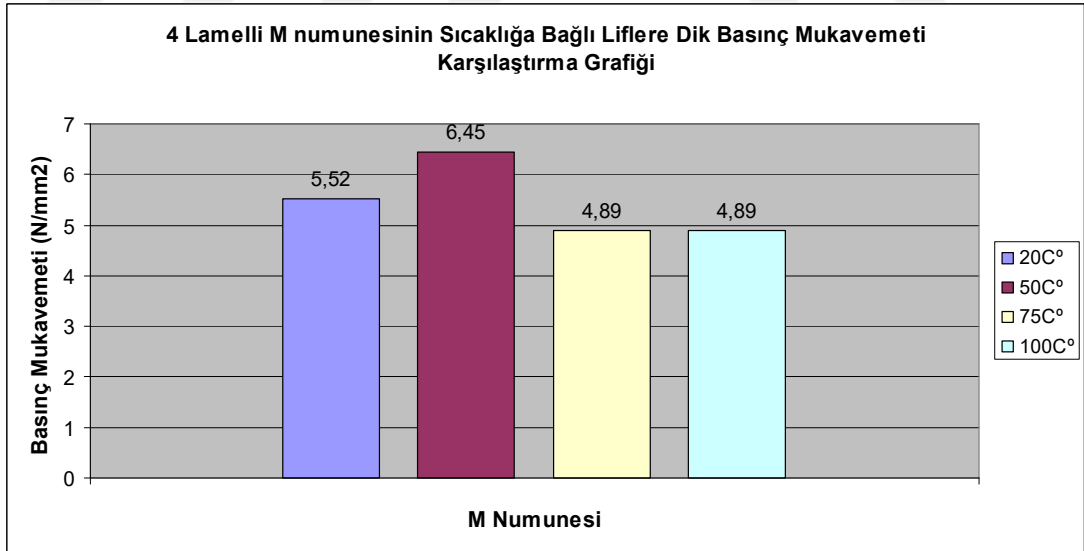
Sıcaklık dayanım deneyleri sonuçlarına bakılarak aynı tip numuneler için 20C°, 50C°, 75C° ve 100C° için sıcaklığa bağlı eğilme-çekme mukavemeti karşılaştırma grafikleri, liflere dik basınç mukavemeti karşılaştırma grafikleri, liflere paralel basınç mukavemeti karşılaştırma grafikleri çizilmiştir. Dört lamelli M kodlu numunelerin sıcaklığa bağlı eğilme-çekme mukavemeti karşılaştırma grafiği, liflere dik basınç mukavemeti karşılaştırma grafiği ve liflere paralel basınç mukavemeti karşılaştırma grafiği Şekil 3.135, Şekil 3.136 ve Şekil 3.137'da yer almaktadır.



Şekil 3.135: 4 lamelli M numunesinin sıcaklığa bağlı eğilme mukavemeti karşılaştırma grafiği.

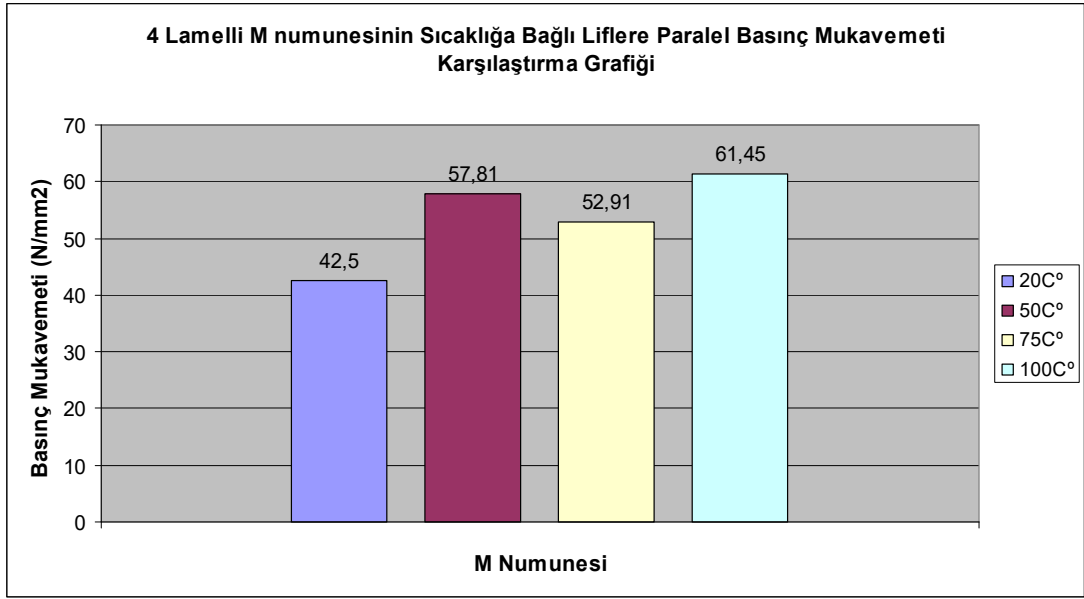
Dört lamelli M kodlu lamine ladin numunelerin sıcaklığa bağlı eğilme-çekme mukavemeti karşılaştırma grafiğine bakıldığında, sıcaklık artışına bağlı olarak dayanım değerlerinde bir azalma olduğu söylenebilir (Şekil 3.135).

Sıcaklığa bağlı olarak M kodlu dört lamelli ladin lamine numunelerin liflere dik basınç mukavemetlerinde azalma olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 3.136).



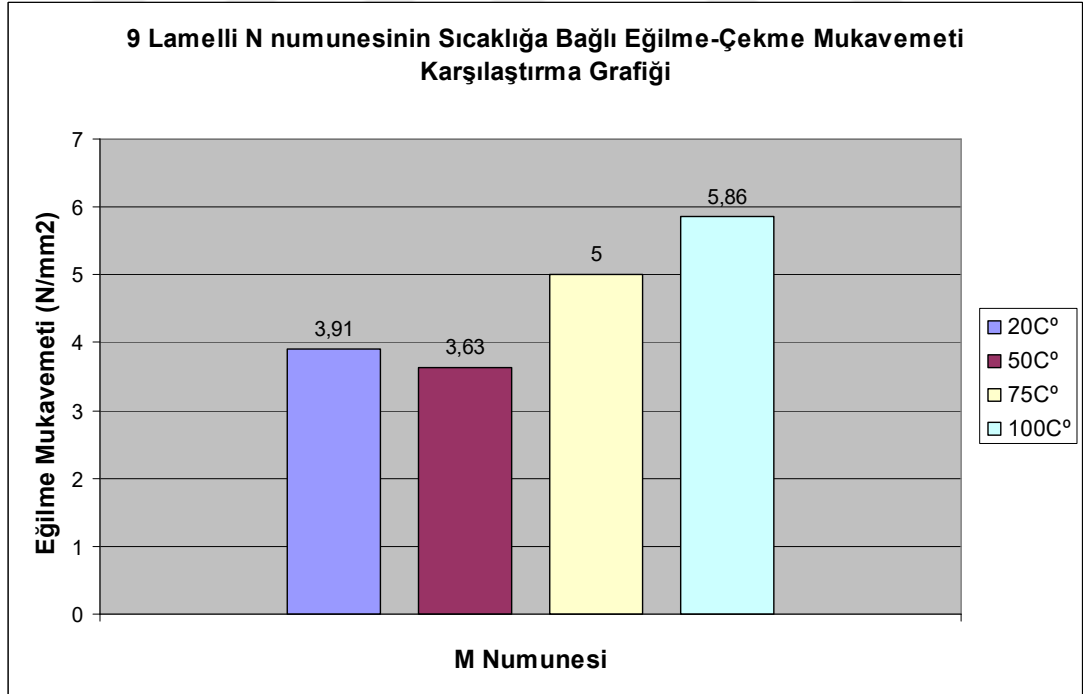
Şekil 3.136: 4 lamelli M numunesinin sıcaklığa bağlı liflere dik basınç mukavemeti karşılaştırma grafiği.

Dört lamelli M kodlu lamine ladin numunelerin sıcaklığa bağlı liflere paralel basınç mukavemeti karşılaştırma grafiğine bakıldığında dayanım değerlerinin artma eğiliminde olduğu gözlenmiştir (3.137).



Şekil 3.137: 4 lamelli M numunesinin sıcaklığa bağlı liflere paralel basınç mukavemeti karşılaştırma grafiği.

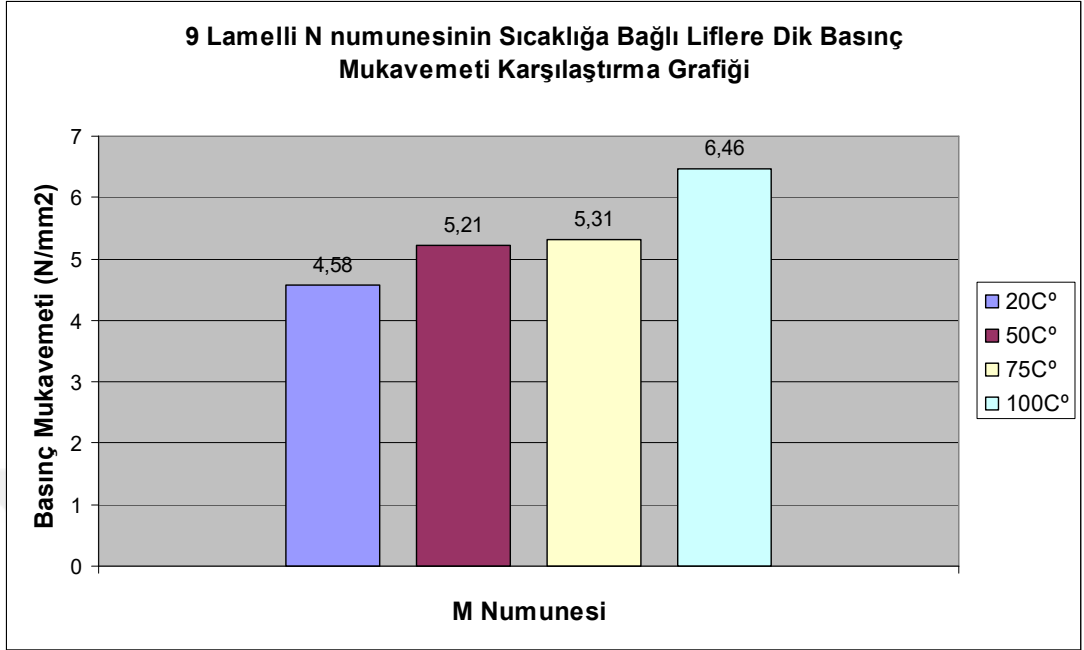
Dokuz lamelli N kodlu numunelerin sıcaklığa bağlı eğilme-çekme mukavemeti karşılaştırma grafiği, liflere dik basınç mukavemeti karşılaştırma grafiği ve liflere paralel basınç mukavemeti karşılaştırma grafiği Şekil 3.138, Şekil 3.139 ve Şekil 3.140'de yer almaktadır.



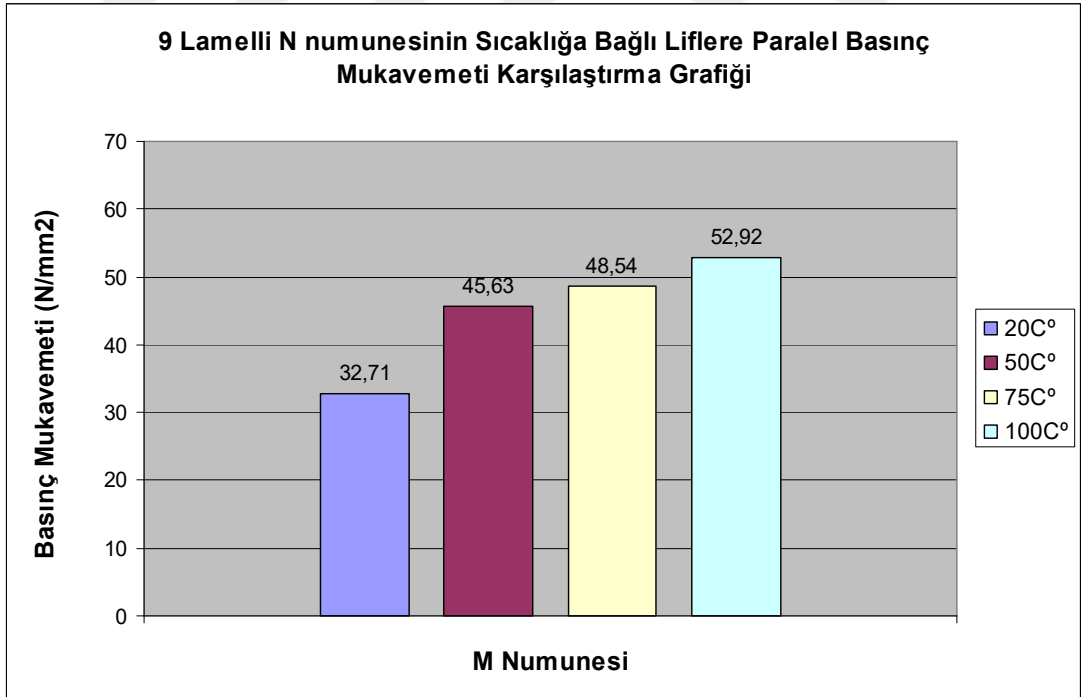
Şekil 3.138: 9 lamelli N numunesinin sıcaklığa bağlı eğilme-çekme mukavemeti karşılaştırma grafiği.

N kodlu dokuz lamelli ladin lamine numunelerin sıcaklığa bağlı eğilme-çekme mukavemeti karşılaştırma grafiğine ve liflere paralel basınç mukavemeti grafiğine

bakıldığında dayanım değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.138, Şekil 3.139).



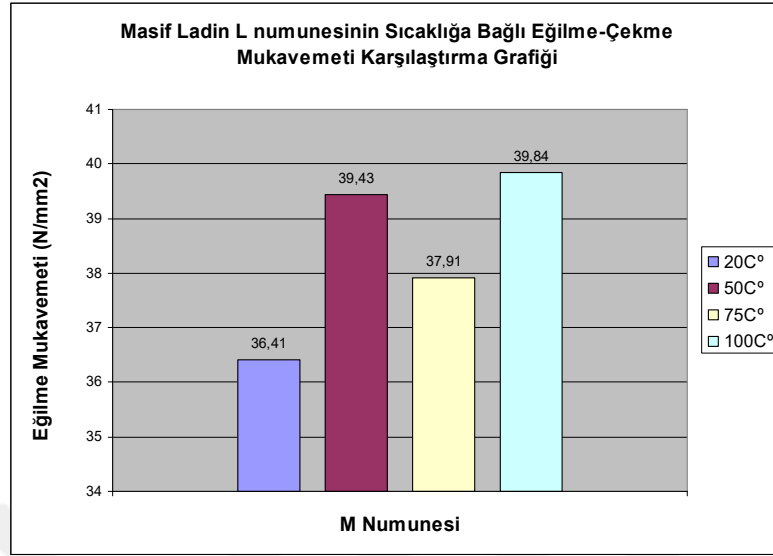
Şekil 3.139: 9 lamelli N numunesinin sıcaklığa bağlı liflere dik basınç mukavemeti karşılaştırma grafiği.



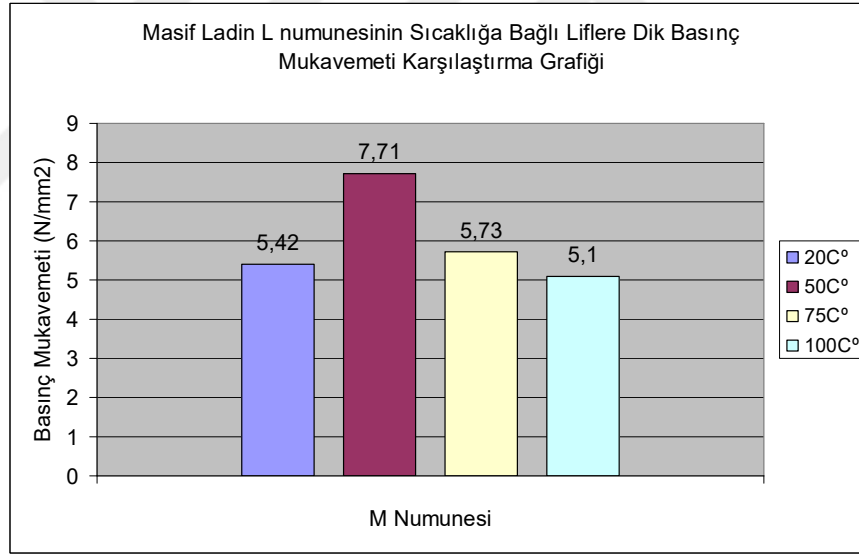
Şekil 3.140: 9 lamelli N numunesinin sıcaklığa bağlı liflere paralel basınç mukavemeti karşılaştırma grafiği.

Masif ladin L kodlu numunelerin sıcaklığa bağlı eğilme-çekme mukavemeti karşılaştırma grafiği, liflere dik basınç mukavemeti karşılaştırma grafiği ve liflere

paralel basınç mukavemeti karşılaştırma grafiği Şekil 3.141, Şekil 3.142 ve Şekil 3.143'de yer almaktadır.

