

**BAŞLANGIÇ BÜYÜME EVRESİNDEKİ *Lycopersicon esculentum* Mill. FİDECİKLERİNDE
KADMIYUM STRESİ ETKİLERİ****Güler ÇOLAK***

Eskişehir Osmangazi University Science Faculty Department of Biology, Eskişehir Turkey

*Corresponding Author: gulercolak029@gmail.com

Ercan ÇATAK

Eskişehir Osmangazi University Science Faculty Department of Biology, Eskişehir Turkey

Necmettin CANER

Eskişehir Osmangazi University Science Faculty Department of Chemistry, Eskişehir Turkey

Murat ARDIÇ

Eskişehir Osmangazi University Science Faculty Department of Biology, Eskişehir Turkey

Salim TÜRKEL

Forest Nursery Directorate, Ecology Laboratory, Eskişehir Turkey

45

ÖZET

Günümüz tarımında kültür bitkileri, çoğu kez uygulanan tarımsal pratiklerin de bir sonucu olarak, çeşitli biyotik ve abiyotik streslere maruz kalmaktadır. Dünya üzerinde en çok yetiştirilen kültür bitkilerinden biri olan, ‘‘verimliliği çok sayıda genetik ve çevresel faktör tarafından belirlenen’’ *Lycopersicon esculentum* Mill.’in de özellikle genç fidecik döneminde çeşitli abiyotik streslere daha duyarlı olduğu bildirilmektedir. Bitki büyüme ve gelişim fizyolojisi açısından irdelendiğinde, kadmiyum, bitki yaşamında daha çok toksik etkileri ile tanımlanan ve çoğu kez bir stres faktörü olarak algılanan metalik elementlerdendir. Çalışmamızda, *Lycopersicon esculentum* Mill. ile strese en duyarlı evre olduğu bilinen çimlenme ve başlangıç büyüme dönemlerinde, genç fidecik komponentlerindeki kadmiyum birikimleri değerlendirilmiştir. Daha sonra da kadmiyumla bazı makro ve mikro besin elementlerinin alım ve mobilizasyonlarındaki etkileşimler irdelenmiştir. Çalışmamızda besin çözeltisi olarak Murashige-Skoog temel besi ortamının makro ve mikro elementleri tercih edilmiştir. Kadmiyum uygulamaları ise $CdCl_2 \cdot 6H_2O$ formunda kadmiyum içeren ve toplam 6 ayrı konsantrasyonda hazırlanan (1, 10, 50, 100, 200 ve 500 ppm Cd^{+2}) çözeltiler kullanılmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Genç fidecik komponentlerinin element analizleri Spektrofotometre, Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi, Alev Fotometresi ve Kjeltec Azot Cihazı ile yapılmıştır. Çalışmamızda çimlenme ve başlangıç büyüme dönemleri süresince artan kadmiyum konsantrasyonlarına maruz bırakılan genç fideciklerde, en yüksek kadmiyum birikimleri köklerle elde edilmiştir. Bunu hipokotiller ile elde edilen sonuçlar izlemiştir. En düşük kadmiyum birikimleri ise kotiledonlarda tespit edilmiştir. Artan kadmiyum konsantrasyonları altında genç fidecik komponentlerinin bazı makro ve mikro besin elementi içeriklerinin de değişebildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: *Lycopersicon esculentum* Mill., metal stresi, kadmiyum

EFFECTS OF CADMIUM STRESS IN *Lycopersicon esculentum* Mill. SEEDLINGS IN THE PRIMARY GROWTH PHASE

ABSTRACT

Mostly as a result of the agricultural practices in implementation, cultivated plants in today's agriculture are exposed to various biotic and abiotic stresses. One of the most cultivated plants, whose productivity has been determined by many genetic and environmental factors, *Lycopersicon esculentum* Mill. was reported to be more responsive to a variety of abiotic stresses specifically during the young seedling phase. When examined in terms of plant growth and developmental physiology, cadmium is among the metallic elements that is more defined by its toxic effects and mostly perceived as a stress factor. Our study investigated cadmium accumulations in young seedling components during germinations and primary growth phase known to be the most responsive period to stress in *Lycopersicon esculentum* Mill. In addition, interactions in the intake and mobilisation of certain macro- and micro- nutrient elements with cadmium were analysed. In our study, we opted for macro- and micro- elements of Murashige-Skoog basic nutrient medium as nutrient solution. Cadmium applications were performed by using solutions that contain cadmium in the form of $CdCl_2 \cdot 6H_2O$ and that were prepared in a total of 6 separate concentrations (1, 10, 50, 100, 200, and 500 ppm Cd^{+2}). Element analyses of young seedling components were carried out with Spectrophotometry, Atomic Absorption Spectrophotometry, Flame Photometry, and Kjeltac Nitrogen Analyser. It was established in our study that the highest cadmium accumulations were found in roots of young seedlings exposed to gradually increasing cadmium concentration throughout germinations and primary growth phases. This was followed by results obtained by hypocotyls. The lowest cadmium accumulations were established in cotyledons. It was observed that, under increasing cadmium concentrations, certain macro- and micro- nutrient element contents of young seedling components could change.

