



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YAPI MALZEMESİ OLARAK ŞEFFAF AHŞAP

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şakire ŞAHİN

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Şinasi BİNGÖL

TOKAT

Şubat, 2023

JÜRİ KABUL VE ONAY

ŞAKİRE ŞAHİN tarafından hazırlanan “**Yapı Malzemesi Olarak Şeffaf Ahşap**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 25 Ocak 2023 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmzası

Danışman :Dr.Öğr.Üyesi ŞİNASİ BİNGÖL
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi

.....

Üye :Doç.Dr. Serhan İLKENTAPAR
Erciyes Üniversitesi

.....

Üye :Dr.Öğr.Üyesi MURAT ÇAVUŞ
Tokat Gaziosmapaşa Üniversitesi

.....

ONAY

...../...../.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğrt. Üyesi Şinasi BİNGÖL danışmanlığında hazırlamış olduğum “Yapı Malzemesi Olarak Şeffaf Ahşap” adlı yüksek lisans tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

.../.../...

Şakire ŞAHİN

TEŞEKKÜR

Tez yazma sürecinde bana her zaman destek olan başta canım annem Şule ŞAHİN, canım babam Murat ŞAHİN, canım babaannem Emine ŞAHİN ve rahmetli canım dedem Veysel ŞAHİN'e, fikrime değer verip destekleyerek bu tezi yazmama yol açan danışmanım Dr. Öğrt. Üyesi Şinasi Bingöl hocama ve yüksek lisans eğitimim boyunca hakkı geçen İnşaat Mühendisliği bölümü hocalarıma teşekkürü borç bilirim.



ÖZET

YAPI MALZEMESİ OLARAK ŞEFFAF AHŞAP

Şahin, Şakire

İnşaat Mühendisliği ABD

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Şinasi Bingöl

Şubat 2023

Bu çalışmanın amacı, çok eski bir yapı malzemesi olan ahşabı şeffaflaştırarak inşaat mühendisliği alanında kullanılabilecek bir yapı malzemesi elde etmektir. Şeffaf ahşap ülkemizde henüz yeni bir çalışma alanıdır. Özellikle İnşaat Mühendisliği'nde Yapı Malzemesi olarak kullanımı çok azdır. Doğal ahşabın hücre duvarı yapısındaki önemli bileşenlerden biri olan ligninin çıkarılması ile ağartılan ahşap, oluşan boşlukların polimer türüyle doldurulması ile yeni bir malzeme haline getirilir. Yenilikçi bir yapı malzemesi olan şeffaf ahşap; çevre dostu olması, hafif olması, doğal ahşabın aksine optik geçirgenliğe sahip olması gibi özellikler gösterir. Boşluklara doldurulan polimerin optik özellikleri, ışığın ahşap içinden kırılmadan geçmesine olanak sağlar. Genellikle kullanılan petrol bazlı polimerler yerine biyo-bazlı polimerler kullanılması için çalışmalar da devam etmektedir. Çalışmada kavak ve kayın ağacı odunundan farklı doğrultularda kesilerek elde edilen farklı ölçülerdeki numunelerle yedi deneme çalışması yapılmış ikisinde şeffaflık sağlanmıştır. En iyi sonuçlar kavak ağacı odunundan 10×10×1 mm ölçüsünde boyuna doğrultuda kesilerek ve 20×20×1 mm ölçüsünde enine doğrultuda kesilerek elde edilen ahşap numunelerden alınmıştır. Şeffaf ahşap elde etmenin ilk aşaması olan lignin delignifikasyonu, ilk numune 36 gram H₂O ile 144 gram NaClO₂ (sodyum klorit) den elde edilen çözelti içerisinde 1 saat kaynatılarak, ikinci numune ise ağırlıkça %3,5 NaClO₂ (sodyum klorit) çözeltisi içinde 40 dk. kaynatılarak gerçekleştirilmiştir. Ağartma işleminde her ikisinde %6lık hidrojen peroksit çözeltisi kullanılmıştır. Son aşama olan polimer infiltrasyonunda vakumlama cihazında 15'er dakikalık 3 döngü olacak şekilde gliserin ile vakumlama gerçekleştirilmiştir. Gliserinin gıdadan kişisel bakım ürünlerine kadar kullanım alanı bulunmaktadır. Dayanımını arttırmak amacıyla 1:2 oranında sertleştirici (1) ve epoksi (2) karışımıyla elde edilen şeffaf epoksi reçine ile kaplama yapılmış ve sertleşene kadar beklenilmiştir. Şeffaf ahşap, güneş panelleri için kaplama, yapılarda aydınlık alan sağlama, iç mekan zemin, duvar dekorasyonu gibi kullanım alanlarına sahip olabilecektir. Ahşabın şeffaf hale getirilerek farklı özellikleriyle kullanımı İnşaat Mühendisliği açısından dikkat çekici olacağını göstermektedir. Bu çalışma kapsamında farklı türde ahşap malzemeler temin edilerek şeffaf hale getirilecektir. Bu yönde çalışmaların yapılarak literatüre katkılar yapılması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ahşap, Şeffaflaştırma, Optik geçirgenlik

ABSTRACT

TRANSPARENT WOOD AS CONSTRUCTION MATERIAL

Şahin,Şakire

Master's Thesis, Civil Engineering

Advisor: Assist. Prof. Şinasi Bingöl

February 2023, xi + 46 pages

The aim of this study is to obtain a building material that can be used in the field of civil engineering by making wood, which is a very old building material, transparent. Transparent wood is a new field of work in our country. Especially in Civil Engineering, its use as a building material is very low. The wood, which is bleached by removing lignin, one of the important components in the cell wall structure of natural wood, is transformed into a new material by filling the voids formed with polymer type. Transparent wood, an innovative building material; It exhibits features such as environmental friendliness, light weight, and optical permeability unlike natural wood. The optical properties of the polymer filled into the voids allow light to pass through the wood without refraction. Studies are also continuing to use bio-based polymers instead of the generally used petroleum-based polymers. In the study, samples obtained by cutting in different directions from poplar and beech wood were used. As a result of seven trial studies, transparency was achieved in two of them. The best results were obtained from wood samples obtained from poplar wood by cutting in the longitudinal direction at the size of 10×10×1 mm and cutting from a cross-section of 20×20×1 mm. In lignin delignification, which is the first step of obtaining transparent wood, the samples are boiled for 1 hour in the solution obtained from 36 grams of H₂O and 144 grams of NaClO₂ (sodium chloride) in the first sample, and in the second sample, the samples are mixed in a solution of 3.5% by weight NaClO₂ (sodium chloride) for 40 minutes. In the bleaching process, 6% hydrogen peroxide solution was used in both. In the last stage of polymer infiltration, vacuuming was carried out with glycerine for 3 cycles of 15 minutes each. Considering the use of glycerin, which is used as a polymer, from food to personal care products, it is the most harmless polymer ever used. In order to increase its strength. Transparent epoxy resin obtained with a 1:2 mixture of hardener (1) and epoxy (2) was coated and waited until it hardened. Transparent wood can have usage areas such as covering for solar panels, providing light in buildings, indoor floor and wall decoration. The use of wood with different properties by making it transparent shows that it will be remarkable in terms of Civil Engineering. Within the scope of this study, different types of wooden materials will be procured and made transparent. Studies in this direction are expected to contribute to the literature.

Keywords: Wood, Transparency, Optical transmittance

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT.....	i
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLO LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR	xi
BÖLÜM I.....	1
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Problem.....	1
1.2. Amaç.....	2
BÖLÜM II	3
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ	3
BÖLÜM III.....	8
3. MALZEME VE YÖNTEM	8
3.1. Malzemeler	8
3.1.1. Lignin delignifikasyonunda kullanılan malzemeler.....	9
3.1.2. Ağartmada kullanılan malzemeler	10
3.1.3. Polimer infiltrasyonunda kullanılan malzemeler	11
3.1.4. Şeffaf ahşabı kaplamada kullanılan malzeme	12
3.1.5. Kullanılan sarf malzemeler	12
3.2. Yöntem.....	13
BÖLÜM IV	27

4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	27
4.1. Bulgular.....	27
4.2. Tartışma.....	40
BÖLÜM V	41
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	41
5.1. Sonuçlar.....	41
5.2. Öneriler	42
6. KAYNAKLAR	42
7. EKLER	45
7.1. Ek 1 Özgeçmiş	45

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1. Çalışmada kullanılan ahşap numuneler ve lignin delignifikasyonunda kullanılan kimyasallar	9
Tablo 2. Ağartma işleminde kullanılan kimyasallar	10
Tablo 3. Polimer infiltrasyonunda kullanılan malzemeler	11
Tablo 4. Sarf malzemeler.....	12
Tablo 5. İşlemlerden önceki ahşap numuneler	20
Tablo 6. Üçüncü deneme çalışması sonucunda elde edilen numuneler	29
Tablo 7. Dördüncü deneme çalışması sonucunda elde edilen numuneler	29
Tablo 8. Yedinci deneme çalışması sonucunda elde edilen numune	31
Tablo 9. Yedi deneme çalışması dışında yapılan 3 çalışmanın sonuçları	32
Tablo 10. Sketcup programında şeffaf ahşabın kullanım alanlarının basitçe gösterilmesi.....	33
Tablo 11. İlk numunenin SEM görüntüleri.....	34
Tablo 12. İkinci numunenin SEM görüntüleri.....	35
Tablo 13. Altıncı numunenin SEM görüntüleri	36
Tablo 14. Yedinci numunenin SEM görüntüleri.....	37

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Ding ve ark., (2022), balsa ağacı ahşabından hidrofobik ve şeffaf ahşap	4
Şekil 1.2. Rai ve ark., geliştirmekte olan teknolojileri ve stratejik ölçeklendirme çerçevesini kullanarak şeffaf ahşap üretiminin yaşam döngüsü değerlendirmesi.....	5
Şekil 1.3. Yang ve ark., balsa ağacından elde edilen ahşap numunelerden optik ve elektriksel işlevleri yerine getirirken yüksek fiziksel deformasyona dayanabilen iletken ve esnek şeffaf ahşap	6
Şekil 1.4. Xia ve ark., Bina enerji tasarrufu için yeni yeşil enerji depolama kompozitleri olarak faz değişim ısı depolamalı şeffaf ahşap.....	7
Şekil 2.1. A-A Kesiti Ahşap Yapısının Enine Doğrultusu B-B Kesiti Ahşap Yapısının Boyuna Doğrultusu	8
Şekil 2.2. Şeffaf epoksi reçine	12
Şekil 3.1. Çözeltideki NaOH miktarı	13
Şekil 3.2. Çözeltideki Na ₂ SO ₃ miktarı	13
Şekil 3.3. Çözeltinin hazırlanması	14
Şekil 3.4. Kayın ağacı odunundan elde edilen numuneler	14
Şekil 3.5. Numunelerin çözelti içerisine atılması	14
Şekil 3.6. Yüksek sıcaklıkta bir süre geçtikten sonra çözelti rengi	14
Şekil 3.7. 40 dk. sonra çözeltinin rengi	14
Şekil 3.8. Numuneler alındıktan sonra çözeltinin dökülmesi	14
Şekil 3.9. Numunelerin saf su ile durulanması.....	15
Şekil 3.10. Kaynayan saf su içerisindeki numuneler	15

Şekil 3.11. Numunelerin saf su ile 2.kez durulanması	15
Şekil 3.12. %6 lık H ₂ O ₂ çözeltisi içerisinde numuneler	15
Şekil 3.13. Ağartma işlemi tamamlanmış numuneler	15
Şekil 3.14. Su banyosunda metil metakrilat ve AIBN den PMMA elde edilmesi	16
Şekil 3.15. Metil metakrilat ve AIBN'nin yoğunlaşması	16
Şekil 3.16. Numunenin etüve konulması.....	16
Şekil 3.17. 80 °C deki etüv	16
Şekil 4.1. İşlenmemiş kavak ağacı odunundan elde edilmiş numune	17
Şekil 4.2. Numunenin çözelti içerisine atılması.....	17
Şekil 4.3. Kaynayan çözelti içerisindeki numune	17
Şekil 4.4. Numunenin 70 °C deki etüve koyulması	17
Şekil 5.1. Lignin delignifikasyonu	18
Şekil 5.2. %6lık H ₂ O ₂ çözeltisi içerisindeki numuneler	18
Şekil 5.3. Teksol içerisindeki numuneler	19
Şekil 5.4. Vakum işlemi	19
Şekil 5.5. Numunelerin şeffaf epoksi ile kaplanması.....	19
Şekil 6.1. Lignin delignifikasyonu	20
Şekil 6.2. %6lık H ₂ O ₂ çözeltisi içerisindeki numuneler	20
Şekil 6.3. Kaynayan %6lık H ₂ O ₂ çözeltisi içerisindeki numuneler	20
Şekil 6.4. Teksol içerisindeki numuneler	21
Şekil 6.5. Vakum işlemi	21
Şekil 6.6. Numunelerin şeffaf epoksi ile kaplanması	21
Şekil 7.1. Numunenin çözelti içerisine atılması.....	22
Şekil 7.2 Lignin delignifikasyonu	22

