



# Bakır ve Çinko Uygulamasının Karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench.)'ın Bazı Ekofizyolojik Özellikleri Üzerine Etkisi

Sema Leblebici<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3762-6408)

<sup>2</sup> Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Biyoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Bilecik, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 15 Nisan 2020 ve Kabul Tarihi 26 Ağustos 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.720608)

**ATIF/REFERENCE:** Leblebici, S. (2020). Bakır ve Çinko Uygulamasının Karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench.)'ın Bazı Ekofizyolojik Özellikleri Üzerine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 796-802.

## Öz

Mikro besin elementlerinin toprakta optimum seviyeden daha yüksek ya da daha düşük miktarlarda bulunması abiyotik stres oluşumunda oldukça etkilidir. Mikro besin elementleri arasında yer alan bakır ve çinko metali bitkilerde birçok metabolik ve biyokimyasal olayda rol oynadığından bitki yaşamında oldukça önemli bir role sahiptir.

Bu çalışmada; materyal olarak son yıllarda gıda endüstrisinde yüksek potansiyele sahip bir ürün haline gelen *Fagopyrum esculentum* Moench. türü seçilmiştir. Bitki metabolizmasında, verim ve ürün kalitesinde önemli rol oynayan bakır ve çinko elementlerine ait 4 farklı konsantrasyonun Karabuğday'a ait temel büyüme ve gelişme parametreleri olan çimlenme oranı, bitki toplam uzunluğu, kök uzunluğu, gövde çapı, yaprak sayısı, kök ve gövde biyokütlesi, bakır ve çinko tolerans indeksi ile tohum canlılık indeksi belirlenmiştir. Bakır kirliliğinin çinkonun yüksek konsantrasyonlarına nazaran bitki gelişiminin ilk evresi olan tohum çimlenmesi ve fide gelişimini olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir. Ayrıca düşük konsantrasyonlardaki çinkonun tohum çimlenmesini olumlu etkilediğini ancak bakırın tohum çimlenmesini inhibe ettiği belirlenmiştir. Tohum canlılık indeksinin çinko konsantrasyonlarından etkilenmediği ancak yüksek bakır konsantrasyonlarında tohum canlılık indeksinin azaldığı tespit edilmiştir. Kök ve gövde yaş-kuru ağırlığının her iki metalde de artan konsantrasyonlarda azaldığı, bakır uygulamasında kök biyokütlesi sonuçlarının da buna eşlik ettiği ortaya konmuştur. Bu çalışma bakır ve çinko metallerinin bitkinin yaşamında önemli bir yeri olan erken gelişim evresindeki etkilerini ortaya koyarak önemli bir ekolojik sorun olan tarımsal topraklardaki kirliliğin kontrolü ile ilgili yapılacak olan çalışmalara katkı sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Karabuğday, Bakır, Çinko, Çimlenme, Fide gelişimi.

## Effect of Copper and Zinc Application on Some Ecophysiological Properties of Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.)

### Abstract

The presence of micro nutrients in the soil in higher or lower amounts than the optimum level is very effective in the formation of abiotic stress. As copper and zinc metal, which are among the micronutrients, play a role in many metabolic and biochemical processes in plants, they have a very important role in plant life.

In this study; *Fagopyrum esculentum* Moench., which has become a product with high potential in the food industry in recent years, was chosen as a material. Buckwheat of 4 different concentrations of copper and zinc elements, which play an important role in plant metabolism, yield and product quality. the type of germination the basic growth and development parameters for the ratio of the total length of the plants, root length, stem diameter, number of leaves, root and shoot biomass was determined seed viability index on copper and zinc tolerance index. It has been determined that copper pollution negatively affects seed germination and seedling development, which is the first phase of plant development compared to high concentrations of zinc. In addition it has been determined that low concentrations of zinc affect seed germination but copper inhibits seed germination. It was determined that seed viability index is not affected by zinc concentrations, but seed viability index decreases in high copper concentrations. It has been demonstrated

\* Sorumlu Yazar: Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Bilecik, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3762-6408, [leblebicisema@gmail.com](mailto:leblebicisema@gmail.com)

that root and stem wet-dry weight decreases with increasing concentrations in both metals and root biomass results accompany this in copper application. This study will contribute to the studies on the control of pollution in agricultural soils, which is an important ecological problem, by revealing the effects of copper and zinc metals in the early development phase, which has an important place in the life of the plant.

**Keywords:** Buckwheat, Copper, Zinc, Germination, Seedling development.

## 1. Giriş

*Fagopyrum esculentum* Moench. türü Polygonaceae familyasına ait Orta Asya kökenli tek yıllık bir bitkidir (Vojtišková ve ark., 2012; Heffler ve ark., 2014; Hussain, 2016; ). Tahıllarla hem benzerlik hem de farklılıklar gösteren ve yalancı tahıl grubuna dahil olan Karabuğday bitkisini tahıllardan ayıran temel farklılık; tahıllar gibi monokotil değil dikotil bir bitki oluşudur (Gondola ve Papp, 2010; Vojtišková ve ark., 2012; Bhaduri ve ark., 2016). Karabuğday bitkisi neredeyse tahıllar ile aynı miktarda içerdiği nişasta ve lif içeriği; dengeli aminoasit kompozisyonu sayesinde yüksek protein oranı; yüksek oranda linoleik asit gibi doymamış yağ asitlerini içermesi ve tokofereol, fenolik bileşikler, flavonoid ve alkaloid türevlerini bulundurması nedeniyle son yıllarda gıda endüstrisinde yüksek potansiyele sahip bir ürün haline gelmiştir. İçermiş olduğu bu ikincil metabolitler bitkiye antinflamatuar, hipolipidemik, antienjenotoksik, antidiyabetik, antikanser, antimikrobiyal gibi özellikler kazandırarak tıbbi amaçlarla kullanılmasını da sağlamaktadır (Brajdes ve Vizireanu, 2012; Ahmed ve ark., 2014; Gonçalves ve ark., 2016; Unal ve ark., 2017; Al-Snafi, 2017; Wang ve ark., 2017; Mishra ve Jain, 2019). Ayrıca bal üretiminde, çiftlik ve kümes hayvanlarının beslenmesinde kullanılmaktadır. Karabuğday'ın mineral madde bakımından zengin olması, fakir topraklarda bile yetiştirilebilmesi, hızlı büyüme gelişmesi, olumsuz koşullara dayanıklı olması ve soğuk iklim koşullarına uyum sağlayabilme özelliği bitkinin geniş alanlarda yayılış göstermesini sağlayan önemli faktörler arasında yer almaktadır (Campbell, 1997; Yashimoto ve ark., 2004; Tomar ve ark., 2008).

