





ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

ÇİNKO OKSİT NANOPARTİKÜLÜNÜN (ZnO NP) *Pistia stratiotes* L. (SU MARULU)  
TARAFINDAN AKÜMÜLASYON YETENEĞİNİN BELİRLENMESİ VE  
NANOPARTİKÜLÜN TOKSİK ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Ramazan BAKAR<sup>1</sup> , Zeliha LEBLEBİCİ<sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup> Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, ZnO (Çinko oksit) nanopartiküllerince (NP) kirletilmiş ortamları temizleyebilmesi için *Pistia stratiotes* L. bitkisinin akümüülasyon yeteneğinden yararlanılmıştır. Farklı ZnO NP (70nm) (1-5-10-20-100-250-500mgL<sup>-1</sup>) konsantrasyonlarında, bitkinin büyüme oranı (RGR), klorofil a, klorofil b, toplam karotenoid miktarı ve bitkide akümüle edilen Zn miktarı ICP-MS cihazı kullanılarak tespit edilmiştir.

ZnO NP'nin bitki büyüme oranı üzerine etkisi 20 mg L<sup>-1</sup>'lik konsantrasyondan sonra negatif yönde gözlenmiştir. Artan ZnO NP konsantrasyonlarına bağlı olarak fotosentetik pigment miktarları, kontrol grubuna göre değişik oranlarda azalma göstermiştir. Farklı konsantrasyon değerlerine bağlı olarak akümüülasyon miktarlarının birbirinden farklılık gösterdiği, en yüksek Zn akümüülasyonu ise 500 mg L<sup>-1</sup>'lük konsantrasyonda 7494,99 µg g<sup>-1</sup> olarak tespit edilmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar nanopartiküllerin bitkilerce akümüle edilmesi konusuna ışık tutacak nitelikte olup, çalışma nanopartiküllerin toksisitesi konusunda yapılacak çalışmalara da örnek teşkil etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Nanopartikül, Akümüülasyon, ICP-MS, Toksikite

DETERMINATION OF ACCUMULATION ABILITY OF ZINC OXIDE NANOPARTICLE  
(ZnO NP) by *Pistia stratiotes* L. (WATER LETTUCE) AND INVESTIGATION OF TOXIC  
EFFECT OF NANOPARTICLE

ABSTRACT

In this study, accumulation ability of *Pistia stratiotes* L. was used to clean the contaminated environments by ZnO (Zinc oxide) nanoparticles (NP). At different concentrations of ZnO NP (70nm) (1-5-10-20-100-250-500 mgL<sup>-1</sup>), plant growth rate (RGR), chlorophyll a, chlorophyll b, total carotenoid amount were measured and the amount of Zn accumulated in the plant determined using ICP-MS device.

The effect of ZnO NP on plant growth rate was observed negatively after a concentration of 20 mg L<sup>-1</sup>. Due to the increasing concentrations of ZnO NP, the amount of photosynthetic pigment decreased at different rates compared to the control group. Depending on the different concentration values, the amount of accumulation varies from each other, the highest Zn accumulation at a concentration of 500 mg L<sup>-1</sup> was found to be 7494,99 µg g<sup>-1</sup>. Our results; nanoparticles to shed light on the issue of accumulation by plants, the study is also an example of studies on the toxicity of nanoparticles.

**Keywords:** Nanoparticle, Accumulation, ICP-MS, Toxicity

1. GİRİŞ

Nanoteknolojinin gelişmesiyle birlikte nanoteknolojik ürünlerin de üretimi artmıştır. Güncel çalışmalarla daha da önem kazanan nanopartiküller, nanoteknolojinin gelişmesinde büyük önem arz etmektedir [1]. Bu Mikro düzeyde; fayda amaçlı olarak tasarlanan, yüzey alanı/hacim oranına bağlı

\* Sorumlu Yazar: [zleblebici@nevsehir.edu.tr](mailto:zleblebici@nevsehir.edu.tr)

Geliş: 31.12.2019

Yayın: 25.01.2021

olarak farklı elektriksel, manyetik, optik fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip nano materyaller oluşturulmaktadır [2]. Nanotoksikoloji, nanoteknolojinin gelişimi ile ortaya çıkan ve dikkat çeken bir araştırma alanı olmuştur. Yapılan ilk çalışmalarda, nanopartiküllerin solunum ve kalp-damar sistemini etkilediği ve bu yolla da tüm metabolik süreçleri tehdit ettiği belirlenmiştir [3]. Bu sebeple, nanopartikülleri canlılara en az zarar verecek şekilde ortamdaki uzaklaştırmak için çalışmalar yapılmakta ve yapılması da gerekmektedir. Nanopartiküllerle yapılan mühendislik uygulamaları sonucu bitkiler, hayvanlar ve insanlar üzerinde olumsuz etkilere neden oldukları birçok çalışma tarafından tespit edilmiştir. Nanopartiküllerin olumsuz etkilerinin, materyalin derişimine bağlı olduğu kadar, boyutuna, şekline ve temas süresine de bağlı olduğu bilinmektedir. Bitkiler nanopartiküller ile çevre arasındaki bağlantıyı sağlamada oldukça önemli olan ara birimlerdir. Bitkiler nanopartikülleri yapılarına alıp taşıyabilir ve bazı organlarında biriktirebilirler. Bugüne kadar sınırlı sayıda bitki türü, nanopartiküllerin etkilerinin araştırıldığı çalışmalara konu olmuştur [1]. Nanopartiküllerin bitkiye olan etkileri farklı farklıdır, etkilerin negatif yönde olabileceği gibi pozitif yönde de olabileceği yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur [4].