Şekil 7.3. Numunenin saf sudan geçirilmesi.....	22
Şekil 7.4. %6lık H ₂ O ₂ çözeltisi içerisindeki numuneler	22
Şekil 7.5. Teksol içindeki numune	23
Şekil 7.6. Vakum işlemi	23
Şekil 7.7. Numunenin şeffaf epoksi ile kaplanması	23
Şekil 8.1 . Kavak ağacı odunundan elde edilen numunenin lignin delignifikasyonu	24
Şekil 8.2. Numunenin %6lık H ₂ O ₂ çözeltisine konulup ağartılması.....	24
Şekil 8.3. Numunenin üzerine polipropilen glikol eklenmesi	25
Şekil 8.4. Numunenin polimer infiltrasyonu için vakum işlemi.....	25
Şekil 9.1. İşlem görmemiş ahşap	26
Şekil 9.2. Ahşabın lignin delignifikasyonu.....	26
Şekil 9.3. Numunenin ağartma işlemi	26
Şekil 9.4. Numunenin üzerine gliserin eklenmesi	26
Şekil 9.5. Ahşap içerisine gliserin sızdırılması.....	26
Şekil 10.1. Çalışma sonucu elde edilen numune.....	27
Şekil 10.2. Numunenin esnekliği	27
Şekil 10.3. Etüvden çıkan numune.....	27
Şekil 10.4. Çalışma sonucu elde edilen numune.....	27
Şekil 10.5. Numunenin şeffaflığı	28
Şekil 10.6. Numunenin esnekliği	28
Şekil 10.7. İşlem görmemiş ahşabın optik geçirgenliği	28
Şekil 10.8. Çalışma sonucu elde edilen numunenin optik geçirgenliği	28
Şekil 11.1. Beşinci deneme çalışması sonucunda elde edilen numune	30
Şekil 12.1. Altıncı deneme çalışması sonucu elde edilen numunenin şeffaflığı.....	30

Şekil 13.1 Yedinci deneme çalışması sonucunda elde edilen ahşabın optik geçirgenliği	31
Şekil 14.1 Yedinci deneme çalışması sonucunda elde edilen şeffaf ahşabın EDAX analizi	38



KISALTMALAR

PVA: Polivinil Alkol

Na₂EDTA: Etilendiamintetraasetik asit disodyum tuzu

PG: Propilen glikol

PEG(200): Polietilen glikol(200)

PMMA: Polimetil metakrilat

AIBN: Azobisisobütironitril

DMAPA: N,N-dimetil propilen diamin

SEM: Taramalı elektron mikroskobu

EDAX: Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi

B ÖLÜM I

1.GİRİŞ

1.1. Problem

Ahşap hafif olması, iyi bir ısı ve ses yalıtım malzemesi olması, dayanıklı ve uzun ömürlü olması, çevre dostu olması, şekil verilmesinin kolay olması gibi özelliklerinden dolayı yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Ahşap, kaynağı yenilenebilen tek yapı malzemesidir. İşlenmesi için az enerji istemesi (aynı miktar alüminyumun ellide biri kadar), dönüşebilir olması üstün ısı yalıtım özellikleri ile birleştirilince onu çağımızın çevre ve enerji sorunlarına en iyi cevap veren malzemesi yapmaktadır (Erdoğan, 2003). Japon Deprem Enstitüsü'nün onayladığı rapora göre depreme karşı en sağlam yapı ahşap kütük evlerdir. Ayrıca Dünya Yeşil Bina Konseyi'nin yakın tarihli raporu küresel karbon emisyonlarının %39-40 nının bina yaşam döngüsü boyunca malzemelerden ve inşaat süreçlerinden geldiğini tahmin etmektedir. Bu nedenle binalarda ahşabın kullanılması ağaçların karbon içermesinden dolayı karbonu depolamanın bir yoludur (Çedbiç, 2022). 1 m²'yi kaplayan bir ahşap duvar inşa edildiğinde, yaklaşık 52 kg karbon depolama kapasitesi elde edilir. Benzer bir beton duvarın yerini ahşap duvar aldığında, betonun üretilmesinin yol açtığı yaklaşık 100 kg'lık CO₂ emisyonu da önlenmiş olur (Puuinfo Ltd., 2020). Ahşap kullanılmasının ağaçları yok edeceği yanlışlığının aksine bilinçli ve izinli ağaç kesimleri sonrasında kesilenden daha fazla ağaç dikilmektedir. Birleşmiş Milletler Avrupa Komisyonunun, bir basın bülteninde bu duruma dikkat çekmek ve ahşap kullanımını yaygınlaştırmak amacıyla “Çevreyi korumak için ağaçları kesin” ifadesine yer verilmiştir. Bu kadar avantaja sahip bir malzeme olan ahşaptan geliştirilen ahşap kompozit malzemeler ve yenilikçi ahşap ürünlerine ülkemizde daha çok önem verilip çalışmalar yapılmalıdır.

1.2. Amaç

Ahşabın işlem görmesi sonucu, ahşaba optik geçirgenlik özelliği kazandırılarak elde edilen yenilikçi bir ürün olan şeffaf ahşap, yapılarda ahşabın kullanım alanını arttıran alternatif bir yapı malzemesidir.

Doğal ahşap şeffaf değildir. Ahşap selüloz, hemiselüloz, lignin gibi bileşenlerden oluşan kompozit bir malzemedir. Ahşaba kahverengi rengini veren lignin, selüloz ve hemiselülozu birbirine bağlayarak ağaçsı yapıyı meydana getirir. Ahşap yapısındaki lignin ışığı emerken selüloz ve hemiselüloz optik olarak şeffaftır. Ahşap ile betonarme arasında benzerlik kuracak olursak selülozik ve hemiselülozik lifler çekme mukavemetini, lignin ise basınç mukavemetini karşılar (Kurtuluş, 2021).

Çok eski bir yapı malzemesi olan ahşabın şeffaflaştırılarak inşaat mühendisliği alanında kullanılabilecek bir yapı malzemesi elde edilmesi amacıyla bu tez çalışması yapılmıştır. Çalışma sonucu elde edilen şeffaf ahşap; çevre dostu olması, doğal ahşabın aksine optik geçirgenliğe sahip olması gibi özellikleri olan yenilikçi bir yapı malzemesidir. Şeffaf ahşap ülkemizde henüz yeni bir çalışma alanıdır. Özellikle İnşaat Mühendisliği'nde Yapı Malzemesi olarak kullanımı çok azdır. Bu yönde yapılan çalışmalar literatüre katkı sağlayacaktır.

Şeffaf ahşap elde edebilmek için öncelikle ışığı emen ligninin ahşaptan uzaklaştırılması gerekir. Lignin uzaklaştırıldıktan sonra ağartma işlemi yapılarak nano-selülozik gözenekli şablon elde edilir. Bu boşluklara polimer doldurularak optik geçirgenliğe sahip şeffaf ahşap elde edilir (Liu ve ark., 2021).

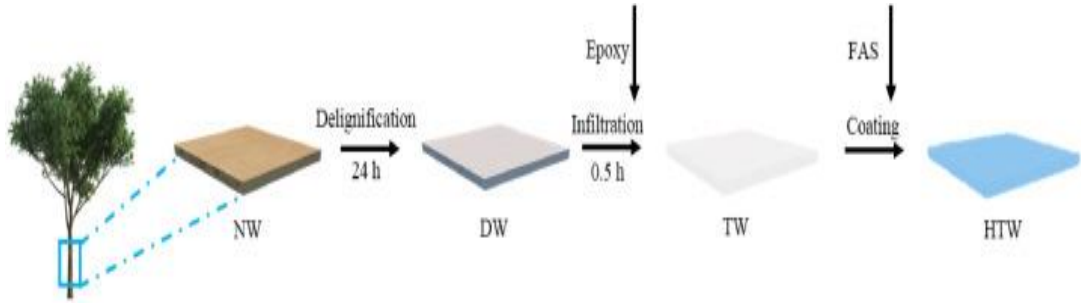
Şeffaf ahşap; güneş panellerinde kaplama, buzlu cama alternatif olma ya da optik geçirgenlik özelliği sayesinde iç mekan duvar dekorasyon malzemesi olarak kullanılabilecektir.

BÖLÜM II

2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

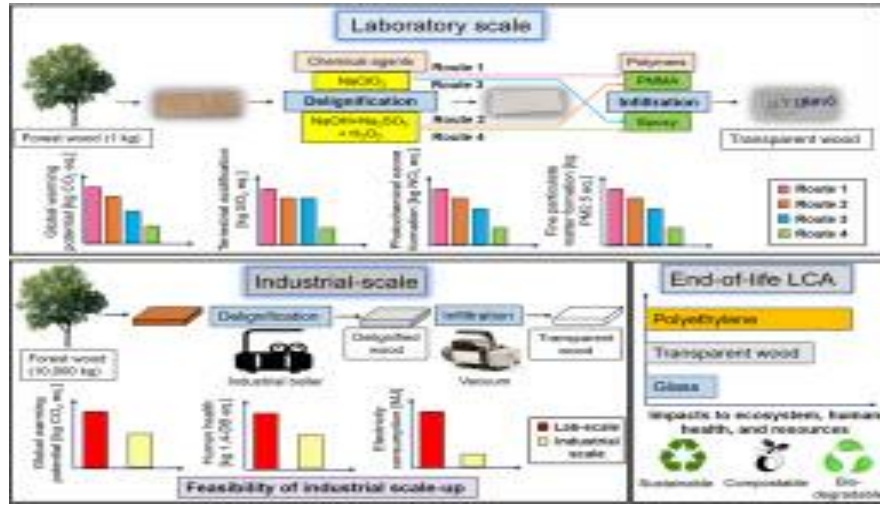
Birçok ülkede farklı malzemelerle farklı özelliklerde şeffaf ahşap çalışmaları yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir.

Çin’de Ding ve ark., (2022), balsa ağacı ahşabından hidrofobik ve şeffaf ahşap elde etmişlerdir. İlk aşama olan lignin delignifikasyonu için %2,5’ lik sodyum klorit çözeltisi hazırlayarak ortam sıcaklığında asetik asit ile çözeltinin pH’ını 3,5’ e ayarlamışlardır. Lignini çıkarmak için 70 °C’ de bir gün ıslatmışlar, kimyasallardan arındırmak için etanol ile her gün değiştirerek 3 gün boyunca yıkamışlardır. Polimer olarak, kütle oranı 2:1 olan epoksi reçine ve kütleleme maddesi 10 dakika karıştırılarak elde edilen emprenye solüsyonu kullanmışlardır. Delignifiye edilmiş ahşaba, emprenye solüsyonun tamamen nüfuz etmesi için vakum altında 30 dakika tutmuşlardır. Vakumdan çıkarılan numuneyi iki silika jel arasına sıkıştırmışlar ve üzerine 1 kg ağırlık koymuşlardır. 60 °C’ de 6 saat kurutarak şeffaf ahşap elde etmişlerdir. %3 ultra saf su ve %95 etanol den oluşan solüsyona %2 perflorodesiltrietoksisilan ekleyip elde ettikleri hidrofobik solüsyonun pH’ ını asetik asit kullanılarak 5’ e ayarlamışlardır. Solüsyonu 24 saat manyetik olarak karıştırmışlardır. Daha sonra şeffaf ahşabın yüzeyini 10 saniye süreyle hidrofobik solüsyon ile kaplamışlar ve fazla solüsyonu süzmek için dikey olarak konumlandırmışlardır. Son olarak numuneyi 60 °C’ de 2 saat fırında kurutarak şeffaf ve hidrofobik ahşap elde etmişlerdir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Ding ve ark., (2022), balsa ağacı ahşabından hidrofobik ve şeffaf ahşap

Hindistan’da Rai ve ark., (2022), geliştirmekte olan teknolojileri ve stratejik ölçeklendirme çerçevesini kullanarak şeffaf ahşap üretiminin yaşam döngüsü değerlendirmesi üzerine çalışmışlardır. Son zamanlarda inşaat, enerji depolama, esnek elektronik ve paketleme uygulamaları için kullanılan şeffaf ahşabın yaşam döngüsü analizi ile üretimi ve kullanım ömrü sonu sırasındaki çevresel etkilerine değinmişlerdir. En düşük çevresel etkilere yol açan yöntemin sodyum hidroksit, sodyum sülfite, hidrojen peroksitle yapılan ($\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$) delignifikasyon yöntemi ile epoksi infiltrasyonu olduğunu ve sodyum klorit delignifikasyonu ile polimetil metakrilat (PMMA) infiltrasyonuna göre yaklaşık %24 daha az küresel ısınma potansiyeli ve yaklaşık %15 daha az karasal asitlenme ürettiğini belirtmişlerdir. Modellenen endüstriyel ölçekli üretimin, laboratuvar ölçeğine göre daha düşük elektrik tüketimine (%98,8) ile çevresel etkilere (%28 daha az küresel ısınma potansiyeli ve yaklaşık %97 daha az insan toksisitesi) sahip olduğunu ve şeffaf ahşabın yaşam döngüsü analizinde, polietilene kıyasla, ticari olarak geleneksel petrol bazlı malzemelerin yerini alacak şekilde uyarlanabileceği sonucuna varmışlardır (Şekil 1.2.).