Keywords: *Lycopersicon esculentum* Mill., metal stress, cadmium

1. GİRİŞ

Günümüz tarımında kültür bitkileri, çoğu kez uygulanan tarımsal pratiklerin de bir sonucu olarak çeşitli biyotik ve abiyotik streslere maruz kalmaktadır [1, 2]. Dünya üzerinde en çok yetiştirilen kültür bitkilerinden biri olan, "verimliliği çok sayıda genetik ve çevresel faktör tarafından belirlenen" *Lycopersicon esculentum*'un da özellikle genç fidecik döneminde çeşitli abiyotik streslere daha duyarlı olduğu bildirilmektedir [3, 4].

Bitki büyüme ve gelişim fizyolojisi açısından irdelendiğinde, kadmiyum bitki yaşamında daha çok toksik etkileri ile tanımlanan ve çoğu kez bir stres faktörü olarak algılanan metalik elementlerdendir. Bir görüşe göre: "kadmiyum, bitki, hayvan ve insan organizmaları için yüksek derecede toksik olan, hiçbir esansiyel biyolojik fonksiyonu olmayan, toprak bitki sisteminde serbest hareket edebilen, bitkiler tarafından kolaylıkla kaldırılabilen, biyolojik olarak da en çok biriktirebilen ağır metaller arasındadır" [5, 6]. Önceki birçok çalışmada da bu niteliklerini gözlemlenmek mümkün olmuştur.

Bitkilerin bazı fizyolojik ve makromorfolojik büyüme parametreleri üzerinde kadmiyum stresinin yol açtığı toksisite göstergelerinden sorumlu muhtemel içsel değişimler hakkında farklı görüşler bulunmaktadır. Biz bu değişimleri, strese en duyarlı evre olduğu bilinen çimlenme ve başlangıç büyüme dönemlerinde *Lycopersicon esculentum* Mill.'in genç fidecik komponentlerindeki kadmiyum birikimleri açısından değerlendirdik. Daha sonra da kadmiyumla bazı makro ve mikro besin elementlerinin alınım ve mobilizasyonlarındaki etkileşimler açısından irdledik. Farklı araştırmacıların önceki çalışmaları incelendiğinde besin elementi-ağır metal stresi etkileşimlerinin türler ve genotipler düzeyinde çok farklı olabildiği görüldüğünden, önceki çalışmalarda aynı ya da benzer yaklaşım tarzını kullanan araştırmacıların sonuçlarıyla bizim

sonuçlarımız arasında bir değerlendirme yaparak, *L. esculentum*'da kadmiyum kaynaklı büyüme azalmalarının fizyolojik mekanizmalarının açıklanmasında kadmiyum-besin elementi etkileşimlerinin strese en duyarlı evredeki etkinliğini test etmiş olduk.

2. MATERYAL ve METODLAR

Çalışmamızda araştırma materyali olarak *Solanaceae* familyasına ait *Lycopersicon esculentum* Mill. (domates) tohumları kullanılmıştır. Araştırma materyalimizi teşkil eden bitki tohumları, Eskişehir Geçit Kuşağı Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden temin edilmişlerdir.

Çalışmamızın başlangıcında, araştırma materyalimizi teşkil eden bitki tohumları, bir seri yüzeysel sterilizasyon işlemlerinden geçirilmişlerdir. Bu amaçla *in vitro* sistemler için önerilen tekniklerin modifikasyonu esas alınmıştır [7]. Besin çözeltisi olarak Murashige ve Skoog temel besi ortamının [8] makro ve mikro elementleri tercih edilmiştir. Her bir deneme için müstakil petri kutularına 100'erli gruplar halinde toplam 400'er adet tohumun ekimi gerçekleştirilmiştir. İlk gruptaki 400 adet tohum kontrol grup olarak bırakılmış, bu gruptaki bitki tohumlarına araştırma süresince yalnızca steril saf su verilmiştir. Böylelikle 15 gün yaşlı *L. esculentum* fidecik komponentlerinin endojen bazı makro ve mikro besin elementi içerikleri hakkında genel bir bilgi sahibi olunmuştur. İkinci gruptaki 400 adet bitki tohumuna yalnızca Murashige ve Skoog temel besi ortamının makro ve mikro besin elementleri uygulanmıştır. Böylelikle 15 gün yaşlı *L. esculentum* fideciklerinin inceleme kapsamına alınan makro ve mikro besin elementleri açısından genotipik alınımlar potansiyelleri belirlenmiştir. Geri kalan 400'erli gruplar halinde toplam 6 seriye Murashige ve Skoog temel besi ortamının makro ve mikro besin elementleri ile birlikte toplam 6 ayrı konsantrasyonda hazırlanan (1, 10, 50, 100, 200 ve 500 ppm) $CdCl_2 \cdot 6H_2O$ çözeltileri uygulanmıştır. Daha sonra her 24 saatte bir yapılan gözlemlerde gerektiğinde petri kaplarına eşit düzeylerde kadmiyum ve besin çözeltileri ilaveleri yapılmıştır. Sterilizasyon ve ekim işlemleri tamamlanan bitki tohumları, 25 ± 2 °C sıcaklığı olan ve 16 saat ışık/8 saat karanlık şeklinde fotoperiyot düzeni uygulanan bir kültür odasında 15 gün süreyle inkübasyona alınmışlardır.

