

## Çinko Oksit Nanopartikül Uygulamasının Makarnalık Buğdayın Büyüme ve Çinko Alımı Üzerine Etkileri

Gül Nazik BALCI<sup>1\*</sup>, Hatice DAĞHAN<sup>2</sup><sup>1</sup>T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Ankara Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü, Ankara  
<sup>2</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Eskişehir\*Sorumlu yazar (Corresponding author): [gullbalci2014@gmail.com](mailto:gullbalci2014@gmail.com)

Geliş Tarihi (Received): 29.06.2023

Kabul Tarihi (Accepted): 02.08.2023

### Özet

Çinko (Zn), canlılar için önemli bir mikro besin elementidir. Çinko eksikliği görülen topraklarda yetiştirilen tahıl tanelerinin Zn içeriğini artırmak, insanlarda beslenme yoluyla ortaya çıkan Zn eksikliğine bağlı sağlık problemlerini azaltmak önemli bir küresel strateji haline gelmiştir. Bu çalışmada, yeşil sentez yöntemi ile biberiye bitkisi ekstraktından hazırlanan çinko oksit nanopartiküllerin (ZnO-NP) makarnalık buğday (*Triticum durum* L.) bitkisinin büyümesi ve Zn alımı üzerine etkileri araştırılmıştır. Denemede, saksı toprağına temel gübreler ve artan dozlarda (0, 1, 2, 3, 4 ve 5 mg kg<sup>-1</sup>) ZnO-NP süspansiyon şeklinde uygulanarak 7 hafta süreyle buğday yetiştirilmiştir. Hasattan önce yaprakların klorofil içerikleri ölçülmüş ve daha sonra bitki örneklerinin kuru ağırlık ve bazı element konsantrasyonları (Zn, azot (N), kalsiyum (Ca), fosfor (P), magnezyum (Mg), potasyum (K), demir (Fe), bakır (Cu) ve mangan (Mn)) belirlenmiştir. Çinko oksit NP uygulamalarının yaprak klorofil içeriği ve yeşil aksam kuru ağırlığı üzerine etkisi önemli (P≤0.01) bulunmuştur. Bitki dokularında Zn konsantrasyonları ZnO-NP uygulamaları ile birlikte artış göstermiştir (P≤0.01) ve en yüksek Zn konsantrasyonu (32.53 mg kg<sup>-1</sup>) 5 mg ZnO-NP kg<sup>-1</sup> uygulama dozunda belirlenmiştir. Artan dozlarda ZnO-NP uygulamalarının buğday bitkisinin N, Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi istatistiksel olarak % 5 düzeyinde, P, K, Fe, Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi ise % 1 düzeyinde önemli olduğu saptanmıştır. Kontrol grubuna göre artan dozlarda ZnO-NP uygulamaları N, P, Ca, Mg, Mn ve Fe içeriğinde düşüşe neden olmuştur. Ancak, kontrol bitkilerine kıyasla bitki dokularında Cu konsantrasyonu yalnızca 3 ve 5 mg kg<sup>-1</sup> ZnO-NP uygulamalarında artış göstermiştir. Sonuçlar, ZnO-NP uygulamalarının buğday bitkisinin büyümesi ve Zn alımı üzerine olumlu etkisi olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** ZnO, nanopartikül, buğday, noksanlık, toprak, gübre

### Effects of Zinc Oxide Nanoparticle Application on Growth and Zinc Uptake of Durum Wheat

#### Abstract

Zinc (Zn) is a vital micronutrient for organism. It has become an important global strategy to increase Zn content in cereals grown in Zn deficient soils, and reduce human health problems associated with Zn deficiency. In this study, the effects of zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs) prepared from rosemary plant extract by green synthesis method on the growth and Zn uptake of durum wheat (*Triticum durum* L.) plants were evaluated. In the trial, wheat plants were grown for 7 weeks with basal fertilization and increasing concentrations (0, 1, 2, 3 and 5 mg kg<sup>-1</sup>) of ZnO-NP as a suspension in soil. Leaf chlorophyll content was measured before harvesting. The dry weight and some elemental concentrations (Zn, nitrogen (N), calcium (Ca), phosphorus (P), magnesium (Mg), potassium (K), iron (Fe), copper (Cu) and manganese (Mn)) of the plant samples were determined. The effect of ZnO-NP application on leaf chlorophyll content and shoot dry weight was significant (P≤0.01). The concentration of Zn in the plant tissues increased with the application of ZnO-NP (P≤0.01) and the highest concentration of Zn (32.53 mg kg<sup>-1</sup>) was found at a dose of 5 mg ZnO-NP kg<sup>-1</sup> of application. The effects of increasing doses of ZnO-NPs on the concentrations of N, Ca and Mg in the wheat plants were statistically significant at the 5 % level, while the effects on the concentrations of P, K, Fe, Cu and Mn were significant at the 1 % level. In comparison with the control, the application of ZnO-NP at increasing doses resulted in a decrease in the contents of N, P, Ca, Mg, Mn and Fe. However, only the ZnO-NP treatments at 3 and 5 mg kg<sup>-1</sup> increased the Cu concentration in plant tissues compared to the control. The results indicate that ZnO-NP applications positively affect wheat growth and Zn uptake.

**Keywords:** ZnO, nanoparticle, wheat, deficiency, soil, fertilizer

## 1. Giriş

Çinko eksikliği başta ülkemiz olmak üzere hemen hemen tüm ülkelerin topraklarında, farklı iklim koşullarında özellikle kurak ve yarı kurak iklime sahip kireçli topraklarda görülmektedir (Çakmak, 2008; Alloway, 2009). Ülkemiz topraklarının %50'sinde (Eyüboğlu ve ark., 1995), dünya tarım topraklarının yaklaşık olarak %30'unda (Sillanpää, 1982) Zn noksanlığı olduğu bildirilmiştir. Çinko, bitki büyümesinde ve ürün veriminde görev alan birincil mikro besinlerden biridir ve N metabolizması, enerji transferi ve protein sentezinde kullanılan birçok enzim için de gereklidir (Chen ve ark., 2017; Zaheer ve ark., 2019; Zhang ve ark., 2019; Zaheer ve ark., 2022). Çinko tarafından aktive edilen bitki enzimleri, karbohidrat metabolizmasında, hücre zarlarının bütünlüğünün korunmasında, protein sentezinde ve polen oluşumunda, bitkinin patojenlere ve çevresel streslere karşı korunmasında görev alır (Jian ve ark., 2019; Bhandari ve ark., 2021; Seleiman ve ark., 2021; Hamzah Saleem ve ark., 2022). Ayrıca Zn, önemli bir büyüme hormonu olan oksin üretiminde de aktif role sahiptir (Ugwu ve Agunwamba, 2020). Bitki büyümesi önemli ölçüde Zn beslenmesine bağlı olduğundan Zn noksanlığı durumunda bodur büyüme, verim kaybı ve ürün kalitesinde düşüş görülür. Bitkilerde Zn noksanlığı, insanlarda olduğu gibi özellikle gelişmekte olan ülkelerde yetersiz beslenme nedeniyle hâlâ önemli bir sağlık sorunudur (Munir ve ark., 2018). Milyonlarca hektar tarım alanı Zn eksikliğinden etkilenmektedir ve insan nüfusunun yaklaşık üçte biri yetersiz Zn alımından dolayı büyüme ve zihinsel gelişimde gerileme başta olmak üzere birçok sağlık sorunları yaşamaktadır (Çakmak, 2008). Bitkiler için Zn'nin alınabilirliğini etkileyen başlıca toprak faktörleri; toprağın toplam Zn içeriğinin düşük olması, yüksek pH, yüksek kireç ( $\text{CaCO}_3$ ), nem ve organik madde içeriğinin düşük olması, toprak çözeltisinde veya labil formlarda yüksek

Na, Ca, Mg, bikarbonat ve fosfat konsantrasyonları sayılabilir (Çakmak, 2008; Alloway, 2009; Munir ve ark., 2018). Tahıl üretimi yapılan topraklarda yaygın görülen Zn noksanlığı sorununun kimyasal gübrelemeyle ve tahıllarda Zn noksanlığını önlemek içinse tahıllara takviye ve diyet çeşitlendirmesinin yanı sıra ürünün biyolojik olarak zenginleştirilmesi gibi farklı yaklaşımlarla çözümlenebilmektedir (Çakmak, 2008; Alloway, 2009; Munir ve ark., 2018). Ayrıca, gübre kullanım verimliliğini artırmak için hassas gübreleme, bölünmüş gübreleme ve nano gübrelerin kullanımı gibi çeşitli stratejiler geliştirilmiştir (Lü ve ark., 2016). Günümüzde nano teknolojinin gelişimi ile nano malzemeler tarım, sanayi, kozmetik gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yunanca son derece küçük, ufak gibi anlamlara gelen nano teriminin bilimsel anlamı ise, metrenin milyarda biri olan ölçü birimidir. Nanoteknoloji ise, boyutu 100 nm'den küçük olan madde ve sistemleri inceleyen bilim dalı olarak tanımlanmaktadır (Dağhan, 2017) ve bu teknoloji her geçen gün gelişmektedir (Barlow, 2009). Toprak verimliliğini, bitki besin maddelerinin yararlılığını ve ürün kalitesini artırmak için kullanılan bir ya da birden fazla besin elementi içeren, bitkinin büyüme ve gelişmesini artıran nano malzemelere nanogübre adı verilmektedir (Liu ve Lal, 2016; Daghan, 2017; Seleiman ve ark., 2021). Bu gübreler etkinliği yüksek olan, yavaş çözünen, toprakta değişime uğramadan ya da yıkanmadan, inorganik kil kolloidleri, organik kolloidler ve kireç gibi maddelere bağlanmadan, diğer elementlerle bileşikler oluşturup yararlı formda geçmeden bitkiler tarafından kolayca alınabilen yavaş salınımlı gübrelerdir (Mukherjee ve ark., 2015; Solanki ve ark., 2015; Seleiman ve ark., 2021). Nano gübreler, geniş yüzey alanına sahip olmalarının yanı sıra bitki kök ve yaprak gözenek boyutundan daha küçük boyutlara sahiptirler (Singh, 2017). Bitki hücrelerine

