



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAZI AĞIR METALLERİN *VERBASCUM OLYMPICUM* BOISS.
(SCROPHULARIACEAE) TÜRÜNÜN TOHUM ÇİMLENMESİ ÜZERİNDE
ETKİLERİ

Sevgi DERYA

Prof. Dr. Gürcan GÜLERYÜZ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

BURSA-2012
Her hakkı saklıdır

BAZI AĞIR METALLERİN *VERBASCUM OLYMPICUM* BOISS.
(SCROPHULARIACEAE) TÜRÜNÜN TOHUM ÇİMLENMESİ ÜZERİNDE
ETKİLERİ

Sevgi DERYA

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

08/11/2012

İmza

Sevgi DERYA

Yüksek Lisans Tezi

BAZI AĞIR METALLERİN *VERBASCUM OLYMPICUM* BOISS.
(SCROPHULARIACEAE) TÜRÜNÜN TOHUM ÇİMLENMESİ ÜZERİNDE
ETKİLERİ

Sevgi DERYA

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Gürcan GÜLERYÜZ

Verbascum olympicum Boiss. (Scrophulariaceae) Uludağ'ın alpin ve subalpin kuşağında inşaat alanı, yol kenarı, maden gibi bozulmuş alanlar üzerinde yerleşen öncü türlerden birisidir. Bu çalışmada *Verbascum olympicum* Boiss. (Scrophulariaceae) türünün tohum çimlenmesi ve erken fide gelişimi üzerine beş ayrı ağır metalin (Cd, Cu, Zn, Cr ve Ni) toksik etkileri araştırılmıştır. Genel olarak metal konsantrasyonunun artışıyla tohum çimlenme yüzdesi azalmıştır. 500 µM'lık Cd, Cu ve Ni ve üzeri konsantrasyonlarda, 250 µM Cr ve üzeri konsantrasyonlarda ve 1250 µM Zn ve üzeri konsantrasyonlarda atipik çimlenme gözlemlenmiştir. Metal konsantrasyonunun artışıyla kök uzunluğunda kontrole göre azalma meydana gelmiştir. Gövde uzunluğunda genel olarak kontrole göre artış olmuştur. Çimlenme süresi konsantrasyon artışıyla uzamıştır. Çimlenme oranının etkilenmemesine rağmen, kök uzaması metal konsantrasyonuna bağlı olarak azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çimlenme, ağır metal, toksisite, *Verbascum olympicum*
2012, vi + 42 sayfa.

MSc Thesis

EFFECTS OF SOME HEAVY METALS ON SEED GERMINATION OF
VERBASCUM OLYMPICUM BOISS. (SCROPHULARIACEAE)

Sevgi DERYA

Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biology

Supervisor: Prof. Dr. Gürcan GÜLERYÜZ

Verbascum olympicum Boiss. (Scrophulariaceae) is one of the pioneer species a settled on destroyed areas such as road sides, building areas and mining in the alpine and subalpine belt of Mount Uludağ. In this study, toxic effects of five different metals (Cd, Cu, Cr, Ni ve Zn) on seed germination and early seedling development of *Verbascum olympicum* (Scrophulariaceae) were investigated. In general, the germination percentage decreased with increasing concentrations of metal. Atypical germinations were observed at the concentrations of 500 µM of Cd, Cu and Ni, and 250 µM of Cr, and 1250 µM of Zn and above concentrations of these. Root length compared to control decreased with increasing concentrations of the metals. Seedling length was increased compared to control in general. Germination time was prolonged with increasing concentrations. Although germination rates were not affected, root elongated was decreased depending on metal concentrations.

Key Words: Germination, heavy metals, toxicity, *Verbascum olympicum*
2012, vi + 42 page.

TEŞEKKÜR

Çalışma konumu belirleyerek beni yönlendiren, çalıőmalarımın tüm safhalarında derin bilgi birikimi ve tecrübesiyle bana yardımcı olan ve her türlü desteği sağlayan saygıdeğer hocam Prof.Dr. Gürcan GÜLERYÜZ'e; arazi çalışmaları ve teknik çalıőmalar dâhil, çalıőmalarımın tüm safhalarında bana yardımcı olan sevgili hocalarım Doç. Dr. Hülya ARSLAN ve Öğr. Gör. Dr. Serap KIRMIZI'ya; çalışma süresince her konuda benden yardımını esirgemeyen Ayőegül AKPINAR'a; çalıőmam süresince bana sabırla katlanarak maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen babam Yılmaz DERYA, annem Meryem DERYA, sevgili eőim Salih KÖROĞLU, kardeőlerim Hatice, Fatma ve Ayőenur DERYA' ya; Bursa İl Özel İdaresi Sağlık ve Çevre Daire Başkanlığındaki tüm çalışma arkadaőlarıma teşekkür ederim.

Sevgi DERYA
08.11.2012

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	İ
ABSTRACT.....	İİ
TEŞEKKÜR.....	İİİ
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Tohum Çimlenmesi ve Dormansi.....	4
2.2. Ağır Metallerin Tohum Çimlenmesi ve Fide Gelişimi Üzerindeki Etkileri...	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	17
3.1. Materyal.....	17
3.2. Yöntem.....	18
3.2.1. Çimlenme Deneyleri.....	18
3.2.2. Sonuçların Değerlendirilmesi ve Uygulanan İstatistik Yöntemler.....	19
4. BULGULAR.....	20
4.1. Kadmiyum (Cd).....	20
4.2. Krom (Cr).....	22
4.3. Bakır (Cu).....	24
4.4. Nikel Ni.....	26
4.5. Çinko Zn.....	28
5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	32
KAYNAKLAR.....	36
ÖZGEÇMİŞ.....	42

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 4.1. <i>V. olympicum</i> tohumlarının Cd, Cr, Cu, Ni ve Zn'un farklı konsantrasyonlarında belirlenen çimlenme yüzdesi ve çimlenme süreleri.....	30
Şekil 4.2. <i>V. olympicum</i> fidelerinde belirlenen gövde ve kök uzunlukları.....	31
Şekil 4.3. <i>V. olympicum</i> fidelerinde belirlenen kök/gövde ve gövde/kök oranları...	31

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1.1. <i>V. olympicum</i> tohumlarının çimlendirilmesinde kullanılan ağır metal tuzları ve bu metallerin konsantrasyonları.....	18
Çizelge 4.1.1. <i>V. olympicum</i> tohumlarında 0, 50, 75, 100 ve 250 µM Cd konsantrasyonlarda saptanan kök uzunluğu (mm), gövde (mm), kök/gövde oranı, gövde/kök oranı, çimlenme (çim.) yüzdesi (%) ve çimlenme süresi (gün) değerlerinin ortalamaları [p<0,05, aynı harfler aynı fark grubunu, farklı harfler fark gruplarını göstermektedir].....	20
Çizelge 4.2.1. <i>V. olympicum</i> tohumlarında 0, 50, 75 ve 100 µM Cr konsantrasyonlarda saptanan kök uzunluğu (mm), gövde uzunluğu (mm), kök/gövde oranı, gövde/kök oranı, çimlenme yüzdesi (%) ve çimlenme süresi (gün) değerlerinin ortalamaları [p<0,05, aynı harfler aynı fark grubunu, farklı harfler fark gruplarını göstermektedir].....	22
Çizelge 4.3.1. <i>V. olympicum</i> tohumlarında 0, 100 ve 250 µM Cu konsantrasyonlarda saptanan kök uzunluğu (mm), gövde uzunluğu (mm), kök/gövde oranı, gövde/kök oranı, çimlenme yüzdesi (%) ve çimlenme süresi (gün) değerlerinin ortalamaları [p<0,05, aynı harfler aynı fark grubunu, farklı harfler fark gruplarını göstermektedir].....	24
Çizelge 4.4.1. <i>V. olympicum</i> tohumlarında 0, 100 ve 250 µM Ni konsantrasyonlarda saptanan kök uzunluğu (mm), gövde uzunluğu (mm), kök/gövde oranı, gövde/kök oranı, çimlenme yüzdesi (%) ve çimlenme süresi (gün) değerlerinin ortalamaları [p<0,05, aynı harfler aynı fark grubunu, farklı harfler fark gruplarını göstermektedir].....	26
Çizelge 4.5.1. <i>V. olympicum</i> tohumlarında 0, 100, 500 ve 1000 µM Zn konsantrasyonlarda saptanan kök uzunluğu (mm), gövde uzunluğu (mm), kök/gövde oranı, gövde/kök oranı, çimlenme yüzdesi (%) ve çimlenme süresi (gün) değerlerinin ortalamaları [p<0,05, aynı harfler aynı fark grubunu, farklı harfler fark gruplarını göstermektedir]	28

1. 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 pestisidler, 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 ve Schröder 2009), insanoğlu, endüstriyel atıklar ve dumanlar, tarımsal uygulamalar, araç egzozları, enerji ve yakıt üretimi, madencilik gibi farklı yollarla çevrenin ağır metal oranını arttırmaktadır. Örneğin, fosil yakıtların yakılması, atık çamurların ve gübrelerin yayılması Co'nun çevredeki artışına neden olurken, dericilik endüstrisi ise Cr'un artışına sebep olmaktadır (Yadav 2010).

Ağır metaller dünyanın her tarafına dağılmıştır. En yaygın bulunan ağır metal kirleticileri Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Ni ve Zn'dur (Jadia ve Fulekar 2008). Bu metallerin bazıları (iz metaller) düşük dozda bitkiler için gerekli iken, yüksek dozda bitkilerde toksik etkiye neden olmaktadır. Örneğin, Cu ve Zn bitki büyümesi için gerekli iz elementlerdendir, ancak yüksek miktarlarda toksik olup birçok biyolojik sürece zarar vermektedirler. Bakır, bitki büyüme ve gelişiminde mikro element olup (Stingu ve ark. 2009) CO₂ özümlemesinde ve ATP sentezinde önemli role sahiptir. Fakat aşırı miktardaki bakır bitkide klorozise, kök büyümesinin engellenmesine ve plazma membran geçirgenliğinin hasar görmesine neden olur (Stingu ve ark. 2009). Bitkilerde Zn toksik etkisiyle kök ve gövde büyümesini engeller (Yadav 2010) ve genç yapraklarda kloroza neden olur. 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 ve ark. 2009). Aynı şekilde en yaygın toksik elementler arasına giren civa (Hg⁺² formunda) mitokondriyal aktiviteyi etkiler ve reaktif oksijen türlerinin oluşumunu tetikleyerek oksidatif hasara neden olmaktadır (Yadav 2010).

Ağır metaller dirençlidir ve çevreden kaybolmamaktadır. Buna bağlı olarak insan aktivitesiyle ağır metal yüksek seviyeye çıktığında problemler ortaya çıkabilmektedir. Bu tehlike, kirletilmiş topraklar nedeniyle ilk olarak bitkilerde ortaya çıkabilmektedir. Burada insan sağlığı için en büyük risk, bitkilerin metallere karşı toleransını geliştirdiği ve bu bitkilerin besin zincirine katıldığı zaman ortaya çıkar (Munzuroğlu ve Geckil 2002). Babula ve ark. (2008) oğunlukla ağır metallerin ve metaloitlerin özellikle sucul çevredeki znebilirliğinden dolayı yaşam için potansiyel risk taşıdığını ve en önemli etkilerini; (1) birçok ağır metalin ve metaloitin oksidatif-redoks özelliğinden dolayı oksidatif strese yol aması, (2) ağır metallerin veya metaloitlerin yararlı metallere benzerliğinden dolayı proteinlerin ve diğer biyoaktif bileşiklerin yapılarına bağlanması olduğunu ifade etmişlerdir.

Çeşitli uygulamalarla ağır metal düzeyi artmış doğal alanlara bazı bitki türleri nc olarak yerleşirler ve baskın hale gelirler. Ağır metallerce kirletilmiş alanların topraklarında c farklı tip bitkinin gelişebildiği ifade edilmektedir (Brankovi ve ark. 2011): (1) Metalleri dışlayan bitkiler (Metal excluders); bu bitkiler topraktaki metal konsantrasyonunun toprak üstü kısımlarına girişini engeller, fakat dış metal konsantrasyonu çok yüksek olduğunda köklerinde metalleri bulundurabilir. (2) Metal indikatörleri (Metal indicators); bu bitkiler ağır metalleri toprak üstü organlarına ait dokularda biriktirirler ve topraktaki ağır metal içeriğini yansıtırlar. (3) Metal biriktiriciler (Metal accumulators); bu bitkiler düşük dış metal konsantrasyonlarında ağır metalleri bünyelerinde biriktirebilirler. Toprak st organlarında çok yüksek miktarlarda metal biriktirebilen veya metal biriktirici olmayan türlerden daha yüksek miktarda metal biriktiren bitkiler hiperakümülatör bitki olarak adlandırılmaktadırlar (Bert ve ark. 2000). Toprak st organlarının birim kuru ağırlığında %0.1' den daha fazla Ni, Co, Cu, Cr, Pb ve %1' den daha fazla Zn içeren bitkiler bu metaller için hiperakümülatör tür olarak kabul edilmektedir (Baker ve Brooks 1989). Literatür verilerinden anlaşılacağı üzere, hiperakmlatrler tarafından alınan ağır metallerin bitki bünyesi içerisinde zararsızlaştırılması ve birikimi ile ilgili olarak vakuoler ayırım ve metal bağlayıcı moleküllere bağlanma süreçleri temel mekanizmalar olarak düşünmekte ise de, Babula ve ark. (2008) hipertoleransın kesin mekanizmalarının hl bilinmediğini, bazı genlerin özellikle de metal homeostaz ve stres genlerinin rol aldığını

belirtmişlerdir. Ağır metallerce kirletilmiş çevrenin geri kazanılmasında çeşitli teknolojiler kullanılmaktadır. Bu amaç için bitkilerin kullanıldığı teknolojiler (phytoremediation) bitkilerle geri kazanım/giderim teknolojileri (fitoremidasyon) olarak adlandırılmıştır (Babula ve ark. 2008). Bitkilerle geri kazanımın yöntemleri şu şekilde sınıflandırılmaktadır: fitoekstraksiyon (bitki organlarında ağır metallerin biriktirilmesi), fitodegradasyon (bitkilerin bazı yeteneklerinin kullanılmasıyla kirleticilerin parçalanması), rizofiltrasyon (bitki kökleriyle alınma ya da adsorbe edilme ile kirletilmiş ve atık suların temizlenmesi), fitostabilizasyon (ağır metallerin çözünürlüğünün sınırlandırılmasıyla bitki dokularında kompleks bileşikler halinde depolanması), fitovolatilizasyon (bitkilerin uçucu bileşikler üreterek toprağın zehir etkisinin giderilmesi) (Babula ve ark. 2008).

