



*GreenTech*

VOL:2 – ISSUE:2 – DECEMBER 2024


**JOURNAL OF GREEN  
TECHNOLOGY AND  
ENVIRONMENT**



ISSN: 2980-2768

[www.journalgreentech.com](http://www.journalgreentech.com)

### EDITOR IN CHIEF

**Emre Birinci**   
Kastamonu University, Turkiye

### ASSOCIATE EDITORS

**Amir Nourbakhsh**   
Research Institute of Forests and Rangelands, Iran

**Aujchariya Chotikhun**   
Prince of Songkla University, Thailand

**Emilia Adela Salcă**   
Transilvania University of Brasov, Romania

**Jerzy Smardzewski**   
Poznan University of Life Sciences, Poland

**Martin A. Hubbe**   
NC State University, USA

**Nadir Ayrılmış**   
İstanbul University Cerrahpaşa, Turkiye

**Salim Hızıroğlu**   
Oklohama State University, USA

**Türker Dündar**   
İstanbul University Cerrahpaşa, Turkiye

### CONSULTATIVE COMMITTEE

**Abdeen Mustafa Omer**   
University of Nottingham, UK

**Bekir Cihad Bal**   
Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Turkiye

**Hülya Kalaycıoğlu**   
Karadeniz Technical University, Turkiye

**İsmail Aydın**   
Karadeniz Technical University, Turkiye

**Seng Hua Lee**   
Universiti Teknologi MARA, Malaysia

**Yanting Gu**   
Nanjing Forestry University, China

### EDITORIAL BOARD

**Ali Kasal**   
Muğla Sıtkı Koçman University, Turkiye

**Anton Kuzmin**   
Mordovian State University, Russia

**Edward Loewenstein**   
Auburn University, USA

**Emre Bayraktar**   
The University of Southern Mississippi, USA

**Fatih Mengeloğlu**   
Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Turkiye

**Ferhat Kara**   
Kastamonu University, Turkiye

**Hakan Yaşarer**   
The University of Mississippi, USA

**Lingling Hu**   
Zhejiang A&F University, Hangzhou, China

**Mehmet Seki**   
Karabük University, Turkiye

**Muhammad Irfan Ashraf**   
University of New Brunswick, Canada

**Nihat Sami Çetin**   
İzmir Katip Çelebi University, Turkiye

**Nilgöl Çetin Özmen**   
İzmir Katip Çelebi University, Turkiye

**Renato S. Pacaldo**   
Mindanao State University, Philippines

**Sevgi Kolaylı**   
Karadeniz Technical University, Turkiye

### LANGUAGE EDITORS

**Emre Aktürk**   
Kastamonu University, Turkiye

**Hızır Volkan Görgün**   
İstanbul University Cerrahpaşa, Turkiye

**Elektrospinning Yöntemi ile Aktif Karbon Katkılı PA66 Nanoliflerin Elde Edilmesi ve Lif/Çap Analizi (Araştırma Makalesi)**

Obtaining Activated Carbon Doped PA66 Nanofibers by Electrospinning Method and Fiber/Diameter Analysis (Research Article)

*Abdullah Gül*.....1-7

**Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Öz ve Diri Odunlarına Uygulanmış Modifiye Edilmiş Arı Balmumlarında Seçilmiş Bazı Yüzey Özelliklerinin Araştırılması (Araştırma Makalesi)**

Investigation of selected surface properties of modified beeswax applied to the heartwood and sapwood of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) (Research Article)

*Hüseyin Peker, Ümit Ayata, Osman Çamlıbel, Göksel Ulay*.....8-17

**Current Potential Use of Antibacterial Textile Products in Medical Technical Textiles (Review Article)**

Günümüzde Antibakteriyel Tekstil Ürünlerinin Tıbbi Teknik Tekstillerde Kullanım Potansiyeli (Derleme Makale)

*N. Sündüz Oğuz*.....18-25

**Effects of Ash (*Fraxinus exelsior* L.) Veneer Surface Form and Spray Gun Inclination Angle on Color and Gloss Values of Polyurethane Coatings (Research Article)**

Poliüretan Kaplamaların Renk ve Parlaklık Değerleri Üzerine Dişbudak Kaplama Yüzey Formu ve Sprey Boya Tabancası Eğim Açısının Etkileri (Araştırma Makalesi)

*Elif Yıldırım, Hacı İsmail Kesik, Kubulay Çağatay*.....26-34

**Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnolds subsp.) Odunundan Orta Yoğunlukta Lif Levha (MDF) Üretimi (Araştırma Makalesi)**

Production of Medium Density Fiberboard (MDF) from Black Pine (*Pinus nigra* J.F. Arnolds subsp.) Wood (Research Article)

*Mehmet Erdal Kara, Hüseyin Peker, Osman Çamlıbel, Ümit Ayata, Göksel Ulay*.....35-41



Araştırma Makalesi

# Elektrospinning Yöntemi ile Aktif Karbon Katkılı PA66 Nanoliflerin Elde Edilmesi ve Lif/Çap Analizi

Abdullah Gül \* 

Yozgat Bozok Üniversitesi, Kenevir Araştırmaları Enstitüsü, Malzeme ve Enerji ABD, 66100, Yozgat/Türkiye  
\* Sorumlu yazar: abduhahgul46@gmail.com

**Öz:** Bu çalışma, nanolif yapıları membran üretimi için aktif karbon (AK) katkı poliamid-66 (PA66) esaslı polimerik nanoliflerin üretimine odaklanmaktadır. Bu çalışma kapsamında nanoliflerin üretimi için elektrospinning teknoloji kullanılmış olup membranların ortalama lif çapları değerlendirilmiştir. Elde edilen nanoliflerin ortalama çapının 180 ile 250 nm arasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca SEM görüntülerinden üretilen malzemelerde pürüzsüz ve çok ince nanoliflerin oluştuğu belirlendi. PA66 polimer çözeltisinde aktif karbon katkılanması ile çözeltinin iletkenliğinin arttığı ve buna bağlı olarak fiber çapının incelendiği gözlemlendi. Bununla birlikte boncuklu yapıların gözlenmemesi düzenli lineer lif yapısının varlığını kanıtlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** P66; nanolif; aktif karbon; SEM

## Obtaining Activated Carbon Doped PA66 Nanofibers by Electrospinning Method and Fiber/Diameter Analysis

**Abstract:** This study focuses on the production of activated carbon-doped polyamide-66 (PA66) based polymeric nano-fibers for the production of nanofiber structured membranes. Within the scope of this study, electrospinning technology was used to produce nanofibers and the average fiber diameters of the membranes were evaluated. It was determined that the average diameter of the resulting nanofibers was between 180 and 250 nm. In addition, it was determined from SEM images that smooth and very thin nanofibers were formed in the production methods. It was observed that with the addition of activated carbon in the PA66 polymer solution, the conductivity of the solution increased and accordingly the fiber diameter became thinner. At the same time, the absence of beaded structures proves the existence of a regular linear fiber structure.

**Keywords:** P66; nanofiber; active carbon; SEM

**Atıf:** Gül, A. Elektrospinning Yöntemi ile Aktif Karbon Katkılı PA66 Nanoliflerin Elde Edilmesi ve Lif/Çap Analizi. Journal of GreenTech 2024, 2(2): 1-7.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.14291809>.

Geliş: 09.09.2024  
Revizyon: 23.11.2024  
Kabul: 25.11.2024  
Yayın: 31.12.2024

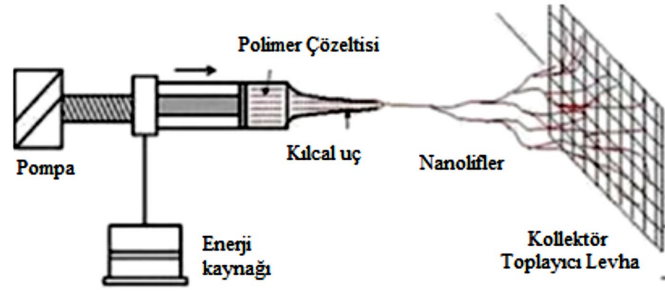


**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Giriş

Son zamanlarda elektrospinning yöntemiyle elde edilen nano boyutlu lif esaslı malzemelere olan ilgi, üstün özellikleri (hacme göre geniş yüzey alanı, çok küçük gözenek boyutu, esnek yüzey işlevselliği, üstün mekanik özellikler) ve yaygın uygulama alanları (filtrasyon, kompozit, tıbbi vb.) nedeniyle oldukça artmıştır. Elektrospinning nano fiber membranlar, yüksek gözenekliliğe, yüksek spesifik yüzey alanına ve benzersiz birbirine bağlı yapıya sahiptir (Chen et al. 2020). Bu nedenlerden dolayı nano yapıli lifler ve nanolif bazlı malzemeler hem araştırma geliştirme çalışmalarında hem de endüstride giderek daha popüler ve önemli hale gelmektedir (Gibson, 2001; Çetin ve Tiyek, 2021).

Nanolifler birçok yöntem ile üretilmektedir. Elektrospinning yöntemi, uygulama kolaylığı ve kontrol edilebilir bir lif elde edilebilme açısından avantaj sunmaktadır. Bununla birlikte kullanılacak polimer çeşitliliği açısından da birçok araştırmacı tarafından tercih edilmektedir (Ramakrishna ve ark., 2006). Ayrıca elektrospinning, mikron ve mikron altı çap aralığında nanoliflerin üretimi için popüler bir tekniktir (Kılıç, 2008). Elektrostatik kuvvet kullanılarak polimerik filamentlerin üretildiği elektrospinning yönteminin patenti ilk kez 1934 yılında Formhals tarafından alınmıştır (Gül, 2022). Eriyik ve kuru çekme, ıslak eğirme vb. gibi geleneksel elyaf eğirme sistemlerinden farklı olarak elektrospinning işlemi, bir polimer jetini çekmek ve germek için mekanik kuvvet yerine elektrik alan kuvvetini kullanır (Danwanichakul, 2012). Bir polimer çözeltisine bir elektrik alanı uygulandığında, polimer çözeltisi yüklenecek ve yüklü çözelti kılcal uçtan dışarı çekilecektir. Küçük çaplı jet, gerilme ve bükülme kararsızlığına maruz kalacaktır. Bu aşamada solvent hızla buharlaşır ve polimer çözeltisi bir toplayıcı üzerinde nanolifler halinde katılarak nano lifi oluşturur (Tiyek ve ark., 2019).



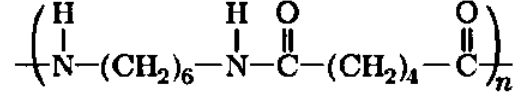
Şekil 1. Nanolif üretim sisteminin (elektrospinning) şematik gösterimi.

Bir elektrospinning sistemi temel olarak bir besleme ünitesi, bir yüksek gerilim güç tedarikçisi ve bir toplayıcıdan oluşur (Şekil 1). Elektrospinning prosesindeki parametreler sistem, çözelti ve çevresel parametreler olarak sınıflandırılabilir. Sistem parametreleri uygulanan elektrik alanı, toplayıcı ile iğne ucu arasındaki mesafe, polimer çözeltisinin besleme hızı vb., çözüm parametreleri konsantrasyon, viskozite, iletkenlik, yüzey gerilimi vb. ve çevresel parametreler ise ortam nemi, sıcaklıktan oluşmaktadır (Gül ve Tiyek, 2023). Nanoliflerin yapısı ve morfolojisi, sistem, çözelti ve çevresel parametreler morfolojisinin sinerjik etkisi ile belirlenir. Örneğin, daha ince elyaf çapları, daha küçük çaplı iğne uçlarından eğilir. Daha yüksek voltaj uygulanması fiber çapını azaltır ancak boncuklu bir fiber yapısı ortaya çıkar (Deitzel, 2001).

Elektrospinning elyaf üretim tekniğini etkileyen malzeme özellikleri şu şekildedir; polimer konsantrasyonu, çözelti viskozite değeri, çözeltinin elektriksel iletkenliği ve polimerin çözücüsü. Membran malzemesi özellikleri arasında çözelti konsantrasyonu, nanofiber yapının stabil tutulmasında önemli bir rol oynar. Çünkü aynı zamanda çözeltinin viskozite değerini, çözeltinin yüzey gerilimini ve iletkenlik değeri gibi çözeltinin diğer karakteristik özelliklerini de etkiler. Kullanılan çözücünün türü bir diğer önemli faktördür. Çünkü çözücü özelliği çözeltinin yüzey gerilimini ve elektrik alanındaki buharlaşma sürecini etkiler. Uçucu özelliklere sahip solventler, elyafın yüzey morfolojisini ve geniş ağısı bir yapının oluşumunu etkiler (Nirmala ve ark., 2010).

Yapay liflerin öncüsü olarak bilinen PA66 lifi, 1928 yıllarında Carothers öncülüğünde ortaya çıkarılmıştır. PA66 polimeri, hegzametildiamin ve adipik asitin polikondenzas-

yonu yöntemiyle sentezlenmektedir. PA66'nın kapalı olarak formülü (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>2</sub>N<sub>2</sub>)<sub>n</sub> şeklinde gösterilirken kimyasal yapısı şekil 2'de paylaşılmıştır. Termoplastik yapıda bir polimer olan PA66'nın erime noktası 245/260 °C aralığında olup yoğunluk değeri ise 1,14 -1,18 g/cm<sup>3</sup> civarındadır (Gül ve ark., 2023).



Şekil 2 PA66'nın kimyasal yapısı.

Bu çalışmada, ileri teknolojiye sahip polimerik malzeme esaslı nanolif üretiminde en et-kili yöntemlerden biri olan elektrospinning yöntemi kullanılarak aktif karbon katkı nano çaplara sahip polimerik membran yüzeylerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, nanolif uygulamalarına yönelik; fonksiyonel daha ince membran özellikleri için lif üretim ve çap analizi yapılarak yenilikçi bir çalışma ortaya konmuştur. Gözenekli yapıdaki aktif karbondan istifade edilmesi özellikle membran teknolojilerinde yeni yaklaşım ile katkı-da bulunulmasına hem de yeni nano yüzeye sahip lifler geliştirilmesine imkân sağlayacaktır. Elde edilen nano yapıdaki liflerin, morfolojik karakterizasyonu için SEM çalışmaları yapılırken nanoliflerin yüzey analizleri ve lif çap değeri de ortaya konmuştur.

## 2. Deneysel Çalışmalar

### 2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan PA66 polimeri pellet formunda olup (Formüle edilmiş ağırlığı: 262.36 g/mol, yoğunluk: 1.19 g/mL) Sigma Aldrich'den ve polimer çözeltisinin hazırlanmasında çözücü olarak kullanılan formik asit (HCOOH, >98%, 1.22 g/cm<sup>3</sup>) ve asetik asit (CH<sub>3</sub>COOH, %100, 1.05 g/cm<sup>3</sup>) Merck firmasından satın alınmıştır.

### 2.2. Metot

AK katkı ve katkısız olarak hazırlanan çözeltiler toplam katı içeriği ağırlıkça %20 olacak şekilde PA66/AK oranı ağırlıkça 100/0, 75/25 ve 50/50 olmak üzere 100 ml halinde 3 farklı çözelti hazırlandı. Çözücü olarak 1:1 oranında formik asit ve asetik asit kullanıldı. Her çözelti önce ısıtıcı manyetik karıştırıcıda 50°C'de 30 dakika karıştırıldı, daha sonra oda sıcaklığında 12 saat (600 rpm) karıştırıldı. Karıştırılan çözeltiler son olarak 30 dakika boyunca oda sıcaklığında ultrasonik bir banyoda işleme alındı.

Elektrospinning işlemleri, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi USKİM Malzeme Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan Inovenso marka NanoSpinner PilotLine model yarı endüstriyel çok iğneli elektrospinning cihazında (Şekil 3) gerçekleştirildi



Şekil 3. Inovenso elektrospinning cihazı.

Karışımların cihazdan ekstraksiyonu sırasında güç, besleme, iğne ucu-toplayıcı mesafesi gibi parametreler hassasiyetle belirlendi. Hazırlanan polimer çözeltileri sırasıyla 10 mL'lik plastik şırıngaya çekilerek cihaza yerleştirildi. Elektrospinning cihazında temel malzeme olarak 12 g/m<sup>2</sup> ağırlığa sahip 48 cm genişliğinde kalenderle işlenmiş polipropilen bazlı beyaz dokunmamış kumaş malzeme kullanıldı. Pürüzsüz ve sürekli bir nanofiber membran yüzeyi elde etmek için bu çalışmada kullanılan proses parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Çalışma planına ait nanodif üretim parametreleri.

Kod	Oran (%)	Süre (Saat)	Besleme (mL/h)	Mesafesi (mm)	Voltaj (kV)
100/0	PA66 / (100-0)	2	0.7±0.1	190±5	21±2
75/25	PA66 / (75-25)	2	0.7±0.1	190±5	21±2
50/50	PA66 / (50-50)	2	0.7±0.1	190±5	21±2

Karışım çözeltilerinin elektriksel iletkenlik analizi için Hanna HI marka iletkenlik cihazında  $\mu\text{S/cm}$  olarak ayrı ayrı ölçüldü. Nanolif yapılı yüzeylerin üretiminde kullanılan çözeltilerin viskozite değerleri Brookfield DV-I + Viskozimetre cihazında 4 numaralı mil kullanılarak oda sıcaklığında, ISO 2555 standardına göre 100 rpm dönüş hızında yapılmıştır. Numunelerinin morfolojik yapısını incelemek amacıyla öncelikle numunelere Cressington 108auto altın kaplama cihazında altın kaplama yapıldı ve daha sonra ZEISS marka EVO/LS10 model taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile görüntüleri elde edildi. Her numunenin SEM görüntüleri üzerinde 20 ölçüm yapılarak membran numunelerinin ortalama lif çapları belirlendi.

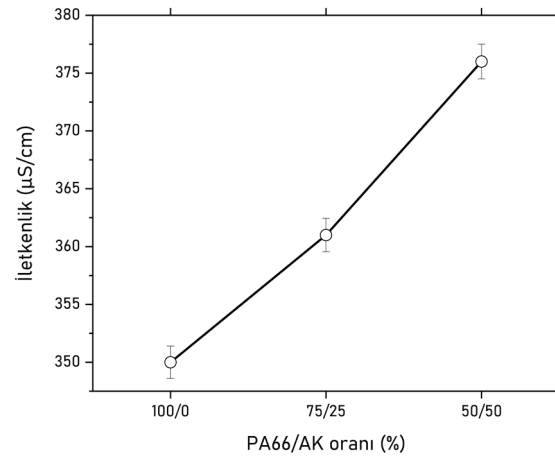
### 3. Bulgular ve Tartışma

Elektrospinning prosesi için hazırlanan polimer çözeltilerinin karakterizasyonu için elektriksel iletkenlikleri ve viskozite değerleri ölçüldü. Elde edilen nanolif yüzeylerin morfolojik yapıları SEM analizleri ile incelenmiştir.

#### 3.1. Çözelti Karakterizasyon Çalışmaları

##### 3.1.1. Çözelti iletkenlik analizi

Çözeltideki AK karışım oranlarına bağlı olarak karışımların elektriksel iletkenlik ölçüm sonuçları Şekil 4'te grafiksel olarak verilmektedir.

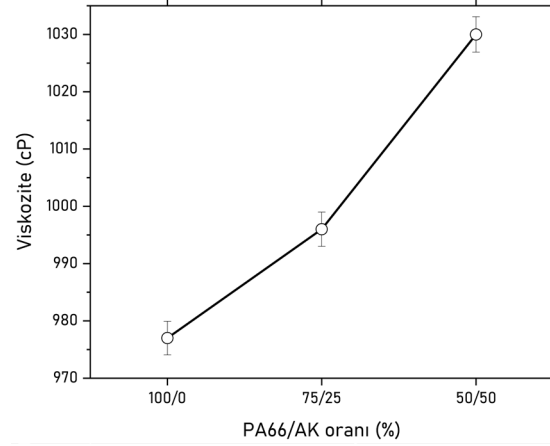


**Şekil 4.** PA66/AK karışım oranlarına ait çözelti elektriksel iletkenlik değişim grafiği.

Elektrospinning çözelti karışım oranlarında AK'ın artmasıyla çözeltinin elektriksel iletkenliği arttığı gözlemlenmiştir. Bu artan elektriksel iletkenlik değeri, polimer çözeltilerinin elektrospinning cihazı ile çalışma sürecini doğrudan etkilemiş olup, polimer karışımındaki AK oranının artmasına bağlı olarak jet üzerindeki çözelti donma veya tıkanma gibi problemlerle karşılaşılmamıştır. Bununla birlikte karbon yapısına bağlı olarak artan iletkenlik çözeltide de iletkenliği artırdığı literatür çalışmaları ile uyumlu olduğu saptanmıştır (Yalçınkaya, 2022; Awad ve ark., 2021).

### 3.1.2. Çözelti viskozite analizi

AK karışım oranlarına bağlı olarak hazırlanan polimer çözeltilerinin kinematik viskozite ölçümünden elde edilen viskozite değeri grafiği Şekil 5'te verilmiştir.



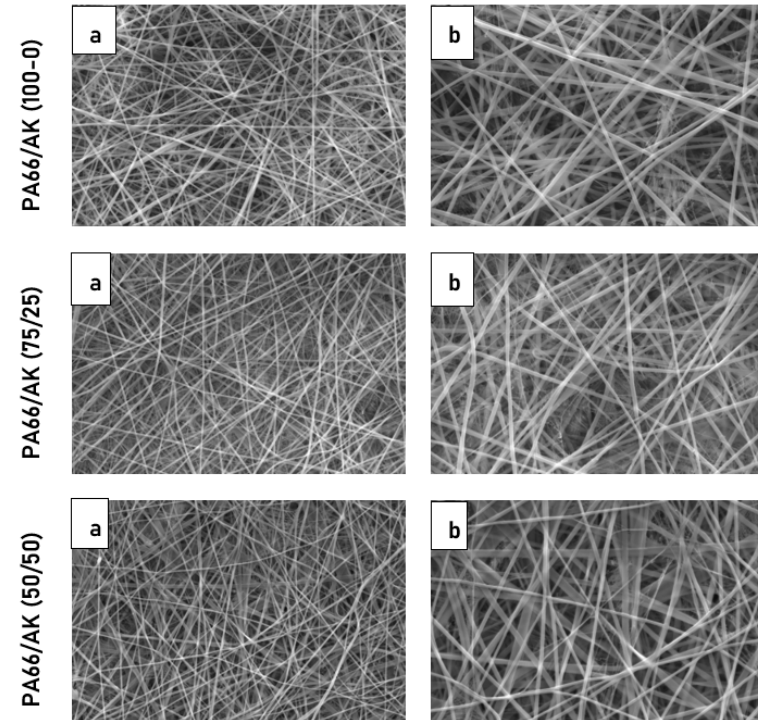
Şekil 5. PA66/AK karışım oranlarına ait çözelti viskozite değişim grafiği.