nanopartiküllerin başka giriş mekanizmaları bulunmakla birlikte çapı 20 nm'den küçük olan NP'ler hücreye doğrudan girebilir. Nano gübrelerin bu özellikleri, uygulanmış oldukları yüzeyden bitkiye penetrasyonlarını, besin alımını ve kullanım etkinliğini artırır (Dağhan, 2017). Öte yandan, nano gübrelerin parçacık boyutunun azaltılması birim alan başına parçacık sayısının ve yüzey alanının artırılmasını da sağlamış olur ve böylece parçacıklar içerisinde kapsüllenmiş nano gübrelerin temas alanının artmasıyla bitkilerin uygulanan besin elementlerinden daha fazla faydalanabilmeleri sağlanabilmektedir (Singh, 2017). Nanopatiküller arasında yer alan sentetik olarak üretilebilen, nano parçacık boyutuna ve geniş yüzey alanına sahip ZnO-NP'ler dünya çapında en yaygın kullanılan nano gübrelerdendir (Baddar ve Urine, 2021). Günümüzde, ZnO-NP'ler, biyouyumluluk, düşük toksisite ve düşük maliyet gibi mükemmel özellikleri nedeniyle yem ve gıda dağıtım sistemleri, gıda ambalaj malzemeleri, su arıtma, kirlenmiş çevrenin (su, toprak vd) remediasyonunda ve akıllı sensör geliştirme gibi birçok sanayi, tarım ve çevre sektöründe kullanılan en yaygın metal oksitlerden biri haline gelmiştir. Çinko oksit NP'ler, gübre gibi çeşitli tarımsal uygulamalar ve formülasyonlarda veya antimikrobiyal özelliklerinden dolayı pestisit olarak da etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Baddar ve Urine, 2021; Sheteiwy ve ark., 2021). Son yıllarda ZnO-NP'lerin sentezlenmesi için yeşil sentez, sprey piroliz, mikrodalga destekli teknikler, buhar fazı büyümesi, buhar-sıvı-katı işlemi, yumuşak kimyasal yöntem, sol-jel işlemi gibi çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden yeşil sentez yöntemi bitkiler, mantarlar ve bakteriler gibi biyo-organizmaların kullanıldığı, bu mikroorganizmaların hem indirgeyici hem de stabilize edici ajan olarak çalıştığı ve hiçbir zararlı madde veya kimyasal kullanılmadığı için toksik olmayan, ucuz ve çevre dostu bir biyolojik sentez yöntemidir (Seleiman ve ark., 2021). Bitkilerden

kolayca elde edilebilmesi ve işlenmesi güvenli olmakla birlikte bitki özleri tarafından sentezlenen nanopartiküller daha kararludur (Fakhari ve ark., 2019). Nano ZnO'nun topraktaki Zn biyoyararlanımı ile bitkilerdeki Zn birikimi arasındaki ilişkiler hakkında çok az şey bilinmektedir. Bununla birlikte, bu çalışmalar çoğunlukla tohumla uygulama, çimlenme testleri ya da su kültürü sistemlerinde yürütülmüştür. Ancak, tarımsal üretim toprakta yapıldığı için ZnO-NP'lerinin toprak ekosistemlerindeki etkilerinin daha fazla ve çok yönlü araştırılması gerekmektedir. Ayrıca çevre dostu ve ekonomik olan yeşil sentez yöntemiyle elde edilen ZnO-NP'lerin bitkiler üzerindeki etkilerinin detaylı olarak araştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada, Zn noksanlığının yaygın olduğu ve yoğun tahıl üretimi yapılan ülkemizde ucuz ve çevre dostu yeşil sentez yöntemi ile biberiye bitkisinden elde edilen ZnO-NP'ler diğer çalışmalardan (tohumla, yaprağa uygulama, çimlenme testleri vd.) farklı olarak, toprağa artan dozlarda (0, 1, 2, 3, 4 ve 5 mg kg<sup>-1</sup>) uygulanmış ve buğday bitkisinin büyüme ve gelişmesi ile Zn ve diğer besin elementleri alımı üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Denemede bitki materyali olarak makarnalık buğday (*Triticum durum* L.) çeşidi olan Kunduru-1149 kullanılmıştır. Buğday tohumları T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Eskişehir Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nden sağlanmıştır.

### 2.1. Yeşil sentez yöntemi ile çinko nanopartiküllerin sentezi

Denemede kullanılan ZnO-NP'ler biberiye bitkisinin yeşil yaprakları kullanılarak Eren ve Baran, (2019) tarafından modifiye edilen yeşil sentez yöntemi ile Doç. Dr. Mehmet Fırat BARAN tarafından sentezlenmiş ve karakterizasyonları yapılarak sonuçları yorumlanmıştır.

## 2.2. Nanomalzemenin karakterizasyonu

Çinko oksit nanopartiküllerin şekli, morfolojisi ve yüzey analizi taramalı elektron mikroskobu Scanning electron microscopy, (SEM) cihazı (Quanta FEG250, ABD) ile belirlenmiştir. Bu cihaza bir Enerji Dağılımı X-Işını (EDX) detektörü takılarak ZnO-NP'lerin element içeriği ve bu elementlerin kimyasal konsantrasyon belirlenmiştir. Ayrıca, ZnO-NP'lerin kristal yapıları, tane boyutları X-ışını kırılma (XRD) cihazı (BRUKER, D8 Discover XRD) ile belirlenmiş olup sulu çözelti içindeki nanopartiküllerin boyut dağılımları ve yüzey yükü Zeta-Sizer cihazı (Malvern, Zeta-Sizer Nano ZSP) ile ve kimyasal kompozisyon analizi ise Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) spektroskopisi cihazı (Perkin-Elmer, ABD) kullanılarak karakterize edilmiştir (Eren ve Baran, 2019).

## 2.3. Toprak hazırlığı ve analizler

Saksı denemesinde, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Ziraat Fakültesi deneme arazilerinden 0-30 cm derinlikten Jackson (1962) tarafından bildirildiği şekilde alınan toprak kullanılmıştır. Toprak materyalinin bazı fiziksel ve kimyasal toprak analizleri yapılması için 2 mm'lik elekten elenmiştir. Toprakların kum, silt ve kil fraksiyonları Bouyoucos (1952) tarafından bildirildiği şekilde hidrometre yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Toprağın suya doygunluğu ya da saturasyonu Richards (1954) tarafından bildirildiği şekilde toprağa doyuncaya kadar saf su ilave edilerek tayin edilmiş ve bu çamurda elektriksel iletkenlik ve toprak reaksiyonu (pH) belirlenmiştir. Toprağın kireç ( $\text{CaCO}_3$ ) içeriği Loeppert ve ark. (1996) tarafından ifade edildiği şekilde volümetrik metoda göre, organik madde içeriği ise Kacar (1995) tarafından bildirildiği şekilde modifiye Walkley-Black (1934) yöntemine göre tayin edilerek, sonuçlar % olarak ifade edilmiştir. Alınabilir P miktarı Olsen ve ark. (1954) tarafından geliştirilen metoda göre ve alınabilir K konsantrasyonu ise Richards (1954) tarafından bildirildiği gibi ekstrakt çözeltisi olarak 1 N Amonyum

asetat ( $(\text{NH}_4\text{OAc})$  pH 7.0) kullanılarak topraktan çözeltiye geçen K konsantrasyonu alev fotometre (BWB, XP2011) cihazı ile belirlenmiştir. Toprağın yarayışlı formdaki Zn, Mn, Fe ve Cu içeriği DTPA (dietilentriaminpentaasetik asit) ekstraksiyon yöntemi ile belirlenmiştir (Lindsay ve Norvell, 1978). Analizin doğruluğu ise referans toprak kullanılarak test edilmiş olup, element konsantrasyonları Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre (AAS) (Analytik Jena, NovAA 350 model) cihazında belirlenmiştir.

