



Altın İşleme Atık Suyundan Mezogözenekli SiO₂ Destekli Altın Nanopartiküllerinin Sentezi

Fatma ULUSAL*

Tarsus Üniversitesi, Mersin-Tarsus Organize Sanayi Bölgesi Teknik Bilimler MYO, 33100 Akdeniz, Mersin, TÜRKİYE

Geliş Tarihi: 18.03.2023

Kabul Tarihi: 07.09.2023

Basım Tarihi: 30.09.2023

Atf yapmak için: **Ulusal, F. (2023)**. Altın İşleme Atık Suyundan Mezogözenekli SiO₂ Destekli Altın Nanopartiküllerinin Sentezi. *Anadolu Çev. ve Hayv. Dergisi*, 8(3), 421-427. <https://doi.org/10.35229/jaes.1267476>

How to cite: **Ulusal, F. (2023)**. Synthesis of Mesoporous SiO₂-Supported Gold Nanoparticles from Gold Processing Wastewater. *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 8(3), 421-427. <https://doi.org/10.35229/jaes.1267476>

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6926-6251>

*Sorumlu yazarın:

Fatma ULUSAL
Tarsus Üniversitesi, Mersin-Tarsus Organize
Sanayi Bölgesi Teknik Bilimler MYO, 33100
Akdeniz, Mersin, TÜRKİYE
✉: fatmaulusal@tarsus.edu.tr

Öz: Bu çalışmada, ramat altının pirometalurjik ve hidrometalurjik tekniklerle saflaştırılması sonucu en son kalan atık çözeltisindeki kütlece %1 olan altın, polietilen glikol miseli içerisinde hapsedilmesi ile mezogözenekli SiO₂ içine ve yüzeyine nanopartikül olarak tutturulmuştur. Bu amaçla polietilen glikolün 6000 (PEG6000) bileşiği ile tetra etil orto silikat kullanılarak Au³⁺ içeren atık çözeltiden mezogözenekli SiO₂ içinde altın nanopartikülleri hazırlanmıştır. Elde edilen son üründe kütlece %0,49 altın içerdiği ICP- OES ve FESEM analizi ile belirlenmiştir. Oluşan nano malzemeler SEM haritalama analizi ile incelendiğinde altın nanopartiküllerinin manyetik nanopartiküller ile aynı kürelerin içerisinde SiO₂ ile kaplanmasının gerçekleştiği ve oldukça homojen bir şekilde dağılarak toplanma olmadığı görülmüştür. TEM görüntülerinden küresel şekilde meydana gelen SiO₂'nin içine gömülmüş manyetik Fe₃O₄ ile altın nanopartiküllerinin oluştuğunu göstermektedir. Her iki oluşumda da altın nanopartiküllerinin boyutlarının 1 nm'den küçük olduğu ve Fe₃O₄'ün 10,4 nm olduğu görülmektedir. Bu çalışma, atık suda kalmış altının geri kazanılarak altın nanopartikülleri elde edilmesi için yeni bir ürün olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Altın geri kazanımı, kuyumculuk atık suyu, manyetik Fe₃O₄, polietilen glikol.

Synthesis of Mesoporous SiO₂-Supported Gold Nanoparticles from Gold Processing Wastewater

Abstract: In this study, 1% by mass of gold in the last remaining waste solution as a result of purification of ramate gold by pyrometallurgical and hydrometallurgical techniques was attached to the mesoporous SiO₂ and its surface as nanoparticles by entrapping it in a polyethylene glycol micelle. For this purpose, gold nanoparticles were prepared in mesoporous SiO₂ from the waste solution containing Au³⁺ by using the 6000 (PEG6000) compound of polyethylene glycol and tetra ethyl ortho silicate. It was determined by ICP-OES and FESEM analysis that the final product obtained contains 0.49% gold by mass. When the resulting nanomaterials were examined by SEM mapping analysis, it was seen that the gold nanoparticles were coated with SiO₂ in the same spheres with the magnetic nanoparticles and there was no agglomeration by dispersing them quite homogeneously. TEM images show that gold nanoparticles are formed with magnetic Fe₃O₄ embedded in the spherically formed SiO₂. In both formations, it is seen that the sizes of gold nanoparticles are smaller than 1 nm and Fe₃O₄ is 10.4 nm. This study reveals that it is a new product for obtaining gold nanoparticles by recovering the gold trapped in wastewater.

