



# Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 18.05.2023  
Kabul Tarihi : 14.06.2023

Received Date : 18.05.2023  
Accepted Date : 14.06.2023

## HIZLANDIRILMIŞ VE DOĞAL YAŞLANDIRMANIN ÇAM KABUĞU VE KOZALAĞINDAN ÜRETİLEN KOMPOZİT MALZEMELERİN BAZI ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

### EFFECTS OF ACCELERATED AND NATURAL AGING ON SOME PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS PRODUCED FROM PINE BARK AND CONES

Fatih Tuncay EFE<sup>1\*</sup> (ORCID: 0000-0002-7247-1288)

<sup>1</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Yenice MYO, Ormanlık Bölümü, Çanakkale, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Fatih Tuncay EFE, fatihtuncayefe@gmail.com

#### ÖZET

Gerek odun gerekse diğer lignoselülozik malzemeler açık havada kullanıldıklarında güneş ışınları başta olmak üzere birçok etkilere maruz kalırlar. Bu malzemelerin daha uzun süre kullanılabilmesi için bu etkilerin sonuçlarının bilinmesi gerekir. Bu çalışmada, perlit katkılı çam kabuğu ve kozalaklarından yapılan kalıplanmış kompozit malzemelerin hızlı (UV ışın altında) ve doğal yaşlandırma sonucu renk, parlaklık, kütle kaybı ile bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin malzeme içeriğindeki hammaddelerin parçacık büyüklüğü ve perlit oranıyla değişimi araştırılmıştır. Sonuçlara göre, yaşlandırma testi sonrasında toplam renk farkı değerleri için farklı renk değişimi ve yüksek renk değişimi kriterlerine rastlanılmamış; fakat yapay yaşlandırmanın  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  parametrelerini değiştirici etkide bulunduğu tespit edilmiştir. UV yaşlandırma sonrası A grubu malzemeler hariç tüm malzemelerin basınç dayanımının ve yoğunluğunun azaldığı; toprak testi sonuçlarına göre UV öncesi kütle kayıplarının büyük farklılıklar gösterdiği ve en fazla kaybın kozalak içeren örneklerde olduğu ölçülmüştür. UV muamelesinin kütle kaybı açısından tüm örneklerde birbirine yakın etki ettiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyokompozit, çam kabuğu, kozalak, UV yaşlandırma

#### ABSTRACT

Both wood and other lignocellulosic materials are exposed to many factors, particularly sunlight, when they are used outdoors. In order for these materials to be used for a longer period, the results of these effects need to be known. In this study, the changes in color, gloss, mass loss, and some physical and mechanical properties of molded composite materials made from perlite-added pine bark and cones were investigated as a function of the particle size of the raw materials and the perlite content under rapid (under UV) and natural aging. According to the results, no different color change or high color change criteria were found for total color difference values after the aging test. Additionally, it was found that artificial aging had a changing effect on the  $L^*$ ,  $a^*$ , and  $b^*$  parameters. After UV aging, except for Group A materials, the compressive strength and density of all materials decreased. Based on soil test results, significant differences were observed in mass losses before UV, and the highest loss was measured in the samples containing cones. It was determined that the effect of UV treatment on mass loss was similar for all samples.

**Keywords:** Biocomposite, pine bark, cone, UV aging

## GİRİŞ

Doğal kaynaklar çoğunlukla yenilenebilir veya yenilenemez olarak tanımlanır. Yenilenebilir olanlar odun ve tarımsal ürünler gibi düzenli olarak yenilenebilir veya hasat edilebilen kaynaklardır ve üretim koşulları uygun olduğu sürece istenen seviyede yenilenebilir. Yenilenemeyen kaynaklar ise, fosil yakıtlar, mineraller, vb. gibi yalnızca bir kez hasat edilebilen kaynaklardır. Bunların çoğu önemli derecede sınırlıdır (Berge, 2009).

Son yıllarda enerji kaynaklarının tüketimi, hammadde ve aşırı kirlilikle ilgili endişeler artmıştır. Birçok çalışmada geri dönüşüme ve toksik olmayan malzemelere çok daha fazla vurgu yapılmaktadır (Korjenic vd., 2011; Blanchet vd., 2000). Dünyada yaşanabilir bir çevrenin önemine yönelik gittikçe artan bir eğilim bulunmaktadır. Bu eğilime paralel olarak ağaç kabuğu (özellikle iğne yapraklılar), kozalak ve lignoselülozik atıklar gibi toksik olmayan, yenilenebilir, kolay, ucuz ve bol temin edilebilir, üretimi kolay doğal kaynaklara ilgi günden güne artmaktadır (Efe, 2022). Yukarıda sözü edilen doğal hammaddeler halen çoğunlukla endüstriyel olarak katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmemekte, arazide bırakıldıklarında katı atık olarak ve yakıldıklarında ortaya çıkan zehirli gazlarla çevre kirliliğine yol açmaktadırlar (Kain, 2016). Ormanlar her yıl kabuk ve kozalak gibi tonlarca atık ve yan ürün üretir. Bunlardan kabuk, mikroorganizmalara karşı dayanıklı, düşük ısı iletkenliğe sahip ve çevre dostudur (Kain, vd., 2015), diğer taraftan kozalak da yenilenebilir bir lif kaynağı olmasına rağmen etkili bir şekilde kullanılmamaktadır (Arrakhiz vd., 2013; Buyuksari vd., 2010). Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)'nun 2021 istatistiklerine göre 2019'da 1.398 milyar metreküp iğne yapraklı ağaç odunu ve 2.572 milyar metreküp geniş yapraklı ağaç odunu üretildiği rapor edilmiştir (FAO, 2021). Ağacın ortalama 10% kabuk içerdiği hesaba katılırsa (Hoong vd., 2011; Xing vd., 2007), yıllık potansiyel kullanılabilir kabuk hacminin 397 milyon metreküp olduğu söylenebilir. Her yıl orman ürünleri endüstrisi faaliyetlerinden ortaya çıkan çok büyük miktarlarda kabuk ya çöpe gitmekte veya yakılmaktadır (Pásztorly vd., 2016; Barbu, 2011). Diğer taraftan, dünyada her yıl ne kadar çam kozalağının ortaya çıktığı fıstık çamının ki hariç bilinmemektedir. Ancak mevcut ağaç envanteri göz önüne alındığında çok büyük miktarlarda olduğu tahmin edilebilir.

Son yıllarda kabuk esaslı yalıtım malzemeleri üzerine çalışmaların arttığı tespit edilmiştir. Bu kapsamda kızılçam (Efe, 2022), mantar (Ferreira vd., 2016; La Rosa vd., 2014), sarıçam (Tudor vd., 2020a; Kain vd., 2012), yalancı akasya (Pásztorly vd., 2017), ladin (Tudor, vd., 2020b), kavak (Busquets-Ferrer vd., 2021; Tsalagkas vd., 2019), melez (Kain vd., 2018; Kain, vd., 2015; Kain vd., 2014), beyaz ladin, İsveç çamı ve huş (Holmberg vd., 2016) ve okaliptus (Wesolowski vd., 2014) üzerine araştırmalar yapılmıştır.

