



Effects of some heavy metals on germination and early seedling growth of maize (*Zea mays* L.)

Esra Nermin ERTEKİN^{*1}, Mehmet BİLGİN²
ORCID: 0000-0002-5397-2239; 0000-0001-5671-2021

¹ Antalya AKEV Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Programı, 07506 Antalya, Turkey

² Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, 07070 Antalya, Turkey

Abstract

This study was carried out to determine the effects of different heavy metals and its doses on germination and early seedling stage of maize (*Zea mays* L.) at the Akdeniz University, Agricultural Faculty, Department of Field Crops in 2017. Heavy metals such as lead (Pb), nickel (Ni), chromium (Cr), cadmium (Cd) and mercury (Hg) and its doses such as 0 (control), 100, 200, 400 and 800 mg L⁻¹ were used as experimental factors. This research was laid out on the factorial arrangements design in randomized parcels with 4 replications. Germination percentage (%), germination index, mean germination time (day), radicle length (mm), plumula length (mm), radicle fresh weight (mg plant⁻¹), plumula fresh weight (mg plant⁻¹), radicle dry weight (mg plant⁻¹) and plumula dry weight (mg plant⁻¹) properties were investigated in germination and early seedling stage of maize. As results of this study, Toxicity effects of heavy metals used in this research were listed as mercury> cadmium> lead> chromium> nickel. Also, in 400 and 800 mg L⁻¹ doses of mercury and cadmium heavy metals were found to be more toxic than the same doses of others. 100 and 200 mg L⁻¹ doses of heavy metals used in this work caused the stimulant effects on germination and early seedling stage of maize.

Key words: heavy metals, germination, early seedling stage, maize, *Zea mays* L.

----- * -----

Bazı ağır metallerin at dişi mısır (*Zea mays* L.)’da çimlenme ve erken fide gelişimi üzerine etkileri

Özet

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünde 2017 yılında at dişi mısırdaki (*Zea mays* L.) bazı ağır metallerin çimlenme ve erken fide gelişimi üzerine etkisini belirlemek için yürütülmüştür. Ağır metaller olarak kurşun (Pb), nikel (Ni), krom (Cr), kadmiyum (Cd) ve cıva (Hg) ve ağır metal dozları olarak 0 (kontrol), 100, 200, 400 ve 800 mg L⁻¹ dozları kullanılmıştır. Deneme tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak 120 mm çapındaki Petri kutularında yürütülmüştür. Çimlenme ve erken fide evresinde çimlenme oranı (%), çimlenme indeksi, ortalama çimlenme süresi (gün), kök uzunluğu (mm), sürgün uzunluğu (mm), kök yaş ağırlığı (mg bitki⁻¹), sürgün yaş ağırlığı (mg bitki⁻¹), kök kuru ağırlığı (mg bitki⁻¹) ve sürgün kuru ağırlığı (mg bitki⁻¹) özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre at dişi mısırın çimlenme ve ilk fide evresinde ele alınan ağır metallerin toksikolojik etkisi “cıva>kadmiyum>kurşun>krom>nikel” şeklinde sıralanabilir. Ayrıca Hg ve Cd ağır metallerinin 400 ve 800 mg L⁻¹ dozları diğer ağır metallerin aynı dozlarından daha fazla toksik etkide bulunmuştur. Ele alınan ağır metal dozlarından 100 ve 200 mg L⁻¹ dozları çimlenme ve erken fide evresinde at dişi mısır üzerinde uyarıcı etki yaratmıştır.

Anahtar kelimeler: ağır metaller, çimlenme, erken fide evresi, mısır, *Zea mays* L.

1. Giriş

Tarımsal üretimin yapıldığı arazilerde tohumum toprağa ekiminden sonra gerekli bakım işlemlerinin yerine getirilerek, tohum çimlenmesinin yeterli ölçüde olması ve gerekli olan bitki sıklığının sağlanması üretimin temelini teşkil eder [1,2,3,4]. İstenen miktarda çimlenmenin gerçekleşmesi ve bitki sıklığının oluşması doğrudan tohumun ekildiği arazinin biyotik ve abiyotik çevre koşullarına bağlıdır [5,6,7,8,9,10]. Tohum yatağı ve çevresindeki bazı stres koşulları yeterli miktarda tohum ekilse bile tarımsal üretim için uygun bitki sıklığı elde edilememektedir [11].

Son yıllarda Türkiye’de sanayileşme faaliyetleri hız kesmeden artmaktadır ve birçok ülkenin ekonomik gelişimde önemli bir paya sahiptir. Fakat sanayileşme ile birlikte hem sanayi alanında hem de tarımsal faaliyetler kapsamında kimyasal girdi kullanımı hızlanmakta ve bu sebeplerden dolayı tarım arazileri hızla çevresel kirliliğe maruz kalmaktadır [11,12]. Toprakta çeşitli çevresel problemlerden dolayı bulunabilen ağır metaller hem toprağın biyolojik yapısını hem de kültürü yapılmakta olan bitkileri olumsuz etkilemektedir [13]. Bu durum bitkiler için çok önemli bir abiyotik stres kaynağıdır ve tarım alanlarında kültürü yapılan bitkiler için bu kaynaklar vasıtasıyla stres koşullarının oluşması, bitkilerin fizyolojisini etkiler, genetik potansiyellerini değiştirir, verimliliklerini azaltır ve hatta ölümlerine bile sebep olabilir.

Ağır metal terimi düşük dozlarında bile zehirli etkide bulunan herhangi bir metal anlamına gelir. Cd, Pb, Cr, Hg, Ni ve Cu gibi ağır metaller özellikle insan kaynaklı baskıların (sanayileşme, maden kazıları, şehirsal atıklar vb.) yüksek olduğu bölgelerde büyük bir çevresel tehdittir. Bütün bitkiler toprak ve sudan kendi büyüme ve gelişimleri için şart olan ağır metalleri toplama kabiliyetine sahiptirler. Bazı bitkiler de biyolojik fonksiyonları bilinmeyen ağır metalleri biriktirme kabiliyetine sahiptirler. Bunlar Cd, Cr, Pb, Co, Ag, Se ve Hg içermektedirler [14]. Yüksek konsantrasyonlardaki ağır metallerin hem tolere edilebilir hem de biriktirilebilir üst sınırları farklı bitki türlerine göre değişmektedir [15].

Mısır (*Zea mays* L.) buğdaygiller familyasından tek yıllık bir bitkidir ve ülkemizde yaygın yonca bitkisinden sonra en fazla kültürü yapılan yem bitkisi türüdür [16]. Ancak mısır ülkemizde esas olarak tene üretimi amacıyla yetiştirilmektedir. Silaj üretiminde mısır bitkisi tüm dünyada en çok faydalanılan bitki konumundadır [17]. Mısır geniş alanlarda yaygın yetiştirilen bir bitki olduğundan dolayı özellikle sanayileşmenin yoğun olduğu alanlar için ağır metal stresine maruz kalma durumları değerlendirilmelidir. Bu yüzden, bu çalışma at dışı mısırdaki farklı ağır metaller ve dozlarının çimlenme ve erken fide evresine etkilerini belirlemek için yürütülmüştür.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Bu çalışma ülkemizde yetiştiriciliği yaygın olarak yapılan at dışı mısır (*Zea mays* L.) bitkisinde yapılmıştır. Monsanto şirketine ait olan DKC6590 mısır çeşidi kullanılmıştır. Ağır metal stres materyali olarak Tablo 1’de bilgileri sunulan cıva (Hg^{+}), kurşun (Pb^{+2}), nikel (Ni^{+2}), kadmiyum (Cd^{+2}) ve krom (Cr^{+3}) ağır metalleri kullanılmıştır.

