



T.C.

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ**

**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FARKLI TUTKALLARLA LAMİNE LEVHALARIN ÜRETİLMESİ VE  
DİJİTAL GÖRÜNTÜ ANALİZİ YÖNTEMİYLE MEKANİK  
KARAKTERİZASYONUNUN YAPILMASI**

**ÜNAL FARSAK**

**DANIŞMAN**

**PROF. DR. DENİZ AYDEMİR**

**BARTIN-2024**





**T.C.**

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FARKLI TUTKALLARLA LAMİNE LEVHALARIN ÜRETİLMESİ VE DİJİTAL  
GÖRÜNTÜ ANALİZİ YÖNTEMİYLE MEKANİK KARAKTERİZASYONUNUN  
YAPILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ünal FARSAK**

**JÜRİ ÜYELERİ**

Danışman : Prof. Dr. Deniz AYDEMİR  
Üye : Prof. Dr. Gökhan GÜNDÜZ  
Üye : Prof. Dr. Alper AYTEKİN  
Üye : Doç. Dr. Saadettin Murat ONAT  
Üye : Doç. Dr. Timuçin BARDAK

**BARTIN-2024**

## KABUL VE ONAY

Ünal FARSAK tarafından hazırlanan “FARKLI TUTKALLARLA LAMİNE LEVHALARIN ÜRETİLMESİ VE DİJİTAL GÖRÜNTÜ ANALİZİ YÖNTEMİYLE MEKANİK KARAKTERİZASYONUNUN YAPILMASI” başlıklı bu çalışma, 22.08.2024 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Deniz AYDEMİR .....

Üye : Prof. Dr. Gökhan GÜNDÜZ .....

Üye : Prof. Dr. Alper AYTEKİN .....

Üye : Doç. Dr. Saadettin Murat ONAT .....

Üye : Doç. Dr. Timuçin BARDAK .....

Bu tezin kabulü Lisansüstü Eğitimi Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mustafa Sabri GÖK  
Enstitü Müdürü

## BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Prof. Dr. Deniz AYDEMİR danışmanlığında hazırlamış olduğum “FARKLI TUTKALLARLA LAMİNE LEVHALARIN ÜRETİLMESİ VE DİJİTAL GÖRÜNTÜ ANALİZİ YÖNTEMİYLE MEKANİK KARAKTERİZASYONUNUN YAPILMASI ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

22.08.2024

Ünal FARSAK

## ÖN SÖZ

Bu tez çalışmamın planlanması, araştırılması, yürütülmesi ve geliştirilmesi süreçlerinde bilimsel temellere dayalı rehberlik ve bilgilendirmeleriyle bana yardımcı olan değerli hocam Prof. Dr. Deniz AYDEMİR'e, ikinci danışmanım Doç. Dr. Timuçin BARDAK'a, hayatımın her aşamasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen eşim Nazlı Yasemin FARSAK'a, kızım Aysel Reyyan FARSAK'a, oğlum Muhammed Saltuk FARSAK'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimime başlamamda büyük rol oynayan kardeşim Prof. Dr. Alper AYTEKİN'e, tez sürecindeki katkılarından dolayı kardeşim Refik ÜNVER'e, Doç. Dr. Eser SÖZER'e, jüri üyeleri Prof. Dr. Gökhan GÜNDÜZ ve Doç. Dr. Saadettin Murat ONAT'a, yazım sürecinde görüş ve önerileri aldığım Doç. Dr. Kamil ÇOŞTU ve Dr. Öğr. Üyesi Gökhan KUTLUANA'a, çalışmam boyunca bana destek olan mesai arkadaşlarıma ayrıca sabır ve ilgilerinden dolayı Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü personeline şükranlarımı sunarım.

Ünal FARSAK

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

# FARKLI TUTKALLARLA LAMİNE LEVHALARIN ÜRETİLMESİ VE DİJİTAL GÖRÜNTÜ ANALİZİ YÖNTEMİYLE MEKANİK KARAKTERİZASYONUNUN YAPILMASI

Ünal FARSAK

Bartın Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Deniz AYDEMİR

Bartın-2024, sayfa: 36

Bu çalışmanın amacı, polivinil asetatı (PVA) köpürterek daha verimli bir yapıştırma sağlamak ve böylece ahşap tabakalar arasındaki etkileşimleri artırarak, mekanik özellikleri geliştirilmiş kontrplak paneller elde etmektir. Selüloz nanofibrillerin (CNF'ler) PVA'nın bağlanma mukavemeti ve morfolojik özellikleri üzerindeki etkileri ve cam elyaf (CF) kumaşların ahşap katmanların bağlanma kalitesi üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Köpürme işleminde, köpürtücü ajan olarak yumurta akı (EW) kullanılmış ve köpürme, PVA ve EW'nin 1000 rpm'de bir karıştırıcı kullanılarak karıştırılmasıyla sağlanmıştır. Hem köpüksüz hem de köpüklü PVA daha sonra oda sıcaklığında fırça yardımıyla ahşap kaplamaların yüzeyine uygulanmış ve ahşap kaplama katmanları arasına dokuma CF kumaş eklenmiştir. CNF ve CNF'li köpüklü/köpüksüz PVA'nın morfolojik, termal, yapısal özellikleri ve üretilen kontrplak panellerde bağlanma mukavemeti, eğilme mukavemeti, eğilme modülü ve çekme gerilimi altında oluşan gerinim analizi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Selüloz nanofibrillerin SEM, AFM, XRD ve TG-DTA ile karakterize edildiğini ve CNF çaplarının 25 nm ila 35 nm arasında değiştiğini göstermiştir. CNF 15.9°, 22.6° ve 34.5°de kristalin pikler sergilemiştir. Köpüksüz ve CNF ile köpüklenmiş PVA'nın karakterizasyonu benzer yöntemlerle karakterize edilmiştir. Morfolojik yapı ve hücre boyutu

SEM ile belirlenmiştir. XRD paterni 11.9° ile 23.5° arasında tespit edilmiştir. TG-DTA, CNF ilavesinin ve köpürtme işleminin termal kararlılık üzerinde iyileştirici bir etkisi olmadığını göstermiştir. Köpüklenme işlemi ve CNF ilavesi bağlanma mukavemetini artırmıştır, ancak hem eğilme mukavemeti hem de modülü CNF ilavesi ve köpüklenme işlemi ile genel olarak azalmıştır ve GF eğilme mukavemeti ve modülü üzerinde herhangi bir iyileşme sağlamamıştır. Dijital görüntü korelasyonu (DIC) analizi, CNF ile köpürtülmüş/köpürtülmemiş PVA'lı numunelerde yükleme altında daha fazla gerinim dağılımı olduğunu ortaya koymuştur

**Anahtar Kelimeler:** Kontrplak, köpüklü polimerler, mekanik karakterizasyon, odun mekaniği ve teknolojisi, polivinil asetat, selüloz nanofibrillar.

**Bilim Alanı Kodu:** 120401

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **PRODUCTION OF LAMINATED BOARDS WITH DIFFERENT GLUES AND MECHANICAL CHARACTERIZATION WITH DIGITAL IMAGE ANALYSIS METHOD**

**Ünal FARSAK**

**Bartın University**

**Graduate School**

**Department of Forest Industry Engineering**

**Thesis Advisor: Prof. Dr. Deniz AYDEMİR**

**Bartın-2024, pp: 36**

The aim of this paper was provide a more efficient of bonding by foaming polyvinyl acetate (PVA) and thus by increasing the interactions between wood layers, the plywood panels with enhanced mechanical properties is to obtain. The effects of cellulose nanofibrils (CNFs) on the bonding strength and morphological properties of the PVA, and glass fiber (CF) fabrics on the bonding quality of wood layers also were examined. In the foaming process, egg white (EW) were used as foaming agents, and the foaming was provided by blending PVA and EW using a mixer at 1000 rpm. Both un-foamed and foamed PVA was then applied onto the surface of the wood veneers via a brush at room temperatures, and a woven CF fabric was added to between wood veneer layers. The morphological, thermal, structural properties of CNF and the foamed/unfoamed PVA with CNF, and the bonding strength, flexural strength, flexural modulus and strain analysis occurred under tensile stress in the plywood panels produced were examined. The obtained results showed that Cellulose nanofibrils were characterization with SEM, AFM, XRD and TG-DTA, and the diameters of CNF were determined to change from 25 nm to 35 nm. The CNF exhibited crystalline peaks at 15.9°, 22.6° and 34.5°. Characterization of un-foamed and foamed PVA with CNF were characterized with similar methods. The morphological structure and cell size were determined with SEM. XRD pattern were detected at ranges from 11.9° to 23.5°. TG-DTA

showed that the adding CNF and foaming process haven't an improvement effect on the thermal stability. The foaming process and the adding CNF improved the bonding strength, however, both flexural strength and modulus generally decreased with the adding CNF and foaming process, and the GF didn't have provide any improvement on the flexural strength and modulus. Digital image correlation (DIC) analysis revealed to be more strain distribution in the samples with foamed/unfoamed PVA with CNF under loading

**Keywords:** Cellulose nanofibrils, foamed polymers, mechanical characterization, polyvinyl acetate, plywood, wood mechanic and technology.

**Scientific Field Code:** 120401

## İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	ii
BEYANNAME .....	iii
ÖN SÖZ .....	iv
ÖZET .....	v
ABSTRACT .....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmada Kullanılan Materyaller.....	2
1.1.1. Polivinil Asetat (PVA).....	2
1.1.2. Kayın .....	5
1.1.3. Selüloz Nanofibriller .....	7
1.1.4. Cam Lifi .....	7
1.2. Literatür Özeti .....	8
1.3. Çalışmanın Amacı.....	10
2. MATERYAL VE METOT .....	11
2.1. Malzemeler .....	11
2.2. CNF ile Köpüklü PVA'nın Hazırlanması .....	11
2.3. Kontrplak Üretimi .....	13
2.4. Yöntem.....	14
2.4.1. Taramalı Elektron Mikroskobu .....	14
2.4.2. Atomik Kuvvet Mikroskopisi.....	15
2.4.3. X-Işını Difraksiyonu .....	15
2.4.5. Yapışma Dayanımı.....	16
2.4.6. Eğilme Testi .....	16
2.4.7. Dijital Görüntü Korelasyon (DIC) Analizi ile Gerinim Analizi .....	16
2.4.8. İstatistiksel Analiz .....	17
3. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	18
3.1. Selüloz Nanofibrillerin Karakterizasyonu.....	18

<b>3.2. Köpüksüz ve CNF ile köpüklenmiş PVA'nın karakterizasyonu .....</b>	<b>20</b>
<b>3.3. Mekanik Özellikler .....</b>	<b>24</b>
<b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>28</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>29</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>36</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1.1: Türkiye’de kayın yayılım haritası .....	5
1.2: Kayın ağacının gövde ve yaprak görüntüsü.....	6
1.3: Selüloz formülü.....	7
2.1: PVA turkalının hazırlanması.....	12
2.2: PVA karakterizasyonu için numunelerin Teflon plakaya yerleştirilmesi.....	12
2.3: Hazırlanan PVA tutkallarıyla Kontplakların Üretilmesi ve preslenmesi.....	13
3.1: Kaktüs liflerinden Kaktüs liflerinden elde edilen selüloz nanofibrillerin karakterizasyonu SEM (a), AFM (b), XRD (c), TGA (d).....	18
3.2: Köpüksüz ve CNF’li köpüklü PVA’nın SEM görüntüleri Köpüksüz PVA (a) Köpüksüz PVA-CNF%0,25 (b), Köpüksüz PVA-CNF%1 (c), köpüklü PVA (d), köpüklü PVA-CNF%0,25 (e), köpüklü PVA-CNF%1 (f) .....	20
3.3: Köpüksüz ve CNF’li köpüklü PVA’da kırılan bölümlerin SEM görüntüleri.....	21
3.4: Köpüksüz ve CNF’li köpüklü PVA’nın XRD ve TGA eğrileri.....	22
3.5: CNF’ler ile köpürtülmemiş ve köpürtülmüş PVA’nın mekanik karakterizasyonu .....	24
3.6: Dijital görüntü korelasyon analizi ile numunelerin gerilme analizi.....	25

## TABLÖLAR DİZİNİ

<b>Tablo</b>	<b>Sayfa</b>
<b>No</b>	<b>No</b>
<b>1.1:</b> Kayın odununun fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri.....	6
<b>2.1:</b> Üretilen kontrplak panellerin deney dizaynı.....	14
<b>3.1:</b> CNF'nin XRD ve TG eğrilerinin özeti.....	19
<b>3.2:</b> XRD ve TGA eğrilerinden elde edilen sonuçların özeti. XRD ve TGA eğrilerinden elde edilen sonuçların özeti.....	23

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Mm : Milimetre  
° : Derece

### KISALTMALAR

IP : İlk Aşınma  
FP : Son Aşınma  
PVC : Polivinil Klorür  
MDF : Orta Sert Lif levha  
UV : Ultraviyole  
PVA : Polivinil Asetat  
NN : Numune No  
MF : Melamin Formaldehit  
ORT : Ortalama Devir Sayısı  
D : Devir

# 1. GİRİŞ

Bilim, insanlık tarihi kadar eski bir kavramdır. Hiç şüphesiz yaşadığımız yy. en çok kullandığımız kavramlardan biri ve içinde yaşadığımız modern dönemin en kuvvetli referans kaynağıdır (Köroğlu, 2016: 2). Modern bilim anlayışının gelişimi incelendiğinde 16.yüzyılın dönüm noktası olduğunu görmekteyiz. Devrim niteliğinde kabul edilen bilgisayarın icadı da Bilimin ve teknolojinin hızla gelişmesinde önemli bir konuma sahiptir. Teknolojinin bu hızlı değişimiyle birlikte yepyeni bilimlere kapı açmıştır. Şüphesiz bunlardan biri de Nanoteknolojidir. Nanoteknoloji son yıllarda çok yaygın olarak, birçok araştırmalarda ve uygulamalarda kullanılarak, önemli veri kaynakları olarak kabul edilmektedir (Köroğlu, 2016). Yaşadığımız Modern dünyada teknoloji, nanoteknoloji ile büyük bir ivme kazanarak endüstriyel devrimin, mihenk taşını oluşturmuştur.