İnkübasyon süreleri sona eren fideciklerde element analizleri, her bir deneme için değerlendirmeye alınan 400'er adet tohumun çimlenmesiyle elde edilen 15 gün yaşlı genç fideciklerde birbirlerinden izole edilen kökçük, hipokotil ve kotiledonlarda yaş yakma yöntemiyle (9) elde edilen kuru madde üzerinden gerçekleştirilmiştir. Örneklerin potasyum içerikleri PFP7 Model Alev Fotometresinde; fosfor içerikleri Milton Roy Serisi Spektrofotometrede; kalsiyum, magnezyum, demir, kobalt, çinko, bakır, mangan, nikel, krom ve kadmiyum içerikleri Perkin Elmer 3110 Model Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresinde, azot içerikleri ise Kjeltac Azot Cihazında okunmuştur.

3. BULGULAR

Çalışmamızda, *L. esculentum* fideciklerinin kontrol gruplarında en yüksek azot içerikleri (% 6.79) hipokotillerde gözlenmiştir. Yakın azot içerikleri (% 6.17) kotiledonlarda belirlenmiş, en düşük azot içeriklerine (% 3.39) köklerde rastlanmıştır.

L. esculentum fideciklerinin kontrol gruplarında endojen fosfor içeriklerini analiz ettiğimizde, en yüksek fosfor içerikleri (18920.00 ppm) kotiledonlarda belirlenmiştir. Bunu hipokotiller (15372.00 ppm) ile elde edilen sonuçlar izlemiştir. Köklerin fosfor içerikleri ise çok daha düşük düzeydedir (9072.00 ppm).

Kontrol grupların potasyum içeriklerini incelediğimizde, en yüksek potasyum içeriklerine köklerde rastlanmıştır (7776.00 ppm). Bunu kotiledonlar (6149.00 ppm) ve hipokotiller (5552.00 ppm) ile elde edilen sonuçlar izlemiştir. Kontrol grupların kalsiyum içeriklerinde de benzer bir yerleşim tarzı belirlenmiştir. Buna göre, köklerin kalsiyum içerikleri en yüksek düzeydedir

(941.76 ppm). Daha düşük kalsiyum içerikleri kotiledonlar (605.44 ppm) ve hipokotiller (516.60 ppm) ile elde edilmiştir.

Muhtemelen “klorofilin yapısında yer alan tek metal atomu olması” nedeniyle yeşil renkli çenek yaprakların magnezyum içerikleri en yüksek düzeydedir (8244.39 ppm). Açık yeşil renkli hipokotillerde magnezyum içerikleri daha düşüktür (6161.40 ppm). Her iki fidecik komponentiyle kıyaslandığında, köklerin magnezyum içerikleri çok daha düşük düzeydedir (1520.64 ppm).

Kontrol grupların mikro besin elementlerinden çinko içerikleri değerlendirildiğinde, en yüksek çinko içeriklerine köklerde (77.76 ppm) rastlanmıştır. Bunu hipokotiller (42.84 ppm) ve çok daha düşük olarak kotiledonlar (9.46 ppm) ile elde edilen sonuçlar izlemiştir.

Kontrol gruplarda en yüksek mangan içerikleri kotiledonlarda (85.14 ppm) belirlenmiştir. Daha düşük mangan içeriklerine (57.96 ppm) hipokotillerle ulaşılmıştır. Köklerde ise Mn^{+2} 'ye rastlanmamıştır.

Kontrol gruplarda en yüksek bakır içeriklerine köklerle (47.52 ppm) ulaşılmıştır. Daha düşük bakır içerikleri kotiledonlar (33.11 ppm) ve hipokotiller (30.24 ppm) ile elde edilmiştir. Kotiledon ve hipokotil bakır içerikleri birbirine çok yakın değerlerdir.

Fideciklerde en yüksek demir içerikleri hipokotillerde (1068.48 ppm) belirlenmiştir. Bunu kotiledonlar ile elde edilen sonuçlar (506.11 ppm) izlemiştir. Daha düşük demir içeriklerine (427.68 ppm) köklerde rastlanmıştır.

Her ne kadar *L. esculentum* için bir besin elementi olarak algılanmasa da kontrol grubu oluşturan fideciklerde kobalt elementine de rastlanmıştır. Kontrol grubu oluşturan fideciklerde en yüksek kobalt içerikleri (9.46 ppm) kotiledonlarda belirlenmiştir. Çok daha düşük düzeyler (4.32 ppm) köklerde kaydedilmiştir. Hipokotillerde ise kobalt elementine rastlanmamıştır.

