

Akımsız kaplama yöntemi ile Cu-Ag bimetale parçacıkların üretimi ve karakterizasyonu

Fabrication and characterization of Cu-Ag bimetal particles by electroless coating method

Temel VAROL*^{1,a}, Serhatcan Berk AKÇAY^{1,b}, Onur GÜLER^{1,c}

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 17.07.2020

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 10.02.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 25.03.2021

Öz

Bimetalek veya katmanlı malzemeler ileri mühendislik malzemeleri içinde önemli bir grup olup bu malzemeler çekirdek konumundaki parçacığın fiziksel, mekanik ve termal özelliklerinin geliştirilebildiği malzemelerdir. Bundan dolayı bu çalışmada akımsız kaplama yöntemi ile gümüş kaplı bakır bimetalek parçacıkların üretimi araştırılmıştır. Bu çalışmada ayrıca, akımsız kaplama yönteminde iyon yakalayıcı/indirgeyici ajan miktarının kaplama sonucunda elde edilen bimetalek parçacıkların fiziksel özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Gümüş kaplı bakır parçacıklarının morfolojisi, mikro yapısı ve gümüş tabaka kalınlığı taramalı elektron mikroskobu ve X-ışını kırınımı ile karakterize edilmiştir. SEM incelemeleri bakır parçacıklar üzerinde 0.873 – 2.3 µm aralığında gümüş kaplama tabakasının varlığını ortaya koymuştur. Bu sonuç akımsız kaplama yöntemiyle bakır parçacıkların üzerinde başarılı bir şekilde gümüş kaplama tabakasının sentezlenebildiğini göstermiştir. Böylece bakırın düşük maliyeti ile gümüşün yüksek termal iletkenliği ve oksidasyon direnci tek bir metal parçacık bünyesinde birleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Akımsız kaplama, Bimetalek parçacıklar, Gümüş kaplı bakır

Abstract

Bimetallic or layered materials are an important group of advanced engineering materials, which are the materials where the physical, mechanical and thermal properties of the core particle can be improved. Therefore, in this study, the fabrication of silver-plated copper bimetallic particles was investigated by electroless coating method. Moreover, in this study, the effect of the amount of ion trapping / reducing agent in the electroless coating method on the physical properties of the bimetallic particles obtained as a result of the coating was investigated. Morphology, microstructure and silver layer thickness of the silver coated copper particles were characterized by scanning electron microscope (SEM) and X-ray diffraction. SEM investigations revealed the presence of a silver coating layer on copper particles in the range of 0.873 – 2.3 µm. This result showed that the silver coating layer can be successfully synthesized on copper particles by using the electroless coating method. Thus, low cost of copper and high thermal conductivity and oxidation resistance of silver are combined in a single metal particle.

Keywords: Electroless coating, Bimetallic particles, Silver coated copper

*^a Temel VAROL; tvarol@ktu.edu.tr, Tel: (0462) 377 36 42, orcid.org/0000-0002-1159-5383

^b orcid.org/0000-0002-7492-4287

^c orcid.org/0000-0002-9696-3287

1. Giriş

Bakır, elektronik devre elamanlarında, elektrik iletim hatlarında, elektrik kontak malzemelerinde ve benzeri birçok alanda kullanılmaktadır. Metallerin oda sıcaklığındaki elektriksel iletkenlik değerleri incelendiğinde bakır, tablonun en üst sırasında yer alan gümüşten sonra en iyi elektriksel iletkenliğe sahip metal olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak gümüş ile kıyaslandığında sahip olduğu düşük oksidasyon direnci bakır esaslı malzemelerin kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır (Lin ve Chiu, 2008; Mu, vd., 2013; Polan, 1987; Poljanec ve Kalin, 2019; Rigou vd., 2012; Zhou vd., 2019). Bakır'ın oksidasyon direncini arttırmak için oksidasyon direnci daha yüksek metallerle kaplanması yâda alaşım haline getirilmesi mümkündür (Huttunen-Saarivirta ve Tiainen, 2005; Songping, 2007; Wang, 2002). Alaşım oluşturarak bakırın oksidasyon direnci iyileştirilebilse de elektriksel iletkenliği azalmaktadır (Antler, 1985). Yapılan araştırmalar, bakır parçacıkların oksidasyon direncinin ve yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi için farklı kaplama yöntemleri olduğunu göstermektedir. Yapılan bu kaplama işlemleriyle birlikte yüksek sıcaklık aralığına sahip uygulamalar da dahil olmak üzere elektrik-elektronik sektöründe yüksek maliyetli gümüş kullanımı yerine oksidasyon direnci artırılmış, yüksek elektriksel ve termal iletkenlik özelliklerine sahip gümüş kaplı bakır parçacıklarının kullanılabilceğini göstermektedir (Ang vd., 2004; Güler vd., 2019; Perelaer vd., 2008). Kaplama işlemi için fiziksel (PVD) ve kimyasal buhar biriktirme (CVD), elektrolitik kaplama ve akımsız kaplama gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bununla birlikte fiziksel ve kimyasal buhar biriktirme yöntemleri için yüksek maliyetli cihazlar gerektirmektedir (Lim vd., 2016). Elektrolitik kaplama yöntemi, akımsız kaplama yöntemi ile kıyaslandığında daha verimsiz bir yöntemdir ve elektrolitik kaplama işleminde özellikle tozların kaplanması mümkün değildir. Akımsız kaplama yöntemi ise parçacıkların kaplanması için çok uygun bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Elektrolitik kaplama işleminde kaplama tabakası homojen olarak dağılmazken, akımsız kaplama işleminde kaplama tabakası kaplanan parçanın her noktasında aynı özelliklere sahip olmaktadır. Öte yandan akımsız kaplama işlemi çok yüksek verim ve çok yüksek malzeme depolama oranlarına sahip olmasıyla da diğer kaplama yöntemlerine göre üstünlük

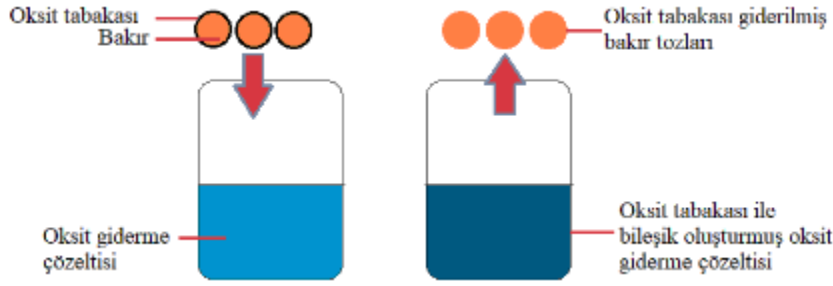
göstermektedir. Bu nedenle gümüş kaplı bakır parçacıkların üretimi için en uygun yöntemin akımsız kaplama yöntemi olduğu anlaşılmaktadır (Biswas vd., 2018; Meng vd., 2017; Rudnik ve Jucha, 2013).