Tohum çimlenmesi, bir bitkinin yaşam döngüsü içerisindeki en önemli aşamalardan bir tanesidir ve mevcut çevreye son derece duyarlıdır (Kuriakose ve Prasad 2008). Bu sebeple tohum çimlenmesi ve kök uzama çalışmaları çevredeki değişimlerin biyolojik olarak takibinde en kolay yöntemlerden bir tanesi kabul edilmektedir (Wang ve Keturi 1990, Wang ve Williams 1990). Tohum çimlenme testi toksikolojik izleme için hassaslığından, basitliğinden, düşük maliyetinden ve farklı koşullar altında uygulanabilirliğinden yoğun şekilde tavsiye edilmektedir (Siddiqui ve ark. 2011).

Verbascum olympicum, Uludağ'ın alpin ve subalpin kuşağında insan etkisiyle doğal vejetasyonu bozulmuş alanlar (örneğin; inşaat alanı, yol kenarı, çöplükler ve maden işletmesi çevresi gibi) üzerinde öncü olarak yerleşen ve farklı örtü derecesine sahip ruderal topluluğun karakteristik türüdür (Güleryüz ve ark. 2006). Uludağ endemiği olan bu türün çeşitli metallerce kirletilmiş olan alanların izlenmesinde kullanılabileceği belirtilmektedir (Güleryüz ve ark. 2006). Bu çalışmada *Verbascum olympicum* Boiss'in (Scrophulariaceae) tohum çimlenmesi ve erken fide gelişimi üzerine beş ağır metalin (Cd, Cu, Zn, Cr ve Ni) toksik etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Tohum Çimlenmesi

Tohum, döllenmeden sonra tohum taslağının gelişmesiyle meydana gelir. Yeni bir bitki minyatürü olarak embriyoyu içeren tohum yapısal ve fizyolojik olarak donanımlıdır ve besin depolarıyla bitkinin kendi kendine yetecek hale gelinceye kadar fide gelişimini devam ettirmesine katkı sağlar. Çimlenme, dinlenen kuru tohumun su almasıyla başlayan ve embriyonik eksenin uzamasıyla sonlanan olayları kapsar ve kökçük tarafından embriyoyu saran yapıların delinmesiyle tamamlanır (Bewley 1997). Büyük depo rezervlerinin harekete geçmesini içeren sonraki olaylar fide gelişimiyle devam etmektedir.

Çimlenme bir kuru tohumun su alımıyla (emilim) başlar ve embriyonun genişlemesiyle devam eder. Su alınımı, başlangıçta hızlı bir su alınımı, yani emilim (faz 1,), plato fazı (faz 2) ve tekrar daha fazla bir su alınımı (faz 3) olmak üzere üç aşamada gerçekleşir. Su alınımındaki artış (faz 3) embriyo uzamasını ve çevresini saran tabakaların parçalanmasını sağlar. Bu şekilde çimlenme tamamlanır (Finch-Savage ve Leubner-Metzger 2006). Dormant tohumlarda çimlenme tamamlanmadığı için tohumlar faz 3'e geçmeyebilir (Bewley 1997). Tipik angiosperm tohumlarında embriyo endosperm ve testa olmak üzere iki tabakayla sarılmıştır. Radikulanın uzamasının tamamlanabilmesi için hücre uzamasının gerekli ve yeterli olduğu kabul edilmektedir (Finch-Savage ve Leubner-Metzger 2006).

Tohum dormansisi, sağlam ve canlı bir tohumun uygun şartlar altında çimlenmesine bir engel olarak kabul edilebilir (Finch-Savage ve Leubner-Metzger 2006). Finch-Savage ve Leubner-Metzger (2006)'ye göre ise dormansi bu şekilde tanımlandığında çimlenme için gerekli koşulları değiştiren herhangi bir çevresel faktör dormansiyi değiştirir. Dormansi türler arasında farklı şekilde evrimleşmiştir, çünkü her biri farklı çevrelere uyum sağlarken yeni bir bitkinin gelişimine imkan sağlayan çevrelerde çimlenir (Finch-Savage ve Leubner-Metzger 2006). Bu nedenle, farklı çevre ve iklimlere göre çeşitli çimlenme engelleri (dormansi mekanizmaları) evrimleşmiştir (Finch-Savage ve

Leubner-Metzger 2006). Dormansi çimlenme için gerekli şartları belirleyen bir tohum özelliğidir ve çevresel istekleri azaltan herhangi bir koşul dormansiyi kırııcı bir faktör olarak kabul edilmektedir. Dormansi kaybolduğunda çimlenmeye izin veren pencereler sonuna kadar açılır ve dormansi uyarıldığında da kapanır (Finch-Savage ve Leubner-Metzger 2006).

2.2.Ağır metallerin tohum çimlenmesi ve fide gelişimi üzerindeki etkileri

Karasal ve su ekosistemlerinde kirlenme, biyolojik materyaller kullanılarak takip edilebilmektedir. Özellikle yüksek bitkiler, çevrede ağır metal kirliliğinin takibinde indikatör olarak kullanılmaktadır. Shafiq ve Iqbal, (2005a) *Peltophorum pterocarpum* D.C. Baker Ex K. türünün Cd ve Pb'nun etkisini göstermede indikatör olduğunu ve çeşitli biyolojik süreçlerde bu türden yararlanma olanağının bulunduğunu açıklamışlardır. Tang ve ark. (2009)'nın laboratuvar ve alan koşulları altında gerçekleştirdikleri çalışmada *Arabis paniculata* türünün yüksek Pb, Zn ve Cd konsantrasyonlarında yüksek tolerans gösterdiği ve yoğun miktarda metal biriktirdiği belirtilmiştir. Araştırmacılar bu çalışmada türün Pb, Cd ve Zn metallerine karşı belirli mekanizmalara sahip olabileceğini ve birçok ağır metalin uyarıcı etkisinin ve ko-hiperakümülyasyonunun temel mekanizmalarını çalışmak için kullanılabileceğini öne sürmüştür.

Genelde çimlenme deneylerinde tipik olarak kullanılan temel araç içerisine kurutma/filtre kâğıdı yerleştirilmiş petri kaplarıdır (Wang 1994). Ancak, Salvatore ve ark. (2008) tohum çimlenmesi ve kök uzaması çalışmalarında kullanılan ağır metallerin fitotoksitelerinin agar ve filtre kağıdı ortamında değerlendirdiklerinde, agar ile yapılan denemelerin filtre kağıdı kullanılarak yapılan çalışmalardan daha hassas olduğunu bildirmişlerdir. Peralte ve ark. (2001)'nin yonca (*Medicago sativa* L.) bitkisinin tohum çimlenmesi ve bitki büyümesi üzerine 5, 10, 20 ve 40 mg/L konsantrasyonlarındaki Cd (II), Cr (VI), Cu (II), Ni (II) ve Zn (II)'un etkilerini filtre kağıdı ortamında araştırdıkları çalışmanın benzeri Aydınalp ve Marmova (2009) tarafından aynı tür üzerinde ve agar ortamında gerçekleştirilmiştir. Bulunan sonuçlar genel çerçevede her iki çalışmada da benzerdir. Genel olarak ağır metal konsantrasyonunun artışıyla tohum çimlenmesi, kök ve gövde uzamasının engellendiği gözlemlenmiştir. Araştırmacılar tüm ağır metallerin en düşük dozlarının (5 ppm) kök uzamasında uyarıcı etkisi olduğunu göstermiştir. Uygulanan Cd ve Cr'un 20 ppm dozunda; Cu ve Ni'in 40 ppm dozunda türün çimlenme ve büyümede herhangi bir yetenek göstermediği, ancak herhangi bir Zn serisinde yonca bitkisinin çimlenebildiği ve büyüyebildiği gösterilmiştir.

Bugünkü bilgilere göre, tohum çimlenmesinin ağır metallerce iki yolla etkilendiği üzerinde durulmaktadır (Kranner ve Colville, 2011): (1) metallerin genel toksitesi, (2) metallerin su alınımlarını engellemesi. Mesela, Cd ve Cu gibi bazı metaller tohumun su alınımlarını engeller. Bir tohumun çimlenmesi için, embriyo su potansiyelinin eşik sınırı geçmesi gerekir. Lefevre ve ark. (2009), *Dorycnium pentaphyllum* Scop. tohumlarında, en yüksek dozdaki Cd'un tohum şişmesini ve genç fidedeki su içeriğini azalttığını ve Cd içerikli ortamda çimlenemeyen tohumların kontrol koşullarında tekrar çimlenebildiğini tespit etmişlerdir. Çalışmada bu durum Cd'un doğrudan toksik etkisiyle tohumları etkilemesinden ziyade, tohumların su alınımlarının engellemesinden kaynaklandığı açıklanmıştır. Ancak aynı çalışmada yüksek Zn konsantrasyonlarında emilimden sonra çimlenemeyen tohumların saf suda durulandıktan sonra da çimlenemediğini göstermişlerdir. Li ve ark. (2005) *Arabidopsis thaliana* türünün Cu'nun toksik etkisinden dolayı çimlenemeyen tohumların su ile durulandıktan sonra çimlenme yeteneklerini tekrar kazanabildiklerini bildirmişlerdir.

Tohum çimlenmesi ve fide gelişimi aşamasında metallere karşı verilen tepkilerle ilgili olarak türler içinde veya türler arasında varyasyonların olduğu vurgulanmaktadır (Kranner ve 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 ve Colville, 2011).

Özdener ve Kutbay (2009), *Eruca sativa* tohumlarının çimlenmesi ve filiz büyümesi üzerinde metallerin (Cd, Cu, Ni, Pb ve Zn) toksik etkilerini inceledikleri çalışmada metallerin çimlenme ve fide gelişimde farklı etkilere sahip olduğunu göstermişlerdir. Bu tür üzerinde Cu'nun en etkili inhibitör metal olduğunu belirtirken Zn'nun en yüksek dozunda dahi türün çimlenebildiğini, tohumlarının çimlenme ve erken fide gelişim aşamasında Zn'ya toleranslı olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca araştırmacılar, fide gelişim aşamasının çimlenme aşamasından daha hassas olduğunu belirtmişlerdir.

Kiran ve Şahin (2006) mercimek bitkisinin (*Lens culinaris* Medik) tohum çimlenmesi, kök gelişimi ve mitotik kök ucu hücreleri üzerine Cd'un etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonunda, Cd konsantrasyonunun artmasıyla çimlenmenin ve kök gelişiminin azaldığı ve Cd stresine karşı kök gelişiminin tohum çimlenmesinden daha hassas olduğu belirlenmiştir.

Hsu ve Chou (1992) cadde yakınlarındaki bölgelerden toplanan *Miscanthus floridulus* tohumlarının, yollardan uzak alanlar ve dağ alanları bölgelerinden toplanan tohumlardan daha yüksek çimlenme gösterdiğini ifade etmişlerdir. *Miscanthus* türlerinin ağır metallerin yüksek konsantrasyonunda çimlenebildiği ve ayrıca çalışılan türler arasında *M. transmorrisonensis* ağır metallere karşı en toleranslı tür olduğu açıklanmıştır.

Rout ve ark. (2000) kirlenmemiş alanlardan toplanan *Echinochloa colona* Link. tohumlarının Cr ve Ni içerikli çözeltilerde düşük çimlenme gösterdiğini, kirlenmiş alanlardan toplanan tohumların ise yüksek çimlenme gösterdiğini bildirmişlerdir. Ayrıca her iki alandan toplanan tohumlar arasında kök büyümesi açısından da farklılıklar olduğu gösterilmiştir. Araştırmacılar, bu farklılıkların tohum populasyonları arasındaki Cr ve Ni toleransına bağlı olabileceğini ve kirlenmiş alandan toplanan tohumların metallere karşı daha yüksek tolerans gösterdiğini ileri sürmüşlerdir. Türün metallere karşı tolerans mekanizmasının Baker ve ark. (1986) tarafından açıklanan metal birikimi (herhangi bir sınırlamanın olmaması ve metallerin zararsızlaştırılarak biriktirilmesi) ve metal dışlama (metal alınımının ve taşınmasının sınırlandırılması) şeklinde iki yolla olabileceği belirtilmiştir.

