



## DERLEME MAKALE / REVIEW ARTICLE

Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi / BAUN Sağ Bil Derg  
Balıkesir Health Sciences Journal / BAUN Health Sci J  
ISSN: 2146-9601- e ISSN: 2147-2238  
Doi: <https://doi.org/10.53424/balikesirsbd.1158751>



### Sucul Ortamlarda Nanopartikül Toksikitesi

İlker ŞİMŞEK<sup>1</sup>, Özgür KUZUKIRAN<sup>2</sup>, Ayhan FİLAZİ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Çankırı Karatekin Üniversitesi, Eldivan Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü

<sup>2</sup> Çankırı Karatekin Üniversitesi, Eldivan Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu, Veterinerlik Bölümü

<sup>3</sup> Ankara Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Farmakoloji ve Toksikoloji Anabilim Dalı

*Geliş Tarihi / Received: 07.08.2022, Kabul Tarihi / Accepted: 16.09.2022*

#### ÖZ

Nanopartiküller (NP'ler) 1 ile 100 nm arasında bulunan partiküllere verilen isimdir. NP'ler normal malzemelerden farklı belirli fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı ticari kullanım için yapay olarak sentezlenmekte, endüstriyel üretim esnasında kasıtsız bir yan ürün veya doğal olarak meydana gelmektedir. Her gün gelişmekte olan nanoteknoloji, elektronik, tıp, inşaat, kozmetik, tekstil, otomotiv, çevre, gıda, ev aletleri, yenilebilir enerji, petrol, tarım, matbaacılık, spor ve sağlık gibi alanlarda kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan NP'ler ise gümüş (Ag), titanyum (Ti) ve silikon dioksit (SiO<sub>2</sub>) veya karbon (C) tabanlı olanlardır. Ticari olarak üretilen NP'ler, üretim aşamalarında veya yaşam döngülerinin son aşamasında atık ürünler olarak sucul ortama deşarj edilebilmektedir. Bu NP'ler yüzey veya yeraltı suyu ortamlarına geçebilmektedir. Su kaynaklarına doğrudan, yağış veya topraktan süzülüp gelen NP'ler balık, kabuklular ve hatta tek hücreli organizmalar gibi sucul organizmalara yönelik önemli etkilere neden olabilmektedirler. Sucul organizmalar NP'lere solungaçları, yutma, dermal temas, hücrelere adsorpsiyon gibi yollarla maruz kalmaktadırlar. NP'ler canlılarda lipid peroksidasyonuna, hücre yapısının bozulmasına, mitokondride bozulmaya, protein oksidasyonuna ve DNA hasarı gibi etkilere neden olmaktadır. NP'ler çevresel risk değerlendirmeleri çoğunlukla tüm risk faktörlerini dikkate almayan standart laboratuvar koşulları altında gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle çevre ve atık su ortamları gibi karmaşık ortamlara salınan NP'lerin bu ortamlardaki davranışları laboratuvar ortamından farklı olabilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Nanopartikül, Nano Teknoloji, Toksikite, Suda Yaşayan Canlılar.

#### Nanoparticle Toxicity in Aquaculture

#### ABSTRACT

Nanoparticles (NPs) are the name given to particles that exist between 1 and 100 nm. NPs are synthesized artificially for commercial use due to certain physical and chemical properties different from normal materials, occur as an unintentional by-product during industrial production, or occur naturally. Nanotechnology, which is developing every day, is used in fields such as electronics, medicine, construction, cosmetics, textiles, automotive, environment, food, household appliances, renewable energy, petroleum, agriculture, printing, sports and health. The most commonly used NPs are those based on silver (Ag), titanium (Ti), and silicon dioxide (SiO<sub>2</sub>) or carbon (C). Commercially produced NPs can be discharged into the aquatic environment as waste products during the production stages or at the final stage of their life cycle. These NPs can migrate to surface or groundwater environments. NPs that leach into water sources directly from precipitation or soil can cause significant effects on aquatic organisms such as fish, crustaceans and even single cell organisms. Aquatic organisms are exposed to NPs through gills, ingestion, dermal contact, and adsorption to cells. NPs cause effects such as lipid peroxidation, disruption of cell structure, deterioration in mitochondria, protein oxidation and DNA damage in living things. Environmental risk assessments of NPs are often performed under standard laboratory conditions that do not consider all risk factors. Because of that the behavior of NPs released into complex environments such as environment and wastewater environments may be different from the laboratory environment.