Başka bir odun dışı orman ürünü olan çam kozalakları güçlü lifli yapısı, özgül ağırlığının fazla oluşu, odundan ve kabuktan farklı kimyasal içeriğiyle çeşitli kullanım alanları için iyi bir aday hammadde. Çam kozalaklarıyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bir çalışmada yonga levha veya orta yoğunlukta lif levha (MDF) üretiminde kozalak kullanımının mekanik özellikleri olumsuz etkilediği belirlenmiştir (Sahin ve Arslan, 2011; Buyuksari vd., 2010; Ayrılmış vd., 2009). Diğer taraftan, kozalak lifi veya ununun epoksi reçinesi (Kolář vd., 2019; Baştürk vd., 2015), polipropilen (Arrakhiz vd., 2012), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) (Guo vd., 2019), ve polikaprolakton (PCL) (Jha vd., 2018) gibi bazı matrislerdeki etkisi araştırılmıştır.

Doğal ve yenilenebilir bir malzeme olarak odun, geçmişten bu güne yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kullanım alanlarından bazıları, zemin kaplaması, çit, dış mekân mobilyaları ve yapı malzemeleri gibi dış mekân uygulamalarıdır. Ahşap malzeme, iklim şartlarına maruz kaldığında, estetik (renk ve parlaklık) ve mekanik performansının düşmesine yol açan biyobozunma ve fotodegradasyona uğramaktadır (Brischke ve Alfredsen, 2020).

Masif ağaç gibi odun esaslı kompozitler (yonga levha, MDF, kontrplak vb.) de mobilya endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Odun esaslı malzemeler kullanım süreleri boyunca da gerek iç gerekse dış mekânlarda rutubet, sıcaklık, nem, güneş ışığı gibi fiziksel ve çarpma, sürtünme, eğilme gibi farklı mekanik etkilere maruz kalmaktadırlar. Bu etkilere maruz kalma şiddeti ve süresi, malzemenin ömrü ve performansı üzerinde bazı olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Malzemenin karakterizasyonu ile bu etkilere karşı gösterdiği tepkiler malzeme seçimi ve kullanımında belirleyici rol oynamaktadır.

İç ve dış mekânlarda kullanılan odun ve odun esaslı malzemeler için, ultraviyole (UV) ışınları ve kızılötesi (IR) ışıkları, yağmur, kar, dolu, nem, sis, çığ, rüzgâr, kum, toz, kir, kimyasal maddeler, yağ ve kuru sıcaklık gibi birçok önemli etkilere maruz kalmaktadır. Bu etkilere maruz kalma şiddeti ve süresi, malzemenin anatomik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinde bazı bozulmalar olabilmektedir. Bu bozulmalar, hücre çeperi bağlarının zayıflaması, hücreler arası ve

hücreler içi makroskopik-mikroskopik gerilmeler, ağırlık azalması, renk değişimi, parlaklık kaybı, yüzey pürüzlülüğü, çeşitli çatlamlar, yarılmalar, açılmalar, kopmalar, çökmeler gibi değişik şekillerde ortaya çıkabilmektedir (Kılıç ve Hafizoğlu, 2009).

İklim şartlarına maruz kalan ahşap, doğal ayrışma adı verilen durumla karşılaşır (Williams, 2010). Olanda fotodegradasyonun en önemli nedenlerinden biri, ana bileşenleri, özellikle lignin arasında kimyasal reaksiyonlara neden olan ve kromoforik gruplar oluşturan UV ışındır (Cogulet vd., 2016; Pandey, 2005). Lignin, esas olarak aromatik halkalar ve kromoforik gruplar içeren karmaşık bir 3D polimerdir ve UV radyasyonu ile bozulmaya karşı oldukça hassastır (Zborowska vd., 2015; Rosu vd., 2010).

Kısaca, literatürde kabuk ve kozalağın kompozit, dolgu, ısı yalıtım malzemesi ve filtre olarak performansına ilişkin çalışmalar yapıldığı; UV ışınla hızlandırılmış yaşlandırma testinin çoğunlukla masif ağaç malzeme veya kaplamalar (Özdemir vd., 2018) üzerinde yapıldığı anlaşılmaktadır. Literatür araştırmasında üretilen malzemeler ya boşluksuz, tamamen dolu ya da gevşek yapıda olup; şu ana kadar bal peteği şekilli kalıp kullanılarak kabuk ve/veya kozalak esaslı ısı yalıtım malzemesi üretimi ve onun UV ışınla hızlı yaşlandırma sonucu renk, parlaklık değişimi konusunda herhangi bir araştırmaya ulaşılamamıştır.

Bu çalışmanın amacı, çam kozalağı ve kabuğundan üretilen kalıplı kompozit malzemenin UV ışınla hızlandırılmış ve doğal yaşlandırma testi sonunda renk, parlaklık ve kütle değişimi özelliklerini tespit etmek ve bu özelliklerin malzeme içeriğindeki hammaddelerin parçacık büyüklüğü ile ve perlit oranıyla ilişkilerini belirlemektir. Bu kapsamda, çam kabuğu ve kozalağı kullanılarak yaklaşık 55% boşluk oranına sahip 15 tip malzeme üretilmiştir.

## MATERYAL ve YÖNTEM

### Materyal

Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.) Türkiye’de en geniş yayılış gösteren, kabuğu en kalın iğne yapraklı tür olduğu için bu ağacın kabuk ve kozalakları hammadde olarak kullanılmıştır. Kabuk ve kozalaklar Yenice ilçesi, Çanakkale ili, Türkiye’de Temmuz 2018’de toplanmıştır. Hammaddelerin bu ayda toplanmasının sebebi, tomruk üretiminin yaygın olarak yapılması, kozalakların tohumlarını dökmesi ve hızlı bir doğal kurumanın olmasıdır. Şekil 1, hammadde örneklerini göstermektedir.



Şekil 1. Parçacık Boyutuna Göre Hammaddeler

Malzemelerin üretiminde rutubet ve yanmaya karşı direnç, hafiflik ve yalıtım özelliklerini iyileştirmek için parafin, borik asit, genişletilmiş perlit eklenmiştir. Tutkal olarak üre-formaldehit reçinesi kullanılmıştır. Perlit Genper Genleştirilmiş Perlit San. Tic. Ltd. Şti., Kütahya, Türkiye’den; borik asit Forscher, Türkiye’den; parafin ve üre-formaldehit reçinesi Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi A.Ş Balıkesir Yonga Levha Tesisleri, Türkiye’den temin edildi. Perlitin dökme yoğunluğu 50-60 kg/m<sup>3</sup>, rengi beyaz, rutubet içeriği maksimum %1, pH’ı 6-8.5 arasındadır. Borik asit toz formunda, rengi beyaz, yoğunluğu 1440 kg/m<sup>3</sup>tür. Üre formaldehit reçinesi ve parafinin yoğunluğu, katı madde oranı, viskozitesi ve pH’ı sırasıyla 1285 kg/m<sup>3</sup> ve 850-960 kg/m<sup>3</sup>, %65 ve %58-65, 301.1 cPs ve 10-100 cPs, 8.54 ve 8-11 arasındadır. Hammaddeleri öğütmede kullanılan 6 mm ve 9 mm açıklıklı elekleri, 24 adet kırıcı çene ve 3 kW gücünde motoru olan çekiçli değirmen ile 300 °C’ye kadar dijital olarak ayarlanabilen, hava sirkülasyonlu bir kurutma fırını Doğançül Makine Firması, Gaziantep, Türkiye’den satın alınmıştır. Hammadde

tasnifinde 0,5, 1, 2, 3, 4 ve 5 mm açıklıklı çelik elekler manuel kullanılmıştır. 500 × 350 × 50 mm boyutlarında petek şeklinde bir alüminyum kalıp seti, tüm malzemelerin çekirdek katmanlarını üretmek için Gaziantep, Türkiye'deki Alper Torna Firmasından satın alınmıştır. Yüzey tabakaları, 130 °C sıcaklık ve 200 bara ulaşabilen Kocayusuf Piton-KP-1 marka hidrolik preste üretilmiştir. Testler, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Fakültesi laboratuvarlarında ve Üniversite-Sanayi-Kamu İşbirliği Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi (ÜSKİM)'de yapılmıştır.