Literatür incelendiğinde, akımsız gümüş kaplama yöntemi ile elde edilen bakır-gümüş bimetalik tozların kaplama tabakası, homojenitesi, kristal yapısı gibi özellikleri üzerine akımsız gümüş kaplama işlemlerinde kullanılan indirgeyici ajan yani iyon yakalayıcı miktarının etkisini inceleyen çalışmalara rastlanmamıştır. Buna bağlı olarak; bu çalışmanın amacı, indirgeyici ajan miktarının akımsız gümüş kaplama tabakasının özellikleri ve elde edilen bimetalik parçacıkların oksidasyon direncine olan etkisini incelemektir. Bu bağlamda, bu çalışmada akımsız kaplama parametrelerinden biri olan indirgeyici ajan miktarındaki değişimin, kaplama tabakasının kalınlığı ve homojenliği üzerine olan etkisi araştırılarak tüm deneylerde aynı gümüş kaynağı miktarıyla ancak farklı indirgeyici ajan miktarı ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen bimetalik parçacıkların fiziksel özellikleri detaylıca incelenmiştir.

2. Deneysel çalışmalar

Bu çalışmada ortalama toz boyutu 28 µm olan küresel bakır tozları (Makin Metal Powders (UK) Limited, saflık: 99.9) kullanılmıştır. Akımsız kaplama işleminden önce yüzeylerinde oksit bulunan bakır tozları oksit tabakalarının giderilmesi için 6 gr amonyum sülfat ((NH₄)₂SO₄), 100 mL saf su ve 50 mL amonyak (NH₃) çözeltisi kullanılarak hazırlanan sulu çözelti içerisinde karıştırma hızı 250 devir/dakika ve 40 °C sıcaklık koşullarında 5 dakika süreyle oksit giderme işlemine tabi tutulmuştur. Oksit giderme işlemi Şekil 1'de şematik olarak gösterilmektedir.

Akımsız gümüş kaplama işleminde iyon yakalayıcı (indirgeyici ajan) olarak C₄H₄KNaO₆•4H₂O kullanılmaktadır. Bu çalışmada C₄H₄KNaO₆•4H₂O miktarının değişiminin akımsız gümüş kaplanmış bimetalik tozların fiziksel özellikleri üzerine etkisi araştırılacağından dört farklı iyon yakalayıcı (indirgeyici ajan) miktarı belirlenmiştir. Belirlenen miktarlar ve deneylerin isimlendirilmesi Tablo 1'de verilmiştir.

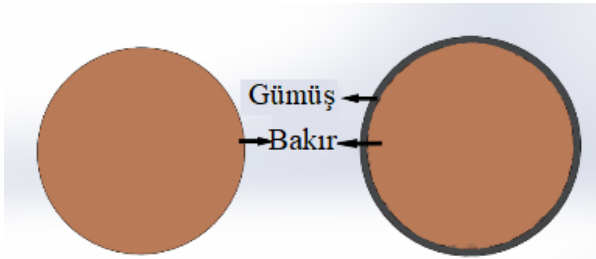


Şekil 1. Oksit giderme işlemine ait şematik gösterim.

Tablo 1. Deneylede kullanılacak indirgeyici ajan miktarları.

	Kod	C ₄ H ₄ KNaO ₆ * 4 H ₂ O	AgNO ₃	Safılık
Deney-1	D-1	0.253 gr	0.21 gr	%99.9 <
Deney-2	D-2	0.506 gr	0.21 gr	%99.9 <
Deney-3	D-3	0.759 gr	0.21 gr	%99.9 <
Deney-4	D-4	1.012 gr	0.21 gr	%99.9 <

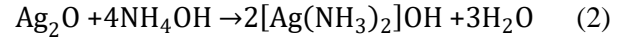
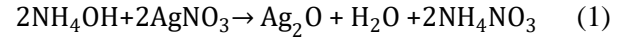
Tablo1'de belirtilmiş oranlara göre her bir deney için öncelikle belirlenen miktar ile C₄H₄KNaO₆•4H₂O 50 mL'lik sulu çözelti haline getirilmiş ve oksitten arındırılmış Cu tozları C₄H₄KNaO₆•4H₂O sulu çözeltisinin içerisine eklenerek 600 devir/dakika karıştırma hızında karıştırmaya devam edilmiştir. Akımsız gümüş kaplama işleminde gümüş iyon kaynağı olarak kullanılan AgNO₃ 50 mL'lik sulu çözelti haline getirilmiş ve 40 °C'ye ulaşana kadar 600 devir/dakika karıştırma hızı ile karıştırılmıştır. Gümüş iyon kaynağı çözeltisinin sıcaklığının 40 °C'ye ulaşması ile birlikte çözeltinin pH değerini düzenlemek amacıyla NH₄OH çözeltisi pH değeri 11 oluncaya kadar karışmakta olan çözeltiye ilave edilmiştir. Çözeltinin pH değerinin 11 olmasıyla birlikte akımsız kaplama işlemine başlanmıştır. Gümüş iyon kaynağı sulu çözeltisinin tamamının çözeltiye ilave edilmesinin ardından 30 dakika boyunca kaplama işlemi devam etmiştir. Kaplanmamış bakır tozu ve akımsız gümüş kaplama işlemi ile üretilen bimetalik parçacık Şekil 2'de şematik olarak gösterilmektedir.



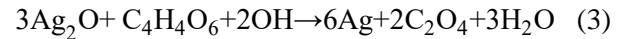
Şekil 2. Akımsız gümüş kaplanmış ve kaplanmamış parçacığın şematik görünümü.

Denklem 1 ve Denklem 2 akımsız gümüş kaplama işleminde sırasıyla pH düzenlemek amacıyla ilave edilen NH₄OH çözeltisi ile AgNO₃ çözeltisi arasındaki kimyasal tepkimeleri, Denklem 3 ise gümüş kaynağı ile iyon yakalayıcı(indirgeyici) arasında meydana gelen kimyasal tepkimeleri göstermektedir.

AgNO₃ ve NH₄OH reaksiyonları:



C₄H₄KNaO₆•4H₂O içerisine pH değeri düzenlenmiş AgNO₃ çözeltisinin damlatılması sırasında meydana gelen reaksiyon:



Akımsız kaplama işleminin tamamlanmasının ardından kaplama çözeltisi içerisinden ayrılan bimetal parçacıklar, kaplama çözeltisinin kalıntılarının iyice giderilmesi için öncelikle saf su ile üç kez yıkanmıştır. Ardından etil alkol ile yıkanan bimetal parçacıklar 70 °C sıcaklıkta koruyucu bir gaz atmosferinde kurutulmuşlardır.

Kaplanmamış Cu parçacıkları ve akımsız gümüş kaplanarak üretilmiş bimetal parçacıkların morfoloji incelemeleri Zeiss Evo LS10 marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak araştırılmıştır. Bimetal parçacıkların Elementsel Haritalama ve Noktasal Element Analizi deneyleri Edax Apex™ Octane Elite EDS System kullanılarak araştırılmıştır. Bimetal parçacıkların X ışını kırınım desenleri PANalytical marka ve

