

YEŞİL YÖNTEM İLE SENTEZLENEN METAL NANOPARTİKÜLLER İÇEREN POLİMER YÜZEY KAPLAMALARININ HAZIRLANMASI VE İNCELENMESİ

Fırat YILMAZ^{1*}, Demet TOPALOĞLU YAZICI², Buse ERDOĞAN³, Eda ÖZDURMUŞ⁴, Umut KILINÇOĞLU⁵, Sinem KIZILKAYA⁶

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği, Eskişehir,

¹ ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-9634-4438>, ² ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-9409-7397>

³ ORCID No : <https://orcid.org/0009-0003-2613-2271>, ⁴ ORCID No : <https://orcid.org/0009-0008-6031-8340>

⁵ ORCID No : <http://orcid.org/0009-0000-7580-3981>, ⁶ ORCID No : <http://orcid.org/0009-0006-2050-1998>

Anahtar Kelimeler	Öz
Antimikrobiyal Kaplama COVID-19 Hijyen Kitosan Nanoparçacık	<i>Son yıllarda hayatımızı önemli ölçüde etkileyen COVID-19 ve influenza gibi yaygın viral hastalıklar, ortak temas edilen yüzeylerden hızlı bir şekilde yayılmakta ve çeşitli enfeksiyonlara neden olmaktadır. Bu nedenle, halka açık alanlardaki yüzeylerin antimikrobiyal özellik göstermesi viral ve bakteriyel yayılımın engellenmesi açısından oldukça önemlidir. Antimikrobiyal uygulamalarda, kitosan gibi doğal polimerlerin ve metal nanoparçacıkların kullanımlarına yönelik çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmanın amacı, yeşil sentez yöntemi ile metal nanoparçacıkların hazırlanması ve hijyenik alan uygulamalarında yüzey kaplaması olarak kullanılabilecek, çevreye duyarlı yeşil kompozit filmlerin geliştirilmesi ve karakterize edilmesidir. Kaplama filmlerinin; sudaki, asidik ve bazik ortamlardaki davranışları ultraviyole (UV) spektroskopi kullanılarak incelenmiş, nem tutma kapasiteleri değerlendirilmiş ve yüzey temas açısı ölçümleri yapılmıştır. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizi ile kompozit filmlerin yüzey morfolojileri incelenmiş ve Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM) görüntüleri ile nanoparçacıkların parçacık boyutu özellikleri ve dağılımları değerlendirilmiştir. Ek olarak, hazırlanan yeşil kompozit filmlerin antimikrobiyal özellikleri, E. Coli ve S. Aureus bakterilerine karşı değerlendirilmiştir. TEM görüntüleri, nano gümüş ve bakır parçacık boyutlarının literatür verileriyle eşleştiğini göstermiştir. Hazırlanan kompozit filmlere uygulanan antimikrobiyal testler ise gümüş nanoparçacık içeren kompozit filmlerin test edilen bakterilere karşı antimikrobiyal bölge oluşturduğunu göstermiştir.</i>

PREPARATION AND INVESTIGATION OF POLYMER SURFACE COATINGS INCLUDING METAL NANOPARTICLES SYNTHESIZED BY GREEN METHOD

Keywords	Abstract
Antimicrobial Cating COVID-19 Hygiene Chitosan Nanoparticles	<i>Viral diseases such as COVID-19 which have recently affected our lives significantly and influenza which is a common viral disease spread rapidly from common contact surfaces and cause various infections. For this reason, it is very important that the surfaces in public areas show antimicrobial properties in terms of preventing viral and bacterial spread. There are studies on the use of natural polymers such as chitosan and metal nanoparticles in antimicrobial applications. The aim of this study is to prepare metal nanoparticles by green synthesis method and to develop and characterize environmentally friendly, green composite films that can be used as surface coatings in hygienic field applications. Durability of coatings in water, acidic and basic environments was determined using ultraviolet (UV) spectroscopy. Also, their moisture holding capacity was examined and their surface contact angle measurements were made. The surface morphologies of the coating composite films were examined by Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis and the particle size properties and distributions of nanoparticles were evaluated with Transmissive Electron Microscopy (TEM) images. In addition, the antimicrobial properties of the prepared green composite films were evaluated against E. Coli and S. Aureus bacteria. TEM images showed that nano silver and copper particle sizes matched with literature data. Antimicrobial tests applied to the composite films showed that composite films containing silver nanoparticles formed an antimicrobial zone against certain bacteria.</i>

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi : 02.09.2024

Submission Date : 02.09.2024

Kabul Tarihi : 12.02.2025

Accepted Date : 12.02.2025

* Sorumlu yazar: firat.yilmaz@ogu.edu.tr

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1542476>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Giriş

Geçtiğimiz yıllarda tüm dünyayı etkisi altına alan salgın, bilim insanlarını benzer tehditlere karşı alternatif çözümler bulmaya yönlendirmiştir. İlaç bileşimleri, aşı çalışmaları, alternatif dezenfeksiyon yöntemleri tehlikeye karşı yapılan araştırmaların odağı olmuştur. Bulaşma riskinden korunmak için öncelikle virüsün vücuttaki etki alanına ulaşım kanalları üzerine koruyucu ekipmanlar düşünülmüş ve tasarlanmıştır. Bu ekipmanlar ile önemli ölçüde başarımın sağlandığı görüldüğünde, insanların normal yaşam koşullarına dönmesi için adımlar atılmıştır. Kişilerin ortak alanlara temasında hijyen tedbir ve teknolojileri ön plana çıkmıştır.

Hijyenin tesisi için kompozit malzemelerden hazırlanan antimikrobiyal kaplamalar gibi yeni teknoloji uygulamaları geliştirilerek kullanılmaya başlanmıştır (Erkoc ve Ulucan-Karnak, 2021). Kaplama, genel olarak nesnenin yüzeyine koruyucu bir film tabaka uygulanması işlemidir ve yüzyıllardır birçok alanda kullanılmaktadır. Kaplamaların temel amacı, yüzeyi korozyon ve dış etkenlerden korumaktır. Antimikrobiyal yüzey kaplamaları, özellikle günlük hayatta sıkça temas edilen yüzeylerde bulunan mikroorganizma ve virüslerin inhibe edilmesinde oldukça önemlidir (Atacan, Güy ve Özacar, 2022). Kompozit kaplamalar içinde, destek malzemesi olarak metal nanoparçacıklar, matris yapısı olarak da doğal ya da sentetik polimerler yer alabilmektedir. Toksik olmayan, biyobozunur ve doğal bir polimer olan kitosan, elde edilebilirlik açısından dünyada selülozdan sonra en yaygın polisakkarit olması sebebiyle biyopolimerler arasında öne çıkmaktadır.