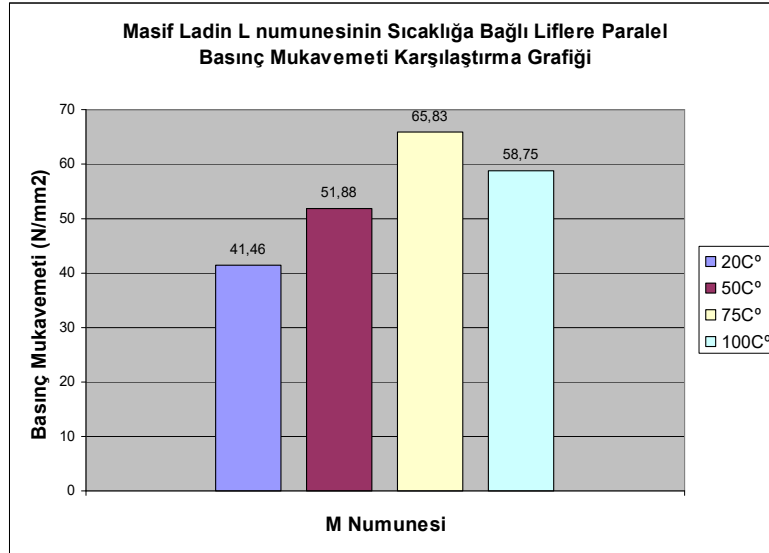


Şekil 3.141: Masif ladin L numunesinin sıcaklığa bağlı eğilme-çekme mukavemeti karşılaştırma grafiği.



Şekil 3.142: Masif ladin L numunesinin sıcaklığa bağlı liflere dik basınç mukavemeti karşılaştırma grafiği.

Sıcaklığa bağlı olarak masif ladin numunelerin eğilme-çekme mukavemeti karşılaştırma grafiğine bakıldığında az bir miktar artış olduğu görülmüştür (Şekil 3.141). Masif ladin numunelerin sıcaklığa bağlı olarak liflere dik basınç mukavemeti karşılaştırma grafiğine bakıldığında dayanım değerinde önce bir miktar artış daha sonra azalma olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.142). Liflere paralel basınç mukavemeti grafiğine bakıldığında dayanım değerlerinin sıcaklığa bağlı olarak artma eğiliminde olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 3.143).



Şekil 3.143: Masif ladin L numunesinin sıcaklığa bağlı liflere paralel basınç mukavemeti karşılaştırma grafiği.

3.4.8 Tutkalda kayma deneyi sonuçları

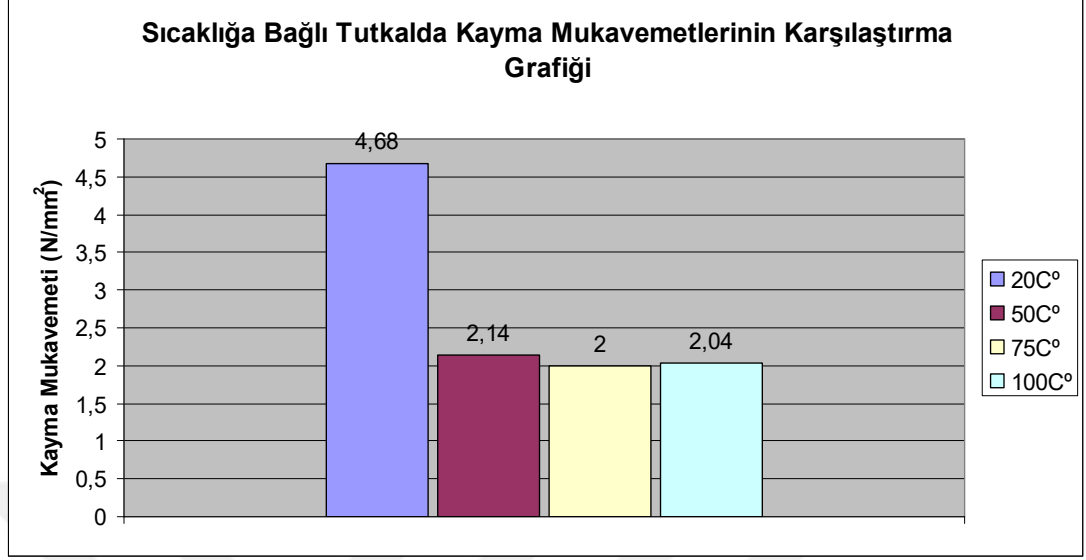
Ahşap numunelerde tutkalda kayma deneyini uygulamak için ilgili standarda (DIN 53253) bakılarak deney düzeneği oluşturulmuştur. Kayma deneyi önce oda şartlarında 20C°'de bekletilen daha sonra sırasıyla 50C°, 75C° ve 100C°'de bekletilen numunelere uygulanmıştır. Kayma dayanımı ile kopma esnasında okunan maksimum yük değerleri kayıt altına alınmıştır. (Çizelge 3.55)

Çizelge 3.55: Tutkalda kayma deneyi değerleri.

Numuneler	KaymaYükü F (N)	A (mm ²)	Sıcaklık (C°)	G (N/mm ²)	G _{ort} (N/mm ²)
K-1	1520	350	20	4,34	4,68
K-2	1820	350	20	5,20	
K-3	1920	350	20	5,49	
K-4	1520	350	20	4,34	
K-5	1480	350	20	4,23	
K-6	1565	350	20	4,47	
K-7	875	350	50	2,50	2,14
K-8	620	350	50	1,77	
K-9	720	350	75	2,06	2,00
K-10	680	350	75	1,94	
K-11	775	350	100	2,21	2,04
K-12	650	350	100	1,86	

Sıcaklığın kayma dayanımını ciddi anlamda düşürdüğü görülmüştür. Yaklaşık olarak %50-%55 mukavemeti düşürdüğü sonucuna varılmıştır. Sıcaklık malzemede dönme etkisi yapmış bunun sonucunda da kopmalar daha çabuk olmuştur. Tutkalın da yüksek sıcaklıktan olumsuz etkilendiği kopmaların sıklıkla tutkal kısmından olması ile anlaşılmıştır. Tutkalda kayma deneyi dayanım değerleri dikkate alınarak 20C°,

50C°, 75C° ve 100C° için kayma mukavemetleri karşılaştırma grafiği elde edilmiştir. (Şekil 3.144).



Şekil 3.144: Sıcaklığa bağlı tutkalda kayma mukavemetlerinin karşılaştırma grafiği.

3.4.9 Aderans deneyi sonuçları

Aderans deneyi, için bölüm 3.3.6'da anlatılan aderans deneyi metodu uygulanmıştır. Silindir ahşap numuneler silindir metal cihaz başlıklarına epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılmışlardır. Daha sonra metal başlığa her seferinde epoksi yapıştırıcı ile sabitlenen ahşap silindir numuneler ahşap yüzeylere MUF ve epoksi yapıştırıcıları ile farklı lif yönü varyasyonları ile sabitlenmiştir. (Şekil 3.145)



Şekil 3.145: Aderans deney düzeneği, numune örnekleri ve deney sonrası kopma anı.

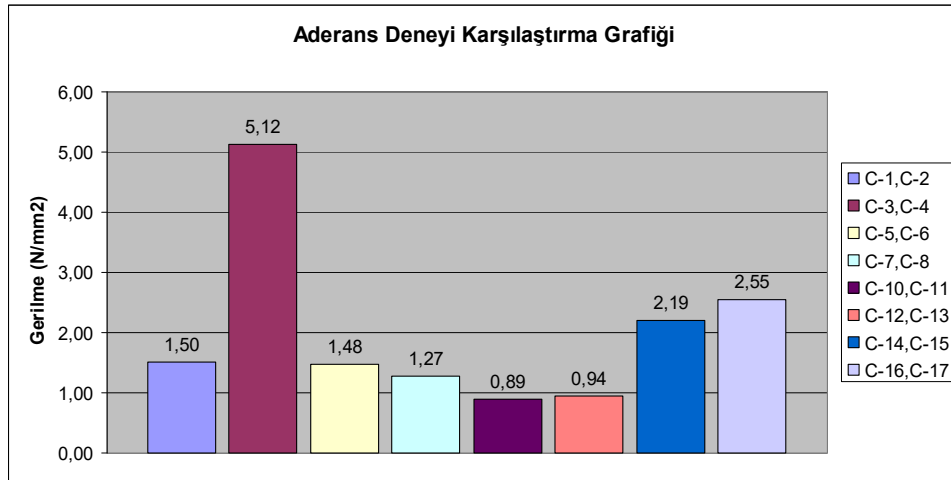
Herbir farklı yapışma türü için ikişer adet test numunesi hazırlanmıştır. Sekiz farklı tip yapışma için de toplam 16 adet test numunesi elde edilmiştir. Numunelerin yapışma şekilleri ile ilgili detaylı açıklama bölüm 3.3.6.'da yer almaktadır.

Aderans deneyi sonucunda elde edilen dayanım değerleri, numunelerin ve numunelerin yapıştığı yüzeylerin yer düzlemine göre lif yönleri ve kullanılan yapıştırıcı türleri çizelge 3.56'da yer almaktadır. Çizelge 3.56'da yer alan lif yönleri yer düzlemine göre verilmiş olup yüke göre lif yönleri zıt yön olmaktadır.

Çizelge 3.56: Numunelerin aderans deneyi sonuçları.

Numune Kodları	Çap (mm)	Numune Lif Yönü	Yüzey Lif Yönü	Yapıştırıcı	Kopma Yüğü (kN)	Dayanım (N/mm ²)	Ort Day. (N/mm ²)
C-1	50	dik	dik	MUF	3,6	1,83	1,50
C-2	50	dik	dik	MUF	2,3	1,17	
C-3	50	dik	dik	Epoksi	9,2	4,69	5,12
C-4	50	dik	dik	Epoksi	10,9	5,55	
C-5	50	dik	paralel	MUF	3,3	1,68	1,48
C-6	50	dik	paralel	MUF	2,5	1,27	
C-7	50	dik	paralel	Epoksi	2	1,02	1,27
C-8	50	dik	paralel	Epoksi	3	1,53	
C-10	50	paralel	paralel	MUF	1,3	0,66	0,89
C-11	50	paralel	paralel	MUF	2,2	1,12	
C-12	50	paralel	paralel	Epoksi	2,5	1,27	0,94
C-13	50	paralel	paralel	Epoksi	1,2	0,61	
C-14	50	paralel	dik	MUF	3,4	1,73	2,19
C-15	50	paralel	dik	MUF	5,2	2,65	
C-16	50	paralel	dik	Epoksi	5,6	2,85	2,55
C-17	50	paralel	dik	Epoksi	4,4	2,24	

Aderans deneyi sonucunda elde edilen değerlere göre numunelerin dayanım değerleri karşılaştırma grafikleri elde edilmiştir. (Şekil 3.146). Deney sonuçlarına bakıldığında yapıştığı yüzeyin lifleri ve kendi lifleri yük yönüne paralel olup yer düzlemine göre dik olan, epoksi kullanılan C-3,C-4 numunelerinde dayanım değeri oldukça yüksek çıkmıştır. Bunun yanında yapıştığı yüzeyin lifleri ve kendi lifleri yük yönüne dik olup, yer düzlemine göre paralel olan, MUF kullanılan C-10,C-11 numunelerinde dayanım değeri en düşük değere sahiptir. Sadece MUF kullanılan numunelere bakıldığında da en yüksek dayanım değerine sahip numunelerin lif yönünün yük yönüne dik olup yapıştığı yüzeyin lif yönünün yük yönüne paralel olduğu C-14, C-15 numuneleri olduğu görülmüştür.

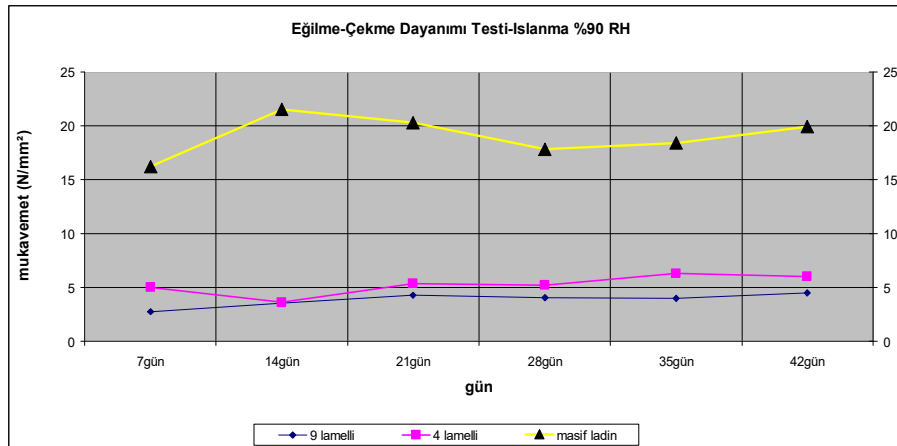


Şekil 3.146: Numunelerin aderans deneyi çekme dayanımı karşılaştırma grafiği.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE İRDELENMESİ

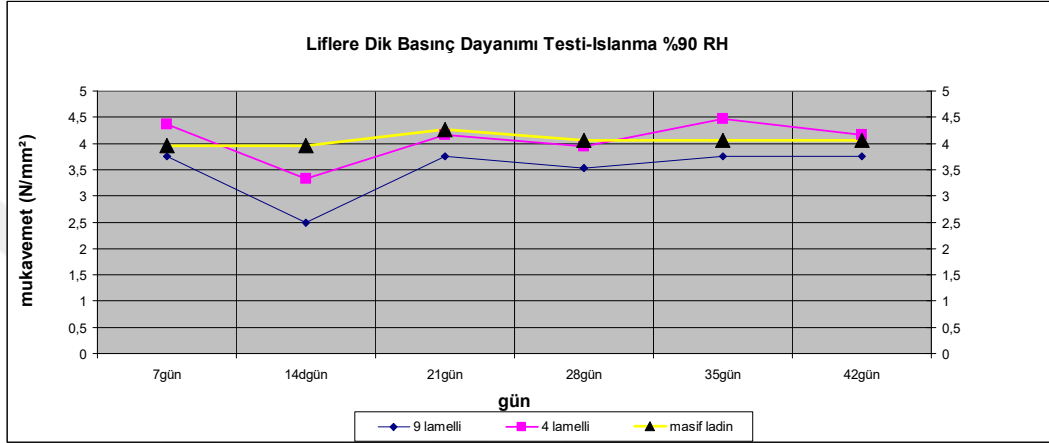
4.1 Islanma Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Masif ladin numuneler belirtilen kesit için en yüksek liflere dik doğrultuda eğilme-çekme dayanım değerine sahiptir (Şekil 4.1). Lifleri yük yönüne dik boyuna yönde kullanılan masif ladin numunelerin eğilme dayanımının lifleri yük yönüne dik dikey kullanılan lamine elemanlara göre oldukça yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur. Bu sonucun iki sebebi vardır. Birincisi aynı kesit yüksekliği için masif ahşap malzemenin eğilme dayanımının yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur. Yapısal kullanılacak glulam elemanlar geçeceği açıklığa göre yapılan hesaplamalarda mevcut masif ahşap elemanlardan daha kalın ve daha uzun olarak üretilirler. Bu durum glulam eleman üretmenin gereklerindendir. İkinci sebep de dayanım ve sertlik özellikleri malzeme yönüne göre değişmesidir. Ahşap liflerin yönüne göre dayanım ve rijitlik boyuna yönde dikey yönden daha yüksektir. (Nicollier, 2012). Bu nedenle boyuna yönde kullanılan masif ladin ahşabın eğilme dayanımı düşey yönde kullanılan ladin lamine ahşap numunelerin dayanımından oldukça yüksektir. Aynı kesitteki örnekler için, 4 lamelli numunelerin eğilme dayanımı 9 lamelli numunelerin eğilme dayanımından daha yüksektir. Elde edilen sonuçlar, ahşap glulam kesitlerde lamel sayısının önemini göstermektedir. Geçilecek açıklığa bağlı olarak hesaplanan lamine elemanın kesit ölçülerine göre kullanılacak lamellerin kalınlığı malzeme performansını belirlemede önemli bir unsurdur.



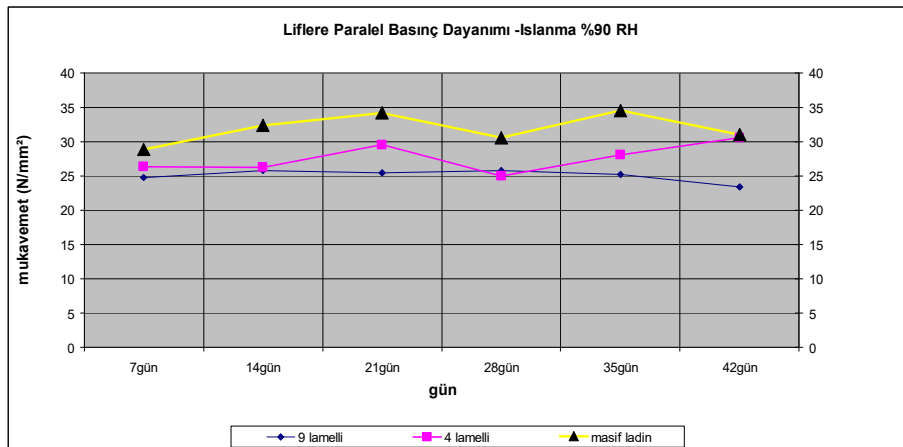
Şekil 4.1: Islanma ortamında eğilme mukavemeti testi numune karşılaştırma grafiği.