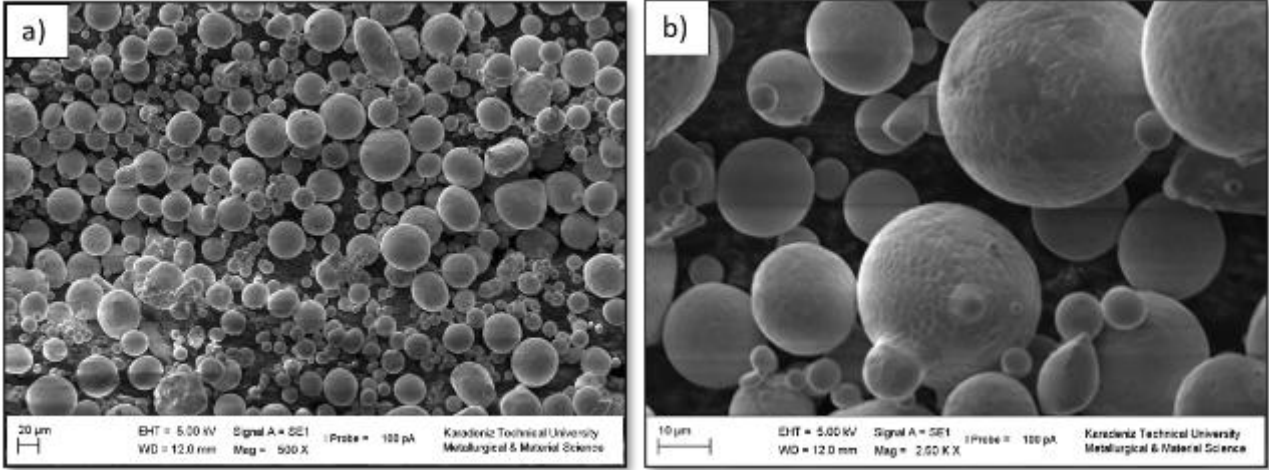
X'Pert³ Pro model X Işını kırınım cihazında 30°-85° aralığında adımı 0.01° olacak şekilde araştırılmıştır. Son olarak bakır parçacıkların ve bimetal parçacıkların oksidasyon davranışları 10 °C/dk ısıtma hızında TGA 4000 cihazı kullanılarak 600 °C sabit sıcaklıkta ve değişken sürelerde oksidasyona maruz bırakılmaları sonucunda % bağıl kütle artışları hesaplanarak belirlenmiştir.

3. Bulgular ve tartışma

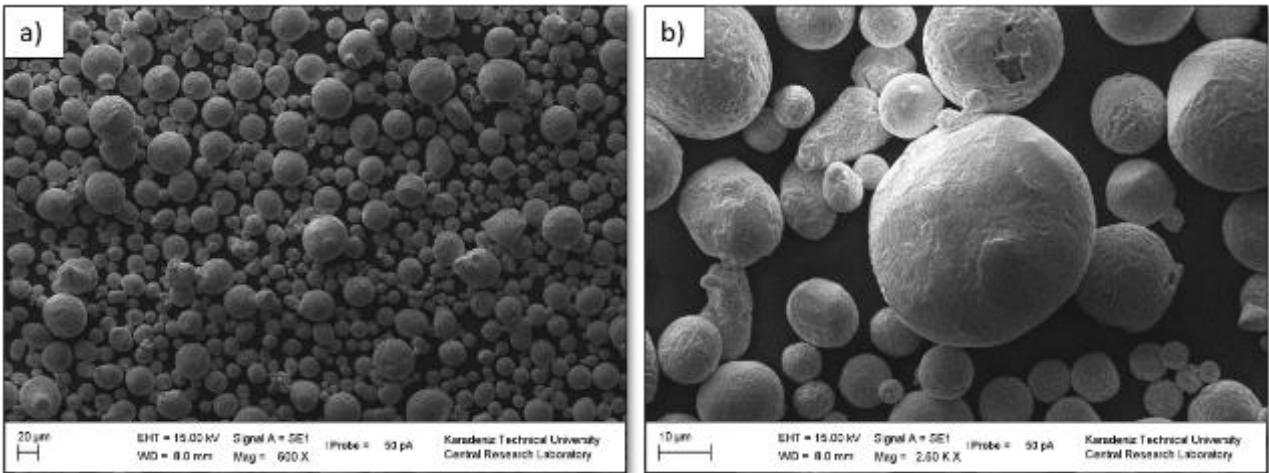
3.1. Morfoloji

Şekil 3 kaplanmamış Cu tozlarının, Şekil 4 D-1, Şekil 5 D-2, Şekil 6 D-3 ve Şekil 7 D-4 kodlu bimetalik parçacıkların küçük ve büyük büyütme ölçeklerindeki morfolojilerini göstermektedir. Şekil 3'de görülen ve kaplama işlemi uygulanmamış bakır tozlarına ait toz morfolojileri incelendiğinde yüzeylerde herhangi bir kaplama tabakası bulunmadığı ve hızlı katılma esnasında

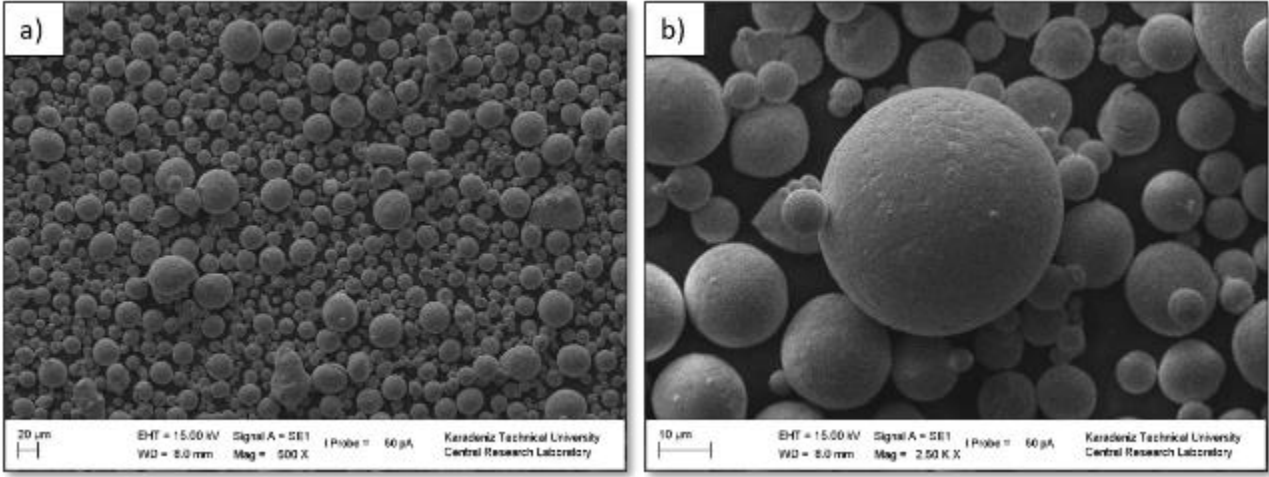
meydana gelen tane sınırları gözlemlenmektedir. Şekil 4-7'de görülen morfoloji görüntülerinde, bakır parçacık yüzeyleri üzerinde ikincil bir gümüş kaplama tabakasının olduğu ve bu gümüş kaplama tabakasının artan indirgeyici (iyon yakalayıcı) oranı değişse bile parçacık morfolojisi olan küresel morfolojiyi değiştirmedeği görülmektedir. Akımsız kaplama işlemi esnasında parçacık yüzeyleri gümüş iyonlarının yüzeyde birikmesiyle küresel morfolojiye uyumlu bir şekilde gümüş ile kaplanmıştır. Bunun sebebi, akımsız kaplama işleminde kaplanacak parça ya da parçacığın geometrisinin kaplama işlemine bir etkisi olmamasıdır. Daha açık bir ifadeyle akımsız kaplama işlemi, elektrolitik kaplamada elde edilemeyen bir sonuç olan kaplanacak olan parçacığın tüm yüzeyinde eşit bir kaplama tabakası oluşmasını sağlamaktadır. Parçacık morfolojisi incelemelerinden elde edilen önemli bir sonuç da artan indirgeyici miktarı ile bakır tozları üzerine kaplanan gümüş kaplama tabakasındaki artıştır.



