

# Kuarternize Karboksimetil Selüloz Esaslı Farklı Ahşap Kaplamaların Antimikrobiyal ve Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi

Mustafa ZOR<sup>1,\*</sup>, Ferhat ŞEN<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Nanoteknoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, Türkiye

## Makale Tarihiçesi

Gönderim: 02.05.2023

Kabul: 18.07.2023

Yayın: 15.08.2023

## Araştırma Makalesi



**Öz** – Günlük yaşamın hemen hemen her alanında kullanılan ahşap kaplamalara kullanım alanlarının gereksinimine göre fonksiyonel özellikler kazandırılmaktadır. Steril alanlara gereksinim duyulan uygulamalarda ahşap kaplamaların antimikrobiyal özellik göstermesi fonksiyonel ahşap kaplamaların en önemli örneklerindedir. Ayrıca kullanım alanına göre hidrofil veya hidrofob ahşap kaplamaların tercih edilebilmesi önemli bir avantajdır. Bu çalışmada, kuarternize karboksimetil selüloz (CMC) bazlı ahşap kaplamaların antimikrobiyal ve yüzey özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. İlk olarak kuarternize CMC sentezlendi ve kayın, meşe ve maun ahşap kaplamalara kuarternize CMC daldırma metodu ile empenye edildi. Elde edilen fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplamaların antimikrobiyal aktiviteleri hem gram pozitif (*S. aureus*) hem de gram negatif (*E. coli*) bakterilere karşı inhibisyon zonu (disk difüzyon) yöntemi kullanılarak incelendi. Kaplamalarının yüzey özellikleri su ile yapmış oldukları temas açısı ölçülerek belirlendi. Ayrıca ahşap kaplamaların hücre lümenlerinin kuarternize CMC ile doldurulduğu taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelendi. Elde edilen sonuçlardan ahşap kaplamaların hücre lümenlerinin kuarternize CMC ile başarılı bir şekilde doldurulduğu ve kaplamalara antimikrobiyal özellik ve hidrofilik karakter kazandırıldığı belirlendi.

**Anahtar kelimeler:** Kuarternize karboksimetil selüloz, ahşap kaplamalar, antimikrobiyal, yüzey özellikleri

# Investigation of Antimicrobial and Surface Properties of Different Wood Coatings Based on Quarternized Carboxymethyl Cellulose

<sup>1,2</sup>Zonguldak Bülent Ecevit University, Department of Nanotechnology Engineering, Zonguldak, Turkey

## Article History

Received: 02.05.2023

Accepted: 18.07.2023

Published: 15.08.2023

## Research Article

**Abstract** – Wooden coatings, which are used in almost every area of daily life, are given functional properties according to the needs of the areas of use. In applications where sterile areas are required, the antimicrobial feature of wood coatings is one of the most important examples of functional wooden coatings. In addition, it is an important advantage that hydrophilic or hydrophobic wood coatings can be preferred according to the usage area. In this study, it was aimed to investigate the antimicrobial and surface properties of quaternized carboxymethyl cellulose (CMC) based wood coatings. Firstly, quaternized CMC was synthesized and quaternized CMC was impregnated on beech, oak and mahogany wood veneers by dipping method. The antimicrobial activities of the obtained functionalized wood coatings were investigated against both gram positive (*S. aureus*) and gram negative (*E. coli*) bacteria using the zone of inhibition (disk diffusion) method. The surface properties of the coatings were determined by measuring their contact angle with water. In addition, the cell lumens of the wood veneers were examined by scanning electron microscopy (SEM), in which quaternized CMC was filled. From the results obtained, it was determined that the cell lumens of the wooden coatings were successfully filled with quaternized CMC and the coatings were given antimicrobial properties and hydrophilic character.

**Keywords:** Quarternized carboxymethyl cellulose, wood coatings, antimicrobial, surface properties

<sup>1</sup>  mustafa.zor@beun.edu.tr

<sup>2</sup>  ferhatsen@beun.edu.tr

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

## 1. Giriş

Yenilenebilir bir lignoselülozik malzeme olan ahşap, sayısız uygulama alanı nedeniyle mühendislik yapımlar için oldukça tercih edilebilir bir malzemedir. Ancak ahşabın boyutsal kararlılığı, geri dönüştürülemeyen sentetik malzemelere göre daha düşüktür. Bu durum, ahşabın kullanımını sınırlandırmaktadır çünkü boyutsal kararlılık birçok uygulama alanında önemli bir kriterdir. Son yıllarda, ahşap malzemenin olumsuz özelliklerini iyileştirici çok çeşitli yöntemler geliştirilmiş ve çevre dostu yöntemlerle katma değerli malzemelerin kullanımı tercih edilir hale gelmiştir (Krystofiak ve ark., 2022; Winandy ve ark., 2008; Taghari ve ark., 2021). Günümüzde önemi daha da artan yapay zeka ve makine öğrenmesi gibi teknolojik ilerlemeler de ahşap sektöründe uygulanabilmektedir (Sözen ve Bardak 2021). Bu durum ahşabın her dönem kendi kullanım potansiyelini oluşturduğunu göstermektedir.

