PROCEEDING BOOK

E-ISBN: 978-625-00-8185-3

TICMET'23

The 5th International Conference of Materials and Engineering Technology

5. Uluslararası Malzeme ve Mühendislik Teknolojileri Konferansı



13-16 NOVEMBER, 2023

PROF. DR. OSMAN TURAN CULTURE AND CONVENTİON CENTER

TRABZON - TÜRKİYE

Konferans Hakkında Detaylı Bilgi | Detailed Information About the Conference : **www.ticmet.org**

CONFERENCE OBJECTIVE

The 5th International Conference of Materials and Engineering Technology (TICMET'23) will be held on 13-16 November 2023 in partnership with Karadeniz Technical University, Hasan Kalyoncu University, and Gaziantep University.

The main purpose of TICMET'23 is to present the latest research and results of scientists related to materials and engineering technologies. This conference provides different field delegates with opportunities to exchange new ideas and application experiences, build business or research relationships, and find global partners for future collaboration. After this science feast, your abstract/full texts will be published in conference book with ISBNs and will be brought to the world of science literature with open access and significant contributions will be made to the scientific field.

In addition to the valuable speeches of the invited speakers, a special R&D session will be held at the Conference. It is expected that the R&D session will be a very productive session with the participation of academicians, industrialists and students from universities.

The conference organizing committee is pleased to invite prospective authors to send their original texts to TICMET'23. All papers will be reviewed and evaluated by the referees in the field, based on their technical and/or research content depth, accuracy, relevance to the conference, contributions, and readability. Selected papers presented at the conference will be published in conference book as an abstract and then will be proposed for publication in one of the following journals:

* IEEE Transactions on Engineering Management (SCI)
* Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences (Sigma) (E-SCI)
* Acta Mechanica et Automatica (E-SCI)
* Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies (JSCMT) (TR Dizin)
* Turkish Journal of Materials (TJOM)
* Turkish Journal of Electromechanics and Energy (TJOEE)
* International Journal of Materials and Engineering Technologies (TIJMET) (Dergipark)

(The publication of selected papers in journals is not guaranteed. The extended version of the selected papers recommended to the journals must be submitted to the journal by the corresponding author. Afterwards, the publications will be subjected to an additional refereeing process. No additional fees will be charged by the Journals)

PROGRAM COMMITEES

Honorary Chair

Prof. Dr. Hamdullah Çuvalcı, Karadeniz Technical University – TR

Prof. Dr. Türkay Dereli, Hasan Kalyoncu University - TR

Prof. Dr. Arif Ozaydin, Gaziantep University – TR

Chair

Prof. Dr. Necip Fazıl Yılmaz, Gaziantep University – TR

Organizing Committee

Prof. Dr. Necip Fazıl Yılmaz, Gaziantep University - TR

Prof. Dr. Mehmet Lutfi Yola, Hasan Kalyoncu University – TR

Prof. Dr. Bülent Öztürk, Karadeniz Technical University – TR

Prof. Dr. Sultan Öztürk, Karadeniz Technical University – TR

Prof. Dr. Ümit Alver, Karadeniz Technical University – TR

Prof. Dr. Ömer Necati Cora, Karadeniz Technical University – TR

Assoc. Prof. Dr. Temel Varol, Karadeniz Technical University – TR

Assoc. Prof. Dr. Ersin Yener Yazıcı, Karadeniz Technical University – TR

Assoc. Prof. Mustafa Ergin ŞAHİN, Recep Tayyip Erdoğan University - TR

Assist. Prof. Dr. Kürşat İçin, Karadeniz Technical University – TR

Prof. Dr. Khair Jadaan, University of Jordan – JO

Prof. Dr. Ahmad Sakhrieh, American University of RAS Al Khaima – UAE

Prof. Dr. Metin Bedir, Gaziantep University - TR

Prof. Dr. Ali Riza Yildiz, Uludag University - TR

Prof. Dr. Mustafa Bakkal, Istanbul Technical University - TR

Prof. Dr. Erdem Cüce, Istanbul Technical University - TR

Assoc. Prof. Dr. Halil Ibrahim Kurt, Samsun University - TR

Assist. Prof. Dr. Erhan Durur, Gaziantep University - TR

Dr. Musa Yılmaz, Gaziantep University - TR

Lect. Aykut Bilici, Gaziantep University – TR

Hakan Yılmaz, Secreteriat – TR

Mücahit Doğan, Secreteriat – TR

OPTIMIZATION OF SPECIFIC COMPRESSION STRENGTH OF ABS SAMPLES PRODUCED WITH FDM BY TAGUCHI METHOD
OĞUZ TUNÇEL 120

FARKLI KAPLAMA YÖNTEMLERİYLE YÜZEYİ CuO NANOPARTİKÜLLERLE MODİFİYE EDİLMİŞ 316L PASLANMAZ ÇELİK PARÇALARIN YÜZEY VE KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ
GİZEM KARABULUT, NURAY BEKÖZ ÜLLEN 130

METAL ESASLI NANOYAPILARLA KAPLANMIŞ 316L PASLANMAZ ÇELİK YÜZEYİNİN KAPLAMA MORFOLOJİLERİNİN İNCELENMESİ
GİZEM KARABULUT, NURAY BEKÖZ ÜLLEN 139

HOMOJENİZASYON VE YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMLERİNİN Al-40Zn-3Cu ALAŞIMININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ
MUHAMMET UZUN, SADUN KARABIYIK, YASİN ALEMDAĞ 147

GROWTH OF COMPOSITE COATINGS ON AL2024 ALLOY BY MICRO ARC OXIDATION MAO METHOD
AYSU KILIÇ, BÜLENT ÖZTÜRK, SÜLEYMAN ŞÜKÜROĞLU, EBRU EMİNE ŞÜKÜROĞLU 156