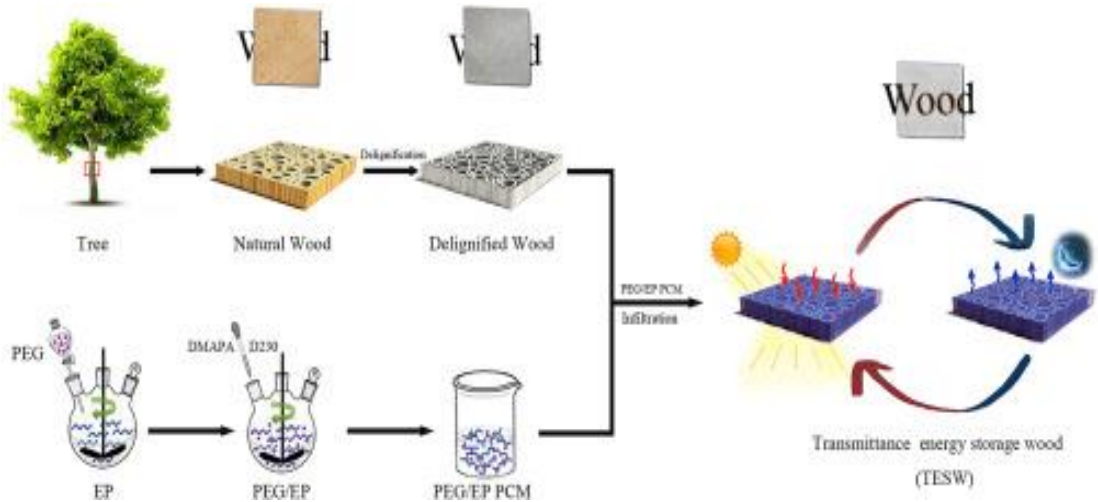
Şekil 1.2. Rai ve ark., (2022), gelişmekte olan teknolojileri ve stratejik ölçeklendirme çerçevesini kullanarak şeffaf ahşap üretiminin yaşam döngüsü değerlendirmesi

Çin’de yapılan bir diğer çalışmada Yang ve ark., (2021), balsa ağacından elde edilen ahşap numunelerden optik ve elektriksel işlevleri yerine getirirken yüksek fiziksel deformasyona dayanabilen iletken ve esnek şeffaf ahşap elde etmişlerdir. Lignin delignifikasyonu için ağırlıkça %3,5 sodyum klorit sulu çözelti içerisinde yaklaşık pH ‘ını 4,6’ ya ayarlamak için uygun miktarda asetik asit damlatmışlar ve 85 C’ de 2-3 saat ısıtmışlardır. Ardından kimyasalların çoğunu çıkarmak için üç kez sıcak damıtılmış suda durulanmış işlem görmüş ağaç numuneleri ağartma çözeltisinde (%6lık H₂O₂ çözeltisi) sarı renk tamamen kaybolana kadar kaynatmışlardır. Son olarak numuneleri, saflaştırılmış ahşap şablonu elde etmek için etanol içinde yıkamışlardır. Son aşama polimer infiltrasyonu için kullandıkları polimer kolin klorür ve akrilik asitten oluşmaktadır. Kolin klorür ve akrilik asiti 1:2 oranında karıştırıp homojen renksiz bir çözelti oluşana kadar 4 saat 90°C’ de ısıtmışlardır. Polimerizasyon reaksiyonu çapraz bağlayıcılar PEG(200) ve foto başlatıcı 2959 gerektirmektedir. Derin ötektik çözücüyü (faz diyagramında, iki ya da daha fazla bileşiğin karışması sırasında, bu karışımı oluşturan bileşiklerin erime noktalarından daha düşük değere sahip olan bir karışıma verilen isimdir) ahşap şablona sızdırmış ve şeffaf ahşabı foto-başlatılmış polimerizasyonla elde etmişlerdir. Bu şeffaf ahşap, %73,9’ a kadar maksimum çekme gerilimine çok iyi esnekliğe ve çekme direncine sahiptir. Ayrıca, bu şeffaf ahşap aynı zamanda iyi elektriksel iletkenliğe ve sıcaklık algılama özelliklerine sahiptir (Şekil 1.3.).



Şekil 1.3. Yang ve ark., (2021), balsa ağacından elde edilen ahşap numunelerden optik ve elektriksel işlevleri yerine getirirken yüksek fiziksel deformasyona dayanabilen iletken ve esnek şeffaf ahşap

Çinde Xia ve ark., (2021), Bina enerji tasarrufu için yeni yeşil enerji depolama kompozitleri olarak faz değişim ısı depolamalı şeffaf ahşap üretmişlerdir. 20 mm × 20 mm × 1,5 mm (uzunluk × genişlik × kalınlık) boyutlarındaki balsa ağacı (Ochroma pyramidale) numunelerini etüvde 105 ± 3 °C' de 24 saat süreyle kurutmuş sodyum hidroksit (NaOH, >%98), sodyum sülfite (Na₂SO₃, > %98), hidrojen peroksit (H₂O₂, % 30 çözelti), amino uçlu polioksipropilen (D230) ve N,N-dimetil propilen diamin (DMAPA) ile lignin delignifikasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra delignifiye edilmiş ahşaba faz değiştiren polietilen glikol (PEG) içeren epoksi reçine bileşiği emprenye etmişlerdir. Artan PEG içeriği ile şeffaf ahşabın enerji depolama performansının arttığını göstermişlerdir. Bu çalışma ile yeşil enerji depolama kompozitlerinin üretimi için yeni bir yol sunmuşlar ve elde edilen şeffaf ahşabın enerji depolama kapasitesinin ve optik özelliklerinin bina enerji tasarrufu ve iç mekan termal konforunun iyileştirilmesi için umut verici olduğunu ortaya koymuşlardır (Şekil 1.4.).



Şekil 1.4. Xia ve ark., (2021), Bina enerji tasarrufu için yeni yeşil enerji depolama kompozitleri olarak faz değişim ısı depolamalı şeffaf ahşap

Hindistanda Subba Rao ve ark., (2019), ahşap gövde eksenine dik yönde kesilerek kavak ağacı odunundan elde edilen ahşaptan esnek şeffaf ahşap üretmişlerdir. Yoğun optik anizotropi sergilediği ve daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu için boyuna doğrultuda kesilmiş ahşap numuneler ile çalışmışlardır. $40 \times 40 \times 1$ mm ölçülerinde ahşap numunenin lignin delignifikasyonu için sulu bir sodyum hidroksit (%3.0 ağırlık) ve Na_2EDTA (%0.1 ağırlık) çözeltisi kullanmışlar ve 70°C ' de 10 dakika ısıtmışlardır. Magnezyum sülfat (ağırlıkça %0.1), ardından H_2O_2 (ağırlıkça %4.0) ekleyip ısıtarak ağartma işlemini gerçekleştirmişlerdir. PVA (% 10 w/v) dispersiyonu deiyonize su içinde hazırlanmış PVA dispersiyonuna plastikleştirici olarak üç seviye PG eklemişler. Mikrodalgada ısıtma yaparak kurumaya bırakmışlar kuruduktan sonra karakterize etmişlerdir.

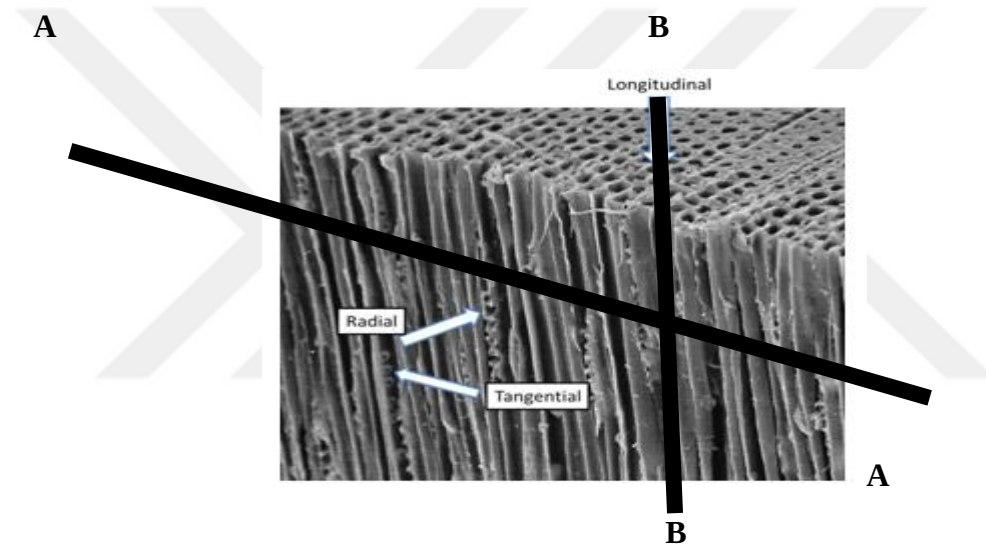
BÖLÜM III

3. MALZEMELER ve YÖNTEM

3.1 Malzemeler

3.1.1. Lignin delignifikasyonunda kullanılan malzemeler

Bu çalışmada kavak ve kayın ağacı odunlarından elde edilen farklı ölçülerde boyuna ve enine doğrultuda kesilmiş ahşap numuneler kullanılmıştır (Şekil 2.1.).

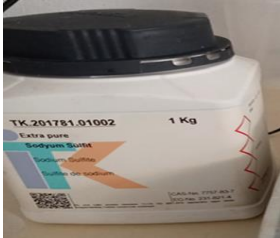
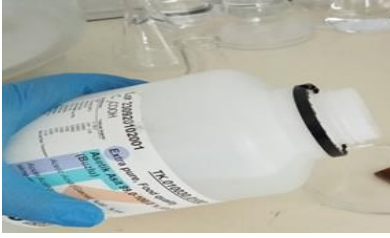


Şekil 2.1. A-A Kesiti Ahşap Yapısının Enine Doğrultusu

B-B Kesiti Ahşap Yapısının Boyuna Doğrultusu

Çalışma kapsamında kullanılan ahşap numuneler ve lignin delignifikasyonu için kullanılan malzemeler Tablo 1’ de verilmiştir.

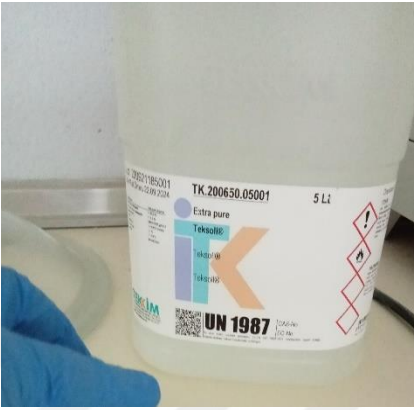
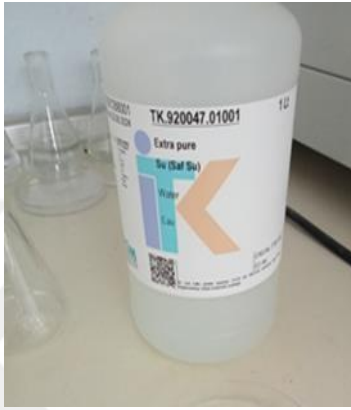
Tablo 1. Çalışmada kullanılan ahşap numuneler ve lignin delignifikasyonunda kullanılan kimyasallar

		
10×10×1mm boyuna doğrultuda kesilmiş kavak ağacı numunesi	40×40×1mm boyuna doğrultuda kesilmiş kayın ağacı numunesi	40×40×1mm boyuna doğrultuda kesilmiş kavak ağacı numunesi
		
20×20×2 mm enine doğrultuda kesilmiş kavak ağacı numunesi	NaClO ₂ (sodyum klorit %31)	Saf su(TEKKİM)
		
Na ₂ SO ₃ (sodyum sülfat, TEKKİM)	CH ₃ COOH (Asetik asit)	NaOH (sodyum hidroksit, TEKKİM-boncuk)

3.1.2. Ağartmada kullanılan malzemeler

Çalışma kapsamında ağartma için kullanılan malzemeler Tablo 2’ de verilmiştir.

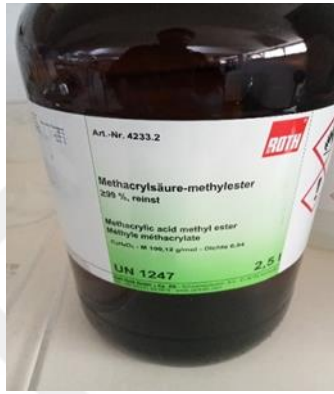
Tablo 2. Ağartma işleminde kullanılan kimyasallar

		
H ₂ O ₂ (hidrojen peroksit, TEKKİM %35)	Teksol (TEKKİM)	Saf su(TEKKİM)

3.1.3. Polimer infiltrasyonunda kullanılan malzemeler

Çalışma kapsamında polimer infiltrasyonu için kullanılan malzemeler Tablo 3' de verilmiştir.

Tablo 3. Polimer infiltrasyonunda kullanılan malzemeler

		
Polipropilen glikol 4000 (CARL ROTH)	Gliserin(ARİFOĞLU)	Metil metakrilat (CARL ROTH)
		
Vakum odası	Etüv	

3.1.4. Şeffaf ahşabı kaplamada kullanılan malzeme

Çalışma kapsamında kaplama için kullanılan malzeme Şekil 2.2' de verilmiştir.

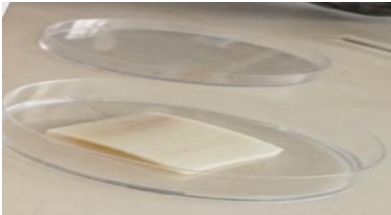


Şekil 2.2. Şeffaf epoksi reçine

3.1.5. Kullanılan sarf malzemeler

Çalışma kapsamında kullanılan sarf malzemeler Tablo 4' de verilmiştir.

Tablo 4. Sarf malzemeler

		
Erlenmeyer	Beherglas	Isıya dayanıklı borosilikat cam
		
Petri kabı	Isıtıcı	Hassas tartı

3.2. Yöntem

Çalışmada farklı ölçü ve türde ahşap numuneler ile 7 deneme çalışması yapılmıştır.. İlk aşamada farklı numunelerde farklı çözeltiler kullanılarak lignin delignifikasyonu gerçekleştirilip her denemede %6lık H_2O_2 çözeltisi kullanılarak ağartma yapılmıştır. Numunede kalan kimyasalların arındırılması için her numunede teksol kullanılmıştır. Bu işlemler sonucunda ahşap numunelerde oluşan boşluklar farklı numunelerde farklı polimerler kullanılarak doldurulmuştur. İstenilen şeffaf ahşap elde edildiğinde dayanımını arttırmak amacıyla şeffaf epoksi reçine ile (1:2 oranında sertleştirici (1) ve epoksi (2) karışımı kullanılarak) kaplama yapılmıştır.