Bitkilerin maruz kaldığı olumsuz koşulların başında yetiştikleri topraklarda optimum seviyeden daha yüksek ya da daha düşük miktarlarda bulunan makro ve mikro besin elementleri gelmektedir (White ve Brown, 2010; Pandey, 2015; Naeem ve ark., 2017). Özellikle mikro besin elementlerinin toprakta bulunan miktarları abiyotik stres oluşumunda oldukça etkilidir. Bu elementlerinin alt ve üst sınırları bitkiden bitkiye değişiklik göstermektedir. Ayrıca çoğu mikro besin elementinin bitki metabolizmasındaki etkileri henüz tam olarak aydınlatılmamıştır (White ve Brown, 2010; Pandey, 2015; Naeem ve ark., 2017).

Mikro besin elementleri arasında yer alan Bakır (Cu), doğada bulunan temel elementlerden biridir. Toprakların oluştuğu anakayalarda bakır oranı oldukça azdır. Topraklardaki bakır fazlalığı insan aktivitesi sonucu oluşan kanalizasyon atıklarının gübre olarak değerlendirilmesi, emisyon ve atmosferik depositler, kömür ve maden yataklarının varlığı ve pestisid kullanımından kaynaklanmaktadır (Reichman, 2002). Toprakta 100 mg/kg, bitki kuru maddesinde ise 15-30 mg/kg'dan fazla bulunan bakır toksik etki oluşturmaktadır. Bakır toksisitesi genellikle bitki kök sistemlerinde açığa çıkmaktadır ve bitkide fotosentez, solunum, protein sentezi, iyon alımı ve hücre membran stabilitesi gibi fizyolojik olayların bozulmasına neden olmaktadır. Ayrıca bakır fazlalığında hücre duvarı elastikiyeti bozulmakta ve turgor azalmaktadır (Lin ve Wu, 1994; Adrees ve ark., 2015; Tripathi ve ark., 2015).

Diğer bir mikro element olan Çinko (Zn), toprakta; çinko silikat minerallerinde, oksitler halinde; kil minerallerinde tutulmuş olarak ya da organik maddede, magmatitlerde ve maden yataklarında çinko sülfür şeklinde ve bazı ağır metallerle birlikte sülfürler halinde bulunmaktadır. Bitkilerdeki optimum Zn konsantrasyonu 5-100 ppm arasında değişmekte iken çinko toksisitesi genellikle 400 ppm'den daha fazla olduğunda görülmektedir. Çinko alımını, bitkinin türüne olduğu kadar bulunduğu ortama da bağlıdır. Çinko toksisitesinde hücre organelleri parçalanır ve hücre büyümesi ve uzaması engellenir. Ayrıca hücrelerin ligninleşmesini artırarak hem kök hem de gövde büyümesini durdurur, genç yaprakların kıvrılmasına ve klorozise neden olur. Yüksek konsantrasyonlardaki çinko bitkide klorofilin merkezinde bulunan magnezyumun yerine geçerek klorofil sentezini azaltır (Broadley ve ark., 2007; Tsonev ve Lidon, 2012; Sadeghzadeh, 2013; Cakmak ve Kutman 2018). Fazla çinkonun kök meristem hücrelerinde birikerek profazın sonundaki olayları ve mitozu engellediği bilinmektedir (El-Ghamery ve ark., 2003).

Bu çalışmada; bitki metabolizmasında, verim ve ürün kalitesinde önemli rol oynayan bakır ve çinko elementlerine ait 4 farklı konsantrasyonun *F. esculentum* türüne ait temel büyüme ve gelişme parametreleri olan çimlenme oranı, bitki toplam uzunluğu, kök uzunluğu, gövde çapı, yaprak sayısı, kök ve gövde biyokütlesi, bakır ve çinko tolerans indeksi ile tohum canlılık indeksi belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar One-way ANOVA testi uygulanarak istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır (SPSS-21).

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Petri Deneyleleri

Deneylelerde kullanılacak olan tohumlar rastgele seçilmiştir. Seçilen tohumlar % 10'luk sodyum hipoklorit (NaOCl) içinde 5 dakika bekletilerek steril edilmiştir. (Jabeen ve Ahmad, 2012). Tohumların çimlenme deneylelerini gerçekleştirmek üzere saf sudan ibaret kontrol grubu ile, 50, 75, 100 ve 150 ppm olmak üzere ayrı ayrı Cu ve Zn çözeltisi hazırlanmıştır. Tohumların ekiminde 12 cm'lik petriyeler kullanılmış, petriyelerin içine 2'şer kat kurutma kâğıdı yerleştirilmiştir. Ekimler 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Ekimi yapılan tohumlar 16 saat gündüz/8 saat gece fotoperiyotta 25°C'de, %60 nemde iklimlendirme odasında 21 gün süreyle bekletilmiştir. Radikulanın kurutma kâğıdına değdi an çimlenmenin başlangıcı olarak kabul edilmiş ve çimlenme başladıktan sonra her gün çimlenen tohum sayıları kaydedilmiştir. 21 günün sonunda her petride çimlenmiş olan bireylelerin kök ve sürgün uzunlukları cetvel

yardımı ile santimetre cinsinden ölçülmüştür. Uzunlukları ölçülen bireylerin kök ve gövdeleri birbirinden ayrılmıştır. Her bir bireye ait kök ve gövde ağırlıkları tek tek ölçülemeyecek kadar hafif olduğundan her petride bulunan bireylerin kök ve sürgünlerinin yaş ve kuru ağırlıkları toplu olarak hassas terazi kullanılarak gram cinsinden tartılmıştır. Yaş ağırlıkları alınan kök ve sürgünler 105°C'ye ayarlı etüvde bir gece süre ile tutularak kurutulmuş daha sonra kuru ağırlıkları yine hassas terazide tartılarak kaydedilmiştir. Bu işlemler hem bakır hem de çinko uygulanan tohumlar için ayrı ayrı yapılmıştır.