Wang ve ark. (2010) *Paulownia fortunei* genç fidelerinin Zn, Pb, Cu ve Cd metallerine karşı fizyolojik tepkisini araştırdıklarında; Zn ve Cu uygulamalarında çimlenmenin büyük oranda azaldığını, fakat Pb ve Cd uygulamalarında ise çimlenmeyi düşük oranda etkilediğini göstermişlerdir. Araştırmacılar, ortama Cu ve Zn eklendikçe oksidatif strese sebep olan serbest radikallerin arttığını, fakat Pb ve Cd uygulamasında ise önemli bir değişimin olmadığını ve bunun nedeni olarak genç fidelerin Pb ve Cd'a karşı zararsızlaştırma mekanizmasına (antioksidant enzim, fitoşelatlar ve prolin içeriği) sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Citterio ve ark. (2003) *Cannabis sativa* türünün Cd, Cr ve Ni'e karşı ağır metal toleransını ve birikimini araştırmışlardır. Bu çalışmayla türün Cd, Cr ve Ni içerikli toprakta yetişebildiği; topraktaki ağır metal miktarı ile bitkinin biyomasındaki ağır metal miktarı arasında belirli bir ilişki olmadığı ancak topraktaki ağır metal artışı ile bitkide ağır metalin arttığı gösterilmiştir. Bu durumun *C. sativa*'nın ağır metal stresine karşı yüksek direnç göstermesinin sahip olduğu DNA ve fitoşelat içeriğindeki artış gibi mekanizmalardan kaynaklandığı ifade edilmiştir. Ayrıca bu bitkinin hiperakümülatör olarak tanımlanamayacağı ancak metale dirençli organizma olarak değerlendirilebileceği ortaya konmuştur.

Cd stresinin pirinç bitkisinin (*Oryza sativa*) iki varyetesi olan Xiushui 110 ve Xiushui 11 üzerindeki etkisi He Jun-yu ve ark. (2008) tarafından araştırılmıştır. Çalışmada metalin tohum çimlenmesi üzerine toksik etkisinin sadece yüksek konsantrasyonda ortaya çıktığı, ancak en düşük Cd dozunun bile kök uzamasını engellediği gösterilmiştir. Ayrıca araştırmacılar metalin toksik etkisinin iki varyete üzerinde farklı olduğunu ve yine iki varyetenin Cd biriktirebilme yeteneğinin farklı olduğunu göstermişlerdir.

El-Ghamery ve ark. (2003) *Nigella sativa* L. ve *Triticum aestivum* L. türlerinin çimlenme ve kök büyüme ile ilgili çinkonun sitolojik etkilerini araştırdıklarında, çinkon konsantrasyonunun artmasıyla çimlenme üzerindeki inhibisyonun arttığını, en yüksek metal konsantrasyonunda (25 mg/L) her iki bitkinin tohumlarında çimlenmenin tamamıyla engellendiğini göstermişlerdir. Araştırma sonucunda, çinko iyonlarının çimlenme oranı üzerine toksik etkisi her iki türün kök büyümesi üzerinde etkisiyle paralel olduğu söylenmiştir. Ayrıca konsantrasyon artışıyla kök büyümesindeki toksik etkinin arttığı belirtilmiştir.

Ülkemizde yapılan bir araştırma da, Munzuroğlu ve Geckil (2002) tarafından bazı metallerin (Hg, Cd, Co, Cu, Pb ve Zn) *Triticum aestivum* ve *Cucumis sativus*'da tohum çimlenmesi, kök uzaması, koleoptil ve hipokotil büyümesi üzerine etkisinin incelendiği çalışmadır. Çalışmada, metallerin farklı konsantrasyonlarının tohum çimlenmesi, kök uzaması, koleoptil ve hipokotil büyümesi üzerinde toksik etkisinin farklı olduğu ve konsantrasyon arttıkça her iki bitkide olumsuz etkilerin arttığı gösterilmiştir.

Araştırmacılar, çimlenme üzerindeki toksisite derecesine göre metal sıralamasının buğday tanelerinde Hg>Cd>Cu>Pb>Co>Zn ve salatalık tohumlarında Hg>Cu>Cd>Pb>Zn>Co şeklinde olduğu bildirmiştir. Araştırmacılar, metallerin belirli dozlarında bitki kökçüklerinin hipokotil ve koleoptil gelişimi göstermediğini ve bu durumun çimlenmenin normal olmadığı şeklinde değerlendirildiğini belirtmişlerdir. Her iki türdeki kök gelişimi ve hipokotil ile koleoptil büyümesi üzerindeki metallerin sırasıyla toksisite derecesinin Hg>Cu>Cd>Co>Pb>Zn şeklinde olduğunu bildirilmiştir.

Spinacea oleracea ve *Lycopersicum esculentum* türlerinin çimlenmesi, birikimi ve fenolik içeriği üzerine bakır klorid ve kurşun kloridin etkilerini Hameed ve ark. (2001) çalışmışlardır. Çalışma sonucunda, her iki bitkinin çimlenmesi üzerine bakır tuzuna göre kurşun tuzunun daha yüksek negatif etkisinin meydana geldiği belirtilmiştir.

Street ve ark. (2007), yaygın olarak kullanılan tıbbi bitkilerden *Bowiea volubilis*, *Eucomis autumnalis* ve *Merwillia natalensis* türlerinin tohum çimlenmesi ve filiz büyümesi üzerine Cu, Zn Cd, Pb ve Hg'nin etkilerini araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre, bakır ve çinko *Eucomis autumnalis* türünün çimlenmesi üzerinde engelleyici etki gösterirken, Cd, Hg ve Pb'nun farklı dozları *M. natalensis* türünün çimlenme yüzdesini önemli derecede düşürmüştür. Ayrıca Cd'un gövde/kök oranını düşürdüğü görülmüştür. Araştırmacılar üç türde de kök büyümesinin gövde büyümesinden daha hassas olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Shafiq ve ark. (2008) tarafından *Leucaea leucocephala* türünün tohum çimlenmesi, filiz büyümesi ve kök büyümesi üzerinde genel olarak Cd ve Pb'nun toksik etki gösterdiği ifade edilmiştir. Araştırmada, Cd'un *L. leucocephala* fideleri üzerinde kurşuna göre daha toksik etki gösterdiği belirtilmiştir. Araştırmacılar, *L. leucocephala* türünün Cd ile karşılaştırıldığında Pb'a daha toleranslı olduğunu ve metal tolerans yeteneğinden dolayı, Pb ve Cd içerikli alanlarda büyüebilme imkânının olduğunu bildirmişlerdir.

Fozia ve ark. (2008) kromca kirlenmiş ortamda *Helianthus annuus* L. (ayçiçeği) türünün tepkisini ve kromu uzaklaştırma kapasitesini incelemişlerdir. Çalışmada bu

türün üç varyetesi (G-3, G-9 ve G-59) ve kromun üç farklı konsantrasyonu (20, 40 ve 60 mg/kg) kullanılmıştır. Araştırmada, kontrol grubunda çimlenme yüzdesi maksimumken, Cr'un en yüksek seviyeye çıkmasıyla çimlenme yüzdesinin % 40 azaldığını ve konsantrasyon artışıyla kök uzunluğunda ve gövde uzunluğunda azalmaların meydana geldiği gösterilmiştir. Çalışmada Cr'un bitkinin büyüme ve gelişiminin farklı fazlarında farklı derecede toksik olduğu ve metal toksisitesinin konsantrasyona ve ortama bağlı olabileceği sonucuna varılmıştır.

Shafiq ve Iqbal (2005b), *Cassia siamea* Lamk. türünün tohum çimlenmesi ve filiz büyümesi üzerinde 25, 50, 75 ve 100 ppm dozdaki Pb ve Cd konsantrasyonlarının toksisite etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar genel olarak 25, 50, 75 ve 100 ppm Pb ve Cd konsantrasyonlarının bitkinin tohum çimlenmesi ve filiz büyümesini azalttığını ve Cd'un Pb'a göre toksik etkisinin nispeten daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Espen ve ark. (1997) çimlenmenin ilk 48 saatlik evresinde Ni'e maruz bırakılan *Raphanus sativus* tohumlarında konsantrasyon artışıyla çimlenmenin ve fide gelişiminin engellendiğini belirtmiştir. Ayrıca Ni'in şeker ve fosfo-organik bileşiklerin hareketliliği, enerji değişimindeki artış ve oksijen alımının etkenliği üzerindeki olumsuz etkisinden bahsedilmiştir.

Jadia ve Fulekar (2008) tarafından CdCl₂'nin yüksek konsantrasyonuna maruz bırakılan ayçiçeği tohumlarındaki çimlenme başarısızlığı su alımındaki gecikmeye, embriyodaki büyümenin ve hücre bölünmesinin engellenmesine ve/veya metabolik aktivitedeki genel azalmaya dayandırılmıştır.

Kuriakose ve Prasad (2008), *Sorghum bicolor* L. türünde, tohum çimlenmesi ve hidroliz enzimlerinin aktiviteleri üzerine Cd toksisitesini araştırmışlar ve çimlenme başarısındaki azalmanın ve fide gelişiminin engellenmesinin depo karbonhidratlarının hidrolizinden ve parçalanmış şekerin taşınımının durdurulmasından kaynaklanabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Shanker ve ark. (2005)'na göre, Cr toksisitesine bağlı olarak kök büyümesindeki azalma, kök hücre bölünmesi/kök uzunluğunun engellenmesinden ya da köklerdeki hücre döngüsünün uzamasından kaynaklanabilmektedir.

Lin ve Xing (2007) tarafından yürütülen bir araştırmada, çalışılan nano partiküllerin içerisinden sadece Zn ve ZnO partiküllerinin altı bitki türünün tohum çimlenmesi ve kök büyümesi üzerinde negatif etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Mahmood ve ark. (2005) tarafından *Zea mays* L. var. Neelum'un çimlenmesi ve filiz büyümesi zerindeki Cu ve Zn metallerinin etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, her iki metalin ayrı ayrı farklı dozları (3, 6, 9 ve 12 ppm) bu varyetenin çimlenmesi üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı, buna karşın iki metalin varlığında konsantrasyon değişimiyle, filiz gelişiminde toksik etkilerin arttığı belirtilmiştir. Araştırmacılara göre, bu bitki çeşidinin büyüme ortamında var olan düşük miktardaki metallere karşı belirgin bir hassaslık göstermekte olduğu, bu metal hassaslığının belki de türlerin ağır metalleri biriktirmeye güçlü eğiliminden dolayı olabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Tohum, bitkilerin yaşam süresi içerisinde hassas olduğu aşamalardan biridir. Tohum kabuğu, birçok türde abiyotik streslere karşı korunmada önemli bir role sahiptir. Tohum kabuğunun çimlenmeden önce metal stresine karşı bazı korumalar sağlamasına rağmen, sürekli metal maruz kaldıkça tohum kabuğu en sonunda çatlar ya da çimlenme üzerine daha geçirgen hale gelir. Tohum kabuğunun morfolojisinde türler arası varyasyonlar mevcuttur. Tohum kabuğunun geçirgenliği farklı metallerin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Akıncı ve Akıncı (2011) tarafından yapılan bir çalışmada, nikelin fide aşamasına göre çimlenme aşamasında daha yüksek dozlarda toksik etki gösterdiği ve bu durumun sebebi olarak tohum kabuğunun bariyer olarak görev yapmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Wierzbicka ve Obidzinska (1998) tohum kabuğunun kurşun geçirgenliği ile alakalı olarak, kurşunun türlerde büyük ölçüde çimlenmeyi engellediğini ve tohum kabuğunun şişmenin sonraki aşamalarında kurşuna karşı daha geçirgen olup, bu durumun çimlenmeyi geciktirdiğini belirtmişlerdir.

Jun ve ark. (2009) altı baklagil tohumunun çimlenmesi ve fide büyümesi üzerinde Cr'un ekotoksikolojik etkilerini araştırmışlardır. Bitki tohumlarının Cr'un 7 farklı konsantrasyonuna (0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6 ve 3.2 mM) maruz bırakılarak gerçekleştirilen bu çalışmada, Cr kirliliğine karşı kök uzaması ile koleoptil büyümesinin tohum çimlenmesinden daha hassas olduğu belirlenmiştir. Bu durum Munzuroğlu ve Geckil (2002)'in tohumlara yüksek oranda Cr girişini engelleyebilen tohum kabuğundan dolayı olabileceği varsayımına dayandırılmıştır. Araştırmacılar tarafından, farklı türlerin Cr⁺² kirliliğine karşı tolerans seviyelerinin farklı olduğu; örneğin *Lablab purpureus* ve *Glycine max* en hassas türlerken, *Lathyrus odoratus* ve *Dumasia villosa*'nın ise en dirençli türler olduğu bildirilmiştir.

Birçok ağır metal bitkiler için gerekli iz elementlerdir, fakat Mn, Cu, Zn, Mo, Co, B gibi elementlerin aşırı miktarları bitkilerin fizyolojik sürecinde toksik etkiye sahiptir (Lukšienė ve Račaitė 2008). Li ve ark. (2005) gerekli (Cu ve Zn) ve gerekli olmayan (Hg, Pb ve Cd) metallerin *Arabidopsis*'teki çimlenme ve fide gelişimi aşamalarına olan etkilerini incelediklerinde, ağır metal konsantrasyonunun artışıyla tohum çimlenmesinin ve fide gelişiminin negatif yönde etkilendiğini göstermişlerdir. Ayrıca çalışmada izole edilmiş embriyoların metallere karşı herhangi bir değişikliğe uğratılmamış tohumlardan daha hassas davrandığı ve bu sonuca göre tohum kabuğunun metal alınımına karşı bariyer olarak rol aldığı öne sürülmüştür.