Nanoteknolojinin hayatımıza girmesiyle birlikte sağlam, kaliteli, uzun ömürlü, ucuz, hafif ve küçük aygıt geliştirilebilmektedir. Geliştirilen bu ürünler sayesinde daha az enerji, ucuz ve kolay nakliye gibi kısaca minimum malzeme ile maksimum fayda sağlamıştır (Yakar, 2018: 31). Nanoteknoloji literatüre ilk kazandıran Taniguchi göre “nanoteknoloji esas olarak malzemelerin bir atom veya bir molekül tarafından ayrılması, birleştirilmesi ve deformasyonunun işlenmesinden oluşur” ifadesiyle tanımlamıştır (Taniguchi, 1974:18). Nanoteknolojinin en önemli parçası nano partiküllerdir. Bu partiküllerin boyutları ortalama 100 nanometreden az olan minör parçacıklardır (Yakar, 2018: 31). Gelişen ve değişen dünyada, nüfus yoğunluğunun artmasıyla birlikte insanoğlunun gereksinim ve ihtiyaçları da giderek artmaktadır. Teknolojinin hızla değiştiği ve endüstriyel ilerlemeye paralel olarak ağaç malzeme kullanımını artmış olup, geride bıraktığımız yüzyıllarda çok bulunan odun hammaddesi bu yüz yılın sonuna doğru azalma olduğu gözlemlenmiştir. Şekil ve boyut bakımından yetersiz ve az bulunan masif odun yerine, ekonomik anlam da değeri düşük olan odun hammaddesinden teknik yollarla hem şekli değiştirilmiş hem de istenilen kalıba sokularak elde edilen ahşap esaslı kompozit levhalar kullanılmaya başlanmıştır (Muğla, 2010: 1).

Kompozitler; birden çok, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en üstün özelliklerini, tek bir malzemede bir araya getirilerek, birleştirilmesi sonucu elde edilen malzeme sistemidir (Ulçay vd., 2002: 94). En üstün özelliklere sahip olan bu kompozit malzemelerin, Özgül

ağırlıklarının azlığından dolayı hafif bir yapıya sahip olması, kompozit malzemelere önemli avantaj sağlamaktadır. Hafifliğinin yanında korozyona direnci, ısı, ses, elektrik izolasyonu sağlaması da büyük bir avantaj sağlamaktadır (Yılmaz, 2018: 5). Kompozit malzemelerin sağladığı bu avantajlar doğrultusunda, havacılık, denizcilik, spor ve müzik araç ve gereçlerinde, sağlık, otomotiv ve yapı sektörü gibi birçok alanda kullanılan önemli malzemeler arasındadır (Şen, 2007: 22). Kompozit malzemeler, tüm endüstride olduğu gibi orman endüstrisinde de önem arz eden kompozit malzemeleri, genel olarak yonga levha, lif levha, kontrplak ve kaplamalı olarak sınıflandırılabilir. Bu malzemeler, orman endüstrisinde masif odun malzemelerin yerini alarak hem keresteye olan talebi gidermekte hem de odun hammaddesinin daha ekonomik ve ergonomik olarak kullanılmasını sağlamaktadır (Muğla, 2010: 1).

Bu çalışmamızda ahşap materyallerden üretilen lamine levhaların farklı tutkallarla bir araya getirilecektir. Bir araya getirilen bu materyallerin eğilme direnci, özgül ağırlığı ve elastiki yapısı değerleri incelenecek aynı zamanda bölge farklılıkları ile kullanılan materyal türlerinin buharlaşma işlemi, tabaka sayısı, tutkal türleri ve kaplama kurutma işleminin sıcaklığı arasındaki etkileşim incelenecektir.

## **1.1. Çalışmada Kullanılan Materyaller**

Çalışmada kullanılan materyaller hakkında genel bilgiler verilmiştir.

### **1.1.1. Polivinil Asetat (PVA)**

Polivinil Asetat, vinil asetat monomerlerinin ( $CH_2=CH-OCOCH_3$ ) polimerizasyonu ile elde edilen, beyaz toz veya renksiz sıvı formda bulunabilen bir plastik maddedir. Polivinil asetat, düşük maliyeti ve geniş uygulama alanları nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır.

Polivinil Asetat (PVA) tutkalı, birçok endüstride kullanılan önemli bir yapıştırıcıdır. PVA tutkalı, vinil asetat monomerlerinin polimerleşmesi ile elde edilir ve ahşap işleme, el sanatları ve genel yapıştırma işlemlerinde yaygın olarak kullanılır. PVA tutkalı, özellikle yüksek bağlanma kapasitesi, çevre dostu olması ve şeffaf kuruma özelliği ile dikkat çeker (URL-1, 2024; URL-2, 2024).

PVA tutkalının başlıca avantajları arasında güçlü yapışma kapasitesi, biyolojik olarak parçalanabilir olması ve toksik içermemesi bulunur. Bu özellikler, PVA tutkalını hem çevresel sürdürülebilirlik açısından olumlu kılar hem de kullanıcılar için güvenli hale getirir. Örneğin, Gadhve ve Gadhve (2024) tarafından yapılan bir araştırma, plastikleştiriciler olmadan suya dayanıklı ahşap tutkalının üretimi üzerinde çalışmış ve bu tutkalın suya dayanıklı özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, PVA tutkalının suya dayanıklı özelliklerini ve endüstriyel uygulamalardaki potansiyelini vurgulamaktadır.

PVA tutkalı, özellikle ahşap işleme ve el sanatları projelerinde tercih edilir. Ahşap kapakların, sapların ve diğer ahşap ürünlerin yapımında yaygın olarak kullanılan bu tutkal, aynı zamanda farklı malzemelerin bağlanmasında da etkilidir. PVA tutkalının esnekliği ve şeffaf kuruma özelliği, projelerde estetik bir görünüm sağlar ve uygulama kolaylığı sunar. Ayrıca, He vd., (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, PVA hidrojellerinin yapışkan, kendi kendini iyileştiren, antimikrobiyal ve talep üzerine çıkarılabilir özelliklere sahip olduğu ve hızlı hemostaz için kullanılabileceği belirtilmiştir. Bu tür çalışmalar, PVA tutkalının biyomedikal uygulamalarındaki potansiyelini de ortaya koymaktadır.

Bunun yanı sıra, PVA tutkalının bazı dezavantajları da vardır. Örneğin, suya karşı dayanıklılığı düşüktür ve bu nedenle dış mekan kullanımları için uygun değildir. Yüksek sıcaklıklarda performansını kaybedebilir ve bağlanma gücü azalabilir (Pingan vd., 2017). Ayrıca, bazı kimyasallara karşı dayanıklı değildir ve belirli ortamlarda kullanılmaması gerekebilir. Dhawale vd., (2024) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, likit glikoz ve polivinil alkol karışımı tutkalın fiziksel, termal, mekanik ve performans özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Bu çalışma, PVA tutkalının modifikasyonlarının, farklı uygulama alanlarında kullanımını genişletebileceğini göstermektedir.

Genel olarak, PVA tutkalı, çeşitli avantajları ve belirli sınırlamaları olan çok yönlü bir yapıştırıcıdır. PVA'nın farklı uygulama alanlarındaki etkileri ve çevresel sürdürülebilirliği üzerine yapılan çalışmalar, bu malzemenin gelecekteki kullanımları hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Gadhve ve Gadhve (2024) ve Dhawale vd., (2024) gibi araştırmalar, PVA tutkalının gelişen endüstriyel ihtiyaçlara nasıl adapte edilebileceğini ve yeni modifikasyonlarla kullanım alanlarının genişletilebileceğini göstermektedir.

Yapıştırıcıların en uygun kullanım alanları ve uygulama teknikleri üzerine gerçekleştirilen

detaylı araştırmalar, özellikle mobilya sektöründe kaliteyi en üst düzeye çıkarmayı ve malzeme kullanımını en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmalar, ekonomik verimliliği artırmanın yanı sıra ürünlerin dayanıklılığını yükseltmeyi de hedeflemektedir. Bu çerçevede, mobilya ve yapı malzemelerinin yapıştırılmasında sıklıkla kullanılan polivinilasetat (PVA) yapıştırıcıları, sentetik yapıştırıcılar kategorisinde yer almakta ve sunduğu pek çok avantajla dikkat çekmektedir. PVA, özellikle ahşap, kağıt ve tekstil gibi materyallerin bir araya getirilmesinde yüksek yapışma gücü sağlarken, aynı zamanda çevre dostu özellikleri ile de öne çıkmaktadır. Bu sayede, mobilya üretiminde kalite standartlarının yükseltilmesi sağlanmakta ve sürdürülebilir malzeme kullanımı teşvik edilmektedir. (Atar, 2006: 320).

Mobilya ve yapı malzemelerinin yapıştırılmasında yaygın bir şekilde tercih edilen polivinilasetat (PVA) tutkalının birçok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajlar arasında, soğuk ortamlarda uygulanabilmesi, hızlı bir şekilde sertleşmesi, ortamdaki nem ile kürlenmesi, kokusuz olması ve kolay kullanılabilirliği sayılabilir. Bu özellikleri sayesinde PVA, hem pratik hem de etkili bir yapıştırıcı olarak öne çıkmaktadır. (Sözbir vd., 2021:328).

#### **Avantajları:**

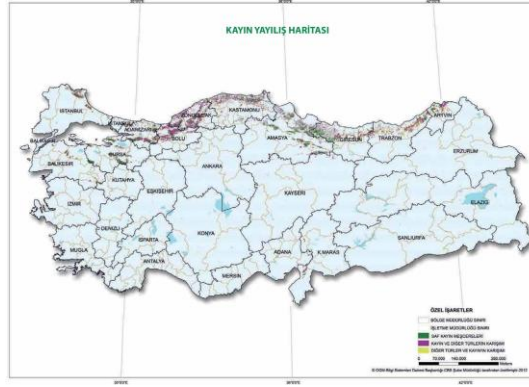
- Düşük Maliyet: Üretimi görece ucuzdur.
- Yüksek Yapışkanlık: Kâğıt, ahşap ve kumaş gibi materyallerde iyi yapışma özellikleri gösterir.
- Suya Dayanıklılık: PVA, nem ve suya karşı dayanıklıdır (ancak yüksek miktarda suya maruz kaldığında çözünür).

#### **Dezavantajları:**

- Suya Dayanıklılık: Yüksek nem koşullarında çözünme eğilimi gösterebilir.
- Sıcaklık Dayanıklılığı: Yüksek sıcaklıklarda bozulabilir.
- Çevresel Etkiler: PVA, çevre dostu bir malzeme olarak değerlendirilebilir çünkü su bazlı formülasyonlarda kullanılır ve biyolojik olarak parçalanabilir. Ancak, üretim ve kullanım süreçlerinde dikkatli yönetilmesi gerekir.

### 1.1.2. Kayın

Kayın, kuzey yarım kürenin mikro klima bölgesinde yayılım gösteren ağaç türlerindedir. Doğu Asya, Batı Asya, Avrupa ve Kuzey Amerika'da mevcut olan Kayınların, on türü ve iki alt türü bulunmaktadır (Topaloğlu vd., 2013: 181). Ülkemizde daha çok Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) ve Avrupa kayını (*Fagus silvatica* L.) görülmekte fakat en geniş yayılımı Doğu kayını göstermektedir. Ülkemizde Trakya'da Istranca dağı, Tekirdağ, Belgrad ormanı, Ege ve Marmara bölgesinde ve Kuzey Anadolu'da oldukça geniş bir sahaya sahiptir (Topaloğlu vd., 2013: 181). En geniş ve en iyi yayılımını da Şekil 1.1'de gösterildiği üzere Karadeniz bölgesinde görülmektedir (Kızılkaya, 2024: 3).



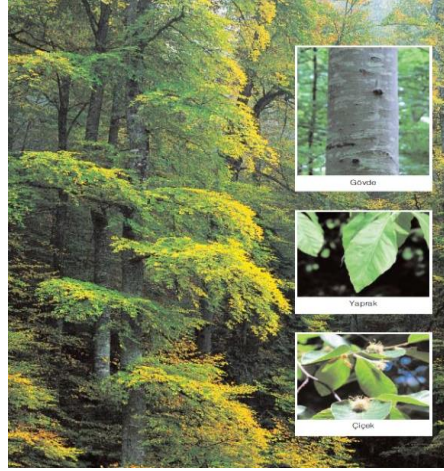
Şekil 1.1: Türkiye'de kayın ağacı yayılım haritası (ogm, 2013)

Besin ve mineral yönünden zengin topraklar üzerinde bulunan kayınlar, rutubetli ve hava alanabilen toprakları tercih eder. Bu sebeple de eğimli ve yamaç arazilerde daha verimli olmaktadır (Balcı, 2008: ). Monoik<sup>1</sup> bir bitki türü olan Doğu kayınları, kışın yapraklarını döken orman ağaçları arasındadır. Sürüngenler, yani uç tomurcukları pseudoterminal<sup>2</sup> yapıdadır. Yan tomurcukları ise iki sıralı sarmal olarak dizilirler. Çok fazla pullarla sarmalanmış, iğ şeklinde sivri uçludur. Büyük tomurcukları sürüngenlere eğimli olarak değil, sürüngenlere açılı bir şekilde almaçlı olarak dizilmişlerdir. Yapraklarının yüzeyi dişli ya da düzdür. Genellikle yaprak sapları kısa olup, şerit halindeki kulakçıkları zamanla dökülmektedir. Gövde Kabuklarının rengi açık veya koyu gri renktedir. Bu özelliklerinden dolayı da yaşamları süresince çatlamadan düz ve pürüzsüz bir şekilde kalmalarını sağlar (Bardak vd., 2016). Genç sürgünleri kırmızımsı kahverengi renkte olup, yaprakları eliptik,

<sup>1</sup> Dişi ve erkek çiçeklerin aynı bitkide bulunması

<sup>2</sup> Tomurcuğun yanda bulunması hali

yumurtamsı formda olup yaprak kenarları tam veya hafif dalgalı bir yapıdadır. Yapraklarının uç kısımları sivri uzun veya tam tersine kısa olan kayınlar, genç iken kenarları kırıpkı bir yapıya sahiptir (Hafizoğlu vd., 1994). Kayın ağacına ait gövde ve yaprak görüntüsü Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.2: Kayın ağacının gövde ve yaprak görüntüsü (URL-3, 2024)

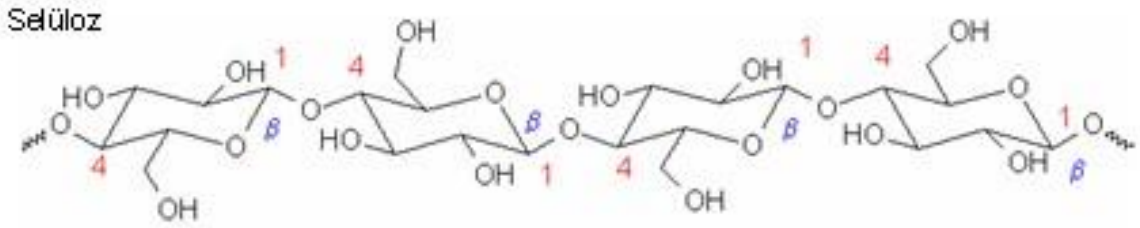
Ülkemizde 1. Sınıf orman ağacı türlerinden kabul edilmektedir (URL-3, 2024). Kayın odunlarının sert ve ağır bir yapıya sahip olması, kolay bir şekilde yarılması, işlenmesi ve aynı zamanda cilalanmasının kolay bir biçimde olması sebebiyle çok muhtelif kullanım alanlarının olmasına imkân sağlamaktadır (Topaloğlu vd., 2013: 181).