## 2.2. Saksı Deneyleri

Rastgele seçilen karabuğday tohumları 1 kg'lık saksılara ekilmiştir ve her saksıya 5'er tane tohum yerleştirilmiştir. Saksılarda torf toprağı kullanılmıştır ve deney üç tekrarlı olarak yapılmıştır. Kullanılan torf toprağı 4,73 ppm Cu; 24,13 ppm Zn içermektedir ve toprak kullanılan Cu ve Zn çözeltisi dışında herhangi bir kirliliğe maruz kalmamıştır. Ekim işlemi tamamlandıktan sonra saksılar iklim odasında 16 saat gündüz/8 saat gece fotoperiyotta, 25±2°C'de ve % 60 nemde bekletilmiştir. Tohumların kotiledonları çıkana kadar her saksı 200 ml saf su ile sulanmıştır. Kotiledonlar çıktıktan sonra deney sonuna kadar petri deneylerinde de kullanılan saf sudan ibaret kontrol grubu, 50, 75, 100 ve 150 ppm'lik çözeltiler ile sulanmıştır. Deney 6 hafta boyunca devam etmiştir. Deney sonunda fidelerin toplam bitki boyu (cm), kök uzunluğu (cm) cetvel ile, gövde çapı (mm) dijital kumpas ile, yaprak sayısı (adet), kök ve gövdeye ait yaş-kuru ağırlıkları (g) hassas terazi ile belirlenmiştir. Kuru ağırlık için kök ve gövde örnekleri 105 °C'ye ayarlı etüvde bir gece boyunca kurutulmuştur. Bu işlemler petri deneylerinde olduğu gibi hem bakır hem de çinko uygulanan fideler için ayrı ayrı yapılmıştır.

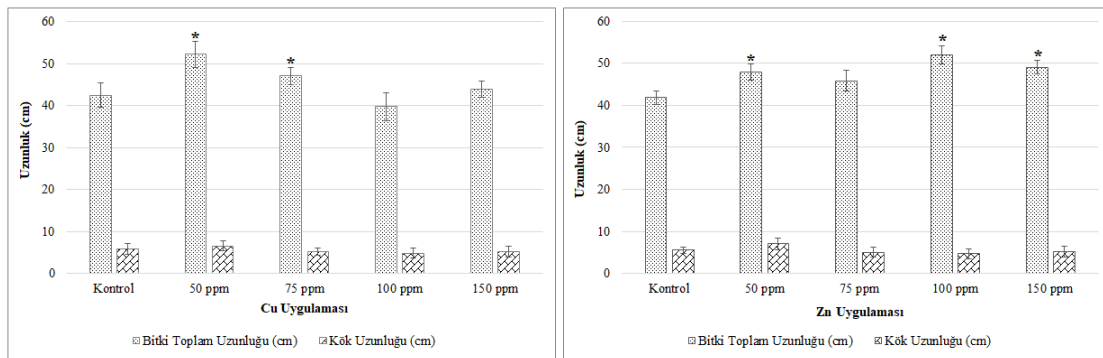
## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Yapılan çalışmada, artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak kontrole göre tohum çimlenme oranının azaldığı tespit edilmiştir (Tablo 3.1). Çinko uygulamasında ise 50 ppm konsantrasyonda en yüksek çimlenme oranı (%100±0) belirlenmiş; artan konsantrasyonlara paralel olarak çimlenme oranında azalma olduğu gözlenmiştir (Tablo 3.1) ( $p<0,05$ ).

Tablo 3.1. Bakır ve Çinko uygulanan tohumların % çimlenme oranları

Uygulama	Bakır (%)	Çinko (%)
Kontrol	98±3	97±4
50 ppm	95±3	100±0
75 ppm	93±2	95±5
100 ppm	92±2	93±3
150 ppm	90±3	92±3

Fidelere ait toplam bitki uzunluğu 50 ve 75 ppm bakır uygulamasında kontrole göre (42,52 cm) önemli derecede artış göstermiş (sırası ile 47,10 ve 39,74 cm); yüksek bakır konsantrasyonlarında ise azaldığı belirlenmiştir. Çinko uygulamasında ise toplam bitki uzunluğu, kontrole göre (41,83 cm) konsantrasyon artışına paralel olarak artış göstermiş; en önemli artışlar ise 50, 100 ve 150 ppm'de (sırası ile 47,94; 51,98 ve 49,08 cm) tespit edilmiştir. Bakır ve çinko uygulamasının her ikisinde de kök uzunluğu artan konsantrasyona bağlı olarak azalmıştır ancak istatistiksel olarak önemli bir azalma belirlenmemiştir (Şekil 3.1).

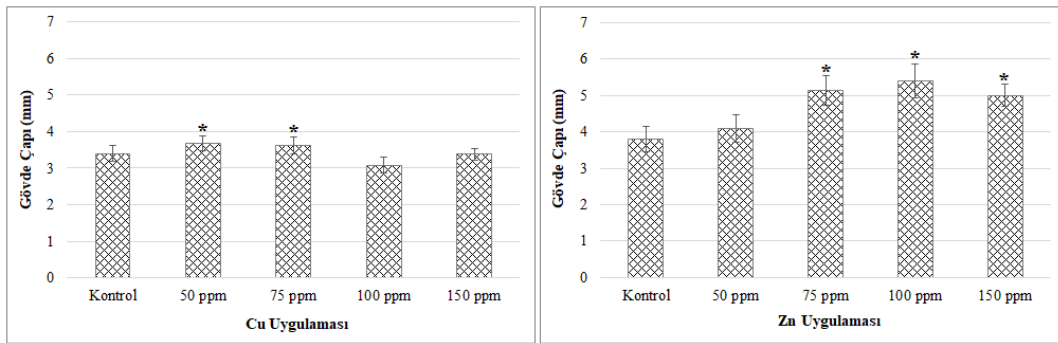


Şekil 3.1. Cu ve Zn uygulanan fidelere ait toplam bitki ve kök uzunlukları (cm)