Geçtiğimiz yıllarda hayatımızı büyük ölçüde etkileyen COVID-19 ve günümüzde yaygın olarak rastlanan influenza (grip) gibi viral hastalıklar, halka açık alanlardaki yüzeylere temas edilerek daha hızlı yayılmakta ve enfeksiyona sebep olmaktadır (Kim, Lee ve Joung, 2021). Dolayısıyla, ortak temas edilen yüzeylerin antiviral özellik taşıması ve bu sayede viral yayılımın engellenmesi büyük önem arz etmektedir (Rakowska ve diğ., 2021). Kitosan, antibakteriyel özellikte bir polimerdir (Li ve Zhuang, 2020). Ayrıca, nanoteknoloji ve malzeme bilimi kapsamında yapılmış olan mevcut araştırmalar, metal ve metal oksit nanoparçacıkların antibakteriyel etki gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu kapsamda, yeni ve etkili antimikrobiyal ajanların geliştirilmesi için kullanılan gümüş (Ag), bakır (Cu), altın (Au), titanyum (Ti) ve çinko (Zn) gibi metallerin, yüzey kaplamalarında kullanılabilirliği büyük önem arz etmektedir (Hoseinzadeh ve diğ., 2017). Bu noktada, yüzey uygulamalarında metal nanoparçacıkların kullanımı ön plana çıkmaktadır. Ancak metal nanoparçacıkların, reaksiyona girme eğilimlerinin yüksek olması nedeniyle organik ya da inorganik bileşenler ile birleştirilerek

kompozit halinde kullanımları önerilmektedir (Das Jana ve diğ., 2020).

Genel olarak, geçiş metali nanoparçacıkların sentezi için fiziksel ve kimyasal yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır (Anwar ve diğ., 2021). Bu teknikler pahalı olabilmekte ve bazıları, çevreye zararlı kimyasalların kullanımını gerektirmektedir. Zararlı kimyasalların kullanımını içermeyen yöntemlere yönelik farkındalığın artmasıyla birlikte metal nanoparçacıkların sentezi için çevre dostu yeşil sentez yaklaşımının geliştirilmesi söz konusu olmuştur. Bitkilerin ve bitki özlerinin yeşil sentezde kullanılabilmeleri, tek adımlı bir yöntem olarak uygulanabilmeleri, uygun maliyet, patojenite ve çevre dostu olma gibi avantajlarının bulunması nedeniyle yeşil sentez yöntemleri popülerlik kazanmıştır (Alabdallah ve Hasan, 2021).

Metaller içerisinde gümüş, iyileştirici özelliğinden dolayı yüzyıllardır üzerinde çalışılan bir metal olmuştur ve çok düşük konsantrasyonlardaki gümüşün insan vücudu için toksik olmadığı belirlenmiştir (Galdiero ve diğ., 2011). Gümüş nanoparçacıkların eşsiz fiziksel ve kimyasal özellikleri bulunmaktadır. Bununla birlikte, virüslere karşı güçlü adsorpsiyon kapasitesi oluşturan gümüş nanoparçacıklar, kendileriyle kimyasal reaksiyonlar üretmek üzere etkileşime giren birçok bakteri türü ve çeşitli virüsler üzerinde güçlü antibakteriyel ve antiviral aktivite özellikleri göstermektedirler (Sinclair ve diğ., 2021; Zhang, Fan, Sun, Chen ve Zhang, 2021). Ancak, gümüşün bir virüs olarak kullanımı konusunda oldukça az çalışma vardır (Rakowska ve diğ., 2021). Öte yandan, bakır nanoparçacıklar, son dönemde farklı yöntemler kullanılarak sentezlenmiş ve bu nanoparçacıkların birçok mikroorganizma üzerinde etkinlik testleri gerçekleştirilmiştir. Amer ve Awwad (2021), limon ekstraktı kullanarak sentezledikleri bakır nanoparçacıkların antibakteriyel aktivitelerini incelemişlerdir. Yapılan analizler, hazırlanan bakır nanoparçacıkların, E. Coli ve S. Aureus patojenik bakterilerine karşı mükemmel bir antibakteriyel aktivite sergilediğini göstermiştir. Bu doğrultuda, limon ekstraktı kullanılarak, yeşil sentez yöntemiyle elde edilmiş bakır nanoparçacıkların, düşük maliyetli ve mükemmel antibakteriyel aktivite ile çevre dostu olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada, gümüş ve bakır nanoparçacıklar yeşil sentez yöntemiyle elde edilmiş olup, hazırlanan nanoparçacıklar, yardımcı bileşenler aracılığıyla kitosan doğal polimeri ile birleştirilerek yeşil kompozit film haline getirilmiştir. Çalışmanın ilk aşaması olan nanoparçacıkların hazırlanması sırasında, gümüş iyonlarının (Ag^+), gümüş nanoparçacıklara (Ag^0) indirgenmesi için aloe vera ekstraktı; bakır iyonlarının (Cu^{+2}), bakır nanoparçacıklara (Cu^0) indirgenmesi için ise domates ekstraktı kullanılmıştır. Çalışmada;

nanoparçacık hazırlama aşamasında kullanılan yeşil sentez yönteminin detayları ve kompozit film üretimindeki optimizasyon süreçleri ile ilgili yeni bir reçetelendirme yapılmış olup, reçetelerdeki bileşenleri içeren kompozitlerin bu amaçla metal yüzeyine kaplandığına, ulaşılabilen araştırmalarda rastlanamamıştır. Hazırlanan nanoparçacıkların SEM ve TEM görüntüleri alınmış, yeşil kompozit filmlere antimikrobiyal analizler uygulanmış ve farklı özelliklerdeki çözücülerin film kaplamalara etkisi incelenmiştir. Hazırlanan film kaplamalar ile hijyenik ortam tesisine alternatif bir çözüm önerilmiştir.

2. Yöntem

2.1. Materyal

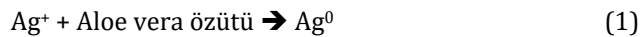
Çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuş olup, nanoparçacıkların hazırlanması aşamasında gümüş nitrat (AgNO_3) (Sigma-Aldrich), bakır sülfat (CuSO_4) (BDH Chemicals); kaplama çözeltilerinin hazırlanması aşamasında kitosan (Sigma-Aldrich), asetik asit (CH_3COOH) (Sigma-Aldrich) ve gliserin kullanılmıştır. Solanum lycopersicum (Domates) ve Aloe Barbadensis Miller (Aloe vera) yerel marketlerden temin edilmiştir. Kaplama yüzeyi olarak seçilen metal alüminyumdur ve kapı kolu malzemeleri satan yerel bir satıcıdan temin edilmiştir.

2.2. Nanoparçacıkların Hazırlanması

Gümüş Nanoparçacıkların Hazırlanması

Aloe vera bitki özütünün eldesi için; bitki, toprağın 1 cm yukarısındaki yeşil kısmından kesilmiştir. Kesilen bitki parçaları, daha küçük parçalara ayrılarak üzerine saf su ilave edilmiştir. Hazırlanan karışım, manyetik karıştırıcıda kademeli olarak 80°C 'ye ısıtılmış ve 2 saat boyunca kaynatılmıştır. Özüt, beyaz bant filtre kağıdı kullanılarak süzümüştür ve ortam sıcaklığına soğutulmuştur. Ardından, sonradan kullanılmak üzere $+4^\circ\text{C}$ 'de muhafaza edilmiştir (Arshad, Saleem, Pasha ve Sadaf, 2022).

Gümüş nanoparçacıkların eldesi için; gümüş nitrat (AgNO_3) eser miktarda deiyonize su ile karıştırılmıştır. Ardından, karışım içerisine aloe vera özütü eklenmiş ve homojen hale gelinceye kadar manyetik karıştırıcıda etkin karışma hızında karıştırılmıştır. Hazırlanan çözelti, önceden 65°C 'ye ısıtılmış ultrasonik su banyosuna alınmış ve çözeltideki renk değişimi tamamlanmaya kadar su banyosu içerisinde bekletilmiştir. Çözeltide, renk değişimi sırasında meydana gelen gümüş iyonlarının aloe vera özütü ile indirgenme tepkimesi Denklem (1) ile gösterilmiştir.