**Keywords:** Nanoparticle, Nano Technology, Toxicity, Aquatic Creatures.

**Sorumlu Yazar / Corresponding Author:** İlker ŞİMŞEK, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Eldivan Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Çankırı, Türkiye

**E-mail:** [ilkers@karatekin.edu.tr](mailto:ilkers@karatekin.edu.tr)

**Bu makaleye atıf yapmak için / Cite this article:** Şimşek, İ., Kuzukıran, Ö., Filazi, A. (2022). Sucul ortamda nanopartikül toksisitesi. *BAUN Sağ Bil Derg*, 11(Supplement 1): 59-63. <https://doi.org/10.53424/balikesirsbd.1158751>



BAUN Health Sci J 2022 OPEN ACCESS <https://dergipark.org.tr/pub/balikesirsbd>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

## GİRİŞ

Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (ISO) Teknik komitesi 229, 2010 yılında nanoteknolojiyi (NT) “1-100 nm nano ölçekteki nesnelere ve organizmaları bilmek ve kullanmak” olarak tanımlamıştır (Ruttkey-Nedecky ve ark., 2018). Nanopartiküller (NP), en az bir boyutu 1 ile 100 nm arasında olan malzemeler olarak tanımlanır. NP'lerin, normal malzemelerinden farklı belirli fiziko-kimyasal özellikleri bulunmaktadır (Lopez-Serrano ve ark., 2014). Bu parçacıklar küresel, boru şeklinde veya düzensiz formda olabilir. NP'ler, doğal ve sentetik olarak iki gruba ayrılır. Bu iki grup da NP'lerin kimyasal bileşimlerine göre organik ve inorganik (mineral) olmak üzere alt gruplara ayrılır (Taghavi ve ark., 2013).

Hem organik hem de inorganik NP'ler, potansiyel kirleticiler olabilirler. Geçmişte analitik tekniklerdeki sınırlamalar nedeniyle çoğunlukla tanımlanamamışlardır. NP'ler ticari kullanım için yapay olarak sentezlenebilir, kasıtsız bir yan ürün olarak üretilebilir veya doğal olarak meydana gelebilirler. Biyosfer, antropojenik nano boyutlu parçacıklar ve diğer doğal NP'ler açısından zengindir (Malakar ve ark., 2021). Volkanik külden, orman yangınlarından, yıldırımdan veya uzayda oluşan doğal NP'ler havada kolayca bulunabilir. Kurumdan üretilen doğal olarak oluşan çok duvarlı karbon nanotüpler, havada 15 ile 70 nm arasında değişen boyutlarda bulunmuştur (Griffin ve ark., 2018). Antropojenik endüstriyel süreçlerin (örneğin dizel egzozu, kömür yakma ve kaynak dumani) sonucu oluşan, atık veya antropojenik partiküller olarak da tanımlanan kasıtsız üretilen NP'lerdir (Ma ve ark., 2016). NP'lerin sentezi için fiziksel, kimyasal ve çevre dostu yeşil sentez yöntemleri kullanılmaktadır. Her yöntemin kendine özgü artıları ve sınırlamaları bulunmaktadır (Andaç ve ark., 2022). NP'ler, kimyasal bileşime bağlı olarak karbon NP'ler (fullerenler ve nanotüpler), metal oksitler (titanium dioksit (TiO<sub>2</sub>) ve çinko oksit (ZnO)), metal NP'ler (altın (Au)), yarı iletkenler (kuantum noktaları) ve organik polimerik NP'ler (dendrimerler) olarak gruplandırılır (Krysanov ve ark., 2010).

NT veri tabanında 7 Ocak 2022 tarihi itibariyle elektronik, tıp, inşaat, kozmetik, tekstil, otomotiv, çevre, gıda, ev aletleri, yenilenebilir enerji, petrol, tarım, matbaacılık, spor ve sağlık ile diğer olmak üzere 15 sınıfta toplam 9471 nano ürün olduğu ve bu sınıflarda en yaygın kullanılan NP'lerin ise gümüş (Ag), titanyum (Ti) ve silikon dioksit (SiO<sub>2</sub>) veya karbon (C) tabanlı olanlar olduğu görülmektedir (Filazi ve Şimşek, 2022).