Yüzey özellikleri, ahşap esaslı levhalar açısından oldukça önemli bir kavram olup levha ürünleri, estetik, mukavemet özelliklerini ve ekonomik değerlerini artırmak için sıvı veya katı kaplama malzemeleri ile kaplanmaktadır (İstek ve ark., 2010; İstek ve ark., 2015; Atar, 2006; Nemli, 2003). Her türlü kaplama malzemesinin özellikleri, birçok şeyin yanında, özellikle kaplama filminin kimyasal bileşimine ve kalınlığına bağlıdır. Kaplama formülasyonuna dahil edilen bağlayıcı, çözücü ve pigmentler ve dolgu maddeleri gibi diğer maddeler, kaplamanın hem mekanik hem de fiziksel özelliklerini ve belirli bir ahşap altlık türü ile etkileşimlerini belirlemektedir (Keskin ve Tekin, 2011; Podgorski ve ark., 2017). Ahşap zeminler için en popüler yüzey kaplamalarından bazıları akrilatlar ve poliüretanlardır. Günümüzde birçok farklı kaplama üreticisi, pazardaki farklı uygulamalar için çeşitli akrilat reçineleri ve poliüretan reçine bazlı su bazlı kaplamalar sunmaktadır. Genel olarak, bu kaplamalar daha düşük uçucu organik bileşik içeriğine sahipken, filmleri alt tabakalara yapışma, esneklik, dayanıklılık, basınç ve çekme mukavemeti, çizilme ve aşınma direnci ve hava şartlarında kararlılık gibi mükemmel özelliklere sahiptir (Xu ve ark., 2018).

Karboksümetil selüloz (CMC) suda çözünebilir bir selüloz türevidir. Karboksümetil grupları nedeniyle anyonik karakterdedir (Zhang ve ark., 2023). Šimkovic ve ark. (Šimkovic ve ark., 2023) tarafından CMC'nin kuarternizasyonu bildirilmiştir. Kuarterner amonyum tuzları bakterilerinin gelişmesini engelleyerek antimikrobiyal özellik gösterirler (Uppanan ve ark., 2011). Literatürde kuarternize edilerek antimikrobiyal özellik kazandırılan malzemeler üzerine birçok çalışma bildirilmiştir. Örneğin Pour ve ark. (Pour ve ark., 2015) nişastayı kuarternize etmiş ve polivinil alkol ile birlikte çapraz bağlı filmler elde etmek için kullanmışlardır. Elde edilen çapraz bağlı filmlerin orta derecede antibakteriyel aktivite gösterdiği ve antimikrobiyal ambalaj malzemesi olarak kullanılabilceği bildirilmiştir. Başka bir çalışmada, Wei ve ark. (Wei ve ark., 2022) Schiff bazı reaksiyonuyla farklı süstitüsyon derecelerine sahip kuarterner amonyum tuzu ile modifiye edilmiş kitosan/selüloz kompozit malzemeler hazırlamışlardır. Elde edilen malzemelerin genel olarak yüksek gözenekliliğe, önemli miktarda su alma kapasitesine, düşük bozunma kabiliyetine, iyi antibakteriyel etkinliğe, iyi huylu sitotoksositeye, düşük hemoliz oranına, üstün kan pıhtılaşmasına ve yaraların iyileşmesi için olumlu etkiye sahip olduğu tespit edilmiş ve bu nedenle elde edilen malzemelerin antibakteriyel hemostatik pansuman malzemesi olarak yara bakımında kullanılabilceği bildirilmiştir.