*Corresponding author:

Fatma ULUSAL
Tarsus University, Mersin-Tarsus Organized
Industrial Zone Technical Sciences Vocational
School, 33100 Akdeniz, Mersin,
✉: fatmaulusal@tarsus.edu.tr

Keywords: Gold recovery, jewelry wastewater, magnetic Fe₃O₄, polyethylene glycol.

GİRİŞ

Altın ilk çağlardan bu yana güç ve zenginlik göstergesi olarak görülmüş ve simyadan kimyaya geçiş dönemine kadar birçok değersiz metalin altına çevrilmesi için çaba sarfedilmiştir. Her şeyi altına çevirme çabası sayesinde günümüzde kimyasal teknikler ve malzemelerin

bir kısmı günümüzde hala kullanılmaktadır. Altının kimyasal reaksiyonlara karşı gösterdiği direnç özelliği sadece kuyumculuk sektöründe değil, aynı zamanda kimyasal özelliklerinin yanında fiziksel özelliklerinin de getirdiği avantajlar sayesinde elektronik, iletişim, silah, havacılık, dişçilik, sağlık gibi birçok önemli endüstri

dalında kullanılan değerli metallerin başında gelmektedir (Sabah & Oruc Sapci, 2020). Altın, gümüş ve paladyum gibi değerli metaller, yüksek elektrik iletkenlikleri ve kimyasal kararlılıkları nedeniyle kontakt malzemeler ve kaplama tabakaları olarak yaygın olarak da kullanılmaktadır (Chen vd., 2013). Günümüzde altın, elektronik, nanoteknoloji, ilaç, gıda, kozmetik, dekoratif, uzay teknolojisi ve yaratıcı moda alanında gerekli bir elementtir (Langley, 1971; Berners-Price, 2011; Ahmad vd., 2017; Hwu vd., 2020). Altının iki temel kaynağı bulunur; doğal cevheri olan başlıca birincil kaynaklar ve işlenmiş altının tekrar işlendiği ve ikincil kaynaklar olarak adlandırıldığı, kuyumculuk, elektronik ve dışçilikten toplanan hurdalardan oluşmaktadır. Bu hurdalarla birlikte değerli metallerin karışımlarını içeren toz, cüruf ve izabe atıklarının işleme/temizlenme atıklarının tozları, ramat olarak adlandırılmaktadır. Bu tozlar da çeşitli işlemler sonrası geri dönüştürülüp istenen saflıkta altın eldesinde kullanılmaktadır (Sabah & Oruc Sapci 2020). Kuyumcu atölyeleri üç farklı türde atık üretir: el yıkama atıkları, mücevher cilalama atıkları ve yer süpürme atıkları (Ferrini vd., 1998). Altının parlatılması sırasında oluşan, esas olarak altın alaşımları ile birlikte plastik, metal kıllar, aşındırıcı macun ve metal tozu içeren atık toplam ramat atığının %26'sını oluşturmakta ve %5,34 altın içermektedir. Altın işleme sırasında zanaatkarların el yıkamasında ve laboratuvarında giydikleri kıyafetlerden organik bir karışım meydana gelir. Bu atık el yıkama atığı olarak adlandırılmakta ve toplam atığın %40,7'sini oluşturmaktadır. Bu atıkta, %2,89 altın bulunmaktadır. Altın atölyelerinde yer süpürülmesi ile elde edilen tozlar, toplam atığın %33'ünü oluşturmakta ve %1,2 altın içermektedir. Sonuç olarak ramat atıklarının işlenmesi esnasında açığa çıkan ramat atık suyunun kütlece %1,2-5,4 arasında altın içermekte olup ekonomik ve çevresel açıdan oldukça önemli bir yer tutmaktadır (Delfini vd., 2000). Bu nedenle, klasik yöntemlerin yanında yeni işleme yöntemleri ve teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanması gerekmektedir.