Tablo 1.1: Kayın odununun fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri (As vd., 2001).

Özellikler	Değer	Özellikler	Değer
Tam Kuru Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	0,64	Yarılma Direnci Radyal (N/mm <sup>2</sup> )	0,74
Hava Kuru Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	0,66	Yarılma Direnci Teget (N/mm <sup>2</sup> )	1,07
Hacim Ağırlık Değeri (g/cm <sup>3</sup> )	0,53	Brinell Sertlik Liflere Paralel (N/mm <sup>2</sup> )	54,90
Radyal Daralma (%)	5,00	Brinell Sertlik Liflere Dik (N/mm <sup>2</sup> )	27,00
Teget Daralma (%)	11,40	Holoselüloz (%)	78,99
Hacmen Daralma (%)	16,21	Selüloz (%)	41,54
Basınç Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	57,00	Pentazon (%)	25,21
Eğilme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	112,30	Lignin (%)	22,57
Elastikiyet Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	13082,00	Ekstraktif Mad. Suda (%)	1,92
Çekme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	131,60	Ekstraktif Mad. Alkol-Benz (%)	1,51
Makaslama Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	9,90	Kül (%)	0,61
Dinamik Eğilme (kN/cm)	0,95		

### 1.1.3. Selüloz Nanofibriller

Selüloz, bitki hücre duvarının esas bileşeni olup bir polisakkarittir<sup>1</sup>. Selülozlar çok sayıda  $\beta$  (1-4) bağlı D-glikozların birbirlerine bağlanmasıyla meydana gelen düz ve uzun polimerik zincirlerden oluşmaktadır (Şekil 1.4). Selüloz zincirlerin hidrojen bağı ile birbirlerine bağlandıklarında kuvvetli bir yapı haline gelmektedirler (URL-4, 2024).



Şekil 1.3: Selüloz formülü

Dünyada çok fazla mevcut olan bu biyopolimerler<sup>2</sup>, birçok mikroorganizmalar tarafından aktif bir biçimde parçalanabilen, kendini tekrar yenileyebilen, toksik madde olmayan, maliyeti düşük, yüksek güce ve ısı direncine sahip doğal çevre dostudur (Bilek vd., 2018; URL-4, 2024). Selüloz nanofibriller, yüksek direnç ve yüksek emicilik özelliğine sahiptir. bu özelliklerinin yanında yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesi ve çevre dostu malzemeler olması da selüloz nanofibrilleri önemli bir konuma yerleştirmiştir. Selüloz hamuru ince lif haline getirildiğinde amfifilik<sup>3</sup> karakter sergilemektedir. Elde edilen bu malzemeler, kompozit malzemelerden marjinal fayda sağlamak amacıyla dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca Selüloz nanofibrillerin içeriğinde yoğun olarak hidroksil grupları içermektedir. Buda Selüloz nanofibrilleri belirli uygulama amacına uygun bir şekilde uyum sağlamak amacıyla farklı modifikasyonlar gerçekleştirirler (Türkoğlu vd., 2021).

### 1.1.4. Cam Lifi

Cam lifi ilk olarak Rene Ferchault de Reaumur tarafından 1734 üretilmiş olsa da fabrikasyon olarak üretimi 1935 yılında Owens-İllinois Glass Co., Newark/Ohio, firması tarafından iplik

<sup>1</sup> Birden fazla ve ayrı monosakkaritin glikozit bağıyla birleşmesiyle oluşan kimyasal maddelerdir.

<sup>2</sup> Biyolojik kaynaklardan elde edilen ve doğada çözünebilen polimerlerdir

<sup>3</sup> İki birden

haline getirilmiş ve dokunabilecek incelikte cam lifleri üretilmiştir. İlk olarak havacılık sektöründe kullanılan bu kompozit malzemeler büyük bir ivme almış ve birçok sektörün mihenk taşıını oluşturmuştur (Yüksek, 2011).

Cam liflerin hammaddesi cam olan sentetik elyaflardan oluşmaktadır. Bu lifleri elde edebilmek için, önce yüksek sıcaklıkta (1200-1400 °C'de) eritilerek filament<sup>1</sup> haline getirilir. Yeterli esnekliğe sahip olması için yeterli incelikte çekilmesi gerekmektedir. Cam elyafları elde etmek için iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi, süzgeçli tanklardan aşağı doğru indirilerek elde edilir; diğeri de tazyikli su püskürtme yöntemiyle elde edilir. Bu yöntemlerden sonra son olarak sarım işlemi uygulanır. Cam dokuma lifler, kolay yıkanması, elektriği iletmemesi, leke tutmaması ve bakterilerden etkilenmeyen özelliklerinin yanında en önemli özelliğinin ısıya dayanıklı olmaları yani yanmamalarıdır (URL-5, 2024: 9).

## 1.2. Literatür Özeti

Ahşap, eski çağlardan günümüze kadar sürdürülebilir ve çevre dostu yapı malzemelerinin en popüleridir ve bina inşaatı, yapısal paneller, mobilya, kağıt hamuru ve kağıt gibi birçok endüstride kullanılabilen hayati malzemelerden biridir (Aksu vd., 2022; Chrobak vd., 2022; Neitzel vd., 2022). Endüstriyel ürünlerdeki aşırı ahşap tüketiminin neden olduğu ormansızlaşma ve orman tahribatı nedeniyle ahşap hammadde kaynakları tükenmiştir ve bu nedenle ahşap panel endüstrisi, düşük kaliteli ahşap malzemeler ve üre formaldehit, melamin formaldehit, fenol formaldehit gibi düşük fiyatlı petrokimyasal reçineler kullanmanın birçok avantajı nedeniyle birçok gelişmiş ülkede hızla büyümüştür (Gonçalves vd., 2021; Kelleci vd., 2022). Bununla birlikte, reçinelerde ve ahşap bazlı panellerde formaldehit bulunması, insan sağlığı üzerindeki kanserojen etkileri nedeniyle son zamanlarda çok fazla endişe yaratmıştır. Glutaraldehit, furfural, glioksal, 5-hidroksimetilfurfural gibi çeşitli sertleştiriciler içeren yeni formaldehit içermeyen reçine formülasyonları birçok bilimsel araştırmacı tarafından incelenmiştir (Chrobak vd., 2022; Siahkamari vd., 2022; Kristak vd., 2023). Ahşap bazlı panellerin üretiminde kullanılan reçineden kaynaklanan serbest formaldehit emisyonları sorunu, ikame maddeler kullanılarak çözülebilir.

Diğeri yöntem ise polivinil asetat, lignin, hayvan bazlı reçine vb. gibi biyo-bazlı reçinelerin

---

<sup>1</sup> İnce çekilmiş tel, elyaf

kullanılmasıdır. Ahşap katmanları veya parçacıkları yapıştırmak için biyo-bazlı reçinelerin kullanılmasının, yüksek esneklik, düşük maliyet, çevre dostu olma ve işlenebilirlik gibi avantajlar nedeniyle ahşap paneller üretmek için etkili bir yapıştırma yöntemi olduğu düşünülmektedir (Aydemir, 2014a; Bardak vd., 2017; Oktay vd., 2021; Arias vd., 2022; Hussin vd., 2023; Wang vd., 2024). Biyo-bazlı reçineler çevre dostu ve biyolojik olarak parçalanabilen malzemelerdir, ancak daha yüksek maliyetlere ve düşük üretim miktarlarına sahiptirler. Bu durum biyo-bazlı reçineler ile üretilen ürünlerin maliyetlerini yükseltmekte, bu nedenle farklı takviye malzemeleri ile karıştırılarak ve köpürtülerek ürün maliyetleri düşürülmeye çalışılmaktadır (Aydemir vd., 2011; Aydemir vd., 2014b; Aydemir vd., 2014c; Antov vd., 2020; Kelleci vd., 2022; Shalbfan, 2022; Dukarska ve Mirski 2023; Ferreira vd., 2023; Zhang vd., 2023). Sedliačik vd., (2014) yaptıkları bir çalışmada polivinil asetat yapıştırıcıların (PVA) köpürtülmesini ve köpürtülmüş PVA'nın (f-PVA) ahşap malzemelerin yapıştırılmasında kullanımını araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar, kullanılan reçine miktarının geleneksel 180 g/m<sup>2</sup> değerinden 125 g/m<sup>2</sup> değerine düşürüldüğünü ve bu durumun hem reçine hem de ahşap ürün maliyetlerini azalttığını göstermiştir. Bir başka çalışmada, PVA reçinesi yumurta proteini (ağırlıkça %10) ile köpürtülmüş ve f-PVA'nın ahşap malzemelerin yapışma mukavemeti üzerindeki etkileri araştırılmıştır. F-PVA ile yapıştırılan ahşabın (10 MPa) yapışma mukavemeti sonuçları, f-PVA ahşap yüzeylere daha düşük miktarda uygulanmasına rağmen PVA ile yapıştırılan ahşaba (13 MPa) yakın bulunmuştur (Kelleci ve Koksall 2023). Ergün ve arkadaşları (2020) ahşap lif takviyeli polivinil asetat sert köpüklerin üretimini incelemiş ve köpük yoğunluklarının 0,017 g/cm<sup>3</sup> ile 0,137 g/cm<sup>3</sup> arasında değiştiği bulunmuştur. Mekanik özelliklerin PVA'nın köpürmesiyle azaldığı ve ahşap lifinin köpürmemiş PVA'ya yüksek mekanik özellikler sağladığı belirlenmiştir. Lopez-Suevos ve arkadaşları (2010) selüloz nanofibrilleri ile güçlendirilmiş f-PVA'nın viskoelastik özelliklerini ve morfolojik karakterizasyonunu incelemişlerdir. Sonuçlar, tüm sıcaklık aralığında depolama modülündeki önemli artışlar ve camsı durumun üzerinde tan d'deki önemli düşüşlerle gösterildiği gibi PVAc lateks filmlerinin viskoelastik özellikleri üzerinde dikkate değer bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. SEM görüntüleri selüloz nanofibrillerin bir miktar yığıldığını göstermesine rağmen, bu durum esas olarak selüloz nanofibril ağı arasındaki güçlü etkileşime bağlanmıştır. Benzer sonuçlar Yıldırım vd., (2022), Ergün vd., (2023) ve Kaya vd., (2024) tarafından da bulunmuştur. Literatür taraması, biyo-bazlı reçinelerin köpürtülmesinin bağlanma özelliklerini ve reçine viskoelastik özelliklerini geliştirdiğini göstermiştir. Buradan hareketle, biyo-bazlı PVA reçinesi (f-PVA) sıvı yumurta proteini kullanılarak köpürtülmüş ve f-PVA, bağlanma

özelliklerini iyileştirmek için kaktüs biyokütlesinden elde edilen selüloz nanofibrillerle (CNF'ler) takviye edilmiştir. Elde edilen CNF'li f-PVA, 5 katmanlı Kayın ağacı kontrplağı üretmek için kullanılmış ve kontrplağın mekanik özellikleri incelenmiştir.

### **1.3. Çalışmanın Amacı**

Literatür incelemesi sonucunda kontrplak üretiminde biyo bazlı tutkal olarak polivinil asetatın yaygın kullanıldığı görülmüştür. Bu bağlamda bu çalışmada PVA bazlı tutkal yumurta proteini kullanılarak köpükendirilmiş ve tutkalın yapışma alanı artırılmıştır. Ayrıca köpüklenmeyle hacmi artan tutkalın daha geniş yüzeye yayılması sağlanmıştır. Bu şekilde ahşap yüzeylerin daha iyi ıslanması sağlanarak yapışmanın artması amaçlanmıştır. Ayrıca Kaktüs bitkisinin selülozundan nanoselüloz elde edilerek tutkala ilave edilmiş ve tabakalar arası yapışmanın ve tabakalar arası etkileşimin artırılması amaçlanmıştır. Sonuç olarak köpüklenmiş tutkal ve köpüklü ve nanolif ilaveli tutkal ile kontrplaklar üretilmiş ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca kullanılan nano liflerin ve köpüklenen tutkalın yapısal karakterizasyonu da incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde çalışmamızda kullanılan numunelerin hazırlanması sırasında, malzemelerin elde edilişi, tutkalın hazırlanması ve kontrplakların üretimi ile ilgili açıklama yapılmıştır.

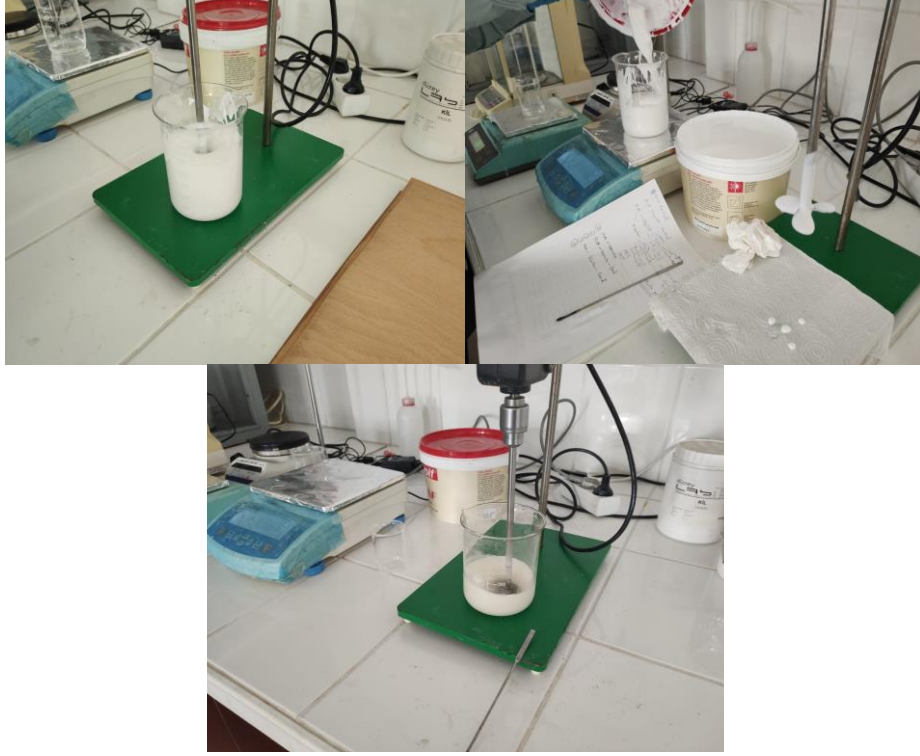
### 2.1. Malzemeler

Kayın ağacı kaplamaları, yerel bir kereste fabrikasından hava ile kurutulmuş (%8-10) halde temin edilmiştir. Kontrplak üretiminden önce, kaplamalar nem içeriğinin (MC) %4-6'sına kadar kurutuldu ve bir iklim odasında saklandı. Kaplamaları yapıştırmak için polivinil asetat (PVA) kullanılmış ve Özcan Kimya'dan (Türkiye) sıvı halde temin edilmiştir. PVA, vinil asetatın polimerizasyonu ile hazırlanan termoplastik bir reçinedir. PVA biyo-bazlıdır ve suda çözünür ve ahşap bazlı malzemelerde iyi bir yapıştırma sağlayabilir. Takviye maddesi olarak kullanılan selüloz nanofibriller, kaktüs liflerinden bir Mikroakışkanlaştırıcı ile üretilmiştir. Örnekler bir mikroakışkanlaştırıcıdan (Stansted Homogenizing Systems-SPCH modeli) yüksek basınçta (2000 bar) pistonlu bir homojenizasyon boşluğu aracılığıyla geçirilmiştir. Süspansiyonlar 24 °C'de 5 geçiş ile homojenize edilmiştir. Elde edilen CNF, üretimden önce plastik bir kutuda saklanmıştır. Ahşap tabakaların esnekliğini artırmak için kullanılan E-cam kumaşlar Dost Chemical, Türkiye'den temin edilmiştir.

