

## Gümüşlü Nanopartiküllerin Aerobik Düzenli Depolama Sahalarında Davranışı

Süheyla Duran and \*A. Suna Erses Yay

Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Sakarya University, Turkey

### Özet

Bu çalışmanın amacı aerobik koşullarda işletilen depolama sahalarını simüle eden biyoreaktörler de gümüş nanopartikülün davranışını ve taşınımını anlamaktır. Bu sebeple laboratuvar koşullarında iki adet reaktör kurulmuş ve işletilmiştir. Reaktörler Sakarya'nın kentsel katı atığı ile doldurulup, hava ve sızıntı suyu ilavesiyle biyoreaktör olarak işletilmiştir. pH, KOİ, alkalinite, ORP, TDS ve Ag parametreleri deney süresince izlenmiştir. Bu çalışma sonucunda sızıntı suyu geri devri ve hava ilavesi ile stabilizasyonu hızlanan katı atıklarda gümüş nanopartiküllerin toksik etki yaratmadığı gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** aerobik biyoreaktör düzenli depo, gümüş nanopartikül, davranış ve taşınım

### Abstract

The objective of this study is to understand the fate and transport of silver nanoparticles through the aerobic bioreactor landfills. For this reason, two bioreactors were constructed and operated in the laboratory conditions. Reactor were filled with municipal solid waste of Sakarya. Reactors were operated as bioreactor concept by addition of air and leachate. pH, COD, alkalinity, ORP, TDS and Ag parameters were monitored during the experimental period. This research showed that silver nanoparticle is not toxic in solid waste stabilization that is accelerated by leachate recirculation and air addition.

**Key words:** aerobic bioreactor landfilling, silver nanoparticles, fate and transport

### 1. Giriş

Günümüzde oldukça popüler bir bilim dalı haline gelen nanoteknoloji, maddenin atomik/moleküler boyutta mühendisliğin yapılarak yepyeni özelliklerinin açığa çıkarılması; metrenin milyarda biri yani nanometre ölçeğindeki fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayların anlaşılması, kontrolü ve üretimi amacıyla, fonksiyonel materyallerin, cihazların ve sistemlerin geliştirilmesidir [1]. Nanoboyutlu malzemeler arasında en fazla araştırılan konulardan biri olan nanopartiküller 1-100 nm boyutlarındaki kolloidal yapılardan olup sentetik veya doğal kaynaklı bir makro molekülden meydana gelir [2]. Teknolojik gelişmelerle birlikte hayatımızın her alanında görebileceğimiz nanopartiküller bilgisayar, inşaat, kozmetik, enerji, çevre, gıda, medikal, paketlenme, boya ve kaplama, spor, tekstil ve ulaşım gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Farklı özelliklere göre farklı sınıflamaları bulunan nanopartiküller basit olarak karbon bazlı (fullerenes, çok duvarlı karbon nanotüpler vb.), yarı iletken bazlı nanopartiküller (kuantum noktaları vb.) ve metal bazlı nanopartiküller (altın kolloidler, nanokabuklar, nanoçubuklar vb.)

\*Corresponding author: Aliye Suna Erses Yay Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, 54187, Sakarya TURKEY. E-mail address: erses@sakarya.edu.tr, Phone: +90264295465

olmak üzere üçe ayrılabilir [3]. Ag, Fe, Pt, Sn, Al, Cu, Zr, Se, Ca, Mg, TiO<sub>2</sub>, ZnO, CeO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, karbon siyahı, CNT, fullerenler, nanokil, seramik, kuantum noktalar, organik NPS en yaygın kullanılan nanopartiküllerdendir [4].

