

Karabuğday Bitkisinin (*Fagopyrum esculentum* Moench.) Bazı Ekofizyolojik Özellikleri Üzerine Kadmiyum ve Nikel'in Etkisi

Sema LEBLEBİCİ^{1,2*} 

¹Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Bilecik, TÜRKİYE

²Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Biyoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Bilecik, TÜRKİYE

Geliş / Received: 03/02/2019, Kabul / Accepted: 09/10/2019

Öz

Karabuğday bitkisi (*Fagopyrum esculentum* Moench.) Polygonaceae (Kuzukulağigiller) familyasından *Fagopyrum* cinsine ait tek yıllık otsu bir bitki türüdür. Karabuğday tuzluluk, sıcaklık değişimi gibi abiyotik faktörde meydana gelen değişimlere dayanıklı bir türdür. Abiyotik faktörlerden en önemlilerinden biri ise ortamda ağır metallerin varlığıdır. Bu çalışmada Cd ve Ni metallerinin karabuğday bitkisinin tohum çimlenme oranı, kök uzunluğu, kök ve gövde taze-kuru ağırlığı, kök ve gövde biyokütlesi ve Cd ve Ni tolerans indeksine etkisi araştırılmıştır. Farklı konsantrasyonlarda uygulanan Cd ve Ni kontrol grubu ile karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre çimlenme oranı azalmış ancak önemli bir azalma görülmemiştir. Cd ve Ni uygulanan örneklerde konsantrasyon artışına bağlı olarak kök uzunluğu, kök ve gövde taze-kuru ağırlığı ve biyokütle miktarında azalma olduğu tespit edildi. Karabuğday bitkisinin incelenen ekofizyolojik parametrelerinde Cd'un Ni metale göre daha etkili olduğu belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Karabuğday, abiyotik stres, ağır metal, çimlenme, fide gelişimi

The Effect of Cadmium and Nickel on Some Ecophysiological Characteristics of Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.)

Abstract

Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.) is an annual herbaceous plant species belonging to the genus *Fagopyrum* from the Polygonaceae family. Buckwheat is resistant to changes in abiotic factor such as salinity, temperature change. One of the most important abiotic factors is the presence of heavy metals in the environment. In this study the effect of Cd and Ni metals on seed germination rate, root length, root and stem fresh-dry weight, root and stem biomass and Cd and Ni tolerance index of buckwheat plant were investigated. Different concentrations of Cd and Ni samples were compared with the control group. According to the results, seed germination rate decreased but there was not much decrease. In the Cd and Ni applied samples, it was determined that as the concentration increased, the root length, root and stem fresh-dry weight and the amount of biomass decreased. It was determined that Cd was more effective than Ni metal in the ecophysiological parameters examined of buckwheat plant.

Keywords: Buckwheat, abiotic stress, heavy metal, germination, seedling

1. Giriş

Karabuğday, (*Fagopyrum esculentum* Moench.), Polygonaceae (Kuzukulağigiller) familyasından *Fagopyrum* cinsine ait tek yıllık otsu bir bitki türüdür (Guo vd., 2007; Kan, 2014). Kökeni Asya olan Karabuğdayın kültürünün yapıldığı ülkeler arasında; Rusya, Çin Halk Cumhuriyeti, Amerika Birleşik Devletleri, Kanada, Kuzey Fransa, Almanya, İtalya, Slovakya, Polonya ve Türkiye yer almaktadır.

Karabuğday büyüme ve gelişmesini kısa sürede tamamlayan; lifli, kazık kök sistemine sahip bir kültür bitkisidir (Bjorkman, 2010; Yavuz, 2014). Kimyasal kompozisyonu ve görünüşü ile tahıl tanelerine benzetilmektedir, fakat tahıllarla hiç bir akrabalığı yoktur (Guo vd., 2007; Acar, 2009; Acar vd., 2011). Karabuğdayı tahıllardan ayıran temel yapısal farklılık dikotil bir bitki olması ve yüksek rakımlarda kısa sürede gelişmeye adapte olabilme özelliğinin bulunmasıdır (Dizlek vd., 2009; Kan, 2014).

Yabancı tozlaşan bir bitki olan karabuğdayın çiçeklenmesi vejetasyon döneminde uzun bir süre (30-45 gün) devam etmektedir (Guo vd., 2007; Süzer, 2007). Tohumları üçgen şeklinde ve köşelidir; tohumun rengi, büyüklüğü ve şekli bitkinin çeşitlerine göre değişiklik göstermektedir.

Karabuğday, iklim isteği bakımından kısmen seçici bir bitki türüdür, serin ve nemli bölgelerde çok iyi yetişmektedir. 8-14 hafta gibi kısa bir vejetasyon süresinin olması ve sıcaklık isteğinin düşük olması sebebi ile kuzey enlemlerde ve yüksek yerlerde (0-4200 m) yetişebilmektedir. İklim şartları uygun olduğu müddetçe, topraktan talebi oldukça azdır ve hemen hemen her çeşit toprakta yetişebildiği için verimli olmayan bölgelerde

ve marjinal topraklarda yetiştirilmektedir. pH'ı 4-6 arsında değişen ve verimli olmayan asit topraklara toleransı iyidir. (Güneş, 2012).

Son yıllarda Karabuğday'ın ekim alanları, dünyanın farklı ülkelerinde önemli düzeyde artmıştır. Bunun en büyük sebebi karabuğdayın çok fazla kullanım alanına sahip olmasından dolayı ekonomik değerinin yüksek olmasıdır. Karabuğday dünyada fonksiyonel gıda olarak üretilen ürünler arasında yer almaktadır. Bu nedenle karabuğday ürünleri ilaç ve gıda olarak çift kullanımlı ürünlerdir ve insan vücudunda kronik hastalıklarda ilginç etkileri vardır (Rajbhandari, 2004; Crista ve Smetana, 2008; Erbaş vd., 2008, Peng vd., 2012). Özellikle karabuğday tohumları buğday glutenine hassas olan çölyak hastaları için önemli bir gıda kaynağıdır ve bu nedenle insan beslenmesinde kullanılabilir (Güneş, 2012; Skrabanja vd., 2001, Yavuz, 2014). Ayrıca karabuğday insan ve hayvan sağlığı üzerinde etkili olan bazı sekonder metabolitleri içermektedir. En fazla bulunan sekonder metabolit "Rutin" adı verilen bir flavonal glikosittir. Bu madde bakımından en zengin bitki karabuğdaydır. Serbest radikalleri yakalama özelliğinden dolayı güçlü bir antioksidandır (Watanabe vd., 1997; Rajbhandari, 2004; Christa ve Smetana, 2008). Aynı zamanda karabuğday yumurta tavukçuluğunda, küçük ve büyükbaş hayvan yetiştiriciliğinde yem olarak, çoğu ülkede ise bal üretiminde nektar kaynağı olarak da kullanılmaktadır (Güneş, 2012).

