

Susam bitkisinin çimlenme ve fide gelişimi üzerine kurşun klorür'ün (PbCl₂) etkisi

Effect of lead chloride (PbCl₂) on germination and seedling development of sesame plant

Osman GEDİK^{1*}, Fatih KILLI¹, Nurdan Gül KÖRÜK¹

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Kahramanmaraş

Eser Bilgisi / Article Info

Araştırma makalesi / Research article

DOI: 10.17474/artvinofd.1477724

Sorumlu yazar / Corresponding author

Osman GEDİK

e-mail: ogedik@ksu.edu.tr

Geliş tarihi / Received

03.05.2024

Düzeltilme tarihi / Received in revised form

18.07.2024

Kabul Tarihi / Accepted

16.08.2024

Elektronik erişim / Online available

15.10.2024

Anahtar kelimeler:

Ağır metal

Çimlenme

Kurşun klorür

Susam

Keywords:

Heavy metal

Germination

Lead chloride

Sesame

Özet

Susam (*Sesamum indicum* L.), endüstri bitkileri arasında çok önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada susam tohumlarına, çevre kirleticilerden biri olan kurşun (PbCl₂) ağır metal vericisinin farklı dozları uygulanarak çimlenme ve fide gelişim özellikleri incelenmiştir. İki farklı susam çeşidi (Kepsut-99 ve Hatipoğlu) ve 0 mg L⁻¹ (Kontrol), 5 mg L⁻¹, 10 mg L⁻¹, 20 mg L⁻¹, 40 mg L⁻¹, 80 mg L⁻¹, 160 mg L⁻¹, 320 mg L⁻¹ olmak üzere 8 farklı PbCl₂ dozu uygulanmıştır. Hazırlanan petri kaplarının tabanları çift katlı filtre kâğıdı ile kaplanmış ve her petri kabına kendi dozundan 10 ml konsantrasyon sıvısı eklenmiştir. Her petri kabına 50 adet tohum ekilmiş olup petri kapları parafilm ile kapatılarak inkübatöre yerleştirilmiştir. Daha sonra 24 °C sıcaklıkta 12 saat karanlık ve 12 saat aydınlık olacak şekilde programlanan inkübatöre petri kapları yerleştirilmiştir. Çalışmadaki ölçümler denemenin kurulumundan on dört gün sonra alınmıştır. Buna göre; çimlenme oranı bakımından susam çeşitleri arasında fark görülmezken radikula yaş ve kuru ağırlık, plumula kuru ağırlık ve fide kuru ağırlık dışındaki incelenen tüm özelliklerde Hatipoğlu çeşidi daha yüksek değerlere sahip olmuştur. Dozlar açısından incelendiğinde PbCl₂ konsantrasyonlarının artışına bağlı olarak incelenen özelliklerin değerlerinde azalma görülmüştür. Çeşit x doz interaksyonu bakımından incelenen parametrelerin bakıldığında çeşitlerin PbCl₂ dozlarına olan toleransları farklılık göstermiştir.

Abstract

Sesame (*Sesamum indicum* L.) has a very important place among industrial plants. In this study, different doses of lead (PbCl₂), one of the environmental pollutants, heavy metal donor were applied to sesame seeds to investigate their germination and seedling development characteristics. Two different sesame varieties (Kepsut-99 and Hatipoğlu) and 8 different PbCl₂ doses were applied; 0 mg L⁻¹ (Control), 5 mg L⁻¹, 10 mg L⁻¹, 20 mg L⁻¹, 40 mg L⁻¹, 80 mg L⁻¹, 160 mg L⁻¹, 320 mg L⁻¹. The bottoms of the prepared petri dishes were covered with double-layered filter paper and 10 ml of concentration liquid from its own dose was added to each petri dish. Fifty seeds were sown in each petri dish and the petri dishes were covered with parafilm and placed in the incubator. Then, petri dishes were placed in the incubator, which was programmed to be 12 hours dark and 12 hours light at 24 °C. The measurements in the study were taken fourteen days after the experiment was set up. Accordingly; while there was no difference between sesame varieties in terms of germination rate, Hatipoğlu variety had higher values in all examined traits except radicle fresh and dry weight, plumula dry weight and seedling dry weight. When examined in terms of doses, a decrease was observed in the values of the examined traits due to the increase in PbCl₂ concentrations. When the examined parameters in terms of variety x dose interaction were examined, the tolerances of the varieties to PbCl₂ doses differed.

GİRİŞ

Ağır metaller genel kirlilik faktörleri olarak karasal, sucul ve hava ortamlarını tehdit etmekte ve yaşam üzerinde risk oluşturmaktadır. Bundan dolayı konuya ilgi duyan araştırmacılar ağır metallerin çevreye olan olumsuz etkileri üzerine yoğunlaşmıştır. Ağır metaller su ile temas sonucu bitkilere taşınır ya da toprak bileşenlerince (kil veya organik madde gibi) tutulabilirler (Doğaroğlu 2018). Atmosferik metaller; ya bitkilerin yaprakları tarafından havadan absorbe edilerek ya da toprakta biriktikten sonra

bitkilerin kökleri tarafından emilerek iki farklı şekilde bitkilere taşınır (He ve ark. 2023). Ekosfere ulaşan ağır metallerden alüminyum, vanadyum, arsenik, civa, kurşun, kadmiyum ve selenyum toksik etki gösterirken, belirli konsantrasyonlarda çinko, mangan, kobalt, bakır, nikel ve molibden bitki gelişimi için mutlak gereklidir (Öktüren Asri ve Sönmez 2006). Endüstriyel atıklar, tarımda kullanılan çeşitli pestisitler, gübreler, madencilik çalışmaları ve egzoz gazları ile çevreye verilen ağır metaller bitkileri strese sokan en önemli çevresel faktörlerdir (Yıldır 2018). Özellikle şehir merkezleri, endüstriyel alanlar ve