Biyoremediasyon, ortamda oluşan farklı kirlilik kaynaklarının, biyolojik organizmalar (bitki, bakteri, alg v.b.) tarafından akümüle edilmesidir [5]. Biyoremediasyon kirleticilerin ortamdaki temizlenmesinde, mevcut uzaklaştırma sistemlerine alternatif bir metot olmakla birlikte, bu sistemlere göre ekonomik anlamda artıları olan önemli bir yöntemdir. Fiziko-kimyasal metotlarla ortamdaki nanopartikül temizlenmesi; masraflı, bununla birlikte kompleks organik malzemeler içeren, büyük miktardaki akıntılarda ve düşük yoğunluklu metal kirlenmesinde tercih edilmeyen bir metottur. Bununla birlikte, biyoremediasyon, ucuz olmakla beraber, çevre dostu ve yoğun nanopartiküllerin ortamdaki uzaklaştırılmasında tercih edilen bir metottur [6]. Zararlı maddelerin sinerjik etkilerinin incelenmesi ve araştırılacak ortamın temizlenmesinde uygun olan biyoremediasyon yönteminin belirlenmesi, biyoremediasyon için ciddi önem arz etmektedir. Aynı zamanda ortaya çıkan sekonder bileşiklere karşı tespit yapılması gereklidir ve bazı biyoremediasyon basamakları uzun süreç gerektirmektedir [7].

Nanopartiküllerin sentezi, remediasyonu ya da toksisitesi ile ilgili önceden yapılan az sayıda çalışma bulunmaktadır. Endüstriyel alandaki çalışmalarda fazla kullanılması sebebiyle; Altın (Au), Gümüş (Ag), Çinko (Zn), Titanyum (Ti), Platin (Pt) nanopartikülleri araştırmalarda daha fazla tercih edilmektedir. Çalışmamızda kullandığımız ZnO nanopartikülünün kullanım alanları Tablo 1’de verilmiştir.

Nanopartiküller son zamanlarda birçok alanda kullanılmalarına rağmen biyolojik organizmaların nanopartiküllere karşı verdikleri tepkiler hala net olarak bilinmemektedir [8, 9]. Canlılara nasıl etki ettikleri çok fazla bilinmemekle birlikte, çoğu bitkinin nanopartikülleri absorbe etme yeteneği de henüz araştırılmamıştır. Yapılan araştırmalar ise, teknolojik alanda son zamanlarda fazla kullanılmaları nedeniyle, nanopartiküllerin, olası pozitif ya da negatif etkilerinin belirlenmesi amacıyla büyük önem taşımaktadır [10, 11].

Nanopartiküller tarafından kirletilen ortamın temizlenebilmesi için, hangi bitkinin verimli absorpsiyon yapacağını belirlenmesi oldukça önem arz etmektedir. *Pistia stratiotes* akümülyasyon yeteneğine sahip bir bitki olduğu için; çalışmamız bu açıdan değerlendirildiğinde, bitkilerdeki nanopartikül metabolizmasının belirlenmesine ve NP remediasyonu için yeni bitkilerin geliştirilmesine örnek oluşturacaktır. Söz konusu ZnO NP’nin (70nm)’lik nanometrik parçacıkları, çalışma kapsamı itibari ile ilk defa bu çalışma ile denenmiştir.

**Tablo 1.** ZnO nanopartikülünün kullanım alanları

Nanopartikül Türü	Kullanım Alanı	Referans
ZnO	Güneş Kremi, Kauçuk işleme, atıksu arıtımı, antibakteriyel	[2]
ZnO	Biyomedikal alanlar, eczacılık,	[3]
ZnO	Nanogübre	[4]
ZnO	Katalizör	[5]
ZnO	Işık yayan diyotlar, hidrojen depolama aygıtları	[6]
ZnO	Fungusit	[7]
ZnO	Bellek cihazları, fotokatalizör	[8]
ZnO	Yüzey akustik dalga cihazları, gaz algılama ve optoelektronik uygulamaları	[9]

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Materyal

*Pistia stratiotes* L. (Su marulu), Araceae familyasına ait olan ve su yüzeyinde yaşayan sucul bir bitki türüdür (Şekil 1). Akarsu, göl ve bataklıkların sığ olan bölgelerinde yüksek yayılım gösterirler. Ticari olarak elde edilen örnekler laboratuvar ortamında uygun şartlar hazırlanarak kültüre alınmıştır.



