



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AHŞAP ELEMANLARDA NEM ETKİSİNİN GELİŞTİRİLEN CİHAZ
YARDIMIYLA BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Mustafa Emin TOPRAKCI

DANIŞMAN

Prof. Dr. Ali URAL

AKSARAY, 2025

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 192357402 numaralı Doktora öğrencisi Mustafa Emin TOPRAKCI tarafından hazırlanan “**AHŞAP ELEMANLARDA NEM ETKİSİNİN GELİŞTİRİLEN CİHAZ YARDIMIYLA BELİRLENMESİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ali URAL

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Üye: Prof. Dr. Mehmet Emin KARA

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Üye: Prof. Dr. Ersin AYDIN

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Üye: Prof. Dr. Fatih Kürşat FIRAT

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Üye: Prof. Dr. Tayfun DEDE

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Tez Savunma Tarihi: 11/06/2025

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Fazliye KARABÖRK

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Doktora tezi olarak sunduđum bu çalıřmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı dűşecek bir yol ve yardıma bařvurmaksızın yazdıđımı, yararlandıđım eserlerin kaynakçada gűsterilenlerden oluřtuđunu, çalıřmamda kullandıđım verilerin orijinalliđini ve her tűrlű intihalden uzak olduđunu beyan ederim.

Enstitű tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tűm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Mustafa Emin TOPRAKCI

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren danışmanım Prof. Dr. Ali URAL'a, değerli yorumları ve katkılarıyla tez çalışmama yön veren tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Mehmet Emin KARA ve Prof. Dr. Ersin AYDIN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatıma girdiği günden beri bana hep inanan ve destekleyen sevgili eşim Zehra TOPRAKCI'ya, hayatımın her anında bana destek olan ve yol gösteren babam Orhan TOPRAKCI ve kardeşim Ali Osman TOPRAKCI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı sevgili babam Orhan TOPRAKCI'ya ithaf ediyorum.

Mustafa Emin TOPRAKCI
AKSARAY, 2025

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Ahşap Elemanların Fiziksel Özellikleri	6
1.2 Ahşap Elemanların Mekanik Özellikleri	10
1.3 Ahşap Elemanların Avantaj ve Dezavantajları	13
1.4 Ahşap Elemanların Sınıflandırılması.....	14
1.5 Çalışmanın Amacı ve Hedefleri	15
1.6 Tez İçeriği	16
2. LİTERATÜR TARAMASI	18
2.1 Ahşap Elemanların Yapısal Davranışları	18
2.2 Ahşap Elemanların Mekanik Özellikleri	26
2.3 Ahşap Elemanlarda Nemin Etkileri	42
3. MALZEME VE YÖNTEM	50
3.1 Arduino ile Ahşap Nemölçer Cihazı Tasarlanması	50
3.1.1 Ahşap nemölçer cihazının donanımsal olarak oluşturulması.....	51
3.1.2 Ahşap nemölçer cihazı için yazılım oluşturulması	55
3.2 Ahşabın Farklı Nem Oranlarındaki Fiziksel Özelliklerinin Tespiti	60
3.3 Ahşabın Farklı Nem Oranlarındaki Mekanik Özelliklerinin Tespiti	62
3.3.1 Ahşap elemanların basınç dayanım çalışmaları.....	62
3.3.2 Ahşap elemanların eğilme dayanım çalışmaları	76
3.3.3 Ahşap elemanların mekanik deney sonuçları karşılaştırılması.....	91
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	95
4.1 Tasarlanan Ahşap Nemölçer Cihazının Diğer Cihazlarla Karşılaştırılması	95
4.2 Ahşap Elemanların İçerdiği Neme Göre Yoğunluk Tespit Çalışmaları	98
4.3 Ahşap Elemanların İçerdiği Neme Göre Basınç Dayanım Çalışmaları	99
4.4 Ahşap Elamanların İçerdiği Neme Göre Eğilme Dayanım Çalışmaları.....	103
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	109
KAYNAKLAR.....	112
EKLER.....	123
EK A. Arduino Tabanlı Nemölçer Cihazı Yazılımı	124
ÖZGEÇMİŞ.....	141

DOKTORA TEZİ

AHŞAP ELEMANLARDA NEM ETKİSİNİN GELİŞTİRİLEN CİHAZ YARDIMIYLA BELİRLENMESİ

Mustafa Emin TOPRAKCI

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Ali URAL

ÖZET

Ahşap elemanların nem ile ilişkileri ekonomik ve teknik açıdan önem arz etmektedir. Çünkü ahşap elemanların nem oranı değişimiyle, özellikle işlenme özellikleri ve mekanik davranışları gibi önemli yapısal davranışları değişiklik göstermektedir. Ahşap malzemelerde nem miktarının tespiti, eskiden beri kullanılan kurutma yöntemlerinin yanında artık dijital nemölçerler ile yapılmaktadır. Ahşapta nem ölçümünde kullanılan bu tip cihazlar genel olarak yurt dışından ithal edilmekle birlikte, fiziki ve teknik yapı eksikliklerinden dolayı kısıtlı özelliklere sahip olmaktadır. Ayrıca yurtdışından dövizle alındığı için yüksek maliyete sahiptirler. Ahşapta nem ölçümünde maliyeti düşürmek, aynı zamanda yerli ve milli ahşap nemölçerinin üretilmesinde yeni bir öneri oluşturmak amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Ahşaptaki nem ölçümünde, otomasyon sistemi tasarımlarında sıklıkla tercih edilen ve aynı zamanda ekonomik çözüm üretimine elverişli olan Arduino sistem tercih edilmiştir. Tasarlanan cihaz ile farklı tür ahşaplardan alınan nem ölçüm değerleri, piyasada mevcut cihazların nem ölçüm değerleri ile karşılaştırılmış ve grafikler üzerinde gösterilmiştir. Tasarlanan nemölçer cihazı ile kavak ve çam türü ağaçlardan elde edilen numuneler üzerinde ölçümler yapılarak, numunelerin içerdikleri nem oranlarının mekanik ve yapısal davranışlarına etkileri deneysel çalışmalarla araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar daha önce yapılan çalışma sonuçları ile karşılaştırılarak tablo ve grafiklerle sunulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda, ahşap elemanlardaki nem durumunun irdelenmesi ve nem ölçümü ile ilgili yerli ve milli imkanlar dahilinde cihaz prototipinin oluşturulması sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ahşap, Nem, Nemölçer, Kavak ve Çam, Ahşabın Mekanik Özellikleri.

Haziran, 2025; 141 sayfa

PhD. THESIS

DETERMINATION OF MOISTURE EFFECT ON WOODEN ELEMENTS WITH THE HELP OF THE DEVELOPED DEVICE

Mustafa Emin TOPRAKCI

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Ali URAL

ABSTRACT

The relationship of wooden elements with moisture is of economic and technical importance. This is because important structural behaviours of wooden elements, especially processing properties and mechanical behaviour, change with changes in moisture content. The determination of the moisture content in wood materials is now done with digital moisture meters in addition to the drying methods used in the past. This type of devices used in wood moisture measurement are generally imported from abroad, but they have limited features due to their physical and technical structure deficiencies. In addition, they have high costs as they are purchased from abroad in foreign currency. This study was carried out in order to reduce the cost of moisture measurement in wood and at the same time to create a new proposal for the production of domestic and national wood moisture meter. Arduino system, which is frequently preferred in automation system designs and is also suitable for the production of economic solutions, was preferred for moisture measurement in wood. The moisture measurement values obtained from different types of wood with the designed device were compared with the moisture measurement values of the devices available in the market and shown on graphs. With the designed moisture meter device, measurements were made on the samples obtained from poplar and pine trees and the effects of the moisture content of the samples on their mechanical and structural behaviours were investigated by experimental studies. The results obtained were compared with the results of previous studies and presented in tables and graphs. As a result of the studies carried out, it was ensured that the moisture condition of the wooden elements was examined and a prototype of the device was created within the scope of domestic and national facilities related to moisture measurement.

Keywords: Wood, Moisture, Moisture Meter, Poplar and Pine, Mechanical Properties of Wood.

June, 2025; 141 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Truva atı replikası (URL-1)	1
Şekil 1.2.	İsviçre Luzern Chapel Köprüsü (URL-2)	2
Şekil 1.3.	Bilim ve Yenilik Küresi, İsviçre (URL-3)	3
Şekil 1.4.	Mjostarnet Yapısı, Norveç (URL-4)	3
Şekil 1.5.	Ahşap malzemenin yapı eksenleri (Hunt ve Gu, 2004).....	4
Şekil 1.6.	Ağacın iç yapısı (URL-5)	5
Şekil 1.7.	Ahşap malzemenin nem içeriğinin etkisi (Dietsch vd., 2015).....	7
Şekil 1.8.	Nem etkisi altında ahşapta oluşan şekil değiştirmeler (Godonou, 2022) ..	11
Şekil 3.1.	Arduino uno kartı (URL-7).....	51
Şekil 3.2.	Arduino nem sensörü bağlantı şeması (URL-7).	53
Şekil 3.3.	Arduino tabanlı nemölçer cihazı ilk durumu	54
Şekil 3.4.	Arduino tabanlı nemölçer cihazı son durumu.....	55
Şekil 3.5.	Piyasadan temin edilen farklı nemölçer cihazları.....	56
Şekil 3.6.	Çam numuneye ait nemölçer kalibrasyon grafiği.....	57
Şekil 3.7.	Kavak numuneye ait nemölçer kalibrasyon grafiği.	58
Şekil 3.8.	Meşe numuneye ait nemölçer kalibrasyon grafiği.....	58
Şekil 3.9.	Ceviz numuneye ait nemölçer kalibrasyon grafiği.	59
Şekil 3.10.	Numunelerin fiziksel özellikleri tespit çalışmaları.....	61
Şekil 3.11.	Liflere paralel basınç deney düzeneği.....	63
Şekil 3.12.	Liflere paralel yönde basınç kuvveti uygulanan cisimde meydana gelen deformasyon (Bozkurt, 1966)	64
Şekil 3.13.	Tipik bir gerilme-deformasyon eğrisi (URL-9).....	65
Şekil 3.14.	Çam numuneler liflere paralel basınç testi σ - ϵ grafiği	66
Şekil 3.15.	Suya doymuş çam numuneler liflere paralel basınç testi σ - ϵ grafiği	69
Şekil 3.16.	Kavak numuneler liflere paralel basınç testi σ - ϵ grafiği.	71
Şekil 3.17.	Suya doymuş kavak numuneler liflere paralel basınç testi σ - ϵ grafiği. ..	74
Şekil 3.18.	Dört nokta eğilme deney düzeneği	77
Şekil 3.19.	Eğilme mukavemeti ölçümü deney düzeneği (TS EN 408+A1, 2014) ...	77
Şekil 3.20.	Çam numuneler liflere dik eğilme testi P-d grafikleri	79
Şekil 3.21.	Suya doymuş çam numuneler liflere dik eğilme testi P-d grafikleri.....	83
Şekil 3.22.	Kavak numuneler liflere dik eğilme testi P-d grafikleri	85
Şekil 3.23.	Suya doymuş kavak numuneler liflere dik eğilme testi P-d grafikleri	89
Şekil 3.24.	Çam numuneler basınç σ - ϵ karşılaştırma grafiği.....	91
Şekil 3.25.	Kavak numuneler basınç σ - ϵ karşılaştırma grafiği.....	91
Şekil 3.26.	Hava kurusu çam-kavak numuneler basınç σ - ϵ karşılaştırma grafiği	92
Şekil 3.27.	Suya doymuş çam-kavak numuneler basınç σ - ϵ karşılaştırma grafiği....	92
Şekil 3.28.	Çam numuneler eğilme P-d karşılaştırma grafiği.....	93
Şekil 3.29.	Kavak numuneler eğilme P-d karşılaştırma grafiği	93
Şekil 3.30.	Hava kurusu çam-kavak numuneler eğilme P-d karşılaştırma grafiği.....	94
Şekil 3.31.	Suya doymuş çam-kavak numuneler eğilme P-d karşılaştırma grafiği....	94
Şekil 4.1.	İçerdikleri neme göre çam numuneleri Elastisite Modülü-nem grafiği.	100
Şekil 4.2.	İçerdikleri neme göre çam numuneleri basınç dayanımı-nem grafiği ...	101
Şekil 4.3.	İçerdikleri neme göre kavak numuneleri Elastisite Modülü-nem grafiği	102
Şekil 4.4.	İçerdikleri neme göre kavak numuneleri basınç dayanımı-nem grafiği	102
Şekil 4.5.	İçerdikleri neme göre çam numuneleri Elastisite Modülü-nem grafiği.	105
Şekil 4.6.	İçerdikleri neme göre çam numuneleri eğilme dayanımı-nem grafiği ..	105

Şekil 4.7. İçerdikleri neme göre kavak numuneleri Elastisite Modülü-nem grafiği	107
Şekil 4.8. İçerdikleri neme göre kavak numuneleri eğilme dayanımı-nem grafiği	107



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Liflere paralel basınç uygulanan numuneler bazı fiziksel özellikleri..	62
Çizelge 3.2.	Dört nokta eğilme deneyi numuneleri bazı fiziksel özellikleri.....	76
Çizelge 4.1.	Çam numunelere ait nem ölçüm değerleri.....	96
Çizelge 4.2.	Kavak numunelere ait nem ölçüm değerleri.....	96
Çizelge 4.3.	Ceviz numunelere ait nem ölçüm değerleri	97
Çizelge 4.4.	Meşe numunelere ait nem ölçüm değerleri.....	97
Çizelge 4.5.	Kavak numunelere ait yoğunluk değerleri.....	98
Çizelge 4.6.	Çam numunelere ait yoğunluk değerleri.....	98
Çizelge 4.7.	Çam numuneler liflere paralel basınç deney sonuçları.....	100
Çizelge 4.8.	Kavak numuneler liflere paralel basınç deney sonuçları.....	101
Çizelge 4.9.	Çam numuneler dört nokta eğilme deney sonuçları	104
Çizelge 4.10.	Kavak numuneler dört nokta eğilme deney sonuçları	106
Çizelge 4.11.	Kavak numunelere ait bazı mekanik özellik değerleri.....	108
Çizelge 4.12.	Çam numunelere ait bazı mekanik özellik değerleri	108

SİMGELER VE KISALTMALAR

AO	Analog Çıkış (Analog Output)
DIP	Çift Sıralı Paket (Dual Inline Package)
DO	Dijital Çıkış (Digital Output)
E_p	Liflere Paralel Basınç Elastisite Modülü (MPa)
E_d	Liflere Dik Eğilme Elastisite Modülü (MPa)
I	Atalet Momenti (mm ⁴)
IDE	Entegre Geliştirme Ortamı (Integrated Development Environment)
kN	Kilo Newton
KS	Kullanım Sınıfı
LCD	Sıvı Kristal Ekran (Liquid Crystal Display)
LVDT	Deplasman ölçer (Linear Variable Differential Transformer)
MPa	Megapascal (N/mm ²)
mV	Milivolt
P	Kuvvet (N)
PWM	Sinyal Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation)
Rx	Alıcı (Receiver)
SMD	Yüzeye Monte Devre Elemanları (Surface Mount Devices)
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
Tx	Verici (Transmitter)
USB	Evrensel Seri Veriyolu (Universal Serial Bus)
V	Volt
d	Deformasyon (Sehim) Miktarı (mm)
γ	Yoğunluk (g/cm ³)
ε	Birim Şekil Değiştirme Değeri
σ	Gerilme (MPa)
σ_b	Basınç Gerilmesi (MPa)
σ_e	Eğilme Gerilmesi (MPa)
σ_m	Maksimum Gerilme (MPa)

1. GİRİŞ

Ahşap malzeme insanların ısınma, barınma, ulaşım ve aydınlanma gibi çeşitli ihtiyaçlarını karşılamak için kullandığı en eski yapı malzemelerindendir. İnsanlar ilk önce ağaç kovuklarını barınma ihtiyaçlarını gidermede kullanmışlar ve zaman içinde teknik geliştirerek kütükleri üst üste yığarak yığma ve daha sonra karkas yapı sistemine geçmişlerdir. Ahşap yapılara ait en eski bulgular 476 bin yıl öncesine dayanmaktadır (Barham vd., 2023). 2019 yılında Tanzanya bölgesinde Kalambo Şelalesi çevresindeki kazılarda elde edilen bir bulgu, Taş Devri'nde yaşamış atalarımızın 476 bin yıl önce barınak inşa etmek için iki ağaç parçasını birbirine uyumlu oturacak biçimde oyduğunu gösteren bir keşif olarak ortaya çıkmıştır. Yunan mitolojisi ve edebiyatında çok önemli bir yere sahip olan M.Ö. 1179-1259 tarihleri arasında gerçekleşen Truva Savaşı'nda kullanılan Truva Atı'da Kazdağı köknarı kullanılarak imal edilmiştir. Truva atının replikası günümüzde Çanakkale il merkezinde sergilenmektedir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Truva atı replikası (URL-1).

Ahşap kaplama tekniğinin de yıllar öncesine dayanan varlığı, M.Ö. 1500 yılında Mısır Firavunu Tutankamon'un mezarında bulunan fildişi kakmalı abanoz ve sedir kaplama sandık sayesinde bilinmektedir. Endüstri devriminden öncesine ait ulaşım ile ilgili dikkat çekici bir örnek ise, İsviçre'nin Luzern şehrinde 1333 yılında yapılan ve hala var olan Chapel Bridge isimindeki ahşap köprüdür (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. İsviçre Luzern Chapel Köprüsü (URL-2).

Endüstri devrimi ile birlikte ahşap teknolojisinde gelişmeler olmuş, bu gelişmeler ışığında ahşaptan yeni kompozit malzemeler üretilmiştir. Buna örnek olarak, 1870 yılında Almanya’da ilk kez lamine ahşap plaka ve 1898 yılında İngiltere’de ilk kez ahşap lifli levha üretilmesi gösterilebilir.

Ahşap endüstrisinin gelişmesinde birinci ve ikinci dünya savaşları sırasında çeliğin özellikle silah üretiminde kullanılmak üzere piyasadan çekilmesi önemli rol oynamıştır. Savaş sanayisi sayesinde her türlü hava şartları ve neme dayanıklı yapay reçine tutkalı bulunmuştur. Ayrıca yoğunlaştırılmış ve kimyasal maddeler emdirilerek güçlendirilmiş masif ahşap yapılarda kullanılmaya başlanmıştır (Caştur, 2021).

20. yüzyılın başlarında ortaya çıkan tutkallı lamine ahşap yapısal ve estetik açıdan yapım sektöründe önemli bir rol oynamıştır. Tutkallı lamine ahşap, performans özelliklerine göre özel olarak seçilmiş ve yerleştirilmiş ve daha sonra dayanımlı, nemden etkilenmeyen bir yapıştırıcı ile birbirine bağlanmış bireysel ahşap tabakalardan oluşmaktadır. Tutkallı lamine ahşap malzeme, yatay, düşey ve eğimli elemanlar olarak tasarlanarak yapılarda yüksek yük taşıyıcı yapısal elemanlar olarak kullanılırlar (Mengeloğlu ve Kurt, 2004).

Tutkallı lamine ahşap kullanılarak inşa edilmiş yapılarla ilgili dikkat çekici örneklerden, İsviçre’de tamamen ahşaptan yapılmış 40 metre çapında 27 metre yüksekliğinde bir küre formundaki dünyanın en yüksek ahşap kubbeli yapısı Şekil

1.3'te ve Norveç'in Brumunddal kenti Mjosa'dan gölü kıyısında inşa edilen, 85,4 m yüksekliğinde dünyanın en yüksek ahşap yapısı Şekil 1.4'de sunulmuştur.



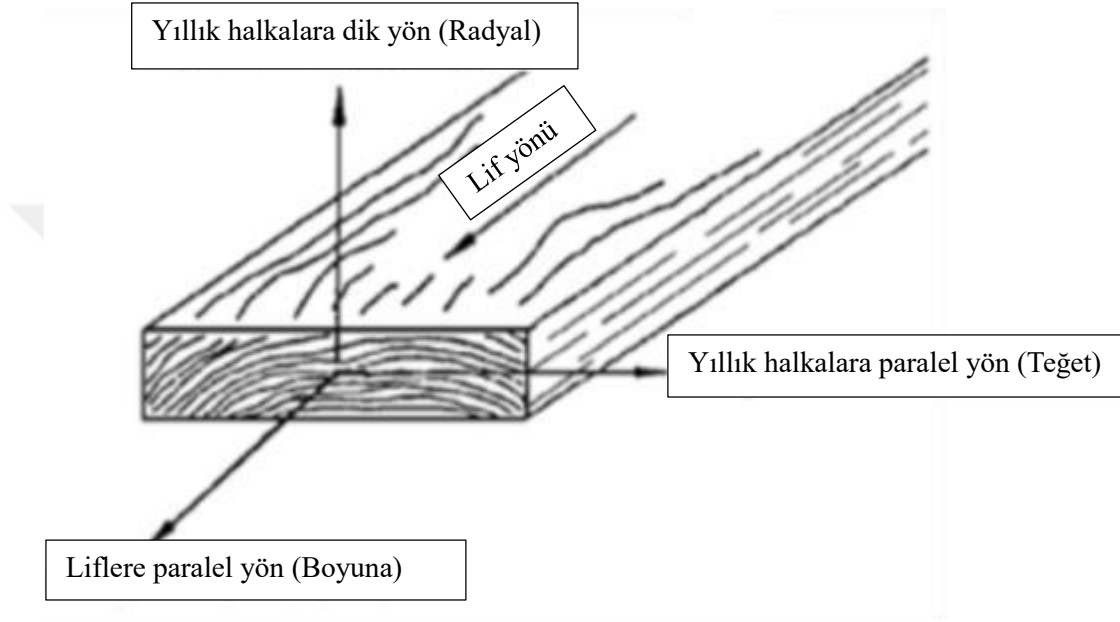
Şekil 1.3. Bilim ve Yenilik Küresi, İsviçre (URL-3).



Şekil 1.4. Mjostarnet Yapısı, Norveç (URL-4).

Gündüz vd. (2009) çalışmalarında da bahsedildiği gibi, son zamanlarda dünyada farklı endüstri alanlarında ortaya çıkan gelişmeler ışığında, orman ürünleri endüstrisinde hızlı bir değişim ve gelişme göstermiştir. Gelişmeler ışığında ahşap malzeme kullanımında oldukça büyük oranda bir artış meydana gelmiştir. Malzeme kullanımı artışı orman

varlıklarının hızla tükenmesine yol açmıştır. Bunları göz önüne aldığımızda, ahşap malzeme daha bilinçli bir şekilde kullanılmalı ve ahşabın teknik, fiziksel ve mekanik özellikleri hakkında geniş bilgilere sahip olunmalıdır. Ahşap malzemenin yapı eksenleri ile ilgili detaylar Şekil 1.5'te sunulmuştur (Hunt ve Gu, 2004).

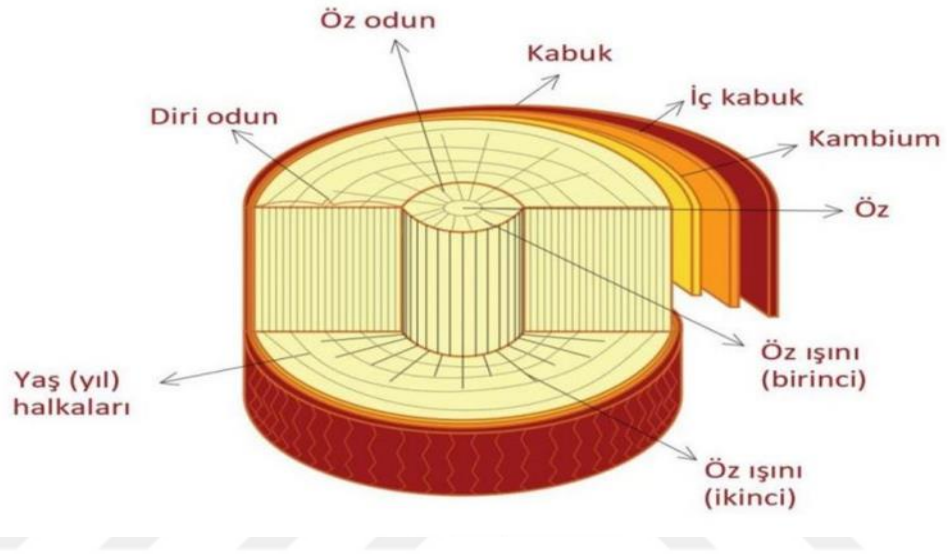


Şekil 1.5. Ahşap malzemenin yapı eksenleri (Hunt ve Gu, 2004).

Hunt ve Gu (2004) çalışmalarındaki tespitlerine göre, genellikle ahşap malzemenin elastik ve mekanik özellikleri her üç yönde farklılık göstermektedir. Özellikle yıllık halkalara dik (radyal) ve yıllık halkalara paralel (teğet) yöndeki mekanik özellikteki değişimler daha önem arz etmektedir.

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

Ahşabın hammaddesi olan ağacın en kesiti, iç içe halkalardan oluşan bir dokuya sahiptir (Şekil 1.6). Özellikle ilkbahar ve yaz aylarında oluşan bu halkalar bünyesinde birçok lif içerir. Ağaç hücreleri ince, uzun borucuklar şeklindedir ve bunlara lif denir. Kökler aracılığıyla topraktan emilen özsu bu liflerin iç boşlukları olan kanallardan geçer. Ağaç gövdesinin çap kesiti incelendiğinde, ağacın fiziki yapısı merkezden dışa doğru; öz, odun ve yıl halkaları, kambium, iç kabuk ve dış kabuktan oluşmaktadır (Herzog vd., 2003).



Şekil 1.6. Ağacın iç yapısı (URL-5).

Ahşap, heterojen ve anizotrop dokuya sahip, organik esaslı canlı bir organizma olan ağaçtan elde edilen lifli yapı malzemesi olarak tanımlanabilir. Doğası gereği değişken kimyasal, fiziksel ve mekanik yapıya sahip olan malzemenin çok sayıda kullanım yeri bulunmaktadır. Ahşabın yapı malzemesi olarak kullanılmasında en önemli etken, birim hacim ağırlığının düşük olmasına rağmen dayanımının yüksek olmasıdır. Ayrıca yenilenebilir bir enerji kaynağı olması, doğal olarak yetiştirilebilmesi ve kolaylıkla işlenebilmesi gibi birçok üstün özelliği vardır (Duman ve Ökten, 1988; Karakaş vd., 1988).

Kısaca ahşap, yerel ve kolay işlenebilir bir malzeme olarak ağacın yapılarda kullanılabilecek hale getirilmiş şeklidir. Ülkemizde de kolay bulunabilen bir malzeme olmasından dolayı, uzun yıllardır yapılarda duvar, döşeme, çatı, merdiven, kapı ve pencere gibi farklı yapı elemanlarında ve bölgesel olarak köprü yapımında kullanılmaktadır.

1.1 Ahşap Elemanların Fiziksel Özellikleri

Ahşap malzemenin önemli fiziksel özelliklerinden biri ahşabın içerdiği nem miktarıdır. Genel olarak ağaçtan elde edilen malzemeler, içerdikleri hücre çeperindeki miseller ve fibriller arası boşluklar ile hücre boşlukları (lümen) nedeniyle gözenekli ürünlerdir. Yapısı itibarıyla higroskopik bir malzeme olan ağacın nem çekme özelliği, iç yüzey alanı ile doğru orantılı olarak artar. Bu özelliğinden dolayı ahşap malzeme kurutma fırını şartlarında tam kuru hale getirilmedikçe içerisinde nem bulunur. Hücre çeperi içerisindeki boşluklarda bulunan suya hücre çeperine bağlı su, lümenlerde bulunan su ise serbest su olarak adlandırılır (Örs ve Keskin, 2001).

Ahşap ürünlerden alınan numunenin tam kuru hali, numunenin kurutma fırınında 103 ± 2 °C ısı altında numune kütle ağırlığı değişmeye kadar kurutulma durumu olup, hava kurusu hali ise, numunelerin 20 ± 2 °C ve 65 ± 5 bağıl nemli ortamda kütle ağırlığı değişmeye kadar kurutulması durumudur. Genelde fırında kurutma daha kısa sürede gerçekleştiği için tercih edilmektedir.

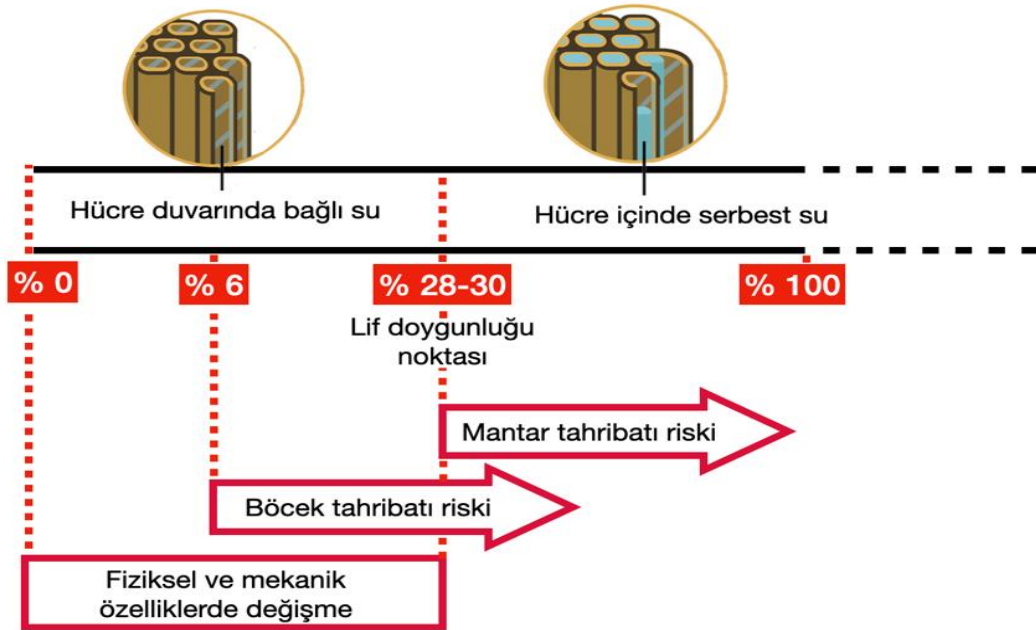
Bozkurt ve Göker (1987) çalışmalarında, ahşabın fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerden birinin içerdiği nem oranı olduğunu vurgulamıştır. Birim alana düşen lif miktarı değeri lifler arası su miktarı ile orantılıdır. Kuruyan ağaç hacim kaybına uğrar ve büzülür. Ahşap kurudukça sertlik ve dayanımı artmasına rağmen enerji tutma kapasitesi azalır. Yaş haldeki ahşap kurumaya bırakıldığında ilk önce içerisindeki serbest su buharlaşmaktadır. Serbest su tamamen buharlaşıp yalnız hücre çeperine bağlı su kaldığı durumda ise, ahşap malzemenin nemi lif doygunluğu noktasında olmaktadır. Lif doygunluğu noktası nem oranı, ağaç türlerine göre %20-35 arasında değişmekle beraber, ortalama bir değer olarak %28 olarak kabul edilebileceği sonucuna varmışlardır.

Kurtoğlu (1983) çalışmasında, lif doygunluğu noktası sedir ve ardıç türü ağaçlarda %18-22 arasında düşük değerlerde iken, akasya, ceviz, kiraz ve meşede %22-24 arası, göknar ve çamda %30-34 arası, ıhlamur, kızılâğaç ve kavakta %32-35 arası en yüksek değerlere ulaşmakta olduğunu tespit etmiştir.

Yapı elemanlarının mukavemet değerleri bilinmesi gerektiğinde ve olası zaman içinde gelişebilecek biyolojik bozunmaları sağlıklı tahmin edebilmek amacıyla ahşabın

içerdiği nem oranının bilinmesi gerekir. Ahşap içerisinde bulunduğu ortamın neminden etkilenen bir malzeme olduğu için çevre ve iklim şartları da göz önünde bulundurulmalıdır.

Dietsch vd. (2015) çalışmalarında, ahşabın nem içeriğindeki değişimlerin, ahşabın tüm fiziksel ve özellikle mukavemet, sertlik özellikleri gibi mekanik özelliklerinde değişikliklere yol açmakta olduğunu vurgulamıştır (Şekil 1.7). Ayrıca malzemenin nem içeriğindeki değişimlerin ahşabın büzülme veya şişme yapmasına sebep olduğunu tespit etmiştir. Aynı zamanda nem içeriğinin yüksek olması çürüme ve mantar oluşumu ihtimalini artırmaktadır. Ahşap malzeme nem içeriğinin uygun şekilde tespit edilmesi ve ardından gerekli önlemlerin alınmasının, ahşap malzemelerle inşa edilen binaların planlanarak inşa edilmesi ve yapıya gerekli bakımın yapılması açısından önem arz ettiği belirtilmektedir. Ahşabın neme verdiği tepkinin bilinmesinin, ahşap yapılarda nemden dolayı oluşabilecek yüksek miktardaki hasarların önüne geçmeyi sağlayacağı sonucuna varılmıştır.



Şekil 1.7. Ahşap malzemenin nem içeriğinin etkisi (Dietsch vd., 2015).

Ahşapta nem ölçüm işlemleri, kütle ölçüm yöntemi, kimyasal metodlarla damıtma yöntemi ve nemölçer cihazı kullanılarak yapılabilmektedir. Kurutma ve tartma yöntemi olarak da bilinen geleneksel kütle ölçüm yönteminde, nem ölçümü yapılacak

üründen alınan numune fırında 103 ± 2 °C ısı altında kütle ağırlığı sabit olup tam kuru ağırlığa ulaşana kadar ısıtılmakta ve Denklem 1.1'e göre içerdiği nem oranı hesaplanmaktadır.

$$\text{Nem Oranı (\%)} = \frac{\text{Yaş Ağırlık} - \text{Tam Kuru Ağırlık}}{\text{Tam Kuru Ağırlık}} \times 100 \quad (1.1)$$

Diğer yöntemlere göre daha pratik ve hızlı sonuç alınan nemölçer cihazları ile ölçüm günümüzde daha çok kullanılmaktadır. Nemölçer cihazlar problu ve probsuz olarak iki farklı şekilde mevcut olup, probsuz modeller elektromanyetik dalgalarla yüzeysel ölçüm yaptıklarından dolayı problu modeller tercih edilmektedir.

Ahşabın mekanik özelliklerine nemin etkisi ile ilgili literatürde yapılan taramada ahşap yapılar ve ahşap birleşim yerlerinde nemin etkisi konuları dışında, ülkemizde yapılmış fazla sayıda çalışma bulunmamaktadır.

Ahşap malzemenin diğer bir fiziksel özelliği ise yoğunluk yani birim hacim ağırlık değeridir. Yoğunluk, ağırlığın hacme oranı olarak bulunmakta ve kg/m^3 veya g/cm^3 olarak ifade edilmektedir. Ahşap malzemenin birim hacim ağırlığı, içerdiği neme göre değişmektedir. Örs ve Keskin (2001) çalışmalarında belirttikleri gibi, ortalama %15 oranında neme sahip ahşabın birim hacim ağırlığı, ağaç türlerine göre 0,981-1,47 kN/m^3 değerleri arasında değişim göstermektedir. Birim hacim ağırlığı yüksek olan ağaç malzemelerin işlenebilirliği azalmasına karşın dayanım ve dayanıklılık özellikleri daha iyidir. Mantar, böcek gibi zararlılara karşı daha dayanıklıdır. Birim hacim ağırlığı düşük olan ahşap malzemelerin ise mekanik dayanımları düşük olmakla beraber işçilikleri daha kolaydır.

Bozkurt ve Erdin (1990) çalışmalarında, dünyada en hafif ağacın $0,1 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğa sahip Balsa ağacı ve en ağır ağacın ise $1,3 \text{ g/cm}^3$ yoğunluklu Pelesenk ağacı olduğunu belirtmiştir. Ülkemizde ise en hafif ağaç $0,40 \text{ g/cm}^3$ ile kavak ve en ağır ağaç ise $0,92 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğa sahip şimşir ağacıdır. Dünya ticaretinde önemli ağaçların hava kurusu yoğunlukları $0,4 \text{ g/cm}^3$ den az ve $0,9 \text{ g/cm}^3$ den fazla olmak üzere değerlendirilmektedir. Ayrıca çok hafif ($<0,29 \text{ g/cm}^3$), hafif ($0,30-0,49 \text{ g/cm}^3$), orta ağırlıkta ($0,50-0,69 \text{ g/cm}^3$), ağır ($0,70-0,99 \text{ g/cm}^3$) ve çok ağır ($>1,00 \text{ g/cm}^3$) ağaçlar şeklinde de sınıflandırma yapılmaktadır.

Şahin vd. (2006) Tokat ili Niksar ilçesinde yetişen kavak ağacını kullanarak yaptıkları çalışmada, numunelerin birim hacim ağırlığını, tam kuru durumda $0,377 \text{ g/cm}^3$, hava kurusu durumda $0,463 \text{ g/cm}^3$ ve suya doymun durumda $0,752 \text{ g/cm}^3$ olarak bulmuştur.

Güneş ve Altunok (2022) sarıçam, meşe ve kestane numunelerini kurutarak tartma yöntemi ile yaptıkları çalışmada, numunelerin hava kurusu birim hacim değerlerini, sarıçam için $0,5219 \text{ g/cm}^3$, meşe için $0,6737 \text{ g/cm}^3$ ve kestane için $0,5167 \text{ g/cm}^3$ olarak tespit etmiştir.

Kasal vd. (2010) ülkemizde bol miktarda bulunan ağaçlardan sarıçam, kavak ve doğu kayını ağaçları üzerinde birim hacim ağırlık çalışmaları yapmıştır. Çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, sarıçam numuneleri için birim hacim ağırlık değerleri, tam kuru ve hava kurusu şartlar için $0,46-0,49 \text{ g/cm}^3$, kavak için $0,34-0,31 \text{ g/cm}^3$ ve doğu kayını için $0,66-0,63 \text{ g/cm}^3$ olarak bulunmuştur.

Ahşap malzemenin fiziksel özelliklerinden biri de ahşap malzemenin termik özelliğidir. Sıcaklık hemen hemen birçok yapı malzemesinde önemli bir etken olup genleşmeye sebep olur. Genleşme ise malzemenin dayanımında ve dayanıklılık özelliklerinde düşüş etkisi oluşturmaktadır. Örneğin, çelik inorganik ve alev almayan bir malzeme olması nedeniyle yanmaya karşı avantajlıdır. Fakat yapılarda yangın gibi sebeplerden dolayı ısıdaki artma sonucunda genleşir ve dayanımını kaybeder. Ahşap malzeme ısı etkisiyle genleşmediği gibi kurur ve dayanımı artar. Ahşap ancak tam kuru olduğu halde ısıyla genleşebilir fakat bu durum uygulama olarak mümkün değildir. Sıcaklığın genel olarak en yüksek olduğu yaz mevsiminde bile ahşapta nem oranı %5'in altına düşmez (Bozkurt ve Erdin, 1997).

Fiziksel özelliklerden ahşap malzemenin elektriksel özelliği söz konusu olduğunda, ahşap malzemeler özellikle düşük nem içerdikleri durumlarda iyi bir yalıtandır. İnsan sağlığı için sakıncalı olan statik elektrik ahşap malzemede bulunmamaktadır. Ahşap malzeme, metal ve plastik gibi statik elektriklenme olan diğer yapı malzemelerine göre daha sağlıklı bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır (Bozkurt ve Göker, 1987).

Eraslan (2009) çalışmasında da belirttiği gibi, ahşap malzemeler aynı zamanda fiziksel yapıları sebebiyle akustik olarak ses emilimi için uygun ürünlerdir. Ses dalgalarını

emerek gürültü oluşumuna engel olurlar. Bu özelliklerinden dolayı çoğunlukla konser salonlarında tercih edilmektedir. Ses iletim hızı metallerdeki ses iletim hızına çok yakındır. Ayrıca, sürtünme neticesinde oluşan ses enerjisi kaybı çok düşüktür. Yapısal bu gibi özelliklerinden dolayı da çoğunlukla müzik aleti üretiminde kullanılmaktadır.

Şimşek (2000) çalışmasında, ahşap malzemelerin fiziksel özelliklerinden olan estetik ve kolay işlenebilir olmaları sayesinde farklı sektörlerde çokça kullanılmakta olduklarını belirtmiştir. Ahşap doğal yapısından dolayı, kendine has rengi, kokusu ve şekli olan bir malzeme olduğundan değişik tür ağaçlardan, farklı tasarım ve renge sahip ürün temin etmek kolaydır. Ayrıca ahşabın estetik yapısı kesilme şekline göre de değişim gösterir. Ahşap malzeme orijinal kendine has rengi dışında da farklı renklere boyanarak ve verniklenerek kullanmaya uygundur.

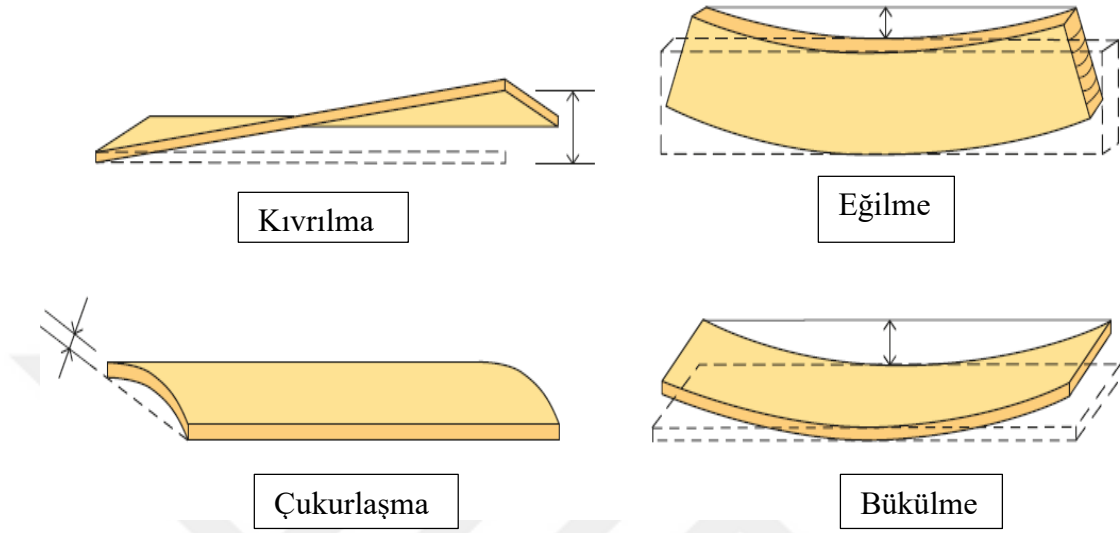
1.2 Ahşap Elemanların Mekanik Özellikleri

Ahşap malzemenin biçimini değiştirmeye zorlayan dış kuvvetlere karşı koyma gücü ahşabın mekanik özelliklerini belirlemektedir. Bunlar genel olarak, ahşap malzemenin direnç, elastiklik ve teknolojik özelliklerini kapsamaktadır. Dirençle ilgili özellikler ise, eğilme direnci, çekme direnci ve basınç direncinden oluşmaktadır.

Ahşap, içerisinde bulunan boşluklara rağmen dayanım özellikleri oldukça yüksek bir yapı malzemesidir. Ağacın mekanik özellikleri yetiştiği iklime, toprağa, ağaç cinsine ve sertliğine göre önemli değişiklikler gösterebilmektedir. Ahşabın içerdiği nem miktarı önemli bir parametre olup, malzeme dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Yapı malzemesi olarak kullanılan ahşap ürünlerin dayanımı, mikroorganizmalar, rutubet, ısı, kimyasal etkiler, malzeme yorulması gibi etkenlerden dolayı zamanla düşmektedir. Yük altındaki ahşabın doğal yapısında bulunan liflerinin ayrışması için belli bir süre gerekir. Bundan dolayı çelik ve beton malzemeler gibi aniden çökme ya da kırılma yaşanmaz. Doğal yapısından dolayı ahşabın gerilme-deformasyon eğrisi, beton ve çelik gibi bilinen diğer yapı malzemelerine göre çok değişkendir (Eriç, 2002).

Ahşap, heterojen ve anizotrop bir malzeme olması sebebiyle mekanik özellikleri de değişkendir. Yapısındaki liflere paralel yöndeki basınç, çekme ve eğilme dirençleri gibi tüm dayanımlar, liflere dik yöndeki dayanımlarından yüksektir. Ahşap malzeme,

zamanla ortamın nem durumuna göre içeriğindeki su miktarı değişebilen bir malzemedir. Bu durum, üründe şişme ve daralma gibi çalışmalara yol açtığı için mekanik özellikleri de içinde bulunduğu ortama göre değişkenlik gösterebilen bir malzemedir (Bozkurt ve Erdin, 1997).



Şekil 1.8. Nem etkisi altında ahşapta oluşan şekil değiştirmeler (Godonou, 2022).

Ahşap malzemenin mekanik özelliklerine etki eden faktörler ağacın türü, özgül ağırlığı, anatomik yapısı, kimyasal bileşimi, yetiştirme yeri, ağaçta bulunan kusurlar, lif doğrultusuna dik ya da paralel yönde uygulanan basınç, malzemedeki su miktarı, kuvvetin uygulanma süresi ve sıcaklıktır. Ahşap malzemenin etkiye maruz kalan yüzeyinin şekli, büyüklüğü ve malzemenin gerilme şekli de ürünün mekanik etkiye karşı koyma gücünü etkilemektedir (Kocataşkın, 1966).

Tek veya iki taraftan tespit edilmiş olan bir ahşap malzemenin, liflerine dik olarak etki eden ve onu eğmeye çalışan kuvvete karşı gösterdiği dirence, eğilme direnci denir. Eğilme direnci üzerinde, malzemenin özgül ağırlığı, içerdiği nem oranı, budaklı olma durumu, imal edildiği ağacın lif yönleri ve ortamın sıcaklığı gibi etkenler etkili olmaktadır (Doğan, 1997).

Ahşap malzemenin kendisine dik doğrultuda etki yapan, onu ezmeye, sıkıştırmaya ve kısaltıp koparmaya çalışan kuvvetlere karşı gösterdiği direnç, malzemenin basınca karşı dayanımı olarak tanımlanır. Yapı malzemesi olarak ahşabın kullanılmasında liflere paralel basınç direnci değerleri de önemlidir. Ahşap malzemelerde basınç

direnci ile diğer dayanımlar arasında doğrusal ilişki bulunmaktadır. Ürünün basınç direnci sonuçlarına bakmak suretiyle, ahşap malzemenin genel mukavemet özellikleri konusunda bir sonuca ulaşılabilir (Ekmekyapar ve Örüng, 1997; Özçelik, 1983).

Ahşap malzemedede birbirine zıt yönlerde etki eden, lifleri koparmaya ve ayırmaya çalışan iki kuvvete karşı malzemenin gösterdiği direnç, liflere paralel yönde çekme direnci olarak adlandırılır (Bozkurt ve Göker, 1987). Ahşap malzemelerde liflere paralel doğrultuda uygulanan çekme direnci, malzemenin direnç özellikleri içerisinde en yüksek direnç değerini oluşturmaktadır (Örs ve Keskin, 2001).

Ahşap malzemelerde malzemenin lif yönüne paralel, yıllık halkalarına paralel ve radyal olmak üzere üç farklı yön mevcuttur. Anizotropik özellik gösteren ahşabın mekanik özellikleri de yönlere göre farklılık gösterir. Elastisite Modülü değeri, liflere paralel yönde en yüksek, radyal yönde daha küçük, yıllık halkalara paralel yönde ise en düşük olacak şekilde sıralanabilir (Şirin ve Aydemir, 2016).

Ahşap higroskopik yapıda bir madde olduğundan, çevresindeki havanın rutubetine ve sıcaklığına bağlı olarak, buhar şeklinde su alışverişi yapmasına müsait bir yapıya sahiptir. Bu alışveriş, ahşap ile hava arasında “higroskopik denge” olarak adlandırılan nem dengesi oluşuncaya kadar devam eder. Ahşabın içerisine nem alması genişlemesine, nem kaybetmesi ise daralmasına neden olmaktadır. Bu duruma kısaca “ahşabın çalışması” denilmektedir (Erten, 1988).

Bölgenin iklim koşullarına göre ahşapta oluşan denge rutubeti, çevredeki havanın bağıl nemine ve sıcaklığına göre değişiklik göstermektedir. Ahşap malzemelerde malzemenin çalışmasını önlemek veya en aza indirilebilmek için, malzemenin kullanılacağı yerin iklim koşullarına uygun nem derecesinde işlenmesi gerekir (Topçuoğlu ve Erkan, 1986).

Çetin ve Gündüz (2016) çalışmalarında, ahşap malzemenin verimli kullanımı için, doğru ağaçtan elde edilen malzemeyi doğru yerde ve doğru biçimde amacına uygun olarak kullanmak gerektiğini belirtmiştir. Bundan dolayı ahşap malzemenin mekanik özelliklerinin bilinmesi, diğer malzemelerle karşılaştırılmasını kolaylaştırmakta, işlenmesi ve kullanım özellikleri hakkında fikirler vermektedir.

1.3 Ahşap Elemanların Avantaj ve Dezavantajları

Ahşap malzemelerin yapılarda kullanılmasında çeşitli avantajları aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır (Kurtoğlu ve Sofuoğlu, 2007).