Çok eski zamanlardan beri anti bakteriyel özelliği ve bakteriler üzerindeki inhibitör etkisi bilinen gümüş birçok araştırmaya konu olmuştur. Gümüş iyonlarının indirgenmesi ile oluşan gümüş nanopartiküller boyutunun küçüklüğüne bağlı olarak daha geniş yüzey alanına sahip olduğundan katalizör davranışları, kimyasal reaktiviteleri ve biyolojik aktiviteleri aynı kimyasal yapıdaki büyük partiküllere kıyasla daha fazladır [5,6]. Gümüş nanopartiküllerin düşük konsantrasyonda anti bakteriyel etkisinin partikül boyutunun küçülmesi ve dolayısıyla yüzey alanının artmasının anti bakteriyel aktivite için daha fazla etki sağladığı belirlenmiştir [7]. Aynı zamanda küçük partiküllerin hücre duvarından daha kolay geçmesi ile gümüş nanopartiküllerin daha hızlı ve etkin anti bakteriyel etki gösterdiği de literatürde mevcuttur [8]. Bu sebeple gümüş nanopartiküller yanık kaplama, iskelet, cilt donörü gibi sağlık bakım ürünlerinin yanı sıra su arıtma sistemlerinde, elektrikli ev aletlerinde, medikal cihazlarda, günlük hayatta kullanılan ve zararlı mikroorganizmaların yoğun şekilde bulunduğu birçok malzeme yüzeyinin (tekstil, seramik, cam, plastik, metal, boya, kağıt vb.) üretimi esnasında veya üretimi sonrası yüzey kaplamalarında sıklıkla kullanılmaktadır [9,10]. Gümüş katkılı materyaller kimyasal olarak oldukça dayanıklı olup, gümüş iyonlarını uzun bir süre yüzeylerinde absorbe edebilirler. Tüm bunların sonucunda kullanım ömrünü tamamlayıp atık kapsamına giren gümüş nanopartikül içerikli ürünlerin nihai bertarafı ile düzenli depolama sahalarına yaptığı etki söz konusu olmaktadır.

Entegre yönetim sistemlerinde önemli bir yeri olan düzenli depolama konvansiyonel (geleneksel) ve biyoreaktör depolama sistemleri olarak iki gruba ayrılmaktadır. Biyoreaktör depolama atığın stabilizasyon sürecinin kontrollü olarak izlenmesi ve optimizasyonunu hedeflediğinden geliştirilmiş mikrobiyal süreçleri kullanarak konvansiyonel depolamada uzun süren (min 30-50 yıl) stabilizasyonun kısa sürede (5-10 yıl) gerçekleşmesini sağlar. Nem ve hava ilavesinin yanı sıra sıcaklık, pH ve nutrient miktarlarının da önemli parametreler olduğu bu teknolojiye işletme şartlarına bağlı olarak aerobik ve anaerobikğin yanı sıra hibrit, retrofit, semi-aerobik biyoreaktör sistemleri de bulunmaktadır. Bu çalışmada atık stabilizasyonunu hızlandırdığı gerekçesi ile sızıntı suyu geri devirli ve aerobik olarak işletilen biyoreaktörlerden birine eklenen gümüş nanopartikülün stabilizasyon sürecine yaptığı etkiler incelenmiş ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır.

## **2. Materyal ve Metot**

### **2.1. Reaktörün Tasarımı**

Her biri 30 cm iç çaplı ve 50 cm yükseliğe sahip olan 35 L hacminde aerobik olarak tasarlanan pleksi-glass 2 adet reaktör kullanılmıştır. Nanogümüş içeren reaktör AgSR olarak adlandırılırken, gümüş içermeyen kontrol reaktörü ise SR olarak ifade edilmiştir. Reaktörlerin özellikleri tablo 1'de özetlenmiştir. İşletme sırasında meydana gelebilecek ısı alışverişlerinin engellenmesi ve stabilizasyon için istenilen mikrobiyal topluluğun büyümesinde gerekli mezofilik koşulların sağlanması için reaktörler havuz içerisine yerleştirilerek rezistanslı ısıtıcılar ile sıcaklığın

32°C’de sabit kalması sağlanmıştır. Hem üst hem de alt kapaklara destek sağlamak için PVC flanş kullanılmıştır. Reaktörlerin tabanında biri sızıntı suyu toplamak ve numune almak, diğeri reaktöre hava girişini sağlamak için 2 adet giriş musluğu bulunmaktadır. Reaktörlere hava kompresör yardımı ile verilmekle birlikte havanın reaktör içerisinde homojen dağılımı bakır malzemenen spiral olarak tasarlanan delikli havalandırma boruları ile sağlanmıştır. Reaktörlerin üst kısmında ise 3 adet bağlantı noktası bulunmaktadır. Bu bağlantı noktalarından birine thermo couple yerleştirilerek bir kablo aracılığı ile dijital termometreye bağlanmış böylelikle reaktördeki günlük sıcaklık değişimleri izlenmiştir. Diğer bağlantı yağmur suyu besleme noktası ve sızıntı suyu geri devir noktası olarak kullanılmıştır. Üçüncü ve son bağlantı reaktörlerdeki hava çıkış noktası olmakla birlikte haftada bir kez gaz ölçüm cihazı bağlanarak reaktör içerisindeki gaz konsantrasyonlarını belirlemekte kullanılmıştır. Atıklar doldurulmadan önce reaktör tabanı çakıl taşlarından oluşturulmuş drenaj tabakası ile örtülerek boruların tıkanması önlenmiştir.