Ahşap kaplamalara kullanım alanlarına göre belirli özellik kazandırmak amacıyla fonksiyonelleştirme işlemleri yapılmaktadır. Özellikle ahşap kaplamaların mekanik dayanımını, hidrofobikliğini, ve ahşap malzemenin yapısını değiştirmek için termal-hidro-mekanik ve kimyasal işlemler kullanılarak mühendisleştirilmiş yapı malzemeleri elde edilmektedir (Sandberg ve ark., 2017; Mantanis, 2017; Sözen 2022). Fonksiyonelleştirilmiş ahşap malzemeler üzerine su filtreleme ve arıtma (Vitas ve ark., 2018), yapısal malzemeler (Song ve ark., 2018), enerji depolama malzemeleri (Chen ve ark., 2017) ve akıllı binalar (Liu ve ark., 2020) gibi araştırmalar literatürde görülmektedir (Beims ve ark., 2022).

Bu makalede; kuarternize karboksümetil selüloz (CMC) bazlı ahşap kaplamaların antimikrobiyal ve yüzey özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için ilk olarak kuarternize CMC sentezlenmiş ve farklı ahşap kaplamalara (kayın, meşe, maun) kuarternize CMC içeren çözeltiler daldırma metodu ile emprenye

edilmiştir. Hazırlanan fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplamaların antimikrobiyal aktiviteleri, yüzey temas açısı ve morfolojik analizleri incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Karboksimetil selüloz (CMC), soydum hidroksit ve glisidiltrimetilamonyum klorür (GTMAC) Sigma Aldrich'ten, meşe (O), kayın (B) ve maun (M) ahşap kaplamalar (0,75 mm kalınlık) Rasmus Farschs Vej (Danimarka) firmasından temin edilmiştir.

### 2.2. Kuarternize Karboksimetil Selülozun Sentezi ve Çözeltilinin Hazırlanması

Kuarternize CMC, Šimkovic ve ark.'nın (2023) yöntemi modifiye edilerek sentezlenmiştir. Bir behere 5 g CMC, 3,25 g GTMAC, 1,5 mL 1 M NaOH ve 1,625 g destile su alınarak karıştırıldı. Beher 5 saat 60°C'lik su banyosunda bekletildi. Karışıma 100 mL etil alkol eklenerek ürün çöktürüldü. Çöken kuarternize CMC süzüldü ve reaksiyona girmeyen GTMAC ve soydum hidroksiti ortamdan uzaklaştırmak için 3 kez etil alkol ile yıkandı. 50°C'lik etüvde 24 saat kurutularak kuarternize CMC elde edildi.

### 2.3. Fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplamaların hazırlanması

Ahşap kaplama malzemesi olarak kayın, meşe ve maun kaplamaları seçilmiştir. Her bir ahşap kaplamadan 3,5x7x0,75 cm boyutlarında kesim yapıldı. %10'luk Kuarternize CMC çözeltisine her bir kaplama bir dakika süre ile daldırıldı (1 kez daldırma). Kaplamalar 50°C'lik etüvde 24 saat bekletilerek kurutulmuştur. Daha fazla %10'luk Kuarternize CMC'yi ahşap kaplamalara empenye edebilmek için kaplamaların bir bölümü tekrar çözeltiye daldırıldı (2 kez daldırma) ve 50°C'lik etüvde 24 saat bekletilerek kuruması sağlandı (Şekil 1.). Elde edilen numunelerin kodları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1.

Kaplama numunelerinin kodları

Numune	Numune Kodu
Kayın (kontrol grubu)	B
1 kez daldırma uygulanmış kayın	B1
2 kez daldırma uygulanmış kayın	B2
Meşe (kontrol grubu)	O
1 kez daldırma uygulanmış meşe	O1
2 kez daldırma uygulanmış meşe	O2
Maun (kontrol grubu)	M



Şekil 1. Fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplamaların daldırılması ve kurutulması

## 2.4. Karakterizasyon

### 2.4.1. Antimikrobiyal Aktivite

Fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplamaların antimikrobiyal aktivitesi inhibisyon zonu metodu ile gram negatif bir bakteri olan *E. coli* ve gram pozitif bir bakteri olan *S. aureus* patojenleri kullanılarak belirlendi. Tryptic Soy Broth'ta (TSB) 24 saat 37 °C'de inkübe edilerek aktifleştirilmiş bakteri kültürlerinden 0,1 mL alınarak Mueller-Hinton agar içeren petrilere yayma plak yöntemi kullanılarak ekildi. 6 mm çapında kesilmiş fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplama numuneleri ekim yapılan petrilere yerleştirildi. Petrilere 24 saat 37°C'de inkübe edildikten sonra numuneler etrafında oluşan inhibisyon zonları ölçüldü.

