



# Nanopartiküllerin Çevre Mühendisliği Alanında Kullanımı ve Temel Laboratuvar Malzemeleri ile Gümüş Nanopartikül (AgNPs) Sentezi

Ertugrul Esmeray<sup>1</sup>, Onur Özata<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0460-447X)

<sup>2</sup> Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 26 Mayıs 2019 ve Kabul Tarihi 4 Temmuz 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.570308)

**ATIF/REFERENCE:** Esmeray, E. & Özata, O. (2019). Nanopartiküllerin Çevre Mühendisliği Alanında Kullanımı ve Temel Laboratuvar Malzemeleri ile Gümüş Nanopartikül (AgNPs) Sentezi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 521-527.

## Öz

Günümüzün en önemli teknolojilerinden biri olan nanoteknolojideki gelişmeler her alanda olduğu gibi çevre alanında da kullanım şekillerini arttırmaya başlamıştır. Bu teknoloji düşük maliyetli, çevre dostu alternatif malzeme üretiminde kullanılabilir olduğu gibi aynı zamanda hem mevcut kaynaklarımızı korumada ve kirlenmelerin tutulması, arıtımında da kullanılabilir. Bu bağlamda bu çalışma nanopartiküllerin çevre mühendisliğinde kullanım alanları ve temel laboratuvar malzemeleri ile gümüş nanopartikül sentezi hakkında hazırlanmıştır. Çalışmanın sentez bölümünde elde edilen nano gümüş çözeltisi, sodyum borhidür ( $\text{NaBH}_4$ ) kullanılarak gümüş tuzunun ( $\text{AgNO}_3$ ) indirgenmesi ile kimyasal yöntem ile oluşturulmuştur. Oluşturulan ürün Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve UV-VIS spektrometre ile karakterize edilmiş ve boyut analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen nanopartikül boyutlarının yaklaşık 70 nm ~ 77 nm arasında olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca gümüş nano partiküllerin adsorpsiyon seviyesinin 350 ~450 nm aralığında ve 396,016 nm olduğu bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Gümüş Nanopartikül, Nanopartikül Sentezi, Çevre Mühendisliği

## Use of nanoparticles in Environmental Engineering and synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) with basic laboratory materials

### Abstract

As one of the most important technologies of today, nano technological developments have begun to increase the usage patterns in the environment. This technology can be used in the production of low-cost, environmentally friendly alternative materials, as well as in the protection of our existing resources and the Keeping of contaminants. In this study, it has been shown where nanoparticles are used in the field of environmental engineering and how to synthesize and synthesize silver nanoparticle synthesis by chemical methods by using simple equipments in laboratory conditions and how they are shaped and shaped. The nano silver solution was formed by reduction of the silver salt ( $\text{AgNO}_3$ ) using sodium borohydride ( $\text{NaBH}_4$ ). The product was characterized by Scanning Electron Microscope (SEM) and UV-VIS spectrometer and size analysis was performed. It was observed that the nanoparticle size obtained was

<sup>1</sup> Sorumlu Yazar: Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0460-447X  
[eesmeray@karabuk.edu.tr](mailto:eesmeray@karabuk.edu.tr)

approximately 70 nm ~ 77 nm. In addition, the adsorption level of silver nano particles were measured between 350 ~ 450 nm. It was found to be approximatel 396,016 nm.

**Keywords:** Silver Nanoparticle, Nanoparticle Synthesis, Environmental Engineering

## 1. Giriş

Nanoteknoloji en basit tanımıyla nano boyutta (1-100 nm) teknolojidir [1]. Nanoteknoloji kelimesinin içindeki nano sözcüğü milyarda bir ( $1 \times 10^{-9}$ m) anlamına gelmektedir. Nanoteknoloji, nano boyutaki malzemelerin üretimi, tasarımı, karakterizasyonu, montajı ve bu malzemeler kullanılarak üretilen sistemleri inceleyen, araştıran ve geliştiren disiplinler arası faaliyetleri ifade etmektedir. Nanoteknoloji, bilinen molekülleri farklı atom ve moleküller ile işleyerek yapay yapılar (nanotüp, nanotel vb.) tasarlayıp sentezlemektedir. Nanoteknoloji ile daha fonksiyonel, hızlı, az yer kaplayan, az enerji sarfeden, daha mukavemetli, ucuz ve olağanüstü yeni özelliklere sahip maddelerin üretilmesi mümkün hale gelmiştir [2-3].