**Şekil 1.** *Pistia stratiotes* L. (Su marulu)

### 2.2. Bitki Yetiştirme ve Nanopartikül Maruziyeti

Laboratuvar ortamında örnekler 5'er gram olacak şekilde tartıldıktan sonra, 400 ml'lik beherlere aktarılmıştır. Büyüme kabini uygun şartlara (23°C ve 14-saat fotoperiyot) ayarlandıktan sonra denemeler 3'er tekrarlı şekilde gerçekleştirilmiştir. Çalışmamızda ZnO NP (70nm) (1-5-10-20-100-250-500 mg l<sup>-1</sup>), ön denemelerle belirlenen konsantrasyonlarda kullanılmıştır. Nanopartiküllerin agregasyonlarının engellenmesi ve karışımlarının homojen bir dağılım göstermesi için NP konsantrasyonları uygulama öncesinde ISOLAB marka, banyo tip sonikatörde 30 dk süre ile 50 santigrad derecede sonikasyona tabi tutulmuştur. 7 günlük uygulama sonunda bitki örneklerine ait büyüme oranlarının hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır;

$$RGR = [\ln(W2) - \ln(W1)] / (t2 - t1)$$

(W1 ve W2= bitkinin ilk ve son yaş ağırlığı (g), t1 ve t2= ilk ve son zaman) [12].

## 2.2 Klorofil ve Karotenoid Tayini

Nanopartiküllerin bitki üzerinde olumsuz yönde meydana getirebilecekleri en önemli metabolik süreç fotosentezdir. Bu amaçla bitkinin yaprak örneklerinde klorofil ve karotenoid miktarının tespiti amaçlanmıştır.

Fotosentetik pigment miktarlarının (kl a, kl b ve toplam karotenoid) tespitinde 0.1 gram bitki örneği alındıktan sonra, 100 ml %80'lik aseton içerisinde muamele edilmiştir [13]. Süzüntü filtre kağıdından geçirildikten sonra, örnekler UV spektrofotometrede belirli dalga boylarına göre analiz edilmiştir [14]. Witham vd [14] yaptıkları hesaplama kullanılarak, 1 gramlık bitki yaprak örneklerindeki kl a, kl b ve toplam karotenoid miktarları hesaplanmıştır.

$$\text{mg kl.a/g doku} = [12.7 (D630) - 2.69 (D450)]. (V/1000.A)$$

$$\text{mg kl.b/g doku} = [22.9 (D450) - 4.68 (D630)]. (V/1000.A)$$

(D: bitki ekstraktının belirtilen dalga boyundaki optik yoğunluğu, yani absorbans değeri, V: % 80'lik asetonun son hacmi, A: ekstre edilen yaprak dokusunun g olarak taze ağırlığı).

$$\text{Toplam karotenoid} = [4,07 \times D450 - (0,0435 \times \text{kla miktarı} + 0,367 \times \text{klb miktarı})]$$

## 2.3 Bitkide Zn Seviyesinin Belirlenmesi

Zn seviyesinin bitki örneklerinde tespit edilmesinde; laboratuarda kullandığımız tüm malzemeler önce bir gün deterjanlı su içerisinde bekletilmiştir, ardından çeşme suyu ile yıkanmış ve sterilizasyon için %20'lik nitrik asit solüsyonu içerisinde bir gün bekletilerek, ardından çift distile su ile yıkandıktan sonra 60 °C'de kurutulduktan sonra kullanılmıştır.

Zn içeriklerini tayin etmek için bitki örnekleri hasat edilerek, distile su ile yıkanmıştır. Bu işleminin devamında örnekler, mikrodalga çözündürme aletinde 10ml nitrik asitle uygun şartlarda çözündürüldükten sonra, ICP-MS cihazında Zn standart hazırlanarak mevcut konsantrasyon belirlenmiştir[15].

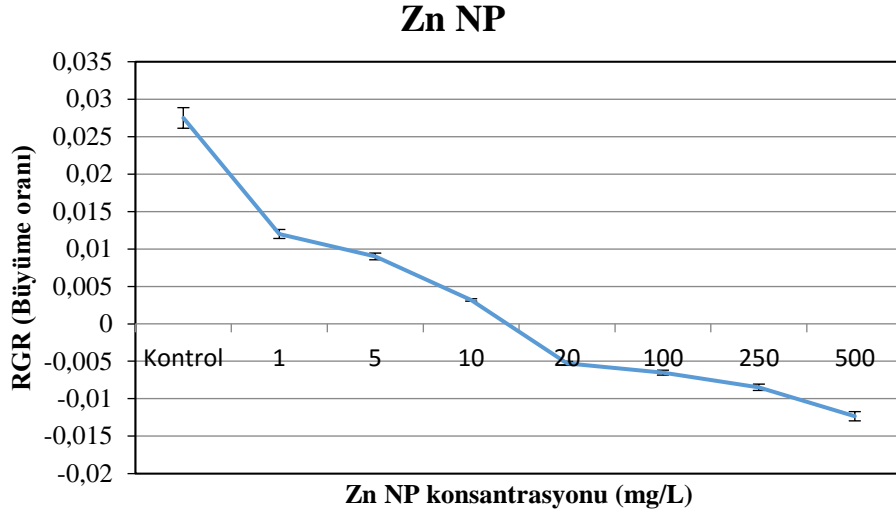
## 2.4. İstatistiksel Analizler

Çalışmamızda belirlenen sonuçların ortalama, standart hata, minimum, maksimum, ortalama ve standart hata verileri SPSS 17.0 paket programı kullanılarak hesaplanmıştır. Ortalamaların istatistiksel karşılaştırılmasında ANOVA testi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçların istatistiksel olarak anlamlılığı  $p < 0,05$  ve  $p < 0,01$  düzeyinde değerlendirilerek, grafik ve tablolarda farklı harf kullanılarak ifade edilmiştir.