### 2.4.2. Yüzey özellikleri

Fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplamaların yüzey özellikleri Eroğlu'nun (2020) yöntemine belirlendi. Yöntemde numunelerin su ile yapmış olduğu temas açıları gonyometre (Krüss Advance Drop Shape Analyzer, DSA100) kullanılarak ölçüldü. Numuneler analizden önce ince şeritler halinde kesildi. Numuneler üzerine 2 µl distile su damlatılarak temas açıları ölçüldü. Her bir numune için 5 ölçüm alınarak ortalamaları hesaplandı.

### 2.4.3. Morfolojik özellikleri

Numunelerin SEM görüntüleri TESCAN (MAIA3 XMU) marka taramalı elektron mikroskobu kullanılarak elde edildi. Analizden önce, numunelerin yüzeyi Au/Pd (60:40) ile kaplandı.

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. Fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplamaların antimikrobiyal aktivitesi

Fonksiyonelleştirilmiş farklı ahşap kaplamaların *E. coli* ve *S. aureus*'a karşı oluşturmuş oldukları inhibisyon zonlarının çapları Tablo 2.'de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, her iki bakteri türünde de ahşap kaplamalara daldırma yöntemi ile empenye edilen kuarternize CMC'nin numunelerin antimikrobiyal aktivitesini geliştirdiği görülmektedir. 2 kez daldırma metodu uygulanan numunelerin 1 kez uygulananlara göre daha yüksek antimikrobiyal etki göstermektedir. Bunun sebebi, ahşap kaplamalara kuarternize CMC'nin daha fazla nüfuz etmesidir. Ahşap kaplama türleri arasındaki farklar incelendiğinde, inhibisyon zonlarında önemli bir farkın olmadığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, ahşap kaplamalara sentezlenen kuarternize CMC'nin empenye edilmesi ile göreceli olarak antimikrobiyal özellik kazandırılmıştır.

Tablo 2.

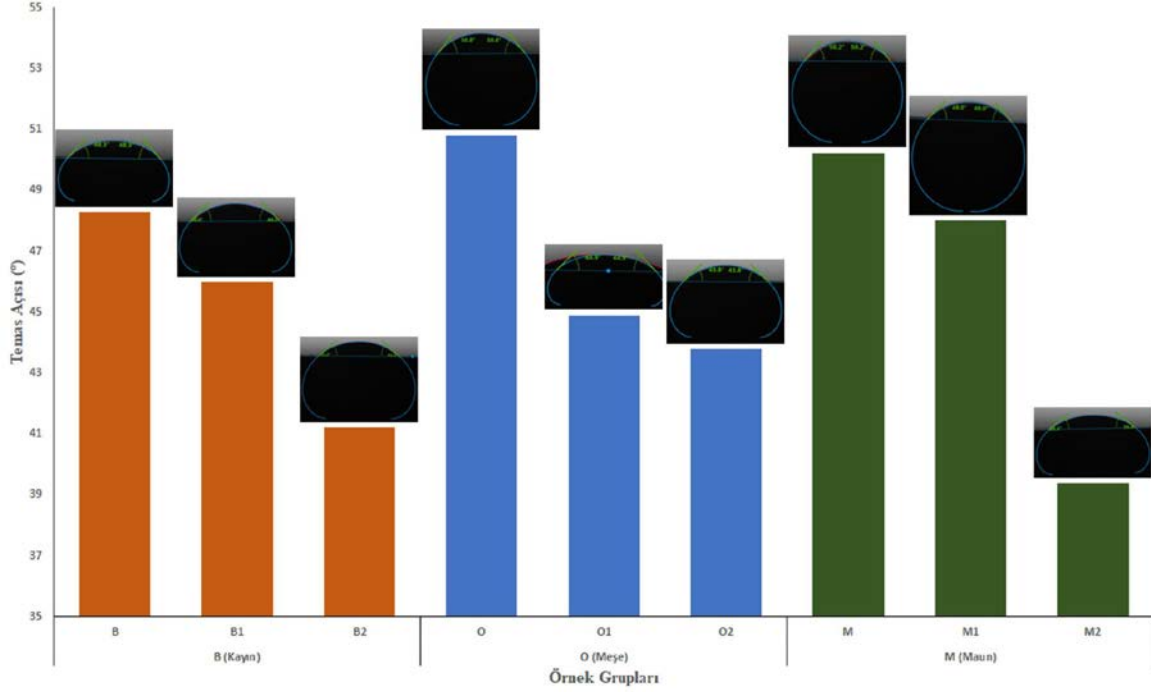
Fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplamaların inhibisyon zonları