### Metot

Malzemeler 4 mm kalınlıkta yüzey tabakalarının üretimi, 32 mm kalınlıkta orta tabakaların üretimi ve malzemenin oluşturulması olarak üç aşama halinde üretildi. Malzeme tipleri ve içerikleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

**Tablo 1.** Malzemelerin İçerikleri. Tablo içeriği, Efe (2022)'den alınmıştır

Malzemeler	İçerik	Oran (%)	Parçacık büyüklüğü (PB) (mm)
A1	Kabuk	100	1<PB<2
A2		100	2<PB<3
A3		100	3<PB<4
B1	Kozalak	100	1<PB<2
B2		100	2<PB<3
B3		100	3<PB<4
C1	Kabuk/Kozalak	75/25*	2<PB<3
C2		50/50*	
C3		25/75*	
D1	Kabuk/Perlit	90/10 <sup>#</sup>	2<PB<3
D2		80/20 <sup>#</sup>	
D3		70/30 <sup>#</sup>	
E1	Kozalak/Perlit	90/10 <sup>#</sup>	2<PB<3
E2		80/20 <sup>#</sup>	
E3		70/30 <sup>#</sup>	

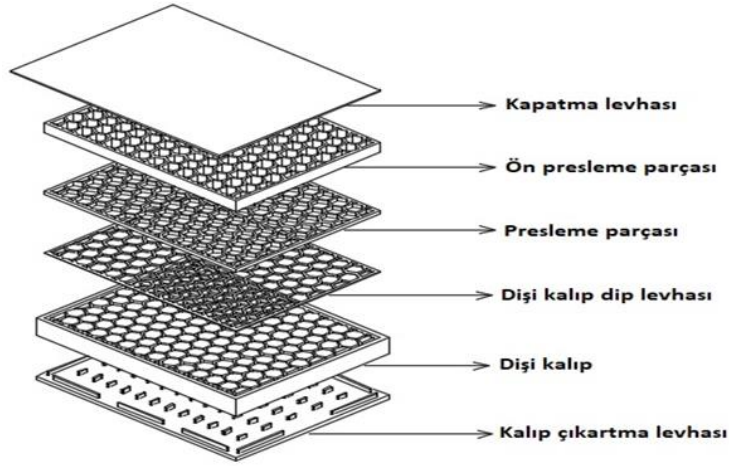
\*: Ağırlıkça, #: Hacimce

Tüm malzemelerin üretiminde ağırlıkça %10 tutkal, %1 borik asit ve %0.5 parafin kullanıldı. Hava kurusu (%12-15) rutubetteki kozalak ve kabuklar önce çekiçli değirmende öğütüldü, sonra elle elendi, 1 mm'den küçük ve 4 mm'den büyük parçacıklar kullanım dışı hammadde olarak uzaklaştırıldı ve fırında %1-2 rutubete ulaşmaya kadar kurutuldu. Yüzey tabakalarının üretiminde bir çerçeve şeklinde 20 × 450 × 550 mm ölçülerinde MDF'den yapılmış şablon kullanıldı. Her bir malzeme için değişen oranlarda kozalak/kabuk, perlit, tutkal, borik asit ve parafin bir el mikseriyle karıştırıldı ve şablon içine serildi. Böylece malzeme taslakları oluşturuldu. Yüzey tabakaları taslaklarına 4 hidrolik kriko ile ön sıkıştırma uygulandı. Son olarak 1:5 sıkıştırma oranı kullanılarak hidrolik preste 4 mm kalınlıkta malzemeler üretildi. Yüzey tabakaları üretiminde 8 dk boyunca 130 °C sıcaklıkta 200 bar basınç uygulandı. Orta tabakaların üretiminde yüzey tabakalarıyla aynı içerikteki karışım kullanıldı. Burada karışım bal peteği şekilli alüminyum kalıba serildi, titreşimle malzemenin boşlukları giderildi ve hidrolik krikolarla 2 kg/cm<sup>2</sup> basınç uygulandı. Kalıp, basınç altındayken sabitlenerek 160 °C'de 30 dk kürlendi ve sonuçta 32 mm kalınlıkta orta tabaka elde edildi. Yüzey tabakalarının üre formaldehit reçenesi ile tutkallanarak orta tabakanın iki tarafına yapıştırılmasıyla 40 mm kalınlıkta sandviç formunda son malzeme üretilmiştir. Bu son aşamada presleme parametreleri 130 °C, 20 bar ve 8 dk olarak kullanılmıştır. Bal peteği şekilli alüminyum kalıbı oluşturan bileşenler Şekil 2'de gösterilmektedir.

### Hızlandırılmış Yaşlandırma Testi

Bu test, ÜSKİM'de Atlas firmasına ait SUNTEST XLS+ cihazında ISO 11431 standardı, 1:2008D-2 metoduna göre, ışığa kontrolü 300-400 nm aralığında yapılmıştır. Testin yapılma amacı, üretilen ısı yalıtım levhalarının laboratuvar ortamında gün ışığını taklit ederek gerçek doğal şartları altında güneş ışığından ne kadar ve nasıl etkileneceğini tespit etmektir. Numuneler 23 ± 2 °C sıcaklık ve %50±5 bağıl nemli ortamda 28 gün süreyle şartlandırılmıştır. UV yaşlandırma testinin malzemenin kütlede, renginde, basınç direncinde meydana getirdiği değişiklikler ölçülmüştür. Test süresi toplam 240 saattir.





Şekil 2. Bal Peteği Kalıp Parçaları. Şekil, Efe (2022)'den alınmıştır

### Basınç Direnci Ölçümü

Bu test Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Bu test ALŞA marka 50 kN kapasiteli hidrolik test cihazında yapıldı. Levhalar “Isı yalıtım mamulleri-Binalar için-Basınç altındaki davranışın tayini-(TS EN 826)” standardına uygun olarak test edildi. Bu standartta levhaların %10 deformasyona denk gelen basınç dayanımı ( $\sigma_{10}$ ) ölçüldü. Testte her bir levhadan ölçüleri 165x165x40 mm olan 4 adet numune alınarak test edildi. Deney numuneleri en az 6 saat süreyle ( $23 \pm 5$ ) °C’de bekletilerek şartlandırıldı, deney ( $23 \pm 5$ ) °C’de yapıldı. Bu testte basınç dayanımı ( $\sigma_m$ ), kPa cinsinden aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır:

$$\sigma_m = 10^3 \frac{F_m}{A_0} \quad (1)$$

Burada;

$F_m$ = En büyük kuvvet (N)

$A_0$ = Deney numunesinin başlangıç en kesit alanı ( $\text{mm}^2$ )’dır.