DISCOVERY THE STRATEGY ON ENHANCEMENT OF CARBON QUANTUM DOTS CONDUCTIVITY AS POTENTIAL FOR SUPERCAPACITOR ELECTRODE DEVELOPMENT
HARIVALAGAN SIVA KUMAR, SITI AISYAH SHAMSUDIN 163

EFFECTS OF SILVER SOURCE SOLUTION MOLARITY ON THE ELECTROLESS SILVER COATING OF RECYCLED TI-GRADE 4 PARTICLES
TEMEL VAROL, SERHATCAN BERK AKÇAY, ÜMİT ALVER, MURAT BEDER 164

RAPID TOOL MANUFACTURING FOR LOW PRESSURE INJECTION MOLDING USING DLP 3D PRINTING: A CASE STUDY
ÖMER EYERCİOĞLU, DIMA BABI 173

EFFECT OF CARBON FIBER ADDITIVE ON TENSILE PROPERTIES OF LARGE SCALE ADDITIVE MANUFACTURED (LSAM) ABS SINGLE WALL PARTS
OMER EYERCIOGLU, ENGIN TEK, MEHMET ALI AKELOGLU, MEHMET ALADAG 181

FARKLI KAPLAMA YÖNTEMLERİYLE YÜZEYİ CuO NANOPARTİKÜLLERLE MODİFİYE EDİLMİŞ 316L PASLANMAZ ÇELİK PARÇALARIN YÜZEY VE KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

GİZEM KARABULUT [*1], NURAY BEKÖZ ÜLLEN [1]

[1] Istanbul University-Cerrahpasa, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, İstanbul, Turkiye.

Özet

316L paslanmaz çelikler, biyomedikal malzeme uygulamalarında uygun maliyeti ve kolay bulunabilirliğinin yanısıra biyouyumlu bir metal olması nedeniyle tercih edilen östenitik paslanmaz çeliktir. Ancak biyouyum özelliğinin arttırılması, gelişebilecek reaksiyonları en aza indirmek ve çeşitli özellikler kazandırmak amacıyla son yıllarda yüzey kaplama uygulamaları ön plana çıkmıştır. Bakır oksit nanopartiküller (CuO NP'ler) nano boyutta sergiledikleri özellikler nedeniyle son zamanlarda kaplama uygulamalarında dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, CuO NP'ler biyopolimerik matris içerisinde maça çayı özü ile ultrasonik ses dalgası destekli yöntemle hazırlanmış ardından damlatma ve püskürtme kaplama yöntemleriyle yüzeye kaplanmıştır. Sentezlenen CuO NP'lerin fizikokimyasal ve morfolojik özellikleri, TEM ve XRD yöntemiyle incelenmiştir. Kaplanan yüzeyler SEM, profilometre, yüzey pürüzlülük ölçümleri ile incelenerek morfolojik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca farklı yöntemlerle hazırlanmış kaplamaların korozyon incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, CuO NP'lerin her iki yöntemle de başarılı şekilde yüzeyi kapladığı, ancak püskürtme kaplama yönteminde homojen ve daha küçük boyutlu şekilde NP'lerin dağılım gösterdiği görülmüştür. Her iki yöntemde de CuO NP'lerin 316L paslanmaz çelik altlıkların korozyon dayanımını arttırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Bakır oksit nanopartikül, sonikasyon, püskürtme kaplama, yüzey modifikasyonu

1. Giriş

Kemiğe uygun elastik modül, yüksek çekme dayanımı ve akma dayanımı özelliklerine sahip olmaları nedeniyle kemik implantasyonu uygulamalarında yaygın kullanılan metalik biyomalzemeler paslanmaz çelikler, titanyum alaşımları ve kobalt bazlı alaşımlarından oluşmaktadır [1,2]. Paslanmaz çelikler korozyon dayanımı nedeniyle kullanılan, demir esaslı ağırlıkça %10,5'tan daha fazla krom içeren birbirinden farklı birçok çeliğin genel adıdır [3,4]. Paslanmaz çelikler yüksek birim şekil değiştirme özelliğinin yanı sıra kolay bulunabilirlik ve uygun maliyeti nedeniyle biyomedikal uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir [3]. 17-4 çökelme sertleşmeli paslanmaz çelik, 316, 316L, 304 ve 302 alaşımları biyomedikal uygulamalarda tercih edilirler [3–5]. Bunlar içerisinde 316L paslanmaz çelik biyoimplant uygulamalarında ön plana çıkmaktadır. İçeriğinde ağırlıkça %17-19 Ni ve 2,25-3% Mo bulundurması nedeniyle korozyon özelliği gelişmiştir [3]. Buna ek olarak "L" ile belirtilen düşük karbon içeriği (ağırlıkça %0,03'ten daha az) krom karbürlerin oluşma olasılığını düşürerek

korozyon özelliğini daha da arttırmaktadır [6,7]. γ-yüzey merkezli kübik yapıya sahip östenitik paslanmaz grubundan olan 316L paslanmaz çeliğinin mikroyapısı yüksek tokluk sağlamasının yanı sıra ısıl işlem ile sertleştirilebilmesi, işlenebilirliği ve manyetik olmamaları nedeniyle tercih edilirler [3–5]. Cerrahi uygulamalarda tercih edilmesinin en önemli nedeni Co-Cr ve titanyum bazlı alaşımlara göre daha uygun maliyetli olmasıdır [3]. Biyomalzeme olarak kullanılan metallerin birçok uygulamada tercih edilmelerine neden olan üstün özelliklerinin yanı sıra vücut sıvıları ile temas sonrası korozyona uğrama risklerinden dolayı biyouyumluluklarının az olması, metal iyonu vererek alerjik doku reaksiyonlarına sebep olmaları, yüksek yoğunlukları ve dokulara göre sert olması gibi dezavantajları da kullanım alanlarını sınırlamaktadır [8]. Bu nedenlerden dolayı, vücutta kullanılan metalik biyomalzemelerin yüzeylerinin modifikasyonu önem kazanmıştır. Yüzeyde yapılan iyileştirilmelerle yüzeyde oluşabilecek oksitlenme reaksiyonları yavaşlatılır, vücut sıvısı içinde metalin çözünmesi en az seviyeye çekilebilir ve implant edildiği bölgedeki dokuya biyolojik olarak yeterince tutunması sağlanır.