Karabuğday bitkisinin gövde çapı kontrole göre (3,40 mm) bakırın 50 ve 75 ppm konsantrasyonlarında artmış (3,69 ve 3,62 mm), 100 ve 150 ppm'de (3,08 ve 3,38 mm) ise azalmıştır. Çinko uygulamasında ise artan konsantrasyonlara göre gövde çapında artış tespit edilmiş; kontrole göre (3,80 mm) 75, 100 ve 150 ppm konsantrasyonlarındaki artışın (sırası ile 5,14; 5,40 ve 5,00 mm) istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Bakır ve çinko uygulaması karşılaştırıldığında ise çinko uygulamasının bitki büyüme parametrelerden biri olan gövde çapını bakır uygulamasına göre daha fazla artırdığı tespit edilmiştir (Şekil 3.2). Taoprakta hem Cu hem de Zn'nun belirli bir seviyede bulunması bitki gelişimi olumlu yönde etkilemektedir. Cu için 50-70 ppm, Zn için ise 50-100 ppm arasındaki konsantrasyonların bitkiler için geçici bir gübreleme etkisi yaratmış olması muhtemeldir. Gübreleme etkisi, nisbi gelişme oranı artışında oldukça sık rastlanan bir durumdur.

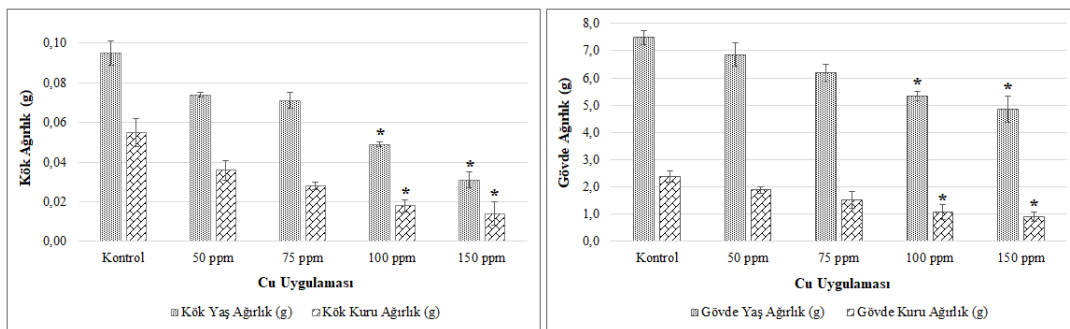
Çalışmamızda elde edilen sonuçlar çimlenme oranı, kök ve sürgün uzunluğu ile fide büyümesi parametreleri bakımından literatürdeki benzer çalışmalarla uyum göstermektedir. Kunjam ve arkadaşları (2015) yaptıkları çalışmada Zn, Ni, Cu, Cr metallerini

bezelye tohumlarına kontrol, 20, 40, 60 ve 80 ppm olmak üzere dört farklı konsantrasyonda uygulamışlardır. Tohum çimlenmesi ve fide büyümesinin Cu'nun 80 ppm ve daha yüksek konsantrasyonlarda olumsuz etkilendiği, Zn'nun ise herhangi bir etkisinin olmadığını tespit etmişlerdir. Bakır ve çinkonun 40 ppm konsantrasyonunun kök uzamasını kontrole göre %40 oranında artırdığını; sürgün gelişimini ise çinkonun %37,5 bakırın %27,5 oranında artırdığını belirtmişlerdir. Çalışmamızda da 50 ppm bakır uygulamasında en yüksek toplam bitki uzunluğu belirlenmiştir. Yine 50 ppm çinko uygulamasında ise % 100 çimlenme oranı kaydedilmiştir. Her iki metalin düşük konsantrasyonlarının bitkinin gerek çimlenme oranı gerekse fide uzunluğunu olumlu yönde etkilemesi literatürdeki diğer çalışmaları destekler niteliktedir. Yapılan bir başka çalışmada (Zhang ve ark., 2015) ZnO nanopartiküllerinin biber, mısır ve salatalık bitkisine ait tohum çimlenmesi ve kök uzaması üzerine etkileri araştırılmıştır. ZnO nanopartiküllerinin mısırın kök uzunluğunu %17, salatalığın kök uzunluğunu ise %51 oranında azalttığı ancak çimlenme üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir. ZnO nanopartikülünden serbest hale geçen Zn sadece salatalıkta kök uzamasını inhibe etmiştir. Çimlenme oranında kontrole göre herhangi bir değişiklik gözlenmemesi, tohum kabuğunun ZnO nanopartiküllerindeki Zn'nin alımını engellediğini düşündürmektedir. *Capsicum annuum* L. ile yapılan çalışmada ise yüksek konsantrasyonlarda (0,5 ve 0,75g) ZnO nanopartikül uygulamasının tohum çimlenmesini artırdığı aynı zamanda yine yüksek konsantrasyonlarda kök, sürgün ve fide uzunluğunun maksimum seviyeye ulaştığı belirtilmiştir (Afrayem ve Chaurasia, 2017). CuO nanopartiküllerinin tohum çimlenmesini, sürgün ve kök uzunluğunu, fotosentez ve solunum hızını ve enzimatik değişiklikleri azaltarak bitkiler üzerinde toksik etki oluşturduğu tespit edilmiştir (Da Costa ve Sharma, 2016; Rajput ve ark., 2017). Yasmeen'in yapmış olduğu çalışmada (2015), gümüş ve bakır nanoparçacıklarına maruz bırakılan buğday tohumlarının çimlenme oranında bir azalma tespit edilmiştir. Bakır nanoparçacıklarının buğday fidelerinin kök ve sürgün uzunluğunda ciddi bir azalmaya sebep olduğu ve büyümeyi inhibe edici bir etki gösterdiği belirtilmiştir.