## 2.2. Reaktörlere depolanan atıkların miktar ve bileşenleri

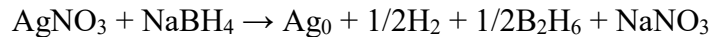
Atıklar ayrışma hızını arttırmak amacıyla parçalanmış ve karıştırılarak homojenize edilmiştir. Reaktör hacmi ve atık yoğunluğu göz önüne alınarak hesaplanan atık miktarı Sakarya ili katı atık kompozisyonunu temsil edecek şekilde sentetik olarak hazırlanmıştır. Atıkların 500 gramı nem ve yoğunluk tayini için ayrılıp kalan miktarı sıkıştırılarak reaktörlere doldurulmuştur.

Tablo 1: Reaktör özellikleri ve depolanan atık miktarları

Reaktör Yüksekliği (cm)	50	
Reaktör Çapı (cm)	30	
Çakıl Tabakasının Yüksekliği (cm)	10	
Atık Yüksekliği (cm)	40	
Reaktör Hacmi (m <sup>3</sup> )	0,035342917	
Sıkıştırılmamış Atık Yoğunluğu (kg/cm <sup>3</sup> )	Ag-SR: 363,0769	SR: 264,6154
Depolanan Atık Miktarı (kg)	Ag-SR: 4,9065	SR: 4,962

## 2.3. Gümüş nanopartikülün hazırlanması ve reaktöre eklenmesi

Gümüş nitrat (AgNO<sub>3</sub>) ile indirgeyici madde olarak sodyum borohidrat (NaBH<sub>4</sub>) kullanılarak aşağıda verilen denkleme göre laboratuvar ortamında kimyasal yöntemle sentezlenen gümüş nanopartiküllerin aglomerasyonunu engellemek için koruyucu madde olarak polivinil alkol (PVA) kullanılmıştır [11].



İşletime alındıktan sonra reaktörlerden birine sızıntı suyu geri devir vanasından 10 mg/kg olacak şekilde eklenmiştir.

## 2.4. Reaktörlerin işletilmesi

Atıkların depolanmasından itibaren 181 gün boyunca işletilen reaktörlerdeki aerobik stabilizasyon için gerekli olan hava elektrikli kompresör ile 0,07 L-kg/dk olarak temin edilmiştir. Reaktörler sızıntı suyu geri devirli olarak işletilmiş geri devir miktarı literatürde incelenen çalışmalar ve atık miktarına bağlı olarak 1000 ml/hafta olarak belirlenmiştir [12]. Bunun dışında T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan 1970 - 2013 yılları arasındaki Sakarya iline ait yağış ve buharlaşma verileri göz önünde bulundurularak 70 mm/yıl olarak hesaplanan ortama yağış miktarını temsilen 200 ml/hafta su reaktörlere eklenmiştir.