Bitkilerde büyüme ve gelişmeyi olumsuz etkileyen, ürün kalitesinin ve miktarının azalmasına sebep olan, ilerleyen süreçte bitkinin veya organlarının ölümüne yol açan önemli metabolik ve fizyolojik değişimlere stres adı verilmektedir (Haktanır ve Arcak, 1998). Stresin ortaya çıkmasında en önemli

etkenler biyotik ve abiyotik ekolojik faktörlerde meydana gelen değişikliklerdir. Kuvvetli ışık, ultraviyole, yüksek ve düşük sıcaklıklar, don olayı, kuraklık, tuzluluk, ve yetersiz oksijen gibi birçok abiyotik stres faktörü vardır (Hirayama ve Shinoza, 2010). Bu faktörlerin en önemlilerinden biri ise ağır metal stresidir. Günümüzde, ağır metaller su, hava ve toprak gibi ortamlarda birikerek çeşitli ekosistemlerde bulunan canlıların yaşamını tehdit eden önemli bir çevre sorunu haline almıştır. Ayrıca endüstriyel faaliyetler ve sanayileşme başta olmak üzere motorlu taşıtların egzozları, kentsel atıklar, tarımda bilinçsiz gübreleme ve ilaç kullanımı ile volkanik faaliyetler sonucu ağır metaller çevreye yayılmakta; bitkilerin doku ve organlardaki aşırı birikimi ile generatif ve vejetatif organlarının gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir (Madhava ve Sresty, 2000; Waisberg vd., 2003; Gür vd., 2004). Düşük konsantrasyonlarda bile toksik veya zehirleyici olan ve nispeten yüksek yoğunluğa sahip metaller, kolay kolay girdikleri organizmadan atılamazlar.

Mikro besin elementi olan nikel toprakta 100 mg/kg'ın üzerinde olduğu durumda bitkilerde toksik etki oluşturmaktadır (Yıldız, 2001). Kanalizasyon atıklarının kullanıldığı alanlarda yaygın şekilde nikel toksisitesi ile karşılaşmaktadır. Yüksek miktarlarda nikel içeren topraklarda yetiştirilen bitkilerde zehirlenmeler ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle toprakların kalsiyum ve potasyum ile gübrenmesi nikelin zehir etkisini önlemektedir. Buna karşılık fosfatlı gübrelerin nikelin zehir etkisini artırdığı bilinmektedir (Kantarıcı, 2000; Kaçar ve Katkat, 2010).

Kadmiyum elementi ekosistemde en tehlikeli ağır metallere biri olup organizmaların biyolojik fonksiyonları için hayati gerekliliği

yoktur. Önemli bir kirletici olmasının nedeni ise çok düşük dozlarda bile toksik olması ve biyolojik yarı ömrünün uzun olmasıdır. Toprakta ekstrakte edilebilir kadmiyum konsantrasyonu 1 mg/kg'dır (Yıldız, 2001). Topraktaki kadmiyum alınımını iki önemli faktör etkilemektedir. Bunlar toprağın pH'ı ve toprağın var olan kadmiyum konsantrasyonudur. Toprağın pH'ı arttıkça bitki dokularına kadmiyum alımı azalır. Topraktaki uygun kimyasal, fiziksel ve biyolojik şartlar altında Cd konsantrasyonu arttıkça Cd alımı da artmaktadır. Kadmiyumun bitki metabolizmasında çok önemli zararlara ve oksidatif strese neden olduğu birçok çalışmada belirtilmiştir (Vitoria vd., 2001; Benavides vd., 2005; Gratao vd., 2005). Bitkilerde kadmiyum çeşitli fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri bozmakta, hücre ölümüne ve büyümenin engellenmesine sebep olmaktadır (Toppi ve Gabrielli, 1999; Sandalio vd., 2001; Guo vd., 2009; Tran ve Popova, 2013).

Sağlıklı bir bitkinin meydana gelmesinde tohum çimlenme aşaması ve erken fide gelişim dönemi oldukça önemlidir. Buradan yola çıkarak çalışmamızda kadmiyum ve nikelin; sekonder metabolit içeren, sadece vejetasyon döneminde değil her dem yeşilliğini koruyan, birçok kullanım alanı bulunan ve stres faktörlerine karşı dayanıklı bir bitki türü olan karabuğday bitkisinde meydana getirdiği ekofizyolojik etkiler çimlenme ve fide gelişim parametreleri ile belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çimlenme deneylerinde tescilli Güneş çeşidine ait Karabuğday tohumları kullanılmıştır. Tohumlar rastgele seçilmiş ve ekimden önce sterilizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Sterilizasyon işleminde

tohumlar %10'luk NaOCl içinde 10 dakika bekletilip ardından 3 kez distile su ile yıkanarak sterilizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir (Jabeen ve Ahmad, 2012).

Tohumların ekim işlemi, kontaminasyon riskini en aza indirmek için steril kabinde ve tamamı otoklavda steril edilmiş laboratuvar malzemeleri ile gerçekleştirilmiştir. Çimlenme deneyleri için Cd hem de Ni için 50, 75, 100 ve 150 ppm olmak üzere 4 farklı çözelti hazırlanmıştır. Kontrol grubu için ise distile su kullanılmıştır. Tohumlar 2'şer kat kurutma kağıdı üzerine yerleştirilmiş, 12 cm çapındaki petri kaplarına 3 tekrarlı olarak ekilmiştir. Her tekrarda 100 adet tohum kullanılmış ve her bir petri kabı 6 ml çözelti ile sulanmıştır. Sulama işlemi 3 günde bir tekrarlanmıştır. Ekimi yapılan tohumlar 16/8 saat fotoperiyot ve 25±2 °C'ye ayarlı iklimlendirme odasında 21 gün süreyle bekletilmiştir. Radikulanın kurutma kâğıdına değdi an çimlenmenin başlangıcı olarak kabul edilmiş ve çimlenme başladıktan sonra her

3. Bulgular

3.1. Çimlenme oranı

Çalışmada dört farklı konsantrasyonda (50, 75, 100 ve 150 ppm) Cd ve Ni uygulanan karabuğday tohumlarının çimlenme oranları karşılaştırılmış, her iki ağır metal uygulamasında da konsantrasyon artışına bağlı olarak çimlenen tohum sayısında azalma olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Cd ile Ni sonuçları karşılaştırıldığında ise Cd'un tohum çimlenmesi üzerine olumsuz etkisinin Ni'e göre daha fazla olduğu görülmüştür (Tablo 1).

3.2. Kök ve gövde uzunlukları

Fidelerin kök ve gövde uzunlukları karşılaştırıldığında gerek Cd gerek Ni uygulamasında konsantrasyon artışına bağlı

gün çimlenen tohum sayıları kaydedilmiştir. 21 günün sonunda çimlenen tohumların çimlenme oranı (%), kök ve gövde uzunluğu, kök ve gövde yaş-kuru ağırlığı ölçülmüş; tohum canlılık indeksi, kök ve gövde biyokütlesi, Cd ve Ni tolerans indeksleri olmak üzere altı farklı ekofizyolojik parametre hesaplanmıştır (Böhm, 1979; Işık ve Çalıseki, 2017; Kayaçetin vd., 2018).

Çimlenme Oranı: ((Çimlenen tohum sayısı/Toplam tohum sayısı) x 100) (Kayaçetin ve ark., 2018).

Tohum Canlılık İndeksi: ((Kök uzunluğu + gövde uzunluğu) x çimlenme oranı) (Kayaçetin ve ark., 2018).

Kök Biyokütle: (Kök kuru ağırlığı x petri kabının alanı)/10⁻⁸ (Işık ve Çalıseki, 2017).