NP'ler, boyutları, dağılımları ve morfolojileri nedeniyle benzersiz fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere sahip bir tür nanomalzemedir (NM) (Haghighat ve ark., 2021). NP'lerin büyük oranda uygulamaları, normal malzemeler ve bunların tuzlarına kıyasla çok yüksek yüzey alanı/hacim oranı, daha yüksek reaktivite, yüzey potansiyeli,

ayarlanabilir fiziksel/kimyasal özellikler, moleküler manipülasyon vb. gibi benzersiz özellikleri nedeniyle mümkündür ve tercih edilir (Ameen ve ark., 2021). Yukarıda bahsedilen olağanüstü özellikleri nedeniyle NT, en hızlı büyüyen teknolojik sektörlerden biridir ve yüksek ekonomik etkiye sahiptir (Lopez-Serrano ve ark., 2014). Ticari olarak üretilen NP'ler, üretim aşamalarında veya yaşam döngülerinin son aşamasında atık ürünler olarak sucul ortama deşarj edilebilir. Bu NP'ler yavaş yavaş yüzey ve yeraltı suyu ortamlarına geçebilir veya daha sonra bitkiler veya hayvanlar tarafından alınmak üzere toprakta kalabilirler. Atık su, NP'leri doğal çevreye dağıtmak için birincil vektörlerden biri olarak kabul edilmektedir (Malakar ve ark., 2021).

NP çeşitlerinin günden güne artması ve hücreler üzerindeki keşfedilmemiş etkileşim mekanizmaları nedeniyle, fitotoksik, sitotoksik ve genotoksik özelliklerinin belirlenmesi de dahil olmak üzere organizmalar üzerindeki potansiyel zararlı etkileri için sürekli testler yapılmaktadır (Długosz ve ark., 2021). NP'lerin ekotoksikolojik etkilerinin ve toksisitesinden sorumlu içsel ve dışsal faktörlerin (boyut, kimyasal bileşim, şekil, eğrilik açısı, kristal yapı, yüzey pürüzlülüğü, hidrofobiklik vb.) araştırılması önem arz etmektedir (Bakshi ve ark., 2014). Nanoteknolojinin yaygınlaşmasıyla, bu NP'lerin büyük miktarları yüzey sularına ve bu yolla sucul ortamlara deşarj edilmektedir. Bu da sucul biyota üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Birbirleriyle veya diğer kirleticilerle birlikte bulunan NP'lerin toksisite mekanizmaları ve davranışları, su veya canlı organizmalardaki birikimlerini de değiştirebilmektedir (Haghighat ve ark., 2021).

Su kaynaklarına doğrudan, yağış veya topraktan süzülüp gelen NP'ler balık, daphnia ve hatta tek hücreli organizmalar gibi sucul organizmalara yönelik önemli etkilere neden olabilmektedirler. Sucul organizmalar NP'lere solungaçları, yutma, dermal temas, hücrelere adsorpsiyon gibi sürekli temas etmek zorunda kaldıklarından karadaki organizmalardan daha fazla NP toksisitesine maruz kalırlar. Sucul canlılarda birikim gösteren NP'ler diğer türlere gıda zinciriyle geçmekte ve böylece her ekosistemdeki tüm trofik seviyeleri etkilemektedirler (Filazi ve Şimşek, 2022).

## GENİŞLEME

NP'ler, memelilerin farklı hücre zarlarından geçebilir ve emilebilir. Emilim oranları boyutlarına bağlıdır. Daha sonra NP'lerin boyutu ve hücrelerdeki dağılımı, agregasyonu ve sedimentasyonları, absorpsiyon oranlarını belirlemede en önemli parametrelerdir. Bazı özel hücrelerde, nanopartiküllerin hücresel absorpsiyonu endositoz veya fagositoz ile gerçekleşir. NP'ler, hücrelerde mitokondri gibi belirli yerlerde depolanır ve toksik reaksiyonlara neden olabilmektedirler. NP'ler, çok hücreli organizmalarda iltihaplanma ve fibroze neden olabilir ve tek hücreli

organizmalardaki ana etkileri, antioksidan özellikleri ve sitotoksisiteleleridir (Taghavi ve ark., 2013).