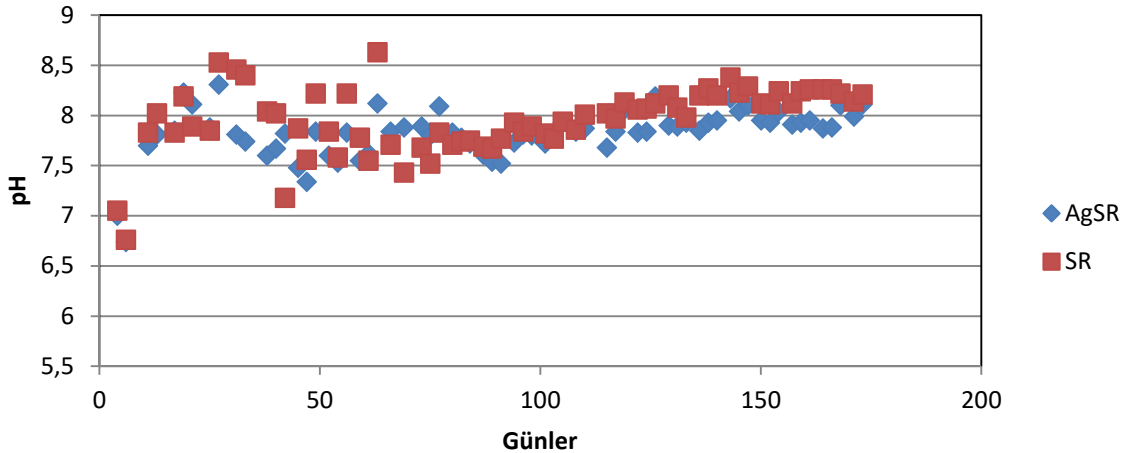
## 2.5. Deneysel analizler

Reaktörler sızıntı suyu numunelerinde standart metotlara (APHA, AWWA 2012) göre pH, Oksidasyon-Redüksiyon potansiyeli (ORP), Toplam Çözünmüş Katı (TDS), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), alkalinite ve gümüş analizleri yapılarak izlenmiştir.

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. pH

Atık stabilizasyonunda mikrobiyal faaliyetlerin değerlendirilmesinde önemli parametrelerden biri pH'dır. Literatür araştırmasında görülen pH aralığı aerobik şartlar altındaki bozunma sürecinde 7 ila 9 değerleri arasındadır [13, 14, 15]. Sistemin pH'ı sızıntı suyundaki alkalinite ve uçucu asit konsantrasyonu ile stabilizasyon süresince üretilen gazdaki karbon dioksit içeriği arasındaki ilişkiye bağlıdır. Havalandırmanın etkisiyle CO<sub>2</sub>'in reaktör dışına atılması aerobik bozunmanın anaerobik bozunmaya göre daha yüksek pH değerlerinde gerçekleşmesine sebep olmaktadır [14, 16].



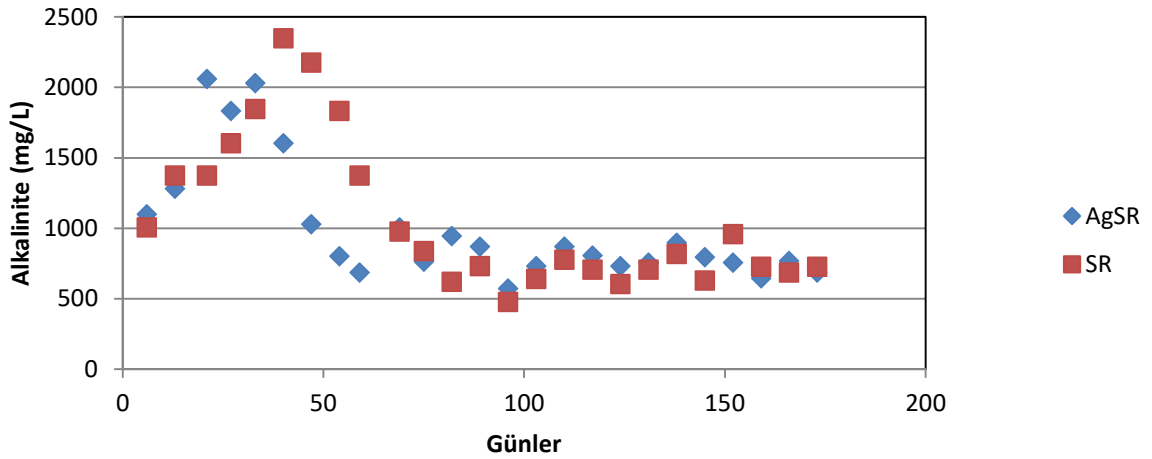
**Grafik 1.** Aerobik (SR) ve Gümüşlü Aerobik (AgSR) reaktörlerinde pH'ın değişimi