Oluşan bu atıklardan altın gibi değerli metallerin kazanımı amacıyla hidrometalurjik, pirometalurjik ve elektrometalurjik olmak üzere başlıca üç yöntem kullanılmaktadır. Pirometalurjik yöntemde klorlama ajanları ile demir dışındaki metaller ve değerli metaller yüksek sıcaklıkta (1273-1473 °C) tepkimeye girerek uçucu klorlu bileşiklerini oluşturarak altın ekstraksiyonu yapılır (Panias & Neou-Syngouna, 1990; Deng & Li, 1987)). Pirometalurjik yöntemler hidrometalurjik tekniklerle karşılaştırıldığında daha yüksek maliyet, daha karmaşık yöntemler, daha düşük metal geri kazanımı ve çevreye daha zararlı bir yöntem olması gibi çeşitli dezavantajlara sahiptir. Hidrometalurjik teknikte temel olarak; metalleri çözmek amacıyla liç etme, seçici kimyasal tepkimeler ile

metallerin ayrılması ve metalin katı halde geri kazanımını içeren üç ana adım mevcuttur (Brückner vd., 2020). Atıklardan Au liçi için en çok kullanılan yöntem siyanürlemeye dayanmaktadır. Bununla birlikte, toplumsal farkındalığı artırma ve çevresel etkiler nedeniyle siyanür, Au geri kazanımı için sosyal ve çevresel olarak istenmeyen bir yöntem haline gelmiştir. Bu nedenle, çevre üzerinde düşük etkisi olan siyanüre başka alternatifler bulmaya olan ilgi artmıştır (Hilson & Monhemius, 2006; Aylmore, 2016; Göknelma vd., 2016; Birich vd., 2019). Dünyanın dört bir yanındaki birçok kuruluş ve ülke, halihazırda etkili siyanür yönetim politikaları yayınlamıştır; Kosta Rika, Arjantin, Almanya, Çek Cumhuriyeti ve Türkiye gibi bazı ülkeler, ülke genelinde altın çıkarmada siyanürün kullanımını kesin olarak yasaklamıştır. Şu anda pilot ölçekli çalışmalar devam etmekte ve test edilen veya geliştirilen önemli sayıda altın liç yöntemi vardır, ancak ticari ölçekte yalnızca birkaçı mevcuttur. Altın için en çok test edilen liç ajanları tiyosülfat, tiyoüre, tiyosiyanat ve halojenürlerdir (Hilson & Monhemius, 2006; Aylmore, 2016; Göknelma vd., 2016). Madencilik atıklarından etkili bir altın geri kazanım süreci, çeşitli endüstriyel alanlar için yeni kaynaklar sağlayabilir (Calderon vd. 2020).

Altının ikincil kaynaklardan geri kazanımı, birincil altın kaynakları olan altın cevherinden elde edilmesi tekniklerinden oldukça farklıdır. Sabah ve Oruc Sapci (2021) ramat geri kazanım prosesinde temel olarak 5 adım kullanmışlardır (1); ramatların içerisindeki organik kirliliklerin yakılması, (2) erime noktasını düşürerek erimesini kolaylaştırmak amacıyla ramatlara kurşun oksit, soda-boraks ve kurşun indirgeyici ilavesi, (3) kal ocaklarında 1000-1100°C'de eritilip ramat içindeki altın/gümüşün metalik kurşun bünyesinde toplanması, (4) birbiri içerisinde çözünmeyen iki fazı oluşturan altın/gümüş gibi değerli metalleri içeren metalik kurşun fazı ile gang metalleri ve flaksları içeren camsı cüruf fazının ayrılması ve son olarak (5) kurşun fazının kal ocağında 800 - 850 °C' de buharlaştırılıp külçe altın/gümüş eldesinden oluşmaktadır. Bu yöntemle kazanılan altının gümüş ve platin grubu metallerden (PGM, platin ve rodyum) ayrılabilmesi amacıyla bu külçenin hidrometalurjik teknikle rafine edilmesi gerekmektedir (Sabah & Oruc Sapci, 2020). Hidrometalurjik teknikte altının %79,8' inin ayrıldığı ve atık çözültide de altın kaldığı ifade edilmektedir. Bu çalışmada, altın işleme atölyelerinde toplam ramat atıklarının hidrometalurjik teknikle saflaştırılması sonucu en son kalan ve atık toplama havuzlarına giden atık çözültisindeki altının, birlikte çöktürme tekniği kullanılarak manyetik nanopartiküllerle birlikte SiO₂ küreleri içine Au nanopartikülleri olarak tutturulması gerçekleştirilmiştir. Malzemenin manyetik olması altının katalizör olarak çalıştığı veya nano boyutta kullanıldığı çeşitli sektörlerde kullanılması sonrasında

saat ultrasonik banyoda dağıtıldı. Süre sonunda malzeme bir neodiyum mıknatıs yardımıyla ortamdan ayrılarak katının yıkama suyunun pH değeri nötr olana kadar saf su, ardından aseton ile yıkandı. Elde edilen gri renkli toz 60 °C’de kurutuldu ve ardından 6 saat boyunca kül fırınında yakıldı. Hazırlanan SiO₂ ile kaplanmış MNP-Au nanopartikülleri XRD, FE-SEM ve TEM ile analiz edilmiştir.