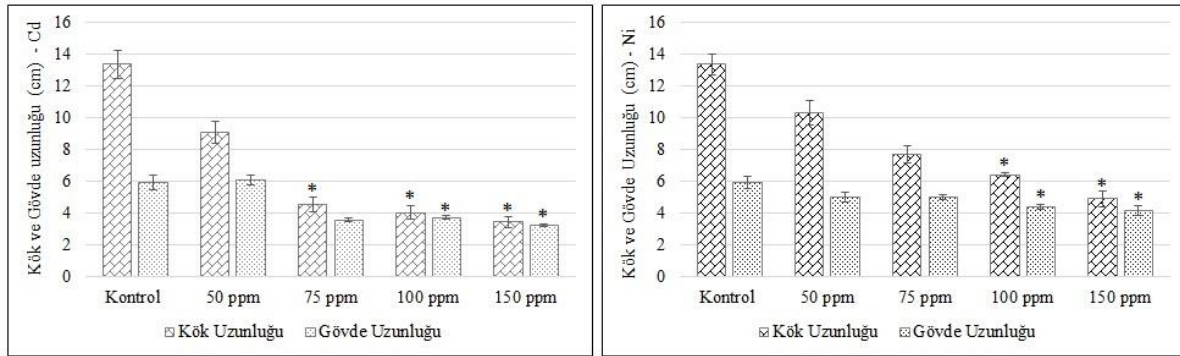
Gövde Biyokütle: (Gövde kuru ağırlığı x petri kabının alanı)/10⁻⁸ (Işık ve Çalıseki, 2017).

Elde edilen sonuçlar One-way ANOVA (SPSS 21.0) testi ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

olarak kök ve gövde uzunluklarının azaldığı tespit edilmiştir. Kontrol örneklerinde kök uzunluğu 13.37 cm, gövde uzunluğu ise 5.93 cm olarak tespit edilmiştir. Cd ve Ni konsantrasyonu arttıkça hem kök uzunluğu hem de gövde uzunluğu azalmıştır. 150 ppm Cd uygulanan örneklerde kök uzunluğu 3.42 cm, gövde uzunluğu ise 3.21 cm'ye azalmıştır. Aynı şekilde Ni uygulanan örneklerde ise kök uzunluğu 4.89 cm'ye, gövde uzunluğu ise 4.16 cm'ye azalmıştır. Her iki ağır metal uygulamasında 100 ve 150 ppm'de kök ve gövde uzunluklarında önemli bir azalmanın olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Ayrıca erken gelişim evresinde fidelerin kök ve gövde gelişiminde Cd'un olumsuz etkisinin Ni'den daha fazla olduğu görülmüştür (Şekil 1).

Tablo 1. Cd ve Ni uygulanan tohumların çimlenme oranları (%) (*p<0.05)

Uygulama	Cd Uygulanan Tohumların Çimlenme Oranı (%)	Ni Uygulanan Tohumların Çimlenme Oranı (%)
Kontrol	99±1.5	100±0.58
50 ppm	97±0.6	98±1.73
75 ppm	93±2.5*	95±2
100 ppm	87±2.5*	90±2.65*
150 ppm	85±1.2*	88±2.08*

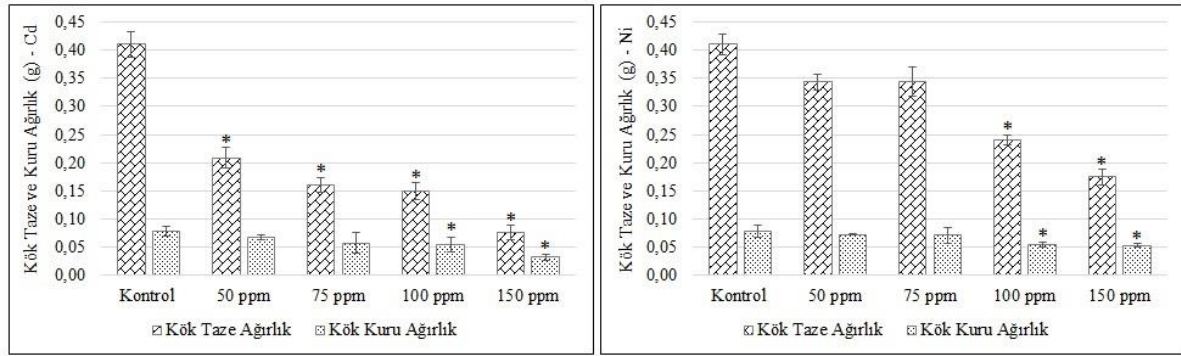


Şekil 1. Cd ve Ni uygulanan Karabuğday fidelerinin kök ve gövde uzunlukları (cm) (*p<0.05)

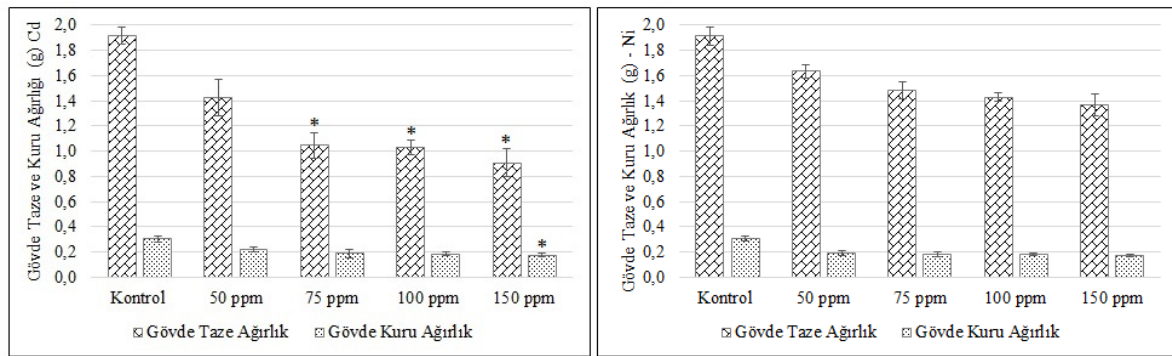
3.3. Cd ve Ni uygulamasının kök ve gövdelere ait taze-kuru ağırlıklar, biyokütle miktarına etkisi

Cd ve Ni uygulanan bitki örnekleri ve kontrol grubu karabuğday örneklerinin kökleri alınmış ve taze-kuru ağırlıkları ölçülmüştür. Kontrol örneklerinde kök taze ağırlığı 0.41 g, kuru ağırlık ise 0.078 g'dır. Farklı konsantrasyonlarda Cd ve Ni uygulandığı zaman konsantrasyon artışına bağlı olarak kök taze ve kuru ağırlıklarında azalma olduğu belirlenmiştir. 150 ppm Cd uygulandığında kök taze ağırlığı 0.05 g, kuru ağırlığı 0.031 g olarak tespit edilmiştir. Aynı şekilde 150 ppm Ni uygulanan örneklerin kök taze ağırlığı 0.174 g iken kuru ağırlığı 0.053 g olarak tespit edilmiştir. Karabuğday fidelerinin kök taze ve kuru ağırlıklarının Ni'e kıyasla Cd'un artan konsantrasyonlarından daha fazla etkilendiği, özellikle 150 ppm Cd uygulamasında taze ve kuru ağırlığın kontrole göre önemli derecede azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 2, p<0.05).