Yukarıda verilen grafik incelendiğinde pH değerlerinin ilk günden itibaren alkali değerlerde olduğu ancak 6. günde pH'ın 7'nin altına düştüğü görülmüş ve sebebinin reaktörlere gönderilen

hava miktarındaki sorundan kaynaklandığı bulunmuştur. Bunun haricinde çok büyük pH değişimleri olmamakla birlikte iki reaktör arasındaki değerlerin birbirlerine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Aerobik ayrışmanın başından itibaren gözlemlenen pH değerleri 4.günde nötr iken ilerleyen günlerde yükselmeye devam etmiş, ayrışmanın tamamlandığı 145. gün sonunda 8,04 ve 8,23 olarak ölçülmüştür. Bu durum karbonik asit birikiminin engellendiği sistemlerde ani pH düşüşlerinin yaşanmadığını göstermiştir.

### 3.2. Alkalinite

Sızıntı suyu içerisindeki karbonat, bikarbonat, borat, amonyak, organik bazlar, sülfid ve fosfattan kaynaklanan alkalinite ayrışma için gereken pH değerinin istenen seviyeye düşmesine yol açan uçucu ve diğer asitlerin tamponlanma kapasitesini göstermektedir [17]. Genelde kalsiyum karbonat konsantrasyonu olarak ifade edilen alkalinitenin depolama sahasına eklenmesi, sızıntı suyundaki kirleticilerin azalması ve stabilizasyonun hızlanmasına sebep olur.

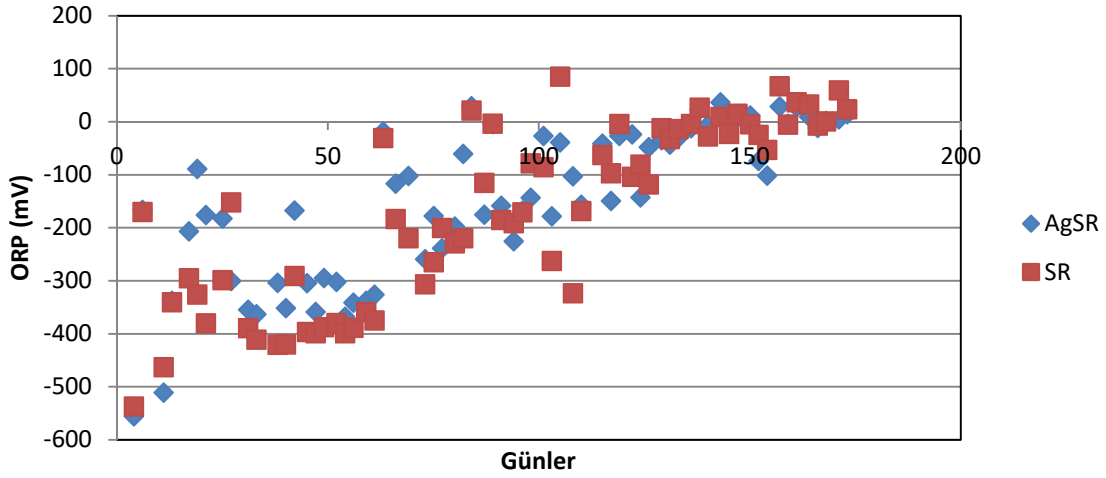


**Grafik 2.** Aerobik (SR) ve Gümüşlü Aerobik (AgSR) reaktörlerinde alkalinitenin değişimi

Yapılan analizler sonucu AgSR'nin başlangıçta ölçülen alkalinite değeri 1099,2 mg/L CaCO<sub>3</sub> olarak ölçülmüş ve hızla yükselerek 21.günde 2061 mg/L CaCO<sub>3</sub> olan en yüksek alkalinite seviyesine ulaşmıştır. SR 'de ise ilk ölçülen değer 1007,6 mg/L CaCO<sub>3</sub> olup 40.günde 2349,056 mg/L CaCO<sub>3</sub> 'ye kadar ulaşmıştır. Daha sonra hızla düşmeye başlayan değerlere paralel olarak amonyak değerlerinde de azalma meydana gelmiştir. Ayrıca AgSR'nin SR ye göre daha önce maksimum seviyeye ulaştığı gözlemlenmiştir. Her iki reaktörde alkalinite seviyeleri 69.günden sonra 470 ila 1000 mg/L CaCO<sub>3</sub> arasında seyretmiştir.