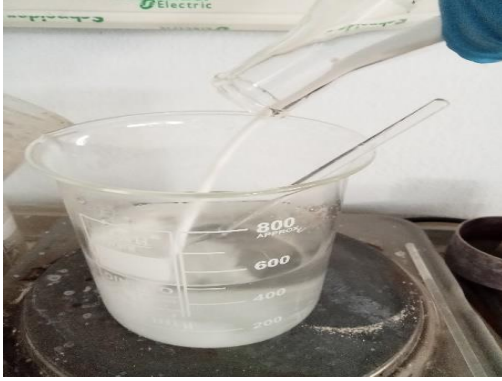
İlk numune olan $40 \times 40 \times 1$ mm ölçüsünde kayın ağacı odunundan boyuna doğrultuda kesilerek elde edilen ahşap numunenin lignin delignifikasyonunda 500 ml saf su içine 50.04 gram NaOH (sodyum hidroksit) ve 25.04 gram Na_2SO_3 (sodyum sülfite) eklenerek elde edilen çözelti kullanılmıştır (Şekil 3.1, Şekil 3.2). Numune çözelti içerisinde 40 dk. kaynatılmıştır (Şekil 3.7). Çözeltiden alınan numuneler yüksek sıcaklıktaki saf suda 2 kez durulandıktan sonra %6 lık H_2O_2 çözeltisinde bekletilmiştir (Şekil 3.12). 1-2 saat bekletilen numuneler teksol içerisine alınmıştır ve 1 gün teksol içerisinde kimyasallardan arınması için bekletilmiştir. Ertesi gün polimer infiltrasyon aşamasına geçilmiştir. Polimer olarak 0.12 gram AIBN ile 50 ml metil metakrilat su banyosuna daldırılıp yoğunlaşması sağlanarak polimetil metakrilat (PMMA) elde edilmiştir (Şekil 3.15). Kalıp ayırıcı sprey sıkılmış ısıya dayanıklı borosilikat cam levha arasına numune konulup üzerine PMMA eklenerek $80^\circ C$ fırında 2 saat üzerine ağırlık konularak bekletilmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.1. Çözeltideki NaOH miktarı



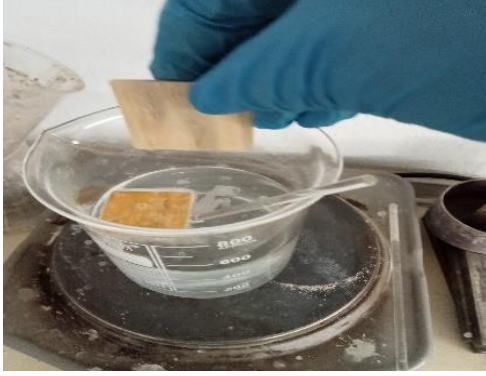
Şekil 3.2. Çözeltideki Na_2SO_3 miktarı



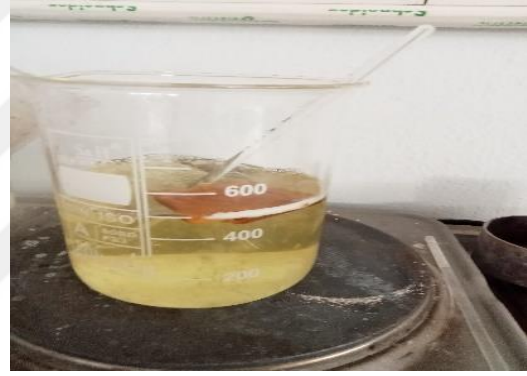
Şekil 3.3. Çözeltinin hazırlanması



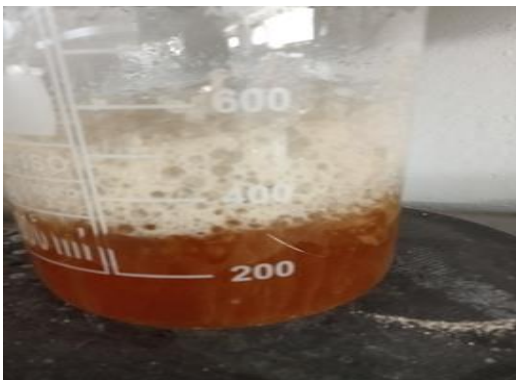
Şekil 3.4. Kayın ağacı odunundan elde edilen numuneler



Şekil 3.5. Numunelerin çözelti içerisine atılması



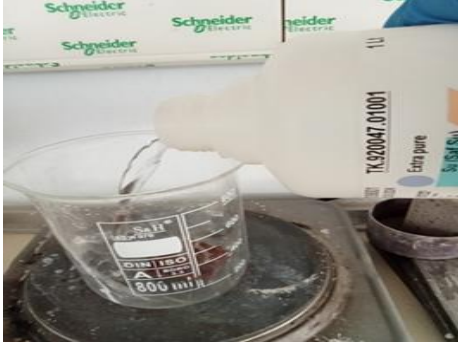
Şekil 3.6. Yüksek sıcaklıkta bir süre geçtikten sonra çözelti rengi



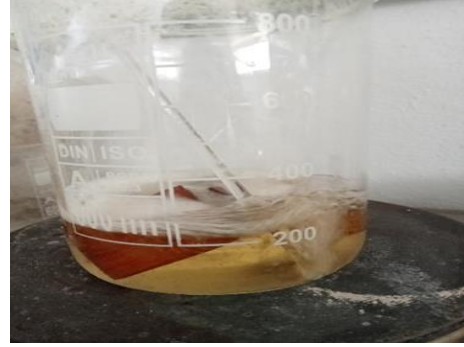
Şekil 3.7. 40 dk. sonra çözeltinin rengi



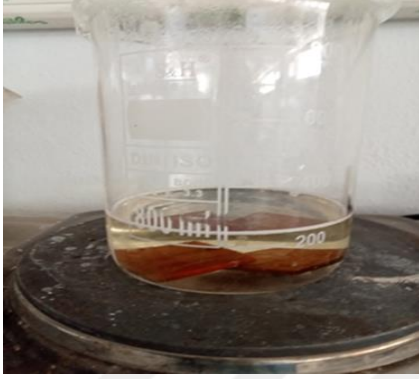
Şekil 3.8. Numuneler alındıktan sonra çözeltinin dökülmesi



Şekil 3.9. Numunelerin saf su ile durulanması



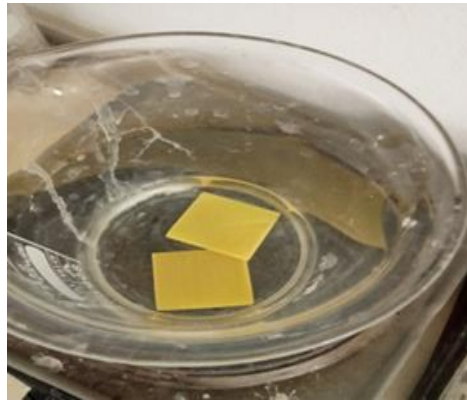
Şekil 3.10. Kaynayan saf su içerisindeki numuneler



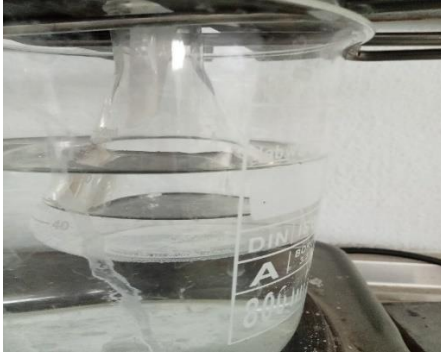
Şekil 3.11. Numunelerin saf su ile 2.kez durulanması



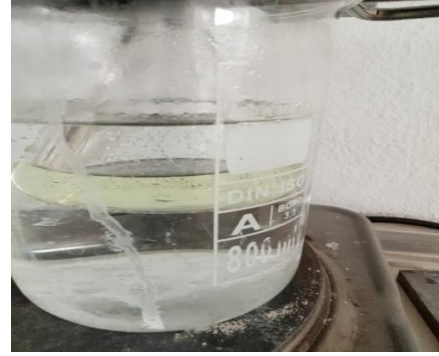
Şekil 3.12. %6 lık H_2O_2 çözeltisi içerisinde numuneler



Şekil 3.13. Ağartma işlemi tamamlanmış numuneler



Şekil 3.14. Su banyosunda metil metakrilat dan PMMA elde edilmesi



Şekil 3.15. Metil metakrilat ve AIBN'nin yoğunlaşması



Şekil 3.16. Numunenin etüve konulması



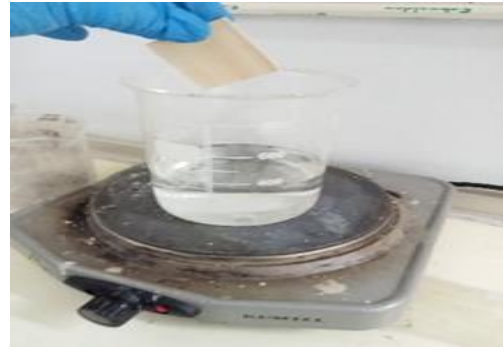
Şekil 3.17. 80°C deki etüv

İkinci deneme çalışmasında, 40×40×1 mm ölçüsünde kavak ağacı odunundan boyuna doğrultuda kesilerek elde edilen ahşap numunenin lignin delignifikasyonunda yine 500 ml saf su içine 50.04 gram NaOH (sodyum hidroksit) ve 25.04 gram Na₂SO₃ (sodyum sülfite) eklenerek elde edilen çözelti kullanılmıştır (Şekil 4.2). Numune çözelti içerisinde 40 dk. kaynatılmıştır. Çözeltiden alınan numuneler yüksek sıcaklıktaki saf suda 2 kez durulandıktan sonra %6 lık H₂O₂ çözeltisinde kaynatılıp bekletilmiştir (Şekil 4.3). 1-2 saat bekletilen numuneler teksol içerisine alınmıştır ve 1 gün teksol içerisinde kimyasallardan arınması için bekletilmiştir. Ertesi gün polimer infiltrasyon aşamasına geçilmiştir. Polimer olarak polipropilen glikol 4000 kullanılmıştır. Polimerin ahşap içerisindeki boşluklara sızmasını kolaylaştırmak için ısıtılarak viskozitesi azaltılmıştır. Kalıp ayırıcı sprej sıkılmış ısıya dayanıklı borosilikat cam levha arasına numune konulup

üzerine ısıtılmış polipropilen glikol 4000 eklenmiş ve 70 °C etüvde 1-2 saat üzerine ağırlık konularak bekletilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.1. İşlenmemiş kavak ağacı odunundan elde edilmiş numune



Şekil 4.2. Numunenin çözelti içerisine atılması



Şekil 4.3. Kaynayan çözelti içerisindeki numune



Şekil 4.4. Numunenin 70 °C deki etüve koyulması

Üçüncü deneme çalışmasında 20×20×1 mm ve 40×40×1 mm ölçülerinde boyuna doğrultuda kesilmiş kavak ağacından elde edilen numunelerin lignin delignifikasyonu için 18 gram H₂O ile 180 gram NaClO₂ (sodyum klorit) den elde edilen çözelti kullanılmıştır (Şekil 5.1). Numuneler çözelti içerisinde 1 saat çözelti içerisinde kaynatılmıştır. Çözeltiden alınan numuneler ağartma işlemi için kaynama sıcaklığındaki saf su ile elde edilen %6 lık hidrojen peroksit çözeltisinde kaynatılıp 1 gün bekletilmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.1. Lignin delignifikasyonu



Şekil 5.2. %6lık H₂O₂ çözeltisi içerisindeki numuneler

Ertesi gün çözeltiden alınan numuneler, kalan kimyasalların uzaklaştırılması için tksol içerisine alınıp 1 gün bekletilmiştir (Şekil 5.3). Son aşama polimer infiltrasyonu için gliserin ile 15' er dakika 4 döngü vakum işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.4). Elde edilen numunenin dayanımını arttırmak amacıyla 1:2 oranında sertleştirici (1) ve epoksi (2) karışımından elde edilen şeffaf epoksi reçine kullanılarak kaplama yapılmış ve sertleşene kadar beklenilmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.3. Teksol içerisindeki numuneler



Şekil 5.4. Vakum işlemi



Şekil 5.5. Numunelerin şeffaf epoksi ile kaplanması

Dördüncü deneme çalışmasında 10×10×1 mm ,20×20×2 mm ve 20×20×3 mm olmak üzere farklı ölçülerdeki kavak ağacı numuneleri ile 40×40×2 mm ölçülerinde kayın ağacından elde edilen boyuna doğrultuda kesilmiş numuneler kullanılmıştır (Tablo 5). Lignin delignifikasyonu için 36 gram H₂O ile 144 gram NaClO₂ (sodyum klorit) den elde edilen çözelti içerisinde numuneler 1 kaynatılmıştır (Şekil 6.1). Çözeltiden alınan numuneler ağartma işlemi için kaynama sıcaklığındaki saf su ile elde edilen %6lık hidrojen peroksit çözeltisinde kaynatılıp 1 gün bekletilmiştir (Şekil 6.3).

Tablo 5. İşlemlerden önceki ahşap numuneler



Şekil 6.1. Lignin delignifikasyonu



Şekil 6.2. %6lık H_2O_2 çözeltisi içerisindeki numuneler



Şekil 6.3. Kaynayan %6lık H_2O_2 çözeltisi içerisindeki numuneler

Ertesi gün çözültiden alınan numuneler kalan kimyasalların numunelerden uzaklaştırılması için teksol içerisine alınıp 1 gün bekletilmiştir (Şekil 6.4). Son aşama polimer infiltrasyonu için gliserin ile 15’ er dakika 3 döngü vakum işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.5). Elde edilen numunenin dayanımını arttırmak amacıyla 1:2 oranında sertleştirici (1) ve epoksi (2) karışımından elde edilen şeffaf epoksi reçine kullanılarak kaplama yapılmış ve sertleşene kadar beklenilmiştir (Şekil 6.6).



Şekil 6.4. Teksol içerisindeki numuneler



Şekil 6.5. Vakum işlemi



Şekil 6.6. Numunelerin şeffaf epoksi ile kaplanması

Çalışmaya kimyasallar ile polimerin ahşap gözeneklere işlemesi daha kolay olacağı için enine doğrultuda kesilerek elde edilen numuneler ve daha iyi şeffaflık sağladığı için bu numunelerin kavak ağacından elde edilenleri ile devam edilmiştir.