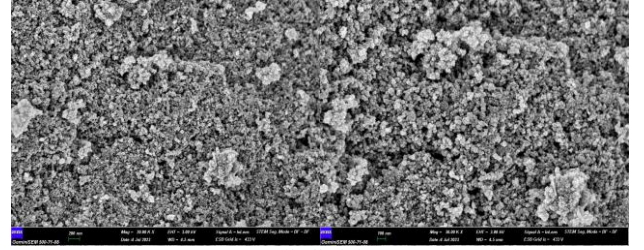
TARTIŞMA VE SONUÇ

PEG6000 organik bir polimerdir ve etilen glikol monomerlerinin ortalama 6000 g/mol kütleli oluşturduğu bir zincir yapısıdır. Bu polimer, hurda altın işleme sonrasında kuyumcuların oluşturduğu atıklarda asidik ortamda altın içeren atık çözeltideki SiO₂ ile kaplanmış MNP’lerin yüzeyinde oluşan –OH²⁺ uçlarına tutunan altını sararak misel yapısı oluşturur ve misellerin iç kısmına organik uç yönelmişken dış kısmına iyon tarafı yönelir. Ramat atık çözeltisindeki altın iyonları bu misellerin iyonik uçlarına fiziksel bağlar yoluyla tutunur. Bu çözeltiye TEOS eklendiğinde yine bu misellerin iyonik kısımlarına SiO₂ bağlanarak altın-MNP’leri hapseder. MNP tanecikleri boyut analizi yapıldığında 2-10 nm olduğu görülmüş olup yeterince misellerin bu tanecikler etrafında sarılması beklenen bir durumdur. 550°C’de ısı işlem sonrasında ise SiO₂ kaplanmış MNP yüzeyi ile en dışta kabuk oluşumunda kullanılan SiO₂ arasında Au nanopartikülleri elde edilmiştir. Malzeme için FE-SEM-EDX, XRD analizleri yapılmıştır.

Çekirdekteki SiO₂-MNP ile kabuktaki SiO₂ tabakaları kalan altın miktarını belirlemek amacıyla ramat altın atık çözeltisi ve nanopartikül sentezi sonrasında kalan çözeltiler ICP-OES cihazı ile analiz edilmiştir. Sonuçların

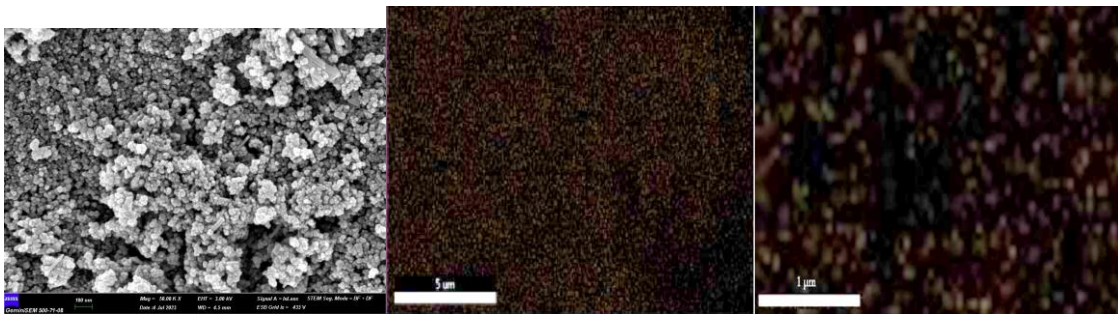
kesinliğini belirlemek amacıyla hem elde edilen nanopartiküllerin hem de işlem sonrası kalan çözeltilerin ICP-OES analizi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre nanopartikülleri içerisindeki Au miktarı kütlece % 0,49 kadardır.