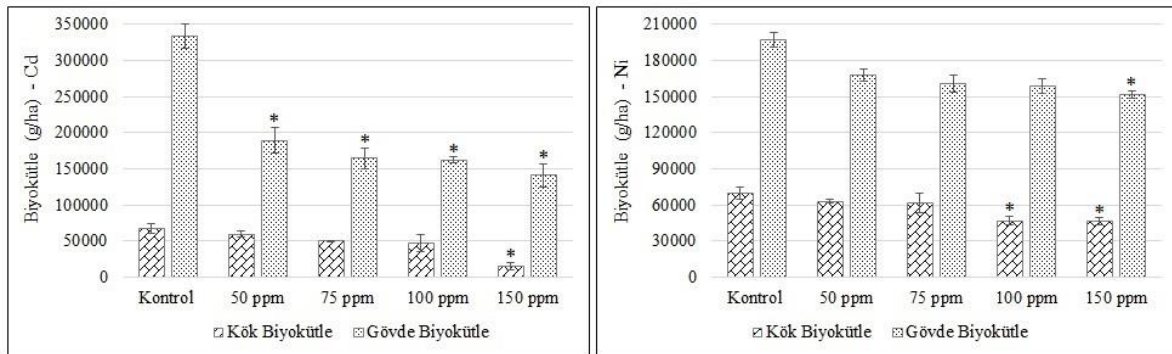
Gövdeye ait taze ve kuru ağırlık sonuçları da kök ile benzerlik göstermektedir. Karabuğday örneklerinin gövde taze ve kuru ağırlık sonuçlarına Şekil 3'de yer alan karabuğday örneklerinin gövde taze ve kuru ağırlık sonuçlarına göre, kontrol grubu taze gövde ağırlığı 1.913 g, kuru gövde ağırlığı 0.303 g olarak belirlenmiştir. 150 ppm Cd uygulandığında taze ağırlığın 0.909 g, kuru gövde ağırlığı ise 0,176 gram olarak tespit edilmiştir. 150 ppm Ni uygulanan örneklerde taze gövde ağırlığı 1.367 g, kuru gövde ağırlığı ise 0.172 g olduğu belirlenmiştir. Dolayısı ile konsantrasyon arttıkça gövde ağırlığıda azalmaktadır. Ni uygulamasında artan konsantrasyona bağlı olarak gövde taze ve kuru ağırlığında bir azalma olsa da Cd uygulamasında daha fazla azalma olduğu ifade edilebilir.



Şekil 2. Cd ve Ni uygulanan Karabuğday fidelerinin köklerine ait taze ve kuru ağırlıklar (g) (*p<0.05)



Şekil 3. Cd ve Ni uygulanan Karabuğday fidelerinin gövdelerine ait taze ve kuru ağırlıklar (g) (*p<0.05)



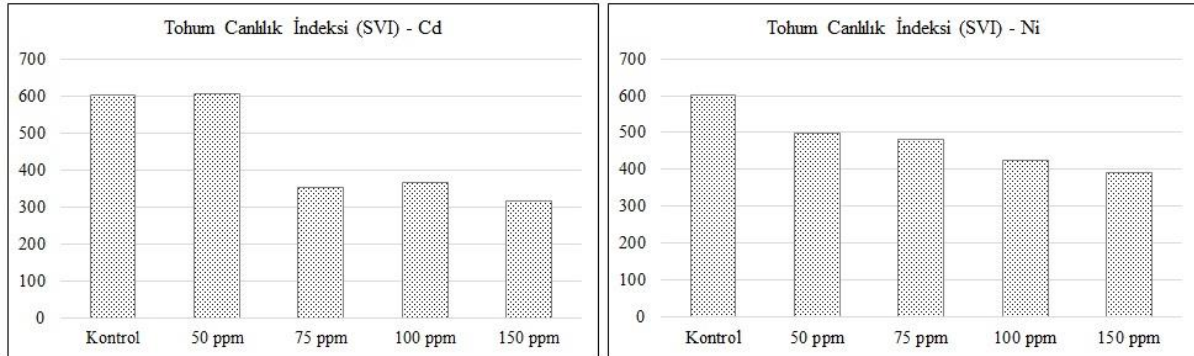
Şekil 4. Cd ve Ni uygulanan Karabuğday fidelerinin kök ve gövde biyokütleleri (g/ha) (*p<0.05)

Çalışmamızda Cd ve Ni uygulamasının karabuğday bitkisi kök ve gövde biyokütlesi üzerine etkisi araştırılmış ve her iki ağır metalde konsantrasyona bağlı olarak farklı sonuçlara rastlanmıştır. Kök ve gövde biyokütlelerinde Cd uygulamasında kontrole göre azalma tespit edilmiştir (p<0.05). Ni

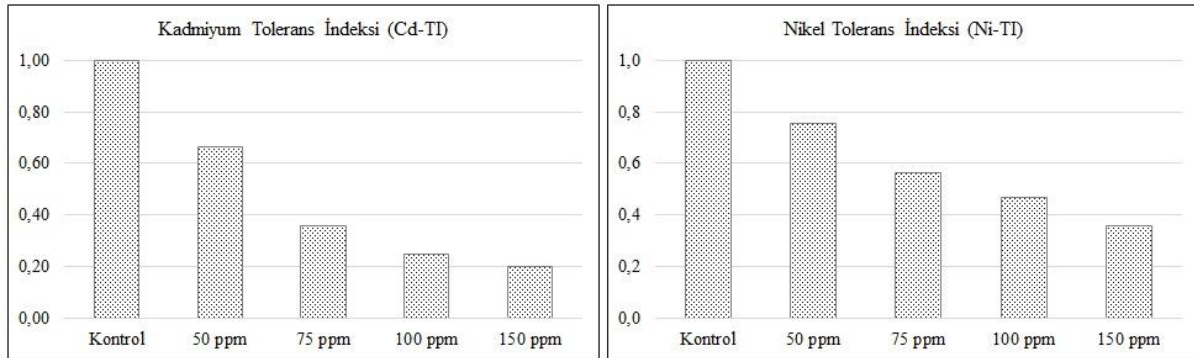
uygulamasında Cd'a göre biyokütle düşüşü daha azdır. Kontrol grubunda biyokütle değerleri incelendiğinde kök biyokütlesi 68202.48 g/ha iken gövde biyokütlesi 265188.69 g/ha olarak belirlenmiştir. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulandığında 150 ppm değerinde kök biyokütlesi 15378.55 g/ha,

gövde biyokütlesi 140641.43 g/ha olduğu görülürken (Şekil 4), 150 ppm Ni uygulandığında ise kök biyokütlesi 46428.23

g/ha iken gövde biyokütlesi 151589.87 g/ha dır (Şekil 4).



Şekil 5. Cd ve Ni uygulanan Karabuğday tohumlarının canlılık indeksi



Şekil 6. Karabuğday bitkisinin Cd ve Ni tolerans indeksi

Şekil 5 incelendiğinde kontrol grubunun canlılık indeksi 601.06 iken Cd ve Ni uygulandığında konsantrasyon arttıkça canlı kalabilme oranının azaldığı görülmektedir. Cd ve Ni uygulanan Karabuğday tohumlarının canlılık indeksleri incelendiğinde özellikle düşük konsantrasyonlarda tohum canlılığına olan etki oldukça düşüktür. Çünkü Ni aynı zamanda bir mikro besin elementidir. Cd da ise özellikle 75, 100 ve 150 ppm'de tohum canlılık indeksi üzerine negatif etkisinin fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durum tohum çimlenme oranı (%) sonuçlarını destekler niteliktedir.