Bu çalışmada, 316L paslanmaz çeliğin korozyon dayanımını geliştirmek amacıyla biyopolimerik matrisli CuO NP'ler yeşil bir yöntemle sentezlenmiştir. Damlatma ve püskürtme olarak iki farklı kaplama yöntemiyle yüzeyler modifiye edilerek morfolojik özelliklerinin yanı sıra elektrokimyasal davranışları Ringer çözeltisi içerisinde incelenmiştir.

2. Malzeme ve Yöntem

2.1. Malzemeler

Maça çayı (*Camellia sinensis*) tozu Arpaş Arifoğlu Pazarlama Dağıtım ve Ticaret A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Bakır (II) sülfat pentahidrat ($CuSO_4.5H_2O$), sodyum hidroksit (NaOH) (moleküler ağırlık: 40.00 g/mol) ve etanol (EtOH, saflık ≥%99.4) Merck (Almanya) firmasından temin edilmiştir. Polietilen glikol 400 (PEG400) (moleküler ağırlığı: 400kDa) Fluka (İsviçre) firmasından temin edilmiştir. 316L paslanmaz çelik Birçelik A.Ş firmasından 28 mm çap ve 1 m uzunluğunda temin edilmiştir. Firma tarafından verilen kalite belgesine göre temin edilen 316L tavlama işlemi uygulanmış ve soğuk işlem görmüştür. Kullanılan 316L paslanmaz çelik malzemenin kalite belgesinde verilen kimyasal kompozisyonu Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 0.1: 316L paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu (ağ. %).

C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu	S	P	N	Fe
0,03	0,75	2,0	10,0-13,0	16,5-18,0	2,0-2,5	1,0	0,03	0,04	0,1	Kalan

2.2. Yöntem

2.2.1. CuO NP'lerin Hazırlanması

NP'leri sentezleme işleminde ilk olarak bitki özütü hazırlanmıştır. Maça çayı tozları birkaç kez destile su ile yıkanmıştır, ardından 50 °C'de 2 s boyunca etüv içerisinde kurutma işlemine tabii tutulmuştur. Temizlenen maça tozundan 5 g alınarak 100 mL destile su içerisine eklenmiştir. Daha sonra 3 gün sabit bir konumda ağzı kapalı steril kap içerisinde 27 °C sıcaklıkta karanlık bir ortamda bekletilmiştir. Son olarak numune önce dekante edilip kaba filtre kağıdı ile süzülmüştür, böylece maça özütü (Mat) elde edilmiştir. NP'lerin yüzey enerjisinin fazla olması topaklaşma ve oksidasyon gibi kararsız durumlara neden olduğundan, her iki NP'in sentezlenmesinde de stabilizasyonu arttırabilmek için polimer matris olarak PEG kullanılmıştır. Hazırlanan 20 mL bitki

özütü içerisine 0,1 g PEG ilave edilmiş ve 500 rpm hızda 10 dak karıştırılmıştır. 0,0424 g $CuSO_4.5H_2O$ 50 mL destile su içerisinde çözündürülmüş ve 10 dak 27 °C sıcaklıkta karıştırılmıştır. 0,2 g NaOH 50 mL destile su içerisinde çözünmüştür ve 10 dak 27 °C sıcaklıkta karıştırılmıştır. NaOH solüsyonundan 3 mL ve $CuSO_4.5H_2O$ solüsyonundan 50 mL Pasteur pipeti yardımıyla damla damla olacak şekilde Mat/PEG çözeltisi içerisine eklenmiş ve 27 °C sıcaklıkta, 10 dak boyunca ve 500 rpm hızda karıştırılmıştır. Son olarak, 30 dak boyunca %50 genlikte sonikasyon işlemi uygulanmıştır ve işlem sonunda solüsyon 0,22 µm steril filtre ile süzülmüştür. Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere steril bir kap içerisinde karanlık ortamda oda sıcaklığında (27 °C) saklanmıştır.

2.2.2. 316L Paslanmaz Çeliklerin Kaplanması

316L paslanmaz çelik kaplama için talaşlı imalat tekniği ile kesilmiştir. Parçaların kesilmesi, Bor Kesici Takım ve Makine San. Tic. Ltd. Şti.'de gerçekleştirilmiştir. Altlık malzemelerin kesimi X ve Z eksenli, 550 mm işleme derinliğine ve 3000 rpm kesme devrine sahip ortogonal yüzey tornalama tezgâhında (YouJi Machine Industrial Co. Ltd.) yapılmıştır.

Gerek kesme işlemi, gerekse dış etkenlerden kaynaklı parçaların yüzeyinde bulunabilen toz, kir, yağ ve küçük parçacıkların kaplama işlemi öncesinde temizlenmesi yüzey kaplama kalitesini önemli derece etkilemektedir. Bu nedenle, kaplama prosesi öncesinde tüm altlık parçaları, 120 W ultrasonik güce sahip 3 L hacimli ve dijital göstergeli Isolab marka ultrasonik banyoda, oda sıcaklığında, 20 Hz frekansta titreşimli olarak 10 dak paslanmaz çelik tel sepet içerisinde derinlemesine temizlenmiştir. Temizleme işlemi sonrası tüm parçalar etüv içerisinde 60 °C sıcaklıkta 10 dak süre ile kurutulmuştur.