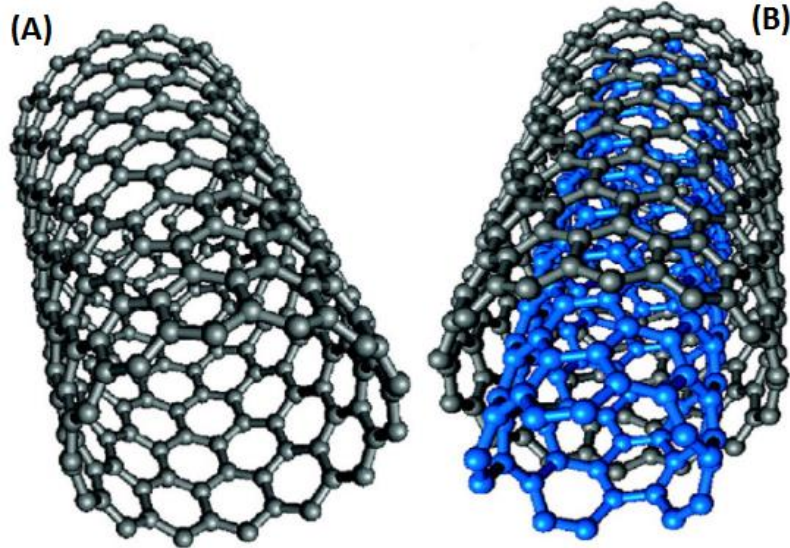
Nanoteknoloji konusuna, 1857 yılında Michael Faraday'ın "Philosophical Transactions of the Royal Society" dergisinde yayınlanan "The Bakerian Lecture: Experimental Relations of Gold (and Other Metals) to Light" adlı makalesinde; boyutları küçülen altının farklı özellikler sergilediğinden bahsederek o yıllarda nano boyutta malzemelerin araştırıldığını göstermektedir. Bu bağlamda Faraday'ı nanoteknolojinin öncüsü olarak tanımlamak uygun olacaktır. 1960'lı yıllarda Richard P. Feynman, nano yapıların benzersiz özelliklerini öne çıkararak bilim insanlarının dikkatini çekmeyi başarmış ve 1980'li yıllarda ardarda gelen Nobel Fizik Ödülleri'ne konu olan çeşitli bilimsel çalışmaları beraberinde getirmiştir [4]. Nanoteknoloji terimi ilk defa Norio Taniguchi (Tokyo Bilim Üniversitesi) tarafından 1974 yılında literatüre girmiştir.

Nanoboyutlu malzemeler; nanopartiküller, nanokristaller, nanoçubuklar, nanoteller, nanotüpler gibi sınıflara ayrılmaktadır.

Nanopartiküller, hacimsel yapıları malzemelerden çok daha farklı ve üstün özelliklere sahip olup, boyutları 100 nm'nin altında ve kimyasal olarak oldukça aktif malzemelerdir [5]. Nano ölçekteki malzemelerin porozlu yüzey alanları çok fazla olduğundan, kirleticileri adsorplama özellikleri de aynı oranda yüksek [6] ve farklı kimyasallar ile etkileşime daha yatkındır [7-8].

Nanoçubuklar, nanoteller ve nanotüpler doğrusal bir yapıya sahip olup farklı üretim teknikleri kullanılarak metal, yarı iletken veya karbon gibi farklı maddelerden üretilebilmektedir. Kullanım alanı en fazla olan karbon nanotüplerin farklı modifikasyonları mevcuttur (Tek cidarlı, çok cidarlı). Karbon nanotüpler günümüzde Çevre Mühendisliğinde sıklıkla kullanılan materyallerden biri haline gelmiştir. Temelde silindirik tüp şekline sahiptir. Karbon nanotüplerin, yüksek aktif yüzey alanı ve simetrik gözenek dağılımı ile geleneksel aktif karbon uygulamalarına göre kirleticileri adsorplama kapasitesi oldukça yüksektir [9].

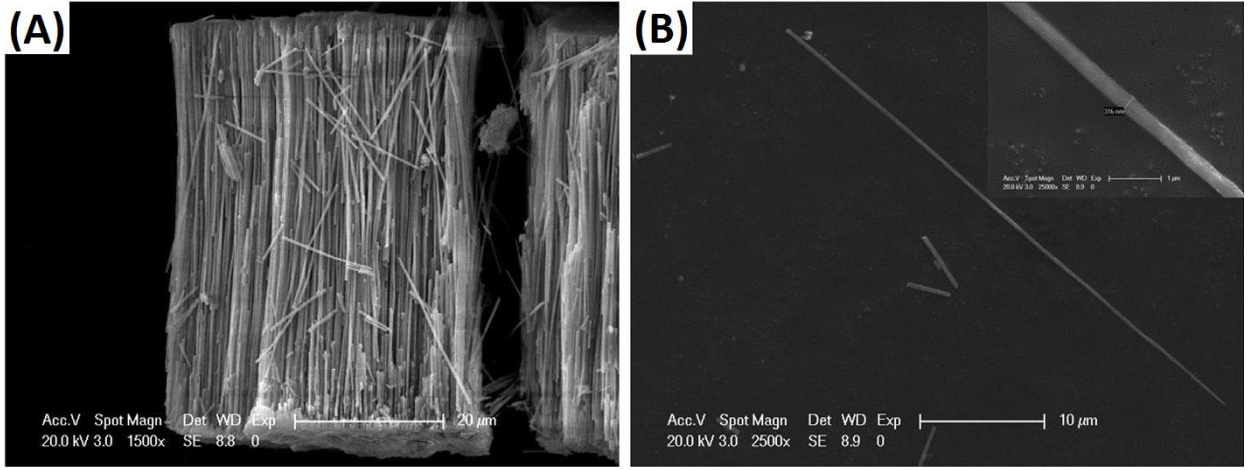
Aşağıdaki şekilde karbon nanotüp örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 1. Tek cidarlı karbon nanotüp (A), çift cidarlı karbon nanotüp (B) [2].