Ağır metal tolerans indeksi, bitkinin herhangi bir ağır metale göstermiş olduğu dayanma sınırını gösteren bir parametredir. Bitkilerin

herhangi bir stres faktörüne karşı göstermiş olduğu tolerans türden türe hatta aynı türün çeşitlerinde farklılık göstermektedir. Çalışmada Karabuğday bitkisinin fide gelişiminde Ni toleransının Cd'a göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Her iki metalde artan konsantrasyon ile tolerans indeksinin ters bir korelasyon gösterdiği belirlenmiştir.

4. Sonuç ve Tartışma

Bitkiler yaşadıkları ortamda meydana gelecek biyotik veya abiyotik faktörlere karşı direnç gösteremedikçe yaşamlarını sürdüremezler. Dolayısıyla stres faktörlerinin etkilerinin ve bu etkilere karşı koyma mekanizmalarının bilinmesi bitkilerden faydalanma ve onları

yaşatma adına oldukça önemlidir. Tohum aşamasından itibaren çimlenmeyle başlayacak bitki gelişim evreleri meyva verip neslin devamını sağlayacak süreçler ile tamamlanmaktadır. Tohum çimlenmesi, bitkinin yaşam döngüsünün ilk ve en kritik safhalarından biri olup (Guan vd., 2009) hormonal ve çevresel olaylara karşı oldukça duyarlıdır (Finch-Savage ve Leubner-Metzger, 2006). Ağır metal konsantrasyonu arttıkça çimlenme oranının, kök ve sürgün gelişiminin önemli ölçüde engellendiği bilinmektedir (Gür vd., 2004). Bitkiler için çok düşük miktarlarda yararlı etkileri olduğu bildirilen nikelin (Mishra ve Kar, 1974) aşırı konsantrasyonlarının bitkilerde olumsuz etkilerinin olduğu belirtilmektedir. Ebru (2014) yapmış olduğu çalışmada mısır tohumlarına 80 ve 160 mg/L Ni uygulamış; 80 mg/L.'de çimlenme oranının etkilenmediğini ancak 160 mg/L.'de kontrol grubuna göre çimlenme oranında azalmanın olduğunu bildirmiştir. Liu ve arkadaşları (2012) yapmış oldukları bir çalışmada halofit bir bitki olan *Suaeda salsa*'ya çamirli konsantrasyonlarda Cd²⁺ iyonu uygulamışlar ve sonuçta çimlenme parametreleri ile büyüme inhibisyon indekslerinin, 0.1 mg/L CdCl₂ konsantrasyonunda önemli ölçüde azaldığını (p<0.05); artan Cd²⁺ konsantrasyonuyla inhibisyon etkisinin arttığını göstermişlerdir. *Oryza sativa* ile yapılan bir çalışmada düşük Cd konsantrasyonlarının çimlenme üzerine oldukça düşük etkisinin olduğu fakat yüksek konsantrasyonlarda çimlenme endeksi, canlılık endeksi ve kök uzunluğunun azaldığı belirlenmiştir (He vd., 2008). Wang vd. (2003) yaptıkları çalışmada topraktaki uygun kimyasal, fiziksel ve biyolojik şartlar altında Cd konsantrasyonu arttıkça Cd alımının da arttığını belirtmişlerdir. Karabuğday ile literatürde yapılmış metal ile ilgili çalışmalar bulunmakla birlikte Ni ve Cd ile çalışmaya rastlanmamıştır. Liu vd. (2009) çalışmalarında

20-120 mg/L Cu²⁺ konsantrasyonlarının tohum çimlenmesini arttırdığı ancak bu konsantrasyonların fide gelişimini azalttığını belirtmişlerdir. Çalışmamızda da Cd ve Ni uygulamasının çimlenmeye çok büyük oranda etkisi olmazken fide gelişimini önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiştir. Liu vd. (2009) çalışmasında daha yüksek konsantrasyonlarda Cu'un çimlenmeyi inhibe ettiği ifade edilmiştir.

Çimlenme aşamasında kök uzaması bir çok faktörden etkilenir. Tohumdan ilk çıkan köke radikula, sürgüne ise plumula adı verilir. Radikula ve plumula gelişimini etkileyen tüm faktörler bitkinin erken gelişim evresi üzerinde de etkilidir. Bu faktörlerin en önemlileri arasında sıcaklık, pH, tuz, besin yetersizliği ve metal varlığı sayılabilir (Jamil vd. 2006; Laghmouchi vd., 2017; Kranner ve Colville, 2011). Pirinç bitkisi ile yapılan bir çalışmada kadmiyum stresinin özellikle radikula ve plumula büyümesini önemli ölçüde engellediği tespit edilmiştir (Liu vd., 2012). Ayrıca kök uzunluğu ve amilaz aktivitesinin artan kadmiyum seviyesi ile belirgin bir şekilde azaldığı belirtilmiştir (He vd., 2008). Yüksek konsantrasyonlardaki ağır metallerin büyümede zararlı etkileri diğer metaller ile de görülmektedir. Nikelin yüksek konsantrasyonları, bitkilerde çimlenme aşamasından başlayarak bitkinin büyüme ile gelişmesinde toksik etki yapar. Ayrıca yüksek konsantrasyonlarda kök büyümesini ve sürgün gelişimini sınırlamaktadır (Marschner, 1995). Soudek vd. (2010) kurşun, nikel, bakır, çinko, kadmiyum, kobalt, arsenik ve krom ağır metallerinin 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 ve 1 mM'lık konsantrasyonlarını keten (*Linum usitatissimum* L.) tohumlarına uygulamışlardır. Ağır metal konsantrasyonlarının artışına paralel olarak çimlenen tohum sayısında ve kök uzunluğunda azalma olduğunu

belirlemişlerdir. Ayrıca yapılan başka bir çalışmada artan nikel konsantrasyonuna bağlı olarak çimlenen tohumların anlık enerji ihtiyacının karşılanmasında nişastanın glikoza, proteinlerin aminoasitlere ayrılmasında etkili olan α -amilaz ve proteaz aktivitelerinin inhibe edildiği; buna bağlı olarak kök ve sürgün büyümesinin azaldığı belirtilmiştir (Ashraf vd., 2011). Karabuğday ile yapılan bir metal çalışmasında elde edilen sonuçlara göre Pb, düşük konsantrasyonlarda kök büyümesini indüklerken yüksek konsantrasyonlarda inhibe ettiği, inhibe olma oranının varyeteler arasında farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda klorofil ve protein içeriği farklı derecelerde azalırken membran permeabilitesinin arttığını ifade etmişlerdir (Liu vd., 2006). Çalışmamızda da Cd ve Ni uygulamasının konsantrasyona bağlı olarak kök uzunluğunu azalttığı, Cd uygulamasının Ni den daha fazla etkin olduğu belirlenmiştir.

