

Bazı Ağır Metallerin Yem Şalgamı'nda (*Brassica rapa* L. var. *rapa*) Tohum Çimlenmesi ve Fide Büyümesi Üzerine Etkisi

Cennet ÖZAY¹

ÖZET: Bu çalışmada, Brassicaceae familyasına ait olan yem şalgamının (*Brassica rapa* L. var. *rapa*) tohumlarına farklı konsantrasyonlarda (0.5, 1, 3, 5 ve 7.0 mM) nitrat tuzu şeklinde uygulanan bazı ağır metallerin (Pb, Cu, Cd ve Mn) tohum çimlenmesi ve kök-gövde gelişimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Tohumlar yüzey sterilizasyonu sonrası, ağır metallerin belirlenen konsantrasyonlardaki 5 ml'lik çözeltilerinde, kontrol grubu ise distile su içerisinde 6 saat şişirilmeye bırakılmıştır. Bu süre sonunda şişme ortamından alınan tohumlardan, 9 cm'lik plastik petripler içerisindeki 5 ml şişme ortamı sıvısıyla ıslatılmış çift katlı kaba filtre kağıtlarının üzerine, her bir petriye 25'er tohum gelecek şekilde ekim yapılmıştır. Ekimden hemen sonra kapağı kapatılan petripler bitki büyüme kabineine kaldırılmış ve 72 sa süreyle 23 ± 1 °C'de karanlık ortamda çimlenmeye bırakılmıştır. Radikula belirimi esasına göre tohumların çimlenme oranları 72 saat sonunda tespit edilmiştir. Ayrıca süre sonunda her bir gruptaki tohumların kök ve gövde uzunlukları da ölçülerek kaydedilmiştir. Tohum çimlenmesi ile kök ve gövde büyümesinin, uygulanan ağır metal konsantrasyonlarındaki artışa paralel olarak azaldığı belirlenmiştir. Pb'ye toleranslı olduğu bilinen yem şalgamının tohumlarında Mn'dan sonra en yüksek çimlenme yüzdesinin Pb uygulamasında görülmesi, bu türün toksisite eşik değerinin yüksek olduğunu kanıtlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, *Brassica rapa* L. var. *rapa*, çimlenme, kök-gövde gelişimi.

Effect of Some Heavy Metals on Seed Germination and Seedling Growth in Fodder Turnip (*Brassica rapa* L. var. *rapa*)

ABSTRACT: In this study, effect of some heavy metals (Pb, Cu, Cd ve Mn) in the form of nitrate salt at different concentrations (0.5, 1, 3, 5 ve 7.0 mM) on seed germination and root-shoot growth in *Brassica rapa* L. var. *rapa* (fodder turnip) were investigated. After surface sterilization, the seeds were allowed to inflate in 5 ml solutions at the determined concentrations of heavy metals, while the control group was inflated in distilled water for 6 hours. At the end of this period, the seeds taken from the swelling medium were sown on the double layer rough filter papers, which were soaked in 5 ml of swelling medium liquid in 9 cm plastic petri-dishes, with 25 seeds on each dishes. Immediately after sowing, the petri-dishes were covered and kept into plant growth cabinet to germinate in the dark at 23 ± 1 °C for 72h. The germination rates of seeds were determined at the end of 72 hours on the basis of radicle formation. At the end of the period, root and shoot lengths of the germinated seeds in each group were also measured and recorded. It has been determined that seed germination and root-shoot growth decrease in parallel with the increase in applied heavy metal concentrations. Detection of the highest germination percentage of fodder turnip (known as Pb-tolerant) in Pb treatment after Mn proves that the toxicity threshold value of this species is high.

Keywords: Heavy metal, *Brassica rapa* L. var. *rapa*, germination, root-shoot growth.

