

KADMIYUM, KURŞUN VE ÇİNKO METALLERİNİN MARUL (*Lactuca sativa* L.) TOHUMLARININ ÇİMLENME ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Zeynep Görkem DOĞAROĞLU*

Alınma:20.04.2018; düzeltme:06.07.2018; kabul:06.07.2018

Öz: Bitkiler, toprak ve yeraltı suyu/atmosfer arasındaki en büyük arabirim olarak görev yapmakta olup, yaşamları boyunca birçok stres faktörü ile karşı karşıya kalırlar. Bitki gelişimi için gerekli olan mikro besin elementleri (bakır (Cu), çinko (Zn), demir (Fe) vb.) ile toprakta bulunan ağır metaller (kobalt (Co), kurşun (Pb), kadmiyum (Cd) vb.) belirli konsantrasyonların üzerinde ve çözünürlüklerine bağlı olarak fitotoksik etkilere sahiptirler. Bu metaller birçok farklı yolla ekosisteme dahil olurlar. Endüstriyel kaynaklı metallerin başında Cu, nikel (Ni), Pb, Zn ve Cd gelmektedir. En önemli sorun bu metallerin besin zincirine girme olasılığıdır. Bu çalışmada farklı konsantrasyonlardaki Zn (5, 10, 20, 40, 80, 160 mg L⁻¹), Cd (0, 1, 2, 4, 8, 16, 32 mg L⁻¹) ve Pb (0, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 mg L⁻¹) metallerinin marul (*Lactuca sativa* L.) bitkisinin tohum çimlenmesi, kök ve gövde uzaması ve bitki biyokütlesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Sonuçta Zn ve Cd uygulamaları tohum çimlenmesini azaltmıştır. Pb uygulaması ise düşük konsantrasyonlarda çimlenmeyi artırırken yüksek konsantrasyonlarda tohum çimlenmesinde inhibisyona sebep olmuştur. Her üç metal maruziyetinde kök ve gövde uzamasında inhibisyonun olduğu ve kök inhibisyonunun gövdeye göre daha duyarlı olduğu belirlenmiştir. Bitki kuru kütlelerinde kontrole kıyasla büyük bir değişiklik gözlenmezken, yaş biyokütlelerde özellikle Zn maruziyetinde önemli azalmalar saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, Çimlenme, Kök uzaması, Marul, Toksikite

Effects of Cadmium, Lead and Zinc on Seed Germination Characteristics of Lettuce (*Lactuca sativa* L.)

Abstract: Plants are the largest interface between soil and groundwater/atmosphere. Plants face many stress factors throughout their lives. The micronutrients (copper (Cu), zinc (Zn), iron (Fe), etc.) required for plant growth and some toxic metals (cobalt (Co), lead (Pb), cadmium (Cd) etc.) found in soil have phytotoxic effects depending on their specific solubility and concentrations. These heavy metals are involved in the ecosystem in many different ways. At the beginning of industrial welded metals are Cu, nickel (Ni), Pb, Zn and Cd. The most important problem is the entering possibility of these heavy metals to the food chain. In this study, different doses of Zn (5, 10, 20, 40, 80, 160 mg L⁻¹), Cd (0, 1, 2, 4, 8, 16, 32 mg L⁻¹) and Pb (0, 8, 16, 32, 64, 128, 256 mg L⁻¹) effects on the seed germination, root and shoot elongation and plant biomass of lettuce were studied. As a result, Zn and Cd treatments reduced seed germination. Pb treatment was increased the seed germination at low concentrations, whereas it was inhibited the seed germination at high concentrations. Inhibition of root and shoot elongation was observed at concentration of all metals and it was found that roots are more sensitive than shoot. While there was no significant change in plant dry masses compared to control, significant decreases were detected in wet biomass, especially Zn exposure.

Keywords: Germination, Heavy metal, Lettuce, Root elongation, Toxicity

1. GİRİŞ

Gün geçtikçe artan ve artık sınır değerlere ulaşan sanayileşme ve kentleşmenin oluşturduğu en önemli sorun çevre kirliliğidir. Ağır metaller küresel kirlilik faktörleri olarak sucül, karasal

* Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 33343, MERSİN
İletişim Yazarı: Zeynep Görkem DOĞAROĞLU (gorkemgulmez@gmail.com)

ve atmosferik çevreyi tehdit etmekte ve canlı yaşamında risk oluşturmaktadır. Bu nedenle araştırmacılar uzun yıllardır ağır metallerin çevreye olan etkileri üzerine yoğunlaşmıştır.

Artan ağır metal seviyeleri, çevre ve insanlar için önemli bir stres faktörüdür. Ağır metaller suya karışabilir, bitkiler tarafından alınabilir ve atmosfere gaz olarak salınabilir ya da kil veya organik madde gibi toprak bileşenlerince adsorbe edilebilir. Bitkisel ve hayvansal üretimle besin zincirine dahil olan bu ağır metaller ise insan sağlığını olumsuz etkiler (Saether ve diğ. 1997; Acero ve diğ. 2003). Ağır metaller volkanik faaliyetler, kayaların doğal ayrışması, plansız şehirleşme, artan nüfus yoğunluğu, madencilik ve endüstriyel faaliyetler gibi etmenler nedeniyle çok değişik kaynaklardan sürekli olarak biyosfere yayılmakta, toprak ve suyun kalitesini önemli ölçüde bozmaktadır. Türkiye de dahil olmak üzere dünyanın birçok ülkesinde toprak kirliliği sorunu başlıca Cu, Pb ve Zn metalleri ile ilgilidir. Amerika'da Toksik Madde ve Hastalık Kayıt Ajansı (ATSDR) tarafından 2015'de yayınlanan 275 öncelikli tehlikeli kirleticiler arasında Pb, Cd ve Zn sırasıyla 2., 7. ve 118. sıralardadır (ATSDR, 2017).