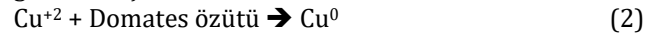


Renk değişiminin tamamlanmasının ardından çözelti, 4000 rpm hızda 15 dakika boyunca santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonunda oluşan ve içerisinde gümüş nanoparçacıkları içeren çökelek, santrifüjattan ayrılmıştır ve üç kez saf su ile yıkandıktan sonra 60°C 'de vakumlu etüvde kurutulmuştur (Tippayawat, Phromviyo, Boueroy ve Chompoosor, 2016).

Bakır Nanoparçacıkların Hazırlanması

Domates bitki özütünün eldesi için, 200 gram domates, kabukları soyularak küçük parçalara ayrılmıştır. Parçalama sonunda elde edilen püre, siyah bant filtre kağıdı kullanılarak süzümüştür. Süzüntü, 60°C 'ye ısıtılmış manyetik karıştırıcıda, etkin karışma hızında 15 dakika boyunca karıştırılmış ve ardından 15 dakika boyunca 4000 rpm hızda santrifüj edilmiştir. Santrifüj olarak ayrılan özüt, sonradan kullanılmak üzere $+4^\circ\text{C}$ 'de muhafaza edilmiştir.

Bakır nanoparçacıkların eldesi için; 0,6 gram bakır sülfat (CuSO_4), 375 mL deiyonize su içinde ortam sıcaklığında çözündürülmüştür. Çözelti, ultrasonik su banyosunda kademeli olarak 70°C 'ye ısıtılmış ve çözelti içerisine, çözelti hacmi kadar domates özütü ilave edilmiştir. Karışım, bir saat boyunca etkin karışma hızında renk değişimi gözleninceye kadar karıştırılmıştır (Batoool ve Masood, 2017). Çözeltide, renk değişimi sırasında meydana gelen bakır iyonlarının domates özütü ile indirgenme tepkimesi Denklem (2) ile gösterilmiştir.



Renk değişiminin ardından, çözelti 4000 rpm hızda 15 dakika boyunca santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonunda oluşan ve içerisinde bakır nanoparçacıkları içeren çökelek, santrifüjattan ayrılmış ve üç kez saf su ile yıkandıktan sonra 60°C 'de vakumlu etüvde kurutulmuştur.

2.3. Nanoparçacık İçeren Kompozitlerin Hazırlanması

Kompozit malzemeler polimer ile nanoparçacık koloidal süspansiyonlarının birleştirilmesi yöntemi ile hazırlanmıştır. Bunun için kısaca, kitosan %1'lik asetik asit çözeltisinde etkin karışma hızında çözündürülmüştür. Çözünme işleminin ardından, kitosan çözeltisine, kitosanın ağırlıkça iki katı kadar nanoparçacık içeren nanoparçacık-deiyonize su süspansiyonu eklenmiş ve homojen oluncaya dek karıştırılmıştır. Ardından, çözelti içerisine çözelti hacminin %10'u kadar gliserin eklenmiş ve karışım ortam sıcaklığında 20 saat boyunca karıştırılmıştır.

2.4. Metal Yüzeylerin Kompozit ile Kaplanması

2x2 cm² boyutunda kesilen ve zımparalanmış metallerin tek yüzeyi, gümüş ve bakır nanoparçacık içeren sıvı kompozite daldırılmıştır. Daldırma-kaplama yöntemi ile

metal yüzeylerinde ince bir film tabakası elde edilmiştir ve ortam sıcaklığında kurutulmuştur.

Hazırlanan kompozit kaplamalar, 1MK (Bakır nanoparçacık içeren metal kaplama) ve 2MK (Gümüş nanoparçacık içeren metal kaplama) olarak isimlendirilmiştir.

2.5. Kararlılık Testleri

Kuruyan metal yüzeylere, deiyonize su, %5'lik HCl ve %5'lik NaOH çözeltilerinin püskürtülmesi yöntemi ile kararlılık testleri gerçekleştirilmiştir. Metal yüzeyler, tüm çözücüler ile 15 cm'lik mesafeden püskürtülerek yıkanmıştır. Yıkama işlemi, her yüzey ve çözücü için 25 kez tekrarlanmıştır. Her uygulama sonrası metal yüzeyler, püskürtme sonrası kuruması için kısa süreliğine etüvde bekletilmiştir. 5, 10, 15, 20 ve 25. yıkamalarda metal yüzeyler üzerinden çözünmüş olabilecek film tabakasını tespit etmek üzere, yıkama suları Thermo Scientific GENESYS 10S UV-VIS spektrofotometresinde okutulmuştur. Bu amaçla; hazırlanan kaplama çözeltileri UV spektroskopisi cihazında 200-800 nm dalga boyları arasında taramaya tabi tutulmuştur ve maksimum absorbans değerleri belirlenmiştir. Her yıkama için üçer örnek alınarak UV okumaları yapılmış ve ortalama değerler kullanılmıştır.

2.6. Temas Açısı Ölçümü

Kaplama yapılan yüzeylerin temas açısı ölçümlerinde Attension marka Theta model optik tensiyometre kullanılmıştır. Ölçümde, cihazın enjektörü ile yüzeylerin üç farklı bölgesine birer damla saf su damlatılmıştır ve damlanın davranışı kamera ile görüntülenmiştir. Her analizin 8. saniyesindeki temas açısı değerleri kaydedilmiştir.

2.7. SEM Analizi

Hazırlanan örneklerin morfolojik karakterizasyonu ESOGÜ ARUM Laboratuvarları'nda JEOL JSM-5600LV taramalı elektron mikroskop (SEM) cihazı ile yapılmıştır. SEM görüntüleri; cihaz hızlandırma gerilimi 1,0-5,0 kV aralığında, 10-700 kat büyütme ile alınmıştır.

2.8. TEM Analizi

Gümüş ve bakır nanoparçacıkların TEM analizleri, ESOGÜ ARUM Laboratuvarlarında Hitachi marka HT7800 model cihaz kullanılarak, 100 kV hızlandırma gerilimi ve 40-200 kat büyütme oranları arasında gerçekleştirilmiştir.