¹ Cennet ÖZAY (0000-0002-1120-6122), Pamukkale Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Denizli, Türkiye
Sorumlu yazar/Corresponding Author: Cennet ÖZAY, cennetozay@hotmail.com

GİRİŞ

Çevre kirliliği dünyada öncelik verilmesi gereken en önemli problemlerden biridir. İnsan aktiviteleri, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde geçtiğimiz yüzyılda geniş alanların kirlenmesine sebep olmuştur. Ağır metaller ve pestisitler, çözücüler, patlayıcılar ve poliaromatik hidrokarbonlar gibi organik bileşikler en önemli kirleticilerden olup düşük dozlarda dahi toksik etki gösterebilmektedirler. Biyosferin ağır metallerce kirlenmesi endüstri devrimi ile başlamış olup (Memon and Schröder, 2009), insanoğlu, endüstriyel atıklar ve dumanlar, tarımsal uygulamalar, araç egsozları, enerji ve yakıt üretimi, madencilik gibi farklı yollarla çevrenin ağır metal oranını arttırmaktadır.

En yaygın bulunan ağır metal kirleticileri Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Ni ve Zn'dur (Jadia and Fulekar, 2008). Bu metallerin bazıları (iz metaller) düşük dozda bitkiler için gerekli iken, yüksek dozda bitkilerde toksik etkiye neden olmaktadır. Örneğin Cu, Mn ve Zn bitki büyümesi için gerekli iz elementlerdendir, ancak yüksek miktarlarda toksik olup birçok biyolojik süreç zarar vermektedirler. Buna karşılık Pb ve Cd genellikle bitkiler için gerekli olmayan metaller olarak bilinir ve her ikisinin de bitkilerin fotosentez sistemine, klorofil sentezine etkileri bulunmaktadır. Bitkide bu metallerin etkileri kloroza, biyokütle azalmasına, kök gelişiminin engellenmesine neden olurken, en sonunda bitkinin ölümüne yol açmaktadır (Tang et al., 2009).

Bitkilerin ağır metal toksisitesine karşı toleransları bitki türüne, element türüne, strese maruz kalma süresine ve strese maruz kalan doku veya organın yapısına bağlı olarak değişmektedir. Bazı bitkilerin topraktan ağır metal alımında yüksek oranda etkili olduğu ve bu tür bitkilerin ağır metal toksisitesine karşı toleranslı olduğu belirlenmiştir. Hiperakümülatör olarak da isimlendirilen bu bitkilerin arasında Brassicaceae, Euphorbiaceae, Asteraceae, Lamiaceae ve Scrophulariaceae gibi familya üyeleri sayılabilir (Cunningham and Ow, 1996).

Tohum çimlenmesi ve fide gelişimi aşamasında metallere karşı verilen tepkilerle ilgili olarak türler içinde veya türler arasında varyasyonların olduğu vurgulanmaktadır. (Kranner and Colville, 2011). Yapılan birçok çalışmayla ağır metal stresinin bitki türüne göre farklı derecede etki gösterdiği ve bunun da bitki türünün sahip olduğu tolerans mekanizmalarıyla alakalı olduğu anlaşılmaktadır. Metal toleranslı

bitkilerin ve hiperakümülatör türlerin tohumlarında toksisite eşik değeri toleranslı olmayan türlerin eşik değerinden daha yüksektir. Genel olarak her bir ağır metalin türler üzerindeki toksik etkisinin ve türün her bir metale karşı göstereceği tolerans seviyesinin farklı olduğu kanaatine varılmıştır (Kranner and Colville, 2011).

Bu çalışmada bazı ağır metallerin (Pb, Cu, Cd ve Mn), Brassicaceae familya üyesi olan yem şalgamında (*Brassica rapa* L. var. *rapa*) tohum çimlenmesi ve kök-gövde gelişimini ne ölçüde etkiledikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bitki Materyali

Bitki materyali olarak, Turpgiller (Brassicaceae) familyasından yem şalgamı (*Brassica rapa* L. var. *rapa* cv. Siloganova) kullanılmıştır. Yem şalgamındaki çeşit sayısı sınırlıdır. Piyasada Siloganova, Polybra, Agressa, Vobra adında tescilli çeşitler mevcuttur. Yem şalgamı tohumları, ticari bir firmadan temin edilmiştir. Siloganova çeşidi "diploid" olup Almanya'da bulunan "Bruno Nebelung Co." Firması tarafından ıslah edilmiş ve üretimi yapılmaktadır.