- Çoğu yapı malzemelerinden hafif olması,
- Miktarı değişmekle beraber her coğrafyada bulunabilmesi ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olması,
- Direncinin ve taşıma gücünün yoğunluğuna göre daha yüksek olması,
- Oksitlenme veya diğer kimyasal etkilerle aşınma durumu olmaması,
- Deprem etkisine karşı, titreşim emme özelliğine sahip ve elastik bir yapı malzemesi olması nedeniyle dayanıklı olması,
- Darbe sırasında şok şeklindeki etkileri ve sesi emdiği için az gürültü çıkarması,
- Temas halinde vücut ısınıpı düşürmemesi ve iyi bir ısı yalıtkanı olması,
- Sıcaklık değişimlerinde terlemeye neden olmaması,
- Yüksek elektrik direncine sahip olması,
- Statik elektriklenmeye sebep olmaması,
- Bazı kimyasallara karşı dayanıklı olması,
- Yangına karşı bazı yapı malzemelerinden daha dirençli olması,
- Makinelerde ve el aletleriyle kolay işlenebilme kabiliyetine sahip olması,
- Vida ve çivi tutma becerisinin yüksek olması,
- Diğer yapı malzemelerine göre, üretimi için daha az enerjiye ihtiyaç duyulması,
- Estetik, rahat ve huzur verici bir doğal yapıya sahip olması,
- İmalatının ve transferinin kolay ve ekonomik olması,
- Çok çeşit renk ve görünüm seçeneğine sahip olması,
- Farklı yüzey işlemleri ile daha çok çeşit üretimine müsait olması,
- Kullanım süreci ve bulunduğu ortam şartlarına göre daha zengin görünüm ve koyu renk kazanması,
- Hatalı ve hasarlı kısımlarının kolayca değiştirilebilmesi,
- Kolay temizlenebilir ve sağlıklı olması,
- Dolaşım bozuklukları, romatizma, astım gibi hastalıklar üzerinde olumlu etkilerinin olması,

- Bulunduğu ortamın sıcaklık değişiminden fazla etkilenmemesi,
- Farklı iklim koşullarına dayanıklı doğal bir malzeme olması,
- Fizyolojik ve psikolojik yönden insana sıcak ortam ve huzur hissi vermesi gibi avantajlı yönler karşımıza çıkmaktadır.

Ahşap malzemelerin dezavantajları ise aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

- Organik bir malzeme olmasından dolayı, ahşapta hasara yol açan böcekler, mantarlar, bakteriler, midyeler ve termitler gibi bitkisel ve hayvansal canlıların besin maddesi olması,
- Higroskopik yapıya sahip olması sebebiyle, hava koşullarına bağlı olarak bağlı nem ve sıcaklığın değişmesi ile ortamdan nem alıp vermesi ve boyutlarında daralma ve genişlemelerin olması,
- Yanabilen bir malzeme olması ve bazı kimyasal maddeler ile tepkimeye girebilmesi,
- Heterojen bir yapıya sahip anizotrop bir malzeme olması,
- Yetiştigi ortam şartlarından ve organik olmasından dolayı budak, çatlak, reçine keseleri gibi farklı kusurlara sahip olması (Kurtoğlu ve Sofuoğlu, 2007; Uysal, 2005),
- Kaynaklarının yenilenebilmesi için uzun süre gerekmesi,
- Farklı ilave araçların kullanılmadığı birleşim yöntemlerinde çok fazla işçilik gerektirmesi,
- Servis ömrünün koruyucu ek kimyasallar kullanılmadığı zaman çok daha az olması,
- Üretilecek kesite göre laminasyon yapma sürecinde ekstra işçilik ve yapıştırma maliyeti gerektirmesidir (Okka, 2020).

1.4 Ahşap Elemanların Sınıflandırılması

Ahşabın gemi yapımı, mobilya üretimi, heykel yapımı, basit araç-gereçlerin tasarlaması, inşaat kalıp yapımı ve farklı yapı alanlarında, kullanıldığı yerlere göre karşılamak zorunda olduğu belli başlı özellikleri vardır. Ahşap malzemenin özellikleri bakımından sınıflandırılması, ahşabın üretim işleminin kolaylaşmasını ve üretim alanı ile ilgili sektörlere ışık tutmasını sağlamaktadır.

Farklı sınıflandırmalardan biri, ahşap malzemenin elde edildiği kaynağın tipine göre ağaç türünün sınıflandırılmasıdır. Ağaç türlerine göre geniş yapraklı ve iğne yapraklı ağaçlar şeklinde sınıflandırma yapılabilmektedir. Ayrıca, ahşap malzeme üretimi sırasında yapılan gözlemlere göre, sınıflandırma yapılırken ağacın sertliği veya yumuşaklığı, ağacın yapısından ötürü içerdiği nem oranı, suya atıldığında davranışı ve fiziksel özellikleri göz önüne alınmaktadır.

Geniş yapraklı olan ağaçlar, sert, ağır ve yüksek mukavemete sahip oldukları için genelde yapı alanında olmakla beraber mobilya ve araç-gereçlerin üretiminde de kullanılmaktadır. Kavak ise hızlı yenilenebilir olmasından dolayı betonarme yapılar imalatında yardımcı eleman olarak kalıp yapımında kullanılır. İğne yapraklı olan ağaçların odunları ise daha yumuşaktır. Bu sebeple işlenmeleri kolay olup, maliyetleri daha düşüktür. Hızlı yenilenebilir özelliklerinden dolayı yapı alanlarında daha fazla tercih edilmektedirler. Bu sınıfın reçineli olan modelleri genelde dış ortamlarda, reçinesiz olanlar ise iç ortamlarda kullanılır. Ülkemizde iğne yapraklı sınıfa ait ve en fazla kullanılan ağaçlardan biriside sarıçamdır (Okka, 2020).

Ayrıca ülkemizde, Türk Standartları'na göre ahşap malzemeye ait emniyet gerilmeleri gözönüne alınarak, ahşap yapıların hesaplanmasına ilişkin yönetmelikte de geçerli olan kalite odaklı birinci, ikinci ve üçüncü sınıf şeklinde sınıflandırma da mevcuttur. Diğer bazı ülkelerde ise, ahşap malzemelerin sınıflandırılması basınç ve çekme gibi mekanik verilere göre yapılmaktadır.

Yapılan bu çalışmada, ülkemizde yaygın olarak yetişen geniş yapraklı ağaçlardan olan kavak ve iğne yapraklı ağaçlardan olan karaçam tercih edilmiştir.

1.5 Çalışmanın Amacı ve Hedefleri

Ahşap elemanlarda nem miktarının tespiti önemli bir husustur. Ahşap elemanlarda nem miktarının tespiti, genelde zor ve zahmetli bir yöntem olan kurutma metodu ile yapılmaktadır. Kurutma yönteminin en büyük sorunlarından biri, nem miktarını hesaplamının birkaç gün süre almasıdır. Özellikle bazı ahşap türlerinde kurutma işlemi esnasında, ısı etkisi ile ahşabın içerdiği sudan başka uçucu maddelerin de yok olması sebebi ile hatalı nem oranları tespit edilmektedir.

Yıllar öncesine dayanan ahşap elemanlarda nem oranını kurutma metotları ile belirlemenin yanında, artık günümüzde daha kolay ve hızlı bir yöntem olan elektrikli dijital nemölçerler ile nem oranları tespit edilmektedir. Yapı sektöründe sık kullanılan kereste gibi ahşap yapı malzemelerinde genelde nem oranı ölçümü direnç tipi elektrikli nemölçerler ile yapılmaktadır. Direnç tipi elektrikli nem ölçüm cihazlarında, genel olarak ahşap yapı malzemesi içerisine saplanan metal probun uçları arasındaki elektriksel direnç ölçülmektedir. Bu yöntem sayesinde ahşap yapı malzemelerinin farklı derinliklerindeki nem miktarının tespiti kolaylıkla belirlenmektedir.

Ahşap nem ölçümünde kullanılan bu tip cihazlar genel olarak yurt dışından ithal edilmekte ve yüksek maliyetli olmaktadır. Bu cihazlar, belirli aralıklarla ahşap numune üzerinden ölçüm değerlerini alıp, nemölçer dışında bilgisayar türü bir cihaza aktarabilme kabiliyetine sahip olmadıkları gibi, uzun süre defalarca ölçüm yapabilecek dayanıklı batarya sistemine de sahip değildir. Ayrıca probsuz veya kısa boyutlu problu olmaları gibi fiziki yapı eksikliklerinden dolayı sadece yüzeysel nem durumunu ölçebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen ahşap nemölçer cihazının tasarlanması ve üretimi ile ilgili yurtiçi ve yurtdışı literatürde yapılan taramalarda, benzer yapıda herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Çalışmanın amaçlarından biri, önemli bir husus olan ahşapta nem ölçümünü yerli ve milli imkânlarla ekonomik olarak oluşturulabilecek gelişmiş özelliklere sahip bir cihazla gerçekleştirmektir. Çalışmanın bir diğer amacı ise, gelişmiş özelliklere sahip ve sağlıklı sonuçlar veren Arduino tabanlı nemölçer cihazını oluşturduktan sonra, bu cihazla farklı tür ahşap numuneler üzerinde ölçümler yapıp, farklı nem içeriğine sahip numuneler üzerinde çeşitli mekanik deneyler yaparak, nemin ahşabın yapısal davranışlarına ve mekanik özelliklerine etkilerini tespit etmektir.

1.6 Tez İçeriği

1. bölümde ahşap elemanların fiziksel, mekanik özellikleri yanında avantajlı-dezavantajlı yönleri ile sınıflandırılma durumları hakkında genel bilgiler verilmiştir. Ayrıca çalışmanın amaç ve hedefleri açıklanmıştır.

2. bölümde kapsamlı ulusal ve uluslararası kaynak taraması çalışmaları yapılarak, farklı başlıklar altında özetler halinde sunulmuştur.

3. bölüm deneysel çalışmaların açıklandığı bölümdür. Bu bölümde öncelikle ahşap nemölçer cihazının yazılımsal ve donanımsal olarak oluşturulma süreci ile ilgili bilgiler paylaşılmıştır. Ardından deneylerde kullanılan ahşap numunelere ait çeşitli fiziksel ve mekanik özelliklerin tespit çalışmaları ile ahşap numunelerle yapılan mekanik deneyler, deney düzeneği ve deney yapım yöntemleri verilmiştir.

4. bölümde öncelikle oluşturulan Arduino tabanlı nemölçer cihazın piyasada mevcut diğer nemölçer cihazlar ile ölçüm sonuçlarının kıyaslaması yapılmıştır. Ardından çam ve kavak numunelerin içerdikleri neme göre Elastisite Modülü, basınç ve eğilme dayanımları gibi mekanik özelliklerindeki değişimlere ait deneysel çalışma sonuçları sunulmuştur.

5. bölümde yapılan deneysel çalışma sonuçları yorumlanmış ve daha önce yapılmış deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu alanda ileride yapılabilecek çalışmalarla ilgili tavsiyelerde bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Ahşap elemanların yapısal davranışları ile ilgili yapılan geniş kapsamlı ulusal ve uluslararası kaynak tarama çalışmaları, ahşap yapı elemanlarının yapısal davranışları üzerine, ahşabın mekanik özellikleri üzerine ve ahşaba nemin etkileri üzerine yapılan inceleme çalışmaları şeklinde üç ana başlık altında sunulmuştur.

2.1 Ahşap Elemanların Yapısal Davranışları

Perker ve Akıncıtürk (2006) çalışmalarında, Cumalıkızık geleneksel kontlarındaki ahşap yapı elemanlarının kısa vadede korunması amacıyla, yapıların fiziksel, kimyasal, biyolojik ve insan kaynaklı etkiler karşısındaki dayanımlarının arttırılmasına yönelik araştırmada bulunmuşlardır. Yapılan çalışmalar, yapı kullanıcılarının kendi başlarına da yapabilecekleri çok kapsamlı olmayan durumları içermektedir. Çalışmaları sonucunda, fiziksel, kimyasal, biyolojik ve insan kaynaklı nedenler ile bozularak işlevini yerine getiremez hale gelen ahşap yapı elemanlarının, dayanıklı bir ahşap türü olan emprenye edilmiş karaçam ile yenilenebileceği görüşüne ulaşmışlardır. Ayrıca, yapı onarımları sırasında, ahşap elemanın toprak ve kâgir eleman ile temas halinde olduğu noktalarda, su ve nem geçişini önleyecek yalıtım malzemeleri kullanılması gerekliliği ve çatı örtü altlarında ise su yalıtımı uygulaması yapılması gerektiği konusunda görüş bildirmişlerdir.

Yaman (2007) yaptığı çalışmada, geleneksel ahşap yapılarda kullanılan ahşap yapı elemanlarının uzun dönem performansı ve dayanıklılığı yanında ahşap yapı elemanlarının standartlar ve yönetmelikler doğrultusunda performansını incelemiştir. Ayrıca diğer bir amaç, çalışma için seçilen örnek yapı üzerinden, geleneksel ahşap yapıların yapı elemanlarının değerlendirmesini yaparak hasar haritasını oluşturmak ve yapılabilecek koruma çalışmalarına yardımcı olabilmektir. Bu sayede geleneksel yapıların gelecek nesillere aktarılmasına katkıda bulunmak istenilmiştir. Örnek yapı dışında ülkemizdeki geleneksel ahşap yapılar ve taşıyıcı sistemlerde incelenmiştir. Ahşap yapı elemanlarının mekanik, ısı ve ses tutuculuk, yangın ve sağlık açısından özellikleri tespit edilmiştir. Tüm bu incelenen faktörlerin ahşap yapı elemanları ve malzemelerinde neden olabilecekleri bozulmalar üzerinde durulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda, ahşap yapılarda kullanılan duvar, döşeme, çatı, kapı ve pencereler gibi yapı elemanlarının görevleri ve yapıda karşılaması gereken

performansları açıklanmıştır. Ayrıca, geleneksel ahşap yapıların sürdürülebilmesi ile ilgili bazı öneriler getirilerek, koruma çalışmalarına katkıda bulunulmuştur.

Hıraoğlu (2007) çalışmasında, ahşap makas sistemleriyle çelik makas sistemlerin malzeme ve sistem özellikleri açısından karşılaştırmasını ve değerlendirmesini yapmak suretiyle elde edilen bilgiler bizlere aktarmıştır. Ayrıca, 15 metre açıklığa sahip örnek bir yapı üzerinde, ahşap ve çelik makas sistemin statik hesapları yapılmıştır. Bu sayede maliyet, makas ağırlığı ve kesit büyüklükleri açısından karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuç olarak, yapılan değerlendirmelere göre, ahşap yapı yönetmeliklerinin ve imar yönetmeliklerinin yetersizliğine vurgu yapılmıştır.

Akyol (2008) özellikle ahşaptan imal edilen asma çatılarla ilgili çalışmada, bu çatıları yapılabilecek geometrik şekillerine göre ve imalatta kullanılan malzemelere göre sınıflandırmıştır. Ayrıca, asma çatı yapımında ahşap malzeme kullanımının önemini vurgulamasının yanında, ülkemizde ve dünyada uygulanmış ahşap asma çatı uygulamalarını da incelemek suretiyle, bir asma çatının nasıl modern bir şekilde oluşturulabileceğini göstermiştir.

Yücel (2008) çalışmasında, ahşap yapı iskelet sistemlerini farklı yapı malzemeleriyle kaplamak suretiyle farklı kesitler oluşturmuştur. Oluşturulan bu farklı ahşap yapı iskeleti kesitlerini ısı ve buhar geçişi açısından incelemiştir. Mevcut kesitler üzerinde bazı sistemsel hesaplamalar yapmış ve bunu grafikseleştirmiştir. Çalışmalar sonucunda, ahşap iskelet sistemleri üzerine sağlam, güvenli ve ısıl konfor şartlarının oluşturulabildiği yapısal sistemlerin oluşturulmasına katkı sağlanmıştır.

Bilgin (2009) yaptığı çalışmada, ahşabın özellikle dış cephelerde çok kullanılmakta olduğunu vurgulamıştır. Ahşap malzemenin çeşitli ahşap yapılar üzerinde yapı elemanı olarak hangi şekilde kullanıldığını, dış cephelerdeki görünümünü ve montajını incelemiştir. Ahşap yapı elemanlarının, yapılar için ne kadar önem arz ettiğinin anlaşılmasında literatüre katkıda bulunmuştur.

Kolbay (2010) ahşap yapı malzemesiyle oluşturulacak çatı iskeletinin ne şekilde seçileceğini ve yapı malzemesi bileşenlerinin hangi etkenlere bağlı olarak detaylandırılacağını araştırmıştır. Yaptığı çalışmada, geometri ve kesit belirlenmesi yanında, kullanılması gereken malzeme seçimine kadar birçok konuyu irdlemiştir.

Yapılan incelemeler sonucunda her tasarım etkeninin, bileşenin farklı bir yönünü biçimlendirdiği saptanmıştır. Örneğin; statik etkenlerin bileşenin boyutsal değerlerini, yapı fiziği ile ilgili etkenlerin çatı performansını ve teknolojik etkenlerin de, bileşenin yapılabiliğini belirlemekte olduğu tespit edilmiştir.

Esen (2010) çalışması kapsamında, Türkiye’de ve Avrupa’da uygulanan ahşap çatı sistemlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Avrupa’da kullanılan aralıklı kafes sisteminde Türkiye’de kullanılan ahşap oturtma çatı ve asma çatı sistemlerine göre daha az ahşap kullanıldığı ve daha düşük maliyete sahip olduğu görüşüne ulaşılmıştır. Ayrıca ahşap israfının önlenmesi ve mevcut ahşaptan etkin bir şekilde faydalanılması için Türkiye’de çağdaş ahşap yapı ve çatı üretimi için güncel bilgi ve tekniklerin uygulanması uygun görülmüştür. Ülkemizde ahşapla ilgili yönetmeliklerin güncellenmesi gerektiği ve ahşaba hak ettiği değerin verilmesi gerektiği, ayrıca ağaç endüstrisinin sürekliliğini sağlayan yapıcı politikaların izlenmesi gerektiği şeklinde tavsiyelerde bulunulmuştur.

Seçkin (2010) ahşabın özelliklerinin yanında kusur ve hasar dereceleri ile sebeplerinin, hasar tipleri ile şiddetinin ve hasarların giderilme yöntemlerinin tespiti üzerine çalışmalarda bulunulmuştur. Ahşabın durumunun tespiti, tahribatlı ya da tahribatsız yöntemler yardımıyla yapılıp, bilimsel incelemelerde ve endüstriyel kalite kontrollerinde kullanılmaktadır. Ahşap sektöründe, tomruk ya da kerestedeki kusurların yeri ve miktarı ile renk bozulmaları, lekelenmeler, çürüklükler ve böcek zararları önemli olmakla beraber, tarihi yapılarda ise mantar, bakteri veya böcekler tarafından yapılan biyolojik tahribatın tespit edilmesi önem arz etmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda, ahşap endüstrisinde ve kültürel yapılarda, daha fazla tahribata meydan vermemek için olabildiğince mekanik, elektrikli, optik, akustik, termografik, radyografik, nükleer magnetik, kimyasal ve biyolojik gibi tahribatsız yöntemler kullanmanın uygun olacağı belirtilmiştir.

Yılmaz (2011) yaptığı çalışmaları içeren bu tez kapsamında, Türkiye’de yaygın kullanım imkanı bulamayan yapısal ahşap kompozitler hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Ayrıca, ahşap kompozit elemanlarla oluşturulan geniş açıklık yapı sistemlerinin nitelikleri detaylı bir şekilde sunularak literatüre katkı sağlanmıştır.

Muratoğlu (2011) çalışmasında, ahşap yapı elemanlarının mekanik performanslarında, ahşap yapı elemanlarının güçlendirilmesinde kullanılan karbon fiber takviyeli polimer uygulamasının meydana getirdiği değişim miktarının belirlenmesi üzerinde durmuştur. Bu amaçla; doğu kayını ve sarıçam ahşabından hazırlanan örnekler üzerinde, karbon fiber takviyeli şerit çubuk ile epoksi macun ve poliüretan esaslı yapıştırıcı kullanılarak güçlendirme çalışmaları yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, sarıçam numunelerinde tek yönlü güçlendirme çalışmasında statik eğilme direncinde en yüksek artış miktarı %108 olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca güçlendirilmiş kayın numunelerinin eğilme dayanımlarının sarıçam örneklerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Çekme gerilmesi ve basınç direnci ile ilgili yapılan tek yönlü güçlendirme çalışmalarında her hangi bir artış bulgusuna rastlanılmamıştır. Özet olarak, tarihi yapıların restorasyonunda yapılan güçlendirme çalışmalarında ahşap yapı elemanlarının, eğilmeye zorlanan bölgelerinde, epoksi macun ve karbon fiber takviyeli şerit çubuk kullanarak tek yönlü bir güçlendirme uygulanabileceği, fakat çekme ve basınca zorlanan bölgelerinde karbon fiber takviyeli şerit çubuk kullanarak yapılan tek yönlü güçlendirmelerin yeterli olmayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Saydamer (2014) yaptığı çalışma ile, ahşap yapım sisteminin günümüz yapı üretiminde daha çok yer edinmesine katkı sağlamasını amaçlamıştır. Ahşap yapım sisteminin, konutların daha büyük ve ferah olmalarına olanak vermesi, kısa sürede inşa edilebilir olması ve depreme daha çok dayanabilmesi nedeniyle Anadolu konut mimarisinde tercih edildiği belirtilmiştir.

Kartal (2016) ahşap yapılardaki bozunma nedenleri ve bunlara karşı yapılabilecek koruma ve bakım stratejileri üzerine çalışmalarda bulunmuştur. Yaptığı çalışmalar sonucunda, tarihi ahşap yapılarda zamanla ortaya çıkan biyotik ve abiyotik kaynaklı hasarların yerinde bakım işlemleri ve uygun koruyucu maddeler kullanılmak suretiyle, hasara uğrayan taşıyıcı ahşap elemanların ise emprenyeli yeni eleman ile değiştirilerek giderilebileceği görüşüne ulaşmıştır. Ayrıca çürüme riski bulunan yerlerde ek koruma önlemlerinin alınması, yapının toprak ve rutubetle ilişkisinin kesilmesi gibi uygulamalar yapıldığı takdirde de, bu tür eserlerin uzun yıllar boyunca ayakta kalmasının sağlanabileceği vurgulanmıştır.

Kara (2017) özellikle tarihi yapılarda kullanılan ahşap malzemelere en az hasar vererek hasar tespiti yapmak amacıyla, ahşap yapı malzemesine uygulanan tahribatsız

veya yarı tahribatlı yöntemlerin, tahribatlı hasar tespit yöntemlerine göre avantajları üzerine çalışmalar yapmıştır. Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, saha uygulaması açısından tahribatsız hasar tespit yöntemlerinin kolay, pratik ve güvenilir bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Turgay ve Buyruk (2017) genel olarak geleneksel evlerde kullanılan taş, kerpiç, tuğla ve ağırlıklı şekilde ahşap malzemelerle inşa edilmiş Taraklı Evleri üzerinde oluşan hasar ve bozulmalar üzerine araştırmada bulunmuştur. Taraklı ilçesi sınırları içerisinde orman alanların fazla olması nedeniyle, evlerde taşıyıcı sistemin çatki bağlantılarında, duvarlarda, taban ve tavan döşemelerinde, doğramalarda, hatılarda, giriş dikmeleri ve çatılarda genel olarak çirali çam ahşap malzeme olarak kullanılmıştır. Yapılarda oluşan hasar sebepleri ile ilgili, özellikle ahşap yapı elemanlarının bozulma sebepleri arasında fiziksel, biyolojik ve insan kaynaklı olanlar vurgulanmıştır. Ayrıca, evlerinin onarımında kullanılan malzemelerin birbiriyle uyumlu olması gerektiği ve doğru malzemenin seçilmesine özen gösterilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Güler (2019) çalışmaları kapsamında, Kastamonu ilinde olan ve günümüze kadar varlığını sürdürmüş tarihi ahşap tarzında yapılmış bazı konakların özellikle ahşap çatı kısımlarının genel görünüşü, tasarımı ve uygulamasının şehrin mimari kimliğinin oluşumundaki etkisini incelemiştir. Bu kapsamda, Kastamonu merkezinde geleneksel tarihi ahşap 26 adet konağa ait çatı sistemleri incelenmiştir. Çalışmaların sonucunda, incelenen tarihî ahşap konakların çatı tipleri belirlenip, teknik, görsellik ve işlevsellik yönünden literatürde bulunan diğer ahşap çatı tipleriyle karşılaştırılmak suretiyle bir envanter oluşturulmuştur.

Samancı (2019) bu çalışmasında, farklı ahşap duvar katmanlaşma düzenleri, ısı ve nemsel performans için uygun malzeme seçimi, ahşap duvarlarda ısı köprüsü ile meteorolojik verilerin seçimine bağlı enerji korunumu ve etkinliğini incelemiştir. Ayrıca, binanın inşasından sonraki kullanımı sırasındaki performansı için, nem ilişkisine bağlı olarak ısı ve nemsel performans durumları değerlendirilmiştir. Son yıllarda yapımı giderek artan, gerek modern gerekse tarihi yapıların restorasyonunda kullanılan ahşap iskeletli duvar ve çapraz tabakalı masif ahşap duvarların kullanımı sırasında gösterecekleri higrotermal performansında benzetim aracı kullanılarak hesaplanması amaçlanmıştır.

Tunca (2019) çalışmasında, ahşap yapılarda su ve neme karşı doğru yöntem ve uygun malzemeler kullanılarak bakım, onarım ve koruma uygulamalarının yapılması üzerine araştırmalarda bulunmuştur. Bu sayede geleneksel ahşap evlerin özgünlüğünün bozulmadan, günümüz modern yapılarının konfor koşullarını sağlamasını amaçlamıştır. Ayrıca bu tür yapıların terk edilmek suretiyle yıkılmalarının önüne geçilmesi de göz önünde bulundurulmuştur. Çalışmalar sonucunda, geleneksel ahşap yapıların su ve rutubete karşı korunması için, yapı türüne uygun malzemeye, bu malzemeleri doğru uygulamaya ve kalifiye iş gücüne gerek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, güncel yapım standartlarına ihtiyaç olduğu kadar, devlet, akademisyen ve kullanıcı üçlüsünün birlikteliğine de ihtiyaç olduğu kanısına varmıştır.

Abdolreza vd. (2019) çelik-ahşap kompozit kirişlerde cıvata ve vidalı kesme bağlantılarının döngüsel davranışı üzerine çalışmalarda bulunmuştur. Döngüsel yükleme koşulları altında, çelik-ahşap kompozit bağlantılarda kesme konnektörünün performansını karakterize eden, süneklik, eşdeğer viskoz sönümleme ve mukavemet dayanımı değerlendirilmiştir. Yapılan testlerin sonuçlarına göre çelik-ahşap kompozit bağlantıların yüksek süneklik ve enerji dağıtma kapasitesine sahip oldukları görülmüştür.

Ziga vd. (2019) kesme yükleme ve farklı çevresel koşullar altında ahşap cam bağlantıları üzerine çalışmalarda bulunmuştur. Farklı ortam sıcaklıklarında, farklı nem içeriğine sahip kereste numuneleri ile kesme deneyleri yapılmıştır. Yapılacak kesme testleri için universal bir test makinesine önceden tasarlanan basit bir kesme testi aleti kenetlenmiştir. Deney çalışmalarına göre, 20 °C'lik çevre koşulları ve %5'lik kereste nem içeriği ile analiz edilen kesme testlerinden elde edilen en yüksek ortalama kesme mukavemeti 9,89 MPa iken, 50 °C'lik çevre koşulları ve %20'lik kereste nem içeriği şartlarında en düşük ortalama kesme mukavemetinin 3,42 MPa olduğu görülmüştür. Deney sonuçlarına göre, ahşap derz dayanımının çevre sıcaklığına ve kerestenin içerdiği neme bağlı olduğu tespit edilmiştir. Değerlendirilen epoksi reçine yapıştırıcısının da, ahşap cam bağlantıları için uygun olduğu görülmüştür.

Solmaz (2020) tez çalışması kapsamında, ahşap çatı sistemlerinin sınıflandırılması, ahşap çatı sistemlerinden beklenen özellikler ve sürdürülebilir çatı sistemleri üzerine incelemelerde bulunmuştur. Çalışma sırasında da incelenen örnekler sürdürülebilir çatı

özelliklerine göre karşılaştırılmıştır. Sonuç bölümünde ise, ahşap çatı sistemlerinin daha çevreci ve sürdürülebilir olması için gerekli tavsiyelerde bulunmuştur.

Türker ve Kılınçarslan (2020) son yıllarda ahşap malzemenin onarımı ve güçlendirilmesi için kullanılan fiber takviyeli polimerlerin ve bu uygulamaların sürdürülebilirliğinin sosyal, ekonomik ve özellikle çevresel boyut açısından değerlendirmesini yapmıştır. Ahşap malzemelerin güçlendirilmesi ve birleşimleri genellikle çelik elemanlar kullanılarak yapılmaktadır. Ancak çelik elemanlar zamanla korozyona uğrayıp ahşap malzemedan ayrılmaktadır. Fiber takviyeli polimerlerin çelik malzemeye göre birçok avantajı bulunmakla beraber en önemli avantajları; hafif olmaları, korozyona uğramamaları ve esnek olmalarıdır. Yapılan çalışmalar sonucunda, fiber takviyeli polimerlerin kullanımının daha sürdürülebilir ve yenilenebilir bir yapı oluşturmaya katkı sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

Jing vd. (2020) çalışmalarında, eğimli kendinden kılavuzlu vidalar kullanmak suretiyle, çelikten keresteye kompozit bağlantıların kesme özelliklerini deneysel olarak incelemiştir. Eğimli vidalara sahip çelik-ahşap kompozit bağlantılarla hazırlanan her grupta, 3 özdeş numune bulunan 10 numune grubu oluşturulmuştur. Numunelere çift kesme düzlemli basınç testleri uygulanmış ve yük kayma davranışı ile göçme modları analiz edilmiştir. Deney sonuçlarına göre, daha yüksek kesme kapasitesi elde etmek için, çelik ahşap bağlantı eklem noktalarında daha uzun kendinden kılavuzlu vidalar kullanmanın kesme sertliğinde bir düşüşe neden olduğu görülmüştür. Ayrıca eğimli vidalı bağlantılar sırasında konik rondelalar kullanılması önerilmiştir.

Lei vd. (2020) çalışmalarında, beton kompozit zeminlerle masif ahşap panellerin çentikli birleşimlerinin kesme özelliklerini deneysel olarak araştırmıştır. Farklı bağlantı sistemleri arasında, yapılan çentikli bağlantıların yapısal olarak üstün ve uygun maliyetli olduğu görülmüştür. Çalışmalar sırasında çentikli bağlantıların yapısal performansını etkileyebilecek bazı önemli faktörler de araştırılmıştır. Yapılan bağlantının geometrisi, bağlantıda ek çelik bağlantı elemanlarının varlığı ve ahşabın yönü gibi çeşitli değişkenlerle on farklı tip çentikli bağlantı yapılarak, kesme yükü altında test edilmiştir. Yapılan çalışma sonuçlarına göre, hazırlanan farklı konfigürasyonlar arasında sertlik, yük taşıma kapasitesi ve kırılma modeli gibi

faktörlerin farklılık gösterdiği, ayrıca kerestenin yönü ile bağlantı geometrisinin de performansını önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir.

Ceylan (2021) yapıya etkiyen kuvvetler altında enerji yutabilen çapraz lamine ahşap panel birleşimlerinin, ülkemizde üretilen metal birleşim parçaları kullanılmak suretiyle geliştirilmesine yönelik çalışmalarda bulunmuştur. Yaptığı deneysel çalışmalar sonucunda, yerli üretim güçlendirilmiş köşebent ve levha gibi metal parçalar kullanarak enerji yutabilen çapraz lamine ahşap panel birleşimlerinin elde edilebileceği tespit edilmiştir.

Caştur (2021) yaptığı çalışmada, son yıllarda yapı mimarisinde kullanılmakta olan endüstriyel ahşap yapı elemanları üzerinden, dünyada yapılmış olan bazı karakteristik yapı örneklerini incelemek suretiyle, ahşap malzemenin yapısını ve yapı sistemlerini araştırmıştır. İncelenen örnek yapılarda, endüstriyel ahşap malzemelerden hangi türün ne miktarda kullanıldığı ve yapılarda nerelerde kullanıldığı tespit edilmiştir.

Miguel ve Jose Manuel (2021) ahşap elemanın tamamen içinden geçmeyen vida veya çivi ile küçük çaplı metal ahşap bağlantıları üzerine çalışmalarda bulunmuştur. Yaptıkları çalışmalarda, metal ahşap bağlantıların kırılma veya sünek davranışları incelenmiştir. Tüm çalışma sonuçları ve analizleri, gevrek kırılma durumlarında farklı parametrelerin önemi ve rolü hakkında ilgili sektörler için daha fazla bilgi sağlamaktadır.

Ghasan vd. (2021) çalışmalarında, çok katlı hafif çerçeveli ahşap perde duvarların sehimini üzerinde durmuştur. Çalışmalar sırasında, iki katlı yarı ölçekli hafif çerçeveli perde duvarların, düzlem rijitliği dışında diyaframın etkisi de dahil olmak üzere, sehim davranışı araştırılmıştır. Çalışmalar sırasında, yük transferi ve deformasyonun bir seviyeden diğerine etkisini izole etmek için, her seviye ayrı ayrı yüklenmiştir. Kümülatif etki varsayımına dayalı olarak tahmin edilen sapmanın, deneysel çalışmalarda gözlemlenene yakın olduğu görülmüştür. Çalışmalardaki kümülatif etkinin çoğunluğunun, tutma tertibatlarındaki deformasyon nedeniyle, rijit gövde dönüşünden kaynaklandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca çoklu duvar panelleriyle desteklenen diyaframın, perde duvarların sapmasını daha da azalttığı tespit edilmiştir.

Kashan vd. (2021) ince yapılı çelik ile ahşap arasında kendinden kılavuzlu vida kullanılarak yapılan birleşime dair kesme bağlantısı üzerinde deneysel çalışmalar

yapmıştır. Çelik ahşap kompozit yapılarda cıvata veya kendinden kılavuzlu vida bağlantıları yaygın olarak kullanılmaktadır. Deneysel çalışmalar sırasında, kendinden kılavuzlu vidalarla ($d < 6$ mm) 95 adet tek kesmeli bağlantı tasarlanmış ve test edilmiştir. Numunelerin bağlantı performanslarını değerlendirmek için kereste türü, vida boyutu ve çelik kalınlığı gibi farklı etki faktörleri seçilmiştir. Çelik ahşap arasında vida ile yapılan bu bağlantıların, cıvata ile yapılan bağlantılara kıyasla başarısız olmasının vida kırılması ve çekme hatası kaynaklı olduğu tespit edilmiştir.

Seçkin (2023) geleneksel ahşap yapıların mevcut durumunun tespitine ve korunmasına yönelik ilkeler tanımlamak adına araştırmalarda bulunmuştur. Öncelikle ahşap yapı elemanlarında fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulmanın meydana gelip gelmediği, bozulma meydana geldiyse bozulmanın cinsi ve derecesiyle birlikte tespit edilmiştir. Bu incelemelerde yapı elemanının işlevine ve konumuna bağlı kalmak şartıyla, bir veya birden fazla yöntem kullanarak kapsamlı şekilde incelemeler yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda, korumaya yönelik olarak özgün malzemeye zarar verilmeden ahşap malzemelerin nem derecesi ve cinsini tespit etmenin yanında, geleneksel yapım tekniklerinin ve malzeme kullanım detaylarının devamlılığı ile yapı malzeme davranışlarını ilkeler doğrultusunda incelemenin çok önemli olduğu vurgulanmıştır.

Adak ve Apay (2024) yaptıkları çalışmalarda, endüstriyel ahşap elemanların ahşap hibrit yapılarda kullanımını araştırmıştır. Çalışmalar sırasında önce, ana malzeme olan ahşabın genel karakteristik özellikleri incelenmiş, ardından fiziksel ve mekanik özelliklerine dair araştırmalar yapılmıştır. Ayrıca, endüstriyel ahşap ürünler incelenmek suretiyle, ahşap hibrit yapı örnekleri analiz edilmiştir. Çalışmalar sonucunda, elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Ülkemizde ahşap hibrit yapılarla ve tasarımlarla alakalı kısıtlı doküman ve araştırma bulunduğu için, buna benzer nitelikli araştırma ve yayınların tasarımları artırmaya yardımcı olacağı fikrine ulaşılmıştır.

2.2 Ahşap Elemanların Mekanik Özellikleri

Bozkurt ve Erdin (1990) çeşitli ağaç türleri için, ağaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinden yoğunluk, daralma, stabilite, Elastisite Modülü ve eğilme, liflere paralel basınç, dinamik eğilme dayanımları ve Brinell sertlik değerlerine göre sınıflandırmalar yapmıştır. Yoğunluk, Elastisite Modülü, eğilme, liflere paralel basınç, dinamik eğilme dayanımı ve Brinell sertlik değerlerinde ağaçlardan alınan

numunelerin hava kurusu durumlarına göre değerlendirme yapılmıştır. Farklı dayanım çeşitlerine, ahşap malzemelerin kullanıldığı yerlerde etkili olan ve dış faktörlere karşı gösterdikleri dirençlerin bir ölçüsü olarak bakılabilmektedir. Ahşap endüstrisinde, ahşabın kullanıldığı yerler için malzemenin yeterli dayanım özelliklerinin bilinmesi gerekli olduğundan, çalışmalar sonucu elde edilen sınıflandırmaların da önemi vurgulanmıştır.

Bektaş (1997) çalışması kapsamında, kızılçam odununun anatomik, fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Ayrıca bu özelliklerden faydalanarak ağaçların yetiştirme ortamı farklılıklarının etkileri ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla ülkemizin Kahramanmaraş, İzmir, Muğla, Burdur ve Balıkesir illerindeki farklı orman alanlarında yetişmiş ağaçlardan deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere çeşitli numuneler alınmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulgulara göre, ağaçların yetiştirme yeri farklılığının, odunun fiziksel ve mekanik özelliklerinin tamamında anlamlı değişikliklere yol açtığı tespit edilmiştir.

Kantay vd. (2000) Düzce yöresinden edinilen on farklı deney numunesi üzerinde yoğunluk, eğilme direnci, dinamik eğilme direnci, basınç direnci, yarıлма direnci, makaslama direnci gibi fiziksel ve mekanik özellikler üzerine incelemeler yapmıştır. Ayrıca yoğunluk ve direnç arasındaki ilişki ele alınmıştır. Sonuç olarak, numunelerin ortalama tam kuru yoğunluğu $0,52 \text{ g/cm}^3$, eğilme direnci $102,3 \text{ N/mm}^2$, dinamik eğilme direnci $0,54 \text{ kN/cm}$, basınç direnci $38,8 \text{ N/mm}^2$ olarak tespit edilmiştir. Janka sertlik değerleri, enine kesitte $59,2 \text{ N/mm}^2$, radyal kesitte $39,3 \text{ N/mm}^2$, teğet kesitte 37 N/mm^2 şeklinde ve yarıлма direnci ise, radyal yönde $0,68 \text{ N/mm}^2$, teğet yönde $0,95 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur. Ayrıca numunelerin ortalama makaslama direnci değerleri, radyal yönde $7,9 \text{ N/mm}^2$ ve teğet yönde $10,1 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunarak literatüre katkı sağlanmıştır.

As vd. (2001) orman ürünleri sektörüne yönelik bir bilgi sistemi oluşturmak amacıyla, farklı ağaç türlerine ait anatomik, fiziksel, mekanik ve kimyasal bilgileri birarada sunma çalışmalarında bulunmuştur. Bu sayede, bilgilere gereksinimler doğrultusunda daha kolay ulaşılabilme sağlanmıştır. Çalışma ülkemizde yetişen ve endüstriyel öneme sahip 68 ağaç türüne ait bilgileri içermektedir. Yapılan çalışmalar sırasında yeni veri üretilmemiş ve değerlendirme tamamen literatür bilgilerine dayalı olarak yapılmıştır.

Sonuç olarak, eksik verilerin giderilmesi yönünde yeni çalışmaların yapılmasında uygun olacağı tavsiyesinde bulunulmuştur.

Keskin vd. (2003) lamine edilmiş sarıçam odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla bazı çalışmalar yapmıştır. Çalışmalarda malzeme olarak, sarıçam odunundan polivinilasetat tutkalı ile beş katmanlı olarak hazırlanan lamine edilmiş ağaç numuneler kullanılmıştır. Numuneler üzerinde, yoğunluk, çalışma miktarı, eğilme direnci, eğilmede Elastisite Modülü, basınç direnci ve makaslama direnci tespit çalışmaları yapılmıştır. Lamine edilmiş sarıçamın fiziksel ve mekanik özellikleri; liflere ve tutkal hattına dik eğilme direncinde %2,68, eğilmede Elastisite Modülü değerinde %2,74, liflere ve tutkal hattına paralel basınç direncinde %4,52, liflere ve tutkal hattına paralel makaslama direncinde ise %3,06 oranında masif ağaç malzemeye göre daha yüksek bulunmuştur. Böylece, lamine edilmiş sarıçam ahşap malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin, masif sarıçam ahşap malzemeye göre daha üstün olduğu görülmüştür.

Öztürk (2005) yaptığı çalışmada, özellikle ülkemizde yetişen sarıçam ağaçlarından yapı malzemesi olarak üretilen ahşap kirişlerin mekanik özelliklerini araştırmıştır. Çalışmalar sonucunda, çevre üzerinde olumsuz etkisi olmayan, aynı zamanda günümüzde enerji verimi yüksek olan ve sürdürülebilir malzemelerin seçilmesinin önem arz ettiğini belirtmiştir. Bu bağlamda ahşap malzemenin sahip olduğu özellikler itibariyle alternatifi olmayan bir yapı malzemesi olduğu vurgulanmıştır.

Şahin vd. (2006) Tokat Niksar yöresinde yetişen ve özellikle tarımsal yapılarda yapı malzemesi olarak kullanılan kavak ağacının önemli fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi üzerine araştırmalar yapmıştır. Çalışmalar sırasında, kereste atölyelerinden rastgele seçilen kavak ağacı numuneleri kullanılmıştır. Numuneler üzerinde birim ağırlık, büzülme, genişleme, su emme, basınç, çekme, eğilme, kayma dayanımları ve Elastisite Modülü belirleme gibi standartlara uygun deneysel çalışmalar yapılmıştır. Edinilen sonuçlara göre, kavak ağacının yapı malzemesi olarak uygun kullanım ve uygulama tekniği eşliğinde, malzemenin emniyet gerilmelerinin iyi belirlenmesi şartı ile, yapının tüm taşıyıcı elemanlarında ve özellikle aşık, mertek, taban ve tavan kirişi imalatında kullanmaya uygun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, kavak ağacından elde edilen ahşap malzemenin, diğer ahşap malzemelerin sağlanmasının zor

ve yüksek maliyetli olduğu durumlarda, özellikle ekonomik gücü yetersiz olan tarım işletmelerindeki yapılarda rahatlıkla kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Efe ve Kasal (2007) çalışmaları kapsamında, çeşitli masif ve kompozit ağaç malzemelerin tasarım yapılırken gerekli olan bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine araştırmalarda bulunmuştur. Yapılan deneylerde, masif ağaç malzeme olarak Doğu kayını ile sarıçam, kompozit ağaç malzeme olarak okume kontrplak kullanmışlardır. Ayrıca orta yoğunlukta lif levha ile yönlendirilmiş yonga levha da deney malzemesi olarak kullanılmıştır. Deneyde kullanılan malzemelerinin öncelikle yoğunlukları ve rutubet oranları tespit edilmiş olup, numunelerin mekanik özelliklerinden ise, çekme, basınç, eğilme dirençleri ile kesme dirençleri yanında eğilmede Elastisite Modülü değerleri de tespit edilmiştir. Çalışmalarda, literatürdeki bazı çalışmalarda kullanılmış olan emniyet katsayıları dikkate alınarak masif ve kompozit ağaç malzemeler için emniyet gerilmeleri değerleri hesaplanmış ve literatüre katkı sağlanmıştır.

Akgül (2007) ahşap yapı konstrüksiyon sisteminde, çekmeye çalışan yapı elemanlarının lif sürekliliğinin sağlanması üzerine çalışmalarda bulunmuştur. Bu amaçla, fiberlerle güçlendirilmiş ahşap malzemelerin kavelalı ve kavelasız kertmeli boy birleşimlerindeki birleşim bölgelerinin mekanik performanslarını incelemiştir. Yaptığı deneysel çalışmaların sonucunda, kavelalı kertmeli boy birleştirmelerde, cam fiberlerle güçlendirilmiş numunelerin çekme mukavemetlerinin, yapıştırılmış birleştirme numunelerine göre %200 daha yüksek çıktığı görülmüştür. Ayrıca, güçlendirme tekniği uygulanan numunelerin çekme mukavemetlerinin, tek parçadan oluşan masif ahşabın çekme mukavemetinin %70'ine kadar yaklaştığı tespit edilmiştir.

Onat (2007) çalışmasındaki amaç, ülkemizde yaygın olarak yetişen karaçam ve melez kavak odunlarının, metal plaka birleştiriciler ile yapılan bağlantılarının uygun standartlar ve yöntemler ışığında çekme, makaslama gerilmeleri ve eğilme moment kapasitesi gibi mekanik performanslarının ölçülmesi olmuştur. Ayrıca mühendislik tasarımlarının yapılması ve kararlılıklarının belirlenmesi amacıyla, bunların çivi kullanarak yapılan metal lama birleştiricilerin performanslarıyla karşılaştırılması yapılmıştır. Tüm çalışmalar sonucunda, yerli ahşap türlerimizin performans bilgilerinin gün ışığına çıkarılması ve literatüre katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Perçin vd. (2009) polivinil asetat tutkalı, poliüretan tutkalı ve beyaz tutkal ile üç katmanlı lamine edilmiş sarıçam ve kayın odunlarının bazı mekanik özelliklerinin tespit çalışmalarını yapmıştır. Numuneler üzerinde eğilme deneyi, liflere paralel basınç deneyi ve yapışma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, laminasyonda farklı tutkal kullanımının ahşap numunelerin bazı mekanik özellikleri üzerinde etkili olduğu ve lamine edilmiş ahşap numunelerin, kendini temsil eden masif ahşap malzemeye göre mekanik özellikler bakımından daha üstün olduğu tespit edilmiştir.

Kasal vd. (2010) çalışmalarında, farklı ağaç türlerinden hazırlanan lamine edilmiş ve masif ahşap malzemelerin eğilme dirençlerini ve Elastisite Modüllerini tespit etmek üzere, Doğu kayını, sarıçam ve kavak odunlarından hazırlanan numuneler üzerinde eğilme direnci ve Elastisite Modülü deneyleri yapmıştır. Çalışmalar sonucunda, en yüksek eğilme direnci ve Elastisite Modülü Doğu kayınında, en düşük ise kavakta tespit edilmiştir. Eğilme direnci, tutkal hattına dik lamine malzemelerde, tutkal hattına paralel lamine malzemelerden daha yüksek bulunmuş, Elastisite Modülü değerlerinde ise bunun tam tersi sonuç ile karşılaşmıştır. Genel olarak, teknik ve ekonomik yönden avantajları bulunan lamine malzemelerin, masif malzemelere alternatif yapı malzemesi olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Doruk ve Perçin (2010) çalışmalarında, sarıçam, Doğu kayını ve karakavak ağaçlarından temin ettikleri numuneleri 130 °C, 165 °C ve 200 °C’de 2 saat, 6 saat ve 10 saat süre ile ısıtılma maruz bırakmışlar, ardından numunelerin liflerine paralel basınç uygulamak suretiyle standartlara uygun deneyler yapmıştır. Çalışmalar sonucunda, ısıtılma süresine ve sıcaklık miktarının artmasına bağlı olarak ağaç malzemelerin renkleri koyulaşırken, basınç dayanımında elde edilen en yüksek değer kayın numunelerinde 70,94 N/mm² olmuştur. En küçük değer ise 200 °C’de on saat ısıtılma uygulanmış kavak numunesinde 37,09 N/mm² olarak tespit edilmiştir. Eğilme dayanımında, en yüksek değer kayın örneğinde 105,7 N/mm² ve yine en düşük değer on saat süre ile ısıtılma tabi tutulan kavak numunesinde 49,17 N/mm² olarak bulunmuştur. Genel olarak, ısıtılma süresi ve sıcaklık arttıkça eğilme ve basınç dayanım değerlerinde belli oranlarda kayıpların yaşandığı sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışkan (2010) çalışmasında, öncelikle polymer inşaat kalıp sistemleri (pladeck) ile ahşap ve plywood kalıp sistemlerinin mekanik ve fiziksel özelliklerini tespit etmiştir.

Ardından, tespit edilen özelliklere göre ürünlerin karşılaştırılması, avantaj ve dezavantajlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda, bahsedilen ve piyasada kullanımda olan bu kalıp malzemelerinin çekme dayanımı, eğilme dayanımı, su emme ve kapilerite gibi bazı mekanik ve fiziksel özellikleri tespit edilmiştir. Elde edilen değerler çeşitli grafiklerle desteklenerek literatüre kazandırılmıştır.