MNP-Au/SiO₂ nanopartiküllerinin morfolojik özelliklerini incelemek amacıyla malzemelerin SEM analizleri yapılarak şekil 2’de görüntüler verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde manyetik nanopartiküllerin doğal yapıları gereği küresel özellikleri nedeniyle oluşturdukları yapı açıkça görülmektedir. Tanecikler homojen bir tanecik boyutuna sahiptir. Ayrıca küresel oluşumların dışında farklı bir oluşum gözlenmemiştir. Sadece küresel oluşumların meydana gelmesi SiO₂’nin sadece MNP ve Au nanopartiküllerinin yüzeyinde kaplandığını farklı bir oluşum meydana getirmediğini göstermektedir. Nitekim literatür verileri SiO₂’nin amorf yapıda olduğunu ve küresel bir yapıda olmadığını göstermektedir.



Şekil 2. MNP-Au/SiO₂ nanopartiküllerinin SEM görüntüleri.
Fig 2. SEM images of SiO₂ coated MNP-Au nanoparticles.

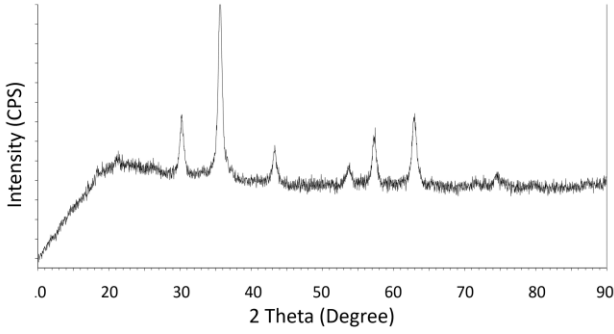
SiO₂ ile kaplanmış MNP-Au nanopartiküllerine ait SEM-EDS sonuçları şekil 3’de verilmiştir. Açık turuncu renkli partiküller Au metalini göstermektedir. Buna göre malzeme kütlece % 0,49 kadar Au içermektedir. Kütlece yüzde Au miktarı ICP-OES sonuçları ile uyumludur.



Şekil 3. MNP-Au/SiO₂ nanopartiküllerinin FE-SEM haritalama görüntüleri a) SEM görüntüsü, b) Au dağılımı, c) Fe dağılımı.
Fig. 3. FE-SEM mapping images of SiO₂ coated MNP-Au nanoparticles a) SEM images, b) Au distribution, b) Fe distribution.

SiO₂ kaplanmış MNP-Au nanopartiküllerinin in vitro sentezi sırasında Au nanopartiküllerinin varlığı SEM haritalama analizi ile doğrulanmıştır. Malzemede MNP-Au için Fe ve Au’nun varlığı Şekil 3’de açıkça görülmektedir. Au’nun MMNP üzerinde SiO₂ içinde homojen dağıldığı ve herhangi bir topraklanma olmadığı görülmektedir. Bununla birlikte boyut analizi yapıldığında oluşumların 10.1 nm

olduğu hesaplanmıştır. Oluşan Au nanopartiküllerinin boyut analizi amacıyla XRD ölçümleri gerçekleştirilmiştir. SiO₂ ile kaplanmış MNP-Au nanopartiküllerine ait SEM-EDS haritalama görüntülerinde açık turuncu renkli partiküller Au metalini göstermektedir. Buna göre malzeme kütlece % 0,49 kadar Au içermektedir. Kütlece yüzde Au miktarı ICP-OES sonuçları ile uyumludur.



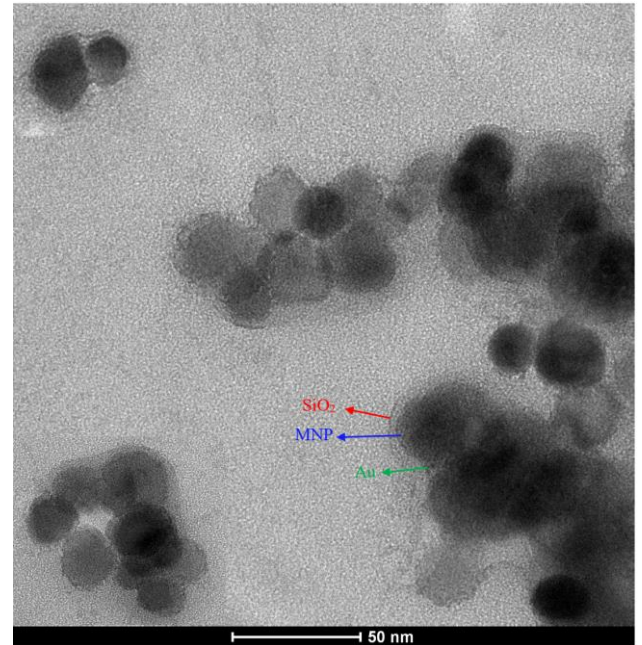
Şekil 4. SiO₂ ile kaplanmış MNP-Au nanopartiküllerinin XRD kırınım desenleri.