Liflere dik basınç dayanımı testlerinde test başlangıcında belli bir nem değerine kadar kurutulmuş numunelerde ıslanmaya maruz kalmak basınç dayanımı ciddi anlamda etkilememiştir. Islanma olayı en az masif ladin numunelerin basınç dayanımını etkilemiştir. L kodlu masif ladin, 9 lamelli A kodlu lamine ladin ve 4 lamelli B kodlu lamine ladin numunelerin basınç dayanımları hemen hemen aynı değerlerde ölçülmüştür (Şekil 4.2). Karşılaştırma grafiğine bakıldığında lamine numunelerde görülen ani düşüşler numuneyi meydana getiren lamellerin sahip olduğu yapısal özelliklerden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.2: Islanma ortamında liflere dik basınç mukavemeti testi numune karşılaştırma grafiği.

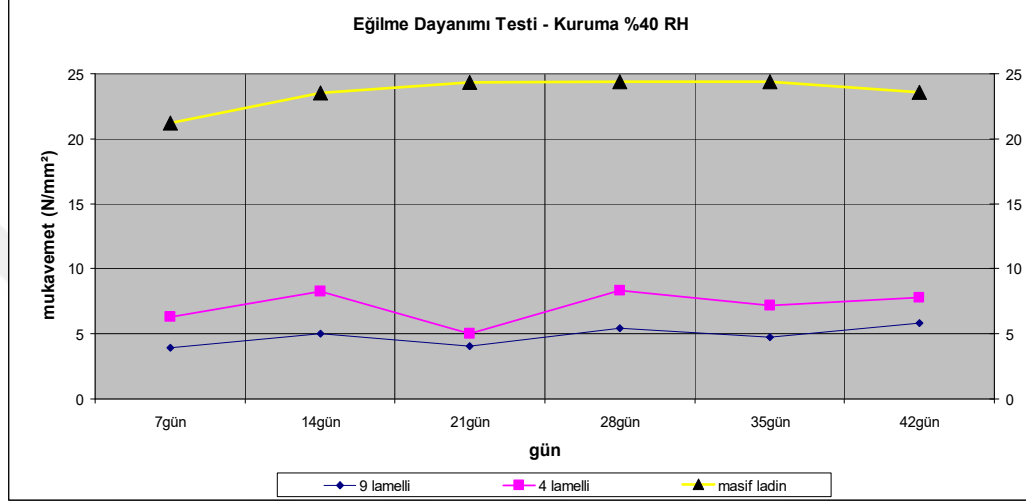
Islanma olayında liflere paralel basınç dayanımı testleri sonuçları karşılaştırıldığında 4 lamelli B kodlu ladin lamine numunelerin 9 lamelli A kodlu ladin lamine numunelerin dayanım değerlerinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Yine ortalama dayanım değerlerine bakıldığında en yüksek değere masif ladin numunelerin sahip olduğu söylenebilir. Üç tip numune türü için de genel olarak ıslanmaya maruz kaldıklarında liflere paralel basınç dayanımında az miktarda artış eğilimi olabileceği sonucuna varılabilir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3: Islanma ortamında liflere paralel basınç mukavemeti testi numune karşılaştırma grafiği.

4.2 Kuruma Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Kuruma ortamına maruz bırakılan numunelere bakıldığında 4 lamelli B kodlu ladin lamine numunelerin ortalama eğilme dayanımı değerlerinin 9 lamelli A kodlu ladin lamine numunelerin ortalama dayanım değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Masif ladin numuneler için en yüksek eğilme dayanım değerleri elde edilmiştir. Sonuç olarak her üç tip numune için kuruma ortamında eğilme dayanım değerlerinde zamana bağlı az bir miktar artış söz konusudur. (Şekil 4.4).

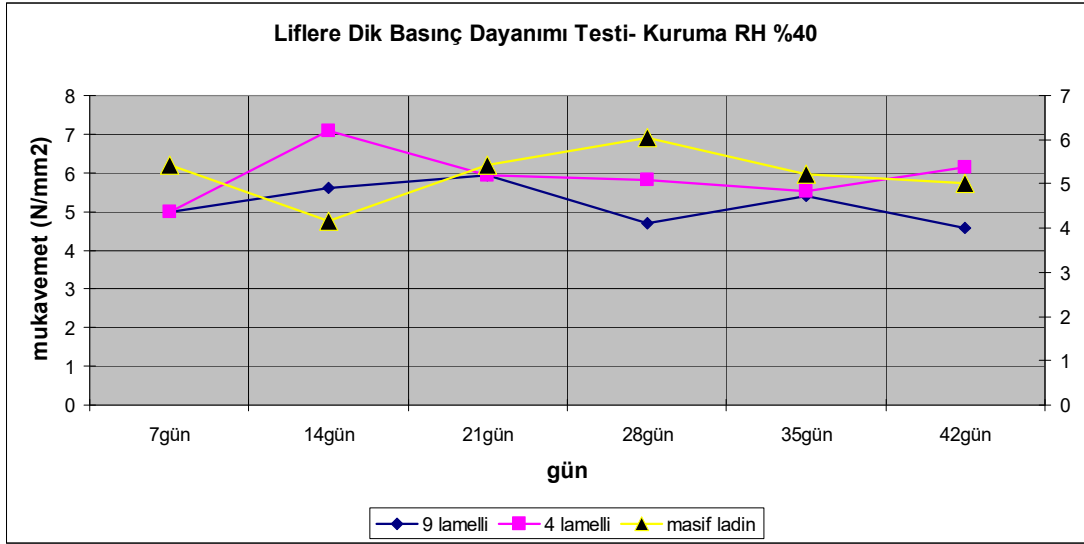


Şekil 4.4: Kuruma ortamında eğilme mukavemeti testi numune karşılaştırma grafiği.

Belirlenen 40mmx40mm kesit boyutları için masif ladin numunelerin en yüksek eğilme dayanımına sahip olması beklenen bir sonuçtur. Planlanan yapılarda geçilecek açıklığa bağlı olarak yapılan hesaplamalarda lamine elemanların kesit ölçüleri daha büyük boyutlu çıkmaktadır. Bu nedenle yapısal lamine elemanların boyut üretimi de bu hesaplamalar sonucunda yapılmaktadır.

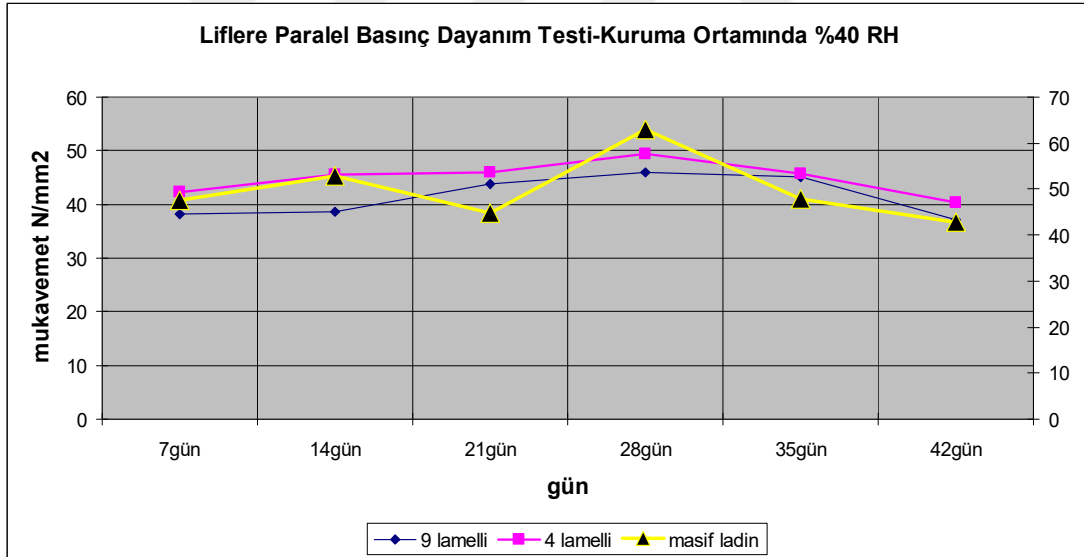
Liflere dik basınç dayanımı testlerine, kuruma ortamında bakıldığında üç tip örnek için mukavemet değerlerinin ciddi anlamda değişmediği sonucuna ulaşılmıştır. Aynı kesitteki numuneler için kuruma etkisi ile liflere dik basınç dayanımlarında zamana bağlı olarak çok az bir miktar azalma olmakla ciddi anlamda bir etkilenme olmadığı sonucunu çıkarmak mümkündür. (Şekil 4.5).

Liflere paralel basınç dayanımı testleri sonuçları karşılaştırıldığında üç tip numune türü için dayanım değerlerinde ciddi bir fark olmadığı gözlenmiştir. Belli bir nem değerine (%12±2) kadar kurutulan numunelerde 6 hafta kadar kurumaya maruz kalmak liflere dik basınç dayanımı ($f_{c,90}$) değerlerini önemli ölçüde etkilemediği sonucuna varılmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.5: Kuruma ortamında liflere dik basınç mukavemeti testi numune karşılaştırma grafiği.

Grafiğe bakıldığında masif ladin numune örneğinde görülen 21. gündeki ani düşüş ve 28.gündeki ani yükseliş malzemenin homojen bir malzeme olmayışından, o ölçümlere denk gelen numunelerin yapısal özelliklerinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.6: Kuruma ortamında liflere paralel basınç mukavemeti testi numune karşılaştırma grafiği.

Angst (2012)'ın da çalışmasında özellikle vurguladığı gibi ahşabın liflere dik yönü en zayıf bölgesidir. Test sonuçlarına bakıldığında liflere dik yöndeki gerilmenin hasar oluşturabileceği söylenebilir.

Yapılan deneysel çalışma sonuçları ışığında bünyesinde fazla yaz odunu bulunduran numunelerin daha fazla dayanıma sahip olduğu görülmüştür. Yaz odunu birim kesitte bahar odunundan daha fazla selüloz içerir. Selüloz malzemeye dayanım kazandıran maddedir. Bu nedenle yaz odunu fazla olan numunelerin

dayanımı yüksek çıkmıştır. Masif ladin numuneler için böyle bir genelleme yapılabilirken lamine ladin numuneler için aynı sonuçlar elde edilememiştir. Lamine elemanlar kompozit malzemelerdir. Bu nedenle lamellerin yapısı ve dizilişi elemanın bütününde dayanım ve dayanıklılık özelliklerini etkilemektedir. Lamine elemanlarda yerel gerilmeler ortalama gerilmelerden çok fazladır. Kesitteki lamellerin yıllık halka düzeni değiştirilirse ya da optimize edilirse gerilmeler azaltılabilir. Ayrıca lamine elemanlarda lamellerdeki dayanım azaltıcı kusurlar masif ahşaba göre daha az önemlidir. Bu durum laminasyon etkisi ile açıklanabilir. Lameller arasındaki yük paylaşımı, yerel olarak zayıf bölgenin gerilimi komşu daha güçlü bölgelere yeniden dağıtmasına olanak tanır. (Glulam handbook, 2003).

Budağın varlığı ahşabın dayanımını önemli ölçüde azaltmaktadır. Budaklar aynı zamanda ahşabın üretim, kuruma ve yapışma özelliklerini de etkilemektedir. Ahşap elemanlarda budaktan kaçınmak imkansızdır ama budak çekirdeğine daha büyüme aşamasında müdahale ederek çapının çok fazla büyümesi engellenebilir. Budak ile ilgili dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta da, budağın lamine elemanda bulunacağı yerdir. Çünkü budağın elemanda bulunduğu yer dayanım değeri açısından büyük önem kazanmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarda yük ekseninde bulunan budakların dayanım değerlerini yaklaşık %50 oranında azalttığı görülmüşken, yük ekseninden uzakta, kenara yakın kısımlarda yer alan budakların dayanım değerlerini ciddi anlamda etkilemediği sonucuna varılmıştır.

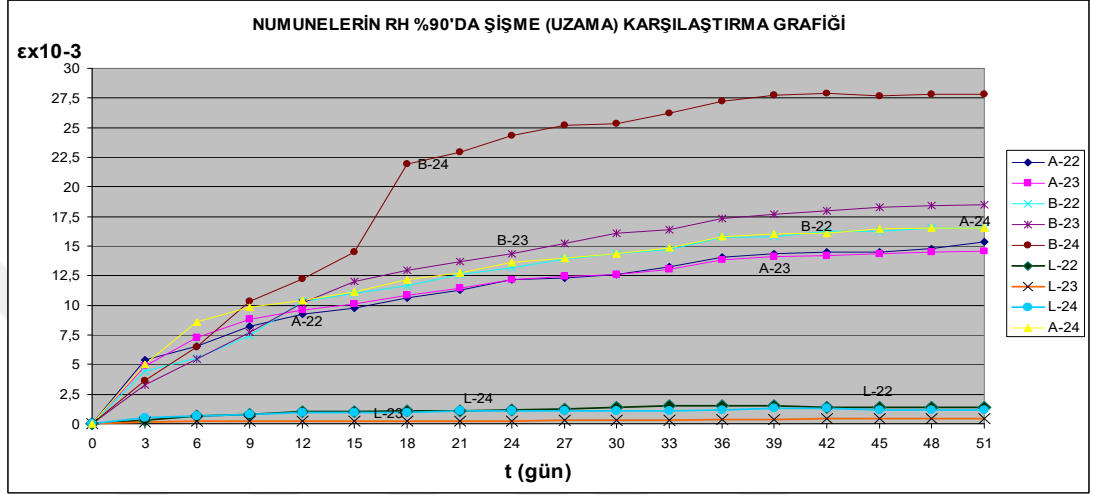
Islanma ve kurumaya maruz kalan numunelerde tutkalın iyi ulaşmadığı kısımlarda ya da özenli uygulanmadığı durumlarda kopmalar daha kolay olmaktadır. Lamine elemanlara laminasyon işlemi yapılırken tutkal uygulaması çok özenli yapılmalı, tutkalın malzemenin her bölgesine nüfuz etmesine dikkat edilmelidir.

4.3 Şişme-Büzülme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Şişme-büzülme deneylerinde lamine ladin numunelerin masif ladin numunelere göre daha fazla uzama-kısalma davranışı gösterdiği sonucuna varılmıştır. Belli bir nem değerine kadar kurutulan masif ladin numuneler ıslanma ve kuruma ortamına maruz kaldıklarında daha kararlı bir davranış göstererek rijitliklerini korumaktadır. Lamine elemanlar numune türüne göre farklı çalışma davranışı göstermiştir. Bu durum da lamine numuneleri oluşturan lamellerin yapısındaki farklılıkla ve bazı lamellerin bünyesine daha fazla su çekerek şişme davranışı gösterirken bazı lamellerin nemden daha az etkilenecek daha az çalışma göstermesi ile açıklanabilir. Aynı durum kurumaya maruz kalan numunelerdeki kısalma davranışı için de geçerlidir. Şişme ve büzülme etkisi ile numunelerde gözle görülür bir çarpılma meydana

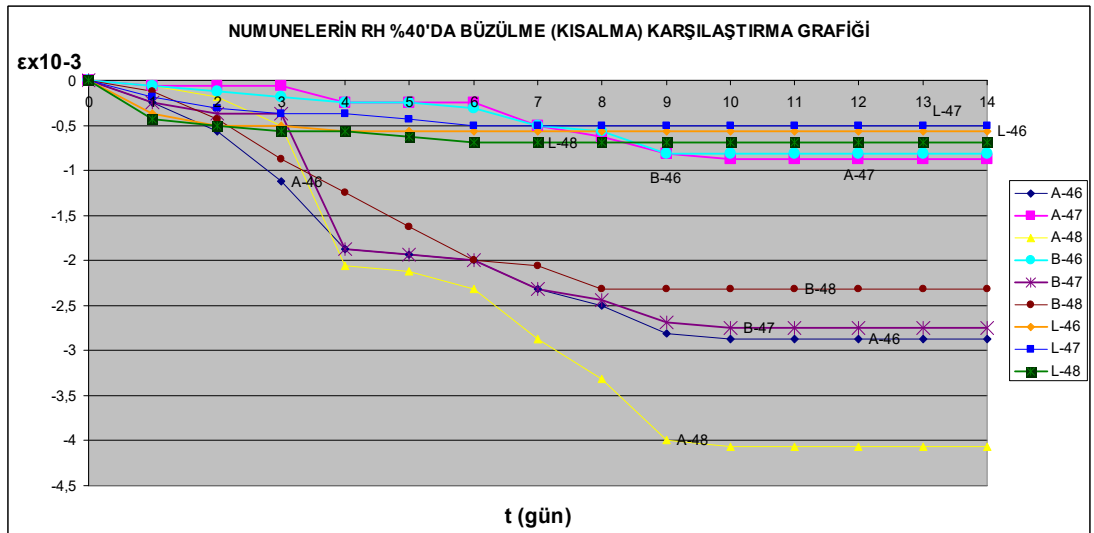
gelmiştir. Masif ladin numuneler bütün bir parça halinde deformasyona uğrarken kompozit bir malzeme olan lamine numunelerde lamellerin herbiri farklı miktarlarda çarpılma davranışı göstermişlerdir.

Şişme (uzama) karşılaştırma grafiklerine bakıldığında 4 lamelli B kodlu lamine ladin numunelerin dokuz lamelli A kodlu lamine lamellerden nem karşısında daha fazla uzama gösterdiği sonucu elde edilmiştir. Nemden en az etkilenen masif ladin numunelerdir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7: Numunelerin RH %90'da şişme-uzama karşılaştırma grafiği.

Büzülme (kısılma) karşılaştırma grafiklerine bakıldığında, kurumaya maruz bırakıldığında 9 lamelli A kodlu lamine ladin numunelerin dört lamelli B kodlu lamine ladin numunelerden daha fazla kısılma davranışı gösterdiği sonucuna varılmıştır. Kuruma ortamından en az etkilenen masif ladin numunelerdir. (Şekil 4.8). Masif ladin numuneler belli bir kısılmanın ardından sabit bir boy değerine ulaşmış ve daha fazla kısılma değeri ölçülememiştir.