Çimlenme Deneyleri

Ağır metal olarak kurşun (Pb⁺⁺), bakır (Cu⁺⁺), kadmium (Cd⁺⁺) ve mangan (Mn⁺⁺)'ın nitrat tuzları ((Pb(NO₃)₂, Cu(NO₃)₂, Cd(NO₃)₂.4H₂O ve Mn(NO₃)₂) kullanılmıştır. Tohumlar, yüzey sterilizasyonu için %10'luk sodyum hipoklorit (NaOCl) çözeltisi ile 15 dakika muamele edilmiş ve daha sonra distile su ile en az 5 kere yıkanarak farklı konsantrasyonlarda (0.5, 1, 3, 5 ve 7.0 mM) hazırlanan ağır metal çözeltilerinde, kontrol grubu ise distile su içerisinde 6 saat süre ile şişirilmiştir. Bu süre sonunda şişme ortamından alınan tohumlardan, 9 cm'lik plastik petriyer içerisindeki 5 mL şişme ortamı sıvısıyla ıslatılmış çift katlı filtre kağıtlarının üzerine, her bir petriye 25'er tohum gelecek şekilde ekim yapılmıştır. Her bir seri 3 tekrarlı olarak yürütülmüştür. Ekimden hemen sonra kapağı kapatılan petriyer bitki büyüme kabinine kaldırılmış ve 72 saat süreyle 23±1 °C'de karanlık ortamda çimlenmeye bırakılmıştır. Radikula belirimi esasına göre tohumların çimlenme oranları 72 saat sonunda tespit edilmiştir. Ayrıca süre sonunda her bir gruptaki tohumların kök ve gövde uzunlukları da ölçülerek kaydedilmiştir.

İstatistiksel Değerlendirme

Elde edilen veriler, SPSS programında Oneway ANOVA Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi ile istatistiksel açıdan değerlendirilmiş ve $p < 0.05$ önemli düzey olarak kabul edilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

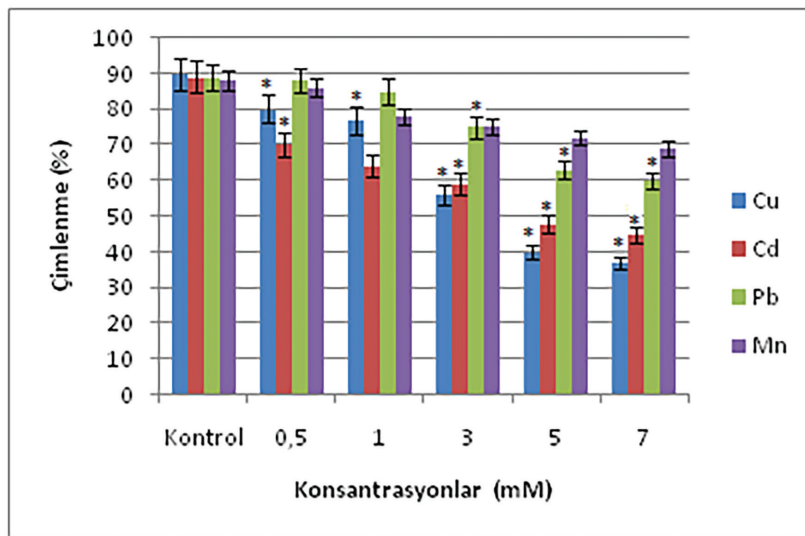
Tohum Çimlenmesi

Brassica rapa L. var. *rapa* tohumlarının Pb, Cu, Cd ve Mn'in farklı konsantrasyonlarında (0.5, 1, 3, 5 ve 7.0 mM) belirlenen çimlenme yüzdeleri (%) Şekil 1'de verilmiştir. Tüm gruplarda en yüksek çimlenme yüzdesi kontrol grubunda gözlenirken, Mn hariç diğer ağır metal uygulamaları ile kontrol arasındaki fark anlamlı ($p < 0.05$) bulunmuştur. En düşük çimlenme yüzdesi 7 mM Cu uygulamasında görülürken, Cu'nun kontrol grubuna göre çimlenmeyi %58.9 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir. Bitki büyümesi için gerekli bir iz element olan Mn, en yüksek konsantrasyonda tohum çimlenmesi üzerinde düşük oranda (%21.5) negatif etki göstermiştir. Bitkiler için gerekli olmayan Pb ise en yüksek konsantrasyonda çimlenmeyi %32.5 oranında engellemiştir yani toksisite eşik değeri yüksektir. Bu sonuç bize *Brassica rapa* L. var. *rapa* tohumlarının Pb'a olan toleransını göstermektedir.