Damlatma yöntemiyle kaplama işleminle Pasteur pipeti yardımıyla hazırlanan NP solüsyonlarından 3 mL alınarak, altlık yüzeyi üzerine tüm yüzeyi üzerine damlatılmıştır. Tüm parçalara aynı sayıda ve homojenliği sağlamak için tüm parçaların aynı yerlerinde 4 farklı noktadan damlatma ile kaplama yapılmıştır. Ardından yüzeyi kaplanmış parçalar etüv içerisinde 60 °C sıcaklıkta 1 s kurutulmuştur. Püskürtme yöntemiyle kaplama işleminde piston tipi airbrush kompresör kiti (Model: AS186) kullanılmıştır. Püskürtme tabancasının nozul ucu 0,2 mm'dir. Hazırlanan kaplama solüsyonları hazneye doldurulmuş ardından tüm altlık yüzeylerine hazırladığımız bir yardımcı düzenek ile 75 mm mesafeden 3 bar basınçta ve 4 sn süre ile püskürtülmüştür. Kaplama sonrası parçalar etüv içerisinde 60 °C sıcaklıkta 1 s kurutulmuştur.

2.2.3. Karakterizasyon Çalışmaları

Mat/PEG-CuO NP'lerin boyut ve şekillerinin incelenmesinde, 40-120 kV gerilime sahip x200,000 HRC x600,000 HR modunda büyütmelere sahip, 0,204 nm (100 kV) çözünürlük sağlayan Hitachi High Tech HT7700 TEM cihazı kullanılmıştır. Mat/PEG-CuO NP'lerin kristalin yapısının incelenmesi için Cu-Kα ışını ile 40 kV ve 15 mA değerlerinde 10° ile 80° arasında tarama yapabilen Rigaku D/Max2200/PC XRD cihazı kullanılmıştır.

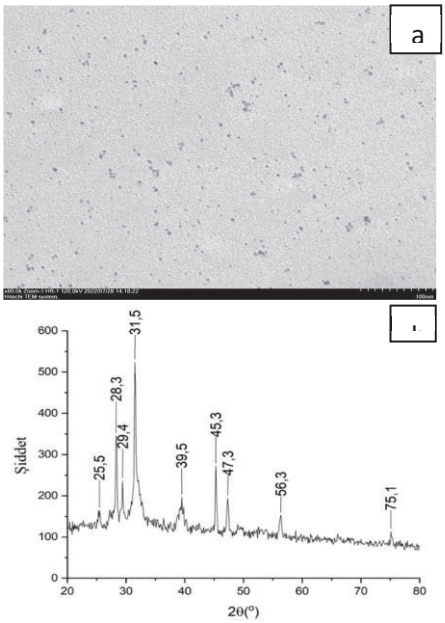
Mat/PEG-CuO NP'ler ile püskürtme ve damlatma teknikleri ile kaplanan numunelerin üzerindeki NP'lerin dağılımı, boyutları ve morfolojilerinin incelenmesi Schottky Thermal Field Emitter elektron kaynağına sahip 0,02-30 kV potansiyel aralıklarında çalışabilen Zeiss-Sigma 300 SEM cihazında yapılmıştır. Kaplanmış numunelerin yüzey profilleri, yüzeydeki kaplamanın kalınlık ve dağılım incelemeleri 640x480 piksel çözünürlüğe ve entegre renkli CCD kameraya sahip Kla Tencor Stylus Profiler P7 profilometre cihazı ile yapılmıştır. Kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin elektrokimyasal korozyon davranışı incelemeleri bilgisayar bağlantılı bir potansiyostat (Interface, Gamry) ile bulunan Ringer solüsyonu içerisinde oda sıcaklığında

yapılmıştır. Ringer çözeltisi (pH=5,9) iki Ringer tableti (Merck Company) ve 1000 mL destile su içerisinde manyetik karıştırıcı ile hazırlanmıştır. Korozyon ölçümleri için geleneksel üç elektrotlu sistem kullanılmıştır. Sistemde numuneler çalışma elektrodu, yüksek yoğunluklu grafit karşı elektrot ve standart doymuş kalomel elektrot (SCE) referans elektrot olarak kullanılmıştır. Verilerin analizi Framework ve Echem Analys Gamry yazılımları ile yapılmıştır. İlk olarak, numuneler bakır bir tele bağlanarak epoksi reçineye gömülmüş ve düzenek hazırlanmıştır. Deney hücresinin hacmi 1000 mL olup tüm deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Elektrokimyasal korozyon ölçümleri gerçekleştirilmeden önce ilk olarak numunelerin açık devre potansiyel ölçümleri (OCP) gerçekleştirilmiştir. OCP seviyeleri, stabil bir değere gelene kadar 2-3 s süre ile ölçülmüştür. OCP eğrileri asimptotik olarak stabil bir bölgeye eriştiğinde OCP değerleri stabil kabul edilmiştir. Ardından numunelere çevrimsel polarizasyon uygulanmıştır. Maksimum potansiyel +250 mV'a kadar polarize edip daha sonra ters yönde -250 mV'a kadar polarize edilmiştir, 1,0 mV/min tarama hızıyla Tafel ölçümleri yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. CuO NP'lerin Karakterizasyon Sonuçları