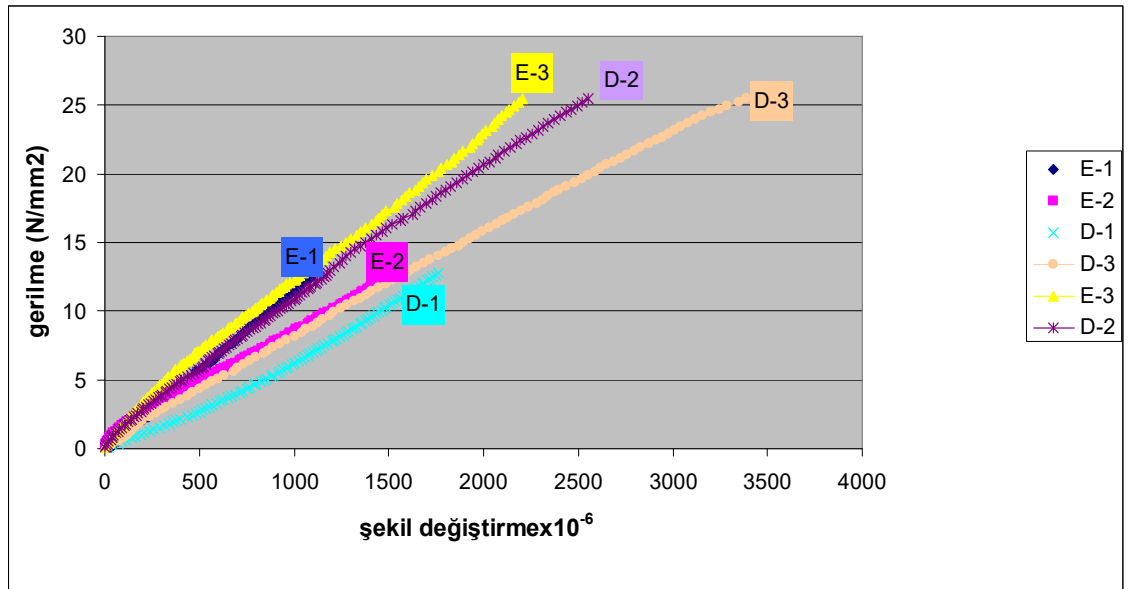


Şekil 4.8: Numunelerin RH %40'da büzülme-kısılma karşılaştırma grafiği.

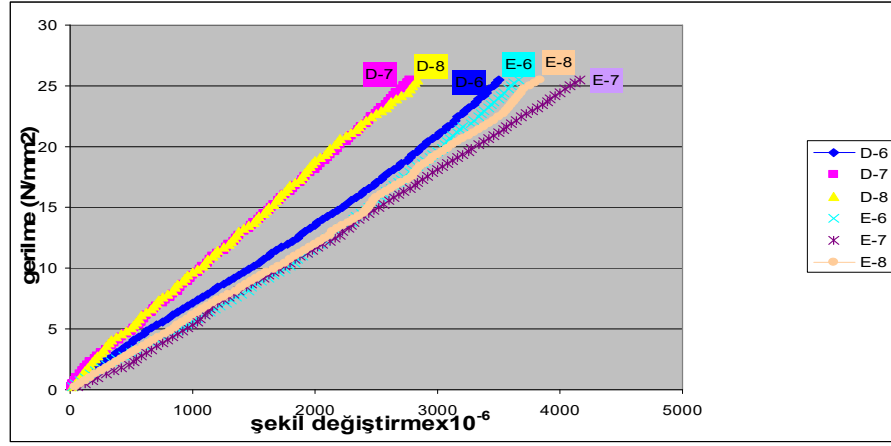
4.4 Elastisite Modülü Tayini Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Lifleri yük yönüne paralel olan numunelerin basınçta elastisite modülü tayini deneylerinde normal oda sıcaklığında $20\text{C}^{\circ}\pm 2$ 'de dört lamelli silindir ladin numunelerin elastisite modülü değerleri dokuz lamelli silindir ladin numunelerden yüksek çıkmıştır (Şekil 4.9). Sıcaklığın malzemede elastisite modülü değeri üzerindeki etkisini inceleyebilmek için numuneler 50C° , 75C° ve 100C° 'de 15 gün süre ile bekletilmiş ve ölçümler yapılmıştır. Sıcaklık etkisi ile iki tip ladin lamine numune için de elastisite modülü değerinde bir azalma olmakla beraber numune türleri arasında önemli bir farklılık gözlenmemiştir. Bu noktada lamellerin yapısı, dizilişi ve tutkalın sıcaklık karşısındaki davranışı etkili olmakta ve malzemenin şekil değiştirme rijitliğini etkilemektedir.

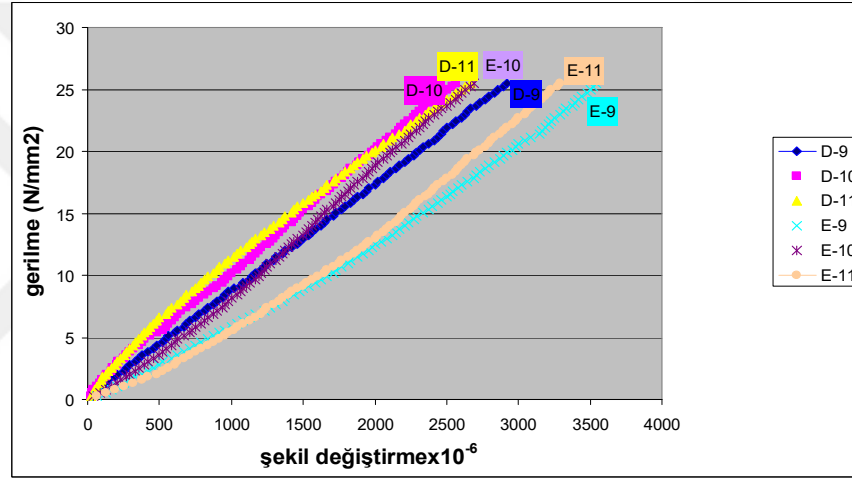
Elastisite modülü karşılaştırma grafiklerine bakıldığında 50C° ve 75C° 'de dokuz lamelli D kodlu numunelerin elastisite modülü değerleri dört lamelli E kodlu numunelerin elastisite modülü değerlerinden yüksek çıkmıştır. Bu durum sıcaklık artışının laminasyonda kullanılan MUF tutkalına bir miktar rijitlik kazandırması yönünde açıklanabilir (Şekil 4.10, Şekil 4.11). Fakat 100C° 'de dört lamelli E kodlu numunelerin elastisite modülü değerleri dokuz lamelli D kodlu numunelerden yüksek çıkmıştır. Bu durumda fazla sıcaklık artışının tutkalın yapısını bozduğu yönünde tahmin yapılmıştır (Şekil 4.12).



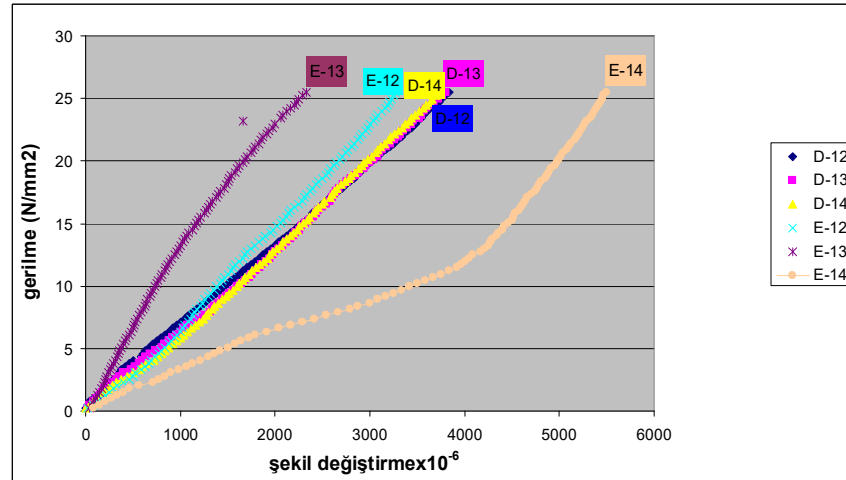
Şekil 4.9: 20C° 'de bekleyen, dokuz lamelli ladin lamine D kodlu numuneler ile dört lamelli ladin lamine E kodlu numunelerin gerilme - şekil değiştirme karşılaştırma grafiği.



Şekil 4.10: 50C°'de bekleyen, dokuz lamelli ladin lamine D kodlu numuneler ile dört lamelli ladin lamine E kodlu numunelerin gerilme - şekil değiştirme karşılaştırma grafiği.

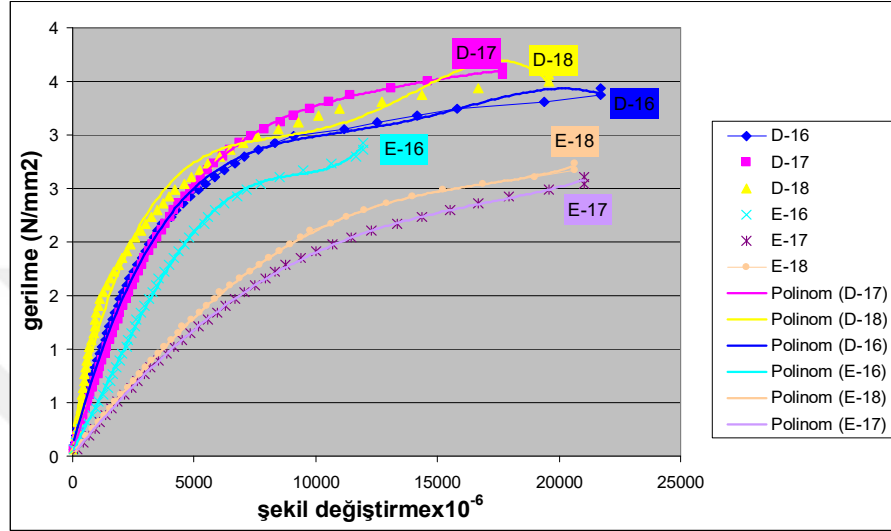


Şekil 4.11: 75C°'de bekleyen, dokuz lamelli ladin lamine D kodlu numuneler ile dört lamelli ladin lamine E kodlu numunelerin gerilme - şekil değiştirme karşılaştırma grafiği.



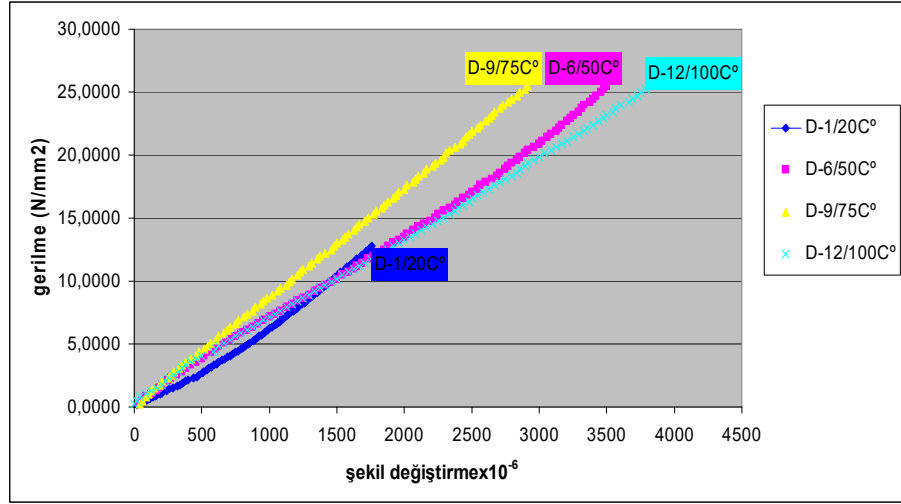
Şekil 4.12: 100C°'de bekleyen, dokuz lamelli ladin lamine D kodlu numuneler ile dört lamelli ladin lamine E kodlu numunelerin gerilme - şekil değiştirme karşılaştırma grafiği.

Lifleri yük yönüne dik yönde olan numunelerin $20C^{\circ} \pm 2'$ 'de yapılan basınçta elastisite modülü tayini deney sonuçlarında 9 lamelli D kodlu ladin lamine numunelerin elastisite modülü değerleri 4 lamelli E kodlu ladin lamine numunelerden yüksek çıkmıştır (Şekil 4.13). Lamel sayısı arttıkça mevcut tutkal hattı da artmaktadır. Liflere dik doğrultuda artan tutkal hattının malzemenin elastik şekil değiştirme rijitliğine olumlu katkı sağladığı düşünülebilir.

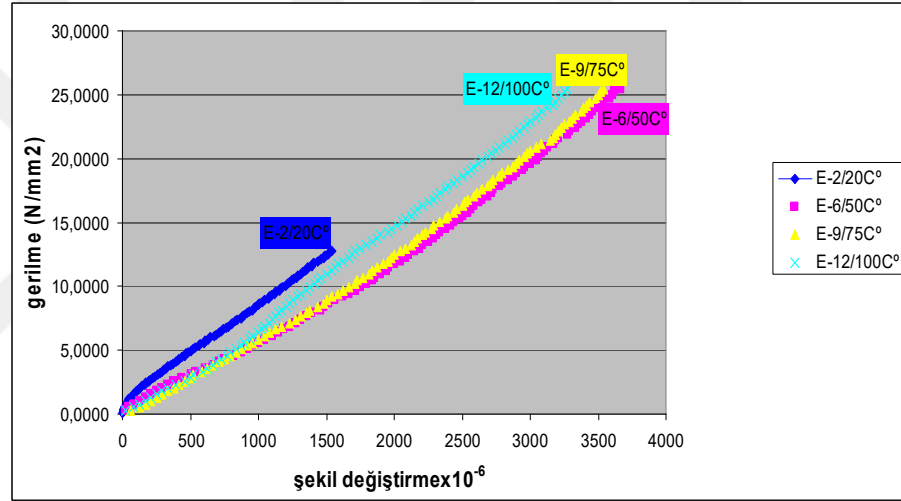


Şekil 4.13: Dokuz lamelli lamine D kodlu numuneler ile dört lamelli ladin lamine E kodlu numunelerin lifleri yüke dik yönde gerilme – şekil değiştirme karşılaştırma grafiği.

Farklı sıcaklıklar için dayanım şekil değiştirme karşılaştırma grafiklerine bakıldığında, lifleri yük yönüne paralel olan dokuz lamelli D kodlu numunelerin sıcaklık artışı ile elastisite modülü değerlerinde bir miktar artış olduğu daha sonra azalma olduğu görülmüştür (Şekil 4.14). Bu durum tutkalın davranışı olarak tahmin edilmiştir. Bir miktar sıcaklık artışı ile tutkalın şekil değiştirme rijitliği kazandığı $100C^{\circ}$ 'de ise sıcaklık artışından olumsuz etkilenecek elastisite modülü değerinde azalma olduğu gözlenmiştir. Dört lamelli E kodlu numunelerde ise sıcaklık artışına bağlı olarak elastisite modülü değerlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. $100C^{\circ}$ 'de ise sıcaklık artışına bağlı olarak bir miktar artış gözlenmesine rağmen bu durum numunelerin yapısal özelliklerindeki farklılıktan kaynaklandığı yönünde yorumlanmıştır (Şekil 4.15).

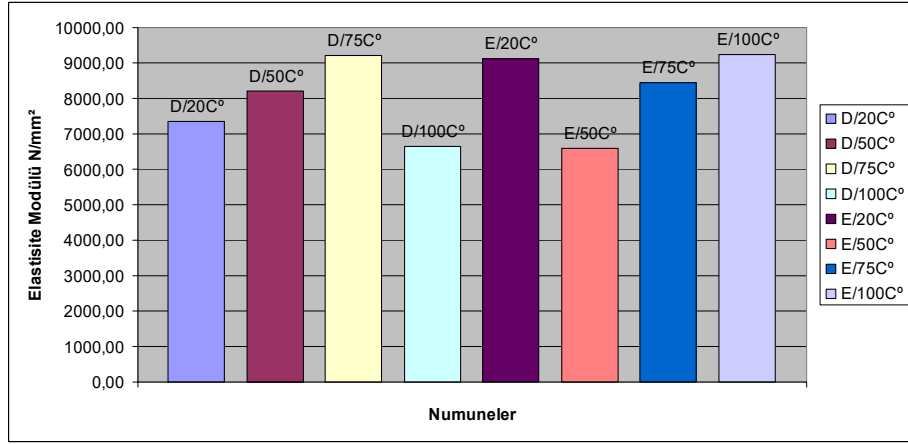


Şekil 4.14: Dokuz lamelli ladin lamine D kodlu numunelerin 20C°, 50C°, 75C° ve 100C°'de elde edilen gerilme – şekil değiştirme karşılaştırma grafiği.