Ağır metaller biyolojik döngü içinde en önemli zararlarını bitkilerde meydana getirmektedir (Peralta-Videa et al., 2004). Tohum çimlenmesi, bir bitkinin

yaşam döngüsü içerisindeki en önemli aşamalardan bir tanesidir ve mevcut çevreye son derece duyarlıdır (Kuriakose and Prasad, 2008). Bu sebeple tohum çimlenmesi ve kök uzama çalışmaları çevredeki değişimlerin biyolojik olarak takibinde hassaslığından, basitliğinden ve düşük maliyetinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır (Siddiqui et al., 2011).

Bitki tohumlarının Pb stresi altında çimlenme yeteneklerinde farklı tepkiler rapor edilmiştir. Kontrol grubuna göre, 1 mM $PbCl_2$ ile muamele edilen mercimek (*Lens culinaris* Medik.) tohumlarında çimlenmenin %10 oranında (Kıran ve Şahin, 2005), pirinç (*Oryza sativa*) tohumlarında ise (Verma and Dubey, 2003) % 30 oranında azaldığı rapor edilmiştir. 0.5-8.0 mM $PbCl_2$ ile muamele edilen buğday (*Triticum aestivum* L.) ve salatalık (*Cucumis sativus* L.) tohumlarında en yüksek kurşun konsantrasyonlarında bile % 20'yi aşmayan çimlenme kayıpları gözlenmiştir (Munzuroğlu ve Geçkil, 2002). Ağır metal stresine maruz bırakılan bitki türlerinin farklı çimlenme tepkileri vermeleri, tohum kabuklarının ağır metalleri farklı oranlarda tohum içine geçirmeleri şeklinde açıklanmıştır (Li et al., 2005). Çimlenmeyi etkileme oranları bakımından uygulanan ağır metaller çoktan aza doğru $Cu > Cd > Pb > Mn$ şeklinde sıralanmıştır. *Brassica rapa* var. *turnip* bitkisinde Cd, Cr ve Pb'nin tohum çimlenmesi ve fide büyümesi üzerine etkileri incelenmiş ve her iki parametre için de etkili olan ağır metaller çoktan aza doğru $Cd > Cr > Pb$ şeklinde sıralanmıştır (Siddiqui et al., 2014).

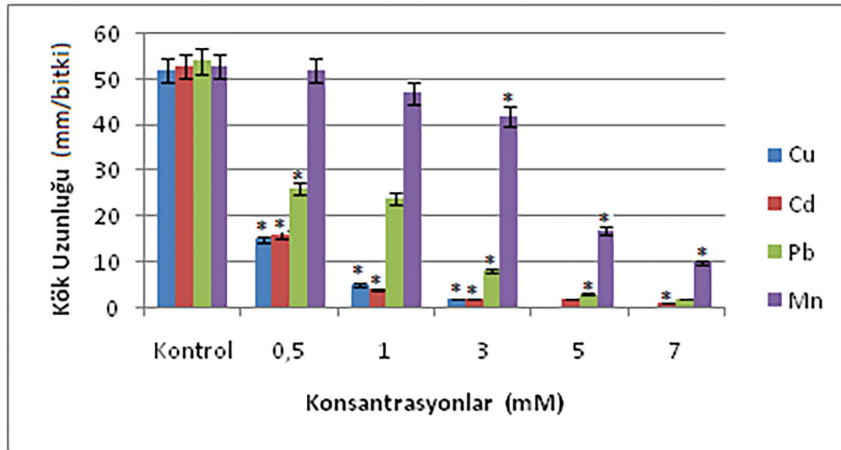


Şekil 1. *Brassica rapa* L. var. *rapa* tohumlarının Pb, Cu, Cd ve Mn'in farklı konsantrasyonlarında belirlenen çimlenme yüzdeleri. *Ortalamalar arasındaki fark 0.05 seviyesinde önemli.