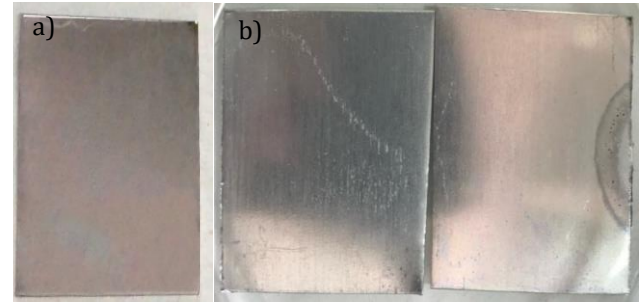
2.9. Antimikrobiyal Analiz

Hazırlanan bakır ve gümüş nanoparçacık içeren filmlerin ilk olarak kontaminasyon kontrolü yapılmıştır. Kontaminasyon kontrolü sonuçlarına göre antimikrobiyal aktivite çalışması için yeterli aseptik koşulları sağladığı görülen örnekler, disk difüzyon

metodu ile zon testi uygulanmıştır. Testlerde; inokülatif sıvı olarak fosfat tamponlu tuz çözeltisinde sulandırılmış *Escherichia coli* (E. Coli) ve *Staphylococcus aureus* (S. Aureus) kullanılmıştır. Kullanılan bakteri miktarı; McFarland 0,5/1-2,9x10⁸ CFU/mL olarak belirlenmiştir. Ekim tekniği olarak steril swab yayma tekniği kullanılmıştır. *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 bakterileri besleyici agar besiyerinde kültürlenmiştir ve 37°C'de inkübe edilmiştir. Kaplama filmleri de agar plakalarının yüzeyi üzerine yerleştirilerek inkübe edilmiştir. Mikroorganizmaların filmler ile etkileşimi, inhibisyon bölgesinin büyüklüğüne göre belirlenmiştir. Bu çalışmalar Kütahya Dumlupınar Üniversitesi İLTEM'den hizmet alımı şeklinde yürütülmüştür.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada; bakır ve gümüş nanoparçacıklar içeren polimer matrisli kompozitler hazırlanmıştır. Bu kompozitler, sık temas edildiği düşünülen temsili metal yüzeylere kaplanmıştır. Metal yüzeylerden alınmış görseller Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Metal plaka görüntüleri

a) Kaplamasız b) Kompozit film kaplı

Kaplanan metal yüzeylerin farklı çözücülere karşı tepkileri kararlılık testleriyle, yüzeylerin ıslanabilirliği ise temas açısı ölçümü ile incelenmiştir. Kompozit filmlerin morfolojik yapısı SEM ile değerlendirilmiştir. Ek olarak, metal yüzeylere kaplanan kompozit filmlerin antimikrobiyal etkinliği belirlenmiştir.

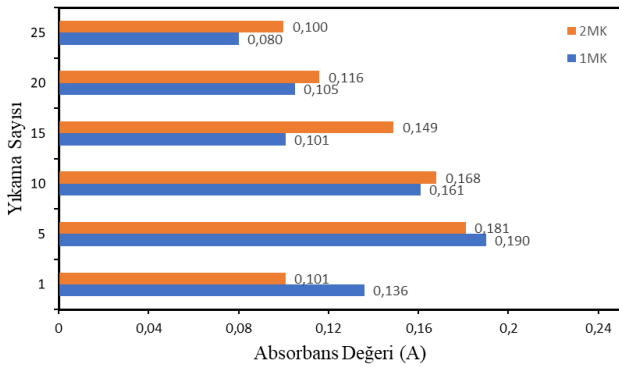
3.1. Kararlılık Testleri Sonuçları

Eşit boyutlardaki metal yüzeylere, daldırma-kaplama yöntemiyle uygulanan sıvı kompozit, kuruduktan sonra su, asidik ve bazik çözücülere karşı kararlılık testleri gerçekleştirilmiştir.

3.1.1. Suda Kararlılık Testi Sonuçları

Hazırlanan kaplamaların deiyonize su ile yıkanmasının ardından, yıkama suları, UV spektroskopisinde, maksimum absorbans değerinin elde edildiği 800 nm dalga boyunda, kör çözelti olarak deiyonize suya karşı okutularak absorbans değerleri belirlenmiştir.

Absorbans değerlerinin yıkama sayısı ile değişimi Şekil 2’de verilmiştir.

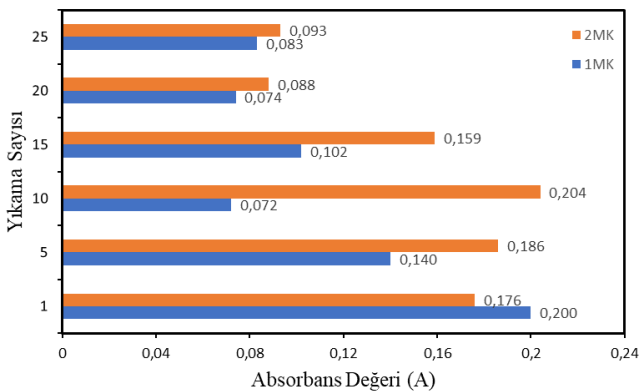


Şekil 2. Su ile yapılan yıkama sayısına karşılık absorbans değerlerinin değişimi

Bileşimleri farklı olan kompozitler ile kaplanmış metal yüzeyler su ile yıkandığında, ilk yıkamalarda (1. ve 5.) 1MK’nin absorbans değerinin 2MK’ya göre %25 ve %5 kadar daha yüksek olduğu görülmüştür. 10. yıkama ve sonrasında 2MK’nin absorbans değerlerinin 1MK’ye göre daha yüksek olduğu ve her iki kaplamanın absorbans değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Bununla birlikte, en yüksek absorbans değerinin her iki kaplama için 5. yıkamada görülmesi ortak olup. 25. yıkamada, yıkama sularından elde edilen absorbans değerleri birbirine yakındır. Bu kapsamda, saf su ile periyodik yıkamalar süresince bakır nanoparçacık içeren kaplamaların yüzeyden ayrılma oranının nispeten daha az olduğu önerilebilir.

3.1.2. Asidik Çözücülerde Kararlılık Testleri Sonuçları

Asidik çözücülere karşı kararlılık testi için kör çözelti olarak %5’lik HCl çözeltisine karşı okumalar yapılmıştır. Okunan absorbans değerlerinin yıkama sayısı ile değişimi Şekil 3’te verilmiştir.

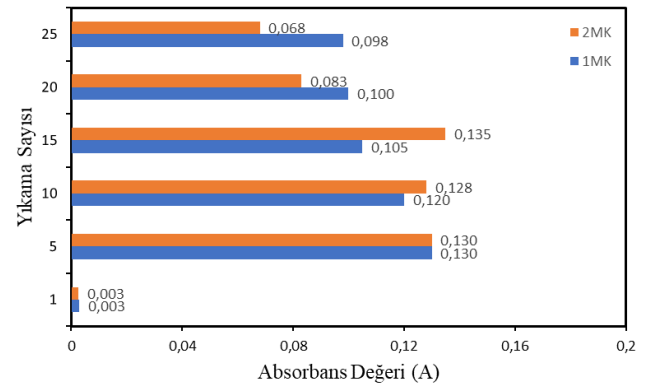


Şekil 3. Asit çözeltisi ile yapılan yıkama sayısına karşılık absorbans değerlerinin değişimi

Asit çözeltisi ile yapılan yıkama işlemleri sırasında her iki kaplamanın da ilk yıkamada su ile yıkamaya kıyasla 1MK’nin %47, 2MK’nin ise %74 daha fazla deformasyona uğradığı görülmüştür. Kompozit bileşeni olan polimerin asidik çözeltelerde daha iyi çözünmesi sebebiyle bu etki gözlenmiştir.

3.1.3. Bazik Çözücülere Kararlılık Testleri Sonuçları

Bazik çözücülere tepki testi için kör çözelti olarak %5’lik NaOH çözeltisi alınmış ve okumalar yapılmıştır. Absorbans değerlerinin yıkama sayısı ile değişimi Şekil 4’te verilmiştir.