yakınlarında yetiştirilen ürünlerden normal limitlerin çok üzerinde kurşun bulunabilmektedir. Eski evlerde bulunan su tesisatlarında kullanılan kurşun su boruları ve kurşun kaynaklar kurşunun suya karışmasına sebep olabilmektedirler (Dere 2019). Bitkilerde metal stresi; çimlenen tohum sayısı, radikula ve plumula uzunluğu, bitki boyu ve toplam ağırlık miktarı gibi büyüme parametrelerinde azalma ile kendini göstermektedir (Phalsson 1989). Toksik etkiye sahip olan ağır metaller, bitkilerde transpirasyon, fotosentez, stoma hareketleri, enzim aktivitesi, membran stabilitesi, su alımı, protein sentezi, çimlenme, hormonal denge gibi birçok fizyolojik olayların düzeninin bozulmasına neden olmaktadır (Kennedy ve Gonsalves 1987, Öktüren Asri ve Sönmez 2006). Toksikite maruz kalan metale göre farklılık gösterebildiği gibi, organizmadan organizmaya da farklılık göstermektedir (Öktüren Asri ve Sönmez 2006). Bitkiler yüksek düzeyde ağır metale maruz kaldığında meydana gelen zararların bazıları gözle görülebilir ve ölçülebilir iken, bazılarının belirlenebilmesi için ise karışık biyokimyasal çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Ayhan ve ark. 2005). Çimlenme ve kök uzama testi bitkilerde akut fitotoksikite testlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Kapustka ve Reporter 1993, Munzuroğlu ve Geçkil 2002). Yüksek metal konsantrasyonu bitkilerde normal köklere göre daha kısa kök, saçak ve yan köklerde azalma şeklinde kendini gösterebilmektedir (Ayhan ve ark. 2005). Bitkinin metal maruziyeti devam ettiği sürece kökün yanı sıra gövde de bazı anormallikler ortaya çıkarak gövde büyümesi de etkilenmektedir. Bu sebeple radikula ve plumulanın yaş ve kuru ağırlıklarında düşüş meydana gelmekte ve bitki büyümesi yavaşlamaktadır (Barış 2012). Kurşun metali yaygın kullanımından (endüstriyel ve tarımsal faaliyetler) dolayı (Öktüren Asri ve Sönmez 2006) ekolojik ortamlara en fazla zararı olan metal olup, aynı zamanda çevresel kirliliğe sebep olan başlıca metaldir (Okçu ve ark. 2009). Kurşun bitkilerdeki fizyolojik ve biyokimyasal olaylar için elzem olan bir element değildir (Dürüst ve ark. 2004). Kaya ve ark. (2019), kurşun nitratin (Pb(NO₃)₂) farklı susam genotipleri üzerine yapmış oldukları çalışmada incelenen özelliklerde kurşun nitratin olumsuz etki ederek susamın büyüme parametrelerini olumsuz yönde etkilediğini bildirmişlerdir. Susam, Türkiye'nin de dâhil olduğu dünyanın yarı kurak ve kurak bölgelerinde yetişen Pedaliaceae familyasından tek yıllık,

yazlık, çalı formunda bir bitki olup önemli bir yağlı tohum bitkisidir (Amin ve ark. 2018, Kaya ve ark. 2019) Bu çalışmada endüstri bitkileri arasında önemli bir yere sahip olan susam bitkisinin iki farklı çeşidinin artan PbCl₂ dozlarında çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Araştırmada Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri bölümünden temin edilen iki farklı susam çeşidi [Kepsut-99 (Beyaz renkli) ve Hatipoğlu (Esmer renkli)] bitkisel materyal olarak kullanılmış ve çalışma KSÜ Ziraat Fakültesi Tıbbi Bitkiler Laboratuvarı'nda yürütülmüştür. Sekiz farklı PbCl₂ dozu (kontrol, 0.005, 0.01, 0.02, 0.04, 0.08, 0.16 ve 0.32 mg L⁻¹) uygulanmış ve deneme 4 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Kontrol grubu için musluk suyu kullanılmış olup ağır metal dozlarının belirlenmesinde sulama suyunda bulunması gereken limit değer baz alınarak oluşturulmuştur (Anonim 1991).

Yöntem

Çalışmada kullanılan tohum örnekleri, %0.1 lik HgCl₂ ile hazırlanan çözeltide 1 dakika süre ile çalkalanmıştır. Sterilizasyona tabi tutulan susam tohumları üzerlerinde kimyasal kalıntı kalmaması için en az beş defa distile su ile yıkanmıştır. Her petriye iki adet steril kurutma kâğıdı yerleştirildikten sonra uygulanacak her dozdan 10 ml olacak şekilde hazırlanan petrilere ilâve edilmiştir. Daha sonra her petriye steril edilen 25 adet tohum yerleştirilmiş ve petrilere parafilm çekilerek kapatılmıştır (Taşar 2022, 2023). Çimlendirme kabini 14000 lüks ışık, 24 °C sıcaklık, 12 saat aydınlık ve 12 saat karanlık olarak ayarlanmış ve hazırlanan petriler çimlendirme kabinine yerleştirilmiştir.

Deneme kurulduktan 14 gün sonra kurşun stresine maruz bırakılan susam tohumlarının kök ve gövdeye olan etkisini belirlemek amacıyla bazı temel büyüme parametreleri ölçülmüştür. Çalışmada yetiştirilen susam çeşitlerine ait fidelerde; çimlenme oranı, radikula uzunluğu, plumula uzunluğu, fide uzunluğu, radikula yaş ağırlık, plumula yaş

ağırlık, fide yaş ağırlık, radikula kuru ağırlık, plumula kuru ağırlık, fide kuru ağırlık ve vigor indeks değerleri incelenmiştir. Kök-gövde uzunlukları ve kuru-yaş ağırlıklarını belirlemek için petrilere 10 adet bitki seçilerek kumpas yardımıyla kök (radikula) ve gövde (plumula) uzunlukları ölçülmüştür.