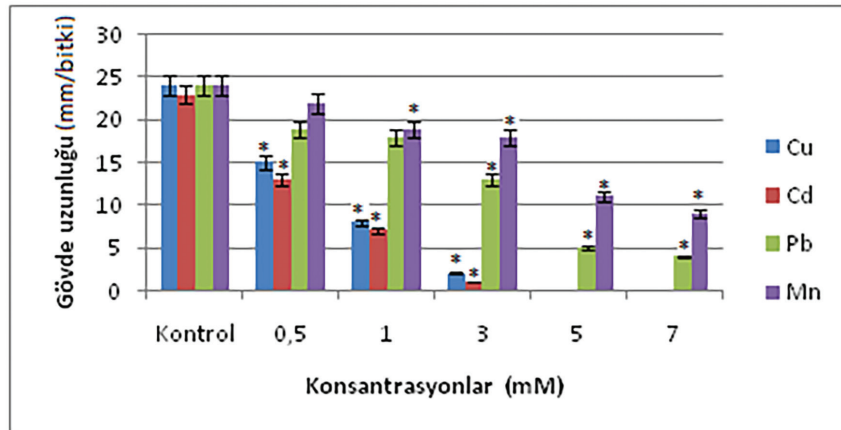
Kök-Gövde Gelişimi

Uygulanan metal serilerine göre tohumlarda saptanan kök uzunluğu (mm), gövde uzunluğu (mm) ve kök/gövde oranı sırasıyla Şekil 2, 3 ve 4'de gösterilmiştir. Ölçülen kök ve gövde uzunlukları ağır metal konsantrasyonunun artışına bağlı olarak önemli düzeyde ($P < 0.05$) azalmıştır. Beş ve 7 mM Cu uygulaması kök ve gövde uzamasını tamamen inhibe etmiştir. Cd uygulamasında kontrol grubu kök uzunluğu 53.00 ± 2.66 mm iken 7 mM Cd'da kök uzunluğu 1.00 ± 0.64 mm'ye düşmüştür. Yani 7 mM Cd uygulaması kök uzunluğunu % 98.1 oranında azaltmıştır. Beş ve 7 mM Cd uygulaması ise gövde uzamasını tamamen durdurmuştur. Cu ve Cd uygulaması, özellikle 1 mM'dan sonra gövde uzamasını köke göre daha fazla etkilemiştir. Mn'nin tüm konsantrasyonlarında gövde köke göre daha çok etkilenmiştir. Buradan gövdenin Mn'a karşı daha hassas olduğu sonucuna ulaşılabılır. Pb uygulamasında ise kontrol, 0.5 ve 1 mM'da gövde