NP'ler, geniş yüzey alanına sahip olduklarından membranlara, proteinlere ve DNA'da önemli hasarlara neden olan reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumuna neden olurlar. Bir organizmada ROS ( $-O_2$ ,  $HO_2$ ,  $-OH$  ve  $H_2O_2$  gibi) türlerinin üretiminde artış olması, "nanotoksosite fenomeni" adı verilen lipid peroksidasyonuna, hücre yapısının bozulmasına, mitokondride bozulmaya, protein oksidasyonuna ve DNA hasarına neden olabilmektedir (Filazi ve Şimşek, 2022).

Toplanma eğilimi ve suda belirli bir dereceye kadar zayıf çözünürlük, canlı organizmalar için NP'lerin çoğunun erişilebilirliğini sınırlar. Fullerenlerin sulu ortamda ve toprakta en azından düşük hareketlilik gösterdiği bilinmektedir. Bununla birlikte, bazı veriler, deri yoluyla, hava yoluyla veya su ve gıda ile girebilecekleri hayvan ve insan vücutlarına nüfuz ettiklerini göstermektedir (Krysanov ve ark., 2010).

NP'ler sadece pulmoner sistemler gibi temas yerlerinde değil, aynı zamanda fizyolojik bariyerlere nüfuz edebilir ve böylece kardiyovasküler sistemler ve beyin gibi sistemik organlarda olumsuz etkilere neden olabilmektedirler (Chen ve ark., 2016). Suda yaşayan organizmalarla yapılan deneylerle, bir ortamda NP'lerin varlığının doğurganlığın azalmasına, fizyolojik değişikliklere, davranış anormalliklerine ve ölüm oranının artmasına neden olduğu gösterilmiştir (Krysanov ve ark., 2010).

Xiong ve arkadaşları (2011) nano ölçekli titanyum dioksit ( $TiO_2$ ) ve çinko oksit ( $ZnO$ ), zebra balığında akut toksisitesi ve oksidatif etkilerini araştırmışlardır.  $TiO_2$  NP'lerinin (96 saatlik  $LC_{50}$ , 124,5 mg/L) akut toksisitesi esasen toksik olmayan  $TiO_2$ 'den daha fazla bulunmuştur. 5 mg/L  $ZnO$  NP'lerine ve  $ZnO$ 'ya maruz kalan balıkların karaciğerindeki malondialdehit seviyeleri yükselmiştir (kontrol gruplarına göre sırasıyla %204.2 ve %286.9'u). Ek olarak, bağırsak dokuları, NP süspansiyonlarına maruz kaldıktan sonra oksidatif etkiler sergilemiştir (Xiong ve ark., 2011).

Chen ve arkadaşları (2012) yaptıkları çalışmada graphene oxide (GO) konsantrasyonu 50 mg/L'ye ulaştığında zebra balığı embriyolarında hücre büyümesini inhibe ederek zebra balığı için potansiyel çevresel riske sahip olduğu görülmüştür (Chen ve ark., 2012).

Paital ve arkadaşları (2019) yaptıkları çalışmada tatlı su balığı *Anabas testudineus*, GO'nun neden olduğu toksik etkileri değerlendirmek için model balık olarak kullanılmıştır. Sonuçlar, GO'nun, artan lipid peroksit birikimi, enzim aktivitesi, azaltılmış toplam kırmızı kan hücresi sayısı ve protein seviyesi değişiklikleri ile kanıtlanan, tatlı su balıklarında hücre ve mitokondri içinde oksidatif stresi indükleyebileceği ortaya konmuştur (Paital ve ark., 2019).

Zebra balığı erken embriyogenezinde fulleren  $C_{60}$  ve  $C_{70}$ 'in embriyotoksitesitesi ve genotoksitesitesi, embriyolardaki malformasyonlarda önemli artış ve

yüksek fulleren konsantrasyonlarında (200  $\mu g/L$ ) ölüm meydana getirmiştir. Ayrıca, modifiye edilmemiş fullerenlerin, hidroksillenmiş varyantlardan daha toksik olduğu bulunmuştur (Krysanov ve ark., 2010).