Şekil 3.2. Cu ve Zn uygulanan fidelere ait gövde çapları (mm)

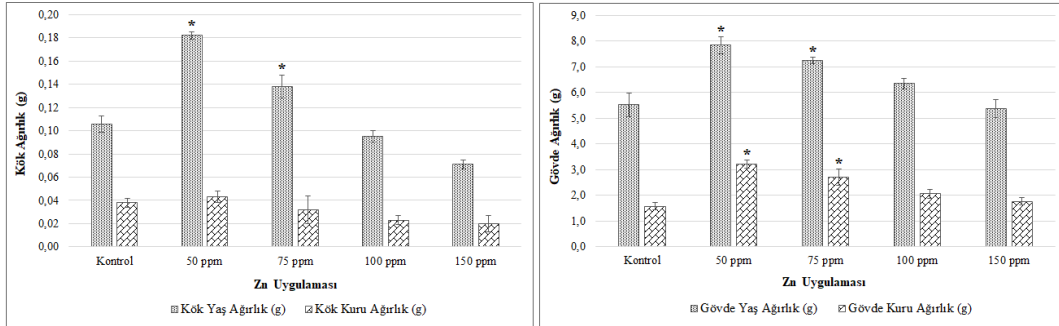
Çalışmamızda bakır uygulamasında konsantrasyon artışına bağlı olarak hem kök hem de gövde yaş ve kuru ağırlığının kontrole göre (kök 0,095 ve 0,055 g; gövde 7,49 ve 2,37 g) azaldığı belirlenmiş, 100 ppm (kök 0,049 ve 0,018 g; gövde 5,43 ve 1,08 g) ve 150 ppm'de (kök 0,031 ve 0,014 g; gövde 4,86 ve 0,91 g) meydana gelen azalmanın önemli olduğu ortaya konmuştur (Şekil 3.3). Ayrıca 50 ve 75 ppm çinko uygulanan buğday fidelerinin kök yaş (0,182; 0,138 g) ve kuru ağırlığı (0,043; 0,032 g) ile gövde yaş (7,84; 7,25 g) ve kuru ağırlığının (3,20; 2,70 g) kontrol grubuna göre (sırası ile 0,106 ve 0,038 g; 5,52 ve 1,57 g) önemli bir artış gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.3. Cu uygulanan fidelerin kök ve gövdelerine ait yaş-kuru ağırlıkları (g)

Yapılan bir çalışmada bakırın (Cu) *Lens culinaris* L.'nin tohum çimlenmesi ve fide büyümesi üzerindeki toksik etkilerini araştırmıştır. 25 ppm konsantrasyonunda uygulanan bakırın kontrole kıyasla çimlenme oranını önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir. Fide büyüme değişkenleri olan kök ve sürgün uzunluğu, fide büyüklüğü ve kök/sürgün oranı, kontrole kıyasla 25 ppm'de bakır uygulaması ile önemli ölçüde azalmıştır. Tüm bakır konsantrasyonları kontrole karşılaştırıldığında fidelerin kuru ağırlığının artan bakır konsantrasyonuna bağlı olarak azaldığı belirtilmiştir. Bakır konsantrasyonlarının artışına paralel olarak *L. culinaris*'in bakır tolerans indeksi ve fide canlılığı indeksinin de azaldığı rapor edilmiştir. *L. culinaris*'in tolerans indekslerinde ve fide canlılık indeksinde kontrole göre en düşük azalma yüzdesi 25 ppm bakır uygulamasında en yüksek azalma yüzdesi 100 ppm bakır uygulamasında kaydedilmiştir (Iqbal ve ark., 2018). Rahmani ve arkadaşlarının (2016) yapmış olduğu çalışmada ZnO ve CuO nanopartiküllerinin (0, 10, 100 ve 1000 mg/L) *Brassica napus* L. tohumlarına ait bazı büyüme ve fizyolojik parametreleri üzerine etkileri araştırılmıştır. 10 mg/L konsantrasyonundaki ZnO ve CuO'nun bitki büyüme tepkilerini indüklediğini; daha yüksek konsantrasyonlarının (100 ve 1000 mg/L.) ise kök ve sürgün

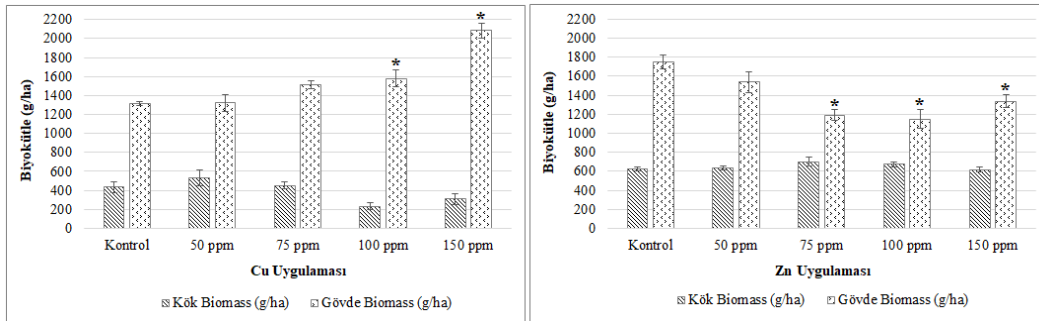
uzaması ile kök kuru ağırlığında önemli derecede düşüşe sebep olduğu rapor edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmaları dexter niteliktedir (Singh ve ark., 2007; Wang ve ark., 2010; Aliyas ve ark., 2018). Yüksek bakır ve çinko konsantrasyonlarında kök ve gövde yaş-kuru ağırlıklarının azaldığı ve yüksek metal konsantrasyonlarının bitki büyümesini inhibe ettiği tespit edilmiştir.