Shafiq ve ark. (2008) tarafından *Leucaena leucocephala* üzerinde yapılan Pb ve Cd uygulamasında, metallerdeki konsantrasyon arttıkça tohum çimlenmesi ile kök ve gövde uzamasının negatif yönde etkilendiği gösterilmiştir. Ayrıca çalışmada tohum çimlenme oranındaki azalmanın hücre membranındaki seçici geçirgenlik özelliğinin değişmesine bağlı olabileceği belirtilmiştir.

Chen ve ark. (2010) tarafından Cd'un buğday (*Triticum aestivum*) tohumlarının çimlenmesi ve fide gelişimi üzerindeki etkileri araştırılmış ve Cd toksitesinin kök uzaması>gövde uzaması>çimlenme oranı şeklinde etki gösterdiği bildirilmiştir. Bu araştırma sonuçları ile buğday kök uzamasının topraktaki Cd kirliliği için en hassas biyo-indikatör olduğu gösterilmiştir. Ayrıca Cd'un kolayca kortekse geçebildiği (Yang

ve ark. 1998), bu nedenle buğday köklerinin ilk Cd tahribine uğrama olasılığının olduğu (di Toppi va Gabbrielli 1999) ileri sürülmüştür.

Xu ve ark. (2009) Cd ve Pb metallerin etkilerini tek tek değerlendirmek yerine her iki metalin ortak etkisini çalışmışlardır. Araştırmacılar Cd ve Pb metallerin *Brassica pekinensis* üzerinde ortak etkisini incelediklerinde; bu metallerin türün kök ve gövde gelişim hızı üzerinde birlikte oluşturduğu toksik etkinin Pb metalinin tek başına yarattığı etkiden daha fazla olduğunu göstermişlerdir.

Israr ve ark. (2011) tarafından *Sesbania drummondii*'nin büyümesi, metal alınımı ve antioksidatif metabolizması üzerinde Pb, Cu, Ni ve Zn metallerin tek başına ve birlikte etkisi araştırılmıştır. Tür üzerindeki toksiklik derecesine göre metallerin sıralanışı Cu>Ni>Zn>Pb şeklinde olduğu ve ikili metal karışımlarında en toksik ikilinin Ni+Zn olduğu saptanmıştır. Ayrıca çalışma sonunda, *Sesbania drummondii* türünün büyümesinde en fazla engellenmenin tüm metallerin birlikte kullanılmasıyla (Ni+Zn+Cu+Pb) ortaya çıktığı belirtilmiştir.

Toprakta yetişen bitkilerin ağır metal stresine karşı gösterdiği tepkilerle ilgili çalışmalara ilaveten sucul ekosistemlerde yetişen bitkilerin de ağır metallere ilişkisi açıklanmaya çalışılmıştır.

Peng ve ark. (2010) tarafından sucul alan bitkisi olan *Phragmites australis* ve *Triarrhena sacchariflora* türlerinin tohum çimlenmesi ve fide gelişimi üzerine Hg ve Cd metallerin etkisi çalışılmıştır. Araştırmacılar, genel anlamda ağır metal konsantrasyonunun artışıyla her iki türün tohum çimlenmesi ve fide gelişimi aşamalarında gerilemenin arttığını göstermişlerdir. Çalışmada, *P. australis* türünün ağır metallere karşı toleransının diğer türden daha fazla olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar, tohum çimlenmesi üzerindeki ağır metal toksisite etkisinin tohum yapısındaki özellikle tohum kabuğundaki türler arası farklılıklara bağlı olabileceğini ve tohum çimlenmesi üzerindeki ağır metalin inhibitör etkisinin enzimlerle alakalı çimlenme metabolizması üzerindeki toksisitesiyle ilişkili olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Kranner ve Colville (2011) yapılan çalışmalara dayanarak, düşük Cd (Lefèvre ve ark. 2009), As (Li ve ark. 2007) ve Cu (Kjaer ve ark. 1998) konsantrasyonlarının çimlenmede düşük derecede uyarılmaya neden olduğunu vurgulamışlar ve bu durumu şu şekilde yorumlamışlardır; bitkilerde reaktif oksijen türlerinin (ROS) ve reaktif azot türlerinin (RNS) aşırı üretimi metaller tarafından ortaya çıkmakta ve bunun sonucunda yavaş şekilde artan oksidatif stres çimlenmeyi uyarmaktadır.

Kopyra ve Gwozdz (2003) bir biyoaktif bileşik olan azot oksitin (NO) bitkilerde antioksidanlar kadar iyi prooksidan olarak işlevinin bulunduğunu belirtmişler ve azot oksitin oksidatif stres yönetiminde gerekli olan enzim aktivitelerini uyarak çimlenmeyi ve kök büyümesini uyardığını göstermişlerdir.

Peng ve ark. (2010) Hg^{+2} ve Cd^{+2} 'nin düşük dozlarının *Triarrhena sacchariflora*'da tohum çimlenme aşamasının başlangıcında uyarıcı etkiye sahip olduğunu belirtmişler ve bu uyarıcı etkinin, tohum çimlenme başlangıç safhasında, enzim aktivitelerinin uyarılmasıyla ilişkili olabileceğini (Ma ve Hong 1998) öne sürmüşlerdir.

Jadia ve Fulekar (2008) düşük dozdaki ağır metallerin ayçiçeği bitkisinin kök ve gövde uzamasını uyardığını göstermişler ve buna göre Cd, Cu, Ni ve Pb ayçiçeği bitkisi için mikro besin etkisine sahip olduğunu öne sürmüşlerdir.

Stingu ve ark. (2009) yulaf (*Avena sativa*), mısır (*Zea mays*), fasulye (*Phaseolus vulgaris*) ve ıspanak (*Spinacia oleracea*) bitkilerinin kök, gövde ve yaprak uzunluklarına olan Cu'nun belirli dozlardaki etkisini çalışmışlardır. Çalışmada, Cu'nun mısır (10 mg/L ve 25 mg/L $CuSO_4$), yulaf (10 mg/L $CuSO_4$) ve fasulye (25 mg/L $CuSO_4$) kökleri üzerinde uyarıcı bir etki yaptığı, oysaki ıspanak kök uzunluğunun tüm bakır konsantrasyonunda inhibe olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, bakır iyonlarının yulaf, fasulye ve ıspanakta gövde uzunluğunu azalttığı açıklanırken, mısır için (50 mg/L $CuSO_4$) gövde uzunluğunda uyarıcı etkisi olduğu gösterilmiştir.

Peralte ve ark. (2001) yonca (*Medicago sativa* L.) bitkisinin tohum çimlenmesi ve bitki büyümesi üzerinde 5, 10, 20 ve 40 mg/L konsantrasyonlarındaki Cd, Cr, Cu, Ni ve

Zn'nun alınımları ve etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar tüm ağır metallerin en dűřük dozlarının (5 mg/L) kűk ve gűvde uzamasında uyarıcı etkisi yaptığını ve en yüksek dozlarında (40 mg/L) ise gelişimin baskılandığını belirtmişlerdir. Ayrıca yonca bitkisinin herhangi bir Zn konsantrasyonunda çimlenip büyüebildiğini göstermişlerdir. Araştırmacılar, ağır metallerin düşük dozlarının kűk ve gűvde uzunluğu üzerinde uyarıcı etki gösterirken, yüksek dozların kűk ve gűvde uzunluğu üzerinde geri etki göstermesinin hormesis (Calabrese and Baldwin, 1999) olarak bilindiğini belirtmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Verbascum sp. birçok endemik tür içeren Türkiye florasının en büyük ikinci cinsidir. Bu cinsin endemizm oranı % 70,4'dür (Güleryüz ve ark. 2006). Bu cinse ait *Verbascum olympicum* türü Uludağ'ın alpin ve subalpin bölgesinde çeşitli etkinliklerle bozulan alanlardaki çöpçül bitki topluluklarının öncü türlerinden biridir (Rehder ve ark. 1994). Rehder ve ark.'na göre (1994) bu tür Uludağ'ın sub-alpin kuşağındaki turizm gelişim merkezinin yakın çevresindeki bozulmuş alanlarda ve terk edilmiş koyun ağılları üzerinde baskın olduğunu ve bölgenin ruderal vejetasyon tipini temsil etmektedir. İki yıllık bir bitki olan *V. olympicum* yerel endemik bir türdür ve sadece Uludağ'da mevcuttur (Güleryüz ve ark. 2006). Scrophulariaceae familyasına ait *V. olympicum* türünün 100-200 cm'e uzanabilen birçok sağlam dalları vardır. Kökleri sağlam ve kazıktır. Çiçeklenme dönemi hazirandan ağustosa kadardır. Bu tür, geniş bazal yaprakları olan bir hemikriptofittir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Çimlenme Denemeleri

Verbascum olympicum tohumları, Eylül (2011) döneminde Uludağ'ın alpin bölgesinden toplanmıştır. Toplanan tohumlar oda koşullarında kese kağıtlarında saklanmıştır. Denemelerde tek bir bireyden toplanan tohumlar kullanılmıştır. Çalışmada, Çizelge 3.1'de gösterilen ağır metallerin tuz formülasyonlarından yararlanılmış ve bu tuzlardan ağır metal çözeltileri hazırlanmıştır. *V. olympicum* tohumları, her bir petride 30 tohum olacak şekilde gruplara ayrılmıştır. Gruplara ayrılan tohumlar % 5'lik NaOCl (sodyum hipoklorid) solüsyonunda 5 dakika bekletilerek tohum kabuğu sterilizasyonu sağlanmıştır. Bekletme işleminden sonra tohumlar musluk suyu ile durulanmıştır. Steril hale getirilen kabinde, içerisine ağır metal çözeltisi ile ıslatılmış filtre kağıdı yerleştirilen petrilere 30'ar tohum yerleştirilerek ekim işlemi yapılmıştır. Ayrıca gün aşırı filtre kağıdının kurumaması için petrilere ağır metal çözeltileri ilave edilmiştir. Kontrol grubu için saf su kullanılmıştır. Her bir seri 5 tekrarlı olarak yürütülmüştür. Tohumlar ekildikten sonra 18/24°C'deki (16 saat ışık/8 saat karanlık) fotoperiyotlu inkübatöre yerleştirilmiştir. Çimlenmeler 17 gün boyunca takip edilmiştir. Her bir petride çimlenen tohumların kök ve gövde uzunlukları cetvel yardımıyla ölçülmüştür. Kök uzunluğu 1 mm olan tohumlar çimlenmiş olarak değerlendirilmiştir. On yedinci günün sonunda kümülatif çimlenme oranı (%) ve ortalama çimlenme süresi (OÇS) hesaplanmıştır.

Çizelge 3.1. *V. olympicum* tohumlarının çimlendirilmesinde kullanılan ağır metal tuzları ve bu metallerin konsantrasyonları

Metal	Metal Tuzu	Konsantrasyon (µM)
Cd	CdSO ₄ .8H ₂ O	0 - 50 - 75 - 100 - 250 - 500 - 750 - 1000
Zn	ZnSO ₄ .7H ₂ O	0 - 100 - 500 - 1000 - 1250 - 1500
Cu	CuSO ₄	0 - 100 - 250 - 500 - 750 - 1000
Ni	NiSO ₄	0 - 100 - 250 - 500 - 750 - 1000
Cr	K ₂ Cr ₂ O ₇	0 - 50 - 75 - 100 - 250 - 500 - 750 - 1000

3.2.2. Sonuçların Değerlendirilmesi ve Uygulanan İstatistik Yöntemler

Tohum çimlenme oranı (%), çimlenme testlerinde petri başına kullanılan toplam tohum üzerinden çimlenen tohumların yüzdesi şeklinde hesaplanmıştır. Ortalama çimlenme süreleri (OÇS) aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$OÇS = \sum f_i \cdot n_i / N$$

f_i : gün

n_i : her bir gün için çimlenen tohum sayısı

N : çimlenen tohumların toplam sayısı

Çimlenme oranı (%), Ortalama Çimlenme Süresi (gün), Kök uzunluğu (mm), gövde uzunluğu (mm), Kök:gövde oranı (%), Gövde:Kök oranına (%) göre kontrol ve uygulanan metal serilerinin karşılaştırılması bir-yönlü varyans analizi (one-way ANOVA) ile test edildi. Serilerin ortalamaları arasındaki fark grupları Tukey HSD testi ile belirlendi. Tüm istatistik testleri Statistica Ver. 6.0 paket programı (StatSoft Inc., 1984-1995) ile $\alpha;0.05$ anlamlılık düzeyinde sınıandı.

4. BULGULAR

4.1. Kadmiyum (Cd)

Uygulanan Cd metal serilerine göre tohumlarda saptanan kök uzunluğu (mm), gövde uzunluğu (mm), kök/gövde oranı, gövde/kök oranı, çimlenme (çim.) yüzdesi (%) ve çimlenme süresi (gün) değerlerinin ortalamaları Çizelge 4.1.1’de verilmiştir. 500 µM Cd ve üzerindeki dozlarda tohumlarda atipik çimlenme tespit edildiği için Çizelge 4.1.1’de verilmemiştir. Uygulanan 50, 75, 100 ve 250 µM Cd ve kontrol serilerinde kök ve gövde gelişimi meydana gelmiştir.