## 2.4. Saksı Denemesi

Denemede 4 mm'lik elekten elenmiş 2 kg hava kuru toprak saksılara doldurulmuştur. Ekimden önce her saksıya 200 mg N  $\text{kg}^{-1}$  ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$  formunda), 100 mg P  $\text{kg}^{-1}$  ve 125 mg K  $\text{kg}^{-1}$  ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$  formunda), 2.5 mg Fe  $\text{kg}^{-1}$  (Fe-EDTA formunda) saf suda çözüldükten sonra toprağa temel gübreler ilave edilmiştir. Deneme faktöriyel deneme deseninde 3 yinelemeli olarak kurulmuştur. Her bir saksı bağımsız bir deneme olarak kabul edilmiştir. Denemede kullanılan ZnO-NP düzeyleri 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 mg ZnO-NP  $\text{kg}^{-1}$  olarak belirlenmiştir. Bu dozlar Lindsay (1979) tarafından bildirilen topraklardaki kritik Zn düzeyi (0.5 mg  $\text{kg}^{-1}$ ) göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Her saksıya 10 tohum ekilmiş ve ekimden 3 gün sonra çimlenme gözlenmiştir. Bitkiler çimlenmeden itibaren 7 hafta süre ile iklim odasında kontrollü koşullarda (8/16 saat karanlık/ışık, sıcaklık 20-25 °C, nem % 60 ve ışık yoğunluğu 8 kilo lüks) yetiştirilmiştir. Saksılar tarla kapasitesi %70-80 olacak şekilde deiyonize su ile sulanarak kontrollü koşullarda yetiştirilmiştir. Denemeler süresince bitkilerin morfolojik özellikleri izlenerek gelişme aşamaları ile ilgili gözlemler alınmıştır. Çinko oksit NP uygulamalarının bitkilerin yaprak klorofil içeriklerine etkileri Konica-Minolta marka SPAD-502 model klorofil ölçüm cihazı ile yapılan ölçümlerle belirlenmiştir (Dağhan, 2018).

## 2.5. Bitki örneklerinin hazırlanması ve analizleri

Deneme sonunda bitkiler toprak seviyesinin 1 cm üzerinden hasat edildikten sonra saf suyla yıkanıp kurutma dolabında 65 °C de 48 saat kurutulmuştur. Kurutulan bitkilerin kuru ağırlıkları alınarak bitki analizleri için bitki öğütme değirmeninde (Retsch MM301, Almanya) öğütülmüştür. Öğütülen bitki örnekleri HNO<sub>3</sub> ile mikro dalga fırında çözünürleştirilerek toplam element konsantrasyonları (Zn, Cu, Fe, Mn, Ca ve Mg) AAS (Analytik Jena, NovAA 350 model) cihazında belirlenmiştir. Bu amaçla 0.2 g bitki örneği 2 mL deiyonize su, 2 mL % 35'lik H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve 5 mL % 65'lik HNO<sub>3</sub> ile 45 dakika mikrodalga fırında çözünürleştirilmiştir. Üç tekerrürlü yapılan element analizlerinin doğruluğu, element içeriği belli olan standart sertifikalı referans bitki materyali (NIST SRM-1573a) örneğinin aynı yöntemle analiz edilmesi ile kontrol edilmiştir. Yaş yakma süzüğündeki K konsantrasyonları alev fotometre (BWB, XP2011) cihazı ile belirlenmiştir (Kacar, 1995). Bitki örneklerinde toplam N miktarı Kjeldahl analiz yöntemi ile belirlenmiştir (Kacar, 1995). Bitki örneklerinde P analizi, sarı renk yöntemine göre yapılmıştır ve konsantrasyonlar UV-Vis spektrofotometre (Thermo Scientific, Aquamate 9423

AQA2000E) cihazında belirlenmiştir (Kacar, 1995).

## 2.6. İstatistiksel analiz

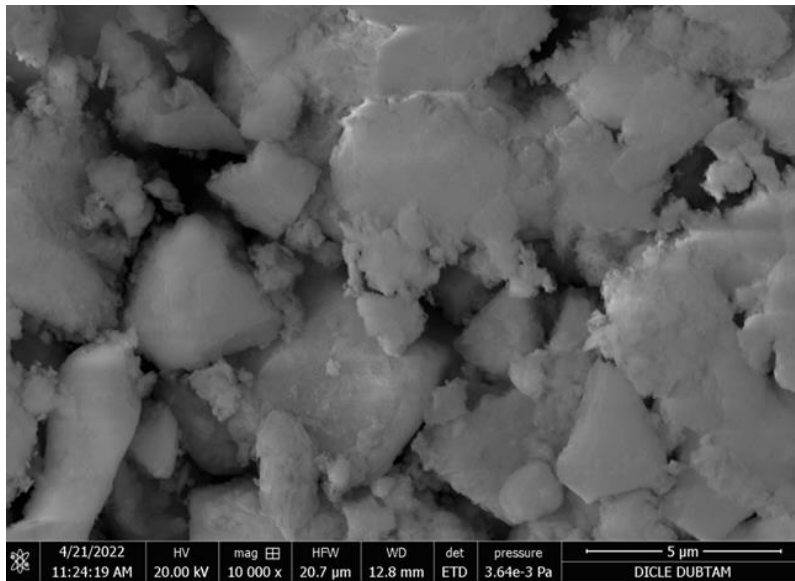
Çalışmada elde edilen sonuçların varyans (ANOVA) analizi SPSS istatistik paket programı kullanılarak ortalamalar arasındaki farkların önem dereceleri çoklu karşılaştırma yöntemi Walker-Duncan testi uygulanarak gruplandırılmıştır. ANOVA testinde en uygun ZnO-NP konsantrasyonunun belirlenmesinde uygulanan ZnO-NP dozları bağımsız bir değişken olarak dikkate alınmıştır. Bu değişkenin bitkideki etkileri (klorofil içerikleri, yeşil aksam kuru ağırlık değişimleri, makro ve mikro element konsantrasyonları) ise bağımlı değişkenler olarak ele alınmıştır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. Nanomalzemelerin karakterizasyonu

#### 3.1.1. Taramalı elektron mikroskop (SEM) ve Enerji dağılım X-ışını spektrometre (EDX) analizleri

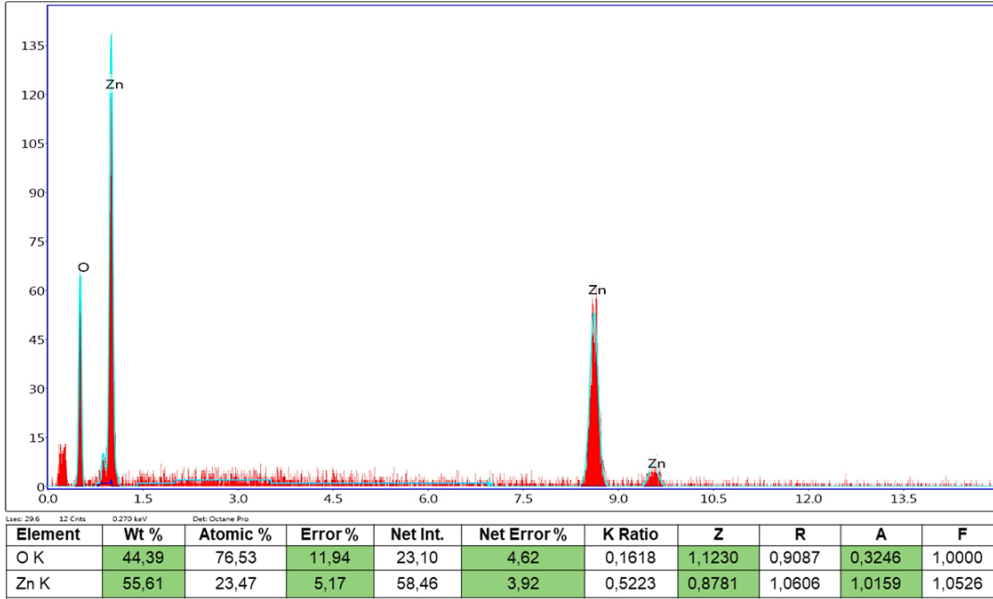
Çinko oksit nanopartiküllerin şekli, morfolojisi ve yüzey analizi belirlenmiş olup Şekil 1'de ZnO-NP'lere ait SEM görüntüleri gösterilmiştir. Çinko oksit NP'lerin boyutu SEM görüntülerinde küresel olduğu belirlenmiştir.



Şekil 1. Çinko oksit NP'lerin taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüsü

Şekil 2’de gösterildiği gibi Enerji dağılım X-ışını spektrometre (EDX) analizi ile ZnO-NP’lerin kimyasal kompozisyonu,

içerdiği elementler ve bu elementlerin yoğunluğu belirlenmiştir.

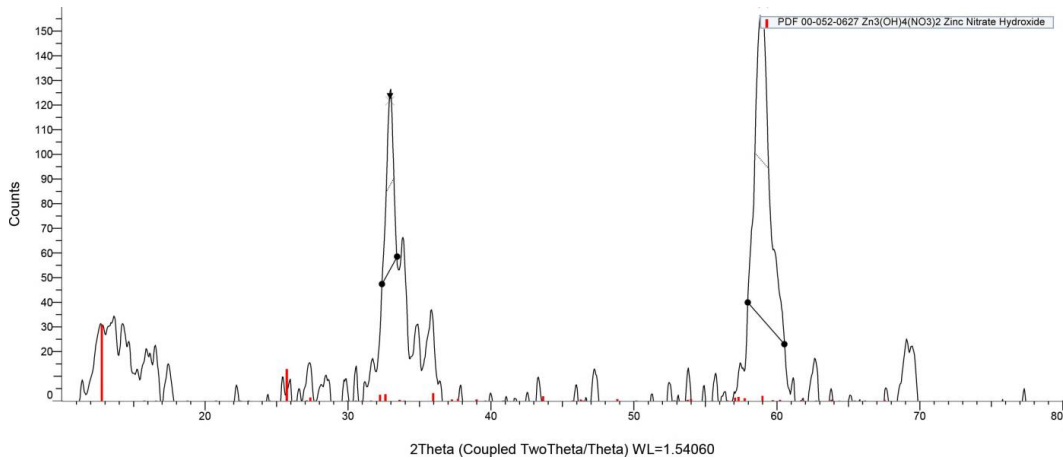


Şekil 2. Çinko oksit NP’lerin enerji dağılım X-ışını (EDX) spektrumu

Biberiye yaprak özütü ile sentezlenen ZnO-NP’lerin element kompozisyonlarının değerlendirilmesinde elde edilen EDX profili (Şekil 2) partiküllerin % 55.61’nin Zn’ye ve % 44.39’u ise O’ya ait olduğu görülmektedir. Bu veri biyosentezi yapılan partiküllerin ZnO-NP’ler olduğunu göstermiştir.