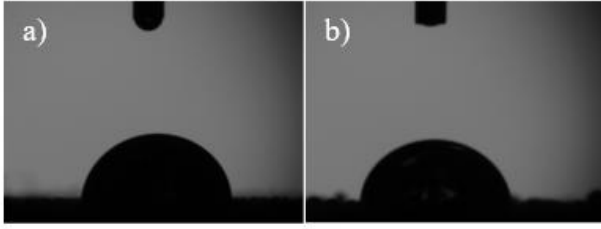
Şekil 4. Baz çözeltisi ile yapılan yıkama sayısına karşılık absorbans değerlerinin değişimi

Bazik çözelti ile yapılan yıkama işlemi sırasında her iki kaplamanın da diğer çözücülerle yapılan (su ve asit) yıkamalara göre daha az deformasyona uğradığı (ilk yıkamada su ve asit için sırasıyla; %97 ve %98.) görülmüştür. 25 kez bazik çözücü ile yıkama işlemi sonrasında, 1MK’nin 2MK’ye göre nispeten bazik çözücünden daha çok etkilendiği gözlenmiştir.

Farklı nano metal içeren polimer kaplamaların su, asidik ve bazik çözücülere maruz bırakılması ile gerçekleştirilen yüzeyde kalma kararlılığı test sonuçlarına göre, 2MK malzemesinin 1MK’ye kıyasla yüzeyden daha fazla ayrıldığı, ölçülen absorbans değerlerinden (örneğin; 15. yıkamadaki değerler temel alınarak, aynı çözücüde 2MK’nin 1MK’ye göre değişim oranı; su, asit ve baz için sırasıyla; %48, %56 ve %29 daha fazla bulunmuştur) gözlenmiştir. Burada temel etkenin, kompozit bileşenlerinden olan gümüş nanoparçacıkların boyut dağılımının bakır nanoparçacıklara göre daha geniş bir aralıkta olması ve nispeten büyük parçacıkların ince polimer kompozit kaplama içinde daha az polimer ile sarılması ve daha çok çözünmesi ile açıklanabilir.

3.2. Temas Açısı Ölçümü Analizi Sonuçları

Kaplanmış metal yüzeylerin temas açısı ölçümüne ait görüntüler Şekil 5'te verilmiştir.



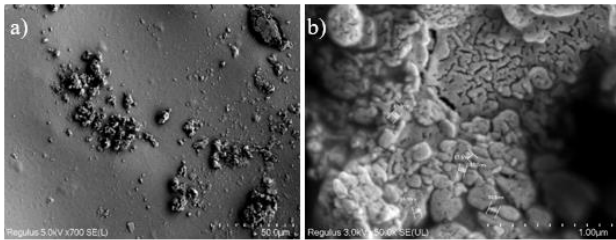
Şekil 5. Temas açısı görüntüleri a) 1MK b) 2MK

Ölçümler, metal kaplamaların yüzeyine damlatılan suyun temas açısı değerinin 80°'nin üzerinde olduğunu göstermiştir. Kaplamanın yapıldığı metal yüzeyin kaplamasız haldeki temas açısı değeri ortalama 70,15° olarak belirlenmiştir. Her iki metal kaplamanın temas açıları, kaplamasız yüzeyden daha yüksek ölçülmüş olup, ortalama temas açısı değerleri 1MK ve 2MK için sırasıyla 83,78° ve 81,75° olarak belirlenmiştir. Kaplanan yüzeyler için ölçülen bu değerlerin, hidrofobiklik sınır değeri olan 90°'ye yakın olduğu ve nano parçacık içeren polimer kompozitler ile kaplanan yüzeylerin kaplamasız yüzeye göre hidrofobik yüzey özelliğine yöneldiği gözlenmiştir.

Kaplanan yüzeylerin temas açısı değerlerinin birbirine yakın olması, kompozitlerdeki nanoparçacık türünün etkisinden daha çok, nanoparçacıkların polimer içinde dağılımlarının benzer olabileceği şeklinde yorumlanmıştır.

3.3. SEM Analizi Sonuçları

Bakır nanoparçacık içeren kompozit kaplama filmlerinin SEM görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir.



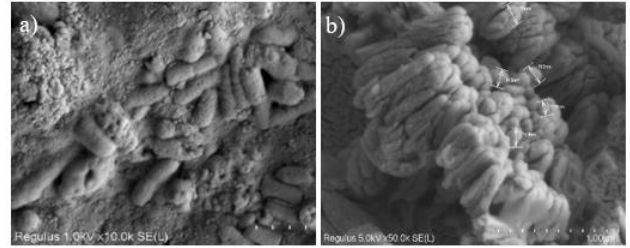
Şekil 6. Bakır nanoparçacık içeren metal kaplamanın (1MK) SEM görüntüleri a) 5,0 kV hızlandırma gerilimi ve 700 kat büyütme uygulanmıştır. b) 3,0 kV hızlandırma gerilimi ve 50 kat büyütme uygulanmıştır.

Bikdeloo, Ahsani Irvani, Roosta ve Ghanbari (2021) yapmış oldukları bir çalışmada, elde ettikleri bakır nanoparçacıkların boyutlarını SEM analiziyle yaklaşık olarak 50 nm ölçmüşlerdir. Muhammad ve diğ. (2022) ise domates kullanarak sentezledikleri bakır

nanoparçacıkların boyutlarını ortalama 52 nm olarak görüntülemişlerdir.

Bu çalışmada elde edilen bakır nanoparçacıkların SEM görüntüleri incelendiğinde ve literatür ile (Amaliyah, Pangesti, Masruri, Sabarudin ve Sumitro, 2020; Fatma, Kalainila, Ravindran ve Renganathan, 2017) kıyaslandığında, nanoparçacıkların başarılı bir şekilde sentezlendiği görülmüştür. Ek olarak, nanoparçacık boyutlarının 57-80 nm aralığında olduğu gözlenmiştir. Ölçüm sırasında bazı parçacık grupları için, topaklanma ve kümelenmenin gözlemlendiği bölgelerde net parçacık boyutlarının tespitinde zorluk yaşanmıştır. Boyut aralığı literatür verileri ile büyük ölçüde örtüşmekle birlikte bazı bölgelerde kümelenme sebebiyle 80 nm değerine ulaşıldığı düşünülmektedir.

Yeşil sentez yöntemi ile elde edilmiş gümüş nanoparçacıkları içeren kaplama filmine uygulanan SEM analizi, film yapısındaki nanoparçacık boyutlarının 121-175 nm aralığında değiştiğini ve nanoparçacıkların film yapısı içerisinde homojene yakın şekilde dağıldığını göstermiştir (Şekil 7).



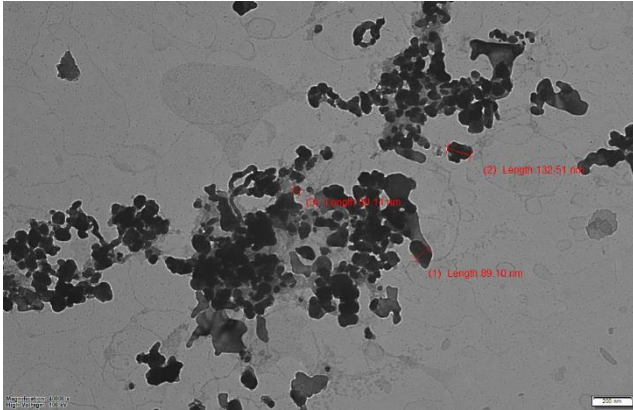
Şekil 7. Gümüş nanoparçacık içeren metal kaplamanın (2MK) SEM görüntüleri a) 1,0 kV hızlandırma gerilimi ve 10 kat büyütme uygulanmıştır. b) 5,0 kV hızlandırma gerilimi ve 50 kat büyütme uygulanmıştır.