Ağır metallerin oluşturduğu tehlike ve riskleri belirlemek için balıklarla, mikroorganizmalarla, alglerle, farelerle ya da bitkilerle çok sayıda farklı yöntemler kullanılarak toksisite testleri yapılmaktadır. Bitkiler kirleticiler ve toprak arasında bulunan en büyük arabirimdir. Bitkilerde belirlenen bir toksisite etmeni, besin zincirine dahil olmuş demektir. Bu nedenle fitotoksikite çalışmaları önem kazanmaktadır. Herhangi bir metalin iyonik formunda toprak-bitki sistemindeki davranışının anlaşılabilmesi için Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) tarafından belirlenen bazı bitkilerde petriyeler içerisinde toksik ya da toksik olmayan etkinin belirlenmesi mümkün olmaktadır. Böylece çok sayıda toksik maddenin kısa sürede analiz edilmesi mümkün olabilmekte ve yapılacak saksı ya da su kültürü çalışmaları ve tarla denemeleri için temel veriler elde edilebilmektedir. Kök uzaması ve tohum çimlenme testi bitkilerin fitotoksik etkilerini belirleyen standart bir ekotoksikite testidir. Vasküler bitkileri içeren ve en yaygın kullanılan akut fitotoksikite testlerinin tohum çimlenme testi (doğrudan maruz kalma yöntemi) ve kök uzama testi olduğu bilinmektedir (Kapustka ve Reporter, 1993; Munzuroğlu ve Geçkil, 2002). Kök uzaması testi literatürde ilk olarak Ratsch ve Johndro (1984) tarafından öne sürülmüş olup, bu iki test basit, tüm kimyasallar için uygulanabilir ve ucuz olmak gibi farklı birçok avantajlara sahiptir (Priac ve diğ. 2017).

Ağır metallerden Cu, Zn, Fe vb. bitki gelişimi için çok az miktarda ihtiyaç duyulan ve mikro besin elementler olarak adlandırılan metallerdir. Ancak bu metaller yüksek konsantrasyonlarda canlılar üzerinde toksik etki yaparlar. Diğer ağır metaller ise çok düşük konsantrasyonlarda bile toksik etki yapan Co, Pb, Cd gibi metallerdir. Ağır metaller arasında yer alan Zn, bitkiler için mutlak gerekli mikro besin elementidir (Nedelkoska ve Doran, 2000), bitkilerin büyüme ve gelişmesinde önemli rol oynayan protein ve enzimlerin yapısı için gerekli kofaktör olarak görev alırlar (Moustakas ve diğ., 1994). Çinko gibi mikrobeyin elementi olsun veya olmasın ağır metallerin bitkide aşırı birikimi fizyolojik strese, büyüme ve gelişmede azalmaya sebep olur (Phalsson, 1989). Kadmiyum ise fosfatlı gübrelere, çimento fabrikalarından, ısıtma sistemlerinden ve metal işleme endüstrilerinden çevreye salınan ve topraklarda yaygın olarak görülen güçlü bir çevresel kirleticidir (Jibril ve diğ., 2017).

Günümüzde bitkide ağır metal toksisitesi ve birikimi ciddi bir çevre sorunudur. Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre Pb, Cd ve Zn'nun topraklardaki normal konsantrasyonları sırasıyla, < 300 mg kg⁻¹ arasında, < 3 mg kg⁻¹ ve < 300 mg kg⁻¹ olarak belirtilmiştir (TKKY., 2005). Bitkiler genellikle geçici ya da uzun süreli stres yaratabilecek toksik metallere maruz kalmaktadırlar. Stres durumu genellikle bitki boyu, çimlenme sayısı, kök ve gövde uzunluğu, biyokütle miktarı gibi büyüme potansiyelindeki azalma ile kendini göstermektedir (Phalsson, 1989). Tohum çimlenme sayısını, kök-gövde uzamasını ve bitki biyokütlesini olumsuz etkilediğinden, bitkiler için toksik (Cd, Pb gibi) ya da mutlak gerekli metallerin (Zn gibi) fazlası fitotoksiktir. Ağır metallerin bitkilerdeki kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine önemli etkiler yaptığı gerek ülkemizde (Ayaz ve Kadioğlu 1997; Öncel ve diğ., 2000; Munzuroğlu ve Geçkil, 2002) gerekse dünya literatüründe çok sayıda çalışma ile belirlenmiştir (Claire ve diğ., 1991;

Vojtechova ve Leblova, 1991; Xiong, 1998; Peralta ve diğ., 2001, Mesmar ve Jaber 1991; Barman ve diğ. 2000; Nedelkoska ve Doran 2000, Lidon ve Henriques 1998; Tiquia ve diğ., 1996; Sresty ve Madhava Rao 1999). Yapılan çalışmalarda Cd, Co, Cu, cıva (Hg), Pb ve Zn gibi iki değerli metal katyonları, en fazla araştırılan metallere dendir.

Yapılan çalışmalarda Hg, Zn, Cd, Co, Pb ve Ni'nin mercimek, turp, hardal ve piriç tohumlarında çimlenmeyi azalttığı bildirilmiştir (Espen ve diğ. 1997; Fargasova 1994; Mishra ve Choudhuri 1998). Yüksek konsantrasyonda Zn'nun, *Cajanus cajan*'ın iki genotipinde (LRG30 ve ICPL87) kök gelişimini azalttığı rapor edilmiştir (Sresty ve Madhava Rao, 1999). Benzer şekilde Delgado ve diğ., (1993) Zn'nun su sümbülünde (water hyacinth) kloroza (saramalara), Cd 'un nekroza (kurumalara) sebep olduğunu bildirmişlerdir. Poschenrieder ve diğ. (1989) fasulye (*Phaseolus vulgaris*) bitkisine 48 saat süreyle 3 µM Cd uygulandığında yaprak hücrelerinde genişlemenin engellendiği, hücre duvarı esnekliğinin azaldığını rapor etmişlerdir. Judia ve Fulekar (2008), 50 mg L⁻¹ Pb ve Cd'un yonca (alfa alfa) bitkisi üzerine toksik etkisinin olduğunu ve tohum çimlenmesini inhibe ettiğini bildirmişlerdir. Khan ve Moheman (2006), Cd ve Ni'in ayçiçeğinde tohum çimlenmesini inhibe ettiğini bildirilmiştir.