## 3. SONUÇLAR

### 3.1. Bitki Büyüme Oranı (RGR)

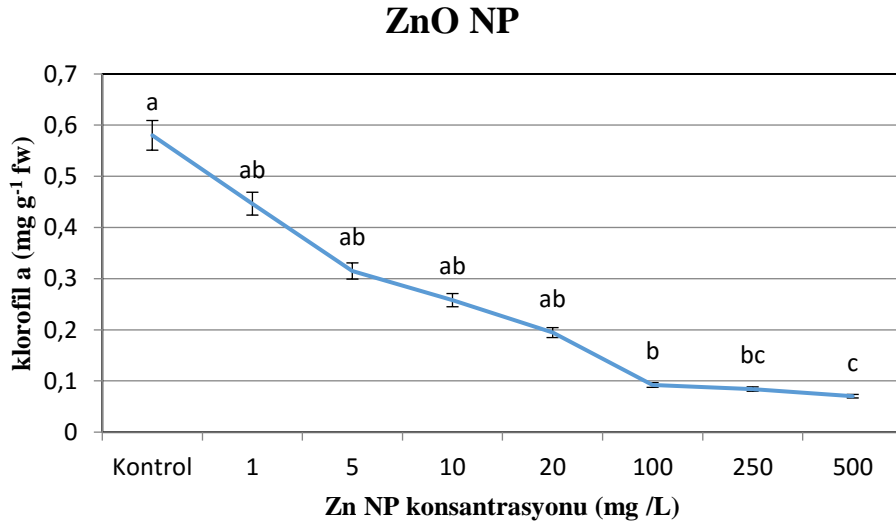
*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca farklı konsantrasyonlarda ZnO NP uygulanması sonucunda elde edilen büyüme oranları Şekil 2'de verilmiştir ( $p \leq 0.05$ ,  $n=3$ ). ZnO NP konsantrasyon miktarı arttıkça büyüme oranlarının azaldığı görülmüştür. Zn'nin büyüme oranları üzerine olan etkisinin en fazla ZnO 500 mg L<sup>-1</sup> konsantrasyonunda olduğu belirlenmiştir. 20 mg L<sup>-1</sup>'lik konsantrasyondan sonra büyüme negatif yönde etkilenmiştir.



Şekil 2. Büyüme Oranı

### 3.2. *Pistia stratiotes* Örneklerindeki Klorofil a Miktarları

*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca değişken konsantrasyonlarda ZnO NP uygulanmış ve elde edilen klorofil a miktarları Şekil 3’de verilmiştir ( $p \leq 0.05$ ,  $n=3$ ). Artan ZnO NP konsantrasyonlarına bağlı olarak klorofil a miktarları kontrol grubuna göre değişik oranlarda azalma göstermiştir. En fazla azalmanın ZnO NP 500 mg L<sup>-1</sup> konsantrasyonunda olduğu belirlenmiştir. Klorofil a miktarı ZnO konsantrasyonlarında 100 mg l<sup>-1</sup>’ye kadar kademeli olarak azalırken bu konsantrasyon dan sonra azalma durmuş klorofil a miktarında çok küçük değişimler olmuştur.

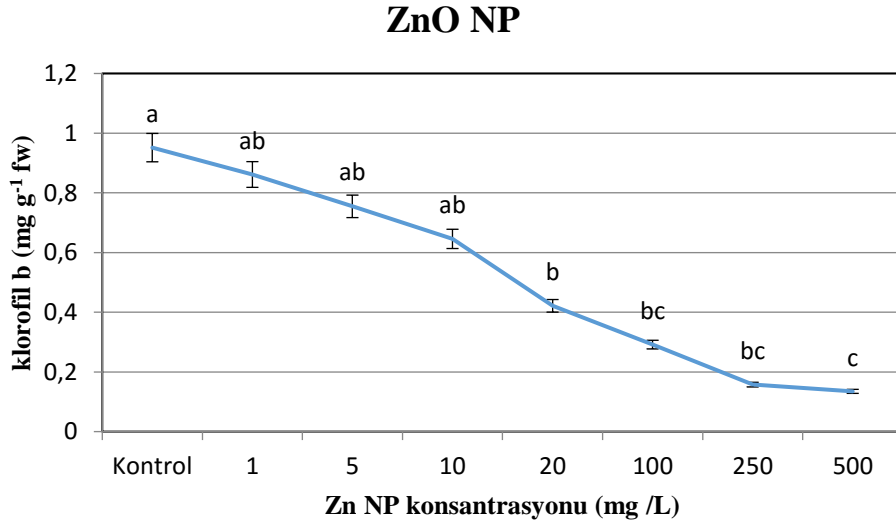


Şekil 3. Klorofil a miktarı

### 3.3. *Pistia stratiotes* Örneklerindeki Klorofil b Miktarları

*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca değişken konsantrasyonlarda ZnO NP uygulanmış ve elde edilen klorofil b miktarları Şekil 4’de verilmiştir ( $p \leq 0.05$ ,  $n=3$ ). Artan ZnO NP konsantrasyonlarına bağlı olarak göre klorofil b miktarları kontrol grubuna göre değişik oranlarda azalma göstermiştir. En