Nanoteller; 1-100 nm çapa sahip ve farklı uzunluklarda iletken, yarı iletken veya yalıtkan tellerdir ve "Kuantum Telleri" olarak da adlandırılmaktadırlar. Altın (Au) ve demir (Fe) iletken nanotellere, silisyum (Si) yarı iletken nanotellere, silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) yalıtkan nanotellere örnek olarak verilebilir. Nanoteller en çok elektronik alanında kullanılmaktadır.

Şekil 2'de  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  nanotel örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  nanotel dizinlerinin yandan görünümü (A) ve tek bir  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  nanotelin yandan görünüşü (B) [10].

Nanokristaller; büyüklükleri 1-10 nm arasında değişen yarı iletken türüdür. Boyutlarının küçük olmasından dolayı “Kuantum Noktacığı” olarak da adlandırılmaktadır. Nanokristallerin avantajı, boyutunun küçüklüğünden yararlanılarak özellikleri üzerinde kolayca değişiklik yapılabilmesi ve farklı uygulama alanlarına entegre edilebilmesidir [11].

Nanopartiküllerin Çevre Mühendisliği alanında başlıca toprak ve yeraltı suyu ıslahı, hava kirliliği kontrolü, içme ve atıksu arıtımı (çöp sızıntı suyu arıtımı dahil) gibi çeşitli uygulama alanlarına sahiptir. Çevre Mühendisliğinde yaygın olarak, demir, gümüş, manganez, magnezyum, alüminyum ve titanyum nano malzemeleri içme suyu ve atık su arıtımında kullanılmaktadır [12-13]. Gümüş nanopartiküllerin çoğunlukla içme suyunun arıtılması işleminde dezenfeksiyon amacıyla, demir oksit nanopartiküllerinin ise arsenik ve diğer tehlikeli ağır metal kirleticilerin içme suyundan giderilmesi amacı ile kullanıldığı [14], bunların yanısıra atıksu arıtımı ve renk giderimi konularında çeşitli nanopartiküller ve metotları kullanılmaktadır [15-16].

Toprak ve yeraltı suyu ıslahında, organik (pestisit, petrol ve türevleri) ve inorganik (ağır metaller, azot, fosfor, radyoaktif atıklar) kirleticilerin giderilmesinde en çok sıfır değerlikli demir nanopartikülü kullanılmaktadır. Kirletici giderim yöntemlerinden ilki; hareketli sıfır değerlikli demir nanopartikülleri akiferlere enjekte ederek, demir partiküllerinden bir bulut oluşturmaktır. Bir diğeri ise; akifer kayaçlarına hareketsiz sıfır değerlikli demir nanopartikülleri enjekte ederek demir partiküllerinden bir tabaka oluşturmaktır [17].

Hava kirliliği kontrolü, içinde bulunduğumuz yüzyılda küresel ısınmanın etkilerini artırması ile giderek önemli hale gelmiştir. Özellikle sanayi kuruluşlarından kaynaklı emisyonlar sağlık ve çevre için oldukça tehlikelidir. Bu emisyonlar başlıca; karbon dioksit ( $\text{CO}_2$ ), nitrojen dioksit ( $\text{NO}_2$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ), partiküler madde, kül, sülfat ve nitrat içeren bileşiklerdir. Günümüzde nanoteknoloji kullanılarak eski yöntemlerden (torba filtreler, siklon tutucu vb.) daha verimli uygulamalar geliştirilmiştir. Titanyum dioksit ( $\text{TiO}_2$ ) nanopartikülü kullanılarak üretilen statik filtreler, katalitik tutucular ve gözenek çapları nano boyutlarda olan membranlar da hava kirliliğini önlemede uygulanan yöntemlerdendir [17].

Günümüzde nanopartikül uygulamaları, içme suyu ve atıksu arıtımında da kullanılmaktadır. Su arıtımı uygulamasında nano membranlar, karbon nanotüpleri, nano killer ve alumina fiberler gibi nano malzemelerden faydalanılmaktadır [18]. İçme suyu arıtımında, flokülasyon sırasında titanyum dioksit nanopartiküllerinin kullanılması ile Clostridium Perfringens gibi klora karşı dayanıklı patojen mikroorganizmaların giderimi gerçekleştirilmektedir [17]. Son yıllarda yapılan çalışmalarda çinko oksit ( $\text{ZnO}$ ) nanomateryalinin içme suyu dezenfeksiyonunda kullanılabilirliği öne çıkmaktadır. Özellikle E.Coli üzerinde dezanfektan olarak oldukça etkilidir ancak çinko oksit’in ağır metal olması nedeniyle canlılar üzerindeki etkisinin daha ayrıntılı bir şekilde araştırılması gerekmektedir [19]. Spinel ferrit nanoparçacıkları ve spinel ferrit nanokompozitlerinin son derece kararlı yapıya sahip olmaları ve kolayca geri kazanılabilirlik özelliği sayesinde düşük maliyetli içme ve atıksu arıtımı gerçekleşmesi mümkün hale gelmiştir [20]. Karbon nanotüpler de içme ve atıksu arıtımında ağır metal adsorpsiyonu için kullanılmaktadır [21]. Titanyum dioksit nanopartikülü ile mikro kirleticiler (siyanotoksinler, antibiyotik vb.) [22], pestisitler ve fenolik kirleticiler [23], boyalar [24], kalıcı organik kirleticilerin (poliklorlu bifeniller vb.) giderilmesinde [25] ve su saflaştırılmasında [26] yaygın olarak kullanılmaktadır [27].