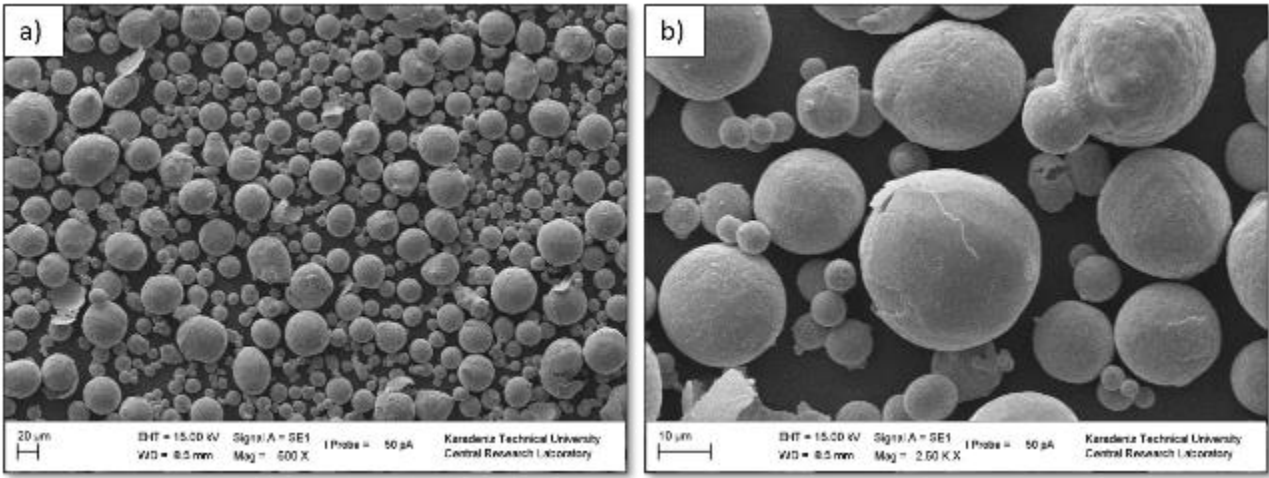
Şekil 3. Kaplama öncesi bakır tozlarına ait morfolojiler; (a) 500X büyütme, (b) 2500X büyütme.



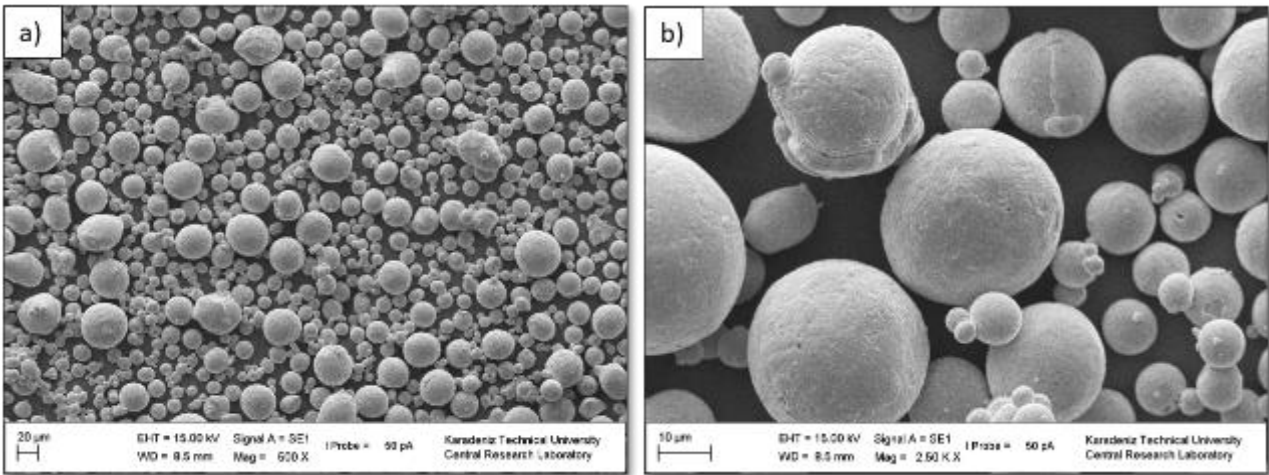
Şekil 4. D-1 kodlu bimetal parçacıklara ait morfolojiler; (a) 500X büyütme, (b) 2500X büyütme.



Şekil 5. D-2 kodlu bimetal parçacıklara ait morfolojiler; (a) 500X büyütme, (b) 2500X büyütme.



Şekil 6. D-3 kodlu bimetal parçacıklara ait morfolojiler; (a) 500X büyütme, (b) 2500X büyütme.



Şekil 7. D-4 kodlu bimetal parçacıklara ait morfolojiler; (a) 500X büyütme, (b) 2500X büyütme.

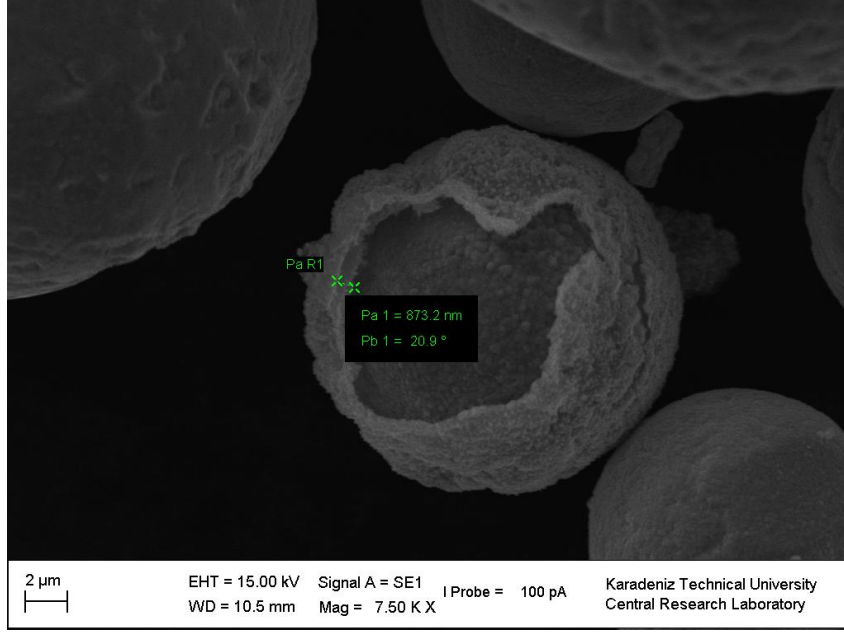
3.2. Kaplama kalınlığı

Bimetalik parçacıklar üzerinden yapılan SEM analizleri sonucunda artan indirgeyici oranı ile kaplama kalınlığının arttığı gözlemini