Numune	<i>E. coli</i> (mm)	<i>S. aureus</i> (mm)
B	10	10
B1	13	11
B2	14	13
O	9	7
O1	11	13
O2	12	15
M	8	10
M1	9	11
M2	12	12

### 3.2. Fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplamaların yüzey özellikleri

Fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplamaların yüzey özellikleri su ile yapmış oldukları temas açıları ile belirlendi. Numunelerin temas açıları Şekil 2. de gösterilmiştir. Ahşap kaplamaların temas açıları incelendiğinde meşe ve maunun birbirine çok yakın olduğu görülmektedir (sırasıyla 50,8°, 50,2°). Kayının ise bunlardan biraz daha düşük (48,3°) bir temas açısına sahip olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, ahşap kaplamalara daldırma yöntemi ile empenye edilen kuarternize CMC'nin numunelerin temas açısı değerlerini azalttığı ve malzemelere hidrofilik özellik kazandırdığı açıktır. Ayrıca 2 kez daldırma metodu uygulanan numunelerin 1

kez uygulananlara göre daha düşük temas açısı değerlerine ve daha yüksek hidrofilik karaktere sahip olduğu anlaşılmaktadır. Temas açılarındaki azalma kuarternize CMC'nin karakteristik yapısından kaynaklanmaktadır. Karboksimetil fonksiyonel grupları hidrojen bağı oranını arttırmakta aynı zamanda polar yüzeylerin elde edilmesini sağlamaktadır. Bu durum daha yüksek hidrofilik karakter ile sonuçlanmaktadır (Han ve ark., 2013).

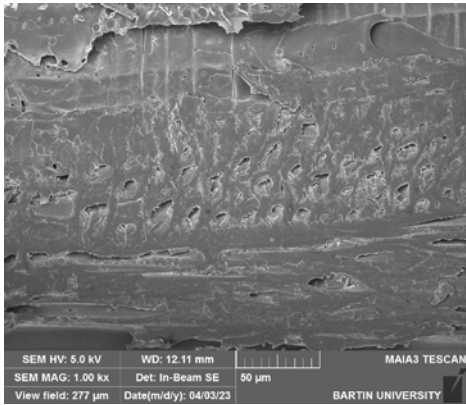
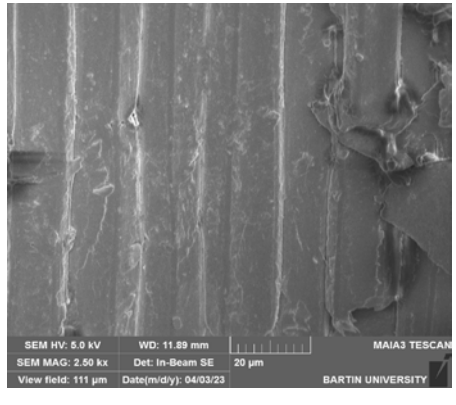
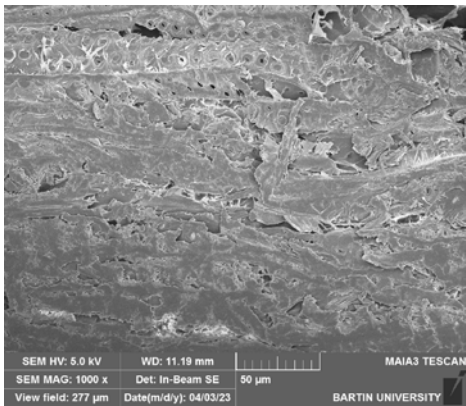
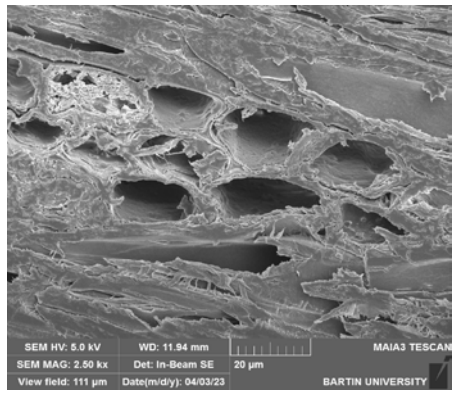
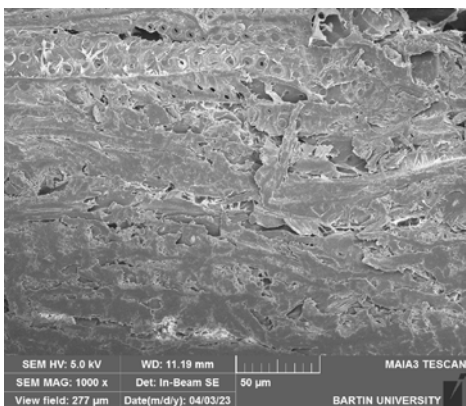
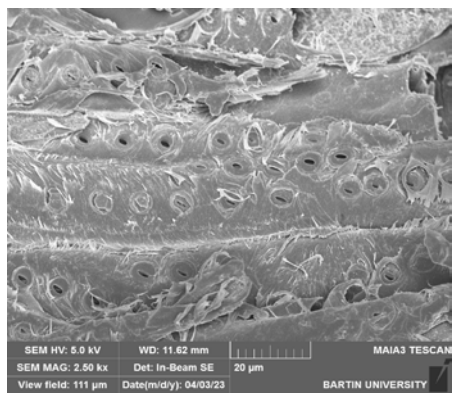
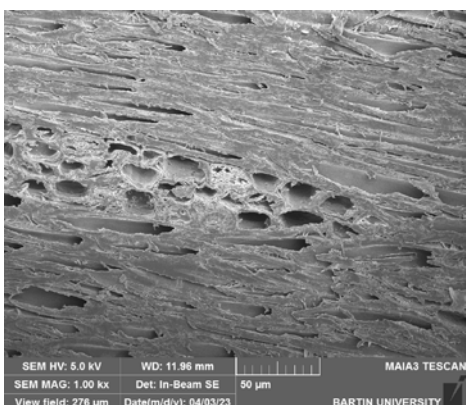
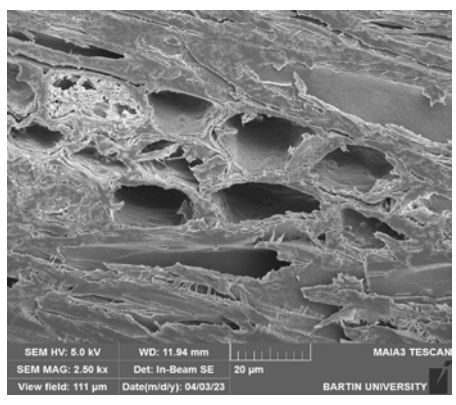