Ağır metallerin tohumlar üzerindeki temel etkileri çimlenme, düşük kök ve sürgün uzaması, kuru ağırlıktaki azalma şeklinde kendini gösterir (Munzuroğlu, 2002). Düşük Ni seviyeleri bazı bitki türlerinin büyümesine katkıda bulunabilir, ancak bunun nedeni tam olarak bilinmemektedir (Nasr, 2013). İki ayçiçeği çeşidinde (Hysun-33 ve SF-187) Ni ile yapılan bir çalışmada tohumlara sırası ile 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 mg L⁻¹ Ni uygulaması yapılmış ve artan konsantrasyona bağlı olarak maksimum çimlenme oranı, taze-kuru sürgün ve kök ağırlıklarının azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca Hysun-33 çeşidinin Ni toleransının SF-187'den daha yüksek olduğu yani Ni'den daha az etkilendiği tespit edilmiştir (Ashraf, 2011). Yapılan bir çalışmada 30 gün boyunca güve otu, ayçiçeği, hint fasulyesi ve karabuğday bitkisine 0, 50, 100, 200 ve 400 mg L⁻¹ Pb uygulanmış; tüm türlerin kök, sürgün ve tüm bitkinin kuru maddesinde

belirgin azalma olduğu belirtilmiştir. Pb'den en az etkilenen bitki türünün güve otu, ayçiçeği ve hint fasulyesinin orta derece toleranslı, karabuğdayın ise en hassas tür olduğu belirlenmiştir (Alves vd., 2016). Kalay madeni atıklarının fitotoksik etkisinin araştırıldığı bir çalışmada ise Cd ve Cu uygulanan karabuğday bitkisinin Cd'den daha fazla etkilendiği ve yüksek miktarda Cd'nin kök ve sürgün taze-kuru ağırlığında azalmaya neden olduğu belirtilmiştir (Franzaring, 2018). Ayrıca Liu vd. (2009) çalışmasında artan Cu konsantrasyonuna bağlı olarak gelişen bitkinin taze ağırlığının ve kök büyümesinin azaldığını tespit etmişlerdir. Klorofil ve çözülebilir protein içeriği de önce artmış sonra azalmıştır. (Liu, 2009). Karabuğdayın fide gelişimi üzerine ZnO ve CuO nanopartikülleri ile yapılan bir çalışmada, 2 ve 4 mg L⁻¹ uygulamalarının kök büyümesini kontrole göre önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir (Sooyeon, 2013a). Çalışmamızda da fide gelişimi sırasında oluşan bitkinin yaş-kuru ağırlığının konsantrasyona bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir.

Yeşil bitkilerin fotosentez ile güneş enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürüp depolaması ile oluşan biyolojik madde kütlesine biyokütle denir (Tziourtzioumis vd., 2009). Karabuğday bitkisinin özellikle P ile kirlenmiş topraklarda diğer bitkilere göre daha yüksek biyokütle üretkenliğinin olduğu, birçok kozmopolit özellikte bölgeye adapte olabileceği ve bu özelliği ile fitoremediatör bitki adayı olduğu belirtilmiştir (Tamura vd., 2005). Yapılan bir çalışmada yüksek konsantrasyonlarda Ni uygulamalarında yüksek biyokütle verimliliğine sahip ilk bilinen Ni hiperakkümülatör tür olduğu ifade edilmektedir (Sytar vd., 2013). Sooyeon vd. (2013b) çalışmalarında ZnO nanopartikül (NPs) ve mikropartiküllerin karabuğdayın

bitki büyümesi, bioakümülyasyon ve antioksidant enzim aktivitesine etkisini araştırdıklarında 2-10 mg/L konsantrasyonlarda önemli bir biyokütle azalması belirlemişlerdir. Çalışmamızda da Cd ve Ni uygulamasının biyokütle miktarını azalttığı tespit edilmiştir. Eren ve Mert'in (2017) araştırma sonuçlarına göre bitkilerin artan dozlarda ağır metale bağlı olarak gösterdikleri en belirgin tepki, ürettikleri biyokütle miktarlarının azalması şeklinde ortaya çıkmıştır.

Tohum canlılık indeksi bitkinin erken gelişimi ve hızlı direnç oluşumu için önemli bir faktördür (Memon vd., 2013). Ashagre vd. (2014) aspir ile yaptıkları bir çalışmada belli bir bor düzeyinden sonra tohum canlılık indeksinin tüm çeşitlerde azalma gösterdiğini, ayrıca çeşitler arasında da farklılıkların olduğunu bildirmişlerdir. Aynı şekilde Mirshekari (2012) buğday üzerinde yaptığı çalışmada da bor konsantrasyonu arttıkça tohum canlılık indeksinin azaldığını belirtmiştir. Literatürde ağır metallerin Karabuğday tohumlarının canlılık indeksi üzerine etkisi ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ahmad vd. (2012), Sehar-06, Fareed-06, Chakwal-50 ve Inqlab-91 olmak üzere 4 farklı buğday çeşidi ile yapmış oldukları çalışmada tüm çeşitlerin Cd tolerans indeksini belirlemişler; Cd tolerans indeksinin çeşitler arasında değişiklik gösterdiğini ve Sehar-06 çeşidinin Cd ile kirlenmiş topraklarda daha iyi çimlenebileceğini belirtmişlerdir. Ashagre vd. (2014) aspir ile yaptıkları çalışmada bor tolerans indeksinin, düşük bor seviyelerinde arttığını fakat bor konsantrasyonu yükseldikçe tolerans indeksinin azaldığını bildirmişlerdir. Shaikh vd. (2013) ise, buğday üzerine yaptıkları çalışmalarında bor konsantrasyonu arttıkça tolerans indeksinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Sonuç olarak, Cd ve Ni uygulanan karabuğday bitkisinin, çalışılan dört farklı konsantrasyonda çimlenme oranı azalmış olsa da her iki metalden çok fazla etkilenmediği belirlenmiştir. Ancak taze-kuru ağırlık, biyokütle, kök uzunluğu ve canlılık tolerans indeksinin artan konsantrasyona bağlı olarak azaldığı özellikle yüksek konsantrasyonlarda bu azalmanın önemli olduğu tespit edilmiştir. Sağlıklı bir bitkinin yetiştirilmesinde kritik bir evre olan çimlenme ve fide gelişimi konusunda Cd ve Ni ile ilgili elde edilen bu veriler literatüre var olan farklı metallerle yapılmış çalışmalara katkı sağlayacaktır.