Tablo 1. Kullanılan ağır metallere ait bilgiler

Uygulama Kodu	Ağır Metal	Bileşik Formülü	Molekül Ağırlığı ($g\ mol^{-1}$)	Üretici Firma
Pb	Kurşun	$Pb(NO_3)_2$	331.2	Riedel
Ni	Nikel	$Ni(NO_3)_2 \times 6H_2O$	290.81	Merck
Cr	Krom	$Cr(NO_3)_3 \times 9 H_2O$	400.15	Merck
Cd	Kadmiyum	$Cd(NO_3)_2 \times 4 H_2O$	308.49	Panreae
Hg	Cıva	$Hg(NO_3)_2 \times H_2O$	342.62	Merck

2.2 Yöntem

Bu çalışma 2017 yılı içerisinde Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Çayır-Mera ve Yem Bitkileri laboratuvarlarında yürütülmüştür. Denemede beş farklı ağır metalin 5 farklı dozu (0/kontrol, 100, 200, 400 ve 800 $mg\ L^{-1}$) uygulama faktörlerinin düzeylerini oluşturmuştur. Bu çalışma tesadüf parsellerinde faktöriyel düzene göre dört tekerrürlü olarak kurulmuştur. Çalışmada kullanılan mısır çeşidinin tohumları yüzey sterilizasyonu için %5’lik sodyum hipoklorit (ticari çamaşır suyu) çözeltisinde 3 dakika süre ile bekletilmiş ve steril saf su ile 5 kez durulama işlemi yapılmıştır. Çimlenme testleri 120 mm çapında 15 mm yüksekliğinde plastik steril tek kullanımlık Petri tabaklarında yürütülmüştür. Hazırlanan ağır metal dozlarından çift kat kaba filtre kağıdı yerleştirilmiş olan Petri tabaklarına 15 mL ilave edilmiştir. Ayrıca kontrol (0) uygulaması için steril saf su kullanılmış ve yine 15 mL uygulama yapılmıştır. Steril edilen mısır tohumlarından her Petri tabağına 20 adet ekim yapılmıştır. Tohumlar her bir ağır metal ve dozları için Petri tabaklarına ekildikten sonra nem kaybı olmaması için Petri tabakları parafilm ile kapatılmıştır. Hazırlanan örnekler 7 gün boyunca karanlık koşullarda iklim kabininde (25 °C sıcaklık ve %70 nispi nemde) çimlendirmeye bırakılmıştır. Çimlenme süresinin her gününde çimlenen tohumlar sayılmış ve “Uluslararası Tohum Test

Birliği” kurallarına göre 2 mm kökçük uzunluğuna sahip olan tohum, çimlenmiş olarak kabul edilmiştir [18]. 7 günün sonunda çimlenmenin tamamlandığı kabul edilmiş ve çimlenen tohumların ilk fide evresini tamamlamaları için 12 saat gece 12 saat gündüz olacak şekilde iklim kabininde işıklanma sağlanmıştır [11].

Çimlenme Oranı/ÇO (%): Çimlenme sonunda toplam çimlenen tohum sayısı çimlenmeye bırakılan tohum sayısına oranlanarak hesaplanmıştır.

Çimlenme İndeksi/Çİ: Her gün çimlenen tohumlar sayılmış, J.D. Maguire tarafından 1962’de geliştirilen aşağıdaki formülde yerine konularak çimlenme indeksi hesaplanmıştır [19].

$$\text{Çİ} = \sum n / d \quad (1)$$

n: d gününde elde edilen normal fide sayısı

d: Testin başlangıcından itibaren sayılan günler

Ortalama Çimlenme Süresi/OÇS (gün): ISTA kurallarına göre her gün çimlenen tohumlar sayılmış Ellis ve Roberts [20]’in geliştirmiş olduğu aşağıdaki formülde yerine konarak ortalama çimlenme süresi hesaplanmıştır.

$$\text{OÇS} = \sum D * n / \sum n \quad (2)$$

D: Testin başlangıcından itibaren sayılan günler

n: D gününde çimlenen tohum sayısı

Kök ve Sürgün Uzunluğu (mm) [KU-SU]: Çimlendirme testleri sonunda rastgele seçilen 13 bitkicik üzerinde sürgün ve kök uzunluğu ölçümü cetvel yardımıyla yapılmış ve kaydedilmiştir.

Kök ve Sürgün Yaş Ağırlığı (mg bitki⁻¹) [KYA-SYA]: Çimlendirme testi sonunda 13 bitkide kök ve sürgün yaş ağırlığı tartılmıştır.

Kök ve Sürgün Kuru Ağırlığı (mg bitki⁻¹) [KKA-SKA]: Kök ve sürgün yaş ağırlığı tartılan 13 bitkicik 70 °C’de 48 saat boyunca etüvde kurutulmuş ve kuru ağırlıkları belirlenmiştir.

Bu çalışma tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre planlanmış ve elde edilen sonuçlar bu deneme deseninin modeline göre varyans analizine tabi tutulmuştur. Varyans analizi neticesinde istatistiki olarak önemli bulunan özelliklerde Tukey çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır (p<0.05).

3. Bulgular ve Tartışma

Ağır metaller ile dozlarının ve bu iki faktörün interaksyonunun mısır bitkisinin çimlenme oranı (ÇO) üzerine etkisi önemli bulunmuştur (Tablo 2). Ağır metaller uygulamalarında ÇO değerleri %89.75-97.25 arasında, dozlarda ise %88.00-96.25 arasında tespit edilmiştir. Ağır metallerde en yüksek ÇO Ni ağır metalinde en düşük ise Hg ağır metalinde belirlenmiştir. Dozlar arasında en yüksek ÇO 100 mg L⁻¹ dozunda bulunmuş, en yüksek ise 800 mg L⁻¹ dozunda kaydedilmiştir. Ancak kontrol ile birlikte 100, 200 ve 400 mg L⁻¹ dozları istatistiki olarak aynı grupta yer almıştır (Tablo 1). İnteraksiyonların ÇO üzerine etkisi şekil 1 ile gösterilmiştir. şekil 1’e göre genel olarak küçük dozlarda (100, 200 ve 400 mg L⁻¹) her ağır metalin mısırın ÇO üzerine olumsuz etkisi bulunmamış fakat 400 mg L⁻¹ dozundan sonra önemli bir negatif etkinin ortaya çıktığı belirlenmiştir. ÇO üzerine en çok olumsuz etki Hg ağır metalinin 800 mg L⁻¹ dozunda tespit edilmiştir.

