



Kadmiyum (CdCl₂) stresi altında farklı kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotiplerinin çimlenme ve ilk fide gelişimi

Germination and early seedling growth of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes under cadmium (CdCl₂) stress

Yusuf Ziya AYGÜN¹ , İbrahim ATIŞ¹ , İbrahim ERTEKİN¹ 

¹Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Antakya, Hatay.

MAKALE BİLGİSİ / ARTICLE INFO

Makale tarihçesi / Article history:

DOI: [10.37908/mkutbd.1006493](https://doi.org/10.37908/mkutbd.1006493)

Geliş tarihi / Received: 08.10.2021

Kabul tarihi / Accepted: 17.11.2021

Keywords:

Heavy metal, cadmium, quinoa, germination, early seedling growth.

✉ Corresponding author: Yusuf Ziya AYGÜN

✉: yusufziyaaygun@mku.edu.tr

ÖZET / ABSTRACT

Aims: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is very popular among the pseudocereals and its cultivation is increasing day by day in Turkey. This plant species is a plant that stands out with its resistance to abiotic stress conditions. This study was carried out to evaluate the germination and early seedling growth of some quinoa cadmium stress (sterile distilled water/control, 75, 150, 225, 300 and 375 mg L⁻¹).

Methods and Results: The experiment was established in the randomized plots with 4 replications under laboratory conditions and the statistical analysis was performed according to the factorial arrangement. At the end of the experiment, germination ratio (GR), germination index (GI) and mean germination time (MGT) were calculated. Root and shoot length and fresh weight were measured on the developing seedlings. Genotype × Dose interactions were found to be significant for all features except GR parameter. Genotype and dose main factors were found to be important for GR. When we evaluated the germination parameters, as the heavy metal doses increased, GR decreased, GI fluctuated, and MGT decreased. When we examined the first seedling growth parameters, shoot and root length and fresh weight decreased as the heavy metal dose increased.

Conclusions: All quinoa genotypes evaluated according to the results of this study were tolerant to 75 and 150 mg L⁻¹ doses of cadmium, while they were sensitive to doses above 150 mg L⁻¹. Among the genotypes, the most tolerant genotype was determined as Cherry Vanilla.

Significance and Impact of the Study: It has been determined that the quinoa plant can be included in cultivation systems using soils and irrigation water contaminated with cadmium up to 150 mg L⁻¹.

Atf / Citation: Aygün YZ, Atış İ, Ertekin İ (2022) Kadmiyum stresi (CdCl₂) altında farklı kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotiplerinin çimlenme ve ilk fide gelişimi. *MKU. Tar. Bil. Derg.* 27(1) : 1-8. DOI: 10.37908/mkutbd.1006493

GİRİŞ

Tahıl ve tahıllardan elde edilen ürünlerin içerdiği gluten sebebiyle ince bağırsakta görülen lezyonlar olarak tanımlanabilen çölyak hastalığında klinik düzeltilmeler glutensiz diyetle sağlanabilmektedir (Yönel ve Özdil, 2014). Çölyak hastalığı sebebiyle gluten içermeyen gıda ve kozmetik ürünlerine yönelim artmıştır. Bu hususta

özellikle son yıllarda yalancı tahıllara (*pseudocereal*) olan ilgi artmıştır. Yalancı tahıllar içerisinde amarant (*Amaranthus viridis*), tef (*Eragrostis tef* [Zucc.] Trotter), chia (*Salvia hispanica*) ve kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) özellikle besleyicilikleri sebebiyle çokça tüketilmeye başlanmıştır.

Yalancı tahıllar içerisinde yer alan kinoa son yıllarda oldukça popüler olup artan bir şekilde gıda olarak

kullanılmaktadır. Protein, karbonhidrat, fitosteroid, Omega-3 ve 6 yağ asitleri, mineraller ve vitaminler gibi önemli besin maddelerini dengeli şekilde ihtiva eden kinoa aynı zamanda saponinler ve fitik asit gibi anti-besinsel maddeler içermektedir (Demir ve Kılınc, 2016). Bitkilerin ihtiva ettiği besin maddeleri kalıtsal bir durum olmakla beraber yetiştiricilik şartları ile besin değerlerinde değişiklik gözlenebilmektedir. Özellikle topraktaki bitki besin elementleri kompozisyonu bitki büyüme ve gelişmesini etkilerken bitki bünyesinde bulunan organik ve inorganik maddelerin miktar ve oranında değişikliğe sebep olabilmektedir.