Farklı bitkiler kirli topraklarda farklı tepkiler gösterebilmektedirler. Bu bitki karakteristikleri göz önüne alındığında akümülyasyon kapasitelerine göre Ross (1994) tarafından bir bitki sınıflandırılması yapılmıştır (Sacristan ve diğ., 2015). En önemli akümülyatör bitkiler arasında yer alan marul (*Lactuca sativa* L.), dünya çapında yaygın olarak yetiştirilmekte olup, toprak ve su kirliliğinin belirlenmesinde mükemmel bir biyo-indikatör olarak kullanılmaktadır (Wolf ve diğ., 2017; Priac ve diğ., 2017).

Bu çalışmada doz uygunluğunu tespit etmek amacıyla yapılan ön denemeler sonucunda elde edilen verilere dayanarak metal konsantrasyonları, Zn için; 0,5, 10, 20, 40, 80, 160 mg L⁻¹, Cd için; 0, 1, 2, 4, 8, 16, 32 mg L⁻¹ ve Pb için ise; 0, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 mg L⁻¹ olarak belirlenmiştir. Çalışmada; belirlenen konsantrasyonlardaki Zn, Cd ve Pb metallere marul (*Lactuca sativa* L.) bitkisinin tohum çimlenmesi, kök ve gövde uzaması ve bitki biyokütlesi üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bu üç farklı ağır metalin (Zn, Cd ve Pb) belirtilen parametreler açısından birbiriyle kıyası yapılarak toksiklik dereceleri tespit edilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Test Materyalleri

Araştırmada bitki materyali olarak marul (*Lactuca sativa* var. Longifolia-Yedikule 5701) tohumları kullanılmıştır. Yıllık bir bitki olan marulun tohum boyutları ortalama 3,8 x 1,3 mm civarındadır (Anonim, 2008).

Bu bitkinin seçilmesinin başlıca nedeni Akdeniz Bölgesinin iklimsel koşullarına adapte olmuş olması ve sıklıkla yetiştiriliyor olmasıdır. Tohumlar Mersin ilinde bulunan tohumculardan ticari olarak temin edilmiştir.

Araştırmada kullanılan test çözeltileri, analitik saflıktaki standart çözeltilerden (1000 mg L⁻¹) hazırlanmış stok çözeltilerin farklı konsantrasyonlara ultra saf su kullanılarak seyreltilmesiyle elde edilmiştir. Test çözeltilerinin konsantrasyonları ile Cd, Pb ve Zn için kullanılan kimyasal formlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Araştırmada kullanılan Pb, Cd ve Zn metallere dozlari ve kullanılan kimyasal formlari

Metal	Doz, mg L ⁻¹									Kullanılan Kimyasal
	0	2	4	8	16	32	64	128	256	
Pb	0	2	4	8	16	32	64	128	256	Pb(NO ₃) ₂
Cd	0	1	2	4	8	16	32	-	-	3CdSO ₄ .8H ₂ O
Zn	0	5	10	20	40	80	160	-	-	ZnSO ₄ .7H ₂ O

2.2. Yöntem

Çimlenme testi ile kirleticilerin toksik madde içerip içermediğini anlamak ve tek bir madde veya birkaç madde analizi yaparak ortaya koymak kolay, hızlı ve ucuz bir yöntemdir. Çimlenme evresinde bitkilerin stres veya toksisite faktörlerine tepkileri daha belirgin olabilmektedir. Kadmiyum, Pb ve Zn'nun marul bitkisi üzerinde olası toksisitelerinin belirlenmesi amacıyla çimlendirme testleri gerçekleştirilmiştir.

Çimlendirme testlerinin ilk aşamasında tohum sterilizasyonu, ikinci aşamasında ise ağır metal maruziyeti gerçekleştirilmiştir. Tohumlar ilk olarak % 70'lik etil alkolde 30 saniye çalkalanarak ön sterilizasyona tabi tutulmuş, ardından %1'lik NaOCl çözeltisi içerisinde 10 dakika bekletilmiştir. Yüze sterilizasyonları yapılan tohumlar steril saf su ile 5 kez 5 dakika çalkalanarak NaOCl'den arındırılmıştır. Tohumların kurutma kağıdı arasında bekletilerek nemi alındıktan sonra 10 cm çaplı bir petri kabına göre uygun boyutlarda kesilmiş filtre kağıtlarının üzerine 10'ar adet çimlenmesi istenen marul tohumu yerleştirilmiştir. Petri kaplarına 5'er mL farklı konsantrasyonlardaki test kimyasallarından eklenmiştir. Kontrol grubuna ise 5 mL saf su verilmiştir. Petri kaplarının kapakları kapatılarak 7 gün boyunca 25 °C'de karanlık ortamda inkübasyona bırakılmıştır. Deneme sonunda her petri için çimlenme sayısı, kök ve gövde uzunluğu, yaş ve kuru kütleleri (70 °C'de) belirlenmiştir. Her parametre 3 paralelde gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada çimlenme oranı (%) (Afrakhteh ve diğ., 2013; Mahmoodzadeh ve diğ., 2013) Eşitlik 1'de gösterildiği gibi, vigor indeks (Prasad ve diğ., 2012) ise aşağıda verilen Eşitlik 2'ye göre hesaplanmıştır.