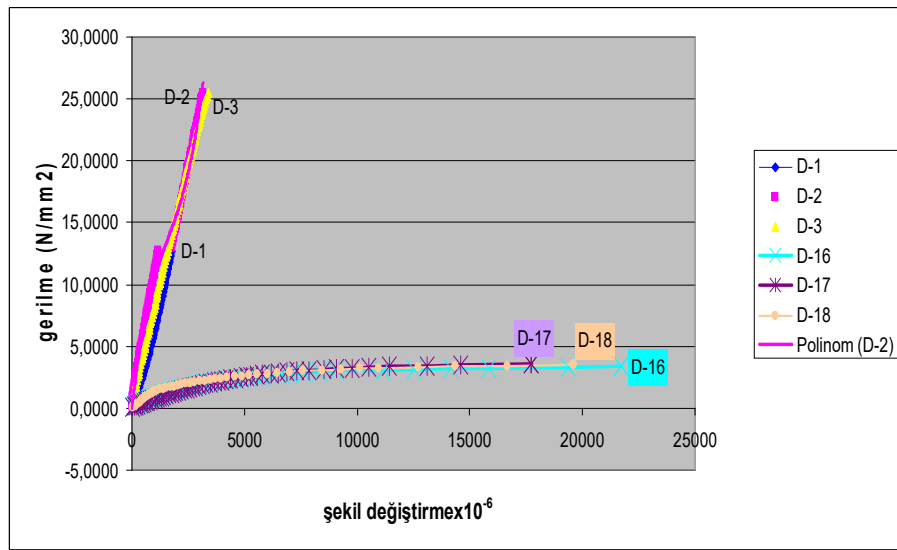
Şekil 4.15: Dört lamelli ladin lamine E kodlu numunelerin 20C°, 50C°, 75C° ve 100C°'de elde edilen gerilme – şekil değiştirme karşılaştırma grafiği.

Lifleri yük yönüne paralel dokuz lamelli lamine ladin D kodlu ve dört lamelli lamine ladin E kodlu numunelerin elastisite modülü değişimi karşılaştırma grafiğine bakıldığında, E kodlu numunelerin elastisite modülü değerleri ortalamasının D kodlu numunelerin elastisite modülü değerleri ortalamasından bir miktar yüksek olduğu söylenebilir (Şekil 4.16). Bunun yanında sıcaklık değişimi farklı lamel sayısındaki D ve E kodlu numuneler için ters etki yapmıştır. D kodlu numunenin elastisite modülü değeri sıcaklık artışına bağlı olarak önce yükselmiş daha sonra azalmışken E kodlu numunelerin elastisite modülü değerleri sıcaklık artışı ile önce artmış daha sonra azalmıştır. Bu durum tutkal etkisi ile açıklanabilir. Bir diğer yaklaşım da lamine numuneleri oluşturan farklı lamellerin etkisi olduğu kabul edilirse aynı tip lameller ile gelecekte üretililecek lamine numuneler için sıcaklık artışına bağlı olarak elastisite modülü değişimi test edilebilir.

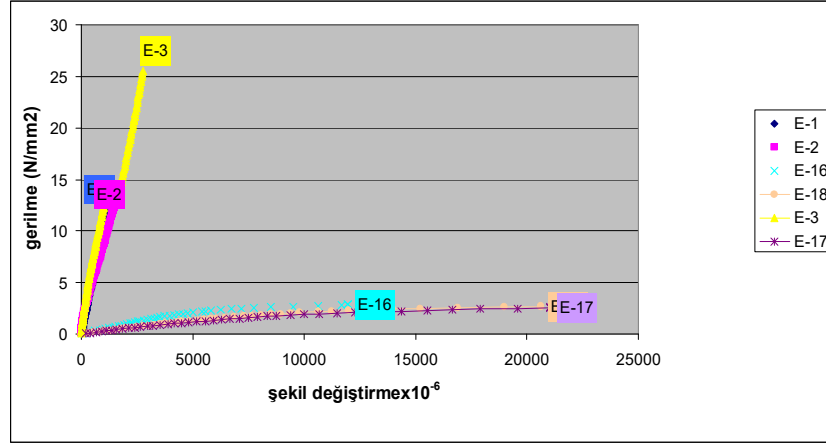


Şekil 4.16: D kodlu ve E kodlu numunelerin sıcaklık artışına bağlı elastisite modülü değişimi karşılaştırma grafiği.

Basınçta elastisite modülü tayini deneylerinde numuneler lifleri yük yönüne dik ve lifleri yük yönüne paralel olacak şekilde kullanılmıştır. Deney sonuçları karşılaştırma grafiklerine bakıldığında her iki tip numune türü için de lifleri yük yönüne paralel olan numunelerin elastisite modülü değerleri, yükleri lif yönüne dik olan numunelerin elastisite modülü değerlerinden oldukça yüksek çıkmıştır (Şekil 4.17, Şekil 4.18). Sayısal değer olarak lifleri yük yönüne paralel olan numunelerin elastisite modülü değerleri dik olan numunelerin elastisite modülü değerlerinden 50 kat daha fazladır. Bu sonuç da lamine elemanları oluşturan lamellerin laminasyonu sırasında lif yönlerinin önemini göstermektedir. Ahşabın sahip olduğu üç yön için üç farklı elastisite modülü değeri vardır. Bu nedenle geometrik diziliş sırasında lif yönlerine özen gösterilmelidir.



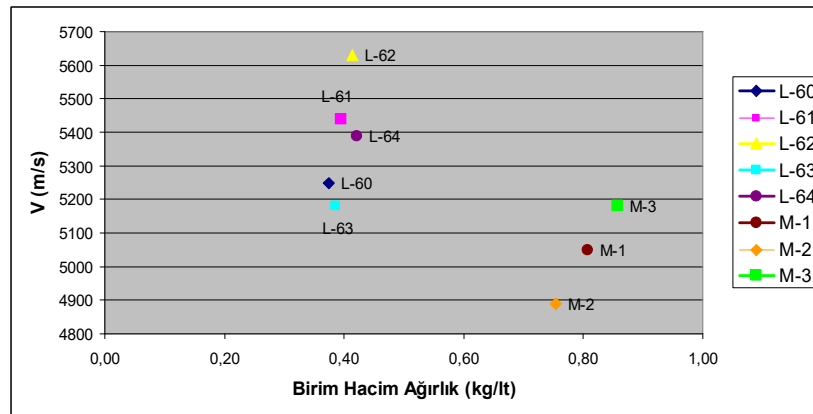
Şekil 4.17: Dokuz lamelli ladin lamine D kodlu numunelerin lifleri yük yönüne dik ve paralel gerilme-şekil değiştirme karşılaştırma grafiği.



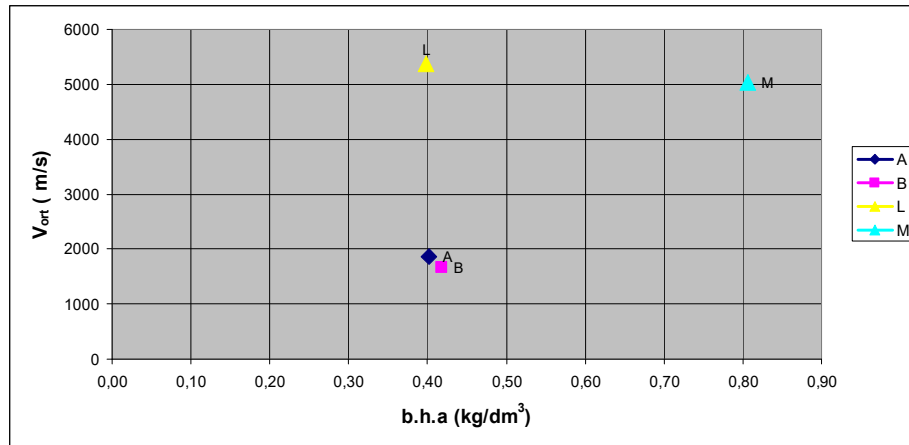
Şekil 4.18: Dört lamelli ladin lamine E kodlu numunelerin lifleri yük yönüne dik ve paralel gerilme-şekil değiştirme karşılaştırma grafiği.

4.5 Ultra-Ses Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Ultra-ses deney sonuçlarına bakıldığında bazı numunelerde ses hızı oldukça düşük çıkmıştır. Bu tip numunelerde iç kısımda çatlak olabileceği tahmin edilmiştir. Masif ladin ve masif meşe numunelerde birim hacim ağırlığı yüksek olan numunelerde ses hızı daha yüksek çıkmıştır (Şekil 4.19). Böyle bir genelleme kompozit yapısından dolayı lamine numuneler için geçerli değildir. Lamine ladin numunelerde ses geçiş hızında diğer deneylerde olduğu gibi lamellerin dizilişi, yapısı daha etkili olmaktadır. Ses hızı- birim hacim ağırlık grafiğine bakıldığında masif ladin ve masif meşe numunelerin en yüksek ses hızına sahip olduğu görülmüştür (Şekil 4.20). Beklenilenin aksine birim hacim ağırlığı yüksek olan masif meşeye kıyasla masif ladin numunelerde ses hızı değeri daha yüksektir. Bu durum malzemenin hücre yapısı ile açıklanabilir. Masif ladin yumuşak bir ağaç türü olmasına rağmen masif meşe sert bir ağaç türüdür. Hücre yapıları ilgili detaylı açıklama literatür kısmında yer almaktadır.

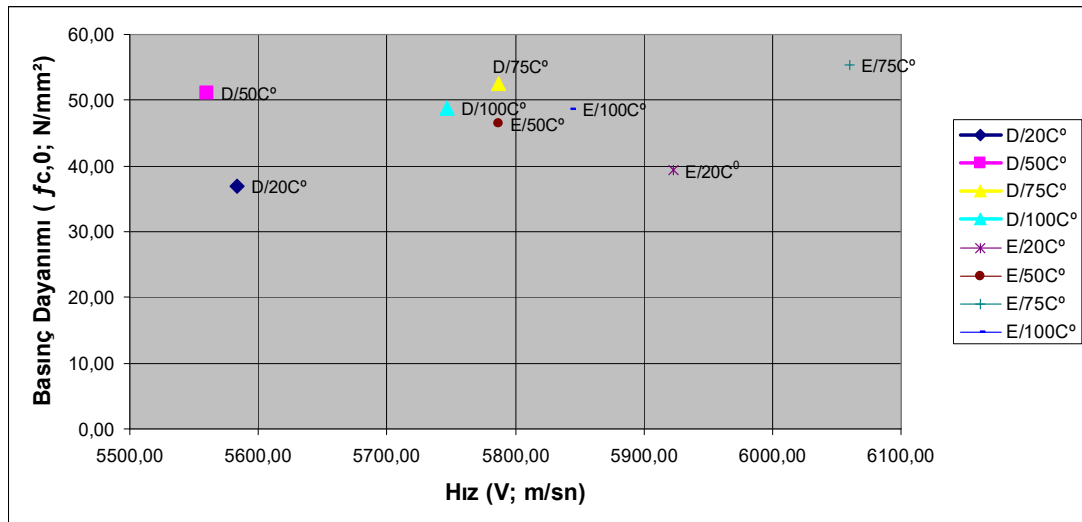


Şekil 4.19: Masif ladin ve masif meşe numunelerin ses hızı birim hacim ağırlık grafiği.

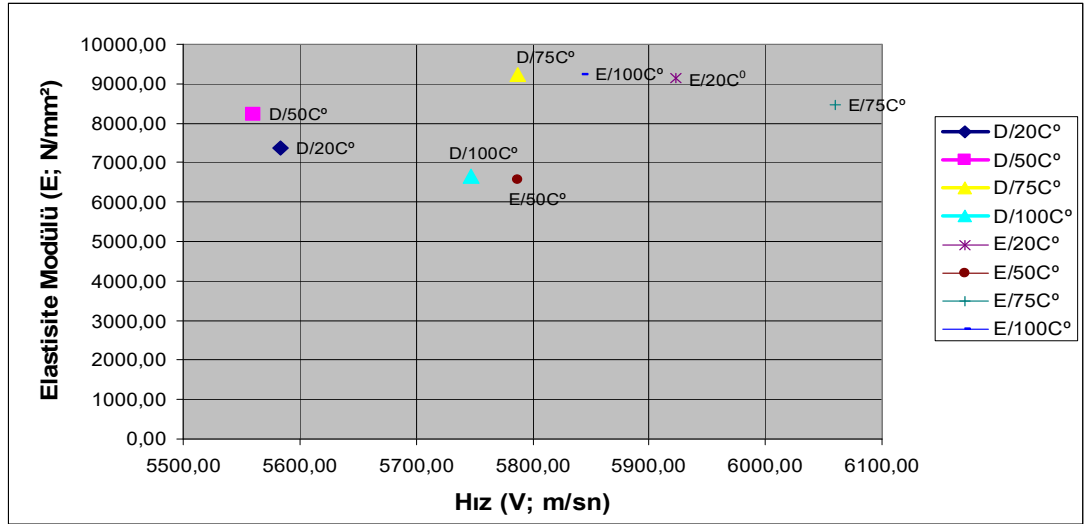


Şekil 4.20: Numunelerin ses hızı-birim hacim ağırlık karşılaştırma grafiği.

Silindir dokuz lamelli lamine ladin D kodlu ve dört lamelli lamine ladin E kodlu numunelerin sıcaklık artışına bağlı olarak basınç dayanımı-ses hızı karşılaştırma grafiğine bakıldığında numunelerin basınç dayanımında anlamlı bir fark olmamasına rağmen E kodlu numunelerin ses-hızı daha yüksektir (Şekil 4.21). İki tip numune için de sıcaklık artışına bağlı olarak ses geçiş hızı artışı ile basınç dayanımında da artış gözlenmiştir. Fakat lamine numunelerdeki lamellerin bazılarındaki yapısal bozukluklar ya da geometrik diziliş hataları ortalama değerleri düşürmektedir. Bazı numuneler için ses geçiş hızı oldukça düşük çıkmıştır. Bu tür numunelerin kesitinde budak ya da çatlak olabileceği tahmin edilmiştir. Yine iki tip numune için de sıcaklık artışına bağlı olarak elastisite modülü değeri artışı ile ses geçiş hızında da artış gözlenmiştir (Şekil 4.22).



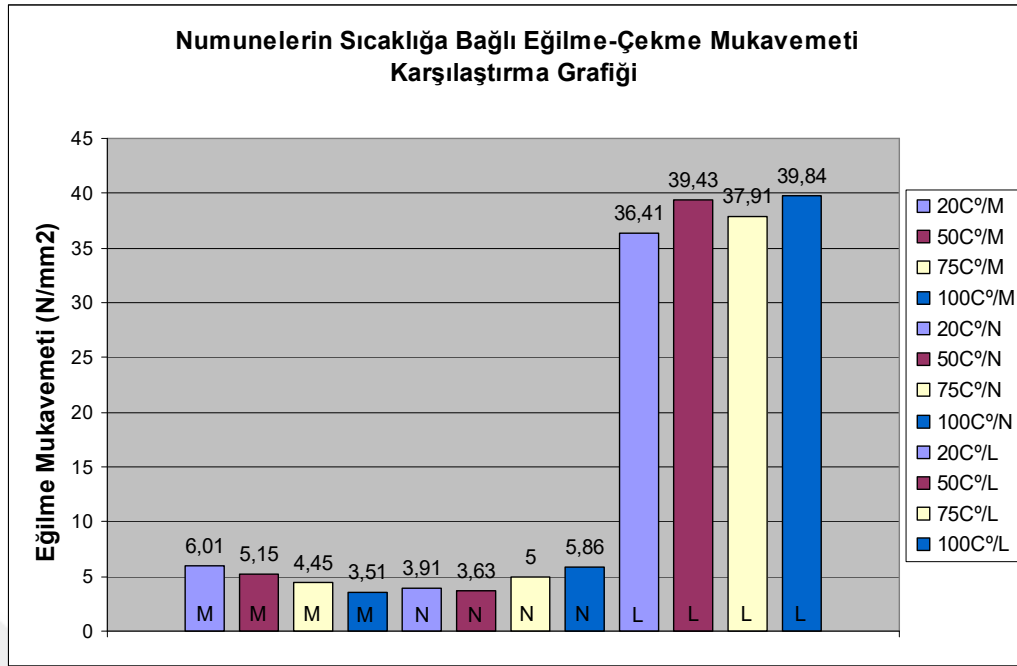
Şekil 4.21: D ve E kodlu numunelerin basınç dayanımı-ses hızı karşılaştırma grafiği.



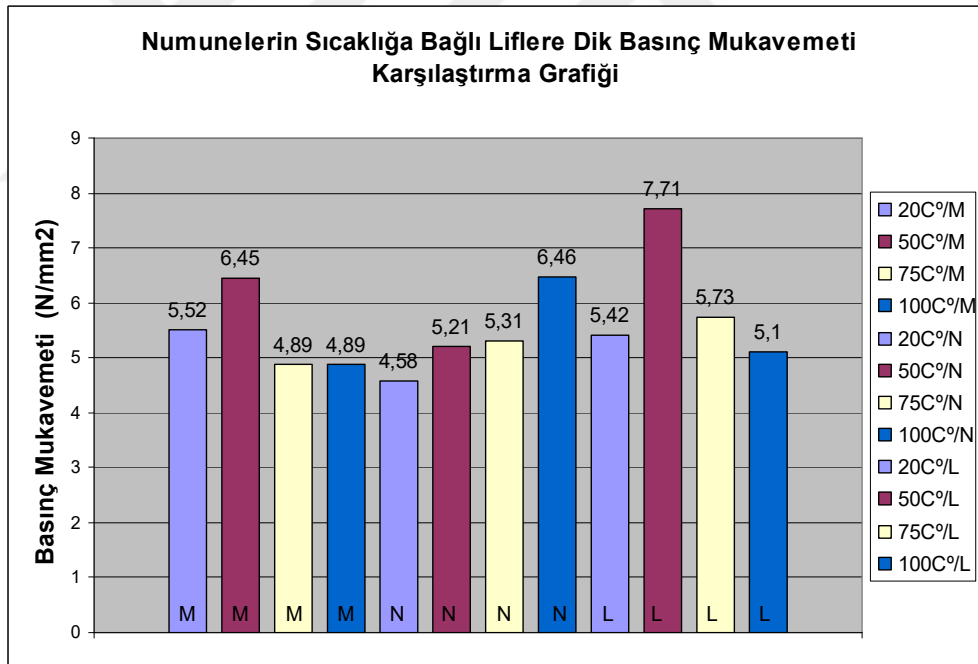
Şekil 4.22: D ve E kodlu numunelerin elastisite modülü-ses hızı karşılaştırma grafiği.