Yalsuyi ve Vajargah (2017)'in farklı gümüş nanoparçacık konsantrasyonu aralığında 24, 48, 72, 96 saatlik akut toksisite çalışması sonucu, Kızılğöz Balığı (*Rutilus rutilus*) için Ag NP toksisitesi (6.590 ml/L) ile Japon Balığı (*Carassius auratus*) (11.2 ml/L) ile karşılaştırıldığında, önemli bir fark olduğunu göstermiştir. Ayrıca sonuçlar Ag NP'lerin balık türleri için oldukça toksik olduğu belirtilmiştir (Yalsuyi ve Vajargah, 2017).

Ateş ve arkadaşları (2013) düşük ve yüksek konsantrasyonlarda  $TiO_2$  NP'lere maruz kalmanın Japon balığı (*Carassius auratus*) üzerindeki ölümcül etkilerini araştırmışlardır.  $TiO_2$  NP birikimi bağırsakta 42.71 ppb'den 110.68 ppb'ye ve japon balıklarının solungaçlarında 4.10 ppb'den 9.86 ppb'ye, artan maruziyet dozu ile 10 mg/L'den 100 mg/L  $TiO_2$  NP'lerine yükseldiği bulunmuştur. Balığın kaslarında ve beyinde önemli bir birikim tespit edilmediği bildirilmiştir (Ateş ve ark., 2013).

Jovanovic ve arkadaşları (2011) yaptıkları çalışmada, zebra balığı embriyolarına, tasarlanmış nanopartikülleri ( $TiO_2$  ve hidroksillenmiş fullerenler/ $C_{60}(OH)_{24}$ ) sublethal dozda otik vezikül içine enjekte etmişlerdir. NP'lerin genlerin ekspresyonunu değiştirme potansiyelini belirlemek için enjekte edilen ve kontrol embriyoları üzerinde bir dizi analiz yapılmıştır. Analizler sonucunda sirkadiyen ritim, kinaz aktivitesi, veziküler taşıma ve bağışıklık tepkisinde yer alan genler üzerinde gen regülasyonu üzerinde önemli etkiler gözlenmiştir (Jovanovic ve ark., 2011).

Bazı balık türlerinde metalik NP'ler çözülmüş formlardan daha toksik olabilmektedir. Genç zebra balıklarında, bakır (Cu) NP'ler için 0.71mg/L'de ve çözülmüş Cu için 1.78 mg/L'de  $LC_{50}$ 'ye ulaşılmıştır. Bu NP'lerin akciğer toksisitesi, doku elementlerinin bozulması,  $Na^+/K^+$  ATPaz inhibisyonu ve oksidatif stres gibi ölümcül olmayan etkilere neden olduğunu göstermektedir. Nanometallerden kaynaklanan organ patolojileri, solungaç, karaciğer, bağırsak ve beyin gibi çeşitli organlarda bulunabilmektedir (Shaw ve Handy, 2011).

İmani ve arkadaşları (2015) yaptıkları çalışmada üç grup, 0.1 mg/l Ag NP solüsyonu (T1), 0.2 mg/l Ag NP (T2) ve 0.4 mg/l Ag NP (T3) verilen gökkuşağı alabalıklarını (*Oncorhynchus mykiss*) ve kontrol grubunu içermektedir. Deneyin dördüncü ve sekizinci günlerinde, kırmızı kan hücreleri (RBC)'lerin ve beyaz kan hücreleri (WBC)'lerin değerleri tüm tedavilerde kontrol grubundakilerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Sekizinci günde T3 grubundaki hemotokrit (Hct), kontrol grubuna göre daha düşük değerler göstermiştir. İlk kan örneklemeğinde T2 ve T3 gruplarında hemoglobin (Hb) konsantrasyonları kontrol grubuna göre daha yüksek olmasına rağmen,

T3 grubu için ikinci örneklemede Hb değerlerinde kontrol grubuna göre anlamlı bir düşüş gözlenmiştir. Karaciğer enzimlerinin (ALT, AST, ALP ve LDH) konsantrasyonları, tüm tedavi gruplarında kontrol grubundakilerden daha yüksek bulunmuştur. Sonuç olarak, Ag NP'lerin gökkuşağı alabalığının hematolojik parametrelerinde önemli değişikliklere neden olduğu gösterilmiştir (Imani ve ark., 2015).