Gümüş nanopartiküller elektriksel, optic, termal ve antibakteriyel özelliklerinden dolayı geniş kullanım alanına sahiptir. Örneğin su ve atıksu arıtımı, biyomedikal alanında antibakteriyel malzeme üretimi, elektronik malzemelerde iletkenliğin artırılması gibi birçok alanda kullanılmaktadır [28-29-30]. Bakteriler üzerindeki inhibitör etkisi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir [31] ve yüksek iletkenliğe sahip olduğundan biyosensörlerde elektron transferini hızlandırarak biyosensörlerin hassasiyetini arttırdığı gözlemlenmiştir. [32-33]. Gümüş nanopartikül üretimini etkileyen değişkenler USP yöntemiyle incelenmiş ve bunun sonucunda çözelti konsantrasyonu ve atomizörün gücünün partikül boyutu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu [34], gümüş nitrat çözeltisinden gümüş nanopartikül üretiminde sıcaklık parametrisinin partikül boyut ve morfolojisine etkileri incelenmiş olup sıcaklık arttıkça daha küresel ve yoğun partiküllerin elde edildiği sonucuna varılmıştır [35].

Bu çalışmada temel laboratuvar malzemeleri kullanarak sodium borohidrit ( $\text{NaBH}_4$ ) ile gümüş nitratın ( $\text{AgNO}_3$ ) indirgenmesiyle nano boyutta gümüşlerin üretilmesi araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

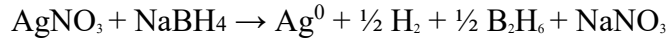
Çalışmanın temel hedeflerinden olan temel laboratuvar malzemeleri ile AgNPs sentezi için kullanılan kimyasallara ve metoda bu bölüme yer verilmiştir. Çalışmada kullanılan kimyasallar; Ekstra saf Gümüş Nitrat ( $\text{AgNO}_3$ , Nanografi, Türkiye), Sodyum Borohidrit ( $\text{NaBH}_4$ , Nanografi, Türkiye). Kullanılan laboratuvar ekipmanları; buz banyosu, ısıtıcı manyetik karıştırıcı şeklindedir. Çalışmadaki tüm çözeltiler taze olarak hazırlanmıştır. Çözelti hazırlanma aşamalarında ve cam malzemelerin temizlenmesinde ultra saf su kullanılmıştır.

### 2.2. Gümüş Nanopartikül Sentezi

Gümüş nanopartiküllerin sentezlenmesi için ;100 ml 0.005 M Gümüş Nitrat ve iyonik gümüşü indirgemek için yüksek miktarlarda gerekeceğinden 250 ml 0.01 M Sodyumborhidrit çözeltileri kullanılmıştır. Çözeltilerin hazırlanması esnasında, sodyum borohidrit'in uçucu özelliğinin sıcaklıkla doğru orantılı olması nedeniyle sadece gözle görülür partikül kalmayncaya kadar 50 °C sıcaklıkta karıştırılmıştır.

Çözeltiler hazırlandıktan sonra buz banyosu içinde bulunan  $\text{NaBH}_4$  çözeltisi üzerine hazırlanan  $\text{AgNO}_3$  çözeltisi damla damla (yaklaşık saniyede 1 damla) ilave edilmiştir. Çalışma esnasında çözeltinin rengine sarıya doğru bir dönüş gözlemlenmiş ve  $\text{AgNO}_3$  tamamen ilave edildikten sonra bu renk fosfor sarısı renge dönüşmüştür ve bu dönüşüm gözlemlendiğinde karıştırma durdurulmuştur. Aksi durumda bu çözelti rengi zamanla mor-siyah benzeri bir renge dönüşmektedir.

Yapılan deneysel çalışmalar esnasında meydana gelen kimyasal reaksiyon aşağıda verilmiştir.