4.6 Sıcaklığa Dayanıklılık Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Sıcaklığın malzemenin dayanımı ile ilişkisini irdelenebilmek için numuneler belirlenen 20C°, 50C°, 75C° ve 100C°'de bekletilmiş ve mekanik deneylere tabi tutulmuştur. Sıcaklık etkisi ile dört lamelli numunelerin liflere dik eğilme dayanımı değerlerinde azalma görülürken dokuz lamelli numunelerde önce azalma görülürken daha sonra artış gözlenmiştir. Tutkalın belirlenen sıcaklık artışına kadar bir rijitlik kazandığı sonucuna varılabilir. Kompozit malzeme olan lamine ahşap numunelerde sıcaklık etkisi ile her bir lamel farklı bir davranış göstermiştir. Bunun yanında masif ladin numunelerin boyuna yönde liflere dik eğilme dayanımında ciddi bir değişim söz konusu olmamıştır (Şekil 4.23). Sıcaklık etkisi ile dört lamelli lamine ladin numunelerin liflere dik basınç mukavemetinde oluşan iç gerilmelerin etkisi ile önce bir miktar artış daha sonra sıcaklık artışına bağlı olarak azalma gözlenirken, dokuz lamelli lamine ladin numunelerin liflere dik basınç mukavemetinde artış gözlenmiştir (Şekil 4.24). Dört lamelli lamine ladin numunelerin ve dokuz lamelli lamine ladin numunelerin, liflere paralel basınç mukavemetinde sıcaklık artışına paralel bir artış söz konusudur. Masif ladin numunelerde ise sıcaklığın artışı ile liflere dik basınç mukavemetinde azalma görülürken, liflere paralel basınç mukavemetinde artış görülmüştür (Şekil 4.25). Sıcaklık etkisi ile budak olan numunelerde budakların ayrıştığı hatta bazılarında düştüğü gözlenmiştir. Sıcaklık artışına paralel malzemelerde dönme etkisi meydana gelmiş özellikle lamine numunelerde daha fazla dönme meydana geldiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.23: Numunelerin sıcaklığa bağlı eğilme-çekme mukavemeti karşılaştırma grafiği.

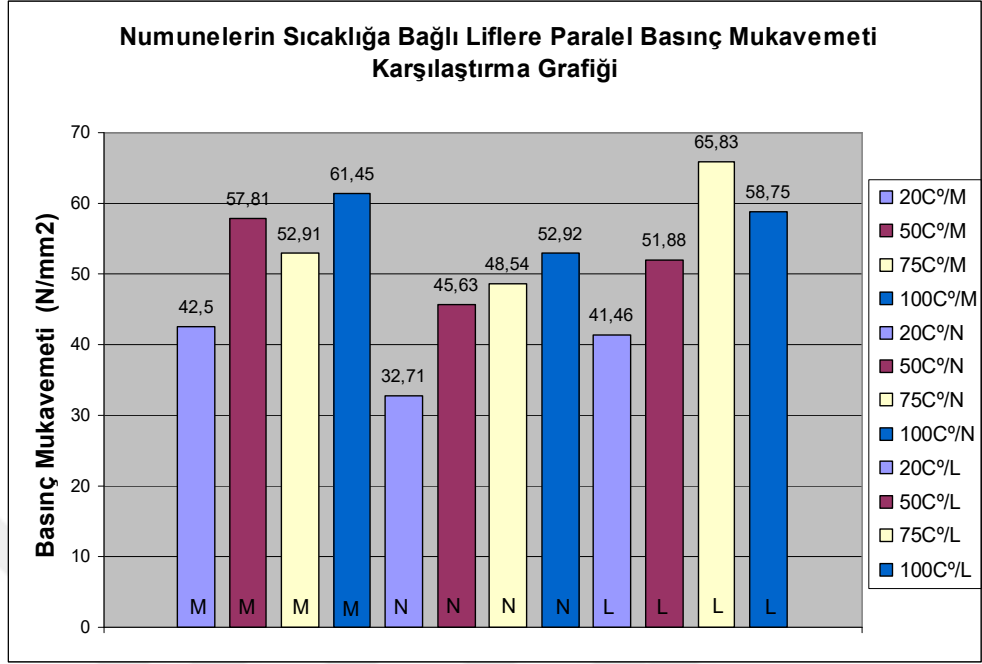


Şekil 4.24: Numunelerin sıcaklığa bağlı liflere dik basınç mukavemeti karşılaştırma grafiği.

4.7 Tutkalda Kayma Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Tutkalda sıcaklık artışının ilişkisini ortaya koyabilmek için tutkalda kayma deneyi programlanmıştır. İlgili standarda bağlı kalınarak numune örnekleri hazırlanmış ve deney 20C°, 50C°, 75C° ve 100C° için uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara

bakıldığında sıcaklık artışının tutkalda kayma dayanımını yüzde elli oranında düşürdüğü sonucu elde edilmiştir.



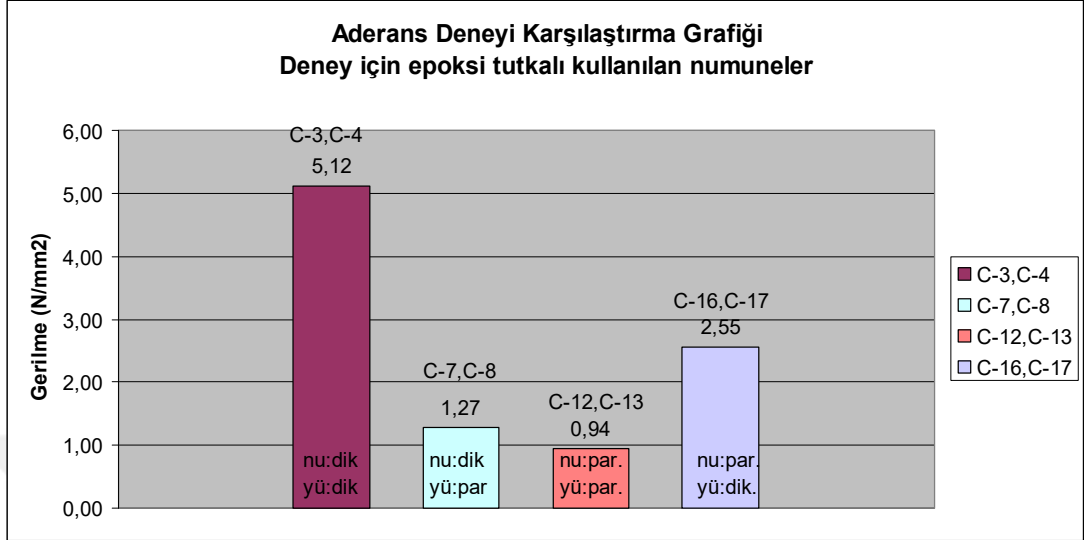
Şekil 4.25: Numunelerin sıcaklığa bağlı liflere paralel basınç mukavemeti karşılaştırma grafiği.

Sıcaklık artışı malzemede de dönme etkisine neden olmuş bunun sonucunda da kopmalar daha çabuk olmuştur. Tutkalın yüksek sıcaklıktan olumsuz etkilendiği kopmaların sıklıkla tutkal kısmından ve gevrek bir kırılma davranışı göstermesi ile anlaşılmıştır.

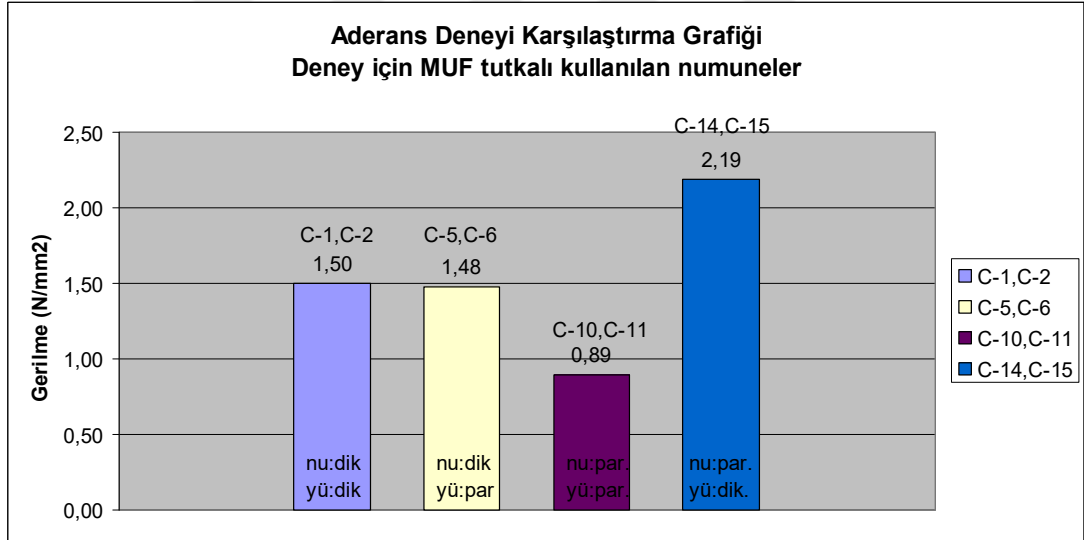
4.8 Aderans Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Ahşap numunelerin yapışma mukavemetlerini ölçmek için farklı tutkal türleri ile yapılan aderans deneylerinde, ahşap numuneler yapıştıkları ahşap yüzeye lif yönleri farklı alternatiflerde olacak şekilde yapıştırılmışlardır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, en yüksek aderans dayanım değeri, lifleri yük yönüne paralel olan ahşap numunelerin epoksi ile lifleri yük yönüne paralel olan ahşap yüzeye yapıştırıldığı deney düzeneğinde elde edilmiştir (Şekil 4.26). Lamine numunelerin üretiminde kullanılan melamin üre formaldehit tutkalının kullanıldığı aderans deney düzeneklerinde en yüksek değer, lifleri yük yönüne dik olan ahşap numune ile lifleri yük yönüne paralel ahşap yapışma yüzeyi arasında elde edilmiştir (Şekil 4.27). En düşük aderans dayanım değeri ise lifleri yük yönüne dik numune ile lifleri yük yönüne dik olan yüzey arasında görülmüştür. Kompozit bir yapı malzemesi olan lamine ahşap için, malzemenin dayanıklılığı ve kendinden beklenen performansı

karşılması bakımından laminasyonda kullanılan tutkalla lameller arasında oluşacak aderans büyük önem kazanmaktadır. Lameller arasında güçlü bir aderans elde edebilmek için komşu lameller arasındaki lif yönlerine dikkat edilmelidir.



Şekil 4.26: Epoksi tutkalı kullanılan aderans deneyleri için karşılaştırma grafiği.



Şekil 4.27: MUF tutkalı kullanılan aderans deneyleri için karşılaştırma grafiği.



5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Masif ve lamine ahşabın durabilitesi ve mekanik özelliklerine ortam şartlarının etkilerinin incelendiği bu çalışmada elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda maddelenmiştir.

- Liflere dik basınç dayanımı test sonuçlarına bakıldığında, ıslanma ve kuruma tekrarlarına maruz kalmak, belli bir nem değerine kadar (12 ± 2) kurutulmuş numunelerde basınç dayanımını ciddi anlamda etkilememiştir.
- Masif ladin numunelerin deney sonuçlarına bakıldığında, özgül ağırlığı yüksek olan numunelerin basınç dayanım değerleri yüksek çıkmıştır. Fakat bazı numunelerde özgül ağırlık çok yüksek olmamasına rağmen dayanım değerleri beklenilenin üzerindedir. Bunun nedeni ahşapta özgül ağırlığın yanında dayanımı belirleyen birçok etkenin olmasıdır. Örneğin numunenin hücre yapısı, boşluk yapısı, ağaçtan kesiliş biçimi ve yeri gibi birçok faktör malzemenin bütününde dayanımını belirler.
- ıslanma-kuruma deney sonuçlarına bakıldığında, masif ladin numuneler belirtilen kesit için en yüksek liflere dik doğrultuda eğilme-çekme dayanım değerine sahiptir. Aynı kesit yüksekliği için masif ahşap malzemenin eğilme dayanımının yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur. Glulam eleman üretmenin gereği olarak uygulamada, yapısal amaçlı kullanılacak lamine elemanlar yapılan hesaplamalar neticesinde geçeceği açıklığa göre masif ahşap elemanlardan daha kalın ve daha uzun olarak üretilirler. Planlanan yapılarda, geçilecek açıklığa bağlı olarak yapılan hesaplamalara göre lamine elemanların kesit ölçüleri daha büyük boyutlu çıkmaktadır. Böylece yapısal lamine elemanların üretimi de bu hesaplamalar sonucunda yapılmaktadır.
- Masif ladin numunelerin eğilme-çekme dayanımlarının lamine numunelere göre oldukça yüksek çıkmasının bir nedeni de dayanım ve sertlik özelliklerinin malzeme yönüne göre değişmesidir. Ahşap liflerin dayanım ve rijitlik değerleri boyuna yönde dikey yönden daha yüksektir. Bu nedenle boyuna yönde kullanılan masif ladin ahşabın eğilme dayanımı düşey yönde kullanılan ladin lamine ahşap numunelerin dayanımından oldukça yüksek çıkmıştır.

- Aynı kesitteki örnekler için, ıslanma ve kuruma deneylerinde 4 lamelli numunelerin eğilme dayanımı 9 lamelli numunelerin eğilme dayanımından daha yüksektir. Ahşap lamine kesitlerde lamellerin kalınlığı ve sayısı dayanım performansı açısından önemli bir faktördür. İleride yapılabilecek çalışmalarda ilgili standartlara bağlı kalınarak farklı lamel sayısında ve kalınlığında üretebilecek numunelerle test sayısı artırılabilir. Böylece en yüksek dayanım değerine sahip lamel kombinasyon çeşitlerinin ortaya konması bilimsel açıdan faydalı bir çalışma olacaktır.

- Islanma olayında liflere paralel basınç dayanımı testleri sonuçları karşılaştırıldığında 4 lamelli B kodlu ladin lamine numunelerin 9 lamelli A kodlu ladin lamine numunelerin dayanım değerlerinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

- Ahşabın liflere dik yönü en zayıf bölgesidir. Test sonuçlarına bakıldığında liflere dik yöndeki gerilmenin hasar oluşturabileceği rahatlıkla söylenebilir.

- Yapılan deneysel çalışma sonuçlarına bakıldığında bünyesinde fazla yaz odunu bulunduran numunelerin daha fazla dayanıma sahip olduğu görülmüştür. Yaz odunu birim kesitte bahar odunundan daha fazla selüloz içerir. Selüloz malzemeye dayanım kazandıran maddedir. Bu nedenle yaz odunu fazla olan numunelerin dayanımı yüksek çıkmıştır. Masif ladin numuneler için böyle bir genelleme yapılabilirken lamine ladin numuneler için aynı sonuçlar elde edilememiştir. Lamine elemanlar kompozit malzemelerdir. Bu nedenle lamellerin yapısı ve dizilişi elemanın bütününde dayanım ve dayanıklılık özelliklerini etkilemektedir.

- Masif ladin numunelerde ortalama gerilme hesapları yeterli iken lamine elemanlarda yerel gerilmeler ortalama gerilmelerden çok fazladır. Böylece yapılan hesaplamalarda lamine elemanlardan elde edilen sonuçlar bazen beklenen değerleri vermemektedir. Kesitteki lamellerin yıllık halka düzeni değiştirilirse ya da optimize edilirse gerilmeler azaltılabilir.

- Lamine elemanlarda lamellerdeki dayanım azaltıcı kusurlar masif ahşaba göre daha az önemlidir. Bu durum laminasyon etkisi ile açıklanabilir. Laminasyonlar arasındaki yük paylaşımı, yerel olarak zayıf bölgenin gerilimi komşu daha güçlü bölgelere yeniden dağıtmasına olanak tanır.

- Ahşabın dayanımını azaltan önemli bir unsur da budağın varlığıdır. Budaklar ahşabın üretim, kuruma ve yapışma özelliklerini de etkilemektedir.

Budak ile ilgili dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta da, budağın masif ahşapta ya da lamine elemanda bulunacağı yerdir. Çünkü budağın elemanda bulunduğu yer dayanım değeri açısından büyük önem kazanmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarda yük eksenini altında bulunan budakların dayanım değerlerini yaklaşık %50 oranında azalttığı görülmüşken, yük ekseninden farklı bir yerde yer alan budakların dayanım değerlerini çok fazla etkilemediği görülmüştür. Ahşap elemanlarda budaktan kaçınmak imkansızdır ama budak çekirdeğine daha büyüme aşamasında müdahale ederek çapının çok fazla büyümesi engellenebilir.

- Islanma ve kurumaya maruz kalan numunelerde tutkalın iyi nüfuz etmediği kısımlarda ya da özenli uygulanmadığı durumlarda kopmalar o bölgeden olmuştur. Laminasyon işlemi yapılırken tutkal uygulaması çok özenli yapılmalı, tutkalın malzemenin her bölgesine nüfuz etmesine dikkat edilmelidir.