%10 birim şekil değiştirmeye karşılık gelen basınç gerilmesi ( $\sigma_{10}$ ), kPa cinsinden aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır:

$$\sigma_{10} = 10^3 \frac{F_{10}}{A_0} \quad (2)$$

Burada;

$F_{10}$ : % 10 birim şekil değiştirmeye karşılık gelen kuvvet (N),

$A_0$ : Deney numunesinin başlangıçtaki en kesit alanı ( $\text{mm}^2$ )’dır.

### Kütle Kaybı Ölçümü

Bu test Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Yenice MYO kampüsünde yapılmıştır. Bunun için kampüs bahçesindeki toprak alandan yararlanılmıştır. Testin yapılma amacı, UV yaşlandırma testine tabi tutulan ve tutulmayan levhaların kullanım ömrü tamamlandıktan sonra doğaya bırakıldığında zamana bağlı olarak meydana gelecek kütle kayıpları hakkında, dolayısıyla toprağa karışma performansı hakkında fikir edinmektir. Kullanılan cihaz ve ekipmanlar Termal marka hava sirkülasyonlu etüv, BEL Engineering marka  $220 \pm 0,01$  mg kapasiteli hassas terazi, 0,05 mm hassasiyette çelik kumpas ve desikatördür. Testte her levhadan  $50 \times 50 \times 40$  mm ebatlarında 5’er adet numune kullanılmıştır. Numuneler sentetik tül perde kumaşıyla paketlenen tam kuru hale gelinceye kadar  $103 \pm 2$  °C’de 24 saat boyunca etüvde kurutuldu. Daha sonra başlangıçtaki ağırlıkları 0,01 g hassasiyette tartılarak kaydedildi. Takiben, 30 cm derinlikte kazılmış ve tabanı ıslatılmış çukura konuldu ve üzeri toprakla kapatıldı. 90 günün sonunda numuneler toprak altından çıkarıldı, toprak kalıntıları temizlendi ve  $103 \pm 2$  °C’de 24 saat boyunca etüvde tam kuru ağırlığa ulaşmaya kadar kurutuldu. Doğal iklim koşullarında toprakta meydana gelen kütle kayıpları aşağıdaki bağıntıyla göre hesaplandı:

$$m_k = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 (\%) \quad (3)$$

Burada;

$m_k$ = Kütle kaybı oranı (%)

$m_1$ = Numunenin başlangıç ağırlığı (g)

$m_2$ = Numunenin sonuç ağırlığı (g)'dir.

### Renk Ölçümlerinin Belirlenmesi

Yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış panellerin renk ölçümleri Hunterlab Color Flex cihazı (Geometri: dairesel yönlü 45° aydınlatmalı/0° görüntüleme) kullanılarak belirlenmiştir. Renk ölçümleri her bir levha numunesinden 100x100x40 mm ölçülerinde 3'er adet numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. CIELAB sisteminde,  $L^*$  eksen, 100'den (beyaz) sıfıra (siyah) kadar değişen açıklığı,  $a^*$  kırmızı (+) ile yeşil (-) tonu ve  $b^*$  sarıdan (+) maviye (-) tonu ifade etmektedir (Ayata 2019, Ayata vd. 2021).  $\Delta b^*$ ,  $\Delta L^*$ ,  $\Delta E^*$  ve  $\Delta a^*$  değerleri aşağıda verilmiş olan formüller ile belirlenmiştir. Barański ve ark., (2017)'e göre renk değiştirme kriterleri Tablo 2'de verilmiştir.

$$\Delta a^* = a^*_{UV \text{ yaşlandırılmış}} - a^*_{UV \text{ yaşlandırılmamış}} \quad (4)$$

$$\Delta b^* = b^*_{UV \text{ yaşlandırılmış}} - b^*_{UV \text{ yaşlandırılmamış}} \quad (5)$$

$$\Delta L^* = L^*_{UV \text{ yaşlandırılmış}} - L^*_{UV \text{ yaşlandırılmamış}} \quad (6)$$

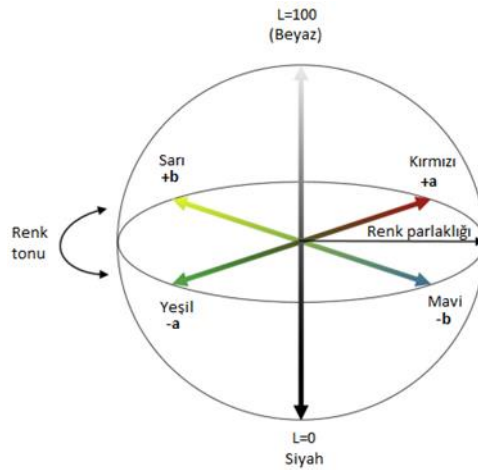
$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (7)$$

Burada  $\Delta a$ , kırmızıdan yeşile renk değişimini;  $\Delta L$ , toplam parlaklık değişimini;  $\Delta b$ , sarıdan maviye renk değişimini ve  $\Delta E$ , toplam renk değişimini göstermektedir.

**Tablo 2.** Renk Değişirme Kriterleri (Baranski vd., 2017)

$\Delta E^*$ Değeri	Gözlem Sonucu
$\Delta E^* < 0.2$	Görünmez renk değişimi
$2 > \Delta E^* >$	Hafif renk değişimi
$3 > \Delta E^* > 2$	Yüksek filtrede görünür renk değişimi
$6 > \Delta E^* > 3$	Filtrenin ortalama kalitesiyle görülebilen bir renk
$12 > \Delta E^* >$	Yüksek renk değişimi
$\Delta E^* > 12$	Farklı renk

Literatürde birçok çalışmada (Ayata vd., 2021; Ly vd., 2020; Cogulet vd., 2016; Pandey, 2005) kullanılan ve renk ve parlaklık değişimini sembolize eden CIELAB renk uzayı diyagramı Şekil 3'te görülmektedir.



**Şekil 3.** CIELAB Renk Uzayı Diyagramı

### BULGULAR VE TARTIŞMA

Renk parametrelerine ait varyans analizi sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Verilen bu sonuçlara göre,  $L^*$  değerinin yaşlandırma (B) faktörü anlamsız elde edilirken, malzeme türü (A) ve etkileşim (AB) anlamlı olduğu belirlenmiştir. Buna ek olarak,  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri için malzeme türü (A), yaşlandırma (B) ve etkileşim (AB) anlamlı olarak bulunmuştur.