Ölçümü yapılan bitkiler kök-gövde bölgelerinden ayrılarak tartılıp kök-gövde yaş ağırlıkları bulunmuştur. Kök-gövde kuru ağırlık tespiti için yaş ağırlıkta kullanılan numuneler 48 saat 70 °C etüvde kurutmaya bırakıldıktan sonra kök-gövde kuru ağırlıkları belirlenmiştir (Uslu ve ark. 2021). Vigor indeksi hesaplanırken çimlenme yüzdesi ve ortalama fide uzunluğu değerlerinin çarpımı ile elde edilmiştir (Abdul-Baki ve Anderson 1973).

İstatistiksel Analizler

Denemede alınan gözlemlere ait veriler tesadüf parseller deneme desenine göre JMP 10 İstatistik Paket Programı kullanılarak analiz edilmiş ve önemli bulunan farklılıkların gruplandırılması amacıyla LSD çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuştur (JMP 2010).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada iki farklı susam çeşidine ait tohumların farklı dozlardaki PbCl₂'ün çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkisi belirlenmiştir.

Çimlenme Oranı (%)

Farklı kurşun (PbCl₂) dozlarının susam çeşitlerinde çimlenme oranı bakımından dozlar ve çeşit x doz interaksiyonunda %1 seviyesinde farklılık görülürken, çeşitler arasında istatistiki olarak fark görülmemiştir. Dozlar bakımından en yüksek çimlenme oranı kontrol grubunda (%96.48), en düşük çimlenme oranı ise 320 mg L⁻¹ dozundan (%79) elde edilmiştir. Çeşit x doz interaksiyonuna bakıldığında en yüksek çimlenme oranı Hatipoğlu çeşidinin kontrol grubunda (%97) iken en düşük çimlenme oranı ise yine Hatipoğlu çeşidinin 320 mg L⁻¹ dozundan (%74) elde edilmiştir (Çizelge 1). Daha önceki çalışmalara bakıldığında Doğaroğlu (2018)'nin yapmış olduğu çalışmada en düşük çimlenme oranı kurşun ağır metalinin 2 mg L⁻¹ dozunda (%23) elde ettiğini bildirmiştir. Kıran ve Şahin (2005) mercimek tohumlarına uygulanan Pb⁺²'un (0.125, 0.250, 0.500 ve 1.000 mM) yüksek konsantrasyonlarda çimlenme oranını azaltırken, düşük konsantrasyonlarda kontrole kıyasla çok bir düşüş olmadığını bildirmiştir. Benzer şekilde Shourie (2022) *J. curcas*'ın çimlenmesi üzerine yapılan çalışmada en düşük çimlenme oranının (%58.33) en yüksek kurşun dozu (125 mmol/L) uygulamasında elde edildiğini bildirmiştir. Sengar ve ark. (2008) çimlenmenin azalmasını ya da engellenmesini, kurşunun proteaz ve amilaz gibi önemli enzimlerle etkileşiminden kaynaklanabileceğini bildirmiştir.

Çizelge 1. Farklı PbCl₂ dozlarının bazı susam çeşitlerinde çimlenme oranı (ÇO), radikula uzunluğu (RU), plumula uzunluğu (PU), fide uzunluğu (FU), radikula yaş ağırlık (RYA) ve plumula yaş ağırlık (PYA) ortalama değerleri

		ÇO (%)	RU (mm)	PU (mm)	FU (mm)	RYA (g)	PYA (g)
Çeşitler	Kepsut-99 (Ç ₁)	88.00	77.21 b	28.47 b	105.68 b	0.27a	0.49 b
	Hatipoğlu (Ç ₂)	86.50	81.09 a	33.63 a	114.73 a	0.26 b	0.53 a
Dozlar	0 mg L ⁻¹ (Kontrol)	96.50 a	90.56 a	33.56 a	124.13 a	0.25 c	0.51 b
	5 mg L ⁻¹	85.00 c	75.56 de	29.92 b	105.48 ed	0.27 b	0.53 a
	10 mg L ⁻¹	91.00 b	82.59 b	32.60 a	115.19 b	0.27 b	0.55 a
	20 mg L ⁻¹	84.00 c	77.71 cd	33.18 a	110.89 bc	0.24 c	0.51 b
	40 mg L ⁻¹	87.50 bc	74.33 de	32.00 a	106.34 cd	0.27 b	0.50 bc
	80 mg L ⁻¹	87.50 bc	81.10 bc	28.05 c	109.15 cd	0.31 a	0.51 b
	160 mg L ⁻¹	87.50 bc	79.50 bc	29.51 bc	109.02 cd	0.27 b	0.48 c
	320 mg L ⁻¹	79.00 d	71.84 e	29.59 cb	101.43 e	0.22 d	0.49 cb
Çeşit X Doz	Ç ₁ x D ₀	96.00 ab	89.16 a	32.42 ab	121.59 a	0.27 bc	0.51 bcd
	Ç ₁ x D ₅	88.00 cde	74.73 de	23.99 gh	98.73 fgh	0.29 b	0.51 bcd
	Ç ₁ x D ₁₀	92.00 abc	86.93 a	30.37 cde	117.30 b	0.28 b	0.52 a-d
	Ç ₁ x D ₂₀	88.00 cde	70.63 de	28.53 def	99.16 gh	0.25 cde	0.48 cde
	Ç ₁ x D ₄₀	85.00 def	58.86 f	29.97 efg	88.84 k	0.22 e	0.44 ef
	Ç ₁ x D ₈₀	85.00 def	76.63 cde	28.40 efg	105.03 efg	0.34 a	0.51 cd
	Ç ₁ x D ₁₆₀	86.00 cdef	87.67 a	27.53 h	115.20 bcd	0.27 bc	0.47 de
	Ç ₁ x D ₃₂₀	84.00 def	73.05 e	26.54 h	99.59 ij	0.24 cde	0.48 cde
	Ç ₂ x D ₀	97.00 a	91.96 cde	34.70 a	126.66 bc	0.22 de	0.51 cde
	Ç ₂ x D ₅	82.00 ef	76.38 ab	35.84 a	112.22 a	0.25 cd	0.56 ab
	Ç ₂ x D ₁₀	90.00 bcd	78.25 de	34.83 bc	113.08 def	0.26 bcd	0.58 a
	Ç ₂ x D ₂₀	80.00 fg	84.79 bcd	37.83 bcd	122.62 cde	0.24 de	0.54 abc