Bitkilerde çimlenme, büyüme ve gelişme açısından besin elementleri kadar toksik etki gösteren maddelerin miktarı da önemlidir. Bunların en bilinenleri ağır metallerdir. Ağır metaller için bitkilerde gözlenen tolerans sistemleri ise hücre duvarına metalin bağlanması, köklerde tutularak diğer vejetatif aksama ulaşmasının engellenmesi, vakuollerde muhafaza ve şelatlamadır (Öktüren-Asri ve Sönmez, 2006). Ağır metallere karşı türlerin ve hatta çeşitlerin toleransları farklılık gösterebilmektedir (Ertekin ve ark., 2020). Bu, türlerin fizyolojik normlarının genetik olarak farklılık göstermesi esasına dayanmaktadır (Haktanır ve Arcak, 1998). Ağır metal stresi altında bitki büyüme ve gelişmesi yavaşlayabilir veya durabilir. Özellikle çimlenme ve çıkış

döneminde bitkiler stres koşullarına oldukça hassasiyet göstermektedir. Toprak için en mühim kirletici olan ağır metaller (Seven ve ark., 2018) hava kirliliği neticesinde dahi bitkilerde birikime sebep olmakta (Sert ve ark. 2019) ve tarım toprakları için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Tarım alanlarında bulunması muhtemel ağır metallere kadmiyumdur. Çünkü kadmiyum fosforlu gübrelere bulunurken aynı zamanda endüstriyel işgal ve lağım atıkları yolu ile de toprağa karışabilmektedir (Haktanır, 1987). Nitekim Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın tarımsal kaynaklı girdilerin sebep olduğu ağır metal kirliliğine karşı çeşitli yönetmelikleri bulunmaktadır.

Bu çalışmada farklı ağır metal yoğunluğu altında bazı kinoa genotiplerinin çimlenme özellikleri incelenmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışmada bitki materyali olarak *Chenopodium quinoa* Willd. türüne ait 5 genotipin tohumları (Cherry Vanilla (G1), French Vanilla (G2), Mint Vanilla (G3), Red Head (G4) ve Titicaca (G5)) kullanılmıştır. Tohumlar 2020 yılında Amik Ovası koşullarında eşit yetiştiricilik şartları altında üretilmiştir. Kullanılan genotiplere ait bazı bilgiler Çizelge 1'de paylaşılmıştır.

Çizelge 1. Araştırmada kullanılmış olan kinoa genotipleri ve bu genotiplere ait bazı bilgiler

Table 1. *Quinoa* genotypes used in the study and some information about these genotypes

No	Genotip	Orjin	Fenotipik Tohum Rengi
G1	Cherry Vanilla	USA	Beyaz
G2	French Vanilla	USA	Krem-Beyaz
G3	Mint Vanilla	USA	Parlak-Beyaz
G4	Read Head	USA	Beyaz
G5	Titicaca	Danimarka	Beyaz

Farklı kinoa genotiplerinde çimlenme ve erken fide gelişimi döneminde ağır metal stresinin etkisini görmek için farklı kadmiyum ($CdCl_2$) dozları kullanılmıştır. Bu amaçla her bir genotipe 6 farklı ağır metal düzeyi uygulanmıştır (steril saf su, 75, 150, 225, 300 ve 375 mg L^{-1}). Tüm çözeltiler steril saf su ile hazırlanmıştır. Çalışmada çimlenme ortamı olarak 9 cm çaplı cam petripler kullanılmıştır ve her bir petriye çift katlı filtre kağıdı üzerine 10 mm solüsyon uygulandıktan sonra 50 adet tohum yerleştirilmiş ve parafilm ile kapatılmıştır. Tohum yüzeyinde oluşabilecek patojen kontaminasyonunun önüne geçebilmek için yüzey sterilizasyonu %1'lik ticari sodyum hipoklorit ($NaClO$) ile 10 dakika muamele edilerek yapılmıştır. Yüzey sterilizasyonu yapılan tohumların kimyasal bulaşığını

temizlemek için tohumlar steril saf su ile 5 kez durulanmıştır. Petripler çimlenme ve erken fide dönemini temsil edeceği zaman olarak düşünülen 10 günlük süre zarfı boyunca 25 °C'de %70 oransal nemde çimlenme kabininde tutulmuştur (ISTA, 1996). Çimlenme tamamlanincaya kadar geçen süre zarfında petripler karanlık koşullarda bekletilmiş ve çimlenme tamamlandıktan sonra 8 saat gece 16 saat gündüz olacak şekilde fotoperiyot uygulanmıştır. Çimlendirme ve ilk fide gelişimi süresi boyunca herhangi bir besin maddesi ilavesi yapılmamıştır.

İlk 4 gün boyunca, her 12 saatte çimlenen tohumlar (radikula 2 mm uzamışsa tohum çimlenmiş sayılmış) sayılarak çimlenme oranı (ÇO), çimlenme indeksi (Çİ) ve ortalama çimlenme süresi (OÇS) hesaplanmıştır (Ellis ve

Roberts, 1980). 4. günün sonunda çimlenme oranları (ÇO) 10. gün sonunda kök ve sürgün uzunluğu milimetre (mm) olarak, yaş ağırlıkları miligram (mg) cinsinden ölçülmüştür.