Fig 4. XRD diffraction patterns of SiO₂ ile kaplanmış MNP-Au nanoparticles.

MNP-Au/SiO₂ nanopartiküllerinin kristal özelliklerini ve faz saflığını incelemek amacıyla XRD analizi yapılarak şekil 4’ de verilmiştir. XRD ölçümleri 40 kV, 15 mA enerjide, 5 derece/dk tarama hızı ile 10-90 ° tarama aralığında yapılmıştır. Tepe noktası 2θ= 22 ° olan ve 2θ=15-30 ° arasında gözlenen yayvan pik MNP ve Au nanopartiküllerinin dışını kaplayan ve kabuğu oluşturan amorf yapıdaki SiO₂’yi göstermektedir (Sun vd., 2017). Elde edilen verilere göre hazırlanan manyetik nanopartiküllerin 2θ=18.45, 20.97, 30.03, 35.11, 43.02, 54.36, 56.54, 63.14 ve 70.99 pikleri gözlenmiştir. Bu piklerin ait olduğu kırınım deseni Miller indisleri sırasıyla (220), (311), (400), (422), (511) ve (440) şeklindedir. Elde edilen veriler kübik fazda Fe₃O₄ meydana geldiğini göstermektedir. Temel pik olarak seçilen 35.609’da çıkan (311) pikinin verileri kullanılarak Scherrer denkleminde kristal boyutu hesaplandığında ortalama 10.1 nm olarak bulunmuştur. ICP analizine göre altın miktarı %0.49 olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar %1’den daha az Au içeren örneklerin kırınım piklerinin çok zayıf hatta hiç kırınım tepe noktası saptanmadığını göstermektedir. Kütlece %1’den fazla olan örneklerde ise 38.18, 44.43, 64.55 ve 77.75°de dört tepe noktası gözlemlenirken, bunlar kübik Au nanopartiküllerine (JCPDS kart no.: 4-784) işaret edildiği söylenmiştir (Wu vd., 2016). Bununla birlikte meydana gelen piklerin zayıf olması, Au(0) nanoparçacıklarının yüksek oranda dağıldığını göstermektedir. Au nanopartiküllerinin oluşumu sırasında PEG ile oluşturulan miseller içinde hapsedilen Au³⁺ iyonlarının büyümesi sınırlandırılmış, böylece homojen ve küçük taneciklerin meydana geldiği görülmüştür (Ray vd., 2020). Ayrıca MNP miktarının nispeten daha yüksek olması nedeniyle Au nanopartiküllerine ait pikler oransal olarak düşük kaldığından XRD kırınım desenlerinden Au’ a ait temel pik elde edilememiştir ve kristal boyutu hesaplanamamıştır.

Şekil 5’de verilen TEM görüntüleri incelendiğinde FE-SEM görüntülerinde benzer şekilde küresel oluşumlar gözlenmiştir. Şekil 5’de manyetik nanopartiküllerin yapılarının tipik görüntüleri dikkat

çekmektedir. Görüntüler incelendiğinde manyetik Fe₃O₄ klasik küresel yapısı partiküllerin ortasında koyu renkli, bu partiküllerin en dış kısmında daha açık renkli olan SiO₂ gözlenmektedir. SiO₂ ile MNP tabakaları arasında ve yüzeyinde koyu renkli noktalar ise Au nanopartiküllerini ifade etmektedir. TEM görüntülerinden boyut analizi yapıldığında ortalama tanecik boyutu Fe₃O₄ için 10 nm’den küçük olduğu görülmektedir. Ayrıca Au nanopartiküllerini için boyutun 1 nm’den küçük olduğu görülmektedir. Bu boyut analizi gözleme dayalı olduğundan ve nanopartiküllerin kesin sınırlarını belirlenemediğinden ortalama olarak verilmiştir. SiO₂ kaplanmış Au nanopartiküllerinin sentezi sırasında Au³⁺ iyonları ile MNP’lerin PEG miselleri içerisinde hapsedilmesi ve silika yapısının bu miseller üzerinden oluşturulması sayesinde Au nanopartiküllerinin oldukça homojen olduğu ve topaklanmaların olmadığı görülmektedir. Görüntüler incelendiğinde küresel oluşumlardan bir kısmında tek Au nanopartikülünün silika ile kaplandığı bir kısmında ise birkaç Au nanopartikülünün aynı küre içerisinde tek MNP ile ortak silika kaplama ile kaplandığı görülmektedir.