*Daphnia magna* veya *Thamnocephalus platyurus* gibi kabuklular da NP'lerin potansiyel zararlı etkilerini test etmek için, bazen karşılık gelen metal toksisiteleriyle karşılaştırıldığında kullanılmıştır. *Daphnia magna*'da gümüş nitrat (AgNO<sub>3</sub>) esas olarak üremeyi etkilemiştir ve 20 nm Ag NP'ler büyümeyi etkilemiştir (Zhao ve Wang, 2010).

Kachenton ve arkadaşları (2019) yaptıkları çalışmada, histopatolojik inceleme ile Ti NP'lerin 24 saatlik LC<sub>50</sub>'sini belirleyerek, doğal su kaynakları için tehlikeli etkileri temsil eden su canlıları üzerindeki Ti NP toksisitelerini araştırmışlardır. Model olarak tuzlu su kidesi (*Artemia salina*) seçilmiştir. On yetişkin *A. salina*, üç grup halinde çeşitli Ti NP konsantrasyonları ile 24 saat boyunca oda sıcaklığında inkübe edilmiştir. *A. salina*'nın ölüm sayısı kaydedilmiş ve LC<sub>50</sub> değeri hesaplanmıştır. LC<sub>50</sub> sonucu 1693,43 mg/L bulunmuştur. Daha sonra, %25 LC<sub>50</sub> Ti NP ile 24 saat inkübasyondan sonra canlılar seçilerek *A. salina*'nın histopatolojik incelemesi yapılmıştır. Doku işleme, kesit alma ve hemotoksilen eozin (H&E) ile boyanan prepatlar ışık mikroskopunda incelenmiştir. Histopatoloji, bağırsak yolu boyunca Ti NP oklüzyonunu ortaya koymuştur. Epitel hücreleri hiperplazi, villus deformasyonu, düzensiz dizilim, şiddetli ödem ve nekroz alanı gibi anormal morfoloji göstermiştir (Kachenton ve ark., 2019).

NP'lerin karakterizasyonu, uygulamaları, absorpsiyon ve toksikoloji ile ilgili araştırmalar için önemli bir husustur. NP'lerin matriks, analit, konsantrasyon, karmaşıklık ve doğal özellikleri temelinde karakterizasyonu için farklı yöntemler kullanılmaktadır. NP'lerin çeşitli karakterizasyon yöntemleri rapor edilmiş ve yaygın olarak kullanılmaktadır. NP'lerin karakterizasyonu boyut ve şekle göre ayırma yöntemlerine dayanmaktadır. Ayırma yöntemi için kullanılan ilk teknikler santrifüjleme ve ultrafiltrasyondur. Ancak bu yöntemler boyutu 10 nm'den küçük NP'ler için kullanılamamaktadır. HPLC, en güvenilir ayırma yöntemidir. Bu aşamadan sonra istenilen NP'ler üzerinde jel elektroforez ve kapiler elektroforez yapılmaktadır (Lopez-Serrano ve ark., 2014). Mikroskopi, standart malzeme ile herhangi bir karşılaştırma yapmadan istenen NP'lerin şeklini, boyutunu ve partikül agregasyonunu belirlemek için kullanılmaktadır (Daniel ve Astruc, 2004). Spektrometrik yöntemler, NP'lerin karakterizasyonu için en yaygın kullanılan yöntemdir. UV-VIS spektrometrisi, partikül agregasyonu ve ortalama

partikül boyutu temelinde NP'lerin araştırılmasında kullanılmaktadır (Overbeck ve ark., 2008).

NP'lerin risk değerlendirmesinde iki metod kullanılmaktadır. Bunlardan ilki maruziyet verileri kullanılarak yapılan nicel risk değerlendirmesi ikincisi ise maruziyet verilerine ulaşma olanağı bulunmayan durumlarda yapılan nitel risk değerlendirmesidir (Filazi ve Şimşek, 2022). NP'lerin çevresel risk değerlendirmeleri çoğunlukla tüm risk faktörlerini dikkate almayan standart laboratuvar koşulları altında gerçekleştirilmektedir. Ancak NP'ler kaçınılmaz olarak çevrede karmaşık ortamlara maruz kalmaktadır. NP'lere dayalı güvenli ürünlerin tasarımı için fizikokimyasal özellikleri ile toksisite arasındaki ilişkinin temelden anlaşılması önemlidir (Du ve ark., 2020).