Elde edilen değerler SAS JMP istatistik paket programı kullanılarak varyans analizine tabi tutulmuştur. Önemli bulunan tüm özelliklere %5 önem seviyesinde Tukey ikili karşılaştırma testi uygulanmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Bulgular incelendiğinde hem farklı genotiplerin hem de farklı kadmiyum dozlarının tüm bağımlı değişkenler üzerinde etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2). Ayrıca her iki faktörün interaksiyonu çimlenme oranı dışında diğer faktörler üzerinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Çizelge 2. Faktörlerin tüm değişkenler üzerindeki etkisi ve tanımlayıcı istatistikler

Table 2. Effect of factors on all variables and descriptive statistics

	Çimlenme oranı (%)	Çimlenme indeksi	Ortalama çimlenme süresi (gün)	Sürgün Uzunluğu (mm)	Kök Uzunluğu (mm)	Yaş ağırlık (mg 10bitki ⁻¹)
Genotip	21.96***	19.81***	3.49*	5.25***	5.06**	8.24***
Doz	41.13***	16.82***	11.44***	255.49***	658.38***	158.54***
Genotip x Doz	1.24öd	2.76***	7.42***	2.62**	4.85***	2.20**
SEM	1.25	0.58	0.02	0.66	0.56	2.68

öd-önemli değil (*non-significant*); * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$.

Genotip ve doz faktörlerine bağlı olarak çimlenme oranlarına ait ortalama karşılaştırma testi sonucunda oluşan gruplar Çizelge 3'te verilmiştir. Çimlenme oranı yönünden en yüksek sonucu veren genotip %69.92 ile G2 genotipi olmuştur. Bu değeri takiben %69.33 çimlenme oranı ile G1 ve G4 genotipleri de G2 ile istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. G3 genotipi %54.50 ile en düşük çimlenme oranına sahip genotip olmuştur.

Kadmiyum uygulamalarının kinoada çimlenme oranı üzerine etkisi incelendiğinde (Çizelge 3) en yüksek oran (%79.30) hiç kadmiyum uygulaması yapılmayan koşullarda (kontrol) elde edilmiştir. En düşük kadmiyum dozu olan 75 mg L⁻¹ise kontrol grubuna göre daha düşük sonuç verse de bu düşüş istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu durum, kinoanın 75 mg L⁻¹kadmiyum dozuna kadar çimlenme oranında önemli bir düşüşün olmadığını göstermektedir. 225, 300 ve 375 mg L⁻¹

¹kadmiyum dozları ise çimlenme oranı üzerinde birbirlerine kıyasla farklılık göstermemiştir (Çizelge 3). Akar ve Atış (2019) kırmızı yumakta artan kadmiyum dozlarına bağlı olarak çimlenme oranının azaldığını belirlemişlerdir. Aynı şekilde Akar ve Atış (2018) çok yıllık çim bitkisinde kadmiyum stresi arttıkça çimlenmenin azaldığını rapor etmişlerdir. Ayhan ve ark. (2007) mısırdaki artan kadmiyum dozlarına bağlı olarak çimlenme oranında önemli bir değişikliğin olmadığını bildirmişlerdir. Ertekin ve ark. (2020) sorgumda yine artan kadmiyum dozlarına bağlı olarak çimlenme oranında önemli bir değişikliğin olmadığını rapor etmişlerdir. Yapılan çalışmalardan görüldüğü üzere; farklı kadmiyum dozları, kullanılan bitki türü ve çeşitlerine bağlı olarak çimlenme oranları da farklılık göstermektedir.

Çizelge 3. Çimlenme oranı (%) yönünden ortalamaların karşılaştırılması

Table 3. Comparison of means in terms of germination rate

	G1	G2	G3	G4	G5	Ort.
Kontrol	82.00±1.15	84.00±2.83	67.00±7.68	83.00±3.11	80.5±0.50	79.30±2.13 A*
75	73.00±1.00	83.00±1.91	65.50±2.87	70.50±3.59	71.5±0.96	72.70±1.60 AB
150	76.00±5.35	73.00±2.65	62.50±3.30	73.50±4.27	57.5±3.50	68.50±2.27 B
225	66.00±1.41	63.5±5.50	50.50±4.35	62.50±4.65	50.00±2.16	58.50±2.21 C
300	60.50±1.26	63.00±3.70	42.50±5.38	64.50±2.22	50.00±3.46	56.10±2.39 C
375	58.50±6.40	53.00±4.65	39.00±4.65	62.00±1.41	48.00±1.83	52.10±2.51 C
Ort.	69.33±2.17 A [†]	69.92±2.7 A	54.50±2.93 B	69.33±1.97 A	59.58±2.69 B	

* Aynı sütun içerisinde farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır.