Şekil 5. SiO₂ kaplanmış MNP-Au nanopartiküllerinin TEM görüntüleri.

Fig 5. TEM images of MNP-Au nanoparticles coated with SiO₂.

Sonuç olarak; elde edilen tüm sonuçlardan yola çıkarak ramat atık suyunda kalan altının değerli bir ürün halinde geri kazanılarak SiO₂ içerisinde 10 nm’den küçük tanecikler şeklinde oluşturulmuştur. Hazırlanan partiküllerin topaklanma olmadan oldukça homojen bir dağılım sergilediği görülmektedir. Bu çalışma ile, atık ramat suyunda kalmış altının geri kazanılarak altın nanopartiküllerini elde edilmesi için yeni bir ürün olduğunu ortaya koyulmuştur.

TEŞEKKÜR.

Atık ramat suyunun temininde destek olan Çevre Mühendisi Oğuz KÜÇÜKASLAN ve çalışmadaki desteklerinden dolayı Dr. Hasan ULUSAL ile Doç. Dr. Salih Hakan YETGİN, Dr. Öğr. Üyesi Sinan KÖSE'ye teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Ahmad, B., Hafeez, N., Bashir, S., Rauf, A. & Mujeebur, R. (2017).** Phytofabricated gold nanoparticles and their biomedical applications. *Biomedicine & Pharmacotherapy* **89**, 414-425. DOI: [10.1016/j.biopha.2017.02.058](https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.02.058)
- Asuha, S., Wan, H.L., Zhao S., Deligeer, W., Wu, H.Y., Song, L. & Tegus, O. (2012).** Water-soluble, mesoporous Fe₃O₄: synthesis, characterization, and properties. *Ceramics International*, **38**, 6579-6584. DOI: [10.1016/j.ceramint.2012.05.042](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.05.042)
- Aylmore, M.G. (2016).** *Alternative Lixivants to Cyanide for Leaching Gold Ores. Gold Ore Processing*. Elsevier: 447-484. DOI: [10.1016/B978-0-444-63658-4.00027-X](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63658-4.00027-X)
- Berners-Price, S.J. (2011).** Gold-Based Therapeutic Agents: A New Perspective. *Bioinorganic Medicinal Chemistry*,. Wiley: 197-222. DOI: [10.1002/9783527633104.ch7](https://doi.org/10.1002/9783527633104.ch7)
- Birich, A., Stopic, S. & Friedrich, B. (2019).** Kinetic Investigation and Dissolution Behavior of Cyanide Alternative Gold Leaching Reagents. *Scientific Reports*, **9**(1), 7191-7191. DOI: [10.1038/s41598-019-43383-4](https://doi.org/10.1038/s41598-019-43383-4)
- Brückner, L., Frank, J. & T. Elwert, T. (2020).** Industrial Recycling of Lithium-Ion Batteries-A Critical Review of Metallurgical Process Routes. *Metals* **10**(8), 1107-1107. DOI: [10.3390/met10081107](https://doi.org/10.3390/met10081107)
- Calderon, A. R. M., Alorro, R. D., Tadesse, B., Yoo, K. & Tabelin, C.B. (2020).** Repurposing of nickeliferous pyrrhotite from mine tailings as magnetic adsorbent for the recovery of gold from chloride solution. *Resources, Conservation & Recycling* **161**, 104971-104971. DOI: [10.1016/j.resconrec.2020.104971](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104971)
- Chen, M., Wang, J., Chen, H., Ogunseitan, O.A., Zhang, M., Zang H. & Hu, J. (2013).** Electronic Waste Disassembly with Industrial Waste Heat. *Environmental Science & Technology* **47**(21), 12409-12416. DOI: [10.1021/es402102t](https://doi.org/10.1021/es402102t)
- Chen, Y. & Iroh, J.O. (1999).** Synthesis and Characterization of Polyimide/Silica Hybrid Composites. *Chemistry of Materials*, **11**(5), 1218-1222. DOI: [10.1021/cm9804281](https://doi.org/10.1021/cm9804281)
- Delfini, M., Manni, A. & Massacci, P. (2000).** Gold recovery from jewellery waste. *Minerals Engineering* **13**(6), 663-666. DOI: [10.1016/S0892-6875\(00\)00048-0](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(00)00048-0)
- Deng, H. & Li, X. (1987).** Chloride roasting of a complex gold ore and treatment of chlorine fume for precious-metal recovery-experimental results. *Transactions Institution of Mining and Metallurgy (C: Mineral Processing Extractive Metallurgy)* **96**, 44-46. DOI: [10.1016/j.mineng.2008.09.002](https://doi.org/10.1016/j.mineng.2008.09.002)
- Ferrini, M., Manni, A. & Massacci, P. (1998).** Characterization and sampling of jewelry waste in Italy. In *Proc. Second Biennial International Conference on Chemical Measurement and Monitoring of the Environment*. Enviro Analysis, Ottawa, 98, 529-534
- Gökelman, M., Birich, A., Stopic, S. & Friedrich, B. (2016).** A Review on Alternative Gold Recovery Re-agents to Cyanide. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, **04**(08), 8-17. DOI: [10.4236/msce.2016.48002](https://doi.org/10.4236/msce.2016.48002)
- Hilson, G. & Monhemius, A.J. (2006).** Alternatives to cyanide in the gold mining industry: what prospects for the future? *Journal of Cleaner Production*, **14**(12-13), 1158-1167. DOI: [10.1016/j.jclepro.2004.09.005](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.09.005)
- Hwu, S., Garzuel, M., Forró, C., Ihle, S.J., Reichmuth, A.M., Kurdzesau, F. & Vörös, J. (2020).** An analytical method to control the surface density and stability of DNA- gold nanoparticles for an optimized biosensor. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* **187**, 110650-110650. DOI: [10.1016/j.colsurfb.2019.110650](https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.110650)
- Kónya, Z., Puentes, V.F., Kiricsi, I., Zhu, J., Ager, J. M., Ko, M.K., Frei, H., Alivisatos, P. & Somorjai, G.A. (2003).** Synthetic Insertion of Gold Nanoparticles into Mesoporous Silica. *Chemistry of Materials* **15**(6), 1242-1248. DOI: [10.1021/cm020824a](https://doi.org/10.1021/cm020824a)
- Langley, R. C. (1971).** Gold coatings for temperature control in space exploration. *Gold Bulletin*, **4**(4), 62-66. DOI: [10.1007/BF03215144](https://doi.org/10.1007/BF03215144)
- Liang, Y., Ouyang, J., Wang, H., Wang, W., Chui, P. & Sun, K. (2012).** Synthesis and characterization of core-shell structured SiO₂@YVO₄:Yb³⁺,Er³⁺ microspheres. *Applied Surface Science*, **258**(8), 3689-3694. DOI: [10.1016/j.apsusc.2011.12.006](https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2011.12.006)
- Méndez-Vivar, J. & Mendoza-Bandala, A. (2000).** Spectroscopic study on the early stages of the polymerization of hybrid TEOS-RSi (OR)₃ sols.