Can (2011) yaptığı çalışmada, ülkemizde yetişen ve yoğun olarak kullanılan Doğu ladini, karaçam, Doğu kayını ve kavak odunlarını ısıt işleme tabi tutmuştur. Ardından ahşap özellikleri üzerinde meydana gelen değişiklikleri tespit amaçlı bazı fiziksel, mekanik ve biyolojik test yöntemleri kullanılarak deneysel çalışmalar yapmıştır. Bazı numuneler üzerinde ısıt işlem ve emprenye işlemi birlikte uygulanarak ahşabın performans özelliklerine etkisi incelenmiştir. Numuneler üzerinde özgül ağırlık, su alma oranı, teğetsel genişleme gibi fiziksel özellik tespitleri ile eğilme direnci, liflere paralel basınç direnci ve vida tutma direnci gibi mekanik özellik tespit deneyleri yapılmıştır. Elde edilen verilere göre, emprenye işleminin numunelerin fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi olumsuz olmakla beraber, ısıt işlem uygulanmasının etkisi ise olumlu sonuçlanmıştır.

Gürsoy (2011) açık alanlarda kullanılan kent mobilyalarının kullanım yerinde uzun ömürlü olması, her türlü hava koşullarına, trafik etkilerine ve hor kullanıma karşı kendilerini koruyacak sağlam ve güvenli bir yapıda olması üzerine araştırmalarda bulunmuştur. Kent mobilyalarının, yerleştirildiği çevrenin şartlarına uyumlu ve şehrsel marka imajı yaratmaya uygun şekilde tasarlanmış olması gerektiği vurgulanmıştır. Çalışmada, kent mobilyaları ile ilgili tanımlar ve bulunması gereken özellikler, kent mobilyalarının sınıflandırılması, kullanılan malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile mobilya üretiminde ahşap malzeme kullanımının değerlendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca, kent mobilyaları hakkında ülkemizdeki üretici ve tüketicilere yönelik anket çalışmaları sonucu elde edilen bulgular paylaşılmıştır.

Efe ve Çağatay (2011) mobilya mühendislik tasarımında ihtiyaç duyulan çeşitli ahşap malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile çalışmalar yapmıştır. Masif malzeme olarak Doğu kayını, sarıçam, meşe, kestane ve ceviz ağaçlarından elde edilen numuneler kullanılmıştır. Numunelerin nem oranları, yoğunlukları, çekme, basınç, kesme dayanımları ile eğilme dayanımları ve eğilmede

Elastisite Modülü değerleri yapılan deneylerle belirlenmiştir. Ayrıca, literatürde kayıtlı emniyet katsayıları kullanılmak suretiyle, masif ağaç malzemeler için tasarım emniyet gerilmeleri değerleri hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, mobilya tasarımcıları için sistematik bir veri tabanı hazırlanmıştır. Bu sayede, mobilya üretiminde kullanılacak olan çeşitli ahşap malzemelerin özelliklerinin bilinmesinin, mobilyanın değerini ve ekonomik ömrünü olumlu yönde etkileyeceği görüşü benimsenmiştir.

Akgül (2013) yaptığı çalışmada, yoğun kullanılan sarıçam numunelerine alçak basınç vakum yöntemiyle emprenye edilen farklı oranlardaki bakır, krom ve boroksit nano parçacıklarının, ahşabın basınç, çekme, eğilme ve kesme dayanımı gibi farklı mekanik özellikleri üzerine etkilerini incelemiştir. Çalışmalar sonucunda, piyasada mevcut olan bakır-krom-bor bileşiklerinden oluşan emprenye tuzlarının aksine, ahşabın mekanik özelliklerini yaklaşık %30 oranında iyileştiren yeni bir nano emprenye maddesi üretilerek, kullanıcılara tavsiye edilmiştir.

Görgün (2013) giriş olarak kullanılacak karaçam keresteleri üzerinde, tahribatsız değerlendirmeler yapmış, ayrıca hangi sınıflandırma yöntemlerinin uygun olduğu konusunda çalışmalarda bulunmuştur. Çalışmalar sırasında, yapısal boyutta olan tahribatsız ve tahribatlı değerlendirmeler ve sınıflandırmalar ile kusursuz ve küçük boyuttaki numunelerle yapılan tahribatlı deneysel çalışmalar kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Ayrıca, istatistiksel olarak analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, hangi sınıflandırma standartlarının mekanik değerlendirmeye daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

Uzun ve Perçin (2014) tutkalının yapışma direncini belirlemek için, ısıtıl işlem uygulanmış bazı ahşap malzemeler üzerinde çalışmalar yapmıştır. Doğu kayını, sapsız meşe, sarıçam ve kara kavak ağaçlarından elde edilen numuneler sırasıyla 150 °C, 175 °C ve 200 °C’de 38 saat ısıtıl işleme tabi tutulmuş, ardından numunelerin tutkal ile yapışma dayanımları tespit edilmiştir. Sonuç olarak, ısıtıl işlemden geçen numunelerin liflere paralel yapışma dayanımları genellikle düşerken, en yüksek yapışma direnci değeri 15,97 N/mm² olarak 150 °C’de ısıtıl işleme tabi tutulan sapsız meşede, en düşük değer de 4,10 N/mm² şeklinde 200 °C’de ısıtıl işleme tabi tutulan kara kavakta elde edilmiştir.

Yaman (2015) göknar ve karaçam ağaç türlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemek amacıyla, Bolu iline bağlı Mudurnu yöresinde bulunan tarihi ahşap evler üzerinde çalışmalarda bulunmuştur. Yapılarda kullanılan aynı türlere ait kontrol örnekleri ile karşılaştırmalar da yapılmıştır. Ahşap yapılarda kullanılan göknar ve karaçam numuneleri üzerinde yapılan fiziksel test çalışmaları sonucunda, kontrol amaçlı örneklerin nem ve su alma oranlarının, tarihi örneklerle göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yapılan mekanik testler sonucunda, kontrol örneklerinin tarihi örneklerle nazaran daha yüksek dayanım gösterdiği tespit edilmiştir.

Zor vd. (2016) polivinil asetat tutkalı ve poliüretan tutkalı ile lamine edilmiş sarıçam ve göknar odunlarından elde edilen numunelerin eğilme ve basınç direnci değerlerini, laboratuvar ortamında yapılan deneysel çalışmalarla incelemiştir. Ayrıca eğilme direnci deneysel çalışmaları sırasında klasik yöntemlerle ölçülen deformasyonlar, son yıllarda mühendislik alanında sık kullanılan bir yöntem olan görüntü analizi yöntemiyle karşılaştırılarak, bu yöntemin farklı alanlarda uygulanabilirliği ve uyumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Orhan (2017) kavak numunelerinin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini tespit etmek için, numunelere azot gazı varlığında ısıtma işlemi uygulayarak etkilerini araştırmıştır. Deneylerde azot gazı ve hava iki farklı ısı transfer aracı olarak kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sırasında, denge nem miktarı, teğet genişleme, tam kuru yoğunluk, radyal genişleme, genişleme anizotropisi, boyuna genişleme ile hacmen genişleme gibi fiziksel özellikler ile statik eğilme direnci, eğilmede Elastisite Modülü, şok direnci gibi bazı mekanik özellikler tespit edilmiştir. Çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlara göre azot gazı atmosferinde yapılan ısıtma işleminin, kavak numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine olumlu etkisi olduğu görüşüne ulaşılmıştır.

Çetin ve Gündüz (2017) bu çalışmada, 1951-2015 yılları arasında Türkiye'deki farklı ağaç türü numunelerinin, bazı mekanik özelliklerine ait nicel değerleri içeren çalışmaları incelemiştir. Türkiye'de yetişen ağaçların dayanım ve mekanik özelliklerinin bulunmasına yönelik yapılan araştırmalarda, birden fazla ağaç türü üzerinde kapsamlı bir araştırma yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda, coğrafi enlem-boylam, rakım ve sıcaklık farklarının, alınan numunelerin mekanik özelliklerini ve elde edilen sonuç değerlerini etkileyerek, değerlerin farklı çıkmasına yol açtığı tespit edilmiştir.

Özan (2017) çalışmasında, ısıt işlem görmüş ağaç malzemelerin, çapraz lamine kereste üretiminde kullanım olanaklarını araştırmıştır. Çalışmalarında kolay temin edilebilen sarıçam ve Uludağ göknarı numuneleri kullanılmıştır. Bu numuneler üzerinde, çekmede ve eğilmede makaslama dayanımı, eğilmede Elastisite Modülü ve yüzeye dik çekme dayanımı deneysel tespit çalışmaları yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonuçlarına göre, ısıt işlemsiz çapraz lamine kereste malzemenin, ısıt işlem uygulanan malzemedan tüm şartlar altında daha sağlam olduğu tespit edilmiştir.

Kaya (2017) yaptığı deneysel çalışmalarda masif ladin ahşap ve ladin lamine ahşap kullanmıştır. Deneyde kullanılacak lamine ahşap numuneler, dört lamelli ve dokuz lamelli ladin numuneler olarak hazırlanmıştır. Malzemelerin durabilitesi ve mekanik özellikleri üzerindeki ortam şartlarının etkisini inceleyebilmek amacıyla fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışma sonuçlarına göre, ahşap malzemeye laminasyon işlemi uygulandığında kompozit bir malzemeye dönüşmekte ve sahip olduğu yapısal özellikler değişmektedir. Masif ahşabın kullanılacağı yere göre yapısının, ağaçtan alındığı kısmın ve ağacın cinsinin önemli olduğu tespit edilmiştir. Lamine ahşapta ise, lamellerin geometrik dizilişleri, lamellerin her birinin ayrı ayrı yapısı, nem içerikleri, kullanılan tutkalın cinsi ve uygulandığı ayrı bir önem kazanmaktadır. Sonuç olarak, iki malzemenin de birbirinden üstün olmadığı görülmüş, bu malzemelerin birbirleri yerine kullanılmaması gerektiği vurgulanmıştır.

Bal ve Bektaş (2018) ahşabın mekanik özellikleri ile yoğunluğu arasındaki ilişki üzerine çalışmalar yapmıştır. Deneysel çalışmalarda, kayın ve kavak ağacından elde edilen numuneler üzerinde, yoğunluk tespiti, eğilme direnci, Elastisite Modülü, şok direnci ve basınç dayanımı belirleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar, yoğunluk miktarı arttıkça numunelerin mekanik özelliklerinin arttığı yönünde olmuştur.

Şendağ (2018) farklı koşullar altında, ülkemizde yetişen ağaç türlerimiz olan sapsız meşe, Doğu kayını ve sarıçam'ın gerilme-deformasyon ilişkileri ile elastik sınır gerilme-deformasyon değerlerini belirleme üzerinde durmuştur. Standartlara uygun boyutlarda hazırlanan numuneler önce 65 ± 5 bağıl nem ve 20 ± 2 °C sıcaklıktaki klimatizasyon odasında bekletilerek 12 hava kurusu denge nemine ulaşması beklenmiş, ardından, denge nemine ulaşan numuneler üç ayrı gruba ayrılmıştır. Birinci grup numuneler hava kurusu denge neminde test edilmiş, diğer iki grup oda

sıcaklığında su içerisinde bekletilerek %40 nem içeriğine ulaşmaları sağlanmıştır. İstenen rutubet değerine ulaşan numune gruplarından birisi bu şartlar altında deneye tabi tutulmuş olup, son grup ise 1,2 bar basınç altında her 1 mm kalınlık için 2 dakika süre ile buhar altında bırakılmıştır. Buhar işleminden geçen numuneler bir gün boyunca soğutulduktan sonra, 50 N ani yük düşüşü kırılma değeri ve maksimum yükün %80'i olan yüke ulaşması kırılma parametresi olarak ayarlanarak deneyler yapılmıştır. Deneylerden elde edilen deformasyon değerleri ile yük-deformasyon grafikleri çizilmiş, çizilen grafiklerden de elastik sınır gerilme ve deformasyonları belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonuçlarına göre, nem miktarında meydana gelen artış ve buharlama işleminin ahşap malzemenin dayanım özelliklerini önemli miktarda düşürdüğü tespit edilmiştir. Ayrıca eğilme ve basınç gerilmelerinde, nem artışı ve buharlama işlemi dayanımda azalmaya, deformasyonda ise artışa yol açmıştır. Makaslama deneyleri sonucunda nem ve buharlamaya bağlı olarak, numunelerde direnç değerleri azalmış deformasyon değişimleri ise ağaç türlerine göre değişiklik göstermiştir. Her türün yetiştirme şartları ve anatomik kimyasal yapısının bu durum üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Elastisite Modülü deneylerinde nem artışı ve buharlama işlemi, gerilmede azalmaya yol açmıştır. Ayrıca, izin verilebilecek olan deformasyon değerlerinin de ağaç türü, örnek boyutları, nem ve kusur özelliklerine göre ortaya konulmasının, ahşap yapı malzemesini daha güvenli olarak kullanmaya imkân vereceği tespit edilmiştir. Yüksek neme sahip veya su alan bölgelerde, ahşap malzemelerin taşıyıcı eleman olarak kullanımında, dayanım değerlerinde meydana gelecek azalmalar dikkate alınarak tasarlama ve hesaplamalar yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Dönmez (2019) bu çalışma kapsamında, 1800 mm ve 2450 mm uzunluğunda ahşap kalıp kirişlerinin değişik yükleme türleri etkisi altındaki performans ve davranışlarını incelemiştir. Ahşap kalıp kirişleri kullanımları sırasında statik, yorulma ve ani dinamik çarpma gibi değişik yükleme türleri etkisinde kalabildikleri için, buna uygun deneysel bir çalışma düzeni hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalar sırasında, iki farklı uzunluktaki ahşap kalıp kiriş deney elemanının monotonik statik, tekrarlı yorulma ve ani dinamik çarpma yüklemeleri etkisi altındaki genel yük-deplasman davranışları, başlangıç rijitlikleri, deplasman süneklik oranları, enerji tüketim kapasiteleri, göçme mekanizmaları, ivme, deplasman ve çarpma yükü zaman davranışları incelenmiştir.

Çalışmalar sonucunda ise, numunelerin değişik yük türleri etkisindeki performansları hakkında yorumlar yapılmıştır.

Uyar (2019) sarıçam odunundan elde edilen lameller ile oluşturulan ahşap lamine kirişlerin çarpışma yüklemesi etkisi altındaki davranışını, masif ahşap kirişler ile karşılaştırarak incelemiştir. Deneysel çalışmalar sırasında incelenen değişken faktörler, ahşap lamel sayısı ve kalınlığı yanında yapıştırma yüzeyinde aderansı artırmak amacıyla kullanılan ağ türleridir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar incelendiğinde, ahşap lamine kirişlerin taşıma gücü değerlerinin, deplasman süneklik oranlarının, başlangıç rijitliği ve enerji tüketim kapasitesi değerlerinin tek parça masif ahşap kirişlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Çalışkan vd. (2019) ahşap elemanların önemli bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine çalışmalarda bulunmuş olup, ayrıca ahşap malzeme ile imal edilmiş yapıların ülkemiz ve dünyadaki durumunu incelemiştir. Genel olarak ahşap yapılar hakkında, Türkiye ve dünyada kullanılan standartlar ve yönetmelikler üzerine karşılaştırmalı bilgiler paylaşılmıştır.

Meriç (2019) ahşap yapı malzemelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine çalışmalar yapmak suretiyle, ahşap yapı malzemelerinin taşıyıcı sistemlere olan etkisini ortaya koymuştur. Yürürlükte olan standart ve yönetmeliklerden örnekler vermekle beraber, ahşap yapıların günümüzdeki kullanımına ve önemine değinilmiştir. Çalışmaları neticesinde, Eurocode 5 standartının, özellikle ahşap malzeme seçimi ile ilgili bizlere daha geniş yelpaze sunması ve katsayılar ile araştırmalar yapılırken çok daha güvenli bir hesap yöntemi ortaya koyması sebebiyle daha güvenli olduğu tespit edilmiştir.

Aydemir vd. (2019) yaptıkları çalışmada, 180 °C ve 220 °C'de 8 saat ısıtılma işlemi görmüş farklı tür ahşapların bazı fiziksel, mekanik ve termal özelliklerini araştırmıştır. Fiziksel özellik olarak, yoğunluk, su alma ve renk değişikliği ile mekanik özellik olarak, eğilme dayanımı, eğilmede Elastisite Modülü, basınç dayanımı ve yapışma dayanımı incelenmiştir. Ayrıca, taramalı elektron mikroskobu ile morfolojik ve termogravimetrik analiz ile termal özellikler de incelenmiştir. Isıl işlem görmüş ahşap malzemelerin yoğunluk ve su alma oranlarının azaldığı ve işlem sonrası odun

renklerinde koyulaşma olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, ısı işlem sıcaklığı yükselirken, mekanik özelliklerdeki düşüş miktarının daha da arttığı görülmüştür.

Bal ve Ayata (2020) bu çalışmada, karaçam ve karakavak odunlarının bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine araştırmalarda bulunmuştur. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar da birbirleri ile kıyaslanmıştır. Yaptıkları deneysel çalışmaların sonucunda, karaçam odununda yaklaşık nem oranı %9,77, hava kurusu yoğunluğu 508 kg/m³, eğilme dayanımı 118,7 N/mm², Elastisite Modülü 9789 N/mm², basınç dayanımı 57 N/mm² ve şok direnci 0,416 kgm/cm² olarak tespit edilmiştir. Karakavak odununda ise nem oranı %9,81, hava kurusu yoğunluğu 396 kg/m³, eğilme dayanımı 75,1 N/mm², Elastisite Modülü 5438 N/mm², basınç dayanımı 42 N/mm², şok direnci 0,438 kgm/cm² olarak elde edilmiştir.

Zhibin vd. (2020) çalışmalarında, fiber takviyeli polimer kompozitlerle güçlendirilmiş küçük ölçekli ahşap kirişlerin kesme davranışlarını, hem deneysel hem de teorik olarak araştırmıştır. Fiber takviyeli polimer ile kesme donatısını güçlendirme verimliliğini değerlendirmek için yapılan çalışmalarda, numunelerin kesme açıklıkları farklı tür fiber takviyeli polimerle, farklı katman ve ekleme yapılandırması kullanılarak güçlendirilmiştir. Karbon fiber takviyeli polimerlerle yapılan kesme takviyelerinin, cam fiber takviyeli polimerlerle yapılan kesme takviyelerinden daha yüksek verimliliğine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Okka (2020) yaptığı çalışmaları, 8x20x290 cm ebatlarında çam solid, çam ekli, ladin solid, ladin ekli ve ladin karışık ekli ahşap kiriş numuneler kullanarak gerçekleştirmiştir. Numuneler, yükleme çerçevesinde iki noktasal yük altında eğilme dayanımına maruz bırakılmış ve standartlara uygun dört noktalı eğilme deneyleri yapılmıştır. Kiriş numunelerine standartların izin verdiği yükler uygulanmak suretiyle, elde edilen sonuçlar kullanılarak yük-deplasman ve moment-eğrilik grafikleri oluşturulmuştur. Ayrıca yapılan çalışmalar sonucunda, ahşap kiriş numunelerinin göçme yükleri, ortalama göçme yükleri, göçme yükü altındaki maksimum deplasmanları ile göçme yükü altında elemanda meydana gelen moment ve eğrilik değerleri tespit edilmiştir. Yapılan ölçüm değerleri sonucunda, hangi ahşap elemanın dayanımının yüksek olduğu tabloda karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Arpacı ve Tokmak (2020) ahşap malzemelerin dış ortam koşullarında kullanımı sırasında oluşabilecek hasar verici faktörlerin, ahşap özelliklerine olan etkileri üzerine araştırmalar yapmıştır. Çalışma aşamasında, ahşaba hasar veren abiyotik ve biyotik faktörler yanında, ahşap malzemenin fotodegradasyonu ve bunun sonucu ahşapta meydana gelen değişimler incelenmiştir. Farklı yapay ve doğal yaşlandırma test yöntemleri üzerinde durulmuştur. Çalışmalar sonucunda, yaşlandırma ve ağaç türü faktörlerine bağlı olarak ahşabın yüzey özelliklerinde önemli değişimler olduğu görülmüş, tahrip süresi uzadıkça da bozunmanın daha yoğun olduğu tespit edilmiştir. Dış ortam koşullarında kullanılacak ahşap malzemenin hizmet ömrünün uzatılması için, mutlaka emprenye edilmesi, modifikasyon uygulanması veya bir koruyucu madde ile üst yüzey işlemlerinin yapılmasının uygun olacağı vurgulanmıştır. Ayrıca literatürde ahşap malzemeyi yaşlandıran çalışmalar konusu araştırıldığında, doğal ve yapay yaşlandırma arasında modelleme çalışmalarının çok az olduğundan dolayı modelleme odaklı çalışmalara ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir.

Yusuf vd. (2021) çalışmalarında, ahşap kirişleri aralıklı olacak şekilde cam fiber takviyeli polimer şeritleri ile güçlendirerek kesme performanslarını incelemiştir. Ayrıca, farklı sayıda fiber takviyeli polimer şeritleri kirişin ana eksenine farklı uyum açılarında sarılarak, ahşap kirişin eğilme yükü altındaki performansına etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışma sonuçlarına göre, en uygun cam fiber takviyeli polimer şerit sayısının beş adet olduğu ve eğimli tam sarma durumunda, dikey ve kısmi sarma durumlarına göre daha yüksek dayanımlar elde edildiği tespit edilmiştir.

Feibin vd. (2021) keresteden keresteye eğimli vidalarla yapılan bağlantılarda, düzenleme mesafelerinin kesme gerilimi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Deneysel çalışmalar, eğimli kendinden kılavuzlu vida kullanılarak yapılan ahşap yapı birleşimlerinde, beş uç mesafe ve dört farklı boşluk koşulları altında kesme gerilimi testleri uygulanarak yapılmıştır. Ayrıca, düzenleme mesafelerinin rijitlik üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçları, düzenleme mesafelerinin, ahşap eklemlerinin akma modu ve yük taşıma kapasitesi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir.

Richard vd. (2021) lamine kerestenin kesme mukavemeti ile ilgili özelliklerini araştırmış ve bu alanda yapılan deneysel çalışmaların karşılaştırmasını yapmıştır. Yaptıkları çalışmalar sırasında Avustralya'da yetiştirilen Okalipüt Nitens ve Radiata

ağacı kullanılmıştır. Numuneler üzerinde dört nokta eğilme deneyleri ve ahşap sandviç plakalarla modifiye düzlemsel kesme deneyleri yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda, en boy oranı ve güç arasında, daha önce yapılan araştırmalarla uyumlu olan güçlü bir pozitif ilişki bulunmuştur. Ayrıca, yıllık halka dağılımının, kesme modülü üzerinde en belirgin etkiye sahip olduğu görülerek, yük yönünde ölçülen kesme mukavemeti değeri üzerinde önemli bir etkisi olduğu saptanmıştır.

Aytemiz (2021) geleneksel konutların bulunduğu Gazipaşa Mahallesi'nden seçilen bir binadan alınan örnekten hazırlanan numunelerle fiziksel ve mekanik deneyler yapmıştır. Binada kullanılmış olan ahşap malzemenin türü, yaşı, nem oranı, birim ağırlığı, eğilme ve basınç dayanımı ve Elastisite Modülü değerleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler sonucunda genel olarak binaların restorasyon ve onarım faaliyetleri ile ilgili önerilerde bulunmuştur.

Acehan (2021) sarıçam odunundan elde edilen 20 mm kalınlığında ve 100 mm genişliğindeki ahşap lameller kullanmak suretiyle çalışmalarda bulunmuştur. Lameller birbirlerine yapıştırıcı ve yapıştırıcı ile birlikte mekanik ankrajlar ile bağlanmıştır. Lamellerin birleşim kenetlenme uzunlukları 180 mm, 250 mm ve 350 mm olarak değişim gösterecek şekilde tasarlanmıştır. Hazırlanan numunelerin ahşap bağlantı bölgelerinin eksenel çekme yükü etkisi altındaki genel yük deplasman davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca, numunelerin birleşim bölgelerinde kullanılan mekanik ankraj sayıları ile yerleşimlerinin değişim göstermesinin, genel yük-deplasman davranışı ve kayma gerilmesi davranışları üzerindeki etkileri de araştırılmıştır.

Acehan vd. (2021) birbirlerine yapıştırıcı ve mekanik ankrajlar ile bağlanmış olan, kenetlenme uzunlukları 180 mm, 240 mm ve 350 mm olarak değişim gösteren ahşap bağlantı bölgelerinin, eksenel çekme yükü etkisi altındaki yük-deplasman davranışlarını incelemiştir. Yapılan çalışmalarda, birleşim bölgesinde kullanılan mekanik ankraj sayısı ve ankraj yerlerinin değişim göstermesinin, kayma gerilmesi ve kayma deplasmanı davranışları ile genel yük-deplasman davranışları üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Birinci (2022) çalışmasında, higrotermal yaşlandırmanın, orta yoğunluklu lif levha ve sunta levhalarda renk, yüzey pürüzlülüğü ve vida çekme direnci üzerine etkisini

araştırmıştır. Deneyisel çalışmalar için 50×50 mm boyutlarında hazırlanan numuneler, iki hafta boyunca %65±5 bağıl nem ve 20±2 °C sıcaklık ortamında önce klimatize edilmiş, ardından saf su ile doldurulmuş 20 °C sıcaklıktaki suda bir ay boyunca bekletilmiştir. İlgili standartlara göre yapılan deney sonuçlarına göre, higrotermal yaşlandırmanın vida çekme direncini düşürücü bir etkisi olduğu ve numunelerin kontrol numunelerine göre toplam renk değişimlerinin arttığı tespit edilmiştir.

Kaya (2023) çalışması kapsamında, farklı katman ve malzemeler ile üretilen ahşap esaslı kompozit panellerin mekanik ve teknolojik özelliklerini incelemiştir. Bu amaçla, yüzey katmanları yüksek yoğunluklu liflevha ve orta yoğunluklu liflevhalara farklı geometrik biçimlendirmeler yapılarak, dairesel, dikdörtgen ve trapez oluklu ve kesitli paneller hazırlanmıştır. Hazırlanan kompozit paneller, 20 °C sıcaklık ve %65 bağıl nem şartlarında kondisyonlandıktan sonra, hava kurusu yoğunluk, nem tespiti, eğilme direnci, Elastisite Modülü, levha yüzeyine dik çekme direnci, levha yüzeyinden vida tutma direnci, ısı yalıtım ve ses yalıtım belirleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda, geometrik biçimlendirmeye sahip çekirdek katmanının, ahşap esaslı kompozit panellerin fiziksel özelliklerinin bazılarında azalmaya, bazılarında ise artışa neden olduğu görülmüştür. Ayrıca numunelerin mekanik özelliklerinin tümünde azalmaların olduğu halde, incelenen teknolojik özelliklerin tümünde hedeflenen özelliklerin gerçekleştiği tespit edilerek, kompozit panellerin fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri bakımından ağaç işleri ve mobilya sektöründe kullanılabilir yeterliliğe sahip oldukları sonucuna varılmıştır.

Saltık (2023) çalışmasının amacı, küçük ölçekli ahşap numunelerinin kurutulacağı infrared+mikrodalga kurutma düzeneğine uygun ahşap kurutma fırınının tasarlanması ve palet sektöründe yoğun kullanılan iki ağaç türünün kurutulmasında tasarlanan fırınla kurutma metodunun etkinliğinin araştırılmasıdır. Bu çalışmada, ortalama %60 nem değerine sahip kızılçam ve Doğu Ladini ağaçlarından elde edilen örnekler kullanılmıştır. Numuneler 3 farklı kurutma metodu kullanılarak değişken süre ve şartlar altında kurutulmuştur. Yapılan deney sonuçlarına göre, infrared+mikrodalga teknolojisi ile kurutmanın, etüv ile kurutmaya göre %93 daha az enerji harcadığı ve 15 dakika gibi kısa sürede işlemin tamamlandığı görülmüştür. Sonuç olarak tasarlanan prototip fırının, ilerde ahşap palet endüstrisinde kullanılmak üzere üretilecek bir kurutma fırınına fikir vereceği düşünülmektedir.

Davaz (2023) farklı tutkallar kullanılarak üretilen lamine ahşap malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine silika ve grafen nanopartiküllerinin etkisinin belirlenmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Karakavak ve Avrupa kayını ağaçlarından imal edilmiş 4 mm kalınlığındaki papel kaplamalar, modifiye edilen tutkallarla sıkıştırılıp lamine ahşap malzemeler üretilmiştir. Lamine ahşap malzemelerin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla, numuneler üzerinde hava kurusu yoğunluk ve boyutsal değişim deneyleri ile mekanik özelliklerini belirlemek için, yapışma dayanımı, eğilme dayanımı ve eğilmede Elastisite Modülü deneyleri yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, yapışma dayanımı silika katkılı lamine numunelerde, eğilme dayanımı ve Elastisite Modülü ise grafen katkılı lamine örneklerde daha yüksek bulunmuştur. Genel olarak, her iki nanopartikül oranındaki artışın da mekanik özellikler üzerinde olumlu etki sağlarken, boyutsal kararlılıkta olumsuz etki gösterdiği tespit edilmiştir.

Akyürek ve Girgin (2023) çalışmalarında, ülkemizde taşıyıcı elemanların eğilebilmesine yönelik ölçütler ve bu alanda yapılan deneysel çalışmaların kısıtlı olması sebebiyle, eğilme işlemlerinde malzeme kayıpları olduğunu vurgulamıştır. Yaptıkları çalışmalarda, ahşap ızgara kabuklarının ülkemizde uygulanabilirliğini de araştırmışlardır. Çalışmalar sırasında öncelikle bu alanda dünyada olan uygulamaların boyut ve detay bilgileri tespit edilmiştir. Ülkemizde yetişen bazı ağaç numunelerinin fiziksel ve mekanik karakteristikleri tablolaştırılarak, hangi ağaç türlerinin bu işleme uygun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, ahşap numunelerin eğrilik yarıçapları hesaplamak suretiyle, yoğunluk, eğilme dayanımı, Elastisite Modülü, maliyet ve üretim miktarı parametreleri ile ilişkileri belirlenmiştir. Çalışma ve araştırmalar sonucu yapılan değerlendirmelere göre, ülkemizde yaygın olan ve Avrupa'daki örneklerine göre eğilme dayanımları daha yüksek olan kayın, karaçam ve meşe ağaçlarının ızgara kabuk üretimi için tedarik, dayanım ve eğilebilirlik yönünden en uygun ürünler olduğu sonucuna varılmıştır.

Öztürk (2024) çalışma kapsamında, ahşap yapı malzemelerinin türleri, genel özellikleri, bozulmasına neden olan faktörleri araştırmıştır. Emprenye ile ilgili teorik bilgilere dayanarak yapılan ve sistematik analizler sonucu belirlenen ahşap üzerindeki etkilerine göre kategorilere ayırımı da, tablolar şeklinde sunulmuştur. Sonuç olarak, ahşap emprenyesine yönelik olarak yapılmış deneysel içerikli bilimsel araştırmaların

sistematik bir şekilde analiz edilmesi ve matrisler oluşturulmasının, ahşap endüstrisinin gelecek araştırmalarına ışık tutacağı ve yardımcı bir kaynak olarak kullanılacağı sonucuna varılmıştır.

2.3 Ahşap Elemanlarda Nemin Etkileri

Kurtoğlu (1983) yaptığı çalışmada, ağaçtan elde edilen ahşap malzemelerin nem durumları üzerinde durmuştur. Çalışmalar sonucunda, ahşap malzemelerde tam yaş, taze, lif doygunluğu noktası, hava kurusu ve tam kuru şeklinde beş farklı nem hali tespit edilmiştir. Ayrıca malzemelerdeki nem miktarının özellikle lif doygunluğu nem değeri altında olduğunda, ahşabın yoğunluğu, ısı, akustik, elektrik, mekanik, dayanım ve işlenme durumu gibi fiziksel ve mekanik özelliklerinde değiştiği tespit edilmiştir. Bu durumun, ahşabın kurutma, emprenye, cilalama, bükme, selüloz randımanı, taşıma ve istifleme masrafları üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir.

Kantay (1986) ahşap malzemelerde uygulama bakımından önemli olan, başlangıç nemi, sonuç nemi ve lif doygunluğu nem hali üzerine çalışmalar yapmıştır. Çalışmalar sırasında, kerestelerdeki enine kesit nem dağılışının önemi vurgulanarak, kurutma sırasında ve kurutma sonunda kerestenin iç ve dış tabakaları arasında olması gereken nem değeri farkları incelenmiştir. Ayrıca ahşap malzemenin neminin ölçülmesinde kullanılan pratik yöntemler üzerinde durulmuştur. Özellikle nemölçerlerin seçilmesinde ve satın alınmasında göz önünde bulundurulacak hususlar ile nem ölçülmesinde dikkat edilecek hususlar hakkında kullanıcıya yardımcı bilgiler verilmiştir.

Obataya vd. (1997) çalışmaları sırasında, 20 °C ısıdaki oda şartlarında, ladin ağacının uzunlamasına yöndeki ve çeşitli nem içeriklerindeki nem depolama ve kayıp durumları tespit edilmiştir. Emilen suyun etkisinde matris katkısını ortadan kaldırmak için tek eksenli bir reolojik model kullanılmıştır. Farklı nem içeriğine sahip ahşabın dinamik özelliklerindeki değişiklikler, sadece matris yapısındaki değişiklikleri değil, aynı zamanda hacim alanındaki değişiklikleri de yansıtmakta olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, fibrillerin ahşabın uzunlamasına yönü boyunca uzandığı varsayımı ile yüksek nem içeriklerinde, ölçülenden çok daha büyük bir depolama değeri olduğu öngörülmüştür.

Ishimaru vd. (2001) nemlendirme periyodu sırasında ahşabın mekanik özelliklerindeki değişiklikler üzerine çalışmalar yapmıştır. Adsorpsiyon işlemi ile şartlandırılmış ahşapta Elastisite Modülü ve nem içeriği hemen hemen hiç değişmediği halde, şartlandırmanın sonraki aşamalarında önemli artış göstermiştir. Bununla birlikte, desorpsiyon işlemiyle, nem içeriği büyük ölçüde azaldığında, koşullandırmanın erken aşamalarında Elastisite Modülü artmasına rağmen, koşullandırmanın sonraki aşamalarında çok fazla artmamıştır. Ahşabın gerilme dayanımı, hem adsorpsiyon hem de desorpsiyon işlemleri ile şartlandırma süresinin artmasıyla azalmıştır. Bu sonuçlar, mevcut nem durumunun gerçek bir denge durumundan farklı olmasının neden olduğu kararsız durumdaki bir ahşabın, gerçek denge durumundaki ahşaba göre daha düşük elastisite ve dayanıma sahip olduğunu göstermiştir.

Göker vd. (2004) çalışmalarında, ahşabın dielektrik özelliklerini ve bunu etkileyen faktörleri detaylı bir şekilde incelemiştir. Ahşabın elektrik alanı ile etkileşimi sonucu, malzeme içinde meydana gelen kutuptaşma aracılığıyla elektriksel potansiyel enerjinin depolanması ve elektrik alanı kaldırıldığında bu enerjinin bir kısmının kaybolması olarak tanımlanan ahşabın dielektrik özelliklerinin, ahşabın lif yönü, nem miktarı, yoğunluğu, alan frekansı ve ortam sıcaklığından etkilendiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada, özellikle tam kuru ve nemli ahşabın dielektrik özellikleri üzerinde bu faktörlerin etkileri konusunda değerli bilgiler verilmiştir.

Chauhan ve Aggarwal (2004) çalışmalarının amacı, farklı nem emme durumları sırasında ahşaptaki enine boyutsal değişiklikleri ve buna karşılık gelen anizotropisiteyi incelemektir. Fırında kurutulmuş farklı ahşap örnekleri adsorbe edilmiş ve ardından 35 °C sabit sıcaklıkta desorbe edilmiştir. Teğetsel ve radyal boyut değişiklikleri, her iki sorpsiyon durumu sırasında bağıl nem ve nem içeriğine göre analiz edilmiştir. Teğetsel yöndeki boyutların, yüksek nemde radyal yöne göre nispeten daha büyük bir oranda değiştiği sonucuna ulaşılmıştır.

Yazıcı (2005) açık hava şartlarında kullanılacak ahşap malzemelerle ilgili, ahşabın elde edildiği ağacın türü, dayanım özelliklerinin değişimi, dayanım süresinin ve maruz kalınan zararlı faktörlerin neler olduğu konusunda çalışmalar yapmıştır. Ahşap malzemelerin açık hava etkisi ile değişimlere uğradıkları ve farklı türlerin farklı dayanım özelliği gösterdikleri belirlenmiştir. Ahşabın biyolojik veya fiziksel etmenler tarafından bozundurulması, organik bileşiklerin bazılarını değiştirmektedir. Bununla

birlikte, uygun koruyucu madde ile yüzeysel ve derinlemesine yapılan işlemlerin ahşap malzemenin açık hava etkilerinden koruması açısından önem arz ettiği belirtilmiştir.

Kojiro vd. (2008) suyla şişmiş ahşabın dinamik viskoelastik özellikleri ve boyutları üzerindeki etkisi ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Suyu doymuş ahşabın mekanik özellikleri, numunelerin sıcaklıkları 20 °C ile 90 °C arasında yükseltirken viskoelastik özellikler ve boyutsal değişiklikleri ölçülerek incelenmiştir. Suyu doyurulan ahşabın hem viskoelastik özellikleri ve boyutsal değişimleri ilk ısıtma işleminde, diğer ısıtma işlemlerine göre oldukça farklı çıkmıştır. Soğutma yöntemleri, viskoelastik özellikleri büyük ölçüde etkilerken, sıcaklık yükseldiğinde boyutsal değişiklikler pek etkilenmemiştir. Suyu doyurulmuş ahşabın mikro yapılarındaki sınırlandırılmış gerilim, ısıtma işlemindeki mekanik özellikleri etkilerken, soğutma işleminin neden olduğu orantısız sınırın altındaki dış gerilimin, mekanik özelliklere hiçbir etkisi olmadığı görülmüştür.

Jianxiong vd. (2012) yaptıkları çalışmanın amacı, farklı nem emme durumları sırasında ahşapta titreşim özelliklerini ve buna karşılık gelen anizotropisiteyi araştırmaktır. Akçağaç ve kırmızı meşe numuneleri, fırında kurutulmuş halden adsorpsiyon işlemi ile suya doymuş hale getirildi. Desorpsiyon işlemi ile de nemden arındırıldı. Çalışmalar sonucunda kararsız durumdaki bir ahşabın, denge durumundaki ahşaba göre daha düşük elastisite ve dayanım değerleriyle, daha yüksek deformasyon özelliği gösterdiği tespit edilmiştir.

Üçüncü vd. (2015) Karadeniz Teknik Üniversitesi lojmanında deney odası olarak kullanılan bir dairede, insanların solunması ve terlemesi ile ahşap kökenli malzemelerin nem transfer durumları üzerine çalışmalarda bulunmuştur. Çalışmalar sırasında, ortam kış aylarında ısıtılmak suretiyle dış ortam ve kapalı odanın bağıl nemi ve sıcaklıkları termohigrografla ölçülmüştür. Ahşapta rutubet değişimi, sıcaklık, ahşap kalınlığı ve yoğunluğu tespit edilerek, kapalı ortamdaki ahşap esaslı malzemelerle soluma ve terleme sonucu nemli havaya katılan su buharı miktarına bağlı oluşan bağıl nem değerleri hesaplanmıştır. Deneysel çalışmalar değerlendirildiğinde, bina içi iklim koşullarında, hava ile insan faktörü ve higroskopik ahşap esaslı malzemeler arasındaki nem transferinin, genellikle bağıl nemi dengeleyici etki gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Dal ve Yılmaz (2015) özellikle su ve nemden kaynaklı yapılarda ve yapı malzemelerinde meydana gelen hasarları incelemiştir. Araştırma çalışmaları sonucunda, yapılarda erime, şişme, donma, çatlama, büzülme, çözülme, kopma, kabuk atma, çiçeklenme, renk solması şeklinde ve ahşap yapı malzemelerinde ise şişme, mantarlaşma şeklinde hasarlar tespit edilmiştir. Ayrıca, yapıda kullanılan malzemelerin çoğunun gerekli standartlara uygun olmaması ve bina bakımlarının periyodik olarak yapılmaması kaynaklı nem sorunları ile karşılaşmıştır. Su ve nem kaynaklı bu problemlerin önlenmesi amacıyla, yapılarda alınacak yalıtım önlemlerinin oluşturulmasında kullanılan tam geçirimsiz yalıtım tabakasının uzun ömürlü olabilmesi ve görevini layıkıyla yerine getirebilmesi için uygun detaylar ve standartlara uygun malzemeler kullanılması gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca malzeme uygulamasının da eğitilmiş elemanlarla yapılması gerektiği görüşü sunulmuştur.

Korkmaz (2018) standart ve mikro boyutlu sapsız meşeden alınan ahşap numunelerinin bazı mekanik özellikleri üzerinde nemin etkisinin belirlenmesi çalışmalarında bulunmuştur. Mikro ve standart boyutlu numuneler ile yapılan çalışmalarda, numunelerin eğilmede oluşan Elastisite Modülleri, eğilme dayanımları, liflere paralel çekme ve basınç dayanım değerleri ölçülmüştür. Ayrıca, mikro boyutlu örnekler üzerinde nemin etkisi de araştırılmıştır.

Kılınçarslan ve Türker (2020) yaptıkları çalışmalarda, ısı işlem görmüş Sedir ve Iroko ağaç türünün dinamik ıslanma özelliklerini incelemiştir. Isıtma işleminin farklı ağaç türlerinden elde edilen numuneler üzerinde farklı etkiler oluşturduğu bilinmektedir. Tüm çalışmalardan elde edilen sonuçlar, ısı işlem uygulanmış numunelerin temas açısı değerlerinin, kontrol numunelerine göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu sebeple, ısı işlem uygulaması yapılmasının, ahşap malzemelerin ıslanabilirlik özelliğini azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Soares vd. (2021) çalışmalarında, *Cedrelinga Catenaeformis* ahşap türlerinde, nem içeriği değişiminin ahşabın mekanik özelliklerine etkilerini araştırmıştır. Deneysel olarak belirlenen değerler, tahmin edilen tüm dayanım ve rijitlik özelliklerinden daha düşük çıkmıştır. Bu durumda projelerde göz önünde bulundurulacak bu denklemlerin sistemik olarak revize edilmesi ihtiyacı doğduğu belirtilmiştir. Numunelerin lif doyma noktası nem içeriğinin %27'den %12'ye düşürülmesi, sadece liflere paralel yönde basınç dayanımında %34, liflere paralel kayma dayanımında ise %35 oranında artışa

yol açmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, dayanım ve rijitliğin oniki farklı özelliğinden yaklaşık yarısının, nem içeriğindeki değişimden etkilenmediği görülmüştür. Ayrıca, tahmin edilen özelliklerin hepsinin deneysel olarak belirlenen değerlerden önemli ölçüde yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Güneş ve Altunok (2022) çalışmalarında, tanen ile modifiye edilip ön ısıtma işlemi uygulanmış ahşap taşıyıcı kirişlerin, farklı iklim koşullarındaki davranışlarını araştırmıştır. Bu amaçla, sarıçam, meşe ve kestane odunlarından numuneler hazırlanıp meşe palamudu taneni ile emprenye edilmiştir. Hazırlanan numunelere iki saat süre ile 150 °C ve 160 °C ön ısıtma işlemi uygulanmıştır. Isıtma işleminden geçirilen numuneler, sırasıyla 20 °C sıcaklık ve %65 bağıl nem, 40 °C sıcaklık ve %35 bağıl nem, 10 °C sıcaklık ve %50 bağıl nem içeren ortamlarda kondüsyonlanmıştır. Hazır olan numuneler üzerinde eğilme dayanımı ve eğilmede Elastisite Modülü deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, çalışılan örnekler içerisinde en yüksek eğilme dayanımı artışı 150 °C’de tanen ile modifiye edilmiş sarıçamda %7,6 olarak bulunmuştur. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, hafif yüklü ahşap ev kolon ve kirişleri ile diğer yapı elemanlarının imalatında sarıçam odunun kullanılmasının uygun olacağı görüşüne varılmıştır.

Hıdır vd. (2022) yüzeyi film kaplı kontrplakların içerdikleri neme göre mekanik özelliklerindeki değişimlerin araştırmasını yapmıştır. Deneysel çalışmalar için, hava kurusu nem içerikli ve yaş olmak üzere iki farklı grup yüzeyi film kaplı kontrplak numuneler hazırlanmıştır. Numuneler üzerinde hava kurusu yoğunluk, nem yüzdesi, eğilme direnci, eğilmede Elastisite Modülü ve çivi tutma direnci belirleme çalışmaları yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen eğilme direnci ve eğilmede Elastisite Modülü değerlerine göre, nemin mekanik performansı önemli seviyede etkilediği görülmüştür. Ayrıca, numunelerin içerdikleri nem oranları arttıkça, eğilme dayanımı ve Elastisite Modülü değerlerinin azaldığı ve maksimum deformasyon miktarının arttığı tespit edilmiştir.

Görgün ve Ünsal (2023) yaptıkları çalışmalarda, yapısal ahşap malzemeler için son derece önemli olan nem faktörüyle ilgili teknik doğruların aktarılmasını hedeflemiştir. Bu sayede, yapılarda ahşap malzeme kullanan teknik eleman veya diğer uygulayıcıların farkındalığı arttırılmak suretiyle daha uzun ömürlü ve sürdürülebilir yapılar inşa edilmesinin sağlanması amaç edinilmiştir. Ayrıca farklı alanlarda çalışan

uzman ve teknik personellerin birlikte ve eşgüdümlü olarak çalışmalarının gerekliliği öngörülmüştür. Geçmişte yaşanan sorunlardan dolayı, pencere doğramalarında ahşap yerine, plastik esaslı malzemelerin daha çok tercih edildiği vurgulanmıştır. Günümüzde yeniden tercih edilen ahşapla ilgili yapı sektöründe böyle sorunların yaşanmaması için, yetkin uygulayıcılarla birlikte, mimar, inşaat mühendisi ve orman mühendisi gibi teknik personellerin işbirliği içinde çalışmalarının gerektiği sonucuna varılmıştır.

Bülbül vd. (2023) ağaç işleri sektöründe yoğun kullanılan sarıçam, Doğu kayını ve sapsız meşe ahşap numunelerini kullanmak suretiyle, kurutma ve iklimlendirme parametrelerinin ahşabın bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkilerini araştırmıştır. Kurutulmuş üç farklı tür ahşap numuneleri sırasıyla 20 °C sıcaklık ve %65 nispi nem iklim şartında 168 saat süre ile bekletilerek, numunelerin üçte birine mekanik testler uygulanmıştır. Kalan ahşap numunelerin tamamı 40 °C sıcaklık ve %35 nispi nem iklim şartında aynı süre bekletilip ikinci üçte biri test edilmiştir. Son kalan kısım da 10 °C sıcaklık ve %50 nispi nem iklim şartında aynı süreyle bekletilerek mekanik testler uygulanmıştır. Böylece, bir yıllık mevsimsel dış ortam döngü şartlarının ahşap malzeme özelliklerine etkileri belirlenmiştir. Yapılan tüm deneysel çalışmalar sonucunda, kurutulmuş ve her üç iklim şartında bekletilmiş deney numunelerindeki nem denge seviyelerinin, kurutulmamış numunelere göre daha düşük düzeyde olduğu görülmüştür. Genel olarak kurutulmuş numunelerin mekanik dayanım değerlerinde artış gözlemlenirken, özellikle kavelalı ve zıvanalı konstrüksiyon uygulamalarında bu numunelerin kullanılmasının yüksek seviyede stabilite sağlayacağı belirtilmiştir.

Altunok vd. (2023) deneysel çalışmalarında, ahşap ürün sektöründe yoğun olarak kullanılan sarıçam, kestane ve sapsız meşe ağaçlarından aldıkları numunelere 150 °C’de 5 saat, 170 °C’de 4 saat, 190 °C’de 3 saat ve 210 °C’de 2 saat süresince ısı işlem uygulamıştır. Çalışmalar sırasında, ısı işlemde sıcaklık artırılırken işlem süresi azaltılarak bu şartların ahşap özellikleri üzerindeki farklı etkileri araştırılmıştır. Isıl işlemler uygulandıktan sonra, numunelere 20±2 °C sıcaklık %65±5 nispi nem, 40±2 °C sıcaklık %35±5 nispi nem ve 10±2 °C sıcaklık %50±5 nispi nem ortamlarında klimatik işlem yapılmıştır. İşlemlerin ardından numunelerin yoğunluk, eğilme dayanımı, Elastisite Modülü, ısı iletkenlik katsayısı ve ısı geçirgenlik değeri

değişimleri tespit edilmiştir. Sonuç olarak, düşük sıcaklık ve uzun süreli farklı ısıtma süreçlerinde, ahşapta yapısal bozunuma bağlı fiziksel ve mekanik özelliklerde kayıplar az iken, yüksek sıcaklık ve kısa süreli ısıtma şartlarında bu kayıpların daha çok olduğu görülmüştür. Tüm elde edilen veriler dikkate alındığında, denge rutubeti bakımından ahşap kullanımı için uygun olan iklim ortamının, 40 °C sıcaklık ve %35 nispi nem oranı olduğu belirlenmiştir.

Muhammedali (2023) çalışması kapsamında, hava, ahşap, toprak, tahıl gibi farklı uygulama alanlarında nem ölçümünde kullanılan yöntemlerin çalışma prensiplerini incelemiştir. Nemlilik ile dielektrik sabiti arasında olan ilişkiden faydalanarak, dielektrik ölçümü ile nem belirleme üzerine mikrodalga ölçüm yöntemleri sınıflandırılmıştır. Açık uçlu koaksiyel prob, serbest uzay, iletim hattı, yansıma, rezonans gibi farklı mikrodalga ölçüm yöntemleri üzerinde çalışmalar yapılarak, farklı malzemelerin nemlerini ölçme yöntemleri araştırılmıştır.