[†] Aynı satır içerisinde farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır.

Çimlenme indeksi yönünden en yüksek değer 37.42 ile G2 genotipine 75 mg L⁻¹kadmiyum uygulanmasında, en düşük değer ise 17.64 ile G3 genotipine 375 mg L⁻¹

¹kadmiyum uygulanmasında belirlenmiştir (Çizelge 4). Kadmiyum ile muamele edilmediği takdirde G1, G2 ve G4 genotipleri diğerlerine nispeten daha yüksek çimlenme

indeksine sahiptirler. G2 genotipi 150 mg L⁻¹kadmiyum dozuna kadar bu kararlılığını korumuş fakat bir sonraki doz artışı keskin bir düşüş ile sonuçlanmıştır. Her bir kadmiyum seviyesi içinde genotipler ayrı ayrı incelendiğinde 75 mg L⁻¹dozu hariç en yüksek çimlenme indeksi değerleri G1 genotipinden elde edilmiştir. Genel

olarak tüm genotiplerin artan kadmiyum dozlarına karşı çimlenme indeksi değerleri birbirinden farklı sonuç vermiştir. Nitekim Ayhan ve ark. (2007) mısır bitkisinde ve Ertekin ve ark. (2020) sorgum bitkisinde benzer sonuçları rapor etmişlerdir.

Çizelge 4. Çimlenme indeksi yönünden ortalamaların karşılaştırılması

Table 4. Comparison of means in terms of germination index

	G1	G2	G3	G4	G5	Ort.
Kontrol	37.03±1.70 abc**	37.15±2.34 ab	22.23±4.07 efg	32.53±2.19 a-e	31.66±0.50 a-e	32.12±1.58 A*
75	32.03±1.12 a-e	37.42±1.71 a	28.13±1.53 a-g	28.13±1.78 a-g	27.90±0.93 a-g	30.72±1.02 A
150	33.25±1.94 a-d	29.00±1.14 a-f	25.01±1.78 d-g	32.13±1.68 a-e	25.39±2.78 d-g	28.96±1.09 A
225	31.13±0.80 a-e	19.18±1.68 fg	23.27±1.97 d-g	26.26±1.29 d-g	19.01±0.54 fg	23.77±1.18 B
300	26.36±1.92 c-g	30.5±1.95 a-e	19.15±1.97 fg	26.50±1.02 b-g	22.25±1.96 efg	24.95±1.15 B
375	26.26±3.40 d-g	26.00±2.80 d-g	17.64±3.11 g	28.00±0.84 a-g	23.25±0.48 d-g	24.23±1.28 B
Ort.	31.01±1.07 A*	29.87±1.51 A	22.57±1.18 B	28.92±0.76 A	24.91±1.00 B	

** Farklı küçük harflerle gösterilen değerler birbirinden farklıdır.

* Aynı sütun içerisinde farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır.

+ Aynı satır içerisinde farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır.

Ortalama çimlenme süresi değerleri incelendiğinde ise G1 genotipi artan kadmiyum dozlarından etkilenmemiş ve gözlenen değişimler istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu durum diğer genotipler için geçerli değildir ve kadmiyum dozlarındaki değişimle birlikte ortalama çimlenme sürelerinde bir dalgalanma meydana gelmiştir. En uzun çimlenme süresi 1.72 gün ile G3 genotipinin kontrol uygulamasında, en kısa çimlenme süresi ise 1.05 gün ile G2 genotipinde 375 mg L⁻¹

¹kadmiyum muamelesinden elde edilmiştir (Çizelge 5). Benzer şekilde Verma ve Dubey (2003) ve Gyawali ve Lekhak (2006) yapmış oldukları çimlenme aşamasındaki ağır metal stresi çalışmalarında ortalama çimlenme süresinin artan ağır metal dozunda dalgalanma gösterdiğini bildirmişlerdir. Bununla birlikte doz ortalamaları değerlendirildiğinde artan kadmiyum dozlarının daha hızlı çimlenmeye neden olduğu söylenebilir.