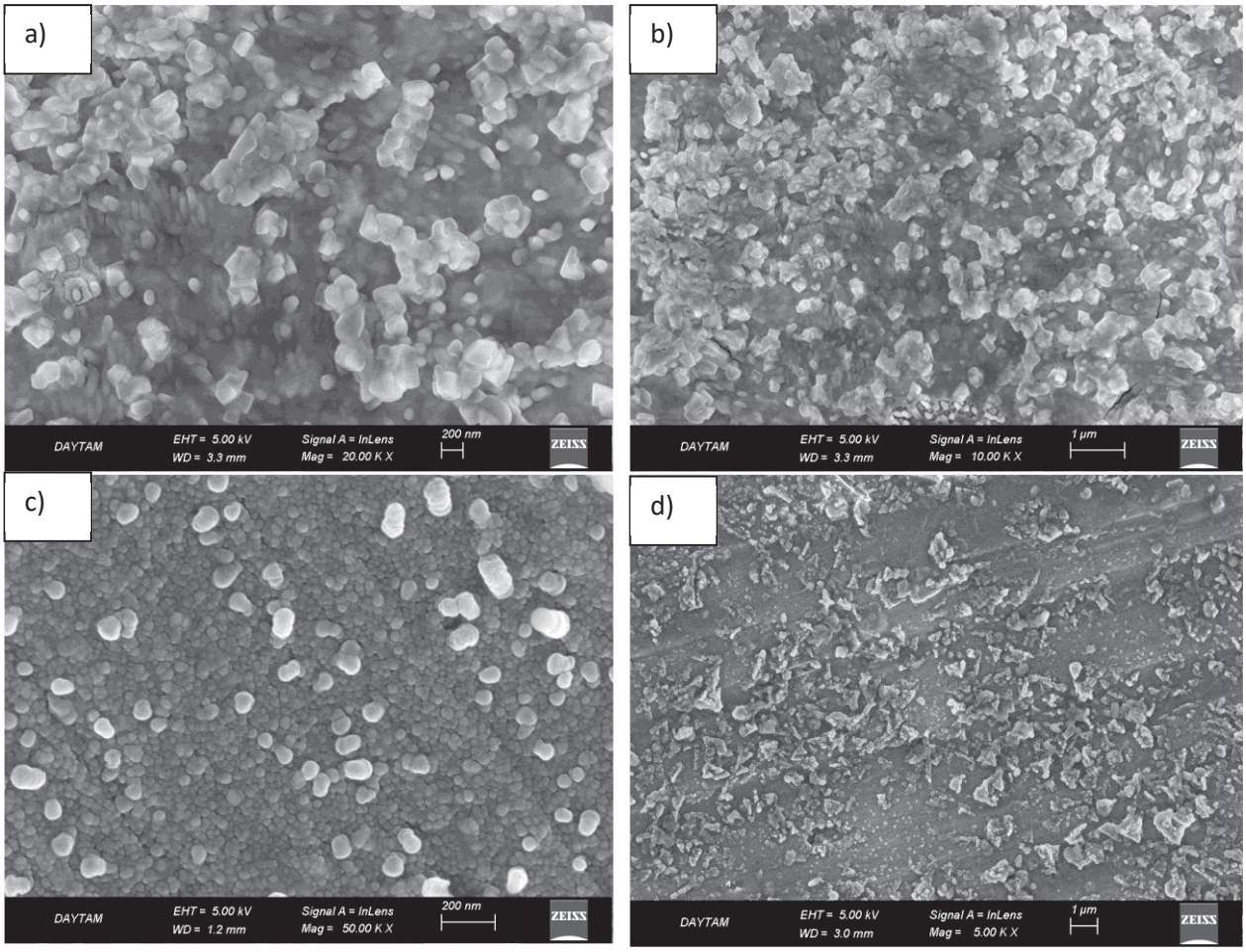
Maça çayı özütü ile hazırlanan CuO NP'lerin kollodial çözeltiler içerisinde yapılan TEM incelemeleri sonucu elde edilen görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir. Sentezlenen CuO NP'ler oldukça küresel bir morfolojiye sahip, boyutları ortalama olarak 20 nm olduğu ve oldukça homojen bir dağılım sergilediği belirlenmiştir. NP'lerin birbirinden farklı büyüklüklerde taneciklerden oluşan polidispers bir dağılım gösterdiği ve belirgin bir kümeleşme olmadığı da TEM görüntülerinden anlaşılmaktadır. CuO NP'lerin XRD grafiği Şekil 1'de verilmiştir. Bragg saçılmalarına karşılık gelen CuO NP'lerin karakteristik pikleri 31,5°, 39,5°, 45,4°, 47,3°, 56,3° ve 75,1°'de meydana gelmiştir. Oluşan bu pikler sırasıyla (110), (111), (-112), (-202), (021) ve (222) düzlemlerinin kırınımlarına denk gelmektedir. Bu kırınım desenleri CuO NP'lerin monoklinik yapıda olduğunu göstermektedir. 25,5°, 28,3° ve 29,4°'lerde oluşan pikler ise matris fazındaki organik yapılardan kaynaklanmaktadır [9]. CuO NP'lerin kırınım deseni kart numarası 04-015-5865 olan JCPDS dosyasıyla eşleşmektedir. Debye-Scherrer denklemi kullanarak hesaplanan CuO NP'lerin kristal boyutu 33,17 nm olarak bulunmuştur.