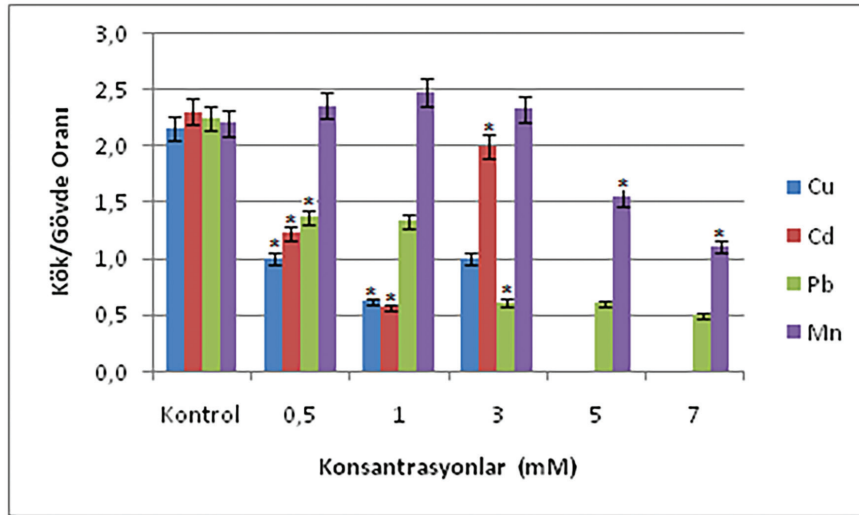
daha çok etkilenirken 3, 5 ve 7 mM'da kökler daha çok etkilenmiştir. Gövdenin daha az zarar görmesi, kök sistemindeki endodermisin kurşuna karşı bir bariyer oluşturarak kurşunun bitki gövdesine taşınmasının engellemesiyle açıklanmaktadır (Verma and Dubey, 2003). Kök büyümesindeki inhibisyonun nedeni olarak kök meristemindeki hücrelerin uzamasının ve/veya hücre bölünmesinin zarar görmesi gösterilmektedir (Sharma and Dubey, 2005). Kök uzama aşamasının uygulanan tüm ağır metallerin toksik etkisine karşı tohum çimlenme aşamasından daha hassas olduğu anlaşılmıştır. Bu durumun sebebi tohum kabuğunun metal alınımına karşı bariyer olarak rol almasından kaynaklanabilir (Li et al., 2005). Kök/gövde oranında tüm metaller için en yüksek ortalama değer Mn hariç kontrol gruplarında hesaplanırken, en düşük ortalama değer ise 7 mM Pb grubunda (0.50 ± 0.15) hesaplanmıştır. Beş ve 7 mM Cu ile Cd uygulaması için kök/gövde oranı belirlenememiştir.



Şekil 2. *Brassica rapa* L. var. *rapa* tohumlarının Pb, Cu, Cd ve Mn'nin farklı konsantrasyonlarında belirlenen kök uzunlukları (mm). *Ortalamalar arasındaki fark 0.05 seviyesinde önemli.



Şekil 3. *Brassica rapa* L. var. *rapa* tohumlarının Pb, Cu, Cd ve Mn'nin farklı konsantrasyonlarında belirlenen gövde uzunlukları (mm). *Ortalamalar arasındaki fark 0.05 seviyesinde önemli.



Şekil 4. *Brassica rapa* L. var. *rapa* tohumlarının Pb, Cu, Cd ve Mn'in farklı konsantrasyonlarında belirlenen kök/gövde oranları. *Ortalamalar arasındaki fark 0.05 seviyesinde önemli.

Bitki kök ve fideleri absorbe edilen kurşuna karşı büyüme hızlarını değiştirerek cevap verirler (Sharma and Dubey, 2005). Düşük kurşun konsantrasyonları ile muamele edilen *Lupinus luteus*, *Sesamum indicum*, *Sinapis alba* (hardal) *Raphanus sativus* (turp) ve *Lactuca sativa* tohumlarının çimlenmesinde, fidelerin kök ve gövde uzunluklarında, kontrole göre belirgin bir farkın olmadığı, ancak yüksek kurşun konsantrasyonlarında tohumların çimlenmelerinde, kök ve gövdenin uzamasında konsantrasyon artışıyla birlikte azalma olduğu, ayrıca kökün gövdeye göre daha fazla etkilendiği bildirilmiştir (Fargasova, 1994). Farklı konsantrasyonlarda $Pb(NO_3)_2$ uygulamalarının *Brassica pekinensis* Rupr. (Xiong, 1998) ve *Brassica juncea* L. (Jiang and Liu, 1999)'de kök ve fide gelişimini engellediği bildirilmiştir. Bazı ağır metallerin, Hint hardalı (*Brassica juncea*)'nın kök ve gövde uzaması üzerine olan etkileri incelendiğinde; Pb, Ar, Cd ve Ni'in Se, Cr ve Cu'a göre kök ve gövde uzamasında daha çok azalmaya sebep olduğu tespit edilmiştir (Sen et al., 2013). *Brassica juncea*'nın iki farklı genotipi üzerinde yapılan bir çalışmada (Chaturvedi, 2004) artan Cd konsantrasyonuna bağlı kök ve gövde gelişiminde önemli derecede bir azalmalar gözlenmiştir. Bulgularımıza göre, tüm ağır metal solüsyonlarının konsantrasyonundaki artış ile kök ve gövde büyümesinin inhibisyonu arasında pozitif bir korelasyon gözlenmiştir.