### 3.1.2. X-ışını kırınım (XRD) analizi

Çinko oksit NP’lerin kristal yapıları ve tane boyutlarını değerlendirmek için yapılan X-ışını kırınım (XRD) analiz datalarında  $2\theta$ ’ya karşılık gelen  $111^\circ$ ,  $200^\circ$ ,  $220^\circ$  ve  $311^\circ$  alınan spektrumlar ve bu spektrumlara ait sırası ile 38.06, 44.35, 64.35 ve 77.26 değerleri Şekil 3’de gösterilmiştir.

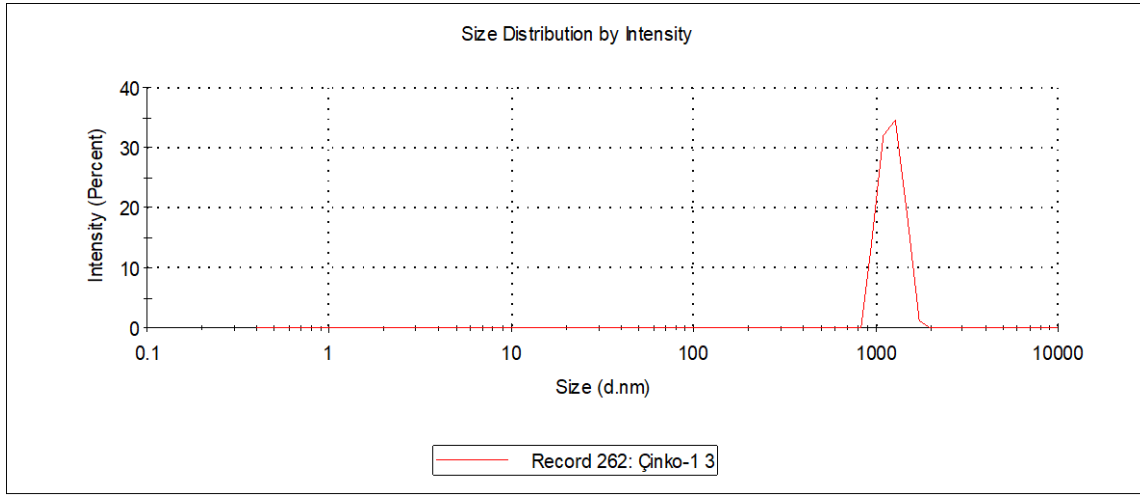


Şekil 3. Yeşil sentez yöntemiyle üretilen ZnO-NP’lerin X-ışını kırınım (XRD) grafiği

### 3.1.3. Zeta boyut analizi

Zeta-sizer cihazı, sulu çözeltilerde bulunan parçacıkların boyutunu, zeta potansiyelini ve molekül ağırlığını belirlemek için kullanılan bir cihazdır. Yeşil sentez yöntemiyle biyosentezi yapılan ZnO-NP'lerin boyutlarının ortalama 1-1000 nm

arasında değiştiği saptanmıştır (Şekil 4). Çinko oksit NP boyutlarının geniş bir aralıkta dağılım göstermesi bu NP'lerin bitki hücre duvarındaki gözeneklerden geçişini ve bitkilerdeki etkinliğini kısıtlamış olabilir.

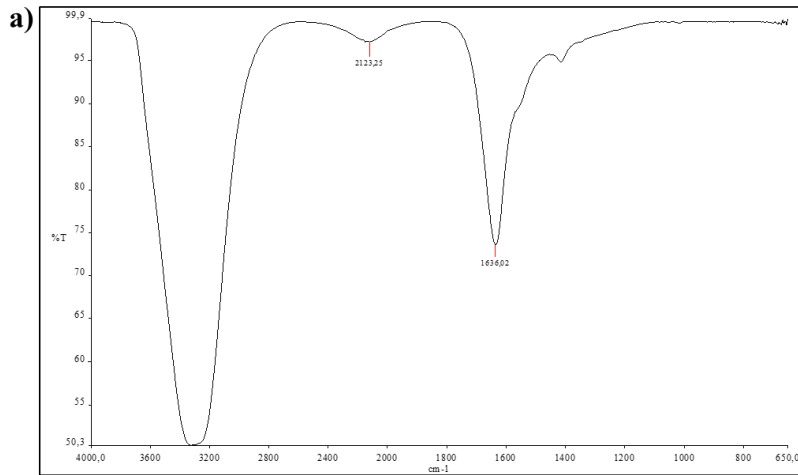


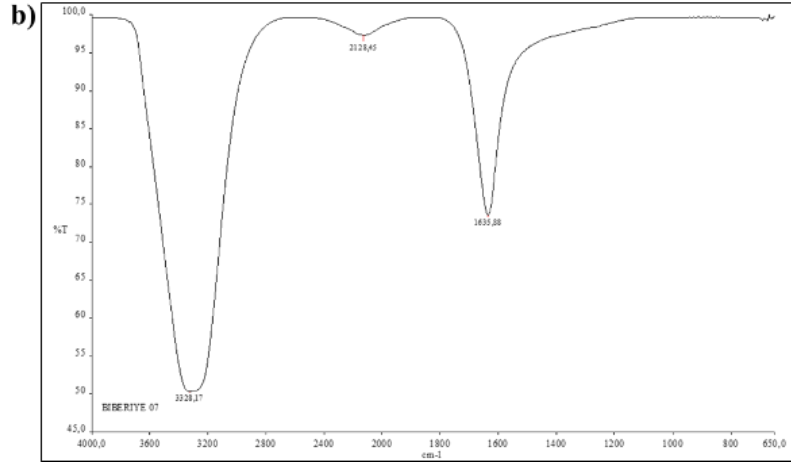
Şekil 4. Çinko oksit NP'lerin zeta potansiyel analizi

### 3.1.5. Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopi analizi

Çinkonun iyonik ( $Zn^{+2}$ ) formunun  $Zn^0$  formuna indirgenmesinden sorumlu olabilecek fitokimyasallara ait fonksiyonel grupların değerlendirilmesinde biberiye bitki özütü ve sentez sonrasındaki reaksiyon sıvısının Şekil 5a ve b'de de görüldüğü gibi

üç noktada frekans kayması tespit edilmiştir. FTIR spektrumunda  $3338\text{ cm}^{-1}$ ,  $2132\text{ cm}^{-1}$  ve  $1636\text{ cm}^{-1}$  meydana gelen kaymalar biyoredüksiyondan hidroksil gruplar (O-H gerilmesi), aromatik grupların (C=C gerilmesi), flavonoid ve fenolik frupların (C=O gerilmesi) etkili olabileceğini göstermiştir.





Şekil 5. Örneklere ait FTIR analiz grafikleri a) Biberiye bitki özütünün FTIR analiz grafiği b) ZnO-NP'lerin FTIR analiz grafiği

### 3.2. Saksı Denemesi

#### 3.2.1. Deneme toprağının özellikleri

Araştırmada kullanılan toprağın; killi tın bir bünyeye sahip, kireç içeriği % 6.90 değerle orta kireçli, saturasyon çamurunda ölçülen pH'sı 7.69 ile hafif alkali ve tuzsuz ( $0.87 \text{ dS m}^{-1}$ ) özellikte bir toprak olduğu belirlenmiştir. Toprağın organik madde içeriğinin (% 1.47) düşük olduğu, Ülgen ve Yurtsever (1995)'e göre alınabilir P miktarının az ( $3.60 \text{ P}_2\text{O}_5 \text{ kg da}^{-1}$ ) ve K miktarının ise yeterli ( $225.3 \text{ K}_2\text{O kg da}^{-1}$ ) olduğu tespit edilmiştir. Deneme toprağının DTPA yöntemine göre ekstrakte edilmiş elementlerin sınır değerleri;  $\text{Zn} < 0.2 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $\text{Cu} < 0.2 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $\text{Mn} 4-14 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $\text{Fe} < 2.5-4.5 \text{ mg kg}^{-1}$  olarak belirlenmiştir (Alpaslan ve ark., 1998). Bu sınır değerleri dikkate alındığında deneme toprağında  $\text{Zn}$  ( $0.03 \text{ mg kg}^{-1}$ ) çok az,  $\text{Cu}$  ( $2.27 \text{ mg kg}^{-1}$ ) yeterli,  $\text{Fe}$  ( $2.58 \text{ mg kg}^{-1}$ ) orta,  $\text{Mn}$  ( $6.32 \text{ mg kg}^{-1}$ ) az miktarlarda tespit edilmiştir.