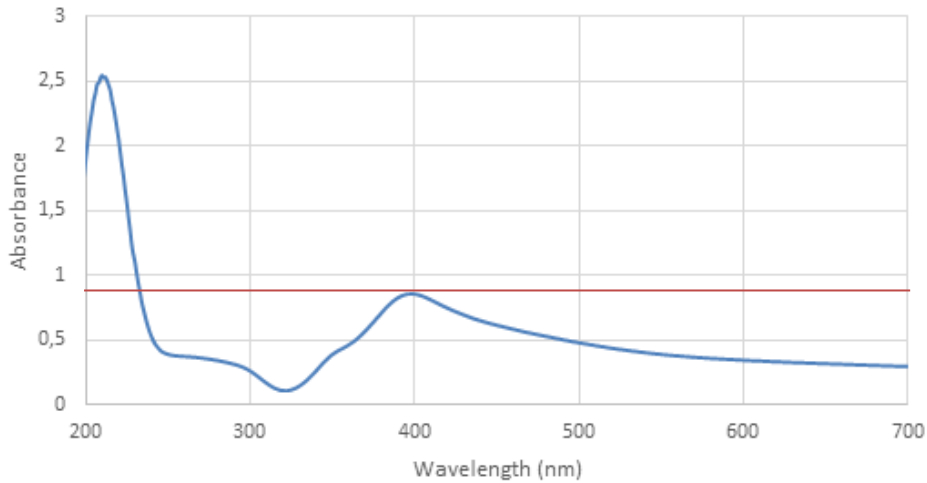


## 3. Araştırma Sonuçları

Çalışmada sonucunda sentezlenen nanopartiküllerin karakterizasyonu

Sentezlenen gümüş nanopartiküller, UV-Visible spektrometre ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak karakterize edilmiştir. Gümüş nanopartikülün UV-Visible spektrometre absorpsiyon seviyesi 350 – 450 nm arasındadır.

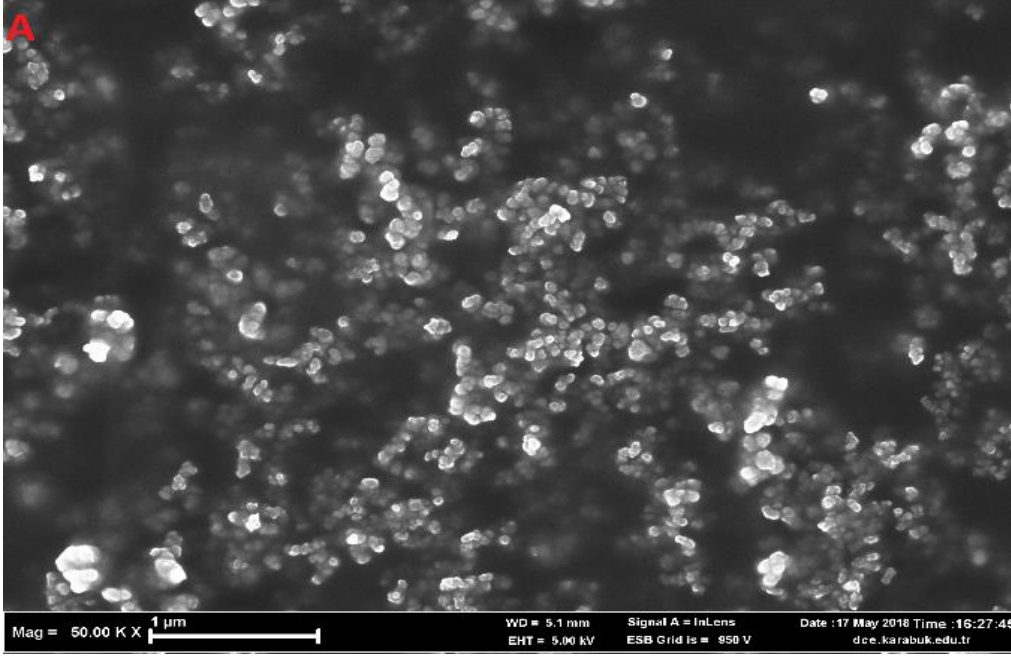
Bu çalışmada absorpsiyon 396,016 nm'de gerçekleşmiş olup Grafik 1'de gösterilmiştir.