Ayrıca *V. olympicum* tohumlarının Cd, Cr, Cu, Ni ve Zn’un farklı konsantrasyonlarında belirlenen çimlenme yüzdesi ve çimlenme süreleri Şekil 4.1’de, *V. olympicum* fidelerinde metallere göre belirlenen kök ve gövde uzunlukları Şekil 4.2’de ve kök/gövde ve gövde/kök oranları Şekil 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.1.1. *V. olympicum* tohumlarında kontrol, 50, 75, 100 ve 250 µM Cd konsantrasyonlarda saptanan kök uzunluğu (mm), gövde uzunluğu (mm), kök/gövde oranı, gövde/kök oranı, çimlenme yüzdesi (%) ve çimlenme süresi (gün) değerlerinin ortalamaları [p<0,05, aynı harfler aynı fark grubunu, farklı harfler fark gruplarını göstermektedir]

PARAMETRE.	KONTROL	50 µM	75 µM	100 µM	250 µM
KÖK UZ.	13,51±1,66 ^a	3,63±1,44 ^b	4,53±0,71 ^b	3,43±1,25 ^b	3,35±1,20 ^b
GÖVDE UZ.	2,70±0,56 ^c	4,63±0,53 ^a	4,01±0,25 ^b	3,00±0,43 ^c	2,85±0,32 ^c
KÖK / GÖVDE	6,30±1,04 ^a	0,94±0,39 ^b	1,16±0,19 ^b	1,19±0,71 ^b	1,32±1,19 ^b
GÖVDE / KÖK	0,23±0,10 ^c	1,31±0,36 ^a	1,03±0,04 ^b	1,43±0,17 ^a	1,50±0,20 ^a
% ÇİMLENME	66,00±2,77 ^a	59,80±3,51 ^b	61,80±5,07 ^{ab}	54,80±6,41 ^c	53,20±6,70 ^c
ÇİM. SÜRESİ	3,09±0,13 ^c	2,82±0,26 ^d	3,35±0,26 ^c	3,63±0,27 ^b	3,98±0,35 ^a

Kök uzunluğu ve gövde uzunluğu açısından uygulanan metal konsantrasyonları arasındaki fark anlamlı (p<0,05) bulunmuştur. En yüksek kök uzunluğu kontrol grubunda 13,51±1,66 mm olarak, en düşük kök uzunluğu 250 µM’lık Cd serisinde

3,35±1,20 mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.1.). En yüksek gövde uzunluğu değeri 50 µM'lık Cd grubunda 4,63±0,53 mm iken; en düşük değer kontrolde 2,70±0,56 mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.1.).

Kök/gövde ile gövde/kök oranlarının kontrol ve metal konsantrasyonları arasında anlamlı fark ($p<0,05$) bulunmuştur. Hesaplanan kök/gövde oranlarında en yüksek değer kontrolde (6,30±1,04) ve en düşük değer 50 µM'lık uygulanmış Cd serisinde (0,94±0,39); gövde/kök oranlarında ise en yüksek değer 250 µM'lık metal uygulamasında (1,50±0,20) ve en düşük değer kontrolde (0,23±0,10) bulunmuştur (Çizelge 4.1.1).

Çimlenme yüzdesi ile kontrol ve metal uygulamaları arasındaki fark anlamlı ($p<0,05$) bulunmuş olup, en yüksek çimlenme yüzdesi kontrol grubunda %66,00±2,77 iken, en düşük çimlenme yüzdesi uygulanan 250 µM'lık Cd grubunda %53,20±6,70'dır (Çizelge 4.1.1).

Çimlenme süresi ile kontrol ve metal uygulamaları arasında anlamlı fark ($p<0,05$) olup, belirlenen en düşük çimlenme süresi 2,82±0,26 olarak 50 µM'lık Cd uygulamasında ve en yüksek çimlenme süresi 3,98±0,35 olarak 250 µM'lık Cd serisindedir (Çizelge 4.1.1 ve Şekil 4.1.).

4.2. Krom (Cr)

Uygulanan metal serilerine göre tohumlarda saptanan kök uzunluğu (mm), gövde uzunluğu (mm), kök/gövde oranı, gövde/kök oranı, çimlenme yüzdesi (%) ve çimlenme süresi (gün) değerlerinin ortalamaları Çizelge 4.2.1’de verilmiştir. 250 μ M Cr ve üzerindeki dozlarda tohumlarda atipik çimlenme tespit edildiği için Çizelge 4.2.1’de verilmemiştir. Uygulanan 50, 75 ve 100 μ M Cr ve kontrol serilerinde kök ve gövde gelişimi meydana gelmiştir.

Ayrıca *V. olympicum* tohumlarının Cd, Cr, Cu, Ni ve Zn’un farklı konsantrasyonlarında belirlenen çimlenme yüzdesi ve çimlenme süreleri Şekil 4.1’de, *V. olympicum* fidelerinde metallere göre belirlenen kök ve gövde uzunlukları Şekil 4.2’de ve kök/gövde ve gövde/kök oranları Şekil 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.2.1. *V. olympicum* tohumlarında kontrol,, 50, 75 ve 100 μ M Cr konsantrasyonlarda saptanan kök uzunluğu (mm), gövde uzunluğu (mm), kök/gövde oranı, gövde/kök oranı, çimlenme yüzdesi (%) ve çimlenme süresi (gün) değerlerinin ortalamaları [$p < 0,05$, aynı harfler aynı fark grubunu, farklı harfler fark gruplarını göstermektedir]

PARAMETRELER	KONTROL	50 μ M	75 μ M	100 μ M
KÖK UZUNLUĞU	13,51 \pm 1,66 ^a	4,92 \pm 1,60 ^b	3,82 \pm 0,49 ^b	2,35 \pm 0,8 ^c
GÖVDE UZUNLUĞU	2,70 \pm 0,56 ^c	5,85 \pm 0,77 ^a	5,25 \pm 0,29 ^b	4,91 \pm 0,67 ^b
KÖK / GÖVDE	6,30 \pm 1,04 ^a	0,92 \pm 0,26 ^b	0,65 \pm 0,18 ^b	0,48 \pm 0,16 ^b
GÖVDE / KÖK	0,23 \pm 0,10 ^d	1,28 \pm 0,13 ^c	2,10 \pm 0,58 ^b	2,51 \pm 0,16 ^a
% ÇİMLENME	66,00 \pm 2,77 ^a	62,00 \pm 1,96 ^b	63,60 \pm 3,28 ^{ab}	63,60 \pm 3,28 ^{ab}
ÇİMLENME SÜRESİ	3,09 \pm 0,13 ^b	2,69 \pm 0,24 ^c	3,24 \pm 0,25 ^b	3,49 \pm 0,34 ^a

Kontrol ve 50, 75 ve 100 μ M Cr serileri ile kök uzunluğu, gövde uzunluğu, kök/gövde oranı, gövde/kök oranı, çimlenme yüzdesi ve çimlenme süresi arasındaki fark anlamlı ($p < 0,05$) bulunmuştur. Tüm parametrelerde fark grupları oluşturulmuştur.

Kök uzunluğu değerlendirildiğinde, en yüksek kök uzunluğu kontrolde $13,51\pm1,66$ mm olarak, en düşük kök uzunluğu $100 \mu\text{M}$ uygulanan Cr grubunda $2,35\pm0,8$ mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.1.). Gövde uzunluğunda en yüksek değer $50 \mu\text{M}$ 'lık Cr serisinde $5,85\pm0,77$ mm iken; en düşük değer kontrolde $2,70\pm0,56$ mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.2.).

Kök/gövde oranında en yüksek ortalama değer kontrol grubunda ($6,30\pm1,04$) ve en düşük ortalama değer $100 \mu\text{M}$ uygulanan Cr grubunda ($0,48\pm0,16$) hesaplanmıştır. Gövde/kök oranlarında ise en yüksek değer $100 \mu\text{M}$ 'lık Cr grubunda ($2,51\pm0,16$) ve en düşük değer kontrol grubunda ($0,23\pm0,10$) bulunmuştur (Çizelge 4.2.1 ve Şekil 4.3).

En yüksek çimlenme yüzdesi kontrol grubunda $\%66,00\pm2,77$ iken, en düşük çimlenme yüzdesi $50 \mu\text{M}$ 'lık Cr uygulamasında $\%62,00\pm1,96$ 'dır. Uygulanan 75 ve $100 \mu\text{M}$ Cr serileri diğer ikisi arasında kalmıştır. (Çizelge 4.2.1 ve Şekil 4.1).

Belirlenen en düşük çimlenme süresi $2,69\pm0,24$ olarak $50 \mu\text{M}$ 'lık Cr uygulamasında ve en yüksek çimlenme süresi $3,49\pm0,34$ olarak $100 \mu\text{M}$ 'lık Cr uygulamasındadır (Çizelge 4.2.1).

4.3. Bakır (Cu)

Uygulanan metal serilerine göre tohumlarda saptanan kök uzunluğu (mm), gövde uzunluğu (mm), kök/gövde oranı, gövde/kök oranı, çimlenme yüzdesi (%) ve çimlenme süresi (gün) değerlerinin ortalamaları Çizelge 4.3.1’de gösterilmiştir. 500 µM Cu ve üzerindeki dozlarda tohumlarda atipik çimlenme tespit edildiği için Çizelge 4.3.1’de verilmemiştir. Uygulanan 100 ve 250 µM Cu ve kontrol serilerinde kök ve gövde gelişimi meydana gelmiştir.

Ayrıca *V. olympicum* tohumlarının Cd, Cr, Cu, Ni ve Zn’un farklı konsantrasyonlarında belirlenen çimlenme yüzdesi ve çimlenme süreleri Şekil 4.1’de, *V. olympicum* fidelerinde metallere göre belirlenen kök ve gövde uzunlukları Şekil 4.2’de ve kök/gövde ve gövde/kök oranları Şekil 4.3’te verilmiştir.

Kök uzunluğu bakımından konsantrasyonlar arasındaki fark anlamlı ($p<0,05$) bulunmuştur. En yüksek kök uzunluğu kontrol grubunda $13,51\pm1,66$ mm olarak, en düşük kök uzunluğu uygulanan Cu’un 250 µM’lık grubunda $2,04\pm0,75$ mm olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3.1. *V. olympicum* tohumlarında kontrol,, 100 ve 250 µM Cu konsantrasyonlarda saptanan kök uzunluğu (mm), gövde uzunluğu (mm), kök/gövde oranı, gövde/kök oranı, çimlenme yüzdesi (%) ve çimlenme süresi (gün) değerlerinin ortalamaları [$p<0,05$, aynı harfler aynı fark grubunu, farklı harfler fark gruplarını göstermektedir]

PARAMETRELER	KONTROL	100 µM	250 µM
KÖK UZUNLUĞU	$13,51\pm1,66^a$	$5,81\pm1,33^b$	$2,04\pm0,75^c$
GÖVDE UZUNLUĞU	$2,70\pm0,56^b$	$5,99\pm0,83^a$	$5,99\pm1,38^a$
KÖK / GÖVDE	$6,30\pm1,04^a$	$0,95\pm0,17^b$	$0,38\pm0,37^c$
GÖVDE / KÖK	$0,23\pm0,10^c$	$1,41\pm0,27^b$	$3,61\pm0,23^a$
% ÇİMLENME	$66,00\pm2,77^a$	$58,40\pm4,92^b$	$57,20\pm5,07^b$
ÇİMLENME SÜRESİ	$3,09\pm0,13^b$	$3,18\pm0,37^b$	$4,02\pm0,56^a$

Gövde uzunluğu ile uygulanan Cu konsantrasyonları arasındaki fark anlamlı ($p<0,05$) bulunmuştur. Gövde uzunluğunda en yüksek değer 100 ve 250 μM 'lık Cu gruplarında eşit uzunlukta $5,99\pm0,83$ ve $5,99\pm1,38$ mm iken; en düşük değer kontrolde $2,70\pm0,56$ mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.2).

Kök/gövde ve gövde/kök oranlarının uygulanan Cu konsantrasyonları arasındaki fark anlamlı ($p<0,05$) bulunmuştur. Kök/gövde oranlarında en yüksek değer kontrol grubunda ($6,30\pm1,04$) ve en düşük değer 250 μM 'lık Cu serisinde ($0,38\pm0,37$); gövde/kök oranlarında ise en yüksek değer 250 μM 'lık Cu grubunda ($3,61\pm0,23$) ve en düşük değer kontrolde ($0,23\pm0,10$) bulunmuştur (Çizelge 4.3.1 ve Şekil 4.3).

Çimlenme yüzdesi ile Cu konsantrasyonları arasında anlamlı fark ($p<0,05$) bulunurken, en yüksek çimlenme yüzdesi kontrol grubunda, en düşük çimlenme yüzdesi uygulanan 250 μM 'lık Cu serisinde belirlenmiştir (Çizelge 4.3.1).

Çimlenme süresi ile Cu konsantrasyonları arasındaki fark anlamlı ($p<0,05$) bulunmuş ve en yüksek ortalama değer uygulanan 250 μM 'lık Cu serisinde $4,02\pm0,56$ olarak ve yine en düşük ortalama değer kontrolde $3,09\pm0,13$ olarak hesaplanmıştır.