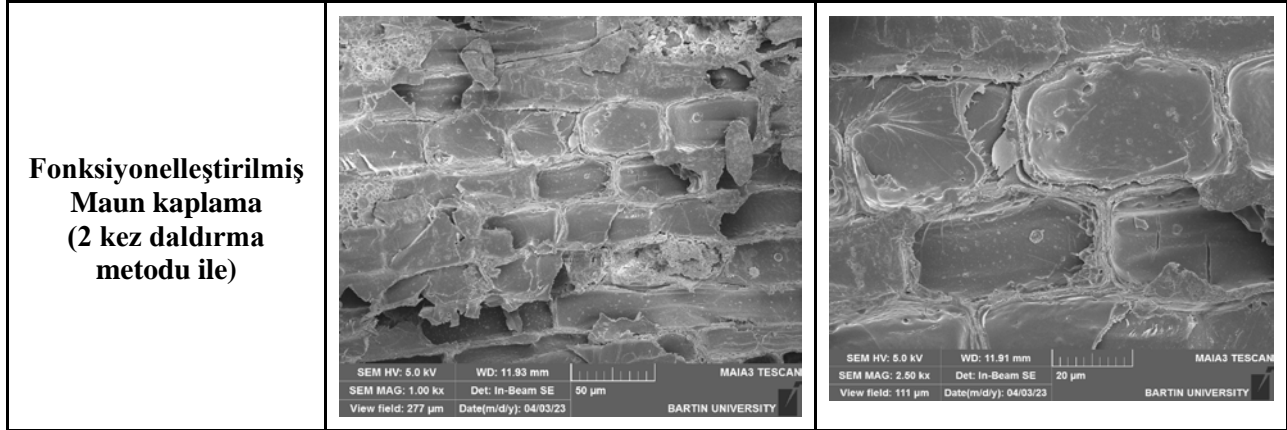
Şekil 2. Numunelerin temas açıları

### 3.3. Fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplamaların morfolojisi

Fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplamaların morfolojisi SEM tekniği ile incelenmiştir. Numunelerin SEM görüntüleri Şekil 3'de gösterilmiştir. Emprenye edilmemiş ahşap kaplamaların görüntüleri incelendiğinde, hücre lümenlerin boş olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, kuarternize CMC ile emprenye edilmiş ahşap kaplamaların görüntülerinden hücre lümenlerinin dolduğu açıkça görülmektedir. Sonuç olarak SEM görüntüleri daldırma metodu ile emprenye işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini görülmektedir.