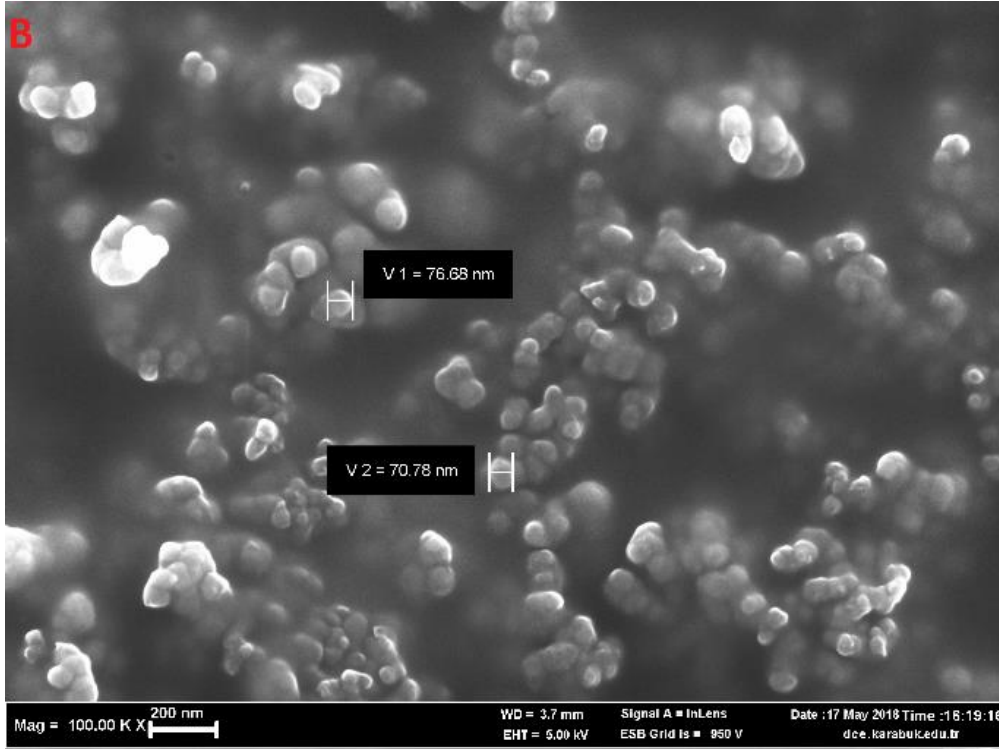
Grafik 1. Gümüş nanopartiküllerin absorpsiyon spektrometresi.

Sentezlenen yoğun gümüş nanokolloidler ve bunları oluşturan nanopartiküllerin dağılımı Şekil 3'de ve tespit edilen nanopartiküller için ortalama boyutlar da Şekil 4'de gösterilmiştir.



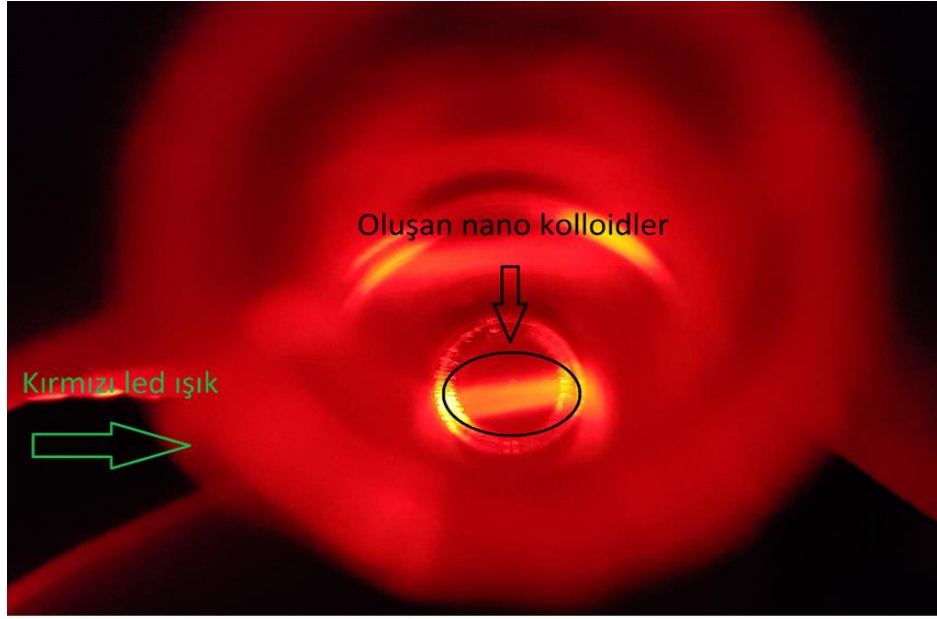


Şekil 3. Gümüş nanopartiküllerin dağılımı (A)



Şekil 4. Elde edilen gümüş nanopartiküllerin ortalama boyutları (çap-nm) (B).

Elde edilen gümüş nanopatiküller, doğrulama amacıyla basit bir analiz şekli olan sodyum klorür ilavesi ile de incelenerek teyit edilmiştir. Bu analiz yönteminde, üretilen gümüş nanopatikülden bir miktarı numune tüpüne alınmış ve içerisine 5 gr sodyum klorür ilave edilmiştir. Tüp biraz karıştırıldıktan sonra kırmızı lazer ışığı kullanılarak tüpün içindeki kolloid oluşumu gözlemlenmiştir. Elde edilen görüntü Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Gümüş nanopartiküllerin varlığının NaCl ilavesi ile tespiti.