Şekil 1. CuO NP'lerin a) TEM görüntüsü b) XRD grafiği

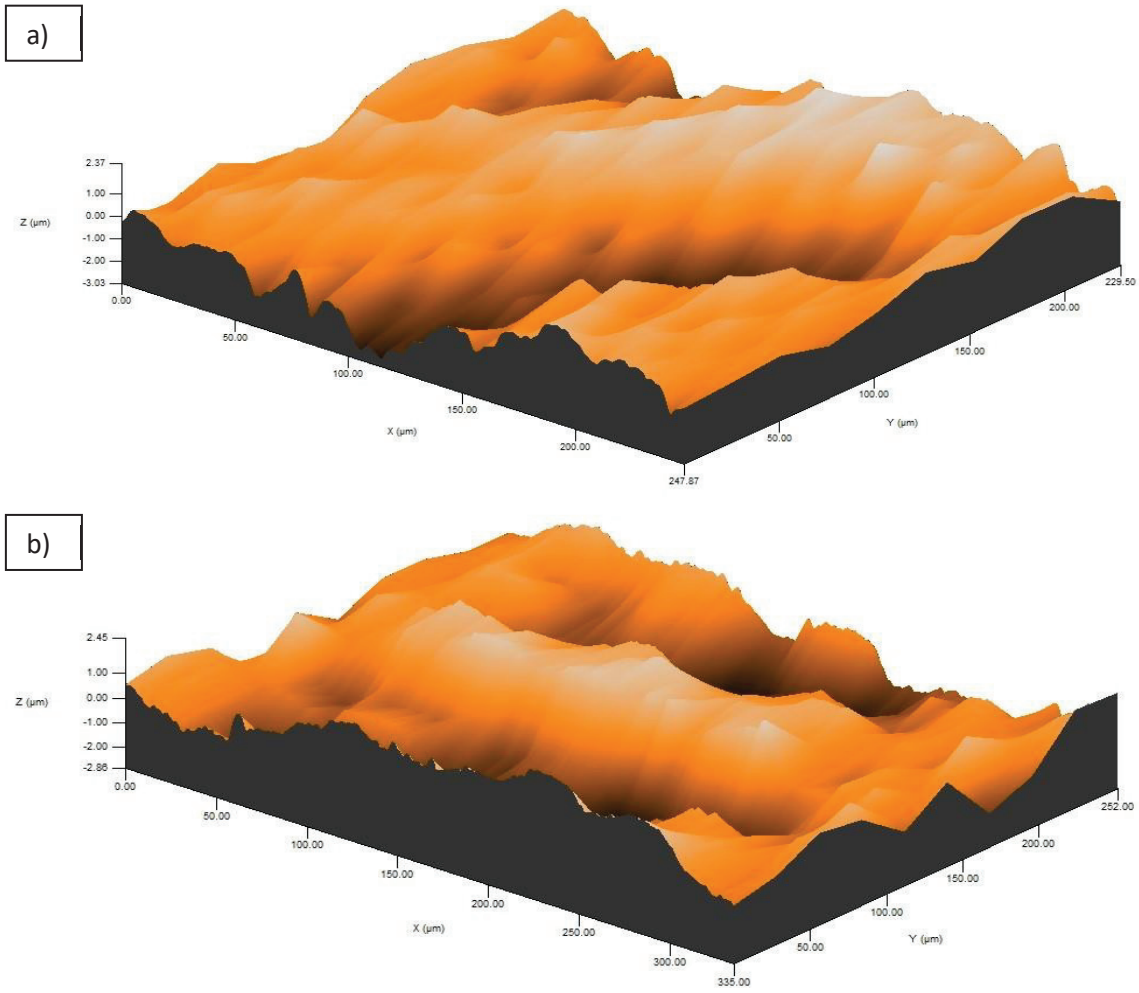
3.2. CuO NP'ler ile Kaplanan Yüzeylerin Karakterizasyon Sonuçları

CuO NP'lerle farklı yöntemler kullanılarak 316L altlıklarına gerçekleştirilen kaplamaların SEM görüntüleri Şekil 2'de verilmiştir. Damlatma yöntemiyle kaplanmış numunelere ait SEM görüntüleri incelendiğinde, NP'lerin boyutlarının 60-100 nm arasında değiştiği, küresele yakın ve kübik şekillerde olduğu belirlenmiştir. Daha küçük büyütmede incelendiğinde tüm yüzeyde iki farklı şekildeki NP'lerin olduğu ve NP'lerin homojen dağıldığı daha net görülmektedir. Yüzeyde çok az oranda görülen mikro düzeydeki çatlaklar ise kaplama sonrası numune yüzeylerinin kurutulması aşamasında yaşanan ısıl değişimlerden kaynaklanmaktadır. Püskürtme yöntemiyle kaplanmış numuneye ait SEM görüntülerinde, yüzeydeki NP'lerin oldukça küresel formda olduğu, yaklaşık 50-70 nm arasında boyuta sahip olduğu ve homojen bir dağılım sergilediği görülmektedir. Görüntüye geniş planda bakıldığında NP'lerin yer yer kümeleştiği belirlenmiştir. Ayrıca numunenin kesimi esnasında oluşan kesme çizgileri de belirgin şekilde görülmektedir. Literatürde CuO NP'lerle gerçekleştirilen kaplama çalışmaları oldukça azdır. Tavakoli ve diğ. [10], yaptıkları çalışmada hidrofobik özellikli polidimetilsiloksan (PDMS)-SiO_2-CuO nanokompozit ile 316L paslanmaz çelik yüzeyi modifiye ederek, yüzey özelliklerinin değişimini incelenmiştir. Yapılan çalışmada da CuO NP'lerin düzensiz şekilli olarak yüzeyde nispeten kümelenmiş bir dağılım gösterdiği görülmüştür.