L. esculentum fideciklerinin kontrol gruplarının komple makro ve mikro besin elementi içerikleri açısından yapılan incelemelerde, değerlendirme kapsamına alınan besin elementleri içinde fideciklerde doğal olarak en yüksek düzeylerde bulunan bitki besin elementi azottur. Bunu fosfor (43364.00 ppm), potasyum (19477.00 ppm), magnezyum (15926.43 ppm), kalsiyum (2063.80 ppm), demir (2002.27 ppm), mangan (143.10 ppm), çinko (130.06 ppm), bakır (110.87 ppm) ve *L. esculentum* için bir besin elementi olarak algılayamayacağımız kobalt (13.78 ppm) ile elde edilen sonuçlar izlemiştir. Değerlendirme kapsamına alınan kadmiyum, nikel ve krom elementlerine ise kontrol gruplarda rastlanmamıştır.

Murashige-Skoog besin çözeltilerinde inkübasyona alınan *L. esculentum* tohumlarının çimlenmesiyle elde edilen 15 gün yaşlı genç fideciklerin bazı bitki besin elementleri açısından genotipik alım potansiyellerini belirlemek amacıyla yaptığımız analizlerde fideciklerde en yüksek düzeylerde bulduğumuz bitki besin elementi azottur (kotiledon, hipokotil ve kökçük için sırasıyla: % 6.84, 6.92 ve 4.23). Bunu fosfor (44148 ppm; kotiledon, hipokotil ve kökçük için sırasıyla: 14625, 17775 ve 11748 ppm), potasyum (38729 ppm; kotiledon, hipokotil ve kökçük için sırasıyla: 10530, 16985, 11214 ppm), magnezyum (17168.47 ppm; kotiledon, hipokotil ve kökçük için sırasıyla: 7819.50, 7864.45, 1484.52 ppm), kalsiyum (3260.06 ppm; kotiledon, hipokotil ve kökçük için sırasıyla: 854.10, 1129.70, 1276.26 ppm), çinko (361.58 ppm; 136.5, 134.3, 90.78 ppm), mangan (250.79 ppm; kotiledon, hipokotil ve kökçük için sırasıyla: 109.20, 82.85, 58.74 ppm) ve bakır (183.87 ppm; 81.90, 59.25, 42.72 ppm) ile elde ettiğimiz sonuçlar izlemiştir.

Çalışmamızda, *L. esculentum* fideciklerinin kontrol gruplarında kadmiyum elementine rastlanmamıştır. Artan konsantrasyonlarda kadmiyum uygulanan besin çözeltilerinde 15 gün boyunca inkübasyona alınan tohumların çimlenmesiyle elde edilen genç fideciklerin kadmiyum içerikleri ise Tablo 2’de verilmiştir. Görüldüğü gibi, genç fideciklerde en yüksek kadmiyum birikimleri köklerle elde edilmiştir. Köklerden sonra en yüksek kadmiyum birikimleri hipokotillerde izlenmiş, en düşük kadmiyum birikimlerine kotiledonlarda rastlanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1: Uygulanan kadmiyum konsantrasyonlarındaki artışlarla *Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Es-58 (2889) fideciklerinin kadmiyum içerikleri (ppm)

Cd ⁺² Konsantrasyonu	Fidecik Komponentlerinin Cd ⁺² İçerikleri			
	Kotiledon	Hipokotil	Kökçük	Toplam Fide
1 ppm	0.01	0.02	0.06	0.09
10 ppm	0.06	0.16	0.30	0.52
50 ppm	0.07	0.52	1.29	1.88
100 ppm	0.23	1.39	3.67	5.29
200 ppm	0.46	3.67	9.88	14.01
500 ppm	0.42	3.42	11.52	15.36

Çalışmamızda kadmiyum uygulamalarına bağlı olarak fideciklerin besin elementi kompozisyonlarındaki değişimler de incelenmiştir. Uygulanan kadmiyum konsantrasyonlarındaki artışlarla fideciklerin bazı besin elementi içeriklerinin değişebildiği görülmüştür. Bu değişimler, makro besin elementlerinden azot ve fosfor; mikro besin elementlerinden çinko, mangan ve bakır açısından dikkat çekici bulunmuştur. Başlangıç büyüme dönemlerindeki 15 gün yaşlı *L. esculentum* fideciklerinin kadmiyum uygulamalarına bağlı olarak endojen makro ve mikro besin elementi içeriklerinde gözlenen değişimler Tablo 2’de verilmiştir.