#### 4. Sonuç ve Değerlendirme

Yapılan çalışmada nano partiküllerin çevresel kullanım alanlarına değinilmiş ve bu nano partiküllerden biri olan gümüş nanopartiküllerin temel laboratuvar malzemeleri kullanılarak kimyasal olarak sentezlenebilirliği incelenmiştir. Nano partiküllerin karakterizasyonu SEM ve UV-VIS spectrometer ile yapılarak sonuçlar bölümünde gösterilen değerler ve görüntüler elde edilmiştir. Burdan yola çıkarak kimyasal nanopartikül sentez çalışmalarının daha yüksek laboratuvar imkanları ile daha küçük boyutlarda nanopartiküller üretebilecek şekilde geliştirilebileceği anlaşılmıştır. Nanopartiküllerin yaygın olarak kullanılmasıyla birlikte olası dezavantajları, olumsuz etkileri de birçok bilimsel çalışmada ele alınmaya başlanmıştır [36-37]. Bu çalışmalarda genel olarak nanopartiküllerin toksisitelerinden bahsedilmiş, ve bu toksisiteye nanopartiküllerin yapısı, kaplamaları ve boyutları etkili olduğuna değinilmiştir. Ayrıca yine yapılan çalışmalar ışığında nanopartiküllerin çözünürlükleri düşükse kanserojen etki gösterebilme ihtimalleride söz konusudur. Bu etkiye neden olan, nanopartiküller biyolojik ve kimyasal aktiviteyi arttıran çok büyük yüzey alanı ve hacim oranına sahip olmalarıdır. Neticede nanopartiküller ile ilgili çalışmalar genişletilerek, çevresel ve sağlık açısından tüm yönleriyle incelenmeli, nanopartikül kullanımının avantaj ve dezavantajları net olarak ortaya çıkarılmalıdır.

#### Kaynakça

- [1] Ateş H. 2015. "Nano parçacıklar ve nano teller", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part:C, Tasarım Ve Teknoloji, GU J Sci Part:C 3(1), 437-442.
- [2] National Nanotechnology Initiative: The Initiative and its Implementation Plan, pp. 19-20. Washington, D.C., National Science and Technology Council, Committee on Technology, Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering and technology 2000.
- [3] Rao C.N. R., Müller A., Cheetham A. K. "The Chemistry of Nanomaterials" V. 1, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Weinheim 2005.
- [4] Süzer, Ş. 2005. "Metrenin bir milyarda birinde bilim ve teknoloji", Bilim ve Teknik Yeni Ufuklara, TÜBİTAK, s6-8.
- [5] Köroğlu M. 2002. "Ultrasonik sprey proliz ve hidrojen redüksiyonu yöntemi ile (USP-HR) nano yapılı gümüş-bakır alaşım partiküllerinin üretimi", İstanbul Teknik Üniversitesi, Fenbilimleri Enstitüsü.
- [6] Hristovski K., Baumgardner A., Westerhoff P. 2007. "Selecting metal oxide nanomaterials for arsenic removal in fixed bed columns: from nanopowders to aggregated nanoparticle media", J. Hazard. Mater., 147 (2007), 265-274.
- [7] Khaleel A., Kapoor P.N., Klabunde K.J. 1999. "Nanocrystalline metal oxides as new adsorbents for air purification", Nanostruct. Mater., 11 (1999), 459-468.
- [8] Li X.-Q., Elliott D.W., Zhang W-X. 1994. "Zero-valent iron nanoparticles for abatement of environmental pollutants: materials and engineering aspects", Crit. Rev. Solid State Mater. Sci., 31 (2006), 111-122.
- [9] Santhosh C., Velmurugan V., Jacob G., Jeong S.K., Grace A.N., Bhatnagar A. 2016. "Role of nanomaterials in water treatment applications: A review", Chemical Engineering Journal, 306 (2016), 1116-1137.
- [10] Hu Y., Gu M., Liu X., Zhang J., Huang S., Liu B. 2019. "Fabrication and performance of Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu<sup>3+</sup> nanowire arrays with different nanowire diameters", Optical Materials, 88, 91-96.