	Ç ₂ x D ₄₀	90.00 bcd	89.81 a	34.04 b	123.85 a	0.33 a	0.56 ab
	Ç ₂ x D ₈₀	90.00 bcd	85.57 abc	27.70 efg	113.27 b	0.29 cde	0.51 cde
	Ç ₂ x D ₁₆₀	89.00 cd	71.34 de	31.50 fgh	102.84 hı	0.28 cde	0.48 cde
	Ç ₂ x D ₃₂₀	74.00 g	70.64 f	32.63 def	103.28 jk	0.21 e	0.50 f
Ortalama		21.81	79.15	31.05	110.20	0.26	0.51
CV		5.16	4.92	5.59	4.12	5.00	5.02
LSD for genotype		2.26	1.95**	0.87**	2.28**	0.006**	0.013**
LSD for doses		4.53**	3.91**	1.74**	4.57**	0.01**	0.02**
LSD for G x D		6.41**	5.52**	2.45**	6.45**	0.01**	0.36**

Radikula Uzunluğu (mm)

Artan kurşun dozlarının radikula uzunluğu bakımından çeşitler, dozlar ve çeşit x doz interaksyonu %1 seviyesinde önemli çıkmıştır. Radikula uzunluğu bakımından Hatipoğlu çeşidi (81.09 mm) Kepsut-99 çeşidinden (77.21 mm) daha yüksek bir değere sahiptir. Dozlara bakıldığında en yüksek radikula uzunluğu 90.56 mm ile kontrol grubundan elde edilirken, en düşük radikula uzunluğu 71.84 ile 320 mg L⁻¹ dozundan elde edilmiştir. Çeşit x doz interaksyonuna göre; en yüksek değer Kepsut-99 çeşidinde istatistiki olarak aynı grupta yer alan kontrol, 10 mg L⁻¹, 160 mg L⁻¹ dozlarında sırasıyla 89.16 mm, 86.93 mm, 87.67 mm ve Hatipoğlu çeşidinde ise 40 mg L⁻¹ dozunda 89.81 mm olarak, en düşük değer ise Hatipoğlu çeşidinin 320 mg L⁻¹ dozundan 70.64 mm olarak belirlenmiştir. Kıran ve Şahin (2005) yapmış oldukları çalışmada uygulanan tüm konsantrasyonlarda PbCl₂ konsantrasyonlarının kök büyümesini kontrole göre engellediğini bildirmişlerdir. Verma ve Dubey (2003), iki pirinç genotipi üzerine yapmış olduğu çalışmada 20 günlük fidelerde 1000 mM (115.13 mg L⁻¹) kurşun dozunda kök uzunluğunda %40'a varan azalma gözlemlendiğini bildirmişlerdir.

Plumula Uzunluğu (mm)

Farklı PbCl₂ uygulamalarının plumula uzunluğu üzerindeki etkisine bakıldığında, çeşit, doz ve çeşit x doz interaksyonu %1 seviyesinde önemli olduğu görülmektedir. Ortalama plumula uzunluğu 31.05 mm olarak belirlenmiştir. Farklı PbCl₂ uygulamaları çeşitler açısından değerlendirildiğinde Hatipoğlu çeşidi (33.63 mm) Kepsut-99 çeşidinden (28.47 mm) daha yüksek bir değere sahiptir. Dozlar açısından değerlendirildiğinde en yüksek plumula uzunluğu istatistiki olarak aynı grupta yer alan kontrol (33.56 mm), 10 mg L⁻¹ (32.60 mm), 20 mg (33.18 mm) ve 40 mg L⁻¹

(32.00 mm) iken, en düşük değer 80 mg L⁻¹ (28.05 mm) dozunda görülmüştür. Çeşit x doz interaksyonuna göre en yüksek plumula uzunluğu istatistiki olarak aynı grupta yer alan Hatipoğlu çeşidinde kontrol ve 5 mg L⁻¹ uygulamasından elde edilirken en küçük değer ise Kepsut-99 çeşidinde istatistiki olarak aynı grupta yer alan 160 mg ve 320 mg uygulamalarında elde edilmiştir (Çizelge 1). Doğaroğlu (2018)'nin belirttiği üzere kurşunun farklı konsantrasyonlarının marul tohumlarında plumula uzamasına önemli bir etkisi olmazken, 256 mg L⁻¹ dozunda kök oluşumunu engellediği belirtilmiştir. Verma ve Dubey (2003), iki pirinç genotipi üzerine yapmış olduğu çalışmada 20 günlük fidelerde 1000 mM kurşun dozunda kök uzunluğunda %31'e varan azalma gözlemlendiğini bildirmişlerdir.