### 2.2. CNF ile Köpüklü PVA'nın Hazırlanması

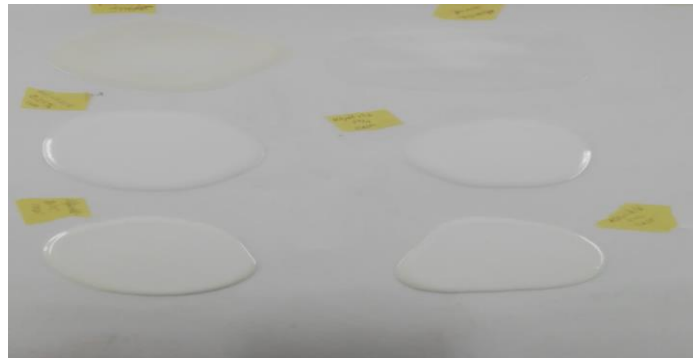
CNF, 5 dakika boyunca mekanik karıştırıcı ve daha sonra 10 dakika boyunca 60 döngü ve 90 Hz genlik için UP 400 S sonikatörde ultrasonik karıştırıcı ile damıtılmış su ile homojen bir şekilde dağıtılmıştır. CNF, 10 dakika boyunca 1000 rpm'de mekanik karıştırma ve 5 dakika boyunca 30 döngü ve 45 Hz genlik için ultrasonik karıştırıcı sırasında PVA'ya (100 g) yavaşça eklenmiştir. PVA karışımları, toplam PVA ağırlığına göre %0,25 ve %1 CNF olacak şekilde çözelti yöntemiyle başarılı bir şekilde hazırlanmıştır (Şekil 2.1). Karışımlar etüvde yaklaşık 30 dakika boyunca gazdan arındırılmıştır. Karışımlar bir teflon plaka üzerine dökülmüş ve tamamen kuruyana kadar 2 gün bekletilmiştir. Köpürtme işleminde, köpürtücü ajan olarak yumurta proteini (EP) (10g) 200 rpm'de mekanik karıştırıcı sırasında bir beherdeki PVA'ya (50g) eklenmiş ve daha sonra CNF yavaşça PVA-EP karışımlarına eklenmiş ve tüm malzemeler 10 dakika boyunca 1000 rpm'de mekanik karıştırma ve daha

sonra 5 dakika boyunca 30 döngü ve 45 Hz genlik için ultrasonik karıştırıcı ve son olarak 20 dakika boyunca 1500 rpm'de mekanik karıştırma sırasında köpürtülmüştür. Mekanik karıştırmadan sonra, köpürme işlemi sırasında karışım hacimleri yaklaşık 3 - 5 kat artmıştır.



Şekil 2.1: PVA turkalının hazırlanması.

Köpüren PVA (f-PVA) bir Teflon plaka üzerine dökülmüş ve elde edilen köpüklerin morfolojik karakterizasyonu için 2 gün boyunca  $24\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de bekletilmiştir. Köpüğün stabilitesi genellikle oldukça yüksekti ve f-PVA hacminde genellikle 2 gün sonra hafif bir azalma gözlenmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: PVA karakterizasyonu için numunelerin Teflon plakaya yerleştirilmesi

### 2.3. Kontrplak Üretimi

Hava kurusu (%8-10) olan kayın ağacı kaplamaları %3-5 MC'ye kadar kurutulmuştur. Kontrplak üretimi için Şekil 2.3'te gösterildiği gibi 500 mm genişliğinde ve 500 mm uzunluğunda hatasız kaplamalar kullanılmıştır.



Şekil 2.3: Hazırlanan PVA tutkallarıyla kontrplakların üretilmesi ve preslenmesi

Beş kaplama tabakası birbiri üzerine dik olarak monte edilmiş ve elde edilen PVA karışımları, 100 g/m<sup>2</sup> yapıştırıcı yayma hızında kaplamanın her katmanına manuel olarak uygulanmıştır. Birleştirilen kaplamalar baskı plakası üzerine yerleştirilmiş ve daha sonra üreticinin tavsiyelerine göre bir sıcak pres makinesi kullanılarak 60 dakika boyunca 1,5 MPa basınç altında soğuk preslenmiştir. Ayrıca, cam kumaşların kontrplak panellerin uzama oranı üzerindeki etkilerini belirlemek için kontrplak üretiminde dokuma e-cam kumaş kullanılmıştır. Soğuk preslenmiş kontrplak paneller, mekanik karakterizasyon yöntemlerinde verilen ilgili EN standartlarına göre boyutlandırılmıştır. Bu çalışmada, Tablo 2.1'de verildiği gibi toplam 12 kontrplak panel yapılmıştır.

Tablo 2.1: Üretilen kontrplak panellerin deney dizaynı

	<b>Köpüksüz PVA</b>	<b>Köpüklü</b>	<b>CNF (%)</b>	<b>E-cam</b>
PVA	✓			
PVA%0,25CNF	✓		0.25	
PVA1%CNF	✓		1	
f-PVA		✓		
f-PVA%0,25CNF		✓	0.25	
f-PVA1%CNF		✓	1	
PVA-GF	✓			✓
PVA%0,25CNF-GF	✓		0.25	✓
PVA1%CNF-GF	✓		1	✓
f-PVA-GF		✓		✓
f-PVA%0,25CNF-		✓	0.25	✓
f-PVA1%CNF-GF		✓	1	✓

## 2.4. Yöntem

Yapılan analiz ve testlerle ilgili kullanılan yöntemlerle ilgili bilgi verilmiştir.

### 2.4.1. Taramalı Elektron Mikroskobu

Morfolojik karakterizasyon hem CNF hem de CNF ile PVA karışımları üzerinde Tescan MAIA3 XMU taramalı elektron mikroskobu (Brno, Çek Cumhuriyeti) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elektron akışını iyileştirmek için tüm numunelerin yüzeyi paladyum ve altın parçacıklarının bir kombinasyonu ile kaplanmıştır. Örneklerdeki hücrelerin en-boy oranı (r), SEM görüntülerine göre genişliğin (w) yüksekliğe (h) bölünmesiyle belirlenmiştir.

#### 2.4.2. Atomik Kuvvet Mikroskopisi

Atomik kuvvet mikroskobu çalışmaları Hitachi5100 N kullanılarak 150 ile 5 µm arasında gerçekleştirilmiştir. 10 nm'den daha az eğrilik yarıçapına sahip Si uçlarda mika yüzeyli bir plakaya CNC süspansiyon damlası dökülmüş ve plaka yüzeyi kurutulmuştur. CNC görüntüleri AFM kullanılarak dinamik modda 24 °C'de ve 1 Hz tarama hızında elde edilmiştir.

#### 2.4.3. X-Işını Difraksiyonu

CNF ve CNF ile PVA karışımlarının kristal yapısını karakterize etmek için Ni-filtreli Cu K $\alpha$  (1.540562 Å) radyasyon kaynağı kullanılarak ve 5° ila 40° 2 $\theta$  aralığında bir X-ışını difraktometresi (Model XPert PRO, Philips PANalytical, Hollanda) kullanılmıştır. XRD analizinde, numune tutucuya bağlı piklerin oluşmaması için bir silikon sıfır arka plan plakası kullanılmıştır. Numunelerin kristallik indeksi (CI) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır;

$$Cl(\%) = \frac{\sum A_c}{\sum (A_c + A_a)} \quad (1)$$

Burada A<sub>a</sub> ve A<sub>c</sub> sırasıyla amorf halenin entegre alanı ve karşılık gelen kristalin piklerin altındaki entegre alandır.

#### 2.4.4. Termogravimetrik Analiz

CNF ve CNF ile PVA karışımlarının termal analizi, Hitachi STA 7300TG-DTA analizörü (Chiyoda, Tokyo) kullanılarak 20 mL/dak azot akış hızında 5 ila 10 mg aralığında gerçekleştirilmiştir. Numuneler oda sıcaklığından 800°C'ye kadar 20 °C'lik bir ısıtma hızında ısıtılmıştır. TG eğrileri ağırlık kaybını (WL), WL için %10 (T<sub>10%</sub>), %50 (T<sub>50%</sub>) ve %85 (T<sub>85%</sub>) sıcaklıklarını ve türev termal gravimetrisini (DTG) belirlemek için kullanılmıştır. Türev termal analiz (DTA) gibi termoanalitik teknikler, DTA eğrilerine dayalı olarak erime (T<sub>m</sub>) ve bozunma (T<sub>d</sub>) dahil olmak üzere sıcaklıkları hesaplamak için kullanılır.

#### **2.4.5. Yapışma Dayanımı**

Çekme testi numuneleri, 500 mm x 500 mm boyutlarındaki (uzunluk (L) ve genişlik (W)) ahşap kaplamaların PVA ile yapıştırılmasıyla hazırlanmıştır. PVA, kaplamaların yüzeyine 220 g/m<sup>2</sup> yapıştırma hızında bir fırça ile uygulanmış ve ardından kaplamalar oda sıcaklığında (22 ± 2 °C) 90 dakika boyunca 1,0 MPa basınçta bir hidrolik pres ile preslenmiştir. Test için, her bir çekme testi koşulu için on kopya hazırlanmıştır. Çekme testi numuneleri 150 mm x 10 mm boyutlarında (uzunluk (L) ve genişlik (W)) EN 314-2 (1994) ve EN 314-1 (2007) uyarınca utest mekanik test cihazı ile test edilmiştir. Kontrplağın kesme mukavemetini test etmek için 1 kN yük hücreğine sahip bir Utest mekanik test cihazı (Utest Inc., Türkiye) 5 mm/dak çapraz kafa hızıyla kullanılmıştır. Tüm yapıştırma testi EN 322'ye (1993) göre %12 nem içeriğine (MC) sahip numune üzerinde gerçekleştirilmiştir.

#### **2.4.6. Eğilme Testi**

Numunelerin eğilme dayanımını test etmek için EN 14272 (2012) ve EN 310 (1996)'ya göre merkez nokta yüklemesini kullanan üç nokta yükleme sistemi ile 1 kN yük hücreğine sahip bir utest mekanik test cihazı kullanılmıştır. Tüm yapıştırma testi EN 322 (1993) uyarınca %12 nem içeriğine (MC) sahip numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Tüm testler 3 mm/dak hızda gerçekleştirilmiştir. Test numunelerinin yer değiştirmesi, utest mekanik test cihazından alınan çapraz kafa hareket verileri kullanılarak ölçülmüştür. Eğilme mukavemeti ve eğilme modülü EN314-1 (2007) ve EN314-2'ye (1994) göre belirlenmiştir. Her formülasyon için on kopya test edilmiştir.

#### **2.4.7. Dijital Görüntü Korelasyon (DIC) Analizi ile Gerinim Analizi**

Eğilme testleri sırasında numunelerin deformasyon davranışını DIC ile tespit etmek için bir dijital endüstriyel kamera, Basler ace camera, 1624 px × 1234 px, acA1600-20gc (Basler Co., Ahrensburg, Almanya) kullanılmıştır. DIC görüntüleri LabVIEW (National Instruments, Austin, TX, ABD) görsel programlama dili ile işlenmiş ve numunelerin gerinim alanları incelenmiştir. Numunelerin yüzeyine siyah/beyaz boyalarla çeşitli benekler eklenmiş ve x yönü ( $\epsilon_{xx}$ ), kayma gerinimi ( $\epsilon_{xy}$ ), y yönü boyunca gerinim ( $\epsilon_{yy}$ ), dikey yön (V) ve yatay yön (U) dahil olmak üzere gerinimler belirlenmiştir. Yüzeylerin yüzeyindeki beneklerin yer değiştirmesini tespit etmek için Ncorr yazılımı kullanılmıştır. DIC analizi ve

gerinim belirleme Pan vd., (2009), Bakır vd., (2022) ve Aydemir vd., (2024) göre yapılmıştır.