- [11] Erdoğan A. 2013. "Alaşım kompozisyonuna bağlı olarak nanokristal malzemelerin elektrokimyasal ve optiksel özellikleri", Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [12] Van Benschoten J.E., Reed B.E., Matsumoto M.R., McGarvey P.J. 1994. "Metal removal by soil washing for an iron oxide coated sandy soil", *Water Environ. Res.*, 66 (1994), 168-174.
- [13] Agrawal A., Sahu K.K. 2006. "Kinetic and isotherm studies of cadmium adsorption on manganese nodule residue", *J. Hazard. Mater.*, 137 (2006), 915-924.
- [14] Prathna T.C., Sharma S.K., Kennedy M. 2018. "Nanoparticles in household level water treatment: An overview", *Separation and Purification Technology*, 199 (2018), 260-270.
- [15] Wang H., Huang X., Li W., Gao J., Xue H., Li R.K.Y., Mai Y-W. 2018. "TiO<sub>2</sub> nanoparticle decorated carbon nanofibers for removal of organic dyes", *Colloids and Surfaces A*, 549 (2018), 205-211.
- [16] Hosseini S.A., Vossoughi M., Mahmoodi N.M., Sadrzadeh M. 2018. "Efficient dye removal from aqueous solution by high performance electrospun nanofibrous membranes through incorporation of SiO<sub>2</sub> nanoparticles", *Journal of Cleaner Production*, 183 (2018), 1197-1206.
- [17] Çalhan R. 2012. "Tekstil nanopartiküllerinin biyolojik arıtma sisteminde davranışı ve etkileri", Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [18] Yakar Z. 2018. "Nanoteknolojinin Gelişimi", *Nanoteknoloji* 1, 1, 31-46.
- [19] Erkurt F.E., Balcı B., Turan E.S. 2018. "İçme sularının dezenfeksiyonunda çinko oksit nanomateryalinin kullanımı", 4.Uluslararası Biyosidal Kongresi.
- [20] Kefeni K.K., Mamba B.B., Msagati T.A.M. 2017. "Application of spinel ferrite nanoparticles in water and wastewater treatment: A review", *Separation and Purification Technology*, 188, 399-422.
- [21] Hirlekar, R., Yamagar M., Garse H., Vij M. 2009. "Carbon nanotubes and its applications: A review", *Asian J. Pharm. Clin. Res.* 2 (4), 17-27.
- [22] Fagan R., McCormack D.E., Dionysiou D.D., Pillai S.C., 2016. "A review of solar and visible light active TiO<sub>2</sub> photocatalysis for treating bacteria, cyanotoxins and contaminants of emerging concern", *Mater. Sci. Semicond. Process.*, 42, 2-14.
- [23] Ahmed S., Rasul M., Brown R., Hashib M., 2011. "Influence of parameters on the heterogeneous photocatalytic degradation of pesticides and phenolic contaminants in wastewater: A short review", *J. Environ. Manag.*, 92 (3), 311-330.
- [24] Comparelli R., Fanizza E., Curri M., Cozzoli P., Mascio G., Passino R., Agostiano A., 2005. "Photocatalytic degradation of azo dyes by organic-capped anatase TiO<sub>2</sub> nanocrystals immobilized onto substrates", *Appl. Catal. B Environ.*, 55 (2), 81-91.
- [25] Arabatzis I., Antonaraki S., Stergiopoulos T., Hiskia A., Papaconstantinou E., Bernard M., Falaras P., 2002. "Preparation, characterization and photocatalytic activity of nanocrystalline thin film TiO<sub>2</sub> catalysts towards 3, 5-dichlorophenol degradation", *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, 149 (1), 237-245.
- [26] Gelover S., Mondragón P., Jiménez A., 2004. "Titanium dioxide sol-gel deposited over glass and its application as a photocatalyst for water decontamination", *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, 165 (1), 241-246.
- [27] Zhang Y., Wu B., Xu H., Liu H., Wang M., He Y., Pan B. 2016. "Nanomaterials-enabled water and wastewater treatment", *Nanoimpact*, 3-4 (2016), 22-39.
- [28] Wu J., Zhang G., Liu J., Gao H., Song C., Du H., Zhang L., Gong Z., Lü Y. 2014. "Synthesis, characteristics, and antibacterial activity of a rare-earth samarium/silver/titanium dioxide inorganic nanomaterials", *Journal of Rare Earths*, Vol. 32, 8, 727-732.
- [29] Guan Q., Xia C., Lia W. 2019. "Bio-friendly controllable synthesis of silver nanoparticles and their enhanced antibacterial property", *Catalysis Today*, 327 (2019), 196-202.
- [30] Rashid M. U., Bhuiyan Md. K. H., Quayum M.E. 2013. "Synthesis of Silver Nano Particles (Ag-NPs) and their uses for Quantitative Analysis of Vitamin C Tablets", *Dhaka Univ. J. Pharm. Sci.* 12(1), 29-33.
- [31] Kawashita M., Tsuneyama S., Miyaji F., Kokubo T., Kozuka H., Yamamoto K. 2000. "Antibacterial silver - containing silica glass prepared by sol-gel method", *Biomaterials*, 21, 393-398.
- [32] Vijayaraghavan R., Islam S.K., Zhang M., Ripp S., Caylor S., Bull N.D., Moser S., Terry S.C., Blalock B.J., Saylor G.S. 2007. "A bioreporter bioluminescent integrated circuit for very low-level chemical sensing in both gas and liquid environments", *Sensors and Actuators B: Chemical*, 123, 2 (2007), 922-928.
- [33] Ren X., Meng X., Chen D., Tang F., Jiao J. 2005. "Using silver nanoparticle to enhance current response of biosensor", *Biosensors and Bioelectronics*, 21, 3 (2005), 433-437.
- [34] Pingali K.C., Rockstraw F.A., Deng S. 2005. "Silver Nanoparticles from ultrasonic spray pyrolysis of aqueous silver nitrate", *Aerosol Science and Technology*, 39, 1010-1014.
- [35] Stopic S., Dvorak P., Friedrich B. 2006. "Synthesis of spherical nanosized silver powder by ultrasonic spray pyrolysis", *Metall Forschung*, 299-304.
- [36] Teow, Yiwei, et al. "Health impact and safety of engineered nanomaterials." *Chemical communications* 47.25 (2011): 7025-7038.
- [37] Baranowska-Wójcik, E., Sz wajgier, D., Oleszczuk, P. Effects of Titanium Dioxide Nanoparticles Exposure on Human Health—A Review, *Biol Trace Elem Res* (2019). <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01706-6>