Fide Uzunluğu (mm)

Fide uzunluğu bakımından çeşitler, dozlar ve çeşit x doz interaksyonu %1 seviyesinde önemlidir. Hatipoğlu çeşidi (114.73 mm), Kepsut-99 çeşidinden (105.68 mm) daha yüksek fide uzunluğu değerine sahiptir. Dozlar bakımından incelendiğinde en yüksek fide uzunluğu kontrol dozunda, en düşük fide uzunluğu ise 320 mg L⁻¹ uygulamasında elde edilmiştir. Çeşit x doz interaksyonuna göre en yüksek değer aynı grupta yer alan Kepsut-99 çeşidinin kontrol (121.59 mm) dozu, Hatipoğlu çeşidinin 5 mg L⁻¹ (112.22 mm) ve 40 mg L⁻¹ 123.85 mm ile dozlarında elde edilmiştir. En düşük değer ise Kepsut-99 çeşidinde (88.84 mm) 40 mg L⁻¹ dozunda elde edilmiştir (Çizelge 1). Kabir ve ark. (2010), metal stresinin meristematik hücre büyümesini azalttığını, Ashraf ve ark. (2011) ise daha düşük plumula ve radikula uzunluğuna yol açan hidrolitik enzimlerin amilaz ve proteazın aktivitesinin azalmasına neden olduğunu bildirmişlerdir.

Radikula Yaş Ağırlık (g)

Artan kurşun dozlarında radikula yaş ağırlığı bakımından çeşitler, dozlar ve çeşit x doz interaksyonu %1 seviyesinde önemlidir (Çizelge 1). Kullanılan çeşitler radikula yaş ağırlığı bakımından değerlendirildiğinde Kepsut-99 çeşidi (0.27g) Hatipoğlu çeşidine (0.26 gr) göre daha yüksek bir değere sahip olmuştur. Dozlar bakımından en yüksek radikula yaş ağırlığı 0.31 g ile 80 mg L⁻¹ dozunda, en düşük radikula yaş ağırlığı ise 0.22 gr ile 320 mg L⁻¹ dozunda gözlemlenmiştir. Çeşit x doz interaksyonuna bakıldığında en yüksek radikula yaş ağırlığı Kepsut-99 çeşidinde 0.34 g ile 80 mg L⁻¹ dozunda, Hatipoğlu çeşidinde ise 0.33 g ile 320 mg L⁻¹ dozunda tespit edilmiştir. En düşük radikula yaş ağırlığı ise 0.21 g ile 320 mg L⁻¹ dozunda Hatipoğlu çeşidinde elde edilmiştir (Çizelge 1). Verma ve Dubey (2003) iki pirinç genotipi üzerine yapmış olduğu çalışmada 20 günlük fidelerde 1000 mM (115.13 mg L⁻¹) kurşun dozunda köklerin taze ağırlığında %43'e varan azalma gözlemlendiğini bildirmişlerdir. Doğaroğlu (2018)'nin yapmış olduğu çalışmada uygulanan Pb konsantrasyonlarının, çimlenmiş marul tohumlarında plumula gelişiminde önemli bir etkisi

olmadığını 256 mg L⁻¹ Pb konsantrasyonunda da kök oluşumu gözlenmediğini bildirmiştir.

Plumula Yaş Ağırlık (g)

Çalışmada kullanılan ağır metalin (PbCl₂) plumula yaş ağırlığı üzerine çeşitler, dozlar ve çeşit x doz interaksyonu %1 seviyesinde önemli çıkmıştır. Hatipoğlu çeşidi (0.53) Kepsut-99 çeşidine (0.49) göre plumula yaş ağırlığı bakımından daha yüksek bir değere sahiptir. Dozlar açısından değerlendirildiğinde en yüksek plumula yaş ağırlığı 5 mg L⁻¹ ve 10 mg L⁻¹ dozlarında sırasıyla 0.53 ve 0.55 olarak belirlenirken, en düşük plumula yaş ağırlığı ise 160 mg L⁻¹ dozunda 0.48 olarak belirlenmiştir. Çeşit x doz interaksyonu incelendiğinde en yüksek plumula değeri Hatipoğlu çeşidinin 10 mg L⁻¹ dozunda (0.58), en düşük değer ise Kepsut-99 çeşidinde 40 mg L⁻¹ dozunda (0.44) belirlenmiştir (Çizelge 1). Verma ve Dubey (2003), iki pirinç genotipi üzerine yapmış oldukları çalışmada 20 günlük fidelerde 1000 mM (115.13 mg L⁻¹) kurşun dozunda sürgünlerin taze ağırlığında %29'a varan azalma gözlemlendiğini bildirmişlerdir.

Çizelge 2. Farklı PbCl₂ dozlarının bazı susam çeşitlerinin de fide yaş ağırlık (FYA), radikula kuru ağırlık (RKA), plumula kuru ağırlık (PKA), fide kuru ağırlık (FKA) ve vigor indeks (Vi) ortalama değerleri