#### **2.4.8. İstatistiksel Analiz**

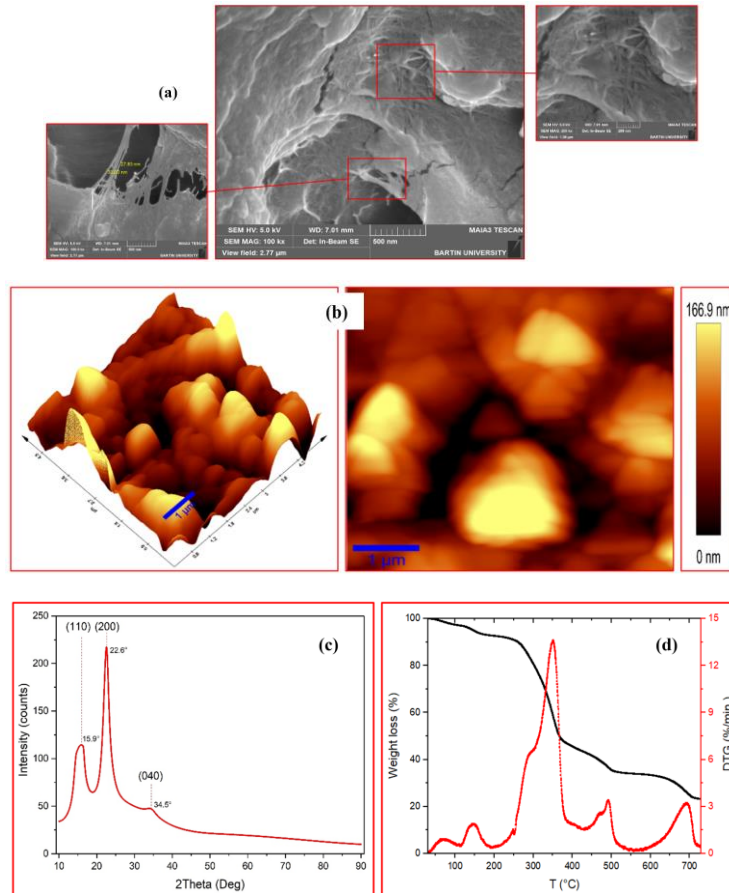
Örneklerin istatistiksel analizi için SPSS 16 istatistiksel yazılım paketi kullanılmıştır. Tüm örnekleri %95 anlamlılık düzeyinde ( $p < 0.05$ ) değerlendirmek için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) kullanılmış ve ardından gruplar arasında anlamlı bir fark olup olmadığını görmek için Duncan testi kullanılmıştır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Selüloz nanofibrillerin SEM, AFM, XRD ve TGA görüntüleri ve açıklamaları, PVA'nın, Köpüksüz PVA, Köpüksüz PVA-CNF%0,25, Köpüksüz PVA-CNF%1, köpüklü PVA, köpüklü PVA-CNF%0,25 ve köpüklü PVA-CNF%1 SEM görüntüleri ve açıklamaları, XRD ve TGA eğrileri ve sonuçları verilmiştir. CNF'ler ile köpürtülmemiş ve köpürtülmüş PVA'nın mekanik karakterizasyonu grafiği ve açıklamaları, Dijital görüntü korelasyon analizi ile numunelerin gerilme analizi ile yük altındaki örneklerin tepkilerinin analizi yapılmıştır.

#### 3.1. Selüloz Nanofibrillerin Karakterizasyonu

Kaktüs biyokütlesinden elde edilen CNF'nin SEM, AFM, XRD ve TGA görüntüleri (Şekil 3.1a, b, c, d) 'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1: Kaktüs liflerinden elde edilen selüloz nanofibrillerin karakterizasyonu SEM (a), AFM (b), XRD (c), TGA (d)

(Şekil 3.1a)'da, CNF pürüzsüz yüzeylere sahip nanofibriller olarak gözlenmiş ve CNF'nin çapları genellikle 25 nm ile 35 nm arasında değişmiştir. CNF'nin morfolojisi ve çaplarının elde edilen biyokütle kaynaklarına ve proses koşullarına bağlı olduğu daha önceki çalışmalarda tespit edilmiştir (Qi vd., 2020; Yu vd., 2021; Barhoum vd., 2022). Nanomalzemelerin morfolojisini SEM ile incelemek kolay değildir ve bu nedenle yapıyı tespit etmek için AFM analizi kullanılmış ve CNF'nin çaplarının temassız mod kullanılarak AFM ile 3D ölçekte 96 nm ila 153 nm arasında değiştiği belirlenmiştir.

AFM görüntülerinde, CNF'nin yüzey topografisi, (Şekil 3.1b)'de verildiği gibi farklı yüksekliklere sahip CNF çapları nedeniyle pürüzlü bir yüzeydi. (Şekil 3.1c, d) CNF'nin XRD ve TGA/DTG analizlerini göstermektedir. CNF'nin XRD deseni 15.9° (110), 22.6° (200) ve 34.5° (040) olarak tespit edilmiştir. Kristalite hesaplamalarına göre, CNF'nin kristalitesi ve kristal boyutu %77,5 ve 4,1 nm olarak hesaplanmıştır. TG analizi CNF'nin termal davranışını (Şekil 3.1d)'de verildiği gibi göstermektedir. CNF, suyun buharlaşması nedeniyle 100-150 °C'de, selülozun ayrışma reaksiyonları için 200-400 ° ve lignin dahil bazı safsızlıkların ayrışma reaksiyonları nedeniyle 400-700 C'de ayrışma noktalarına sahiptir. CNF (Şekil 3.1d)'de gösterildiği gibi 700°C'de yaklaşık %78 kütle kaybı sergilemiştir, ancak CNF'deki düşük ağırlık kaybı, hidrolize CNF'lerde sülfat gruplarının varlığını gösterebilir; burada sülfat grupları alev geciktirici olarak işlev görür ve Tiwari ve Hihara (2009) tarafından sunulduğu gibi yüksek sıcaklıklarda kömürleşmiş kalıntıların içeriğini artırır. DTG eğrileri 150-200 °C'de bir ayrışma zirvesi göstermiş ve maksimum kütle kaybının meydana geldiği sıcaklık (DTG<sub>max</sub>) (Şekil 3.1d)'de gösterildiği gibi 350 °C'de tespit edilmiştir. Radakisnin ve arkadaşları (2020) 50-100°C ve 200-350°C olmak üzere iki aşamalı bozunma tespit etmiş ve bozunma noktalarının kimyasal parametreler, safsızlık oranı, kristallik indeksi ve selüloz türü ile üretim ve analiz sırasında sıcaklık, ısıtma süresi ve atmosferik koşulları içeren ortamdan etkilendiğini belirtmiştir. Tablo 3.1, elde edilen CNF'nin XRD ve TG eğrilerinin özetini göstermektedir.

Tablo 3.1: CNF'nin XRD ve TG eğrilerinin özeti

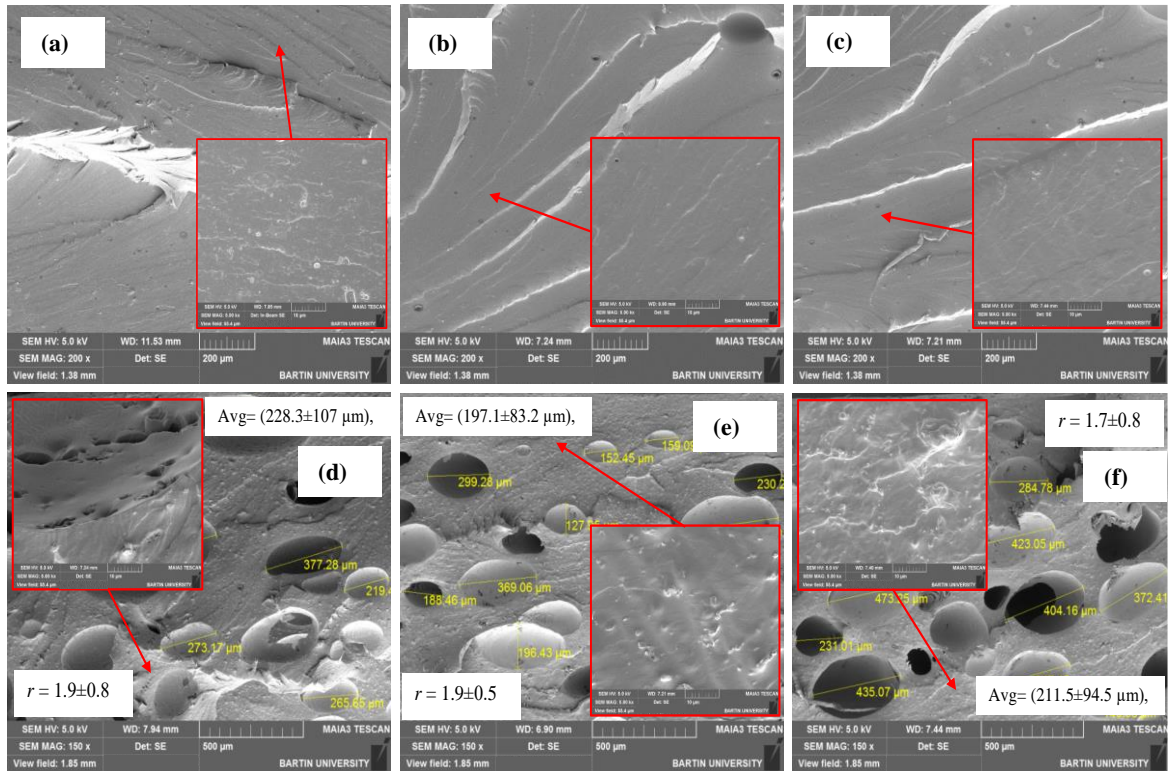
Örnekler	T <sub>10%</sub>	T <sub>50%</sub>	DTG <sub>max</sub>	Ağırlık	2theta	CI	Crlsize
CNF	260.8	367.1	351.5	77.8	15.9, 22.6, 34.5	77.5	4.1

CNF (Şekil 3.1d)'de gösterildiği gibi 700°C'de yaklaşık %78 kütle kaybı sergilemiştir. DTG eğrileri 150-200°C'de bir ayrışma piki göstermiş ve maksimum kütle kaybının meydana

geldiği sıcaklık ( $DTG_{max}$ )  $351.5^{\circ}C$  olarak tespit edilmiştir. CNF, TG ve DTG eğrilerinde gösterildiği gibi suyun buharlaşması için  $100-150^{\circ}C$ 'de, selülozun ayrışma reaksiyonları için  $200-400^{\circ}C$ 'de ve lignin dahil bazı safsızlıkların ayrışma reaksiyonları için  $400-700^{\circ}C$ 'de ayrışma noktalarına sahiptir. DTG eğrileri (Şekil 3.1d)'de gösterildiği gibi  $350^{\circ}C$ 'de maksimum kütle kaybının ( $DTG_{max}$ ) meydana geldiği sıcaklığı göstermiştir. Benzer bozunma davranışı Soni ve Mahmoud (2015), Mahendra vd (2019) ve Poyraz vd., (2023) tarafından da bulunmuştur.

### 3.2. Köpüksüz ve CNF ile köpüklenmiş PVA'nın karakterizasyonu

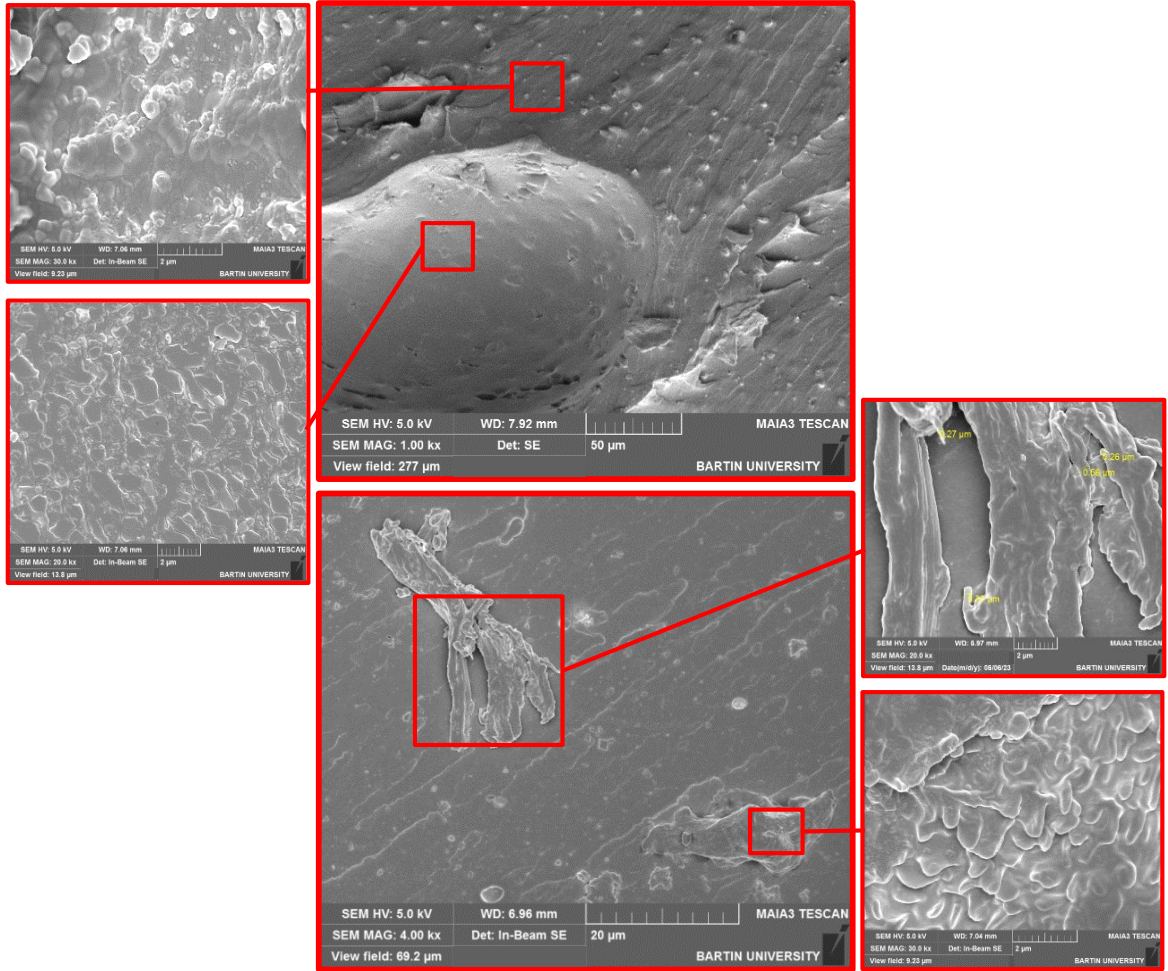
Köpürme işleminden sonra SEM görüntüleri, PVA matrisinde çapı  $100 \mu m$ 'ye varan gözenekler olduğunu göstermektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Köpüksüz ve CNF'li köpüklü PVA'nın SEM görüntüleri Köpüksüz PVA (a), Köpüksüz PVA-CNF%0,25 (b), Köpüksüz PVA-CNF%1 (c), köpüklü PVA (d), köpüklü PVA-CNF%0,25, (e) köpüklü PVA-CNF%1 (f)

Bu gözenekler PVA hacmini arttırmış ve ahşap kaplamalar üzerinde daha geniş bir alana yayılmasını sağlamıştır. Bu sayede PVA'nın yapıştırma etkinliği artmıştır. Çeşitli reçinelerin ahşap yüzeyinde daha geniş yüzeylere yayılması bazı bilimsel çalışmalarla incelenmiştir

(Kelleci vd., 2022; Ergün vd., 2023; Ferreira vd., 2023). Temiz PVA 70  $\mu\text{m}$  ila 710  $\mu\text{m}$  aralığında açık hürelere sahipti. Köpüklü PVA'ya CNF eklenmesi, hücre boyutlarını %0,25 CNF içeren köpüklü PVA için 70  $\mu\text{m}$  ila 480  $\mu\text{m}$  ve %1 CNF içeren köpüklü PVA için 90  $\mu\text{m}$  ila 450  $\mu\text{m}$  aralığında azaltmış ve PVA matrisindeki tüm hücreler heterojen bir yapıya sahip olmuştur. 25CNF ve %1 CNF içeren köpüklü PVA'nın ortalama hücre boyutu/boyut oranı sırasıyla  $228,3 \pm 107 \mu\text{m} / 1,9 \pm 0,8$ ,  $197,1 \pm 83,2 \mu\text{m} / 1,9 \pm 0,5$  ve  $211,5 \pm 94,5 \mu\text{m} / 1,7 \pm 0,8$  olarak ölçülmüştür. CNF ilavesinin, Şekil 3.2'de görüldüğü gibi, köpüksüz ve köpüklü PVA matrisinin morfolojik yapısını iyileştirdiği bulunmuştur.