Kara (2024) tez çalışmasında, ahşapta nem ve dayanımı doğrudan etkileyen etmenlerin ilişkisi üzerine araştırmalar yapmış, ayrıca yönetmelikler ve el kitaplarından yararlanıp tasarım detayları, nem yönetimi ve koruma yöntemleri üzerinde durmuştur. Çalışmalar sırasında, ahşap yapı yönetmeliklerindeki nem etkisi, literatürde nemin dayanıma olan etkisinin incelenmesi ve korozyonla ilgili detaylara değinilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, nemin ahşap dayanımına etkisi, yapılarda nemi oluşturan kaynaklar ile yapım aşamasında ahşabı nem etkisinden koruma ve neme dayanıklı yapı kabuğu tasarımının nasıl olması gerektiği anlatılmıştır. Sonuç olarak, İstanbul ilimizin iklim koşullarına uygun bir ahşap yapının inşası ile ilgili, yapım ve servis ömrü açısından öneriler sunulmuştur.

Avşaroğlu vd. (2024) karaçam kerestesinden üretilen çapraz lamine ahşap malzemelerin bazı mekanik özellikleri üzerine nemin etkisini belirleyici çalışmalar yapmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanmak üzere 3 tabakalı çapraz lamine ahşap, poliüretan tutkalı kullanılarak üretilmiştir. Üretilen deneysel numuneler hem hava kurusu hem de yaş halde iken mekanik olarak test edilmiştir. Elde edilen çapraz lamine ahşap numuneler üzerinde üç nokta eğilme dayanımı, Elastisite Modülü, eğilmede deformasyon, yapışma dayanımı ve çivi tutma direnci gibi mekanik özellikler belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre; hava kurusu haldeki numunelerin eğilme dayanımı, Elastisite Modülü, çivi tutma direnci, makaslama dayanımları, yaş haldeki

numunelerden sırasıyla %127, %118, %35 ve %87 daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca eğilmede deformasyon miktarı yaş haldeki numunelerde, kuru haldeki numunelere kıyasla %52 daha fazla bulunmuştur.



3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Arduino ile Ahşap Nemölçer Cihazı Tasarlanması

Yıllar öncesine dayanan ahşap elemanlarda nem oranını kurutma metotları ile belirlemenin yanında, artık günümüzde daha kolay ve hızlı bir yöntem olan elektrikli dijital nemölçerler ile nem oranı tespit edilebilmektedir. Yapı sektöründe sık kullanılan kerestede gibi ahşap yapı malzemelerinde genelde nem oranı direnç tipi elektrikli nemölçerlerle yapılmaktadır. Direnç tipi elektrikli nem ölçüm cihazlarında, genel olarak ahşap yapı malzemesi içerisine saplanan metal probların uçları arasındaki elektriksel direnç ölçülmektedir. Bu yöntem sayesinde ahşap yapı malzemelerinin farklı derinliklerindeki nem miktarının tespiti kolaylıkla yapılmaktadır.

Ahşap nem ölçümünde kullanılan bu tip cihazlar genel olarak yurt dışından ithal edilmekte ve yüksek maliyetli olmaktadır. Bu cihazlar, belirli aralıklarla ahşap numune üzerinden ölçüm değerlerini alıp, nemölçer dışında bilgisayar türü bir cihaza aktarabilme kabiliyetine sahip olmadıkları gibi, uzun süre defalarca ölçüm yapabilecek dayanıklı batarya sistemine de sahip değildir. Ayrıca probsuz veya kısa boyutlu problu olmaları gibi fiziki yapı eksikliklerinden dolayı sadece yüzeysel nem durumunu ölçebilmektedir.

Ahşap sektöründe kullanılan diğer bir nem ölçüm cihazı da, kapasite nemölçer tipi cihazlardır. Bu tip cihazlarda, ahşap elemanın içerdiği nem miktarı yanında ahşabın yoğunluğu da önemlidir. Dielektrik sabitesini ölçen bu tip elektrikli nemölçer cihazlarda, iğne tipi problemler yerine, temas tipi elektrotlar kullanılmaktadır (URL-6).

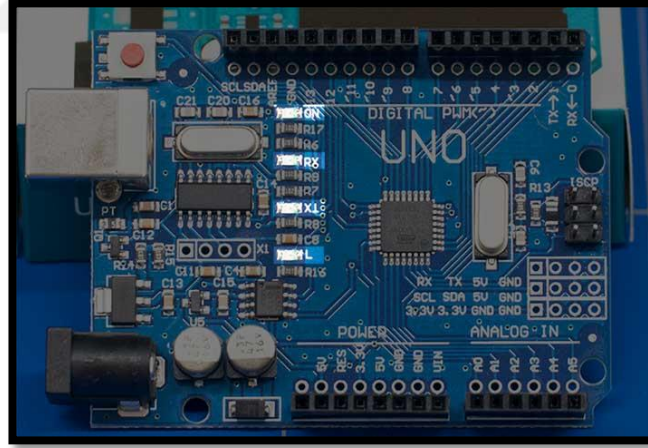
Ahşap elemanların yapısal davranışları konusunda yapacağımız deneysel çalışmalarda kullanmayı planladığımız ahşap nemölçer cihazının tasarlanması ve üretimi ile ilgili yurtdışında ve yurt dışında yapılan çalışmalarla ilgili literatür araştırmaları yapılmış olup, benzer bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Tasarlanan ahşap nemölçer cihazının temel oluşumu için, otomasyon sistemi tasarımlarında sıklıkla tercih edilen ve aynı zamanda ekonomik çözüm üretimine elverişli Arduino tercih edilmiştir.

İlk etapta ahşapta nem ölçümü için gerekli olan Arduino tabanlı nemölçer sistemi, donanımsal ve yazılımsal olarak oluşturulmuştur. Ardından farklı ahşap türleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, piyasada mevcut diğer ürünlerle ölçüm sonuçlarını karşılaştırma ve kalibrasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalara ait detaylar alt başlıklar halinde sunulmuştur.

3.1.1 Ahşap nemölçer cihazının donanımsal olarak oluşturulması

Arduino, en temel haliyle elektronik projeler için tasarlanmış bir elektronik geliştirme kartıdır. Arduino'nun kendine ait bir yazılımı vardır. Bu yazılım sayesinde uyumlu elektronik komponentler, sensörler ve modüller ile elektronik devreler kurulabilmekte, projeler geliştirilebilmekte ve prototipler üretilebilmektedir. Arduino'nun farklı ihtiyaçlara hitap eden çeşitli modelleri vardır. Bunlar, Arduino Nano, Arduino UNO ve Arduino Mega'dır. Arduino UNO'nun DIP ve SMD gibi iki farklı mikrodenetleyicisi olan tipleri vardır. Bunun haricinde, üretici farklılığı bulunan orijinal ve klon şeklinde tabir edilen muadil türleri vardır. Bu çalışmada Arduino UNO modeli (Şekil 3.1), temin edilerek kullanılmıştır (URL-7).



Şekil 3.2. Arduino UNO kartı (URL-7).

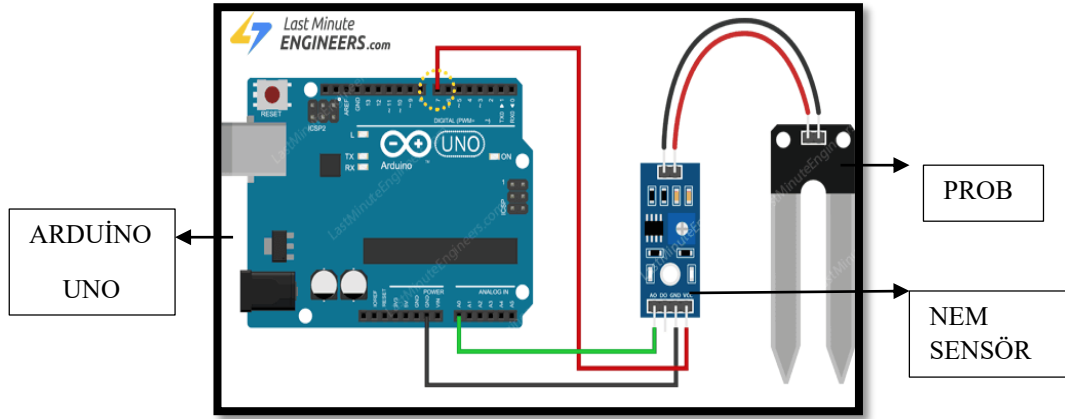
Arduino UNO, iletişimini üzerinde bulunan pinler aracılığı ile sağlanmaktadır. Bu pinler ile kontrol edilebilecek çok sayıda sensör, motor, ekran ve modüller vardır. Bu pinlerin kontrolleri Arduino UNO elektronik kartının USB girişi aracılığı ile atılan kodlar üzerinden yapılmaktadır. Arduino UNO elektronik kartı üzerinde bulunan ledler ve diğer tuşların görevleri aşağıda açıklanmıştır (URL-7).

- Arduino On ledi, Arduino'nun açık olduğunu gösteren leddir.
- Arduino L ledi, işlevi kullanıcı tarafından belirlenen, Arduino UNO modellerinde varsayılan olarak 13. pin üzerinden çalışan bir leddir.
- Arduino Tx ledi, Arduino'nun pinler üzerinden diğer komponentlerle iletişim halinde olduğunu gösteren ledlerden biridir. Tx ledi verici (transmitter) anlamındadır. Bu led, Arduino'dan dışarıya veri aktarıldığında yanmaktadır.
- Arduino Rx ledi alıcı (receiver) anlamındadır. Bu led, Arduino'ya dışarıdan veri alındığında yanmaktadır.
- Reset butonu, Arduino elektronik kartlarının tüm modellerinde USB güç girişinin yanında yer almaktadır. Arduino'yu yeniden başlatmak için kullanılır. Arduino, içine yeni bir program yüklenene kadar, daha önce yüklenen programı enerji verildiği sürece çalıştırır. Her reset işlemi Arduino'yu ve içerisinde yer alan programı yeniden başlatmaktadır.

Daha önce bahsedildiği gibi, veri gönderme (çıkış) ve veri alma (giriş) işlemleri pinler aracılığı ile yapılmaktadır. Veri göndermek istenen pinin çıkış, veri almak istenen pinin ise giriş olarak ayarlanması gerekir. Pinler üzerinden bağlı olan sensör veya modüllerle iletişim sağlanabilmektedir. Fakat aynı pin üzerinden aynı anda hem giriş hem çıkış işlemi yapılamamaktadır.

Arduino UNO'da pinler üzerinden çıkış ve giriş yaparken analog ya da dijital sinyaller kullanılmaktadır. Dijital sinyaller evet ve hayır mantığı ile çalışmaktadır. Low komutu hayır, High komutu ise evet'i temsil etmektedir. Elektronik olarak, Low komutu Arduino'ya 0 V, High komutu ise 5 V göndermektedir. Analog sinyaller ise 0 V ve 5 V arasında herhangi bir değerde olabilir. Fakat Arduino üzerinden direkt olarak analog sinyal alınamadığı için analog sinyali taklit eden dijital sinyaller kullanılmaktadır. Bu sinyallere PWM (Pulse Width Modulation) ismi verilmektedir. Arduino'nun tüm pinleri analog sinyal yani PWM uyumlu değildir. PWM sadece analog uyumlu olan 3, 5, 6, 9, 10 ve 11 numaralı pinler üzerinden çalışmaktadır (URL-7).

Ahşabın içerdiği nem ile elektriksel direnç ters orantılıdır. Ahşaptaki fazla nem daha iyi iletkenlik anlamına gelir ve daha düşük bir direnç ile sonuçlanır. Ahşaptaki az nem zayıf iletkenlik anlamına gelir ve daha yüksek dirençle sonuçlanır. Ahşap nemölçer cihazının önemli parçalarından biri olan nem sensörü, dirence göre bir çıkış voltajı üretir. Arduino nem sensörü bağlantı şeması Şekil 3.2'de verilmiştir.



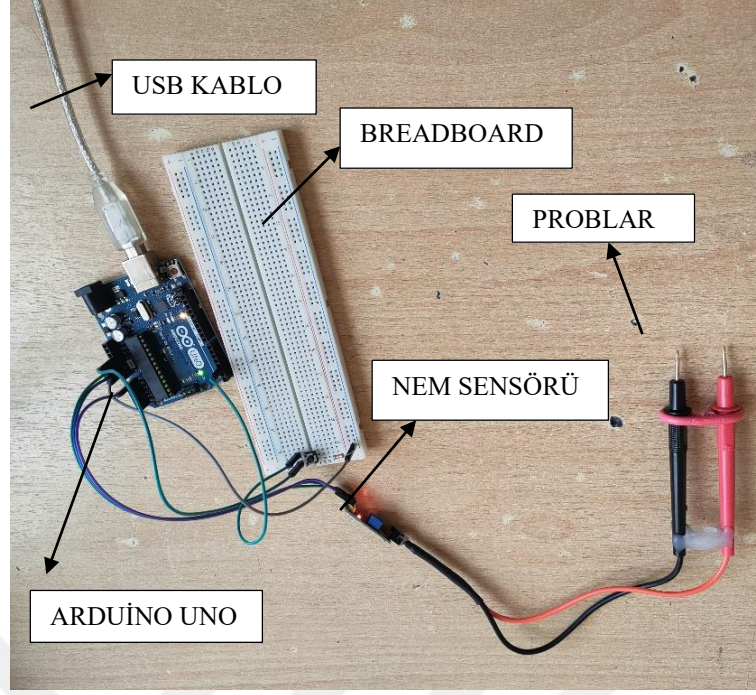
Şekil 3.2. Arduino nem sensörü bağlantı şeması (URL-7).

Tipik bir nem sensörünün iki bileşeni vardır. Bunlar,

- Prob, sensörün ahşap nemini ölçmek için ahşaba batırılan iki iletken (çatal prob) şeklindeki parçasıdır.
- Nem sensörü (HD-38), probu Arduino'ya bağlayan elektronik parçadır. Probu direncine göre bir çıkış voltajı üretir ve analog çıkış (AO) veya dijital çıkış (DO) pini üzerinden Arduino'ya iletir.

Arduino UNO ile ahşap nemölçer oluşturma çalışmaları sırasında farklı tür ve boyutlarda vida, çivi vb. ürünler arasından en uygun ve ekonomik olan multimetre cihazlarında kullanılan prob, elektronik ürün satan marketlerden temin edilerek cihazın nem sensörü probu olarak kullanılmaya karar verilmiştir.

Temin edilen donanımlar kullanılarak, Arduino UNO ile ahşapta nem ölçümü yapılabilecek cihazın en basit hali donanımsal olarak oluşturularak Şekil 3.3'de sunulmuştur.



Şekil 3.3. Arduino tabanlı nemölçer cihazı ilk durumu.

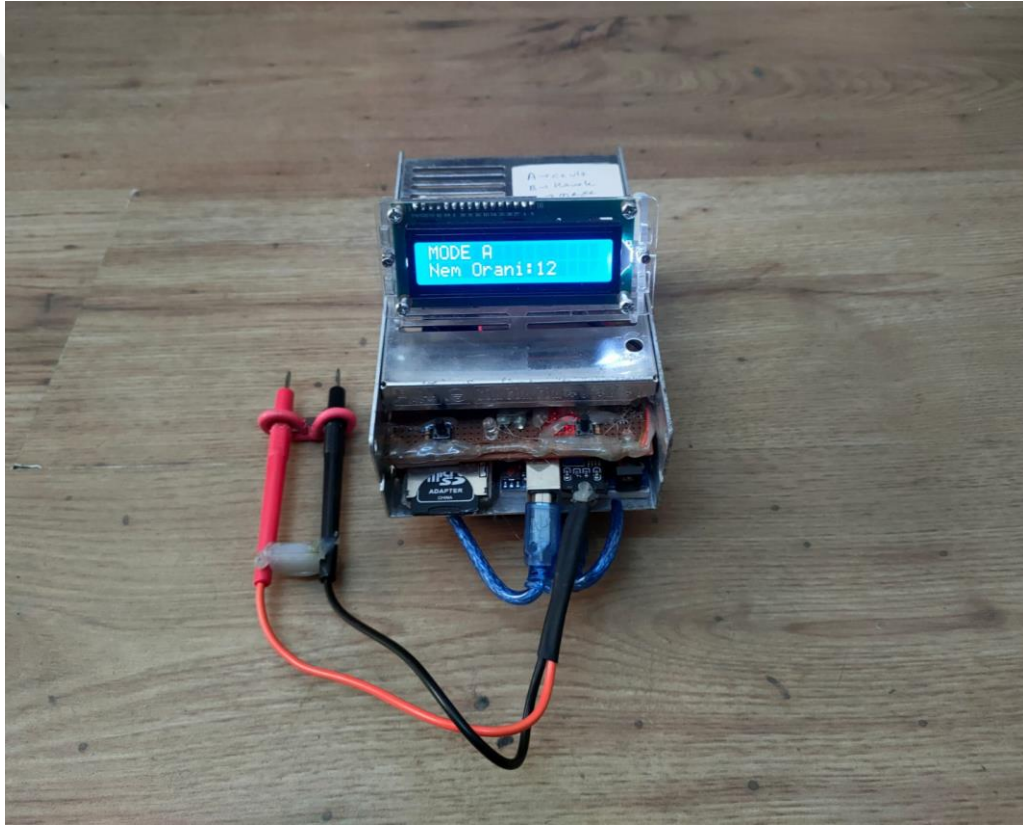
Arduino UNO tabanlı ahşap nemölçer sisteminin en temel hali hazır duruma geldikten sonra, gerekli yazılım yüklenmesi yapılmıştır. Farklı ahşap numuneleri üzerinde piyasadan temin edilen diğer ahşap nemölçerler ile gerekli ölçümler yapıp, nemölçer cihazının ölçüm sonuçları ile karşılaştırmaları yapılarak kalibrasyon çalışmaları tamamlanmıştır. Kalibrasyon çalışmaları ardından, mevcut sistem donanımsal ve yazılımsal olarak geliştirilmiştir. Sisteme buton eklenerek, bu sayede butona her basıldığında sistemin mod değiştirip, farklı ahşap türlerine göre nem ölçümü yapma özelliği kazandırılmıştır.

Ayrıca, Arduino UNO tabanlı ahşap nemölçer sistemi ile yapılan ölçüm sonuçlarını hafıza kartına kayıt etmeye yönelik sistemde yazılımsal ve donanımsal güncelleme çalışmaları yapılmıştır. Bilgisayar ekranından bağımsız olarak ölçüm sonuçlarını LCD ekrandan görebilmek amacıyla, Arduino ahşap nemölçer sistemine 2x16 boyutlarında LCD panel ekran eklenmiştir. Cihaza yeni bir led diyot lamba eklenerek, sistemin kayıt halinde iken yanması ve kullanıcıyı bilgilendirmesi sağlanmıştır.

Tasarlanan Arduino sistemi ile yapılan ölçüm sonuçlarının hangi tarih ve saatte yapıldığını kaydedebilmek için, sistem tekrar güncellenip geliştirilerek, sisteme DS3231 model gerçek zamanlı hassas saat modülü entegre edilmiştir.

Tasarlanan Arduino UNO tabanlı ahşap nemölçer sistemde donanımsal gelişme yapılarak, çalışması için gerekli enerjiyi bilgisayardan bağımsız olarak sisteme eklenen güç ünitesinden alması ve uzun süre batarya değişimi olmadan kesintisiz çalışabilir duruma gelmesi sağlanmıştır.

Son olarak, Arduino UNO tabanlı ahşap nemölçer sistemini dağınık düzenden daha derli toplu ve kullanışlı hale getirmek amacıyla, oluşturulan Arduino UNO nemölçer sistemini muhafaza edecek bir kutu tasarlanmış ve sistem tüm sensör ve modülleri ile birlikte kutu içerisine entegre edilmiştir. Arduino tabanlı nemölçer cihazı son durumu Şekil 3.4’de sunulmuştur.



Şekil 3.4. Arduino tabanlı nemölçer cihazı son durumu.

3.1.2 Ahşap nemölçer cihazı için yazılım oluşturulması

Donanımsal oluşumu tamamlanan Arduino UNO elektronik kart sistemi temeli üzerine kurulu ahşap nemölçer cihazına program yüklemek için, Arduino IDE yazılımının kullanılması gerekmektedir. Bu yazılım, Arduino UNO’nun üretici sitesinden herhangi bir telif ve kullanım ücreti ödenmeden indirilebilmektedir (URL-8).

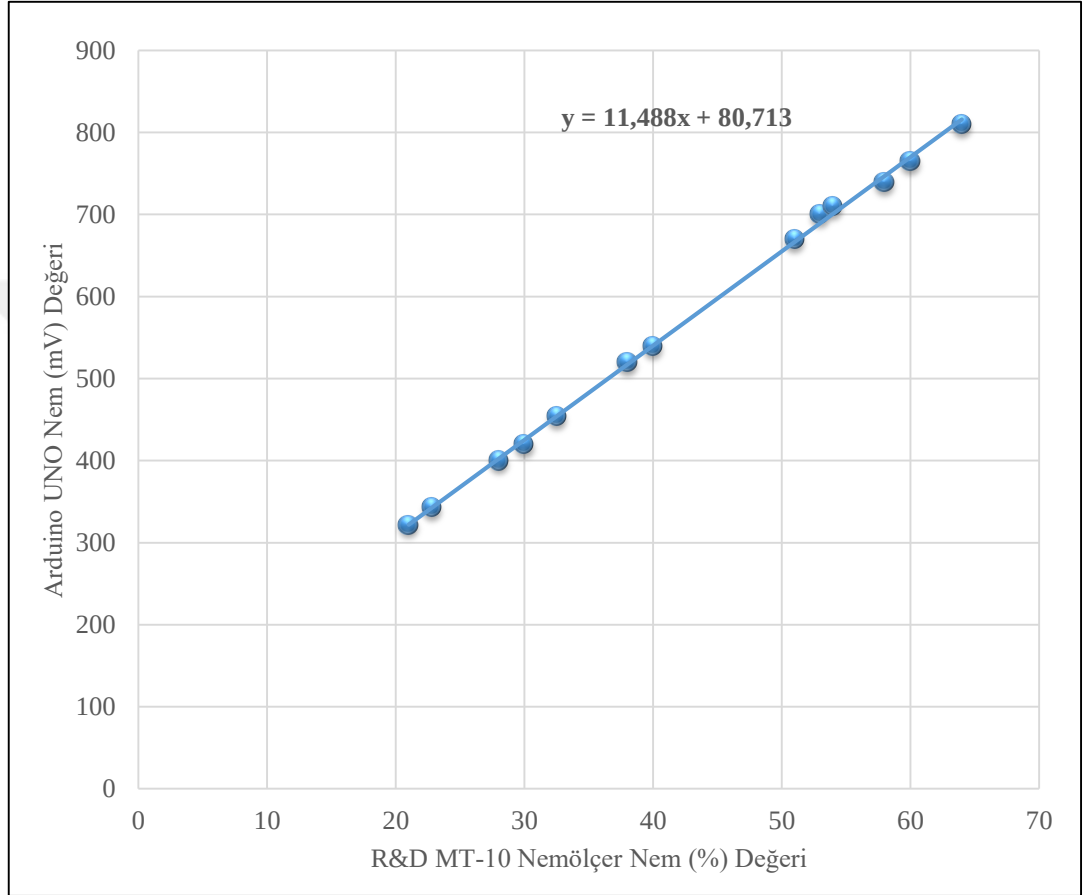
Hazırlanan Arduino UNO tabanlı donanımsal sistem ile ahşap nem ölçüm değerlerinin analog şekilde elde edilebileceği, problardan gelen analog verileri 1000 mikrosaniye (1sn) aralıklarla ölçüp Arduino programı ekranına aktaracak ölçümü yapan yazılım hazırlanmıştır. Arduino IDE yazılımı aracılığı ile hazırlanan program, USB kablosu aracılığı ile yazılımın kurulu olduğu bilgisayara bağlanmak suretiyle, Arduino UNO temelli ahşap nemölçer cihazına aktarılmıştır. Öncelikle Arduino UNO tabanlı sistem ile yapılacak ölçümlerde elde edilecek değerlerin karşılaştırılması amacıyla, piyasadan ahşap nem ölçümü konusunda kullanımda olan R&D marka MT-10 model ahşap nemölçer ile UNI-T marka UT377A model ahşap nemölçerler temin edilmiştir. Tasarlanan ve piyasadan temin edilen ahşap nemölçer cihazlar hazır duruma geldikten sonra, üzerinde çalışma yapılacak ceviz, kavak, meşe ve karaçam gibi farklı tür ahşap numuneler temin edilmiştir. Piyasadan edinilen farklı nemölçer cihazları Şekil 3.5’te sunulmuştur.



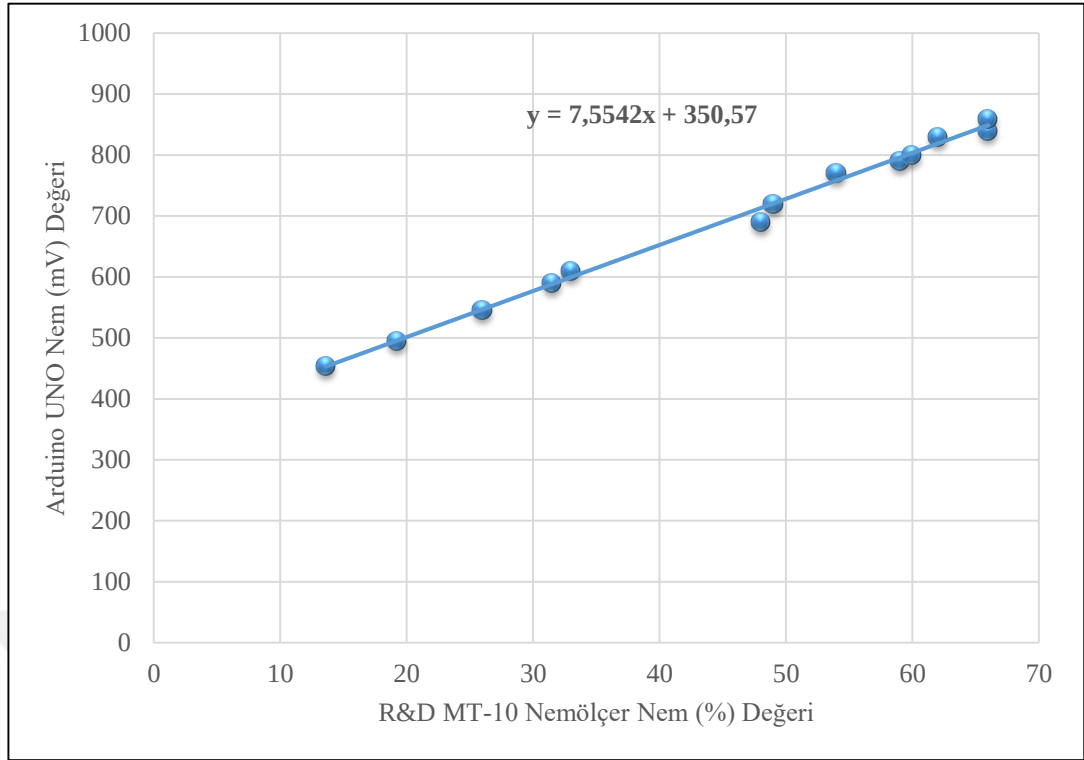
Şekil 3.5. Piyasadan temin edilen farklı nemölçer cihazları.

Temin edilen farklı tür ahşap numuneler oda şartlarında uygun bir kap içerisine ıslatılarak, bölgesel olarak farklı nem oranlarına sahip duruma getirilmişlerdir. Aynı şartlar altında ve aynı ortamda, tasarlanan Arduino UNO tabanlı nemölçer sistemi ve piyasadan temin edilen ahşap nemölçer cihazları ile numuneler üzerinde türlere göre ayrı ayrı nem tespit çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen ahşap nem ölçüm değerleri,

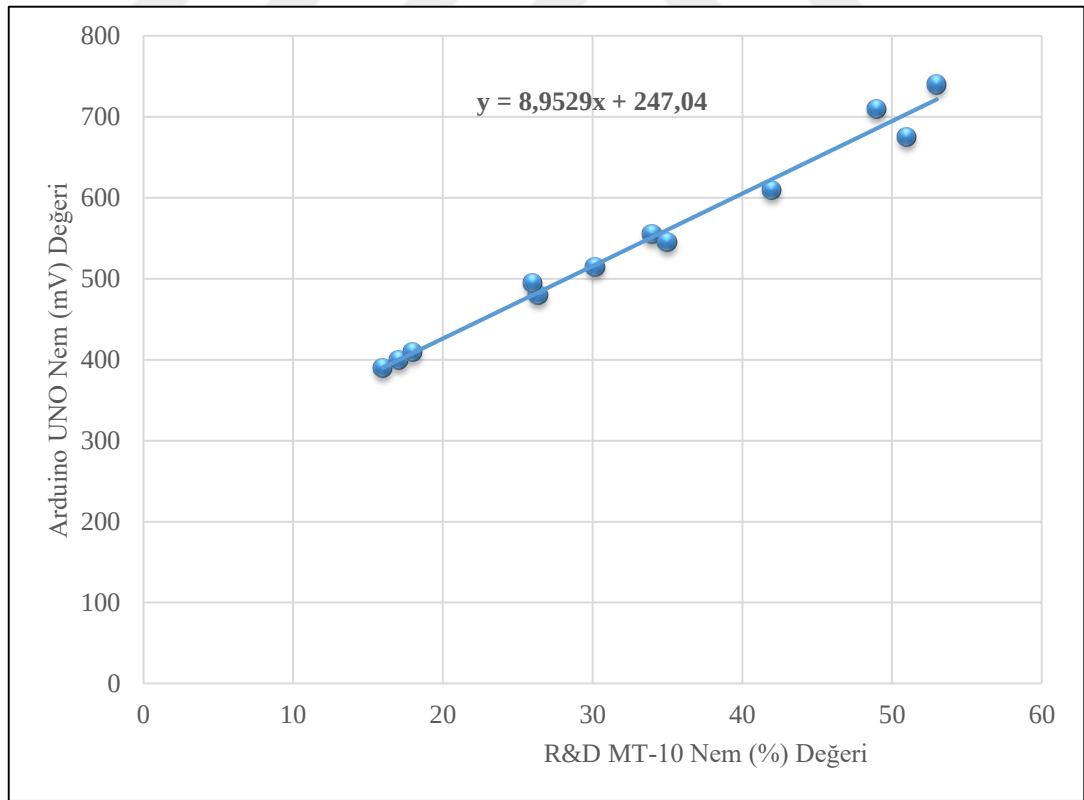
Excel üzerinde tablolararak grafikleştirilmiş ve bu grafik üzerindeki noktalardan geçen en uygun doğru denklemine göre Arduino UNO tabanlı sistem nem değeri ölçüm sonuçları (mV), piyasadan edinilen R&D marka MT-10 model ahşap nemölçer cihazı ölçüm sonuçları ile karşılaştırılarak kalibre edilmiştir. Kalibrasyon çalışmaları farklı ahşap türleri için ayrı ayrı tekrarlanmıştır (Şekil 3.6-Şekil 3.9).



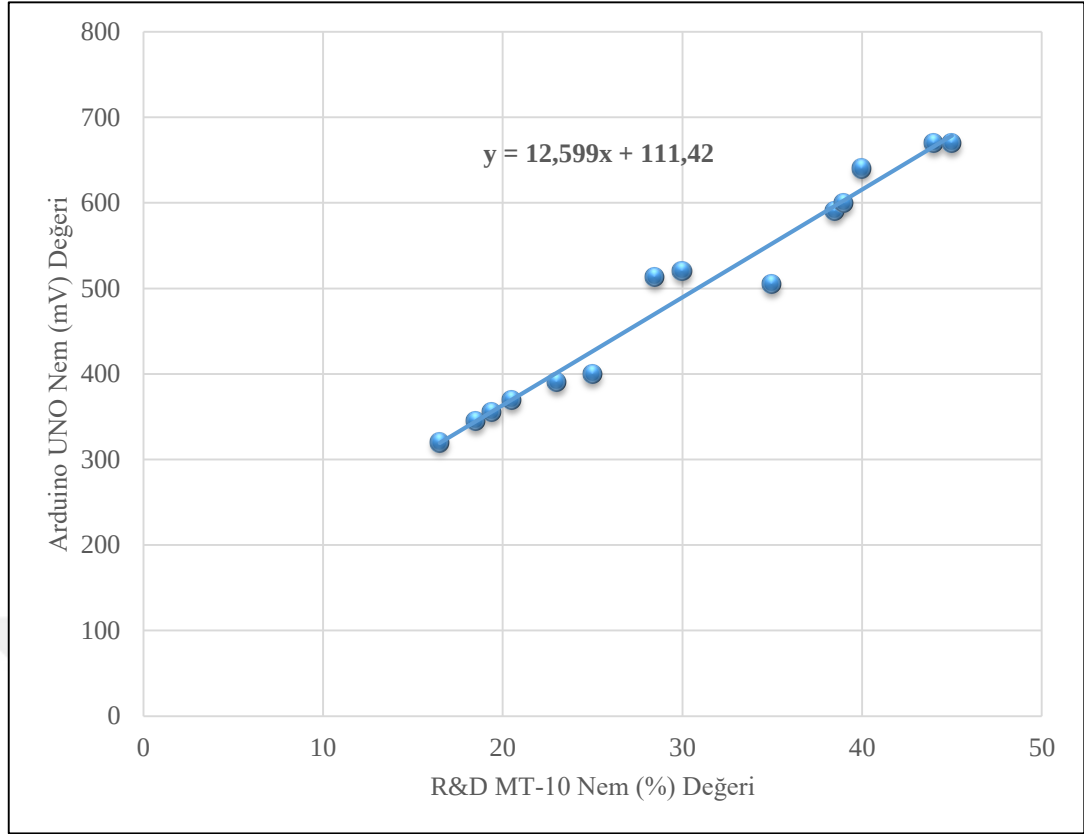
Şekil 3.6. Çam numuneye ait nemölçer kalibrasyon grafiği.



Şekil 3.7. Kavak numuneye ait nemölçer kalibrasyon grafiği.



Şekil 3.8. Meşe numuneye ait nemölçer kalibrasyon grafiği.



Şekil 3.9. Ceviz numuneye ait nemölçer kalibrasyon grafiği.

Excel programı kullanılarak piyasadan temin edilen ahşap nemölçer cihazı ve Arduino UNO tabanlı ahşap nemölçer sistemi arası karşılaştırmalı nem ölçüm değerlerine göre bulunan kalibrasyon denklemleri, farklı ahşap türleri için ayrı ayrı Arduino IDE program yazılımına entegre edilmiştir.

Program kalibrasyon entegre işlemi ardından Arduino UNO tabanlı ahşap nemölçer sistemi donanımsal ve yazılımsal olarak güncellenip, sisteme buton eklenerek butona her basıldığında sistem mod değiştirip farklı ahşap türüne göre nem ölçüm yapacak duruma getirilmiştir. Ayrıca, Arduino UNO tabanlı nemölçer sistem ile yapılan ölçüm sonuçlarını hafıza kartına kayıt etmeye yönelik sistem üzerinde yeni yazılımsal ve donanımsal güncelleme çalışmaları yapılmıştır.

Arduino UNO tabanlı sistem ile oluşturulan ahşap nemölçer cihazı üzerinde bilgisayar ekranından bağımsız olarak ölçüm sonuçlarını LCD ekrandan görebilmek amacıyla, sisteme 2x16 LCD panel ekran eklenmiş ve cihaz donanımsal ve yazılımsal olarak geliştirilmiştir.

Tasarlanan Arduino UNO tabanlı nemölçer sistemi ile yapılan ölçüm sonuçlarının hangi tarih ve saatte yapıldığını kaydedebilmek amacıyla, Arduino UNO tabanlı sisteme DS3231 gerçek zamanlı hassas saat modülü entegre edilerek, cihaz tekrar donanım ve yazılımsal olarak geliştirilmiştir.

Tasarlaması tamamlanan Arduino UNO tabanlı ahşap nemölçer cihazının en fonksiyonel ve güncel durumuna ait hazırlanmış olan yazılımı ayrıntılı olarak Ek-A' da sunulmuştur.

3.2 Ahşabın Farklı Nem Oranlarındaki Fiziksel Özelliklerinin Tespiti

Tasarlanan Arduino UNO tabanlı nemölçer cihazı donanımsal ve yazılımsal olarak hazır duruma geldikten sonra, oluşturulan cihaz ile nem oranlarını ölçerek farklı nem oranlarına göre mekanik özellikleri tespit edilmek üzere farklı tür ahşap numunelerini temin etme çalışmaları yapılmıştır.

Deneyisel çalışmalarda kullanılmak üzere, yapı sektöründe sıklıkla karşılaşılan ve yoğun kullanım alanına sahip kavak ve karaçam türü ahşap numuneler, Nevşehir Sanayi Bölgesi kereste satış lokasyonlarından görsel olarak mümkün olduğu kadar az hatalı düzgün kerestelerden seçilerek hazır duruma getirilmiştir.

Farklı tür ahşap numunelerin farklı nem oranlarına sahip olabilmeleri amacıyla, numunelerin bir kısmı iki ay gibi uzun bir süre oda şartlarında hava kurusu duruma gelene kadar bekletilmiştir. Diğer kısmı ise büyük kovalar içerisinde ıslatılarak bekletilmek suretiyle, farklı süreler sonunda çıkarılıp farklı nem oranları altında Aksaray Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında TS EN 408+A1 (2014) standartlarına uygun mekanik deneyisel çalışmalara tabi tutulmuştur.

1 Ocak 2025 tarih ve 32499 sayılı T.C. Resmi Gazete'de yayımlanan, Ahşap Binaların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları'na dair yönetmeliğe göre, nem oranı %12'den düşük olan numuneler KS1 sınıfına (nem durumu az, maksimum %65 bağıl ortam nemi, 20 °C), nem oranı %20'den yüksek olanlar ise KS3 (nem durumu çok) sınıfına uygun ortamda muhafaza edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar, ahşap numunelerin ağırlık, boyut, birim hacim ağırlık ve nem oranları gibi fiziksel özellikleri tespit edildikten sonra, numunelerin basınç dayanımı ve eğilme dayanımı tespitleri şeklinde teknik özelliklerini belirleyici mekanik deneysel çalışmalar şeklinde yürütülmüştür.

Deneysel çalışmalarda kullanılacak ahşap numuneler 40 adet 4x4x16 cm ve 48 adet 4x4x84 cm ölçülerinde hazırlanmış, daha sonra bu örneklerin deneysel çalışmalar yapılmadan önce nem oranları tespit edilip, ardından ağırlıkları $\pm 0,01$ g duyarlıklı terazi ile tartılmışlardır. Nem oranları ve ağırlıkları tespit edilen numunelerin boyutları $\pm 0,01$ mm duyarlıklı kumpas ile ölçülerek hacimleri hesaplanmıştır. Önemli fiziksel özelliklerden biri olan numunelerin yoğunlukları Denklem 3.1'e göre hesaplanmıştır.

$$\gamma = m/v \quad (3.1)$$

Burada γ (g/cm^3) yoğunluğu, m (gr) cismin ağırlığını, v (cm^3) ise cismin hacmini ifade etmektedir.

Numunelerin fiziksel özelliklerinin tespit çalışmalarına ait fotoğraflar Şekil 3.10'da sunulmuştur.



Şekil 3.10. Numunelerin fiziksel özellikleri tespit çalışmaları.

3.3 Ahşabın Farklı Nem Oranlarındaki Mekanik Özelliklerinin Tespiti

3.3.1 Ahşap elemanların basınç dayanım çalışmaları

Tasarlanan Arduino UNO tabanlı ahşap nemölçer cihazı ve piyasadan temin edilen R&D marka MT-10 model nemölçer cihazı ile nem oranları belirlenen, yaklaşık 4x4x16 cm boyutlarında 20 adet karaçam ve 20 adet kavak numunelerin, laboratuvar ortamında içerdikleri farklı nem oranlarına göre liflerine paralel yönde basınç dayanımlarının tespiti ile ilgili deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Bir kısmı farklı süreler boyunca suda ıslatılmış, bir kısımda iki ay süre ile oda sıcaklığında muhafaza edilmiş hava kurusu numuneler ile ilgili çalışmalar, laboratuvarında universal deney cihazı ile numunelerin liflerine paralel yönde basınç uygulanması şeklinde gerçekleştirilmiştir. İçerdikleri nem oranlarına göre uç değerlere sahip farklı türdeki bazı numunelerin boyut, nem oranı ve ağırlık gibi bazı fiziksel özellikleri ölçüm sonuçları Çizelge 3.1’de verilmiştir. Deneylerde kullanılan numunelerin deney öncesi ve liflere paralel basınç uygulandıktan sonraki boy ölçüm sonuçları ayrı ayrı tespit edilerek aynı çizelgede sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Liflere paralel basınç uygulanan numuneler bazı fiziksel özellikleri.

Hava Kurusu Numuneler					
	A(cm)	B(cm)	H(cm) Önce / Sonra	Ağırlık (gr)	Nem (%) MT-10 / Arduino
Çam 1	4,1	4,1	16,1 / 15,7	159,5	11,5 / 13,7
Çam 2	4,1	4,1	16,1 / 15,8	171	12 / 14,8
Çam 3	4,1	4,1	16,1 / 15,9	163	12,5 / 15,9
Kavak 1	4	4,1	16 / 15	96	19 / 21
Kavak 2	4	4	16,1 / 15,5	97	20 / 23,5
Kavak 3	4	4	16,1 / 15,4	107,5	20 / 22,4
Bir Ay Süre ile Islatılmış Numuneler					
	A(cm)	B(cm)	H(cm) Önce / Sonra	Ağırlık (gr)	Nem (%) MT-10 / Arduino
Çam 1	4,3	4,3	16,2 / 16,1	295	54 / 51,5
Çam 2	4,2	4,3	16,1 / 16,0	318	51,5 / 50
Çam 3	4,2	4,3	16,2 / 16,1	340	53,5 / 51
Kavak 1	4,1	4,1	16,1 / 16,0	215	57 / 55
Kavak 2	4,1	4,1	16,1 / 15,9	219,5	51,5 / 53
Kavak 3	4,1	4,1	16,2 / 15,8	220	56 / 52,9

Ahşap numunelerle ilgili liflere paralel basınç test çalışmalarının yapıldığı düzenek Şekil 3.11’de sunulmuştur.



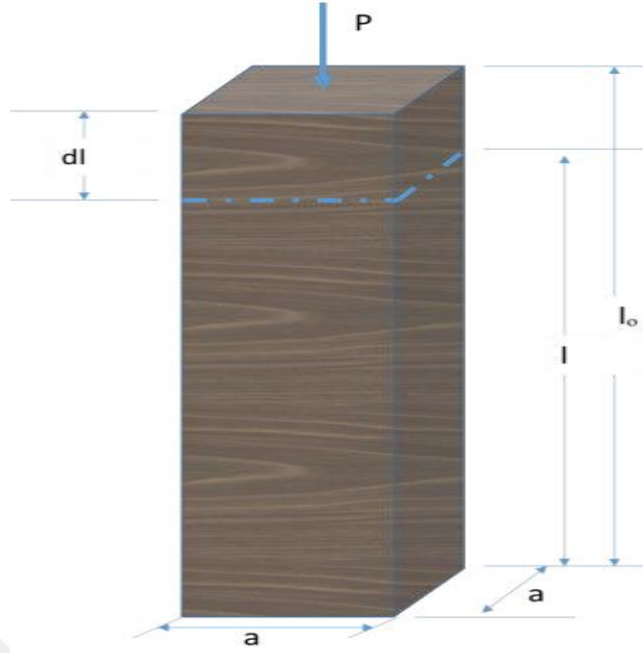
Şekil 3.11. Liflere paralel basınç deney düzeneği.

Ahşap numune üzerine herhangi bir basınç veya çekme kuvveti (yük) uygulandığında cismin yapısına göre cisim üzerinde şekil değişimi meydana gelmektedir. Uygulanan yükün etkisi ile oluşan gerilme ise birim alana düşen kuvvet şeklinde tanımlanabilir. Gerilme değerleri Denklem 3.2 ile hesaplanmıştır.

$$\sigma = P/A \quad (3.2)$$

Burada σ (MPa) gerilmeyi, P (N) cisme uygulanan kuvveti, A (mm²) ise kuvvetin uygulandığı alanı ifade etmektedir.

Ahşap numuneler basınç kuvvetine maruz kaldığında, kuvvetin uygulandığı yönde numune üzerinde bir kısalma meydana gelmektedir. Uygulanan kuvvete dik yönde ise numune eninde genişleme oluşabilmektedir. Numunelere uygulanan yük altında oluşan deformasyon şekil değiştirme olarak adlandırılabilir. Liflere paralel yönde basınç kuvveti uygulanan cisimde meydana gelen deformasyon durumu, numune üzerinde Şekil 3.12’de, hesaplama yöntemi olarak Denklem 3.3’de sunulmuştur.



Şekil 3.12. Liflere paralel yönde basınç kuvveti uygulanan cisimde meydana gelen deformasyon (Bozkurt, 1966).

$$\varepsilon = d_l / l_0 \quad (3.3)$$

Burada ε (mm/mm) birim şekil değiştirmeyi, d_l (mm) oluşan boy kısalmasını (deformasyonu), l_0 (mm) ise cismin kuvvet uygulanan yöndeki ilk uzunluğunu ifade etmektedir.

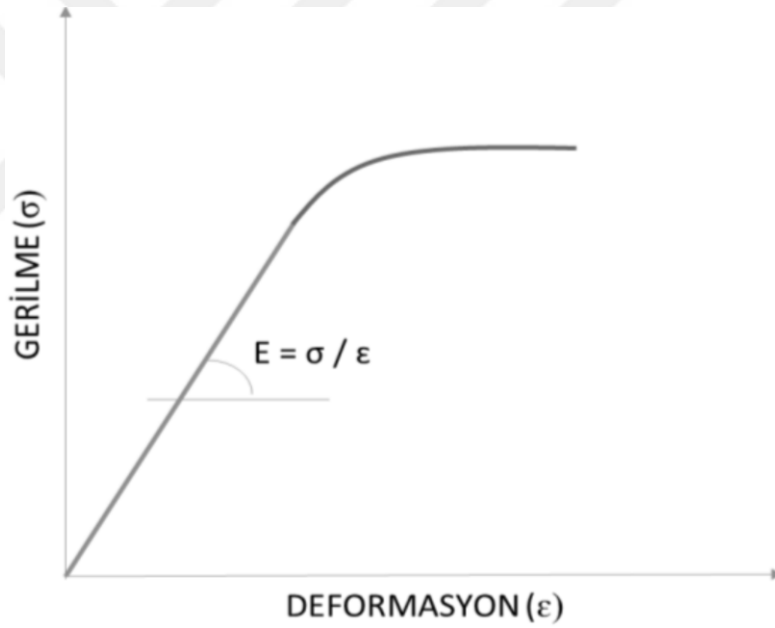
Gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri elde etmek için, numunelere uygulanan basınç kuvveti değerleri (kN), basınç uygulanan yüzey alanına bölünerek N/mm^2 (MPa) olacak şekilde gerilme değerleri (σ_b) elde edilmiştir. LVDT deplasman ölçüm cihazlarından alınan ortalama boy değişimi (mm) değerleride numunelerin ilk boy ölçüm değerlerine bölünerek birim şekil değiştirme (ε) değerleri belirlenmiştir.

Farklı nem oranlarına sahip farklı ahşap numuneler ile yapılan liflere paralel basınç mekanik deney sonuçları alınarak ayrı ayrı gerilme-birim şekil değiştirme (σ - ε) grafikleri çizilmiştir. Deneyler sırasında numuneler kırılmış veya numune yük taşıma sınırına geldiği için deney sonlandırılmıştır.

Elastik cisimler kuvvet etkisinde kaldıklarında, malzemede çeşidine göre değişkenlik göstermekle beraber şekil değiştirme meydana gelmektedir. Gerilme-birim şekil değiştirme grafiğinin doğrusal kısmı dikkate alındığında (elastik bölge), gerilmenin şekil değiştirmeye oranı olarak ifade edilebilen doğrunun eğimi, Elastisite Modülü olarak adlandırılmaktadır. Bir doğrunun eğimi; o doğrunun x eksenine pozitif yönde yaptığı açının tanjantıdır (Şekil 3.13). Elastisite Modülü değerlerini hesaplamak için Denklem 3.4 ve grafiklerden yararlanılmıştır.