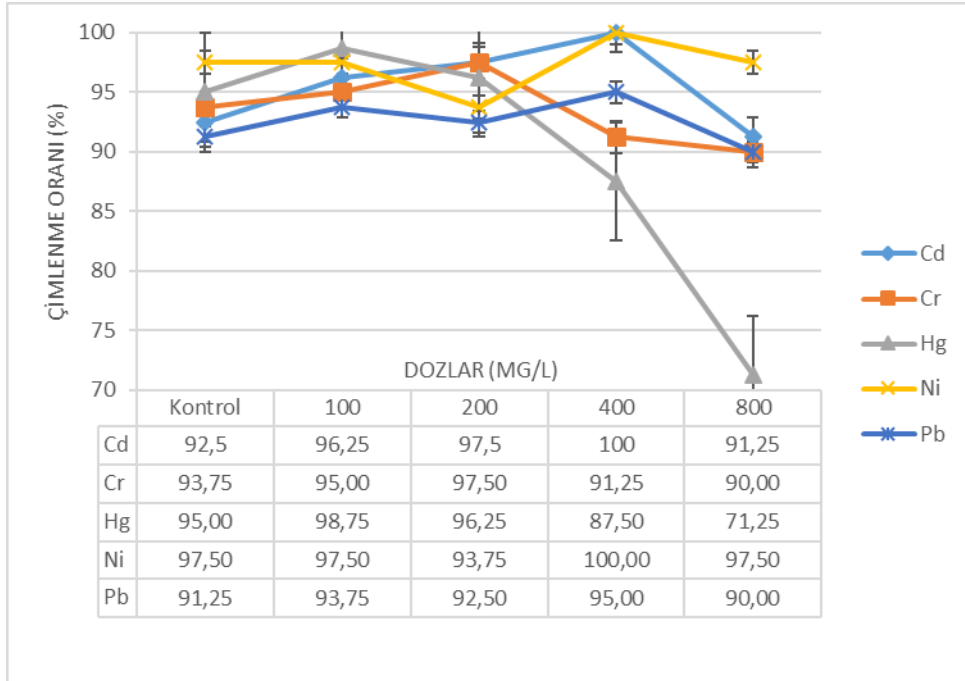
Tablo 2. Yalnızca ağır metallerin ve dozların bazı çimlenme ve fide gelişimi parametreleri üzerine etkisi

	ÇO (%)±SH	Çİ±SH	OÇS (Gün) ±SH	KU (mm) ±SH	SU (mm) ±SH
Ağır Metaller (A)					
Cd	95.50±1.20 ^a	9.06±0.10 ^{ab}	2.18±0.03	50.58±8.75 ^c	45.18±1.88 ^b
Cr	93.50±1.41 ^{ab}	8.69±0.20 ^{ab}	2.26±0.05	105.38±8.48 ^a	49.00±1.07 ^{ab}
Hg	89.75±2.84 ^b	8.44±0.29 ^b	2.23±0.04	36.05±9.73 ^c	39.80±2.07 ^c
Ni	97.25±0.92 ^a	9.15±0.12 ^a	2.22±0.03	74.02±9.28 ^b	46.39±1.35 ^{ab}
Pb	92.50±1.06 ^{ab}	8.60±0.22 ^{ab}	2.27±0.10	81.27±9.01 ^b	50.46±2.31 ^a
Ortalama	93.70	8.79	2.23	69.46	46.17
Önemlilik	**	*	öd	**	**
Dozlar (mg L⁻¹) (B)					
Kontrol (0)	94.00±1.18 ^a	8.94±0.13 ^a	2.19±0.04 ^b	67.48±7.70 ^b	42.83±1.68 ^c
100	96.25±1.08 ^a	9.10±0.15 ^a	2.20±0.04 ^b	65.42±8.82 ^b	44.66±1.12 ^{bc}
200	95.50±0.95 ^a	9.13±0.10 ^a	2.15±0.01 ^b	134.97±5.06 ^a	53.00±1.23 ^a
400	94.75±1.60 ^a	8.92±0.16 ^a	2.20±0.03 ^b	36.54±5.67 ^c	41.68±1.69 ^c
800	88.00±2.63 ^b	7.86±0.29 ^b	2.41±0.10 ^a	42.88±6.98 ^c	48.67±2.58 ^{ab}
Ortalama	93.70	8.79	2.23	69.46	46.17
Önemlilik	**	**	**	**	**
Önemlilik (AXB)	**	öd	*	öd	**

ÇO: Çimlenme Oranı, Çİ: Çimlenme indeksi, OÇS: Ortalama çimlenme süresi, KU: Kök uzunluğu, SU: Sürgün uzunluğu, SH: Standart hata, Cd: Kadmiyum, Cr: Krom, Hg: Cıva, Ni: Nikel, Pb: Kurşun, öd: Önemli değil, *: %5’de önemli, **: %1’de önemli

Ayhan ve ark. [21] farklı mısır çeşitlerinde Cd ve Pb'nin ÇO üzerine etkisini incelemişler ve çalışmada kullanılan ağır metal dozlarının ÇO üzerine etkisinin önemli olmadığını bildirmişlerdir. Nitekim bu çalışmada da Hg ağır metali hariç diğer ağır metallerin çimlenme oranı üzerine etkisi benzer bulunmuştur. İki ticari çeltik çeşidi üzerinde Pb ve Hg'nin etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, ağır metal yoğunluklarının artmasıyla birlikte ÇO'nun azaldığı belirlenmiştir [22]. Çeltik tohumlarının çimlenmesi ve ilk fide gelişimi üzerine 0, 10, 50, 100, 200, 400 ve 800 ppm'lik Cr dozlarının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada Cr dozu yoğunluğu arttıkça ÇO'nun azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca 800 ppm dozunun öldürücü etkide olduğu ve 10 ppm yoğunluğunun ise çok az olumsuz etkide olduğu belirlenmiştir [23]. Çoğu araştırma sonucu, bizim bulgularımızı destekler niteliktedir.