Numune	1000x	2500x
Kayın kaplama		

<p><b>Fonksiyonelleştirilmiş Kayın Kaplama (2 kez daldırma metodu ile)</b></p>		
<p><b>Meşe kaplama</b></p>		
<p><b>Fonksiyonelleştirilmiş Meşe kaplama (2 kez daldırma metodu ile)</b></p>		
<p><b>Maun kaplama</b></p>		



Şekil 3. Numunelerin SEM görüntüleri

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada kuarternize karboksimetil selüloz (CMC) bazlı ahşap kaplamaların antimikrobiyal ve yüzey özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için ilk olarak kuarternize CMC sentezlenmiş ve farklı ahşap kaplamalara kuarternize CMC içeren çözeltiler daldırma metodu ile emprenye edilmiştir. Antimikrobiyal aktivite test sonuçları kuartineze CMC'nin ahşap kaplamalara antimikrobiyal özellik kazandırdığını göstermiştir. Temas açısı sonuçları kuartineze CMC'nin ahşap kaplamalara hidrofilik karakter kazandırdığını göstermiştir. Kuarternize CMC'nin ahşap kaplamalarının hücre lümenlerini doldurduğu SEM görüntüleri ile belirlenmiştir. Sonuç olarak sentezlenen kuarternize CMC'nin farklı ahşap kaplamalara başarıyla emprenye edildiği ve ahşap kaplamalara antimikrobiyal özellik ve hidrofilik özellik kazandırdığı belirlenmiştir.

#### Yazar Katkıları

Mustafa ZOR: Çalışmayı planlamış, tasarlamış, deney-analizleri gerçekleştirmiş ve makaleyi yazmıştır.

Ferhat ŞEN: Çalışmayı planlamış, tasarlamış, deney-analizleri gerçekleştirmiş ve makaleyi yazmıştır.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

#### Kaynaklar

- Atar, M. (2006). Melamin reçineli kağıtla kaplanmış yonga levhanının çeşitli malzeme ve tutkallarla yüz yüze yapışma direnci. *Politeknik Dergisi*, 9, 319-324.
- Beims, R.F., Arredondo, R., Carrero, D.J.S., Yuan, Z., Li, H., Shui, H., Zhang, Y., Leitch, M. ve Xu, C.C. (2022). Functionalized wood as bio-based advanced materials: Properties, applications, and challenges, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 157, 112074. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112074>
- Chen, C., Zhang, Y., Li, Y., Dai, J., Song, J., Yao, Y., Gong, Y., Kierzewski, I., Xie, J. and Hu, L. (2017). All-wood, low tortuosity, aqueous, biodegradable supercapacitors with ultra-high capacitance. *Energy & Environmental Science*, 10, 538-545. <https://doi.org/10.1039/C6EE03716J>
- Eroğlu, E. (2020). In vitro 3D spheroid culture developed on the parafilm surface using HEK-293 Cells. *Academic Perspective Procedia*, 3, 220-227. <https://doi.org/10.33793/acperpro.03.01.48>
- Han, B., Dalun Z., Ziqiang S., Linlin K. ve Shaoyi L. (2013). Preparation and characterization of cellulose acetate/carboxymethyl cellulose acetate blend ultrafiltration membranes. *Desalination*, 311, 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.11.002>
- İstek, A., Aydemir, D. ve Aksu, S. (2010). The effect of decor paper and resin type on the physical, mechanical, and surface quality properties of particleboards coated with impregnated decor papers. *BioResources* 5, 1074-1083.