- Şişme-büzülme deneylerinde lamine ladin numunelerin ıslanma etkisi ile masif ladin numunelere göre daha fazla uzama davranışı gösterdiği sonucuna varılmıştır. Belli bir nem değerine kadar kurutulan (12 ± 2) masif ladin numuneler ıslanma ve kuruma ortamına maruz kaldıklarında daha kararlı bir davranış göstererek rijitliklerini korumaktadır. Lamine numunelerde ise lamellerin yapısındaki farklılık sebebi ile bazı lamellerin bünyesine daha fazla su çekerek şişme davranışı gösterdiği gözlenmiştir. Aynı durum kurumaya maruz kalan numunelerdeki kısılma davranışı için de geçerlidir. Şişme ve büzülme etkisi ile lamine numunelerde gözle görülür bir çarpılma meydana gelmiştir. Masif ladin numuneler bütün bir parça halinde deformasyona uğrarken kompozit bir malzeme olan lamine numunelerde lamellerin herbiri farklı miktarlarda çarpılma davranışı göstermişlerdir.

- Basınçta elastisite modülü tayini deneylerinde, normal oda sıcaklığında (20 ± 2), lifleri yük yönüne paralel olan numunelere bakıldığında dört lamelli silindir ladin numunelerin elastisite modülü değerleri dokuz lamelli silindir ladin numunelerden yüksek çıkmıştır. Sıcaklık etkisi ile dokuz lamelli ve dört lamelli ladin lamine numune için elastisite modülü değerinde bir azalma olmakla beraber numune türleri arasında önemli bir farklılık gözlenmemiştir. Bu noktada lamellerin yapısı, dizilişi ve tutkalın sıcaklık karşısındaki davranışı etkili olmakta ve malzemenin şekil değiştirme rijitliğini etkilemektedir.

- Elastisite modülü karşılaştırma grafiklerine bakıldığında dokuz lamelli D kodlu numunelerin elastisite modülü değerleri dört lamelli E kodlu numunelerin

elastisite modülü değerlerinden 50C° ve 75C°'de yüksek çıkmıştır. Bu durum sıcaklık artışının laminasyonda kullanılan MUF tutkalına bir miktar rijitlik kazandırması yönünde açıklanabilir. 100C° için deney sonuçlarına bakıldığında dört lamelli E kodlu numunelerin elastisite modülü değerleri dokuz lamelli D kodlu numunelerden yüksek çıkmıştır. Elde edilen bu sonuç için sıcaklık artışının tutkalın yapısını bozduğu yönünde tahmin yapılmıştır.

- Lifleri yük yönüne dik yönde olan numunelerin basınçta elastisite modülü tayini deney sonuçlarına bakıldığında 20C°±2 sıcaklıkta 9 lamelli D kodlu ladin lamine numunelerin elastisite modülü değerleri 4 lamelli E kodlu ladin lamine numunelerden yüksek çıkmıştır. Lamel sayısı arttıkça mevcut tutkal hattı da artmaktadır. Liflere dik doğrultuda artan tutkal hattının malzemenin elastik şekil değiştirme rijitliğine olumlu katkı sağladığı düşünülebilir.

- Basınçta elastisite modülü deney sonuçlarına bakıldığında beklenildiği gibi hem dokuz lamelli ladin lamine hem de dört lamelli ladin lamine numune için lifleri yük yönüne paralel olan numunelerin elastisite modülü değerleri, yükleri lif yönüne dik olan numunelerin elastisite modülü değerlerinden oldukça yüksek çıkmıştır . Sayısal değer olarak lifleri yük yönüne paralel olan numunelerin elastisite modülü değerleri dik olan numunelerin elastisite modülü değerlerinden 50 kat daha fazladır. Ahşabın lif yönü elastisite modülü değeri için belirleyicidir. Ahşabın sahip olduğu üç yön için üç farklı elastisite modülü değeri olduğu unutulmamalı ve geometrik diziliş sırasında lif yönlerine özen gösterilmelidir. Zayıf yönde kullanılan bir lamel diğer lamellerin de etkisini zayıflatacak elemanın performansını düşürecektir.

- Ultra-ses deney sonuçlarına göre bazı numunelerde ses hızı oldukça düşük çıkmıştır. Ses hızı düşük çıkan numunelerde iç kısımda çatlak olabileceği tahmin edilmiştir. Masif ladin ve masif meşe numunelerde birim hacim ağırlığı yüksek olan numunelerde ses hızı daha yüksek çıkmıştır. Fakat böyle bir genelleme kompozit yapısından dolayı lamine numuneler için geçerli değildir. Ladin lamine numunelerde ses geçiş hızında diğer deneylerde olduğu gibi lamellerin dizilişi, yapısı daha etkili olmaktadır. Masif ladin numunelerin ultra-ses hızı deney sonuçlarına bakıldığında beklenilenin aksine birim hacim ağırlığı yüksek olan masif meşeye kıyasla masif ladin numunelerde ses hızı değeri daha yüksektir. Bu durum malzemenin hücre yapısı ile açıklanabilir. Hücre yapıları farklılık göstermektedir. Masif ladin yumuşak bir ağaç türü olmasına rağmen masif meşe sert bir ağaç türüdür.

- Dokuz lamelli lamine ladin D kodlu ve dört lamelli lamine ladin E kodlu numunelerin sıcaklık artışına bağlı olarak basınç dayanımı-ses hızı ilişkisine bakıldığında numunelerin basınç dayanımında anlamlı bir fark olmamasına rağmen E kodlu numunelerin ses-hızının daha yüksek olduğu görülmüştür. D kodlu dokuz lamelli numunelerde daha fazla tutkal hattı olması nedeni ile ses hızının daha düşük olabileceği düşünülmüştür. Bazı numuneler için ses geçiş hızı oldukça düşük çıkmıştır. Bu tür numunelerin kesitinde budak ya da çatlak olabileceği tahmin edilmiştir. Ayrıca dokuz lamelli lamine ladin D kodlu ve dört lamelli lamine ladin E kodlu numunelerde sıcaklık artışına bağlı olarak elastisite modülü değeri artışı ile ses geçiş hızında da artış gözlenmiştir.

- Sıcaklık-dayanım deney sonuçlarına göre 20C°, 50C°, 75C° ve 100C°'de bekletilen dört lamelli numunelerin sıcaklık artışına bağlı olarak liflere dik eğilme dayanımı değerlerinde azalma görülürken dokuz lamelli numunelerde önce azalma daha sonra artış gözlenmiştir. Dokuz lamelli numuneler için tutkalın belirlenen sıcaklık artışına kadar bir rijitlik kazandığı sonucuna varılabilir. Masif ladin numunelerin boyuna yönde liflere dik eğilme dayanımında ciddi bir değişim söz konusu olmamasına rağmen lamine ahşap numuneler kompozit bir malzeme olduğu için sıcaklık etkisi ile her bir lamel farklı bir davranış göstermiştir. Dört lamelli lamine ladin numunelerde sıcaklık artışına bağlı olarak oluşan iç gerilmelerin etkisi ile liflere dik basınç mukavemetinde önce bir miktar artış daha sonra azalma gözlenirken, dokuz lamelli lamine ladin numunelerin liflere dik basınç mukavemetinde sıcaklık artışına bağlı olarak artış gözlenmiştir. Dört lamelli lamine ladin numunelerin ve dokuz lamelli lamine ladin numunelerin, liflere paralel basınç mukavemetinde sıcaklık artışına paralel bir artış söz konusudur. Sıcaklık etkisi ile budak olan numunelerde budakların ayrıştığı hatta bazılarında düştüğü gözlenmiştir. Sıcaklık artışına paralel malzemelerde dönme etkisi meydana gelmiştir. Masif ladin numuneler bir bütün halinde dönme davranışı gösterirken lamine numuneler düzensiz dönme davranışı göstermişlerdir.

- Tutkalda kayma deneyi sonuçlarına bakıldığında sıcaklık artışının tutkalda kayma dayanımını yüzde elli oranında düşürdüğü sonucu elde edilmiştir. Sıcaklık artışı malzemede de dönme etkisine neden olmuş bunun sonucunda da kopmalar daha çabuk olmuştur. Tutkalın yüksek sıcaklıktan olumsuz etkilendiği kopmaların sıklıkla tutkal kısmından ve gevrek bir kırılma şeklinde olduğu gözlenmiştir.

- Aderans deney sonuçlarına bakıldığında, en yüksek aderans dayanım değeri, lifleri yük yönüne paralel olan ahşap numunelerin epoksi ile lifleri yük yönüne paralel olan ahşap yüzeye yapıştırıldığı deney düzeneğinde elde edilmiştir. Melamin üre formaldehit tutkalının kullanıldığı aderans deney düzeneklerinde en yüksek değer, lifleri yük yönüne dik olan ahşap numune ile lifleri yük yönüne paralel ahşap yapışma yüzeyi arasında elde edilmiştir. En düşük aderans dayanım değeri ise lifleri yük yönüne dik numune ile lifleri yük yönüne dik olan yüzey arasında görülmüştür. Yapı malzemesi olarak lamine ahşabın kendinden beklenen performansı karşılaması için laminasyon işlemi sırasında kullanılan tutkalla lameller arasında oluşacak aderans büyük önem kazanmaktadır. Deney sonuçlarına bakıldığında lamellerin lif yönleri güçlü bir aderans dayanımı elde etmek için önemlidir. İleride yapılabilecek başka bir çalışmada ilgili standartlar araştırılarak farklı lif yönlerindeki lameller ile oluşturulabilecek lamine numunelerle aderans deneylerinin tekrar edilmesi ve uygun alternatifler ortaya koyulabilmesi lamine ahşap mühendisliği için faydalı olacaktır.

- Ahşap ve lamine ahşabın durabilitesinin ve mekanik özelliklerine ortam şartlarının etkisinin incelendiği bu çalışmaya paralel olarak elde edilen sonuçlara bakıldığında gelecekte yapılacak bilimsel çalışmalarla ilgili birkaç öneri elde edilmiştir. Bu çalışmada gözardı edilen lamine numunelerdeki lamellerin geometrik dizilişinin aksine bir sonraki çalışmada kontrollü geometrik dizilişle üretilen aynı tip lamine örnekler için farklı lamel sayısındaki numunelerle ıslanma-kuruma, elastisite modülü tayini deneyi, sıcaklığa dayanıklılık ilişkisi, ultra-ses tayini deneyleri yapılması önerilmektedir.

- Malzemenin dayanım ve rijitlik özellikleri radyal ve teğetsel yönde farklılık gösterir. Yapılan literatür çalışmalarında, mühendislik anlamında glulam üretiminde lameller arasında teğetsel ve radyal yön diye bir ayırım yapılmamıştır. Liflere dik ve liflere paralel olarak bir ayırımdan söz edilmektedir. Radyal ve teğetsel yöndeki farklı davranışlar lamine numunelerde ya da yapısal anlamda lamine elemanlarda yükleme boyunca düzenli olmayan tam da hesaplanamayan gerilme dağılımına neden olmaktadır. Bu nedenle düzgün olmayan bu gerilme dağılımlarını minimize etmek için farklı kombinasyonlarla radyal ve teğetsel laminasyon çalışmaları yaparak en uygun lamel düzeni optimizasyonu alternatiflerini ortaya koyabilmek uygun olacaktır. Diğer bir ifade ile, ahşabın radyal, teğetsel ve boyuna olmak üzere üç farklı yönü olduğu düşünülürse laminasyon sırasında lamellerin ahşabın hangi yönünden kullanıldığı, bir araya

geliş sıraları gibi detaylar ilgili standartlara bağlı kalınarak planlanmalı ve bu doğrultuda üretilen numunelerle kıyas yapılma yöntemine gidilmesi de faydalı bir çalışma olacaktır.

- Bu çalışmada lamine numunelerin dayanıklılığı ve dayanımı ladin ağacı için farklı lamel sayısına göre kıyaslanmıştır. Kontrollü laminasyon işlemi ile farklı ağaç türleri ile üretilmiş lamine numuneler için de durabilite deneyleri yapılması uygun olacaktır.

- Yapılan ıslanma-kuruma ve şişme-büzülme deneylerinde lamine numunelerde özellikle lamellerin sahip olduğu yapısal özellikler ve lamellerin ait olduğu ahşap yönleri sonuçlarda etkili olmuştur. Ortalama gerilmelerden ziyade oluşan yerel gerilmeler numunelerin dayanım ve dayanıklılık değerlerini etkilemiştir. Bu nedenle lamellerin yapısal özellikleri ve ahşaba ait oldukları kısımlar sonuçları yorumlarken etkili olmuştur. Yapılacak bir sonraki çalışmada farklı yapıdaki lamelllerle elde edilen lamine numunelerdeki ortalama gerilmelerden ziyade yerel gerilmelerin tespiti üzerine gidilmesi oluşabilecek hasarın önceden tahmin edilmesi ve önlem alınması açısından faydalı olacaktır.



REFERANSLAR

- Abrahamsen, R.B., Malo, K.A.** (2014). Structural design and assembly of “Treet”- A14- storey timber residential building in Norway. In: Proceedings of the World Conference on Timber Engineering (WCTE 2014), Quebec City, Canada.
- Aguilera, A., Davim, J. P.** (2013). Research Developments in Wood Engineering and Technology, United States of America, Engineering Science Reference.
- Ahşap Yapılarda Koruma ve Onarım Sempozyumu II.2013.** İ.B.B İmar ve Şehircilik Bakanlığı, Aralık .
- Ahşap Yapılarda Koruma ve Onarım Sempozyumu Bildiri Kitabı. 2012.** İ.B.B. İmar ve Şehircilik Bakanlığı, Ekim.
- AITC 117** (2004). Standard Specifications for Structural Glued Laminated Timber of Softwood Species. American Institute of Timber Construction.
- Aicher, S., Dill-Langer, G.** (2005). Effect of lamination anisotropy and lay up in glued laminated timber. Journal of Structural Engineering, 131, 1095-1103.
- Aicher S., Dill Langer G.** (1997). Climate induced stresses perpendicular to the grain in glulam. Otto-Graf-Journal 8: 209-231.
- Aicher, S., Dill-Langer, G., Ranta- Maunus, A.** (1998). Duration of load effect in tension perpendicular to the grain of glulam in different climates. Holz als Rohund Werkstoff 56 (5): 295-305.
- Aicher, S., Reinhardt, H. W., Garrecht, H.** (2013). Materials and Joints in Timber Structures Recent Developments of Technology, RILEM Bookseries, Springer, Germany.
- Altınok, M.** (2003). Lamine ahşapta katman teşekkülünün mekanik performansa etkilerinin belirlenmesi. G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 16, 217-224.
- Angst, V.** (2012). Moisture Induced Stresses in Glulam; Effect of Cross Section Geometry and Screw Reinforcement. Norwegian University of Science and Technology Faculty of Engineering Science and Technology Department of Structural Engineering. Norway.
- Angst, V., Malo, K. A.** (2012). The effect of climate variations on glulam –an experimental study. European Journal of Wood and Wood Products, 70(5), 603-613.
- Angst, V., Malo, K. A.** (2010). Moisture Induced Stresses Perpendicular to the Grain Glulam: Review and Evaluation of the Relative Importance of Models and Parameters. Department of Structural Engineering, NTNU Norwegian University of Science and Technology. Holzforschung, 64(5), 609-617.

- Ansell, M.P.** (2015). Wood Composites. Woodhead Publishing Series, Number 54, UK.
- Anshari, B., Guan, Z., W., Kitamori, A., Jung, K., Komatsu, K.** (2012). Structural behaviour of glued laminated timber beams pre-stressed by compressed wood, construction and building materials. Elsevier, 29, 24,32.
- Astrup, T., Clorius, C. O., Damkilde, L., Hoyfmeyer, P.** (2006). Size effect of glulam beams in tension perpendicular to grain. Wood Science Technology, 41, 361-372.
- Ayarkwa, J., Hirashima, Y., Sasaki, Y., Yamasaki, M.** (2000). Influence of finger – joint geometry and end pressure on tensile properties of three finger-jointed tropical African hardwoods. South. Africa Forest Journal, 188, 37-49.
- Bainbridge, R. J., Mettem, C.J.** (1998). A review of moment- resistant structural timber connections. Structural Buildings, 128(4), 323-331.
- Bangash, M., Y., H.** (2009). Structural Detailing in Timber, Whittles Publishing Limited, Scotland.
- Benham, C., Holland, C., Enjily, V.** (2003). Guide to machine strength grading of timber. BRE Centre for Timber technology and Construction Digest 476, 12.
- Berkel, A.** (1970). Ağaç Malzeme Teknolojisi, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, İstanbul.
- Boran, S. Usta, M.** (2010). Odun esaslı panellerde açığa çıkan formaldehit ve formaldehit sınırları hakkında bilgiler. K.T.Ü. Orman Fakültesi, Lif ve Kağıt Teknolojisi, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs, Cilt:V, s: 1968-1975.
- Botannini L. F.** (2011). Wood: Types, Properties, and Uses. Environmental Science, Engineering and Technology Series. Nova science publishers, New York.
- Bozkurt, Y.** (1988). Ağaç Teknolojisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Brander, R.; Gattering, W.; Schickhofer, G.** (2012). Determination of shear strength of structural and glued laminated timber. Graz University of Technology, Institute of Timber Engineering and Wood Technology, Competence Center.
- Brandner R., Schickhofer G.** (2014). Spatial correlation of tensile perpendicular to grain properties in Norway spruce timber. Wood Science and Technology, Springer, 48, 337-352.
- Breyer, D. E., Fridley, K. J., Cobein, K. E., Pollock, D. G.** (2005). Design of Wood Structures, ASS/LRFD. United States of America: McGraw-Hill.
- Broughton, J., G., Hutchinson, A., R.** (2000). Adhesive systems for structural connections in timber. International, Journal of Adhesion&Adhesives 21, 177-186.
- BS EN 14080** (2013). Timber Structures – Glued Laminated Timber and Glued Solid Timber – Requirements. British Standards Institution.