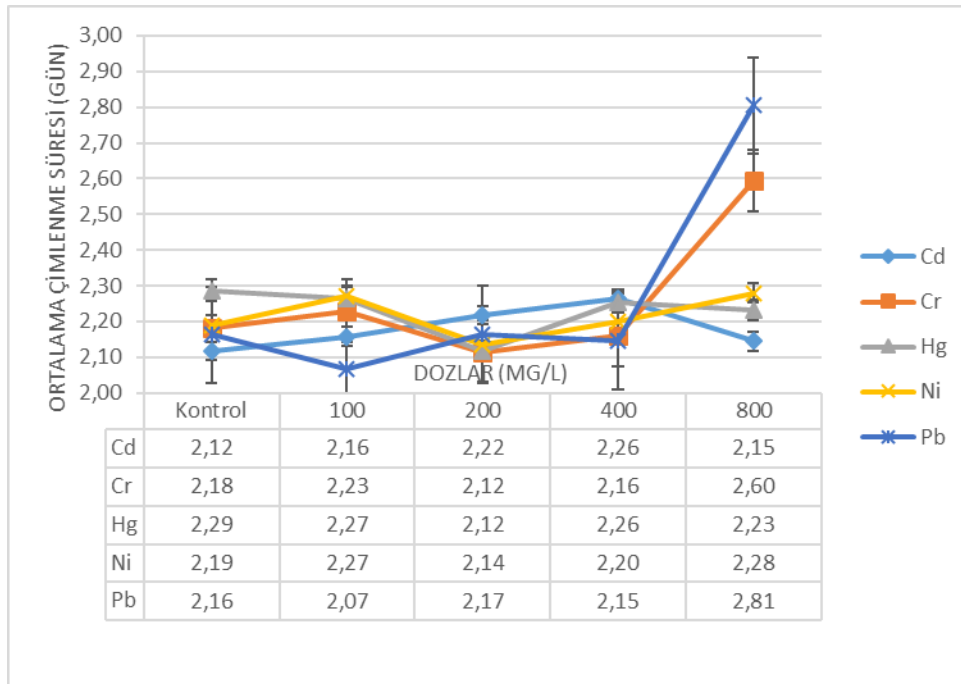
Ağır metaller ile dozlarının mısır bitkisinin çimlenme indeksi (Çİ) üzerine etkisi önemli bulunmuştur (Tablo 2). Ancak interaksiyonların etkisi önemli bulunmamıştır. Ağır metaller uygulamalarında Çİ 8.44-9.15 arasında, dozlarda ise 7.86-9.13 arasında değişiklik göstermiştir. Ağır metallerde en yüksek Çİ Ni'de, dozlarda ise 200 mg L⁻¹'de tespit edilmiştir. Ağır metaller arasında en düşük Çİ Hg'de dozlar arasında ise 800 mg L⁻¹'de belirlenmiştir. İspanakta nikelin çimlenme indeksi üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, en yüksek çimlenme indeksi 25 mg L⁻¹ ve kontrol uygulamasında bulunurken, en düşük çimlenme indeksi ise 800 mg L⁻¹ nikel uygulamasında bulunmuştur. Fakat 50 mg L⁻¹ nikel uygulamasından sonra çimlenme indeksinin azalmaya başladığı bildirilmiştir [24]. Farklı İtalyan çimi çeşitlerinin Cd toksisitesi altında incelendiği bir çalışmada, nispi Çİ'nin 0'dan 1000 µmol L⁻¹'e artan Cd yoğunluklarında azaldığı rapor edilmiştir [22]. Çeltikte Cd stresi altında çimlenme indeksinin kontrolle kıyaslandığı zaman 100 µM'da önemli ölçüde olumsuz etkilendiği rapor edilmiştir [26]. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara benzer şekilde literatür sonuçlarında da ağır metal dozları arttıkça Çİ artmıştır. Fakat metal türüne göre bu değişiklik farklılık göstermiştir. Ayrıca Akıncı ve Akıncı [24] Ni ağır metalinde küçük dozların Çİ'ni geliştirici etkide olduğunu tespit etmiş ve yüksek dozunun çalışmamıza benzer şekilde olumsuz etkide bulunduğunu bildirmiştir.



Şekil 1. İnteraksiyonların çimlenme oranı (ÇO) üzerine etkilerini gösteren çizgi grafiği

At dişi mısırın ortalama çimlenme süresi (OÇS) üzerine ağır metallerin etkisi önemsiz bulunmuş fakat dozların ve interaksiyonların etkisi önemli bulunmuştur (Tablo 2). Ağır metal dozlarında OÇS değerleri 2.15-2.41 gün arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek OÇS 800 mg L⁻¹ dozunda tespit edilmiştir. Kontrol uygulaması ile birlikte 100, 200 ve 400 mg L⁻¹ dozu uygulamaları arasında istatistiki bir fark bulunmamış ve en düşük OÇS 200 mg L⁻¹ dozunda kaydedilmiştir. Tüm ağır metallerin kontrol, 100, 200 ve 400 mg L⁻¹ dozlarında OÇS değerleri önemli ölçüde bir değişiklik göstermemiştir (Şekil 2). Ancak 800 mg L⁻¹ dozunda OÇS değerleri Pb, Cr ve Ni ağır metalinde önemli bir artış göstermiştir. Akıncı ve Akıncı [24], İspanakta OÇS'nin 0'dan 800 mg L⁻¹'a kadar nikel dozunun artmasıyla arttığını tespit etmişlerdir. Akıncı ve Çalışkan [27] bazı sebzelerin çimlenmesi üzerine Pb'nin etkisini inceledikleri bir çalışmada, 0'dan 800 mg L⁻¹'a kadar Pb dozunun artışıyla birlikte biber, patlıcan, hıyar, kabak, karpuz, kavun, bamya ve fasulye bitki cinslerinde OÇS'nin arttığını bildirmiştir. Ahmad ve ark. [28] 0'dan 80 mg L⁻¹'a kadar Cd dozunun yükselmesiyle dört tane ticari buğday çeşidinde OÇS'nin arttığını bildirmiştir. Akıncı ve Akıncı [29] karpuzun 0'dan 300 mg L⁻¹ krom toksisitesi altında OÇS'nin doz arttıkça arttığını bildirmiştir. Bu çalışmadan farklı ağır metal ve dozları altında elde edilen OÇS sonuçları literatür raporları ile benzerdir.

Kök uzunluğu (KU) üzerine ağır metallerin ve dozların etkisi önemli bulunmuş fakat interaksiyonların etkisi önemli çıkmamıştır. Farklı ağır metal stresi altında at dişi mısırın KU değerleri 36.05-105.38 mm arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek KU değeri Cr ağır metalinde, en düşük ise Hg ağır metalinde tespit edilmiştir. Farklı ağır metal dozları altında at dişi mısırın KU değerleri 36.54-134.97 mm arasında kaydedilmiştir. En yüksek KU değeri 200 mg L⁻¹ dozunda bulunurken, en düşük ise 400 mg L⁻¹ dozunda belirlenmiştir. Gedik ve ark. [30] 0 mM'dan 2 mM'a doğru kadmiyum yoğunluğunun artmasıyla birlikte *Vicia peregrina* L. bitkisinde kök büyümesinin kontrolle kıyaslandığında engellendiğini bildirmiştir. Şahin ve Kıran [31], kurşun ağır metalinin 0'dan 100 mM yoğunluğa doğru arttıkça *Lens culinaris* Medik. bitkisinde kök uzunluğunu azalttığını bildirmiştir. Ayhan ve ark. [21] kadmiyum ve kurşunun bazı mısır çeşitlerinde kök uzunluğunu kontrole göre düşürdüğünü bildirmiştir. Verma ve Dubey [32] 0, 500 ve 1000 µM Pb dozları altında çeltik bitkilerinin kök uzunluklarının doz atıkça azaldığını bildirmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar konu ile ilgili birçok çalışmanın sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

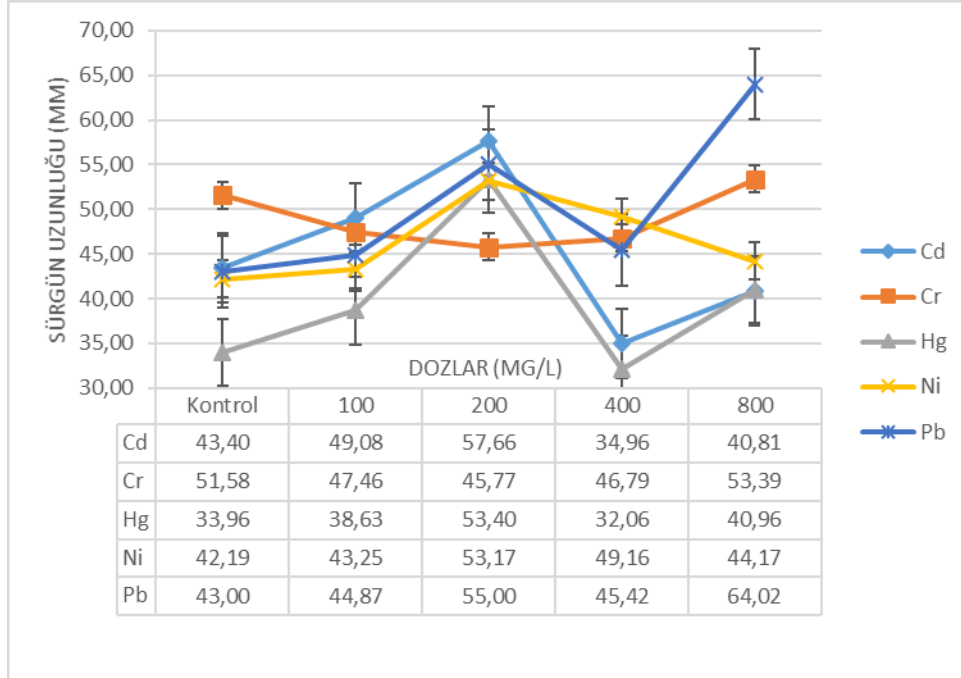


Şekil 2. İnteraksiyonların ortalama çimlenme süresi (OÇS) üzerine etkilerini gösteren çizgi grafiği