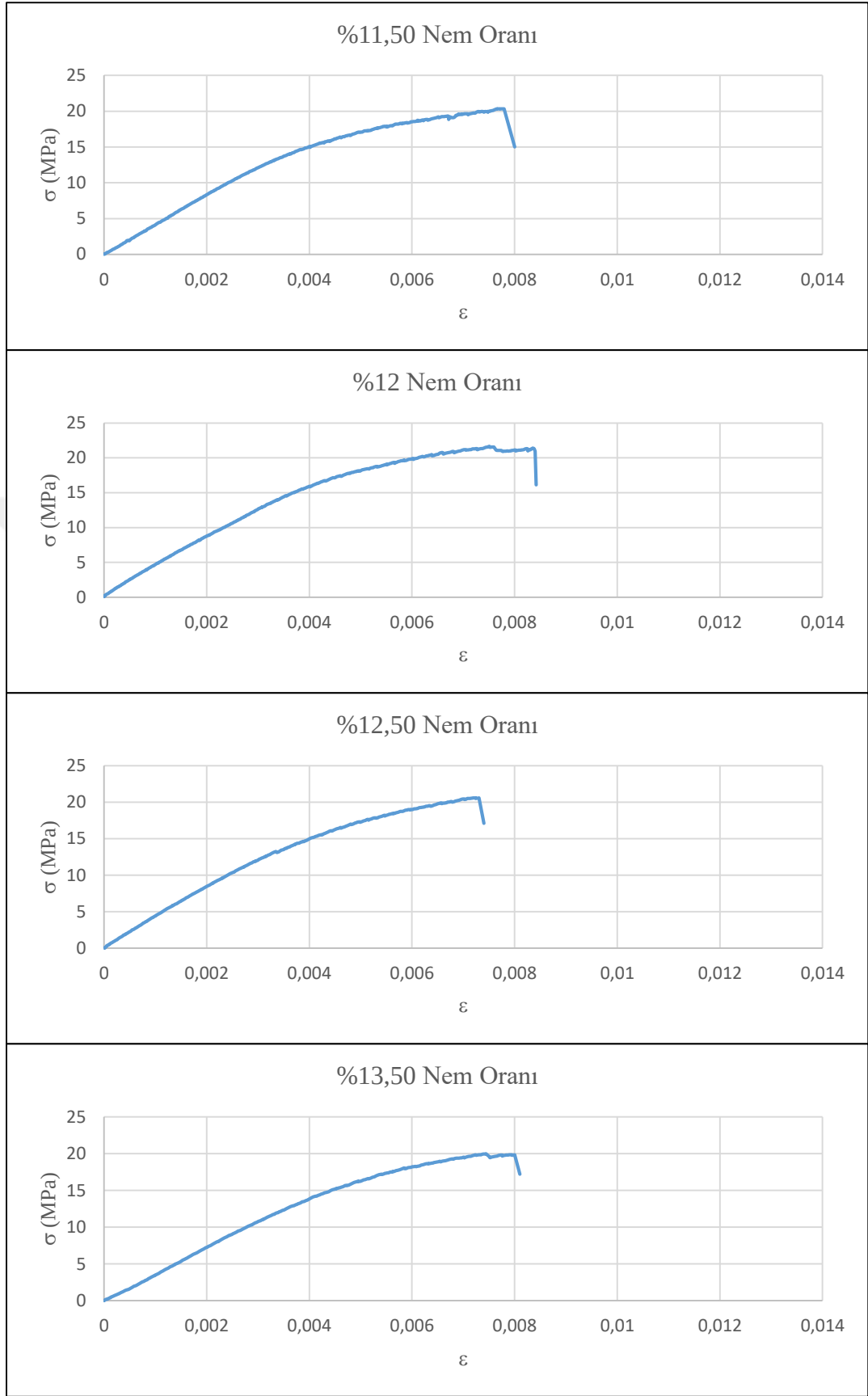
$$E_p = \sigma / \varepsilon \quad (3.4)$$

Burada E_p (MPa) liflere paralel basınç Elastisite Modülünü, σ (MPa) gerilmeyi, ε (mm/mm) ise birim şekil değiştirmeyi ifade etmektedir. Tipik bir gerilme-deformasyon eğrisi aşağıda sunulmuştur.

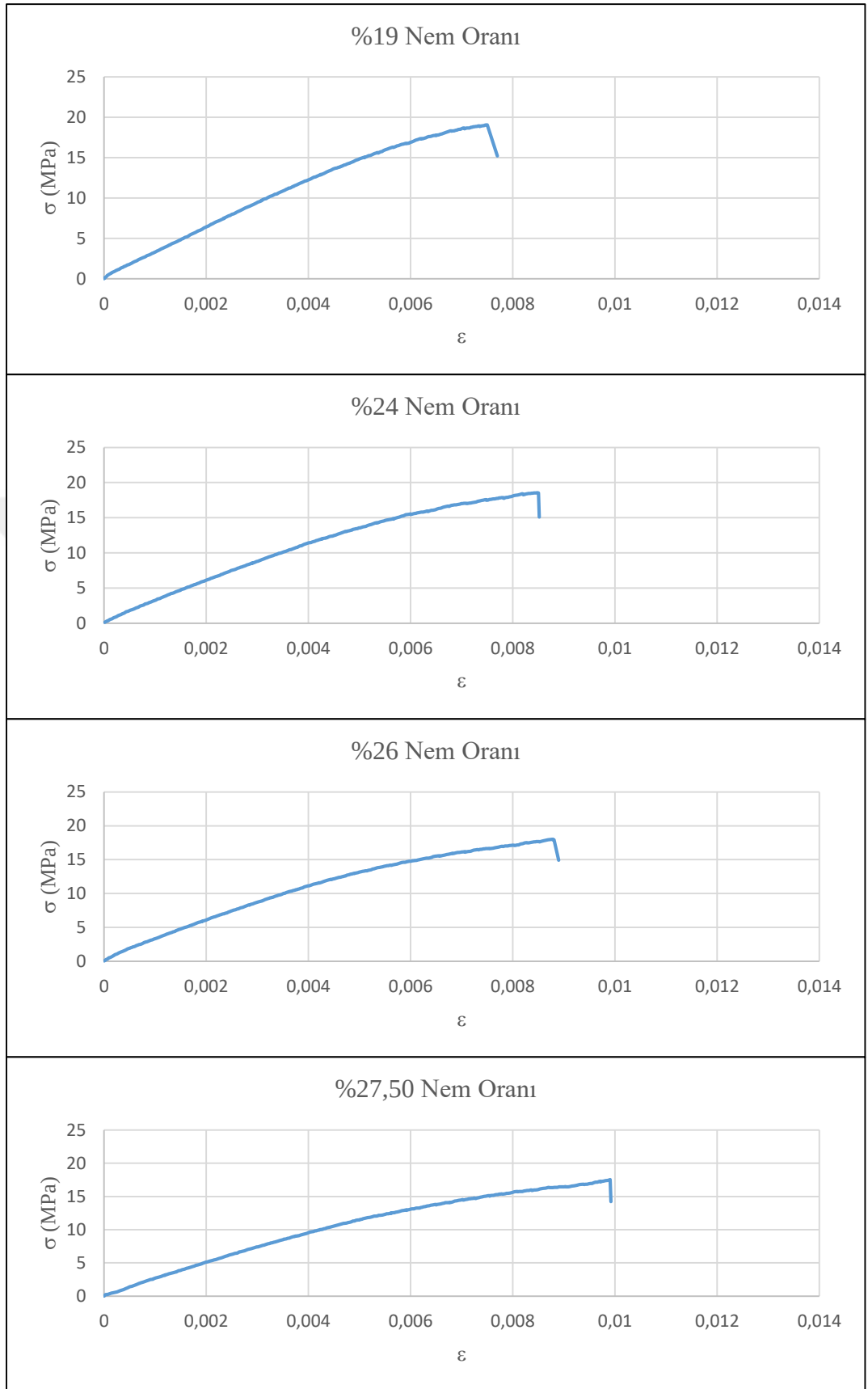


Şekil 3.13. Tipik bir gerilme-deformasyon eğrisi (URL-9).

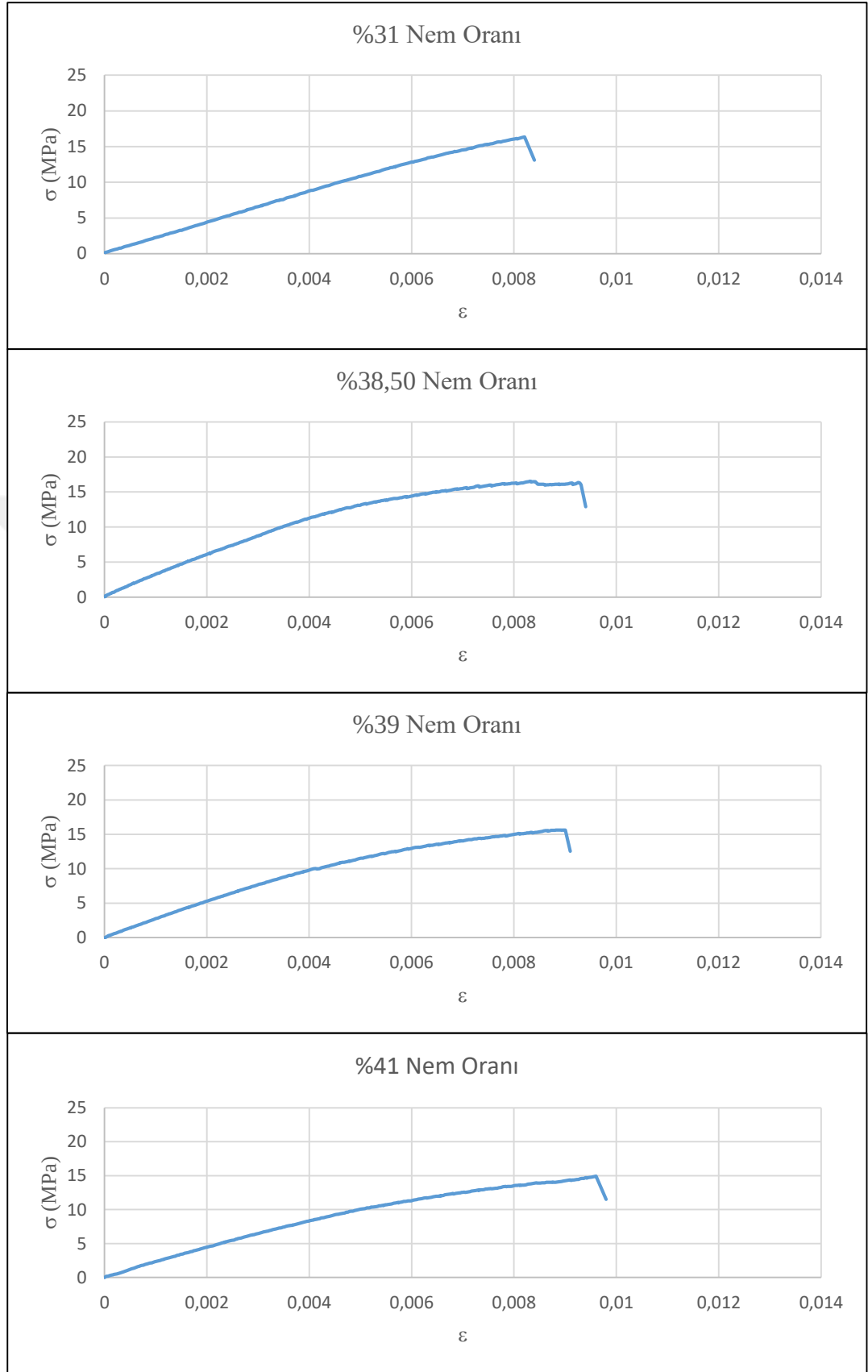
Kavak ve karaçam ahşap numunelerin içerdikleri farklı nem oranlarına göre çizilen gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri (σ - ε) Şekil 3.14 ile Şekil 3.17 aralığında sunulmuştur.



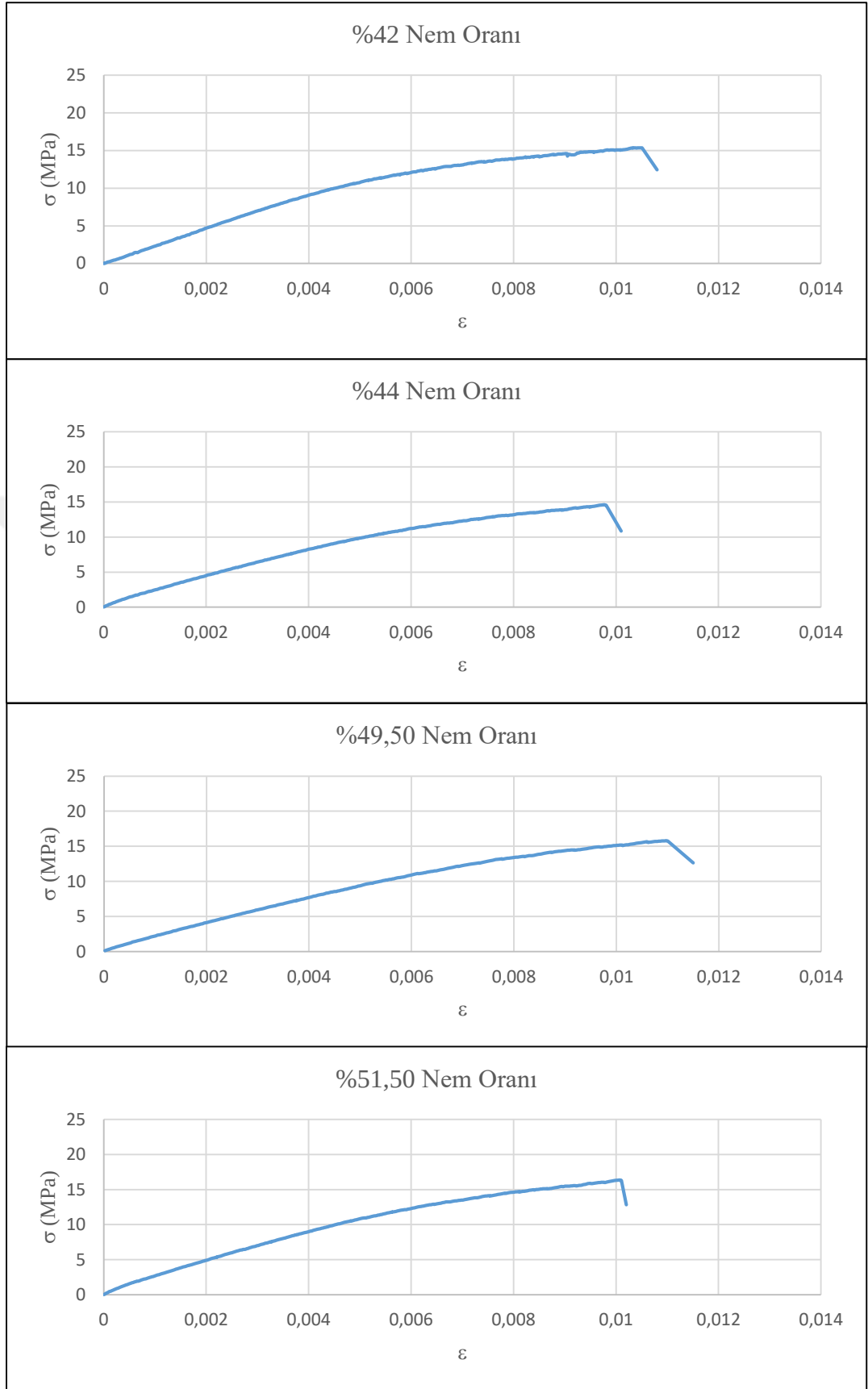
Şekil 3.14. Çam numuneler liflere paralel basınç testi σ - ϵ grafikleri.



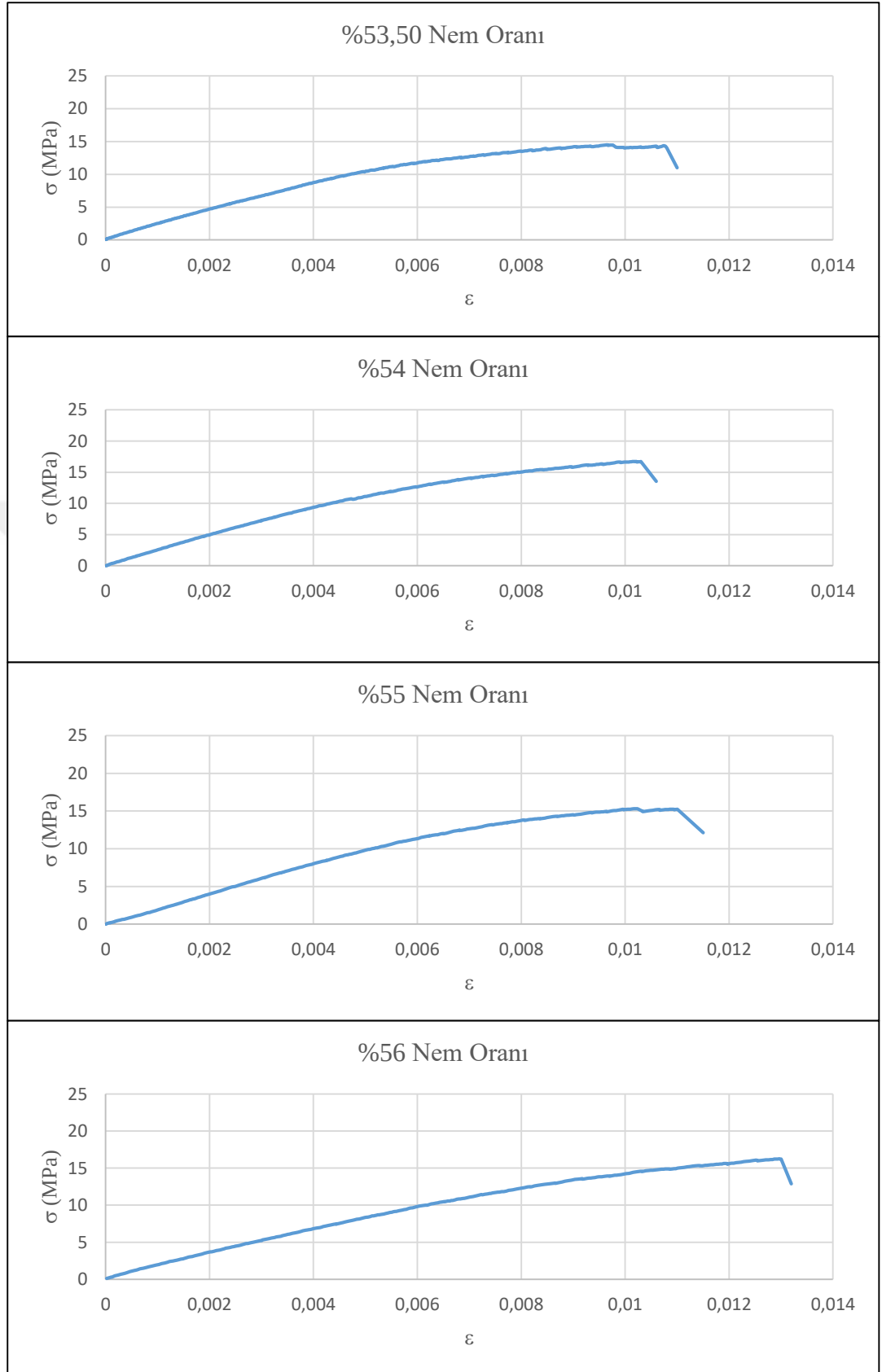
Şekil 3.14 (devam). Çam numuneler liflere paralel basınç testi σ - ϵ grafikleri.



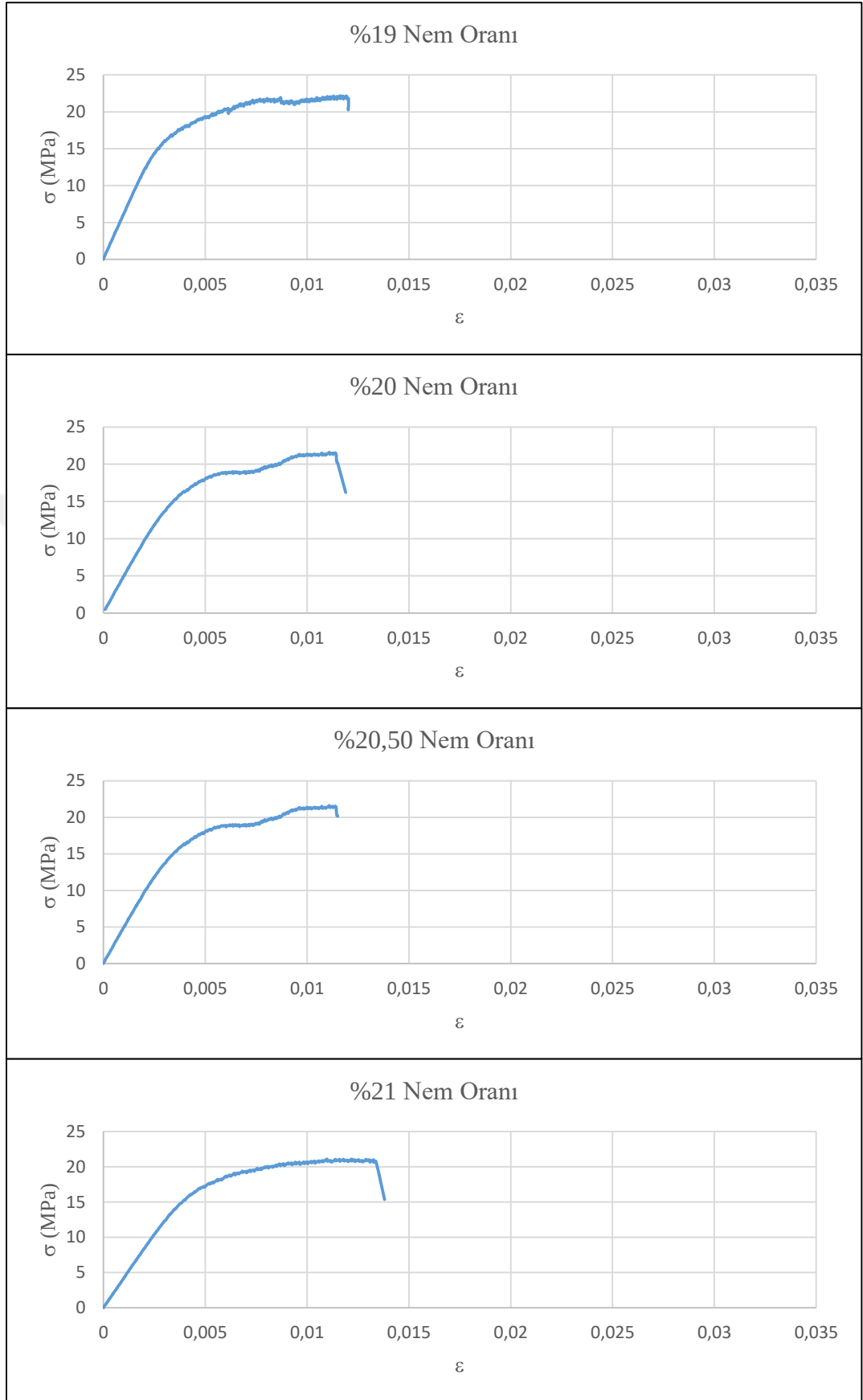
Şekil 3.14 (devam). Çam numuneler liflere paralel basınç testi σ - ϵ grafikleri.



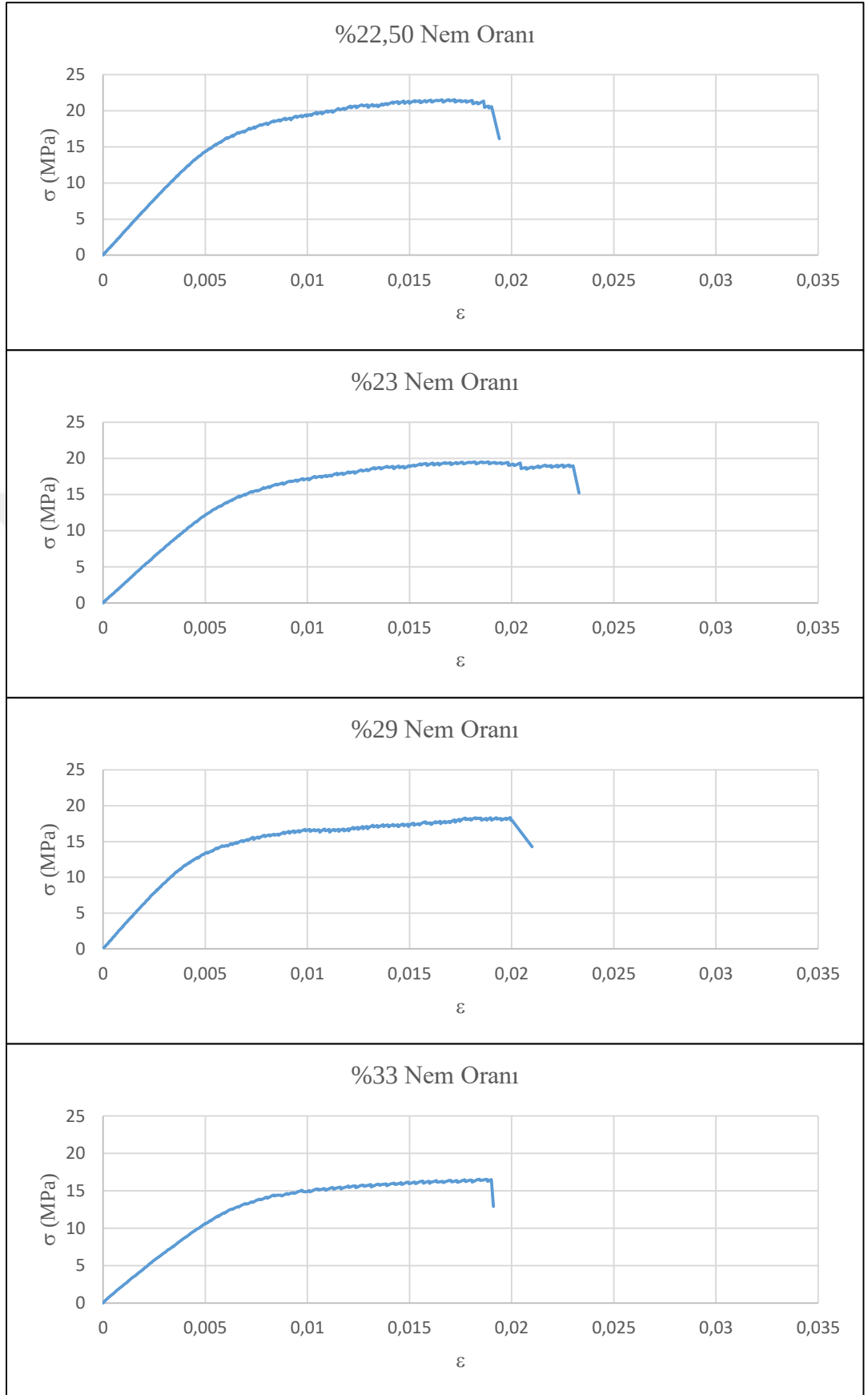
Şekil 3.15. Suya doygün çam numuneler liflere paralel basınç testi σ - ϵ grafikleri.



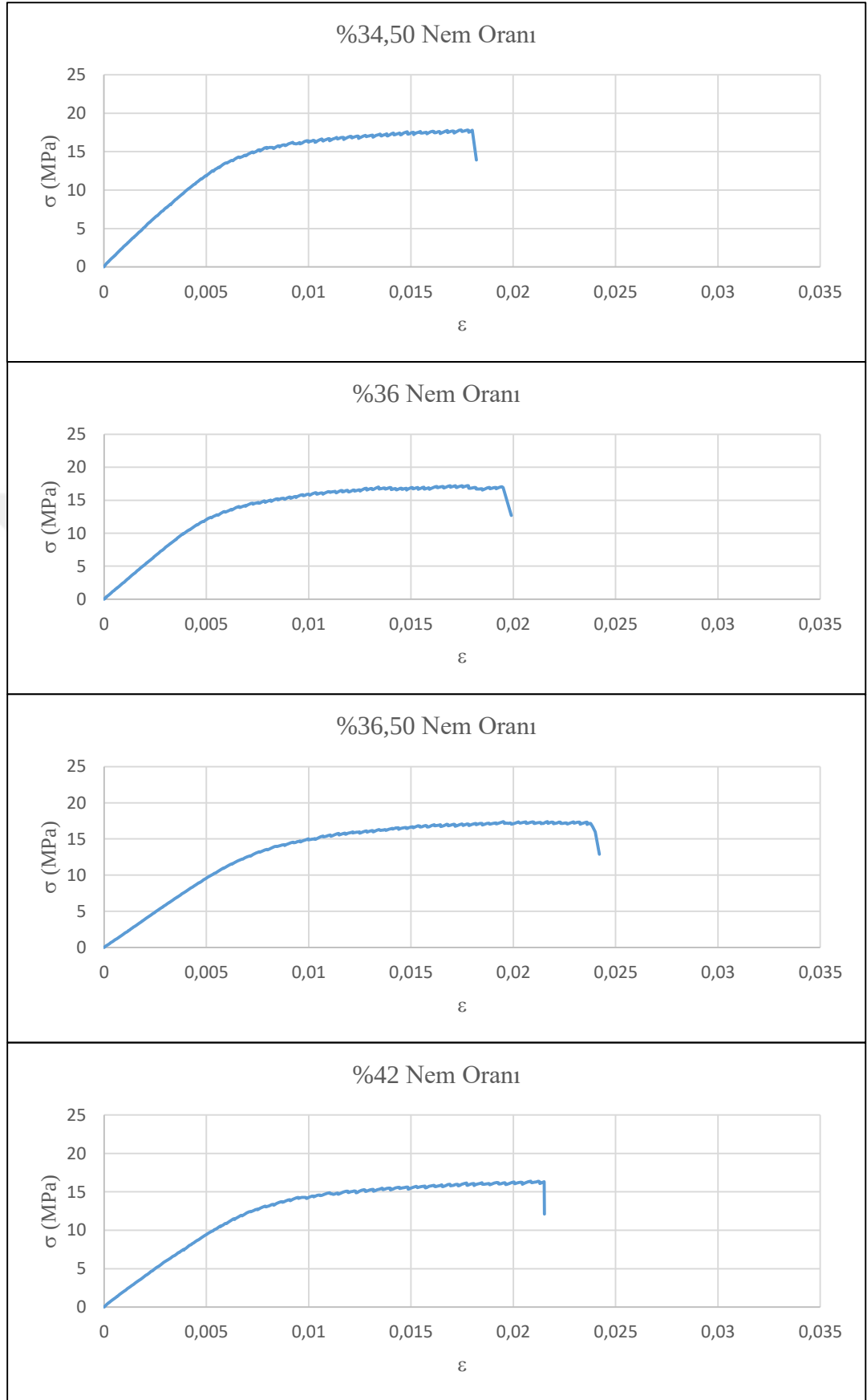
Şekil 3.15 (devam). Suya doygun çam numuneler liflere paralel basınç testi σ - ϵ grafikleri.



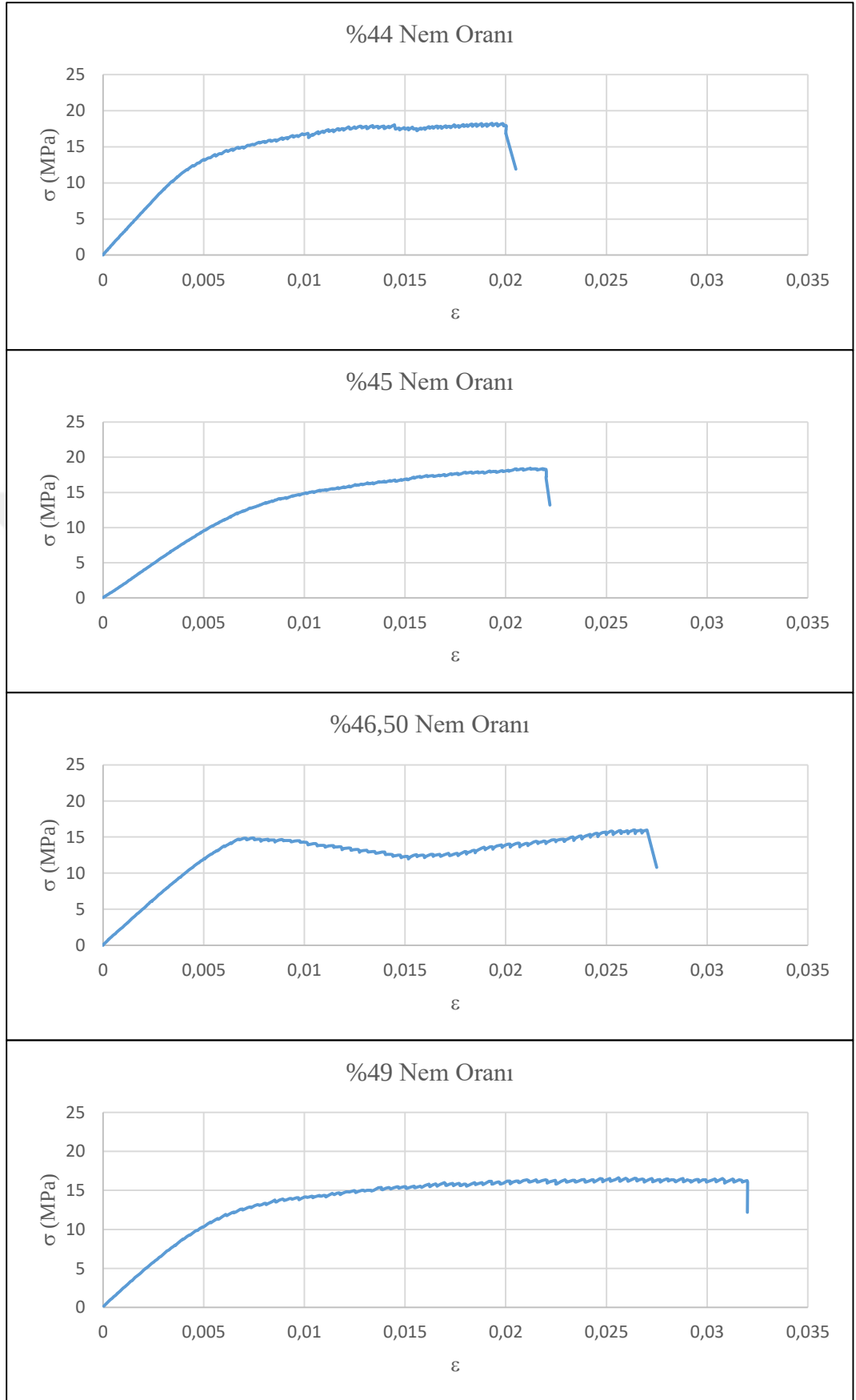
Şekil 3.16. Kavak numuneler liflere paralel basınç testi σ - ϵ grafikleri.



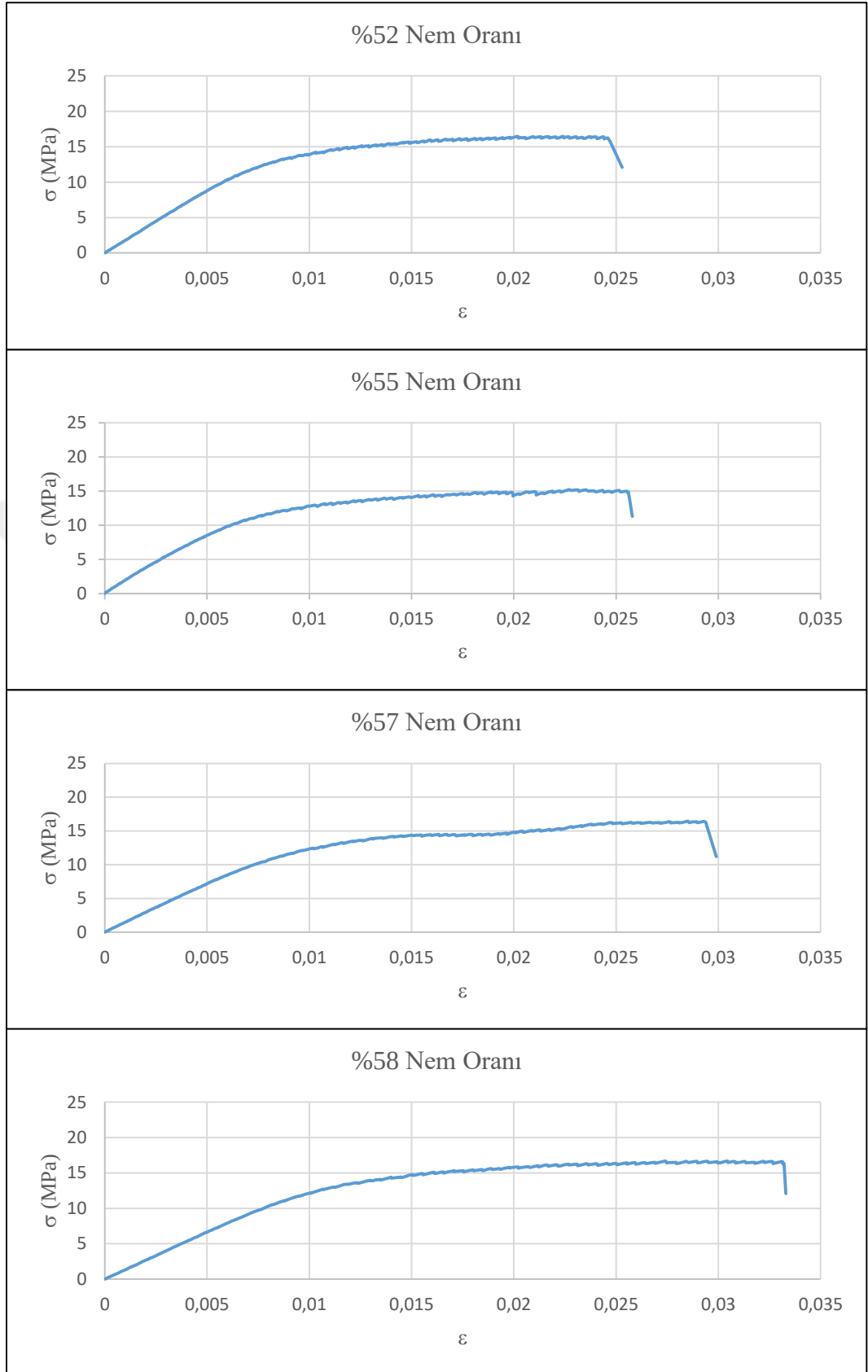
Şekil 3.16 (devam). Kavak numuneler liflere paralel basınç testi σ - ϵ grafikleri.



Şekil 3.16 (devam). Kavak numuneler liflere paralel basınç testi σ - ϵ grafikleri.



Şekil 3.17. Suya doymun kavak numuneler liflere paralel basınç testi σ - ϵ grafikleri.



Şekil 3.17 (devam). Suya doymun kavak numuneler liflere paralel basınç testi σ - ϵ grafikleri.

3.3.2 Ahşap elemanların eğilme dayanım çalışmaları

Ahşap numunelerin mekanik özelliklerinden liflere paralel basınç dayanımlarını tespit çalışmalarından sonra, yaklaşık 4x4x84 cm boyutlarında 24 adet karaçam ve 24 adet kavak ağaçlarından elde edilmiş ahşap kiriş numunelerinin TS EN 408+A1 (2014) standartlarına uygun olarak içerdikleri nem oranlarına göre değişen liflerine dik doğrultuda eğilme dayanım durumları ölçülmüştür.

Bir kısmı farklı süreler boyunca suda ıslatılmış, bir kısımda iki ay oda sıcaklığında muhafaza edilmiş hava kurusu numuneler ile ilgili çalışmalar, ahşap liflerine dik yönde numunelere dört nokta eğilme deney düzeneği kurularak laboratuvar ortamında universal deney cihazı ile basınç uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin içerdikleri nem oranları hem tasarlanan Arduino UNO tabanlı nemölçer cihazla, hem de piyasadan edinilen R&D marka MT-10 model nemölçer cihazla ayrı ayrı ölçülerek tespit edilmiştir. İçerdikleri nem oranlarına göre bazı uç değerlere sahip farklı türe ait bazı numunelerin boyut, nem oranı ve ağırlık değerleri gibi fiziksel özellikleri ile ilgili tablo aşağıdaki gibidir.

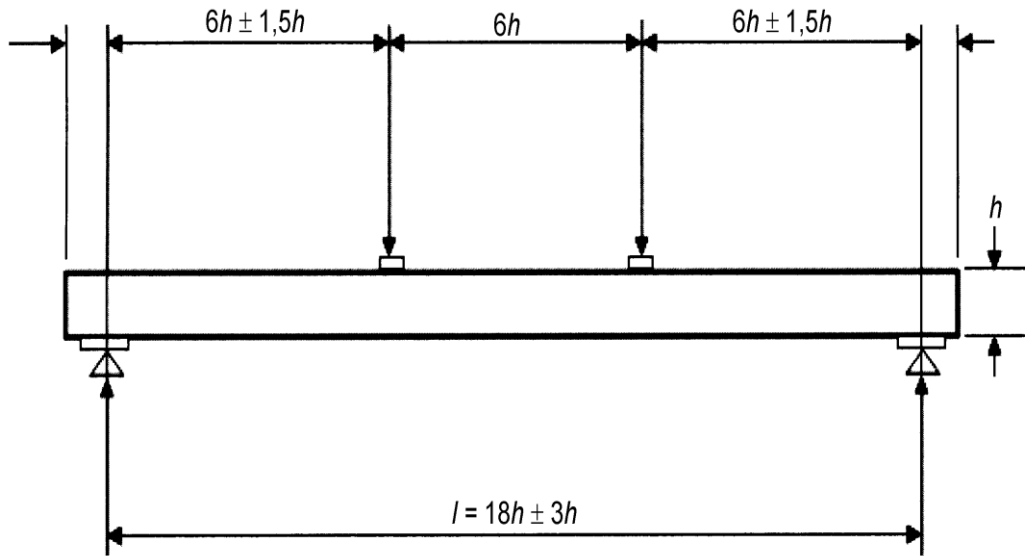
Çizelge 3.2. Dört nokta eğilme deneyi numuneleri bazı fiziksel özellikleri.

Hava Kurusu Numuneler					
	H (cm)	B (cm)	L (cm)	Ağırlık (gr)	Nem (%) MT-10 / Arduino
Çam 1	4	4,1	84,3	648	11,5 / 13,5
Çam 2	4,1	4,1	84,3	895	15 / 16,8
Çam 3	4,1	4,1	84,1	851	13 / 15,9
Kavak 1	4	4	84,2	590	13,5 / 16,2
Kavak 2	4	4	84,3	533	13,5 / 15,8
Kavak 3	4	4	84,2	580	14 / 16
Bir Ay Süre ile Islatılmış Numuneler					
	H (cm)	B (cm)	L (cm)	Ağırlık (gr)	Nem (%) MT-10 / Arduino
Çam 1	4	4,2	84,3	987	49 / 51,5
Çam 2	4,1	4,1	84,5	906	50 / 53
Çam 3	4,2	4,2	84,4	1158	55 / 57
Kavak 1	4,1	4,1	84,1	1081	59 / 55
Kavak 2	4,1	4,1	84,3	1212	56 / 53
Kavak 3	4,2	4,2	84,3	1160	62 / 57,5

Ahşap numunelerle ilgili dört nokta eğilme deneyi çalışmalarının yapıldığı düzenek fotoğrafları Şekil 3.18’de, TS EN 408+A1 (2014)’e göre şeması Şekil 3.19’da sunulmuştur. Eğilme gerilme değerleri ise Denklem 3.5’e göre hesaplanmıştır.



Şekil 3.18. Dört nokta eğilme deney düzeneği.



Şekil 3.19. Eğilme mukavemeti ölçümü deney düzeneği (TS EN 408+A1, 2014).

$$\sigma_e = \frac{3.P.a}{b.h^2} \quad (3.5)$$

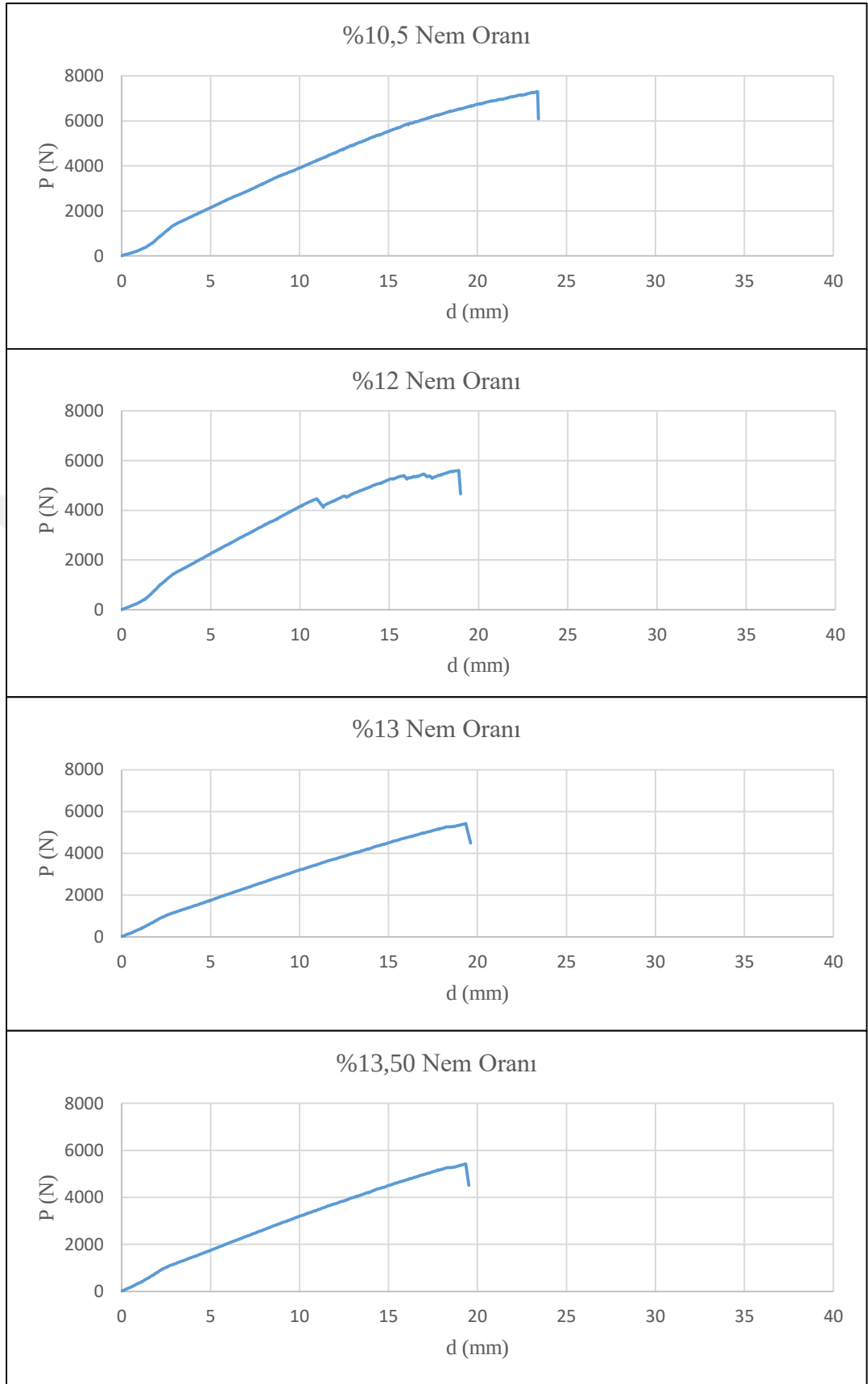
Burada σ_e (MPa) eğilme gerilme değerini, P (N) cisme uygulanan kuvveti, a (mm) yükleme noktası ile en yakın mesnet arası mesafeyi, b (mm) enine kesitin genişliğini, h (mm) ise deney parçasının yüksekliğini ifade etmektedir.

TS EN 408+A1 (2014)'e göre numunelerin liflerine dik Elastisite Modülü değerlerinin bulunması için Denklem 3.6 kullanılmıştır.

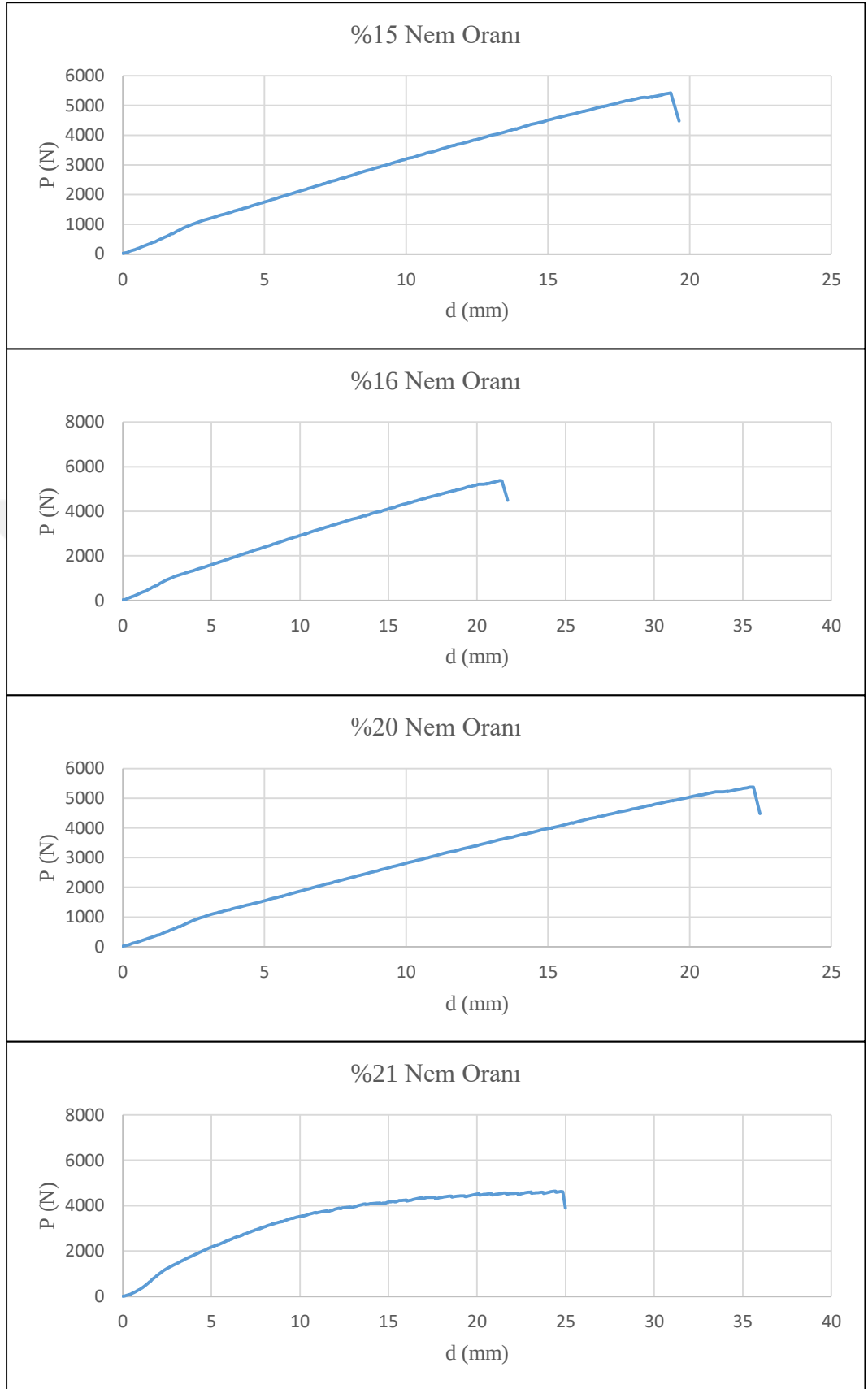
$$E_d = \frac{a(l_1)^2(P_2-P_1)}{16.I.(w_2-w_1)} \quad (3.6)$$

Burada E_d (MPa) liflere dik eğilme Elastisite Modülü değerini, P (N) cisme uygulanan kuvveti, a (mm) yükleme noktası ile en yakın mesnet arası mesafeyi, l_1 (mm) numuneye etki eden iki yükleme noktası arası mesafeyi, I (mm^4) atalet momenti değerini, w (mm) ise deformasyon (sehim) miktarını ifade etmektedir.