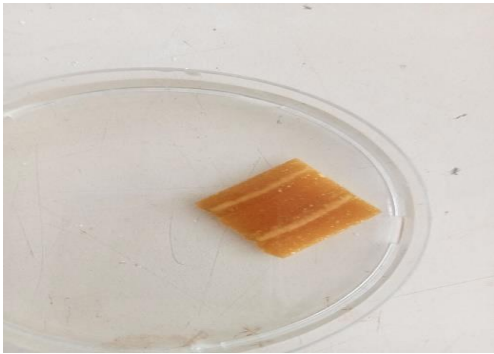
Beşinci deneme çalışmasında 20×20×2 mm ölçüsünde kavak ağacı odunundan enine doğrultuda kesilerek elde edilen ahşap numunenin lignin delignifikasyonunda 18 gram H₂O ile 180 gram NaClO₂ (sodyum klorit) den elde edilen çözelti kullanılmıştır (Şekil 7.1). Numune çözelti içerisinde 30 dk kaynatıldıktan sonra 1 kez saf sudan geçirilmiştir (Şekil 7.2. , Şekil 7.3.). Daha sonra %6lık hidrojen peroksit çözeltisinde kaynatılıp 1 gün bekletilmiştir (Şekil 7.4.).



Şekil 7.1. Numunenin çözelti içerisine atılması



Şekil 7.2. Lignin delignifikasyonu

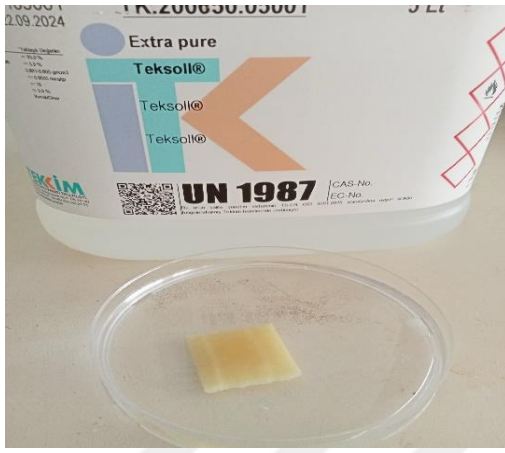


Şekil 7.3. Numunenin saf sudan geçirilmesi

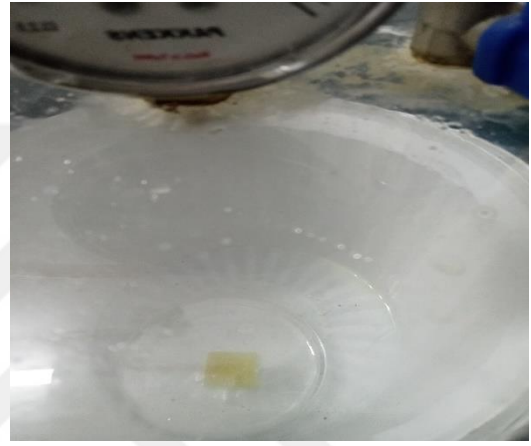


Şekil 7.4. %6 lık H₂O₂ çözeltisi içerisindeki numuneler

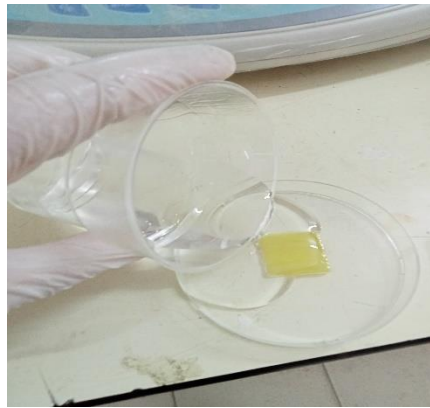
Ertesi gün çözeltiden alınan numune kalan kimyasalların numunelerden uzaklaştırılması için teksol içerisine alınıp 1 gün bekletilmiştir (Şekil 7.5). Son aşama polimer infiltrasyonu için gliserin ile 15' er dakika 3 döngü vakum işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 7.6). Elde edilen numunenin dayanımını arttırmak amacıyla 1:2 oranında sertleştirici (1) ve epoksi (2) karışımından elde edilen şeffaf epoksi reçine kullanılarak kaplama yapılmış ve sertleşene kadar beklenilmiştir (Şekil 7.7).



Şekil 7.5. Teksol içindeki numune



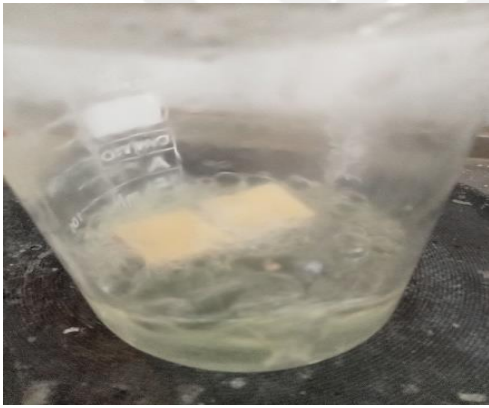
Şekil 7.6. Vakum işlemi



Şekil 7.7. Numunenin şeffaf epoksi ile kaplanması

Altıncı deneme çalışmasında 20×20×2 mm ölçüsünde kavak ağacı odunundan enine doğrultuda kesilerek elde edilen ahşap numune kullanılmıştır. Numunenin lignin delignifikasyonunda ağırlıkça %3,5 NaClO₂ (sodyum klorit) çözeltisi kullanılmıştır

(Şekil 8.1). Çözelti içerisinde 40 dk. kaynatılan numune 2 kez tekrarlanacak şekilde saf sudan geçirilmiştir. Buradaki amaç kaynattığımız çözeltilerden ahşapta kalan kimyasalları arındırmaktır. 3. olarak kullanılan saf su ile %6 lık hidrojen peroksit çözeltisi elde edilmiş ve ağartma işlemi için ahşap numune yüksek sıcaklıktaki çözelti içerisinde 1 gün bekletilmiştir (Şekil 8.2). Ertesi gün teksol içerisinde alınan ahşap numune 1-2 saat bekletilmiş ve polimer infiltrasyonu aşamasına geçilmiştir. Ahşap içindeki ligninin boşaldığı yerlerdeki boşlukları doldurmak için polipropilen glikol 4000 kullanılmıştır (Şekil 8.3). Polipropilen glikol ısıtıldıktan sonra ahşap numunenin üzerine dökülmüş ve polimerin numune içerisindeki boşluklara sızdırılması için numune vakum içerisinde 15 dakikalık üç döngü halinde tutulmuştur (Şekil 8.4). Ahşap numunenin diğer yüzü çevrilerek işlem tekrarlanmıştır. Numune polimer içerisinde 1 gün bekletilmiştir.



Şekil 8.1. Kavak ağacı odunundan elde edilen numunenin lignin delignifikasyonu



Şekil 8.2. Numunenin %6 lık H_2O_2 çözeltisine konulup ağartılması



Şekil 8.3. Numunenin üzerine polipropilen 4000 eklenmesi



Şekil 8.4. Numunenin polimer infiltrasyonu için vakum işlemi

Son deneme çalışmasında numune olarak 20×20×1 mm ölçüsünde kavak ağacı odunundan enine doğrultuda kesilerek elde edilen ahşap numune kullanılmıştır. Numunenin lignin delignifikasyonunda ağırlıkça %3,5 NaClO₂ (sodyum klorit) çözeltisi kullanılmıştır (Şekil 9.2.). Çözelti içerisinde 40 dk. kaynatılan numune 2 kez tekrarlanacak şekilde saf sudan geçirilmiştir. Buradaki amaç kaydattığımız çözeltiden ahşapta kalan kimyasalları arındırmaktır. 3.olarak kullanılan saf su ile %6 lık hidrojen peroksit çözeltisi elde edilmiş ve ağartma işlemi için ahşap numune çözelti içerisinde kaynatılıp 1 gün bekletilmiştir (Şekil 9.3.). Ertesi gün teksol içerisine alınan ahşap numune 1-2 saat bekletilmiş ve polimer infiltrasyonu aşamasına geçilmiştir. Son aşama olan polimer infiltrasyonu için vakumlama cihazında 15'er dakikalık 3 döngü olacak şekilde gliserin ile vakumlama gerçekleştirilmiştir (Şekil 9.5.). Dayanımını arttırmak amacıyla şeffaf epoksi reçine ile kaplama yapılmıştır. 1:2 oranında sertleştirici (1) ve epoksi (2) karışımı kullanılmış her iki yüzeyinde şeffaf epoksi reçine dökülüp 2 gün sertleşmesi için beklenilmiştir.

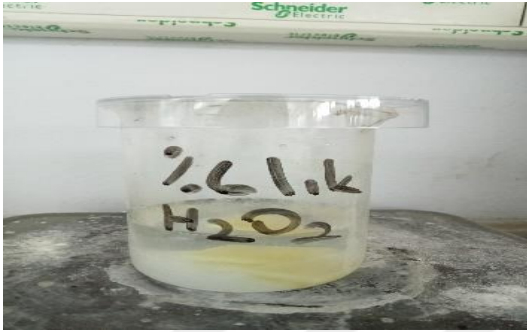
Ahşap numunenin delignifiye edildikten sonraki boşlukları polimer ile doldurulacağı için kullanılan polimerin insan sağlığına olumsuz etkisi olmaması gerekmektedir. Deneme çalışmalarında polimer olarak kullanılan gliserinin gıdadan kişisel bakım ürünlerine kadar olan kullanım alanı düşünüldüğünde şimdiye kadarki kullanılan en zararsız malzemedir.



Şekil 9.1. İşlem görmemiş ahşap



Şekil 9.2. Ahşabın lignin delignifikasyonu



Şekil 9.3. Numunenin ağartma işlemi



Şekil 9.4. Numunenin üzerine gliserin eklenmesi



Şekil 9.5. Ahşap içerisine gliserin sızdırılması

BÖLÜM IV

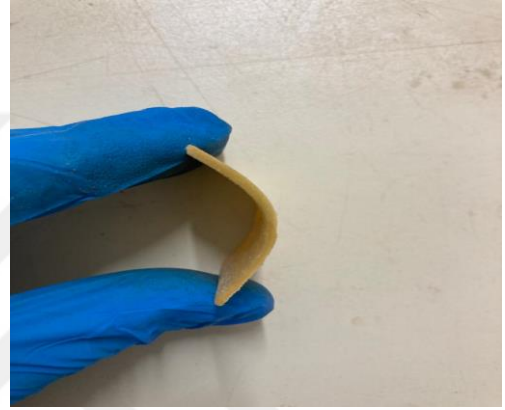
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Bulgular

İlk deneme çalışması sonunda ilk ahşap numune esnektir, istenilen şeffaflıkta değildir.



Şekil 10.1. Çalışma sonucu elde edilen numune



Şekil 10.2. Numunenin esnekliği

İkinci deneme çalışmasının sonunda esnek, optik geçirgen ve bazı bölgelerinde şeffallaşma gerçekleştirilmiş fakat istenilen şeffaflık sağlanmamıştır.



Şekil 10.3. Etüvden çıkan numune



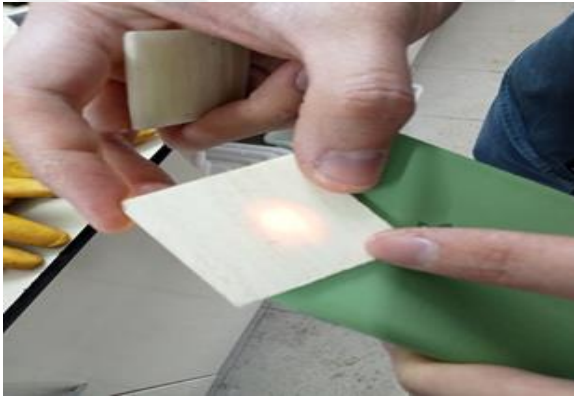
Şekil 10.4. Çalışma sonucu elde edilen numune



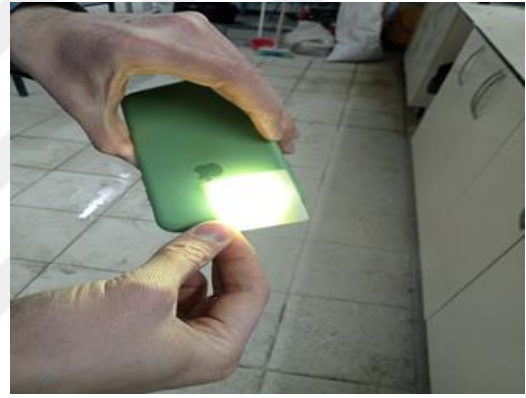
Şekil 10.5. Numunenin şeffaflığı



Şekil 10.6. Numunenin esnekliği



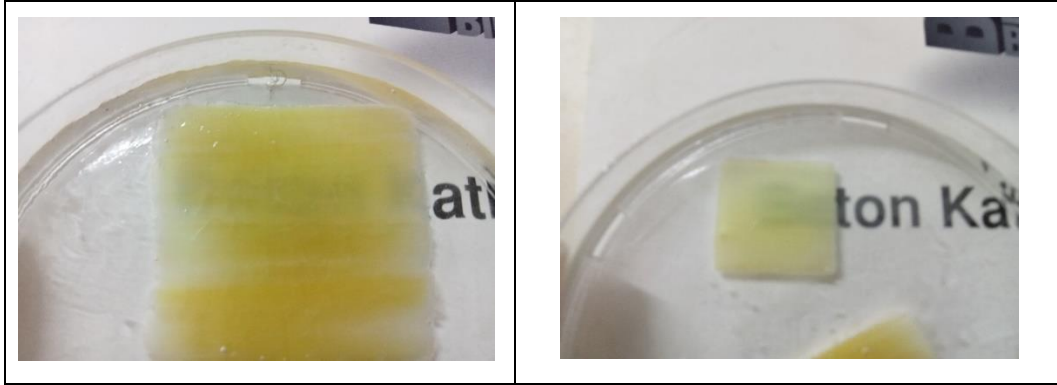
Şekil 10.7. İşlem görmemiş ahşabın optik geçirgenliği