Sürgün uzunluğu (SU) üzerine ağır metallerin, dozlarının ve bu iki uygulamanın interaksiyonunun etkisi önemli bulunmuştur (Tablo 2). Ağır metallerin SU değerleri 39.80-50.46 mm arasında değişirken, dozların SU değerleri ise 41.68-53.00 mm arasında kaydedilmiştir. Ağır metallerde en yüksek SU değeri Pb uygulamasında, en düşük ise Hg uygulamasında tespit edilmiştir. Dozlar arasında ise en yüksek SU değeri 200 mg L⁻¹ dozunda, en düşük SU ise 400 mg L⁻¹ dozunda belirlenmiştir. İnteraksiyonun etkileri incelendiği zaman (Şekil 3), kontrole kıyasla tüm ağır metallerde 800 mg L⁻¹ dozunda SU değerleri artış göstermiştir. Özellikle Pb uygulamasının 800 mg L⁻¹ dozunda diğer ağır metallerle kıyasla bir pik yapma söz konusudur. Mısırdaki çimlenme ve erken fide gelişimi üzerine Cd'nin 0, 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4 mM ve Pb'nin 0, 1, 2, 4 ve 6 mM dozlarının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, kullanılan mısır çeşitlerinin her iki ağır metaldeki dozların artışına bağlı olarak SU olumsuz yönde etkilenmiştir [21]. Mercimekte çimlenme aşamasında farklı Cd dozları uygulanmış ve Cd doz yoğunluğu ne kadar artarsa çimlenme aşamasında bitki SU'nun da o derece olumsuz etkileneceği bildirilmiştir [33]. 0, 500 ve 1000 µM Pb dozlarının çeltik tohumlarının çimlenmesi üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, doz yoğunluğu arttıkça çimlenen fidelerin SU'nun azaldığı belirtilmiştir [32]. Yine çeltik tohumlarının çimlenmesi üzerine 0, 10, 50, 100, 200, 400 ve 800 ppm'lik Cr dozlarının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, Cr doz yoğunluğu arttıkça çimlenen fidelerin SU negatif yönde etkilenmiştir [23]. Yoncanın çimlenmesi üzerine 5, 10, 20 ve 40 ppm'lik Cd, Cr ve Ni ağır metal dozlarının etkisinin incelendiği bir çalışmada, doz artışına bağlı olarak çimlenen fidelerin SU olumsuz etkilenmiş ve ağır metallerin olumsuz etki düzeylerinin Cd>Cr>Ni olarak sıralandığı belirlenmiştir [34]. İki ticari çeltik çeşidinin çimlenmesi üzerine Pb ve Hg'nin etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, ağır metal dozlarının artmasıyla birlikte SU'nun azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca Hg toksisitesinin Pb toksisitesinden daha ağır olduğu tespit edilmiştir [22]. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar kısmen önceki çalışmalarla benzerlik göstermiştir. Fakat bu çalışmada kullanılan ağır metal dozlarının at dişi mısırdaki SU üzerine uyarıcı etkide bulunduğu söylenebilir.

Kök yaş ağırlığı (KYA) üzerine ağır metaller, dozlar ve interaksiyonların etkisi önemli bulunmuştur (Tablo 3). Ağır metal stresi altında KYA değerleri 120.93-194.05 mg bitki⁻¹ arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek KYA değeri Cr'de en düşük KYA ise Hg'de belirlenmiştir. Dozlarda KYA değerleri 118.53-278.51 mg bitki⁻¹ arasında tespit

edilmiştir. En yüksek KYA 200 mg L^{-1} dozunda, en düşük ise 800 mg L^{-1} dozunda kaydedilmiştir. İnteraksiyonların KYA'na etkisini gösteren çizgi grafiği Şekil 4'de sunulmuştur. Tüm ağır metallerin KYA'nı 200 mg L^{-1} dozunda pik yaptırdığı tespit edilmiştir. 400 ve 800 mg L^{-1} dozlarının kontrole kıyasla tüm ağır metaller için KYA'nı kısıtladığı belirlenmiştir. Cd'nin mısırdaki tohum çimlenmesi ve erken fide gelişimi üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, 10 , 20 , 50 ve 100 mg L^{-1} yoğunluğunda Cd dozları kullanılmış ve doz arttıkça KYA azalmıştır [35]. Bu çalışmada tüm ağır metallerin küçük dozlarda KYA'nı arttırdığı fakat yüksek dozlarda ise olumsuz etkiye bulunduğu belirlenmiştir.

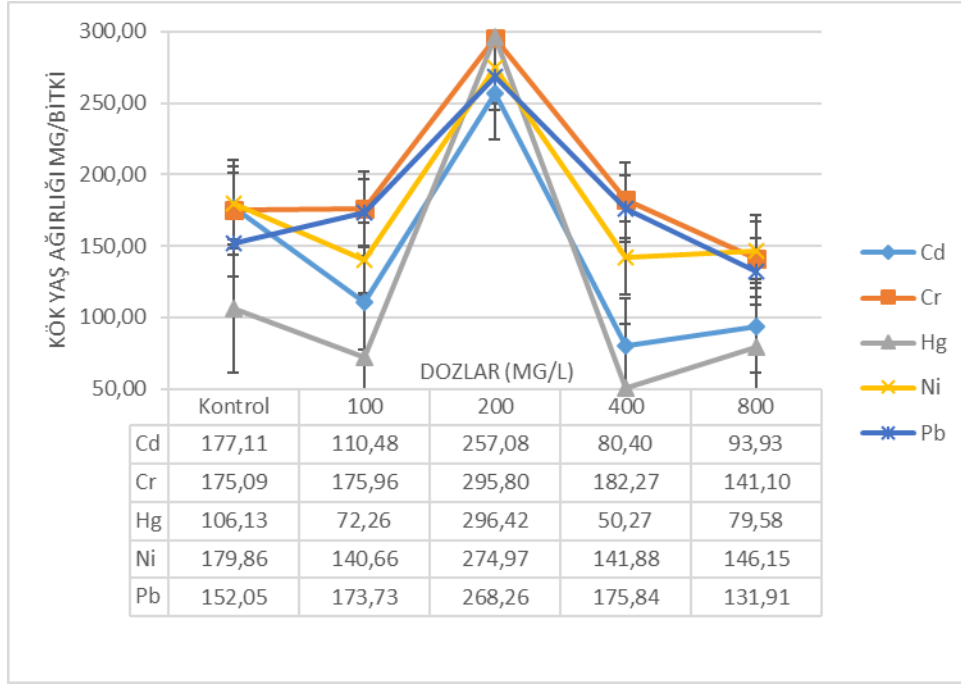


Şekil 3. İnteraksiyonların sürgün uzunluğu (SU) üzerine etkilerini gösteren çizgi grafiği