### 3.3. Yükseltgenme indirgenme potansiyeli (ORP)

Atıkların ayrışma mekanizmalarının belirlenmesinde kullanılan ORP katı atıkların kimyasal karakterleri hakkında bilgi verir. Metan oluşumu için optimum ORP genel olarak -100 ila -300 mV arasında değişmektedir [18, 19]. Asidejenik fazda elektron alıcı olarak kullanılan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>ün ve NO<sub>3</sub><sup>-</sup>ün indirgenmesi ile ORP -50 ila -100 mV aralığındadır [20].

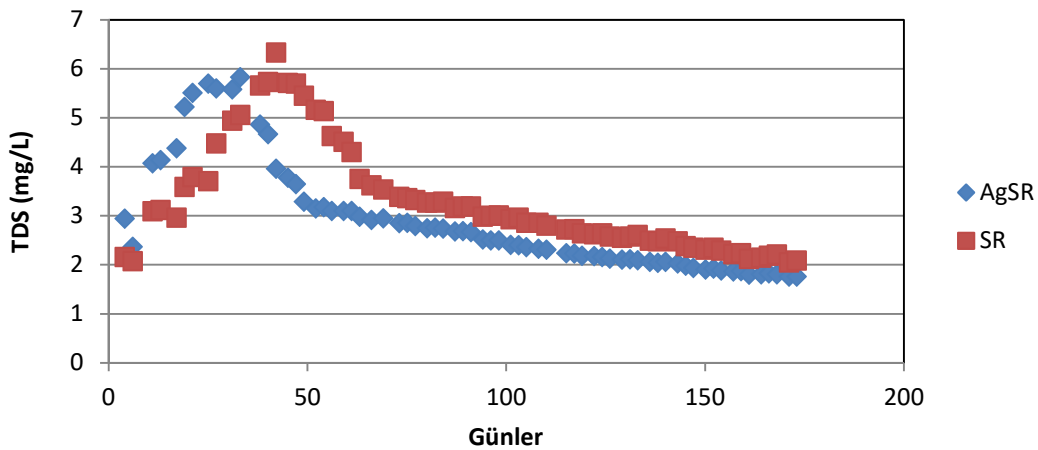


**Grafik 3.** Aerobik (SR) ve Gümüşlü Aerobik (AgSR) reaktörlerinde ORP değişimi

Aerobik koşullarda atık ayrışma hızı anaerobik koşullara göre daha hızlı olduğundan ORP değerleri daha düşük negatif değerlere sahip olmaktadır. Analiz sonuçlarının verildiği grafiğe bakıldığında beklenenin aksine ORP değerlerinin negatiften pozitive geçemediği görülmüştür. Reaktöre verilen hava miktarının yetersiz olduğu ve havanın tabanda biriken sızıntı suyuna ulaşamadığı gerekçesiyle anaerobik koşullara sebebiyet vermesi bu durum ile açıklanabilir.

### 3.4. Toplam çözünmüş katı madde(TDS)

Ortamdaki çözünmüş iyonların çokluğuyla ilgili olan TDS parametresi, sodyum, potasyum, kalsiyum, klorür, sülfat ve bikarbonat gibi iyonların miktarının belirlenmesi ile tespit edilebilir. Ayrıca çözünmüş katı madde konsantrasyonlarının belirlenmesi için iyonik gücün bir fonksiyonu olan suyun elektriksel iletkenliği ölçülerek yaklaşık bir tahminde bulunulabilir [21]. Fakat sadece iyonize olan maddeler iletkenliğe katkıda bulunurken, iyonize olmadan çözünen bileşikler ve organik moleküller ölçülmediğinden iletkenlik ile TDS birebir eşit değildir [21].