**Tablo 3.** Renk Parametrelerine ait Varyans Analizi Sonuçları

Test	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F değeri	$\alpha \leq 0.05$
Işıklılık ( $L^*$ )	Malzeme Türü (A)	7189,045	14	513,503	189,712	0,000*
	Yaşlandırma (B)	6,126	1	6,126	2,263	0,138**
	Etkileşim (AB)	82,278	14	5,877	2,171	0,020*
	Hata	162,405	60	2,707		
	Toplam	153936,987	90			
	Düzeltilmiş Toplam	7439,854	89			
Kırmızı Renk Tonu ( $a^*$ )	Malzeme Türü (A)	882,840	14	63,060	230,868	0,000*
	Yaşlandırma (B)	8,269	1	8,269	30,273	0,000*
	Etkileşim (AB)	15,132	14	1,081	3,957	0,000*
	Hata	16,389	60	0,273		
	Toplam	12080,011	90			
	Düzeltilmiş Toplam	922,629	89			
Sarı Renk Tonu ( $b^*$ )	Malzeme Türü (A)	844,000	14	60,286	111,708	0,000*
	Yaşlandırma (B)	8,855	1	8,855	16,408	0,000*
	Etkileşim (AB)	18,194	14	1,300	2,408	0,010*
	Hata	32,380	60	0,540		
	Toplam	19935,999	90			
	Düzeltilmiş Toplam	903,429	89			

\*: Anlamlı, \*\*: Anlamsız

Renk parametrelerine ait sonuçlar Tablo 4’te verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre;  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri her malzeme türünde yaşlandırma sonrasında farklı sonuçlar vermiştir.

**Tablo 4.** Renk Parametrelerine ait Sonuçlar

Levha Türü	Yaşlandırma	Işıklılık ( $L^*$ ) Değeri				Kırmızı Renk ( $a^*$ ) Tonu Değeri				Sarı Renk ( $b^*$ ) Tonu Değeri			
		$\bar{X}$	Değişim (%)	SS	HG	$\bar{X}$	Değişim (%)	SS	HG	$\bar{X}$	Değişim (%)	SS	HG
A1	Kontrol	36,10		1,26	FG	15,63		0,33	A	18,32		0,37	A*
	240 saat	34,61	↓4,13	0,68	G	13,61	↓12,92	0,81	CD	16,47	↓10,10	0,32	CDEF
A2	Kontrol	34,87		0,98	G	14,84		0,08	AB	16,89		0,46	BCDE
	240 saat	33,66	↓3,47	0,98	G	14,06	↓5,26	0,56	BCD	16,44	↓2,66	1,03	CDEF
A3	Kontrol	34,07		1,11	G	15,68		0,32	A*	16,85		0,65	BCDE
	240 saat	34,79	↑2,11	0,51	G	14,13	↓9,89	0,62	BC	15,80	↓6,23	0,37	EF
B1	Kontrol	34,85		0,47	G	10,89		0,17	H	15,77		0,07	EF
	240 saat	33,52	↓3,82	1,09	G	10,76	↓1,19	0,05	H	15,71	↓0,38	0,63	EF
B2	Kontrol	33,54		1,26	G	10,55		0,21	HI	16,16		0,63	DEF
	240 saat	34,29	↑2,24	1,42	G	11,01	↑4,36	0,09	H	16,67	↑3,16	0,30	BCDE
B3	Kontrol	35,78		0,79	G	10,73		0,20	H	17,42		0,29	ABCD
	240 saat	35,56	↓0,61	1,33	G	11,03	↑2,80	0,13	H	17,87	↑2,58	0,51	AB
C1	Kontrol	34,47		0,68	G	14,48		0,43	BC	17,11		0,86	ABCDE
	240 saat	33,21	↓3,66	1,45	G**	13,89	↓4,07	0,62	BCD	15,95	↓6,78	0,65	EF
C2	Kontrol	35,55		0,87	G	14,15		1,18	BC	17,68		0,75	ABC
	240 saat	33,26	↓6,44	0,27	G	13,14	↓7,14	0,35	DE	15,94	↓9,84	0,45	EF
C3	Kontrol	33,90		0,53	G	11,99		0,07	FG	15,69		0,19	EF
	240 saat	33,56	↓1,00	0,79	G	11,97	↓0,17	0,33	FG	15,70	↑0,06	0,64	EF
D1	Kontrol	40,86		2,32	DE	12,54		0,41	EF	13,85		1,41	GH
	240 saat	40,11	↓1,84	0,80	DE	11,38	↓9,25	0,50	GH	13,88	↑0,22	0,27	GH
D2	Kontrol	44,42		0,87	C	12,05		0,25	FG	15,09		0,39	FG
	240 saat	42,65	↓3,98	2,07	CD	11,04	↓8,38	1,11	H	13,48	↓10,67	1,22	HI
D3	Kontrol	54,42		3,72	B	9,78		0,42	IJ	12,38		0,44	IJ
	240 saat	54,61	↑0,35	2,57	B	8,18	↓16,36	0,62	K	11,35	↓8,32	0,81	J
E1	Kontrol	38,68		0,78	EF	9,05		0,55	JK	13,82		1,29	GH
	240 saat	40,60	↑4,96	1,28	DE	8,57	↓5,30	0,57	K	12,67	↓8,32	0,61	HI
E2	Kontrol	56,18		2,18	B	5,00		0,15	LM	8,59		0,42	K
	240 saat	60,16	↑7,08	1,95	A	4,37	↓12,60	0,44	M	7,11	↓17,23	0,64	L**
E3	Kontrol	61,40		4,27	A*	4,19		0,99	M**	7,20		1,42	L
	240 saat	56,69	↓7,67	1,85	B	5,31	↑26,73	0,44	L	8,37	↑16,25	1,15	KL

$\bar{X}$ : Ortalama, SS: Standart Sapma, HG: Homojenlik Grubu, \*: En yüksek değer, \*\*: En düşük değer

Toplam renk farklılıklarına ait sonuçları Tablo 5’te verilmiştir. Renk değiştirme kriterlerine göre (Baranski vd., 2017) en düşük renk değişimi  $\Delta E^*$  değeri C3 nolu malzemede (0.34), en yüksek  $\Delta E^*$  değeri E3 nolu malzemede (4.98) elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda yüksek renk değişimine veya önemli renk değişimine rastlanmadığı görülmektedir. Malzeme grupları incelendiğinde sadece kabuk içeren A grubu malzemelerin parçacık boyutundan bağımsız bir değişim gösterdiği anlaşılmaktadır. B grubu malzemelerde parçacık boyutuyla ters orantılı olarak renk değişiminin azaldığı görülmüştür. Bu sonuca göre, kozalak parçacıklarının yüzey alanı arttıkça UV ışığın daha fazla etki ettiği söylenebilir. C ve D grubu malzemelerde de A grubundaki gibi düzenli olmayan bir renk değişimi ölçülmüştür. Kozalak lifleri içeren E grubu malzemelerde perlit oranı ile doğru orantılı bir renk değişimi olduğu ölçülmüştür. E grubu malzemelerde hem perlit içermeyen ancak aynı parçacık büyüklüğüne sahip B2 grubu malzemelere göre iki kattan daha fazla renk değişiminin olması; hem de karışıma katılan perlit miktarının artmasıyla renk değişiminin artması, UV ışığın perlit miktarına bağlı olarak daha fazla etki ettiği sonucuna ulaşılabilir.