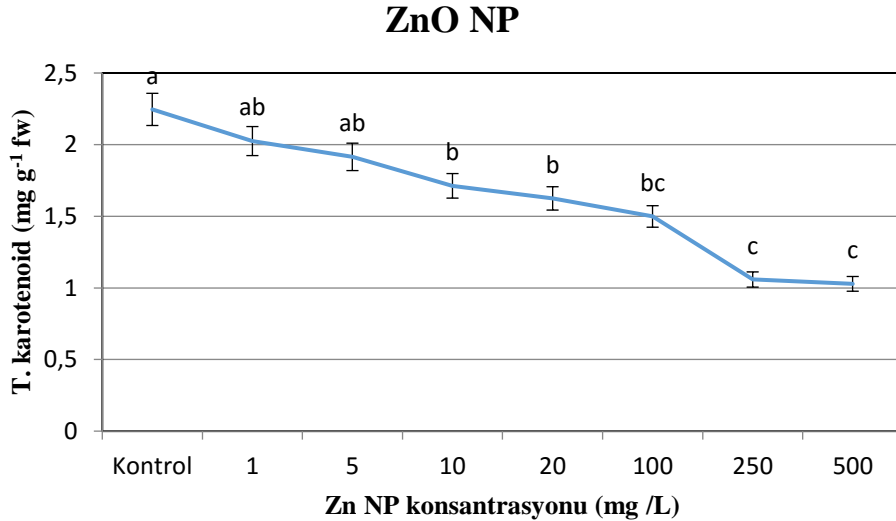
fazla azalmanın ZnO NP 500 mg L<sup>-1</sup> konsantrasyonunda olduğu gözlenirken, 250 mgL<sup>-1</sup>'lik konsantrasyon dan sonra azalma yavaşlamıştır.



Şekil 4. Klorofil b miktarı

### 3.4. *Pistia stratiotes* Örneklerindeki Toplam Karotenoid Miktarları

*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca değişken konsantrasyonlarda ZnO NP uygulanmış ve elde edilen toplam karotenoid miktarı Şekil 5’de verilmiştir ( $p \leq 0.05$ ,  $n=3$ ). Artan ZnO NP konsantrasyonlarına bağlı olarak göre toplam karotenoid miktarı kontrol grubuna göre değişik oranlarda azalma göstermiştir. Toplam Karotenoid miktarı ZnO konsantrasyonlarında 250 mgL<sup>-1</sup> ye kadar kademeli olarak azalırken bu konsantrasyon dan sonra azalma durmuş toplam karotenoid miktarındaki çok küçük değişimler olmuştur.



Şekil 5. Toplam karotenoid miktarı

### 3.5. ICP-MS’de Zn Miktarları

*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca değişken konsantrasyonlarda ZnO NP (0, 1, 5, 10, 20, 100, 250, 500 mg L<sup>-1</sup>) uygulaması yapılmıştır. 3 farklı okuma sonucu elde edilen Zn miktarları Tablo 2’ de

verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde ortamdaki ZnO NP konsantrasyonu arttıkça, Zn alınımının da arttığı tespit edilmiştir. Farklı konsantrasyon değerlerine bağlı olarak akümülyasyon miktarlarının birbirinden farklılık gösterdiği, en yüksek Zn akümülyasyonunun 500 mg L<sup>-1</sup>'lük konsantrasyonda 7494,99 µg g<sup>-1</sup> olarak tespit edilmiştir.

**Tablo 2.** *Pistia stratiotes* örneklerinde biriken farklı Zn NP (1-500 mg L<sup>-1</sup>) konsantrasyonlarındaki Zn miktarları (p≤ 0.05, n=3).

ZnO NP Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> )	Ort/Std hata (µg g <sup>-1</sup> )	Min	Maks
<b>Kontrol</b>	1,40 <sup>a</sup> ± 0,399	1,126	1,69
<b>1</b>	951,48 <sup>b</sup> ±14,9	832,47	1070,5
<b>5</b>	1839,5 <sup>c</sup> ±20,3	1743,04	1935,96
<b>10</b>	3161,49 <sup>d</sup> ±24,2	2654,35	3668,63
<b>20</b>	3254,25 <sup>d</sup> ±28,4	2958,65	3745,24
<b>100</b>	5870,78 <sup>e</sup> ±31,9	5725,93	6015,64
<b>250</b>	7491,39 <sup>e</sup> ±47,2	7460,12	7522,67
<b>500</b>	7494,99 <sup>f</sup> ±51,7	7308,61	7559,38

#### 4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Yaptığımız çalışmada nanopartiküllerin *Pistia stratiotes* bitkisi üzerine olan fizyolojik ve fitotoksik etkileri tespit edildi. Elde ettiğimiz verilere göre nanopartikül konsantrasyonu arttıkça bitkide meydana gelen metabolik süreçler olumsuz yönde etkilenmektedir.