Journal of Non-Crystalline Solids, **261**(1-3), 127-136. DOI: [10.1016/S0022-3093\(99\)00605-5](https://doi.org/10.1016/S0022-3093(99)00605-5)

- Panias, D. & Neou-Syngouna, P. (1990)**. Gold extraction from pyrite cinders by high temperature chlorination. *Erzmetal*, **43**(1), 41-44.
- Ray, S., Biswas, R., Banerjee R. & Biswas, P. (2020)**. A gold nanoparticle-intercalated mesoporous silica-based nanozyme for the selective colorimetric detection of dopamine. *Nanoscale Advances*, **2**(2): 734-745. DOI: [10.1039/C9NA00508K](https://doi.org/10.1039/C9NA00508K)
- Sabah, E. & Oruc Sapci, F. (2020)**. Ramat Geri Kazanım Prosesinde Açığa Çıkan Cürüflardan Gravite Ayırması ile Altın Kazanımı. *Journal of Polytechnic*, DOI: [10.2339/politeknik.742859](https://doi.org/10.2339/politeknik.742859)
- Wu, P., Bai, P. Yan, Z. & Zhao, G.X.S. (2016)**. Gold nanoparticles supported on mesoporous silica: origin of high activity and role of Au NPs in selective oxidation of cyclohexane. *Scientific Reports* **6**(1), 18817-18817. DOI: [10.1038/srep18817](https://doi.org/10.1038/srep18817)