Şekil 3.4. Zn uygulanan fidelerin kök ve gövdelerine ait yaş-kuru ağırlıkları (g)

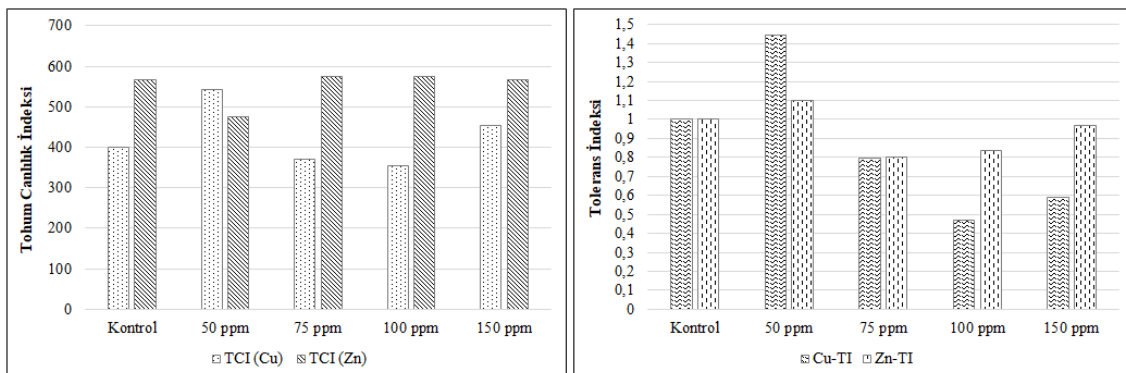
Bakır ve çinko uygulanan buğday fidelerinin kök ve gövdelerine ait biyokütle miktarları Şekil 3.5'te verilmiştir. Bakır uygulamasında konsantrasyon artışına bağlı olarak kök biyokütlesi azalırken; 100 (1578,9 g/ha) ve 150 ppm (2084,3 g/ha)'de gövde biyokütlesinin arttığı belirlenmiştir. Çinko uygulamasında ise gövde biyokütlesinde konsantrasyon artışına bağlı biyokütle miktarında kontrole göre (1749,1 g/ha) bir azalma olduğu; 75 (1190,3 g/ha), 100 (1149,6 g/ha) ve 150 ppm (1335,6 g/ha)'deki azalmanın ise önemli olduğu ortaya konmuştur. Çinko uygulamasının kök biyokütlesi üzerine önemli bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

Wang ve arkadaşları (2010) yapmış oldukları çalışmada buğday tohumlarına bakır, kurşun ve çinko uygulamışlar ve bu üç metalin tohum çimlenmesini, plumula ve radikula uzamasını inhibe ettiğini tespit etmişlerdir. Metal uygulamasından 4 gün sonra genç buğday fidelerinde klorofil ve protein miktarının düştüğünü buna bağlı olarak biyokütle miktarında da azalma olduğunu rapor etmişlerdir. Araştırma sonuçları bu çalışma ile paralellik göstermektedir. Artan metal konsantrasyonlarına bağlı olarak çimlenme oranı, kök ve sürgün uzunluğu azalma göstermiştir. Ancak çalışmamızda bakır uygulamasındaki gövde biyokütlesinin 150 ppm konsantrasyonda en yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir. Çinko uygulamasındaki biyokütle miktarı ise Wang ve arkadaşlarının elde ettiği sonuçları desteklemektedir.



Şekil 3.5. Cu ve Zn uygulanan fidelere ait kök ve gövde biyokütle miktarları (g/ha)

Farklı konsantrasyonlarda bakır ve çinko uygulanan buğday tohumlarının tohum canlılık indeksi karşılaştırıldığında çinko uygulanan tohumların canlılık indeksi bakıra göre daha yüksektir. Bakır uygulamasında en yüksek tohum canlılık indeksi 50 ppm'de (543,1), çinko uygulamasında en yüksek tohum canlılık indeksi 75 ppm'de (574,5) belirlenmiştir. Buğday fidelerinin 50 ppm'de bakır ve çinko toleransı yüksektir. En düşük bakır toleransı 100 ppm'de en düşük çinko toleransı ise 75 ppm'de tespit edilmiştir.



Şekil 3.6. Cu ve Zn uygulanan fidelere ait tohum canlılık indeksleri ve tolerans indeksleri

Shams ve arkadaşları (2018), marul tohumlarında nitrik oksit uygulamasının bakır stresi altındaki etkisini araştırmışlardır. Marul tohumlarına 0, 50, 100, 150 ve 200µM olmak üzere 5 farklı bakır sülfat uygulanmış; yüksek bakır konsantrasyonlarının (100, 150 ve 200µM) çimlenme oranı, ortalama çimlenme süresi, tohum canlılık indeksi ve fide taze ağırlığını olumsuz yönde etkilediği belirtilmiştir. Ayrıca düşük bakır konsantrasyonunun (50µM) tohum canlılık indeksi üzerine olumlu bir etkisinin olduğu rapor edilmiştir. Belirtilen tüm büyüme parametreleri sonuçları çalışmamızdaki bakır uygulamasından elde ettiğimiz sonuçları desteklemektedir. Çinkonun da aralarında bulunduğu 4 farklı metal ile buğday üzerinde yapılan çalışmada tohum çimlenmesi, kök, sürgün, fide büyümesi, fide canlılığı indeksi, buğdayın tolerans indeksleri üzerine fitotoksik etkilerini araştırmışlardır. Elde ettikleri tüm sonuçlarda kontrole kıyasla, tohum çimlenmesinin azaldığını; kök ve sürgün uzunluğunun azalarak bitkilerin normal büyümesini olumsuz etkilediğini tespit etmişlerdir (Shaikh ve ark., 2013). Çalışmamızda ise çinkonun 50 ppm konsantrasyonda çimlenmeyi olumlu etkilediği; 50, 100 ve 150 ppm'de toplam bitki uzunluğunun kontrole göre artış gösterdiği; ancak kök uzunluğunun Shaik ve arkadaşlarının (2013) çalışmasında olduğu gibi artan konsantrasyonlara bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Gupta ve arkadaşları (2016), kurşun ve çinko ile yaptıkları çalışmalarında metallerin yüksek konsantrasyonlarının soya fasulyesi bitkisinin tohum çimlenmesi üzerine artan bir inhibitör etkisinin olduğunu belirtmişlerdir. Düşük çinko seviyelerinin (250 ve 500 mg/kg) % çimlenme oranı, kök ve sürgün uzunluğunu artırdığını, yüksek seviyelerinin ise (750 ve 1250 mg/kg) soya fidelerinin yüzdesi, kök uzunluğu, sürgün uzunluğu, tolerans indeksi, taze ve kuru ağırlığı üzerine olumsuz etkisinin olduğunu bildirmişlerdir. Bu araştırmanın sonuçları çalışmamızla benzerlik göstermektedir.