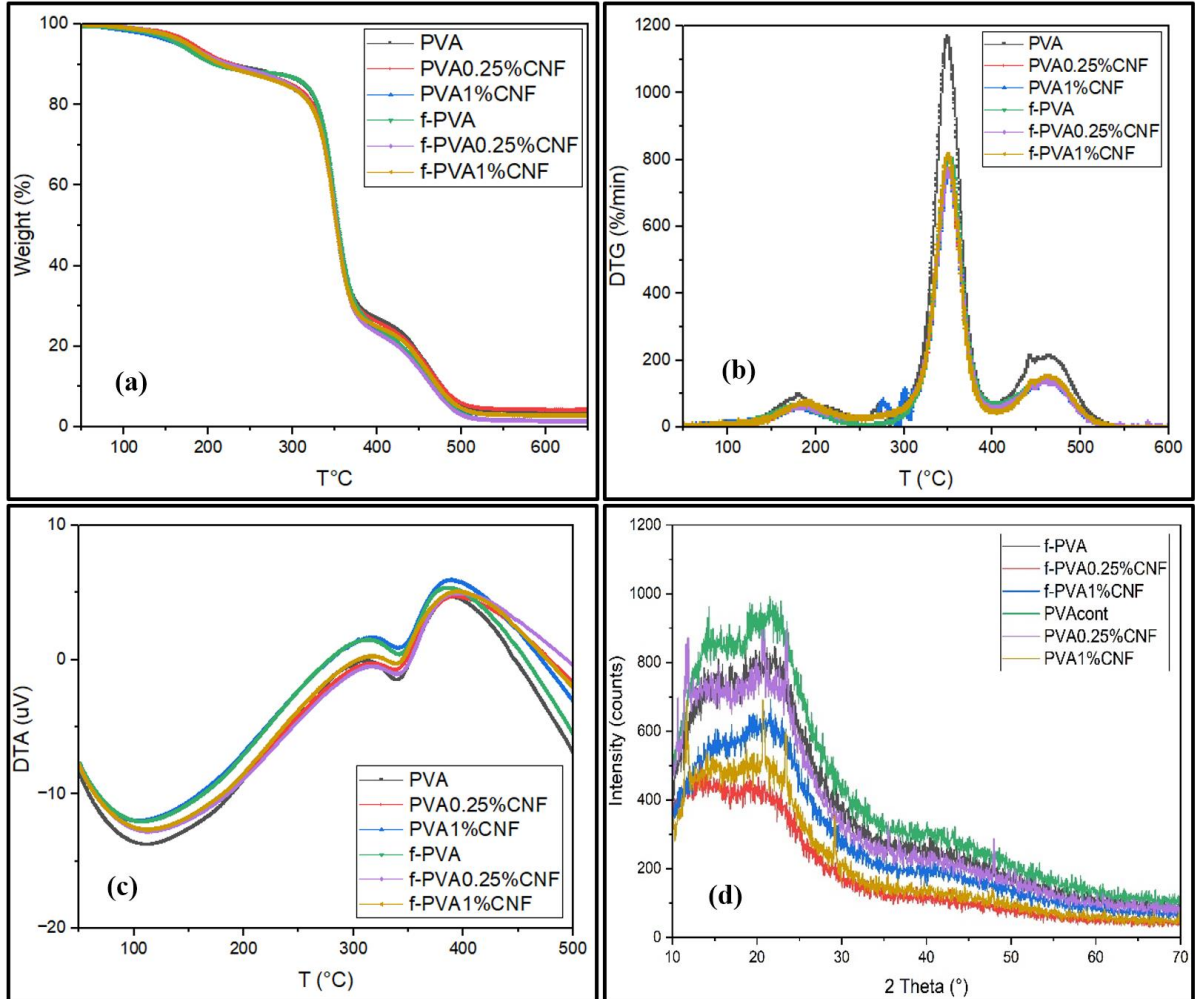


Şekil 3.3: Köpüksüz ve CNF'li köpüklü PVA'da kırılan bölümlerin SEM görüntüleri

Sonuç olarak, SEM CNF ilavesinin hem daha küçük hücre çapı hem de gelişmiş morfolojik yapı sağladığını göstermiştir. Kaya vd., (2024) tarafından yapılan çalışmalarda, mikro ve nano kristal selüloz ve CNF içeren selülozik dolgu maddelerinin genellikle köpük hücre çaplarını azalttığı ve polimerik malzemelerdeki köpük yoğunluğunu arttırdığı bulunmuştur. Köpüklü PVA matrisinin CNF ile güçlendirilmesi, saf köpüklü PVA'ya göre daha pürüzsüz

bir yapı ile sonuçlanmış ve özellikle %1 CNF içeren köpüklü PVA'da köpük hücrelerinin en boy oranı daha düşük olmuştur ( $r = 1,7$ ). CNF dağılımı genel olarak homojen olmakla birlikte (Şekil 3.3a, b)'de görüldüğü gibi bazı yerlerde nanofibril ve nanofibril gruplarının kümelendiği tespit edilmiştir. Ayrıca (Şekil 3.3c, d)'de görüldüğü gibi, nanofibril gruplarının matris içinde yığılması nedeniyle yüzey dalgalanmaları tespit edilmiştir.

Köpük hücresi boyutu ve köpük yoğunluğu, köpüklü malzemelerin termal davranışı ve kararlılığı üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir (Wang vd., 2022) ve bu nedenle (Şekil 3.4a, b ve c)'de görüldüğü gibi TG-DTG ile numuneler üzerinde termal çalışmalar yapılmıştır. Numunelerin kimyasal yapısı ve kristallliği XRD ile incelenmiş ve elde edilen XRD desenleri (Şekil 3.4d)'de verilmiştir.



Şekil 3.4: Köpüksüz ve CNF'li köpüklü PVA'nın XRD ve TGA eğrileri

Tablo 3.2: XRD ve TGA eğrilerinden elde edilen sonuçların özeti. XRD ve TGA eğrilerinden elde edilen sonuçların özeti

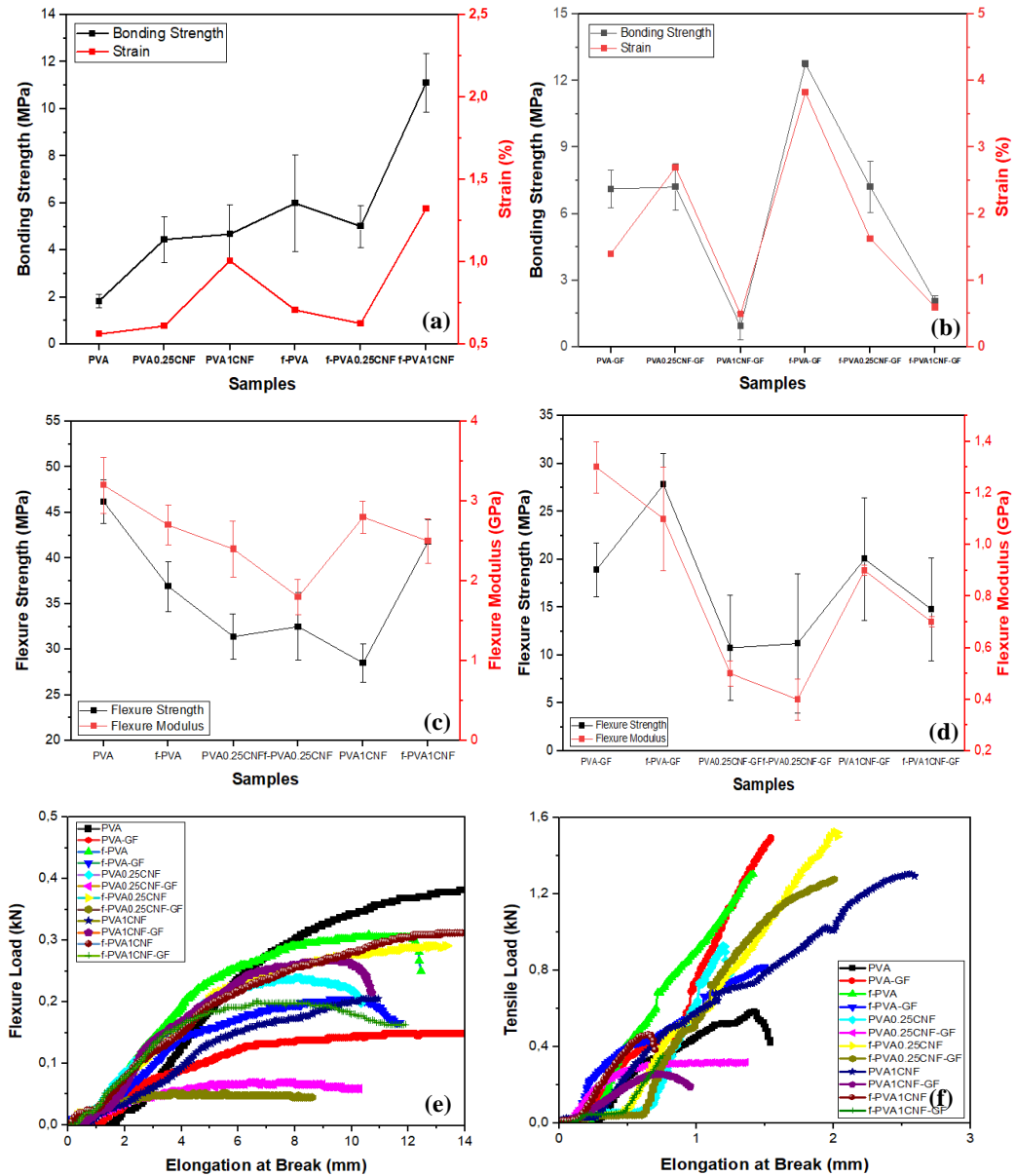
Örnekler	T <sub>10%</sub>	T <sub>50%</sub>	DTG <sub>max</sub>	Td	Ağırlık	2theta	CI
PVA	229.8	353.5	349.1	339.6	96.4	14.3, 21.5	32.9
PVA%0,25CNF	229.3	353.2	350.3	339.7	95.6	11.9, 23.5	37.7
PVA1%CNF	220.1	352.7	350.5	341.8	97.2	11.7, 21.2	38.9
f-PVA	210.5	354.1	351.2	341.4	98.3	15.4, 22.1	27.8
f-PVA%0,25CNF	224.9	351.9	350.4	340.8	98.4	13.4, 20.1	29.6
f-PVA1%CNF	215.5	351.9	349.8	340.1	97.1	14.7, 21.6	28.5

(Şekil 3.4a, b, c) numuneler 100 °C ila 650 °C sıcaklık aralıklarında üç termal bozunma davranışı sergilemiştir. İlk termal bozunma, su ve uçan bileşiklerin kaybına bağlı olarak 100 °C - 200 °C'de, ikinci bozunma ise CNF ve PVA bileşenlerinin ayrışmasına bağlı olarak 250 °C ile 400 °C arasındaki sıcaklıklarda meydana gelmektedir. Son bozunma 400 °C - 600 °C sıcaklık aralığında, Holland ve Hay (2002) ve Hong vd., (2018) tarafından sunulduğu gibi kısmen ayrılmış CNF ve PVA'nın oksidasyonundan kaynaklanıyor olabilir. Önceki çalışmalar, düşük sıcaklıklarda polimer yan zincirlerinde asetat grubu eliminasyonunun meydana geldiğini ve daha sonra yüksek sıcaklıklarda polimer omurgasının parçalandığını göstermiştir (Holland ve Hay, 2002; Aydemir vd., 2016; Hong vd., 2018). Tablo 3.2, hem CNF hem de köpürtme işleminin genellikle T ve T<sub>10%50%</sub> değerlerini düşürdüğünü, ancak DTG<sub>max</sub> ve Td değerlerinin CNF ilavesi ve köpürtme işlemi ile arttığını göstermiştir. Termal bozunmadan sonra, numunelerin uçucu olmayan kalıntısının %5'in altında olduğu ve Tablo 3'te görüldüğü gibi %95'in üzerinde bir ağırlık kaybı meydana geldiği tespit edilmiştir. 3. Sonuç olarak, CNF ilavesi ve köpürtme işleminin saf PVA'nın termal stabilitesi ve termal bozunma davranışı üzerinde düşük bir iyileştirme etkisi olduğu ve hem CNF ilavesinin hem de köpürtme işleminin termal stabiliteyi hafifçe artırdığı bulunmuştur. Farklı kompozit film türleri için benzer sonuçlar Kaboorani vd., (2012), Aydemir vd., (2014b), Bardak vd., (2016) ve Aydemir vd., (2016) tarafından da rapor edilmiştir. Örnekler (Şekil 3.4d) ve Tablo 3.2'de görüldüğü gibi 11° ile 24° arasında bir desen sergilemiştir. XRD desenleri birbirine benzemektedir ancak köpüklenme işlemi ve CNF yüklemesinden dolayı numunelerde bazı kaymalar oluşmuştur. Kristallik, polimerlerin mekanik performansını etkilediği (Song vd., 2016) için kristallik, Gauss yöntemine göre XRD modeliyle hesaplanmıştır. Kristallik 27,8° ile 38,9° aralığında bulunmuştur ve CNF ilavesinin kristallığı arttırdığı gözlemlenmiştir ancak köpürtme işlemi genel olarak kristallığı azaltmıştır. Patel vd., (2014) selülozik liflerin genel olarak kristallığı arttırdığını, liflerin yükleme oranının ise selülozik liflerin yüksek