Elde edilen sonuçlara göre çözelti karışım oranlarında AK oranı arttıkça viskozite değerin gözle görülür şekilde arttığı görüldü. Çözeltilerde viskozite değeri yüzey gerilimine kıyasla aktif karbon konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak nispeten arttığı daha önceki çalışmalarda bildirilmiştir (Yasin, 2019). Elde edilen bu değerler literatürde yapılan çalışmalarla uyumlu olduğu ve bu sonucu destekleyen çalışmalara yer verilmiştir (Yalçınkaya, 2022; Fong, 1999).

## 3.2. Nanolif Yüzeylerinin Karakterizasyon Çalışmaları

### 3.2.1. SEM analizi

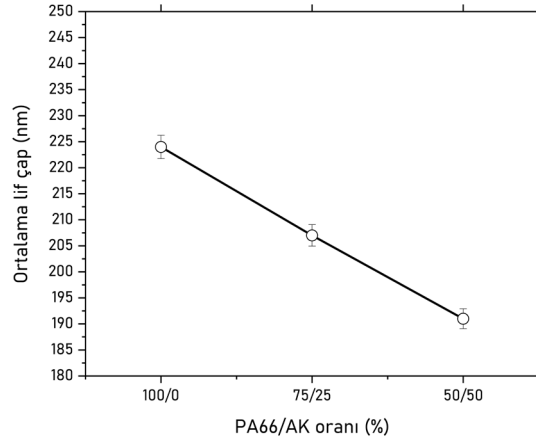
Elde edilen PA66/AK bazlı nanolif yapıları yüzeylerine ait numunelerinin SEM görüntüleri Şekil 6'da ve SEM görüntülerinden elde edilen lif çapı değerleri Şekil 7'de paylaşılmıştır.



Şekil 6. PA66/AK nanolif yapıları yüzeylerine ait SEM görüntüleri (a: 10000X, b: 20000X).



SEM görüntülerinden elde edilen nanoliflerin morfolojik yapısı incelendiğinde genel olarak nanolif yapıları açıkça görülmektedir. Bu görüntülerde boncuk yapısının bulunmaması, elektrospinning işlemi için uygun bir viskozite değerinin ve iletkenlik değerinin yakalandığını göstermektedir. Böylece tüm numuneler için tekdüze bir nanolif yapısının oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 7. PA66/AK karışım oranlarına ait lif çap değişim grafiği.

Şekil 7'de görüldüğü gibi nano yapıli membran fiberin çapları, PA66 ve AK bileşenlerinin kütle oranlarındaki değişime göre farklılık gösterebilmektedir. Karışım oranı içerisinde AK oranı arttıkça lif çapının da bariz bir şekilde azaldığı görülmektedir. AK karışım oranı üzerinden yapılan ortalama lif çapı değerlendirmesinde ortalama lif çapı en ince olan numunenin 50/50 oranına sahip numune olduğu görülmektedir.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada nanolif olarak kullanılacak modifiye yüzeyler üretmek amacıyla PA66/AK karışımlarından (100/0, 75/25, 50/50) oranlarında polimer çözeltileri hazırlandı. Hazırlanan PA66/AK polimer çözeltilerinden nanolif üretimi için en uygun elektrospinning parametreleri belirlendi. Bu parametreler kullanılarak elektrospinning yöntemiyle nanolif yüzeylerin üretimi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda elde edilen bulgulara göre.

- PA66 ile AK karışımı için homojen çözelti karışımı elde edilebildiği görülmektedir.
- AK konsantrasyonun PA66 içindeki oranı arttıkça daha ince liflerin elde edilmesinde olumlu katkı sunduğu ortaya çıkmıştır.
- Elde edilen nanoliflerin yüzeyleri incelendiğinde boncuklu yapıların gözlenmemesi özellikle çalışma esansında çözelti donma ve tıkanma olaylarının ortadan kaldırdığı görülmektedir. Bu da sorunsuz yüzey oluşumunda olumlu katkı sunduğu görülmektedir.
- Yapılan önceki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada PA66 polimeri içerisine ağırlıkça farklı konsantrasyonlarda çalışma imkânı sunulmuştur. Bu yönü ile literatürde kısıtlı olan polimer üzerinde farklı bir çalışma ortaya konularak mühendislik polimeri olan PA66 için farklı bir yaklaşım sergilenmiştir.
- Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ışığında gelecek çalışmalarda elektrospinning prosesleri için farklı voltaj (20-25-30) ve çözelti ağırlıkça oranı %20 yerine (10-20-30-40) gibi oranlarda çalışmaların yapılması önerilmektedir.

**Fon Desteği:** Bu araştırmada herhangi bir dış finansmandan maddi destek alınmamıştır.

**Teşekkür:** Bu çalışmanın yapılmasında elektrospinning cihazının kullanımını tarafıma açan Doç. Dr. İsmail TİYEK' teşekkürlerimi sunarım.

## Kaynaklar

- Ramakrishna, S., Fujihara, K., Teo, W.E., Yong, T., Ma, Z. and Ramaseshan, R., 2006, Electrospun nanofibers: solving global issues, *Materials Today*, 9(3): 40-50 [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(06\)71389-X](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(06)71389-X).
- Chen, H., Huang, M., Liu, Y., Meng, L., & Ma, M. (2020). Functionalized electrospun nanofiber membranes for water treatment: Review, *Science of the Total Environment*, 739(2020), 139944. <https://doi.org/10.3390/ma14030558>.
- Gipson, P.; Schreuder-Gibson, H.; Rivin, D. Nanofibers, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2001, 187/188, 469-481.
- Çetin, E. A., & Tiyek, I. (2021). Production of Zinc Borate koped P (AN-VAc) nanofiber textile surfaces by electrospinning method and their thermal characterization. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36(4), 1893-1908 <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.720638>.
- Kilic, A., Oruc, F., & Demir, A. (2008). Effects of polarity on electrospinning process. *Textile Research Journal*, 78(6), 532-539 <https://doi.org/10.1177/0040517507081296>.
- Gül, A. (2022). Filtre Uygulamaları İçin Nano Yapılı Akıllı Membran Üretimi Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Danwanichakul, P.; Danwanichakul, D.; Sueviriyapan, N.; Sumruan, B. Nylon 6/Chitosan Nanofibrous Structures for Filtration, In *Proceedings of the 1st Mae Fah Luang University International Conference*, 2012, 1-18.
- Tiyek, I., Gunduz, A., Yalcinkaya, F., & Chaloupek, J. (2019). Influence of electrospinning parameters on the hydrophilicity of electrospun polycaprolactone nanofibres. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 19(11), 7251-7260 <https://doi.org/10.1166/jnn.2019.16605>.
- Gül, A., Tiyek, İ. (2023). Production and characterization of polyamide-6 (PA6) and cellulose acetate (CA) based nanofiber membranes by electrospinning method. *International Journal of Chemistry and Technology*, 7(1), 91-101 <https://doi.org/10.32571/ijct.1207544>.
- Deitzel, J. M., Kleinmeyer, J., Harris, D. E. A., & Tan, N. B. (2001). The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibers and textiles. *Polymer*, 42(1), 261-272 [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(00\)00250-0](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(00)00250-0).
- Nirmala, R., Nam, K. T., Park, S. J., Shin, Y. S., Navamathavan, R., & Kim, H. Y. (2010). Formation of high aspect ratio polyamide-6 nanofibers via electrically induced double layer during electrospinning. *Applied Surface Science*, 256(21), 6318-6323 <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2010.04.010>.
- Gül, A., Tiyek, İ., Zor, G., Yazici, N. (2023). Production and characterization of Polyamide 6.6 based nanofiber membranes for filter applications by electrospinning method Filtre uygulamaları için Polyamid 6.6 esaslı nanolif yapılı membranların elektrospinning yöntemi ile üretimi ve karakterizasyonu. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38(3) <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1030740>.
- Yalcinkaya, T.T. (2022). Karbondioksit Yakalama İçin Aktif Karbon Nanoliflerin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Awad, R., Mamaghani, A. H., Boluk, Y., & Hashisho, Z. (2021). Synthesis and characterization of electrospun PAN-based activated carbon nanofibers reinforced with cellulose nanocrystals for adsorption of VOCs. *Chemical Engineering Journal*, 410, 128412 <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.128412>.
- Yasin, A. S., Mohamed, A. Y., Mohamed, I. M., Cho, D. Y., Park, C. H., & Kim, C. S. (2019). Theoretical insight into the structure-property relationship of mixed transition metal oxides nanofibers doped in activated carbon and 3D graphene for capacitive deionization. *Chemical engineering journal*, 371, 166-181 <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.04.043>.
- Fong, H., Chun, I., & Reneker, D. H. (1999). Beaded nanofibers formed during electrospinning. *Polymer*, 40(16), 4585-4592 [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(99\)00068-3](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(99)00068-3)

**Yasal Uyarı/Sorumluluk Reddi:** Tüm yayınlarda yer alan ifadeler, görüşler ve veriler yalnızca yazarlara ve (varsa) katkıda bulunanlara aittir; *Journal of Green Technology and Environment* ve/veya editörlerine ait değildir. *Journal of Green Technology and Environment* ve/veya editörleri, içerikte atıfta bulunulan herhangi bir fikir, yöntem, talimat veya üründen kaynaklanan, insanlara veya mallara gelebilecek herhangi bir zararın sorumluluğunu reddeder.



Araştırma Makalesi

# Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Öz ve Diri Odunlarına Uygulanmış Modifiye Edilmiş Arı Balmumlarında Seçilmiş Bazı Yüzey Özelliklerinin Araştırılması

Hüseyin Peker <sup>1,\*</sup>, Ümit Ayata <sup>2</sup>, Osman Çamlıbel <sup>3</sup> ve Göksel Ulay <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü, 08000, Artvin/Türkiye

<sup>2</sup> Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Böl., 69000, Bayburt/Türkiye

<sup>3</sup> Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, İç Mekân Tasarımı Programı, 71450, Kırıkkale/Türkiye

<sup>4</sup> Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, Mobilya ve Dekorasyon Pr., 65090, Van/Türkiye

\* Sorumlu yazar: peker100@artvin.edu.tr

**Öz:** Günümüzde ahşap malzemeyi korumak için çeşitli balmumu bazlı ürünler bulunmaktadır. Bu çalışmada, sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) öz ve diri odunlarına uygulanmış modifiye edilmiş arı balmumlarında (zeytinyağı, Hindistan cevizi yağı ve keten tohumu) renk parametreleri, beyazlık indeksi ( $WI^*$ ) değerleri ve parlaklık özellikleri araştırılmıştır. Belirlenmiş olan test sonuçlarına göre, bütün modifiye edilmiş yağlar tarafından öz odunda  $h^o$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  ve  $L^*$  değerleri artarken, bütün parlaklık değerleri ve  $a^*$  değerleri azalmıştır. Buna ek olarak diri odunda ise, bütün modifiye edilmiş yağlar tarafından bütün parlaklık değerleri,  $h^o$  ve  $L^*$  değerleri azalırken,  $b^*$ ,  $a^*$  ve  $C^*$  değerleri artmıştır.  $\Delta E^*$  değerleri öz odunda zeytinyağı ile 7.01, keten tohumu yağı ile 7.02 ve Hindistan cevizi yağı ile 6.67 olarak elde edilirken, diri odunda zeytinyağı ile 21.09, keten tohumu yağı ile 16.00 ve Hindistan cevizi yağı ile 16.01 olarak hesaplanmıştır.  $WI^*$  değerlerinde ise ile odun kısmında (öz ve diri) ve modifiye edilmiş yağlarda kontrol örneklerine göre farklı sonuçlar tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** sarıçam; arı balmumu; renk; parlaklık; beyazlık indeksi

## Investigation of selected surface properties of modified beeswax applied to the heartwood and sapwood of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.)

**Atf:** Peker, H., Ayata, Ü., Çamlıbel, O. ve Ulay, G. Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Öz ve Diri Odunlarına Uygulanmış Modifiye Edilmiş Arı Balmumlarında Seçilmiş Bazı Yüzey Özelliklerinin Araştırılması. Journal of Green-Tech 2024, 2(2): 8-17.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.14300017>

Geliş: 21.09.2024

Revizyon: 21.11.2024

Kabul: 27.11.2024

Yayın: 31.12.2024



**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstract:** Today, there are various wax-based products available for the protection of wood materials. In this study, the color parameters, whiteness index ( $WI^*$ ) values, and glossiness properties of modified bee waxes (olive oil, coconut oil, and linseed oil) applied to the heartwood and sapwood of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) were investigated. According to the determined test results, in the heartwood, all modified oils increased  $h^o$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ , and  $L^*$  values, while all glossiness values and  $a^*$  values decreased. Additionally, in the sapwood, all modified oils decreased all glossiness values,  $h^o$ , and  $L^*$  values, while  $b^*$ ,  $a^*$ , and  $C^*$  values increased. The  $\Delta E^*$  values were obtained as 7.01 with olive oil, 7.02 with linseed oil, and 6.67 with coconut oil in the sapwood, while in the heartwood, they were calculated as 21.09 with olive oil, 16.00 with linseed oil, and 16.01 with coconut oil. The  $WI^*$  values showed different results in both wood parts (heartwood and sapwood) and modified oils compared to the control samples.

**Keywords:** scots pine; bee wax; color; whiteness index

## 1. Giriş

Ahşap koruma, öncelikle ahşap ile ortam havası arasındaki nem alışverişinin önlenmesiyle ilgilidir. Hava nemli olduğunda, ahşap nemi emer ve şişer. Hava kuru olduğunda, ahşap nemi serbest bırakır ve büzülür. Çoğu malzeme, hava nemindeki değişikliklere bağlı olarak genişler ve büzülür. Ancak, ahşapta bu sıkıştırma ve genleşme yalnızca tek bir yönde, yani lifler boyunca gerçekleşmektedir. Ahşap, lifler boyunca yalnızca hafifçe büzülür ve genişler. Balmumu bazlı kaplamalar, çevre dostu olma ve ekonomi açısından modern gereksinimleri karşılar. Balmumu elastik, nefes alabilen bir kaplama oluşturur ve ahşabı çevresel etkilerden koruyarak güzelliğini ve elastikiyetini korur. Bu nedenle, doğada birçok bitkinin yaprakları mikro kristaller, lameller vb. şeklinde ince bir balmumu tabakasıyla kaplıdır (Tsvetkova ve ark., 2019).

Mumlar, polar olmayan lipidler sınıfına aittir. Bu durum, onların hiçbir polar bileşeni olmadığı veya pratikte suyla etkileşime izin vermeyen hidrofilik bir kısma sahip oldukları anlamına gelmektedir. Bu durum ile karakter mumların neden etkili lipid bariyerleri olduğunu açıklamaktadır. Proteinler ve polisakkaritlerle etkileşimler, amfifilik karakterlerinden dolayı, başta elektrostatik ve hidrofobik olmak üzere farklı doğadaki kuvvetler arasındaki ince dengeden kaynaklanmaktadır. Lipidlerin etkinliği çeşitli faktörlere bağlı olmaktadır. Ancak esas olarak diğerlerinin yanı sıra filmin homojenliğine, yapısına ve fiziksel duruma bağlıdır (Callegarin, 1997; Aguirre-Joya ve ark., 2016).

Balmumu emülsiyonları doğada her yerde bulunmaktadır. Endüstride geniş bir uygulama yelpazesi bulunmaktadır. Emülsiyon, belirli bir koloit türüdür. Koloit, bir maddenin mikroskobik düzeyde diğerinin içinde dağıldığı bir karışım olmaktadır (Rattle, 2012; Kwao-Boateng ve ark., 2017).

Arı balmumu, yenilebilir bir malzeme katmanı olarak kullanılabilir ve meyve yüzeyi için oksijen, dış kaynaklardan gelen mikroorganizmalar, nem ve çözücü hareketine karşı bir bariyer sağlayabilir (Nasrin ve ark., 2020; Alahakoon ve Sarananda, 2024).

Balmumlarının çeşitli çok heterojen bir bileşime sahip olduğu rapor edilmiştir: [asit polyesterler (%2), hidrokarbonlar (%14), hidroksipoliesterler (%8), monoesterler (%35), tris-terler (%3), hidroksimonoesterler (%4), diesterler (%14), asit monoesterler (%1), serbest asit-ler (%12) ve tanımlanamayan malzemeler (%7)] (Tulloch, 1971; Tulloch ve Hoffman, 1972; Gaillard ve ark., 2011).

Literatürde farklı balmumu ve balmumu türevli kimyasalların ahşap malzeme yüzeylerine ne uygulaması üzerine çeşitli araştırmalar bulunmaktadır [Mançurya dişbudağı (Niu ve Song, 2021), sarıçam (Beluns ve ark., 2022), Amerikan cevizi (Ayata, 2024), Çin dişbudağı (Liu ve ark., 2019), ak meşe (Ayata ve Ayata, 2024), kayın (Wafsmann ve Ahmed, 2020), manolya (Ayata ve ark., 2024a), çam (Tsvetkova ve ark., 2019), ak meşe (Liu ve ark., 2024), ladin (Janesch ve ark., 2020), maun (Ayata ve ark., 2024b), beyaz dişbudak (Zhang ve Song, 2023), armut (Sultan ve ark., 2021), Sibiry çamı (Çamlıbel ve Ayata, 2024), Çin kavak ağacı (Ning ve ark., 2022), kayın (Slabejová ve ark., 2019), göknar (Stanciu ve Teacă, 2024), ıhlamur, kavak, sarıçam ve ıhlamur (Akçay, 2020), Norveç ladini ve Avrupa kirazı (Petric ve ark., 2004)].

Bu çalışmada, sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) öz ve diri odunlarına uygulanmış modifiye edilmiş arı balmumları sonrasında elde edilen yüzeylerde renk parametreleri, beyazlık indeksi ( $WI^*$ ) değerleri ve parlaklık özellikleri karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) öz ve diri odunları bu çalışmada kullanılmıştır. Deney malzemesi ticari bir işletmeden 1. sınıf kalitede 100 mm x 200 mm x 20 mm olarak alınmıştır. Örnekler TS ISO 13061-1, (2021) standardına göre hazır hale getirilmiştir.

Bu çalışmada, 3 farklı ahşap koruyucu yağlar (Hindistan cevizi yağı + arı balmumu karışımı, keten tohumu yağı ve arı balmumu karışımı ve zeytinyağı + arı balmumu karışımı) kullanılmıştır.

### 2.2. Metot

Çalışmada, ahşap koruyucu yağlar ahşap malzeme yüzeylerine tek kat olarak fırça yardımıyla uygulanmıştır.

Renk değişimi, CIELAB renk sistemi ile bir CS-10 (CHN Spec, Çin) [CIE 10° standart gözlemci; CIE D65 ışık kaynağı, aydınlatma sistemi: 8/d (8°/dağınlık aydınlatma)] cihazı kullanılarak ölçülmüştür (ASTM D 2244-3, 2007). Aşağıdaki formüller ile toplam renk farklılıkları belirlenmiştir.

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \quad (1)$$

$$h^0 = \arctan (b^*/a^*) \quad (2)$$

$$\Delta C^* = (C^*_{\text{işlem görmüş deney örneği}} - C^*_{\text{işlem görmemiş deney örneği}}) \quad (3)$$

$$\Delta a^* = (a^*_{\text{işlem görmüş deney örneği}} - a^*_{\text{işlem görmemiş deney örneği}}) \quad (4)$$

$$\Delta L^* = (L^*_{\text{işlem görmüş deney örneği}} - L^*_{\text{işlem görmemiş deney örneği}}) \quad (5)$$

$$\Delta b^* = (b^*_{\text{işlem görmüş deney örneği}} - b^*_{\text{işlem görmemiş deney örneği}}) \quad (6)$$

$$\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{0.5} \quad (7)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0.5} \quad (8)$$

$\Delta C^*$ : kroma kısmı veya doygunluk farkı ve  $\Delta H^*$ : ton bölümü veya gölge farkını oluşturmaktadır. Diğer parametrelere ait tanımlamalarda Tablo 1'de gösterilmektedir (Lange, 1999).

**Tablo1.**  $\Delta a^*$ ,  $\Delta L^*$ ,  $\Delta b^*$  ve  $\Delta C^*$  değerlerine ait tanımlamalar (Lange, 1999).

Parametre	Pozitif durumda	Negatif durumda
$\Delta L^*$	Referanstan daha açık	Referanstan daha koyu
$\Delta a^*$	Referanstan daha kırmızı	Referanstan daha yeşil
$\Delta b^*$	Referanstan daha sarı	Referanstan daha mavi
$\Delta C^*$	Referanstan daha net, daha parlak	Mat, referanstan daha bulanık

\* $\Delta C^*$ : kroma kısmı veya doygunluk farkı ve  $\Delta H^*$ : ton bölümü veya gölge farkı.

$\Delta E^*$  kıyaslama kriterleri (DIN 5033, 1979) Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo2.**  $\Delta E^*$  değerlendirmesi için kıyaslama kriterleri (DIN5033, 1979).

Toplam renk farkı ( $\Delta E^*$ )	Görsel renk puanı farkı
<0.2	Algılanamaz
0.2 ila 0.5	Çok zayıf
0.5 ila 1.5	Zayıf
1.5 ila 3.0	Belirgin
3.0 ila 6.0	Çok belirgin
6.0 ila 12.0	Güçlü
>12.0	Çok güçlü

Bu çalışmada, Whiteness Meter BDY-1 cihazının kullanılması beyazlık indeksi ( $WI^*$ ) değerleri liflere paralel ve dik yönlerde belirlenmiştir (ASTM E313-15e1, 2015).

Parlaklık testleri, ETB-0833 model gloss meter cihazında üç farklı açıda (20°, 60° ve 85°) liflere dik ve paralel yönlerde olacak şekilde yapılmıştır (ISO 2813, 1994).

Bir istatistik programı ve çalışmaya ait ölçüm değerlerinin kullanılması ile standart sapmaları, maksimum ve minimum ortalama değerleri, ortalamaya ait ölçüm değerleri, homojenlik grupları, çok değişkenli varyans analizleri ve yüzde (%) değişim oranları hesaplanmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Tablo 3'te renk parametrelerine ait varyans analizi sonuçları verilmiştir. Bütün renk parametreleri için odun kısmı (A), arı balmumu türü (B) ve etkileşim (AB) anlamlı olarak tespit edilmiştir (Tablo 3).

**Tablo 3.** Renk parametrelerine ait varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Test	Kareler toplam	Serbestlik derecesi	Ortalama kare	F değeri	$\alpha < 0.05$
Odun Kısmı	L*	853.994	1	853.994	1005.173	0.000*
	a*	323.489	1	323.489	1273.923	0.000*
	b*	12.466	1	12.466	30.374	0.000*
	C	80.300	1	80.300	153.191	0.000*
	H	686.968	1	686.968	1533.941	0.000*
Arı Balmumu Türü	L*	585.261	3	195.087	229.623	0.000*
	a*	133.045	3	44.348	174.646	0.000*
	b*	655.351	3	218.450	532.253	0.000*
	C	785.959	3	261.986	499.799	0.000*
	H	61.871	3	20.624	46.051	0.000*
Etkileşim	L*	1158.875	3	386.292	454.675	0.000*
	a*	371.349	3	123.783	487.466	0.000*
	b*	6.703	3	2.234	5.444	0.000*
	C	65.877	3	21.959	41.892	0.000*
	H	1120.169	3	373.390	833.747	0.000*
Hata	L*	61.171	72	0.850		
	a*	18.283	72	0.254		
	b*	29.551	72	0.410		
	C	37.741	72	0.524		
	H	32.245	72	0.448		
Toplam	L*	406095.517	80			
	a*	7846.139	80			
	b*	70850.161	80			
	C	78701.000	80			
	H	425083.667	80			
Dizellenmiş Toplam	L*	2659.301	79			
	a*	846.166	79			
	b*	704.071	79			
	C	969.877	79			
	H	1901.252	79			

\* Anlamlı.