**Tablo 5.** Toplam Renk Farklılıklarına ait Sonuçlar

Levha	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E^*$	Renk değiştirme kriterleri (Baranski vd. 2017)’e göre
A1	-1,49	-2,02	-1,85	3,12	Filtrenin ortalama kalitesiyle görülebilen bir renk
A2	-1,21	-0,78	-0,45	1,51	Hafif renk değişimi
A3	0,72	-1,55	-1,05	2,01	Yüksek filtrede görünür renk değişimi
B1	-1,33	-0,13	-0,06	1,34	Hafif renk değişimi
B2	0,75	0,46	0,51	1,02	Hafif renk değişimi
B3	-0,22	0,30	0,45	0,58	Görünmez renk değişimi
C1	-1,26	-0,59	-1,16	1,81	Görünmez renk değişimi
C2	-2,29	-1,01	-1,74	3,05	Filtrenin ortalama kalitesiyle görülebilen bir renk
C3	-0,34	-0,02	0,01	0,34	Hafif renk değişimi
D1	-0,75	-1,16	0,03	1,38	Hafif renk değişimi
D2	-1,77	-1,01	-1,61	2,60	Yüksek filtrede görünür renk değişimi
D3	0,19	-1,60	-1,03	1,91	Hafif renk değişimi
E1	1,92	-0,48	-1,15	2,29	Yüksek filtrede görünür renk değişimi
E2	3,98	-0,63	-1,48	4,29	Filtrenin ortalama kalitesiyle görülebilen bir renk
E3	-4,71	1,12	1,17	4,98	Filtrenin ortalama kalitesiyle görülebilen bir renk

Tablo 6, UV yaşlandırma testinin malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkilerini karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Buna göre UV yaşlandırma testi sonunda levhaların basınç değerlerinde anormal bir değişiklik gözlemlenmemiş, genel olarak UV öncesi yapılan basınç dayanımı testi sonuçlarına göre direnç değerleri azalmış, bu azalmanın da kendi aralarında uyumlu olduğu görülmüştür. Ancak, istisna olarak A1, A2 ve A3 tipi levhaların basınç direnci az da olsa artmıştır. Üstelik bu artış hammadde tanecik büyüklüğüyle doğru orantılı olarak gerçekleşmiştir. A1, A2 ve A3 tipi levhaların ortak özelliği hammadde olarak sadece çam kabuğu içermeleridir. UV sonrası meydana gelen bu artışın UV ışının çam kabuğu dokusu üzerinde yaptığı sertleştirici etkiden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Diğer taraftan, UV yaşlandırma testi sonucunda yapılan görünür yoğunluk ölçümlerine göre A1, A3 ve C3 tipi levhaların değerlerinde artış, diğerlerinkinde düşüş görülmüştür. A1 ve A3 tipi levhaların UV yaşlandırma testi sonrası yoğunluk değerlerindeki artış UV yaşlandırma testi sonrası basınç dayanımı değerlerindeki artışla uyumludur. UV yaşlandırma testi sonrası doğal iklim koşullarında yapılan toprak testinde istinasız olarak levhaların tümünde UV öncesine göre daha az kütle kaybı olduğu görülmüştür. Bu durum UV etkisinin levhalar üzerinde toprak altındaki çeşitli mantar ve bakteriler açısından bir çeşit koruma sağlandığı şeklinde yorumlanabilir. Bir çalışmada fungusit katkılı polivinilklorür ve ahşap/polivinilklorür kompozitlerin mantar önleyici performansı ve mekanik-morfolojik özellikleri, UV ayrışma yaşanmasının (0-32 gün) ve toprağa gömülme maruziyetinin (0-6 ay) etkileri açısından incelenmiş ve mantar önleme etkinliğinin 32 gün sonra UV yaşlanması ile %81,4’ten %28,3’e ve 6 ay sonra toprağa gömme testi ile %81,4’ten %4,4’e düştüğünün bulunması (Kositchaiyong vd., 2014) benzer bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ayata vd. (2021) kayısı odununa uygulanmış UV sistem parke vernikli katmanların yapay yaşlandırma karşısındaki performansını incelemişlerdir. Bu amaçla örnekler 252 ve 504 saat süreyle UV ışına maruz bırakılmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre bütün testler için varyans analizleri anlamlı olarak elde edilmiştir. Çalışmamızdaki malzemelerde de renk parametreleri bakımından yaşlandırmanın ışıklılık ( $L^*$ ) hariç diğer tüm varyans analizlerinin anlamlı olduğu görülmüştür. Baranski vd. (2017), yüksek sıcaklığın odunun diri odun ve öz odun üzerindeki renk değişimine etkilerini araştırmış ve diri odunun renk değişimine daha hassas olduğunu tespit etmişlerdir. Cogulet vd. (2016), ladin odununun renk değişikliklerini, bir yansıtma spektrofotometresi kullanarak ve FTIR-ATR spektroskopisi ile analiz etmişlerdir.



**Tablo 6.** UV Yaşlandırma Testi Sonrası Levhaların Ölçülen Bazı Özellikleri

Levha Adı	Basınç Direnci (kPa)		Görünür Yoğunluk		Toprak Testi Kütle Kayıpları	
	UV Öncesi	UV Sonrası	UV Öncesi	UV Sonrası	UV Öncesi	UV Sonrası
A1	266,21	315,04	273,11	293,93	0,08	0,07
A2	296,12	387,12	256,81	251,45	0,09	0,07
A3	359,27	552,87	262,51	279,76	0,09	0,07
B1	792,96	753,23	305,43	281,15	0,11	0,07
B2	722,42	682,17	292,22	264,00	0,10	0,07
B3	891,35	746,30	298,38	239,14	0,09	0,08
C1	364,07	344,08	263,37	248,12	0,08	0,08
C2	324,50	258,44	252,69	234,78	0,05	0,09
C3	314,82	272,72	244,48	250,49	0,08	0,08
D1	309,60	288,63	261,29	243,9	0,09	0,08
D2	328,33	290,04	261,57	258,94	0,09	0,07
D3	414,38	334,90	259,88	237,97	0,09	0,07
E1	739,32	528,13	275,38	257,93	0,08	0,09
E2	709,45	549,43	272,09	250,15	0,09	0,10
E3	563,18	225,73	266,29	256,32	0,10	0,09
$\bar{X}$	493,07	435,26	269,70	256,53	0,09	0,08
SS	210,64	177,70	16,50	16,46	0,01	0,01
VK	42,72	40,83	6,12	6,41	14,28	11,84
Min.	266,21	225,73	244,48	234,78	0,05	0,07
Maks.	891,35	753,23	305,43	293,93	0,11	0,10

$\bar{X}$ : Ortalama, SS: Standart sapma, VK: Varyasyon katsayısı

Kuka vd. (2020), ısı işlem görmüş sarıçam odunu parçacıkları içeren odun-plastik kompozitlerini 500 saat süreyle UV yaşlandırma ve UV yaşlandırma+su spreyi yöntemleriyle kombinasyon halinde yapay ayrışma testlerine tabi tutmuşlar, renk değiştirme mekanizmasına ilişkin önemli hususları ve ısı işlem görmüş ve görmemiş ahşap parçacıklar ile WPC arasındaki farkları tespit etmişlerdir. Diğer taraftan, kayın odunu kaplamaları üzerinde 240-480 ve 720 saat sürelerle UV yaşlandırma işlemi uygulanarak, yaşlandırmanın yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri araştırılmış (Özdemir vd. 2018); ekstrakte edilmiş ve edilmemiş *Acacia auriculaeformis* odunları üzerinde UV yaşlandırmanın renk değişim özellikleri araştırılmış ve ekstrakte edilen örneklerde renk değişimlerinin daha fazla olduğu belirlenmiştir (Pandey, 2005). Bir çalışmada, yapay yaşlandırmanın odun-plastik kompozitler üzerindeki etkisini araştırılmış ve testin ilk aşamalarında renk değişiminin yavaş olduğu; daha sonra ise içerikteki polipropilenden kaynaklı bir hızlanmanın olduğu rapor edilmiştir (Kuka vd. 2020). Önceki çalışmalara bakıldığında, bu çalışmanın kullanılan malzeme, UV ışığa maruz kalma, ölçüm teknikleri ve araştırılan bazı özellikler (Basınç direnci, yoğunluk, kütle kaybı) bakımından farklı olduğu görülecektir.