$$\text{Çimlenme oranı} = T\check{C}TS / TTTS \times 100 \quad (1)$$

Burada; TÇTS toplam çimlenen tohum sayısını; TTTS ise test edilen toplam tohum sayısını ifade etmektedir.

$$\text{Vigor indeks} = \text{Çimlenme oranı} (\%) \times (\text{Kök uzunluğu} + \text{Gövde uzunluğu}) \quad (2)$$

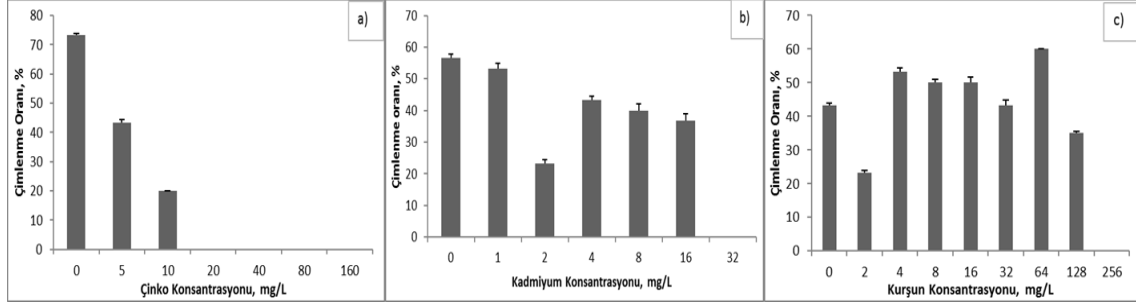
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Tohum Çimlenmesi

Farklı konsantrasyonlardaki Cd, Pb ve Zn metallerine maruz kalmış marul tohumlarının çimlenme oranları Şekil 1'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda her üç test kimyasalının da artan konsantrasyonlarda tohum çimlenmesini inhibe ettiği belirlenmiştir. Marul tohumunun sırasıyla en çok Zn > Cd > Pb metaline duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Çinko maruziyetinde maksimum çimlenme kontrol grubunda (%70) gerçekleşmiş olup, artan konsantrasyonla birlikte azalmalar ve 10 mg L⁻¹ Zn uygulamasından sonraki konsantrasyonlarda maksimum inhibisyon (%0) olduğu ve çimlenmenin durduğu belirlenmiştir (Şekil 1a). Kadmiyum maruziyetinde maksimum çimlenme oranı kontrol grubunda %57 olmakla birlikte 32 mg L⁻¹ Cd konsantrasyonunda tohum çimlenmesi durmuştur (Şekil 1b). Kurşun maruziyetinde ise maksimum çimlenme oranı %60 olarak 64 mg L⁻¹ uygulamasında gerçekleşmiş olup, minimum çimlenme oranı 2 mg L⁻¹ Pb konsantrasyonunda %23 olarak tespit edilmiştir (Şekil 1c). Gharebaghi ve diğ. (2017) yaptıkları araştırmada fesleğen çeşitlerinin tohum çimlenmesinin artan Cd (5, 10, 20 mg L⁻¹) konsantrasyonunda azaldığı belirtilmiştir. Silva ve diğ. (2017) tarafından yapılan araştırmada 0, 0.05, 0.5, 5, 10 ve 20 mg L⁻¹ konsantrasyonlarında marul bitkisinin çimlenme ve bitki büyümesi üzerine Pb'un etkilerini incelemiş ve çalışılan tüm konsantrasyonlarda herhangi bir etkinin gözlenmediği belirtilmiştir.

Farklı metaller özellikle de ağır metaller düşük konsantrasyonlarda bile tohum çimlenmesi üzerinde önemli inhibisyonlara sebep olmaktadır. Ma ve diğ. (2018) yaptıkları çalışmada farklı konsantrasyonlardaki (0, 5, 10, 20, 40 ve 60 mg L⁻¹) Cr(VI)'nın marul bitkisi üzerine etkisini

araştırmış ve 20 mg L⁻¹ Cr(VI) konsantrasyonundan sonra çimlenme oranında önemli ölçüde azalma tespit etmişlerdir.



Şekil 1:

Farklı konsantrasyonlardaki Zn, Cd ve Pb metallerine maruz kalmış marul tohumlarının çimlenme oranları

3.2. Kök-Gövde Uzaması ve Vigor İndeksi

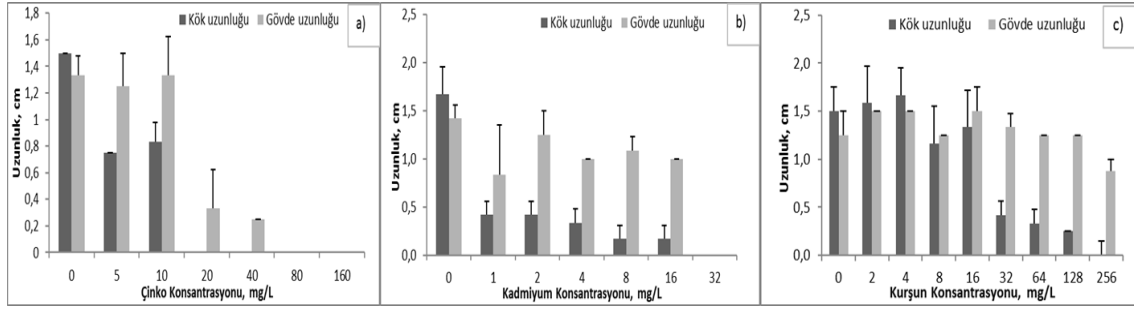
Yüksek konsantrasyonlardaki ağır metaller birçok bitki türünde bitki büyümesini ve verimini etkileyebilmektedir. Örneğin Zn ve Cd metalleri bitki metabolik aktivitelerinin azalmasına ve oksidatif hasara, Pb ağır metalinin de bitkideki anormal morfolojik değişimlere sebep olabileceği Eldenstein ve Ben-Hur (2018) tarafından belirtilmiştir. Kirleticilere maruziyet sonucunda oluşan kök inhibisyonunda, marulun diğer bitkilere kıyasla daha fazla duyarlılık gösterdiği yapılan araştırmalarda belirlenmiş olup, marul bitkisinin kök uzama testi, birçok kimyasalın toksisitesinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Lyu ve diğ., 2018).