Gövde kuru ağırlığında 1000 mg/kg'dan daha fazla Cu, Co, Cr, Ni ve Pb ya da 10.000 mg/kg'dan

daha fazla Fe, Mn ve Zn depo edebilen bitkiler, yüksek seviyede metal biriktirici (hiperakümülatör) olarak tanımlanmaktadır (Baker and Brooks, 1989; Market, 2003).

Günümüzde topraktaki ağır metal kirliliğinin temizlenmesinde (fitoremediasyon) ağır metallere toleranslı ve hiperakümülatör bitkiler kullanılmaktadır. Biyokütlesi fazla, gelişmiş bir kök sistemine sahip ve hızlı büyüyen bitkiler bu bağlamda tercih edilmektedir ve bu tip özelliklere sahip bitkilerin tespit edilmesi önem kazanmaktadır. Daha önceki çalışmalarda *B. juncea*, *B. napus*, ve *B. oleracea* gibi *Brassica* türlerinde yüksek seviyelerde metal birikimi (hiperakümülatör) gözlenmiştir (Ali et al., 2014; Gill et al., 2015; Nanda-Kumar et al., 1995). Çalışma materyali olan yem şalgamının (*Brassica rapa* L. var. *rapa*) kök ve gövdesinde kurşun biriktirme bakımından oldukça kabiliyetli olduğu daha önceki bir çalışmada tespit edilmiştir. ICP-OES analizleri, yem şalgamının 1, 3 ve 5 mM Pb uygulamasında, toprak üstü kısmında 1000 mg/kg'dan daha fazla Pb biriktirme yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir.

Büyüme ortamındaki artan Pb konsantrasyonuna bağlı Pb alımında bir artış gözlenirken köklerde daha fazla Pb birikimi olduğu belirlenmiştir. Toprak üstü kısmındaki Pb miktarı 7773.20 ± 56.97 mg/kg iken kökte ise bu miktar 13829.60 ± 147.36 mg/kg olarak ölçülmüştür (Cenkci et al., 2010). Elde edilen bu veriler, yem şalgamının hiperakümülatör potansiyele sahip olduğuna işaret eder.

SONUÇ

Pb'ye toleranslı olduğu bilinen yem şalgamının tohumlarında Mn'dan sonra en yüksek çimlenme yüzdesinin Pb uygulamasında görülmesi, bu türün toksisite eşik değerinin yüksek olduğunu kanıtlamaktadır. Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmanın çimlenme aşamasında yapılması,