Tippayawat ve diğ. (2016) çalışmalarında, alo vera ekstraktı kullanarak elde ettikleri nanoparçacıkların boyutlarının $70,70 \pm 22-192,02 \pm 53$ nm aralığında olduğunu belirlemişlerdir. Supriya ve Kumari (2019) ise yine alo vera kullanarak sentezledikleri gümüş nanoparçacıkların boyutlarının 49,6 ile 82,1 nm aralığında olduğunu saptamışlardır. Aloe vera kullanılarak yapılan başka bir çalışmada (Arshad ve diğ., 2022) ise sentezlenen gümüş nanoparçacıkların boyutlarının 30-80 nm aralığında olduğu belirlenmiştir. Elde edilen literatür verilerine göre, yeşil sentezle elde edilen nanoparçacıkların SEM analizi ile görüntülenmesi sonucu, boyutlarının 30-200 nm aralığında olduğu görülmektedir. Bu bakımdan, bu çalışmada elde edilen gümüş parçacıkların literatürdeki diğer çalışmalara (Kiani ve diğ., 2021; Tippayawat ve diğ., 2016) benzer, nano boyutlarda ve küresel görünüme sahip oldukları belirlenmiştir. Ek olarak, SEM görüntülerinde gümüş nanoparçacıkların varlığı, AgNO_3 sulu çözeltisindeki Ag^+ iyonlarının alo vera bitki özütü ile Ag nanoparçacıklarına indirgenmesinin başarılı bir

şekilde gerçekleştiğini göstermektedir (Tippayawat ve diğ., 2016).

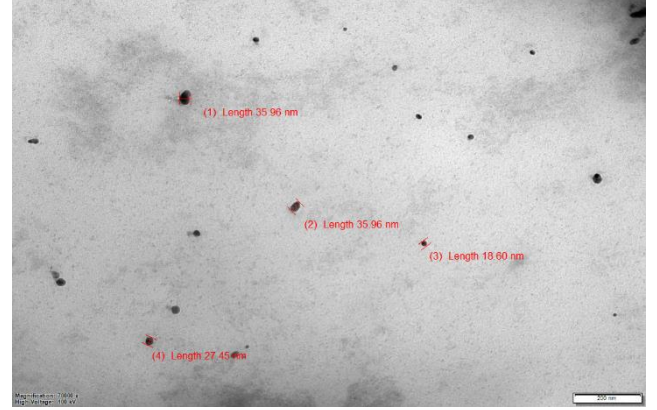
3.4. TEM Analizi Sonuçları

Çalışmada elde edilen gümüş nanoparçacıklar için gerçekleştirilen TEM analizi görüntüleri Şekil 8'de verilmiştir. Khan, Shaheen, Mahmood, Rehman ve Yaqoob (2017), aloe vera ekstraktı ile sentezledikleri gümüş nanoparçacıkların boyutlarının TEM görüntüleri yardımıyla 87 ile 100 nm aralığında olduğunu belirlemişlerdir. Ashraf, Ansari, Khan, Alzohairy ve Choi (2016) ise benzer şekilde aloe vera kullanarak sentezledikleri nanoparçacık boyutlarının ortalama 82 nm olduğunu belirtmişlerdir. Aloe vera ekstraktı kullanılarak yapılan başka bir çalışmada (Tippayawat ve diğ., 2016), nanoparçacık boyutlarının SEM ile 70–190 nm aralığında bulunduğu ve bu değerlerin TEM ölçümleri ile de büyük ölçüde uyduğu belirtilmiştir. Literatürde bulunan diğer çalışmalara bakıldığında ise elde edilen gümüş nanoparçacık boyutlarının sıklıkla 48-139 nm aralığında olduğu görülmektedir. Buradan hareketle, bu çalışma kapsamında görüntülenen nanoparçacık boyutlarının literatür verileriyle uyduğu belirlenmiştir.



Şekil 8. Gümüş nanoparçacıkların TEM görüntüsü (100 kV hızlandırma gerilimi ve 40000 kat büyütme uygulanmıştır)

Hazırlanan bakır nanoparçacıklar için gerçekleştirilen TEM analizi görüntüleri Şekil 9'da verilmiştir. Saitawadekar ve Kakde (2020), nar kullanarak elde ettikleri bakır nanoparçacık boyutlarını TEM analiziyle 2-60 nm aralığında belirlerken; Suresh, Annapurna, Bhikshamaiah ve Singh (2013) ise patates kullandıkları bir çalışmada, elde ettikleri bakır nanoparçacıkların ortalama boyutlarının 20 nm olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu çalışma ile elde edilen bakır nanoparçacıkların TEM görüntüleri ile boyutlarının 27-36 nm aralığında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 9. Bakır nanoparçacıkların TEM görüntüsü (100 kV hızlandırma gerilimi ve 70000 kat büyütme uygulanmıştır)

3.5. Antimikrobiyal Madde Analizi Sonuçları

Gümüş ve bakır nanoparçacıklar içeren kompozit filmler için kontaminasyon kontrolü ve farklı bakteriler için zone (disk difüzyon) testi gerçekleştirilmiştir.

3.5.1. Kontaminasyon Kontrolü

Antimikrobiyal testlerden önce nanoparçacık içeren kaplama film örneklerine kontaminasyon kontrolü testi uygulanarak, örneklerin antimikrobiyal testler sırasında kontaminasyon oluşturma ihtimali değerlendirilmiştir. A (bakır nanoparçacık içeren kaplama filmi), B (gümüş nanoparçacık içeren kaplama filmi) ve K (nanoparçacık içermeyen kontrol filmi) örnek filmlerine uygulanan kontaminasyon kontrolü analizi Şekil 10'da gösterilmiştir. Test sonuçları; örnek malzemelerin besleyici agar üzerinde sırasıyla 30°C'de ve 37°C'de 24 saat inkübe edilmesinin ardından, örnekler üzerinde ve çevresinde herhangi bir mikroorganizma büyümesi gözlenmediğini ve antimikrobiyal analiz için yeterli aseptik koşulları sağladıklarını göstermiştir.