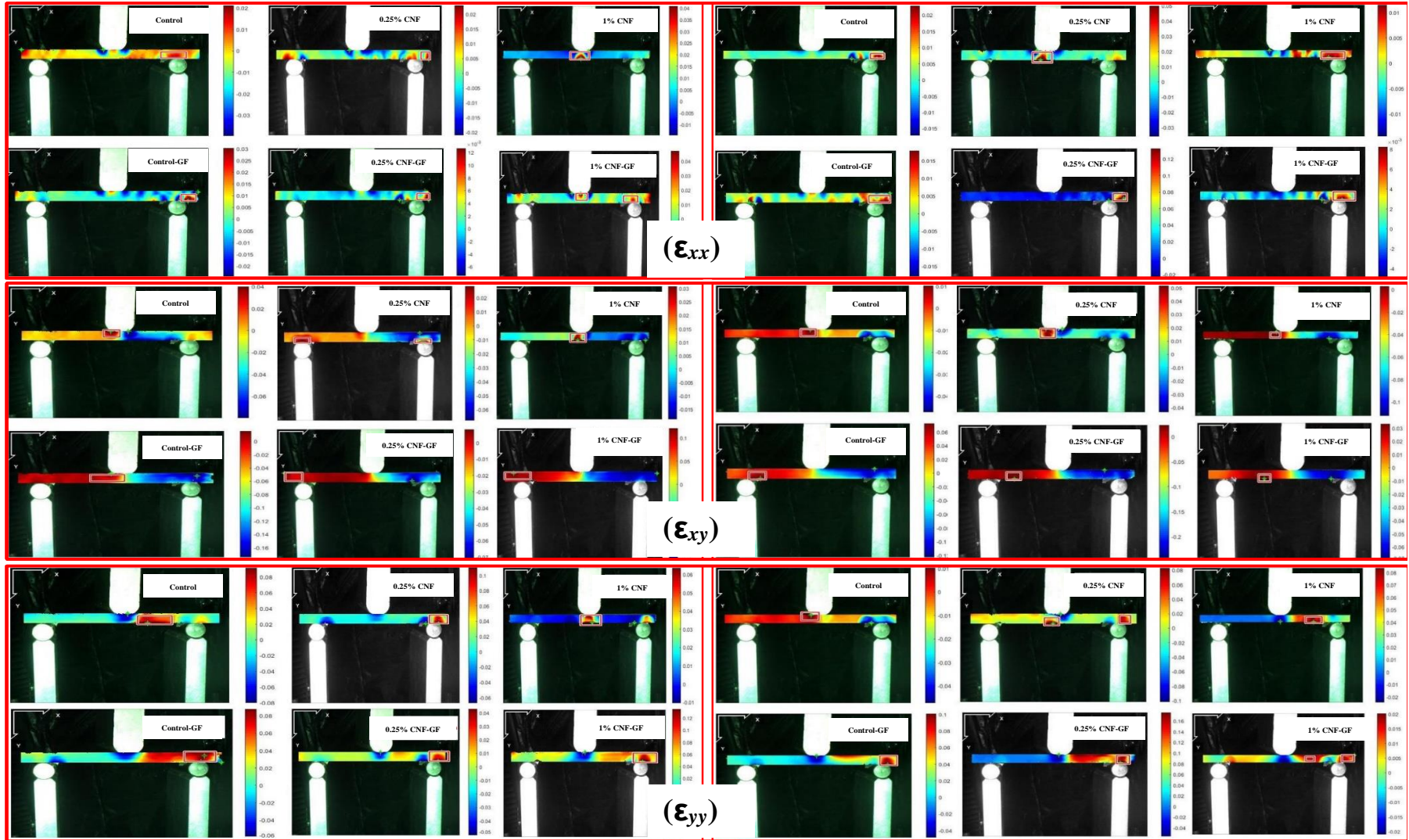
kristallik oranına bağı olarak kristallığı daha da arttırdığını bulmuşlardır.

### 3.3. Mekanik Özellikler

Yapısal kontrplak panellerden ahşap kaplamalar, köpüklü/köpüksüz PVA ve CNF ile bağlanarak, dokuma cam kumaşları (GF) kullanıldı ve kontrplak panellerin ahşap kaplamalar arasındaki yapışma dayanımı, eğilme dayanımı ve modülü Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5: CNF'ler ile köpürtülmemiş ve köpürtülmüş PVA'nın mekanik karakterizasyonu



Şekil 3.6: Dijital görüntü korelasyon analizi ile numunelerin gerilme analizi

Ağaç kaplamalar arasındaki bağlanma ve arayüz etkileşimi, uygulama alanında sürdürülebilir bir hizmet süresi için hayati öneme sahiptir ve bu nedenle bağlanma kalitesinin belirlenmesi gerekmektedir.

Şekil 3.5, örneklerin bağlanma dayanımını göstermektedir ve köpürme işlemi, saf PVA'nın bağlanma dayanımını %200 artırmıştır (2 MPa'dan 6 MPa'ya), CNF eklenmesi ise bağlanma dayanımını %84 artırmıştır (6 MPa'dan 11 MPa'ya). Ancak, GF içeren kontrplakların bağlanma dayanımı, köpüklü/köpüksüz PVA ile CNF eklenmesi durumunda azalmıştır, saf köpüklü PVA hariç. Buradan, köpürme işleminin PVA reçinesinin daha geniş bir yüzeye yayılmasına ve GF ve ahşap kaplamaların daha fazla temas yüzeyi dağıtmasına katkı sağladığı ve bu durumun GF içeren kontrplakların bağlanma dayanımını iyileştirdiği söylenebilir.

(Şekil 3.5a, b)'de görüldüğü gibi, köpürme işlemi ve CNF eklenmesiyle gerilme artmış ve panellerin çekme testi sırasında daha fazla yük taşıyabileceği gösterilmiştir; buradan, köpürme işlemi ve CNF eklemenin PVA'nın bağlanma dayanımını sağladığı söylenebilir. Esneklik dayanımı ve modülü Şekil 3.5 (c ve d)'te verilmiştir ve hem esneklik dayanımı hem de modül genellikle azaldı ve GF, köpüklü PVA ile bağlanmış kontrplak dışında esneklik modülünde herhangi bir iyileştirme sağlamadı. (Şekil 3.5e, f)'te kopma uzaması (EatB) belirlendi ve CNF'li köpüklü/köpüksüz örnekler için EatB genellikle saf PVA'dan düşüktü. GF, EatB'de bir iyileştirme sağladı. Ancak, GF içeren örnekler için EatB'nin GF içermeyen örneklerden düşük olduğu bulundu. Araştırma, örneklerin maksimum yük altındaki yapısal davranışını görsel olarak karşılaştırdı.

Dijital görüntü korelasyonu (DIC) teknolojisi kullanılarak elde edilen görüntüler (Şekil 3.6), örneklerin yük altındaki detaylı tepkilerini ortaya koydu. Köpüklü PVA ile bağlanmış kontrplak, malzemenin heterojen veya gözenekli yapısı nedeniyle maksimum yük altında daha düzensiz gerilim dağılımları sergiledi. Bu durum, malzemenin farklı bölgelerinde değişken gerilmelere yol açabilir. Buna karşın, köpüksüz PVA ile bağlanmış kontrplakta gerilim dağılımlarının daha homojen ve düzenli olduğu bulundu, bu da yoğun ve homojen yapısal özelliklerin yük altında daha öngörülebilir ve tutarlı davranış sergilediğini gösterir. Köpüklü/köpüksüz 0,25% CNF'li kontrplak-GF'de daha yüksek gerilim değerleri gözlemlendi, bu da CNF ve cam fiber takviye oranının malzemenin mekanik davranışı üzerinde belirleyici olduğunu ve dikkatle incelenmesi gerektiğini gösterir. Köpüklü PVA'lı

kontrplakın heterojen yapısı uygulama alanlarında potansiyel riskler oluşturabilirken, köpüksüz PVA'lı kontrplak daha tutarlı ve öngörülebilir davranış sergiler. Cam fiber ve CNF takviyesinin malzemelerin yük altındaki performansını nasıl etkileyebileceği incelendi ve CNF takviye oranının önemli olduğu sonucuna varıldı. Sonuç olarak, kontrplak panellerinin mekanik özellikleri ve yapısal bütünlüğü, yüksek performans gerektiren uygulamalar için malzeme seçim süreçlerinde dikkate alınmalıdır. Bu çalışma, malzeme biliminde yük altında malzeme davranışını anlamak için kullanılacak metodolojik bir çerçeve sunmaktadır.

## 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, polivinil asetat (PVA) köpüğünün bağlanma verimliliğini artırmayı amaçlayarak ahşap katmanlar arasındaki etkileşimlerin artmasını ve kontrplak paneller için mekanik özelliklerin iyileştirilmesini sağlamıştır. Cam elyaf (CF) kumaşların ahşap katmanların yapışma kalitesi ve selüloz nanofibrillerin (CNF'ler) PVA'nın morfolojik özellikleri ve yapışma gücü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Prosedürde köpürtücü ajan olarak yumurta akı (EW) kullanılmış ve köpük, PVA ve EW'nin 1000 rpm'de ayarlanmış bir karıştırıcıda birleştirilmesiyle üretilmiştir. Daha sonra, oda sıcaklığında, ahşap kaplamaların yüzeyine hem köpüklü hem de köpüksüz PVA uygulamak için bir fırça kullanılmış ve kaplama katmanları arasına dokuma CF kumaş yerleştirilmiştir. CNF ve CNF'li köpüklü/köpüksüz PVA'nın morfolojik, termal ve yapısal özelliklerinin yanı sıra, oluşturulan kontrplak panellerde çekme gerilimi altında meydana gelen gerilme analizi, yapışma mukavemeti, eğilme mukavemeti ve eğilme modülü incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara dayanarak, selüloz nanofibriller AFM, XRD, SEM ve TG-DTA kullanılarak karakterize edilmiş ve boyutlarının 25 nm ila 35 nm arasında değiştiği bulunmuştur. CNF'de 15.9°, 22.6° ve 34.5°de kristalin pikler görülmüştür. CNF ile köpürtülmüş ve köpürtülmemiş PVA'yı karakterize etmek için kullanılan yöntemler aynıydı. Morfolojik yapıyı ve hücre boyutunu değerlendirmek için SEM kullanılmıştır. XRD desenleri 11.9° ila 23.5° aralığında bulunmuştur. CNF ilavesi ve köpürtme işlemi, TG-DTA ile gösterildiği gibi termal kararlılığı artırmamıştır. Yapışma mukavemeti, köpürtme prosedürü ve CNF ilavesiyle güçlendirilmiştir; bununla birlikte, eğilme mukavemeti ve modülü bu eylemlerin bir sonucu olarak genel olarak azalmıştır ve GF'nin bu önlemler üzerinde hiçbir etkisi olmamıştır. Dijital görüntü korelasyonu (DIC) analizine göre, yükleme altında CNF içeren köpüklü/köpüksüz PVA örnekleri daha büyük bir gerilim dağılımına sahipti.

## KAYNAKLAR

- Aksu, S., Kelleci, O., Aydemir, D. ve Istek, A. (2022). Application of acrylic-based varnishes reinforced with nano fillers for conservation of weathered and worn surfaces of the historical and cultural wooden buildings. *Journal of Cultural Heritage*, 54: 1-11 s.
- Antov, P., Savov, V. ve Neykov, N. (2020). Sustainable bio-based adhesives for eco-friendly wood composites. *A review. Wood Res*, 65 (1): 51-62.
- Arias, A., González-García, S., Feijoo, G. ve Moreira, M. T. (2022). Tannin-based bio-adhesives for the wood panel industry as sustainable alternatives to petrochemical resins. *Journal of Industrial Ecology*, 26 (2): 627-642.
- 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.
- Atar, M. (2006). Melamin reçineli kağıtla kaplanmış yonga levhanın çeşitli malzeme ve tutkallarla yüz yüze yapışma direnci. *Politeknik Dergisi*, 9 (4): 319-324.
- Aydemir, D., Kiziltas, A., Gardner, D.J., Han, Y. ve Gunduz, G. (2011). Selüloz nanofibril takviyeli SMA kompozitlerinin köpüklenmesi. *TAPPI International Conference on Nanotechnology for Renewable Materials*, 32-43.
- Aydemir, D. (2014a). The lap joint shear strength of wood materials bonded by cellulose fiber-reinforced polyvinyl acetate, *BioRes*, 9 (1): 1179-1188.
- Aydemir, D., Kiziltas, A., Gardner, D. J., Han, Y. ve Gunduz, G. (2014b). Morphological characterization of foamed natural filler-reinforced styrene maleic anhydride (SMA) composites. *Journal of Porous Materials*, 21: 1059-1067.
- Aydemir, D., Kiziltas, A., Han, Y., Gardner, D. J. ve Gunduz, G. (2014c). Influence of micro-and nanonatural fillers on mechanical and physical properties of foamed SMA composites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 53 (17): 1825-1831.
- Aydemir, D., Gunduz, G., Asik, N. ve Wang, A. (2016). The effects of poly (vinyl acetate) filled with nanoclays and cellulose nanofibrils on adhesion strength of poplar and Scots pine wood. *Drvna Industrija*, 67 (1): 17-24.
- Aydemir, D., Aksu, O., Bardak, T., Yaman, B., Sözen, E., Yalçın, Ö. Ü. ve Koçan, N. (2024). Mechanical Characterization and Strain Analysis Applied to the Heat Treatment of Wood Materials, by Means of Digital Image Correlation. *BioResources*, 19 (2): 3010-3030.
- Bakır, K., Aydemir, D., Bardak, T. ve Kartal, M. E. (2022). Thermal, morphological, rheological and deformation under mechanical loading analyses of recycled polyethylene terephthalates. *International Polymer Processing*, 37 (3): 287-302.