		FYA (g)	RKA (g)	PKA (g)	FKA (g)	Vi
Çeşitler	Kepsut-99 (Ç1)	0.76 b	0.019 a	0.035 a	0.050 a	2331.96 b
	Hatipoğlu (Ç2)	0.79 a	0.015 b	0.031 b	0.040 b	2488.50 a
Dozlar (D)	0 mg L ⁻¹ (Kontrol)	0.76 c	0.014 d	0.033 abc	0.048 de	2996.35 a
	5 mg L ⁻¹	0.81 ab	0.015 cd	0.032 bc	0.048 e	2236.27 d
	10 mg L ⁻¹	0.83 a	0.016 bcd	0.035 a	0.051 bc	2618.84 b
	20 mg L ⁻¹	0.75 c	0.021 a	0.033 bc	0.055 a	2318.10 cd
	40 mg L ⁻¹	0.78 bc	0.016 bc	0.033 bc	0.049 cde	2336.74 cd
	80 mg L ⁻¹	0.82 a	0.021 a	0.031 d	0.052 ab	2392.77 c
	160 mg L ⁻¹	0.76 c	0.017 b	0.034 ba	0.050 bcd	2381.45 c
	320 mg L ⁻¹	0.72 d	0.016 bc	0.032 dc	0.048 de	2001.34 e
Çeşit X Doz	Ç1 x D0	0.78 b-e	0.017 c	0.034 bcd	0.052 cde	2919.79 a
	Ç1 x D5	0.80 bcd	0.018 cd	0.033 cde	0.052 e	2170.83 e
	Ç1 x D10	0.81 bc	0.020 bc	0.038 a	0.058 ab	2694.96 bc
	Ç1 x D20	0.73 ef	0.017 d	0.035 bc	0.052 e	2181.74 e
	Ç1 x D40	0.66 fg	0.018 cd	0.034 bcd	0.053 de	1890.85 fg
	Ç1 x D80	0.84 b	0.024 a	0.032 def	0.056 bcd	2233.46 e
	Ç1 x D160	0.74 cde	0.020 bc	0.036 ab	0.057 abc	2474.55 de
	Ç1 x D320	0.72 ef	0.020 b	0.033 cde	0.054 a	2089.45 f
	Ç2 x D0	0.73 ef	0.012 f	0.032 def	0.044 fg	3072.89 ab

	Ç2 x D5	0.82 b	0.012 ef	0.031 ef	0.044 fg	2301.69 cd
	Ç2 x D10	0.84 ab	0.011 f	0.032 efg	0.043 g	2542.70 de
	Ç2 x D20	0.77 b-e	0.025 a	0.031 efg	0.057 abc	2454.45 e
	Ç2 x D40	0.90 a	0.014 e	0.031 efg	0.045 fg	2782.63 ab
	Ç2 x D80	0.80 def	0.019 cd	0.029 g	0.049 f	2552.06 bc
	Ç2 x D160	0.77 def	0.013 f	0.030 fg	0.044 g	2288.34 e
	Ç2 x D320	0.72 g	0.012 ef	0.030 fg	0.043 g	1913.23 g
Ortalama		0.78	0.01	0.03	0.05	2410.23
CV		3.89	6.12	4.99	4.47	5.50
LSD for genotype		0.015**	0.0005**	0.0008**	0.001**	66.66**
LSD for doses		0.03**	0.001**	0.0001**	0.002**	133.32**
LSD for G x D		0.04**	0.001**	0.002**	0.003**	188.53**

Fide Yaş Ağırlık (g)

Uygulanan kurşun klorürün fide yaş ağırlığı üzerine çeşitler, dozlar ve çeşit x doz interaksiyonunun %1 seviyesinde önemli olduğu görülmektedir (Çizelge 2). Çeşitler arasında fide yaş ağırlığı bakımından Hatipoğlu çeşidi (0.79) Kepsut-99 çeşidinden (0.76) daha yüksek bir değer sahiptir. Dozlara bakıldığında en yüksek fide yaş ağırlığı 10 mg L⁻¹ (0.83) ve 80 mg L⁻¹ (0.82) , en düşük fide yaş ağırlığı ise 0.72 ile 320 mg L⁻¹ dozundan elde edilmiştir. Çeşit x doz interaksiyonuna bakıldığında en yüksek ve en düşük değer Hatipoğlu çeşidinin farklı dozları sahip olmuştur. Dahası, 40 mg L⁻¹ dozunda en yüksek (0.90) değere sahip olurken, 320 mg L⁻¹ dozu en düşük değer (0.72) sahip olmuştur (Çizelge 2).

Radikula Kuru Ağırlık (g)

Radikula kuru ağırlığı bakımından çeşitler, dozlar ve çeşit x doz interaksiyonu %1 seviyesinde önemlidir (Çizelge 2). Radikula kuru ağırlığı bakımından çeşitler karşılaştırıldığında Kepsut-99 çeşidi (0.19), Hatipoğlu çeşidinden (0.15) daha yüksek bir değere sahip olmuştur. Radikula kuru ağırlık bakımından dozlar bakıldığında 20 mg L⁻¹ ve 80 mg L⁻¹ dozları aynı istatistiki grupta yer alıp en yüksek değere sahiptir. En düşük değer ise 0.014 g ile kontrol dozunda belirlenmiştir. Çeşit x doz interaksiyonuna göre en yüksek değer aynı istatistiki grupta yer alan Kepsut-99 çeşidinin 80 mg L⁻¹ (0.024) ve Hatipoğlu çeşidinin 20 mg L⁻¹ (0.025) dozlarında elde edilirken, en düşük radikula kuru ağırlık değerleri Hatipoğlu çeşidinin kontrol, 10 ve 80 mg L⁻¹ dozlarında

elde edilmiştir (Çizelge 2). Ertekin ve Bilgen (2021), bazı ağır metallerin at dışı mısır bitkisinin çimlenmesi ve fide gelişimi üzerine etkisine yönelik yaptıkları çalışmada en yüksek kök kuru ağırlığını 200 mg L⁻¹ dozunda, en düşük kök kuru ağırlığını ise 800 mg L⁻¹ dozunda belirlemişlerdir.