## SONUÇ

Bu çalışmanın amacı, çam kozalağı ve kabuğundan üretilen kalıplı kompozit malzemenin hızlandırılmış (UV ışınla) ve doğal yaşlandırma testleri sonunda renk, parlaklık ve kütle değişimi özelliklerini tespit etmek ve bu özelliklerin malzeme içeriğindeki hammaddelerin parçacık büyüklüğü ve perlit oranıyla ilişkilerini belirlemektir. Bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre;

- Malzemeler üzerinde yapılan yaşlandırma testi sonrasında toplam renk farkı değerleri için farklı renk değişimi ve yüksek renk değişimi kriterlerine rastlanmadığı; ayrıca, yapay yaşlandırmanın farklı oranlarda üretilen malzemelere ait olan L\*, a\* ve b\* parametrelerini değiştirici etkide bulunduğu görülmektedir.
- UV yaşlandırma sonrası A grubu malzemeler hariç tüm malzemelerin basınç dayanımı ve yoğunluğu azalmıştır. Toprak testi sonuçlarına göre UV öncesi kütle kayıpları büyük farklılıklar göstermiş ve en fazla kozalak içeren örneklerde ölçülmüştür. UV sonrası ise tüm örneklerde birbirine yakın ölçülmüştür.
- Perlit içeren malzemelerde toplam renk değişimi üzerinde perlit oranının belirli bir düzen içinde etkili olmadığı; görünür yoğunluk ve basınç direnci değerlerinin UV işlem sonrasında belirgin oranda azaldığı toprak testi sonrasında ise önemli bir kütle kaybı oluşmadığı tespit edilmiştir.
- Bu çalışmada yalıtım malzemesi olarak üretilen bir malzeme grubunda çeşitli testlere ilişkin sonuçlar verilmiştir. Genel manada sonuçların daha anlamlı olabilmesi için yanma testi, dinamik eğilme (şok) direnci testleri gibi farklı testler ile desteklenmesi uygun olabilir. Gelecek çalışmalarda farklı ağaç türü kabuk ve kozalaklarının farklı yapıştırıcı ve formlarda araştırılmasının bilime yeni katkılar sağlayabileceği düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan veriler, TÜBİTAK tarafından desteklenen 217O356 numaralı projeden elde edilmiştir. Ayrıca desteklerinden dolayı Bekir Cihad BAL, Ertuğrul ALTUNTAŞ ve Kadir KARAKUŞ'a teşekkürlerimi ilettim.

## KAYNAKLAR

- Arrakhiz, F. Z., Benmoussa, K., Bouhfid, R., & Qaiss, A. (2013). Pine cone fiber/clay hybrid composite: Mechanical and thermal properties. *Materials and Design*, 50, 376–381. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.03.033>
- Arrakhiz, F. Z., El Achaby, M., Benmoussa, K., Bouhfid, R., Essassi, E. M., & Qaiss, A. (2012). Evaluation of mechanical and thermal properties of Pine cone fibers reinforced compatibilized polypropylene. *Materials and Design*, 40, 528–535. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.04.032>
- Ayata, Ü. (2019). İzmir yöresinde yetişen erik, karabiber ve tespah odunlarının statik sertliğinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 94–102.
- AYAta, Ü., Çakıcıer, N., & Gürleyen, L. (2021). İç mekânda kullanılan UV sistem parke verniği uygulanmış kayısı odununun yapay yaşlandırma performansının belirlenmesi. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 40–50. <https://doi.org/10.33725/mamad.922311>
- Ayrilmis, N., Buyuksari, U., Avci, E., & Koc, E. (2009). Utilization of pine (*Pinus pinea* L.) cone in manufacture of wood based composite. *Forest Ecology and Management*, 259(1), 65–70. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.043>
- Baranski, J., Klement, I., Vilková, T., & Konopka, A. (2017). High temperature drying process of beech wood (*Fagus sylvatica* L.) with different zones of sapwood and red false heartwood. In *BioResources* (Vol. 12, Issue 1, pp. 1861–1870). <https://doi.org/10.15376/biores.12.1.1861-1870>
- Barbu, M. C. (2011). Current Developments In The Forestry And Wood Industry. *Pro Ligno*, 8, 89–99.
- Baştürk S.B., Kürşat, K., İ., P., & Y., Y. (2015). Mechanical Properties of Acorn and Pine Cone Filled Polymer Composites. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*, 14(2), 144–153. <http://asrjetsjournal.org/>
- Berge, B. (2009). *The Ecology of Building Materials* (Second). Architectural Press.
- Blanchet, P., Cloutier, A., & Riedl, B. (2000). Particleboard made from hammer milled black spruce bark residues. *Wood Science and Technology*, 34(1), 11–19. <https://doi.org/10.1007/s002260050003>
- Brischke, C., & Alfredsen, G. (2020). Wood-water relationships and their role for wood susceptibility to fungal decay. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(9), 3781–3795. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10479-1>
- Busquets-Ferrer, M., Czabany, I., Vay, O., Gindl-Altmatter, W., & Hansmann, C. (2021). Alkali-extracted tree bark for efficient bio-based thermal insulation. *Construction and Building Materials*, 271(xxxx), 121577. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121577>
- Buyuksari, U., Ayrilmis, N., Avci, E., & Koc, E. (2010). Evaluation of the physical, mechanical properties and formaldehyde emission of particleboard manufactured from waste stone pine (*Pinus pinea* L.) cones. *Bioresource Technology*, 101(1), 255–259. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.038>
- Cogulet, A., Blanchet, P., & Landry, V. (2016a). Wood degradation under UV irradiation: A lignin characterization. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 158, 184–191. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.02.030>
- Cogulet, A., Blanchet, P., & Landry, V. (2016b). Wood degradation under UV irradiation: A lignin characterization. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 158, 184–191. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.02.030>
- Efe, F. T. (2022). Investigation of some physical and thermal insulation properties of honeycomb-designed panels produced from Calabrian pine bark and cones. *European Journal of Wood and Wood Products*, 80(3), 705–718. <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01781-4>
- FAO (Food and Agriculture Organization of The United. (2021). *No Title*. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>