- İstek, A., Muğla, K ve Yazıcı, H. (2015). Mobilya üretiminde kullanılan ticari mdf levhaların özellikleri. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 14, 333-343.
- Keskin, H. ve Tekin, A. (2011). Abrasion resistances of cellulosic, synthetic, polyurethane, waterborne and acid-hardening varnishes used woods. *Construction and Building Materials*, 25, 638-643. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.07.028>
- Krystofiak, T., Can, A. ve Lis, B. (2022). Investigation of roughness and adhesion strength properties of pine and poplar wood heat treated in air and under vacuum after artificial aging. *Coatings*, 12, 1910. <https://doi.org/10.3390/coatings12121910>
- Liu, Y., Yang, H., Ma, C., Luo, S., Xu, M., Wu, Z., Li, W. Ve Liu, S. (2020). Luminescent transparent wood based on lignin-derived carbon dots as a building material for dual-channel, real-time, and visual detection of formaldehyde gas. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 12, 36628-36638. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2018.05.008>
- Mantanis, G.I. (2017). Chemical modification of wood by acetylation or furfurylation: a review of the present scaled-up Technologies. *Bioresources*, 12, 4478-4489. <https://doi.org/10.33793/acperpro.03.01.48>
- Nemli, G. (2003). Sentetik laminat endüstrisi. *KTÜ Orman Fakültesi Yayınları*. Ders 71, 110.
- Podgorski, L., De Meijer, M. ve Lanvin, J.D. (2017). Influence of coating formulation on its mechanical properties and cracking resistance. *Coatings*, 7, 163. <https://doi.org/10.3390/coatings7100163>
- Pour, Z.S., Makvandi, P. ve Ghaemy, M. (2015). Performance properties and antibacterial activity of crosslinked films of quaternary ammonium modified starch and poly(vinyl alcohol), *International Journal of Biological Macromolecules*, 80, 596-604. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.07.008>
- Sandberg, D., Kutnar, A. ve Mantanis, G. (2017). Wood modification technologies - a review. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 10, 895-908. <https://doi.org/10.3832/ifer2380-010>
- Šimkovic, I., Gucmann, F. ve Hricovíni, M. (2023). Properties of quaternized and crosslinked carboxymethylcellulose films. *Cellulose*, 30, 2023-2036. <https://doi.org/10.1007/s10570-022-05031-5>
- Song, J., Chen, C., Zhu, S., Zhu, M., Dai, J., Ray, U., Li, Y., Kuang, Y., Li, Y., Quispe, N., Yao, Y., Gong, A., Leiste, U.H., Bruck, H.A., Zhu, J.Y., Vellore, A., Li, H., Minus, M.L., Jia, Z., Martini, A., Li, T. ve Hu, L. (2018). Processing bulk natural wood into a high-performance structural material. *Nature*, 554, 224-228. <https://doi.org/10.1038/nature25476>
- Sözen, E. (2022). Determination of changes in the mechanical and color properties of some wood species treated with shellac, *BioResorces*, 17, 1703-1716. <https://doi.org/10.15376/biores.17.1.1703-1716>
- Sözen, E. ve Bardak, T. (2021). Determination of species of some wood veneers using machine vision. *Color Research & Application*, 46(6), 1392-1399.
- Taghiyari, H.R., Tajvidi, M., Soltani, A., Esmailpour, A., Khodadoosti, G., Jafarzadeh, H., Militz, H. ve Papadopoulou, A.N. (2021). Improving fire retardancy of unheated and heat-treated fir wood by nanosepiolite. *Holz Rohund Werkst.* 79, 841-849. <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01679-1>
- Uppanan, P., Channasanon, S., Veeranondh, S. ve Tanodekaew, S. (2011). Synthesis of GTMAC modified chitin-PAA gel and evaluation of its biological properties. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 98A, 185-191. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.33104>
- Vitas, S., Keplinger, T., Reichholf, N., Figi, R. ve Cabane, E. (2018). Functional lignocellulosic material for the remediation of copper(II) ions from water: towards the design of a wood filter. *Journal of Hazardous Materials*, 355, 119-127. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.05.015>
- Wei, X., Cai, J., Wang, C., Yang, K., Ding, S., Tian, F. ve Lin, S. (2022). Quaternized chitosan/cellulose composites as enhanced hemostatic and antibacterial sponges for wound healing, *International Journal of Biological Macromolecules*, 210, 271-281. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.05.007>
- Winandy, J.E., Rudie, A.W., Williams, R.S. ve Wegner, T.H. (2008). Integrated biomass technologies: Future vision for optimally using wood and biomass. *Forest Products Journal*, 58, 6-16.
- Xu, J., Jiang, Y., Zhang, T., Dai, Y., Yang, D., Qiu, F., Yu, Z. ve Yang, P. (2018). Synthesis of UV-curing waterborne polyurethane-acrylate coating and its photopolymerization kinetics using FT-IR and photo-DSC methods. *Progress in Organic Coatings*, 122, 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2018.05.008>
- Zhang, H., Guan, G., Lou, T. ve Wang, X. (2023). High performance, cost-effective and ecofriendly flocculant synthesized by grafting carboxymethyl cellulose and alginate with itaconic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 231, 123305, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123305>