49

Tablo 2: Besin çözeltilerindeki artan kadmiyum konsantrasyonlarına bağlı olarak *Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Es-58 (2889) fideciklerinin kökçük, hipokotil ve kotiledonlarının besin elementi içeriklerindeki değişimler

Konsantrasyon	Fidecik Organı	ELEMENTLER					
		Azot	Fosfor	Magnezyum	Çinko	Bakır	Mangan
0 ppm	Kotiledon	6.84	14625	7819.50	136.5	81.90	109.20
	Hipokotil	6.92	17775	7864.45	134.3	59.25	82.85
	Kökçük	4.23	11748	1484.52	90.78	42.72	58.74
	Fide		44148	17168.47	361.58	183.87	250.79
1 ppm	Kotiledon	6.46	15392	6905.68	115.44	44.40	97.68
	Hipokotil	6.30	15128	6544.72	109.12	39.68	81.84
	Kökçük	3.91	8785	1345.36	90.36	55.22	55.22
	Fide		39305	14795.76	314.92	139.30	234.74
10 ppm	Kotiledon	6.36	11638	7716.50	108.76	40.48	103.73
	Hipokotil	6.39	14823	6393.33	109.35	29.16	87.48
	Kökçük	3.34	8400	2120.00	84.00	40.00	36.00
	Fide		34861	16229.83	302.11	109.64	227.21
50 ppm	Kotiledon	7.08	11937	6835.23	108.99	31.14	83.04
	Hipokotil	6.39	13600	7131.84	95.20	24.48	68.00
	Kökçük	4.08	6426	1675.35	105.57	50.49	32.13
	Fide		31963	15642.42	309.76	106.11	183.17
100 ppm	Kotiledon	6.91	11264	6089.60	98.56	28.16	91.52
	Hipokotil	5.97	13603	6930.36	89.91	24.30	72.90
	Kökçük	3.72	4455	1381.05	72.90	40.50	28.35
	Fide		29322	14401.01	261.37	92.96	192.77

*Tabloda fideciklerin azot içerikleri (%), fosfor, magnezyum, çinko, bakır ve mangan içerikleri (ppm) cinsinden verilmiştir

Tablo 2'in incelenmesinden de görülebileceği gibi, *L. esculentum* fideciklerinin kontrol gruplarında en yüksek azot içerikleri (% 6.79) hipokotillerde gözlenmiştir. Yakın azot içerikleri (% 6.17) kotiledonlarda belirlenmiş, en düşük azot içeriklerine (% 3.39) köklerde rastlanmıştır. Fidecikler, Murashige-Skoog besin çözeltilerinde inkübasyona alındığında azot içerikleri kotiledonlarda % 6.84'e, hipokotillerde % 6.92'ye, köklerde % 4.23'e ulaşmıştır. Murashige-Skoog besin çözeltilerinde gelişmeye terk edilen *L. esculentum* fideciklerinde de en yüksek azot içerikleri hipokotiller ve kotiledonlar ile elde edilmiştir. Bu iki fidecik komponentiyle kıyaslandığında köklerin azot içerikleri çok daha düşüktür. Besin çözeltilerine artan konsantrasyonlarda uygulanan kadmiyum, kökçük ve hipokotillerin azot içeriklerinde düşüşlere neden olmuştur. Ancak 1-10 ppm aralığı için fidecik komponentlerinin azot içeriklerindeki değişimler düzenli olmamıştır. 50 ve 100 ppm'lerde ise kotiledonların azot içerikleri (sırasıyla % 7.08 ve 6.91) kontrolden yüksek iken, hipokotil (sırasıyla % 6.39 ve 5.97) ve köklerde (sırasıyla % 4.08 ve 3.72) yine kontrolden düşük bulunmuştur.

Çalışmamızda, *L. esculentum* fidecikleri Murashige-Skoog besin çözeltilerinde inkübasyona alındığında fosfor alım potansiyellerinin yüksek olduğu görülmüştür (toplam fidecik fosfor içeriği: 44148 ppm; kökçük, hipokotil ve kotiledonların fosfor içerikleri sırasıyla: 11748, 17775, 14625 ppm). Ancak besin çözeltilerindeki kadmiyum konsantrasyonu artışları fideciklerin fosfor içeriklerinde belirgin düşüşlere neden olmuştur. Düşüşler özellikle kökçük ve hipokotil fosfor içerikleri için dikkat çekicidir (1, 10, 50 ve 100 ppm kadmiyum uygulamalarında köklerin fosfor içerikleri sırasıyla: 8785, 8400, 6426 ve 4455 ppm; hipokotillerin fosfor içerikleri sırasıyla: 15128, 14823, 13600 ve 13603 ppm). 1 ppm kadmiyum konsantrasyonu hariç diğer konsantrasyon serilerinde kotiledonların fosfor içeriklerinde de düşüşler izlenmiştir (1, 10, 50 ve 100 ppm kadmiyum uygulamalarında kotiledonların fosfor içerikleri sırasıyla 15392, 11638, 11937 ve 11264 ppm; toplam fidecik fosfor içerikleri sırasıyla: 39305, 34861, 31963 ve 29322 ppm).