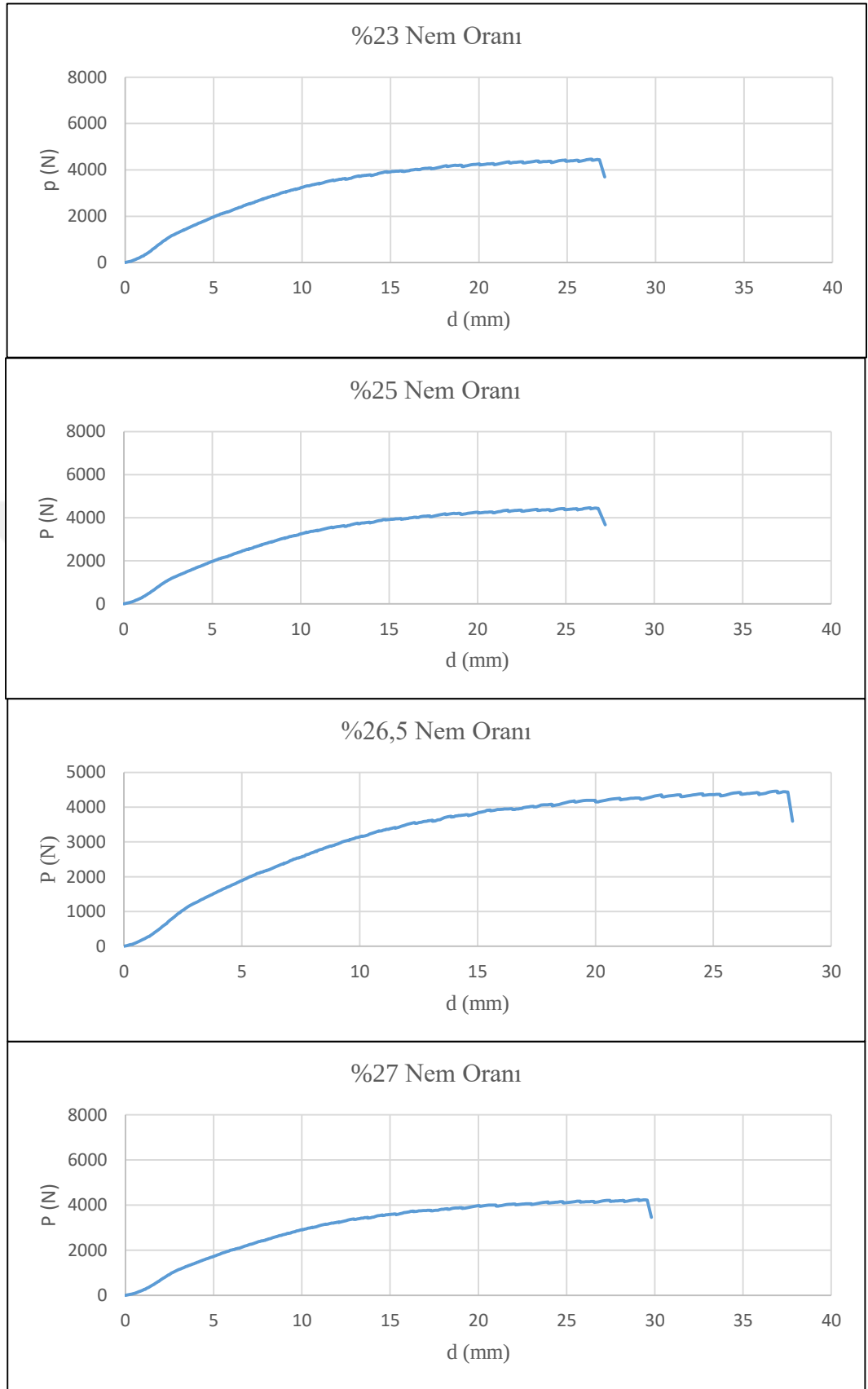
Deneyler sırasında numuneler kırılmış veya numune yük taşıma sınırına geldiği için deney sonlandırılmıştır. Kavak ve karaçam ahşap numunelerin Elastisite Modülü değerlerini elde etmek için çizilen liflere dik eğilme yük-deformasyon (P-d) grafikleri çizilerek Şekil 3.20 ve Şekil 3.23 aralığında sunulmuştur.



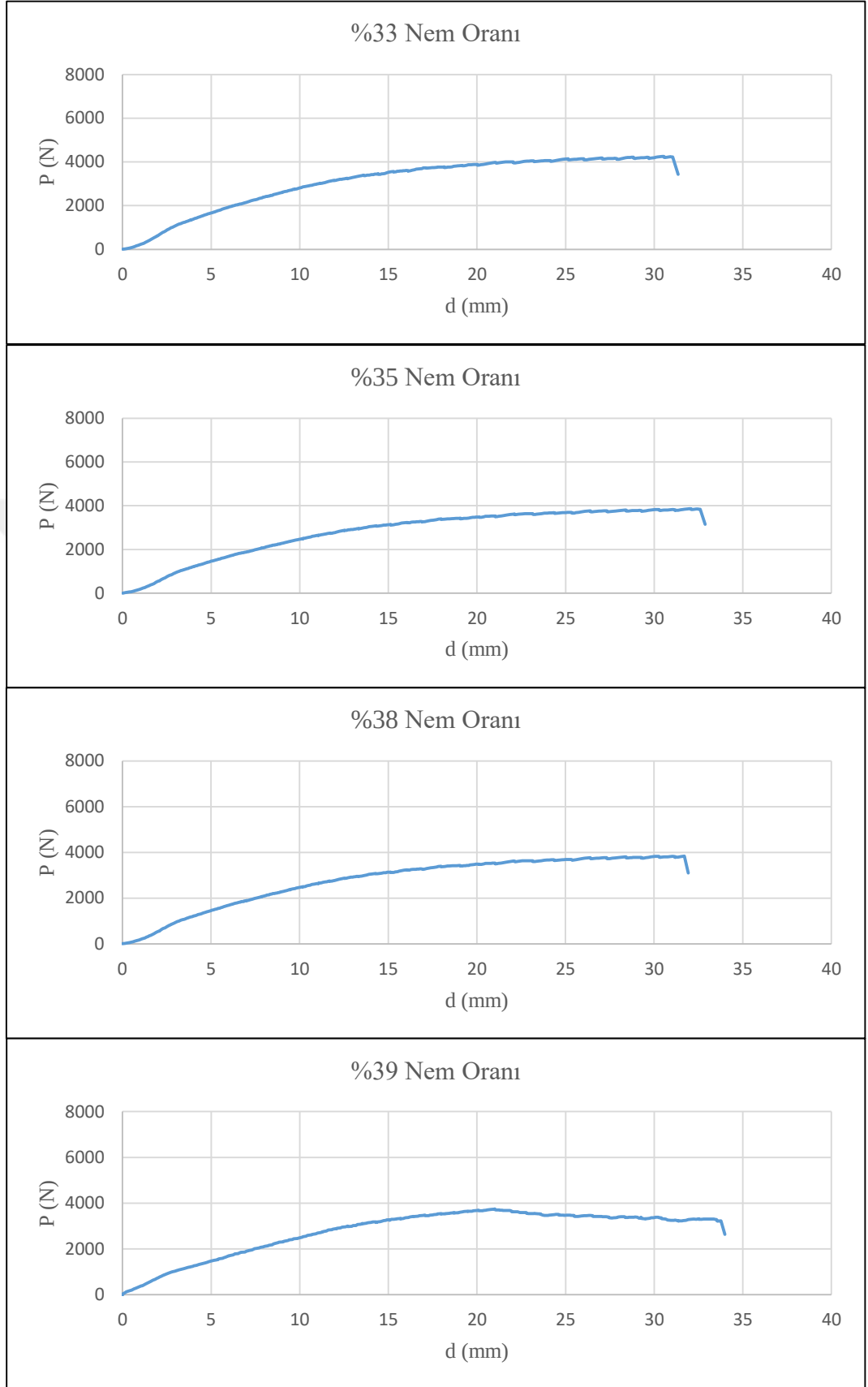
Şekil 3.20. Çam numuneler liflere dik eğilme testi P-d grafikleri.



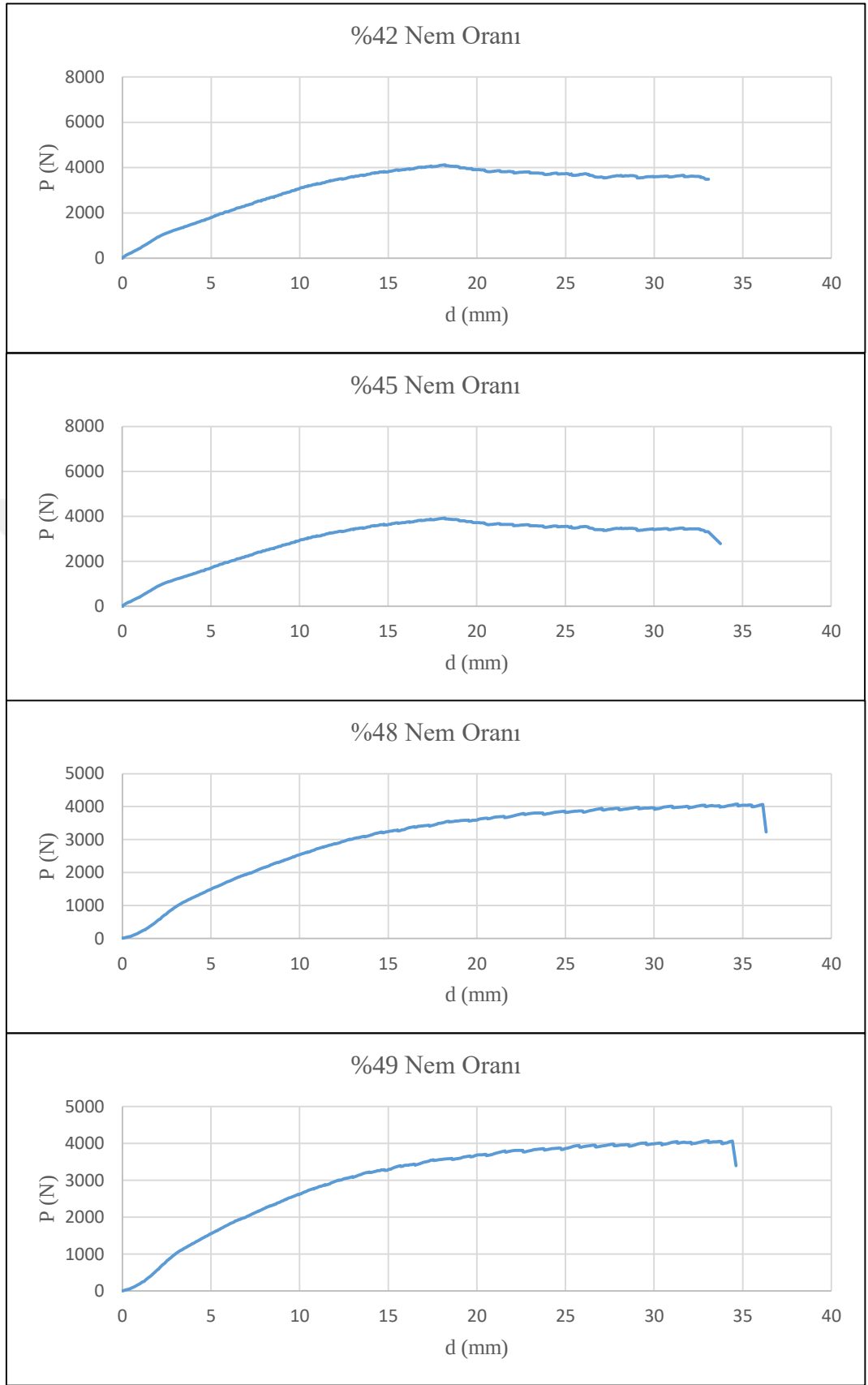
Şekil 3.20 (devam). Çam numuneler liflere dik eğilme testi P-d grafikleri.



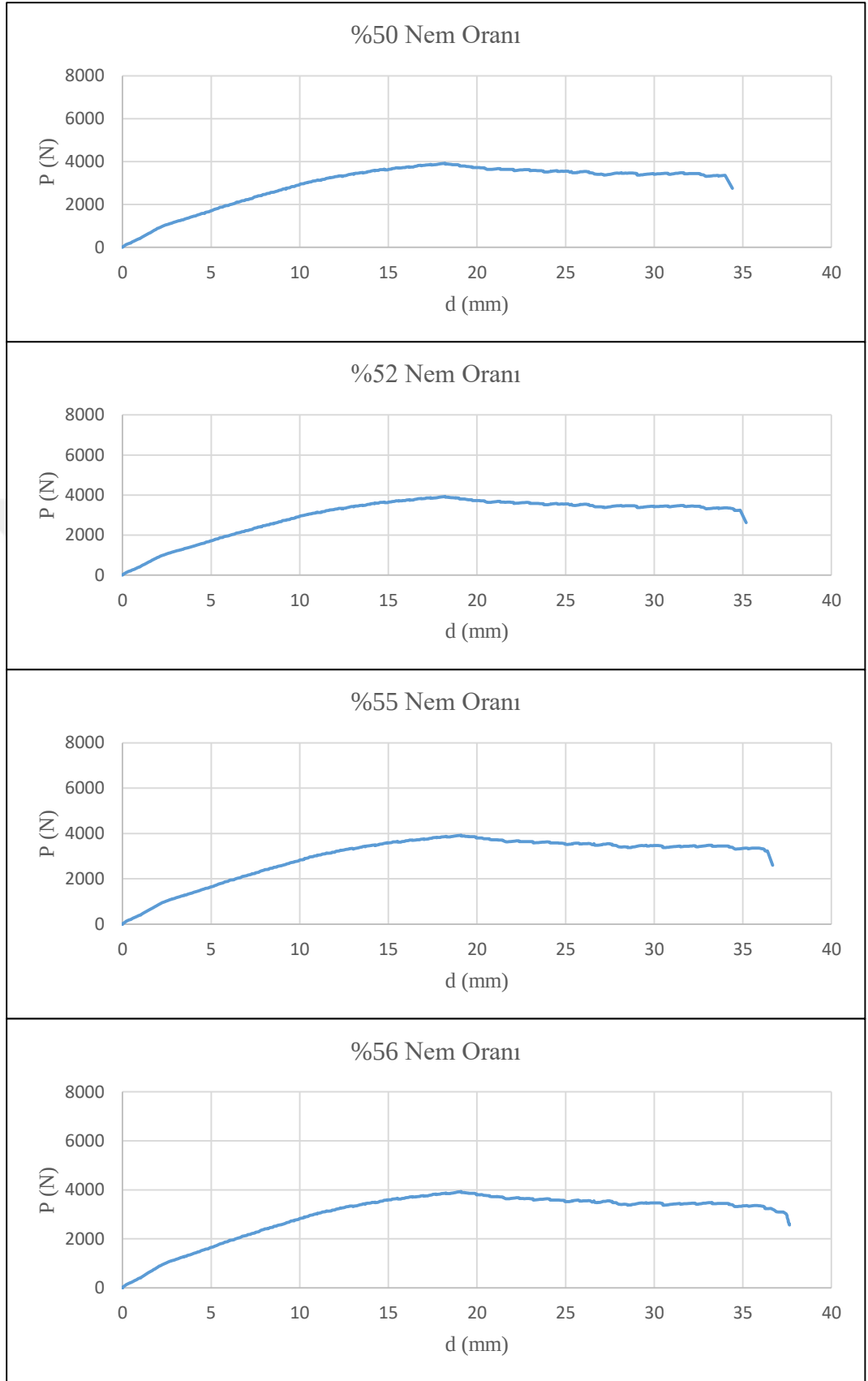
Şekil 3.20 (devam). Çam numuneler liflere dik eğilme testi P-d grafikleri.



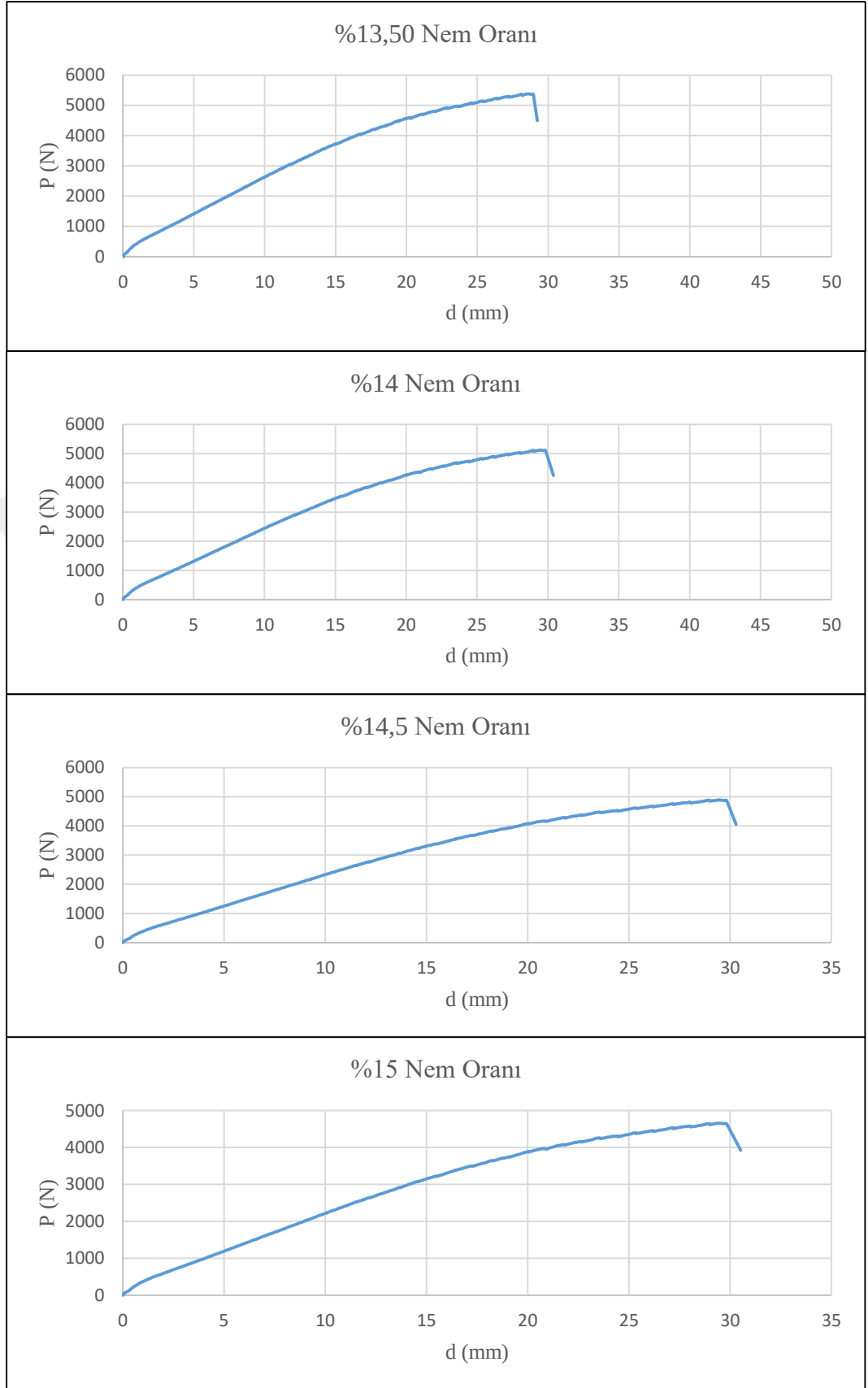
Şekil 3.20 (devam). Çam numuneler liflere dik eğilme testi P-d grafikleri.



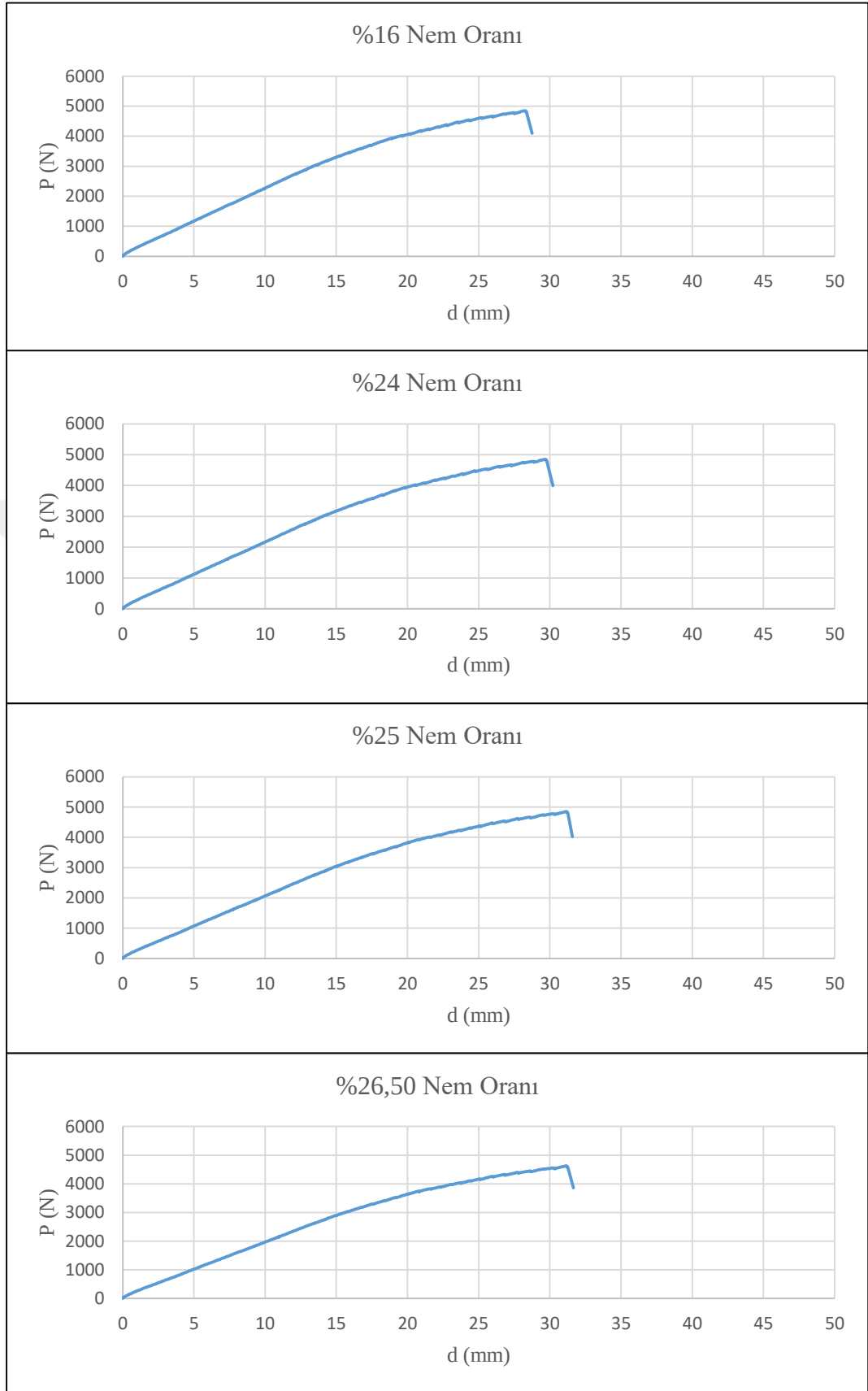
Şekil 3.21. Suya doymun çam numuneler liflere dik eğilme testi P-d grafikleri.



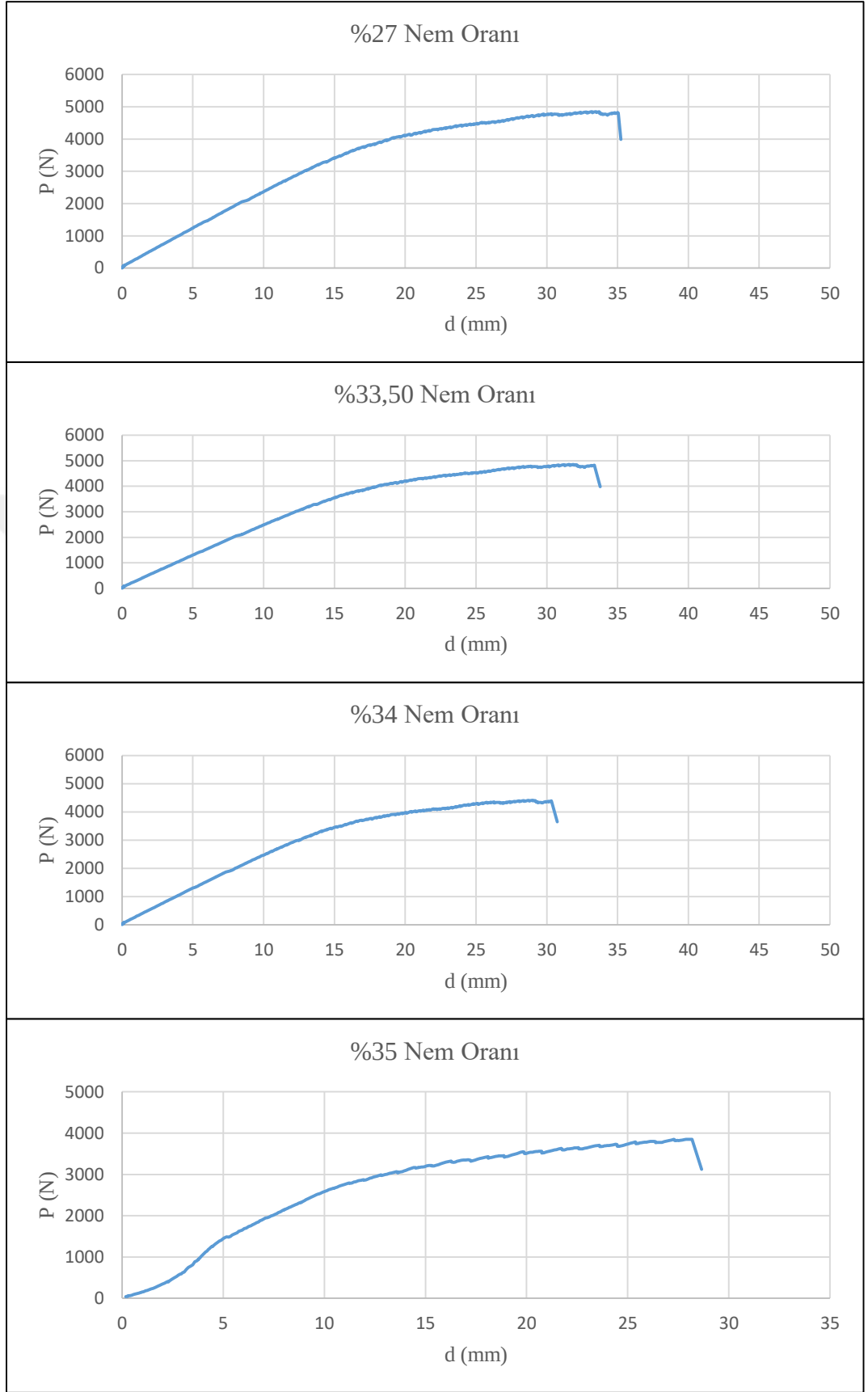
Şekil 3.21 (devam). Suya doymun çam numuneler liflere dik eğilme testi P-d grafikleri.



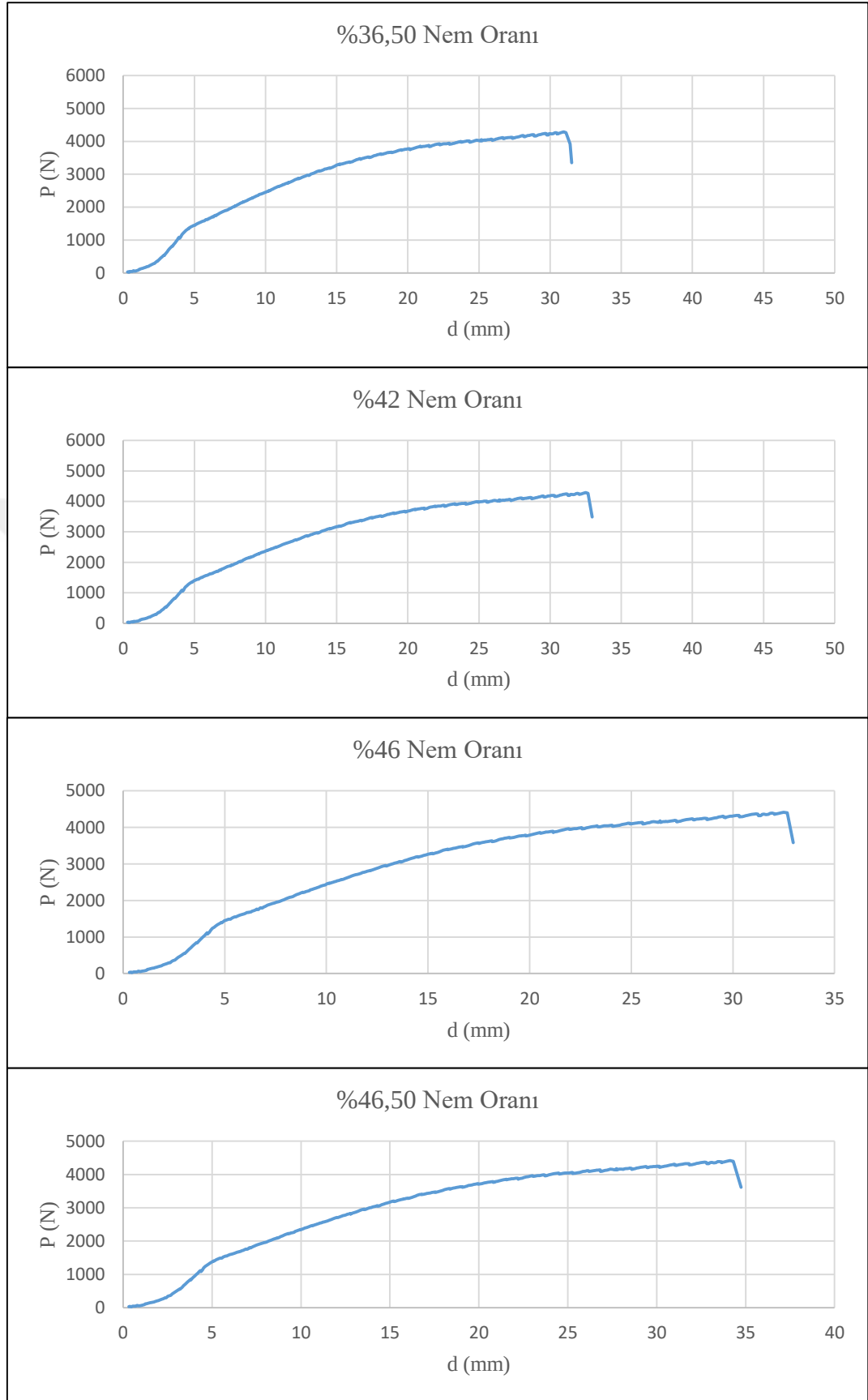
Şekil 3.22. Kavak numuneler liflere dik eğilme testi P-d grafikleri.



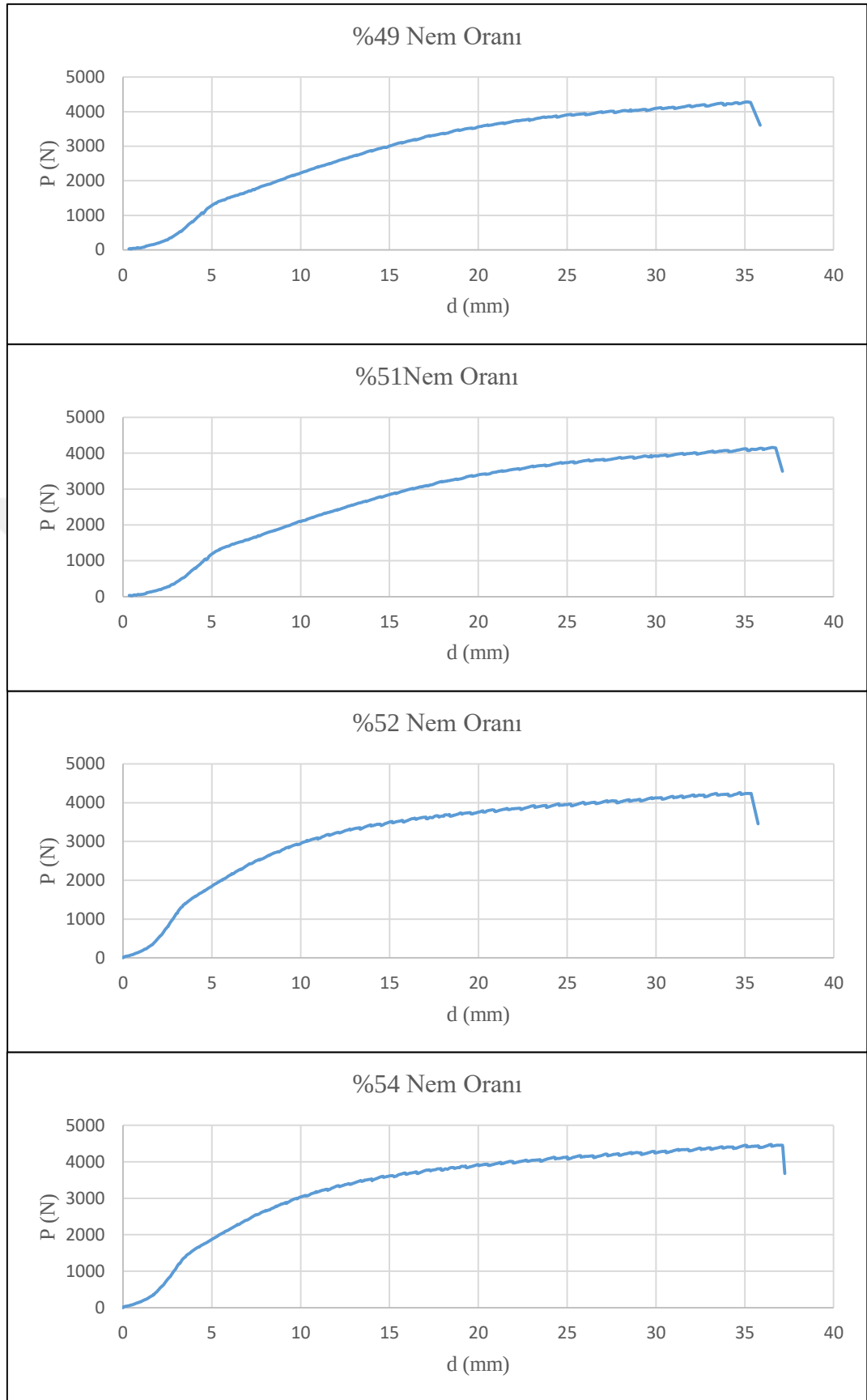
Şekil 3.22 (devam). Kavak numuneler liflere dik eğilme testi P-d grafikleri.



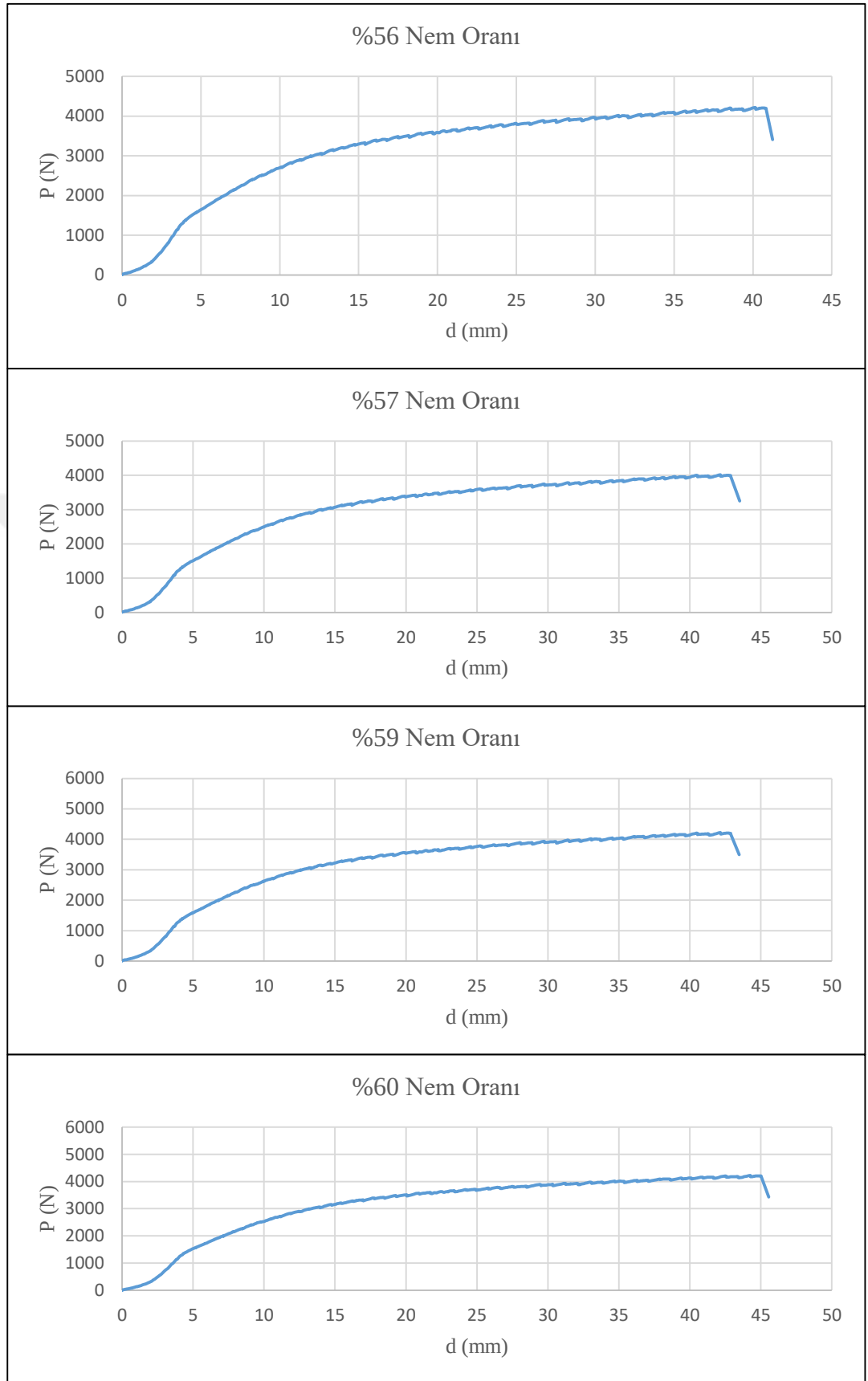
Şekil 3.22 (devam). Kavak numuneler liflere dik eğilme testi P-d grafikleri.



Şekil 3.22 (devam). Kavak numuneler liflere dik eğilme testi P-d grafikleri.

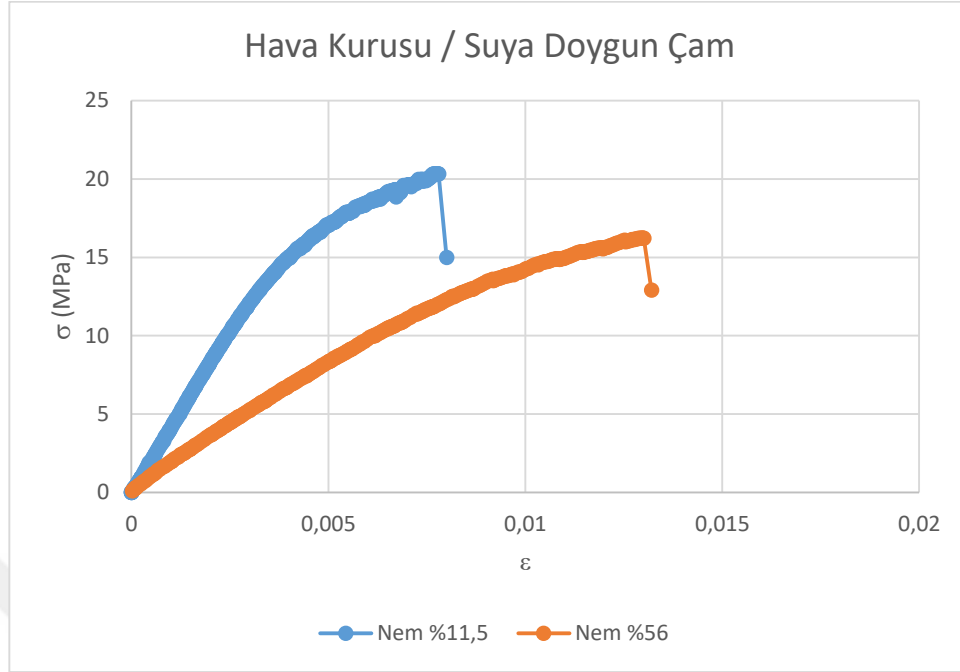


Şekil 3.23. Suya doygun kavak numuneler liflere dik eğilme testi P-d grafikleri.

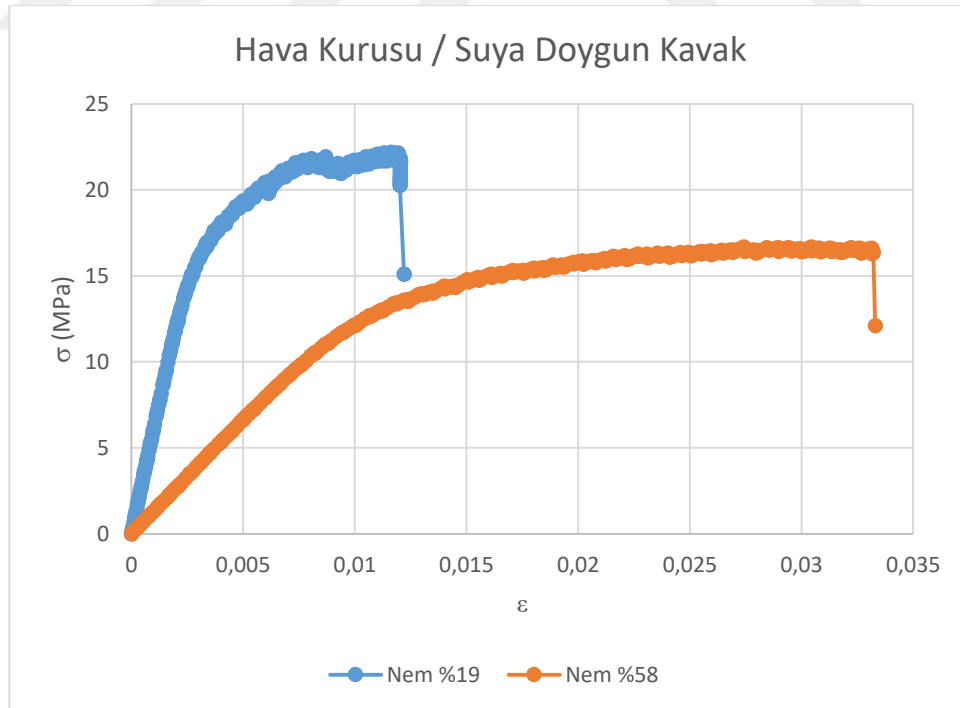


Şekil 3.23 (devam). Suya doygun kavak numuneler liflere dik eğilme testi P-d grafikleri.

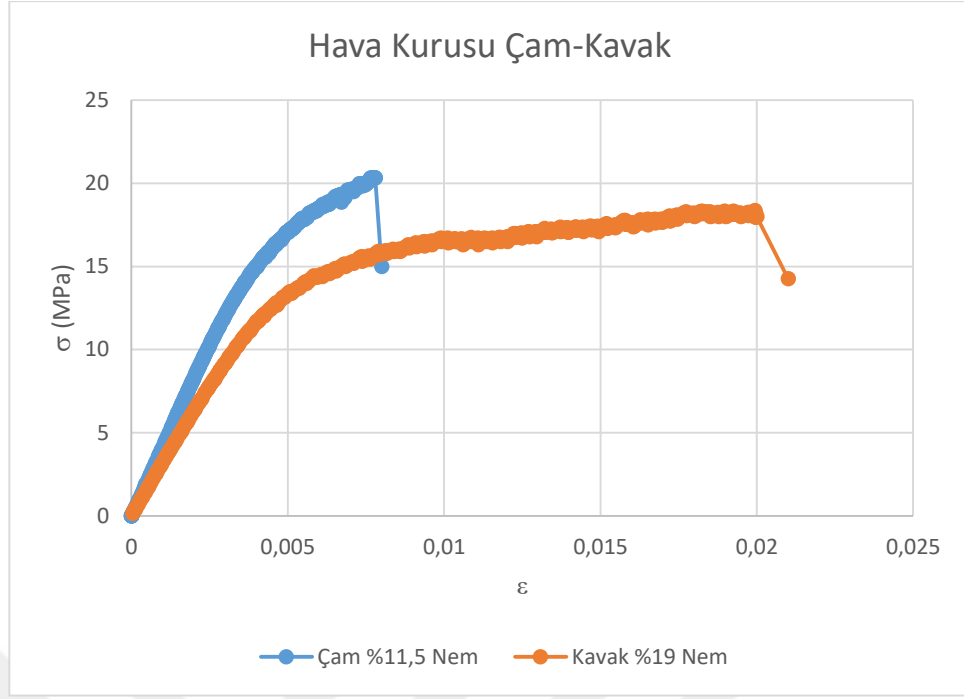
3.3.3 Ahşap elemanların mekanik deney sonuçları karşılaştırılması



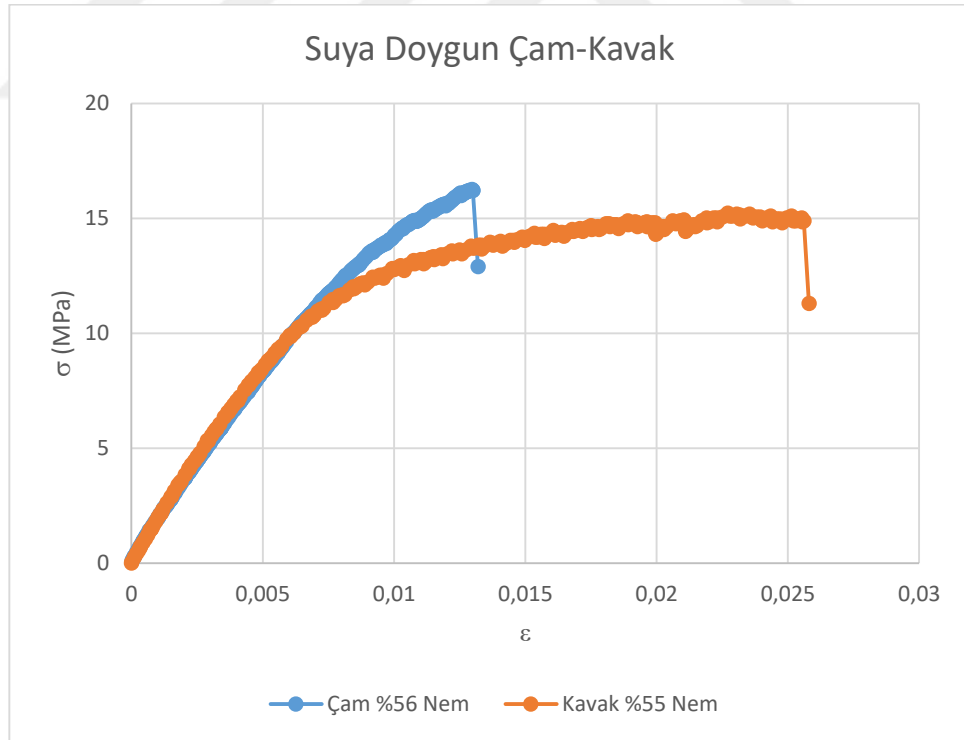
Şekil 3.24. Çam numuneler basınç σ - ε karşılaştırma grafiği.