4.4. Nikel (Ni)

Uygulanan metal serilerine göre tohumlarda saptanan kök uzunluğu (mm), gövde uzunluğu (mm), kök/gövde oranı, gövde/kök oranı, çimlenme yüzdesi (%) ve çimlenme süresi (gün) değerlerinin ortalamaları Çizelge 4.4.1’de gösterilmiştir. 500 µM Ni ve üzerindeki dozlarda tohumlarda atipik çimlenme tespit edildiği için Çizelge 4.4.1.’de verilmemiştir. Uygulanan 100 ve 250 µM Ni ve kontrol serilerinde kök ve gövde gelişimi meydana gelmiştir.

Ayrıca *V. olympicum* tohumlarının Cd, Cr, Cu, Ni ve Zn’un farklı konsantrasyonlarında belirlenen çimlenme yüzdesi ve çimlenme süreleri Şekil 4.1’de, *V. olympicum* fidelerinde metallere göre belirlenen kök ve gövde uzunlukları Şekil 4.2’de ve kök/gövde ve gövde/kök oranları Şekil 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.4.1. *V. olympicum* tohumlarında kontrol, 100 ve 250 µM Ni konsantrasyonlarda saptanan kök uzunluğu (mm), gövde uzunluğu (mm), kök/gövde oranı, gövde/kök oranı, çimlenme yüzdesi (%) ve çimlenme süresi (gün) değerlerinin ortalamaları [p<0,05, aynı harfler aynı fark grubunu, farklı harfler fark gruplarını göstermektedir]

PARAMETRELER	KONTROL	100 µM	250 µM
KÖK UZUNLUĞU	13,51±1,66 ^a	3,64±0,73 ^b	1,68±0,60 ^c
GÖVDE UZUNLUĞU	2,70±0,56 ^b	3,15±0,33 ^a	2,83±0,20 ^{ab}
KÖK / GÖVDE	6,30±1,04 ^a	1,16±0,27 ^b	0,60±0,22 ^c
GÖVDE / KÖK	0,23±0,10 ^c	0,87±0,21 ^b	1,74±0,67 ^a
% ÇİMLENME	66,00±2,77 ^a	64,60±2,23 ^a	61,80±1,64 ^b
ÇİMLENME SÜRESİ	3,09±0,13 ^a	2,59±0,20 ^c	2,86±0,25 ^b

Ni’in uygulanan konsantrasyonları arasındaki fark kök uzunluğu (mm), gövde uzunluğu (mm), kök/gövde oranı, gövde/kök oranı, çimlenme yüzdesi (%) ve çimlenme süresi (gün) açısından varyans analizi ile anlamlı çıkmıştır (p<0,05).

En uzun kök uzunluğu kontrolde görölürken, en düşük kök uzunluğu en yüksek (250 μM) Ni serisinde görölmüştür. Gövde uzunluğunda en yüksek değer 100 μM 'lık Ni serisinde ve en düşük değer ise kontrolde görölmüştür.

Hesaplanan kök/gövde oranlarında en yüksek değer kontrol grubunda $6,30\pm 1,04$ olarak ve en düşük değer 250 μM 'lık Ni serisinde $0,60\pm 0,22$; gövde/kök oranlarında ise en yüksek değer 250 μM 'lık Ni grubunda ($1,74\pm 0,67$) ve en düşük değer kontrolde ($0,23\pm 0,10$) bulunmuştur (Çizelge 4.4.1 ve Şekil 4.3).

Çimlenme yüzdesi bakımından en yüksek değer kontrol grubunda, en düşük değer ise uygulanan en yüksek (250 μM) Ni serisinde belirlenmiş; çimlenme süresi açısından en yüksek değer kontrol grubunda, en düşük değer 100 μM 'lık Ni uygulamasında belirlenmiştir (Çizelge 4.4.1 ve Şekil 4.1).

4.5. Çinko (Zn)

Uygulanan metal serilerine göre tohumlarda saptanan kök uzunluğu (mm), gövde uzunluğu (mm), kök/gövde oranı, gövde/kök oranı, çimlenme yüzdesi (%) ve çimlenme süresi (gün) değerlerinin ortalamaları Çizelge 4.3.1’de gösterilmiştir. 1250 µM Zn ve üzerindeki dozlarda tohumlarda atipik çimlenme tespit edildiği için Çizelge 4.5.1’de gösterilmemiştir. Uygulanan 1250 µM Zn altındaki tüm dozlarda ve kontrolde kök ve gövde gelişimi meydana gelmiştir.

Ayrıca *V. olympicum* tohumlarının Cd, Cr, Cu, Ni ve Zn’un farklı konsantrasyonlarında belirlenen çimlenme yüzdesi ve çimlenme süreleri Şekil 4.1’de, *V. olympicum* fidelerinde metallere göre belirlenen kök ve gövde uzunlukları Şekil 4.2’de ve kök/gövde ve gövde/kök oranları Şekil 4.3’te verilmiştir.

Zn’nun uygulanan konsantrasyonları arasındaki fark kök uzunluğu (mm), gövde uzunluğu (mm), kök/gövde oranı, gövde/kök oranı, çimlenme yüzdesi (%) ve çimlenme süresi (gün) açısından varyans analizi ile anlamlı çıkmıştır ($p<0,05$).

Çizelge 4.5.1. *V. olympicum* tohumlarında kontrol, 100, 500 ve 1000 µM Zn konsantrasyonlarda saptanan kök uzunluğu (mm), gövde uzunluğu (mm), kök/gövde oranı, gövde/kök oranı, çimlenme yüzdesi (%) ve çimlenme süresi (gün) değerlerinin ortalamaları [$p<0,05$, aynı harfler aynı fark grubunu, farklı harfler fark gruplarını göstermektedir]

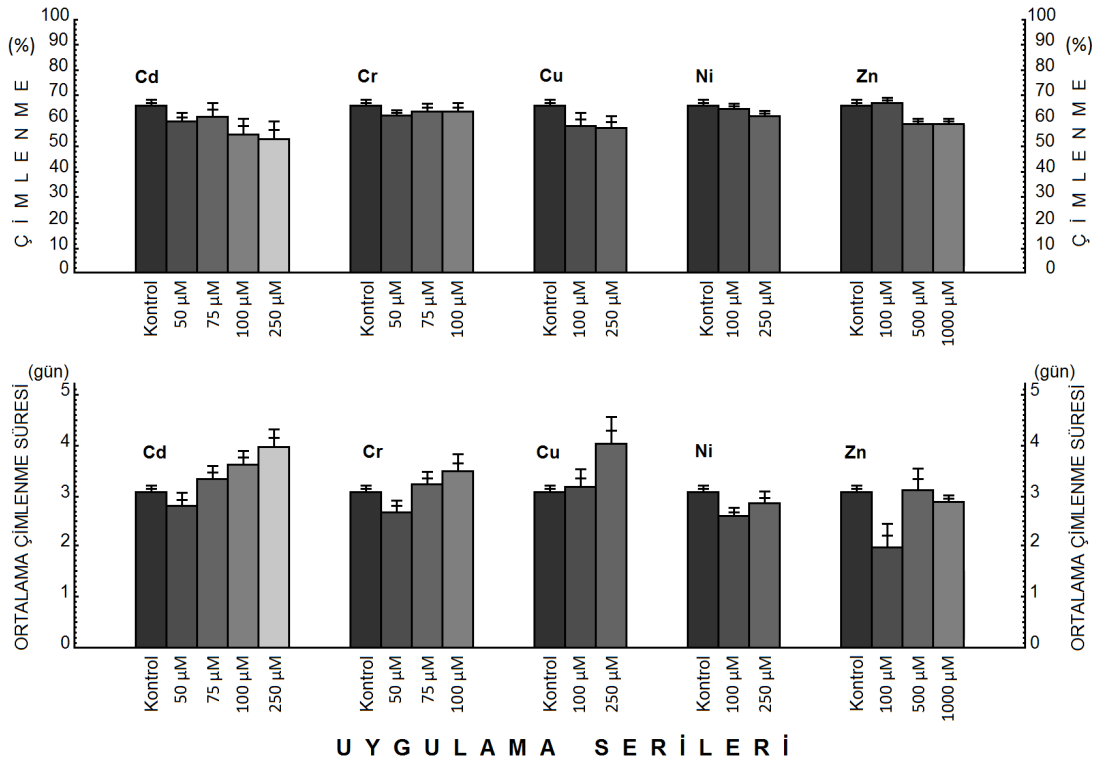
PARAMETRELER	KONTROL	100 µM	500 µM	1000 µM
KÖK UZUNLUĞU	13,51±1,66 ^a	4,98±1,55 ^b	3,08±0,39 ^c	1,05±0,21 ^d
GÖVDE UZUNLUĞU	2,70±0,56 ^c	4,61±0,45 ^b	5,49±0,30 ^a	4,15±0,77 ^b
KÖK / GÖVDE	6,30±1,04 ^a	1,04±0,20 ^b	0,60±0,10 ^{Bc}	0,33±0,23 ^c
GÖVDE / KÖK	0,23±0,10 ^d	1,06±0,91 ^c	2,38±0,28 ^b	4,21±0,91 ^a
ÇİMLENME YÜZDESİ	66,00±2,77 ^a	67,20±2,91 ^a	58,40±4,51 ^b	59,00±3,10 ^b
ÇİMLENME SÜRESİ	3,09±0,13 ^a	1,98±0,46 ^b	3,13±0,42 ^a	2,89±0,14 ^a

En yüksek kök uzunluğu kontrol grubunda $13,51\pm1,66$ mm olarak, en düşük kök uzunluğu Zn'un $1000 \mu\text{M}$ 'lık grubunda $1,05\pm0,21$ mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.2). Gövde uzunluğunda en yüksek değer $500 \mu\text{M}$ 'lık Zn grubunda $5,49\pm0,30$ mm iken; en düşük değer kontrolde $2,70\pm0,56$ mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.2).

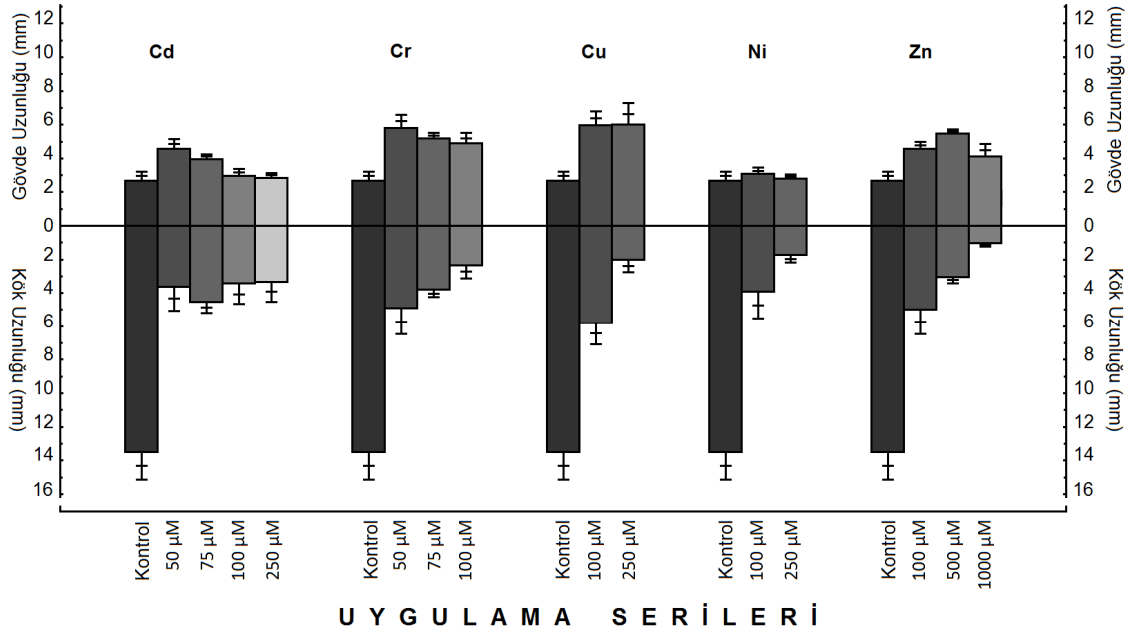
Kök/gövde oranında en yüksek ortalama değer kontrol grubunda ($6,30\pm1,04$) ve en düşük ortalama değer $1000 \mu\text{M}$ 'lık Zn grubunda ($0,33\pm0,23$) hesaplanmıştır (Şekil 4.3). Gövde/kök oranlarında ise en yüksek değer $1000 \mu\text{M}$ 'lık Zn uygulamasında ($4,21\pm0,91$) ve en düşük değer kontrol grubunda ($0,23\pm0,10$) bulunmuştur (Çizelge 4.5.1 ve Şekil 4.3).

Çimlenme yüzdesi açısından en yüksek ortalama değer $\%66,00\pm2,77$ olarak kontrolde ve en düşük ortalama değer $\%58,40\pm4,51$ olarak $500 \mu\text{M}$ 'lık Zn serisinde; çimlenme süresi açısından en yüksek ortalama değer $3,09\pm0,13$ olarak kontrolde ve en düşük ortalama değer $1,98\pm0,46$ olarak Zn'nun $100 \mu\text{M}$ 'lık serisinde hesaplanmıştır (Şekil 4.1).