#### 3.2.3. Morfolojik gözlemler

Deneme süresince bitkilerin morfolojik değişimleri gözlenmiş ve hasat öncesi değişimler fotoğraflanmıştır. Şekil 6'dan da görüleceği gibi yapılan gözlemlerde kontrol dâhil ( $0 \text{ mg ZnO-NP kg}^{-1}$ ) tüm uygulamalarda gözle görülür  $\text{Zn}$  noksanlık belirtileri saptanmamıştır. Şiddetli  $\text{Zn}$  noksanlığında bitkilerde büyüme geriliği, damarlar arası kloroza bağlı alacalı yaprak, küçük yapraklar, yaprak laminasının içe doğru kıvrılması ve boğum arası kısılması gibi belirtiler gözlenir (Çakmak, 2000). Diğer yandan, kontrol grubu bitkilerinde  $\text{Zn}$  noksanlığı belirtilerinin görülmemesi kullanılan buğday tohumlarının  $\text{Zn}$  konsantrasyonlarının (ortalama  $22.36 \pm 1.81 \text{ mg kg}^{-1}$ ) büyüme periyodunda yeterli gelmesi olabilir. Bu nedenle uygulamaların etkisinin bitkilerde görülebilmesi için deneme süresinin uzun tutulması daha uygun olabilir.





Şekil 6. Çinko oksit NP uygulamalarının buğday bitkisinin gelişimi üzerine etkisi

### 3.2.4. Klorofil içeriği ve kuru ağırlıklar

Yapılan çalışmada Zn noksanlığı olan toprağa artan dozlarda (1, 2, 3, 4 ve 5 mg kg<sup>-1</sup>) ZnO-NP uygulamasının bitki yapraklarının klorofil içeriği üzerine

etkilerinin ortalamaları ve çoklu karşılaştırma yöntemi Walker-Duncan testine göre oluşan gruplar Tablo 1’de gösterilmektedir.

**Tablo 1.** Artan dozlarda ZnO-NP uygulamalarının buğday bitkisinin yaprak klorofil içeriği ve kuru ağırlık üretimine etkileri

Dozlar (ZnO-NP)	Klorofil	Kuru Ağırlık
	(SPAD Birimi)	(g bitki <sup>-1</sup> )
0 mg kg <sup>-1</sup>	44.00 ab	0.92 c
1 mg kg <sup>-1</sup>	42.53 b	1.11 a
2 mg kg <sup>-1</sup>	44.47 a	1.02 ab
3 mg kg <sup>-1</sup>	42.70 b	1.07 ab
4 mg kg <sup>-1</sup>	45.10 a	1.06 ab
5 mg kg <sup>-1</sup>	42.45 b	0.99 bc
<b>F</b>	6.26**	5.62**

(\*\*)  $P \leq 0,01$  düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı

Bitkilerin hasat öncesi yapılan klorofil ölçümlerinde en yüksek klorofil içeriğinin (45.10 SPAD birimi) 4 mg kg<sup>-1</sup> ZnO-NP uygulanan bitkilerden elde edildiği görülmüştür. En düşük klorofil değeri (42.45 SPAD birimi) ise 5 mg kg<sup>-1</sup> ZnO-NP uygulamasından elde edilmiştir. Kontrol grubu klorofil değeri (44.00 SPAD birimi) baz alındığında, 1, 3 ve 5 mg kg<sup>-1</sup> ZnO-NP uygulamalarının klorofil içeriğinde düşüşe neden olduğu, 2 ve 4 mg kg<sup>-1</sup> ZnO-NP uygulamalarında ise artış gösterdiği tespit edilmiştir. Çinko oksit nanopartikül

uygulamasının buğday bitkisi yapraklarının klorofil içeriğine etkisi istatistiksel olarak  $P \leq 0.01$  düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 1). Çinko oksit NP uygulamalarının yaprakların klorofil üretimi üzerine etkileri çeşitli araştırmacıların (Raliya ve ark., 2015; Adhikari ve ark., 2015; Raliya ve ark., 2016; Dimkpa ve ark., 2017) sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Raliya ve ark., (2015) tarafından yapılan çalışmada, ZnO-NP uygulamalarının, domates (*Solanum lycopersicum* L.) bitki yapraklarındaki klorofil içeriği miktarını arttırdığını ve

böylece bitkilerin fotosentetik verimliliğini artırarak daha yüksek bir toplam biyokütleyle yol açtığını tespit etmişlerdir. Adhikari ve ark., (2015)'de benzer şekilde ZnO-NP uygulamalarının mısır (*Zea mays* L.) yapraklarının klorofil içeriğine olumlu etki yaptığını rapor etmişlerdir. Raliya ve ark., (2016) ZnO-NP uygulamasının maş fasulyesi yapraklarının klorofil içeriğinde %34.5 artış sağladığını bildirmişlerdir. Dimkpa ve ark., (2017), Zn noksanlığı olan toprağa NPK düşük (100:50:75 mg kg<sup>-1</sup>) ve yüksek (200:100:150 mg kg<sup>-1</sup>) konsantrasyonlarda uygulanmalara ek olarak ayrı ayrı 6 mg kg<sup>-1</sup> ZnO-NP ve 6 mg kg<sup>-1</sup> ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O uygulamışlardır. Saksı denemesinde Zn uygulamalarının klorofil üretimi üzerindeki olumlu etkisi olduğu uygulanan NPK dozlarının (düşük ve yüksek) ise sorgum yaprağı klorofil seviyelerini etkilemediği tespit edilmiştir. Buğday bitkisinin yeşil aksam kuru ağırlığına, ZnO-NP uygulamalarının etkisi istatistiksel olarak  $P \leq 0.01$  düzeyinde önemli bulunmuştur. Buğday bitkisinin yeşil aksamında en yüksek kuru ağırlık (1.11g) 1 mg kg<sup>-1</sup> ZnO-NP uygulama dozundan elde edilmiştir. Kontrol grubuna kıyasla artan dozlarda (1, 2, 3, 4 ve 5 mg kg<sup>-1</sup>) ZnO-NP uygulamalarının yeşil

aksamdaki kuru ağırlık değerlerinde artış gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 1). Benzer sonuç Munir ve ark., (2018) tarafından yapılan çalışmada elde edilmiştir. Araştırmacılar buğday tohumlarını farklı dozlardaki (0, 25, 50, 75, 100 mg kg<sup>-1</sup>) ZnO-NP'ler de yaklaşık 24 saat beklettikleri bir saksı denemesi sonucunda bitki kuru ağırlığının artan ZnO-NP konsantrasyonları ile doğrusal olarak arttığını bildirmişlerdir. Meher ve ark., (2020) tarafından yapılan bir çalışmada ise, ZnO-NP uygulamasının buğday bitkisinde kök, sürgün ve fide kuru ağırlıklarını arttırdığını tespit etmişlerdir. Yang ve ark., (2021) ZnSO<sub>4</sub> ile ZnO-NP iki farklı dozda (25-100 mg kg<sup>-1</sup>) ve üç farklı Zn uygulama aşamasını (taban gübreleme, kardeşlenme ve salkım) içeren 2 yıllık bir saksı denemesi yürütmüşlerdir. Araştırmacılar 25 mg kg<sup>-1</sup> ZnO-NP konsantrasyonunda toplam biyokütle arttığını rapor etmişlerdir.

### 3.2.5. Bitki dokularının çinko konsantrasyonları

Farklı dozlardaki ZnO-NP uygulamalarının buğday bitkisinde, Zn konsantrasyonu üzerine etkisi istatistiksel olarak  $P \leq 0.01$  düzeyinde anlamlı olduğu saptanmıştır (Tablo 2).

**Tablo 2.** Artan dozlarda ZnO-NP uygulamalarının buğday bitkisinin yeşil aksam Zn konsantrasyonuna etkileri

Dozlar (ZnO-NP)	Zn mg kg <sup>-1</sup>
0 mg kg <sup>-1</sup>	8.96 e
1 mg kg <sup>-1</sup>	12.57 d
2 mg kg <sup>-1</sup>	16.36 c
3 mg kg <sup>-1</sup>	24.24 b
4 mg kg <sup>-1</sup>	26.15 b
5 mg kg <sup>-1</sup>	32.53 a
F	98.5**