Çalışmamızda, kontrol grupların çinko içerikleri değerlendirildiğinde en yüksek çinko içeriklerine köklerde (77.76 ppm) rastlanmıştır. Bunu hipokotiller (42.84 ppm) ve çok daha düşük olarak kotiledonlar (9.46 ppm) ile elde edilen sonuçlar izlemiştir (toplam fidecik çinko içeriği: 130.06 ppm). *L. esculentum* fideciklerinde genotipik açıdan oldukça yüksek olan çinko alım potansiyelinin (kökçük, hipokotil ve kotiledonların çinko içerikleri sırasıyla: 90.78, 134.30 ve 136.50 ppm; toplam fidecik çinko içeriği: 361.58 ppm) kadmiyum uygulamalarıyla belirgin olarak azaldığı tespit edilmiştir (1, 10, 50 ve 100 ppm kadmiyum uygulamalarında toplam fidecik çinko içerikleri sırasıyla: 314.92, 302.11, 309.76 ve 261.37 ppm). Kontrollerle karşılaştırıldığında tüm fidecik komponentlerinin çinko içeriklerinde düşüşler görülse de özellikle hipokotillerin çinko içeriklerindeki düşüşler dikkat çekicidir. (1, 10, 50 ve 100 ppm kadmiyum uygulamalarında köklerin çinko içerikleri sırasıyla: 90.36, 84.00, 105.57 ve 72.90 ppm; hipokotillerin fosfor içerikleri sırasıyla: 109.12, 109.35, 95.20 ve 89.91 ppm; kotillerin fosfor içerikleri sırasıyla: 115.44, 108.76, 108.99 ve 98.56 ppm).

Çalışmamızda, kontrol grupların en yüksek mangan içerikleri kotiledonlarla (85.14 ppm) elde edilmiştir. Daha düşük mangan içeriklerine (57.96 ppm) hipokotillerle ulaşılmış, köklerde ise Mn^{+2} 'ye rastlanmamıştır (toplam fidecik mangan içeriği: 143.10 ppm). Murashige-Skoog besin çözeltilerinde inkübasyona alınan fideciklerin mangan içerikleri kökçük, hipokotil ve kotiledonlar için sırasıyla: 58.74, 82.85 ve 109.20 ppm'dir (toplam fidecik mangan içeriği: 250.79 ppm). Her ne kadar 50-100 ppm aralığı için düzenli olmasa da fideciklerin mangan alım potansiyellerinin de kadmiyum uygulamalarıyla azaldığı saptanmıştır (1, 10, 50 ve 100 ppm kadmiyum uygulamalarında toplam fidecik mangan içerikleri sırasıyla: 234.74, 227.21, 183.17 ve 192.77 ppm). Düşüşler özellikle kök için dikkat çekicidir (1, 10, 50 ve 100 ppm kadmiyum uygulamalarında köklerin mangan içerikleri sırasıyla: 55.22, 36.00, 32.13 ve 28.35 ppm; hipokotillerin mangan içerikleri sırasıyla: 81.84, 87.48, 68.00 ve 72.90 ppm; kotiledonların mangan içerikleri sırasıyla: 97.68, 103.73, 83.04 ve 91.52 ppm).

Çalışmamızın kontrol gruplarında en yüksek bakır içeriklerine köklerde (47.52 ppm) rastlanmıştır. Daha düşük bakır içerikleri kotiledonlar (33.11 ppm) ve hipokotiller (30.24 ppm) ile

elde edilmiştir (toplam fidecik bakır içeriği: 110.87 ppm). Fidecikler Murashige-Skoog besi ortamlarında inkübasyona alındığında, özellikle kotiledon ve hipokotillerin bakır içeriklerindeki artışlar dikkat çekicidir (kökçük, hipokotil ve kotiledonların bakır içerikleri sırasıyla: 42.72, 59.25 ve 81.90 ppm; toplam fidecik bakır içeriği: 183.87 ppm) Ancak mikrobesein elementlerinden bakırın genotipik alım potansiyeli de kadmiyum uygulamalarıyla düşüşler sergilemiştir (1, 10, 50 ve 100 ppm kadmiyum uygulamalarında fideciklerin toplam bakır içerikleri sırasıyla: 139.30, 109.64, 106.11 ve 92.96 ppm). 1 ppm kadmiyum konsantrasyonunda köklerin bakır içeriklerinde (55.22 ppm) artış görülmüş; bu artış hipokotil ve kotiledonlara bakır mobilizasyonunun azalmasıyla ilişkilendirilmiştir. Çünkü 1 ppm kadmiyum konsantrasyonunda hipokotil ve kotiledonların bakır içeriklerinde (sırasıyla 39.68 ve 44.40 ppm) belirgin düşüşler izlenmiştir. Daha yüksek kadmiyum konsantrasyonlarında köklerin bakır içeriklerinde düşüşler gözlenirse de hipokotil (29.16, 24.48 ve 24.30 ppm) ve kotiledonların (40.48, 31.14 ve 28.16 ppm) bakır içeriklerindeki düşüşler daha belirgin ve düzenlidir.