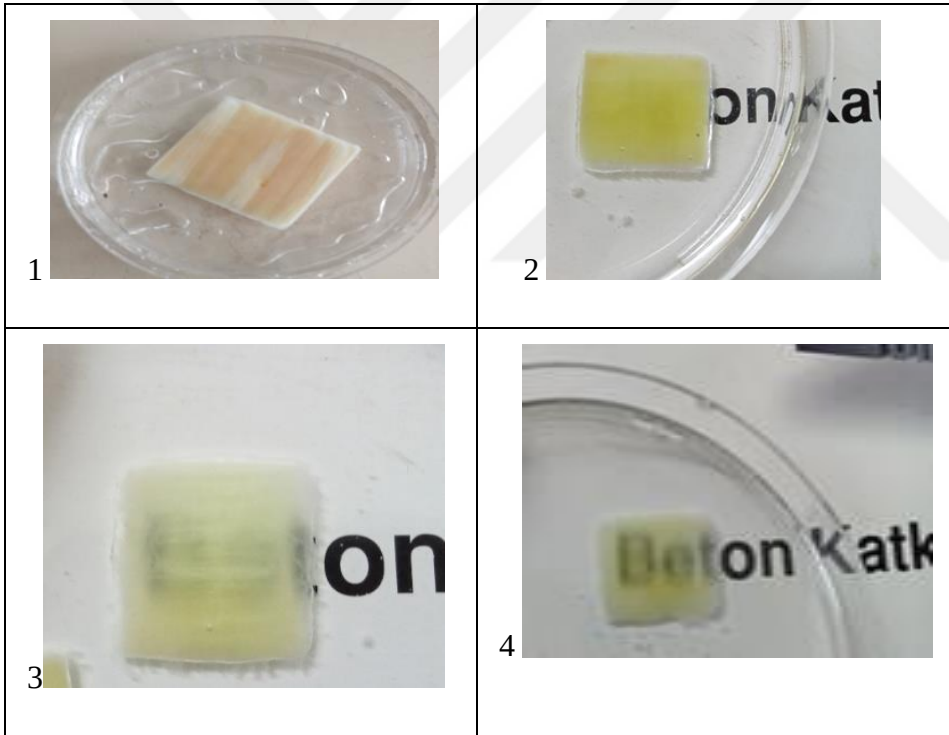
Şekil 10.8. Çalışma sonucu elde edilen numunenin optik geçirgenliği

Üçüncü deneme çalışması sonunda $20 \times 20 \times 1$ mm ölçüsündeki numuneden $40 \times 40 \times 1$ mm ölçüsündeki numuneye göre daha iyi sonuç alınmıştır. $40 \times 40 \times 1$ mm ölçüsündeki numunenin ise bazı bölgelerinde şeffaflaşma olmuştur. Fakat 2 sinde de istenilen şeffaflık sağlanmamıştır (Tablo 6).

Tablo 6. Üçüncü deneme çalışması sonuncunda elde edilen numuneler



Tablo 7. Dördüncü deneme çalışması sonucunda elde edilen numuneler



Boyuna doğrultuda kesilmiş numuneler üzerindeki deneme çalışmalarında, dördüncü çalışmadaki en ince kalınlıkta olan 10×10×1 mm ölçüsündeki tablodada en sonda yer alan (Tablo 7) kavak ağacı numunesinde en iyi şeffaflık sağlanmıştır. 40×40×2 mm ölçüsündeki kayın ağacı numunesinde ve 20×20×3 mm ölçüsündeki kavak ağacı

numunesinde şeffaflaşma olmamıştır. 20×20×2 mm ölçüsündeki numunelerde ise tam olmasada bazı yerlerde şeffaflaşma sağlanmıştır.

Beşinci deneme çalışması sonucunda 20×20×2 mm ölçüsünde enine doğrultuda kesilerek elde edilen kavak ağacı numunesinin sarımtırak renkte olması istenilen sonuca ulaşmasına engel olmuştur.



Şekil 11.1. Beşinci deneme çalışması sonucunda elde edilen numune

Altıncı deneme çalışması sonucunda elde edilen numunelerin yazı okunabilecek kadar şeffaf fakat sarımtırak renkte olması istenilen sonuca ulaşmasına engel olmuştur.



Şekil 12.1. Altıncı deneme çalışması sonucu elde edilen numunenin şeffaflığı

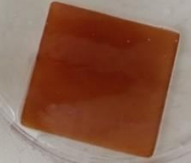
Son ahşap numune üzerinde yapılan işlemler sonucunda istenilen şeffaflık ve optik geçirgenliğe sahip şeffaf ahşap elde edilmiştir.

Tablo 8. Yedinci deneme çalışması sonucunda elde edilen numune

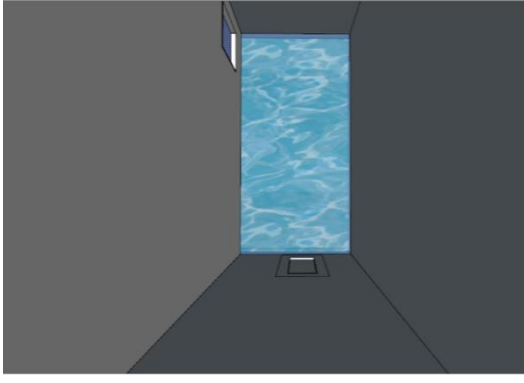
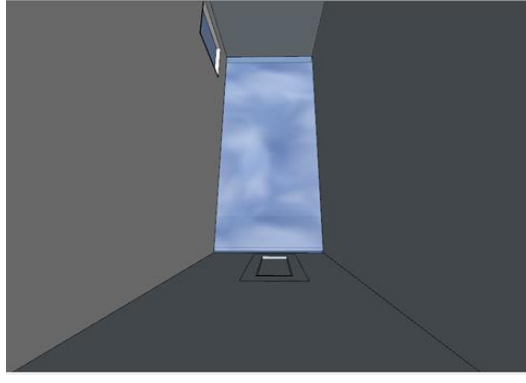
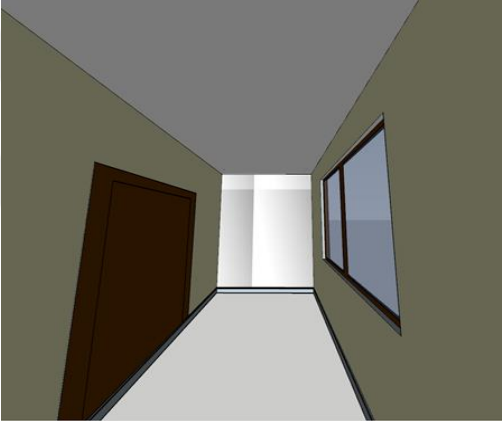
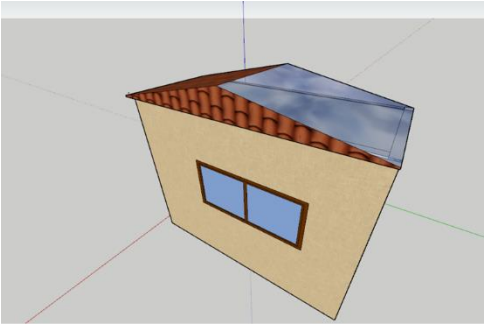
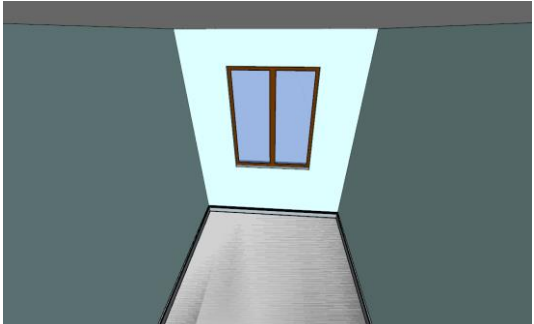


Şekil 13.1. Yedinci deneme çalışması sonucunda elde edilen ahşabın optik geçirgenliği

Tablo 9. Yedi deneme çalışması dışında yapılan 3 çalışmanın sonuçları

Numune	Lignin delignifikasyonu		Ağartma işlemi	Polimer infiltrasyonu		
	Kullanılan çözelti	Süre	Çözelti-Süre	Kullanılan polimer	Kullanılan cihaz	Süre
40×40×1 mm ölçüsünde boyuna doğrultuda kesilen kavak ağacı 	%3,5 NaClO ₂ (sodyum klorit) çözeltisi içerisine 3,5 gram CH ₃ COOH (asetik asit) eklenerek elde edilen çözelti	40 dk	%6 lık hidrojen peroksit çözeltisi-1 gün	Bitkisel gliserin	Vakum	15'er dakikalık 3 döngü
20×20×2 mm ölçüsünde enine doğrultuda kesilen kavak ağacı 	%3,5 NaClO ₂ (sodyum klorit) çözeltisi	40 dk	%6 lık hidrojen peroksit çözeltisi-1 gün	Bitkisel gliserin	Vakum	15'er dakikalık 3 döngü
20×20×2 mm ölçüsünde enine doğrultuda kesilen kavak ağacı 	%3,5 NaClO ₂ (sodyum klorit) çözeltisi içerisine 1 gram CH ₃ COOH (asetik asit) eklenerek elde edilen çözelti	40dk	%6 lık hidrojen peroksit çözeltisi-1 gün	Bitkisel gliserin	Vakum	15'er dakikalık 3 döngü

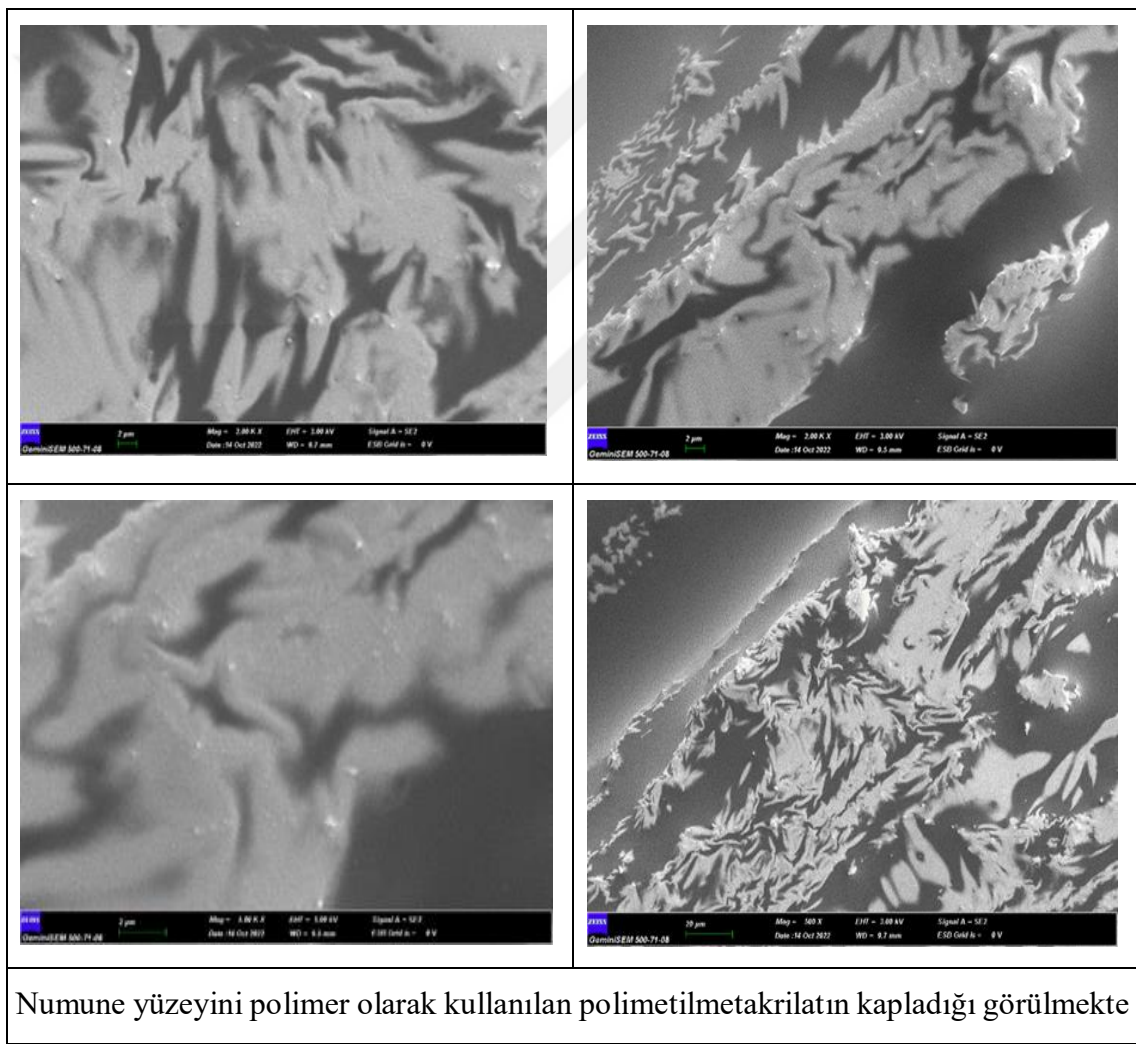
Tablo 10. Sketchup programında şeffaf ahşabın kullanım alanlarının basitçe gösterilmesi

	
Tuvalet arka duvarında temalı led panel üzerine kaplanan şeffaf ahşabın sketchup programında gösterimi	
	
İç mekan duvarda temalı ve temasız led panel üzerine kaplanan şeffaf ahşabın sketchup programında gösterimi	
	
Çatı katını daha ferah göstermek amacıyla çatıda kullanılan şeffaf ahşabın ve zeminde aydınlatma üzerine kullanılan şeffaf ahşabın sketchup programında gösterimi	

Elde edilen bazı numunelerin SEM (numunelerin yüzeyin odaklanmış bir elektron demetiyle taranmasıyla numunenin görüntülerini üreten bir elektron mikroskobu) görüntüleri alınmıştır.