Tohum çimlenmesinin ardından yapılan kök ve gövde boy ölçümleri Şekil 2'de verilmiştir. Çinko metalinin 10 mg L⁻¹ uygulamasından sonraki konsantrasyonlarda kök oluşumunu durdurduğu, gövde uzamasını ise kontrole kıyasla azalttığı, 160 mg L⁻¹ konsantrasyonda ise gövde oluşumunun da durduğu belirlenmiştir. En yüksek gövde uzunluğu kontrolde 1,33 cm ve en düşük gövde uzunluğu ise 80 mg L⁻¹ de 0,08 olarak ölçülmüştür (Şekil 2a). Lyu ve diğ. (2018) tarafından yapılan bir araştırmada bir endüstri bölgesinin atık sularında bulunan Zn'nun marul kök uzamasını %50 oranında engellediği belirtilmiştir.

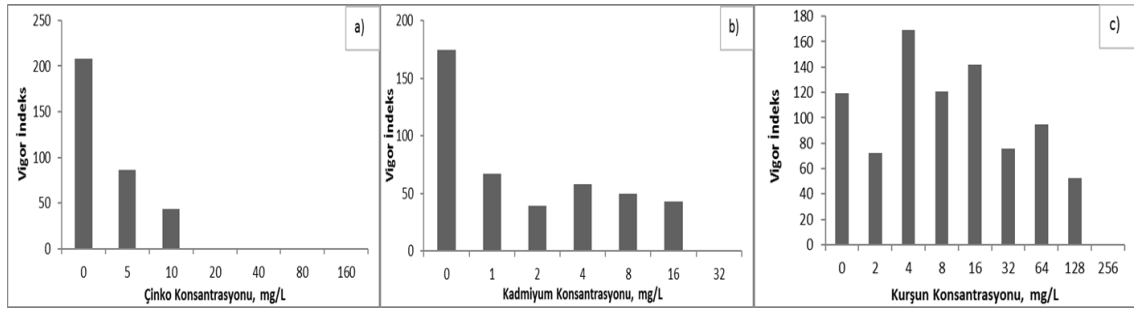
Kadmiyum maruziyetinden sonra çimlenen tohumların 32 mg L⁻¹ Cd konsantrasyonunda kök ve gövde gelişiminin engellendiği ve artan Cd konsantrasyonu ile kök ve gövde uzamalarının azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 2b). En büyük gövde ve kök boyuna kontrolde rastlanmış olup bu değerler sırasıyla 1,42 cm ve 1,67 cm olarak ölçülmüştür. Yapılan bir araştırmada Cd metaline 24 saat maruz kalan marul tohumlarının kök uzamasında önemli azalmaların olduğu ve gövde oluşumunun geciktiği belirtilmiştir (Silveira ve diğ., 2017).

Farklı konsantrasyonlarda uygulanan Pb metalinin ise, çimlenmiş marul tohumlarının gövde uzamasına önemli bir etkisi olmazken 256 mg L⁻¹ Pb konsantrasyonunda kök oluşumu gözlenmemiştir (Şekil 2c). Kurşun maruziyeti altındaki çimlenmiş marul tohumlarında en yüksek gövde ve kök uzunluğu 4 mg L⁻¹ Pb konsantrasyonunda sırasıyla 1,5 cm ve 1,67 cm olarak belirlenmiştir. Farklı metallere maruz kalmış marul tohumlarının kök ve gövde uzamasında en büyük hassasiyetin Zn metaline karşı olduğu belirlenmiştir.

Araştırmada ele alınan marul bitkisinin üç farklı metal ve bu metallerin değişik konsantrasyonlarına maruz kalması sonucunda elde edilen tohum çimlenme yüzdesi ile kök ve gövde uzamaları kullanılarak vigor indeks hesaplanmıştır (Karakas ve diğ., 2015) (Şekil 3). Marul bitkisinde metal stresinin artmasına bağlı olarak vigor indeksinde önemli azalmalar gözlenmiştir. Çinko ve Cd metallerinin uygulanmasında marul tohumunun vigor indeksinin kontrole kıyasla oldukça düşük olduğu (Şekil 3a, b), Pb uygulamasında ise vigor indeksin yüksek konsantrasyonlarda kontrole kıyasla azalma gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 3c). 4 mg L⁻¹ kurşun konsantrasyonunun marul bitkisinin çimlenme ve gelişiminde olumlu etkilerinin olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2:
Farklı konsantrasyonlardaki Zn, Cd ve Pb metallerine maruz kalmış çimlenmiş marul tohumlarının kök ve gövde uzunlukları



Şekil 3:
Farklı konsantrasyonlardaki Zn, Cd ve Pb metallerine maruz kalmış marulun vigor indeksi