Tablo 3. Yalnızca ağır metallerin ve dozların bazı fide gelişimi parametreleri üzerine etkisi

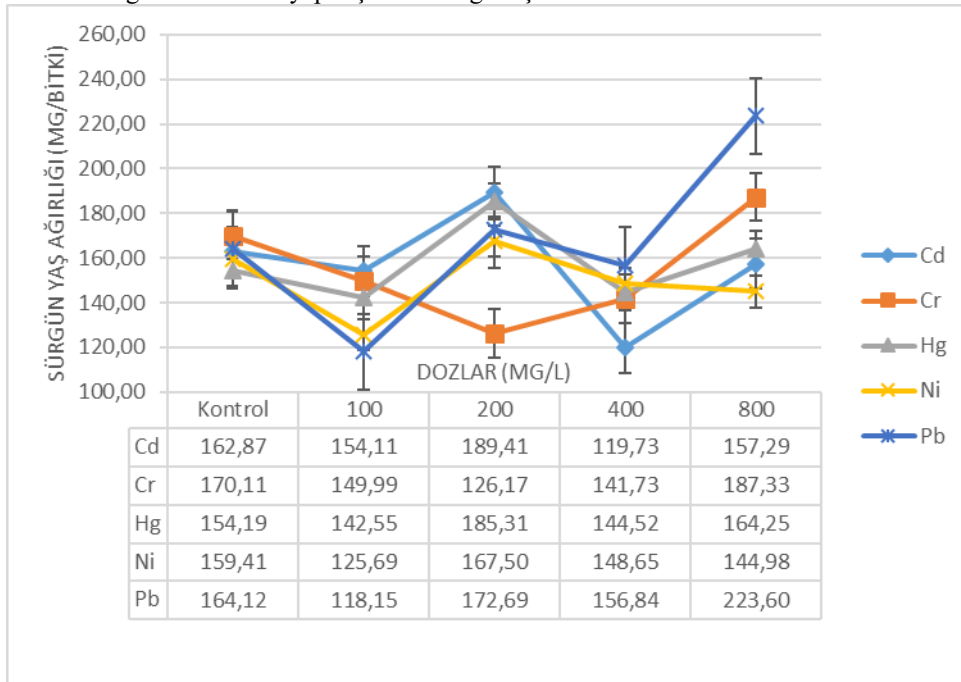
	KYA (mg bitki^{-1}) \pm SH	SYA (mg bitki^{-1}) \pm SH	KKA (mg bitki^{-1}) \pm SH	SKA (mg bitki^{-1}) \pm SH
Ağır Metaller (A)				
Cd	143.80 \pm 16.12 ^{bc}	156.68 \pm 6.10 ^{ab}	21.69 \pm 1.88 ^{ab}	17.72 \pm 0.37 ^a
Cr	194.05 \pm 15.26 ^a	155.07 \pm 5.87 ^{ab}	26.57 \pm 2.50 ^a	14.84 \pm 0.52 ^c
Hg	120.93 \pm 21.51 ^c	158.16 \pm 5.39 ^{ab}	18.28 \pm 3.04 ^b	17.68 \pm 0.56 ^{ab}
Ni	176.70 \pm 14.32 ^{ab}	149.24 \pm 4.40 ^b	26.17 \pm 2.05 ^a	16.30 \pm 0.24 ^b
Pb	180.36 \pm 14.36 ^a	167.08 \pm 8.48 ^a	24.80 \pm 2.29 ^a	16.83 \pm 0.61 ^{ab}
Ortalama	163.17	157.25	23.50	16.67
Önemlilik	**	*	**	**
Dozlar (mg L^{-1}) (B)				
Kontrol (0)	158.05 \pm 11.86 ^b	162.14 \pm 3.75 ^a	21.12 \pm 1.68 ^{bc}	16.00 \pm 0.36 ^b
100	134.62 \pm 10.39 ^{bc}	138.10 \pm 4.56 ^b	22.59 \pm 1.43 ^b	16.07 \pm 0.64 ^b
200	278.51 \pm 6.67 ^a	168.22 \pm 6.49 ^a	40.53 \pm 1.22 ^a	16.61 \pm 0.45 ^b
400	126.13 \pm 14.11 ^{bc}	142.29 \pm 4.02 ^b	17.54 \pm 1.18 ^{cd}	16.56 \pm 0.58 ^b
800	118.53 \pm 11.92 ^b	175.49 \pm 7.18 ^a	15.72 \pm 1.64 ^d	18.12 \pm 0.48 ^a
Ortalama	163.17	157.25	23.50	16.67
Önemlilik	**	**	**	**
Önemlilik (AXB)	*	**	öd	**

KYA: Kök yaş ağırlığı, SYA: Sürgün yaş ağırlığı, KKA: Kök kuru ağırlığı, SKA: Sürgün kuru ağırlığı, SH: Standart hata, Cd: Kadmiyum, Cr: Krom, Hg: Cıva, Ni: Nikel, Pb: Kurşun, öd: Önemli değil, *: %5'de önemli, **: %1'de önemli.



Şekil 4. İnteraksiyonların kök yaş ağırlığı (KYA) üzerine etkilerini gösteren çizgi grafiği

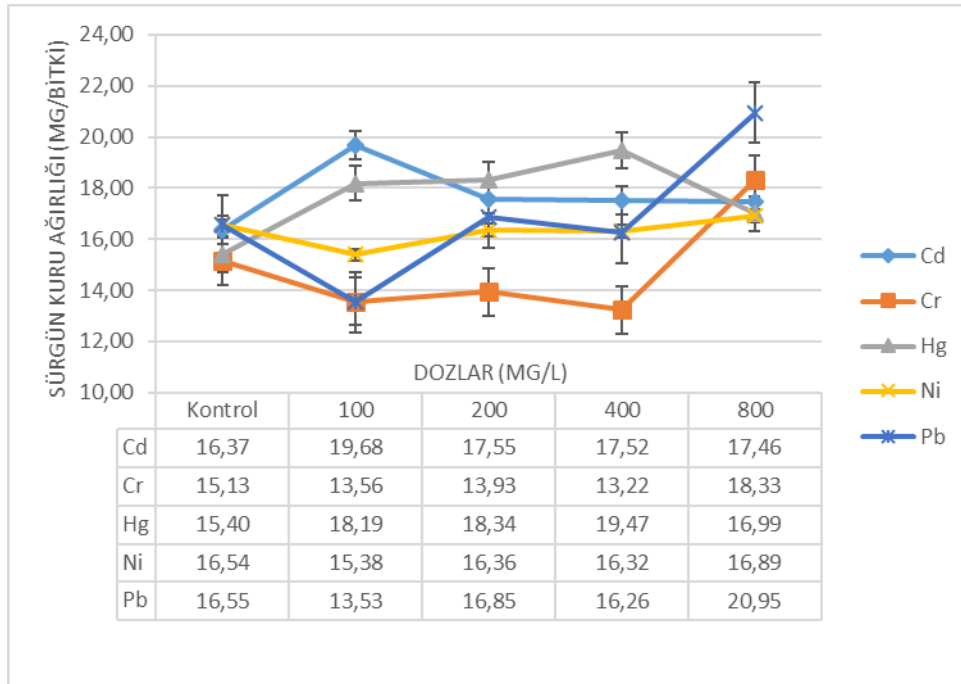
Sürgün yaş ağırlığı (SYA) üzerine ağır metallerin, dozların ve interaksiyonların etkisi önemli bulunmuştur (Tablo 3). Ağır metallerde SYA değerleri 149.24-167.08 mg bitki⁻¹ arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek SYA Pb'de en düşük ise Cr'de tespit edilmiştir. Dozlarda SYA değerleri 138.10-175.49 mg bitki⁻¹ arasında belirlenmiştir. En düşük SYA 100 mg L⁻¹ dozunda en yüksek ise 800 mg L⁻¹ dozunda kaydedilmiştir. İnteraksiyonların etkisi incelendiği zaman (Şekil 5), Hg, Cr ve Pb ağır metallerinin kontrole kıyasla 800 mg L⁻¹ dozunda SYA'nı arttırdığı belirlenmiştir. Ancak Ni ve Cd ağır metallerinde ise 800 mg L⁻¹ dozuyla birlikte kontrole kıyasla bir miktar azalış tespit edilmiştir. Çeltik tohumlarının çimlenmesi üzerine 0, 10, 50, 100, 200, 400 ve 800 ppm'lik Cr dozlarının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, Cr doz yoğunluğu arttıkça çimlenen fidelerin SYA değerleri olumsuz yönde etkilenmiştir [23]. Cd'nin mısırdaki tohum çimlenmesi ve erken fide gelişimi üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, 10, 20, 50 ve 100 mg L⁻¹ yoğunluğunda Cd dozları kullanılmış ve doz arttıkça SYA azalmıştır [35]. Bu çalışmada ele alınan ağır metallerin tümünde küçük dozların at dişi mısırın SYA'na uyarıcı etkide bulunarak olumlu yönde etkilemiştir. Bunun sebebi olarak at dişi mısır fidelerinin ağır metal alımı yapmış olabileceği düşünülebilir.