(\*\*)  $P \leq 0.01$  düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı

Buğday bitkisinin dokularındaki Zn konsantrasyonları, ZnO-NP uygulamaları sonucunda artmıştır. Yapılan bu uygulamalar, buğday bitkisinin dokularındaki Zn konsantrasyonunu kontrol grubuna göre % 40 ile % 263 arasında artış

gösterdiği belirlenmiştir. En yüksek Zn konsantrasyonu (32.53 mg kg<sup>-1</sup>), 5 mg kg<sup>-1</sup> ZnO-NP uygulama dozunda elde edilirken, en düşük Zn konsantrasyonu (8.96 mg kg<sup>-1</sup>) ZnO-NP uygulanmamış kontrol grubu bitki dokularında elde edilmiştir. Buğday

bitkisinin dokularında ZnO-NP uygulamaları ile Zn konsantrasyonlarında gözle görülür bir artış sağlanmış, en yüksek artış %263 ile 5 mg/ZnO-NP dozunda gözlemlenmiştir. Jones ve ark. (1991)'e göre buğday (*Triticum aestivum*) bitkisinin başaklanma öncesi döneminde bitki dokularında 11-20 mg kg<sup>-1</sup>Zn konsantrasyonunun noksanlık, 21-70 mg kg<sup>-1</sup>Zn konsantrasyonunun yeterli ve 71-150 mg kg<sup>-1</sup>Zn konsantrasyonunun ise fazla olduğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında 1 ve 2 mg kg<sup>-1</sup>ZnO-NP uygulama dozlarında bitkilerde Zn noksanlığı olduğu saptanmıştır. Diğer uygulama dozlarında (3, 4 ve 5 mg kg<sup>-1</sup>ZnO-NP) ise bitkilerin Zn konsantrasyonlarının yeterli olduğu belirlenmiştir. Bu durum dikkate alındığında ZnO-NP uygulamalarına yönelik çalışmalarda uygulama alt dozu 3 mg kg<sup>-1</sup> ve üzeri dozlar seçilerek uygulamanın etkinliği araştırılabilir. Diğer yandan Watson ve ark. (2015) ve Dimkpa ve ark. (2019) bildirdiklerine göre ZnO-NP'lerin etkisi, toprak özellikleri (toprak nem içeriği, toprak pH'sı, toprak organik maddesi) ve biyolojik (mikrobiyal faaliyetler, bitki kök salgıları) etkiler dâhil olmak üzere birçok faktörden etkilenebileceğini rapor etmişlerdir. Ayrıca toprağa P uygulama miktarı ve bitki dokularında fazla P birikimi de Zn noksanlığı olan deneme toprağına düşük

dozlarda (1 ve 2 mg kg<sup>-1</sup>) uygulanan ZnO-NP alımını sınırladığı olabilir. Çinko oksit nanopartikül uygulamasının bitkide Zn konsantrasyonunu artırdığı Dimkpa ve ark. (2017) ve Yang ve ark. (2021)'in bildirdiği sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Dimkpa ve ark. (2017), Zn noksanlığı olan (0.1 mg Zn kg<sup>-1</sup>) toprağına 6 mg kg<sup>-1</sup>ZnONP uygulayarak yetiştirdikleri sorgum bitkisinin dokularında kontrol grubuna kıyasla %73-585 daha fazla Zn biriktirdiğini rapor etmişlerdir. Yang ve ark. (2021) ZnSO<sub>4</sub> gübresi ile ZnO-NP uygulamalarını karşılaştırdıkları araştırmada, ZnO-NP'lerin esmer pirincin Zn konsantrasyonunu % 13.5-39.4 oranında daha fazla artırdığını tespit etmişlerdir.

### 3.2.6. Bazı mineral besin elementi konsantrasyonları

Bazı makro ve mikro elementlerin ortalamaları ve çoklu karşılaştırma yöntemi Walker-Duncan testine göre oluşan gruplar Tablo 3'de verilmiştir. Farklı dozlardaki ZnO-NP uygulamalarının buğday bitkisinin N, Ca ve Mg alımları üzerine etkisi istatistiksel olarak  $P \leq 0.05$  düzeyinde, P ve K alımları üzerine etkisi ise  $P \leq 0.01$  düzeyinde önemli olduğu saptanmıştır (Tablo 3). Diğer yandan artan dozlarda ZnO-NP uygulamalarının bitki dokularının Fe, Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi istatistiksel olarak  $P \leq 0.01$  düzeyinde anlamlı bulunmuştur.

**Tablo 3.** Artan dozlarda ZnO-NP uygulanan buğday bitkisinin bazı mineral besin elementi konsantrasyonlarına etkileri

Dozlar (ZnO-NP)	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn
	(% )					(mg kg <sup>-1</sup> )		
0 mg kg <sup>-1</sup>	2.981 a	0.81 a	7.43 a-c	0.84 a	0.34 a	106.9 a	10.02 bc	53.11 a
1 mg kg <sup>-1</sup>	2.762 b	0.68 c	7.46 ab	0.75 b	0.31 b	102.6 a-c	9.34 c	45.49 b
2 mg kg <sup>-1</sup>	2.766 b	0.71 bc	6.90 c	0.73 b	0.30 b	103.8 ab	9.37 c	45.45 b
3 mg kg <sup>-1</sup>	2.766 b	0.74 a-c	7.73 ab	0.75 b	0.30 b	96.25 cd	10.3 6b	44.72 b
4 mg kg <sup>-1</sup>	2.736 b	0.70 bc	7.97 a	0.74 b	0.30 b	93.95 d	9.86 bc	43.40 b
5 mg kg <sup>-1</sup>	2.789 b	0.76 ab	7.22 bc	0.79 ab	0.32 ab	98.13 b-d	11.27 a	42.60 b
<b>F</b>	3.164*	4.97**	5.43**	3.31*	3.93*	5.445**	7.54**	6.94**

(\*\*)  $P \leq 0,01$  düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı, (\*)  $P \leq 0,05$  düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı

Tablo 3’de ZnO-NP uygulamalarının buğday bitkisinin N konsantrasyonuna etkisi % 2.736-2.981 arasında değişim göstermiş olup en düşük total N konsantrasyonu  $4 \text{ mg kg}^{-1}$  ZnO-NP uygulamasında, en yüksek total N konsantrasyonu ise kontrol grubu bitkilerinden elde edilmiştir. Elde edilen veriler % N konsantrasyonunun kontrol grubuna kıyasla ZnO-NP uygulamaları ile azaldığını göstermiştir. Bununla birlikte dokuların N konsantrasyonları Jones ve ark. (1991)’e göre yeterli (% 1.75-3.00) olduğu saptanmıştır. Bu çalışmanın aksine Dimkpa ve ark. (2017) ZnO-NP uygulamalarının bitkide N alımını desteklediğini ve % 4-48 oranlarında N alımını artırdığını bildirmişlerdir. Bitkilere ZnO-NP uygulamaları ile dokuların P konsantrasyonu kontrol grubu bitkilerine göre azalma eğilimi göstermiştir (Tablo 3). En yüksek P konsantrasyonu (% 0.81) ZnO-NP uygulanmamış kontrol bitkisinde, en düşük P konsantrasyonu (% 0.68) ise  $1 \text{ mg kg}^{-1}$  ZnO-NP uygulanmış bitkide belirlenmiştir. Bu azalmaya rağmen % 0.68-0.81 arasında değişim gösteren P konsantrasyonları Jones ve ark. (1991)’in bildirdiği değerlere göre bitkilerde (> % 0.51) fazla olduğu tespit edilmiştir. Bitki dokularında P’nin bu fazlalığı Zn ile P arasındaki antagonistik etki ile uygulanan ZnO-NP’den bitkilerin yararlanmasını azaltmış olabilir. Deneme toprağının P noksanlığı uygulanan  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  P ile giderilmiş ancak Zn alımını arttırmak için bu doz azaltılarak uygulanabilir. Çalışmamıza benzer sonuçlar Chai vd. (2015) ve Dimkpa ve ark. (2017) tarafından rapor edilmiştir. Chai ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada ZnO-NP uygulamasının P konsantrasyonunda düşüşe neden olduğunu tespit etmişlerdir. Dimkpa ve ark. (2017) yaptıkları çalışma sonucunda ZnO-NP hem topraktan hem yapraktan uygulamalarının P alımını önemli ölçüde azalttığını rapor etmişlerdir. Diğer yandan uygulanan ZnO-NP’lerin P alımını uyardığını ve arttırdığını tespit eden Raliya ve ark. (2016)’nın bulguları ile mevcut

çalışma sonuçlarının uyumlu olmadığı tespit edilmiştir.

Çinko oksit NP uygulamalarının buğday bitkisinde % K içeriğine etkisi % 6.90-7.97 arasında değişim göstermiş olup en düşük K konsantrasyonu (% 6.90)  $2 \text{ mg kg}^{-1}$  ZnO-NP uygulamasından ve en yüksek K konsantrasyonu (% 7.97) ise  $4 \text{ mg kg}^{-1}$  ZnO-NP uygulamasından elde edilmiştir. Elde edilen veriler, ZnO-NP’nin topraktan uygulanmasıyla K birikimini % 11-44 oranında artırdığını rapor eden Dimkpa ve ark. (2017)’nin sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. Bitki dokularının K konsantrasyonu yeterlilik düzeyinin (% 1.51-3.00) çok üzerindedir ve yüksektir (Jones ve ark., 1991). Yang ve ark. (2021) farklı uygulama aşamalarında (taban gübreleme, kardeşlenme ve salkım) geleneksel gübre ve ZnO-NP uyguladıkları saksı denemesinde ZnO-NP uygulamalarının bitki dokularında N, P, K ve Zn içeriklerini arttırdığını ve böylece pirinç veriminde artış olduğunu rapor etmişlerdir. Kalsiyum konsantrasyonları ZnO-NP uygulamalarıyla birlikte kontrol grubuna kıyasla azalmıştır. En yüksek Ca konsantrasyonu (% 0.84) ZnO-NP uygulanmamış kontrol bitkisinde ve en düşük konsantrasyon (% 0.73) ise  $2 \text{ mg kg}^{-1}$  ZnO-NP uygulamasında tespit edilmiştir. Bitkilerin Ca konsantrasyonlarının yeterli (% 0.21-1.00) düzeyde olduğu saptanmıştır (Jones ve ark., 1991). Çinko oksit NP uygulamalarının buğday bitkisinde Mg içeriğine etkisi % 0.30-0.34 arasında değişim göstermiş olup, en düşük Mg konsantrasyonu 2-3-4  $\text{mg kg}^{-1}$  ZnO-NP uygulamalarında ve en yüksek Mg konsantrasyonu ise ZnO-NP uygulaması yapılmayan kontrol grubunda belirlenmiştir. Buğday bitkisinde Mg konsantrasyonu ZnO-NP uygulamaları ile kontrol ( $0 \text{ mg kg}^{-1}$  ZnO-NP) grubuna kıyasla azalma gösterdiği tespit edilmiştir. Magnezyum konsantrasyonlarının tüm uygulamalarda yeterli (% 0.16-1.00) olduğu tespit edilmiştir (Jones ve ark., 1991). En yüksek Fe konsantrasyonu ( $106.9 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ZnO-NP uygulanmamış kontrol grubu