metallerin olası etkilerinin daha hızlı ortaya konulması açısından faydalı olmuştur. İleriki çalışmalarda, aynı konsantrasyonlarda Pb'den daha yüksek çimlenme oranına sahip olan Mn'ın fide gelişimi evresinde kök ve gövde dokularında Mn biriktirme oranına bakılarak yem şalgamının Mn hiperakümülatörü olup olmadığı araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Ali B., Qian P., Jin R., Ali S., Khan M., Aziz R., et al. 2014. Physiological and ultra-structural changes in *Brassica napus* seedlings induced by cadmium stress. *Biologia Plantarum*, 58 131–138.
- Baker AJM, Brooks RR, 1989. Terrestrial Higher Plants Which Hyperaccumulate Metallic Elements—A Review of Their Distribution, Ecology and Phytochemistry. *Biorecovery*, 1: 81-126.
- Cenkci S, Cigerci IH, Yıldız M, Özay C, Bozdağ A, Terzi H, 2010. Lead contamination reduces chlorophyll biosynthesis and genomic template stability in *Brassica rapa* L. *Environmental and Experimental Botany*, 67(3): 467- 473.
- Chaturvedi I, 2004. Phytotoxicity of cadmium and its effect on two genotypes of *Brassica juncea* L. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 16(2): 01-08.
- Cunningham SD, Ow DW, 1996. Promises and prospects of phytoremediation. *Plant Physiology*, 110: 715-719.
- Fargasova A, 1994. Effect of Pb, Cd, Hg, As and Cr on germination and root growth of *Sinapis alba* seeds. *Bulletin of Environmental Contamination Toxicology*, 52: 452-456.
- Gill RA, Zang L, Ali B, Farooq MA, Cui P, Yang S, Ali S, Zhou W, 2015. Chromium-induced physio-chemical and ultrastructural changes in four cultivars of *Brassica napus* L. *Chemosphere*, 120: 154-164.
- Jadia CD, Fulekar MH, 2008. Phytoremediation: The application of vermicompost to remove zinc, cadmium, copper, nickel and lead by sunflower plant. *Environmental Engineering and Management Journal*, 7(5): 547-558.
- Jiang WS, Liu DH, 1999. Effects of Pb²⁺ on root growth, cell division and nucleolus of *Brassica juncea* L. *Israel Journal of Plant Sciences*, 47: 153-156.
- Kıran Y, Şahin A, 2005. Kurşunun *Lens Culinaris* Medik. Tohumlarının Çimlenmesi, Kök Gelişimi Ve Kök Ucu Hücreleri Üzerindeki Mitotik Etkileri. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18(1): 17-25.
- Kranner I, Colville L, 2011. Metals and seeds: Biochemical and molecular implications and their significance for seed germination. *Environmental and Experimental Botany*, 72: 93-105.
- Kuriakose SV, Prasad MNV, 2008. Cadmium stress affects seed germination and seedling growth in *Sorghum bicolor* (L.) Moench by changing the activities of hydrolyzing enzymes. *Plant Growth Regulation*, 54: 143-156.
- Li WQ, Khan MA, Yamaguchi S, Kamiya Y, 2005. Effects of heavy metals on seed germination and early seedling growth of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Growth Regulation*, 46: 45-50.
- Market B, 2003. Element concentration in ecosystems. International Institute of Advanced Ecological and Economic Studies, Zittau, Germany.
- Memon AR, Schröder P, 2009. Implications of metal accumulation mechanisms to phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research*, 16(2): 162-175.
- Munzuroğlu O, Geçkil H, 2002. Effects of metals on seed germination, root elongation, and coleoptile and hypocotyl growth in *Triticum aestivum* and *Cucumis sativus*. *Environmental Contamination and Toxicology*, 43: 203-213.
- Nanda-Kumar PBA, Dushenkov V, Motto H, Raskin I, 1995. Phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soils. *Environmental Science and Technology*, 29: 1232-1238.
- Özay C, Mammadov R, 2013. Ağır Metaller ve Süs Bitkilerinin Fitoremediasyonda Kullanılabilirliği. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15: 67-76.
- Peralta-Videa JR, Rosa G, Gonzalez JH, Gardea-Torresdey JL, 2004. Effects of The Growth Stage on The Heavy Metal Tolerance of Alfalfa Plants. *Advances in Environmental Research*, 8: 679-685.
- Sen A, Shukla KK, Singh S, Tejovathi G, 2013. Impact of heavy Metals on Root and Shoot Length of Indian Mustard: An Initial Approach for Phytoremediation. *Science Secure Journal of Biotechnology*, 2(2): 48-55.
- Sharma P, Dubey RS, 2005. Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1): 35-52.
- Siddiqui AH, Tabrez S, Ahmad M, 2011. Validation of plant based bioassays for the toxicity testing of Indian waters. *Environmental Monitoring and Assessment*, 179: 241-253.
- Siddiqui MM, Abbasi BH, Ahmad N, Ali M, Mahmood T, 2014. Toxic effects of heavy metals (Cd, Cr and Pb) on seed germination and growth and DPPH-scavenging activity in *Brassica rapa* var. *turnip*. *Toxicology and Industrial Health*, 30(3): 238-249.
- Tang YT, Qiu RL, Zeng XW, Ying RR, Yu FM, Zhou XY, 2009. Lead, zinc, cadmium hyperaccumulation and stimulation in *Arabidopsis paniculata* Franch. *Environmental and Experimental Botany*, 66: 126-134.
- Verma S, Dubey RS, 2003. Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. *Plant Science*, 164: 645-655.
- Xiong ZT, 1998. Lead Uptake and Effects on Seed Germination and Plant Growth in a Pb Hyperaccumulator *Brassica pekinensis* Rupr. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 60: 285-291.