Renk parametrelerine ait ölçüm sonuçları Tablo 4'te sunulmaktadır. L\* değeri için en yüksek sonuç diri odun kontrol örneklerinde (78.38) elde edilirken, en düşük sonuç diri odun örneklerine uygulanmış zeytinyağı + arı balmumu kimyasalında (60.78) tespit edilmiştir. Öz odun örneklerinde bütün modifiye balmumu uygulamaları ile L\* değerlerinde artış görülürken, diri odun örneklerinde azalış belirlenmiştir. En yüksek azalma oranı %22.45 ile diri oduna uygulanmış zeytinyağı + arı balmumu kimyasalında belirlenirken, en düşük azalma oranı ise %15.99 ile diri oduna uygulanmış Hindistan cevizi yağı + arı balmumu kimyasalında elde edilmiştir. En yüksek artış öz oduna uygulanmış keten tohumu yağı + arı balmumu kimyasalında %4.51 olarak bulunurken, en düşük artış öz oduna uygulanmış Hindistan cevizi yağı + arı balmumu kimyasalında %3.13 olarak tespit edilmiştir (Tablo 4).

a\* değerinde bütün modifiye edilmiş balmumları ile öz odunda azalışlar ve diri odunda ise artışlar görülmüştür. a\* değeri için en yüksek sonuç diri odunda arı balmumu modifiyeli zeytinyağı ile işlem görmüş örneklerde (14.66) bulunurken, en düşük sonuç diri odun kontrol örneklerinde (5.63) elde edilmiştir. Öz odun örneklerinde bütün modifiye balmumu uygulamaları ile a\* değerlerinde azalışlar görülürken, diri odun örneklerinde artışlar belirlenmiştir (Tablo 4).

b\* değerlerinde bütün modifiye edilmiş balmumları ile öz ve diri odunlarda artışlar görülmüştür. b\* değeri için en yüksek sonuç diri oduna uygulanmış Hindistan cevizi yağı + arı balmumu kimyasalına sahip örneklerde (31.99) görülürken, en düşük sonuç diri odun kontrol örneklerinde (24.57) tespit edilmiştir. Öz ve diri odunlarına ait örneklerinde yapılan bütün modifiye balmumu uygulamaları ile b\* değerlerinde artış belirlenmiştir. En yüksek artış oranı %30.20 ile diri oduna uygulanmış Hindistan cevizi yağı + arı balmumu kimyasalında belirlenirken, en düşük artış oranı ise %23.23 ile öz oduna uygulanmış keten tohumu yağı + arı balmumu kimyasalında bulunmuştur (Tablo 4).

C\* değerlerinde bütün modifiye edilmiş balmumları ile öz ve diri odunlarda artışlar görülmüştür. C\* değeri için en düşük sonuç diri odun kontrol örneklerinde (25.21) elde edilirken, en yüksek sonuç diri odun örneklerine uygulanmış zeytinyağı + arı balmumu kimyasalında (35.11) belirlenmiştir. Diri ve öz odunlarına ait deney örneklerinde uygulanan bütün modifiye balmumu kaplı gruplarda C\* değerlerinde kontrol örneklerine kıyasla artışlar tespit edilmiştir. En yüksek artış oranı %39.27 ile diri oduna uygulanmış zeytinyağı + arı balmumu kimyasalında belirlenirken, en düşük artış oranı ise %18.54 ile öz oduna uygulanmış keten tohumu yağı + arı balmumu kimyasalında tespit edilmiştir (Tablo 4).

h° değerinde bütün modifiye edilmiş balmumları ile diri odunda azalışlar ve öz odunda ise artışlar görülmüştür. h° değeri için en yüksek sonuç öz odunu örneklerine uygulanmış keten tohumu yağ + arı balmumu kimyasalında (77.84) elde edilirken, en düşük sonuç ise diri odun örneklerine uygulanmış zeytinyağı + arı balmumu kimyasalında (65.33) bulunmuştur. (Tablo 4).

**Tablo 4** Renk parametrelerine ait dani ölçüm sonuçları.

Test Odun Kısmı	Modifiye Edilmiş Arı Balmumu Türü	Ortalama	% Değişim	Homojenlik grubu	Standart sapma	Minimum	Maksimum	Varyans katsayısı
Öz	Kontrol	72.23	-	D	1.25	70.81	74.22	1.73
	Zeytinyağı	74.91	↑3.71	BC	0.79	73.71	75.82	1.05
	Keten Tohumu Yağı	75.49	↑4.51	B	0.62	74.82	76.70	0.82
	Hindistan Cevizi Yağı	74.49	↑3.13	C	0.51	73.72	75.25	0.69
L*	Kontrol	78.38	-	A*	0.89	76.81	80.23	1.13
	Zeytinyağı	60.78	↓22.45	F**	1.43	59.57	63.69	2.35
	Keten Tohumu Yağı	65.97	↓15.83	E	0.98	63.53	67.32	1.48
	Hindistan Cevizi Yağı	65.85	↓15.99	E	0.42	65.09	66.51	0.64
Öz	Kontrol	8.94	-	D	0.79	7.84	9.90	8.82
	Zeytinyağı	7.00	↓21.70	E	0.23	6.72	7.30	3.27
	Keten Tohumu Yağı	6.57	↓26.51	E	0.18	6.28	6.92	2.79
	Hindistan Cevizi Yağı	6.86	↓23.27	E	0.16	6.61	7.21	2.37
a*	Kontrol	5.63	-	F**	0.32	5.04	6.32	5.69
	Zeytinyağı	14.66	↑160.39	A*	0.92	12.83	15.92	6.28
	Keten Tohumu Yağı	12.89	↑128.95	B	0.43	12.16	13.78	3.35
	Hindistan Cevizi Yağı	12.28	↑118.12	C	0.40	11.76	12.83	3.27
b*	Kontrol	24.75	-	C	1.12	22.74	25.94	4.54
	Zeytinyağı	30.94	↑25.01	B	0.29	30.46	31.26	0.93
	Keten Tohumu Yağı	30.50	↑23.23	B	0.40	29.99	31.19	1.31
	Hindistan Cevizi Yağı	30.67	↑23.92	B	0.33	30.07	31.12	1.09
b*	Kontrol	24.57	-	C**	1.06	22.36	25.68	4.29
	Zeytinyağı	31.90	↑29.83	A	0.40	31.31	32.76	1.26
	Keten Tohumu Yağı	31.57	↑28.49	A	0.43	30.58	32.13	1.36
	Hindistan Cevizi Yağı	31.99	↑30.20	A*	0.45	31.19	32.60	1.41
c*	Kontrol	26.32	-	D	1.30	24.06	27.60	4.95
	Zeytinyağı	31.72	↑20.52	C	0.31	31.23	32.05	0.97
	Keten Tohumu Yağı	31.20	↑18.54	C	0.41	30.70	31.88	1.31
	Hindistan Cevizi Yağı	31.43	↑19.41	C	0.31	30.92	31.86	1.00
c*	Kontrol	25.21	-	E**	1.09	22.92	26.44	4.31
	Zeytinyağı	35.11	↑39.27	A*	0.70	34.00	36.42	2.00
	Keten Tohumu Yağı	34.11	↑35.30	B	0.43	33.32	34.66	1.26
	Hindistan Cevizi Yağı	34.27	↑35.94	B	0.53	33.44	35.03	1.53
Öz	Kontrol	70.17	-	C	0.94	68.90	71.48	1.34
	Zeytinyağı	77.25	↑10.09	AB	0.37	76.70	77.67	0.48
	Keten Tohumu Yağı	77.84	↑10.93	A*	0.30	77.28	78.29	0.39
	Hindistan Cevizi Yağı	77.39	↑10.29	AB	0.36	76.52	77.87	0.46
H*	Kontrol	77.09	-	B	0.42	76.16	77.76	0.55
	Zeytinyağı	65.33	↓15.25	F**	1.18	64.09	67.83	1.80
	Keten Tohumu Yağı	67.78	↓12.08	E	0.73	66.47	68.90	1.07
	Hindistan Cevizi Yağı	69.00	↓10.49	D	0.50	68.38	69.67	0.72

Ölçüm Sayısı: 10; Homojenlik Grubu sütunu için \*en yüksek değer, \*\*en düşük değer

Tablo 5'te toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar verilmiştir. Δb\* (referanstan daha sarı) ve ΔC\* (referanstan daha net, daha parlak) değerleri her iki odun kısmı için bütün modifiye edilmiş arı balmumu uygulamalarında pozitif olarak tespit edilmiştir. ΔL\* (referanstan daha açık) değerleri öz odunda ve Δa\* (referanstan daha kırmızı) değerleri diri odunda bütün modifiyeli yağlar için pozitif olarak tespit edilmiştir. Buna ek olarak, ΔL\* (referanstan daha koyu) değerleri diri odunda ve Δa\* (referanstan daha yeşil) değerleri öz

odunda bütün modifiyeli yağlar için negatif olarak elde edilmiştir.  $\Delta E^*$  değerlerine bakıldığında, diri oduna (zeytinyağı: 21.09, keten tohumu yağı 16.00 ve Hindistan cevizi yağı 16.01) ait sonuçlar öz oduna (zeytinyağı: 7.01, keten tohumu yağı: 7.02 ve Hindistan cevizi yağı: 6.67) ait sonuçlardan yüksek elde edilmiştir. Renk değiştirme kriteri (DIN 5033, 1979) için öz odununa ait bütün deney örnekleri “güçlü (6.00 ila 12.00)” kriterini verirken, odununa ait bütün deney örnekleri “çok güçlü (> 12.00)” kriterini vermiştir (Tablo 5).

**Tablo 5.** Toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar.

Odun Kısmı	An Balmumu Türü	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta C^*$	$\Delta H^*$	$\Delta E^*$	Renk değiştirme kriterleri (DIN5033, 1979)
Öz	Zeytinyağı	2.67	-1.94	6.19	5.40	3.59	7.01	Güçlü (6.00 ila 12.00)
	Keten Tohumu Yağı	3.26	-2.37	5.74	4.88	3.85	7.02	
	Hindistan Cevizi Yağı	2.26	-2.08	5.92	5.11	3.64	6.67	
Diri	Zeytinyağı	-17.60	9.03	7.33	9.91	6.09	21.09	Çok güçlü (>12.00)
	Keten Tohumu Yağı	-12.41	7.27	7.01	8.90	4.76	16.00	
	Hindistan Cevizi Yağı	-12.53	6.65	7.42	9.06	4.15	16.01	

Beyazlık indeksi ( $WI^*$ ) değerlerine ait varyans analizi sonuçları Tablo 6’da sunulmaktadır. Her iki yöndeki  $WI^*$  değerlerinde odun kısmı (A), arı balmumu türü (B) ve etkileşim (AB) anlamlı olarak bulunmuştur (Tablo 6).

**Tablo 6.** Beyazlık indeksi ( $WI^*$ ) değerlerine ait olan varyans analizi sonuçları.

Varyans kaynağı	Test	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama kare	F değeri	$\alpha < 0.05$
Odun Kısmı	$WI^*$ dik ( $\perp$ )	564.984	1	564.984	1707.475	0.000*
	$WI^*$ paralel ( $\parallel$ )	240.125	1	240.125	718.219	0.000*
An Balmumu Türü	$WI^*$ dik ( $\perp$ )	1740.834	3	580.278	1753.694	0.000*
	$WI^*$ paralel ( $\parallel$ )	1195.662	3	398.554	1192.085	0.000*
Etkileşim	$WI^*$ dik ( $\perp$ )	1519.786	3	506.595	1531.013	0.000*
	$WI^*$ paralel ( $\parallel$ )	1257.542	3	419.181	1253.780	0.000*
Hata	$WI^*$ dik ( $\perp$ )	23.824	72	0.331		
	$WI^*$ paralel ( $\parallel$ )	24.072	72	0.334		
Toplam	$WI^*$ dik ( $\perp$ )	66401.540	80			
	$WI^*$ paralel ( $\parallel$ )	23783.940	80			
Düzeltilmiş Toplam	$WI^*$ dik ( $\perp$ )	3849.428	79			
	$WI^*$ paralel ( $\parallel$ )	2717.400	79			

Beyazlık indeksi ( $WI^*$ ) değerlerine ait ölçüm sonuçları Tablo 7’de verilmiştir. Her iki yöndeki  $WI^*$  değerlerinde diri oduna uygulanan bütün modifiye edilmiş arı balmumları ile azalışlar belirlenmiş (zeytinyağı, keten tohumu yağı ve Hindistan cevizi yağı için sırasıyla  $\perp$  için %54.04, %45.28 ve %51.62 ve  $\parallel$  için %69.23, %61.69 ve %61.12) olunup, en yüksek sonuçlar kontrol deney örneklerinde ( $\perp$ : 40.64 ve  $\parallel$ : 27.88) belirlenirken en düşük sonuçlar ise değerlerinde arı balmumu ile modifiye edilmiş zeytinyağı ile işlem görmüş deney grubuna ait örneklerde ( $\perp$ : 18.68 ve  $\parallel$ : 8.58) bulunmuştur. Öz odunda ise her iki yöndeki  $WI^*$  değerlerinde arı balmumu ile modifiye edilmiş zeytinyağı uygulaması ile azalışlar belirlenirken, değerlerinde arı balmumu ile modifiye edilmiş keten tohumu yağı ile artışlar tespit edilmiştir (Tablo 7).



**Tablo 7.** Bayazlık indeksi ( $W^*$ ) değerine ait ölçüm sonuçları.

Test	Odun Kısım	Modifiye Edilmiş Arı Balmumu Türü	Ortalama	% değişim	Homojenlik grubu	Standart sapma	Minimum	Maksimum	Varyans katsayısı
$W^*$	Öz	Kontrol	30.92	-	C	1.01	29.50	32.50	3.28
		Zeytinyağı	30.24	↓2.20	D	0.56	29.50	30.80	1.85
		Keten Tohumu Yağı	32.32	↑4.53	B	0.21	32.10	32.70	0.67
		Hindistan Cevizi Yağı	29.00	↓6.21	E	0.12	28.80	29.10	0.40
$\perp$	Diri	Kontrol	40.64	-	A*	0.23	40.30	40.90	0.56
		Zeytinyağı	18.68	↓54.04	H*	0.83	17.80	19.70	4.45
		Keten Tohumu Yağı	22.24	↓45.28	F	0.23	22.00	22.50	1.02
		Hindistan Cevizi Yağı	19.66	↓51.62	G	0.67	19.10	20.90	3.42
$W^*$	Öz	Kontrol	17.64	-	C	0.89	16.50	18.60	5.05
		Zeytinyağı	16.82	↓4.65	D	0.20	16.50	17.00	1.22
		Keten Tohumu Yağı	19.32	↑9.52	B	0.19	19.00	19.50	1.00
		Hindistan Cevizi Yağı	18.06	↑2.38	C	0.57	17.50	18.70	3.17
$\parallel$	Diri	Kontrol	27.88	-	A*	0.86	26.50	28.80	3.09
		Zeytinyağı	8.58	↓69.23	F*	0.43	7.90	9.00	5.00
		Keten Tohumu Yağı	10.68	↓61.69	E	0.73	9.50	11.60	6.79
		Hindistan Cevizi Yağı	10.84	↓61.12	E	0.14	10.70	11.00	1.32

Ölçüm Sayısı: 10; Homojenlik Grubu sütunu için \*en yüksek değer, \*\*en düşük değer

Parlaklık değerlerine ait varyans analizi sonuçları Tablo 8'de sunulmaktadır. Odun kısmı (A) faktörü için 85 derecede liflere dik yönde yapılan ölçüm anlamsız olarak bulunurken, diğer bütün testler üzerinde odun kısmı (A), arı balmumu türü (B) ve etkileşim (AB) anlamlı olarak elde edilmiştir (Tablo 8).

**Tablo 8.** Parlaklık değerlerine ait olan varyans analizi sonuçları.

Varyans kaynağı	Test	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama kare	F değeri	$\alpha < 0.05$
Odun Kısım	⊥ 20° de parlaklık	1.300	1	1.300	525.225	0.000*
	⊥ 60° de parlaklık	3.280	1	3.280	103.960	0.000*
	⊥ 85° de parlaklık	0.128	1	0.128	2.118	0.150
	∥ 20° de parlaklık	2.312	1	2.312	717.517	0.000*
	∥ 60° de parlaklık	11.552	1	11.552	662.217	0.000*
Arı Balmumu Türü	⊥ 20° de parlaklık	2.526	3	0.842	378.825	0.000*
	⊥ 60° de parlaklık	34.582	3	11.527	365.298	0.000*
	⊥ 85° de parlaklık	115.588	3	38.529	637.434	0.000*
	∥ 20° de parlaklık	4.378	3	1.459	452.897	0.000*
	∥ 60° de parlaklık	56.098	3	18.699	1071.936	0.000*
Etkileşim	⊥ 20° de parlaklık	0.773	3	0.258	116.025	0.000*
	⊥ 60° de parlaklık	4.341	3	1.447	45.861	0.000*
	⊥ 85° de parlaklık	7.780	3	2.593	42.904	0.000*
	∥ 20° de parlaklık	1.540	3	0.513	159.310	0.000*
	∥ 60° de parlaklık	8.292	3	2.764	158.446	0.000*
Hata	⊥ 20° de parlaklık	8.357	3	2.786	103.179	0.000*
	⊥ 20° de parlaklık	0.160	72	0.002		
	⊥ 60° de parlaklık	2.272	72	0.032		
	⊥ 85° de parlaklık	4.352	72	0.060		
	∥ 20° de parlaklık	0.232	72	0.003		
Toplam	∥ 60° de parlaklık	1.256	72	0.017		
	∥ 85° de parlaklık	1.944	72	0.027		
	⊥ 20° de parlaklık	62.900	80			
	⊥ 60° de parlaklık	1234.900	80			
	⊥ 85° de parlaklık	258.920	80			
Düzeltilmiş Toplam	∥ 20° de parlaklık	71.120	80			
	∥ 60° de parlaklık	1693.600	80			
	∥ 85° de parlaklık	1409.540	80			
	⊥ 20° de parlaklık	4.760	79			
	⊥ 60° de parlaklık	44.476	79			
Düzeltilmiş Toplam	⊥ 85° de parlaklık	127.848	79			
	∥ 20° de parlaklık	8.462	79			
	∥ 60° de parlaklık	77.198	79			
	∥ 85° de parlaklık	716.876	79			

\*anlamlı

Parlaklık değerlerine ait ölçüm sonuçları Tablo 9'da gösterilmektedir. Ölçülen parlaklık değerleri kontrol örneklerine kıyaslan bütün modifiye edilmiş balmumu uygulamaları ile bütün odun kısımlarında azalışlar görülmüştür. En yüksek sonuçlar kontrol deney gruplarına ait örnekler üzerinde tespit edilmiştir (Tablo 9).

**Tablo 9.** Parlaklık değerlerine ait olan ölçüm sonuçları.

Test Odun Kısmı	Modifiye Edilmiş Arı Balmumu Türü	Ortalama	% değişim	Homojenlik grubu	Standart sapma	Minimum	Maksimum	Varyans katsayısı	
20°	Öz	Kontrol	1.12	-	B	0.04	1.10	1.20	3.76
		Zeytinyağı	0.94	↓16.07	CD	0.05	0.90	1.00	5.49
		Keten Tohumu Yağı	0.96	↓14.29	C	0.05	0.90	1.00	5.38
		Hindistan Cevizi Yağı	0.90	↓19.64	D	0.00	0.90	0.90	0.00
⊥	Diri	Kontrol	1.20	-	A*	0.00	1.20	1.20	0.00
		Zeytinyağı	0.58	↓51.67	E	0.08	0.50	0.70	13.60
		Keten Tohumu Yağı	0.54	↓55.00	E**	0.05	0.50	0.60	9.56
		Hindistan Cevizi Yağı	0.58	↓51.67	E	0.04	0.50	0.60	7.27
60°	Öz	Kontrol	4.78	-	B	0.12	4.60	4.90	2.57
		Zeytinyağı	3.98	↓16.74	C	0.18	3.70	4.20	4.56
		Keten Tohumu Yağı	3.82	↓20.08	D	0.10	3.70	4.00	2.70
		Hindistan Cevizi Yağı	3.66	↓23.43	E	0.20	3.50	4.00	5.34
⊥	Diri	Kontrol	5.16	-	A*	0.29	4.80	5.50	5.57
		Zeytinyağı	3.28	↓36.43	F	0.25	3.00	3.70	7.71
		Keten Tohumu Yağı	3.32	↓35.66	F	0.04	3.30	3.40	1.27
		Hindistan Cevizi Yağı	2.86	↓44.57	G**	0.08	2.80	3.00	2.95
85°	Öz	Kontrol	2.74	-	B	0.60	2.00	3.50	21.84
		Zeytinyağı	1.00	↓63.50	C	0.18	0.80	1.20	17.64
		Keten Tohumu Yağı	1.00	↓63.50	C	0.18	0.80	1.20	17.64
		Hindistan Cevizi Yağı	0.22	↓91.97	E	0.12	0.10	0.40	55.88
⊥	Diri	Kontrol	3.88	-	A*	0.17	3.60	4.00	4.35
		Zeytinyağı	0.72	↓81.44	D	0.04	0.70	0.80	5.86
		Keten Tohumu Yağı	0.56	↓85.57	D	0.13	0.40	0.70	22.59
		Hindistan Cevizi Yağı	0.12	↓96.91	E**	0.04	0.10	0.20	35.14
20°	Öz	Kontrol	1.22	-	B	0.04	1.20	1.30	3.44
		Zeytinyağı	0.98	↓19.67	C	0.08	0.90	1.10	8.05
		Keten Tohumu Yağı	1.02	↓16.39	C	0.04	1.00	1.10	4.13
		Hindistan Cevizi Yağı	1.00	↓18.03	C	0.00	1.00	1.00	0.00
	Diri	Kontrol	1.36	-	A*	0.13	1.20	1.50	9.30
		Zeytinyağı	0.50	↓63.24	D**	0.00	0.50	0.50	0.00
		Keten Tohumu Yağı	0.50	↓63.24	D**	0.00	0.50	0.50	0.00
		Hindistan Cevizi Yağı	0.50	↓63.24	D**	0.00	0.50	0.50	0.00
60°	Öz	Kontrol	5.76	-	B	0.29	5.30	6.00	4.99
		Zeytinyağı	4.40	↓23.61	D	0.00	4.40	4.40	0.00
		Keten Tohumu Yağı	4.86	↓15.63	C	0.14	4.60	5.00	2.94
		Hindistan Cevizi Yağı	4.48	↓22.22	D	0.04	4.40	4.50	0.94
	Diri	Kontrol	6.10	-	A*	0.07	6.00	6.20	1.09
		Zeytinyağı	3.36	↓44.92	F**	0.14	3.20	3.50	4.26
		Keten Tohumu Yağı	3.56	↓41.64	E	0.05	3.50	3.60	1.45
		Hindistan Cevizi Yağı	3.44	↓43.61	F	0.08	3.30	3.50	2.45
85°	Öz	Kontrol	7.94	-	A	0.13	7.70	8.00	1.59
		Zeytinyağı	2.18	↓72.54	B	0.21	1.90	2.40	9.86
		Keten Tohumu Yağı	2.24	↓71.79	B	0.08	2.10	2.30	3.76
		Hindistan Cevizi Yağı	0.72	↓90.93	D	0.04	0.70	0.80	5.86
	Diri	Kontrol	8.08	-	A*	0.31	7.70	8.60	3.82
		Zeytinyağı	1.18	↓85.40	C	0.14	1.00	1.40	11.85
		Keten Tohumu Yağı	0.72	↓91.09	D	0.12	0.60	0.90	17.07
		Hindistan Cevizi Yağı	0.48	↓94.06	E**	0.12	0.30	0.60	25.61

Ölçüm Sayısı: 10; Homojenlik Grubu sütunu için \*en yüksek değer, \*\*en düşük değer

Literatürde yapılan çeşitli balmumu uygulamalarına ait çalışmalarda renk, parlaklık ve beyazlık indeksi testlerinde değişikliklerin elde edildikleri rapor edilmiştir [maun (Ayata ve ark., 2024b), Amerikan cevizi (Ayata, 2024), ak meşe (Ayata ve Ayata, 2024), manolya (Ayata ve ark., 2024a), Sibiryaya çamı (Çamlıbel ve Ayata, 2024), ıhlamur, kavak, sarıçam ve ıhlamur (Akçay, 2020)].