Bitkinin biomass miktarına baktığımızda, büyüme oranının, bitkiye eklenen nanopartikül konsantrasyonu arttıkça azaldığı gözlenmiştir (Şekil 2). Nanopartiküller üzerine yapılan çalışmalar gösteriyor ki, nanopartiküller kök ve gövde büyümesi üzerine olumsuz etki göstererek bitkinin büyüme oranını düşürmektedirler. Pokhrel ve Dubey [16] *Zea mays* L. bitkisinde Ag NP'lerinin 73.4 mg/L'lik konsantrasyonunda bitki çimlenmesini engellediğini belirtmişlerdir, Feng vd [17] tarafından ise mantar hücrelerinde Fe NP uygulamasının, belirli konsantrasyonlarda (0.032, 0.32, 3.2 mg/kg) büyüme oranını ve biyoması azalttığı tespit edilmiştir. Lee vd [18] *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. 'da gümüş nanopartiküllerinin 66,84-534,72x10<sup>-3</sup> mg/L'de kök büyümesi üzerine toksik etki yarattığı belirlenmiştir. Lin ve Xing [19] *Lolium perenne* L. üzerinde Zn nanopartiküllerinin 1000 mg/L'lik konsantrasyonunun bitki büyümesini azalttığını ve kök uçlarının bozulduğunu tespit etmişlerdir. *Cucurbita pepo* L. bitkisinde Stampoulis vd [20] tarafından Cu nanopartikülleri ile yaptıkları çalışmada 1000 mg/L'lik konsantrasyonda bitki büyümesinde %90 oranında azalma olduğu belirlenmiştir. Oukarroum vd [21] Ag NP'lerin *Lemna gibba* L.'nin büyüme ve hücre canlılığı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonunda, sucul sistemlerdeki Ag NP birikiminin (büyüme inhibisyonuna ve yaprak sayısındaki azalma) bitkide toksik etki yaptığı belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar nanopartikülün bitki büyümesi üzerine çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlar ile uyum göstermektedir (Şekil 2).

Bitkiye nanopartikül (Zn) uygulaması sonucunda fotosentetik pigment miktarları incelendiğinde; klorofil a miktarı, klorofil b miktarı ve toplam karotenoid miktarının uygulanan nanopartikül konsantrasyonu arttıkça, pigment miktarının azalmakta olduğu belirlenmiştir (Şekil 3-5). Aslı ve Neumann [22] yaptıkları çalışmada TiO<sub>2</sub> NP'lerin 30 ve 1000 mg / L'lik konsantrasyonlarda *Zea mays* L.'taki pigment miktarında meydana gelen olumsuz etkileri bildirmişlerdir. Bununla birlikte, Mukherjee vd [23] ZnO NP'lerin 125, 250 ve 500 mg / L'lik konsantrasyonlarında, yeşil bezelye (*Pisum sativum* L.) bitkisinde klorofil içeriğinin azaldığını tespit etmişlerdir. Benzer şekilde, Ma vd [24] yaptıkları çalışmada, CeO<sub>2</sub>NP'nin 1.000 ve 2.000 ppm'lik konsantrasyonlarında, klorofil üretiminde % 60 ve %85 oranında bir azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Nair ve Chung [25], gümüş NP'lerin 0.5 ve 1.0 mg/L'lik konsantrasyonlarında, pirinç (*Oryza sativa* L.) fidelerinde klorofil ve karotenoid içeriğinin önemli ölçüde azaldığını belirlemişlerdir. Servin vd [26] salatalık üzerine TiO<sub>2</sub>NP'lerin etkisini gözlemlemek için yaptıkları çalışmada klorofil içeriğinde değişimin olduğunu gözlemlemişlerdir. Jacob vd [27], *Phaseolus vulgaris* L.'de TiO<sub>2</sub>NP'lerin klorofil içeriğinde değişime yol açtığını belirtmişlerdir. Wang

vd [28] ise Börülce’de, ZnO NP’lerin translokasyon sürecinde engel oluşturduğunu belirtmişlerdir. Shi vd [29] *Landoltia punctata* (G. Meyer) sucul bitkisinde CuO NP etkisini Cu ile karşılaştırmışlardır. CuO NP varlığında bitkilerde pigment miktarında önemli düşüş gözlenmiştir. CuO NP’ ile muamele edilen bitkide ölçülen Cu miktarının, aynı miktardaki Cu ile muamele edilen bitkide ölçülen değerden 4 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Fotosentetik pigment miktarında azalma açısından sonuçlar, çalışmamız ile örtüşmektedir.

Bitkide akümüle edilen Zn miktarı ZnO NP konsantrasyonu arttıkça artmaktadır yani kullandığımız *Pistia stratiotes* L. (Su marulu) bitkisi tarafından Zn akümüle edildiği belirlenmiştir (Tablo 2).

Raliya vd [30] TiO<sub>2</sub>NP’lere maruz bırakılan domates bitkilerinde önemli bir TiO<sub>2</sub>NP birikimi olduğu gözlenmiştir. Nanopartiküllerin, bitkinin kök büyümesinde negatif etkiler oluşturduğu belirtilmiştir.