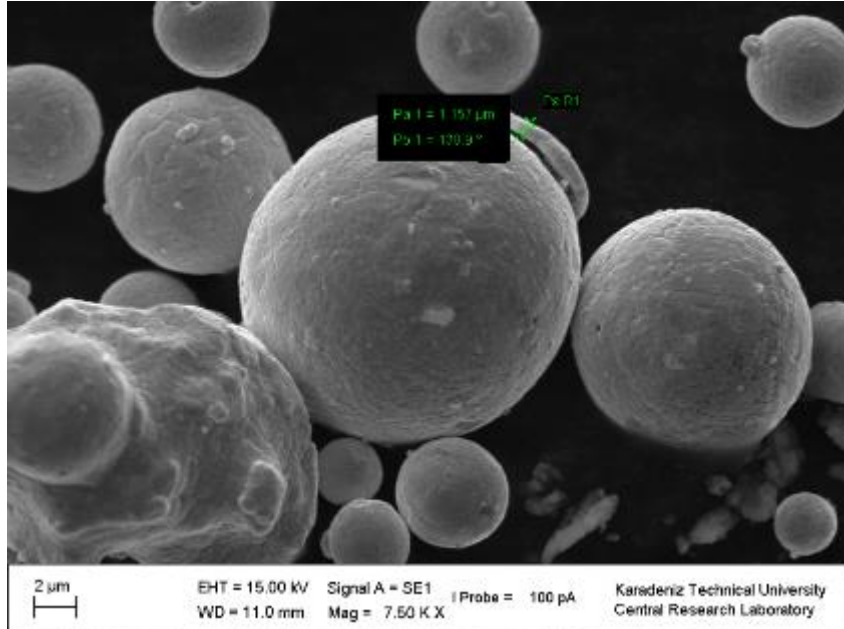
doğrulamaktadır. Bu durum gümüş kaynağı çözeltisi içerisindeki gümüş iyonlarının bakır parçacıklar üzerine indirgenerek bimetalik parçacık elde etmek için kullanılan gümüş kaynağı ve indirgeyici ajan miktarının önemini ortaya

koymaktadır. Şekil 8, D-1 deneyi sonucu üretilmiş olan bimetal parçacıklar üzerindeki kaplama kalınlığını ifade etmektedir ve 873.2 nm olarak ölçülmüştür. Şekil 9’da, artan indirgeyici oranı ile birlikte bakır parçacık üzerine indirgenen gümüş kaplama tabakası kalınlığının 1.157 μm olduğu görülmektedir. Şekil 10 incelendiğinde artan indirgeyici oranı ile birlikte bakır parçacık üzerine indirgenen gümüş kaplama tabakasının kalınlığının

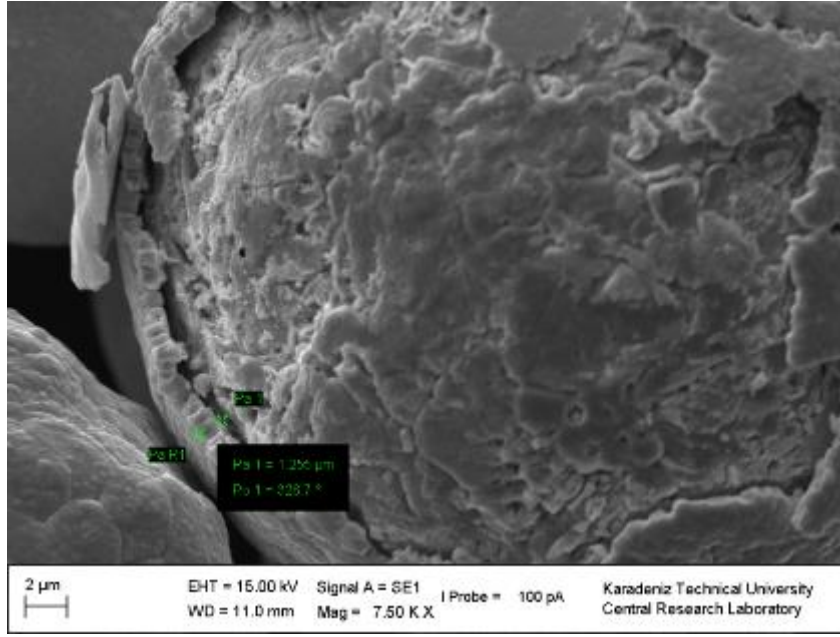
1.255 μm olarak ölçüldüğü görülmektedir. Son olarak Şekil 11’de en yüksek indirgeyici miktarı ile yapılan deney sonucunda elde edilen bimetal parçacıklar üzerindeki kaplama tabakasının 2.332 μm olarak ölçülmüştür. Elde edilen bu veriler, indirgeyici oranının miktarının artışıyla elde edilen kaplama tabakasının kalınlığının arttığını göstermektedir.



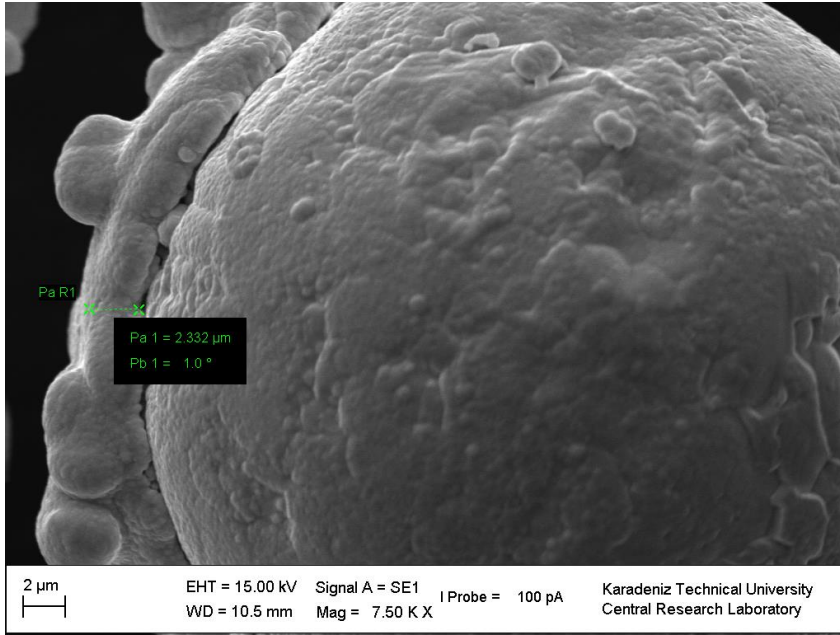
Şekil 8. D-1 kodlu bimetal parçacık gümüş kaplama tabakası kalınlığı.



Şekil 9. D-2 kodlu bimetal parçacık gümüş kaplama tabakası kalınlığı.



Şekil 10. D-3 kodlu bimetal parçacık gümüş kaplama tabakası kalınlığı.