5. Kaynaklar

- Acar, R. 2009. "Karabuğday (Köşeli Buğday)'ın Tarımı", *Konya Ticaret Borsası Dergisi*, 11(31) 30-37.
- Acar, R., Güneş, A., Gummadov, N., Topal, İ. 2011. "Farklı Bitki Sıklıklarının Karabuğdayda (*Fagopyrum esculentum* Moench) Verim ve Bazı Verim Unsurlarına Etkisi", *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 25(3): 47-51.
- Ahmad, I., Akhtar, M. J., Zahir, Z. A., Jamil, A. 2012. "Effect of Cadmium on Seed Germination and Seedling Growth of Four Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars", *Pak. J. Bot.*, 44(5): 1569-1574.
- Alves, Jc., Souza, A. P., Porto, M. L. A., Fontes, R. L. F., Arruda, J., Marques, L. F. 2016. "Potential of Sunflower, Castor Bean, Common Buckwheat and Vetiver as Lead Phytoaccumulators", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(3):243-249.
- Ashagre, H., Ibrahim, A., Hamza, T. 2014. "Urgecha Fita and Worku Nedesa, Influence of Boron on Seed Germination and Seedling Growth of Wheat (*Triticum aestivum* L.), *Afr. J. Plant Sci.*, 8(2):133-139.
- Ashraf, MY., Sadiq, R., Hussain, M., Ashraf, M., Ahmad, M. S. A., 2011. "Toxic Effect of Nickel (Ni) on Growth and Metabolism in

- Germinating Seeds of Sunflower (*Helianthus annuus* L.)", *Biol. Trace. Elem. Res.*, 143:1695-1703.
- Benavides, M. P., Gallego, S. M., Tomaro, M. L. 2005. "Cadmium Toxicity in Plants", *Braz. J. Plant Physiol.*, 17(1): 21-34.
- Bjorkman, T. 2010. "Buckwheat Production: Harvesting." *Cornell University Cooperative Extension Agronomy Fact Sheet Series: Fact Sheet 51*, Ithaca, NY.
- Böhm, W. 1979." Methods of Studying Root Systems", *Agricultural Systems*, 6(3): 247-248.
- Christa, K., Smietana, M. 2008. "Buckwheat Grains and Buckwheat Products – Nutritional and Prophylactic Value of Their Components – A Review", *Czech Journal Food Science*, Vol. 26: 153– 162.
- Dizlek, H., Özer, M. S., İnanç, E., Gül, H. 2009. "Karabuğday'ın (*Fagopyrum esculentum* Moench) Bileşimi ve Gıda Sanayiinde Kullanım Olanakları", *Gıda*, 34 (5): 317-324.
- Ebru, O. G. 2014. "Nickel and Cobalt Effects on Mize Germination", *2nd International Conference on Agriculture and Biotechnology*, IPCBEE, 79:62-65.
- Erbaş M., Gül, S., Şekerci, H. 2008. "Fonksiyonel Gıda Bileşeni Olarak Diyetel Antioksidanlar", Türkiye 10. Gıda Kongresi Bildiri Kitabı, Erzurum, 1053- 1056.
- Eren, A., Mert, M. 2017. "Ağır Metal (Ni, Cd ve Cu) Uygulamalarının Andız Otu, Fener Otu ve Sığır kuyruğu Bitkilerinin Büyüme ve Gelişmesi Üzerine Etkisi", *Turk. J. Agric. Res.*, 4(1): 50-58.
- Finch-Savage, W. E., Leubner-Metzger, G. 2006. "Seed Dormancy and the Control of Germination," *New Phytology*, 171(3): 501-523.
- Franzaring, J., Damsohn, W., Fangmeier, A., Schlosser, S., Kurz, H., Büttner, P. 2018. "Phytotoxicity of Tin Mine Waste and Accumulation of Involved Heavy Metals in Common Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench)", *International Journal of Phytoremediation*, 20(5): 462–470.
- Gratao, L. P., Polle, A., Lea, P., Azevedo, A. 2005. "Making the Life of Heavy Metalstressed Plants a Little Easier", *Functional Plant Biology*, 32, 481-494.
- Guan, Z., Chai, T., Zhang, Y., Xu, J., Wei, W. 2009. "Enhancement of Cd Tolerance in Transgenic Tobacco Plants Overexpressing a Cd-Induced Catalase cDNA", *Chemosphere*, 76 (5): 623–630.
- Güneş, A., Topal, İ., Koç, H., Akçacık, A. G., Bayrak, H., Özcan, G., Taş, M. N., Acar, R. 2012. "Farklı Ekim Zamanlarının Karabuğday'da (*Fagopyrum esculentum* Moench.) Verim ve Bazı Verim Unsurlarına Etkisi", *Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Sempozyum Kitabı*, Tokat, 10-14.
- Guo, Y., Chen, F., Yang, L. Y., Huang, Y. 2007. "Analyses of Theseed Protein Contents on the Cultivated and Wild Buckwheat *Fagopyrum esculentum* Resources", *Genet. Resour. Crop. Evol.*, 54: 1465–1472.
- Guo, B., Liang, Y., Zhu, Y. 2009. "Does salicylic Acid Regulate Antioxidant Defense Systems, Cell Death, Cadmium Uptake and Partitioning To Acquire Cadmium Tolerance In Rice?", *J. Plant Physiol.*, 166: 20-31.
- Gür, N., Topdemir, A., Munzuroğlu, Ö., Çobanoğlu, D. 2004. "Ağır Metal İyonlarının (Cu+2, Pb+2, Hg+2, Cd+2) Clivia sp. Bitkisi Polenlerinin Çimlenmesi ve Tüp Büyümesi Üzerine Etkileri", *Fırat Üniversitesi Fen ve Matematik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 177-182.
- Haktanır, K., Arcak, S. 1998. "Çevre Kirliliği", *Ankara Üni. Ziraat Fak. Toprak Bölümü, Ankara Üni. Yayınları*, Yayın No: 1503, Ders Kitabı, Ankara, 357-375.
- He, J., Ren, Y., Zhu, C.i Jiang, D. 2008. "Effects of Cadmium Stress on Seed Germination, Seedling Growth and Seed Amylase Activities in Rice (*Oryza sativa*)", *Rice Science*, 15(4):319-325.
- Hirayama, T., Shinozaki, K. 2010. "Research on Plant Abiotic Stress Responses in The