## SONUÇ

Doğal yoldan oluşan NP'ler az oluştukları için çevre ve sucul canlılar için bir tehdit oluşturmamaktadır. Ancak NT'nin günden güne önem kazanmasıyla NP çeşitlerinin ve üretimin artmasıyla üretim esnasında veya sonrasında atık olarak çevreye salınması ve standart atık su arıtımında NP'ler için bir arıtma olmaması nedeniyle sucul ortama geçmektedirler. Nanometre boyutunda oldukları için canlıların vücuduna ve hücrelere kolaylıkla geçebilmektedirler. Gıda zincirindeki canlılara geçme olasılığı nedeniyle insanlar içinde bir risk faktörü olmaktadır. Bu nedenle üretimi ve atık olarak bertarafı denetlenmeli ve belirli kurallara bağlanmalıdır.

## Çıkar Çatışması

Yazarlar, bu makalenin derlenmesi, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan etmemektedir.

## Yazar Katkıları

**Plan, tasarım:** İŞ, ÖK; **Gereç, yöntem ve veri toplama:** İŞ, ÖK; **Veri analizi ve yorum:** İŞ, AF; **Yazım ve eleştirel değerlendirme:** İŞ, AF.

## KAYNAKLAR

- Ameen, F., Alsamhary, K., Alabdullatif, J. A. & Alnadhari, S. (2021). A Review on metal-based nanoparticles and their toxicity to beneficial soil bacteria and fungi. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 213, 112027. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112027>.
- Andaç, M., Dikbaş, Ç. & Akyüz, G. (2022). Nanopartiküllerin genel özellikleri, sentez ve karakterizasyon teknikleri. *Türkiye Klinikleri Veterinary Sciences- Pharmacology and Toxicology - Special Topics*, 1-10.
- Ateş, M., Demir, V., Adıgüzel, R. & Arslan, Z. (2013). Bioaccumulation, subacute toxicity, and tissue distribution of engineered titanium dioxide nanoparticles in goldfish (*carassius auratus*). *Hindawi Publishing Corporation Journal of Nanomaterials*, Article ID 460518, 6. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/460518>.