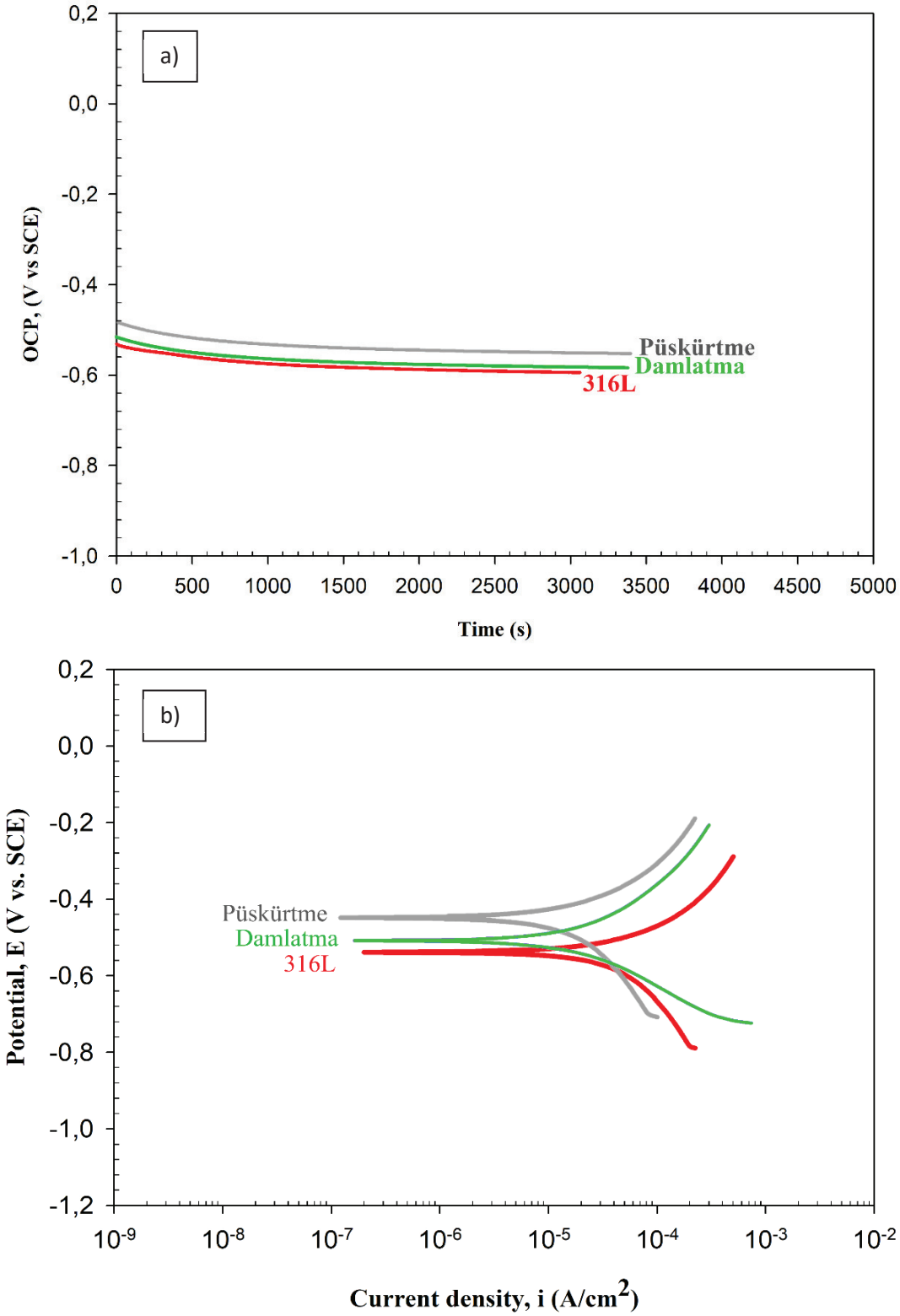
Şekil 2. Damlatma kaplama yöntemiyle hazırlanan yüzeylerin SEM görüntüleri a) x20.000 b) x10.000 ve Püskürtme kaplama yöntemiyle hazırlanan yüzeylerin SEM görüntüleri c) x50.000 d) x5.000

Kaplamanın değerlendirilebilmesinde kaplama kalınlığı ve kaplama yüzeyinde dağılımının tespit edilmesi oldukça önemlidir. CuO NP'ler ile farklı kaplama teknikleri kullanılarak yüzeyi modifiye edilen çelik malzemelerin, kaplama kalınlıkları ve kaplamanın dağılımı 3 boyutlu yüzey profilometresi ile detaylı olarak incelenmiştir. Şekil 3'te damlatma ve püskürtme yöntemleri ile CuO NP'lerle kaplanmış 316L altlıkların yüzey profilometre görüntüleri verilmiştir. Damlatma yöntemiyle kaplanmış numunelerde kaplama kalınlığı 5,4 µm, püskürtme yöntemiyle kaplanmış numunelerde ise kaplama kalınlığı 5,31 µm olarak bulunmuştur. CuO NP'ler ile kaplanan 316L numunelerde kaplama kalınlığı her iki yöntemde de birbirine oldukça yakındır ve NP'lerin dağılımı da benzer şekilde heterojen bir görüntü sergilemiştir. CNC kesme işleminden dolayı meydana gelen kesme çizgileri her iki numunede de belirgindir.



Şekil 3. a) Damlatma ve b) püskürtme yöntemleriyle hazırlanmış numunelerin yüzey profilometre görüntüsü.