Lee ve An [31] *Pseudokirchneriella subcapitata* (Korshikov) üzerinde TiO<sub>2</sub> NP ve ZnO NP’nin olumsuz etkilerini incelemişlerdir. Alg’in büyüme oranının NP konsantrasyonunda ki artış ile azaldığı belirlenmiştir. ZnO NP’nin toksik etkisinin, çözünmüş haldeki serbest çinko iyonlarından kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Ortamdan NP ile ilişkili metallerin uzaklaştırılmasında bitkiler de kullanılabilir [32]. Rao vd [33], Cr (VI)’ın *Yarrowia lipolytica* Van der Walt & Arx hücreleri (FeO/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> NP muamele edilmiş) ile ortamdan akümüle olduğu görülmüştür. Muamele yapılan hücrelerin, diğer hücrelere göre Cr akümülesyonunu daha iyi oranda gerçekleştirdiği tespit edilmiştir.

Son zamanlarda nanotoksikolojiye vurgu yaparak, araştırmacılar bu nanoparçacıkların bitki hücrelerine nasıl girdiğine ve farklı bölümlere nasıl dağıldığına, büyümeyi veya verimi nasıl etkilediği üzerine çalışmalarda yoğunlaşmışlardır [1]. Güncel teknolojik çalışmalarla birlikte, nanoteknolojinin gelişmeside giderek artmakta, fakat kullanılan nanopartiküllerin yaşanan ekolojik ortama ve insanların sağlığına olumsuz etkileri hakkında az sayıda çalışma bulunmaktadır. Nanopartiküllerin ortamdaki seviyelerinin belirlenmesi ile birlikte, yaşama ortamı ve biyolojik organizmalar üzerine olumsuz etkilerinin tespit edilmesi ve remediasyonları ile ilgili olarak gerçekleştirilecek çalışmalar oldukça önem arz etmektedir. Çoğu kirleticinin ortamdan elimine edilmesinde başvurulan fitoremediasyon çalışmalarının, nanopartiküller için de tercih edilebileceği az sayıda çalışmada önerilmiştir. Buldukları çevrede miktarları, giderek artış gösteren, olumlu veya olumsuz etkileri üzerine az sayıda bilginin kayıt edildiği nanopartiküllerin ortamlardaki remediasyonu üzerine yapılacak olan çalışmaların artırılması oldukça önemlidir. Çalışmamızda; *Pistia stratiotes*’in sudaki ZnO nanopartikülünü artan miktarlarda akümüle ettiği tespit edilmiştir. Sonuçlarımız nanopartiküllerin bitkilerce akümülesyonu konusuna ışık tutacak nitelikte olup, nanopartiküllerin toksisitesi konusunda yapılacak çalışmalara da örnek teşkil etmektedir.

## TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma TÜBİTAK (2209-A/2019) tarafından destek almıştır. TÜBİTAK’a desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- [1] Tripathi DK, Gaur S, Singh S, Singh S, Pandey R, Singh VP, Sharma NC, Prasad MS, Dubey NK, Chauhan DK. An overview on manufactured nanoparticles in plants: Uptake, translocation, accumulation and phytotoxicity. *Plant Physiol. Biochem.* 2017; 2:2-12.
- [2] Gunalan S, Sivaraj R, Rajendran V. Green synthesized ZnO nanoparticles against bacterial and fungal pathogens. *Pro Nat Sci-Mater* 2012; 22: 693-700.



- [3] Gunalan S, Sivaraj R, Rajendran V. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles by *Aloe barbadensis miller* leaf extract: Structure and optical properties. Mater. Res. Bull. 2011; 46: 2560-2566.
- [4] Sabir S, Arshad M, Chaudhari SK. Zinc oxide nanoparticles for revolutionizing agriculture: Synthesis and applications. Sci. World J. 2014; 11:1-8.
- [5] Shamsuzzaman MA, Khanam H, Aljawfi RN. Biological synthesis of ZnO nanoparticles using *C. albicans* and studying their catalytic performance in the synthesis of steroidal pyrazolines. Arab. J. Chem. 2013; 10: 1530-1536.
- [6] Bhatte KD, Sawant DN, Pinjari DV, Pandit AB, Bhanage BM. One pot green synthesis of nano sized zinc oxide by sonochemical method. Mater. Lett. 2012; 77: 93-95.
- [7] Tunca EÜ. Nanoteknolojinin Temeli Nanopartiküller ve Nanopartiküllerin Fitoremediasyonu, Ordu Univ. J. Sci. Tech. 2015; 5: 23-34.
- [8] Fu L, Fu Z. *Plectranthus amboinicus* leaf extract-assisted biosynthesis of ZnO nanoparticles and their photocatalytic activity. Ceram. Int. 2015; 41: 2492-2496.
- [9] Thema FT, Manikandan E, Dhlamini MS, Maaza M. Green synthesis of ZnO nanoparticles via *Agathosma betulina* natural extract. Mater. Lett. 2015; 161: 124-127.
- [10] Som C, Wick P, Krug H, Nowack B. Environmental and health effects of nanomaterials in nanotextiles and façade coatings. Environ. Intl. 2011; 37:1131–1142.
- [11] Rajiv P, Rajeshwari S, Vencatesh R. Bio-Fabrication of zinc oxide nanoparticles using leaf extract of *Parthenium hysterophorus* L. and its size-dependent antifungal activity against plant fungal pathogens. Spectrochim. Acta A 2013; 112: 384-387.
- [12] Hunt R. Plant growth analysis. Studies in biology. London: Edward Arnold, 1978.
- [13] Criado MN. Comparative study of the effect of the maturation process of the olive fruit on the chlorophyll and carotenoid fractions of drupes and virgin oils from Arbequina and Farga cultivars. Food Chem. 2005; 100:748-755.
- [14] Witham FH, Blaydes DF, Deulin RM. Experiments in plant physiology. Van Nostrand Reinhold Company, New York, pp 245, 1971.
- [15] Leblebici Z, Aksoy A. Growth and heavy metal accumulation capacity of *Lemna minor* and *Spirodela polyrhiza* (Lemnaceae): Interactions with nutrient enrichment, Water Air Soil Poll. 2011; 214: 175-184.
- [16] Pokhrel LR, Dubey B. Evaluation of developmental responses of two crop plants exposed to silver and zinc oxide nanoparticles. Sci. Total Environ. 2013; 452: 321–332.
- [17] Feng Y, Cui X, He S, Dong G, Chen M, Wang J, Lin X. The role of metal nanoparticles in influencing arbuscular mycorrhizal fungi effects on plant growth. Environ. Sci. Technol. 2013; 47: 9496–9504.