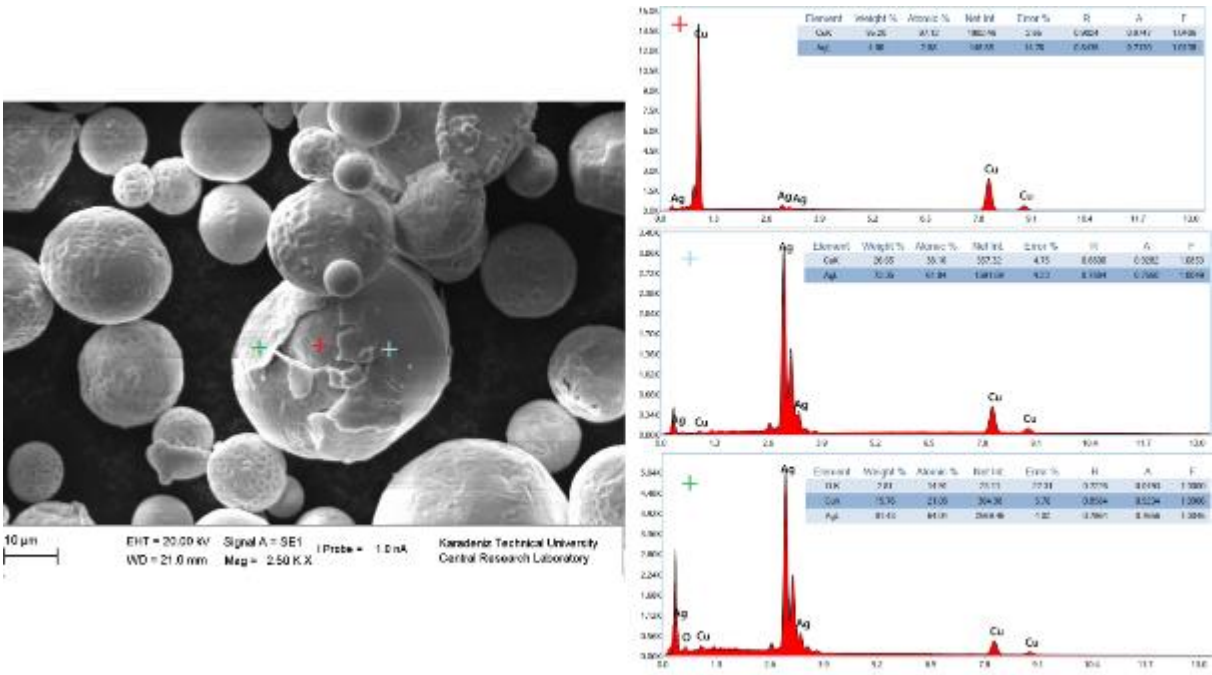


Şekil 11. D-4 kodlu bimetal parçacık gümüş kaplama tabakası kalınlığı.

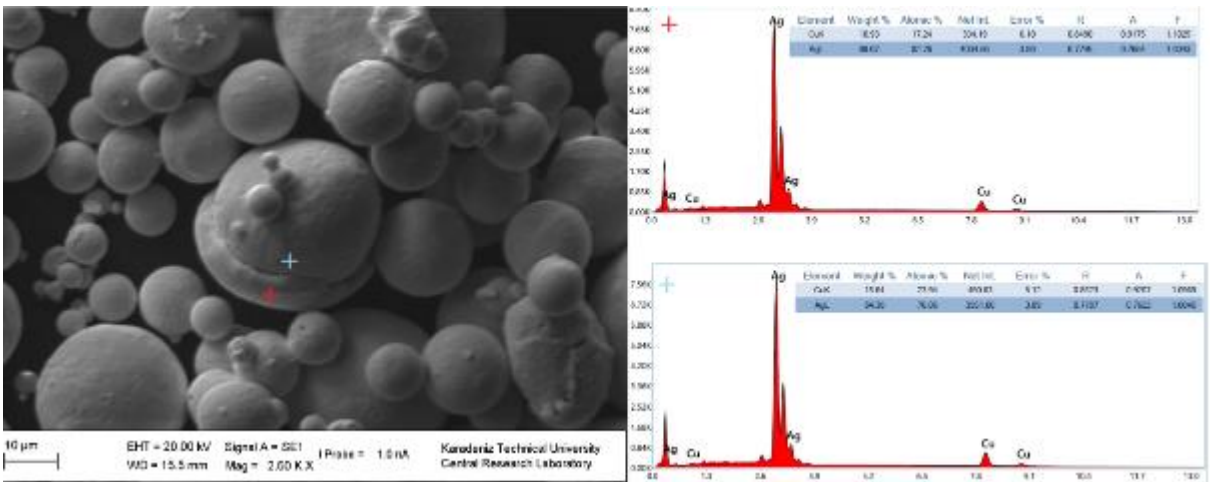
3.3. Elementel analiz

Şekil 12-15 akımsız kaplama yöntemiyle gümüş kaplanan bakır parçacıkların yüzeyleri üzerinden yapılan noktasal elementel analiz sonuçlarını göstermektedir. Analiz sonuçlarından da görüldüğü gibi çekirdek üzerinde bakır yoğunluğu yüksek iken kaplama tabakası üzerindeki malzeme bileşimi neredeyse tamamen gümüştür. Bu sonuç çalışma kapsamında gümüş kaplama tabakası

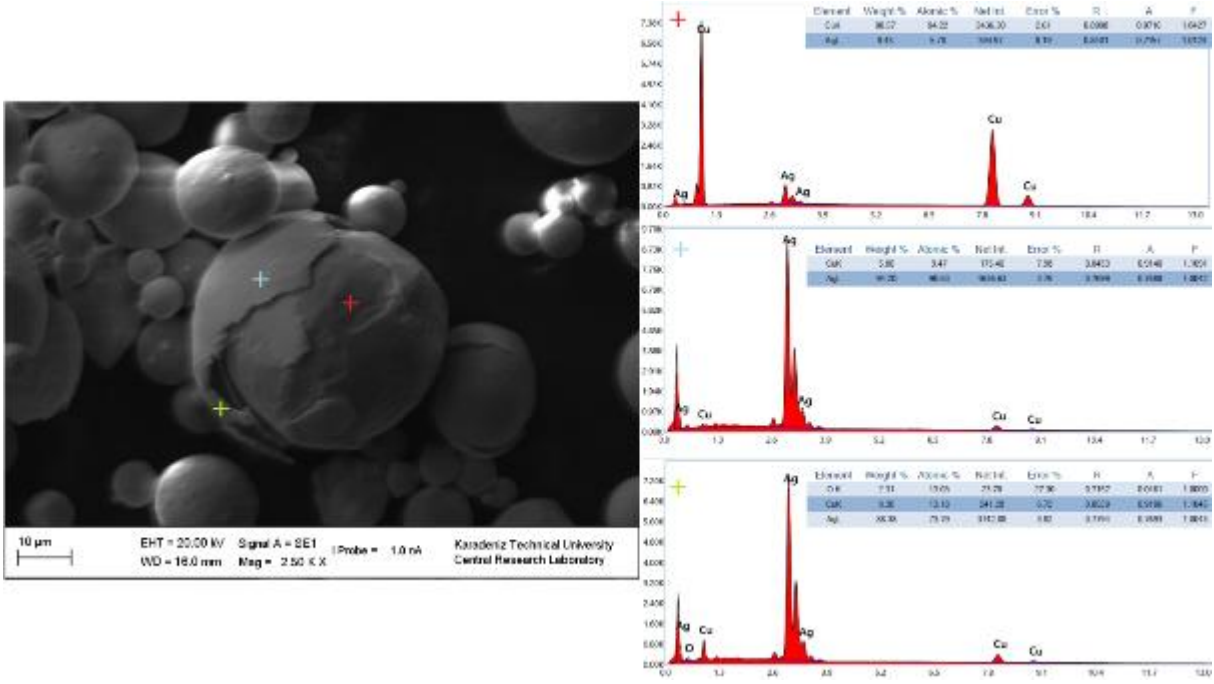
üretiminin başarısını ve akımsız kaplama yönteminin metalik toz kaplamadaki başarısını göstermektedir. Noktasal analiz sonuçlarından elde edilen bir diğer sonuç ise gümüş kaplı bakır tozlar üzerinde oksit varlığının bulunmaması (Şekil 12, 13 ve 15) veya oldukça düşük (Şekil 14) miktarda bulunmasıdır. D-3 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlar üzerinde gözlemlenen oksit varlığının sebebi mikro seviyede kaplanmamış bölge varlığıdır.