Kadmiyum uygulamalarıyla her ne kadar diğer bitki besin elementleri kadar belirgin olmasa da fideciklerin magnezyum içeriklerinde de düşüşler izlenmiştir. Çalışmamızın kontrol gruplarında 15926.43 ppm olan magnezyum içeriği, Murashige-Skoog besi ortamlarında gelişmeye terk edilen fideciklerde 17168.47 ppm'e erişmiştir (kökçük, hipokotil ve kotiledonların magnezyum içerikleri sırasıyla: 1484.52, 7864.45 ve 7819.50 ppm). Kadmiyum uygulamalarına bağlı olarak magnezyum elementi açısından yapılan değerlendirmelerde, 1 ppm'de düzensiz düşme eğilimi saptanmıştır. Diğer tüm kadmiyum uygulanan fideciklerin de magnezyum içeriklerinde düşüşler vardır (1, 10, 50 ve 100 ppm kadmiyum uygulamaları için toplam fidecik magnezyum içerikleri sırasıyla: 14795.76, 16229.83, 15642.42 ve 14401.01 ppm). Magnezyum içeriklerindeki düşüşler, toprak üstü kısımlar (15683.95, 13450.40, 14109.83, 13967.07, 13019.96 ppm) özellikle de kotiledonlarda (7819.50, 6905.68, 7716.50, 6835.23, 6089.60 ppm) belirgindir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bitki bünyesine alınan kadmiyumun bitkide tek bir yerleşim yeri veya modelinden bahsedebilme şansı yoktur. Farklı türler, genotipler ve değişik organlar düzeyinde kadmiyum birikim ve dağılımları da çok farklı ve değişken olabilmektedir. Bununla birlikte önceki çalışmalarda ağırlıklı olarak köklerdeki kadmiyum birikimlerine daha fazla dikkat çekilmektedir.

Lycopersicon esculentum orijinli önceki çalışmaları incelediğimizde örneğin bir çalışmada, kadmiyum içeren besin çözeltileriyle inkübasyona alınan *L. esculentum*'da, uygulanan kadmiyum konsantrasyonlarındaki artışlarla fideciklerin de kadmiyum birikimlerinde artışlar izlenmiş, birikim köklerde primer yapraklardan daha yüksek düzeylerde gerçekleşirken [10]; benzer bir çalışmada da köklerin kadmiyum içeriklerinin sürgünlerde belirlenen değerlerden önemli düzeylerde yüksek olduğu görülmüştür [11]. Bir çalışmada *L. esculentum*'un sürgün ve köklerindeki kadmiyum seviyeleri incelendiğinde, köklerde sürgünlerdekinden çok daha yüksek düzeylerde gerçekleşen kadmiyum birikimlerinden bahsedilmiştir [12]. *Lycopersicon esculentum* ve *Phaseolus vulgaris* fideciklerinde kadmiyum toksisitesi etkilerini belirlemek amacıyla yapılan bir başka çalışmada ise domates köklerinin sürgünlerden yaklaşık 15 kat, fasulye köklerinin ise yaklaşık 4 kat daha fazla kadmiyum biriktirebildikleri ispatlanmıştır [13]. Bizim çalışmamızda da başlangıç büyüme dönemlerinde artan kadmiyum konsantrasyonlarına maruz bırakılan genç fideciklerde en yüksek kadmiyum birikimleri köklerde tespit edilmiştir. Bunu hipokotil ve kotiledonlar ile elde edilen sonuçlar izlemiştir.

Lycopersicon esculentum ve *Solanum melongena*'nın kuru madde verimleri ve besin konsantrasyonları (sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, demir, bakır, çinko ve mangan) üzerinde kadmiyumun etkilerini sera şartlarında inceleyen bir çalışmada, kadmiyum uygulamalarının besin konsantrasyonlarını ve onların bitkiler yoluyla alınımını etkilediği bulunmuştur [14]. Moral ve arkadaşlarının azot, fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum, sodyum, demir, mangan, bakır, çinko ve bor içerikleri üzerinde kadmiyumun etkilerini inceledikleri

çalışmalarında, kadmiyum toksisitesinden esas olarak etkilenen besinlerin kök ve gövdelerde fosfor, potasyum, mangan, demir ve çinko; meyvelerde fosfor ve mangan olduğu görülmüş, onların alınımları veya iletimlerinin kadmiyum yoluyla engellenmiş olabileceği düşünülmüştür [15]. Quariti ve arkadaşları da *L. esculentum* fideciklerine kadmiyum içeren besin çözeltilerini 7 gün süreyle uyguladıklarında, kadmiyum konsantrasyonlarındaki artışların fideciklerin kalsiyum, potasyum ve azot içeriklerinde düşüşlere neden olduğunu bildirmişlerdir [11]. Mohammad ve Moheman ise çalışmalarında kadmiyum-çinko interaksiyonlarından bahsetmişlerdir [12]. Benzer antagonistik eğilimler bizim çalışmamızda da izlenmiş, uygulanan kadmiyum konsantrasyonlarındaki artışlarla fideciklerin bazı besin elementi içeriklerinin değiştiği görülmüştür. Nitekim çalışmamızda, besin çözeltilerindeki kadmiyum konsantrasyonu artışları fideciklerin fosfor içeriklerinde düşüşlere neden olmuştur. Düşüşler özellikle kökçük ve hipokotiller için daha dikkat çekici bulunmuştur. 1 ppm kadmiyum konsantrasyonu hariç diğer konsantrasyon serilerinde kotiledonların fosfor içeriklerinde de düşüşler saptanmıştır. Mikro besin elementlerinden çinko, mangan ve bakır içeriklerinde de kadmiyum uygulamalarına bağlı olarak düşüşler izlenmiştir. Mikro besin elementi içeriklerindeki düşüşler çinko için hipokotillerde, mangan için köklerde, bakır için hipokotil ve kotiledonlarda daha dikkat çekici olmuştur. 50 ve 100 ppm kadmiyum konsantrasyonlarında fideciklerin makro besin elementlerinden azot içerikleri kotiledonlarda kontrolden yüksek iken, hipokotil ve köklerde kontrolden düşük bulunmuştur. *Lycopersicon esculentum* fidecikleri için bir besin elementi olarak değerlendirme kapsamına alamayacağımız kobaltın da genotipik alınımları potansiyeli kadmiyum uygulamalarıyla indirgenmiştir. 1 ppm kadmiyum konsantrasyonunda fideciklerin kobalt içeriklerinde belirgin bir düşüş gerçekleşmiş, daha yüksek konsantrasyonlarda fideciklerde kobalt elementine rastlanmamıştır.