Şekil 5. İnteraksiyonların sürgün yaş ağırlığı (SYA) üzerine etkilerini gösteren çizgi grafiği

Kök kuru ağırlığı üzerine (KKA) ağır metallerin ve dozların etkisi önemli bulunmuş, fakat interaksiyonların etkisi önemli çıkmamıştır. Farklı ağır metal stresi altında KKA değerleri 18.28-26.57 mg bitki⁻¹ arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek KKA Cr'de en düşük ise Hg'de belirlenmiştir. Dozlarda KKA değerleri 15.72-40.53 mg bitki⁻¹ arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek KKA değeri 200 mg L⁻¹ dozunda, en düşük ise 800 mg L⁻¹ dozunda belirlenmiştir. Çeşitli ağır metal stresi çalışmaları ile birlikte bitkilerin KKA değerlerinin ağır metal dozları arttıkça azaldığı bildirilmiştir [23,35].

Sürgün kuru ağırlığı (SKA) üzerine ağır metaller, dozlar ve interaksiyonların etkisi önemli bulunmuştur (Tablo 3). Ağır metallerde SKA değerleri 14.84-17.72 mg bitki⁻¹ arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek SKA Cd'de en düşük ise Cr'de belirlenmiştir. Dozlarda SKA değerleri 16.00-18.12 mg bitki⁻¹ arasında tespit edilmiştir. En düşük SKA kontrol uygulamasında en yüksek ise 800 mg L⁻¹ dozunda kaydedilmiştir. İnteraksiyonlarda SKA değerleri Pb, Cr ve Hg ağır metallerinin 800 mg L⁻¹ dozunda kontrole kıyasla artış göstermiştir. Ancak Ni ve Cd ağır metallerinin dozlarında SKA değerleri önemli bir değişikliğe uğramamıştır. Çeşitli ağır metal stresi çalışmaları ile birlikte bitkilerin SKA değerlerinin ağır metal dozları arttıkça azaldığı bildirilmiştir [23,35]. Bu çalışmadan elde edilen Ni ve Cd sonuçları literatür bildirişlerine benzerdir. Ancak diğer ağır metallerden farklı sonuçlar elde edilmiş, bunun nedeni olarak mısır bitkisinin sürgünlerinde ağır metal birikiminin olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 6. İnteraksiyonların sürgün kuru ağırlığı (SKA) üzerine etkilerini gösteren çizgi grafiği

4. Sonuç

Sanayileşme çalışmaları ve tarımsal kimyasalların bilinçsiz kullanımı her geçen gün tarım topraklarımızı kirlenmektedir. At dışı mısırdaki Cd, Cr, Hg, Ni ve Pb ağır metallerinin kontrol (0), 100, 200, 400 ve 800 mg L⁻¹ dozlarının çimlenme ve erken fide evresindeki etkisi araştırılmıştır. Çimlenme üzerine en yüksek negatif etkiye Hg ağır metaline sebep olmuştur. Ni ağır metalinin çimlenme üzerine olumsuz etkisi diğer ağır metallerden daha hafiftir. Genel olarak düşük ağır metal dozları (100 ve 200 mg L⁻¹) ile at dışı mısırdaki çimlenme ve erken fide evresinde uyarıcı bir etki tespit edilmiştir. Ancak yüksek ağır metal dozları ile birlikte çimlenme ve erken fide evresi olumsuz etkilenmiştir. Sonuç olarak, her ağır metalin at dışı mısırdaki çimlenme ve fide evresindeki etkisinin farklı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmada kullanılan ağır metal dozlarından daha yüksek dozlar ileriki çalışmalarda araştırılabilir. Ayrıca bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ağır metal toksikolojisinin bitkiler üzerindeki etkisinin araştırılması üzerine olan bilimsel çalışmalarda, araştırmacılara yol gösterici olabilir.