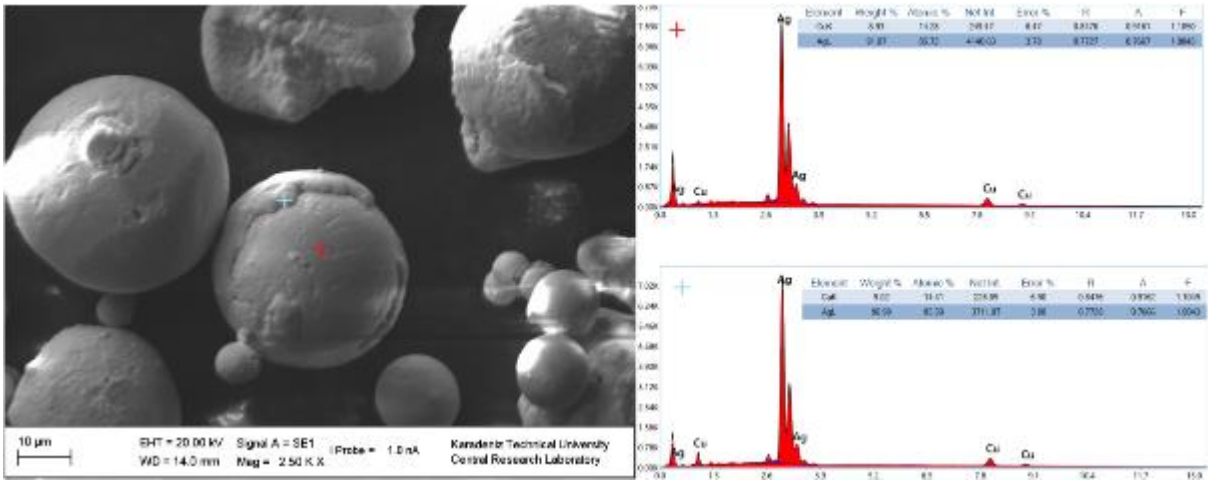
Şekil 12. D-1 kodlu bimetal parçacığın noktasal element analizi.



Şekil 13. D-2 kodlu bimetal parçacığın noktasal element analizi.



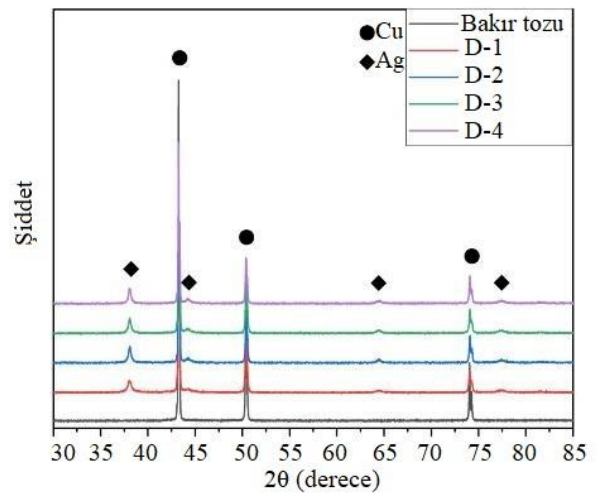
Şekil 14. D-3 kodlu bimetal parçacığın noktasal element analizi.



Şekil 15. D-4 kodlu bimetal parçacığın noktasal element analizi.

3.4. Xrd

Şekil 16 saf bakır tozu ve dört farklı deneyin X-ışını kırınım desenlerini göstermektedir. Desenler incelendiğinde D-1, D-2, D-3 ve D-4 olarak isimlendirilen deneyler sonucunda elde edilen X-ışını kırınım desenleri gümüş kaplama tabakasından dolayı saf bakır tozuna göre farklılık göstermiştir. XRD sonuçlarında herhangi bir oksit veya farklı bir metale ait kırınım desenleri gözlemlenmemiştir. Gümüş kaplama kalınlığı arttıkça X-ışını kırınım desenlerinde gümüş elementine ait kırınım desenleri daha belirgin bir şekilde görülmektedir. Bu nedenle D-2, D-3 ve D-4 deneylerine ait kırınım deseni şiddetleri D-1 deneyine ait kırınım desenleri şiddetlerinden daha yükündür.

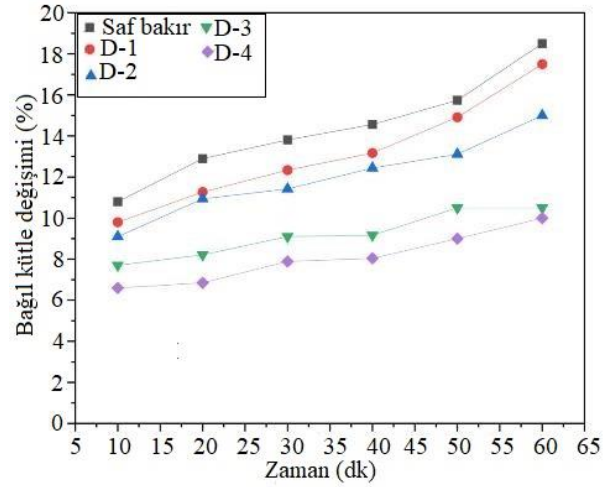


Şekil 16. X-ışını kırınım desenleri.

3.5. Oksidasyon direnci

Bakır ve gümüş atmosfer altında artan sıcaklıkla birlikte oksitlenme eğilimindedirler. Bununla birlikte sabit tutulan yüksek bir sıcaklıkta bekleme süresinin artmasıyla birlikte metallerin yüksek sıcaklıkta atmosfere maruz kalma sürelerine göre oksitlenmeleri öngörülmektedir. Malzemelerin oksitlenmeleriyle birlikte ağırlıklarında bir artış meydana gelmektedir. Yapılan bu deneyde sabit sıcaklıkta artan sürelerde bekletilen metal tozların, başlangıçtan itibaren kütlelerindeki artışın hesaplanması ve kütle artışına bağlı olarak oksidasyon dirençleri arasındaki farklılıkların belirlenmesi amaçlanmaktadır. Oksidasyon direnci yüksek olan malzeme daha az bağıl kütle artışı gösterirken, oksidasyon direnci düşük olan malzemenin daha çok bağıl kütle artışı göstermesi beklenmektedir. Yani oksidasyon direnci düşük olan malzemenin daha fazla oksitlenmesi ve buna bağlı olarak kütlelerinin daha fazla artması beklenmektedir. Saf bakır ve akımsız kaplama yöntemi ile gümüş kaplanarak elde edilmiş D-1, D-2, D-3 ve D-4 deneyleri sonucunda üretilen bimetalik tozlarının TGA yöntemi ile 600 °C sabit sıcaklıkta zamana bağlı olarak ölçülen kütle artışları Şekil 17’de görülmektedir. Akımsız gümüş kaplanmış bakır tozlarının oksidasyonu dirençlerini belirlemede kullanılan sıcaklık 600 °C’den düşük olduğunda, gümüşün yüksek oksidasyonu direncinden dolayı dikkat çekici bir kütle artışı görülmemektedir. Ancak 600 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda belirgin bir artış gözlenmektedir. Benzer bir durum literatürde belirtilmiştir (Güler vd., 2019). Bu yüzden oksidasyon direnci testlerinde sıcaklık olarak 600 °C seçilmiştir. Şekil 17’de görüldüğü gibi 600 °C sabit sıcaklıkta artan bekleme süresi ile birlikte en fazla kütle artışı saf bakır parçacıklarda meydana gelmiştir. Bu sonuç bakır’ın yüksek sıcaklıklardaki düşük oksidasyon direncini ortaya koymaktadır. Şekil 17 incelendiğinde saf bakır parçacıklardan sonra en yüksek % bağıl kütle artışı gösteren bimetal parçacıkların D-1 kodlu deney sonucu üretilen parçacıklar olduğu görülmektedir. Ancak saf bakır ile kıyaslandığında daha az miktarda bir % bağıl kütle artışı meydana gelmiştir. Bu durum, gümüşün yüksek sıcaklıklardaki oksidasyon direncinin, bakır parçacıkların üzerine akımsız kaplama yöntemiyle kaplanması sonrasında ortaya çıkan bimetal parçacığın oksidasyon direnci üzerine etkisini göstermektedir. Ayrıca D-2, D-3 ve D-4 kodlu deney sonucu üretilen bimetal parçacıkların % bağıl kütle artışları incelendiğinde sırasıyla her bir deneyde % bağıl kütle artışının azaldığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç bakır parçacıklar üzerindeki gümüş tabakası kalınlığına