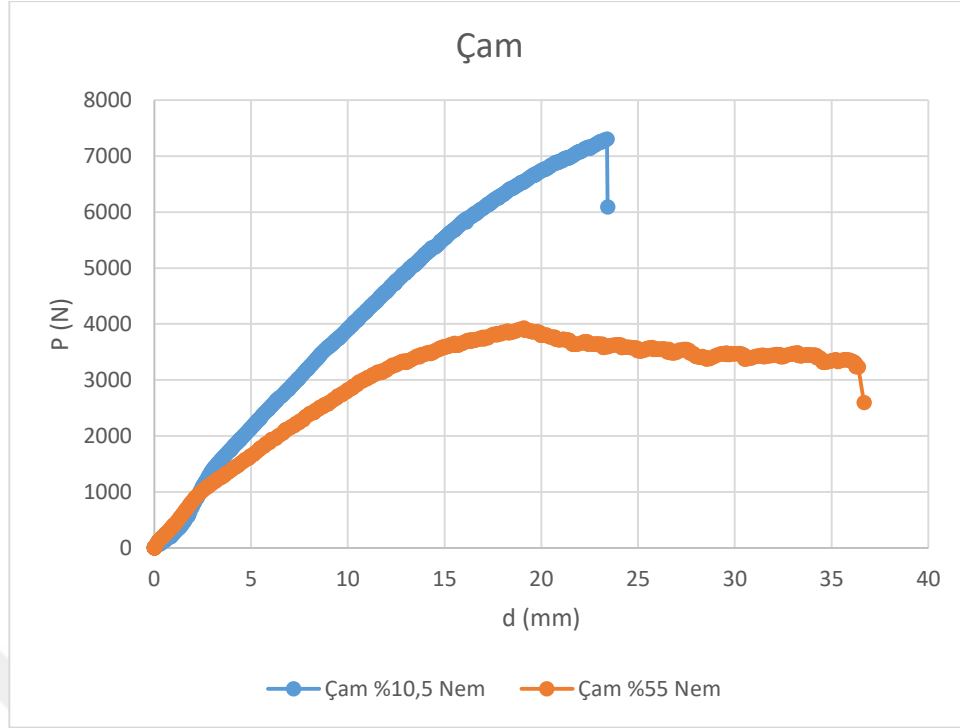
Şekil 3.25. Kavak numuneler basınç σ - ε karşılaştırma grafiği.



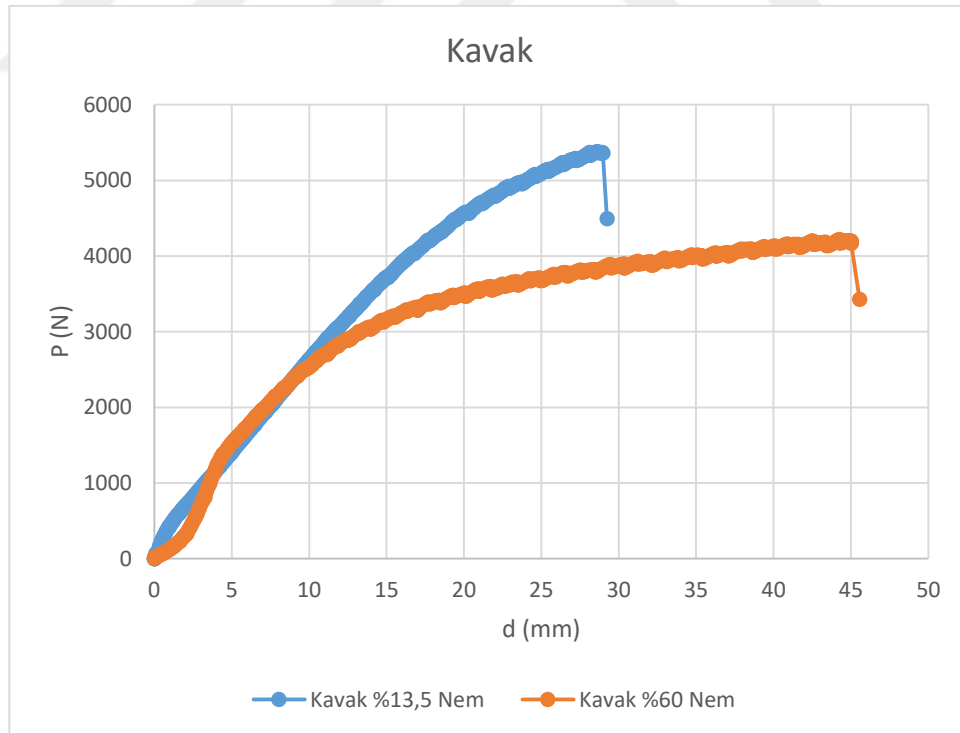
Şekil 3.26. Hava kuru çam-kavak numuneler basınç σ - ϵ karşılaştırma grafiği.



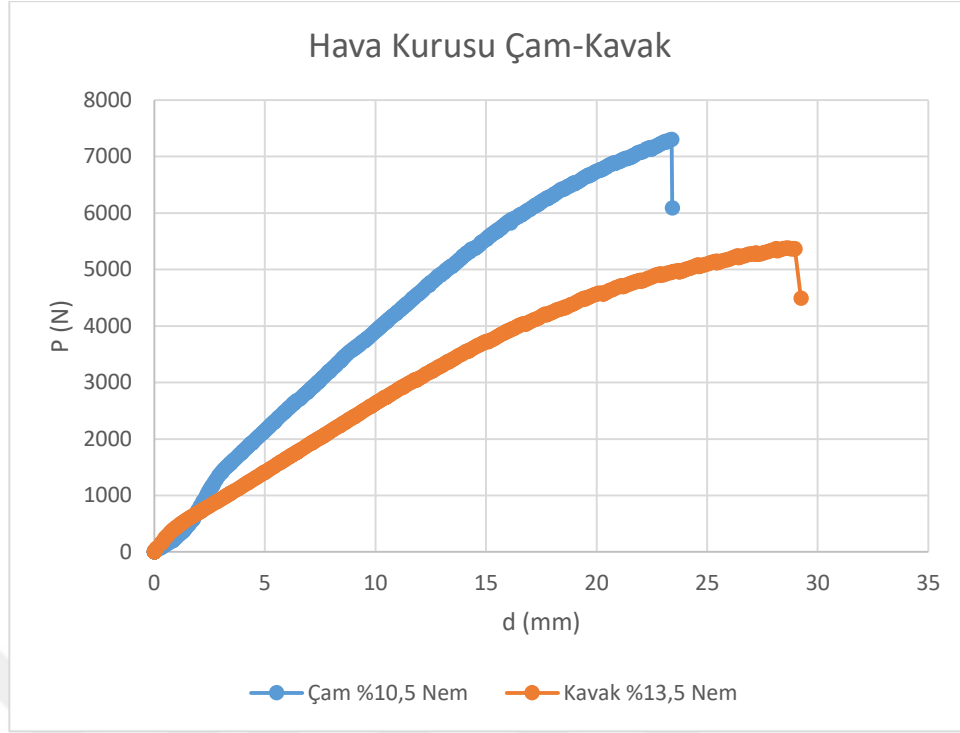
Şekil 3.27. Suya doygun çam-kavak numuneler basınç σ - ϵ karşılaştırma grafiği.



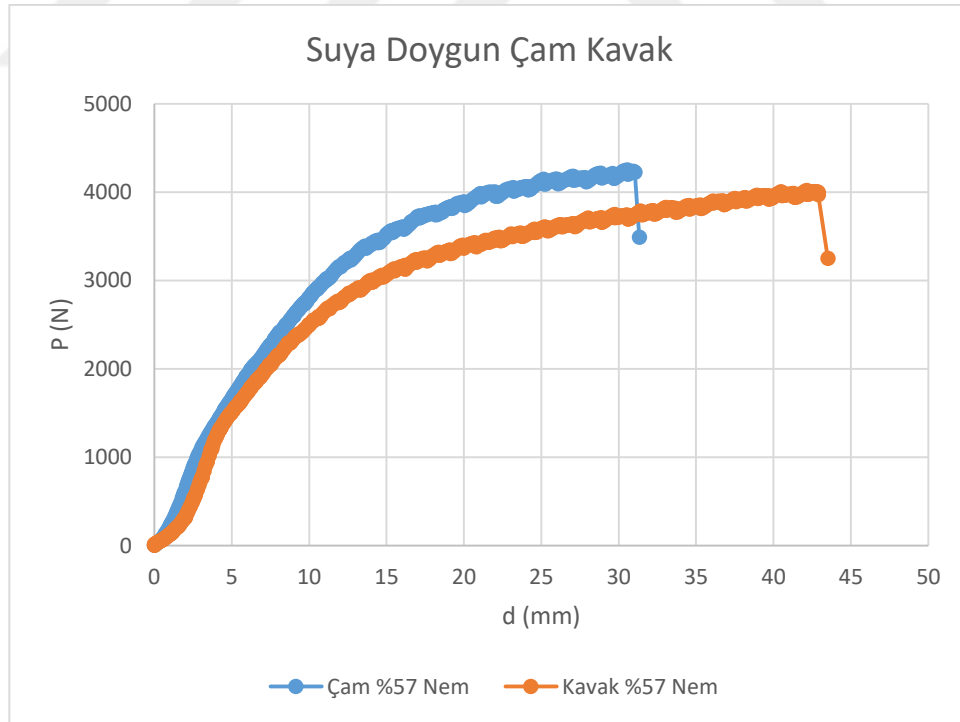
Şekil 3.28. Çam numuneler eğilme P-d karşılaştırma grafiği.



Şekil 3.29. Kavak numuneler eğilme P-d karşılaştırma grafiği.



Şekil 3.30. Hava kuruşu çam-kavak numuneler eğilme P-d karşılaştırma grafiği.



Şekil 3.31. Suya doymuş çam-kavak numuneler eğilme P-d karşılaştırma grafiği.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Tasarlanan Ahşap Nemölçer Cihazının Diğer Cihazlarla Karşılaştırılması

Tasarlanan Arduino UNO tabanlı ahşap nemölçer cihazı ölçüm sonuçlarının sağlıklı olma durumunu daha detaylı kontrol etmek adına, piyasada kullanılan farklı bir ahşap nemölçer cihazı daha temin edilmiştir. Temin edilen UNI-T marka UT377A model cihazın ölçüm sonuçları ile ilk alınan R&D marka MT-10 model ahşap nemölçer cihazı ve tasarlanan ahşap nemölçer cihazı ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Farklı tür ahşap numuneleri üzerinde, tasarlanan Arduino UNO tabanlı nemölçer cihazı ve piyasadan temin edilen iki farklı marka ve model nemölçer cihazları kullanılarak yapılan nem ölçüm çalışmalarına ait sonuçlar Çizelge 4.1 ile Çizelge 4.4 arasındaki tablolarda sunulmuştur. Sonradan temin edilen Uni-T marka ve UT377A model ahşap nemölçer cihazı teknik olarak ahşap türüne göre belli sınırlara kadar sağlıklı ölçüm yapabildiği için, ahşap türüne göre sağlıklı ölçüm sınırları ilgili tablo başlıklarında parantez içinde belirtilmiştir.

Ahşap numunelerin içerdikleri nem oranları ile cihazdan alınan direnç ölçüm değerleri ters orantılıdır. Ahşaptaki fazla nem daha iyi iletkenlik anlamına gelip, daha düşük bir direnç gösterme ile sonuçlanmaktadır. Ahşaptaki düşük nem miktarı ise zayıf iletkenlik anlamına gelir ve daha yüksek direnç gösterme şeklinde sonuçlanır. Arduino UNO sistemi tabanlı nemölçer ile yapılan ölçümlerde, hava kurusu durumundaki numunelerde en fazla 1023 analog değeri ile bir ay ıslatılmış numunelerde en küçük 345 analog değeri elde edilmiştir. Arduino UNO tabanlı nemölçer cihazından alınan ham analog ölçüm değerleri ile kalibrasyon sonucuna göre geliştirilip güncellenen yazılım sonucu elde edilen dijital değerler ayrı sütunlarda verilmiştir. Tüm değerler Çizelge 4.1 ile Çizelge 4.4 aralığında sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Çam numunelere ait nem ölçüm değerleri.

	Arduino mV değerleri	A	B	C	A/B Oranı (%)	A/C Oranı (%)
		Arduino nemölçer (%)	MT-10 (%)	UT377A (max%40)		
Çam	322	21,04	21	19,5	0,19	7,90
	343	22,83	22,8	19,8	0,13	15,30
	400	27,79	28	26,2	0,75	6,07
	420	29,53	30	27,6	1,57	6,99
	454	32,49	32,5	31,6	0,03	2,82
	520	38,24	38	33,4	0,63	14,49
	540	39,98	40	35	0,05	14,23
	670	51,29	51	-	0,57	-
	700	53,91	53	-	1,72	-
	710	54,77	54	-	1,43	-
	740	57,39	58	-	1,05	-
	765	59,56	60	-	0,73	-
	810	63,48	64	-	0,81	-

Çizelge 4.2. Kavak numunelere ait nem ölçüm değerleri.

	Arduino mV değerleri	A	B	C	A/B Oranı (%)	A/C Oranı (%)
		Arduino nemölçer (%)	MT-10 (%)	UT377A (max%30)		
Kavak	454	13,69	13,6	11,7	0,66	17,01
	495	19,12	19,2	19	0,42	0,63
	545	25,73	26	24,3	1,04	5,88
	590	31,69	31,5	29,8	0,60	6,34
	610	34,34	33	-	4,06	-
	690	44,93	48	-	6,40	-
	720	48,90	49	-	0,20	-
	770	55,52	54	-	2,81	-
	790	58,17	59	-	1,41	-
	800	59,49	60	-	0,85	-
	830	63,46	62	-	2,35	-
	840	64,79	66	-	1,83	-
	860	67,44	66	-	2,18	-

Çizelge 4.3. Ceviz numunelere ait nem ölçüm değerleri.

	Arduino mV değerleri	A	B	C	A/B Oranı (%)	A/C Oranı (%)
		Arduino nemölçer (%)	MT-10 (%)	UT377A (max%20)		
Ceviz	320	16,56	16,5	14,5	0,36	14,21
	345	18,54	18,5	18,2	0,22	1,87
	355	19,33	19,4	19	0,36	1,74
	370	20,52	20,5	20	0,10	2,60
	390	22,11	23	-	3,87	-
	400	22,90	25	-	8,40	-
	513	31,87	28,5	-	11,82	-
	520	32,43	30	-	8,10	-
	525	32,83	35	-	6,20	-
	590	37,98	38,5	-	1,35	-
	600	38,78	39	-	0,56	-
	640	41,95	40	-	4,88	-
	670	44,34	44	-	0,77	-

Çizelge 4.4. Meşe numunelere ait nem ölçüm değerleri.

	Arduino mV değerleri	A	B	C	A/B Oranı (%)	A/C Oranı (%)
		Arduino nemölçer (%)	MT-10 (%)	UT377A (max%30)		
Meşe	390	15,96	16	13,8	0,25	15,65
	400	17,08	17,1	14,7	0,12	16,19
	410	18,20	18	15,5	1,11	17,42
	480	26,02	26,4	25,4	1,44	2,44
	515	29,92	30,2	27,8	0,93	7,63
	495	27,71	26	-	6,58	-
	555	34,39	34	-	1,15	-
	545	33,28	35	-	4,91	-
	610	40,54	42	-	3,48	-
	710	51,71	49	-	5,53	-
	675	47,08	51	-	7,69	-
	740	55,06	53	-	3,89	-

Yapılan nem ölçüm değerlerini karşılaştırma çalışmaları sonucunda, yukarda verilen çizelgelerin A sütununda verilen Arduino tabanlı nemölçer cihazı ölçüm sonuçları ile B ve C sütunlarında sunulan MT-10 model ve UT377A model nemölçerlerin ölçüm sonuçlarının birbirleriyle yüksek oranda uyumlu oldukları görülmüştür.

4.2 Ahşap Elemanların İçerdiği Neme Göre Yoğunluk Tespit Çalışmaları

Tespit edilen mevcut yoğunluk değerleri, literatürde yapılmış diğer çalışma sonuçları ile karşılaştırılarak yüksek oranda uyumlu olduğu görülmüştür. Diğer çalışma sonuçları ile beraber mevcut deneysel çalışmalarda tespit edilen ortalama yoğunluk değeri sonuçları Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6’da sunulmuştur.

Çizelge 4.5. Kavak numunelere ait yoğunluk değerleri.

Tam kuru	Hava kurusu	Suya doygun	Kaynak
-	0,405	0,807	Mevcut çalışma
0,377	0,463	0,752	(Şahin vd., 2006)
0,364	0,414	0,755	(Örüng ve Okuroğlu, 1992)
0,46	0,50	-	(Örs ve Keskin, 2001)
0,378	-	-	(Orhan, 2017)
-	0,450	-	(Şimşek, 2003)
-	0,396	-	(Bal ve Ayata, 2020)
0,41	0,45	-	(As vd., 2001)

Çizelge 4.6. Çam numunelere ait yoğunluk değerleri.

Tam kuru	Hava kurusu	Suya doygun	Kaynak
-	0,583	0,985	Mevcut çalışma
-	0,56	-	(Şendağ, 2018)
0,46	0,47	-	(Efe ve Çağatay, 2011)
0,50	0,52	-	(Efe ve Kasal, 2007)
-	0,513	-	(Avşaroğlu vd., 2024)
-	0,508	-	(Bal ve Ayata, 2020)
-	0,56	-	(Şendağ, 2018)
0,46	0,49	-	(Kasal vd., 2010)
0,52	0,56	-	(Yaman, 2015)
0,465	0,524	-	(As vd., 2001)
0,496	0,526	-	(Öztürk, 2005)

4.3 Ahşap Elemanların İçerdiği Neme Göre Basınç Dayanım Çalışmaları

Tasarlanan Arduino UNO tabanlı ahşap nemölçer cihazı ile nem oranları tespit edilen farklı nem oranlarına sahip, yaklaşık 4x4x16 cm boyutlarında 20 adet karaçam ve 20 adet kavak numunelerinin, laboratuvar ortamında içerdikleri farklı nem oranlarına göre liflere paralel basınç dayanımlarının tespiti ile ilgili deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Mekanik deneylerin yapılmasında kullanılan test cihazının yük ve deformasyon miktarlarını bilgisayara otomatik kayıt özelliği kullanılarak, yük ve deformasyon değerlerini içeren Excel tablolar elde edilmiştir. Gerilme-birim şekil değiştirme (σ - ϵ) grafikleri elde etmek için, numunelere uygulanan yük değeri (kN), numunelerin basınç uygulanan yüzey alanına bölünerek N/mm^2 (MPa) olacak şekilde gerilme (σ) değerleri elde edilmiştir. İki adet LVDT deplasman ölçüm cihazlarından alınan ortalama boy değişimi (mm) değerleride numunelerin ilk boylarına (mm) bölünerek birim şekil değiştirmeye (ϵ) dönüştürülmüştür.

Basınç direnci örnek gruplarında gerilme ve deformasyonlar kırılma yüküne göre incelenmiştir. Farklı nem oranlarına sahip karaçam ahşap numuneleri ile yapılan deney sonuçları alınarak, ayrı ayrı gerilme-birim şekil değiştirme (σ - ϵ) grafikleri çizilmiştir.

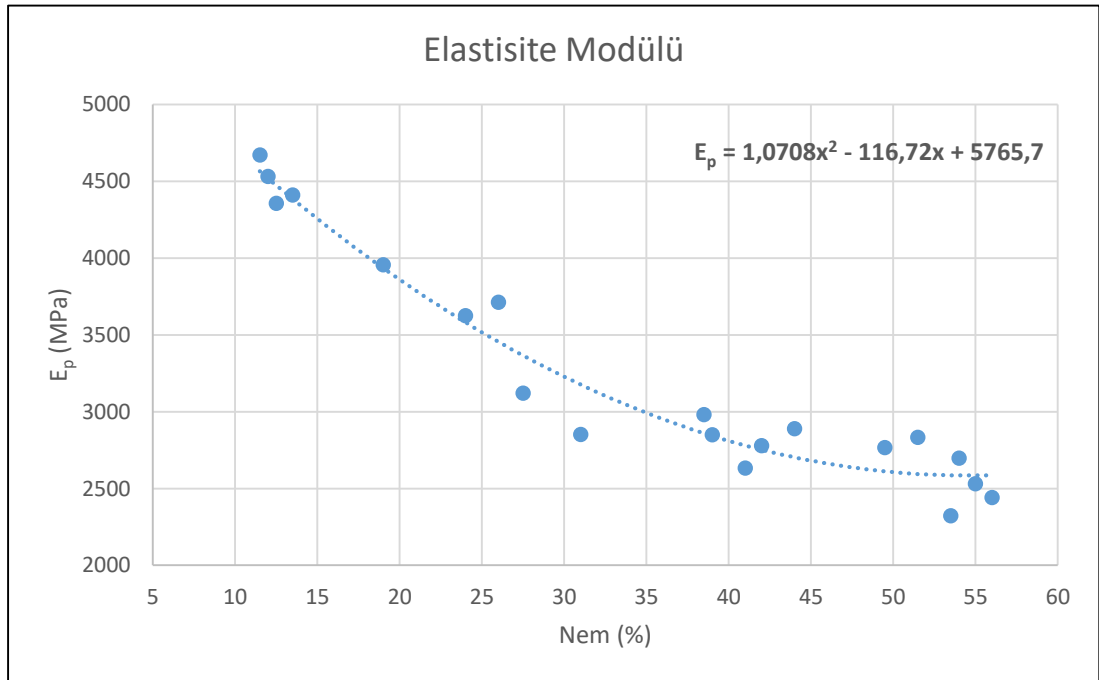
Genel olarak, gerilme-birim şekil değiştirme (σ - ϵ) grafiklerinin lineer bölgesindeki maksimum gerilme değerleri, emniyet gerilme değerleri olarak belirlenmiştir.

Çizilen grafiklerden elde edilen çam numunelere ait basınç dayanımı, emniyet gerilmeleri, Elastisite Modülü ve birim şekil değiştirme değerleri tablolastırılarak Çizelge 4.7’te sunulmuştur. Tablodaki değerlere göre çizilen çam numunelere ait Elastisite Modülü-nem oranı ve basınç dayanımı-nem oranı değerleri değişim grafikleri ise Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de sunulmuştur.

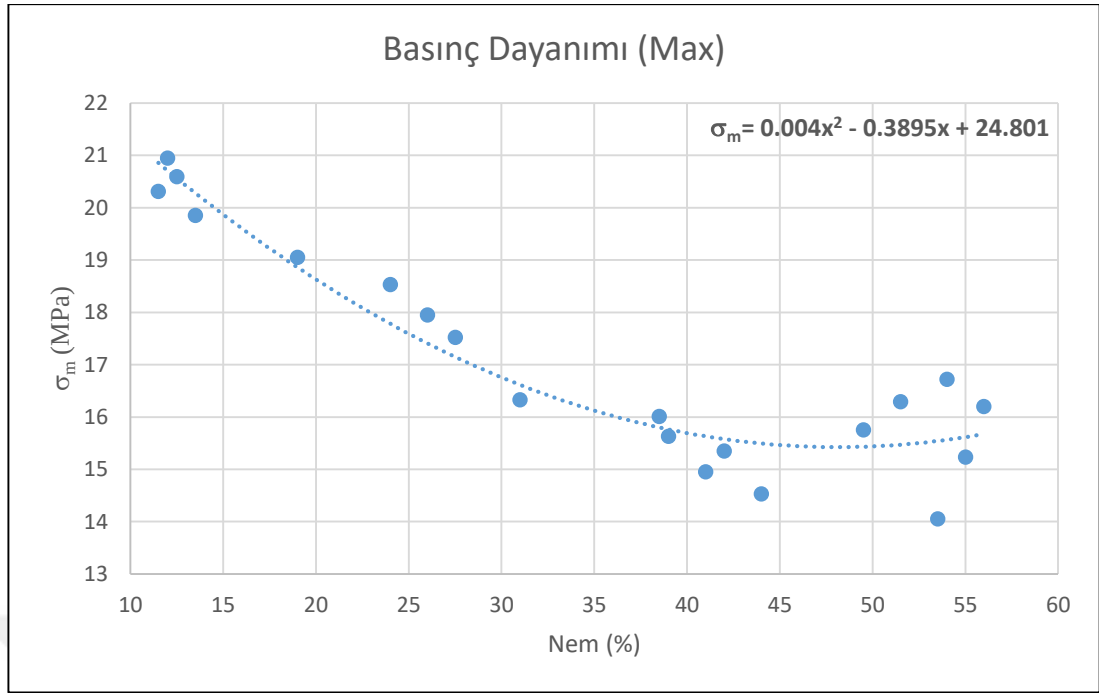
Farklı nem oranlarına sahip kavak ahşap numuneleri ile yapılan deney sonuçları alınarak, ayrı ayrı gerilme-birim şekil değiştirme (σ - ϵ) grafikleri çizilmiştir. Çizilen grafiklerden elde edilen kavak numunelere ait basınç dayanımı, emniyet gerilmeleri, Elastisite Modülü ve birim şekil değiştirme değerleri tablolastırılarak Çizelge 4.8’da sunulmuştur. Tablodaki değerlere göre çizilen kavak numunelere ait Elastisite Modülü-nem oranı ve basınç dayanımı-nem oranı değerleri değişim grafikleri Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Çam numuneler liflere paralel basınç deney sonuçları.

Nem (%)	Emniyet Gerilmeleri (MPa)	Basınç Dayanımı (Max) (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Birim Şekil Değiştirme
11,5	14,98	20,31	4671	0,0078
12	15,03	20,95	4530	0,0084
12,5	14,24	20,59	4355	0,0073
13,5	14,57	19,85	4410	0,0080
19	15,14	19,05	3956	0,0075
24	14,39	18,53	3625	0,0085
26	13,20	17,95	3711	0,0088
27,5	12,44	17,52	3120	0,0099
31	13,26	16,33	2852	0,0082
38,5	11,96	16,01	2980	0,0093
39	11,11	15,63	2850	0,0090
41	10,75	14,95	2632	0,0096
42	11,03	15,35	2778	0,0105
44	11,20	14,53	2888	0,0098
49,5	11,39	15,75	2765	0,0110
51,5	11,98	16,29	2833	0,0101
53,5	11,32	14,05	2322	0,0108
54	10,63	16,72	2696	0,0103
55	10,91	15,23	2530	0,0110
56	11,84	16,2	2440	0,0130



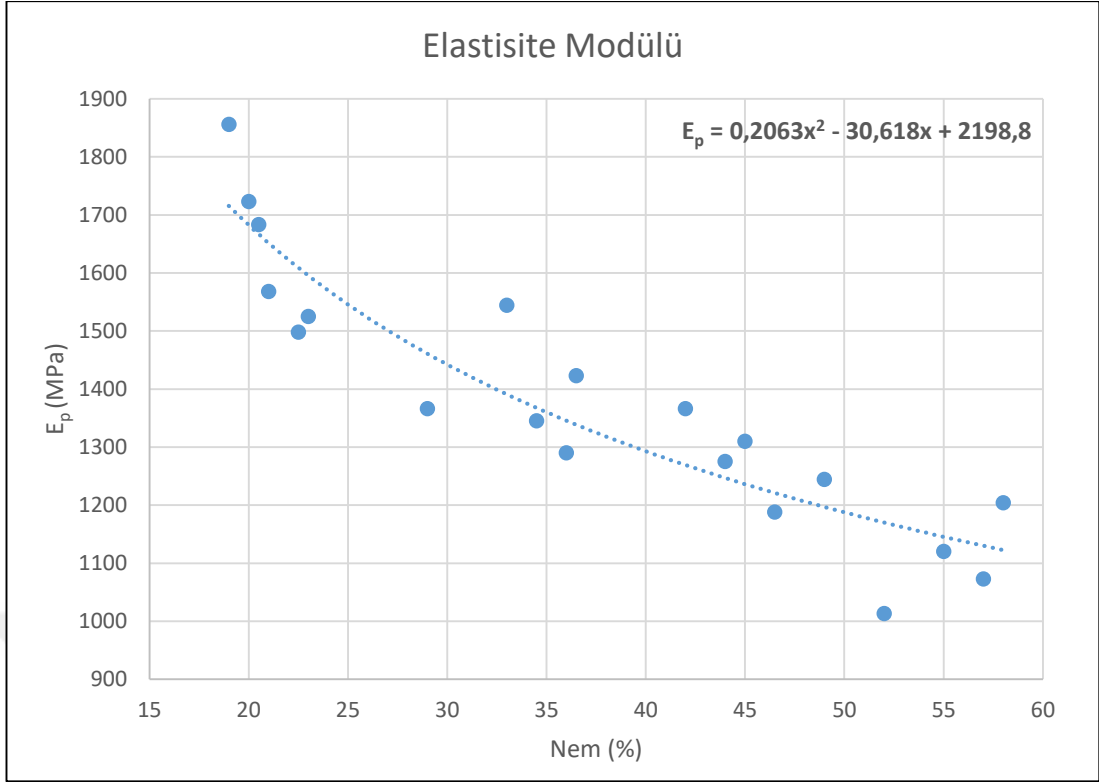
Şekil 4.1. İçerdikleri neme göre çam numuneleri Elastisite Modülü-nem grafiği.



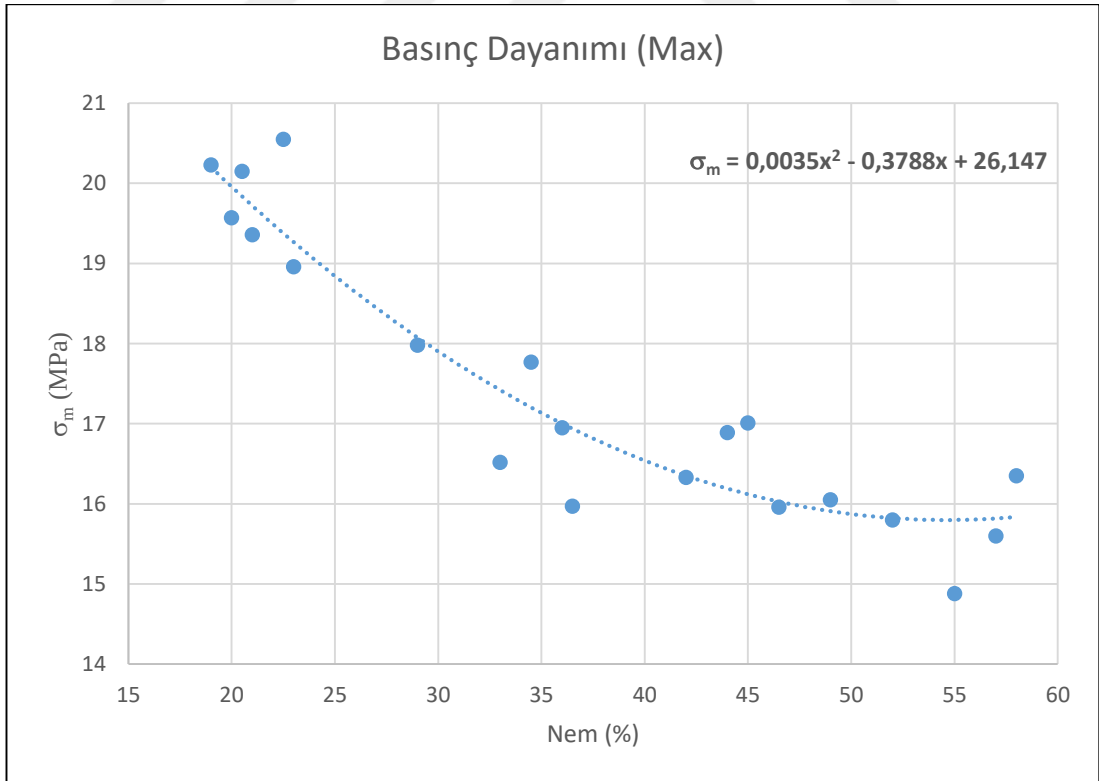
Şekil 4.2. İçerdikleri neme göre çam numuneleri basınç dayanımı-nem grafiği.

Çizelge 4.8. Kavak numuneler liflere paralel basınç deney sonuçları.

Nem (%)	Emniyet Gerilmeleri (MPa)	Basınç Dayanımı (Max)	Elastisite Modülü	Birim Şekil Değiştirme
19	15,16	20,23	1856	0,0120
20	14,49	19,57	1723	0,0098
20,5	15,02	20,15	1683	0,0115
21	15,01	19,36	1568	0,0135
22,5	14,81	20,55	1498	0,0190
23	13,87	18,96	1525	0,0230
29	12,92	17,98	1366	0,0200
33	12,81	16,52	1544	0,0190
34,5	13,15	17,77	1345	0,0180
36	11,89	16,95	1290	0,0195
36,5	12,38	15,97	1423	0,0240
42	12,08	16,33	1366	0,0215
44	11,94	16,89	1275	0,0200
45	12,13	17,01	1310	0,0220
46,5	11,97	15,96	1188	0,0270
49	11,29	16,05	1244	0,0320
52	11,85	15,8	1013	0,0247
55	10,23	14,88	1120	0,0256
57	10,69	15,6	1073	0,0294
58	10,07	16,35	1204	0,0332



Şekil 4.3. İçerdikleri neme göre kavak numuneleri Elastisite Modülü-nem grafiği.



Şekil 4.4. İçerdikleri neme göre kavak numuneleri basınç dayanımı-nem grafiği.

4.4 Ahşap Elemanların İçerdiği Neme Göre Eğilme Dayanım Çalışmaları

Yaklaşık 4x4x84 cm boyutlarında karaçam ve kavak ağaçlarından elde edilmiş 24 adet karaçam ve 24 adet kavak ahşap kiriş numunelerinin TS EN 408+A1 (2014) standartlarına uygun olarak liflere dik doğrultuda nem oranlarına göre değişen eğilme dayanım durumları ölçülmüştür.

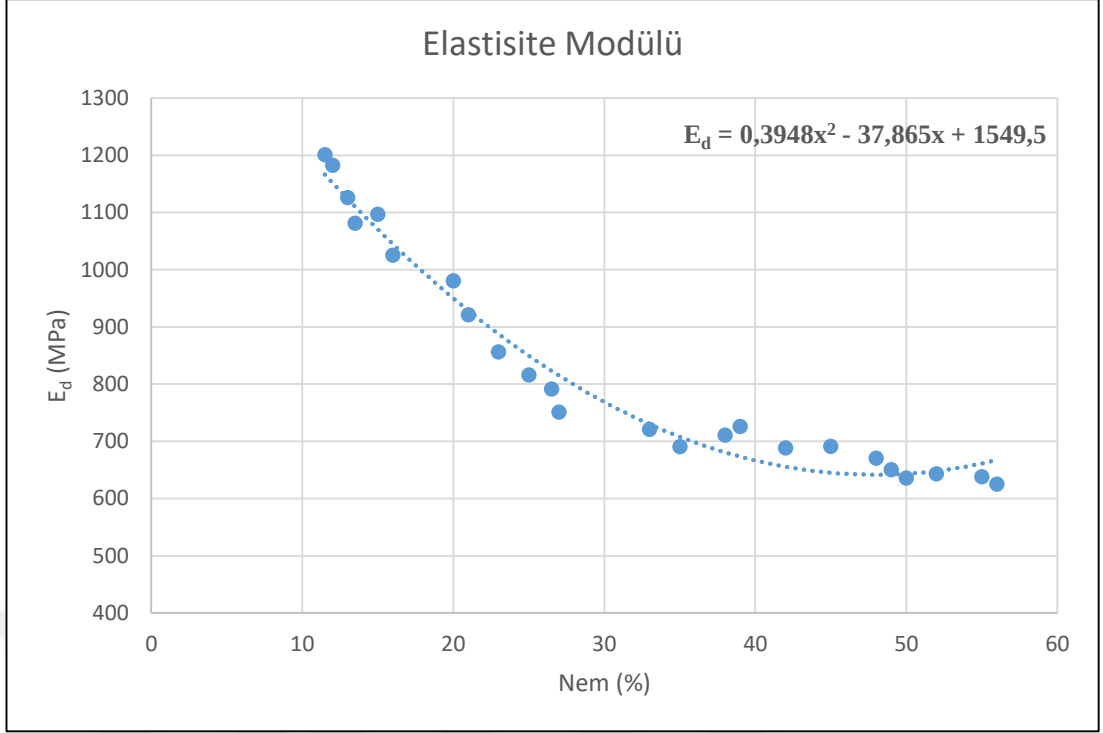
Deneylerin yapılmasında kullanılan test cihazının yük ve deformasyon miktarlarını bilgisayara otomatik kayıt özelliği kullanılarak yük ve deformasyon değerlerini içeren Excel tablolar elde edilmiştir. Eğilme direnci örnek gruplarında gerilme ve deformasyonlar kırılma yüküne göre incelenmiştir. Gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri (σ - ϵ) elde etmek için, uygulanan yük değeri (kN), Denklem 3.5'e uygun olarak σ_e (MPa) olacak şekilde gerilme değerlerine çevrilmiştir. LVDT cihazlarından alınan ortalama boy değişimi (mm) değerleride numunelerin ilk boylarına (mm) bölünerek birim şekil değiştirmeye (ϵ) dönüştürülmüştür.

TS EN 408+A1 (2014)'e göre numunelerin liflerine dik Elastisite Modülü değerlerinin bulunması için Denklem 3.6 kullanılmıştır. Kavak ve karaçam ahşap numunelerin Elastisite Modülü değerlerini elde etmek için numunelerin liflere dik eğilme yük-deformasyon (P-d) grafikleri çizilerek Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'de sunulmuştur.

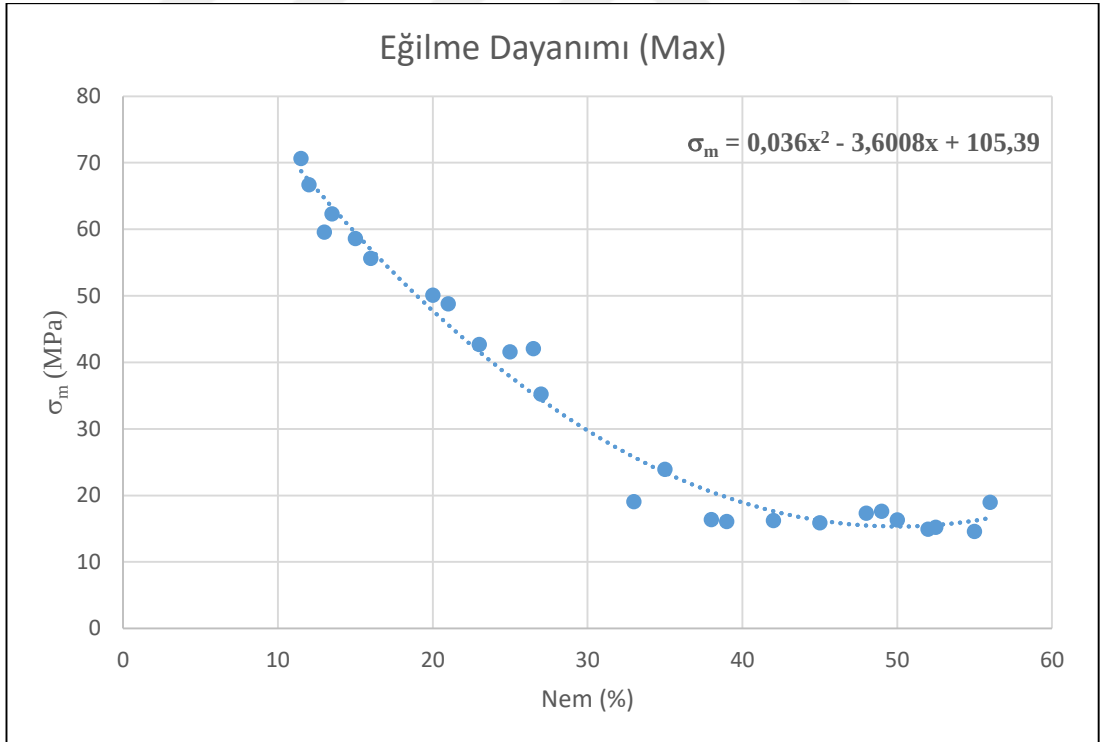
Farklı nem oranlarına sahip çam ahşap numuneler ile yapılan deney sonuçları alınarak ayrı ayrı TS EN 408+A1 (2014)'e göre numunelerin liflerine dik gerilme σ_e (MPa) değerleri bulunması için Denklem 3.5 kullanılmıştır. Denklemlerden ve grafiklerden elde edilen çam numunelere ait eğilme dayanımı, emniyet gerilmeleri, Elastisite Modülü ve birim şekil değiştirme değerleri tablolaştırılarak Çizelge 4.9'de sunulmuştur. Tablodaki değerlere göre çizilen çam numunelere ait Elastisite Modülü-nem oranı ve eğilme dayanımı-nem oranı değerleri değişim grafikleri ise Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da sunulmuştur.

Çizelge 4.9. Çam numuneler dört nokta eğilme deney sonuçları.

Nem (%)	Emniyet Gerilmeleri (MPa)	Eğilme Dayanımı (Max) (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Birim Şekil Değiştirme
10,5	53,02	70,64	1201,11	0,6468
12	51,23	66,68	1182,32	0,6336
13	46,67	59,56	1125,65	0,4834
13,5	47,32	62,32	1080,98	0,5212
15	45,67	58,6	1096,56	0,4607
16	43,86	55,66	1025,36	0,5532
20	39,95	50,12	980,66	0,5114
21	38,86	48,81	921,32	0,6202
23	34,27	42,68	856,36	0,6821
25	35,21	41,59	815,85	0,7336
26,5	33,98	42,09	791,47	0,7554
27	29,63	35,22	750,89	0,6925
33	16,33	19,06	720,87	0,7269
35	18,93	23,94	690,36	0,7893
38	13,25	16,36	710,55	0,6529
39	12,79	16,1	725,69	0,7272
42	12,99	16,25	688,54	0,6954
45	13,21	15,91	690,96	0,6572
48	14,11	17,33	670,21	0,7787
49	14,56	17,63	650,33	0,7002
50	13,78	16,32	635,58	0,7212
52	12,55	14,92	643,25	0,6272
55	11,96	14,59	638,25	0,7199
56	13,66	18,98	625,23	0,7880



Şekil 4.5. İçerdikleri neme göre çam numuneleri Elastisite Modülü-nem grafiği.

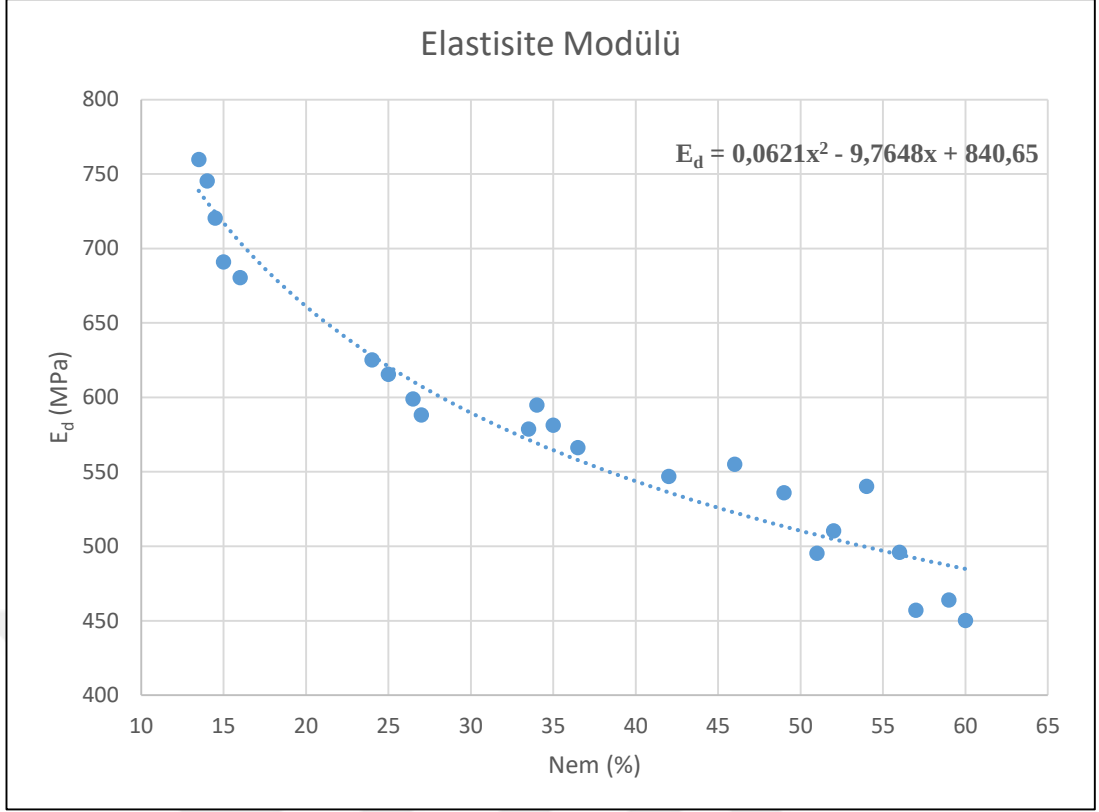


Şekil 4.6. İçerdikleri neme göre çam numuneleri eğilme dayanımı-nem grafiği.

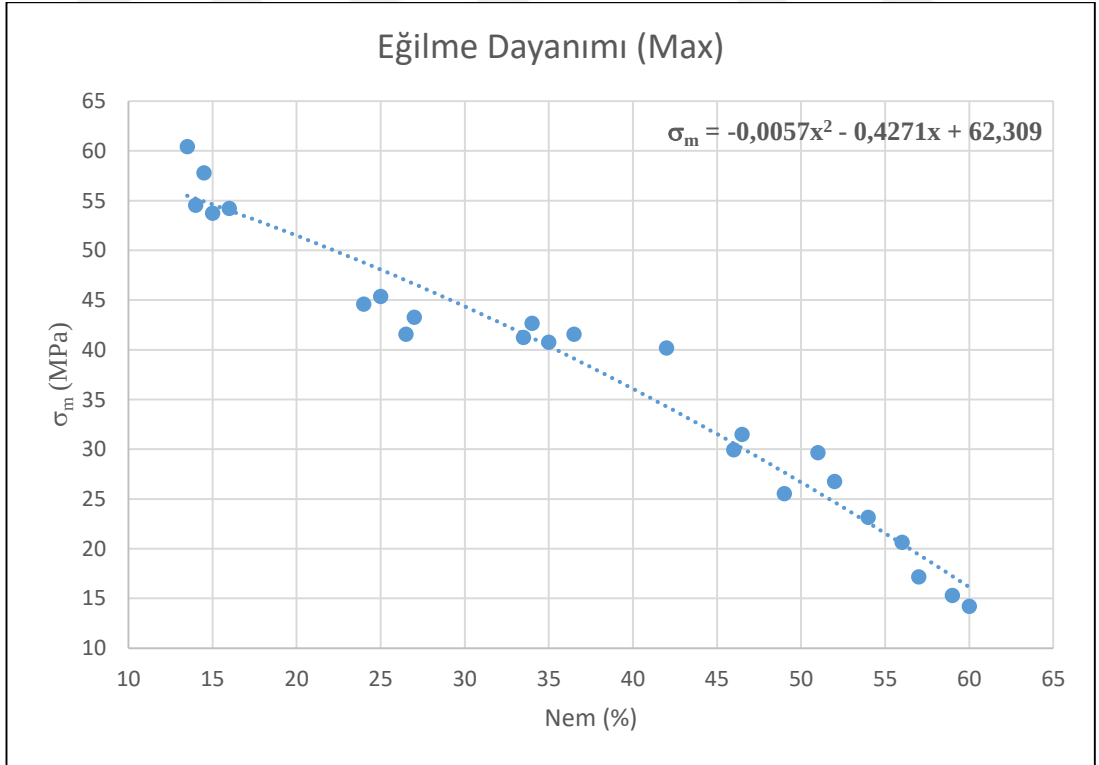
Farklı nem oranlarına sahip kavak ahşap numuneler ile yapılan deney sonuçları alınarak ayrı ayrı TS EN 408+A1 (2014)' e göre numunelerin liflerine dik gerilme σ_e (MPa) değerleri bulunması için Denklem 3.5 kullanılmıştır. Denklemlerden ve grafiklerden elde edilen kavak numunelere ait eğilme dayanımı, emniyet gerilmeleri, Elastisite Modülü ve birim şekil değiştirme değerleri tablolaştırılarak Çizelge 4.10'de sunulmuştur. Tablodaki değerlere göre çizilen çam numunelere ait Elastisite Modülü-nem oranı ve eğilme dayanımı-nem oranı değerleri değişim grafikleri ise Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de sunulmuştur.

Çizelge 4.10. Kavak numuneler dört nokta eğilme deney sonuçları.

Nem (%)	Emniyet Gerilmeleri (MPa)	Eğilme Dayanımı (Max) (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Birim Şekil Değiştirme
13,5	44,66	60,42	759,69	0,8077
14	42,12	54,54	745,25	0,7428
14,5	43,63	57,8	720,35	0,7588
15	42,82	53,75	690,88	0,8335
16	43,21	54,22	680,35	0,8266
24	34,35	44,6	625,21	0,7488
25	35,12	45,36	615,44	0,8556
26,5	32,58	41,58	598,87	0,6871
27	32,88	43,28	588,22	1,072
33,5	31,96	41,25	578,69	0,968
34	32,25	42,66	594,78	0,973
35	31,08	40,77	581,23	1,212
36,5	31,37	41,56	566,3	0,995
42	30,86	40,19	546,97	1,156
46	22,50	29,95	555,14	1,11
46,5	23,65	31,5	565,24	1,01
49	19,32	25,52	535,98	1,058
51	22,65	29,65	495,36	1,061
52	19,89	26,75	510,22	1,17
54	17,69	23,16	540,25	1,179
56	15,45	20,63	495,87	1,136
57	12,85	17,18	456,98	1,214
59	11,47	15,29	463,96	1,276
60	10,88	14,2	450,22	1,493



Şekil 4.7. İçerdikleri neme göre kavak numuneleri Elastisite Modülü-nem grafiği.