Şekil 10. Kontaminasyon kontrolü testi

3.5.2. Örnekler Üzerinde Zon Testi ile Antimikrobiyal Aktivite Çalışması

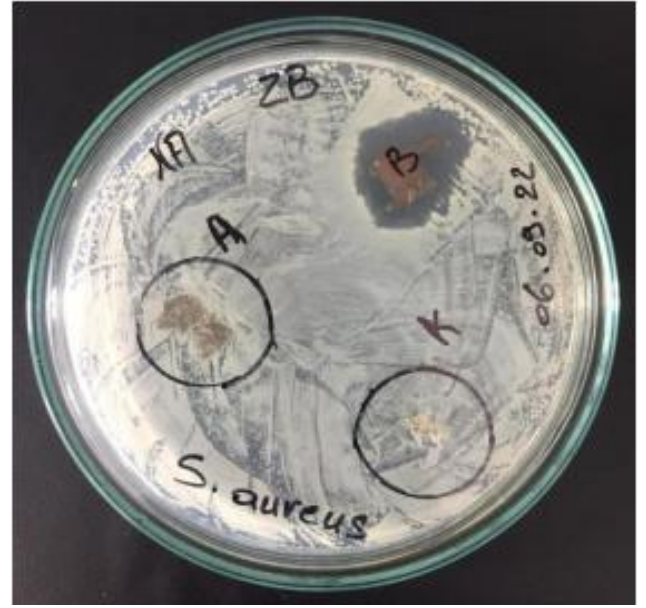
Örneklerin E. Coli Bakterisi üzerindeki antimikrobiyal aktivitesinin, zon testi ile tayini sonrasında elde edilen görüntü Şekil 11’de verilmiştir. Kaplamaların antimikrobiyal aktiviteye sahip olma durumunun tam bir değerlendirmesi için elektron mikroskoplar ile görüntüleme, minimal inhibisyon kontrolü ve CFU sayım testleri gibi ek analizler uygulanarak sonuçlar pekiştirilebilecektir.



Şekil 11. Örneklerin E. coli bakterisi üzerindeki antimikrobiyal aktivitesinin zone testi ile tayini

Zone testi ile bakır film (A) örneğinin E. Coli bakterisi üzerinde antimikrobiyal etkisinin olmadığı görülmüştür. Öte yandan, gümüş film (B) örneğinin, E. Coli bakterisi üzerinde antimikrobiyal etkisinin olduğu belirlenmiştir. Film çevresinde oluşan bölgenin oldukça temiz olması (bulanık olmaması) antimikrobiyal etkinin bakterisidal olabileceğini göstermektedir.

Örneklerin S. Aureus Bakterisi üzerindeki antimikrobiyal aktivitesinin zone testi ile tayini sonucunda elde edilen görüntü Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. Örneklerin S. aureus bakterisi üzerindeki antimikrobiyal aktivitesinin zone deneyi ile tayini

Gümüş film örneğinin (B) S. Aureus bakterisi üzerinde antimikrobiyal etkisinin olduğu belirlenmiştir. Oluşan bölgenin E. Coli bakterisinde gözlemlendiği gibi temiz olması, antimikrobiyal etkinin bakterisidal olabileceğini göstermektedir. Ayrıca, B filminin Gram (+) bakteri üzerinde Gram (-) bakterilere göre daha yüksek öldürücü etki gösterdiği tespit edilmiştir. Bu tür etkiye sahip antimikrobiyal maddelerin daha nadir olması, B filminin yüksek bulaşıcılığa sahip bakterilere karşı etkili olma ihtimalini yükseltmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışma ile; her iki metal nanoparçacığın hazırlanmasında tercih edilen yeşil sentez yöntemi üzerinde, optimizasyon çalışmaları ile sentez parametreleri belirlenmiştir ve nihai ürünlerde nanoparçacıkların elde edildiği, TEM analizleri ile kanıtlanmıştır. Elde edilen nanoparçacık boyutları literatür bildirileri ile uyumludur. Ayrıca film kaplamaların metal nanoparçacıkları içerdiği de SEM görüntüleri ile doğrulanmış ve yapıdaki dağılımları incelenmiştir. Antimikrobiyal aktivitenin ön

değerlendirmesinde, yaygın görülen bakterilere karşı denenen gümüş nanoparçacık içeren kaplama filminin antimikrobiyal etkisinin bulunduğu ve bakterisidal olabileceği görülmüştür. Kaplamaların farklı sıvı maruziyetine tepkileri ölçülmüş, her iki kaplamanın 25 yıkamaya kadar suya ve bazik sıvılara karşı daha dayanıklı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca temas açısı ölçümleri ile kaplamaların hidrofobikliğe yakın olduğu belirlenmiştir.

Enfeksiyona sebep olan mikroorganizmaların (bakteri, mantar veya diğer virüsler gibi) hastalarda birlikte görülmesinin, Covid-19 pandemi sürecine benzer şekilde, influenza gibi yaygın viral hastalıkları şiddetlendirdiği, tanı ve tedavisinde ciddi problemlere yol açtığı ve iyileşme sürecini olumsuz etkilediği belirtilmiştir (Chen vd., 2020). Zararlı mikroorganizmaların bir arada bulunmasının engellenebilmesi ve bulaşıcı hastalıkların yayılma riskinin azaltılabilmesi amacıyla, sık temas edilen yüzeylerde hijyen tesisinin önemli olacağı açıktır. Sonuç olarak çalışmada, çevreye duyarlı bileşenlerden oluşan kompozit filmlerin özellikleri incelenmiş ve metal yüzeyine kaplanmaları değerlendirilerek, nano gümüş parçacıklar içeren kompozit film kaplamaların geliştirilmesi sonrasında uygulama potansiyelinin yüksek olduğu gözlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 2209-B 1139B412101848 başvuru nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Projede Sanayi Danışmanı olarak destek veren Bugamed Biyoteknoloji Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi'ne teşekkür ederiz.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Fırat YILMAZ, deneysel sonuçların yorumlanması ve makalenin oluşturulması; Demet TOPALOĞLU YAZICI, bilimsel yayın araştırması, deneysel sonuçların yorumlanması ve makalenin oluşturulması; Buse ERDOĞAN, Eda ÖZDURMUŞ, Umut KILINÇOĞLU ve Sinem KIZILKAYA deneysel çalışmaların yürütülmesi konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Alabdallah, N. M., & Hasan, M. M. (2021). Plant-based green synthesis of silver nanoparticles and its effective role in abiotic stress tolerance in crop plants. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(10), 5631-5639. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.05.081>

Amaliyah, S., Pangesti, D. P., Masruri, M., Sabarudin, A., & Sumitro, S. B. (2020). Green synthesis and characterization of copper nanoparticles using Piper retrofractum Vahl extract as bioreductor and capping agent. *Heliyon*, 6(8). doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04636>

Amer, M., & Awwad, A. (2021). Green synthesis of copper nanoparticles by Citrus limon fruits extract, characterization and antibacterial activity. *Chemistry International*, 7(1), 1-8. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4017993>

Anwar, Y., Ullah, I., Al Johny, B. O., Al-Shehri, A. M., Bakhsh, E. M., Ul-Islam, M., Asiri, A. M., & Kamal, T. (2021). Nigella sativa L. seeds extract assisted synthesis of silver nanoparticles and their antibacterial and catalytic performance. *Applied Nanoscience*, 12(11), 3185-3196. doi: <https://doi.org/10.1007/s13204-021-02048-3>

Arshad, H., Saleem, M., Pasha, U., & Sadaf, S. (2022). Synthesis of Aloe vera-conjugated silver nanoparticles for use against multidrug-resistant microorganisms. *Electronic Journal of Biotechnology*, 55, 55-64. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2021.11.003>

Ashraf, J. M., Ansari, M. A., Khan, H. M., Alzohairy, M. A., & Choi, I. (2016). Green synthesis of silver nanoparticles and characterization of their inhibitory effects on AGEs formation using biophysical techniques. *Scientific reports*, 6(1), 1-10. doi: <https://doi.org/10.1038/srep20414>

Atacan, K., Güy, N., & Özacar, M. (2022). Recent advances in photocatalytic coatings for antimicrobial surfaces. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 36, 100777. doi: <https://doi.org/10.1016/j.coche.2021.100777>