- BS EN 14081-1** (2011). Timber Structures – Strength Graded Structural Timber with Rectangular Cross Section – Part 1: General Requirements. British Standards Institution.
- BS EN 14081-2** (2012). Timber Structures- Strength Graded Structural Timber with Rectangular Cross Section- Part 2: Machine Grading: Additional Requirements for Initial Type Testing. British Standards Institution.
- Bustos, C., Beauregard, R., Mohammad, M., Hernandez, R.E.**(2003). Structural performance of finger-jointed black spruce lumber with different joint configurations. *Forest Products Journal*, 53 (9), 72-76.
- Case study: The Richmond Olympic Oval.** (2010). Canadian Wood Council.Retrieved 30 February 2017, from http://cwc.ca/wp-content/uploads/publications-casestudy-RichmondOval_hi-res.pdf.
- Candar, Y. B.** (1998). Tutkallı Ahşabın Mimari Mekan Strüktürüne Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Chans, D.O., Cimadevilla, J. E., Gutierrez, E. M.** (2008).Glued joints in hardwood timber. *International Journal of Adhesion&Adhesives*, 28(8), 457-463.
- Desch, H. E. Dinwoodie, J. M.** (1996).Timber: Structure, Properties, Conversion and Use. 7th Edition, Macmillan Press, London.
- DIN 1052** (2004). Design of Timber Structures- General Rules and Rules for Buildings. Alıntı, <http://kutuphane.itu.edu.tr>
- DIN 53253** (1964). Testing of Wood Adhesives and Glued Wood Joints- Tensile Test for Determining The Failing Strength of Scarf Joints. Alıntı, <http://kutuphane.itu.edu.tr/>
- Drake G., Berry M., Schroeder, D.** (2015). Effect of cold temperatures on the shear behaviour of glued laminated beams. *Cold Regions Science and Technology* 112, 45-50.
- Duman, N.** (1964). Tutkallı Ahşap Yapılar, Yenilik Basımevi, İstanbul.
- Dunky, M., Pizzi A.** (2002). Wood adhesives. *Adhesion Science and Engineering*, Volume 1, 1039-1103.
- Ekholm, K., Nilsson, P., Johansson, E.** (2013). Case study of the longest single span timber bridge for highway loads in Sweden. In: *International Conference on Timber Bridges*, Lasvegas, NV, USA.
- Erşen, N.** (1964). Tutkallı Taşıyıcı Ahşap Yapı Elemanları, İstanbul.
- Falk, R.H., Solli, K.H., Aasheim, E.** (1992). The performance of glued laminated beams manufactured from machine stress graded Norwegian spruce, Report No.77. The Norwegian Institute of Wood Technology, Oslo, Norway.
- Fragiacomo, M., Fortino, S., Tononi, D., Usardi, I., Toratti, T.** (2011). Moisture induced stresses perpendicular to grain in cross-section of timber members exposed to different climates. *Science Direct Journal*, 33(11), 3071-3078.
- Franke, B., Scharmacher, F., Müller, A.** (2014). Assessment of the Glue-Line Quality in Glued Laminated Timber Structures. *Bern Universtiy of Applied Sciences, Architecture, Wood and Civil Engineering, Materials and Joints in Timber Structures*, RILEM Bookseries 9, Switzerland.

- Franke S., Franke B., Harte A. M.** (2015). Failure modes and reinforcement techniques for timber beams- state of the art, *Construction and Building Materials*, 97, 2-13.
- Frese, M., Blass, H. J.** (2009). Bending Strength of Spruce Glulam. *European Journal of Wood and Wood Products*, 67(3), 277-286.
- Frese M., Blass H. J.** (2007). Failure analysis on timber structures in Germany- a contribution to COST action E55. Paper presented at the First Workshop May 2007, Graz University of Technology, Austria.
- Frese, M., Camberg, M. E., Blass, H. J., Glos, P.**(2012). Compressive Strength of Spruce Glulam. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70(6), 801-809.
- Gereke, T., Niemz, P.** (2010). Moisture-induced stresses in spruce cross-laminates. *Engineering Structures*, 32(2), 600-606.
- Glass S. V., Zelinka S.L.** (2010). Moisture Relations and Physical Properties of Wood. *Wood Handbook – Wood as an Engineering Material*. Forest Products Laboratory, Department of Agriculture, Forest Service, Madison, Wisconsin.
- Glulam handbook** (2003). Svenskt Limtra AB, Stockholm. Retrieved at October 2016 from <http://www.svensktlimtra.se/en/signin/signin.asp>.
- Gustafsson, P. J.** (2003). Fracture perpendicular to grain – structural applications. In: *Timber engineering*. Thelandersson S, Larsen HJ(eds), John Wiley&Sons Ltd, Chichester, England, pp 103-130.
- Güler, S. G.** (2011). Ahşabın Yaşam Döngüsü Çerçevesinde Koruma ve Onarım Metotlarının Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Güngör, İ. ,H.** (1969). Ahşap Yapı Bilgisi. İ.T.Ü. Teknik Okulu Yayınları, Sayı:72, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul.
- Haglund, M.** (2010). Parameter Influence on Moisture Induced Eigen-stresses in Timber. *European Journal of Wood and Wood Products*, 68 (4), 397-406.
- Haglund, M.** (2008). Varying Moisture Content and Eigen-stresses in Timber Elements. *Wood Material Science &Engineering*, 3, 38-45.
- Hansen, H. J.** (1948). *Timber Engineers' Handbook*. John Wiley and Sons, Newyork.
- Hayashi, T., Karube, M., Harada, K., Mori, T., Ohno, T., Komatsu, K., Iijima, Y.** (2002). Shear Tests of Timber Joints Composed of Composite Glulam Beams Using Newly Developed Steel Connectory. *Journal of Wood Science*, 48, 484-490,
- Hill, C.** (2006). *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*, John Wiley and Sons, England.
- Hiramatsu Y., Fujimoto, K., Miyatake, A., Shindo, K., Nagao, H., Kato, H., Ido, H.** (2011). Strength properties of glued laminated timber made from edge –glued laminae II: bending, tensile, and compressive strength of glued laminated timber. *Journal of Wood Science*, 57, 66-70.
- Hoffmeyer, P., Damkilde, L., Pedersen, T.,N.** (2000). Structural Timber and Glulam in Compression Perpendicular to Grain. *European Journal of Wood and Wood Products*, 58(1), 73-80.

- Issa, C. A., Kmeid, Z.** (2005). Advanced Wood Engineering: Glulam Beams. Construction and Building Materials, Elsevier, 19 (2), 99-106.
- Jönsson, J.** (2005). Moisture induced stresses in timber structures. PhD Thesis, Division of Structural Engineering, Lund Institute of Technology, Sweden.
- Jönsson, J., Thelandersson, S.** (2003). The Effect of Moisture Gradients on Tensile Strength Perpendicular to Grain in Glulam. European Journal of Wood and Wood Products, 61(5), 342-348.
- Karabulut, C.** (2000). Ahşap Birleşim Detayları. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karayılmazlar, S., Çabuk, Y., Atmaca, A., Aşkın, A.** (2007). Orman Ürünleri Endüstrisinde Laminasyon Tekniği ve Önemi. Z.K.Ü. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, Cilt:9, Sayı:11, 78-86.
- Kasal, A., Efe, H., Dizel, T.** (2010). Masif ve Lamine Edilmiş Ağaç Malzemelerde Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülünün Belirlenmesi. Politeknik Dergisi, 3 (13), 183-190.
- Kollmann, F. P., Cote, W. A.** (1968). Principles of Wood Science and Technology I. Solid Wood
- Kollmann, F. P., Kuenzi, E. W., Stamm, A. J.** (1975). Principles of Wood Science and Technology II. Wood-Based Materials. Berlin.
- Kowalski, S.J., Musielak, G.** (1999). Deformations and Stresses in Dried Wood. Transport in Porous Media, 34 (1). 239-248.
- Lebow, S. T.** (2010). Wood Preservation. In: Wood Handbook- Wood as an Engineering Material (Centennial ed.). Forest Products Laboratory, Department of Agriculture, Forest Service, madison, Wisconsin.
- Martensson, A., Svensson, S.** (1997). Stress-Strain Relationship of Drying Wood. Holzfurachung, 51, 565-570.
- McKenzie, W. M. C., Zhang, B.** (2007). Design of Structural Timber to Eurocode 5. Macmillan, Palgrave.
- Milner H.R., Woodard A.C.** (2016). Sustainability of construction materials, Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering: Number 70, Elsevier.
- Moody, R.C., Hernandez, R., Liu, J.Y.** (1999). Glued structural members. In: Wood Handbook- Wood as an Engineering Material General Technical Report. United States Department of Agriculture, Forest Products Laboratory, (pp. 11-1-11-24), Madison.
- Neuenschwander, J., Sanabria, S.J., Schuetz, P., Widmann, R., Vogel, M.** (2013). Delamination detection in a 90-years old glulam block with scanning dry point-contact ultrasound. Holzforschung, 67 (8), 949-957.
- Nicollier, V. A.** (2012). Moisture Induced Stresses İn Glulam. Thesis for the degree of Philosophiae Doctor, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- Odabaşı, Y.** (1971). Yapı Malzemesi Olarak Kavak Ağacının Özellikleri ve Emniyet Dayanımları Üzerinde Araştırmalar. (Doktora tezi). İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi, İstanbul.

- Öztürk, R. B., Arıoğlu, N.** (2006). Türk Sarıçamından Lamine Ahşap Kirişlerin Mekanik Özellikleri, itü dergisi/a, cilt:5, sayı:2, 25-36.
- Pecenko, R., Hozjan, T., Pazlar, T., Turk, G.** (2012). Experimental and Numerical Analysis of the Long Term Behaviour of Glued Laminated Timber. The Eight International Conference on Engineering Computational Technology, Scotland, paper 20.
- Pousette, A.; Ekevad, M.** (2013). Shear Resistance of Glulam Beams with Cracks, Technical Research Institute of Sweden. Erişim 15 Mayıs 2016, <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1003336/FULLTEXT01.pdf>.
- Rammer, D., R.** (1996). Shear Strength of Glued Laminated Timber Beams and Panels, Forest Products Laboratory, USDA Forest Service. Erişim, 18 Haziran-2016, www.researchgate.net/publication/268414264_Shear_Strength_of_Glued-Laminated_Timber_Beams_and_Panels.
- Restorasyon Konservasyon Dergisi.** (2014). İ.B.B., Sayı 17.
- Rowell R. M.** (2012). Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, e-book, CRC Press
- Sandberg, K., Mostolygin, K., Hagman, O.** (2013). Effect of Lamellas Annual-Ring Orientation on Cracking of Glulam Beams Investigated With Computer Tomography and Image Processing. Wood Material Science&Engineering, 8(3), 166-174.
- Serrano, E., Oscarsson, J., Sterley, M., Enquist, B.** (2014). Green glued products for structural applications. In: Aicher, S., Reinhardt, H.-W., Garrecht, H.(Eds), materials and Joints in Timber Structures. In RILEM Book Series, vol.9. Springer, pp. 45-55.
- Shmulsky R., Jones P. D.** (2011). Forest Products and Wood Science An Introduction, Sixth Edition, Wiley-Blackwell, UK.
- Siaw, J. F.** (1983). Transport Processes in Wood. Newyork: Springer-Verlag.
- Skaar, C.** (1988). Wood- water Relations. Newyork: Springer-Verlag.
- Srpčič, J., Srpric, S, Goran, T.** (2000). Deflections of Glulam Beams in Changing Humidity, Slovenian National Building and Civil Engineering Institute. Erişim, 10 Eylül 2016, <http://timber.ce.wsu.edu/Resources/papers/3-3-2.pdf>.
- Stalnaker J. J., Harris E. C.** (1997). Structural Design in Wood, VNR Structural Engineering Series, Springer Science.
- Stenley, M., Serrano, E., Enquist, B., Hornatowska, J.** (2014). Finger jointing of freshly sawn Norway Spruce side boards – a comparative study of fracture properties of joints glued with phenol-resorcinol and one component polyurethane adhesive. In Aicher, S., Reinhardt, H.-W., Garrecht, H. (eds), Materials and Joints in Timber Structures. In RILEM Book Series, vol. 9. , pp. 325-339.
- Svensson S., Toratti T.** (2002). Mechanical response of wood perpendicular to grain when subjected to changes of humidity. Wood Science and Technology, Volume 36, Issue 2, pp 145-156.

- Teder, M., Wang, X.** (2013). Nondestructive evaluation of a 75 years old glulam arch. Proceedings of 18th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, General Technical Report FPL-GTR-226. Us Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI, pp. 624-632.
- Topçu, M., C.** (1984). Tutkallı Ahşap Kirişlerin Taşıma Gücünün Deneysel İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tran, V.D., Oudjene, M., Meausoone, P.J.** (2014). FE analysis and geometrical optimization of timber beech finger-joint under bending test. Int. J. Adhes, 52, 40-47.
- TS EN 386 (2006).** Yapıştırılmış lamine ahşap-performans ve asgari imalat şartları. Alıntı, <http://kutuphane.itu.edu.tr>
- TS EN 408 (2011).** Ahşap Yapılar- Yapı kerestesi ve tutkallanmış lamine kereste-Bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayini. Alıntı, <http://kutuphane.itu.edu.tr>
- TS EN 12086 (2014).** Isı yalıtım malzemeleri- Binalar için su buharı geçirgenlik özelliklerinin tayini. Alıntı, <http://kutuphane.itu.edu.tr/>
- TS EN 14080 (2013).** Ahşap Yapılar- Tutkallı lamine kereste- Gerekler. Alıntı, <http://kutuphane.itu.edu.tr>
- Tsoumis, G.** (1991). Science and Technology of Wood: Structure, Properties, Utilization, Van Nostrand Reinhold, Newyork.
- Türkmen, A.** (1960). Ahşap Yapılar, Cilt:1-2, İ.T.Ü. Kütüphanesi, Gümüşsuyu, İstanbul.
- Türkmen, A.** (1954). Ahşap Yapılar, Köprülerin Genel Esasları- Ahşap Yapı Elemanları, Ahşap Köprüler ve Ahşap Yüksek Yapılar, İ.T.Ü. Matbaası.
- Url-1** <<http://www.astorialuzern.ch> >, erişim tarihi 20.06.2016.
- Url-2** <<http://www.knn13.livejournal.com> >, erişim tarihi 18.05.2015.
- Url-3** <<http://www.britannica.com/plant/tree/Tree-structure-and-growth> >, erişim tarihi 12.09.2016.
- Url-4** <<http://www.hindavi.com/journals/mbi/2013/974324/fig1/> >, erişim tarihi 16.02.2016.
- Url-5** <<http://www.amusingplanet.com/2013/11/leonardo-da-vinci-golden-horn-bridge.html> >, erişim tarihi 11.07.2016.
- Url-6** <<http://www.lehighhansoncanada.com/projects/richmond-olympic-oval> >, erişim tarihi 09.10.2016.
- Url-7** <http://en.wikipedia.org/wiki/Glued_laminated_timber >, erişim tarihi 15.05.2015.
- Url-8** <<http://www.glulam.co.uk/maintenance.repair.htm> >, erişim tarihi 12.12.2016.
- Vanya, C., Nauk, D., Komunik, D.** (2012). Damage Problems in Glued Laminated Timber, Vol:55, Nr:188.
- Virta, J., Koponen, S., Absetz, I.** (2006). Measurement of Swelling Stresses in Spruce Samples. Building and Environment, 41, 1014-1018.

- Vrazel, M., Sellers, T.** (2004). The effects of species, adhesive type, and cure temperature on the strength and durability of a structural finger-joint. *Forest Products of Journal*, 54(3), 66-75.
- Wang S. Y., Chen T. Y., Fann J., D.** (1999). Comparison of internal bond strength and compression shear strength of wood based materials. *Journal of Wood Science*, Volume 45, Issue 5, pp 396-401.
- Welling, J.** (2010). Dried timber-how to specify correctly. European science foundation. Erişim 12 Eylöl 2016, www.timberdry.net
- Wood Structural Design Data.** (1986). American Forest & Paper Association. Erişim, 8 Kasım 2016, <http://www.awc.org/pdf/codes-standards/publications/wsdd/AWC-WSDD1986-ViewOnly-0301.pdf>.
- Zabel R. A., Morrell, J., J.** (1992). *Wood Microbiology (Decay and Its Prevention)*. Academic Press, London.



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Tuğba Gülfem KAYA
Doğum Tarihi ve Yeri : 20/05/1979 Vakfıkebir/Trabzon
E-posta : gulfemkaya@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2002, İ.T.Ü., Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü
- **Yükseklisans** : 2006, İ.T.Ü, Mimarlık Fakültesi, Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2002 lisans mezuniyetinin ardından çeşitli firmalarda mimarlık üzerine çalıştı.
- 2006 yılında Suyun ‘Yapı Hasarları Üzerindeki Etkisi ve Hasarların Giderilme Yolları’ başlıklı tezi yayınlamıştır.
- 2007 yılında kendi firmasını kurdu. Halen sahip olduğu ahşap atölyesinde serbest piyasa için, proje bazlı imalatlar yapmaktadır.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Kaya, T. G., Karagüler, M. E.** (2017). The Effect of Relative Humidity and Moisture to the Durability of Spruce and Laminated Timber. AZ ITU Journal, 14, 103-110.