bitkilerinden en düşük Fe konsantrasyonu ( $93.95 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ise  $4 \text{ mg kg}^{-1}$  ZnO-NP uygulamasından elde edilmiştir. Jones ve ark. (1991) bildirdiğine göre buğday bitkisinin Fe konsantrasyonunun tüm uygulamalarda yeterli olduğu saptanmıştır. Buğday bitkisinde farklı dozlardaki ZnO-NP uygulamaları sonucu kontrol ( $0 \text{ mg kg}^{-1}$  ZnO-NP) grubuna göre Fe konsantrasyonunda düşüş olduğu belirlenmiş olup, sonuçlar istatistiksel olarak  $P \leq 0.01$  düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 3). Dimkpa ve ark. (2017) tarafından benzer sonuçlar bildirilmiştir. Araştırmacılar  $6 \text{ mg kg}^{-1}$  ZnO-NP uygulamasının, sorgum bitkisinde Fe alımını önemli ölçüde engellediğini bildirmişlerdir. Diğer yandan Ji ve ark. (2022) *Medicago polymorpha* L. bitkisine ZnO-NP etkisinin Fe konsantrasyonunu önemli ölçüde artırdığını rapor etmişlerdir. Bu durum ZnO-NP uygulamasının Fe birikimine etkisinin farklı bitki türlerine göre değiştiğini göstermektedir (Ji ve ark., 2022). Bu çalışmada, ZnO-NP uygulamalarının Cu konsantrasyonuna etkisi istatistiksel olarak  $P \leq 0.01$  düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 3). En yüksek Cu konsantrasyonu ( $11.27 \text{ mg kg}^{-1}$ )  $5 \text{ mg kg}^{-1}$  ZnO-NP dozundan, en düşük Cu konsantrasyonu ( $9.34 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ise  $1 \text{ mg kg}^{-1}$  ZnO-NP uygulanmış bitki grubundan elde edilmiştir. Tüm uygulamalarda bitki dokularının Cu konsantrasyonu Jones vd. (1991)'in bildirdiği düzeylere ( $5-50 \text{ mg kg}^{-1}$ ) göre yeterli olduğu görülmüştür. En yüksek Mn konsantrasyonu ( $53.11 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ZnO-NP uygulanmamış kontrol grubu bitkilerinden elde edilmiştir. En düşük Mn konsantrasyonu ( $42.60 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ise  $5 \text{ mg kg}^{-1}$  ZnO-NP uygulanmış bitki grubundan elde edilmiştir. Artan dozlardaki ZnO-NP uygulamaları ile bitkilerin Mn konsantrasyonu düşmüştür. Ancak Jones ve ark. (1991)'e göre bitkilerin Mn konsantrasyonu tüm dozlarda yeterli ( $16-200 \text{ mg kg}^{-1}$ ) bulunmuştur. Çinko oksit NP uygulamasının Mn konsantrasyonuna etkisi istatistiksel olarak  $P \leq 0.01$  düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 3). Dimkpa ve

ark. (2017) yaptığı çalışma sonucunda sorgum bitkisinde ZnO-NP'nin Mg ve Mn için besin alımı üzerinde olumlu etki bulurken, yapılan bu çalışmada Dimkpa ve ark. (2017)'nin aksine ZnO-NP'nin kontrole kıyasla Mg ve Mn için besin alımı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Literatürde ZnO-NP uygulamalarının bitkilerin Zn dışında besin elementi alımları üzerine etkilerini araştıran çalışmalar sınırlı olması nedeniyle bu çalışmadan elde edilen sonuçları destekleyen ya da aksini gösteren çalışma sayısı da sınırlıdır.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Çinko oksit NP uygulamaları ile bitki dokularının Zn konsantrasyonunda artış gözlenmiştir. Artan dozlarda ZnO-NP uygulamaları ile bitki dokularının Zn konsantrasyonu  $3, 4, 5 \text{ mg kg}^{-1}$  ZnO-NP uygulamalarında yeterli iken kontrol grubu,  $1, 2 \text{ mg kg}^{-1}$  uygulamalarında ise düşük düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre toprağa uygulama dozlarının  $3 \text{ mg kg}^{-1}$  ve üzeri seçilmesi ve bitki hücre duvarındaki gözenek boyutları  $5-20 \text{ nm}$  aralığında olduğu için uygulanacak nanogübre partikül boyutunun çoğunlukla bu boyutlarda olması önerilir. Nitekim bu çalışmada ZnO-NP parçacık boyutu  $1-1000 \text{ nm}$  arasında değişim gösterdiği için bitkinin bu gübreden yaralanma etkinliği daha sınırlı olmuş olabilir. Diğer yandan, buğday bitkisinin N, Ca, Mg, Fe, Cu ve Mn konsantrasyonları tüm ZnO-NP uygulamalarında yeterli iken P ve K konsantrasyonları ise tüm uygulamalarda fazla olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak, yeşil sentez yöntemiyle hazırlanan ZnO-NP'ler topraklarda Zn noksanlığının giderilmesi, tarımsal üretimin artırılması ve bitki büyümesini ve ürünün besin değerinin artırılması için kullanılması önerilebilir. Ancak toprağın bazı özellikleri (kireç, pH, organik madde vd.), nano gübrelerin parçacık boyutları, uygulama dozları ve bitki yetiştirme süresi bu gübrelerin uygulanmasında dikkate alınması gereken hususlardır. Bununla birlikte, ZnO NP'lerin tarımsal ekolojik sistemler (toprak, su ve

organizmalar) ve ZnO-NP uygulanmış bitkisel ürünleri tüketen insanlarda oluşabilecek olası etkileri de araştırılmalıdır.

### Yazarların Katkı Beyanı

Gül Nazik BALCI: Araştırmanın yürütülmesi, bitki yetiştirilmesi, analizlerin yapılması, verilerin toplanması ve makalenin yazılmasında katkıda bulunmuştur.

Hatice DAĞHAN: Araştırmanın ana kavramsal fikirlerini geliştirilmesi, yöntemlerin planlanması, araştırmanın yürütülmesi, verilerin toplanması, değerlendirilmesi ve mevcut makalenin yazımında katkıda bulunmuştur.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

### Finansman

Bu çalışma, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırmalar Projeleri (ESOGÜ-BAP) Koordinatörlüğü tarafından “FYL-2022-2245” nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

### Açıklama

Bu çalışma ilk yazarın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

### Teşekkür

Yazarlar, finansal destek için Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırmalar Projeleri (ESOGÜ-BAP) Koordinatörlüğü'ne ve ZnO-NPs sentezlenmesi, karakterizasyonu ve sonuçların yorumu için Doç. Dr. Mehmet Fırat BARAN'a teşekkürlerini sunar.

### Kaynaklar

Adhikari, T., Kundu, S., Biswas, A.K., Tarafdar, J.C., Rao, A.S. 2015. Characterization of Zinc oxide nano particles and their effect on growth of maize (*Zea mays* L.) plant. *Journal of Plant Nutrition*, 38:10, 1505-1515.

Alloway, B.J. 2009. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and

humans. *Environmental geochemistry and health*, 31(5): 537-548.

Alpaslan, M., Güneş, A., İnal, A., 1998. Deneme Tekniği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:1502, Ders Kitabı: s, 437-455.

Baddar, Z., Unrine, J.M., 2021. Effects of Soil pH and Coatings on the Efficacy of Polymer coated ZnO Nanoparticulate fertilizers in Wheat (*Triticum aestivum*). *Environmental Science & Technology*, 55(20): 13532-13540.

Barlow, S., Chesson, A., Collins, J.D., Flynn, A., Hardy, A., Jany, K.D., Vannier, P., 2009. The potential risks arising from nanoscience and nanotechnologies on food and feed safety. *EFSA Journal*, 7(3): 1-39.

Bhantana, P., Rana, M.S., Sun, X.C., Moussa, M.G., Saleem, M.H., Syaifudin, M., Hu, C.X., 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi and its major role in plant growth, zinc nutrition, phosphorous regulation and phytoremediation. *Symbiosis*, 84: 19-37.

Bouyoucos, G.J., 1952. A recalibration of hydrometer for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal*, 43: 434-438.

