



Araştırma Makalesi/Research Article

Kadmiyum Stresi Altında Yetiştirilen *Trigonella foenum-graecum* L. Bitkisinin Bazı Büyüme ve Fizyolojik Parametrelerinin İncelenmesi

Rüveyde Tunçtürk*



Murat Tunçtürk



Lütfi Nohutçu



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü 65080, Van
*Sorumlu yazar: ruveydetuncurk@yyu.edu.tr

Geliş Tarihi: 23.05.2020

Kabul Tarihi: 21.12.2020

Öz

Araştırma, 2019 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü'ne ait tam kontrollü bitki büyüme odasında yürütülmüştür. Deneme, 2 L toprak kapasiteli 1/3 kum, 1/3 perlit ve 1/3 toprak karışımı ile doldurulmuş plastik saksılarda, tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekrarlamalı olarak düzenlenmiştir. Araştırmada, beş farklı kadmiyum (Cd) dozu (0, 25, 50, 75, 100 mg/L CdSO₄) kullanılmıştır. Çalışmada, temel büyüme parametrelerinden bitki boyu (cm), kök uzunluğu (cm), kök ve gövde yaş ağırlığı (g), yaprak ağırlığı (g) ve yaprak sayısı (adet) gibi parametreler ölçülerek bitki fidesi; kök, yaprak ve gövde kısımlarına ayrılmış ve bazı mineral madde içerikleri (Ca, K, Na, Mg, Fe, Zn, Mn, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Se) ile fizyolojik parametrelerden malondialdehit (MDA) içeriği ve askorbat peroksidaz (APX) enzim aktivitesi miktarları belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda; Cd stresinin tüm bitki gelişim parametreleri ile MDA ve APX miktarları üzerinde istatistiksel olarak önemli etkide bulunduğu, artan Cd dozlarında MDA ve APX miktarının arttığı tespit edilirken, diğer parametrelerde azalmaların olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Cd dozlarının, incelenen mineral madde içerikleri üzerine bitki aksamaları arasında istatistiksel olarak önemli farklılıkların olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Askorbat peroksidaz, kadmiyum stresi, çemen, malondialdehit

Investigation of Some Growth and Physiological Parameters of *Trigonella foenum-graecum* L. Plant Grown Under Cadmium Stress

Abstract

The research was carried out in the fully controlled plant growing room of Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops in 2019. The experiment was organized according to the completely randomized design (CRD) with four replications, in the plastic pots prepared as a mixture of 1/3 sand, 1/3 perlite and 1/3 soil with a capacity of 2 kg of soil. In the research, five different cadmium (Cd) doses (0, 25, 50, 75, 100 mg/L CdSO₄) were used. In the study, parameters such as plant height (cm), root length (cm), root and stem age weight (g), leaf weight (g) and number of leaves (pieces) are measured, plant seedlings; divided into stem, leaf and stem parts and some mineral substance contents (Ca, K, Na, Mg, Fe, Zn, Mn, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Se) and malondialdehyde (MDA) and ascorbate peroxidase (APX) enzyme activity amounts were determined.

In the results of working; Cd stress has a statistically significant effect on all plant growth parameters and the amount of MDA and APX. It was determined that the amount of MDA and APX increased with increasing Cd doses, while there were decreases in other parameters. In addition, it was determined that Cd doses were statistically significant differences between plant organs on the mineral substance contents examined.

Keywords: Ascorbate peroxidase, Cd stress, fenugreek, malondialdehyde

Giriş

Ülkemiz florasında 10 754 bitki taksonu mevcut olup 3 708' i (% 34) endemik bitki grubundadır (Vural, 2003). Bunların 1000 adedi tıbbi ve aromatik bitkiler olup, modern tıp ve halk hekimliğinde faydalanılmakta ve bitkisel çay, baharat, gıda, şeker sanayi, parfümeri ve kozmetik sanayi, diş macunu, sabun, dericilik, boyacılık, süs bitkisi ve insektisit gibi birçok alanda yararlanılmış ve bugüne kadar önemini korumuştur. Doğada kendiliğinden yetişen tıbbi bitkilerden ülke içinde faydalanılmakla birlikte bazılarının da ihracatı yapılmaktadır. Ülkemiz uzun zamandan beri tıbbi ve aromatik bitkileri ihraç eden önemli ülkeler arasında yer almakta ve bu bitkilerin temini genellikle doğadan toplamaya dayanmakta olup 100 kadar tıbbi ve aromatik bitki türünün (kekik, defne, adaçayı,