Plumula Kuru Ağırlık (G)

Plumula kuru ağırlığı yönünden çeşitler, dozlar ve çeşit x doz interaksiyonu %1 seviyesinde önemlidir (Çizelge 2). Plumula kuru ağırlığı bakımından Kepsut-99 susam çeşidi (0.035) Hatipoğlu çeşidine (0.031) göre daha yüksek bir değere sahip olmuştur. Dozlara bakıldığında en yüksek plumula değeri 10 mg L⁻¹ (0.035) uygulamasında elde edilirken, en düşük plumula değeri ise 80 mg L⁻¹ (0.031) uygulamasında elde edilmiştir. Çeşit x doz interaksiyonuna göre en yüksek değer Kepsut-99 çeşidinin 10 mg L⁻¹ (0.038) uygulamasından elde edilirken, en düşük değer Hatipoğlu çeşidinin 80 mg L⁻¹ (0.029) uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 2). Ertekin ve Bilgen (2021) yapmış oldukları çalışmada en düşük sürgün kuru ağırlığının kontrol grubunda, en yüksek sürgün kuru ağırlığının ise 800 mg L⁻¹ dozunda belirlendiğini ve Pb, Cr ve Hg ağır metallerinin ise 800 mg L⁻¹ dozunda kontrole kıyasla artış gösterdiğini bildirmişlerdir.

Fide Kuru Ağırlık (g)

Fide kuru ağırlığı bakımından çeşitler, dozlar ve çeşit x doz interaksiyonunun %1 seviyesinde önemli olduğu görülmektedir (Çizelge 2). Kepsut-99 çeşidi (0.050 g)

Hatipoğlu çeşidinden (0.040 g) daha yüksek fide kuru ağırlığına sahiptir. Uygulanan $PbCl_2$ dozlarına bakıldığında en yüksek fide kuru ağırlığı 20 mg L^{-1} dozundan elde edilirken, en düşük fide kuru ağırlığı ise 5 mg L^{-1} dozunda görülmüştür. Çeşit x doz interaksiyonuna bakıldığında en yüksek fide kuru ağırlığı Kepsut-99 çeşidinde 320 mg L^{-1} dozunda elde edilirken, en düşük değer ise aynı grupta yer alan 160 mg L^{-1} ve 320 mg L^{-1} dozlarında elde edilmiştir. Doğaroğlu (2018) farklı kurşun dozlarında yetiştirilen marul fidelerinde yaş ve kuru kütlelerde kontrole göre çok büyük farklılıklar olmadığını ve en büyük yaş kütleinin 64 mg L^{-1} Pb konsantrasyonunda (0.943 g), en düşük yaş kütleinin ise 2 mg L^{-1} Pb konsantrasyonunda (0,790 g) belirlendiğini bildirmiştir. Bununla beraber, en büyük kütle kaybının ise 64 mg LPb konsantrasyonunda (%37.33) ortaya çıktığını bildirmiştir. Kaya ve ark. (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada da kurşun dozlarında fide kuru ağırlıkları 400 mg L^{-1} uygulamasında kontrollere göre keskin bir düşüş görüldüğü bildirilmiştir.

Vigor İndeks

Vigor indeks bakımından çeşitler, dozlar ve çeşit x doz interaksiyonunun istatistiki olarak %1 düzeyinde önemli olduğu görülmektedir (Çizelge 2). Vigor indeksi çeşitler bakımından karşılaştırıldığında Hatipoğlu çeşidinin (2488.50), Kepsut-99 çeşidinden (2331.96) daha yüksek bir değere sahip olduğu görülmüştür. Dozlar bakımından vigor indekse bakıldığında en yüksek değer kontrol grubunda elde edilirken, en düşük değer ise 320 mg L^{-1} dozunda elde edilmiştir. Çeşit x doz interaksiyonuna göre en yüksek vigor indeks değeri Kepsut-99 çeşidinde kontrol grubunda (2996.35) görülürken, en düşük değer Hatipoğlu çeşidinde (2001.34) 320 mg L^{-1} dozundan elde edilmiştir. Buna göre artan $PbCl_2$ konsantrasyonlarının kullanılan susam çeşitlerinde vigor indeks değerinde azalmaya sebep olduğu görülmüştür (Çizelge 2). Verma ve Dubey (2003), kum kültürü deneylerinde artan $Pb(NO_3)_2$

seviyeleri altında yetiştirilen pirinç fidelerinin vigor indeks değerinde bir azalma olduğunu bildirmişlerdir. Pirinçte Pb nedeniyle azalan fide gücü, muhtemelen Pb'nin bitkinin normal büyümesi ve gelişmesiyle ilişkili metabolik ve biyokimyasal süreçlere müdahalesine atfedilerek bildirilmiştir. Shourie (2022), kurşunun vigor indeks üzerine etkisine yönelik yapmış olduğu çalışmada en düşük değeri en yüksek doz olan 125 mol/L (14.30 mg L^{-1}) dozunda elde etmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde endüstri ve teknolojik faaliyetlerin artışına bağlı olarak çevre kirliliği ve ağır metal kirliliği artış göstermektedir. Bu artış hem insanları hem de bitkileri çeşitli şekilde etkilemektedir. Mevcut çalışmada önemli bir endüstri bitkisi olan susam türünün iki farklı tohum rengine sahip olan Kepsut-99 ve Hatipoğlu çeşitlerinin çimlenme ve fide gelişimi üzerine artan $PbCl_2$ dozlarının etkisi belirlenmiştir. Beyaz tohum rengine sahip olan Kepsut-99 çeşidi radikula yaş ve kuru ağırlık, plumula ve fide kuru ağırlık değerlerinde esmer tohum rengine sahip olan Hatipoğlu çeşidinden daha yüksek değerlere sahip olmuştur. $PbCl_2$ 'ün doz artışına bağlı olarak incelenen özelliklerde düşüş görülürken çeşitler açısından interaksiyon değerlerine bakıldığında; radikula uzunluğu, plumula kuru ağırlığı, fide kuru ağırlığı ve vigor indeksi değerleri beyaz tohum renkli Kepsut-99 çeşidinde, çimlenme oranı, plumula uzunluğu ve fide yaş ağırlık değerleri ise esmer tohum renkli Hatipoğlu çeşidinde daha yüksek değerlere sahip olmuştur. Çeşit x doz interaksiyonu bakımından incelenen özelliklerin çoğunda esmer susam çeşidi olan Hatipoğlu $PbCl_2$ dozlarına daha toleranslı olduğu görülmüştür. Sonuç olarak kurşun ağır metali susam çeşitlerinde çimlenme ve fide gelişim özelliklerini olumsuz yönde etkilemiş ve çeşitlerin ağır metal stresine tepkileri de farklılıklar göstermişti