bağlı olarak bimetal parçacıkların oksidasyon direncinin hangi oranlarda geliştirilebileceğini göstermesi açısından oldukça önemlidir.



Şekil 17. TGA yöntemi ile 600 °C’de artan süre ile % bağıl kütle artışı değişimi.

4.Sonuçlar

Bu çalışmada akımsız kaplama yöntemi ile küresel morfolojiye sahip saf bakır tozları gümüş kaplanarak bimetalik Cu-Ag tozları üretilmiştir. Ayrıca indirgeyici ajan miktarının Cu-Ag bimetalik tozlarının özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar şunlardır;

- 1) Akımsız kaplama sonucunda bakır tozlarına ait küresel morfolojide herhangi bir değişme meydana gelmemiş ve gümüş kaplama tabakası bakır tozlarının küresel morfolojisine uygun bir şekilde küresel olarak bakır tozları üzerinde sentezlenmiştir.
- 2) Kaplama kalınlığı sonuçlarına göre indirgeyici ajan miktarına bağlı olarak bakır tozları üzerinde 873.2 nm-2.3 µm aralığında değişen oranlarda gümüş kaplama tabakası elde edilmiştir. İndirgeyici ajan miktarı arttıkça gümüş kaplama tabakasının kalınlığı da artmaktadır.
- 3) Elementel analiz ve X-ışını kırınım deseni sonuçlarına göre akımsız kaplama prosesinden kaynaklı herhangi bir elementel kirlilik söz konusu olmayıp üretilen kaplama tabakası %100 gümüştür.
- 4) Saf bakır tozlarda 600 °C’de bir saat süre sonunda %19 kadar bir kütle artışı mevcutken 2.3 µm kalınlığında gümüş kaplama tabakasına sahip bakır tozlarında bu oran %7’ye kadar düşmektedir.

5) Bu çalışma sonucunda üretilen Cu-Ag bimetallik tozları yüksek iletkenlik ve yüksek oksidasyon direncine sahip iletken malzeme üretimi için oldukça uygundur.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 119M398 numaralı proje ile maddi olarak desteklenmiştir. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakem/hakemlere teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Ang, T. P., Wee, T. S. A. and Chin, W. S. (2004). Three-dimensional self-assembled monolayer (3d sam) ofn-alkanethiols on copper nanoclusters. *The Journal of Physical Chemistry B*, 108(30), 11001-11010. <https://doi.org/10.1021/jp049006r>
- Antler, M. (1985). Electrical effects of fretting connector contact materials: A review. *Wear*, 106(1-3), 5-33. [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(85\)90101-2](https://doi.org/10.1016/0043-1648(85)90101-2)
- Biswas, N., Baranwal, R. K., Majumdar, G. and Brabazon, D. (2018). Review of duplex electroless coatings and their properties. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 4(3), 448-465. <https://doi.org/10.1080/2374068x.2018.1457298>
- Güler, O., Varol, T., Alver, Ü. and Çanakçı, A. (2019). The effect of flake-like morphology on the coating properties of silver coated copper particles fabricated by electroless plating. *Journal of Alloys and Compounds*, 782, 679-688. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.12.229>
- Huttunen-Saarivirta, E. and Tiainen, T. (2005). Autocatalytic tin plating in the fabrication of tin-coated copper tube. *Journal of Materials Processing Technology*, 170(1-2), 211-219. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.04.113>
- Lim, Y., Lee, C., Choi, H. and Bae, J. (2016). Fabrication of electrically conductive substrates using copper nanoparticles-deposited carbon black. *Journal of Composite Materials*, 51(18), 2597-2605. <https://doi.org/10.1177/0021998316674266>
- Lin, Y.-S. and Chiu, S.-S. (2008). Electrical properties of copper-filled electrically conductive adhesives and pressure-dependent conduction behavior of copper particles. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 22(14), 1673-1697. <https://doi.org/10.1163/156856108x320537>
- Meng, D. R., Wang, L. M., Zhang, J. G., Hu, Q., Wang, L. G. and Li, C. F. (2017). Process and properties of ultrafine silver-coated electrolytic copper powders. *Materials Science Forum*, 898, 898-907. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.898.898>
- Mu, Z., Geng, H.-R., Li, M.-M., Nie, G.-L. and Leng, J.-F. (2013). Effects of Y2O3 on the property of copper based contact materials. *Composites Part B: Engineering*, 52, 51-55. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.02.036>
- Perelaer, B. J., de Laat, A. W. M., Hendriks, C. E. and Schubert, U. S. (2008). Inkjet-printed silver tracks: low temperature curing and thermal stability investigation. *Journal of Materials Chemistry*, 18(27). <https://doi.org/10.1039/b720032c>
- Polan, N. W. (1987). Copper and copper alloy, *asm handbook - corrosion: ASM International*
- Poljanec, D. and Kalin, M. (2019). Effect of polarity and various contact pairing combinations of electrographite, polymer-bonded graphite and copper on the performance of sliding electrical contacts. *Wear*, 426-427, 1163-1175. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.01.002>
- Rigou, V. I., Marginean, G., Frunzäverde, D. and Câmpian, C. V. (2012). Silver based composite coatings with improved sliding wear behaviour. *Wear*, 290-291, 61-65. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2012.05.014>
- Rudnik, E. and Jucha, T. (2013). Electroless and electrolytic deposition of Co-SiC composite coatings on aluminum. *Surface and Coatings Technology*, 232, 389-395. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2013.05.040>
- Songping, W. (2007). Preparation of ultra fine nickel-copper bimetallic powder for BME-MLCC. *Microelectronics Journal*, 38(1), 41-46. <https://doi.org/10.1016/j.mejo.2006.09.013>
- Wang J., Callahan J. and Lillie D. (2002). Method of forming chromium coated copper for printed circuit boards. CA Patent No. CA2352929A1.
- Zhou, Y. X., Xue, Y. L. and Zhou, K. (2019). Failure analysis of arc ablated tungsten-copper electrical contacts. *Vacuum*, 164, 390-395. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2019.03.052>