Kotiledonların magnezyum içeriğindeki belirgin düşme kanaatimizce genç fideciklerin başlangıç büyüme dönemindeki fotosentetik aktivitesi açısından son derece önemlidir. Bilindiği gibi epigeik çimlenen tohumlarda kotiledonlar, epikotilden ilk gerçek yapraklar ortaya çıkıncaya dek, tıpkı gerçek bir yaprakmış gibi fotosentez yaparlar ve ilk gerçek yaprakların oluşumuna hizmet ederler [16].

TEŞEKKÜR:

Araştırma materyalimizi oluşturan bitki tohumlarını temin ettiğimiz Eskişehir Geçit Kuşağı Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü'ne kalbi şükranlarımızı sunarız.

KAYNAKLAR

1. Anwar, S., M. Shafi, J. Bakht, M.T. Jan and Y. Hayat. 2011. Response of barley genotypes to salinity stress as alleviated by seed priming. Pak. J. Bot. 43(6): 2687-2691.
2. Shakeel, S. and S. Mansoor. 2012. Salicylic acid prevents the damaging action of salt in mung bean [*Vigna radiata* L.] Wilczek seedlings. Pak. J. Bot. 44(2): 559-562.
3. Ali, S.G., A. Rab, N.U. Khan and K. Nawab. 2011. Enhanced proline synthesis may determine resistance to salt stress in tomato cultivars. Pak. J. Bot. 43(6): 2707-2710.
4. Zdravkovic, J., N. Pavlovic, Z. Girek, M.B. Jokanovic, D. Savic, M. Zdravkovic and D. Cvikic. 2011. Generation mean analysis of yield components and yield in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Pak. J. Bot. 43(3): 1575-1580.
5. Lehoczky, E., P. Marth, I. Szabados, M. Palkovics and P. Lukacs. 2000. Applications in food quality and environmental contamination. Influence of soil factors on the accumulation of cadmium by lettuce. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 31 (11-14): 2425-2431.
6. Lehoczky, E., L. Szabo, S. Horvath, P. Marth, and I. Szabados. 1998. Cadmium uptake by lettuce in different soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 29 (11-14): 1903-1912.

7. Babaoğlu, M., Gürel, E., Özcan, S. 2001. Bitki Biyoteknolojisi: Doku Kültürü ve Uygulamaları. Selçuk Üniversitesi Yayınları, Konya.
8. Murashige, T. and F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.* 15: 473-497.
9. Kacar, B. 1972. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri: II. Bitki Analizleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.
10. Quariti, O., N. Boussama, M. Zarrouk, A. Cherif, and M.H Ghorbal. 1997. Cadmium and copper induced changes in tomato membran lipids. *Phytochem.* 45 (7): 1343-1350.
11. Quariti, O., H. Gouia and M.H. Ghorbal. 1997. Responses of bean and tomato plants to cadmium. *Plant Physiol.and Biochem.* 35 (5): 347-354.
12. Mohammad, A. and A. Moheman. 2010. The effects of cadmium and zinc interactions on the accumulation and tissue distribution of cadmium and zinc in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Arch. Agron. Soil Sci.* 56 (5): 551-561.
13. Xue, D., R. B. Harrison and C. L. Henry. 1995. Effect of organic acid on Cd toxicity in tomato and bean growth. *J. Environ. Sci.* 7 (4): 399-406.
14. Khan, S. and N. N. Khan. 1983. Influence of lead and cadmium on the growth and nutrient concentration of tomato (*Lycopersicon esculentum*) and egg-plant (*Solanum melongena*). *Plant and Soil.* 74 (3): 387-394.
15. Moral, R., I. Gomez, J. Navarro-Pedreno and J. Mataix. 1994. Effects of cadmium on nutrient distribution, yield and growth of tomato grown in soilless culture. *J. Plant Nutr.* 17 (6): 953-962.
16. Kadioğlu, A. 2007. Bitki Fizyolojisi, Trabzon, s: 332-333.

(Bu çalışma "3rd International Plant Science and Technology Congress. 18-20 December 2019, Afyon-Turkey" dahilinde sözlü bildiri olarak takdim edilmiştir.)