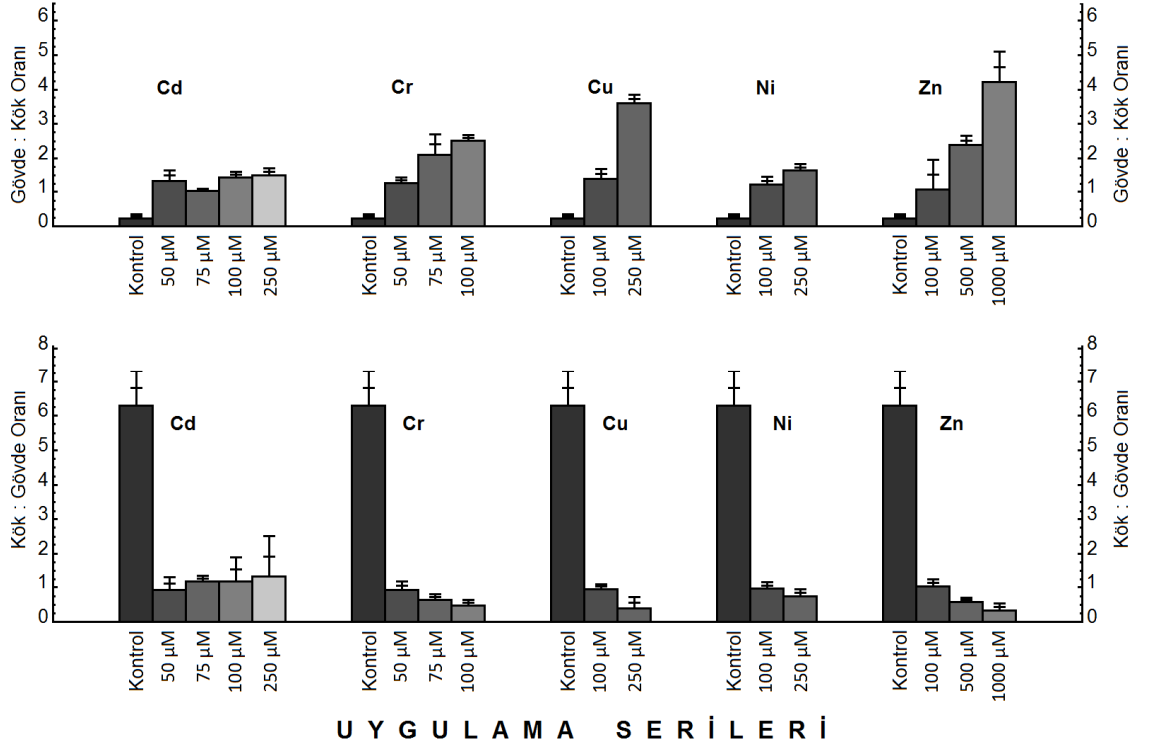
Şekil 4.1. *V. olympicum* tohumlarının Cd, Cr, Cu, Ni ve Zn'un farklı konsantrasyonlarında belirlenen çimlenme yüzdesi ve çimlenme süreleri



Şekil 4.2. *V. olympicum* fidelerinde belirlenen gövde ve kök uzunlukları



Şekil 4.3. *V. olympicum* fidelerinde belirlenen kök/gövde ve gövde/kök oranları



5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Genel olarak Cd metali tohum çimlenmesi üzerinde düşük oranda negatif etki göstermiştir. Kök uzunluğu açısından Cd, kontrole karşılaştırıldığında belirgin derecede toksik etki yaratmıştır. Uygulanan metal konsantrasyonunun artışıyla kök uzunluğunda azalma meydana gelmiştir. Cd uygulamasına maruz kalan tohumların gövde: kök oranı kontrole göre daha yüksektir. Kök: gövde oranı ise kontrole göre daha küçüktür. Cd uygulamasında (50 µM Cd hariç) konsantrasyon arttıkça çimlenme süresi uzamıştır. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde kök uzunluğu çimlenmeye göre daha hassastır. Chen ve ark. (2010) gerçekleştirdikleri çalışmada kök uzunluğunun çimlenmeye göre daha hassas olma sebebinin Cd'un kolayca kortekse geçebilmesinden buğday köklerinin ilk Cd tahribine uğrama olasılığının olduğundan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Bu sebeple, *Verbascum olympicum*'da çimlenmenin kök uzunluğuna göre daha dirençli olması Cd'un kolayca kortekse geçebildiğinden *V. olympicum* köklerinin ilk olarak Cd tahribine uğrama olasılığından kaynaklanabilir. Kiran ve Şahin (2006) mercimek bitkisi üzerinde Cd konsantrasyonunun artmasıyla çimlenmenin ve kök gelişiminin azalmakta olduğunu ve Cd stresine karşı kök gelişiminin tohum çimlenmesinden daha hassas olduğunu belirlemiştir. Wang ve ark. (2010) ise, Cd'un *Paulownia fortunei*'nin tohum çimlenmesi üzerinde düşük oranda negatif etki gösterdiğini açıklamışlardır. Shafiq ve ark.'nın (2008) çalışmasında, genel olarak Cd uygulamasının *Leucaena leucocephala*'da tohum çimlenmesi, kök büyümesi ve filiz büyümesi üzerine toksik etki gösterdiği ifade edilmiştir. *Verbascum olympicum* türünde gövde gelişiminde kontrole göre artış olmuştur. Bu durum *Verbascum olympicum* türünün Cd'u toprak üstü organlarına taşıyabilmek için gövdesini geliştirdiğini düşündürmektedir. Jadia ve Fulekar (2008) tarafından yüksek CdCl₂ konsantrasyonuna maruz bırakılan ayçiçeği tohumlarındaki çimlenme başarısızlığı, su alınımindaki gecikmeye, embriyodaki büyümenin ve hücre bölünmesinin engellenmesine ve/veya metabolik aktivitedeki genel azalmaya dayandırılmıştır. Kuriakose ve Prasad (2008) *Sorghum bicolor* türünün tohum çimlenmesi ve hidroliz enzimlerinin aktivitesi üzerine Cd toksisitesi araştırdığında; çimlenmedeki azalmanın ve fide gelişiminin engellenmesinin, depo karbonhidratların hidrolizinin ve parçalanmış şekerin taşınımının durdurulmasının bir sonucu olabileceğini belirtmişlerdir.

Cr uygulaması tohum çimlenmesi üzerine herhangi bir negatif etki göstermezken, metal konsantrasyonu arttıkça kök uzunluğu azalmıştır. Cr uygulaması arttıkça (50 µM'lık Cr uygulaması hariç) çimlenme süresi uzamıştır. Cr toksisitesine bağlı olarak kök büyümesindeki azalma, kök hücre bölünmesi/kök uzunluğunun engellenmesinden ya da köklerdeki hücre döngüsünün uzamasından kaynaklanabilir (Shanker ve ark. 2005). Kök uzama aşamasının, Cr toksisitesine karşı tohum çimlenme aşamasından daha hassas olduğu görülmüştür. Bu durumun tohumlara yüksek oranda Cr⁺² girişini engelleyebilen tohum kabuğundan kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Jun ve ark. 2009). Gövde:kök oranı Cr konsantrasyonu artışıyla artarken, kök:gövde oranı azalmıştır. Fozia ve ark. (2008) ayçiçeği türünde Cr'un etkisine baktıklarında, kontrol grubunda çimlenme yüzdesinin maksimum olduğunu, buna karşın Cr dozunun en yüksek seviyeye (60 mg/kg) artırılmasıyla çimlenme yüzdesinin % 40'a düştüğü ve yine Cr konsantrasyonunun artışıyla kök uzunluğunda azalmanın meydana geldiğini açıklamışlardır. Yine aynı çalışmada türün gövde uzunluğunda ve bitki boyunda azalmaların ortaya çıktığı gösterilmiştir. *Verbascum olympicum* türünde gövde gelişiminde kontrole göre artış olmuştur. Bu durum *Verbascum olympicum* türünün Cr'u toprak üstü organlarına taşıyabilmek için gövdesini geliştirdiğini düşündürmektedir. Fozia ve ark. (2008) Cr'un ayçiçeği bitkisinin büyümesi ve gelişiminin farklı fazlarında farklı derecelerde toksik olduğunu ve aynı zamanda metal toksitesinin konsantrasyona ve ortama bağlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Genel olarak bakıldığında, Cu uygulaması arttıkça çimlenme yüzdesindeki azalma düşüktür. Uygulanan Cu konsantrasyonunun artışıyla kök uzunluğunda belirgin oranda azalma görülürken, gövde uzunluğunda artış olmuştur. Gövde uzunluğunda meydana gelen artış *Verbascum olympicum* türünün Cu'ı toprak üstü organlarına taşıyabilmek için gövdesini geliştirdiğini düşündürmektedir. Gövde:kök oranı konsantrasyon artışıyla artarken, kök:gövde oranı azalmıştır. Ayrıca uygulanan metal konsantrasyonunun artışıyla çimlenme süresi uzamıştır. Wang ve ark. (2010) Cu'nun *Paulownia fortunei* türünde çimlenmeyi büyük oranda azalttığını ifade etmişlerdir. Mahmood ve ark. (2005) tarafından *Zea mays* L. var. Neelum'un çimlenmesi ve filiz büyümesi üzerindeki Cu etkisi araştırıldığında, bakırın farklı konsantrasyonlarının (3, 6, 9 ve 12 ppm) bu varyetenin çimlenmesi üzerine herhangi bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir. Elde edilen

sonuçlar değerlendirildiğinde, *Verbascum olympicum* türünde kök uzama aşamasının bakırın toksik etkisine karşı tohum çimlenme aşamasından daha hassas olduğu anlaşılmıştır. Bu durumun sebebi tohum kabuğunun metal alınımına karşı bariyer olarak rol almasından kaynaklanabilir (Li ve ark. 2005) .

Ni uygulaması tohum çimlenmesi üzerinde herhangi bir belirgin etki göstermezken, kök uzunluğunda azalma meydana gelmiştir. Ni'e maruz kalan tohumlarda kontrole göre daha uzun gövde gelişimi meydana gelmiştir. *Verbascum olympicum* türünde gövde gelişiminde kontrole göre artış olmuştur. Bu durum *Verbascum olympicum* türünün Ni'i toprak üstü organlarına taşıyabilmek için gövdesini geliştirdiğini düşündürmektedir. Gövde:kök oranı konsantrasyon artışıyla artarken, kök:gövde oranı azalmıştır. Çalışma sonuçları, tohum çimlenme fazının, Ni toksisitesine karşı kök uzama aşamasına göre daha dirençli olduğunu düşündürmektedir. Nikelin fide aşamasına göre çimlenme aşamasında daha yüksek dozlarda toksik etki göstermesi tohum kabuğunun bariyer olarak görev yapması ile ilişkilendirilmektedir. (Akıncı ve Akıncı 2011).

Zn uygulaması, tohum çimlenmesi aşamasında küçük bir düşüşe neden olsa da belirgin toksik etki göstermemiştir. Diğer metallerle karşılaştırıldığında *V. olympicum* tohumları Zn'ya karşı daha toleranslıdır. Tohumlardan 1000 μ M konsantrasyonda çimlenme, kök ve gövde gelişimi belirlenmiştir. 100 μ M Zn uygulaması kontrole karşılaştırıldığında tohum çimlenme yüzdesinde artış görülmüş ve yine kontrole göre daha kısa sürede çimlenme grlmştr. Ancak kök uzunluğu Zn konsantrasyonunun artışıyla negatif yönde etkilenmiştir. 100 μ M Zn uygulamasının kök ve gövde uzunluğunda herhangi bir uyarıcı etkisi olmamıştır. Gövde:kök oranı konsantrasyon artışıyla artarken, kök:gövde oranı azalmıştır. El-Ghamery ve ark. (2003) *Nigella sativa* ve *Triticum aestivum* türleri üzerinde Zn uygulaması arttıkça kök uzunluğunda inhibisyonun arttığını belirtmişlerdir. zdener ve Kutbay (2009) *Eruca sativa* tohumlarının en yüksek Zn (1500-2000 μ g/ml) konsantrasyonunda çimlenebildiğini ve bu türün tohumlarının çimlenme ve erken fide gelişim aşamasında Zn'ya karşı toleranslı olduğunu göstermiştir. Rout ve ark. (2000) *Echinochloa colona* türünün Cr ve Ni'le karşı tolerans mekanizmasının metal birikimi (herhangi bir sınırlamanın olmaması ve metallerin detoksifike edilmiş formda biriktirilmesi) ve metal dışlama (metal alınımının ve taşınmasının sınırlandırılması)

şeklinde iki yolla olabileceği belirtilmiştir. *Verbascum olympicum* tohumlarının çinkoya karşı daha toleranslı olma sebebi de türün Zn'ya karşı geliştirmiş tolerans mekanizmaları ile ilgili olabilir. Bizim çalışmamızda Zn'nun çimlenme üzerinde herhangi bir toksik etkisinin olmamasına karşın, Wang ve ark.nın (2010) yaptıkları çalışmada, Zn uygulamalarının *Paulownia fortunei* türünün tohum çimlenme fazında negatif etki göstermiştir.