Çizelge 5. Ortalama çimlenme süresi (gün) yönünden ortalamaların karşılaştırılması

Table 5. Comparison of means in terms of average germination time (day)

	G1	G2	G3	G4	G5	Ort.
Kontrol	1.20±0.06 c-f**	1.24±0.05 c-f	1.72±0.10 ab	1.44±0.06 bcd	1.43±0.03 bcd	1.40±0.05 A*
75	1.25±0.06 c-f	1.20±0.05 c-f	1.28±0.02 c-f	1.40±0.06 b-e	1.44±0.04 bcd	1.32±0.03 AB
150	1.24±0.04 c-f	1.41±0.06 bcd	1.40±0.04 b-e	1.25±0.05 c-f	1.25±0.10 c-f	1.31±0.03 AB
225	1.11±0.04 def	1.80±0.10 a	1.16±0.01 c-f	1.31±0.05 c-f	1.48±0.02 abc	1.37±0.06 A
300	1.27±0.11 c-f	1.07±0.02 ef	1.18±0.08 c-f	1.36±0.02 c-f	1.22±0.07 c-f	1.22±0.03 BC
375	1.21±0.05 c-f	1.05±0.05 f	1.24±0.13 c-f	1.19±0.02 c-f	1.06±0.04 f	1.15±0.03 C
Ort.	1.21±0.03 B*	1.29±0.06 AB	1.33±0.05 A	1.33±0.02 A	1.31±0.04 AB	

** Farklı küçük harflerle gösterilen değerler birbirinden farklıdır.

* Aynı sütun içerisinde farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır.

+ Aynı satır içerisinde farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır.

Sürgün uzunluğu yönünden en yüksek değere (29.15 mm) G4 genotipinin kontrol grubunda ulaşılmıştır. En düşük sürgün uzunluğu ise 2.95 mm ile G5 genotipine 375 mg L⁻¹kadmiyum uygulanması sonucu ortaya çıkmıştır (Çizelge 6). Her bir kadmiyum dozu için genotipler birbirlerinden farklı hassasiyet gösterebilir de genellikle artan kadmiyum dozları tüm genotipler için sürgün uzunluğunda düşüşe neden olmuşlardır. G5

çeşidi, 75 mg L⁻¹den sonraki kadmiyum dozlarında sürgün uzunluğu yönünden keskin düşüşler göstermiş ve artan dozlarda diğer genotiplerin gerisinde seyretmiştir. Nitekim çeşitli bitkiler üzerinde yapılan birçok çalışmada çimlenme ortamındaki artan ağır metal stresine bağlı olarak bitkilerin sürgün uzunluklarının önemli derece kısıtlandığı bildirilmiştir (Beru ve Setia, 1995; Mishra ve Choudhuri, 1998; Peralta ve ark., 2001; Verma ve Dubey,

2003; Dabhi ve ark., 2005; Gyawali ve Lekhak, 2006; Ayhan ve ark., 2007; Akar, 2017; Ertekin, 2018, Ertekin ve Bilgen, 2021).

Çizelge 6. Sürgün uzunluğu (mm) yönünden ortalamaların karşılaştırılması

Table 6. Comparison of means in terms of shoot length

	G1	G2	G3	G4	G5	Ort.
Kontrol	27.93±2.44 a**	24.80±1.55 ab	20.80±0.92 bc	29.15±1.60 a	23.50±1.31 ab	25.24±0.95 A*
75	12.38±0.62 d-g	15.85±0.45 cd	13.73±1.55 de	14.05±1.88 de	13.95±1.28 de	13.99±0.57 B
150	9.30±0.83 e-h	12.53±0.82 def	10.25±1.09 d-h	10.43±0.73 d-h	9.70±0.56 e-h	10.44±0.42 C
225	8.08±1.12 e-i	8.78±1.04 e-i	9.10±1.24 e-h	8.40±0.47 e-i	6.00±0.80 hi	8.07±0.46 D
300	6.48±0.94 f-i	7.10±1.20 f-i	6.78±1.16 f-i	6.70±0.93 f-i	4.43±0.19 hi	6.30±0.44 DE
375	6.23±1.01 h-i	6.28±1.09 ghi	6.78±0.76 f-i	4.63±0.53 h-i	2.95±0.25 i	5.37±0.45 E
Ort.	11.73±1.64 AB ⁺	12.55±1.39 A	11.24±1.10 AB	12.23±1.74 A	10.09±1.49 B	

** Farklı küçük harflerle gösterilen değerler birbirinden farklıdır.

* Aynı sütun içerisinde farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır.

⁺ Aynı satır içerisinde farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır.