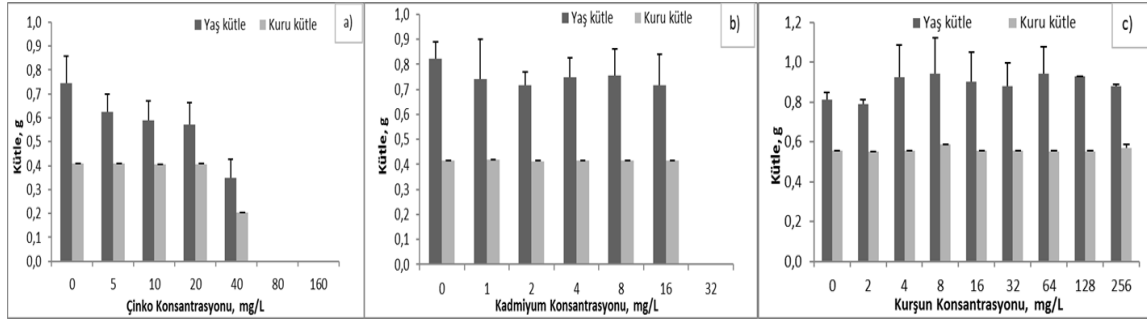
3.3. Yaş ve Kuru Kütle

Farklı metallere maruz kalmış marul tohumlarının 7 gün boyunca çimlendirilmesinin ardından, tohumların yaş ve kuru kütleleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Zn metaline maruz kalmış çimlenmiş marul tohumlarının yaş kütlelerinde kontrole kıyasla önemli azalmaların olduğu, kuru kütleler arasında ise büyük değişimlerin olmadığı belirlenmiştir (Şekil 4a). Yaş ve kuru kütle arasındaki en büyük ağırlık farkı kontrol grubunda saptanmış olup (%33,5), en düşük kütle kaybı ise 40 mg L⁻¹ Zn konsantrasyonunda (%14,7) elde edilmiştir. 80 ve 160 mg L⁻¹ Zn konsantrasyonlarında çimlenme olmadığından kütle ölçümü gerçekleştirilememiştir.

Kadmiyum metaline maruziyet sonucunda yaş ve kuru kütlelerde kontrole kıyasla büyük değişimlerin olmadığı belirlenmiştir (Şekil 4b). En büyük yaş kütle kontrol grubunda (0,821 g), en düşük yaş kütle ise 16 mg L⁻¹ Cd konsantrasyonunda (0,715 g) belirlenmiştir. Kuru kütleler arasında büyük bir değişim saptanmamıştır. Yaş ve kuru kütle arasındaki en büyük ağırlık farkı kontrol grubunda (%40,41) ve en az ağırlık farkı ise 16 mg L⁻¹ Cd konsantrasyonunda (%30,06) tespit edilmiştir. 32 mg L⁻¹ Cd konsantrasyonunda çimlenme gerçekleşmediğinden kütle ölçümü gerçekleştirilememiştir.

Kurşun maruziyetinde de yaş ve kuru kütlelerde kontrole kıyasla büyük değişimler gözlenmemiş olup en büyük yaş kütle 64 mg L⁻¹ Pb konsantrasyonunda (0,943 g) ve en düşük yaş kütle ise 2 mg L⁻¹ Pb konsantrasyonunda (0,790 g) belirlenmiştir. Kuru kütleler arasında herhangi bir değişim belirlenmemiştir (Şekil 4c). En büyük kütle kaybı 64 mg L⁻¹ Pb konsantrasyonunda (%37,33) belirlenmiştir.

Edelstein ve Ben-Hur (2018) yaptıkları çalışmada atık su ile sulanan toprakta yetiştirilen bitkilerin temiz su ile sulanan toprakta yetiştirilen bitkilere göre bünyelerinde daha fazla ağır metal biriktirdiklerini vurgulamışlardır. Atık su ve temiz su ile sulanan toprakta yetiştirilen bazı sebzelerin yenilebilir kısımlarında yapılan analizlerde atık su ile sulanan bitkilerin bünyelerinde Cd, Pb ve Ni konsantrasyonunun daha fazla olduğu belirtilmiştir (Khan ve diğ., 2008).



Şekil 4:

Farklı konsantrasyonlardaki Zn, Cd ve Pb metallerine maruz kalmış çimlenmiş marulun yaş ve kuru kütleleri

4. SONUÇ

Ağır metaller çevresel ortamlara giriş yaptıklarında, diğer kirlenmeler gibi biyolojik olarak parçalanabilen bir yapıya sahip olmadıklarından canlı organizmalar için çok düşük konsantrasyonlarda bile ciddi tehlikelere sebep olabilmektedirler. Kurşun ve Cd metallerinin toksisiteleri nadir durumlarda ortaya çıkar. Bu metaller, fitotoksisite nedeniyle değil de, bitki bünyelerine alınarak akümüle olabildikleri ve dolayısı ile besin zincirine girebildikleri için birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Bu nedenle, ağır metallerin toksisitesi ile ilgili çoğu araştırma Cd, Pb ve Zn metallerinin üzerine yoğunlaşmıştır (Foy ve diğ., 1978). Yapılan bu çalışmada da Cd, Pb ve Zn metallerinin marul bitkisinin tohum çimlenmesi ve bitki büyümesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Ölçülen tüm parametrelerde metallerin olumsuz etkileri Zn > Cd > Pb olarak tespit edilmiştir. Marul tohumlarının kök ve gövde uzamasında en büyük hassasiyetin Zn metaline karşı olduğu belirlenmiştir. 20 mg L⁻¹ Zn, 32 mg L⁻¹ Cd ve 256 mg L⁻¹ Pb konsantrasyonlarında tohum çimlenmesinin ve kök oluşumunun engellendiği tespit edilmiştir. Kadmiyum ve Pb metalleri toprakta bulunabilecek eşik değerler üzerinde veya eşik değere çok yakın değerlerde toksik etkilerini göstermiştir. Bununla birlikte Zn metali eşik değerinin çok altında (20 mg L⁻¹) marul bitkisinin tohum çimlenmesinde ve kök uzamasında engelleyici etki göstermiştir. Bitkiler, toprakta bulunan bir metalin ancak biyoyararlı kısmını bünyelerine alabilmektedirler. Bu nedenle toprakta bulunan bir metalin topraktaki eşik değeri ile bitki metabolizmasında yapacağı toksik etki için gereken metal miktarı farklılık gösterebilmektedir. Çinko metali, bitki metabolizmasının işleyişinde hayati rol oynayan enzim sisteminin önemli bir parçası olmakla birlikte, hücrelerin sağlıklı gelişimi, karbonhidrat metabolizması, fotosentetik elektron transferi (Okcu ve diğ., 2009) ve kök-gövde gelişiminde aktif olarak yer almaktadır. Çinkonun bitkiye etkilerinin ortaya çıkmasında ortamdaki Zn formu, ortam pH'sı ve bitki türü oldukça önemlidir. Ortam pH'sı Zn'nun bitki tarafından alınmasında ve bitki içerisindeki lokalizasyonunda öne çıkan bir faktördür. Bu nedenle, bu çalışmada ortam pH'sının çalışılan konsantrasyonlarda Zn'nun marul bitkisi üzerindeki olumsuz etkisini arttıran en önemli faktör olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Acero P, Mandado J M.A., Gomez J., Gimeno M., Auque L. ve Torrijo F. (2003) Environmental impact of heavy metal dispersion in the Huerva River (Iberian range, NE Spain), *Environmental Geology*, 43, 950–956.
2. Afrakhteh S., Frahmandfar E., Hamidi A. ve Ramandi H.D. (2013) Evaluation of growth characteristics and seedling vigor in two cultivars of soybean dried under different temperature and fluidized bed dryer, *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(21), 2537-2544.