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bütün modifiye edilmiş yağların ahşap malzeme yüzeylerine uygulanması ile öz odunda bütün parlaklık değerleri ve  $a^*$  değerleri azalırken,  $h^o$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  ve  $L^*$  değerleri artmıştır. Buna ek olarak diri odunda ise, bütün modifiye edilmiş yağlar tarafından bütün parlaklık değerleri,  $h^o$  ve  $L^*$  değerleri azalırken,  $b^*$ ,  $a^*$  ve  $C^*$  değerleri artmıştır. Elde edilen kaplanmış örneklerin UV lambalara veya doğal yaşlandırmaya karşı bırakılması ile meydana gelen renk değişimlerinin araştırılması önerilmektedir.

**Yazar Katkıları:** Birden fazla yazarlı araştırma makaleleri için, bireysel katkılarını belirten kısa bir paragraf sağlanmalıdır. Aşağıdaki ifadeler kullanılmalıdır “Kavramsallaştırma, H.P., Ü.A. ve O.Ç.; metodoloji, Ü.A.; yazılım, H.P. ve Ü.A.; doğrulama, H.P., Ü.A. ve O.Ç.; içerik analizi, Ü.A. ve O.Ç.; araştırma, H.P., Ü.A. ve O.Ç.; çalışma olanakları, H.P. ve Ü.A.; veri düzenleme, H.P., Ü.A. ve O.Ç.; yazma—orijinal taslak hazırlama, H.P. ve Ü.A.; yazma—inceleme ve düzenleme, H.P., Ü.A. ve O.Ç.; görselleştirme, Ü.A.; süpervizyon, H.P. ve Ü.A.; proje yönetimi, H.P., Ü.A. ve O.Ç.; fon sağlama, H.P., Ü.A. ve O.Ç. Tüm yazarlar makalenin yayınlanan versiyonunu okumuş ve kabul etmiştir.” Yazarlık, çalışmaya önemli ölçüde katkıda bulunan kişilerle sınırlı olmalıdır.

**Fon Desteği:** Bu çalışmada herhangi bir dış finansmandan maddi destek alınmamıştır.

**Çıkar Çatışmaları:** Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

#### Kaynaklar

- Aguirre-Joya, J.A., Álvarez, B., Ventura, J.M., García-Galindo, J.O., De León-Zapata, M.A., Rojas, R., Saucedo, S., and Aguilar, C.N., (2016). Edible coatings and films from lipids, waxes, and resins. *Edible Food Packaging: Materials and Processing Technologies*, 121-152.
- Akçay, Ç., (2020). Determination of decay, larvae resistance, water uptake, color, and hardness properties of wood impregnated with honeybee wax, *BioResources*, 15(4): 8339-8354. DOI: 10.15376/biores.15.4.8339-8354.
- Alahakoon, A.R.I.S., and Sarananda, K.H., (2024). Development of edible coating using coconut oil and bee wax to extend shelf life of lime (*Citrus aurantiifolia*), *Journal of Food and Agriculture*, 17(1): 34-45. DOI: 10.4038/jfa.v17i1.5317.
- ASTM D 2244-3, (2007). Standard practice for calculation of color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM E313-15e1, (2015). Standard practice for calculating yellowness and whiteness indices from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Ayata, Ü., (2024). Investigation of surface changes after coating of American walnut (*Juglans nigra* L.) wood with oil-modified beeswax, *Pro ligno*, 20(2): 3-9.
- Ayata, Ü., and Ayata, A., (2024). Determination of color, whiteness index, and glossiness properties in wax applied American white oak (*Quercus alba*) wood, *Modern Concepts and Developments in Agronomy*, 14(3): 1397-1403. DOI: 10.31031/MCDA.2024.14.000840.
- Ayata, Ü., and Çamlıbel, O., (2024). Effects of wax application on color, glossiness, and whiteness index values of American black cherry (*Prunus serotina*) wood, *Les/Wood*, 73(1): 81-90. DOI: 10.26614/les-wood.2024.v73no1a07.
- Ayata, Ü., Bilginer, E.H., and Çamlıbel, O., (2024a). Applications of natural and synthetic wax blends on wood surfaces of magnolia (*Magnolia grandiflora* L.), *Wood Industry and Engineering*, 6(1): 9-17.
- Ayata, Ü., Çamlıbel, O., Efe, F.T., Tonguç, F., ve Kaplan, Ş., (2024b). Maun (*Swietenia mahagoni* (L.) Jacq.) odununa uygulanmış modifiye arı balmumlarında seçilmiş bazı yüzey özelliklerinin incelenmesi, *Tarım, Orman Ve Su Bilimlerinde Popüler Yaklaşımlar*, Duvar Yayınları, Editör: Doç. Dr. Gökhan ŞEN, Haziran 2024, İzmir, 67-79. ISBN: 978-625-6069-28-2.
- Beluns, S., Platnieks, O., Sevchenko, J., Jure, M., Gaidukova, G., Grase, L., and Gaidukovs, S., (2022). Sustainable wax coatings made from pine needle extraction waste for nanopaper hydrophobization, *Membranes*, 12(5): 537. DOI: 10.3390/membranes12050537.
- Callegarin, F., Quezada Gallo, J.-A., Debeaufort, F., and Voiley, A., (1997). Lipids and biopack-aging, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 74(10): 1183-1192.
- Çamlıbel, O., ve Ayata, Ü., (2024). Sibirya çamı (*Pinus sibirica*) odununda seçilmiş bazı yüzey özellikleri üzerine modifiye edilmiş arı balmumunun etkileri, *Latin Amerika 8. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi 1-5 Mayıs 2024, Havana, Küba*, 748-755.
- DIN 5033, (1979). Deutsche Normen, Farbmessung, Normenausschuß Farbe (FNF) im DIN Deutsches Institut für Normung eV, Beuth, Berlin März.
- Gaillard, Y., Mija, A., Burr, A., Darque-Ceretti, E., Felder, E., and Shirrazzuoli, N., (2011). Green material composites from renewable resources: Polymorphic transitions and phase diagram of beeswax/rosin resin. *Thermochimica Acta*, 521(1-2): 90-97. DOI: 10.1016/j.tca.2011.04.010.
- ISO 2813, (1994). Paints and varnishes - determination of specular gloss of non-metallic paint films at 20 degrees, 60 degrees and 85 degrees, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Janesch, J., Arminger, B., Gindl-Altmutter, W., and Hansmann, C., (2020). Superhydrophobic coatings on wood made of plant oil and natural wax, *Progress in Organic Coatings*, 148: 105891. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2020.105891.
- Kwao-Boateng, E., Aboagye, E.A., and Appiah, F.A., (2017). Comparing the properties of wax emulsions formed from petroleum wax and beeswax, *International Conference on Engineering, Science, Technology, and Entrepreneurship (ESTE 2017)*.
- Lange, D.R., (1999). *Fundamentals of Colourimetry - Application Report No. 10e*. DR Lange: New York, NY, USA.
- Liu, X.Y., Timar, M.C., and Varodi, A.M., (2019). A comparative study on the artificial UV and natural ageing of beeswax and Chinese wax and influence of wax finishing on the ageing of Chinese Ash (*Fraxinus mandshurica*) wood surfaces, *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 201: 11607. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2019.11607.

- Liu, Y., Li, L., Zhao, A., Song, X., Wei, L., Fang, M., Zheng, C., and Zhu, X., (2024). Sustainable fragrance release wax oil coating for wood substrate based on peppermint essential oil microcapsules, *Industrial Crops and Products*, 208: 117848. DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.117848.
- Nasrin, T.A.A., Rahman, M.A., Arfin, M.S., Islam, M.N., and Ullah, M.A., (2020). Effect of novel coconut oil ambient storage, *Journal of Agriculture and Food Research*, 2: 100019.
- Ning, L., Zhang, L., Zhang, S., and Wang, W., (2022). How does surfactant affect the hydrophobicity of wax-coated wood?. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 650: 129606. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2022.129606.
- Niu, K., and Song, K., (2021). Hot waxing treatment improves the aging resistance of wood surface under UV radiation and water, *Progress in Organic Coatings*, 161: 106468. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2021.106468.
- Petric, M., Kricej, B., Humar, M., Pavlic, M., and Tomazic, M., (2004). Patination of cherry wood and spruce wood with ethanolamine and surface finishes, *Surface Coatings International Part B*, 87(3): 195-202.
- Rattle, M.T., (2012). Wax-based emulsifiers for use in emulsions to impart water repellency to gypsum wallboards, Masters Degree Thesis, McMaster University. Hamilton.
- Slabejová, G., Vidholdová, Z., and Šmidriaková, M., (2019). Surface finishes for thermally modified beech wood, *Acta Facultatis Xylogogae Zvolen res Publica Slovaca*, 61(2): 41-50. DOI: 10.17423/afx.2019.61.2.04.
- Stanciu, M.C., and Teacă, C.A., (2024). Changes of wood surfaces treated with natural-based products-structural and properties investigation, *BioResources*, 19(3): 5895-5915. DOI: 10.15376/biores.19.3.5895-5915.
- Sultan, M., Hafez, O.M., Saleh, M.A., and Youssef, A.M., (2021). Smart edible coating films based on chitosan and beeswax-pollen grains for the postharvest preservation of Le Conte pear. *RSC advances*, 11(16): 9572-9585. DOI: 10.1039/DoRA10671B.
- TS ISO 13061-1, (2021). Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri – Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 1: Fiziksel ve mekanik deneyler için nem muhtevasının belirlenmesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Tsvetkova, I.N., Krasil’nikova, L.N., Khoroshavina, Y.V., Galushko, A.S., Frantsuzova Yu, V., Kychkin, A.K., and Shilova, O.A., (2019). Sol-gel preparation of protective and decorative coatings on wood, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 92: 474-483. DOI: 10.1007/s10971-019-04996-3.
- Tulloch, A.P., (1971). Beeswax: structure of the esters and their component hydroxy acids and diols, *Chemistry and Physics of Lipids*, 6(3): 235-265. DOI: 10.1016/0009-3084(71)90063-6.
- Tulloch, A.P., and Hoffman, L.L., (1972). Canadian beeswax: analytical values and composition of hydrocarbons, free acids and long chain esters, *Journal of the American Oil Chemists Society*, 49(12): 696-699. DOI: 10.1007/BF02609202.
- Waßmann, O., and Ahmed, S.I.U., (2020). Slippery wood: low friction and low wear of modified beech wood, *Tribology Letters*, 68: 1-10. DOI: 10.1007/s11249-020-01297-7.

**Yasal Uyarı/Sorumluluk Reddi:** Tüm yayınlarda yer alan ifadeler, görüşler ve veriler yalnızca yazarlara ve (varsa) katkıda bulunanlara aittir; *Journal of Green Technology and Environment* ve/veya editörlerine ait değildir. *Journal of Green Technology and Environment* ve/veya editörleri, içerikte atıfta bulunulan herhangi bir fikir, yöntem, talimat veya üründen kaynaklanan, insanlara veya mallara gelebilecek herhangi bir zararın sorumluluğunu reddeder.



Review Article

# Current Potential Use of Antibacterial Textile Products in Medical Technical Textiles

Naciye Sündüz Oğuz \* 

Kastamonu University, Araç Rafet Vergili Vocational School, Department of Textile, Clothing, Shoes and Leather, 37150, Kastamonu/Türkiye

\* Correspondence: noguz@kastamonu.edu.tr

**Abstract:** In recent years, medical technical textiles have gained great importance with increasing customer demands, technological developments and consumer awareness. People can be exposed to many microorganisms in daily life and these microorganisms can reproduce rapidly under the influence of appropriate temperature, humidity and nutrients. These microorganisms can cause infectious diseases and deaths. Bacteria formed on textile materials negatively affect human health, and cause loss of strength, bad odor and stain formation on textile surfaces. Nowadays, in order to prevent the harm given to the user and these negative situations occurring on the textile surface, the tendency towards antibacterial textile products, which are of great importance especially for the health sector, has increased. In this study, information is given about the importance of antibacterial textile products, which are of great importance for the health sector, their development and innovative approaches in this field.

**Keywords:** medical technical textiles; antibacterial textile products; medical applications

## Günümüzde Antibakteriyel Tekstil Ürünlerinin Tıbbi Teknik Tekstillerde Kullanım Potansiyeli

**Öz:** Son yıllarda artan müşteri talepleri, teknolojinin gelişmesi ve tüketicilerin bilinçlenmesi ile tıbbi teknik tekstiller büyük bir önem kazanmıştır. İnsanlar günlük hayatta pek çok mikroorganizmaya maruz kalabilmekte ve bu mikroorganizmalar uygun sıcaklık, nem ve besinin etkisi ile hızlı bir şekilde üreyebilmektedir. Bu mikroorganizmalar enfeksiyona dayalı hastalık oluşturabilmekte ve ölümlere sebep olabilmektedirler. Tekstil materyalleri üzerinde oluşan bakteriler insan sağlığını olumsuz etkilemekle birlikte, tekstil yüzeyinde mukavemet kaybı, kötü koku ve leke oluşumuna sebep olmaktadır. Günümüzde kullanıcıya verilen zararları ve tekstil yüzeyinde meydana gelen bu olumsuz durumları önlemek amacıyla bilhassa sağlık sektörü açısından büyük bir öneme sahip olan antibakteriyel tekstil ürünlerine yönelim artmıştır. Bu çalışmada sağlık sektörü açısından büyük bir öneme sahip olan antibakteriyel tekstil ürünlerinin önemi, gelişimi ve bu alanda yapılan yenilikçi yaklaşımlar konusunda bilgiler verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** tıbbi teknik tekstil; antibakteriyel tekstil ürünleri; medikal uygulamalar

**Citation:** Oğuz, N. S. Current Potential Use of Antibacterial Textile Products in Medical Technical Textiles. Journal of GreenTech 2024, 2(2): 18-25. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14427385>.

Received: 20.10.2024

Revised: 05.12.2024

Accepted: 13.12.2024

Published: 31.12.2024



**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

Textile products, which emerged with the need for human self-protection and covering, are used in many areas of daily life today for aesthetic purposes and due to their functional properties. From wet wipes to baby diapers, surgical sutures to tea bags, radiation protection products to flame retardant products, we use many textile materials in our daily lives and make our lives easier. Unlike traditional textile products, technical textiles have been developed for more specific purposes. This area is constantly growing and is used in many sectors such as fashion, agriculture, and health (Arslan & Arslan, 2024). Technical textiles are the fastest growing area of the textile sector, produced for their functional and performance properties rather than their decorative and aesthetic properties, and have a wide product range with the developments in technology. In recent years, studies in this field have gained great importance. Properties related to human health such as biodegradability, tissue compatibility, protection against microorganisms; mechanical properties such as reinforcement, elasticity, strength; protection against chemical, mechanical, radiation, thermal and electrical conditions; has changing properties such as waterproofing, filtration, conductivity, insulation, absorbency and drainage. Today, textile products are used in many areas such as medicine, protective clothing, sports equipment, transportation, industry, agriculture, construction, packaging and geotextiles with interdisciplinary studies outside of classical textile usage areas. Technical textiles include medical textiles used in hygienic and medical products; protective textiles that provide personal and property protection such as mechanical, chemical and radiation protection; agricultural textiles used in agriculture, horticulture, forestry and aquaculture; construction textiles used in buildings and construction; technical clothing used in clothing and shoes; vehicle textiles used in land, air, sea and railways; geotextiles used in environment, geology and construction fields; home textiles used in furniture, flooring and floor coverings; sports technical textiles used in sports and leisure activities; environmental textiles used for protection purposes; packtech technical textiles used in packaging are classified (Ekmen, 2005; Mecit et al., 2007; Karakan, 2009; Mecarcıöz et al., 2011).

Medical technical textiles are one of the most widely used technical textiles with the expansion of the field of medical applications. In this field, surgical gowns and covers, surgical sutures, medical masks, bandages, urine retention cloths, wet wipes, feminine hygiene products, waterproof bed covers, etc. are used, most of which are single-use products (Horrocks & Anand, 2002). Medical technical textiles are expected to have properties such as durability, flexibility and air permeability during examination and operational procedures (Akter et al., 2014). In addition, healthcare professionals use protective technical textile products for protection from radiation they are exposed to in the hospital environment.

## 2. Medical Textile Products

Biodegradation, staining and odor caused by bacteria settled in textile materials pose a threat to sterile environments (Akaydin and Kalkancı, 2014). Medical textile products are classified as single-use and multi-use. While single-use products such as surgical gowns are produced from nonwoven surfaces, multi-use products are produced from woven surfaces and undergo washing and sterilization processes (Pamuk and Öndoğan, 2008). In long-term operations, features such as air permeability and liquid repellency are of great importance in medical textile products. For this reason, medical textile products are very important in terms of the risk of bacterial exposure and comfort for patients and personnel (Üreyen et al., 2008). Medical textile products have the advantages of reducing infections, protecting personnel, being cost-effective, recommended by the World Health Organization (WHO), being comfortable, breathable, forming a barrier against blood and body fluids, suitable for sterilization, protecting against static electricity, flexible, soft and comfortable to use (Chinta & Veena, 2013).

A major change has been observed in medical textile products with the developments in science and the increase in social awareness. While previously only doctor's coats, cotton, gauze, and bandages were considered medical textile products, today textile-based implants are used in many different areas such as artificial tendons, artificial tissue, and biodegradable suture materials.

**Table 1.** Classification of Medical Textiles (Akter et al., 2014).

Fiber Type	Fabric Structure	Application Area
Cotton, viscose, lyocell, alginate, chitosan, silk	Nonwoven surface	Absorbent pad
Cotton, viscose, lyocell	Woven, knitted, nonwoven surface	Wound contact layer
Cotton, viscose, lyocell polyamide, plastic films	Woven, nonwoven surface	Base material
Elastomeric, Cotton, viscose, lyocell	Woven, knitted, nonwoven	Simple non-elastic and elastic bandages
Elastomeric, Cotton, viscose, lyocell	Woven, knitted, nonwoven	Highly reinforced bandages
Elastomeric, Cotton, viscose, lyocell, polyester	Woven, knitted	Compression bandages
Cotton, viscose, plastic films, polyurethane, polyester, glass	Woven, nonwoven surface	Orthopedic bandages
Polypropylene	Woven, knitted, nonwoven surface	Band-aid
Cotton, viscose, lyocell, alginate, chitosan	Woven, knitted, nonwoven surface	Band-aid, gauze
Cotton, viscose, cellulosic (pulp, polylactic, polyglycolide)	Nonwoven surface	Medical materials in the form of wadding or interlining
Carbon	Spunlaid, nonwoven	Artificial vein or organ
Kolajen, pdilglikolid, polilaktik, polyester, polianrid, polipropilen	Braided, mono-filament	Biodegradable sutures
Polyethylene, polyester, collagen, silk	Braided, mono-filament	Non-biodegradable sutures
Polyamide	Woven, braided	Artificial tendon
Polyamide, Polyester, carbon, collagen, low density polyethylene	Braided	Artificial cartilage and artificial ligaments
Chitin, polymethylmethacrylate	Nonwoven surface	Artificial skin
Silicon, collagen, polyacetyl	Nonwoven surface	Contact lens and artificial cornea
Polyethylene	Nonwoven surface	Artificial joint and bone

When Table 1 is examined, it is seen that cotton fiber is primarily preferred in bandages and dressings, and nonwoven surface is the most frequently used. It is seen that spunlaid, carbon fiber and nonwoven surface are used in the production of artificial veins and artificial organs (Akter et al., 2014).

Medical textile products are defined by categorizing them as follows.

**Implantable Products:** These are materials that have the ability to degrade inside the body and can be placed inside the body by assuming the role of auxiliary function in organ transplants. Examples include surgical sutures (biodegradable or non-biodegradable), cardiovascular implants (vascular grafts, heart valves), orthopedic implants (artificial joints, bones), soft tissue implants (tendons, ligaments, cartilage, muscle, skin, contact lenses, artificial cornea) (Adanur, 2017; Emek, 2005; Akter et al., 2014).

**Non-implantable Products:** These are products used outside the body. Examples include wound dressings, gauze, tampons and bandages (Adanur, 2017; Akter et al., 2014).

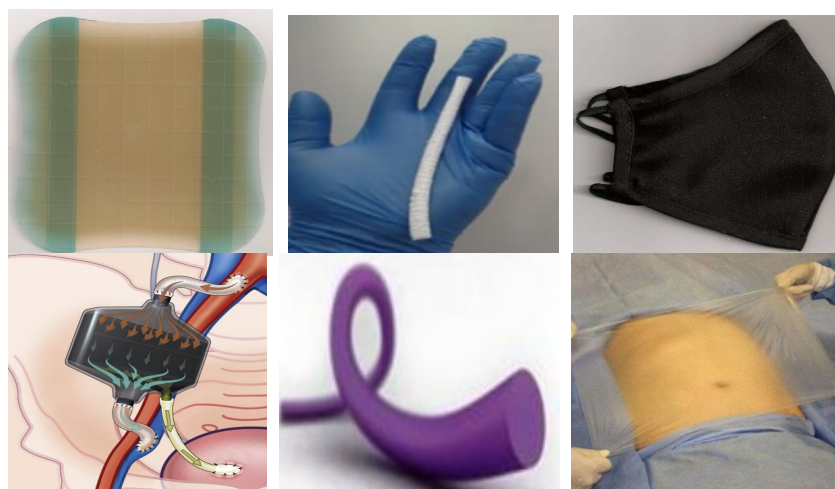
**Extracorporeal Products:** These are artificial organs that have functional properties and are used to purify blood and perform the functions of internal organs in operations. Examples include artificial kidneys, artificial livers and mechanical lungs (Adanur, 2017; Akter et al., 2014; Horrocks & Anands, 2003).