Özetle, yapılan bu çalışmada metal dozunun artışıyla çimlenme ve kök uzunluğunda negatif yönde etkilenme belirlenmiş olmasına karşın tüm metallerin yüksek konsantrasyonlarında çimlenme %50'den yüksektir. Bu sonuçlar, *V. olympicum* türünün ağır metallere karşı çeşitli tolerans mekanizmalarının olabileceğini düşündürmektedir. Nitekim Güteryüz ve ark. (2006) türün ağır metal indikatörü ve metal biriktirme kapasitesinin olduğunu belirtmişlerdir. Metal dozunun artışıyla gövde uzunluğunda genel olarak artış olduğu görülmüştür. En toksik metalin Cd ve en az toksik etki gösteren metalin Zn olduğu söylenebilir. *Verbascum olympicum* türü metallere karşı belirli seviyeye kadar tolerans gösterebilir ve buna neden olarak da bitkinin sahip olabileceği tolerans mekanizmaları veya antioksidan mekanizmaları olabilir. Bu sebeple ağır metalce kirletilmiş ortamlarda bu tür restorasyon amaçlı olarak kullanılması önerilebilir. Ayrıca bu veriler türün metallere karşı direnç göstermesine neden olan mekanizmaların araştırılmasına çalışmalarda yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Akıncı, S., Akıncı, I.E. 2011.** Effects of Nickel on germination and some seedlings growth parameters in Spinach (*Spinacia oleracea*). *Ekoloji*, 20(79):69-76.
- Aydınalp, C., ve Marinova, S. 2009.** The effects of heavy metals on seed germination and plant growth on Alfalfa plant (*Medicago sativa*). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 15(4):347-350.
- Babula, P., Adam, V., Opatrilova, R., Zehnalek, J., Havel, L., Kizek, R. 2008.** Uncommon heavy metals, metalloids and their plant toxicity: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 6(4):189-213.
- Baker, A.J.M., Grant, C.J., Martin, M.H., Shaw, S.C., Whitebrook, J. 1986.** Induction and loss of cadmium tolerance in *Holcus lanatus* L. and other grasses. *New Phytologist*, 102:575-587.
- Baker, A.J.M., Brooks, R.R. 1989.** Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements. A review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*, 1:81-126.
- Bert, V., Macnair, M.R., De Laguerie, P., Saumitou-Laprade, P. And Petit, D. 2000.** Zinc tolerance and accumulation in metallicolous and nonmetallicolous populations of *Arabidopsis halleri* (Brassicaceae). *New Phytologist*, 146:225–234.
- Bewley, J.D. 1997.** Seed germination and dormancy. *The Plant Cell*, 9:1055-1066.
- Branković S., Pavlović-Muratspahić D., Topuzović M., Glišić R., Banković, D., Stanković, M. 2011.** Environmental study of some metals on several aquatic macrophytes. *African Journal of Biotechnology*, 10(56):11956-11965
- Calabrese E.J., Baldwin, L.A. 1999.** Reevaluation of the fundamental and dose-response relationship. *BioScience*, 49:725-732.
- Chen, C., Zhou, Q., Bao, Y., Li, Y., Wang, P. 2010.** Ecotoxicological effects of polycyclic musks and cadmium on seed germination and seedlings growth of wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Environmental Sciences*, 22(12):1966-1973.
- Citterio, S., Santagostino, A., Fumagalli, P., Prato, N., Ranalli, P., Sgorbati, S. 2003.** Heavy metal tolerance and accumulation of Cd, Cr and Ni by *Cannabis sativa* L. *Plant and Soil*, 256:243-252

- Di Toppi, L.S., Gabbrielli, R. 1999.** Response to cadmium in higher plants. *Environmental and Experimental Botany*, 41(2):105-130.
- El-Ghamery, A.A., El-Kholy, M.A., Abou El-Yousser, M.A. 2003.** Evaluation of cytological effects of Zn⁺² in relation to germination and root growth of *Nigella sativa* L. and *Triticum aestivum* L. *Mutation Research*, 537:29-41.
- Espen, L., Pirovano, L., Cocucci, S.M. 1997.** Effects of Ni⁺² during the early phases of radish (*Raphanus sativus*) seed germination. *Environmental and Experimental Botany*, 38:187-197.
- Finch-Savage, W.E., Leubner-Metzger, G. 2006.** Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist*. 171:501-523.
- Fozia, A., Muhammad, ANZ., Muhammad A., Zafar M.K. 2008.** Effect of chromium on growth attributes in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Environmental Sciences*, 20:1475-1480
- Güleryüz, G., Arslan, H., İzgi, B., Güçer, Ş. 2006.** Element Content (Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, and Zn) of the Ruderal Plant *Verbascum olympicum* Boiss. from East Mediterranean. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 61(5-6): 357-362.
- Hameed, N., Siddiqui, Z.S., Ahmed, S. 2001.** Effects of copper and lead on germination, accumulation and phenolic contents of *Spinaceae oleracea* and *Lycopersicum esculentum*. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 4(7):809-811.
- He Jun-Yu., Ren Yan-Fang., Zhu Cheng., Jiang De-An. 2008.** Effects of cadmium stress on seed germination, seedling growth and seed amylase activities in Rice (*Oryza sativa*). *Rice Science*, 15(4):319-325.
- Hsu, F. H., Chou, Chang-Hung. 1992.** Inhibitory effects of heavy metals on seed germination and seedling growth of *Miscanthus* species. *Botanical Bulletin of Academia*, 33:335-342.
- Israr, M., Jewell, A., Kumar, D., Sahi, S.V. 2011.** Interactive effects of lead, copper, nickel, and zinc on growth, metal uptake and antioxidative metabolism of *Sesbania drummondii*. *Journal of Hazardous Materials*, 186:1520-1526.
- Jadia, C.D., Fulekar, M.H. 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.

- Jun, R., Ling, T., Guanghua, Z. 2009.** Effects of chromium on seed germination, root elongation and coleoptil growth in six pulses. *In. J. Environ. Sci. Tech.*, 6(4):571-578.
- Kiran, Y., ve Şahin, A. 2006.** The effects of cadmium on seed germination, root development and mitotic of root tip cells of lentil (*Lens culinaris* Medik). *World Journal of Agricultural Sciences*, 2(2):196-200.
- Kjaer, C., Pedersen, M.B., Elmegaard, N. 1998.** Effects of soil copper on black bindweed (*Fallopia convolvulus*) in the laboratory and in the field. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 35:14-19.
- Kopyra, M., Gwózdź, E.A. 2003.** Nitric oxide stimulates seed germination and counteracts the inhibitory effect of heavy metals and salinity on root growth of *Lupinus luteus*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 41:1011-1017
- 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, S.V., Prasad, M.N.V. 2008.** Cadmium stress affects seed germination and seedling growth in *Sorghum bicolor* (L.) Moench by changing the activities of hydrolyzing enzymes. *Plant Growth Regul.*, 54, 143-156.
- Lefèvre, I., Marchal, G., Corréal, E., Zanuzzi, A., Lutts, S. 2009.** Variation in response to heavy metals during vegetative growth in *Dorycnium pentaphyllum* Scop. *Plant Growth Regulation*, 59, 1-11.
- Li, W.Q., Khan, M. A., Yamaguchi, S., Kamiya, Y. 2005.** Effects of heavy metals on seed germination and early seedling growth of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Growth Regul.*, 46, 45-50.
- Li, C.X., Feng, S.L., Shao, Y., Jiang, L.N., Lu, X.Y., Hou, X.L. 2007.** Effects of arsenic on seed germination and physiological activities wheat seedlings. *J. Environ. Sci.*, 19, 725-732.
- Lin, D., Xing, B. 2007.** Phytotoxicity of nanoparticles: Inhibition of seed germination and root growth. *Environmental Pollution*, 150, 243-250.
- Lukšienė, B., Račaitė, M. 2008.** Accumulation of heavy metals in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) aboveground and underground parts. *Environmental Research, Engineering and Management*, 4(46):36-41.

- Ma, C.C., Hong, F.S. 1998.** Preliminary explanation of the mechanism about effects of mercury on wheat seed germination and seedlings growth. *Acta Phytoecologica Sin.*, 22(4):373-378.
- Mahmood, S., Hussain, A., Saeed, Z., Athar, M. 2005.** Germination and seedling growth of corn (*Zea mays l.*) under varying levels of copper and zinc. *International Journal of Environment Science and Technology*, 2(3):269-274.
- Memon, A.R., Schröder, P. 2009.** Implications of metal accumulation mechanisms to phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research*, 16(2):162-175.
- Munzuroğlu, O., ve Geckil, H. 2002.** Effects of metals on seed germination, root elongation, and coleoptile and hypokotyl growth in *Triticum aestivum* and *Cucumis sativus*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 43, 203-213
- Özdener, Y., Kutbay, H.G. 2009.** Toxicity of copper, cadmium, nickel, lead and zinc on seed germination and seedling growth in *Eruca sativa*. *Fresenius Enviromental Bulletin*, 18(1):26-31.
- Peng, H., Geng, W., Yong-Quan, W., Mao-Teng, L., Jun, X., Long-Jiang, Y. 2010.** Effects of heavy metal stress on emerging plants community constructions in wetland. *Water Science & Technology*, 62(10):2459-2466.
- Peralte, J.R., Gardea-Torresdey, J.L., Tiemann, K.J., Gomez, E., Arteaga, S., Rascon, E., Parsons, J. G. 2001.** Uptake and effects of five heavy metals on seed germination and plant growth in Alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 66:727-734.
- Rehder, H., M., Gökçeoğlu, G., Gebauer, G., Güleriyüz. 1994.** Die vegetation des Uludağ-Gebirges (Anatolien). *Phytocoenologia*, 24:169-194
- Rout, G. R., Samantaray, S., Das, P. 2000.** Effects of chromium and nickel on germination and growth in tolerant and non-tolerant populations of *Echinochloa colona* (l.) Link. *Chemosphere*, 40:855-859.
- Salvatore, M. D., Carafa, A. M., Carratù, G. 2008.** Assessment of heavy metals phytotoxicity using seed germination and root elongation tests: A comparison of two growth substrates. *Chemosphere*, 73:1461-1464.

- Siddigui, A.H., Tabrez, S., Ahmad, M. 2011.** Validation of plant based bioassays for the toxicity testing of Indian waters. *Environmental Monitoring and Assessment*, 179:241-253.
- Shafiq, M., ve Iqbal M., Z. 2005a.** Tolerance of *Peltophorum pterocarpum* D.C. Baker Ex K. Heyne seedlings to lead and cadmium treatment. *Journal New Seeds*, 7(4):83-94.
- Shafiq, M., ve Iqbal M., Z. 2005b.** The toxicity effects of heavy metals on germination and seedlings growth of *Cassia siamea* Lamk. *Journal New Seeds* 7(4):95-105.
- Shafiq, M., Iqbal M., Z., Athar, M. 2008.** Effect of lead cadmium on germination and seedling growth *Leucaena leucocephala*. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 12(2):61-66.
- Shanker A.K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H., Avudainayagam, S. 2005.** Chromium toxicity in plants. *Environmental International*, 31:739-753.
- Stingu, A., Volf, I., Popa, V.I. 2009.** Physiological changes in seedlings germination and growth plant under chemical stress conditions. *Environmental Engineering and Management Journal*, 8(6):1309-1313.
- Street, R.A., Kulkarni, M.G., Stirk, W.A., Southway, C., Van Staden J. 2007.** Toxicity of metal elements on germination and seedlings growth of widely used medicinal plants belonging to Hyacinthaceae. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 79:371-376.
- Tang, Y.T., Qiu, R.L., Zeng, X.W., Ying, R.R., Yu, F.M., Zhou, X.Y. 2009.** Lead, zinc, cadmium hyperaccumulation and stimulation in *Arabis paniculata* Franch. *Environmental and Experimental Botany*, 66:126-134.
- Yadav, S.K. 2010.** Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatin in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany*, 76:167-179
- Yang, M.J., Lin, X.Y., Yang X.E. 1998.** Impact of Cd on growth and nutrient accumulation of different plant species. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 19(1):89-94.
- Wang, W. 1994.** Rice seed toxicity tests of organic and inorganic substances. *Environmental Monitoring and Assessment*, 29(2):101-107.

- Wang, W., Keturi, P.H. 1990.** Comparative seed germination test using ten plant species for toxicity assessment of metals engraving effluent sample. *Water, Air, Soil Pollution*, 52(3-4):369-376.
- Wang ve Williams. 1990.** The use of phytotoxicity tests (common duckweed, cabbage, and millet) for determining effluent toxicity. *Environmental Monitoring and Assessment*, 14(1):45-58.
- Wang, J., Li, W., Zhang, C., Ke, S. 2010.** Physiological response and detoxific mechanisms to Pb, Zn, Cu and Cd in young seedlings of *Paulownia fortunei*. *Journal of Environmental Sciences*, 22(12):1916-1922.
- Wierzbicka, M., Obidzinska, J. 1998.** The effect of lead on seed imbibition and germination in different plant species. *Plant Sci.*, 137:155-171.
- Xu, Z., Zhou, Q., Liu, W. 2009.** Joint effects of cadmium and lead on seedlings of four Chinese cabbage cultivars in northeastern China. *Journal of Environmental Sciences*, 21:1598-1606.

ÖZ GEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sevgi DERYA
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa/05.05.1986
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
Lise : Bursa Cumhuriyet Lisesi/1999-2003
Lisans : Uludağ Üniversitesi/2003-2007

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :Bursa İl Özel İdaresi/2008-halen
İletişim (e-posta) :sevgiderya86@gmail.com