kimyon, kişniş, keçiboynuzu, kapari, çöven, rezene, meyan kökü, oğulotu gibi) ihracatı yapılmaktadır. Ülkemizde, kültürü yapılan tıbbi ve aromatik bitki sayısı ve üretim miktarları oldukça azdır. Çemenin anavatanı Anadolu olup küçük Asya ve İran'da yabancı olarak yetişmektedir. Oysa günümüzde Anadolu, Yakın Doğu, Hindistan ve Etiyopya'dan başka çok geniş bir tarım alanına sahiptir. Çemen tohumunda önemli oranda mineral maddeler, protein ve vitaminler bulunmaktadır. Çemen tohumu; % 8 sabit yağ, % 27 protein, yağında % 40 linoleik asit ile % 52 oleik asit, uçucu yağ, azotlu bileşikler, kolin, fitin, kumarin, nikotin amid, rutin, kül (% 3-4), trigonellin (% 1), flavonoid, müsilaj (% 30), sentionine, eholine ve cerpaine alkaloidleri ve yağlı embriyosunda hidroliz sonucu diosgenin (% 0.8-2.2) veren steroidal saponinler (% 5-7) ve Vitamin A, B ve C, kalsiyum, demir ve diğer mineraller bulunmaktadır. Çemenin içermiş olduğu steroidal saponinler tedavide kullanımını ön plana çıkarmıştır (Mebey ve ark., 1988; Acharya ve ark., 2008).

Organik madde kapsamı ve kil oranı yüksek olan topraklar ağır metalleri tutarak zor çözünebilir bileşikler oluşturmaktadırlar (Bakış ve Bilgin 1998). Ağır metallerin toprak profilindeki dağılımı toprak genesisi, hava kirliliği ve antropojenik kirliliğin bir göstergesi olup bu bileşiklerin değişimi toprağın özelliğine ve tarımsal faaliyetlerin yoğunluğuna bağlıdır (Wilcke ve ark. 2000). Kadmiyum gibi ağır metallerin çevrede varlığı, bitki metabolizmasını da çeşitli düzeyde etkileyerek; dokuların içine alınıp ve taşınma olaylarında görev yapan farklı mekanizmaları aktive etmektedirler. Bu yüzden, kadmiyumun toksik etkisi ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Toksikiteye sebepleri, fizyolojik ve moleküler boyutları üzerine yapılan bu çalışmalar, toksisiteye karşı oluşan fizyolojik cevaplar ve genel tolerans mekanizmalarına doğru ağırlık kazanmaya başlamıştır. Kadmiyum ana materyal veya endüstriyel faaliyetler, fosforlu gübre uygulamaları gibi insan aktiviteleri sonucunda toprağa ulaşmaktadır. İnsan faaliyetleri ile toprağa ulaşan kadmiyumun % 54-58' i fosforlu gübrelerden, % 39-41' i atmosferik depolanmadan, % 2-5' i ise atık çamur ve çiftlik gübresi uygulamalarından kaynaklanmaktadır (Yost ve Miles, 1979; Wang ve ark., 2015). Yer kabuğunda ortalama 0.1 mg kg^{-1} , topraklarda ise 0.53 mg kg^{-1} Cd bulunmaktadır. Toprakta 3 mg kg^{-1} dan fazla Cd toksik etkilere yol açmaktadır (Özkutlu ve Erdem, 2018). Kadmiyum, bitki, hayvan ve insan beslenmesinde mutlak gerekli bir element olmayıp biyolojik bir fonksiyonu bulunmamaktadır (Marschner, 2008). Diğer ağır metallere göre 2-20 kat daha fazla toksik etkiye sahiptir (Friberg, 2018). Kadmiyum toprakta oldukça hareketli bir element olup kolaylıkla bitkinin besin zincirine dahil olmaktadır. Bitkiler tarafından alınan kadmiyum bitkinin protein sentezi, azot ve karbonhidrat metabolizması, enzim aktivasyonu, fotosentez ve klorofil sentezi gibi birçok metabolik aktivitesinin bozulmasına neden olmaktadır (Mengel ve Kirkby, 2001). Ayrıca serbest radikal oluşumuna yol açarak, tilakoid membran lipitlerinin oksidatif yıkımına neden olmakta ve klorofil sentezi engellenmektedir (Zengin ve Munzuroğlu, 2005). Kadmiyum stresi koşullarında nitrat redüktaz ve nitrit redüktaz aktiviteleri azalmakta ve bitkilerin nitrat asimilasyonu oranı düşmektedir (Gouia ve ark., 2000).