Kök uzunluğu yönünden en yüksek değer 25.40 mm ile G2 genotipinin kontrol uygulamasından, en düşük değer ise 3.28 mm ile G5 genotipinin 375 mg L⁻¹ uygulamasından elde edilmiştir. Tüm genotipler için kontrol grubundan 225 mg L⁻¹ kadmiyum uygulamasına kadar kök uzunluğunda keskin düşüşler görülürken ilerleyen dozlarda genotiplerin hassasiyeti azalmış ve düşüşlerin önemsenmeyecek düzeyde oldukları gözlenmiştir. 300 ve 375 mg L⁻¹ kadmiyum uygulamaları hiçbir genotipte anlamlı bir farklılık oluşturmazken aynı

zamanda tüm genotiplerde bu iki doz birbirleri arasında farklılık göstermemiştir (Çizelge 7). Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara benzer şekilde Akar ve Atış (2019), artan kadmiyum dozunun kırmızı yumak bitkisinde kontrole kıyasla kök uzunluğunu önemli derece azalttığını bildirmiştir. Ayrıca yine bazı araştırmacılar tarafından kadmiyumun kök gelişimi üzerine olan zararlı etkileri çeşitli çalışmalarda rapor edilmiştir (Erdoğan, 2005; Muhammad ve ark., 2008; Akıncı ve Akıncı, 2011; Shao ve ark., 2011).

Çizelge 7. Kök uzunluğu (mm) yönünden ortalamaların karşılaştırılması

Table 7. Comparison of means in terms of root length

	G1	G2	G3	G4	G5	Ort.
Kontrol	19.40±1.03 b**	25.40±0.39 a	18.83±1.32 b	20.33±1.76 b	19.50±0.89 b	20.69±0.72 A*
75	13.13±0.35 c	12.10±0.64 c	12.33±0.43 c	12.48±0.26 c	11.20±0.29 cd	12.25±0.22 B
150	8.48±0.39 de	6.28±0.61 efg	6.95±0.49 ef	6.93±0.36 efg	5.98±0.49 efg	6.92±0.27 C
225	6.28±0.45 efg	4.70±0.07 fg	5.95±0.29 efg	4.73±0.35 fg	4.58±0.15 fg	5.25±0.20 D
300	4.50±0.27 fg	4.55±0.31 fg	4.48±0.29 fg	4.33±0.20 fg	4.40±0.16 fg	4.45±0.10 DE
375	3.93±0.05 fg	3.98±0.13 fg	4.40±0.27 fg	3.80±0.17 g	3.28±0.21 g	3.88±0.11 E
Ort.	9.28±1.15 A ⁺	9.50±1.60 A	8.82±1.11 AB	8.76±1.27 AB	8.15±1.20 B	

** Farklı küçük harflerle gösterilen değerler birbirinden farklıdır.

* Aynı sütun içerisinde farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır.

⁺ Aynı satır içerisinde farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır.

Yaş ağırlık yönünden en yüksek değer 127.33 mg ile G5 genotipinin kontrol uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 8). Bu değer G2 genotipinin kontrol grubu ile aynı istatistiksel gruba girmiştir ancak G2 genotipi 150 mg L⁻¹ dozuna kadar diğer genotiplerden daha yüksek değerler göstermiştir. Kadmiyum dozlarındaki artışa bağlı olarak yaş ağırlık yönünden genotipler arasında da farklılıklar tespit edilmiştir. Bu farklılık 375 mg L⁻¹ dozunda son bulmuş ve tüm genotipler birbirlerine yakın sonuçlar vermiştir. En düşük yaş ağırlık sonucu ise 28.83 mg ile G3 çeşidine uygulanan 375 mg L⁻¹ kadmiyum dozu uygulamasında elde edilmiştir. G1, G2 ve G5

genotipleri 225 mg L⁻¹ kadmiyum dozundan sonraki hiçbir dozdan etkilenmemiştir. Ancak diğer genotipler bu değerlerin üzerindeki dozlara hassasiyet göstermişler ve yaş ağırlıklarında önemli değişiklikler gözlemlenmiştir (Çizelge 8). Genellikle kadmiyum dozlarındaki artış tüm genotiplerde yaş ağırlığı azaltıcı yönde etki etmiştir. Bu çalışmadan elde edilen bulgulara benzer şekilde, mısır, çemen, çeltik ve sorgumda fide gelişim aşamasında artan ağır metal dozları ile birlikte fide yaş ağırlığının ciddi şekilde olumsuz etkilendiği çeşitli araştırmalar ile birlikte rapor edilmiştir (Dabhi ve ark., 2005; Gyewali ve Lekhak, 2006; Ayçiçek ve ark., 2008; Ertekin ve ark., 2020).