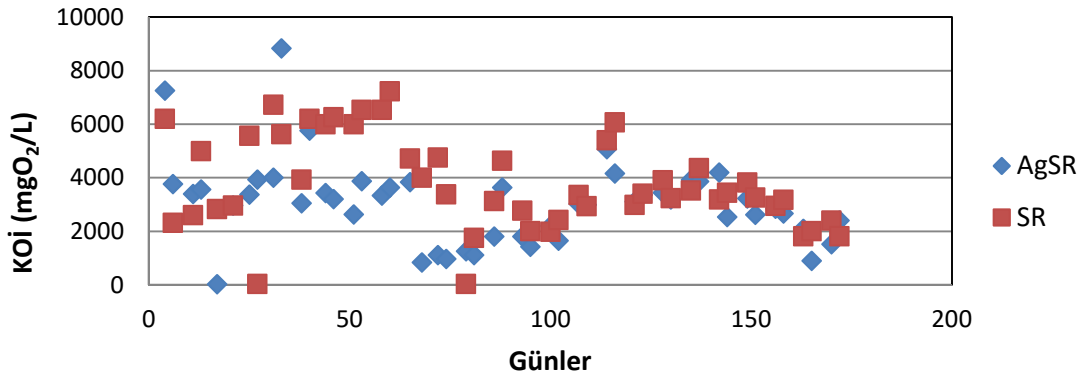


**Grafik 4.** Aerobik (SR) ve Gümüşlü Aerobik (AgSR) reaktörlerinde TDS değişimi

Sızıntı suyundaki toplam çözülmüş katı madde çalışmanın ilk günlerde artış gösterdiği 40.günden itibaren azalmaya başladığı görülmüştür. Bu azalışın yağmur suyunu temsilen haftalık olarak reaktörlere eklenen saf suyun seyrelmesi ile açıklanabilir.

### 3.5. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), organik madde muhtevasının oksijen eşdeğerinin bir ölçüsüdür. Yapılan çalışmalarda depolama sahasındaki atık ayrışmasının ilk safhalarında sızıntı suyu organik muhtevasının oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Genç depo sahalarında meydana gelen sızıntı sularının içeriğindeki organik maddelerin %90 lık önemli bir kısmı organik asitlerden kaynaklanmakta ve bu organik asitlerin %90'a yakını asetik, propiyonik ve bütirik asitlerden kaynaklanmaktadır. Ayrışmanın ilerleyen safhalarında organik asitlerin kolay ayrışabilen kısımlarının tükenmesi ile KOİ konsantrasyonunda da önemli bir azalma meydana gelmektedir.



**Grafik 5.** Aerobik (SR) ve Gümüşlü Aerobik (AgSR) reaktörlerinde KOİ değerleri

AgSR ve SR'nin KOİ değerleri grafik 7'de verilmiştir. Başlangıç KOİ değerleri sırasıyla 7255,6 mgO<sub>2</sub>/L ile 6200 mgO<sub>2</sub>/L olan AgSR ve SR'nin ayrışma sonunda 2397,9 mgO<sub>2</sub>/L ve 1814,6 mgO<sub>2</sub>/L KOİ ye sahip oldukları görülmüştür.

### 3.6. Gümüş nanopartikül

Reaktörlerden alınan sızıntı suyu numunelerindeki gümüş nanopartikül miktarı 11. günde AgSR de 0.123 mg/L iken, SR de 0.05 mg/L'nin altındadır. Zaman içerisinde sızıntı suyunda artan gümüş miktarı, deneylerin sonunda kontrol reaktörü gibi 0.05 mg/L'nin altına düşmüştür. Katı numuneleri incelendiğinde ise başlangıçta 6,25 mg/kg olan gümüş, deney sonunda 40,69 mg/kg a çıkması ile gümüş nanopartikülün katı atık numunelerinde tutunduğunu sızıntı suyunda birikmediği görülmüştür.

## 4. Sonuçlar

Antibakteriyel etkisi olduğu bilinen gümüş nanopartikülün evsel atığa 10 mg/kg yüklenmesine rağmen atıkların biyolojik ayrışmasına engel teşkil edecek toksik etki gözlenmemiştir. Atık

stabilizasyonu zaman içerisinde gerçekleşmiştir. Gümüş nanopartikül sızıntı suyundan çok atığın kendi bünyesinde biriktiğinden, sızıntı suyu ile yeraltı veya yüzeysel sulara taşınımının da kısıtlı olduğu düşünülmektedir.