**Care and Hygiene Products:** These are medical clothing and equipment used in medical practices to ensure the health and safety of healthcare personnel. Examples include surgical gowns, masks, gloves, bed sheets, urine retention pads and sanitary pads (Adanur, 2017; Emek, 2005; Akter et al., 2014).

Biocompatible polymers are especially preferred in medical textile products that come into contact with the skin and internal organs. Antibacterial, water-repellent and breathable products are preferred in products such as personnel clothing, surgical gowns, hospital linens (Zhumagazyeva, 2021).

Textile products used in the medical field are used in internal applications such as drug delivery systems, soft tissue implants, cardiovascular implants and external applications such as wound and burn dressings, hygiene products. Some of the textile products used in the medical field are shown in Figure 1. (Zhumagazyeva, 2021). Wound dressings help the wound heal quickly and hygienically. Artificial textile vessels used for arterial and venous autografts can replace problematic blood vessels and are expected to have natural vascular properties. Antibacterial silver ion masks are important to protect the user from bacteria. In order to ensure that the patient continues his normal life, an artificial kidney that performs the same function is used instead of a kidney that cannot be used or is working problematically. Surgical sutures; are sterile, synthetic or natural materials used to combine body tissues, fix prostheses, stop bleeding and connect the ends of tubular structures. Incision

film is a transparent, air-permeable and hypoallergenic barrier product that prevents bacterial transfer by covering the surgical site (Zhumagazyeva, 2021; Gemci & Ulcay, 2004; Eren & Ulcay, 2010; Gül, 2007; Demirağ et al., 2007; Felix Nonwovens, Films and Laminates, 2024).



**Figure 1.** (a) Hydrocolloid dressing; (b) Artificial vein; (c) Silver ion mask; (d) Artificial kidneys; (e) Monofilament surgical thread; (f) Incision film Zhumagazyeva, 2021; İnan & Şeker, 2021; Salari et al., 2018; Chellamari et al., 2013; Felix Nonwovens, Films and Laminates, 2024).

## 2.1. Healing of Damaged Tissues and Organs Using Textile Products

With their biomimetic properties and cell regeneration-promoting structures, the use of nanofibers in wound dressings, stopping bleeding, preventing infection and tissue scaffolds contributes to tissue healing (Rošic et al., 2013). For this purpose, artificial kidney, artificial liver, artificial heart and artificial textile vein are used (Ersoy et al., 2015).

## 2.2. Wound and Burn Dressings

Traditional wound dressings consist of gauze, bandages and plasters. They require regular changes and are limited in the wound healing process. Modern wound dressings include varieties such as hydrocolloid, hydrogel and foam. They accelerate healing by providing a moist environment on the wound surface. Their most important features are that they are biocompatible and biodegradable, microbial control and infection prevention, easy to use and economical (Souto et al., 2020, Zhumagazyeva, 2021). In medical textiles, film dressings, hydrocolloids, alginates, hydrofiber dressings, foam dressings, hydrogels, collagens and antimicrobial dressings are used as wound and burn dressings (Mirasoğlu, 2024).

Medical textiles are widely used for surgical and hygienic purposes. However, the increasing demand for disposable products increases waste generation. The environmental impacts of these wastes can be reduced with recycling and reuse strategies. For sustainability, the circular economy model should be adopted, products should be produced from biodegradable materials and recycling processes should be improved (Öncü & Kaygusuz, 2023).

## 2.3. Nonwoven Medical Textiles

The medical textile market is based on nonwoven products with their high performance and easy-to-change features. They are used in a wide range of areas such as diapers, dressings, gauze, surgical drapes and garments, hospital gowns (Zhumagazyeva, 2021).

## 3. Antibacterial Textiles

People are in constant contact with bacteria that can multiply rapidly under suitable conditions in their daily lives. These microorganisms can cause bad odors, infections and product spoilage. The substances used in antibacterial textiles should be non-toxic, prevent bad odors and should not harm human health. Features such as flexibility, comfort, strength and breathability should be preserved. Many bacteria develop at 30-37°C, and food sources



such as skin residues cause microorganisms to multiply rapidly on textile surfaces. Antibacterial tests are applied to detect the decrease in the number of microorganisms. Agar-based inhibition zone tests are applied qualitatively and bacterial count tests are applied quantitatively. AATCC 147 is widely used in the qualitative test method, and AATCC 100 and SNV 195- 920 and 921 in the quantitative test method. AATCC 147 and AATCC 174 test methods are especially suitable for hydrophilic textile materials and antimicrobial chemicals released from the surface. In quantitative methods, the amount of live microorganisms is measured after the appropriate contact time. Shake Flask method uses more microorganism cultures, while AATCC 100 method uses less microorganism cultures. The Japanese JIS L1902 standard has been developed and applied as the Hohenstein test method. The AATCC 100 method is a reliable method to numerically evaluate antibacterial activity, but it is technically demanding and time consuming (Service, 1998; Lindemann, 2000; Thiry, 2001; Mucha et al., 2002). Almost all antibacterial textile products have antibacterial properties against gram-positive *S. aureus* bacteria. *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pneumoniae*, *Mycobacterium tuberculosis*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus mirabilis*, *Salmonella typhosa* and *Shigella dysenteriae* bacteria are microorganisms used in the medical field to determine antimicrobial activity. Gram-positive and gram-negative bacteria are used in antibacterial tests. Gram-positive *S. aureus* bacteria are the main cause of cross-infection in hospitals. Gram-negative *E. coli* and *P. aeruginosa* bacteria are the most troublesome bacteria in burn wounds. *S. aureus* bacteria cause 19% and *E. coli* bacteria cause 11% of surgical infections (Rowell, 2012). In order to prevent unwanted situations caused by microorganisms, it is desired for medical technical textile products to have antibacterial properties. While substances such as silver, zinc, mercury, tin, titanium and lead have the ability to kill microorganisms, they can have toxic effects on humans and the environment during application. Therefore, attention should be paid to the usage rate. Antibacterial textile products should not harm humans and the environment and should not adversely affect the properties of the textile product. Alginate, soy and chitosan are naturally antibacterial fibers. Natural fibers such as cotton, linen and wool are more sensitive to bacteria than synthetic fibers due to their porous hydrophilic structure. Antibacterial fabric finishing is done with chemical finishing agents. The antibacterial properties on textile surfaces can decrease with the washing process. Antibacterial activity is maintained by applying high concentration finishing agents (Sarı, 2020).

Antibacterial properties are imparted to fibers through surface applications, placement of chemical substances into the fiber structure and chemical combination (Altınok, 2008). In antibacterial finishing processes, one of the following methods is used: impregnation, shrinkage, coating transfer, vacuum application, maximum liquor application, spraying, foam application. Coating, impregnation and spraying methods are the most commonly used methods (Seventekin et al., 2001). The most important antibacterial substances are metals, halogens, phenol and its derivatives, alcohols, zeolites, oxidizing agents, chitin, chitosan biquanidines, isothiazolones, ammonium compounds and organotin compounds. (Devrent and Yılmaz, 2004, Seong et al., 1999).

#### **4. Development of Antibacterial Medical Technical Textile Products**

Antibacterial medical technical textile products increase the quality of healthcare services, diversify biomedical applications and general living standards with innovations in this field.

Anita et al. (2011), applied copper oxide nanoparticles to cotton fabric by microencapsulating them. It was observed that the fabric coated with encapsulated copper oxide has antibacterial properties and can be used in the production of medical clothing.

Dizaj et al. (2014), used metal and metal oxide nanoparticles and found that particle size is the main parameter determining antimicrobial efficiency. It was observed that the toxicity of metal and metal oxide nanoparticles can be used as an alternative to antibiotics and disinfectants in medical applications by minimizing them.

Combria et al. (2019), investigated the antibacterial properties and drug release behaviors of gentamicin sulfate (GS) loaded nanofibers using polylactic acid (PLA), polycaprolactone (PCL) and polylactidoglycolic acid (PLGA). It was observed that the nanosurfaces were released immediately and had antibacterial properties against *S. aureus* bacteria.

Ferreira et al. (2019), applied polydimethylsiloxane (PDMS) and silver nanoparticle based antimicrobial coating studies using the solution blowing spray method. It was observed that the surfaces had antibacterial properties against *E. coli* and *S. aureus* bacteria.

Orhan et al. (2019), investigated the antibacterial properties of silver-containing cotton and cotton/polyester blend surfaces after 7 days of use by doctors and patients. It was found that antibacterial-treated doctor's gowns and sheets used for patients had high antibacterial properties against *S. aureus* and *E. coli* bacteria; It is seen that its use in crowded places such as hospitals and hotels will provide advantages.

Xia et al. (2019), aimed to produce an antibacterial wound dressing loaded with ciprofloxacin (CPF) drug using polylactic acid/gelatin (PLA/GE) nanofibers. Centrifugal spinning method was used in the study. It was seen that drug-loaded PLA/GE nanofibers can be used as an antibacterial wound dressing.

Abdoli et al. (2020), aimed to produce electroextruded nanofibrous tissue scaffolds for a transdermal drug delivery system using tetracycline active ingredient containing graphene oxide and polyvinyl alcohol and gum tragacanth polymer mixture. It was seen that the nanofibrous composite structure has antibacterial properties and can be used in other biomedical fields with controlled drug release.

Nematpour et al. (2020), produced nanofibrous medical textile surfaces containing tetracycline loaded dextran, PCL and graphene oxide for transdermal drug delivery and wound dressing by electroextrusion method. It was observed that the composite material has a strong antibacterial property against *E.coli* and *S.aureus* and can be used as a dermal wound dressing.

Güngör et al. (2021), aimed to use cross-linked gelatin nanofibers as a wound dressing using the centrifugal spinning method. Silver nitrate ( $\text{AgNO}_3$ ) was used to give the surface antibacterial properties. It was observed that the obtained surfaces were wound dressings with antibacterial properties against *S.aureus* and *E.coli* bacteria.

Snari et al. (2022), obtained surfaces consisting of a sodium polylactate/polyvinyl alcohol/ZnO mixture with the solution blowing technique in order to obtain wound dressings containing biocompatible nanofibers with antibacterial activity. It was observed that the surface gained antibacterial properties, but ZnO reduced cell viability.

Kale and Altun (2022), wanted to create an environmentally friendly alternative to medical masks due to the fact that disposable masks, which are one of the most used products, are not biodegradable and cause increasing damage to the environment with the "Covid-19" pandemic. An environmentally friendly alternative to conventional methods was offered for medical masks by designing a mask with origami folding using kombucha tea as a cellulose source.

Kertmen et al. (2022), examined the antibacterial properties of fabrics produced using different knitted and woven surfaces, different yarn counts and different spinning methods. It was found that knitted fabrics with antibacterial finish and knitted fabric samples containing silver fiber with antibacterial properties were the most suitable fabrics according to performance tests.

Pektaş (2024), used polyvinyl alcohol, polyamide 6, polyamide 6.6, polyacrylonitrile, polylactic acid, polymethyl methacrylate, polyvinyl pyrrolidone, polycaprolactan, cellulose acetate and collagen polymers, vegetable and animal oils, ozonated forms of these oils and immortelle essential oil in order to produce a medical textile surface containing nanofibers with antibacterial and antifungal properties. It was observed that the obtained surfaces could be used as wound healing medical textile surfaces.

When the studies are examined, it is seen that antibacterial medical technical textile products are open to development and promising medical textile products

## 5. Conclusions

Technical textiles, as a rapidly developing field, aim to meet the needs of humanity and improve living standards with an interdisciplinary approach. Antibacterial textile products, as one of the most important innovative elements of medical technical textiles, play a critical role in the healthcare sector in terms of improving the quality of life of patients and reducing infection risks. These products provide an effective solution in preventing infectious diseases caused by microorganisms, especially in hospital environments, while also providing great convenience in home care, elderly and bedridden patient groups.

In the development of textile products with antibacterial properties; the use of biological and chemical agents such as silver ions, zinc oxide nanoparticles, and plant extracts increases the effectiveness of the products and offers more sustainable solutions. However, the compatibility of these products with human health, their effects on the environment and cost-effectiveness are of critical importance for future research. It is important for antibacterial textile products to maintain their antibacterial effectiveness for a long time, to prioritize the use of natural and biodegradable materials, and to design products that are accessible to the masses at low cost.

Antibacterial textile products offer innovative approaches in the field of medical technical textiles, providing an effective solution in infection control and a valuable contribution to the health sector. The development and widespread use of these products will play a critical role not only in terms of individual health, but also in protecting public health and ensuring a sustainable and quality life.

**Funding:** This research received no external funding.

## References

- Abdoli, M., Sadriyavadi, K., Arkan, E., Zangeneh, M.M., Moradi, S., Zangeneh, A., Khaledian, S., (2020). Polyvinyl Alcohol/Gum Tragacanth/Graphene Oxide Composite Nanofiber for Antibiotic Delivery. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 60, 102044.
- Adanur, S. (2017). *Wellington Sears handbook of industrial textiles*. Routledge.
- Akaydın, M., & Kalkancı, M. (2014). Hastane giysisi olarak kullanılan kumaşların antibakteriyel özellikleri üzerine bir araştırma. *Süleyman Demirel University Faculty of Arts and Science Journal of Science*, 9(1), 20-34.
- Akter, S., Azim, A. Y. M. A., & Al Faruque, M. A. (2014). Medical textiles: significance and future prospect in Bangladesh. *European Scientific Journal*, 10(12):488-502.
- Altınok, U.B. (2008). *Tekstil Yüzeylerinin Antibakteriyel Özelliklerinin Araştırılması*. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 97 s, Isparta.
- Anita S., Ramachandran T., Rajendran R., Koushik C. V., Mahalakshmi M. (2011). A study of the antimicrobial property of encapsulated copper oxide nanoparticles on cotton fabric, *Textile Research Journal*, 81(10) syf. 1081-1088.
- Arslan, İ. K., & Arslan, M. B. (2024). Cumhuriyetimizin Yüzcü Yılında Türk Tekstil Sektöründeki Gelecek Arayışları Bağlamında Stratejik Bir Değişim Dönüşüm Unsuru Olarak Teknik Tekstiller. *Avrasya Dosyası*, 14(2), 117-137.
- Chinta, S.K., Veena, K.V. (2013). *International Journal of Latest Trend in Engineering and Technology (IJLTET)* 2(1) 142-145.
- Coimbra, P., Freitas, J.P., Gonçalves, T., Gil, M.H., Figueiredo, M., (2019). Preparation of Gentamicin Sulfate Eluting Fiber Mats by Emulsion and by Suspension Electrospinning. *Materials Science and Engineering: C*, 94, 86-93.
- Demirağ A, Ercan S, Küçükaksu S, Özmen M. (2007). Yapay organlar. *TÜBİTAK Bilim Teknik Dergisi.*; 9:4-15
- Devrent, N., Yılmaz, N.D. (2004). *Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Antimikrobiyal Lifler*. *Nonwoven Technical Textiles Technology Dergisi*, 4: 48-55.
- Dizaj S. M., Lotfipour F., Barzegar-Jalali M., Zarrintan H., Adibkia K., (2014). Antimicrobial activity of the metals and metal oxide nanoparticles, *Materials Science and Engineering C*, 44, 278-284.
- Ekmen, Ö., (2005). *Hortumlarda Kullanılan Teknik Tekstil Yapıları Hakkında Bazı Çalışmalar*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 132 s, İzmir.
- Emek, A. (2005). *Teknik tekstiller dünya pazarı, Türkiye'nin üretim ve ihracat imkanları*. İGEME.
- Eren, S., & Ulcay, Y. (2010). Yapay Tekstil Damarları. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(1), 35-47.
- Ersoy, Y., Duran, M., & Tayyar, A. (2015). Tıbbi tekstiller ve yara örtüsü. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(2), 451-458.
- Felix Nonwovens, Films and Laminates, (2024, December 12). <https://www.felixnonwovens.com/urunler/cerrahi-insizyon-drepsizyon-filmi-54>.
- Ferreira, T. P. M., Nepomuceno, N. C., Medeiros, E. L. G., Medeiros, E. S., Sampaio, F. C., Oliveira, J. E., Oliveira, M. P., Galvão, L. S., Bulhões, E. O., & Santos, A. S. F. (2019). Antimicrobial coatings based on poly(dimethyl siloxane) and silver nanoparticles by solution blow spraying. *Progress in Organic Coatings*, 133(February), 19-26.
- Gemci, R., Ulcay, Y. (2004). Ameliyat İplikleri Tipleri Özellikleri ve Krome Katgüt İle Normal Katgüt Arasındaki Mukavemet Farkları. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 9(2), 95-105.
- Güngör, M., Sağırlı, M. N., Çalışır, M. D., Selçuk, Ş., & Kılıç, A. (2021). Developing centrifugal spun thermally cross-linked gelatinbased fibrous biomats for antibacterial wound dressing applications. *Polymer Engineering and Science*, 61, 2311-2322.
- Gül, Ü. (2007). Yara Örtüleri. *Türkiye Klinikleri Dahili Tıp Bilimleri Dergisi* 3(48), 18-23.
- Horrocks, A. R., & Anand, S. (2002). *Teknik tekstiller el kitabı*. Türk Tekstil Vakfı.
- İnan, A. T., & Şeker, M. M. (2021). Elektrospinning yöntemiyle üretilmiş farklı çaplardaki yapay damarların mekanik özelliklerinin incelenmesi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 33(4), 687-693.
- İrem KALE, T. Didem ALTUN (2022): Tasarım Sürecinde Biyolojik İş Birlikleri: Mikrobiyal Selülozdan Maske Üretimi Üzerine Bir Deneme, *Tekstil ve Mühendis*, 29: 126, 96-105.
- Karakan, G. (2009). Teknik tekstillerin koruyucu yapılarda kullanımı. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(1), 65-70.
- Kertmen, M., Karagöl, H., Olucak, H. İ., Pektaş, E. A., Şen, A., & Helvacı, A. R. (2022). Medikal Tekstillerde Kullanılmak Üzere Örme ve Dokuma Kumaş Geliştirilmesi. *Uluslararası Bilim Teknoloji ve Tasarım Dergisi*, 3(1), 82-98.
- Lindemann, B. (2000). Durable antimicrobial effects on textiles. *Melliand Textilberichte International Textile Reports*, 81(10), E-205.
- Mecarcıöz, S., Mecarcıöz, S., Oğulata, T.R., (2011). *Teknik Tekstiller-Otobüs Koltuk Döşemelerinde Kullanımı ve Uygulanan Test Yöntemleri*. *Tekstil ve Mühendis*, 18(82), 36-41.

- Mecit, D., Başal, G., Ilgaz, S., Gülümser, T., Duran, D., Tarakçıoğlu, I. (2007). Teknik Tekstiller ve Kullanım Alanları (Bölüm 1). *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, (17)2, 79-82.
- Mirasoğlu, B., (2024, December 12). Yara Örtüleri ve Pansuman. <https://www.klimik.org.tr/wp-content/uploads/2014/06/2.-Uzm.-Dr.-Beng%C3%BCsu-M%C4%BoRASO%C4%9ELU.pdf>
- Mucha, H., Hofer, D., Assfalg, S., & Swerev, M. (2002). Antimicrobial finishes and modifications. *Melliand Textilberichte International Textile Reports*, 83(4), 238-243.
- Nematpour, N., Farhadian, N., Ebrahimi, K.S., Arkan, E., Seyedi, F., Khaledian, S., Shahlaei, M., Moradi, S., (2020). Sustained Release Nanofibrous Composite Patch for Transdermal Antibiotic Delivery. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 586, 124267.
- Orhan, M., Koç, S., Özakin, C., Hocekenberger, A., & Sınırtaş, M. (2019). Hastanelerde Kullanılan Tekstillerin Antibakteriyel ve Antimantar Etkinliklerinin Değerlendirilmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(1), 19-31.
- Öncü, G., & Kaygusuz, M. (2023). Tıbbi Tekstil Atıkları ve Sürdürülebilirlik Çalışmaları 2nd International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences, April 4-6, Konya.
- Pamuk, O., & Öndoğan, Z. (2008). Cerrahi Personelin Ameliyat Önlükleri İle İlgili Görüşlerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. *Journal of Textile & Apparel/Tekstil ve Konfeksiyon*, 18(2).
- Pektaş, K., (2024). Çözeltili Üfleme Tekniği Kullanılarak Yapısında Sabit Yağ Karışımı İçeren Nanolif Çekimi ve Medikal Tekstil Yüzeyi Eldesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi*, 198s, Kahramanmaraş.
- Rošic, R., Kocbek, P., Pelipenko, J., Kristl, J., & Baumgartner, S. (2013). Nanofibers and their biomedical use. *Acta pharmaceutica*, 63(3), 295-304.
- Rowell, R. (Ed.). (2012). *Modified cellulose*. Elsevier.
- Salani, M., Roy, S., & Fissell IV, W. H. (2018). Innovations in wearable and implantable artificial kidneys. *American Journal of Kidney Diseases*, 72(5), 745-751.
- Sarı, Ç., (2020). Antibakteriyel Ajan İçeren B-Siklodekstrin Kompleksinin ve Türevinin Pamuklu Kumaşlara Uygulanması ve Karakterize Edilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, 142s, Denizli.
- Seong, H. S., Kim, J. P., & Ko, S. W. (1999). Preparing chito-oligosaccharides as antimicrobial agents for cotton. *Textile Research Journal*, 69(7), 483-488.
- Service, D., (1998). Amicor-Antimicrobials Fibers, *Chemical Fibers International*, 48(6), 486-489.
- Seventekin, N., Öktem, T., Tekeoğlu, S. (2001). Tekstilde Antimikrobiyel Madde Kullanımı, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 4:217-224.
- Snari, R. M., Bayazeed, A., Ibarhiam, S. F., Alnoman, R. B., Attar, R., Abumelha, H. M., & El-Metwaly, N. M. (2022). Solution blowing spinning of polylactate/polyvinyl alcohol/ZnO nanocomposite toward green and sustainable preparation of wound dressing nanofibrous films. *Microscopy Research and Technique*, 85(12), 3860-3870.
- Souto, E. B., Ribeiro, A. F., Ferreira, M. I., Teixeira, M. C., Shimojo, A. A., Soriano, J. L., ... & Santini, A. (2020). New nanotechnologies for the treatment and repair of skin burns infections. *International journal of molecular sciences*, 21(2), 393.
- Thiry, M.C., (2001). Small Game Hunting: Antimicrobials Take the Field. *AATCC Review*, November, 11(1), 11-17.
- Üreyen M.E., Çavdar A. Koprall, A. S., & Doğan, A. (2008), "Yeni Geliştirilen Gümüş Katkılı Antimikrobiyal Tekstil Kimyasalı ve Bu Kimyasal ile İşlem Görmüş Kumaşların Antibakteriyel Performansları", *The Journal of Textiles and Engineer*, 15(69), 25-31.
- Xia, L., Lu, L., Liang, Y., & Cheng, B. (2019). Fabrication of centrifugally spun prepared poly(lactic acid)/gelatin/ciprofloxacin nanofibers for antimicrobial wound dressing. *RSC Advances*, 9(61).
- Zhumagazyeva, A. (2021). Nanotekstiller ve Medikal Alandaki Uygulamaları. *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Tekstil ve Moda Tasarımı Ana Sanat Dalı, Tekstil ve Moda Tasarımı Programı, Sanatta Yeterlilik Tezi*, 158 s, İstanbul.