Çizelge 8. Yaş ağırlık (mg) yönünden ortalamaların karşılaştırılması

Table 8. Comparison of the means in terms of fresh weight

	G1	G2	G3	G4	G5	Ort.
Kontrol	107.95±6.71 abc**	122.70±11.19 ab	93.65±9.14 b-e	94.00±2.98 b-e	127.33±11.56 a	109.13±4.78 A*
75	64.30±7.12 e-h	96.13±8.12 bcd	80.38±4.64 c-f	82.28±5.83 c-f	94.58±2.12 bcd	83.53±3.54 B
150	54.05±4.37 f-j	72.20±9.13 d-g	64.45±5.60 e-h	67.35±2.52 d-g	61.23±5.39 f-i	63.86±2.70 C
225	42.48±3.40 g-j	44.80±1.06 g-j	46.50±3.42 g-j	48.15±4.57 g-j	46.33±2.96 g-j	45.65±1.38 D
300	35.55±4.96 hij	44.18±4.74 g-j	33.28±2.40 ij	45.03±2.93 g-j	46.53±1.45 g-j	40.91±1.88 DE
375	33.58±4.16 ij	35.50±2.92 hij	28.83±2.69 j	34.68±2.46 hij	36.85±2.68 hij	33.89±1.36 E
Ort.	56.32±5.63 B*	69.25±7.06 A	57.85±5.31 B	61.91±4.62 AB	68.8±6.98 A	

** Farklı küçük harflerle gösterilen değerler birbirinden farklıdır.

* Aynı sütun içerisinde farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır.

+ Aynı satır içerisinde farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır.

Bu çalışmada, farklı kadmiyum stresine maruz bırakılan kinoa genotiplerinin çimlenme ve erken fide gelişimi özelliklerinin araştırıldığı bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, kinoa genotipleri arasında kadmiyum stresine karşı en toleranslı genotip Cherry Vanilla (G1) olarak tespit edilmiştir. Ayrıca kullanılan kinoa genotiplerinin 150 mg L⁻¹ kadmiyum dozuna kadar dayanım gösterdiği belirlenmiştir. 150 mg L⁻¹ den daha yüksek seviyelerdeki kadmiyum dozlarının çimlenme ve fide gelişimini olumsuz etkilediği bulunmuştur.

ÖZET

Amaç: Yalancı tahıllar arasında yer alan kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) oldukça popülerdir ve Türkiye’de her geçen gün yetiştiriciliği artmaktadır. Bu bitki türü abiyotik stress koşullarına dayanıklı olması ile ön plandadır. Bu çalışma bazı kinoa genotiplerinin (Cherry Vanilla, Mint Vanilla, French Vanilla, Red Head ve Titicaca) farklı kadmiyum (CdCl₂) dozlarına (steril saf su/kontrol, 75, 150, 225, 300 ve 375 mg L⁻¹) karşı çimlenme ve ilk fide gelişimi aşamasında ki tepkilerini değerlendirmek için yürütülmüştür.

Yöntem ve Bulgular: Deneme laboratuvar şartlarında 4 tekrarlamalı olarak tesadüf parsellerinde kurulmuş ve

istatistik analizi faktöriyel düzene göre yapılmıştır. Deneme sonunda çimlenme oranı (ÇO), çimlenme indeksi (Çİ) ve ortalama çimlenme süresi (OÇS) hesaplanmıştır. Gelişen fideler üzerinde kök ve sürgün uzunluğu ile yaş ağırlıkları ölçülmüştür. ÇO özelliği dışında tüm özellikler için Genotip × Doz interaksyonları önemli bulunmuştur. ÇO için genotip ve doz ana faktörleri önemli çıkmıştır. Çimlenme parametrelerini değerlendirdiğimiz zaman, ağır metal dozları arttıkça ÇO düşmüş, Çİ dalgalanma göstermiş, OÇS ise düşüş göstermiştir. İlk fide gelişimi parametrelerini incelediğimizde ağır metal dozu arttıkça sürgün ve kök uzunluğu ile yaş ağırlık düşüş göstermiştir.

Genel Yorum: Bu çalışmanın sonuçlarına göre değerlendirilen tüm kinoa genotipleri 75 ve 150 mg L⁻¹ dozundaki kadmiyum stresine karşı toleranslı bulunurken, 150 mM dozunun üzerindeki dozlara hassasiyet göstermişlerdir. Genotipler arasında en toleranslı genotip Cherry Vanilla olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın Önemi ve Etkisi: Özellikle 150 mg L⁻¹ e kadar kadmiyum ile kontamine olmuş topraklar ve sulama suyu kullanılan yetiştiricilik sistemlerine kinoa bitkisinin dâhil edilebileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, kadmiyum, kinoa, çimlenme, ilk fide gelişimi.

ÇIKAR ÇATIŞMA BEYANI

Yazarlar çalışma konusunda çıkar çatışmasının olmadığını beyan eder.