- Bakshi, M., Singh, H. B. & Abhilash, P. C. (2014). The unseen impact of nanoparticles: more or less?. *Current Science*, 106, 3.
- Chen, L., Hu, P., Zhang, L., Huang, S., Lou, L. & Huang, C. Z. (2012). Toxicity of graphene oxide and multi-walled carbon nanotubes against human cells and zebrafish. *Science China Chemistry* October, 55(10). <https://doi.org/10.1007/s11426-012-4620-z>.
- Chen, R., Hu, B., Liu, Y., Xu, J., Yang, G., Xu, D., et al. (2016). Beyond pm2.5: the role of ultrafine particles on adverse health effects of air pollution. *Biochimica et Biophysica Acta.*, 1860(12):2844-2855.
- Daniel, M. C. & Astruc, D. (2004). Gold nanoparticles: assembly, supramolecular chemistry, quantum-size related properties, and applications toward biology, Catalysis, And Nanotechnology. *Chemical Reviews*, 104, 293–346.
- Długosz, O., Sochocka, M., Ochnik, M. & Banach, M. (2021). Metal and bimetallic nanoparticles: flow synthesis, bioactivity and toxicity. *Journal of Colloid and Interface Science*, 586, 807-818. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.11.005>.
- Du, J., Tang, J., Xu, S., Ge, J., Dong, Y., Li, H., et al. (2020). ZnO nanoparticles: recent advances in ecotoxicity and risk assessment. *Drug and Chemical Toxicology*, 43:3, 322-333. <https://doi.org/10.1080/01480545.2018.1508218>.
- Filazi, A. & Şimşek, İ. (2022). Nanomateryallerin istenmeyen etkileri ve toksikolojik değerlendirme yöntemleri. *Türkiye Klinikleri Veterinary Sciences- Pharmacology and Toxicology - Special Topics*, 71-77.
- Griffin, S., Masood, M. I., Nasim, M. J., Sarfraz, M., Ebokaiwe, A. P., Schäfer, K-H., et al. (2018). Natural nanoparticles: a particular matter inspired by nature. *Antioxidants*, 7, 3. <https://doi.org/10.3390/antiox7010003>.
- Haghighat, F., Kim, Y., Sourinejad, I., Yu, I. J. & Johari, S. A. (2021). Titanium dioxide nanoparticles affect the toxicity of silver nanoparticles in common carp (*Cyprinus carpio*). *Chemosphere*, 262, 127805. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127805>.
- Imani, M., Halimi, M. & Khara, H. (2015). Effects of silver nanoparticles (agNPs) on hematological parameters of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Comparative Clinical Pathology*, 24:491-495. <https://doi.org/10.1007/s00580-014-1927-5>.
- Jovanovic, B., Ji, T. & Palic, D. (2011). Gene expression of zebrafish embryos exposed to titaniumdioxide nanoparticles and hydroxylated fullerenes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74,1518-1525.
- Kachenton, S., Jiraungkoorskul, W., Kangwanransan, N. & Tansatit, T. (2019). Cytotoxicity and histopathological analysis of titanium nanoparticles via *Artemia salina*. *Environmental Science and Pollution Research*, 26:14706-14711. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1856-y>.
- Krysanov, E. Y., Pavlov, D. S., Demidova, T. B. & Dgebuadze, Y. Y. (2010). Effect of nanoparticles on aquatic organisms. *Biology Bulletin*, 37,4: 406-412.
- Lopez-Serrano, A., Olivas, R. M., Landaluze, J. S. & Camara, C. (2014). Nanoparticles: a global vision. characterization, separation, and quantification methods. potential environmental and health impact. *Analytical Methods*, 6, 38-56.
- Ma, Z., Yin, X., Ji, X., Yue, J. Q., Zhang, L., Qin, J. J., et al. (2016). Evaluation and removal of emerging nanoparticle contaminants in water treatment: a review. *Desalin Water Treatment*, 57, 11221-11232. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1038734>.
- Malakar, A., Kanel, S. R., Ray, C., Snow, D. D. & Nadagouda, M. N. (2021). Nanomaterials in the environment, human exposure pathway, and health effects: a review. *Science of the Total Environment*, 759, 143470. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143470>.
- Overbeck, S., Rink, L. & Haase, H. (2008). Modulating the immune response by oral zinc supplementation: a single approach for multiple diseases. *Archivum Immunologiae et Therapiae Experimentalis*, 56, 15-30. <https://doi.org/10.1007/s00005-008-0003-8>.
- Paital, B., Guru, D., Mohapatra, P., Panda, B., Parida, N., Rath, S., et al. (2019). Ecotoxic impact assessment of graphene oxide on lipid peroxidation at mitochondrial level and redox modulation in fresh water fish *Anabas testudineus*. *Chemosphere*, 224, 796-804. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.02.156>.
- Ruttikay-Nedecky, B., Skalickova, S., Kepinska, M., Cihalova, K., Docekalova, M., Stankova, M., et al. (2018). Development of new silver nanoparticles suitable for materials with antimicrobial properties. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 18, 1-8. <https://doi.org/10.1166/jnn.2018.15867>.
- Shaw, B. J. & Handy, R. D. (2011). Physiological effects of nanoparticles on fish: a comparison of nanometals versus metal ions. *Environment International*, 37, 1083-1097.
- Taghavi, S. M., Momenpour, M., Azarian, M., Ahmadian, M., Souri, F., Taghavi, S. A., et al. (2013). Effects of nanoparticles on the environment and outdoor workplaces. *Electronic physician*, 5,4.
- Xiong, D., Fang, T., Yu, L., Sima, X. & Zhu, W. (2011). Effects of nano-scale tio<sub>2</sub>, zno and their bulk counterparts on zebrafish: acute toxicity, oxidative stress and oxidative damage. *Science of The Total Environment*, 409, 1444-1452.
- Yalsuyi, A. M. & Vajargah, M. F. (2017). Acute toxicity of silver nanoparticles in roach (*Rutilus rutilus*) and goldfish (*Carassius auratus*). *Journal of Environmental Treatment Techniques*, Volume 5, Issue 1, Pages: 1-4.
- Zhao, C-M. & Wang, W-X. (2010). Comparison of acute and chronic toxicity of silver nanoparticles and silver nitrate to *Daphnia magna*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30,4, 885-892. <https://doi.org/10.1002/etc.451>.