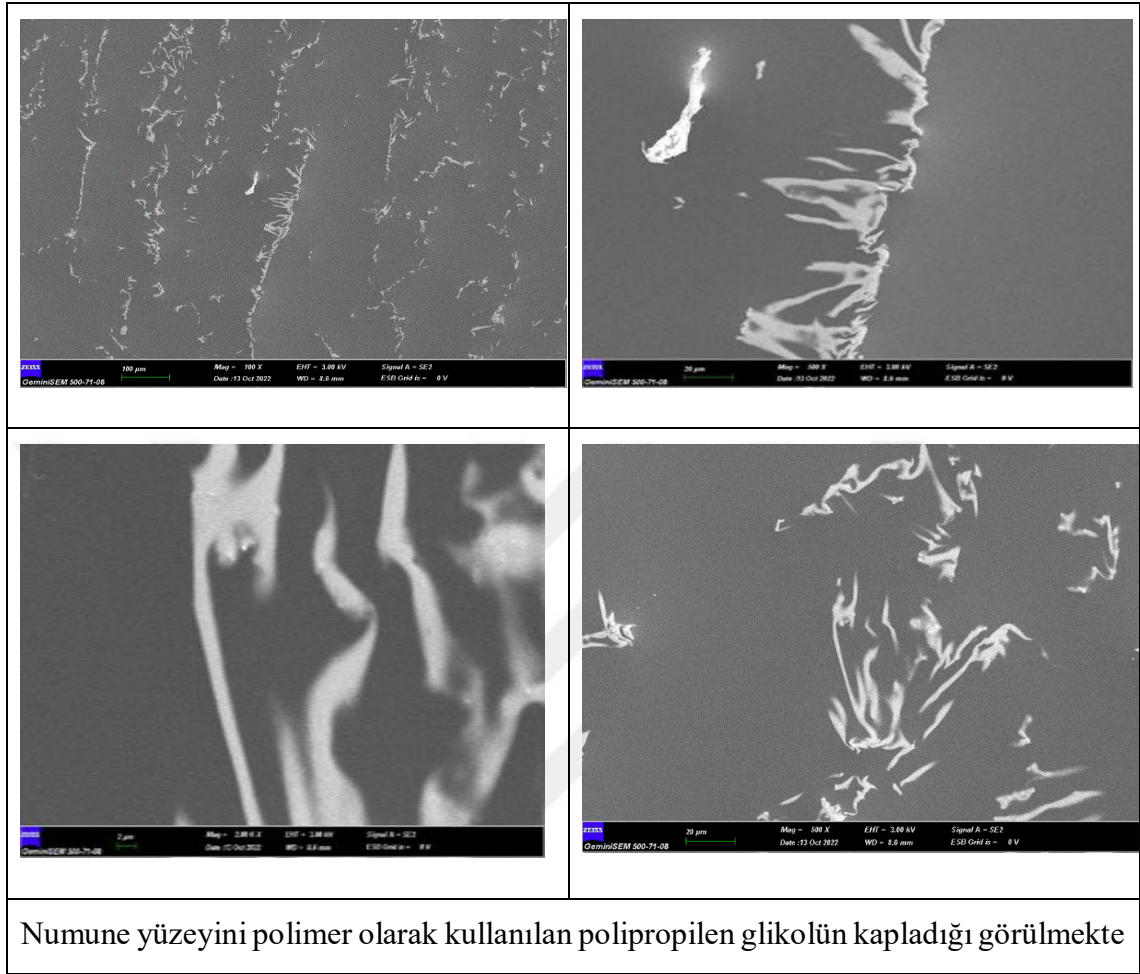
Şeffaf ahşabın içeriğindeki elementleri tespit edebilmek için sem görüntülerinin yanında EDAX analizi yapılmıştır.

Tablo 11. İlk numunenin SEM görüntüleri

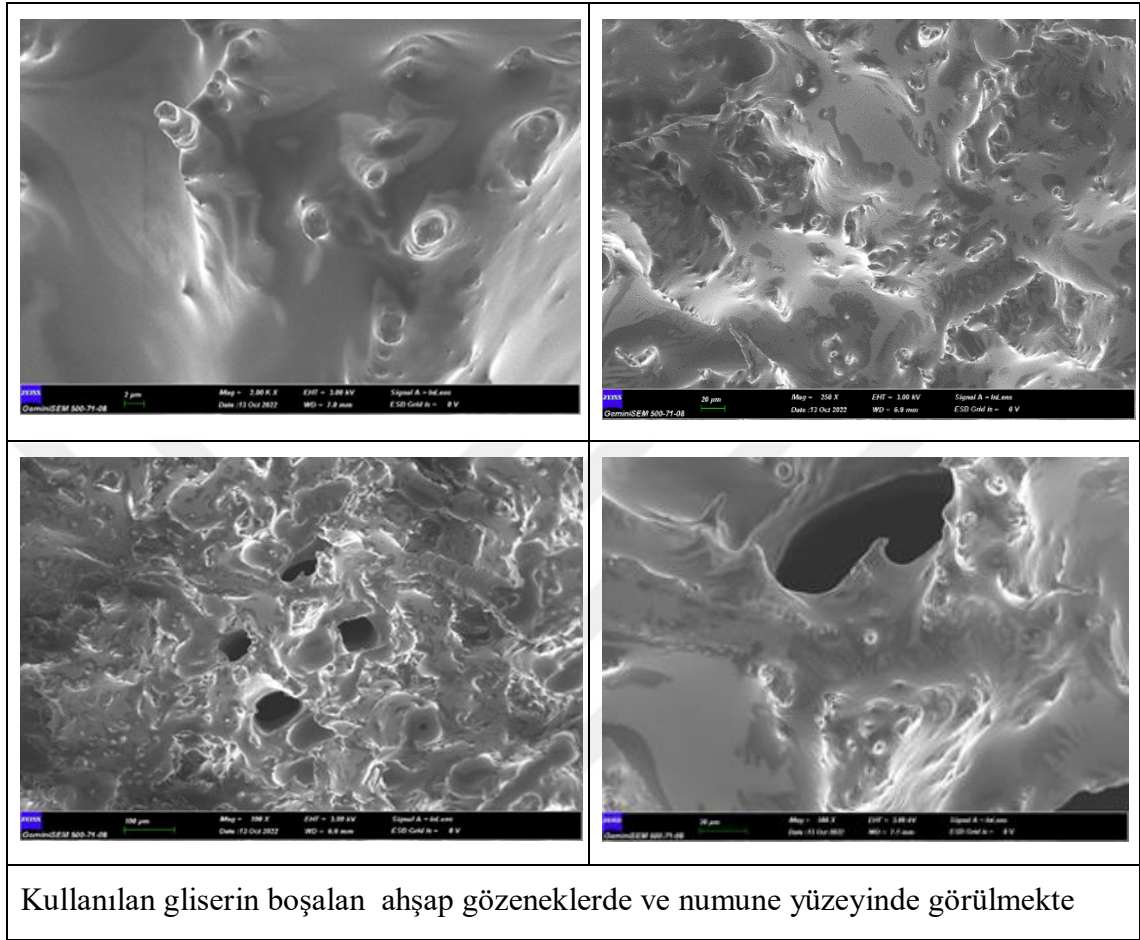


Numune yüzeyini polimer olarak kullanılan polimetilmetakrilatın kapladığı görülmekte

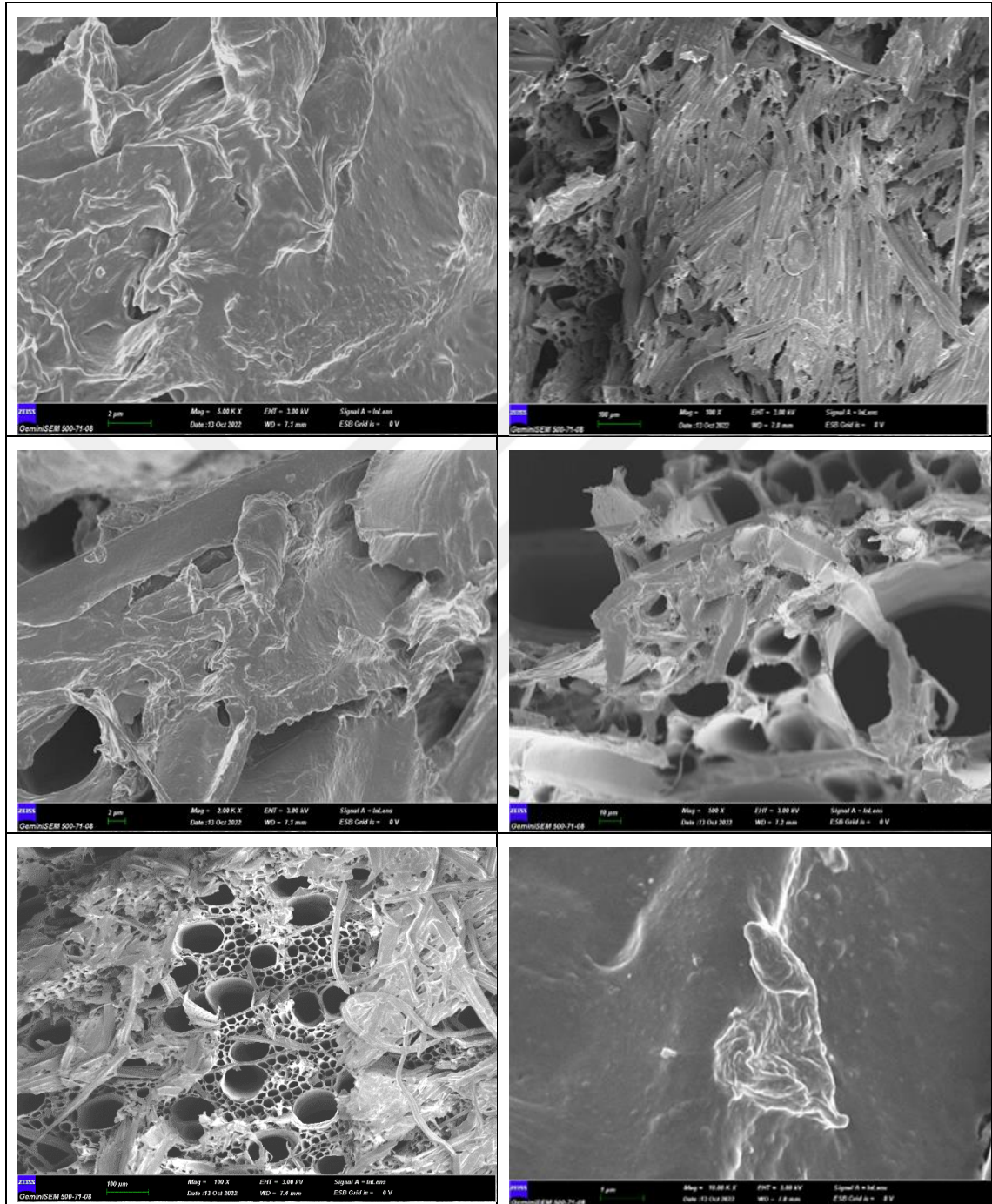
Tablo 12. İkinci numunenin SEM görüntüleri



Tablo 13. Altıncı numunenin SEM görüntüleri

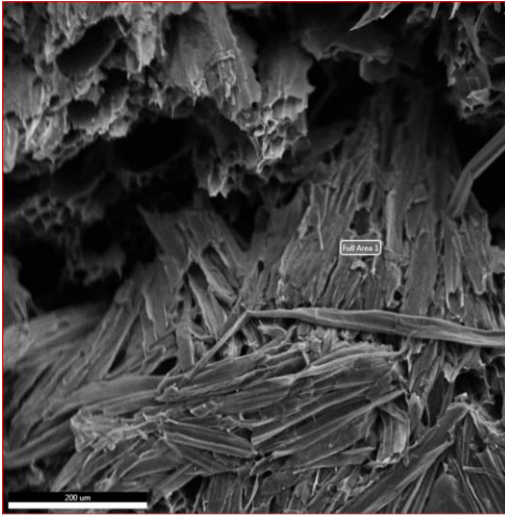


Tablo 14. Yedinci numunenin SEM görüntüleri



Kullanılan gliserin boşalan ahşap gözeneklerde ve numune yüzeyinde görülmekte

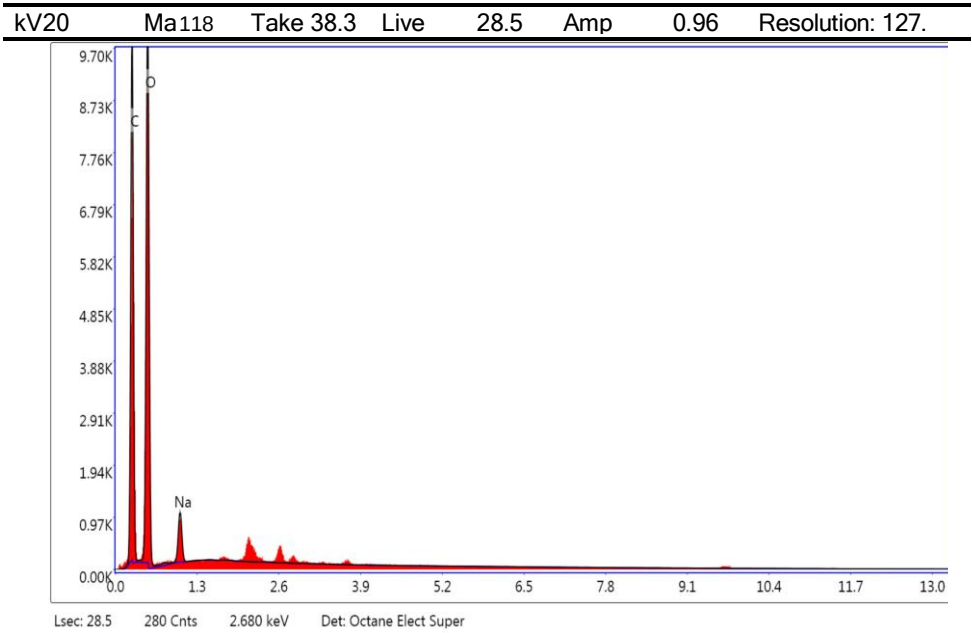
Area 2336



eZAF Smart Quant Results

Eleme	Weight	Atomic	Net
C K	44.58	52.2	1740.9
O K	51.95	45.67	2052.1
NaK	3.47	2.12	222.79