- Bardak, T., Tankut, A. N., Tankut, N., Sozen, E. ve Aydemir, D. (2016). The effect of nano-TiO<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub> on bonding strength and structural properties of poly (vinyl acetate) composites. *Measurement*, 93, 80-85.
- Bardak, T., Tankut, A. N., Tankut, N., Aydemir, D. ve Sozen, E. (2017). The bending and tension strength of furniture joints bonded with polyvinyl acetate nanocomposites. Maderas. *Ciencia y tecnología*, 19 (1): 51-62.
- Barhoum, A., Rastogi, V. K., Mahur, B. K., Rastogi, A., Abdel-Haleem, F. M. ve Samyn, P. (2022). Nanocelluloses as new generation materials: Natural resources, structure-related properties, engineering nanostructures, and technical challenges. *Materials Today Chemistry*, 26: 101247.
- Bilek, S., Melikođlu, A. Y. ve Cesur, S. (2019). Tarımsal atıklardan selüloz nanokristallerinin eldesi, karakteristik özellikleri ve uygulama alanları. *Akademik Gıda*, 17 (1): 140-148.
- Chrobak, J., Iłowska, J. ve Chrobok, A. (2022). Formaldehyde-free resins for the wood-based panel industry: Alternatives to formaldehyde and novel hardeners. *Molecules*, 27 (15): 4862.
- Dhawale, P., Gadhave, S. ve Gadhave, R. V. (2024). Liquid glucose-polyvinyl alcohol blend wood adhesive modified by citric acid and its effect on physical, thermal, mechanical and performance properties. *Journal of the Indian Academy of Wood Science*.
- Dukarska, D. ve Mirski, R. (2023). Wood-Based Materials in Building. *Materials*, 16 (8): 2987.
- EN 1427 (2012). Plywood - Calculation method for some mechanical properties. European Committee for Standardization: Brussels, Belgium.
- EN 310 (1996) Wood Based Panels—Determination of Modulus of Elasticity in Bending and of Bending Strength. European Committee for Standardization: Brussels, Belgium.
- EN 314-1 (2007). Plywood - Bonding quality - Part 1: Test methods. European Committee for Standardization: Brussels, Belgium.
- EN 314-2 (1994). Plywood - Bonding quality - Part 1: Test methods. European Committee for Standardization: Brussels, Belgium.
- EN 322 (1993). Wood-Based Panels. Determination of Moisture Content. European Committee for Standardization: Brussels, Belgium.
- Ergün, M. E., Ertan, Ö., Yıldırım, N. ve Dalkılıç, B. (2020). Manufacture of wood fiber reinforced polyvinyl acetate rigid foams. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 7 (2): 104-112.

- Ergün, M. E., Ozen, E., Yildirim, N., Dalkilic, B. ve Baysal, E. (2023). Mechanical and thermal properties of polyvinyl acetate foams reinforced with biopolymers. *Cellular Polymers*, 42(3-4): 156-173.
- Ferreira, E. S., Dobrzanski, E., Tiwary, P., Agrawal, P., Chen, R. ve Cranston, E. D. (2023). Insulative wood materials templated by wet foams. *Materials Advances*, 4(2): 641-650.
- Gadhve, R. V. ve Gadhve, S. (2024). Waterz-resistant wood adhesive without plasticizers: synthesis and characterization. *Journal of the Indian Academy of Wood Science*, 21: 135-146.
- Gonçalves, D., Bordado, J. M., Marques, A. C. ve Galhano dos Santos, R. (2021) Non-formaldehyde, bio-based adhesives for use in wood-based panel manufacturing industry a review. *Polymers*, 13 (23): 4086.
- Hafizoğlu, H., Yalınkılıç, M. K., Yıldız, Ü. C., Baysal, E., Peker, H. ve Demirci, Z. (1994). Türkiye bor kaynaklarının odun koruma (emprenye) endüstrisinde değerlendirilme imkanları. Tübitak-Tarım ve Ormancılık Araştırma Grubu Projesi Kod No: TOAG-875, Trabzon.
- He, Y., Liu, K., Zhang, C., Guo, S., Chang, R., Guan, F. ve Yao, M. (2022). Facile preparation of PVA hydrogels with adhesive, self-healing, antimicrobial, and on-demand removable capabilities for rapid hemostasis. *RSC Advances*.
- Holland, B. J. ve Hay, J. N. (2002). The thermal degradation of poly (vinyl acetate) measured by thermal analysis–Fourier transform infrared spectroscopy. *Polymer*, 43 (8): 2207-2211.
- Hong, W., Meng, M., Xie, J., Gao, D., Xian, M., Wen, S., Huang, S. ve Kang, C. (2018). Properties and thermal analysis study of modified polyvinyl acetate (PVA) adhesive. *Journal of adhesion science and Technology*, 32 (19): 2180-2194.
- Hussin, M. H., Abd Latif, N. H., Hamidon, T. S., Idris, N. N., Hashim, R., Appaturi, J. N., Brosse, N., Ziegler-Devin I., Chrusciel, L., Fatriasari, W., Syamani, F. A., Heri, I. A., Lee, S. H., Osman Al Edrus, S. S. A., Lum, W. C., Antov, P., Savov, V., Rahandi Lubis, M. A., Kristak, L., Reh, R. ve Sedliačik, J. (2022). Latest advancements in high-performance bio-based wood adhesives: A critical review. *Journal of Materials Research and Technology*, 21: 3909-3946.
- Kaboorani, A., Riedl, B., Blanchet, P., Fellin, M., Hosseinaei, O. ve Wang, S. (2012). Nanocrystalline cellulose (NCC): A renewable nano-material for polyvinyl acetate (PVA) adhesive. *European Polymer Journal*, 48 (11): 1829-1837.
- Kaya, A. İ., Yalçın, Ö. Ü. ve Aydemir, D. (2024). Effects of Cellulose Micro and Nanocrystals on the Mechanical, Thermal, Morphological, and Structural Properties of Rigid Polyurethanes. *BioResources*, 19 (2): 2842-2862 s.

- Kelleci, O., Koksall, S. E., Aydemir, D. ve Sancar, S. (2022). Eco-friendly particleboards with low formaldehyde emission and enhanced mechanical properties produced with foamed urea-formaldehyde resins. *Journal of Cleaner Production*, 379:134785 s.
- Kelleci, O. ve Köksal, S. E. (2023). Foaming the polyvinyl acetate (PVA) and poly urethane (PU) wood adhesive and characterization. 5th International Conference on Applied *Engineering and Natural Sciences*.
- Kızılkaya, V. (2024). *Doğu kayını (Fagus orientalis Lipsky.)'nda yüksekliğe bağlı morfolojik ve anatomik özelliklerde değişiklikler*. Lisans tezi. Kastamonu Üniversitesi.
- Koroğlu, C. Z. (2016). Bilim kavramının gelişimi ve günümüz sosyal bilimleri üzerine. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 25: 1-15.
- Kristak, L., Antov, P., Bekhta, P., Lubis, M. A. R., Iswanto, A. H., Reh, R. ve Hejna, A. (2023). Recent progress in ultra-low formaldehyde emitting adhesive systems and formaldehyde scavengers in wood-based panels: A review. *Wood Material Science & Engineering*, 18 (2): 763-782.
- Lopez-Suevos, F., Eyholzer, C., Bordeanu, N. ve Richter, K. (2010). DMA analysis and wood bonding of PVAc latex reinforced with cellulose nanofibrils. *Cellulose*, 17: 387-398.
- Mahendra, I. P., Wirjosentono, B., Tamrin, I. H. ve Mendez, J. A. (2019). Thermal and morphology properties of cellulose nanofiber from TEMPO-oxidized lower part of empty fruit bunches (LEFB). *Open Chem*, 17 (1): 526-536.
- Muğla, K. (2010). *Farklı Yüzey Kaplama Malzemelerin MDF Levhaların Yüzey Özellikleri Üzerine Etkileri*, Yüksek Lisans tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Ana bilim Dalı, Bartın.
- Neitzel, N., Hosseinpourpia, R., Walther, T., ve Adamopoulos, S. (2022). Alternative materials from agro-industry for wood panel manufacturing a review. *Materials*, 15 (13): 4542.
- OGM (2013). *Orman Atlası*, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Oktay, S., Kızılcın, N. ve Bengü, B. (2021). Development of bio-based cornstarch-Mimosa tannin-sugar adhesive for interior particleboard production. *Industrial Crops and Products*, 170: 113689.
- Pan, B., Qian, K., Xie, H. ve Asundi, A. (2009). Two-dimensional digital image correlation for in-plane displacement and strain measurement: a review. *Meas. Sci. Technol.* 20: 1-17.
- Patel, A. K., Bajpai, R. ve Keller, J. M. (2014). On the crystallinity of PVA/palm leaf biocomposite using DSC and XRD techniques. *Microsystem technologies*, 20: 41-49.

- Pingan, H., Mengjun, J., Yanyan, Z. ve Ling, H. (2017). A silica/PVA adhesive hybrid material with high transparency, thermostability and mechanical strength. *RSC Advances*, 7: 2450-2459.
- Poyraz, B., Eren, Ş., Subaşı, S. ve Tozluoğlu, A. (2023). Influence of Nanofibrillated Cellulose on Mechanical and Thermal Properties of Polyester Composites. *Celal Bayar University Journal of Science*, 19 (2): 189-195.
- Qi, Y., Zhang, H., Xu, D., He, Z., Pan, X., Gui, S., Dai, X., Fan, J., Dong, X. ve Li, Y. (2020). Screening of nanocellulose from different biomass resources and its integration for hydrophobic transparent nanopaper. *Molecules*, 25 (1): 227.
- Sedliačik, J., Schmidtová, J. ve Šmidriaková, M. (2014). Foaming of polyvinylacetate adhesives – improved technologic parameters for a solid wood gluing process. *Annals of Warsaw University of Life Sciences*, 87: 224-228.
- Shalbfan, A. (2022). Foams in wood composites. *Phenolic Based Foams: Preparation, Characterization, and Applications*, 275-299.
- Siahkamari, M., Emmanuel, S., Hodge, D. B. ve Nejad, M. (2022). Lignin-Glyoxal: A fully biobased formaldehyde-free wood adhesive for interior engineered wood products. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 10 (11) 3430-3441.
- Song, F., Wang, Q. ve Wang, T. (2016). The effects of crystallinity on the mechanical properties and the limiting PV (pressure× velocity) value of PTFE. *Tribology International*, 93, 1-10.
- Soni, B. ve Mahmoud, B. (2015). Chemical isolation and characterization of different cellulose nanofibers from cotton stalks. *Carbohydrate polymers*, 134: 581-589.
- Sözbir, G. D., Bektaş, İ., Ak, A. K. ve Erkan, S. (2021). Farklı Oranlarda Bozunmuş Kayın Lifi Eklenmiş PVA ve PÜ Tutkallarının Yongalevhanın Higroskopik Özellikleri Üzerine Etkisi. *Turkish Journal of Forest Science*, 5 (2): 327-338 s.
- Şen, F. ve Sayman, O. (2007). Seri Çift Cıvata Bağlantılı Çapraz Takviye Edilmiş Tabakalı Kompozit Levhaların Hasar Davranışı. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9 (3): 21-29 s.
- Taniguchi, N. (1974). On the Basic Concept of Nanotechnology. 1 ed. Tokyo. *Japan Society of Precision Engineering*, 18-23.
- Tiwari A. ve Hihara L.H. (2009). Thermal stability and thermos kinetics studies on silicone ceramer coatings: Part 1-inert atmosphere parameters. *Polym. Degrad. Stab.* 94:1754-1771.
- Topaloğlu, E., Ay, N. ve Altun, L. (2013). Denizden yükseklik ve bakının doğu kayını'nın (fagus orientalis lipsky.) odunsu ilişkileri üzerine etkisi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 14 (2): 180-190.

- Türkoğlu, Z., Mert, H. H., Mert, E. H. ve Mert, M. S. (2021). Selüloz Nanofibril İçeren Emülsiyon Şablonlu Gözenekli Polimer Kompozitlerin Hazırlanması ve Gizli Isıl Enerji Depolama Uygulamaları. *Bilecik Seyh Edebali University Journal of Science/Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8 (2).
- Ulcay, Y., Akyol, M. ve Gemci, R. (2002). *Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metotlarının Etkisinin İncelenmesi*. Development. Commission on Sustainable Development, 3rd Session, New York.
- URL-1 (2024). <https://engintopuzkanamis.com/atolyede/tutkal-ve-yapistiricilar-ozellikleri-ve-yapistirma-ipuclari/>, Tutkal ve Yapıştırıcılar: Özellikleri ve Yapım İpuçları, Atölyede (17.10.2024).
- URL-2 (2024). <https://buildglueinfo.com/tr/characterization-and-use-of-pva-glue/>, PVA Tutkalı: Bileşimi, Çeşitleri ve Özellikleri. Build Glue Info, (17.10.2024).
- URL-3 (2024), <https://www.ogm.gov.tr/tr/yararli-bilgiler/haftanin-agaci/kayin>, Kayın Fagus sp.L. (Doğu Kayını) Adlarının Etimolojisi, Orman Genel Müdürlüğü, (08.10.2024).
- URL-4 (2024). [https://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page\\_88.html](https://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_88.html), Biyopolimerler (biopolymers), Prof. Dr. Bilsen Beşergil, (08.10.2024).
- URL-5 (2024). <https://124.im/MUnCLv>, Lif ve Lif Çeşitleri, Doğal, Yapay ve Karışık Lifler, Ders Notu (13.10. 2024).
- Wang, J., Zhang, C., Deng, Y. ve Zhang, P. (2022). A Review of Research on the Effect of Temperature on the Properties of Polyurethane Foams. *Polymers*, 14 (21): 4586.
- Wang, X., Jang, J., Su, Y., Liu, J., Zhang, H., He, Z. ve Ni, Y., (2024). Starting materials, processes and characteristics of bio-based foams: A review.
- Yakar, Z. (2018). Nanoteknolojinin Temelleri, (Editörler: Ersöz, M., Işıtan, A., ve Balaban, M.), *Nanoteknoloji 1*, Bilal Ofset Basım-Yayın & Matbaacılık.
- Yıldırım, N., Ozen, E., Ergün, M. E. ve Dalkılıç, B. (2022) A study on physical, morphological and antibacterial properties of bio polymers reinforced polyvinyl acetate foams. *Materials Research*, 25.
- Yılmaz, A. N. Y. (2018). *PVC Kaplı Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi.
- Yu, S., Sun, J., Shi, Y., Wang, Q., Wu, J. ve Liu, J. (2021). Nanocellulose from various biomass wastes: Its preparation and potential usages towards the high value-added products. *Environmental Science and Ecotechnology*, 5, 100077.

- Yüksek, M. (2011). Cam lifi esaslı poliestere reçineli çok eksenli örgülü örme kompozit yapıların mekanik özelliklerinin geliştirilmesi Doctoral dissertation, Marmara Üniversitesi.
- Zhang, B., Tao, W., Ren, Z., Yue, S. ve Gou, J. (2023). Biodegradable Wastepaper-Based Foam with Ultrahigh Energy-Absorbing, Excellent Thermal Insulation, and Outstanding Cushioning Properties. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 11 (49): 17543-17551.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Ünal FARSAK  
Doğum Yeri ve Tarihi :

### Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : KTÜ Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği  
Yüksek Lisans Öğrenimi : Yönetim Bilişim Sistemleri Tezsiz  
Bildiği Yabancı Diller :  
Bilimsel Faaliyet/Yayınlar :  
Aldığı Ödüller :

### İş Deneyimi

Stajlar :  
Projeler ve Kurs Belgeleri :  
Çalıştığı Kurumlar : Milli Eğitim Bakanlığı 1997-2011 Öğretmen  
Bartın Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanlığı 2011-

### İletişim

E-Posta Adresi :

**Tarih** : 22/08/2024 (Tez Savunma Tarihi)