- [18] Lee CW, Mahendra S, Zodrow K, Li D, Tsai YC, Braam J, Alvarez PJ. Developmental phytotoxicity of metal oxide nanoparticles to *Arabidopsis thaliana*. Environ. Toxicol. Chem. 2010; 29: 669–675.
- [19] Lin D, Xing B. Root uptake and phytotoxicity of ZnO nanoparticles. Environ. Sci. Technol. 2008; 42: 5580–5585.
- [20] Stampoulis D, Sinha SK, White JC. Assay-dependent phytotoxicity of nanoparticles to plants. Environ. Sci. Technol. 2009; 43: 9473–9479.
- [21] Oukarroum A, Barhoumi L, Pirastru L, Dewez, D. Silver nanoparticle toxicity effect on growth and cellular viability of the aquatic plant *Lemna gibba*. Environ. Toxicol. Chem. 2013; 32: 902–907.
- [22] Asli S, Neumann PM. Colloidal suspensions of clay or titanium dioxide nanoparticles can inhibit leaf growth and transpiration via physical effects on root water transport. Plant Cell Environ. 2009; 32: 577–584.
- [23] Mukherjee A, Peralta J., Bandyopadhyay S, Rico CM, Zhao L, Gardea JL. Physiological effects of nanoparticulate ZnO in green peas (*Pisum sativum* L.) cultivated in soil. Metallomics 2014; 6: 132–138.
- [24] Ma C, Chhikara S, Xing B, Musante C, White JC, Dhankher OP. Physiological and molecular response of *Arabidopsis thaliana* (L.) to nanoparticle cerium and indium oxide exposure. ACS Sus. Chem. Eng. 2013; 1: 768–778.
- [25] Nair PMG, Chung IM. Physiological and molecular level effects of silver nanoparticles exposure in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. Chemosphere 2014; 112: 105–113.
- [26] Servin AD, Morales MI, Castillo H, Hernandez JA, Munoz B, Zhao L, Nunez JE, Peralta JR, Gardea JL. Synchrotron verification of TiO<sub>2</sub> accumulation in cucumber fruit: a possible pathway of TiO<sub>2</sub> nanoparticle transfer from soil into the food chain. Environ. Sci. Technol. 2013; 47: 11592–11598.
- [27] Jacob DL, Borchardt JD, Navaratnam L, Otte ML, Bezbaruah AN. Uptake and translocation of Ti from nanoparticles in crops and wetland plants. Int. J. Phytoremediat. 2013; 15: 142–153
- [28] Wang P, Menzies NW, Lombi E, McKenna BA, Johannessen B, Glover CJ, Kappen P, Kopittke PM. Fate of ZnO nanoparticles in soils and cowpea (*Vigna unguiculata*). Environ. Sci. Technol. 2013; 47: 13822–13830.
- [29] Shi JY, Abid AD, Kennedy IM, Hristova KR, Silk WK. To duckweeds (*Landoltia punctata*), nanoparticulate copper oxide is more inhibitory than the soluble copper in the bulk solution. Environ. Pollut. 2011; 159: 1277–1282.
- [30] Raliya R, Nair R, Chavalmane S, Wang WN, Biswas P. Mechanistic evaluation of translocation and physiological impact of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles on the tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plant. Metallomics 2015; 7: 1584–1594.
- [31] Lee WM, An YJ. Effects of zinc oxide and titanium dioxide nanoparticles on green algae under visible, UVA, and UVB irradiations: No evidence of enhanced algal toxicity under UV pre-irradiation. Chemosphere 2013; 91: 536–544.

- [32] Jacob DL, Borchardt JD, Navaratnam L, Otte ML, Bezbaruah AN. Uptake and translocation of Ti from nanoparticles in crops and wetland plants. *Int. J. Phytoremediat.* 2013; 15:142-153.
- [33] Rao A, Bankar A, Kumar AR, Gosavi S, Zinjarde S. Removal of hexavalent chromium ions by *Yarrowia lipolytica* cells modified with phyto-inspired Fe0/Fe3O4 nanoparticles. *J. Contam. Hydrol.* 2013; 146:63-73.