Cakmak, I., 2000. Role of zinc in protecting plant cells from reactive oxygen species. *New Phytologist*, 146:185–205

Cakmak, I., 2008. Zinc Deficiency in Wheat in Turkey. In: Alloway, B.J. (eds) *Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production*. Springer, Dordrecht.

Chai, H., Yao, J., Sun, J.J., Zhang, C., Liu, W.J., Zhu, M.J., Ceccanti, B. 2015. The effect of metal oxide nanoparticles on functional bacteria and metabolic profiles in agricultural soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 94:490–495.

- Chen, Q., Zhang, X., Liu, Y., Wei, J., Shen, W., Shen, Z., Cui, J. 2017. Hemin-mediated alleviation of zinc, lead and chromium toxicity is associated with elevated photosynthesis, antioxidative capacity; suppressed metal uptake and oxidative stress in rice seedlings. *Plant Growth Regulation*, 81: 253-264
- Dağhan, H., 2017. Nano Gübreler. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 4(2): 197-203.
- Dağhan, H. 2018. Effects of TiO<sub>2</sub> nanoparticles on maize (*Zea mays* L.) growth, chlorophyll content and nutrient uptake. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16: 6873-6883.
- Dimkpa, C.O., White, J.C., Elmer, W.H., Gardea-Torresdey, J.L., 2017. Nanoparticle and ionic Zn promote nutrient loading of sorghum grain under low NPK fertilization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 65:8552–8559.
- Dimkpa, C.O., Singh, U., Bindraban, P.S., Elmer, W.H., Gardea-Torresdey, J.L., White, J.C. 2019. Zinc oxide nanoparticles alleviate drought-induced alterations in sorghum performance, nutrient acquisition, and grain fortification. *Science of the Total Environment*, 688: 926-934.
- Eren, A., Baran, M.F., 2019. Green synthesis, characterization and antimicrobial activity of silver nanoparticles (AgNPs) from maize (*Zea mays* L.). *Applied Ecology and Environmental Research* 17(2): 4097-4105.
- Eyüboğlu, F., Kurucu, N., Talaz, S. 1995. *türkiye topraklarının bitkiye yararlı mikro elementler bakımından genel durumu*. Toprak Güb. Araşt. Enst. 620/A-002 Projesi Toplu Sonuç Raporu
- Fakhari, S., Jamzad, M., Kabiri Fard, H., 2019. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles: a comparison. *Green chemistry letters and reviews*, 12(1): 19-24.
- Hamzah Saleem, M., Usman, K., Rizwan, M., Al Jabri, H., Alsafran, M., 2022. Functions and strategies for enhancing zinc availability in plants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 13: 1033092.
- Jackson, M.L., 1962. Soil Chemical Analysis. Constable and Co. Ltd., London.
- Ji, H., Guo, Z., Wang, G., Wang, X., Liu, H., 2022. Effect of ZnO and CuO nanoparticles on the growth, nutrient absorption, and potential health risk of the seasonal vegetable *Medicago polymorpha* L. *PeerJ*, 10: e14038.
- Jian, L., Bai, X., Zhang, H., Song, X., Li, Z., 2019. Promotion of growth and metal accumulation of alfalfa by coinoculation with *Sinorhizobium* and *Agrobacterium* under copper and zinc stress. *PeerJ*, 7: e6875.
- Jones, Jr., Benton, J., Wolf, B., H.A. Mills. 1991. Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling, Preparation, Analysis, and Interpretation Guide. Micro-Macro Publishing, Athens, GA.
- Kacar, B., 1995. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri, III. Toprak Analizleri. A.Ü. Ziraat Fak. Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları No:3. Ankara, 704 s.
- Lindsay, W. L. 1979. Chemical equilibria in soils. John Wiley and Sons Ltd..
- Lindsay, W.L., Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal* 42:421-428.
- Liu, R., Lal, R., 2016. Nanofertilizers. In: R. Lal (Ed.) *Encyclopedia of Soil Science*, 3rd Edition, CRC Press, p: 1511-1515
- Loeppert, R.H., Suarez, D.L., 1996. Carbonate and gypsum. *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*, 5: 437-474.

- Lü, S., Feng, C., Gao, C., Wang, X., Xu, X., Bai, X., Liu, M., 2016. Multifunctional environmental smart fertilizer based on L-aspartic acid for sustained nutrient release. *Journal of agricultural and food chemistry*, 64(24): 4965-4974.
- Meher, B.B., Sahu, S., Singhal, S., Joshi, M., Maan, P., Gautam, S., 2020. Influence of green synthesized zinc oxide nanoparticles on seed germination and seedling growth in wheat (*Triticum aestivum*). *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 9(5): 258-270.
- Mukherjee, A., Sinha, I., Das, R., 2015. Application of nanotechnology in agriculture: Future prospects. Outstanding Young Chemical Engineers (OYCE) Conference, March 13-14, DJ Sanghvi College of Engineering, Mumbai, India.
- Munir, T., Rizwan, M., Kashif, M., Shahzad, A., Ali, S., Amin, N., Zahid, R., Alam, M.F.E., Imran, M., 2018. Effect of zinc oxide nanoparticles on the growth and Zn uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) by seed priming method. *Digest Journal of Nanomaterials & Biostructures (DJNB)*, 13(1): 315-323.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., Dean, L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate, *Circular*, 939.
- Raliya, R., Nair, R., Chavalmane, S., Wang, W. N., Biswas, P., 2015. Mechanistic evaluation of translocation and physiological impact of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles on the tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plant. *Metallomics*, 7(12): 1584-1594.
- Raliya, R., Tarafdar, J.C., Biswas, P., 2016. Enhancing the mobilization of native phosphorus in the mung bean rhizosphere using ZnO nanoparticles synthesized by soil fungi. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(16): 3111-3118.
- Richards, L.A. (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. United States Department of Agriculture Handbook 60:94.
- Seleiman, M.F., Almutairi, K.F., Alotaibi, M., Shami, A., Alhammad, B.A., Battaglia, M.L., 2021. Nano-fertilization as an emerging fertilization technique: why can modern agriculture benefit from its use?. *Plants*, 10(1): 2-11.
- Sheteiwiy, M.S., Shaghaleh, H., Hamoud, Y. A., Holford, P., Shao, H., Qi, W., Hashmi, M.Z., Wu, T., 2021. Zinc oxide nanoparticles: potential effects on soil properties, crop production, food processing, and food quality. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-25.
- Sillanpää, M., 1982. Micronutrients and the nutrient status of soils. A global study. *Food and Agriculture Organization*, 48.
- Singh, M.D., 2017. Nano-fertilizers is a new way to increase nutrients use efficiency in crop production. *International Journal of Agriculture Sciences*, 9(7): 0975-3710.
- Solanki, P., Bhargava, A., Chhipa, H., Jain, N., Panwar, J., 2015. Nano-fertilizers and their smart delivery system. In *Nanotechnologies in food and agriculture* (pp. 81-101). Springer, Cham.
- Ugwu, E. I., Agunwamba, J.C., 2020. A review on the applicability of activated carbon derived from plant biomass in adsorption of chromium, copper, and zinc from industrial wastewater. *Environmental monitoring and assessment*, 192(4): 240-250.
- Ülgen, N., Yurtsever, N., 1995. Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi (4. Baskı). T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No: 209, Teknik Yayınlar No: T.66, s.230, Ankara.
- Watson, J.L., Fang, T., Dimkpa, C.O., Britt, D.W., McLean, J.E., Jacobson, A., Anderson, A.J., 2015. The phytotoxicity of ZnO nanoparticles on wheat varies with soil properties. *Biometals*, 28: 101-112.



Yang, G., Yuan, H., Ji, H., Liu, H., Zhang, Y., Wang, G., Guo, Z., 2021. Effect of ZnO nanoparticles on the productivity, Zn biofortification, and nutritional quality of rice in a life cycle study. *Plant Physiology and Biochemistry*, 163: 87-94.

Zaheer, I.E., Ali, S., Rizwan, M., Bareen, F. E., Abbas, Z., Bukhari, S.A.H., Ahmad, P., 2019. Zinc-lysine prevents chromium-induced morphological, photosynthetic, and oxidative alterations in spinach irrigated with tannery wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, 26: 28951-28961.

Zaheer, I.E., Ali, S., Saleem, M.H., Yousaf, H.S., Malik, A., Abbas, Z., Wang, X. 2022. Combined application of zinc and iron-lysine and its effects on morpho-physiological traits, antioxidant capacity and chromium uptake in rapeseed (*Brassica napus* L.). *PLoS One*, 17(1): e0262140.

Zhang, J., Wang, S., Song, S., Xu, F., Pan, Y., Wang, H., 2019. Transcriptomic and proteomic analyses reveal new insight into chlorophyll synthesis and chloroplast structure of maize leaves under zinc deficiency stress. *Journal of Proteomics*, 199: 123-134.

---

**Atıf Şekli:** Balcı, G.N., Dağhan, H., 2023. Çinko Oksit Nanopartikül Uygulamasının Makarnalık Buğdayın Büyüme ve Çinko Alımı Üzerine Etkileri. *MAS Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 8(Özel Sayı): 907–923.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10003026>.

**To Cite:** Balcı, G.N., Dağhan, H., 2023. Effects of Zinc Oxide Nanoparticle Application on Growth and Zinc Uptake of Durum Wheat. *MAS Journal of Applied Sciences*, 8(Special Issue): 907–923.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10003026>.

---