ARAŞTIRMACILARIN KATKI ORANI BEYANI

Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Akar M (2017) Uyarıcı uygulamalarının ağır metal stresine maruz bırakılan bazı çok yıllık buğdaygil çim türlerinin çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bil. Ens., Tarla Bitkileri ABD, 83 s.
- Akar M, Atış İ (2019) Priming uygulamalarının kadmiyum ve nikel stresine maruz bırakılan kırmızı yumağın çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkisi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 9: 26-36.
- Akar M, Atis I (2018) The effects of priming pretreatments on germination and seedling growth in perennial ryegrass exposed to heavy metal stress. Fresenius Environ. Bull. 27: 6677-6685.
- Akıncı S, Akıncı İE (2011) Nikelin ıspanakta (*Spinacia oleracea*) çimlenme ve bazı fide büyüme parametreleri üzerine etkisi. Ekoloji 20: 69-76.
- Ayçiçek M, Kaplan O, Yaman M (2008) Effect of cadmium on germination, seedling growth and metal contents of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Asian J. Chem. 20: 2663-2672.
- Ayhan B, Ekmekçi Y, Tanyolaç D (2007) Erken fide evresindeki bazı mısır çeşitlerinin ağır metal (kadmiyum ve kurşun) stresine karşı dayanıklılığının araştırılması. Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 8: 411-422.
- Beri A, Setia RC (1995) Assessment of growth and yield in *Lens culinaris* Medic var. Massar 9-12 treated with heavy metals under N-supplied conditions. J. Indian Bot. Soc. 74: 293-297.
- Dabhi MS, Bhandari P, Vyas AV (2005) Chromium toxicity study in fenugreek seedlings. Emerging trends in plant physiology, Ahmdabad. pp. 14.
- Ellis RH, Roberts EH (1980) Towards a Rational Basis for Seed Testing Seed Quality. (P. Hebblethwaite Editör). In: Seed Production. Butterworths, London, pp.605-635.
- Erdoğan O (2005) Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) fidelerinde nikel toksitesinin humik asit ile azaltılması üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bil. Ens., 36 s.

- Ertekin EN (2018) Yaygın olarak tarımı yapılan yem bitkilerinde bazı ağır metallerin çimlenme üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bil. Ens. Tarla Bitkileri ABD, s.s. 145.
- Ertekin EN, Bilgen M (2021) Bazı ağır metallerin at dişi mısır (*Zea mays* L.)'da çimlenme ve erken fide gelişimi üzerine etkileri. Biyolojik Çeşitlilik ve Koruma 14: 198-207.
- Ertekin EN, Ertekin İ, Bilgen M (2020) Effects of some heavy metals on germination and seedling growth of sorghum. KSU Journal of Agriculture and Nature 23: 1608-1615.
- Gyawali R, Lekhak HD (2006) Chromium tolerance of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars from Kathmandu Valley, Nepal. Scientific World 4: 102-108.
- Haktanır K ve Arcak S (1998) Çevre Kirliliği. Ankara Üni. Ziraat Fak. Toprak Bölümü, Ankara Üni. Yayın No: 1503, Ders Kitabı:457, Ankara
- Haktanır K (1987) Çevre Kirliliği. A.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Notu, Teksir No:140
- ISTA (1996). International Rules for Seed Testing. Rules. Seed Science and Technology 24. Supplement.
- Demir MK ve Kılınc M (2016) Kinoa: Besinsel ve antibesinsel özellikleri. Journal of Food and Health Science 2: 104-111.
- Mishra A and Choudhuri MA (1998) Amelioration of lead and mercury effects on germination and rice seedling growth by antioxidants. Biologia Plantarum 41: 469-473.
- Muhammad S, Iqbal MZ, Mohammad A (2008) Effect of lead and cadmium on germination and seedling growth of *Leucaena leucocephala*. Journal of Applied Science and Environmental Management 12: 61-66.
- Öktüren-Asri F, Sönmez S (2006) Ağır metal toksitesinin bitki metabolizması üzerine etkileri. Derim Dergisi 2: 36-45.
- Peralta JR, Gardea-Torresdey JL, Tiemann KJ, Gomez E, Arteaga S, Rascon E, Parsons JG (2001) Uptake and effects of five heavy metals on seed germination and plant growth in alfalfa (*Medicago sativa* L.). Bull. Environ. Contam. Toxicol. 66: 727-734.
- Sert EB, Turkmen M, Cetin M (2019) Heavy metal accumulation in rosemary leaves and stems exposed to traffic-related pollution near Adana-İskenderun Highway (Hatay, Turkey). Environ. Monit. Assess. 191: 1-12.
- Seven T, Can B, Darende B N Ocak S (2018) Hava ve toprakta ağır metal kirliliği. Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi 1: 91-103.

Shao Y, Jiang L, Zhang D, Ma L, Li C (2011) Effects of arsenic, cadmium and lead on growth and respiratory enzymes activity in wheat seedlings. Journal of Agricultural Research 6: 4505-4512.

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.

Yönel O, Özdil S (2014) Çölyak hastalığı. Güncel Gastroentoloji 18: 93-100.