KAYNAKLAR

- Abdul-Baki AA, Anderson JD (1973) Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Science*, 13(6): 630-633.
- Amin H, Arain BA, Jahangir TM, Abbasi MS, Amin F (2018) Accumulation and distribution of lead (Pb) in plant tissues of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.): profitable phytoremediation with biofuel crops. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 2: 51-60.
- Anonim (1991) Sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları. *Resmî Gazete*, Sayı: 20748, 7 Ocak 1991.
- Ashraf MY, Sadiq R, Hussain M, Ashraf M, Ahmad MSA (2011) Toxic effect of nickel (Ni) on growth and metabolism in germinating seeds of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Biological Trace Element Research*, 143(3): 1695-1703.
- Ayhan B, Ekmekçi Y, Tanyolaç D (2005) Bitkilerde ağır metal zararları ve korunma mekanizmaları. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1): 1-16.
- Barış Ç (2012) Nikel'in brokoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) tohumlarının çimlenmesi ve büyümesi üzerine etkileri. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
- Dere S (2019) Kurşun kirliliğinin tarımsal üretime etkileri. *EJONS International Journal on Mathematic, Engineering and Nature Science*, 12(3): 108-118.
- Doğaroğlu ZG (2018) Kadmiyum, kurşun ve çinko metallerinin marul (*Lactuca sativa* L.) tohumlarının çimlenme özellikleri üzerine etkisi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23(2): 299-308.
- Dürüst N, Dürüst Y, Tuğrul D, Zengin M (2004) Heavy metal contents of *Pinus radiata* trees of İzmit (Turkey). *Asian Journal of Chemistry*, 16(2): 1129-1134.
- Ertekin EN, Bilgen M (2021) Bazı ağır metallerin at dışı mısır (*Zea mays* L.)'da çimlenme ve erken fide gelişimi üzerine etkileri. *Biological Diversity and Conservation*, 14(2): 198-207.
- He L, Wang S, Liu M, Chen Z, Xu J, Dong Y (2023) Transport and transformation of atmospheric metals in ecosystems: a review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 9: 1-15.
- JMP (2010) JMP user guide, release 10 copyright © 2010, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, ISBN 978-1-59994-408-1.
- Kabir M, Iqbal MZ, Shafiq M, Farooqi ZR (2010) Effects of lead on seedling growth of *Thespesia populnea* L. *Plant, Soil and Environment*, 56: 194-199.
- Kapustka LA, Reporter M (1993) Terrestrial primary producers. In: Peter Calow (ed) *Handbook of ecotoxicology*, vol. 1. Blackwell Scientific Publications, 278-298.
- Kaya AR, Eryigit T, Uslu ÖS, Gedik O, Tunctürk M (2019) Effects of lead on seed germination and seedling growth in different sesame (*Sesamum indicum*) genotypes. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(9): 6574-6579.
- Kennedy CD, Gonsalves F (1987) The action of divalent zinc, cadmium, mercury, copper and lead on the trans-root potential and efflux of excised roots. *J. Exp. Bot.*, 38: 800-817.
- Kıran Y, Şahin A (2005) The effects of the lead on the seed germination, root growth, and root tip cell mitotic divisions of *lens culinaris* medik. *G.U. Journal of Science*, 18(1): 17-25.
- Munzuroğlu Ö, 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.
- Okçu M, Tozlu E, Kumlay AM, Pehlivan M (2009) Ağır metallerin bitkiler üzerine etkileri. *Journal of Agriculture Science*, 17(2): 14-26.
- Öktüren AF, Sönmez S (2006) Ağır metal toksitesinin bitki metabolizması üzerine etkileri. *Derim*, 23(2): 36-45.
- Phalsson AMB (1989) Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants. *Water, Air, Soil Pollution*, 47: 287-319.
- Sengar RS, Gautam M, Sengar RS, Garg SK, Sengar K, Chaudhary R (2008) Lead stress effects on physiobiochemical activities of higher plants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 196: 73-93.
- Shourie A (2022) Effect of cadmium and lead stress on seed germination and seedling growth of *Jatropha curcas* L. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 19(3): 671-678.
- Taşar N (2022) Mitotic effects of copper oxide nanoparticle on root development and root tip cells of *Phaseolus vulgaris* L. seeds. *Microsc Res Tech.*, 85: 3895-3907.
- Taşar N (2023) Genotoxic effect of iron oxide (Fe₂O₃) nanoparticles on *Triticum aestivum* (wheat). *Microsc Res Tech.*, 86: 1023-1036.
- Uslu ÖS, Gedik O, Alhumedi M, Alminfi K (2021) Kuraklık stresinin bazı yem bezelyesi (*Pisum sativum* L.) çeşitlerinin çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkisi. *Uluslararası Anadolu Ziraat Mühendisliği Bilimleri Dergisi*, 3(2): 28-36.
- Verma S, Dubey RS (2003) Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. *Plant Science*, 164: 645-655.
- Yıldır H (2018) Buğday (*Triticum aestivum* L.) ve arpa (*Hordeum vulgare* L.) bitkilerinde kısa süreli ağır metal uygulamasının bazı antioksidan enzimlerin ekspresyon seviyeleri ve lipid peroksidasyonu üzerine etkileri. *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Edirne.