Farklı yöntemler kullanarak CuO NP'ler ile 316L altlığın yüzeyinin kaplanmasının korozyon dayanımını nasıl etkilediği elektrokimyasal polorizasyon testleri ile incelenmiştir. Kaplanmamış ve kaplanmış numuneler ilk olarak OCP ölçümüne tabi tutulmuş ardından Tafel ölçümleri gerçekleştirilmiştir. OCP eğrileri herhangi bir malzemenin bulunduğu ortamda kararlılık durumu hakkında bilgi verir. Yüksek OCP değerine sahip malzeme o ortamda daha kararlı davranış sergiler. Tafel eğrisi ile yüzeyindeki kaplama ve zayıflayan bölgeden başlayarak meydana gelen korozyonunun elektrokimyasal tekniklerle incelenmesi, kaplamanın kalitesi ve stabilitesi hakkında bilgi alınır. Kaplanmış ve kaplanmamış 316L paslanmaz çelik numunelere ait Ringer çözeltisi içerisindeki OCP eğrisi ve Tafel eğrisi Şekil 4'te verilmiştir. Yapılan elektrokimyasal test sonuçlarında, kaplamasız, damlatma yoluyla CuO NP'lerle kaplanmış ve püskürtme yöntemiyle CuO NP'lerle kaplanmış 316L paslanmaz çelik numunelerin elektrokimyasal potansiyelleri sırasıyla -0,593 V, -0,579 V ve -0,488 V olarak bulunmuştur. Her iki kaplamanın Ringer çözeltisi içerisindeki polarizasyon davranışının kaplanmamış numune ile benzer rejime sahip olduğu, fakat kaplanmış numunelerin potansiyellerinin daha soy değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuç yüzeyi CuO NP'ler ile modifiye edilen biyometalik malzemelerin elektrolit içerisine iyon salınımının daha az olduğunu göstermektedir. İmplant olarak vücut içerisinde yerleştirilecek bir malzeme için bu sonuç oldukça önemlidir. Kullanılan implantın biyouyumluluğunu ve osteointegrasyonunu olumlu yönde etkilemektedir. Şekilden püskürtme kaplama yöntemiyle hazırlanan numunenin Ringer çözeltisi ortamında daha stabil davrandığı, Tafel eğrilerinde ise daha düşük akım yoğunluğu ve yüksek potansiyel sergilediği görülmektedir. Bu durum CuO NP'ler ile kaplamanın 316L paslanmaz çeliğin korozyon dayanımını arttırdığını göstermektedir. Tavakoli ve diğ., CuO NP'lerle yaptıkları çalışmada yapay vücut sıvısı içerisinde gerçekleştirdikleri korozyon dayanımı incelemelerinde artan CuO NP'lerin içeriğinin 316L paslanmaz çeliğin dayanımını arttırdığını belirtmişlerdir. Her iki çalışmanın sonuçları uyumludur.



Şekil 4. a) OCP eğrileri ve b) Tafel eğrileri.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada yeşil yöntemle biyopolimerik matrisli CuO NP'ler hazırlanarak 316L paslanmaz çelik yüzeyine iki farklı kaplama yöntemi olan damlatma ve püskürtme yöntemleriyle kaplanmıştır. Sentezlenen CuO NP'ler monoklinik kristalin yapıdadır ve ortalama boyut dağılımı 20 nm'dir. Her iki yöntemle de 316L paslanmaz çelik yüzeyi başarılı şekilde kaplanmıştır. Kaplama yöntemine bağlı olarak CuO NP'lerin morfolojisinin farklı olduğu görülmüştür. Korozyon dayanımı incelemelerinde püskürtme kaplama yönteminin CuO NP'lerle yüzey modifikasyonunda daha başarılı olduğu tespit edilmiştir.

Referanslar

1. Solanke, S., Gaval, V., Sanghavi, S., 2021, In vitro tribological investigation and osseointegration assessment for metallic orthopedic bioimplant materials, *Materials today: proceedings*, 44, 4173–4178.
2. Kaliaraj, G.S., Thukkaram, S., Alagarsamy, K., Kirubaharan, A.M.K., Paul, L.K., Abraham, L., Vishwakarma, V., Sagadevan, S., 2021, Silver-calcia stabilized zirconia nanocomposite coated medical grade stainless steel as potential bioimplants, *Surfaces and interfaces*, 24, 101086.
3. Hanawa, T., 2019, Overview of metals and applications, *Metals for biomedical devices*, 3–29.
4. Wilson, J., 2018, Metallic biomaterials, *Fundamental biomaterials: metals*, 1–33.
5. Ivanova, E.P., Bazaka, K., Crawford, R.J., 2014, Metallic biomaterials: types and advanced applications, *New functional biomaterials for medicine and healthcare*, 121–147.
6. Ivanova, E.P., Bazaka, K., Crawford, R.J., 2014, New Functional Biomaterials for Medicine and Healthcare, *New functional biomaterials for medicine and healthcare*, 1–226.
7. Zindani, D., Kumar, K., Paulo Davim, J., 2019, Metallic biomaterials-A review, *Mechanical behaviour of biomaterials*, 83–99.
8. Khan, M.A., Hussain, W., Hassan, N., IIyas, M., Zill-e-huma, Abbas, S.Z., Hui, L., 2021, Fabrication of Ag nanoparticles on a Cu-substrate with excellent superhydrophobicity, anti-corrosion, and photocatalytic activity, *Alexandria engineering journal*, 61, 6507–6521.
9. Karabulut, G., Beköz Üllen, N., Karakuş, S., Toruntay, C., 2023, Enhancing antibacterial and anticorrosive properties of 316L stainless steel with nanocoating of copper oxide nanoparticles, *Materials chemistry and physics*, 308, 128265.
10. Tavakoli, S., Nemati, S., Kharaziha, M., Akbari-Alavijeh, S., 2019, Embedding CuO Nanoparticles in PDMS-SiO2 Coating to Improve Antibacterial Characteristic and Corrosion Resistance, *Colloid and interface science communications*, 28, 20–28.