**Disclaimer/Publisher's Note:** The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of *Journal of Green Technology and Environment*, and/or the editor(s). *Journal of Green Technology and Environment*, and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.



Research Article

# Effects of Ash (*Fraxinus excelsior* L.) Veneer Surface Form and Spray Gun Inclination Angle on Color and Gloss Values of Polyurethane Coatings

Elif Yıldırım<sup>1</sup>, Hacı İsmail Kesik<sup>1,\*</sup> and Kubulay Çağatay<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Gazi University, Faculty of Technology, Department of Woodworking Industrial Engineering, 06560, Ankara/Turkey

<sup>2</sup> Yalova University, Faculty of Art and Design, Department of Interior Architecture, 77200, Yalova/Turkey

\* Correspondence: hismailkesik@gazi.edu.tr

**Abstract:** In this study, polyurethane paint and varnish were applied to the surfaces of test samples prepared from ash (*Fraxinus excelsior* L.) veneer with different surface forms at 45° and 90° angles. The objective was to determine the changes in gloss and color values resulting from the application of these polyurethane coatings. In order to achieve this objective, samples were prepared by bonding ash veneer with two different surface characteristics (smooth and band sawn) onto MDF, and these were selected as test samples. Polyurethane paint-varnishes were applied to test sample surfaces and the resulting changes in gloss and total color ( $\Delta E$ ) were evaluated following accelerated UV ageing. The methodology employed for the UV ageing tests, gloss tests and color tests applied to the test samples was in accordance with the relevant standards. The findings of the research indicate that the type of protective layer and veneer surface form are effective factors influencing gloss and  $\Delta E$  values. The gloss values were found to be high in varnishes applied to smooth veneer surfaces, while the total color change values were determined to be low in protective layers applied to traced veneer.

**Keywords:** ash veneer surface form; polyurethane paint-varnish; total color change; gloss; UV aging

## Poliüretan Kaplamaların Renk ve Parlaklık Değerleri Üzerine Dişbudak Kaplama Yüzey Formu ve Sprey Boya Tabancası Eğim Açısının Etkileri

**Citation:** Yıldırım, E., Kesik, H. İ. and Çağatay, K. Effects of Ash (*Fraxinus excelsior* L.) Veneer Surface Form and Spray Gun Inclination Angle on Color and Gloss Values of Polyurethane Coatings. Journal of GreenTech 2024, 2(2): 26-34. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14429353>.

Received: 06.11.2024

Revised: 10.12.2024

Accepted: 13.12.2024

Published: 31.12.2024



**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Öz:** Bu çalışmada, farklı yüzey formlarındaki dişbudak (*Fraxinus excelsior* L.) kaplamalardan hazırlanan deney örneklerinin yüzeylerine 45° ve 90° açılarda poliüretan boya ve vernik uygulanmış daha sonra parlaklık ve renk değerlerindeki değişimlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, iki farklı yüzeye (düz ve şerit izli) sahip dişbudak kaplamaların MDF üzerine yapıştırılması ile hazırlanan örnekler deney numunesi olarak tercih edilmiştir. Deney örnek yüzeylerine poliüretan boya-vernikler uygulanmış ve hızlandırılmış UV yaşlandırma etkisi altında parlaklık ve toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ) test edilmiştir. Deney örneklerine uygulanan UV yaşlandırma testleri, parlaklık testleri ve renk testleri ilgili standartlara göre belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, koruyucu katman tipi ve kaplama yüzey formu, parlaklık ve  $\Delta E$  değerlerinde etkili bulunmuştur. Düz kaplama yüzeylerine uygulanan verniklerde parlaklık değerleri yüksek, izli kaplama yüzeylerine uygulanan koruyucu katmanlarda ise toplam renk değişimi değerleri düşük belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** dişbudak kaplama yüzey formu; poliüretan boya-vernik; toplam renk değişimi; parlaklık

## 1. Introduction

In order to circumvent the potential drawbacks associated with the inherent characteristics of wood, alternative materials (MDF, particle board, etc.) have been developed and coated with varying thicknesses of surface layers that emulate the appearance of natural wood. In addition to smooth-form veneer, veneer with motifs and linear scratches on their surfaces are now widely used in furniture and decoration projects where aesthetic appeal and quality are desired. An investigation into the extent to which these applications of veneer affect the performance of paint and varnish (the protective layer) could provide a new perspective for the sector.

It is of great importance to apply protective layers that are appropriate for the task at hand in order to extend the lifespan of wooden furniture and decorative elements. The discrepancy in application methods may result in the manifestation of defects in the brightness and color properties of the protective layer surfaces. The majority of manufacturing companies have advised that the angle of inclination of the gun with respect to the surface of the workpiece should be maintained at 90 degrees in order to optimize the performance of the protective layer. However, the angle of application of the protective layer often varies depending on the skill of the practitioner, and it is hypothesized that this change may result in the furniture surface gloss and color appearing defective.

In addition to their aesthetic properties, the gloss and color properties of protective layers are effective in influencing customers' furniture selection and preference (Salca and Cismaru, 2010; Cakicier et al., 2011; Bekhta et al., 2014; Slabejova et al., 2016; Salca et al., 2016; Şahin et al., 2024). An increase in color change (Loganina et al., 2017) and a decrease in the gloss effect are to be avoided. Indeed, the majority of companies market protective layers that they produce in numerous gloss levels and a vast array of color tones, thereby enhancing the economic value of the products to which they are applied. The ability of protective layers to withstand various effects is crucial for the durability of wooden elements in their end-use environment (Yürekli, 1995). While it is desirable for urethane paints and varnishes used in outdoor areas to demonstrate resistance to heat and ultraviolet (UV) radiation (Yürekli, 1995), the impact of fluorescent lighting and solar radiation on items used indoors should not be overlooked.

The ageing process plays an important role in determining the lifespan and durability of paints (Holzhausen et al., 2002). Aging processes can be conducted under both natural and artificial conditions; however, accelerated aging devices are frequently utilized to reduce the time required for the process (Çakicier, 2007). Ultraviolet (UV) radiation is a primary factor in both aging devices and the natural environment, causing damage to wood and particularly affecting color (Jančovičová et al., 2007; Gürleyen, 2021; Temiz, 2005) and gloss values (Budakçı, 2006).

A number of studies have demonstrated that the aging process has a detrimental impact on the color values of UV-cured varnishes (Çavuş, 2021). Similarly, the aging process has been shown to reduce gloss values in cellulosic, polyurethane and acrylic varnishes (Sönmez and Kesik, 1999). The color properties of shellac polish, teak oil and liquid paraffin are adversely affected (Söğütlü and Sönmez, 2006). Furthermore, fluctuations in gloss values increase and decrease depending on the ageing period in different varnishes (Gorman and Feist, 1989; Ulay, 2023; Kılıç and Söğütlü, 2020; Salca et al., 2021). The efficacy of protective layers is not solely contingent upon the aging effect. The anatomical structure of the wood (Moya et al., 2017), the preparation stages of the wood material for surface treatments, the quality of the protective layer, surface form to which a protective layer is applied Kesik, 2009), content of the protective layer (Aygül et al., 2024; Calovi and Rossi, 2024), the pigment ratio (Aykan et al., 2022; Song et al., 2024; Zhang et al., 2024), modification of the protective layer (Deng et al., 2024; Miklečić et al., 2024; Wang et al., 2024) and molecular sizes (Khorshidi et al., 2024), the application method (Alvarenga et al., 2024) of the protective layer, the application location of the protective layer and the skill of the personnel performing the application (Loganina et al., 2024) are significant factors in determining the color and gloss values.

The objective of this study is to ascertain the impact of the marks on the veneer surfaces, the spray gun inclination angle and the accelerated UV ageing process on the gloss and color properties of polyurethane paint-varnish layers. It is hypothesized that the formation of decorative images and the development of mechanical bonds will be enhanced by the traces created on the veneer surface during the painting and varnishing process. It is

therefore important to determine the gloss and color properties of the protective layers in coated works with different surfaces.

## 2. Experimental

### 2.1. Material

In the study, two types of ash (*Fraxinus excelsior* L.) veneer (smooth and band sawn) were selected as the test material, as they represent the surface forms most commonly used in the woodworking industry. The veneers were affixed to the medium-density fibreboard (MDF) using a hot press and a urea-formaldehyde adhesive. All preparatory stages of the test samples were conducted at Axis Furniture (İstanbul/Türkiye).

Polyurethane varnish (Devilux) and polyurethane paint (Polchem) were preferred for protective layer applications.

### 2.2. Preparation of Test Samples

In the study, two types of ash veneer, namely smooth and band sawn, were adhered to MDF using a hot press, resulting in the production of 48 test samples [(4 paint-varnish)x2, (Smooth and Band sawn)x2, (45° and 90°)x6, (sample number=96)] (Figure 1). In order to make the UV ageing process practical, the test samples were prepared in the dimensions of 10x32x1 cm. The initial step involved the application of polyurethane primer to the test samples. This was followed by the application of topcoat polyurethane varnish and paint, with a spray gun inclination angle of 45 and 90 degrees, respectively. Polyurethane varnish and paint were applied in accordance with the manufacturer's recommendations and 125gr/m<sup>2</sup> on the surfaces. Prior to each measurement, the test samples were acclimatized at a temperature of 20 ± 2°C and a relative humidity of 50 ± 5%.

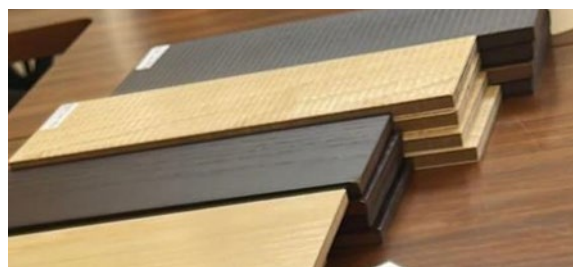


Figure 1. Test Samples

### 2.3. Surface Gloss Measurement

The gloss measurements were determined in accordance with the requirements set forth in TS EN ISO 2813 (2014). In determining the gloss of paint and varnish layers, the 20°, 60° and 85° angles are employed. However, the 60° angle (Salca et al., 2021) is predominantly utilized for the determination of surface gloss in wood materials. Gloss measurements of varnish and painted surfaces were conducted with a gloss meter (Gloss-meter) at a 60° angle and parallel to the fibers (Figure 2).



Figure 2. Gloss meter measuring device.

## 2.4. Color Measurement

The Minolta CR-231 color measuring device, which is a tristimulus colorimeter, was employed in the color measurement process (Figure 3).



Figure 3. MINOLTA CR-231 color measurement device.

The color measurements were determined in accordance with the requirements of TS EN ISO 11664-6 (2022). The total color change ( $\Delta E$ ) of the samples prepared for the experiments by acclimatization at a temperature of  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  and a relative humidity of  $50 \pm 5\%$  was determined both before and after the accelerated ageing process. In the CIE  $L^*a^*b^*$  color system (Figure 4), the differences in colors and their locations are determined according to the color coordinates  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ . Here,  $L^*$  indicates the black-white axis,  $a^*$  the red-green axis and  $b^*$  the yellow-blue axis.  $\Delta L^*$  is the difference in light,  $\Delta a^*$  and  $\Delta b^*$  are the difference in colors.

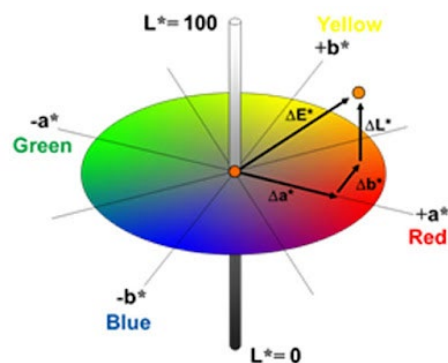


Figure 4. CIE  $L^*a^*b^*$  color system (URL1).

Total color change ( $\Delta E^*$ ); was calculated using the equation.

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

It is desirable to have a low color change value in protective layers exposed to any effect. Light difference ( $\Delta L^*$ ), a difference ( $\Delta a^*$ ), b difference ( $\Delta b^*$ ); were calculated using the equation.

$$\Delta L^* = L^*_2 - L^*_1, \Delta a^* = a^*_2 - a^*_1, \Delta b^* = b^*_2 - b^*_1 \quad 2$$



## 2.5. Accelerated UV Aging Process

The test samples to which ash veneer was glued were subjected to an accelerated ageing process by the application of paint-varnish. Subsequent to this, gloss and color tests were performed on the surfaces of the samples.

The test samples were safeguarded from the effects of heat and light between the test processes. The accelerated UV ageing tests were conducted in accordance with the requirements set forth in TS EN ISO 16474-3 (2021). The samples were subjected to an accelerated UV ageing process for a period of 24 hours in an environment where eight UVA 340 lamps were placed and the temperature was maintained at  $55\pm 2$  °C (Figure 5).



Figure 5. Atlas UV2000 Aging Device.

## 2.6. Evaluation of Data

In order to ascertain the color and gloss properties of the test samples processed with the marks applied to the veneer, gun inclination angle, protective layers and the losses caused by the UV ageing effect, statistical analyses were conducted using the SPSS package program with data obtained before and after ageing. Multiple variance analyses were performed to determine the factor effects of the obtained data, and in cases where a significant difference was identified between the groups, the Duncan test (Homogeneity Group) was applied to each factor.

## 3. Findings and Discussion

### 3.1. Determination of Gloss

The gloss values of the test samples that were treated with polyurethane paint-varnish are presented in Table 1.

Table 1. Gloss values of the test samples

Protective Layer	Spray Gun Tilt Angle	Veneer Surface Form	Aging Status	Mean	Std. Dev.	N
Varnish	45	Smooth	Control	21,5958	9,82944	24
			UV	18,9667	8,38791	24
		Band sawn	Control	12,9792	4,8779	24
	UV		12,8792	5,0086	24	
	90		Smooth	Control	19,925	10,05793
		UV		19,525	9,59834	24
Band sawn		Control	11,8417	4,64813	24	
	UV	11,5667	4,26714	24		
	Paint	45	Smooth	Control	18,7333	9,78773
UV				18,2125	8,87734	24
Band sawn			Control	9,675	2,59987	24
		UV	9,8333	2,80398	24	
		90	Smooth	Control	18	9,84722
UV				16,6208	8,06932	24
Band sawn	Control		9,75	3,28435	24	
	UV	9,7375	3,50736	24		

The objective of the variance analysis was to ascertain whether the discrepancy in gloss values between the protective layers of the test samples to which polyurethane paint-varnish was applied was statistically significant, taking into account the variables pertaining to the veneer surface, spray gun inclination angle, protective layer type and ageing status. The results of this analysis are presented in Table 2.

**Table 2.** Multiple variance analysis regarding the surface gloss values of the protective layers

Variance source	Degrees of freedom	Sum of squares	Mean squares	F Account	Severity level % 5
Factor A	1	525,470	525,470	10,211	,002*
Factor B	1	52,363	52,363	1,018	,314
Factor C	1	6013,500	6013,500	116,857	,000*
Factor D	1	39,913	39,913	,776	,379
Interaction A*B	1	2,220	2,220	,043	,836
Interaction A*C	1	4,996	4,996	,097	,756
Interaction A*D	1	4,084	4,084	,079	,778
Interaction B*C	1	1,402	1,402	,027	,869
Interaction B*D	1	1,576	1,576	,031	,861
Interaction C*D	1	33,135	33,135	,644	,423
Interaction A*B*C	1	19,893	19,893	,387	,534
Interaction A*B*D	1	14,260	14,260	,277	,599
Interaction A*C*D	1	,555	,555	,011	,917
Interaction B*C*D	1	4,420	4,420	,086	,770
Interaction A*B*C*D	1	14,338	14,338	,279	,598
Mistake	368	18937,337	51,460		
Total	384	111955,5			

Factor-A= Protective layer type, Factor-B= Spray Gun inclination angle, Factor-C= Veneer surface form, Factor-D= Accelerated UV aging process, \*: Significant (according to  $\alpha=0.05$ )

As evidenced in Table 2, the primary variables, namely the protective layer type and veneer surface forms, exert a discernible influence on the surface gloss of the test samples. No other interactions were found to be effective in influencing the surface gloss. The results of the Homogeneity Group (HG) test, which was conducted to determine the group that creates a difference in the variables of the protective layer type and veneer surface forms that are effective on the surface gloss, are presented in Table 3.

**Table 3.** Surface gloss values of test samples at the level of veneer surface form and protective layer type, homogeneity group test

Glossiness		X	HG	n
Veneer Surface Form	Smooth	18,94*	A	96
	Band sawn	11,03	B	96
Protective Layer Type	Varnish	16,16*	A	192
	Paint	13,82	B	192

X: Arithmetic mean, HG: Homogeneity group, \*: Highest gloss value

As illustrated in Table 3, the highest gloss value was observed in samples with a smooth veneer surface (18.94), while the lowest was noted in samples with a scarred veneer surface (11.03). In comparison, the highest gloss value was recorded in varnished samples (16.16), while the lowest was observed in painted samples (13.82). It was established that the veneer-scarred surface form resulted in a reduction in gloss values. This may be attributed to the wavy structure created by the traces on the veneer surfaces. It is anticipated that the gloss values will be low on surfaces with traces. The existing literature indicates that gloss values are typically high on varnished surfaces, and this result is corroborated by the present study (Khorshidi et al., 2024; Zhang et al., 2024). Additionally, the effect of UV aging on gloss values tends to decrease. In Yakin's study, a similar situation was discussed as application differentiation (Yakin, 2001).

### 3.2. Total Color Change ( $\Delta E$ ) Determination

$\Delta E$  values of the test samples applied with polyurethane paint-varnish are given in Table 4.

**Table 4.**  $\Delta E$  values of the test samples

Protective Layer	Spray Gun Tilt Angle	Veneer Surface Form	Mean	Std. Dev.	N
Varnish	45	Smooth	15,6629	3,70425	24
		Band sawn	16,5854	2,62157	24
	90	Smooth	16,3483	3,28109	24
		Band sawn	19,8338	10,28516	24
Paint	45	Smooth	1,6192	0,48468	24
		Band sawn	2,1254	1,08297	24
	90	Smooth	1,5675	0,64946	24
		Band sawn	1,5446	0,58018	24

The objective of the variance analysis was to ascertain whether the discrepancy in the  $\Delta E$  values of the protective layers of the test samples to which polyurethane paint-varnish was applied was significant according to the veneer surface form, spray gun inclination angle and protective layer type variables. The results of this analysis are presented in Table 5.

**Table 5.** Multiple variance analysis regarding the  $\Delta E$  values of the protective layers

Variance source	Degrees of freedom	Sum of squares	Mean squares	F Account	Severity level % 5
Factor A	1	11373,98	11373,98	653,159	0*
Factor B	1	32,695	32,695	1,878	0,172
Factor C	1	71,773	71,773	4,122	0,044*
Interaction A*B	1	62,552	62,552	3,592	0,06
Interaction A*C	1	46,207	46,207	2,653	0,105
Interaction B*C	1	12,408	12,408	0,713	0,4
Interaction A*B*C	1	28,683	28,683	1,647	0,201
Mistake	184	3204,137	17,414		
Total	192	31836,87			

Factor-A= Protective Layer type, Factor-B= Spray Gun inclination angle, Factor-C= Veneer surface form; \*. Significant (according to  $\alpha=0.05$ )

As evidenced in Table 5, the primary variables, namely the protective layer type and veneer surface forms, exert a discernible influence on the  $\Delta E$  of the test samples. It can be concluded those other interactions are not effective on  $\Delta E$ . The results of the Homogeneity Group (HG) test, which was conducted to determine which group creates a difference in the variables of the protective layer type and veneer surface forms that are effective on  $\Delta E$ , are presented in Table 6.

**Table 6.**  $\Delta E$  values of test samples at the level of veneer surface form and protective layer type, homogeneity group test

	Total Color Change ( $\Delta E$ )	X	HG	n
Veneer Surface Form	Smooth	8,79	B	96
	Band sawn	10,02*	A	96
Protective Layer Type	Varnish	17,10*	A	96
	Paint	1,71	B	96

According to Table 6, the  $\Delta E$  value was determined as the highest (10.02) in samples with a Band sawn surface form, the lowest (8.79) in samples with a Smooth veneer surface form, the highest (17.1) in varnished samples, and the lowest (1.71) in painted samples. It was determined that the traced veneer surface form increased the  $\Delta E$  values, and this may be due to the shadowy and wavy (Kesik, 2009) structure created by the traces on the veneer surfaces. It is an expected result that  $\Delta E$  values are high in varnishes (Yalınkılıç and Sönmez, and low in paints. Most studies in the literature support this result (Khorshidi et al., 2024). Additionally, the effect of UV aging on  $\Delta E$  values tends to decrease (Kesik, 2009).

#### 4. Results and Recommendations

This study examines the impact of UV ageing on the gloss and color of polyurethane varnish and paints applied to ash veneer veneers with varying surface forms and gun inclination angles, specifically 45 and 90 degrees. The lowest gloss value was observed in ash veneer veneers with traced surface forms and in surfaces treated with polyurethane paint. The lowest  $\Delta E$  value was observed in ash veneer veneers with smooth surface forms and on surfaces treated with polyurethane paint.

The findings of this study indicate that the selection of a protective coating is a crucial aspect in areas subjected to UV radiation. However, it is important to note that the use of a protective coating should not necessarily result in the expectation of high gloss levels on the surface.

Further studies investigating the performance characteristics of diverse protective layers with varying application techniques may offer valuable insights to the scientific community.

**Author Contributions:** Conceptualization, E.Y. and H.İ.K.; methodology, H.İ.K.; software, H.İ.K.; validation, E.Y. and H.İ.K.; formal analysis, K.Ç.; investigation, E.Y., H.İ.K. and K.Ç.; resources, H.İ.K.; data curation, E.Y. and H.İ.K.; writing—original draft preparation, H.İ.K.; writing—review and editing, E.Y. and H.İ.K.; visualization, K.Ç.; supervision, H.İ.K.; project administration, E.Y. and H.İ.K.; funding acquisition, H.İ.K. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research received no external funding.