Full Area 1



EDAX TEAM

taum

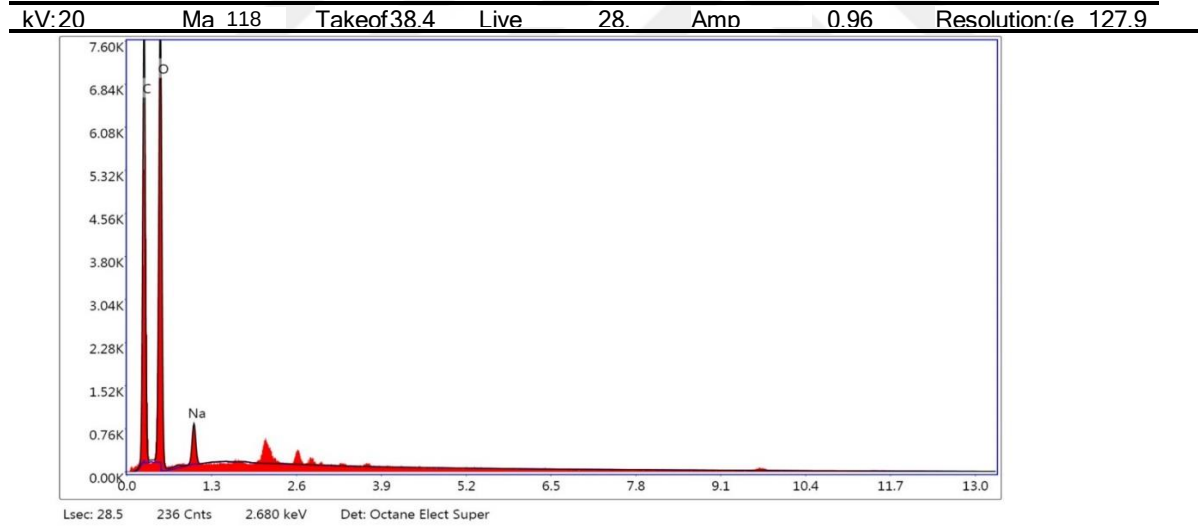
Area 2337



eZAF Smart Quant Results

Elemen	Weight	Atomic	Net Int.
C K	45.07	52.66	1413.67
O K	51.75	45.4	1611.59
NaK	3.18	1.94	162.2

Full Area 1



Şekil 14.1. Yedinci deneme çalışması sonucu elde edilen şeffaf ahşabın Edax analizi

4.2 Tartışma

Çalışmada yedi numunenin deneme çalışmalarına ayrıntılarıyla yer verilmiş üç numunenin ise özetle tablo olarak (Tablo 9) bulguları gösterilmiştir. Arkasındaki yazının okunabildiği seviyede şeffalığa birçok numunede erişilse de, yedinci çalışmadaki $20 \times 20 \times 1$ mm ölçüsünde enine doğrultuda kesilerek elde edilen kavak ağacı numunesi ile dördüncü çalışmadaki $10 \times 10 \times 1$ mm ölçüsünde boyuna doğrultuda kesilerek elde edilen kavak ağacı numunesinde yapılan işlemler sonucunda en iyi renk ve şeffaflık sağlanmıştır (Tablo 7, Tablo 8). Numune ölçüleri küçük olduğu için sayısal olarak mekanik özelliklerini elde edebileceğimiz testlere uygun değildir. Ülkemizde yaygın bir çalışma alanı olmadığı için yurtdışında yapılan çalışmalarla kıyaslandığında birçok çalışmayla benzer şeffaflıkta sonuçlar elde edilmiştir.

BÖLÜM V

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Yapılan yedi deneme çalışması sonucunda iki denemede istenilen şeffaflıkta sonuç elde edilmiştir. Bunlardan ilki dördüncü deneme çalışması sonucunda 10×10×1 mm ölçüsündeki kavak ağacı numunesi olmuştur. Aynı çalışmadaki 2 mm ve 3 mm kalınlıktaki diğer kavak ağacı numunelerine göre daha ince olması daha iyi sonuç vermesini sağlamıştır. Lignin delignifikasyonu için 36 gram H₂O ile 144 gram NaClO₂ (sodyum klorit) den elde edilen çözelti içerisinde numuneler 1 kaynatılmıştır. Çözeltiden alınan numuneler ağartma işlemi için kaynama sıcaklığındaki saf su ile elde edilen %6 lık hidrojen peroksit çözeltisinde kaynatılıp 1 gün bekletilmiştir. Ertesi gün çözeltiden alınan numuneler kalan kimyasalların numunelerden uzaklaştırılması için teksol içerisine alınıp 1 gün bekletilmiştir. Son aşama polimer infiltrasyonu için gliserin ile 15' er dakika 3 döngü vakum işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen numunenin dayanımını arttırmak amacıyla 1:2 oranında sertleştirici (1) ve epoksi (2) karışımından elde edilen şeffaf epoksi reçine kullanılarak kaplama yapılmış ve sertleşene kadar beklenilmiştir.

İkinci olarak şeffaflık sağlanan numune ise yedinci deneme çalışması sonucu elde edilen numunedir. 20×20×1 mm ölçüsünde kavak ağacından elde edilen ahşap numune ile çalışmaya devam edilmiş lignin delignifikasyonu için %3,5 NaClO₂ (sodyum klorit) çözeltisi, ağartma ve kimyasallardan arındırma işlemlerinde ise aynı kimyasallar kullanılmıştır. Ahşap numune gliserin ile 15 dk.lık 3 döngü olacak şekilde vakumlanmıştır. İşlem sonunda iste şeffaflık sağlanmıştır. Dayanımını arttırmak için vakumdan çıkan numuneye 1:2 oranında sertleştirici (1) ve epoksi (2) kullanılarak elde edilen şeffaf epoksi reçine dökülüp iki gün bekletilerek kaplama yapılmıştır.

Enine doğrultuda kesilerek elde edilen numune boyuna doğrultuda kesilerek elde edilen numuneye göre şeffaflık ve optik geçirgenlikte daha iyi sonuç vermiş fakat dayanım olarak daha zayıf kalmıştır.

5.2 Öneriler

Elde edilen şeffaf ahşap farklı alanlarda kullanıma sahip olabilecek alternatif bir yapı malzemesidir. Optik geçirgen özelliği ve organik olmasından dolayı dar ve karanlık iç mekanlarda duvar ve zemin tasarımı ile çatı katının daha ferah gösterebilmek için çatıda kullanılabilir malzemedir. Daha büyük ölçülerde ve daha kalın numuneler üzerinde çalışmalar yapılması ve çalışma sonucu şeffaflık sağlanması durumunda şeffaf ahşabın daha yaygın ve farklı kullanım alanına sahip olması sağlanacak ve uygun testler yapılarak sayısal olarak mekanik özellikleri ortaya konacaktır. Bu yönde çalışmaların yapılarak literatüre katkılar yapılması beklenmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Anonim, 2013. Çevreyi korumak için ağaçları kesin.Ustaa.net. [https://dekortv.wordpress.com/2013/01/10/cevreyi-korumak-icin-agaclari-kesin/\(26.12.2022\).](https://dekortv.wordpress.com/2013/01/10/cevreyi-korumak-icin-agaclari-kesin/(26.12.2022).)
- Anonim, 2013. How To Make A Paper? (Chemists' Recipe). <https://chem-is-you.blogspot.com/2013/03/how-to-make-paper-chemists-recipe.html> (27.12.2022).
- Anonim, 2017. Neden Ahşap Ev. [http://www.budvakutukev.com/neden-ahsap-ev/\(27.12.2022\).](http://www.budvakutukev.com/neden-ahsap-ev/(27.12.2022).)
- Ak, Ö., 2019. Pencereler şeffaf ahşaptan. Bilim ve Teknik Dergisi, 10 (618).
- Anonim, 2021. Şeffaf Ahşap Enerji Verimliliği Sağlayacak. [https://www.elektrikport.com/universite/seffaf-ahsap-enerji-verimliliği-saglayacak/22992#ad-image-0\(27.12.2022\).](https://www.elektrikport.com/universite/seffaf-ahsap-enerji-verimliliği-saglayacak/22992#ad-image-0(27.12.2022).)
- Anonim, 2021. Transparent Wood Could Be the Window of the Future. <https://www.usda.gov/media/blog/2020/10/01/transparent-wood-could-be-window-future> (27.12.2022).
- Anonim, 2022. Geleceğin teknolojisi şeffaf güneş panelleri olabilir mi?. [https://www.escarus.com/gelecegin-teknolojisi-seffaf-gunes-panelleri-olabilir-mi\(27.12.2022\).](https://www.escarus.com/gelecegin-teknolojisi-seffaf-gunes-panelleri-olabilir-mi(27.12.2022).)
- Bhattacharjee,S.,2018,TransparentWood.[https://www.slideshare.net/ShinjiniBhattacharjee1/transparent-wood\(27.12.2022\).](https://www.slideshare.net/ShinjiniBhattacharjee1/transparent-wood(27.12.2022).)
- Ding, L., Han, X., Chen, L., Jiang, S., 2022. Preparation and properties of hydrophobic and transparent wood. Journal of Bioresources and Bioproducts, 7 (4), 295-305.
- Erdoğan, E.(2003) , AHŞAP: Mükemmel Bir Yapı Malzemesi. TMH – Türkiye Mühendislik Haberleri, 48 (427), 89-92.
- Eichhorn, S., 2021. Transparent wood is coming, and it could make an energy-efficient alternative to glass. [https://theconversation.com/transparent-wood-is-coming-and-it-could-make-an-energy-efficient-alternative-to-glass-154981\(27.12.2022\).](https://theconversation.com/transparent-wood-is-coming-and-it-could-make-an-energy-efficient-alternative-to-glass-154981(27.12.2022).)
- Friedricha, D ., 2022. Success factors of Wood-Plastic Composites (WPC) as sustainable packaging material: A cross-sector expert study. Sustainable Production and Consumption, 30, 506-517.
- Harikrishnan, K.S., 2022, Transparent wood could soon replace plastics. [https://phys.org/news/2022-10-transparent-wood-plastics.html\(27.12.2022\).](https://phys.org/news/2022-10-transparent-wood-plastics.html(27.12.2022).)
- Kurtuluş, M., 2010. Lignoselülozik materyallerden termokatalitik işleme suda çözündürülen polisakkaritlerin moleküler yapılarının incelenmesi.(Yüksek lisans tezi), Çukurova Üniversitesi, Kimya Bölümü, Adana.

- Liu, S., Tso, C., Du, Y., Chao, L., Lee, H., Ho, T.C., Leung, M., 2021. Bioinspired thermochromic transparent hydrogel wood with advanced optical regulation abilities and mechanical properties for windows. *Applied Energy*, 297, 117207.
- McDonald, B., 2021. Scientists develop transparent wood that is stronger and lighter than glass. <https://www.cbc.ca/radio/quirks/scientists-develop-transparent-wood-that-is-stronger-and-lighter-than-glass-1.5902739>(27.12.2022).
- Mukhopadhyay, S., 2022, Transparent wood: Eco-friendly alternative one of most 'promising replacements' for plastic. <https://www.livemint.com/news/world/transparent-wood-eco-friendly-alternative-one-of-most-promising-replacements-for-plastic-11666420261905.html>(24.12.2022).
- NileRed.(2021, April 30). Making transparent wood / [Video].Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=uUU3jW7Y9Ak>
- NileRed.(2018, December 21). Attempting to make transparent wood/[Video].Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=x1H-323d838&t=0s>
- Nishimura, H., Kamiya, A., Nagata, T., Katahira, M., Watanabe T., 2018. Direct evidence for α ether linkage between lignin and carbohydrates in wood cell walls. *Scientific Reports*, 8, 6538.
- Obućina, M., Kuzman, M., Sandberg, D., 2017, Use of Sustainable Wood Building Materials in Bosnia and Herzegovina, Slovenia and Sweden, Ed: Sandberg, Dick. University of Sarajevo, Mechanical Engineering Faculty, Sarajevo, p. 216.
- Rai, R., Ranjan, R., Dhar, P., 2022. Life cycle assessment of transparent wood production using emerging technologies and strategic scale-up framework. *Science of The Total Environment*, 846, 157301.
- Rakipoğlu, Z., 2018. 'Ahşap yapılar büyük depremlere karşı dirençli'. <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/ahsap-yapilar-buyuk-depremlere-karsi-direncli/1351574>(27.12.2022).
- Subba Rao, A.N., Nagarajappa, G.B., Nair, S., Chathoth, A.M., Pandey, K., 2019. Flexible transparent wood prepared from poplar veneer and polyvinyl alcohol. *Composites Science and Technology*, 182, 107719.
- Türkiye İnşaat Malzemesi Sanayicileri Derneği (Türkiye İMSAD), 2021. Sürdürülebilir Kalkınma için STK'lar Projesi Diyalog Günü Sonuç Raporu. Sürdürülebilir Kalkınma için STK'lar Projesi Diyalog Günü, İstanbul.
- Upton, B., Miner, B., Spinney, M., & Heath, L. S., (2008). The Greenhouse Gas and Energy Impacts of Using Wood Instead of Alternatives in Residential Construction in The United States. *Biomass and Bioenergy*, 32.
- Yang, L., Wu, Y., Yang, F., Wang, W., 2021. Study on the preparation process and performance of a conductive, flexible, and transparent wood. *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 5396-5404.
- Xia, Q., Chen, C., Li, T., He, S., Gao, J., Wang, X., Hu, L., 2021. Solar-assisted

- fabrication of large-scale, patternable transparent wood. Science advances, 7 (5).
- Xia, W., Yang, Y., Zhao, J., Liu, Y., Guo, H., Transparent wood with phase change heat storage as novel green energy storage composites for building energy conservation. Journal of Cleaner Production, 296, 126598.
- Wild, S., 2019. Transparent wood: the building material of the future?. <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/transparent-wood-building-material-future>(27.12.2022).
- Puuinfo Ltd., 2020. NEDEN AHŞAP? | ÇEVRESEL VE KAYNAK VERİMİLİĞİ. <https://puuinfo.fi/puutieto/cevresel-ve-kaynak-verimiligi/karbon-ahsap-yapilara-uzun-sure> (20.01.2023).