- Ferreira, R., Pereira, D., Gago, A., & Proença, J. (2016). Experimental characterisation of cork agglomerate core sandwich panels for wall assemblies in buildings. *Journal of Building Engineering*, 5, 194–210. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2016.01.003>
- Guo, Y., Liu, D., Chen, Y., Zhang, T., & Zhu, S. (2019). Preparation and properties of carbon-fiber- and pine-cone-fiber-reinforced high-density polyethylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(14), 1–7. <https://doi.org/10.1002/app.47304>
- Holmberg, A., Wadsö, L., & Stenström, S. (2016). Water vapor sorption and diffusivity in bark. *Drying Technology*, 34(2), 150–160. <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1023310>
- Hoong, Y. B., Paridah, M. T., Loh, Y. F., Jalaluddin, H., & Chuah, L. A. (2011). A new source of natural adhesive: Acacia mangium bark extracts co-polymerized with phenol-formaldehyde (PF) for bonding Mempisang (*Annonaceae* spp.) veneers. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 31(3), 164–167. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2010.12.002>
- Jha, K., Tyagi, Y. K., & Singh Yadav, A. (2018). Mechanical and thermal behaviour of biodegradable composites based on polycaprolactone with pine cone particle. *Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences*, 43(9), 1–5. <https://doi.org/10.1007/s12046-018-0822-1>
- Kain, G., Barbu, M.-C., Richter, K., Plank, B., Tondi, G., & Petutschnigg, A. (2015). Use of tree bark as insulation material. *Forest Products Journal*, 65(3–4), 16–25.
- Kain, G. (2016). *Design of tree bark insulation boards : analysis of material , structure and property relationships*.
- Kain, G., Barbu, M. C., Teischinger, A., Musso, M., & Petutschnigg, A. (2012). Substantial bark use as insulation material. *Forest Products Journal*, 62(6), 480–487. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-12-00052.1>
- Kain, G., Güttler, V., Barbu, M. C., Petutschnigg, A., Richter, K., & Tondi, G. (2014). Density related properties of bark insulation boards bonded with tannin hexamine resin. *European Journal of Wood and Wood Products*, 72(4), 417–424. <https://doi.org/10.1007/s00107-014-0798-4>
- Kain, G., Lienbacher, B., Barbu, M. C., Senck, S., & Petutschnigg, A. (2018). Water vapour diffusion resistance of larch (*Larix decidua*) bark insulation panels and application considerations based on numeric modelling. *Construction and Building Materials*, 164, 308–316. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.212>
- Kılıç, A., & Hafizoğlu, H. (2009). Açık Hava Koşullarının Ağaç Malzemenin Kimyasal Yapısında Meydana Getirdiği Değişimler ve Alınacak Önlemler. *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 8(2), 175–183. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjf/issue/20889/224156>
- Kolář, V., Tichý, M., & Müller, M. (2019). Mechanical properties of polymeric composite based on pine seeds production residues. *Manufacturing Technology*, 19(3), 426–430. <https://doi.org/10.21062/ujep/308.2019/a/1213-2489/MT/19/3/426>
- Korjenic, A., Petránek, V., Zach, J., & Hroudová, J. (2011). Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources. *Energy and Buildings*, 43(9), 2518–2523. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.06.012>
- Kositchaiyong, A., Rosarpitak, V., Hamada, H., & Sombatsompop, N. (2014). Anti-fungal performance and mechanical-morphological properties of PVC and wood/PVC composites under UV-weathering aging and soil-burial exposure. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 91, 128–137. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.01.022>
- Kuka, E., Andersons, B., Cirule, D., Andersons, I., Kajaks, J., Militz, H., & Bicke, S. (2020). Weathering properties of wood-plastic composites based on heat-treated wood and polypropylene. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 139(September), 106102. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2020.106102>
- La Rosa, A. D., Recca, A., Gagliano, A., Summerscales, J., Latteri, A., Cozzo, G., & Cicala, G. (2014). Environmental impacts and thermal insulation performance of innovative composite solutions for building applications. *Construction and Building Materials*, 55, 406–414. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.054>
- Ly, B. C. K., Dyer, E. B., Feig, J. L., Chien, A. L., & Del Bino, S. (2020). Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement. *Journal of Investigative Dermatology*, 140(1), 3-12.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jid.2019.11.003>

- Özdemir F., Dalgıç E., Özğan A.O, A. E. (2018). *Kayın kaplamaların yüzey pürüzlülüğü üzerine yaşlandırmanın etkisi*. 2–7.
- Pandey, K. K. (2005). A note on the influence of extractives on the photo-discoloration and photo-degradation of wood. *Polymer Degradation and Stability*, 87(2), 375–379. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2004.09.007>
- Pásztory, Z., Mohácsiné, I. R., Gorbacheva, G., & Börcsök, Z. (2016). The utilization of tree bark. *BioResources*, 11(3), 7859–7888. <https://doi.org/10.15376/biores.11.3.Pasztory>
- Pásztory, Z., Ronyecz Mohácsiné, I., & Börcsök, Z. (2017). Investigation of thermal insulation panels made of black locust tree bark. *Construction and Building Materials*, 147, 733–735. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.204>
- Rosu, D., Teaca, C. A., Bodirlau, R., & Rosu, L. (2010). FTIR and color change of the modified wood as a result of artificial light irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 99(3), 144–149. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2010.03.010>
- Sahin, H. T., & Arslan, M. B. (2011). Weathering performance of particleboards manufactured from blends of forest residues with red pine (*Pinus brutia*) wood. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, 13(3), 337–346. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2011000300009>
- Tsalagkas, D., Börcsök, Z., & Pásztory, Z. (2019). Thermal, physical and mechanical properties of surface overlaid bark-based insulation panels. *European Journal of Wood and Wood Products*, 77(5), 721–730. <https://doi.org/10.1007/s00107-019-01436-5>
- TS EN 826 (2013) Isı yalıtım mamulleri - Binalar için-Basınç altındaki davranışın tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye
- Tudor, E. M., Dettendorfer, A., Kain, G., Barbu, M. C., Réh, R., & Krišt'ák, L. (2020). Sound-absorption coefficient of bark-based insulation panels. *Polymers*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/POLYM12051012>
- Tudor, E. M., Scheriau, C., Barbu, M. C., Réh, R., Krišt'ák, L., & Schnabel, T. (2020). Enhanced resistance to fire of the bark-based panels bonded with clay. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(16), 5594. <https://doi.org/10.3390/app10165594>
- Wesolowski, A., Adams, M. A., & Pfautsch, S. (2014). Insulation capacity of three bark types of temperate Eucalyptus species. *Forest Ecology and Management*, 313(2014), 224–232. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.11.015>
- Williams, R. S. (2010). Chapter 16 - Finishing of Wood. In *Wood Handbook - Wood as an engineering material* (pp. 1–39).
- Xing, C., Zhang, S. Y., Deng, J., & Wang, S. (2007). Investigation of the effects of bark fiber as core material and its resin content on three-layer MDF performance by response surface methodology. *Wood Science and Technology*, 41(7), 585–595. <https://doi.org/10.1007/s00226-007-0129-6>
- Zborowska, M., Stachowiak-Wencek, A., Nowaczyk-Organista, M., Waliszewska, B., & Prądzyński, W. (2015). Analysis of photodegradation process of *Pinus sylvestris* L. wood after treatment with acid and alkaline buffers and light irradiation. *BioResources*, 10(2), 2057–2066.