#### 4. Sonuç

Günümüzde pestisit kullanımı ve endüstrileşmeye bağlı atık suların tarım arazilerine karışması nedeniyle oluşan kirlilik ürünlerin kalitesi ve verimi için büyük bir endişe yaratmaktadır. Doğaya verilen bu kirleticiler biyolojik olarak parçalanmadıkları için canlılara çok küçük miktarlarda bile toksik etki oluşturmaktadır. Özellikle bakır kirliliği sürdürülebilir tarımsal gıda üretimi için büyük bir tehdittir. Mikro besin elementleri arasında yer alan çinko, bitki metabolizmasının işleyişinde önemli rolü olan enzim sisteminin önemli bir parçasıdır. Ayrıca hücrelerin sağlıklı gelişimi, karbonhidrat metabolizması, fotosentetik elektron transferi ve kök-gövde gelişiminde rol oynamaktadır (Okcu ve ark.,2009).

Çalışmamızda düşük konsantrasyonlardaki çinkonun tohum çimlenmesini olumlu etkilediğini ancak bakırın tohum çimlenmesini inhibe ettiği belirtilmiştir. Tohum canlılık indeksinin çinko konsantrasyonlarından etkilenmediği ancak yüksek bakır konsantrasyonlarında tohum canlılık indeksinin azaldığı tespit edilmiştir. Kök ve gövde yaş-kuru ağırlığının her iki metalde de artan konsantrasyonlarda azaldığı, bakır uygulamasında kök biyokütlesi sonuçlarının da buna eşlik ettiği ortaya konmuştur. Yüksek bakır konsantrasyonlarında gövde biyokütlesinin artması ve kök biyokütlesinin artan çinko konsantrasyonlarından neredeyse etkilenmiyor olması çalışmamızın en dikkat çeken sonuçlarıdır.

Bu çalışma ile bakır kirliliğinin çinkonun yüksek konsantrasyonlarına nazaran bitki gelişiminin ilk evresi olan tohum çimlenmesi ve fide gelişimini olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir. Buğday bitkisi ile yapılan çalışmada bitkinin çinkoya bakırdan daha fazla tolerans göstermesinin sebebinin çinkonun bir mikro besin elementi olmasında kaynaklandığını düşündürmektedir. Ayrıca her ne kadar çinkonun bitkiye alımında ortamın pH'ı ve bitki türü etkili olsa da bakır toksisitesinin daha etkili olduğu söylenebilir. Bu çalışma, bakır ve çinko metallerinin bitkinin yaşamında önemli bir yeri olan erken gelişim evresindeki etkilerini ortaya koymaktadır ve önemli bir ekolojik sorun olan tarımsal topraklardaki kirliliğin kontrolü ile ilgili yapılacak olan çalışmalara temel oluşturacak niteliktedir.

#### Kaynakça

- Adrees M., Ali S., Rizwan M., Ibrahim M., Abbas F., Farid M., Zia-ur-Rehman M., Irshad M.K., Bharwana S.A. (2015) The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops: a review, *Environ Sci Pollut Res*, 22: 8148–8162.
- Afrayeem S.M., Chaurasia A. (2017) Effect of zinc oxide nanoparticles on seed germination and seed vigour in chilli (*Capsicum annum* L.), *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(5): 1564-1566.
- Ahmed A., Khalid N., Ahmad A., Abbas N.A., Latif M.S.Z., Randhawa M.A. (2014) Phytochemicals and biofunctional properties of buckwheat: a review, *Journal of Agricultural Science*, 152: 349–369.
- Aliyas I.B., Kassim G.Y., Mutlak N.N. (2015) Evaluation Some Germination Characteristics for Buckwheat Seeds Under Experimental Ecology Conditions, *International Journal of Scientific and Research Publications*, 5(11): 634-638.
- Al-Snafi A.E., (2017) A review on *Fagopyrum esculentum*: A potential medicinal plant, *IOSR Journal of Pharmacy*, 7(3):21-32.
- Bhaduri N.P., Prajneshu M., Gaur M., Suri S. (2016) Seed germination behaviour and preliminary screening of bioactive components in buckwheat (*Fagopyrum* spp.), *DU Journal of Undergraduate Research and Innovation* 2(1): 121-130.
- Brajdes C., Vizireanu C. (2012) Sprouted buckwheat an important vegetable source of antioxidants, *The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati Fascicle VI – Food Technology*, 36(1) 53-60.
- Broadley M.R., White P.J., Hammond J.P., Zelko I., Lux A. (2007) Zinc in plants, *New Phytologist*, 173: 677–702.
- Cakmak I., Kutman U.B. (2018) Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review, *European Journal of Soil Science*, 69: 172–180.
- Campbell, C.G. (1997). Buckwheat *Fagopyrum esculentum* Moench. Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops 19. Rome, Italy: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research; Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute.
- Da Costa M.V.J., Sharma P.K. (2016) Effect of copper oxide nanoparticles on growth, morphology, photosynthesis, and antioxidant response in *Oryza sativa*, *Photosynthetica*, 54: 110–119.
- El-Ghamery A.A., El-Kholy M.A., El-Yousser A. (2003) Evaluation of cytological effects of Zn<sup>+2</sup> in relation to germination and root growth of *Nigella sativa* L. and *Triticum aestivum* L., *Mutation Research*, 537: 29-41.