Tıbbi ve aromatik bitkilerin çok farklı alanlarda ve sanayi kollarında tüketimine paralel olarak bu bitkilerin dünya ticaret hacmi her geçen gün artmaktadır. Ülkemiz ekolojisinde çemen bitkisi toprak ve iklim istekleri açısından geniş sınırlara sahip olup hemen hemen buğdayın yetiştiği her yerde yetiştiriciliğinin yapılabilmesi mümkündür. Kadmiyum diğer ağır metallere kıyasla hareketli olması nedeniyle bitki tarafından kolaylıkla alınıp biriktirilebilmektedir. Bu çalışma ile, tarım ilaçları, özellikle fosforlu gübreler, kum taşı, çeşitli gazlar gibi kirlenici etmeninin fazla olduğu kadmiyumun çemenin bazı büyüme ve fizyolojik parametreleri üzerindeki etkilerinin belirlenerek bu konudaki çalışmalara katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Araştırma, 2019 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü'ne ait tam kontrollü bitki büyütme odasında yürütülmüştür. Çalışmada, Gürarlan çemen çeşidi kullanılmıştır.

Yöntem

Deneme, 2 litre toprak kapasiteli 1/3 kum, 1/3 perlit ve 1/3 toprak karışımı olarak hazırlanmış plastik saksılarda, tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Araştırmada, beş farklı kadmiyum dozu (0, 25, 50, 75, 100 mg/L CdSO₄) kullanılmıştır. Tohumlar



öncelikle % 5' lik sodyum hipoklorit (NaClO) solüsyonunda 15 dakika sterilize edilmiş ve saf su ile birkaç kez yıkandıktan sonra ekime hazır hale getirilmiştir. Çalışmada, her saksıya 3 tohum ekilmiş ve çıkıştan sonra en iyi durumdaki fide bırakılarak diğer fideler uzaklaştırılmıştır. Ekimden sonra saksılar 16/8 saatlik aydınlık/karanlık fotoperiyotta, 25°C sıcaklık % 65 neme sahip iklim odasına yerleştirilmiştir. Tohum ekiminden 5 hafta sonra (35. günde) Cd stresi uygulamalarına başlanmıştır. Araştırmada Cd uygulamaları, pH' sı 7.0 olan 1:5' lik Hoagland çözeltisi içerisine karıştırılmak suretiyle, kontrol bitkileri esas alınarak bitkilerin su ihtiyacına göre 3' er gün arayla toplam 5 kez olmak üzere serbest drenaj koşulları sağlanan saksılara farklı dozlarda hazırlanan kadmiyum solüsyonu 200 ml olarak uygulanmıştır. Deneme 50. günde (7. hafta) örnekleme yapılarak sonlandırılmıştır. Örneklemeelerde, saksılardaki bitkiler kökleriyle birlikte çıkarılarak, kökler ayrıldıktan sonra toprak üstü aksam (mineral madde analizleri için gerekli örnekler alındıktan sonra) biyokimyasal analizlerde (MDA ve APX) kullanılmak üzere -80 °C'de derin dondurucuda analiz yapılmaya kadar muhafaza edilmiştir. Diğer temel büyüme parametrelerinden bitki boyu, kök uzunluğu, kök ve gövde yaş ağırlığı, yaprak sayısı ve yaprak ağırlığı gibi parametreler için gerekli ölçüm ve tartımlar yapılmış, bitki fidesi; kök, yaprak ve gövde kısımlarına ayrılarak bazı mineral madde içerikleri (Ca, K, Na, Mg, Fe, Zn, Mn, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Se) belirlenmiştir. Mineral element analizleri için uçtan itibaren geriye doğru ilk üç yaprak örneği alınmış ve kapaklı cam kavanozlara konularak analiz yapılmaya kadar -40°C'deki derin dondurucuda saklanmıştır. İyon analizleri için derin dondurucuda saklanan her bir yaprak örneğinden 200 mg tartılarak üzerine 10 mL 0.1 N nitrik asit (HNO₃) ilave edilmiştir. Bir hafta süreyle kapaklı plastik kutularda oda sıcaklığında karanlık ortamda bekletilen örnekler, bu sürenin sonunda çalkalayıcıda 24 saat süreyle çalkalanıp, hazırlanan ekstraktlarda K⁺ ve Ca⁺² iyonları flame fotometrik yöntem (Eppendorf flame photometer), yardımıyla yaş yaprak örneğindeki iyon miktarı belirlenmiştir (Taleisnik ve ark., 1997). Na, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Se element analizleri ise, yaş yakma yöntemiyle ekstraksiyon hazırlanıp, okumalar atomik absorpsiyon spektrometre (AAS) cihazı yardımıyla belirlenmiştir. Hücre zarlarının hasar görmesi sonucu lipid peroksidasyonunun bir ürünü olan MDA miktarının belirlenmesi için Lutts ve ark. (1996) tarafından bildirilen yöntem izlenmiştir. Bu yöntemde göre; derin dondurucuda muhafaza edilen yaprak örneklerinden, 200 mg tartılarak alınmış ve üzerine 5 mL % 0.1'lik trikloroasetik asit (TCA) eklenerek 12 500 devir/dakika hızında devirde 20 dakika süresince santrifüj edilmiştir. Ekstraktan 3 mL süzüntü alınmış ve üzerine içerisinde % 20 tiobarbitirik asit (TBA) bulunan 3 mL % 0.1' lik TCA ilave edilmiştir. Karışım 95°C'deki sıcak su banyosunda 30 dakika süresince bekletildikten sonra 532 ve 600 nanometre (nm) dalga boyuna ayarlı spektrofotometrede absorbans değerleri okunmuştur.