- Post-Genome Era: Past, Present and Future”, *The Plant Journal*, 61:1041-1052.
- Işık, G., Çalıseki, M. 2017. “Ecophysiological Effects of Porsuk River’s Water and Boron Mine Wastewater on *Cucumis Sativus* L. Seeds”, *Acta Physica Polonica A*, 132 (3): 746-748.
- 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.
- Jamil, M., Deog, B. L., Kwang, Y. J., Ashraf, M., Sheong, C. L., Eui, S. R. 2006. “Effect of Salt (NaCl) Stress on Germination and Early Seedling Growth of Four Vegetables Species”, *Journal of Central European Agriculture*, 7(2): 273-282.
- Kaçar, B., Katkat, V. 2010. “Bitki Besleme”, 5. Baskı, *Nobel Yayıncılık*, Ankara, 22-27.
- Kan, A. 2014. “A New Plant for Turkey; Buckwheat (*Fagopyrum esculentum*)”, *Biological Diversity and Conservation*, 7(2), 154-158.
- Kantarıcı, M. D. 2000. “Toprak İlimi”, İÜ Toprak İlimi ve Ekoloji Anabilim Dalı, *İÜ Yayınları*, No. 4261, İstanbul, 142-155.
- Kayaçetin, F., Efeoğlu, B., Alizadeh, B. 2018. “Effect of NaCl and PEG-Induced Osmotic Stress on Germination and Seedling Growth Properties in Wild Mustard (*Sinapis arvensis* L.)”, *Anadolu J. of AARI*, 28(1): 62-68.
- Kranner, I., Colville, L. 2011. “Metals and Seeds: Biochemical and Molecular Implications and Their Significance for Seed Germination”, *Environmental and Experimental Botany*, 72(1):93-105.
- Laghmouchi, Y., Belmechdi, O., Bouyahya, A., Senhaji, N. S., Abrini, J. 2017. “Effect of temperature, salt stress and pH on seed germination of medicinal plant *Origanum compactum*”, *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 10: 156-160.
- Liu, Y., Yu, L., Chen, Y., Liu, X., Wu, L., Huang, J., He, S. 2006. “Lead tolerance of different *Fagopyrum esculentum* cultivars”, *Chinese Journal of Ecology*, 25(11):1344-1347.
- Liu, B., Zhang, K., Nie, H., Zhai, S. 2009. “Effect of Copper on Seed Germination and Seedling Growth of *Fagopyrum esculentum* Moench”, *Shandong Agricultural Sciences*, 2009-09.
- Liu, S., Yang, C., Xie, W., Xia, C., Fan, P. 2012. “The Effects of Cadmium on Germination and Seedling Growth of *Suaeda salsa*”, *Procedia Environmental Sciences* 16: 293-298.
- Madhava, R. K. V., Sresty, T. V. S. 2000. “Antioxidative Parameters in The Seedlings Of Pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millspaugh) in Response to Zn and Ni Stresses”, *Plant Sci.* 157, 113–28.
- Marschner, H. 1995. “Mineral Nutrition of Higher Plants”, *Academic Press*, London.
- Memon, S. Q., Mirjat, M. S., Mughal, A. Q., Amjad, N. 2013. “Effect of Conventional and Non-Conventional Tillage Practices on Maize Production”, *Pak. J. Agri., Agril. Engg., Vet. Sci.*, 29(2):155-163.
- Mirshekari, B. 2012. “Seed Priming With Iron and Boron Enhances Germination and Yield of Dill (*Anethum graveolens*)”, *Turk J. Agric. For.*, 36:27-33.
- Mishra, D., Kar, M. 1974. “Nickel in Plant Growth and Metabolism”, *Botanical Review*, 40:395-452.
- Munzuroğlu, Ö., Geçkil, H. 2002. “Effects of Metals on Seed Germination, Root Elongation, and Coleoptile and Hypocotyl Growth in *Triticum aestivum* and *Cucumis sativus*”, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 43(2): 203-217.
- Nasr, N. 2013. “Germination and Seedling Growth of Maize (*Zea mays* L.) Seeds in Toxicity of Aluminum and Nickel”, *Merit Research Journal of Environmental Science and Toxicology*, 1(5):110-113.
- Peng, L., Wang, S., Zou, L., Zhao, J., Zhao, G. 2012. “HPLC Fingerprint of Buckwheat from

- Different Habitats and Varieties”, *Phcog. Journal.*, Vol. 31: 5-10.
- Rajbhandari, P. 2004. “Eco-physiological Aspects of Common Buckwheat”, *Proceedings of the 9th International Symposium on Buckwheat.* 101-108. 2004, Prague.
- Sandalio, L. M., Dalurzo, H. C., Gomez, M., Romero-Puertas, M. C., del Rio, L. A. 2001. “Cadmium Induced Changes in The Growth And Oxidative Metabolism of Peaplants”, *Journal of Experimental Botany*, 52: 2115-2126.
- Shaikh, I. R. S., Rafique, A. S., Shaikh, A. A. 2013. “Phytotoxic Effects of Heavy Metals Parveen Rajjak (Cr, Cd, Mn and Zn) on Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seed Germination and Seedlings Growth in Black Cotton Soil of Nanded. India”, *Res. J. Chem. Sci.*, 3(6): 14-23.
- Skrabanja V., Elmstahl, H., Kreft, I., Bjorck, I. 2001. “Nutritional Properties of Starch in Buckwheat Products Studies in Vitro and in Vivo”, *J. Agr. Food. Chem.*, Vol. 49: 490-496.
- Sooyeon, L., Hyein, C., Saeyeon, K., Insook, L. 2013a. “The Genotoxic Effect of ZnO and CuO Nanoparticles on Early Growth of Buckwheat, *Fagopyrum esculentum*”, *Water, Air, & Soil Pollution*, 224:1668.
- Sooyeon, L., Sunghyun, K., Saeyeon, K., Insook, L. 2013b. “Assessment of Phytotoxicity of ZnO NPo on a medicinal plant, *Fagopyrum esculentum*”, *Environmental Science and Pollution Research*, 20(2): 848-854.
- Soudek, P., Katrusakova, A., Sedlacek, L., Petrova, S., Koci, V., Marsik, P., Griga, M., Vanek, T. 2010. “Effect of Heavy Metals on Inhibition of Root Elongation in 23 Cultivars of Flax (*Linum usitatissimum* L.)”, *Arch Environ Contam Toxicol.*, 59(2):194-203.
- Süzer, S. 2007. “Karabuğday Tarımı ve Çölyak Hastalarının Beslenmesindeki Önemi”, <http://www.tarimmerkezi.com/yazar>
- Sytar, O., Cai, Z., Brestic, M., Kumar, A., Prasad, M. N. V., Taran, N., Smetanska, I. 2013. “Foliar Applied Nickel on Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* L.) Induced Phenolic Compounds as Potential Antioxidants”, *Clean - Soil, Air, Water*, 41(11):1129–1137.
- Tamura, H., Honda, M., Sato, T., Kamachi, H. 2005. “Pb Hyperaccumulation and Tolerance in Common Buckwheat”, *J. Plant Res.*, 118:355–359.
- Toppi, L. S. D., Gabrielli, R. 1999. “Response to Cadmium in Higher Plants”, *Environ. Exp. Bot.*, 41: 105-30.
- Tran, T. A., Popova, L. P. 2013. “Functions and Toxicity of Cadmium in Plants: Recent Advances and Future Prospects”, *Turk. J. Bot.*, 37: 1-13.
- Tziourtzioumis, D., Demetriades, L., Zogou, O. and Stamatelos, A. M. 2009. “Experimental Investigation of The Effect of a B70 Biodiesel Blend On A Common-Rail Passenger Car Diesel Engine”, *Automobile Engineering*, 223: 685-701.
- Vitoria, A. P., Lea, P. J., Azevedo, R. A. 2001. “Antioxidant Enzymes Responses to Cadmium in Radish Tissues”, *Phytochemistry*, (57), 701-710.
- Waisberg, M., Joseph, P., Hale, B., Beyersmann, D. 2003. “Molecular and Cellular Mechanisms of Cadmium Carcinogenesis”, *Toxicology*, 192: 95-117.
- Wang, C. X., Mo, Z., Wang, H., Wang, J. Z., Cao, Z. H. 2003. “The Transportation, Time-Dependent Distribution of Heavy Metals in Paddy Crops”, *Chemosphere*, 50: 717-723.
- Watanabe, M., Ohshita, Y., Tsushida, T. 1997. “Antioxidant Compounds from Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) Hulls”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 1039-1044.
- Yavuz, H. 2014. “Aydın Ekolojik Koşullarında Farklı Ekim Sıklığının Karabuğday’da (*Fagopyrum esculentum* moench.) Verim ve Bazı Kalite Özelliklerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Aydın, 7-16.

Yıldız, N. 2001. "Toprak Kirletici Bazı Ağır Metallerin (Zn, Cu, Cd, Pb, Co ve Ni) Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler", Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 32 (2): 207-213.