Şekil 4.8. İçerdikleri neme göre kavak numuneleri eğilme dayanımı-nem grafiği.

Basınç ve eğilme çalışmaları ile ilgili hesaplanan mevcut ortalama mekanik deney sonuçlarının, literatürde yer alan diğer çalışma sonuçları ile uyumlu olduğu görülerek Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12’de sunulmuştur.

Çizelge 4.11. Kavak numunelere ait bazı mekanik özellik değerleri.

Liflere paralel	Eğilme	Elastisite	Kaynak
19,98 (Hk)	56,63 (Hk)	1856 (Hk)	Mevcut çalışma
15,66 (Sd)	14,98 (Sd)	1132 (Sd)	
-	51,7 (Hk)	4214,2 (Hk)	(Orhan, 2017)
-	45,8 (Hk)	4357 (Hk)	(Bal ve Bektaş, 2018)
-	48,9 (Hk)	5653 (Hk)	(Kasal vd., 2010)
34,5 (Hk)	60 (Hk)	-	(Örs ve Keskin, 2001)
22,78 (Hk)	62,03 (Hk)	-	(Çolak, 2005)
32,64 (Hk)	61,04 (Hk)	7088 (Hk)	(Yorulmaz, 2019)
35 (Tk)	65 (Tk)	8800 (Tk)	(As vd., 2001)
40 (Tk)	52 (Tk)	7000 (Tk)	(Eriç, 2002)
42 (Tk)	75,1 (Tk)	5438 (Tk)	(Bal ve Ayata, 2020)

Hk: Hava kurusu (%12-15 nem) Tk: Tam kuru (%6-10 nem) Sd: Suyu doymuş (%50-60 nem)

Çizelge 4.12. Çam numunelere ait bazı mekanik özellik değerleri.

Liflere paralel	Eğilme	Elastisite	Kaynak
20,95 (Hk)	64,8 (Hk)	4671 (Hk)	Mevcut çalışma
16,72 (Sd)	18,98 (Sd)	2564 (Sd)	
-	49,81(Hk)	4510 (Hk)	(Avşaroğlu vd., 2024)
-	22,23 (Sd)	2066 (Sd)	
43,92 (Hk)	83,84 (Hk)	-	(Şendağ, 2018)
19,57 (Sd)	32,17 (Sd)	-	
33,99 (Hk)	46,14 (Hk)	-	(Yaman, 2015)
-	64,6 (Hk)	6515 (Hk)	(Kasal vd., 2010)
28 (Hk)	58 (Hk)	7061,7 (Hk)	(As vd., 2001)
36,70 (Hk)	67,90 (Hk)	8978,4 (Hk)	(Topaloğlu ve Ay, 2007)
-	63,30 (Hk)	5450 (Hk)	(Bal, 2014)
44,75 (Tk)	72,39 (Tk)	8616 (Tk)	(Doğan, 2018)

Hk: Hava kurusu (%12-15 nem) Tk: Tam kuru (%6-10 nem) Sd: Suyu doymuş (%50-60 nem)

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deneyisel çalışmaların ilk bölümü sonucunda, tasarlanan Arduino UNO tabanlı nemölçer cihazı ile yapılan farklı ahşap numuneleri nem oranları tespit çalışmaları, piyasada mevcut olan nemölçer cihazları ölçüm sonuçları ile yüksek oranda uyumlu olarak tespit edilmiştir. Ayrıca tasarlanan cihaz, yazılımsal ve donanımsal geliştirmeler sayesinde daha fonksiyonel ve mevcut cihazlardan çok daha gelişmiş özelliklere sahip durumdadır. Özellikle uzun süreli dışarıdan müdahale edilmeden ve ek enerji kaynağına ihtiyaç duyulmadan belirli süre aralıkları ile ölçüm yapıp, istenildiği takdirde ölçüm sonuçlarını içerdiği hafıza kartına tarih, saat ve dakika bilgilerini belirterek kaydedebilir olması piyasadaki mevcut cihazlardan üstün olduğunu ispatlayan özelliklerden bazılarıdır.

Yapılan maliyet hesaplamalarına göre, çalışmalar sırasında tasarlanan gelişmiş özelliklere sahip Arduino UNO tabanlı nemölçer sistemi, piyasadaki edinilen nemölçer cihazlarına göre %60 daha ucuza mal edilmiştir. Seri üretim durumunda cihazın daha ekonomik şekilde kullanıcılara kazandırılma potansiyeli vardır.

Ayrıca tasarlanan nemölçer cihazının, ilerde üzerinde yapılabilecek farklı donanım ve yazılımsal geliştirme çalışmaları sayesinde daha fonksiyonel olabilecek altyapıya sahip olduğu düşünülmektedir.

Farklı tür ahşap numuneler üzerinde yapılan çalışmalar incelendiğinde, ahşapta yoğunluk değerlerinin ahşabın içerdiği nem miktarı ile doğru orantılı bir şekilde arttığı tespit edilmiştir. Yoğunluk değerlerindeki artış miktarları, hava kurusu ile suya doygun durum karşılaştırıldığında, kavak numunelerinde %99, çam numunelerinde %69 olarak bulunmuştur.

Mekanik deney çalışmaları karşılaştırma sonuçlarına göre, karaçam numunelerinin içerdiği nem oranı %11,5'ten %56'ya çıktığında liflere paralel basınç dayanım değerleri %20 düşmüş ve birim şekil değiştirme kapasiteleri %65 artmıştır. Liflere dik eğilme çalışmalarında ise karaçam numunelerinin nem oranı %10,5'ten %55'e çıktığında eğilme dayanımları %56 azalmış ve deformasyon yapma kapasiteleri %55 artmıştır. Kavak numunelerinde ise içerdikleri nem oranı %19'dan %58'e çıktığında, basınç dayanım değerleri %25 azalmış ve birim şekil değiştirme kapasiteleri %170

artmıştır. Liflere dik eğilme çalışmalarında ise kavak numunelerinin nem oranı %13,5'ten %60'a çıktığında ise, eğilme dayanımları %22 azalmış ve deformasyon yapma kapasiteleri %56 artmıştır.

Ayrıca çam ve kavak numuneleri arasında yapılan karşılaştırmalara göre, hava kurusu çam numunelerinin daha fazla budaklı yapıda olmalarına rağmen, kavak numunelerinden %15 basınç ve %27 daha yüksek eğilme dayanımına, suya doymun çam numunelerinin kavak numunelerinden %10 basınç ve %8 daha yüksek eğilme dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Deformasyon yapma kapasitesi olarak da, kavak numunelerinin çam numunelerine göre hava kurusu durumda %23, suya doymun durumda ise %38 daha yüksek kapasiteye sahip oldukları görülmüştür.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, ürünlerin liflere paralel basınç dayanımları, liflere dik eğilme dayanımları ve Elastisite Modülleri belirlenmiştir. Çalışmalar sonucunda nem oranı yükseldiğinde numunelerin mekanik performanslarının düştüğü tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre; suya doymun haldeki kavak numunelerinin liflere paralel basınç dayanımları, eğilme dayanımları ile liflere paralel Elastisite Modülleri ve liflere dik Elastisite Modülü değerleri hava kurusu haldeki numunelerden elde edilen değerlerden sırasıyla ortalama olarak %23, %75, %39 ve %40 daha düşük bulunmuştur. Suya doymun çam numunelerinin liflere paralel basınç dayanımları, eğilme dayanımları ile liflere paralel Elastisite Modülleri ve liflere dik Elastisite Modülü değerleri ise, hava kurusu durumundaki numunelerden elde edilen değerlerden sırasıyla ortalama olarak %20, %70, %45 ve %48 daha düşük bulunmuştur. Ayrıca suya doymun haldeki kavak numunelerinin eğilmede deformasyon miktarlarının, kuru haldeki test örneklerine göre ortalama %60, karaçam numunelerinin ise ortalama %45 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Suya doymun numunelerin hava kurusu numunelere göre çok daha esnek bir kırılma sergilediği tespit edilmiştir. Özellikle kavak numuneleri çam numunelerine göre ortalama %25 daha fazla deformasyon yapabilme kabiliyetine sahip, yani daha sünektir. Bu durum yük altındaki ahşap malzemelerin ani yüklemelere maruz kalması durumunda, esnek bir kırılma göstermesi açısından avantaj, fakat daha az yük taşıması bakımından ise dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yapılarda kullanılan ahşap elemanların nem içeriğindeki değişim, boyutlarında ve dayanımında değişime sebep olmaktadır. Bu zararlı etkenlerden korunmak için, inşa

edilecek yapıda kullanılacak ahşap malzemenin nem oranının, inşa bölgesi nem oranı şartları ile dengenin sağlanabileceği uygun şartlarda bekletilmesi gerekmektedir. Ayrıca ahşap elemanların suyla temas etme olasılığı olan yerlerde de, böcek, mantar vb. kaynaklı biyolojik zararlı etkiler değerlendirilerek, izolasyon, drenaj gibi gerekli önlemler alınmalıdır.

Yapılan çalışmalarda, ahşap endüstrisinde çok önemli yere sahip olan ahşapta nem faktörüyle ilgili teknik doğruların aktarılması hedef alınmıştır. Ahşap sektörüyle ilişki içerisinde olan mimar, inşaat mühendisi, orman mühendisi, mobilya üreticisi veya diğer uygulayıcıların farkındalığı artırılmak suretiyle, daha uzun ömürlü ve sürdürülebilir ürünler ve yapılar meydana getirilmesi amaçlanmıştır.

Ahşap numunelerle yapılan mevcut deneysel çalışmaların, daha farklı ahşap türleri ile gerçekleştirilerek ahşap endüstrisi ile ilgili bilgi kaynağının zenginleştirilebileceği ve mekanik deneysel çalışmaların ahşap numunelerin çivi tutma direnci, makaslama direnci ve çekme dirençlerinin belirlenmesi şeklinde çeşitlendirilmesinin literatüre daha fazla katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdolreza, A., Alireza, C., Mark, ve B., Hamid, V., 2019. Cyclic behaviour of bolt and screw shear connectors in steel-timber composite (STC) beams, *Journal of Constructional Steel Research*, 161, 328-340.
- Acehan, A., 2021. Yapışma yüzeyi ankrajlı ahşap-ahşap bağlantıların deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Acehan, A., Mercimek, Ö., Ghoroubi, R. ve Anıl, Ö., 2021. Ahşap bağlantı noktalarında mekanik ankraj sayısı ve yerleşim şeklinin kayma gerilmesi-kayma deplasmanı davranışı üzerindeki etkilerinin deneysel olarak incelenmesi, *International Journal of Engineering Research and Development*, 13, 1, 1-12.
- Adak, H., ve Apay, A., 2024. Endüstriyel ahşap ürünlerin ahşap hibrit yapılarda kullanımı, *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknik Gelişmeler Dergisi*, 7, 2, 172-184.
- Akgül, T., 2007. Ahşapların ve birleşim noktalarının fiber takviyeli polimerlerle (FRP) güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Akgül, T., 2013. CCB nano partiküllerle güçlendirilmiş ahşap yapı elemanlarının mekanik özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Akyol, S., 2008. Ahşap asma çatıların geometrik olanaklar ve malzeme kullanımı açısından sınıflandırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Akyürek, M., ve Girgin, Z., 2023. Eğilme-etkin yapıların tasarımı ve uygun masif ahşap tipinin seçimi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38, 4, 2421-2434.
- Altunok, M., Bülbül, R., ve Güneş, M., 2023. Farklı ısı işlem ve iklimatik uygulamanın yapısal ahşabın fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkilerinin deneysel incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11, 1, 263-272.
- Arpacı, Ş., ve Tokmak, E., 2020. Yaşlandırma testlerinin ahşap malzemenin özelliklerine etkisi, *Bartın Orman Fakültesi dergisi*, 22, 2, 654-673.
- As, N., Koç, H., Doğu, D., Atik, C., Aksu, B., ve Erdinler, S., 2001. Türkiye’de yetişen endüstriyel öneme sahip ağaçların anatomik, fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 51, 1, 71-88.
- Avşaroğlu, E., Hıdır, A., ve Bal, B., 2024. Karaçam odunundan üretilen çapraz lamine ahşabın seçilmiş mekanik özellikleri üzerine rutubetin etkisi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27, 2, 502-510.

- Aydemir, D., Bürüç, G., ve Bakır, K., 2019. Doğu kayını ve saplı meşe odunlarının bazı özellikleri üzerine ısıtılmanın etkisi, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 21, 3, 713-721.
- Aytemiz, Ö., 2021. Kahramanmaraş yapılarında ahşap kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- Bal, B., 2014. Some physical and mechanical properties of thermally modified juvenile and mature black pine wood, European Journal of Wood and Wood Products, 72, 61-66.
- Bal, B., ve Bektaş, İ., 2018. Odunun yoğunluğu ile bazı mekanik özellikleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi üzerine bir araştırma, Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi, 1, 2, 51-61.
- Bal, B., ve Ayata, Ü., 2020. Karaçam ve karakavak odunlarının bazı mekanik özellikleri üzerine karşılaştırmalı bir çalışma, Turkish Journal of Forestry, 21, 4, 461-467.
- Barham, L., Duller, G., Candy, I., Scott, C., Cartwright, C., Peterson, J., Kabukcu, C., Chapot, M., Melia, F., Rots, V., George, N., Taipale, N., Gethin, P., and Nkombwe, P., 2023. Evidence for the earliest structural use of wood at least 476,000 years ago, Nature, 622, 107-111.
- Bektaş, İ., 1997. Kızılçam (Pinus brutia Ten.) odununun teknolojik özellikleri ve yörelere göre değişimi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bilgin, H., 2009. Ahşap yapıların tarihsel süreç içindeki gelişimi ve günümüzde ahşap yapı kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Birinci, E., 2022. Higrotermal yaşlandırmanın, MDF ve yonga levhalarda renk değişimi, yüzey pürüzlülüğü ve vida çekme direncini üzerine etkisinin incelenmesi, Ormancılık Araştırma Dergisi, 9, 172-177.
- Bozkurt, Y., 1966. Ağaç malzemenin mekanik özellikleri, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 14, 1, 42-60.
- Bozkurt, Y. ve Göker, Y., 1987. Fiziksel ve mekanik ağaç teknolojisi, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Bozkurt, Y., ve Erdin, N., 1990. Ticarete kullanılan ağaçlarda fiziksel ve mekanik özellikler, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 40, 1, 6-24.
- Bozkurt, Y., ve Erdin, N., 1997. Ağaç teknolojisi, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Bülbül, R., Altunok, M., Atar, M., Aktaş, M., Küreli, İ., Kesik, H.İ., ve Ulaşan H., 2023. Kurutma ve iklimlendirme parametrelerinin ahşap malzeme ve ahşap

- konstrüksiyon uygulamasına etkilerinin araştırılması, Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 9, 1, 132-140.
- Can, A., 2011. Endüstriyel ölçekli ısıtım işlem ve borlu bileşiklerle emprenyenin odunun bazı fiziksel, mekanik ve biyolojik özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Caştur, Ş., 2021. Günümüz mimarisinde kullanılan endüstriyel ahşap yapı elemanları ve yapı örneklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Ceylan, A., 2021. Çapraz lamine ahşap panel yapı sistemleri ve birleşim özelliklerinin deneysel incelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Chauhan, S., ve Aggarwal, P., 2004. Effect of moisture sorption state on transverse dimensional changes in wood, Holz Roh Werkst, 62, 50-55.
- Çalışkan, Ö., Meriç, E., ve Yüncüler, M., 2019. Ahşap ve ahşap yapıların dünü, bugünü ve yarını, Bilecik Şeyh Edibali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6, 1, 109-118.
- Çetin, F., ve Gündüz, G., 2016. Türkiye'deki bazı ağaç türlerinin fiziksel özellikleri üzerine yapılan araştırmaların değerlendirilmesi, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 18, 2, 175-193.
- Çetin, F., ve Gündüz, G., 2017. Türkiye'deki bazı ağaç türü odunların mekanik özellikleri üzerinde yapılan araştırmaların değerlendirilmesi, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 19, 1, 161-181.
- Çolak, A., 2005. Ahşap konstrüksiyonlarda zarar yapan böceklerin ahşabın mekanik ve fiziksel özelliklerine etkileri üzerinde araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- Dal, M., ve Yılmaz, D., 2015. Su-nemin yapı elemanlarına ve yapı konforuna olumsuz etkileri, International Journal of Pure and Applied Sciences, 1, 1, 89-99.
- Desch, H., ve Dinwoodie, J., 1996. Timber: structure, properties, conversion and use, 7th Edition, Macmillan Press, London.
- Dietsch, P., Franke, S., Franke, B., Gamper, A. ve Stefan, W., 2015. Methods to determine wood moisture content and their applicability in monitoring concepts, Journal of Civil Structural Health Monitoring, 5, 115-127.
- Doğan, B., 2018. Boraks ve borik asit ile emprenye edilmiş ve ısıtım işlem görmüş karaçam odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Dönmez, Ü., 2019. Yüksek katlı yapı inşaatlarında kullanılan kompozit ahşap kalıp kirişlerinin darbe davranışının deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Davaz, E., 2023. Lamine ahşap malzemenin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine silica ve grafon nanopartiküllerin etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Düzce.
- Doğan, D., 1997. Ahşap yapı malzemesinin dış atmosfer koşullarındaki davranışı sonucu meydana gelen sorunlar ve koruma yolları, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Doruk, Ş., ve Perçin, O., 2010. Isıl işlemin bazı ağaç malzemelerin eğilme ve basınç direncine etkileri, Politeknik Dergisi, 13, 2, 143-150.
- Duman, N., ve Ökten, S., 1988. Ahşap yapı dersleri 1, Yapı Endüstri Merkezi Yayın Bölümü, İstanbul.
- Efe, H., ve Kasal, A., 2007. Çeşitli masif ve kompozit ağaç malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Politeknik Dergisi, 10, 3, 303-311.
- Efe, H., ve Çağatay, K., 2011. Çeşitli masif ağaç malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Politeknik Dergisi, 14, 1, 55-61.
- Ekmekyapar, T., ve Örüng, İ., 1997. İnşaat malzeme bilgisi, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları, Erzurum.
- Eraslan, Z., 2009. Safranbolu evlerinde kullanılan yapı malzemelerinin ses iletkenliğinin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Eriç, M., 2002. Yapı fiziği ve malzemesi, 2. Baskı, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Erten, P., 1988. Ahşap malzemenin korunmasında yararlanılan başlıca teknikler, Ahşap Malzemenin Korunması Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 127-135.
- Esen, O., 2010. Türkiye’de uygulanan ahşap çatı sistemlerinin Avrupa’da uygulanan ahşap çatı sistemleriyle karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Feibin, W., Liu, Y., Ziyin, Y., ve Hui, H., 2021. Effect of arrangement distances on stiffness of shear-tension mode in timber-to-timber connections with inclined screws, Construction and Building Materials, 314, 2, 125592.
- Ghasan, D., ve Mohammad Mehdi, B., 2021. Experimental and numerical study on the deflection of multi-storey light-frame timber shear walls, Engineering Structures, 233, 12, 111951.
- Godonou, P., 2022. Design of timber structures, Swedish Forest Industries Federation Swedish Wood, 1,3.
- Göker, Y., Şahin, H., ve Ay, N., 2004. Odunun dielektrik özelliklerini etkileyen faktörler, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 54, 1, 21-36.

- Görgün, H., 2013. Ahşap kirişlerde eğilme direnci ve elastikiyet modülünün tahribatsız ve tahribatlı test yöntemleri ile belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Görgün, H., ve Ünsal, Ö., 2023. Yapısal ahşap - rutubet ilişkisi, bab Mimarlık ve Tasarım Dergisi, 4, 1, 53-63.
- Güler, İ., 2019. Tarihi ahşap yapılarda çatı sistemleri: Kastamonu örneği, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- Gündüz, G., Yıldırım, N., Göksu, Ş., ve Onat, S., 2009. Ak dut ağacının anatomik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri, Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi, 5, 1, 131-149.
- Güneş, M., ve Altunok, M., 2022. Ön ısıtma işlem uygulanmış ahşap kirişlerin farklı iklim şartlarındaki mekanik davranışlarının incelenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 10, 2, 300-313.
- Gürsoy, S., 2011. Kent mobilyalarında ahşap kullanımı üzerine incelemeler, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Herzog, T., vd., 2003. Holzbauatlas, Institut für Internationale Architektur-Dokumentation, 48, 74-75.
- Hıdır, A., Bal, B., ve Avşaroğlu E., 2022. Film kaplı kontrplağın bazı mekanik özellikleri üzerine rutubet içeriğinin etkisi, Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi, 5, 2, 102-109.
- Hıraoğlu, E., 2007. Ahşap ve çelik makas sistemlerin malzeme ve sistem özelliklerinin incelenmesi, bir örnek yapı üzerinde değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hunt, J., ve Gu, H., 2004. Finite element analyses of two dimensional, anisotropic heat transfer in wood, 2004 International ANSYS Conference, Pittsburg, USA, Miscellaneous Publication, 1-13.
- Ishimaru, Y., Oshima, K., ve Lida, I., 2001. Changes in the mechanical properties of wood during a period of moisture conditioning, J Wood Science, 47, 254-261.
- Jianxiong, L., vd., 2012. Effect of Moisture Sorption State on Vibrational Properties of Wood, Forest Product Journal, 62, 3, 171-176.
- Jing, Z., Chun-Lin, W., Huifeng, Y., ve Jiafeng, L., 2020. Experimental investigation of the shear characteristics of steel-to-timber composite joints with inclined self-tapping screws, Engineering Structures, 215, 110683.
- Kantay, R., 1986. Ağaç malzemenin rutubeti ve ölçülmesi, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 36, 2, 58-74.

- Kantay, R., As, N., ve Ünsal, Ö., 2000. Ceviz (*Juglans regia* L.) odununun yoğunluğu ve bazı mekanik özellikleri, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 24, 6, 751-756.
- Kara, A., 2017. Ahşap yapı elemanlarının tahribatsız hasar tespit yöntemleriyle incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kara, M., 2024. Ahşap birleşimleri ve yapı kabuğu tasarımında nem etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karakaş, M., 1988. Ahşap malzemenin korunması, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Ankara.
- Kartal, S., 2016. Tarihi ahşap yapılarda biyotik/abiyotik bozunmalar ve koruma/bakım önlemleri, *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, 16, 51-58.
- Kasal, A., Efe, H., ve Dizel, T., 2010. Masif ve lamine edilmiş ağaç malzemelerde eğilme direnci ve elastikiyet modülünün belirlenmesi, *Politeknik Dergisi*, 13, 3, 183-190.
- Kashan, K., Xiangyuan, N., Zhihua, C., ve Jiadi L., 2021. Experimental study of thin-walled steel-timber single-shear connection with a self-tapping screw, *Structures*, 34, 4389-4405.
- Kaya, M., 2023. Farklı katman ve malzemelerle üretilen ahşap esaslı kompozitlerin mekanik ve teknolojik özellikleri, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kaya, T., 2017. Masif ve lamine ahşabın durabilitesi ve mekanik özelliklerine ortam şartlarının etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Keskin, H., Atar, M., ve Kurt, R., 2003. Lamine edilmiş sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri, *Kahramanmaraş Sütçüimam Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6, 1, 75-84.
- Kılınçarslan, Ş., ve Türker, Y., 2020. Ahşap malzemelerin ıslanabilirlik özelliği üzerine ısıtma işlem uygulamasının etkisi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8, 2, 460-466.
- Kocataşkın, F., 1966. Yapı malzemesi olarak ahşap, İstanbul Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul.
- Kojiro, K., Furuta, Y., ve Ishimaru, Y., 2008. Influence of histories on dynamic viscoelastic properties and dimensions of water-swollen wood, *J Wood Science* 54, 1175-99.

- Kolbay, D., 2010. Çatılarda ahşap strüktür bileşenlerinin tasarım etkenleri, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Korkmaz, O., 2018. Mikro boyutlu örneklerde meşe odununun bazı mekanik özellikleri üzerine rutubetin etkisinin belirlenmesi ve standart boyutlu örneklerle karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Kurtoğlu, A., 1983. Odunun rutubet halleri, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 33, 2, 168-183.
- Kurtoğlu, A., ve Sofuoğlu, S., 2007. Mobilya ve ağaç işlerinde kullanılan ahşap malzemeler, Mobilya Sektöründe Ağaç Malzeme Seçimi ve Kullanımı Semineri, İzmir, Bildiriler Kitabı, 85-97.
- Lei, Z., Ying Hei, C., ve Douglas, T., 2020. Experimental investigation on the shear properties of notched connections in mass timber panel-concrete composite floors, Construction and Building Materials, 234, 10, 117375.
- Mengeloğlu, F., ve Kurt, R., 2004. Mühendislik ürünü ağaç malzemeler 1, tabakalanmış kaplama kereste (TAK) ve tabakalanmış ağaç malzeme (TAM), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 7, 1, 39-43.
- Meriç, E., 2019. Ahşap bir yapının TS 647 ve Eurocode 5' e göre analizi ve karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.
- Miguel, Y., ve Jose Manuel, C., 2021. Experimental analysis of plug shear failure in timber connections with small diameter fasteners loaded parallel-to-grain, Engineering Structures, 238, 111766.
- Muhammedali, R., 2023. Elektromanyetik dalgalar kullanılarak malzemenin nem içeriğinin ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Muratoğlu, A., 2011. Restorasyonda ahşap yapı elemanlarının karbon fiber takviyeli polimerler (CFRP) ile güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Obataya, E., Norimoto, M., ve Grill, J., 1998. The effects of adsorbed water on dynamic mechanical properties of wood, Polymer, 39, 14, 3059-3064.
- Okka, M., 2020. Ahşap kiriş elemanlarının deneysel olarak dayanımlarının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.

- Onat, M., 2007. Ahşap kafes kiriş sistemlerinde kullanılan metal plaka birleştiricilerin mühendislik tasarımı ve birleştirmelerin kararlılıklarının belirlenmesi, Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Orhan, H., 2017. Kavak odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine azot gazı varlığında yapılan ısıtıl işlemin etkilerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Örs, Y., ve Keskin, H., 2001. Ağaç malzeme bilgisi ders kitabı, Atlas Yayınları, İstanbul.
- Örüng, İ. ve Okuroğlu, M., 1992. Erzurum yöresindeki tarımsal yapılarda yaygın olarak kullanılan kavak ağacının önemli fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine bir araştırma, 4. Ulusal Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi, Erzurum.
- Özçelik, N., 1983. Ağaç malzemenin mekanik özellikleri ve birleşmeleri, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 33, 1, 9-16.
- Özan, Z., 2017. Isıl işlem görmüş ahşap malzemenin çapraz lamine kereste üretiminde kullanım olanaklarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Öztürk, H., 2024. Ahşap emprenyesi üzerine yapılan çalışmaların analizi, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Öztürk, R., 2005. Türkiye’de yetişen sarıçamdan üretilen lamine ahşap kirişlerin mekanik özelliklerinin araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Perçin, O., Özbay, G., ve Ordu, M., 2009. Farklı tutkallarla lamine edilmiş ahşap malzemelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19, 109-120.
- Perker, Z., ve Akıncıtürk, N., 2006. Cumalıkızık’da ahşap yapı elemanları bozulmaları, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 11, 2, 43-51.
- Richard, N., Philip, C., ve Tuan Duc, N., 2021. Investigation of rolling shear properties of cross-laminated timber (CLT) and comparison of experimental approaches, Construction and Building Materials, 316, 8, 125897.
- Saltık, B., 2023. İnfrared + mikrodalga ile kurutulan ahşap palet üretiminde kullanılan bazı ağaç türlerinin mekanik ve fiziksel özelliklerinin araştırılması, Doktora Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- Samancı, B., 2019. Ahşap dış duvarların İstanbul’daki uygulamalar üzerinden incelenmesi, ısıtıl ve nemsel performansın benzetim ile değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Seçkin, P., 2010. Ahşap malzeme sorunlarının teşhis yöntemleri, Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi, 4, 81-87.
- Seçkin, P., 2023. Geleneksel yapılarda ahşap malzemenin durum tespiti ve korunmasına yönelik ilkeler, bab Mimarlık ve Tasarım Dergisi, 4, 1, 94-104.
- Saydamer, A., 2014. Türkiye’deki geleneksel ahşap yapılarda kullanılan taşıyıcı sistemlerin irdelenmesi ve Bursa örneği, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Soares, L., Fraga, I., Paula, L., Arroyo, F., Ruthes, H., Aquino, V., Molina, J., Panzera, T., Branco, L., Chahud, E., Christoforo, A., ve Lahr, F., 2021. Influence of moisture content on physical and mechanical properties of Cedrelinga catenaeformis wood, BioResources, 16, 4, 6758-6765.
- Solmaz, Z., 2020. Sürdürülebilir çatı sistemlerinin örnekler üzerinden karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şahin, S., Örüng, İ., ve Karaman, S., 2006. Tokat-Niksar yöresinde yetiştirilen ve yöredeki tarımsal yapılarda yaygın olarak kullanılan kavak ağacının önemli fiziksel ve mekanik özellikleri, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 23, 1, 61-66.
- Şendağ, A., 2018. Bazı yerli ağaç türlerinde farklı koşullarda gerilme – deformasyon ilişkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şimşek, O., 2000. Yapı malzemesi 2, Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara.
- Şimşek, O., 2003. Yapı malzemesi 2, Beta Basımevi, İstanbul.
- Şirin, G., ve Aydemir, D., 2016. Sonlu elemanlar metodunun ahşap malzemelerde kullanımına ilişkin bir araştırma, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 18, 2, 205-212.
- T.C. Resmi Gazete, Ahşap binaların tasarım, hesap ve yapım esaslarına dair yönetmelik. (32499), 01.01.2025, 28-29.
- Topaloğlu, E., ve Ay, N., 2007. Trabzon-Yeşilbük yöresinde yetiştirilmiş Monteri Çamı (*Pinus Radiata* D. Don) odununun bazı mekanik özellikleri, Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü Dergisi, 8, 2, 33-46.
- Topçuoğlu, M., ve Erkan, T., 1986. Türkiye’nin değişik iklim bölgelerinde denge rutubetinin saptanmasına ilişkin araştırmalar, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Ankara.
- TS EN 408+A1, 2014. Ahşap yapılar – Yapı kerestesi ve yapıştırılmış lamine kereste – Bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- Tunca, M., 2019. Geleneksel ahşap evlerde su ve nem kaynaklı bozulmalar üzerine bir araştırma: Taraklı örneği, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Turgay, T., ve Buyruk, P., 2017. Geleneksel Taraklı evleri ve yapılarda bozulma nedenleri, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 6, 2, 35-46.
- Türker, Y., ve Kılınçarslan, Ş., 2020. Ahşap malzemelerin FRP ile güçlendirilmesinin sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi, Teknik Bilimleri Dergisi, 10, 1, 23-30.
- Uyar, H., 2019. Ahşap lamine kirişlerin çarpma yükleri etkisindeki davranışının deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Uysal, B., 2005. Ağaç malzeme ders notları, Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük, 17-20.
- Uzun, O., ve Perçin., O., 2014. Isıl işlem uygulanmış bazı ağaç malzemelerde yapışma direncinin bulunması, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 15, 72-76.
- Üçüncü, K., Aydın, A., ve Tiryaki, S., 2015. Kapalı mekanlarda insan faktörü ve odun esaslı malzemelerin havanın bağıl nemine etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 3, 3, 533-540.
- Yaman, C., 2015. Mudurnu yöresindeki tarihi ahşap evlerde kullanılan göknar ve karaçam ağaç türlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Yaman, F., 2007. Geleneksel ahşap yapılarda kullanılan ahşap yapı elemanlarının uzun dönem performansı – Giresun Zeytinlik mahallesinde örnek yapı incelemesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yazıcı, H., 2005. Açık hava koşullarının odun dayanımına etkisi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 7, 8, 72-79.
- Yılmaz, G., 2011. Ahşap kompozit elemanlarla oluşturulmuş geniş açıklıklı sistemlerin incelenmesi, Yüksek Lisan tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yorulmaz, R., 2019. Isıl işlemli ve termo-mekanik yoğunlaştırılmış doğu ladini (*Picea orientalis*) ve karakavak (*Populus nigra*) odunlarının bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Yusof, A., Izni, S., Nor Izzah, M., ve Mohammed, Y., 2021. Shear performance of strengthened timber beam with intermittent GFRP strips, Construction and Building Materials, 312, 9, 125394.

Yücel, M., 2008. Ahşap iskelet yapı sisteminin ısı ve buhar geçişi açısından değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Zhibin, L., Weiqing, L., ve Jingsong, S., 2020. Experimental and theoretical investigation on shear behaviour of small-scale timber beams strengthened with fiber-reinforced polymer composites, Composite Structures, 240, 6, 111989.

Ziga, U., Andrej, I., Vesna Zegarac, L., ve Miroslav, P., 2019. Evaluation of a structural epoxy adhesive for timber-glass bonds under shear loading and different environmental conditions, International Journal of Adhesion and Adhesives, 95, 102425.

Zor, M., Sözen, E., ve Bardak, T., 2016. Lamine ahşap malzemenin mekanik performansları ve görüntü analizi yöntemiyle eğilme direnci testinde deformasyonun belirlenmesi, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 18, 2, 126-136.

URL-1 <https://tr.wikipedia.org/wiki/Truva_Atı#/media/>, Erişim tarihi: 22.04.2023.

URL-2 < <https://www.istockphoto.com/tr/fotograflar/chapel-bridge/>>, Erişim tarihi: 22.04.2023.

URL-3 < <https://www.e-architect.com/switzerland/globe-science-innovation-cern> >, Erişim tarihi: 22.04.2023

URL-4 < <https://www.archdaily.com/934374/mjostarnet-the-tower-of-lake-mjosa-voll-arkitekter> >, Erişim tarihi: 22.04.2023

URL-5 < <https://www.ustakunduz.com/agac-malzemenin-fiziksel-ozellikleri-nelerdir/> >, Erişim tarihi: 01.05.2023

URL-6 <<http://www.slideserve.com/freja/ah-ap-malzeme-b-lg-s-b-l-m-z>>, Erişim tarihi: 01.10.2024.

URL-7 <<http://www.blog.direnc.net/arduino-nedir-ne-ise-yarar-arduino-dersleri>>, Erişim tarihi: 10.10.2024.

URL-8 <<https://www.arduino.cc/en/software/>>, Erişim tarihi: 01.10.2024.

URL-9 < http://staff.aub.edu.lb/~weblhort/Plants/Deciduous_Trees/Plant/Platanus >, Erişim tarihi: 01.10.2024

EKLER

EK A. Arduino Tabanlı Nemölçer Cihazı Yazılımı



EK A. Arduino Tabanlı Nemölçer Cihazı Yazılımı

Arduino tabanlı nemölçer cihazımızın IDE programı ile hazırlanmış yazılımı aşağıdaki gibidir.

```
#include "DS3231.h"
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <SPI.h>      //
#include <SD.h>       //

RTCLib saat;

DS3231 Clock;

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4); // set the LCD address to 0x27 for a 16 chars
and 2 line display
File myFile;          //
const int chipSelect = 10; //

const int Prob = A0;   //
int Buton=2;          //
int x=0;              //
int y=0;              //
int z=0;              //
int t=0;              //
int j=20;             //
int a=0;              //
int b=0;              //
int c=1;              //
int d=500;            //
int e=0;
int f=0;
int g=0;
int k=0;
int l;
int s=100;
int m1=1;
int m2=1;
int m3=1;
int m4=1;
int led=A1;
int Mod=1;
String Cins;
void(* resetfunc) (void) = 0;

void setup()
```

```

{
    pinMode(Buton,INPUT);
    Serial.begin (9600);
    Wire.begin();
    attachInterrupt(0, ModSec, RISING);
    attachInterrupt(1, Yazdir, RISING);

    lcd.init();
    lcd.backlight();
    lcd.setCursor(1,0);
    lcd.print("HOŞGELDİNİZ");
    lcd.setCursor(3,1);
    lcd.print("NEM OLCER");
    delay(3000);

    if (SD.begin())
    {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(4,0);
        lcd.print("SD KART");
        lcd.setCursor(4,1);
        lcd.print("TAKILDI");
        delay (3000);
    }

    if (!SD.begin())
    {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(4,0);
        lcd.print("SD KART");
        lcd.setCursor(3,1);
        lcd.print("CIKARILDI");
        delay (3000);
    }

}

```

```

void loop()

{
    delay(1000);

    DateTime now = saat.now();

    //Lcd=digitalRead(4);

```

```

/*if (!SD.begin())
{
/*Serial.println("initialization failed!");
Serial.println("Reset atıldı");
delay(1000);*/

/*lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("SD KART");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("TAKILMADI");
delay (3000);

resetfunc();
delay(1000);

}*/

if (SD.begin())
{

//Serial.println("SD Kart takıldı");
if (g==1)
{
lcd.clear();
lcd.setCursor(4,0);
lcd.print("SD KART");
lcd.setCursor(4,1);
lcd.print("TAKILDI");
delay (3000);
g=0;
}

k=1;

if (Mod==1)
{

for (int l=0; l<s; l++)
{
for(int i=0; i<j; i++)
{
x=analogRead (Prob);
delay(c);
y=(1024-x);

```

```

    delay(c);
    z=y-110,56;
    delay (c);
    a=z/12,62;
    delay(c);
    b=b+a;
    delay(c);

    if (!SD.begin())
    {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(4,0);
    lcd.print("SD KART");
    lcd.setCursor(3,1);
    lcd.print("CIKARILDI");
    delay (3000);
    i=j;
    l=s;
    delay(10);
    }

    }

    t=b/j;
    delay(c);

    if (t<12) {t=12;}

    b=0;

    digitalWrite (led, e);

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("MODE A");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Nem Orani:");
    lcd.setCursor(10,1);
    lcd.print(t);

    l++;
    delay(d);
}

if (e==1 && l<=s)
{

    digitalWrite (led, e);

```

```

l=0;
myFile = SD.open("Ceviz.txt", FILE_WRITE);

myFile.print(now.day(), DEC);
myFile.print('/');
myFile.print(now.month(), DEC);
myFile.print('/');
myFile.print(now.year(), DEC);
myFile.print(' ');
myFile.print(now.hour(), DEC);
myFile.print(':');
myFile.print(now.minute(), DEC);
myFile.print(':');
myFile.print(now.second(), DEC);
myFile.println();

myFile.print(m1);
myFile.print(".ölçüm:");
myFile.println(t);
myFile.close();

m1=m1+1;
delay(10000);

/*Serial.println("Ahsap Cinsi Ceviz");
Serial.print("Ahsap Nem Orani= % ");
Serial.println(t);
Serial.print(now.year(), DEC);
Serial.print('/');
Serial.print(now.month(), DEC);
Serial.print('/');
Serial.print(now.day(), DEC);
Serial.print(' ');
Serial.print(now.hour(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.print(now.minute(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.print(now.second(), DEC);
Serial.println();*/

/*lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("MODE A");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Nem Orani:");
lcd.setCursor(10,1);
lcd.print(t);

delay(d);*/

```

```

    }
}

if (Mod==2)
{

for (int l=0; l<s; l++)
{
    for(int i=0; i<j; i++)
    {
        x=analogRead (Prob);
        delay(c);
        y=(1024-x);
        delay(c);
        z=y-351,6;
        delay (c);
        a=z/7,54;
        delay(c);
        b=b+a;
        delay(c);

        if (!SD.begin())
        {
            /*lcd.clear();
            lcd.setCursor(4,0);
            lcd.print("SD KART");
            lcd.setCursor(3,1);
            lcd.print("CIKARILDI");
            delay (3000);*/
            i=j;
            l=s;
            delay(10);
        }

    }

    t=b/j;
    delay(c);

    if (t<16) {t=16;}

    b=0;
    digitalWrite (led, e);

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("MODE B");
    lcd.setCursor(0,1);

```

```
lcd.print("Nem Orani:");  
lcd.setCursor(10,1);  
lcd.print(t);
```

```
l++;  
delay(d);  
}  
if (e==1 && l<=s)  
{
```

```
digitalWrite (led, e);
```

```
l=0;  
myFile = SD.open("Kavak.txt", FILE_WRITE);
```

```
myFile.print(now.day(), DEC);  
myFile.print('/');  
myFile.print(now.month(), DEC);  
myFile.print('/');  
myFile.print(now.year(), DEC);  
myFile.print(' ');  
myFile.print(now.hour(), DEC);  
myFile.print(':');  
myFile.print(now.minute(), DEC);  
myFile.print(':');  
myFile.print(now.second(), DEC);  
myFile.println();
```

```
myFile.print(m2);  
myFile.print("ölçüm:");  
myFile.println(t);  
myFile.close();
```

```
m2=m2+1;  
delay(5000);
```

```
/*Serial.println("Ahsap Cinsi Kavak");  
Serial.print("Ahsap Nem Orani= % ");  
Serial.println(t);  
Serial.print(now.year(), DEC);  
Serial.print('/');  
Serial.print(now.month(), DEC);  
Serial.print('/');  
Serial.print(now.day(), DEC);  
Serial.print(' ');  
Serial.print(now.hour(), DEC);  
Serial.print(':');  
Serial.print(now.minute(), DEC);  
Serial.print(':');
```

```

Serial.print(now.second(), DEC);
Serial.println();*/

/* lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("MODE B");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Nem Orani:");
  lcd.setCursor(10,1);
  lcd.print(t);

  delay(d);*/
}
}

if (Mod==3)
{
for (int l=0; l<s; l++)
{
  for(int i=0; i<j; i++)
  {
    x=analogRead (Prob);
    delay(c);
    y=(1024-x);
    delay(c);
    z=y-250,75;
    delay (c);
    a=z/8,87;
    delay(c);
    b=b+a;
    delay(c);

    if (!SD.begin())
    {
      /*lcd.clear();
      lcd.setCursor(4,0);
      lcd.print("SD KART");
      lcd.setCursor(3,1);
      lcd.print("CIKARILDI");
      delay (3000);*/
      i=j;
      l=s;
      delay(10);
    }
  }

  t=b/j;
  delay(c);

```

```
if (t<17) {t=17;}
```

```
b=0;
```

```
digitalWrite (led, e);
```

```
lcd.clear();  
lcd.setCursor(0,0);  
lcd.print("MODE C");  
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print("Nem Orani:");  
lcd.setCursor(10,1);  
lcd.print(t);
```

```
l++;  
delay(d);  
}
```

```
if (e==1 && l<=s)  
{
```

```
digitalWrite (led, e);
```

```
l=0;  
myFile = SD.open("Mese.txt", FILE_WRITE);
```

```
myFile.print(now.day(), DEC);  
myFile.print('/');  
myFile.print(now.month(), DEC);  
myFile.print('/');  
myFile.print(now.year(), DEC);  
myFile.print(' ');  
myFile.print(now.hour(), DEC);  
myFile.print(':');  
myFile.print(now.minute(), DEC);  
myFile.print(':');  
myFile.print(now.second(), DEC);  
myFile.println();
```

```
myFile.print(m3 );  
myFile.print("ölçüm:");  
myFile.println(t);  
myFile.close();
```

```
m3=m3+1;  
delay(5000);
```

```

/*Serial.println("Ahsap Cinsi Mese");
Serial.print("Ahsap Nem Orani= % ");
Serial.println(t);
Serial.print(now.year(), DEC);
Serial.print('/');
Serial.print(now.month(), DEC);
Serial.print('/');
Serial.print(now.day(), DEC);
Serial.print(' ');
Serial.print(now.hour(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.print(now.minute(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.print(now.second(), DEC);
Serial.println();*/

/* lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("MODE C");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Nem Orani:");
  lcd.setCursor(10,1);
  lcd.print(t);

  delay(d); */
}

if (Mod==4)
{
for (int l=0; l<s; l++)
{
  for(int i=0; i<j; i++)
  {
    x=analogRead (Prob);
    delay(c);
    y=(1024-x);
    delay(c);
    z=y-80,44;
    delay (c);
    a=z/11,49;
    delay(c);
    b=b+a;
    delay(c);

    if (!SD.begin())
    {
      /*lcd.clear();
      lcd.setCursor(4,0);

```

```

lcd.print("SD KART");
lcd.setCursor(3,1);
lcd.print("CIKARILDI");
delay (3000);*/
i=j;
l=s;
delay(10);
}

}

```

```

t=b/j;
delay(c);

```

```

if (t<19) {t=19;}

```

```

b=0;

```

```

digitalWrite (led, e);

```

```

lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("MODE D");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Nem Orani:");
lcd.setCursor(10,1);
lcd.print(t);

```

```

l++;
delay(d);
}

```

```

if (e==1 && l<=s)
{

```

```

digitalWrite (led, e);

```

```

l=0;
myFile = SD.open("Cam.txt", FILE_WRITE);

```

```

myFile.print(now.day(), DEC);
myFile.print('/');
myFile.print(now.month(), DEC);
myFile.print('/');
myFile.print(now.year(), DEC);
myFile.print(' ');

```

```

myFile.print(now.hour(), DEC);
myFile.print(':');
myFile.print(now.minute(), DEC);
myFile.print(':');
myFile.print(now.second(), DEC);
myFile.println();

myFile.print(m4);
myFile.print(".ölçüm:");
myFile.println(t);
myFile.close();

m4=m4+1;
delay(5000);

/*Serial.println("Ahsap Cinsi Cam");
Serial.print("Ahsap Nem Orani= % ");
Serial.println(t);
Serial.print(now.year(), DEC);
Serial.print('/');
Serial.print(now.month(), DEC);
Serial.print('/');
Serial.print(now.day(), DEC);
Serial.print(' ');
Serial.print(now.hour(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.print(now.minute(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.print(now.second(), DEC);
Serial.println();*/

/*lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("MODE D");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Nem Orani:");
lcd.setCursor(10,1);
lcd.print(t);

delay(d);*/
}
}

}

if (!SD.begin())
{

```

```

/*if (k==1)
{
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(4,0);
  lcd.print("SD KART");
  lcd.setCursor(3,1);
  lcd.print("CIKARILDI");
  delay (3000);
  k=0;
} */

if (e==1)
{
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("YAZDIRMA HATASI!");
  lcd.setCursor(1,1);
  lcd.print("KART TAKILMADI");
  delay(2000);
}

g=1;

if (Mod==1)
{

for(int i=0; i<j; i++)
{
  x=analogRead (Prob);
  delay(c);
  y=(1024-x);
  delay(c);
  z=y-110,56;
  delay (c);
  a=z/12,62;
  delay(c);
  b=b+a;
  delay(c);
}

t=b/j;
delay(c);

if (t<12) {t=12;}

b=0;

```

```
digitalWrite (led, e);

lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("MODE A");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Nem Orani:");
lcd.setCursor(10,1);
lcd.print(t);

delay(d);
```

```
}
```

```
if (Mod==2)
{
  for(int i=0; i<j; i++)
  {
    x=analogRead (Prob);
    delay(c);
    y=(1024-x);
    delay(c);
    z=y-351,6;
    delay (c);
    a=z/7,54;
    delay(c);
    b=b+a;
    delay(c);
  }
}
```

```
t=b/j;
delay(c);
```

```
if (t<16) {t=16;}
```

```
b=0;
digitalWrite (led, e);
```

```
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("MODE B");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Nem Orani:");
lcd.setCursor(10,1);
lcd.print(t);
```

```

    delay(d);

}

if (Mod==3)
{
    for(int i=0; i<j; i++)
    {
        x=analogRead (Prob);
        delay(c);
        y=(1024-x);
        delay(c);
        z=y-250,75;
        delay (c);
        a=z/8,87;
        delay(c);
        b=b+a;
        delay(c);
    }

    t=b/j;
    delay(c);

    if (t<17) {t=17;}

    b=0;

    digitalWrite (led, e);

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("MODE C");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Nem Orani:");
    lcd.setCursor(10,1);
    lcd.print(t);

    delay(d);

}

if (Mod==4)
{
    for(int i=0; i<j; i++)
    {
        x=analogRead (Prob);

```

```

        delay(c);
        y=(1024-x);
        delay(c);
        z=y-80,44;
        delay (c);
        a=z/11,49;
        delay(c);
        b=b+a;
        delay(c);

    }

    t=b/j;
    delay(c);

    if (t<19) {t=19;}

    b=0;

    digitalWrite (led, e);

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("MODE D");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Nem Orani:");
    lcd.setCursor(10,1);
    lcd.print(t);

    delay(d);

}

}

}

void Yazdir()

{
    e=!e;
    //f=!f;
}

void ModSec()

{

```

```
Mod=Mod+1;  
if (Mod>4) {Mod=1;}  
t=0;  
int i=j;  
}
```



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Mustafa Emin Toprakcı

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Kocaeli Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
1994-1998

Yüksek Lisans : Niğde Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim
Dalı, 1999-2002

Yüksek Lisans : Esenyurt Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği
Anabilim Dalı, 2018-2019

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Ulusal Hakemli Dergilerde Yayınlanan Makaleler

1. Toprakcı, M. E., ve Ural, A., 2024. Ahşap elemanlarda nem değerlerinin ölçülümünde kullanılan cihazlar ve yeni bir cihaz önerisi, MAS Uygulamalı Bilimler Dergisi, 9, 4, 1146–1158.