**Acknowledgments:** This study was produced from the graduation thesis under the supervision of Dr. Hacı İsmail Kesik. [Yıldırım, E. (2024). Determination of the effects of spray angle and gloss difference on surface quality properties of protective layers applied to ash veneer veneers, Gazi University, Faculty of Technology, Department of Woodwork Industrial Engineering]. We thank Axis Furniture for their financial support.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

#### References

- Alvarenga, A. C. F., Kantovitz, K. R., Turssi, C. P., Basting, R. T., Vieira-Junior, W. F., & França, F. M. (2024). Effect of finishing and polishing systems on surface roughness and color stability of aesthetic restorations exposed to staining solution. *Acta odontologica latinoamericana: AOL*, 37(2), 162-171.
- Aygül, S., Yılmazsönmez, S., Soyalp, A., & Aytac, A. (2024). Investigation of TiO<sub>2</sub> replacement alternatives for water-based paints using styrene butyl acrylate. *Pigment & Resin Technology*.
- Aykan, R., Avşar, C., Bilgiç, M., & Kesik, H. A. C. İ. (2022). Determining the effects of some bacteria on Wooden toys treated with antibacterial protective coatings. *BioResources*, 17(4).
- Bekhta, P., Proszky, S., Lis, B., & Krystofiak, T. (2014). Gloss of thermally densified alder (*Alnus glutinosa* Goertn.), beech (*Fagus sylvatica* L.), birch (*Betula verrucosa* Ehrh.), and pine (*Pinus sylvestris* L.) wood veneers. *European Journal of Wood and Wood Products*, 72, 799-808.
- Budakci, M. (2006). Effect of outdoor exposure and bleaching on surface color and chemical structure of scots pine. *Progress in Organic Coatings*, 56(1), 46-52.
- Calovi, M., & Rossi, S. (2024). Exploring polyamide 11 as a novel renewable resource-based filler in wood paint: Investigating aesthetic aspects and durability impact of the composite coating. *Progress in Organic Coatings*, 188, 108262.
- Cavus, V. (2021). Weathering performance of mulberry wood with UV varnish applied and its mechanical properties. *BioResources*, 16(4), 6791.
- Çakıcıer, N., Korkut, S., & Korkut, D. S. (2011). Varnish layer hardness, scratch resistance, and glossiness of various wood species as affected by heat treatment. *BioResources*, 6(2), 1648-1658.
- Çakicier, N. (2007). Ağaç malzeme yüzey işlemi katmanlarında yaşlanma sonucu belirlenen değişiklikler (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Deng, J., Ding, T., & Yan, X. (2024). Effect of Two Types of Pomelo Peel Flavonoid Microcapsules on the Performance of Water-Based Coatings on the Surface of Fiberboard. *Coatings*, 14(8), 1032.
- Gorman, T. M., & Feist, W. C. (1989). Chronicle of 65 years of wood finishing research at the Forest Products Laboratory. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-60. Madison, WI: US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 81 pages, 60.
- Gurleyen, L. (2021). Effects of artificial weathering on the color, gloss, adhesion, and pendulum hardness of UV system parquet varnish applied to doussie (*Azelia africana*) wood. *BioResources*, 16(1), 1616.
- Holzhausen, U., Millow, S., & Adler, H. J. (2002, September). Studies on the thermal ageing of organic coatings. In *Macromolecular Symposia* (Vol. 187, No. 1, pp. 939-952). Weinheim: WILEY-VCH Verlag.
- Jančovičová, V., Kindernay, J., Jakubíková, Z., & Mrlláková, I. (2007). Influence of photoinitiator and curing conditions on polymerization kinetics and gloss of UV-cured coatings. *Chemical Papers*, 61, 383-390.
- Kesik, H. İ. (2009). Değişik Kimyasallar İle Ön İşlem Görmüş Ağaç Malzeme Yüzeylerinde Su Bazlı Verniklerin Katman Performansı, Doktora Tezi, G.Ü Fen Bilimleri, Ankara.

- Kılıç, K., & Söğütlü, C. (2020). Doğal yaşlanmış ağaç malzemeye uygulanan bazı verniklerin parlaklık değerlerinin belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 23(4), 1423-1431.
- Khorshidi, F. H., Najafi, S. K., Najafi, F., Pizzi, A., Sandberg, D., & Behrooz, R. (2024). Color and gloss changes of a lignin-based polyurethane coating under accelerated weathering. *Journal of Renewable Materials*, 12(2), 305-323.
- Loganina, V. I., Fediuk, R. S., Lesovik, V. S., Klyuev, S. V., Sabitov, L. S., Lomov, M. I., & Vykhodtsev, I. A. (2024). Application of fractal analysis to assess the quality of the appearance of paint and varnish coatings. *Magazine of Civil Engineering*, 17(2).
- Loganina, V. I., Kisilitsyna, S. N., & Mazhitov, Y. B. (2018). Development of sol-silicate composition for decoration of building walls. *Case Studies in Construction Materials*, 9, e00173.
- Miklečić, J., Zeljko, M., Lučić Blagojević, S., & Jirouš-Rajković, V. (2024). The Effect of Polyacrylate Emulsion Coating with Unmodified and Modified Nano-TiO<sub>2</sub> on Weathering Resistance of Untreated and Heat-Treated Wood. *Polymers*, 16(4), 511.
- Moya, R.; Rodríguez-Zúñiga, A.; Vega-Baudrit, J.; Puente-Urbina, A. 2017, Effects of adding TiO<sub>2</sub> nanoparticles to a water-based varnish for wood applied to nine tropical woods of Costa Rica exposed to natural and accelerated weathering. *Journal of Coatings Technology and Research*, 14(1):141-152.
- Salca, E. A., Krystofiak, T., Lis, B., & Hiziroglu, S. (2021). Glossiness evaluation of coated wood surfaces as function of varnish type and exposure to different conditions. *Coatings*, 11(5), 558.
- Salca, E. A., Krystofiak, T., Lis, B., Mazela, B., & Proszczyk, S. (2016). Some coating properties of black alder wood as a function of varnish type and application method. *BioResources*, 11(3), 7580-7594.
- Salca, E., & Cismaru, I. (2010). Research upon Alder Veneers under Visible Light Influence: colour. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry\* Wood Industry\* Agricultural Food Engineering*, 135-142.
- Slabejová, G., Smidriaková, M., & Fekiac, J. (2016). Gloss of transparent coating on beech wood surface. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolens Publica Slovaca*, 58(2), 37.
- Song, X., Guo, W., Zhu, Z., Han, G., & Cheng, W. (2024). Preparation of uniform lignin/titanium dioxide nanoparticles by confined assembly: A multifunctional nanofiller for a waterborne polyurethane wood coating. *International Journal of Biological Macromolecules*, 258, 128827.
- Söğütlü, C., & Sönmez, A. (2006). Değişik Koruyucular ile İşlem Görmüş Bazı Yerli Ağaçlarda UV Işıklarının Renk Değiştirici Etkisi. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazı University*, 21(1):151-159.
- Sönmez, A., & Kesik, H. İ., (1999). Vernik Katmanlarında Sıcak-Soğuk Etkisi ile Hızlandırılmış Yaşlandırma Deneyleri. *Journal Of Politeknik-Politeknik Dergisi*, vol.2, no.4, 27-32.
- Şahin, S., Ayata, Ü., & Esteves, B. (2025). The effects of thermal aging on color and glossiness in UV cured coatings applied to sessile oak. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 27.
- Temiz, A. (2005), "Benzetilmiş Dış Hava Koşullarının Emprenyeli Ağaç Malzemeye Etkileri", Doktora Tezi, K.T.Ü Fen Bilimleri, Trabzon, 12-125.
- TS EN ISO 11664-6., 2022. Kolorimetri - Bölüm 6: CIEDE2000 Renk farklılığı formülü, Türk Standartları Enstitüsü (tse.org.tr), Ankara.
- TS EN ISO 16474-3., 2021. Boyalar ve vernikler - Laboratuvar ışık kaynağına maruz bırakma metodu - Kısım 3: Floresan UV lambası, Türk Standartları Enstitüsü (tse.org.tr), Ankara.
- TS EN ISO 2813., 2014. Boyalar ve Vernikler - Metalik Olmayan Boya Filmlerinin 20°, 60° ve 85° Açılarda Parlaklık Tayini, Türk Standartları Enstitüsü (tse.org.tr), Ankara.
- Ulay, G. (2023). Effects of Artificial Weathering on Some Surface Properties of Anatolian Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) Wood Applied with Yacht Varnish. *BioResources*, 18(3):5466-5475.
- URL 1, <https://hakkisenkeser.blogspot.com/2018/01/renk-ve-boyar-madde-nedir.html> (13,12,2024).
- Wang, Q., Zhang, C., Wang, W., & Liu, X. (2024). Performance of Drying Oil Modified Chinese Lacquer and Its Gilding Effect. *Coatings*, 14(11), 1379.
- Yakın, M. Su bazlı verniklerde sertlik, parlaklık ve yüzeye yapışma mukavemetinin tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara-Türkiye, (2001).
- Yalınkılıç, A. C., & Sönmez, A. (2009). Ağaç malzeme su bazlı vernikler ile su çözücülü ağaç boyası etkileşiminin kahverengi renk tonuna etkisi. *Politeknik Dergisi*, 12(2), 121-126. Yürekli, Ş. (1995). Reçine ve Boya Teknolojisi. Marshall Boya ve Vernik sanayii AŞ Yayını, İstanbul.
- Zhang, Y., Zhang, K., Yang, J., Zhang, X., Chen, D., & Yang, Z. (2024). Effects of inorganic pigments on color and accelerated weathering of wheat straw fiber/polyvinyl chloride composites. *Journal of Materials Science*, 1-16.

**Disclaimer/Publisher's Note:** The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of *Journal of Green Technology and Environment*, and/or the editor(s). *Journal of Green Technology and Environment*, and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.



Araştırma Makalesi

# Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnolds subsp.) Odunundan Orta Yoğunlukta Lif Levha (MDF) Üretimi

Mehmet Erdal Kara<sup>1</sup>, Hüseyin Peker<sup>2</sup>, Osman Çamlıbel<sup>3,\*</sup>, Ümit Ayata<sup>4</sup> ve Göksel Ulay<sup>5</sup>

- <sup>1</sup> Kastamonu Entegre Ağaç San. ve Tic. A.Ş., Kastamonu Organize Sanayi Bölgesi, 37200, Kastamonu/Türkiye  
<sup>2</sup> Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü, 08000, Artvin/Türkiye  
<sup>3</sup> Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, İç Mekân Tasarımı Programı, 71450, Kırıkkale/Türkiye  
<sup>4</sup> Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Böl., 69000, Bayburt/Türkiye  
<sup>5</sup> Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, Mobilya ve Dekorasyon Pr., 65090, Van/Türkiye  
\* Sorumlu yazar: osmancamlibel@kku.edu.tr

**Öz:** Günümüzde orta yoğunlukta lif levha (MDF) üretiminde farklı tür ağaçlara ait odun yongaları kullanılmaktadır. Bu çalışmada, orta yoğunlukta lif levha (MDF) üretimi olarak karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnolds subsp.) odununa ait yongalar kullanılarak üretilen levhalar üzerinde mekanik, fiziksel, formaldehit emisyon testi ve yüzey pürüzlülüğüne ait özellikler araştırılmış olup, elde edilen sonuçlar MDF üretiminde istenilen standart değerlere göre hangi sonuçları verdiği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kalınlık 9.19 mm, yoğunluk değeri 712.37 kg/m<sup>3</sup>, rutubet %5.01, kalınlığına şişme (24 saat) % 14.12 ve su alma (24 saat) %41.28, yüzeye dik çekme direnci 0.78 N/mm<sup>2</sup>, elastikiyet modülü 2992.87 N/mm<sup>2</sup> eğilme mukavemeti 28.55 N/mm<sup>2</sup>, tolüen testi 159 cm, formaldehit emisyon testi 10.30 mg/100 gr ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ise  $R_a$  için 3.18  $\mu$ m ve  $R_z$  için 23.43  $\mu$ m olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar neticesinde, yoğunluğun, rutubet değerinin, levha kalınlığının, formaldehit emisyon testi için E2 standardını ve yüzey pürüzlülüğüne ait parametrelerinin, yüzeye dik çekme direncinin, eğilme mukavemetinin ve elastikiyet modülünün istenilen standart değerleri açısından sağladıkları belirlenirken, yüzey sertliğinin, kalınlığına şişme testinin ve su alma testinin ise standart değerlerini sağlamadığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** karaçam; MDF; mekanik özellikler; fiziksel özellikler; teknolojik özellikler

## Production of Medium Density Fiberboard (MDF) from Black Pine (*Pinus nigra* J.F. Arnolds subsp.) Wood

**Atıf:** Kara, M.E., Peker, H., Çamlıbel, O., Ayata, Ü. ve Ulay, G. Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnolds subsp.) Odunundan Orta Yoğunlukta Lif Levha (MDF) Üretimi. Journal of GreenTech 2024, 2(2): 35-41.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.14549477>

Geliş: 29.10.2024  
Revizyon: 12.12.2024  
Kabul: 21.12.2024  
Yayın: 31.12.2024



**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstract:** Nowadays, different types of wood chips from various tree species are used in the production of medium-density fiberboard (MDF). This study investigates the mechanical, physical, formaldehyde emission tests, and surface roughness properties of boards produced using wood chips from black pine (*Pinus nigra* J.F. Arnolds subsp.). The results obtained are compared to the desired standard values for MDF production. According to the results, the thickness is 9.19 mm, the density is 712.37 kg/m<sup>3</sup>, the moisture content is 5.01%, thickness swelling (24 h) is 14.12%, and water absorption (24 h) is 41.28%. The surface perpendicular tensile strength is 0.78 N/mm<sup>2</sup>, the modulus of elasticity is 2992.87 N/mm<sup>2</sup>, bending strength is 28.55 N/mm<sup>2</sup>, toluene test is 159 cm, formaldehyde emission test is 10.30 mg/100 g, and the surface roughness values are  $R_a = 3.18 \mu$ m and  $R_z = 23.43 \mu$ m. Based on these results, it was determined that the density, moisture content, board thickness, formaldehyde emission test met the E2 standard, while the parameters related to surface roughness, surface perpendicular tensile strength, bending strength, and modulus of elasticity also met the desired standard values. However, it was observed that the surface hardness, thickness swelling test, and water absorption test did not meet the standard values.

**Keywords:** black pine; MDF; mechanical properties; physical properties; technological features

## 1. Giriş

Sanayideki teknolojik ilerleme, düşük maliyetli ve yüksek verimli kaliteli malzemelerin üretilmesini sağlar. Ahşap endüstrisinin büyümesi, teknolojik yenilikler gerektirirken, ahşabın özgün anatomisi bu süreçlerin geliştirilmesi için yoğun araştırmalar yapılmasını gerektirmektedir (Deus ve ark., 2018).

Son yıllarda birçok ülkede kontrplak, yonga levha ve lif levha gibi ahşap esaslı kompozit panellere olan talep oldukça artmıştır. Lif levha, ahşap liflerinin bir bağlayıcı ile birleştirilip yüksek sıcaklık ve basınç altında karışımın sıcak preslenmesiyle oluşturulan bir ahşap esaslı kompozit üründür (Thoemen ve ark., 2010).

Ahşap kompozit malzemeler, kâğıt ve kontrplak gibi diğer ürünlerle karşılaştırıldığında çok eski olmayan ve nispeten yeni ahşap ürünler kategorisinde yer alan çeşitli lif levhalar, yonga levhalar, mineral bağlantılı ahşap esaslı paneller ve kalıplama ürünlerini içermektedir (Doosthoseini, 2012; Kouchaki-Penchah ve ark., 2016).

Orta yoğunluklu lif levha (MDF) (fonksiyonel birim: m<sup>3</sup>) şu anda dünya çapında üretilmekte ve kullanılmaktadır. MDF, lif levha sektörünün yaklaşık %88.77'sini temsil etmekte olup, 2016 yılında toplam üretimi 59.04 milyon m<sup>3</sup> olduğu bildirilmiştir (Wang ve ark., 2018).

Lif levha - yapısal ve dekoratif - lignoselülozik liflerden yapılmış, lifsi-keçeli, homojen bir paneldir. Sentetik bir reçine veya başka uygun bir bağlayıcı sistem ile birleştirilmiş ve ısı ile basınç altında birbirine bağlanmıştır (ANSI, 1994; Ye ve ark., 2007).

MDF, ASTM (2016) tarafından "çoğunlukla selüloz liflerinden oluşan, birincil fiziksel bütünlüğünün ısı ve basınç altında kürlenmiş bir bağlama sisteminin eklenmesiyle sağlandığı bir kompozit panel ürünü" olarak tanımlanmaktadır (ASTM D 1554, 2016; Zimmer ve Bachmann, 2023).

Formaldehit bazlı yapıştırıcılar, şu anda MDF üretiminde kullanılmaktadır. Formaldehit bazlı reçinelerin kullanımında iki büyük dezavantaj bulunmaktadır: insan sağlığına zararlı uçucu organik bileşikler içermeleri ve formaldehit üretiminde kullanılan petrol bazlı hammaddelerin sınırlı olmasıdır (Kumar ve ark., 2002; Li ve ark., 2009).

Panel zımparalama, MDF imalatının son aşamasında kritik bir işlemdir çünkü hem ürünün kalınlığını hem de yüzey kalitesini belirlemektedirler (Ding ve ark., 2020).

Formaldehit (HCOH), ev inşaatında kullanılan preslenmiş ahşap ürünlerinden salındığı bilinen şüpheli bir insan kanserojenidir. Bu ürünlere, üre-formaldehit (UF) reçineleriyle (örneğin sunta, sert ağaç kontrplak, orta yoğunluklu lif levha (MDF) ve kaplama) ve fenol-formaldehit (PF) reçinesiyle (örneğin yumuşak ağaç kontrplak, yönlendirilmiş yonga levha) yapılan ürünler de dahil olmaktadır (Otson ve Fellin, 1992, Kelly ve ark., 1999; Kim ve Kim, 2005).

Yonga levha ve MDF mobilya üretmek için iyi olsa da bir tür toksik kimyasal ve çevresel hormon olan formaldehit emisyonunda kritik bir zayıflığa sahiptirler. Hem yonga levha hem de MDF, esas olarak yongalanmış ahşabı birleştirmek için kullanılan yapıştırıcılar nedeniyle formaldehit yayar. Çünkü ahşaptaki yongalama ve sertleştirme işlemleri sırasında kimyasallar nadiren kullanılır. Başka bir deyişle, yonga levha ve MDF'den yayılan formaldehitin ana kaynağı, yongalanmış ahşabı bir tahta şekline getirmek için birleştirmek için kullanılan yapıştırıcılarıdır. Formaldehit, insan göz ve cilt rahatsızlıklarını uyarabilir ve uzun süreli maruziyetten sonra solunum yolu hastalıklarına, atopiye ve kansere neden olabilmektedir (Kim, 2019).

Mobilya ve ahşap esaslı panel ürünlerinin emisyon özelliklerinin anlaşılması, etkili kaynak kontrol stratejileri önermek, zamanla değişen formaldehit konsantrasyonlarını simüle etmek ve gerçek binalardaki kullanıcıların maruziyetlerini tahmin etmek açısından anlam olmaktadır (Liang ve ark. 2016).

Literatürde farklı hammaddeler kullanılarak üretilen MDF çalışmaları bulunmaktadır. Bunlardan bazılarını örnek olarak;

Çamlıbel, (2020) tarafından dört farklı yüzde oranlarda tutkal katılarak ve %100 huş odununun liflerinden MDF üretimi yapılmıştır. Sonuçlara göre, levhalar üzerinde üre formaldehit tüketim % oranı artıka testlerde değerlerin azaldığı belirlenmiştir.

Çamlıbel ve Aydın, (2022) tarafından MDF üretim için demir ağacı odunu kullanılmıştır. Sonuçlara göre, levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri çekme mukavemeti dışında TS EN standardının üzerinde belirlendiği tespit edilmiştir.

Çamlıbel, (2006) çalışmasında orman gülü, sarıçam ve saplı meşe lifleri ile farklı oranlarında (100:0, 75:25, 50:50, 25:75 ve 0:100) karıştırarak MDF levhaları üretmiştir. Sonuç olarak orman gülü hammaddesinin MDF üretiminde değerlendirilebileceğini bildirmiştir.

Yapılan bu çalışmalara ait bilgilerden yola çıkarak farklı türlerdeki odunsu materyallerin MDF üretiminde kullanılabileceği görülmektedir. Ama literatürde yapılan araştırma sonunda karaçam odunundan herhangi bir MDF bazlı ahşap ürünün üretilmediği görülmüştür.

Bu çalışmada, karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnolds subsp.) odunundan orta yoğunlukta lif levha (MDF) üretilmiş olup yapılan çeşitli testler ile MDF üretiminde istenilen standartları karşılayıp karşılamadıkları belirlenmiştir. Levhaların fiziksel özellikleri (kalınlık, yoğunluk, 2-24 saat suda kalınlığına şişme), mekanik özellikleri (eğilme mukavemeti, elastikiyet modülü, çekme mukavemeti ve janka yüzey sertlik mukavemeti) ve teknolojik özellikleri (tolüen testi, formaldehit emisyonu, yüzey pürüzlülüğü) ölçülmüştür.

## 2. Deneysel Çalışmalar

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada, karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnolds subsp.) odunu kullanılmıştır. Kullanılan hammadde Batı Karadeniz Orman İşletme depolarından getirilmiştir. Reçine 0.96 mol üre formaldehit tutkalı Kastamonu Entegre Tutkal Tesislerinde üretimi gerçekleştirilmiştir. Tutkalın özellikleri; Katı madde:  $64 \pm 1$ , üre-formaldehit mol oranı: 0.96, yoğunluk ( $20^\circ\text{C}$  gr/cm<sup>3</sup>): 1.226, viskozite ( $25^\circ\text{C}$  cps): 20-37 s, Jel time ( $100^\circ\text{C}$ ) (20% (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>): 20-48 s, pH: 7.2- 8.6, serbest formaldehit: %0.25 maksimum, metilol grupları: %12-15, raf ömrü: 80 gündür. Üre formaldehit reçinesinin üretim esnasında sıcaklık altında sertleştirilmesinde katalizör olarak amonyum sülfat (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanılmıştır. Gebze bölgesinden özel bir firmadan getirilmiştir. %20'lik amonyum sülfat solüsyonun özelliği; yoğunluğu: 0.98 gr/cm<sup>3</sup>, pH:6.5'dir. Kirli beyaz sıvı parafin Denizli ilinden Mercan Kimya A.Ş.'den tedarik edilmiştir. Katı madde: %60, pH: 9-11, Yoğunluğu: 0.98 gr/cm<sup>3</sup> dir.

### 2.2. Metot

#### 2.2.1. Üretim parametreleri

Bu çalışmada uygulanan parametreler Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo1.** MDF sürekli pres üretim parametreleri.

Üretim	Parametreler	Levha
Hammadde	<i>Pinus nigra</i> J.F. Arnolds subsp. (%)	100
Üre Formaldehit (0.96 mol / %65 katı)	kg/m <sup>3</sup>	85
Sıvı Parafin (%60 katı)	kg/m <sup>3</sup>	3.5
Sertleştirici (%20 solüsyon)	kg/m <sup>3</sup>	5.6
Sürekli Presleme Zamanı	saniye	85
Sürekli Presleme Basıncı	kg/cm <sup>2</sup>	32
Sürekli Presleme Sıcaklığı	°C	220
Sürekli Presleme Hızı	mm/s	650
Levha Ölçüleri	mm	9.2 x 2100 x 8430

Test grubu levhası karaçam P<sub>100</sub> sembolize edilmiştir. Üretimde prosesinde, tek tip karaçamdan (0.715 gr/cm<sup>3</sup>) yoğunlukta MDF levhalar üretilmiştir. Test levhaları Kastamonu ilinde özel bir firmaya ait MDF test laboratuvarında analizleri yapılmıştır.