3. Anonim, 2008, <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/wildlife-research-landscape-science/biological-test-method-publications/terrestrial-plants-contaminants-soil.html>, Erişim Tarihi: 17.04.2018, Konu: Biological test method for measuring terrestrial plants exposed to contaminants in soil: chapter 1
4. ATSDR (2017) <https://www.atsdr.cdc.gov/spl/index.html>, Erişim Tarihi: 25.03.2018, Konu: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)'s Substance Priority List.
5. Ayaz F.A. ve Kadioğlu A. (1997) Effects of metals (Zn, Cd, Cu, Hg) on the soluble protein bands of germinating *Lens esculenta* L. Seeds, *Turkish Journal of Botany*, 21, 85–88.
6. Barman S.C., Sahu R.K., Bhargava S.K. ve Chatterjee C. (2000) Distribution of metals in wheat, mustard, and weed grown in field irrigated with industrial effluents, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 64, 489–496.
7. Barrameda-Medina Y., Montesinos-Pereira D., Romero L., Ruiz J. M. ve Blasco B. (2014) Comparative study of the toxic effect of Zn in *Lactuca sativa* and *Brassica oleracea* plants: I. Growth, distribution, and accumulation of Zn, and metabolism of carboxylates, *Environmental and Experimental Botany*, 107, 98–104.
8. Claire L.C., Adriano D.C., Sajwan K.S., Abel S.L., Thoma D.P. ve Driver J.T. (1991) Effects of selected trace metals on germinating seeds of six plant species, *Water, Air, and Soil Pollution*, 59, 231-240.
9. Delgado M., Bigeriego M. ve Guardiola E. (1993) Uptake of Zn, Cr and Cd by water hyacinths, *Water Research*, 27(2), 269-272.
10. Edelstein M. ve Ben-Hur M. (2018) Heavy metals and metalloids: Sources, risks and strategies to reduce their accumulation in horticultural crops, *Scientia Horticulturae*, 234, 431-444.
11. Espen L., Pirovano L. ve Cocucci S.M (1997) Effects of Ni²⁺ during the early phases of radish (*Raphanus sativus*) seed germination, *Environmental and Experimental Botany*, 38, 187–197.
12. Fargasova A. (1994) Effect of Pb, Cd, Hg, As and Cr on germination and root growth of *Sinapsis alba* seeds, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 52, 452–456.
13. Foy C.D., Chaney R. L. ve White M.C. (1978) The physiology of metal toxicity in plants, *Annual Review of Plant Physiology*, 29, 511-66.
14. Gharebaghi A., Haghghi A.M.H. ve Arouiee H. (2017) Effect of cadmium on seed germination and earlier basil (*Ocimum basilicum* L. and *Ocimum basilicum* var. *purpurescens*) seedling growth, *Trakia Journal of Sciences*, 1, 1-4.
15. Jibril S.A., Hassan S.A., Ishak, C.F. ve Wahab P.E.M. (2017) Cadmium toxicity affects phytochemicals and nutrient elements composition of lettuce (*Lactuca sativa* L.), *Advances in Agriculture*, 1- 7.
16. Judia C. ve 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.
17. Khan S., Cao Q., Zheng Y.M., Huang Y.Z. ve Zhu Y.G. (2008) Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China, *Environmental Pollution*, 152, 686-692.