- Gonçalves F.M.F., Debiage R.R., Gonçalves da Silva R.M., Porto P.P., Yoshihara E., Peixoto E.C.M.T. (2016) Fagopyrum esculentum Moench: A crop with many purposes in agriculture and human nutrition, *African Journal of Agricultural Research*, 11(12): 983-989.
- Gondola I., Papp P.P. (2010) Origin, Geographical Distribution and Phylogenetic Relationships of common Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.), *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 4(Special Issue 1): 17-32.
- Gupta S., Meena M.K., Datta S. (2016) Effect of selected heavy metals (lead and zinc) on seedling growth of soybean *Glycine max* (L.) Merr., *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 8(8): 302-305.
- Heffler E., Pizzimenti S., Badiu I., Guida G., Rolla G. (2014) Buckwheat allergy: an emerging clinical problem in Europe, *J. Allergy Ther.* 5: 168.
- Hussain I., Bano A., Faizanullah, Nosheen A. (2016) Multivariate analysis for elemental composition among indigenous common buckwheat genotypes of Baltistan, *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 26(6): 1725-1731.
- Iqbal M.Z., Habiba U., Nayab S., Shafiq M. (2018) Effects of copper on seed germination and seedling growth performance of *Lens culinaris* Medik., *Journal of Plant Development*, 25: 85-90.
- Jabeen, N., Ahmad, R. (2012) Improvement in growth and leaf water relation parameters of Sunflower and Safflower plants with foliar application of nutrient solutions under salt stress, *Pak. J. Bot.*, 44(4):1341-1345.
- Kunjam M., Govada H., Mididoddi N., Kota R.S.L.N. (2015) Studies on selected heavy metals on seed germination and plant growth in pea plant (*Pisum sativum*) grown in solid medium, *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 3(5): 85-87.
- Lin S.L., Wu L. (1994) Effects of copper concentration on mineral nutrient uptake and copper accumulation in protein of copper-tolerant and nontolerant *Lotus purshianus* L., *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 29(2): 214-228.
- Mishra M., Jain S. (2019) A Comparative Study on Nutritional Profile and Antinutrients of Buckwheat Fractions (*Fagopyrum esculentum*), *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(3): 3384-3393
- Naeem M., Ansari A.A., Gill S.S. (2017) Essential Plant Nutrients Uptake, Use Efficiency, and Management, 1<sup>st</sup> ed., Springer, 569 p.
- Okcu M., Tozlu E., Kumlay A.M., Pehlivan M. (2009) Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri, *Alınleri*, 17(B), 14-26.
- Pandey R. (2015) Mineral Nutrition of Plants, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, India.
- Rahmani F., Peymani A., Daneshvand E., Biparva P. (2016) Impact of zinc oxide and copper oxide nano-particles on physiological and molecular processes in *Brassica napus* L., *Ind J Plant Physiol*, 21: 122–128.
- Rajput V.D., Minkina T., Suskova S., Mandzhieva S., Tsitsuashvili V., Chaplugin V., Fedorenko A. (2017) Effects of copper nanoparticles (CuO NPs) on crop plants: a Mini Review, *BioNanoScience*, 8(1), 36–42.
- Reichman S.M. (2012) The Responses of Plants to Metal Toxicity: A review focusing on Copper, Manganese and Zinc, Australian Minerals and Energy Environment Foundation, Melbourne, Victoria.
- Sadeghzadeh B. (2013) A review of zinc nutrition and plant breeding, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13 (4): 905-927.
- Shaikh I.R., Shaikh P.R., Shaikh R.A., Shaikh A.A. (2013). Phytotoxic effects of heavy metals (Cr, Cd, Mn and Zn) on wheat (*Triticum aestivum* L.) seed germination and seedlings growth in black cotton soil of Nanded, India.
- Shams M.K., Yıldırım E., Agar G., Ercisli S., Ekinci M., Dursun A., Kul R. (2018) Nitric oxide alleviates copper toxicity in germinating seed and seedling growth of *Lactuca sativa* L., *Not Bot Horti Agrobo*, 46(1): 167-172.
- Singh D., Nath K., Sharma Y.K. (2007) Response of wheat seed germination and seedling growth under copper stress, *J. Environ. Biol.*, 28(2), 409-414.
- Tomar O., Kumlay A.M., Çağlar A. (2008) Antioksidan ve Flavonoid Kaynağı Olarak Karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench), *Hasad Gıda*, 23(274): 44-49.
- Tripathi D.K., Singh S., Singh S., Mishra S., Chauhan D.K., Dubey N.K. (2015) Micronutrients and their diverse role in agricultural crops: advances and future prospective, *Acta Physiol Plant*, 37: 139.
- Tsonev T., Lidon F.J.C. (2012) Zinc in plants - An overview, *Emir J. Food Agric*, 24 (4): 322-333.
- Unal H., Izli G., Izli N., Asik B.B. (2017) Comparison of some physical and chemical characteristics of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) grains, *Cyta – Journal of Food*, 15(2): 257–265.
- Vojtíšková P., Kmentová P.K., Kubáň V., Kráčmar S. (2012) Chemical composition of buckwheat plant (*Fagopyrum esculentum*) and selected buckwheat products, *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 1 (February Special Issue), 1011-1019.
- Wang H., Zhong G., Shi G., Pan F. (2010) Toxicity of Cu, Pb, and Zn on seed germination and young seedlings of wheat (*Triticum aestivum* L.), 4th Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture (CCTA), Nanchang, China, pp.231-240.
- Wang L.J., Sheng M.Y., Wen P.C., Du J.Y. (2017) Morphological, hysiological, cytological and phytochemical studies in diploid and colchicine-induced tetraploid plants of *Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn, *Botanical Studies*, 58:2
- White P.J., Brown P.H. (2010) Plant nutrition for sustainable development and global health, *Annals of Botany*, 105: 1073–1080.
- Yashimoto Y., Egashira T., Hanashiro I., Ohinata H., Takase Y., Takeda Y. (2004) Molecular structure and some physicochemical properties of buckwheat starches, *Creal Chem*, 81(4): 515-520.
- Yasmeen F., Razzaq A., Iqbal M.N., Jhazab H.M. (2015) Effect of silver, copper and iron nanoparticles on wheat germination, *International Journal of Biosciences*, 6(4): 112-117.
- Zhang R., Zhang H., Tu C., Hu X., Li L., Luo Y., Christie P. (2015) Phytotoxicity of ZnO nanoparticles and the released Zn(II) ion to corn (*Zea mays* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.) during germination, *Environmental Science and Pollution Research*, 22(14): 11109-11117.