#### 2.2.2. MDF levhaların üretimi

Orta yoğunlukta liflevha (MDF) üretiminde %100 karaçam üretiminde hammadde olarak kullanılmıştır. Hammadde batı Karadeniz Orman İşletme depolarından tedarik edilmiştir. Bu çalışmada %100 Karaçam yongaları yonga silosu boşaltma helezonu vasıtasıyla üretime verilmiştir. Yongalar üzerinde Dyne screen mekanik eleme sisteminde üretim standardına uygun boyutlarda yonga ayıklama işlemi yapılmıştır. Yongalar, ön pişirme silosunda  $135^\circ\text{C}$ 'de 2.5 bar buhar basıncı uygulanarak ön buharlama işlemi yapılmıştır. Buharlanan yongalar helezon vasıtasıyla Asplund-defibratör kazan sistemine taşınmıştır. Asplund-defibratörde  $190^\circ\text{C}$  ve 8.2 bar buhar basıncında 3 dakika süreyle pişirme işlemi yapılmıştır. Mantarlaşan yongalar boşaltma helezonu vasıtasıyla defibrilasyon işleminden önce sıvı parafin verilmiştir. Defibratör segmentlerinde lifler üretilmiştir. Üretilen liflere blow line site-



minde sırsıyla sertleştirici ve üre formaldehit tutkalı verilmiştir. Lifler kurutucuda %13 rutubete kadar kurutulmuştur. Kurutulan lifler bunkerler homojen karışımı tırmıklar vasıtasıyla sağlanmıştır. Serme istasyonunda lifler pasta haline getirilmiştir.

Ön presleme işleminde 120-150 kg/cm<sup>2</sup> basınç uygulanarak pastalara soğuk presleme yapılmıştır. Pastalar; sürekli sıcak presleme işlemi, pres sıcaklığı 220°C ve pres süresi 85 saniye, pres hızı 650 mm/s ve pres basıncı 32 kp/cm<sup>2</sup> basınç uygulanarak MDF levhaları üretilmiştir. Levhalar yıldız soğutucuda klimatize işlemi yapılmıştır. Levhalar ebatlama ünitesinde 9.2 x 2100 x 8430 mm ölçülerinde boyutlandırılmıştır (Tablo 2).

**Tablo2** MDF üretimine ait önemli bilgiler.

Üretim Parametreleri		1m <sup>2</sup> MDF Levha Üretiminde Kullanılan Tüketim
Pres Hızı	650 mm/s sürekli pres	-
Pres Sıcaklığı (°C)	220	-
Pres Modeli	Siempelkamp ContiRoll hot press 2008 model, Krefeld, Germany)	-
Pres Basıncı	35 kg/cm <sup>2</sup>	-
Pres Süresi	85 saniye	-
U/F mül Oranı	F/Ü 0.96	-
Bitkisel Materyal Türü (%)	%100 karaçam	-
Üre Formaldehit Katı Oranı (%)	64#10	-
Kuru Life Göre Reçine Katı Oranı (%)	13.50	85 kg/m <sup>2</sup>
Kuru Life Göre Sertleştirici Katı Oranı (%)	%0.85	5.6 kg/m <sup>2</sup>
Kuru Life Göre Parafin Katı Oranı (%)	%0.50	3.5 kg/m <sup>2</sup>
Levha Boyutları (mm)	9.2 x 2100 x 8430	-

Levhalar stok alanında 4 gün dinlendirmeye alınmıştır. Levhalar dinlendirildikten sonra hem alt hem de üst yüzeyleri 40, 100 ve 140 kum zımpara kâğıdı ile zımpara işlemi yapılarak kalınlık 9.2 mm kalınlığında levha ürünü üretilmiştir. Deneme levhaları hava akımı olmayan yüzeyi düzgün beton zemin üstünde takoz üzerinde depolanmıştır.

Deney MDF levhaları %65±5 bağıl nem ve 20±2°C koşullarında %12 rutubete kadar TS 642-ISO 554 (1997) standardına göre kondisyonlama işlemi yapılmıştır.

### 2.2.3. Test metotları

Uygulan test standartları; TS EN 326-1 (1999) levhalar numunelerinin seçimi, kesimi, muayene ve deney sonuçlarının gösterilmesi, TS EN 324-1 (1999) levhaların kalınlık ölçümü tayini, TS EN 322 (1999) rutubet ölçümü tayini, TS EN 317 (1999) yongalevhalar ve liflevhalar su içinde daldırma işlemleri tayini, TS EN 323 (1999) ahşap yongalevhalar ve liflevhalar özgül kütle tayin işlemleri, TS EN 325 (2012) ahşap esaslı levhaların deney parçalarının boyutlarının tayini, TS EN 310 (1999) levhalarının mekanik özelliklerini ölçmek amacıyla, eğilme mukavemeti ve elastikiyet modülü tayini, TS EN 319 (1999) levhaların dik çekme mukavemeti tayini, TS EN 311 (2005) yüzey sertliği tayini, TS EN 382-1 (1999) tolüen testi tayini, TS EN ISO 12460-5 (2016) formaldehit emisyonu perforatör yöntemiyle analiz, ASTM D 1037-12 (2020) levhaların yüzey janka sertlik mukavemet ölçümleri, ISO 21920-2 (2021) levhaların yüzey pürüzlülüğü ölçüm metodu yapılmıştır.

### 2.2.4. İstatistiksel analiz

Testlerde 130 adet ölçüm yapılmıştır. Her bir test grubundan 10 adet ölçüm yapılmıştır. Bir istatistik programı ile varyasyon katsayıları, standart sapmaları, maksimum ve minimum ortalama değerleri ve ortalamaya ait olan ölçüm değerleri hesaplanmıştır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Üretilen MDF panellerin fiziksel, mekanik, teknolojik özellikleri üzerine analizler yapılmıştır. Fiziksel özellikler; levha kalınlığı, rutubet oranı, levha yoğunluğu, kalınlığına şişme ve su alma sonuçları Tablo 3'te sunulmaktadır.

Bu sonuçlara göre, levhaların fiziksel özellikleri; kalınlık 9.19 mm, yoğunluk değeri 712.37 kg/m<sup>3</sup>, rutubet %5.01, kalınlığına şişme (24 saat) % 14.12 ve su alma (24 saat) %41.28 olarak elde edilmiştir. Standart değerleri ile bu araştırmada elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, levha kalınlık, yoğunluk, rutubet istenilen değerden yukarı olarak belirlendiği

standartları sağladığı görülmüştür. Fakat kalınlığına şişme, su alma testlerinin istenilen değerden yukarı olarak ölçüldüğünden dolayı standartlara ait değerleri sağlamadığı görülmüştür (Tablo 3).

Çamlıbel ve Aydın, (2022) tarafından yapılan çalışmada demir ağacı odunu kullanılarak üretilen MDF panellerinde levhaların kalınlığına ait şişme değerleri 2 ve 24 saat için sırasıyla %2.53 ve %6.01, yoğunluk değeri 0.694 g/cm<sup>3</sup> ve rutubet değerleri ise %5.01 olarak bulunmuştur.

**Tablo3.** Üretilen MDF panelleri fiziksel özellikleri üzerinde belirlenmiş olan; levha kalınlığı, rutubet oranı, levha yoğunluğu, kalınlığına şişme, su alma ait sonuçları.

Gruplar	Kalınlık	Rutubet	Yoğunluk	Kalınlığına Şişme (24 saat)	Su Alma (24 saat)
MDF için Standartlar	TS EN324 -1	TS EN322	TS EN323	TS EN317	TS EN317
MDF için Limit Değerler	9±0.2	4 - 11	650 - 800	≤ 12	Maksimum 40
Örnek Sayısı	mm	%	kg/m <sup>3</sup>	%	%
1	9.19	5.35	701.93	14.41	37.04
2	9.18	5.15	722.46	13.58	35.32
3	9.18	5.14	728.10	13.44	36.27
4	9.19	4.91	735.82	13.47	35.18
5	9.20	4.70	732.22	14.98	41.01
6	9.19	4.79	721.05	14.72	42.57
7	9.20	4.83	701.05	14.35	44.02
8	9.20	5.14	697.94	14.14	44.87
9	9.20	5.13	678.59	14.24	47.66
10	9.19	4.98	704.53	13.90	48.88
Ortalamalar	9.19	5.01	712.37	14.12	41.28
Standart Sapma	0.01	0.20	18.31	0.53	5.13
Minimum Değer	9.18	4.70	678.59	13.44	35.18
Maksimum Değer	9.20	5.35	735.82	14.98	48.88
Varyasyon Katsayısı	0.09	4.07	2.57	3.72	12.42

Üretilen MDF panelleri mekanik özellikleri; yüzey sertliği, yüzeye dik çekme, eğilme direnci ve elastikiyet modülü sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Üretilen MDF panelleri mekanik özellikleri üzerinde belirlenmiş olan eğilme direnci, elastikiyet modülü, yüzeye dik çekme ve yüzey sertliği sonuçları.

Gruplar	Eğilme Direnci	Elastikiyet Modülü	Yüzeye Dik Çekme Direnci	Yüzey Sertliği
MDF için Standartlar	TS EN310	TS EN310	TS EN319	ASTM D1037 - 12
MDF için Limit Değerler	≥ 20	≥ 2200	≥ 0.55	≥ 1
Örnek Sayısı	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1	30.56	3011.62	0.83	0.99
2	29.05	3143.27	0.85	0.86
3	33.23	3193.59	0.85	0.95
4	31.57	3058.91	0.83	0.78
5	24.50	2671.55	0.95	0.78
6	34.39	2875.89	0.70	0.79
7	27.17	2997.23	0.52	0.88
8	28.18	2987.88	0.81	0.85
9	28.14	3043.21	0.82	0.82
10	28.76	2945.55	0.68	0.88
Ortalamalar	28.55	2992.87	0.78	0.86
Standart Sapma	2.82	145.06	0.12	0.07
Minimum Değer	24.39	2671.55	0.52	0.78
Maksimum Değer	33.23	3193.59	0.95	0.99
Varyasyon Katsayısı	9.86	4.85	15.55	8.22

Tablo 4'teki verilere göre; yüzeye dik çekme direnci 0.78 N/mm<sup>2</sup>, elastikiyet modülü 2992.87 N/mm<sup>2</sup>, eğilme mukavemeti 28.55 N/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuş ve istenilen değer üzerinde ölçüldüğünden standartları sağladığı görülmüştür. Fakat yüzey sertliği 0.86 N/mm<sup>2</sup> ölçülmüş ve istenilen değerden yukarı olarak ölçüldüğünden standartları sağlamadığı görülmüştür. Üretilen MDF panelleri üzerinde belirlenmiş olan formaldehit emisyon testi ve yüzey pürüzlülüğüne ait sonuçları Tablo 5'te sunulmuştur.

**Tablo 5.** Üretilen MDF panelleri teknolojik özellikleri; tolüen testi, formaldehit emisyonu ve yüzey pürüzlülüğü test sonuçları.

Gruplar	Tolüen	Formaldehit Emisyon Testi		Yüzey Pürüzlülüğü	
		TS EN 382 - 1 Minimum 150	TS EN ISO 12460 - 5 mg/100 gr	R <sub>a</sub>	R <sub>z</sub>
MDF için Standartlar MDF için Limit Değerler	cm	E <sub>1</sub> ≤ 8	E <sub>2</sub> ≤ 8 - 30	≤ 12 µm	Maksimum 40 µm
Örnek Sayısı					
1	140		10.40	3.59	23.43
2	158		10.45	3.54	24.56
3	160		10.04	3.18	23.98
4	165		11.01	3.73	24.87
5	155		10.23	2.94	22.87
6	165		10.23	2.83	23.15
7	160		10.32	2.89	22.87
8	170		10.09	2.78	22.56
9	166		10.21	3.12	22.01
10	158		9.98	3.17	24.02
Ortalamalar	159.70		10.30	3.18	23.43
Standart Sapma	8.29		0.29	0.34	0.91
Minimum Değer	140		9.98	2.78	22.01
Maksimum Değer	170		11.01	3.73	24.87
Varyasyon Katsayısı	5.19		2.84	10.64	3.89

Sonuçlara göre, tolüen testi 159 cm, formaldehit emisyon testi 10.30 mg/100 gr ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ise R<sub>a</sub> için 3.18 µm ve R<sub>z</sub> için 23.43 µm olarak buldukları görülmektedir. Standartlar ile bu çalışmada bulunan sonuçlar kıyaslandığında, formaldehit emisyonu; 10.30 mg/100 gr analiz sonucu E<sub>1</sub> yakın E<sub>2</sub> sınıfında yer almaktadır (Tablo 5).

Yapışma ve boya tutma, estetik, yüzey hazırlığı ve tutuşma özellikleri açısından MDF panellerinde yüzey pürüzlülüğü önemli olmaktadır. Yüzey pürüzlülüğüne ait parametreleri R<sub>a</sub>: 3.18 µm ve R<sub>z</sub>: 23.43 µm ölçüm sonuçları levha yüzeyinin pürüzsüz olduğu ölçülmüştür (Tablo 5).

Çamlıbel ve ark., (2024) tarafından yapılan ahşap bazlı kompozit yüzey kaplı yonga levhaların formaldehit gaz emisyonu ve uygulanan standartlar konulu çalışmada MDF levhalarının perforatör yöntemiyle formaldehit gaz emisyonunun E<sub>2</sub> ≤ 8- 30 mg/100 gr değer aralığına ait E<sub>2</sub> sınıfında yer aldığını bildirmişlerdir.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Çalışmada elde edilen sonuçlar neticesinde; kalınlığına şişme testinin, yüzey sertliği testinin ve su alma testinin istenilen standart değerlerine sahip olmadıkları belirlenmiştir. Bu testlerin istenilen standart değerleri sağlama için, daha yüksek özellikte bağlayıcıların kullanılması, buna ek olarak, presleme sıcaklığı, zamanı ve basıncını kullanarak farklı parametrelere ait levhaların üretilmesi önerilmektedir.

**Yazar Katkıları:** Kavramsallaştırma, E.K., H.P., O.Ç. ve Ü.A.; metodoloji, O.Ç. ve E.K.; yazılım, O.Ç. ve H.P.; doğrulama, E.K., H.P. ve O.Ç.; içerik analizi, E.K., H.P., O.Ç. ve Ü.A.; araştırma, E.K., H.P., O.Ç. ve Ü.A.; çalışma olanakları, E.K. ve O.Ç.; veri düzenleme, E.K., H.P. ve O.Ç.; yazma—orijinal taslak hazırlama, E.K., H.P., O.Ç. ve Ü.A.; yazma—inceleme ve düzenleme, E.K., H.P., O.Ç. ve Ü.A.; görselleştirme, O.Ç. ve Ü.A.; süpervizyon, E.K. ve O.Ç.; proje yönetimi, E.K., H.P., O.Ç. ve Ü.A.; fon sağlama, E.K., H.P. ve O.Ç. Tüm yazarlar makalenin yayınlanan versiyonunu okumuş ve kabul etmiştir.

**Teşekkür:** Kastamonu Entegre Ağaç San. ve Tic. A.Ş., Kastamonu Fabrika direktörü ve yöneticilerinin yardımlarından dolayı teşekkür ederiz.

**Çıkar Çatışmaları:** Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

#### Kaynaklar

- ANSI Standards, A208.2-1994. (1994). Medium Density Fiberboard (MDF), National Particleboard Association, Gaithersburg, MD.
- ASTM D 1554. (2016). Standard terminology relating to wood-base fiber and particle panel materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, DOI: 10.1520/D1554-10R16. DOI: 10.1520/D1554-10R16.
- ASTM D1037-12. (2020). Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials American Society for Testing and Materials, Philadelphia Pa.
- Çamlıbel, O. (2006). Ormangülü biyokütlesinden (*Rhododendron Pontificum* L.) MDF (orta yoğunlukta lif levha) üretimi olanaklarının araştırılması, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Düzce.

- Çamlıbel, O. (2020). Huş (*Betula pendula* L.) odunu biokütlesinden orta yoğunlukta lif levha (MDF) üretimi, *Turkish Journal of Forestry*, 21(2): 174-178. DOI: 10.18182/tjf.731926.
- Çamlıbel, O., Ayata, Ü., Budak, A. & Yüksek, D. (2024). Ahşap bazlı kompozit yüzey kaplı yonga levhaların formaldehit gaz misyonu ve uygulanan standartlar, *OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2): 592-609. DOI: 10.47495/okufbed.1325037.
- Çamlıbel, O. & Aydın, M., (2022). Demir ağacı (*Casuarina equisetifolia* L.) odunundan üretilen orta yoğunlukta lif levhaların (MDF) fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 9(4): 892-899. DOI: 10.30910/turkjans.1098882.
- Deus, P.R., Alves, M.C., Vieira, F.H. & Bilesky, L.R. (2018). Analysis of the cutting parameters in front milling for medium density fiberboard, *BioResources*, 13(2): 3404-3410. DOI: 10.15376/biores.13.2.3404-3410.
- Ding, T., Zhao, J., Zhu, N. & Wang, C. (2020). A comparative study of morphological characteristics of medium-density fiberboard dust by sieve and image analyses, *Journal of Wood Science*, 66: 1-9. DOI: 10.1186/s10086-020-01896-x.
- Doosthoseini, K. (2012). *Manufacturing and Application of Wood Composite Materials*, University of Tehran press, (in Persian).
- ISO 21920-2. (2021). *Geometrical Product Specifications Surface Texture Profile Method Terms. Definitions and Surface Texture Parameters*, International Standart Organization.
- Kelly, T. J., Smith, D. L., & Satola, J. (1999). Emission rates of formaldehyde from materials and consumer products found in California homes. *Environmental Science & Technology*, 33(1), 81-88. DOI: 10.1021/es980592+.
- Kim, S., and Kim, H.J., (2005). Comparison of standard methods and gas chromatography method in determination of formaldehyde emission from MDF bonded with formaldehyde-based resins. *Bioresource Technology*, 96(13): 1457-1464. DOI: 10.1016/j.biortech.2004.12.003.
- Kim, T., (2019). Production planning to reduce production cost and formaldehyde emission in furniture production process using medium-density fiberboard. *Processes*, 7(8): 529. DOI: 10.3390/pr7080529.
- Kouchaki-Penchah, H., Sharifi, M., Mousazadeh, H. & Zarea-Hosseinabadi, H. (2016). Life cycle assessment of medium-density fiberboard manufacturing process in Islamic Republic of Iran, *Journal of Cleaner Production*, 112: 351-358. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.07.049.
- Kumar, R., Choudhary, V., Mishra, S., Varma, I. K. & Mattiason, B. (2002). Adhesives and plastics based on soy protein products, *Industrial crops and products*, 16(3): 155-172. DOI: 10.1016/S0926-6690(02)00007-9.
- Li, X., Li, Y., Zhong, Z., Wang, D., Ratto, J.A., Sheng, K. & Sun, X.S. (2009). Mechanical and water soaking properties of medium density fiberboard with wood fiber and soybean protein adhesive, *Bioresource Technology*, 100(14): 3556-3562. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.02.048.
- Liang, W., Lv, M. & Yang, X. (2016). The combined effects of temperature and humidity on initial emittable formaldehyde concentration of a medium-density fiberboard, *Building and Environment*, 98: 80-88. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.12.024.
- Otson, R., & Fellin, P. (1992). *Characterization and cycling. Gaseous pollutants*. New York: John Wiley and Sons, 335-421.
- Thoemen, H., Irle, M. & Sernek, M. (2010). *Wood-Based Panels: An Introduction for Specialist*. Published by Brunel University Press, London.
- TS 642-ISO 554. (1997). *Kondisyonlama ve/veya Deney İçin Standart Atmosfer - Özellikler*, TSE, Ankara.
- TS EN 310. (1999). *Ahşap esaslı levhalar-Eğilme dayanımı ve eğilme elastikiyet modülünün tayini*, TSE, Ankara.
- TS EN 311. (2005). *Ahşap esaslı levhalar - Yüzey sağlamlığı - Deney metodu*, TSE, Ankara.
- TS EN 317. (1999). *Yonga levhalar ve lif levhalar-Su içerisine daldırma işleminden sonra kalınlığına şişme tayini*, TSE, Ankara.
- TS EN 319. (1999). *Yonga levhalar ve lif levhalar-Levha yüzeyine dik çekme dayanımının tayini*, TSE, Ankara.
- TS EN 322. (1999). *Ahşap esaslı levhalar-Rutubet miktarının tayini*, TSE, Ankara.
- TS EN 323. (1999). *Ahşap esaslı levhalar-Birim hacim ağırlığının tayini*, TSE, Ankara.
- TS EN 324-1. (1999). *Ahşap esaslı levhalar-Levha boyutlarının tayini-Bölüm 1: Kalınlık, genişlik ve uzunluğun tayini*, TSE, Ankara.
- TS EN 325. (2012). *Ahşap esaslı levhalar - Deney parça boyutlarının tayini*, TSE, Ankara.
- TS EN 326-1. (1999). *Ahşap esaslı levhalar-Numune alma kesme ve muayene bölüm 1:Deney numunelerinin seçimi, kesimi ve deney sonuçlarının gösterilmesi*, TSE, Ankara.
- TS EN 382-1. (1999). *Lif levhalar, yüzey absorpsiyonu tayini; Bölüm 1: Kuru metodla üretilen lif levhalarda deney metodu*, TSE, Ankara.
- TS EN ISO 12460-5. (2016). *Ahşap esaslı levhalar- Formaldehit salımının belirlenmesi- Bölüm 5: ekstraksiyon yöntemini (perforatör yöntemi olarak adlandırılan)*, TSE, Ankara.
- Wang, S., Wang, W. & Yang, H. (2018). Comparison of product carbon footprint protocols: case study on medium-density fiberboard in China, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(10): 2060. DOI: 10.3390/ijerph15102060.
- Ye, X.P., Julson, J., Kuo, M., Womac, A. & Myers, D. (2007). Properties of medium density fiberboards made from renewable biomass, *Bioresource Technology*, 98(5): 1077-1084. DOI: 10.1016/j.biortech.2006.04.022.
- Zimmer, A. & Bachmann, S.A.L. (2023). Challenges for recycling medium-density fiberboard (MDF), *Results in Engineering*, 19: 101277. DOI: 10.1016/j.rineng.2023.101277.

**Yasal Uyarı/Sorumluluk Reddi:** Tüm yayınlarda yer alan ifadeler, görüşler ve veriler yalnızca yazarlara ve (varsa) katkıda bulunanlara aittir; *Journal of Green Technology and Environment* ve/veya editörlerine ait değildir. *Journal of Green Technology and Environment* ve/veya editörleri, içerikte atıfta bulunulan herhangi bir fikir, yöntem, talimat veya üründen kaynaklanan, insanlara veya mallara gelebilecek herhangi bir zararın sorumluluğunu reddeder.



*GreenTech*

**JOURNAL OF GREEN  
TECHNOLOGY AND  
ENVIRONMENT**



[www.journalgreentech.com](http://www.journalgreentech.com)