18. Khan S. U. ve Moheman A. (2006) Effect of heavy metals (Cadmium and Nickel) on the seed germination, growth and metals uptake by chilli (*Capsicum frutescens*) and sunflower plants (*Helianthus annuus*), *Pollution Research*, 25, 99-104.
19. Kapustka L.A. ve Reporter M. (1993) Terrestrial primary producers. In: Peter Calow (ed) Handbook of ecotoxicology, vol. 1. *Blackwell Scientific Publications*, 278–298.
20. Karakaş S., Çullu M.A. ve Dikilitaş M. (2015) In vitro koşullarda halofit bitkilerden salsola soda ve portulaca oleracea'nın nacl stresine karşı çimlenme ve gelişim durumları, *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 19(2), 66-74.
21. Lyu J., Park J., Pandey K.L., Choid S., Leed H., Saeger J.D., Depuydt S. ve Han T. (2018) Testing the toxicity of metals, phenol, effluents, and receiving waters by root elongation in *Lactuca sativa* L., *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 149, 225-232.
22. Lidon F.C. ve Henriques F.S. (1998) Role of rice shoot vacuoles in copper toxicity regulation, *Environmental and Experimental Botany*, 39, 197-202.
23. Ma W.Z., Ma W.M., Du Y.Y., Dan Q.P., Yin B., Dai S. S. ve Hao X. (2018) Toxicity Effect of Cr Stress on Seed Germination and Seedling Growth in *Lactuca Sativa*, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 128, 012131.
24. Mahmoodzadeh H., Nabavi M. ve Kashefi H. (2013) Effect of nanoscale titanium dioxide particles on the germination and growth of canola (*Brassica napus*). *Journal of Ornamental Horticultural Plants*, 3, 25–32.
25. Mesmar M.N. ve Jaber K. (1991) The toxic effect of lead on seed germination, growth, chlorophyll and protein contents of wheat and lens, *Acta Biologica Hungarica*, 42, 331-344.
26. Mishra A., Choudhuri M.A. (1998) Amelioration of lead and mercury effects on germination and rice seedling growth by antioxidants, *Biologia Plantarum*, 41, 469-473.
27. Moustakas M., Lanaras T., Symeonidis L. ve Karataglis S. (1994) Growth and some photosynthetic characteristics of field grown *Avena sativa* under copper and lead stress, *Photosynthetica*, 30, 389-396.
28. Munzuroğlu Ö. ve Geçkil H. (2002) Effects of metals on seed germination, root elongation, and coleoptile and hypocotyl growth in *Triticum aestivum* and *Cucumis sativus*, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 43, 203-213.
29. Nedelkoska T.V. ve Doran P.M. (2000) Characteristics of heavy metal uptake by plants species with potential for, phytoremediation and phytomining, *Minerals Engineering*, 13, 549-561.
30. Okcu M., Tozlu E., Kumlay A.M. ve Pehlivan M. (2009) Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri, *Alınteri*, 17(B), 14-26.
31. Öncel I., Keles Y. ve Üstün A.S. (2000) Interactive effects of temperature and heavy metal stress on the growth and some biochemical compounds in wheat seedlings, *Environmental Pollution*, 107, 315-320.
32. Peralta J.R., Gardea-Torresdey J.L., Tiemann K.J., Gomez E., Arteaga S., Rascon E. ve diğ. (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.
33. Phalsson A.M.B. (1989) Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants, *Water, Air, Soil Pollution*, 47, 287-319.

34. Priac A., Badot P.M. ve Crini G. (2017) Treated wastewater phytotoxicity assessment using *Lactuca sativa*: Focus on germination and root elongation test parameters, *Comptes Rendus Biologies*, 340, 188–194.
35. Poschenrieder, C., Gunse B. ve Barcelo J. (1989) Influence of cadmium on water relations, stomatal resistance and abscisic acid content in expanding bean leaves, *Environmental and Stress Physiology*, 90, 1365-1371.
36. Prasad T.N.V.K.V., Sudhakar P., Sreenivasulu Y., Latha P., Munaswamy V., Reddy K.R., Sreeprasad T.S., Sajanalal P.R. ve Pradeep T. (2012) Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut, *Journal of Plant Nutrition*, 35(6), 905-927.
37. Ratsch H.C. ve Johndro D. (1984) Comparative toxicity of six test chemicals to lettuce using two root elongation test methods, *Environmental Monitoring and Assessment*, 6, 267-276.
38. Ross S.M. (1994) Toxic Metals in Soil–Plant Systems, *John Wiley and Sons*, Chis Chester.
39. Saether O.M., Krog R., Segar D. ve Storroe G. (1997) Contamination of soil and ground water at former industrial site in Trondheim, Norway, *Applied Geochemistry*, 12, 327-332.
40. Sacristán D., Recatalá L. ve Viscarra Rossel R.A. (2015) Toxicity and bioaccumulation of Cu in an accumulator crop (*Lactuca sativa* L.) in different Australian agricultural soils, *Scientia Horticulturae* 193, 346–352.
41. Sresty T.V.S. ve Madhova K.V. (1999) Ultrastructural alterations in response to zinc and nickel stress in the root cell of pigeonpea, *Environmental and Experimental Botany*, 41, 3-13.
42. Silva S., Silva P., Oliveira H., Gaivao I., Matos M., Pinto-Carnide O. ve Santos C. (2017) Pb low doses induced genotoxicity in *Lactuca sativa* plants, *Plant Physiology and Biochemistry* 112, 109-116.
43. Silveira G.L., Lima M.G.F., Barreto dos Reis G., Palmieri M.J. ve Andrade-Vieria L.F. (2017) Toxic effects of environmental pollutants: Comparative investigation using *Allium cepa* L. and *Lactuca sativa* L., *Chemosphere*, 178, 359-367.
44. Tiquia S.M., Tam N.F.Y. ve Hodgkiss I.J. (1996) Effects of composting on phytotoxicity of spent pig-manure sawdust litter, *Environmental Pollution*, 93, 249-256.
45. TKKY, (2005) <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/05/20050531-6.htm>, Erişim Tarihi: 17.04.2018, Konu: Toprak Kirliliği kontrol Yönetmeliği.
46. Vojtechova M. ve Leblova S. (1991) Uptake of lead and cadmium by maize seedlings and the effects of heavy metals on the activity of phosphoenolpyruvate carboxylase isolated from maize. *Biologia Plantarum*, 33, 386-394.
47. Wolf M., Baretta D., Becegato V.A., Almeida V.C. ve Paulino A.T. (2017) Copper/Zinc Bioaccumulation and the Effect of Phytotoxicity on the Growth of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Non-contaminated, Metal-Contaminated and Swine Manure-Enriched Soils, *Water Air Soil Pollution*, 228, 152, 1-9.
48. Xiong Z. T. (1998) Lead uptake and effects on seed germination and plant growth in a Pb hyperaccumulator *Brassica pekinensis* Rupr. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 60, 285-291.