Açıklamalar ve Teşekkür

Bu çalışma Esra Nermin ERTEKİN'in yüksek lisans tez çalışması olarak yürütülmüştür. Ayrıca bu araştırma Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından FYL-2017-2009 proje numarası ile desteklenmiştir. Akdeniz Üniversitesine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Çelikaş, N., Can, E., Atış, İ., & Ertekin, İ. (2018). Dallı darı tohum çimlenme oranlarının FT-NIRS ile belirlenmesi. Uluslararası Katılımlı Türkiye 6. Tohumculuk Kongresinde Sözlü Sunumu, Niğde, Türkiye 6. Tohumculuk Kongresi Bildiriler Kitabı, Sözlü Bildiriler, 139-145.
- [2] Atış, İ. (2011). Bazı silajlık sorgum (*Sorghum bicolor* L. Moench) çeşitlerinin çimlenmesi ve fide gelişimi üzerine tuz stresinin etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6(2), 58-67.
- [3] Atis, I., Kokten, K., Hatipoglu, R., Yılmaz, S., Atak, M., & Can, E. (2012). Plant density and mixture ratio effects on the competition between common vetch and wheat. *Australian Journal of Crop Science*, 6(3), 498-505.
- [4] Konuşkan, Ö., Gözübenli, H., Atış, İ., & Atak, M. (2017). Effects of salinity stress on emergence and seedling growth parameters of some maize genotypes (*Zea mays* L.). *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 5(12), 1668-1672. <https://doi:10.24925/turjaf.v5i12.1668-1672.1664>
- [5] Kılıç, E., Ertekin, İ., & Çakmakçı, S. (2015). Adi fiğ (*Vicia sativa* L.)’de farklı aşılama yöntemleri ile bakteri (*Rhizobium pisi*) aşılmasının verim ve azot fiksasyonu üzerine etkileri. 11. Tarla Bitkileri Kongresinde Poster Sunumu, Çanakkale, 11. Tarla Bitkileri Kongresi Bildiriler Kitabı, 130-133.
- [6] Ertekin, İ., Yılmaz, Ş., Atak, M., Can, E., & Çelikaş, N. (2017). Tuz stresinin bazı yaygın fiğ (*Vicia sativa* L.) çeşitlerinin çimlenmesi üzerine etkileri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(2), 10-18.
- [7] Ertekin, İ., Yılmaz, Ş., Atak, M., & Can, E. (2018). Effects of different salt concentrations on the germination properties of Hungarian vetch (*Vicia pannonica* Crantz.) cultivars. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 5(2), 175-179. <https://doi:10.30910/turkjans.421361>
- [8] Aygün, Y.Z., & Mert, M. (2020). Toprak düzenleyicileri ve azot uygulamalarının pamukta (*Gossypium hirsutum* L.) verim ve lif teknolojik özelliklere etkisi. *Biyolojik Çeşitlilik ve Koruma*, 13(3), 290-297. <https://doi:10.46309/biodicon.2020.783255>
- [9] Ertekin, İ., & Çakmakçı, S. (2020). Effect of different rates of bacteria (*Rhizobium leguminosarum*) inoculated in seed on yield and some quality parameters of common vetch (*Vicia sativa* L.). *KSU Journal of Agriculture and Nature*, 23(2), 343-348. <https://doi:10.18016/ksutarimdog.vi.562310>
- [10] Ertekin, İ., Atış, İ., & Yılmaz, Ş. (2020). Bazı fiğ türlerinin yem verim ve kalitesi üzerine farklı organik gübrelerin etkisi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 25(2), 243-255. DOI: 10.37908/mkutbd.739805
- [11] Ertekin, E.N., Ertekin, İ., & Bilgen, M. (2020). Effects of some heavy metals on germination and seedling growth of sorghum. *KSU Journal of Agriculture and Nature*, 23(6), 1608-1615. <https://doi:10.18016/ksutarimdog.v23i54846.722592>
- [12] Bozdoğan-Sert, E., Turkmen, M., & Cetin, M. (2019). Heavy metal accumulation in rosemary leaves and stems exposed to traffic-related pollution near Adana-İskenderun Highway (Hatay, Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 553. <https://doi:10.1007/s10661-019-7714-7>
- [13] Akar, M., & Atis, İ. (2018). The effects of priming pretreatments on germination and seedling growth in perennial ryegrass exposed to heavy metal stress. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(10), 6677-6685.
- [14] 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.
- [15] Ernst, W.H.O. Verkleji, J.A.C., & Schat, H. (1992). Metal tolerance in plants. *Acta Botanica Neerlandica*, 41, 229-248.
- [16] Atasever, M., Yılmaz, Ş., & Ertekin, İ. (2020). Ekim zamanının Amik ovası koşullarında yetiştirilen bazı mısır (*Zea mays* L.) çeşitlerinde ot verimi ve kalitesine etkisi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 25(3), 326-340. <https://doi:10.37908/mkutbd.694216>
- [17] Kizilsimsek, M., Ozturk, C., Yanar, K., Ertekin, I., Ozkan, C.O., & Kamalak, A. (2017). Associative effects of ensiling soybean and corn plant as mixtures on the nutritive value, fermentation and methane emission. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(10), 5754-5760.
- [18] ISTA. (1993). International Rules for Seed Testing, International Seed Testing Association. Seed Science Technology, Zürich, Switzerland, 21, pp. 289.
- [19] Copeland, L.O., & McDonald, M.B. (2001). Principles of Seed Science and Technology. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, USA, pp. 467.

- [20] Ellis, R.H., & Roberts, E.H., (1981). The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology*, 9, 373-409.
- [21] Ayhan, B., Ekmekçi, Y., & Tanyolaç, D. (2007). Erken fide evresindeki bazı mısır çeşitlerinin ağır metal (kadmium ve kurşun) stresine karşı dayanıklılığının araştırılması. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(2), 411-422.
- [22] Mishra, A., & Choudhuri, M. A. (1998). Amelioration of lead and mercury effects on germination and rice seedling growth by antioxidants. *Biologia Plantarum*, 41(3), 469-473.
- [23] Gyawali, R., & Lekhak, H. D. (2006). Chromium tolerance of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars from Kathmandu Valley, Nepal. *The Scientific World Journal*, 4(4), 102-108.
- [24] Akıncı, S., & Akıncı, İ.E. (2011). Nikelin ıspanakta (*Spinacia oleracea*) çimlenme ve bazı fide büyüme parametreleri üzerine etkisi. *Ekoloji*, 20(79), 69-76.
- [25] Fang, Z., Hu, Z., Zhao, H., Yang, L., Ding, C., Lou, L., & Cai, Q. (2017). Screening for cadmium tolerance of 21 cultivars from Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam) during germination. *Grassland Science*, 63, 36-45. <https://doi:10.1111/grs.12138>
- [26] He, J., Ren, Y., Chen, X., & Chen, H. 2014. Protective roles of nitric oxide on seed germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.) under cadmium stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 108, 114-119. <https://doi:10.1016/j.ecoenv.2014.05.021>
- [27] Akıncı, İ. E., & Çalışkan, Ü. (2010). Kurşunun bazı yazlık sebzelerde tohum çimlenmesi ve tolerans düzeyleri üzerine etkisi. *Ekoloji*, 19(74), 164-172. <https://doi:https://doi.org/10.5053/ekoloji.2010.7420>
- [28] Ahmad, I., Akhtar, M. J., Asghar, H. N., & Zahir, Z. A. (2013). Comparative efficacy of growth media in causing cadmium toxicity to wheat at seed germination stage. *International Journal of Agriculture And Biology*, 15, 517-522.
- [29] Akinci, İ.E., & Akinci, S. (2010). Effect of chromium toxicity on germination and early seedling growth in melon (*Cucumis melo* L.). *African Journal of Biotechnology*, 9(29), 4589-4594.
- [30] Gedik, O., Kıran, Y., & Şahin, A. (2015). Kadmium'un *Vicia peregrina* L. tohumlarının çimlenmesi, kök gelişimi ve kök ucu hücreleri üzerindeki mitotik etkileri. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(1), 9-15.
- [31] Şahin, A., & Kıran, Y. (2005). The effects of the lead on the seed germination, root growth, and root tip cell mitotic divisions of *Lens culinaris* Medik.. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18(1), 17-25.
- [32] Verma, S., & Dubey, R.S. (2003). Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. *Plant Science*, 164, 645-655. [https://doi:10.1016/S0168-9452\(03\)00022-0](https://doi:10.1016/S0168-9452(03)00022-0)
- [33] Beri, A., & Setia, R.C. (1995). Assessment of growth and yield in *Lens culinaris* Medic var. Massar 9-12 treated with heavy metals under N-supplied conditions. *The Journal of Indian Botanical Society*, 74, 293-297.
- [34] Peralta, 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.
- [35] Ayçiçek, M., Kaplan, O., & Yaman, M. (2008). Effect of cadmium on germination, seedling growth and metal contents of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Asian Journal of Chemistry*, 20(4), 2663-2672