Batoool, M., & Masood, B. (2017). Green Synthesis of Copper Nanoparticles Using Solanum Lycopersicum (Tomato Aqueous Extract) and Study Characterization. *Journal of Nanoscience & Nanotechnology Research*, 1(1), 1-5. Erişim adresi: <https://www.primescholars.com/articles/green-synthesis-of-copper-nanoparticles-using-solanum-lycopersicum-tomato-aqueous-extract-and-study-characterization.pdf>

Bikdeloo, M., Ahsani Irvani, M., Roosta, H. R., & Ghanbari, D. (2021). Green synthesis of Copper Nanoparticles Using Rosemary Extract to Reduce Postharvest Decays Caused by Botrytis Cinerea in Tomato. *Journal of Nanostructures*, 11(4), 834-841. doi: <https://doi.org/10.22052/JNS.2021.04.020>

Chen, X., Liao, B., Cheng, L., Peng, X., Xu, X., Li, Y., ... & Ren, B. (2020). The microbial coinfection in COVID-19. *Applied microbiology and biotechnology*, 104, 7777-

7785. doi: <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10814-6>
- Das Jana, I., Kumbhakar, P., Banerjee, S., Gowda, C. C., Kedia, N., Kuila, S. K., Banerjee S., Gowda C.C., Kedia N., Kulia S.K., Banerjee S., Chandra Das N., Kumar Das A., Manna I., Tiwary C.S., & Mondal, A. (2020). Copper Nanoparticle–Graphene Composite-Based Transparent Surface Coating with Antiviral Activity against Influenza Virus. *ACS Applied Nano Materials*, 4(1), 352-362. doi: <https://doi.org/10.1021/acsanm.0c02713>
- Erkoc, P., & Ulucan-Karnak, F. (2021). Nanotechnology-Based Antimicrobial and Antiviral Surface Coating Strategies. *Prosthesis*, 3(1), 25-52. doi: <https://doi.org/10.3390/prosthesis3010005>
- Fatma, S., Kalainila, P., Ravindran, E., & Renganathan, S. (2017). Green synthesis of copper nanoparticle from Passiflora foetida leaf extract and its antibacterial activity. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 79-83. doi: <http://dx.doi.org/10.22159/ajpcr.2017.v10i4.15744>
- Galdiero, S., Falanga, A., Vitiello, M., Cantisani, M., Marra, V., & Galdiero, M. (2011). Silver nanoparticles as potential antiviral agents. *Molecules*, 16(10), 8894-8918. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules16108894>
- Hoseinzadeh, E., Makhdoumi, P., Taha, P., Hossini, H., Stelling, J., & Amjad Kamal, M. (2017). A review on nano-antimicrobials: metal nanoparticles, methods and mechanisms. *Current drug metabolism*, 18(2), 120-128. doi: <https://doi.org/10.2174/138920021766616120111146>
- Khan, A., Shaheen, A., Mahmood, T., Rehman, W., & Yaqoob. (2017). Novel synthesis and characterization of silver nanoparticles from leaf aqueous extract of Aloe vera and their anti-microbial activity. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology Applications*, 1(1), 103. Erişim adresi: <http://article.scholarena.co/Novel-Synthesis-and-Characterization-of-Silver-Nanoparticles-from-Leaf-Aqueous-Extract-of-Aloe-Vera-and-their-Anti-Microbial-Activity.pdf>
- Kiani, M., Rabiee, N., Bagherzadeh, M., Ghadiri, A. M., Fatahi, Y., Dinarvand, R., & Webster, T. J. (2021). Improved green biosynthesis of chitosan decorated Ag-and Co3O4-nanoparticles: A relationship between surface morphology, photocatalytic and biomedical applications. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 32, 102331. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nano.2020.102331>
- Kim, J., Lee, H., & Joung, Y.S. (2021). Antibacterial fabric with contradictory functions of water repellency and absorbency realized by electrophoretic deposition of hydrophobic SiO₂ and hydrophilic ZnO nanoparticles. *Progress in Organic Coatings*, 161, 1-3. doi: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106455>
- Li J., & Zhuang S. (2020). Antibacterial activity of chitosan and its derivatives and their interaction mechanism with bacteria: Current state and perspectives. *European Polymer Journal*, 138, 109984. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2020.109984>
- Muhammad, A., Umar, A., Birnin-Yauri, A. U., Sanni, H. A., AR, I., & Elinge, C. M. (2022). Effect of process variables on green synthesis of copper nanoparticles from solanum lycopersicum and Psidium guajava and its antibacterial activities. *International Journal of Advanced Chemistry*, 10(1), 17-23. doi: <http://dx.doi.org/10.14419/ijac.v10i1.32045>
- Rakowska, P.D., Tiddila, M., Faruqui, N., Bankier, C., Pei, Y., Pollard, A.J., Zhang, J., & Gimore, I.S. (2021). Antiviral surfaces and coatings and their mechanisms of action. *Communications Materials*, 2(53). doi: <https://doi.org/10.1038/s43246-021-00153-y>
- Saitawadekar, A., & Kakde, U. B. (2020). Green Synthesis of Copper Nanoparticles Using Aspergillus Flavus. *Journal of Critical Reviews*, 7(16), 1083-1090. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/profile/Umesh-Kakde/publication/343318586_JOURNAL_OF_CRITICAL_REVIEWS_GREEN_SYNTHESIS_OF_COPPER_NANOPARTICLES_USING ASPERGILLUS FLAVUS/links/5f22d84d458515b729f3504e/JOURNAL-OF-CRITICAL-REVIEWS-GREEN-SYNTHESIS-OF-COPPER-NANOPARTICLES-USING-ASPERGILLUS-FLAVUS.pdf
- Sinclair, T. R., Van den Hengel, S. K., Raza, B. G., Rutjes, S. A., de Roda Husman, A. M., Peijnenburg, W. J., Roesink, H. D. W., & de Vos, W. M. (2021). Surface chemistry-dependent antiviral activity of silver nanoparticles. *Nanotechnology*, 32(36), 365101. doi: <https://doi.org/10.1088/1361-6528/ac03d6>
- Supriya, G., & Kumari, S. (2019). Green synthesis of silver nanoparticles using Aloe vera extract and assessing their antimicrobial activity against skin infections. *International Journal of Scientific Research in Biological Sciences*, 6(1), 60-65. doi: <http://dx.doi.org/10.26438/ijrsrbs/v6si1.6065>
- Suresh, Y., Annapurna, S., Bhikshamaiah, G., & Singh, A. K. (2013). Characterization of green synthesized

copper nanoparticles: A novel approach. *International Conference on Advanced Nanomaterials & Emerging Engineering Technologies*, 63-67. doi: <https://doi.org/10.1109/ICANMEET.2013.6609236>

Tippayawat, P., Phromviyo, N., Boueroy, P., & Chompoosor, A. (2016). Green synthesis of silver nanoparticles in aloe vera plant extract prepared by a hydrothermal method and their synergistic antibacterial activity. *PeerJ*, 4, e2589. doi: <https://doi.org/10.7717/peerj.2589>

Zhang, Y., Fan, W., Sun, Y., Chen, W., & Zhang, Y. (2021). Application of antiviral materials in textiles: A review. *Nanotechnology Reviews*, 10(1), 1092-1115. doi: <https://doi.org/10.1515/ntrev-2021-0072>