## Referanslar

- [1] [http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/388bd976685064b\\_ek.pdf?dergi=535](http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/388bd976685064b_ek.pdf?dergi=535)  
Yrd. Doç. Dr. Cem Güneşoğlu “Nanoteknoloji ve Tekstil Sektöründeki Uygulamaları (Nano Tekstiller)” Mühendis ve Makine Cilt:50 Sayı:591, 25-34 (son erişim 23.09.16)
- [2] Kavaz, D. (2011) “Nanopartiküller” Nanobülten13 Sayı: Mayıs 2011 sy: 12-19
- [3] Lewinski N, Colvin V, Drezek R. Cytotoxicity of nanoparticles. Small 2008; 4: 26-49
- [4] Parlak, E. B. (2013), “Gümüş ve Alüminyum Nanoparçacıklarının Aktif Çamurdaki Mikrobiyal Yapıya Olan Nanotoksikolojik Etkilerinin Belirlenmesi” Master Tezi, İTÜ, İstanbul.
- [5] Garnett MC, Kallinteri P (2006). Nanomedicines and nanotoxicology: some physiological principles. Occ. Med. 56:307-311.
- [6] Limbach LK, Wich P, Manser P, Grass RN, Bruinink A, Stark WJ (2007). Exposure of engineered nanoparticles to human lung epithelial cells: influence of chemical composition and catalytic activity on oxidative stress. Environ. Sci. Technol. 41:4158-4163.
- [7] Baker, C., Pradhan, A., Pakstis, L., Pochan, D.J., Shah, S.I., Synthesis and antibacterial properties of silver nanoparticles, Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 5(2):244-249, 2005.
- [8] Dizaji A. N.(2012), “Rhodopseudomonas Palustris Kullanılarak Gümüş Nanopartiküllerin Üretimi”, Hacettepe Üniversitesi, Biyomühendislik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [9] Yazıcı, E. (2009), “Ultrasonik Sprey Piroliz Tekniğiyle Küresel Gümüş Nano-partiküllerinin Üretimi” Yüksek lisans tezi, İTÜ, İstanbul.
- [10] Keskin, A.S., (2011), “Nano Boyutta Gümüş Sentezi ve Tetra Pirollerle Etkileşimlerinin İncelenmesi” İTÜ, Kimya ABD, Yüksek lisans tezi, İSTANBUL.
- [11] Choi, O., Hu, Z., 2008. Size dependent and reactive oxygen speciesrelated nanosilver toxicity to nitrifying bacteria. Environmental Science and Technology 42 (12), 4583-4588
- [12] San, İ., Onay, T. T., 2001. Impact of various leachate recirculation regimes on municipal solid waste degradation. Journal of Hazardous Materials, 87, 259-271.
- [13] Ağdağ, O.N., Sponza, D. (2004), “Katı Atıkların Simüle Biyoreaktörlerde Ayrışmasını Etkileyen Faktörler: ‘Katı Atıkların Sıkıştırılması ve Parçalanması’”, Cilt: 6, Sayı: 3, 83-94
- [14] Kim, H., (2005). Comparative studies of aerobic and anaerobic landfills using simulated landfill lysimeters, Doktora Tezi, University of Florida, USA.
- [15] Erses, S., Onay, T.T. ve Yenigün, O., (2008). Comparison of aerobic and anaerobic degradation of municipal solid waste in bioreactor landfills, Bioresource Technology, 99, 5418-5426.
- [16] Jun, D., Yongsheng, Z., Henry, R.K. ve Mei, H., (2007). Impacts of aeration and active sludge addition on leachate recirculation bioreactor, Journal of Hazardous Materials, 147, 240-248.
- [17] Erses, A.S., (2008), “Sustainable Solid Waste Management and In Situ Attenuation Mechanisms in Landfills Under Aerobic and Anaerobic Conditions”, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul 2008.



- [18] Christensen, T.H., Kjeldsen, P., “Basic biochemical processes in landfills. Sanitary Landfilling : Process, Technology and Environmental Impact”, Academic Press, London, UK.,1989.
- [19] Pohland, F.G., “Leachate Recycle as Landfill Management Option”, Journal of Environmental Engineering, 106, s. 1057-1069, 1980.
- [20] Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S.A., (1993), Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues, McGraw Hill, Inc, USA.
- [21] Bilgili, M.S., (2006), “Katı Atık Düzenli Depo Sahalarında Atıkların Aerobik ve Anaerobik Ayrışması Üzerine Sızıntı Suyu Geri Devrinin Etkileri”, Doktora Tezi, YTÜ, İstanbul.