Askorbat peroksidaz aktivitesi, 290 nm dalga boyunda askorbik aside bağlı hidrojen peroksit (H₂O₂)'in indirgenmesi ölçülmüştür. Reaksiyon çözeltisi olarak 50 mM fosfat tamponu (KH₂PO₄), 0.5 mM askorbik asit, 0.1 mM etilen diamin tetra asetik asit (EDTA) ve 1.5 mM H₂O₂ karışımı kullanılmıştır (pH 7.0). 3 mL reaksiyon çözeltisi ile 0.2 mL bitki ekstraktı karıştırılmıştır. Spektrofotometrede 290 nm dalga boyunda 0. ve 60. saniye okumaları alınmıştır. Reaksiyon 0.2 mL enzim ekstraktının ilavesi ile başlatılmıştır. Değerlendirme 1 dakika içinde absorbansdaki değişim dikkate alınarak yapılmıştır (Sairam ve ark., 2005).

İstatistiksel Analiz

Bu çalışma sonucunda elde edilen verilerin, tesadüf parselleri deneme desenine göre varyans analizleri yapılmıştır. Elde edilen varyans analizi sonuçları *F* testine göre değerlendirilmiş ve önemli çıkan uygulamalar Duncan çoklu karşılaştırma testine göre karşılaştırılmıştır (IBM, 2013).

Bulgular ve Tartışma

Temel Büyüme Parametreleri

Farklı Cd dozlarının çemenin bitki boyu ve gövde yaş ağırlığı üzerine etkisi istatistiksel olarak % 5 seviyesinde önemli bulunurken, kök uzunluğu, kök ve yaprak yaş ağırlığı ile yaprak sayısı üzerine etkisi ise % 1 seviyesinde önemli bulunmuştur (Çizelge 1). Çalışma sonucunda, Cd dozları arttıkça strese bağlı olarak büyüme parametrelerinde azalmaların olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada en fazla bitki boyu değeri (16.1 cm), kök uzunluğu (21.6 cm), kök yaş ağırlığı (1.26 g), gövde yaş ağırlığı (0.93 g), yaprak yaş ağırlığı (2.93 g) ve yaprak sayısı (27.4 adet) kontrol gruplarından elde edilirken, en düşük bitki boyu değeri (13.0 cm), kök uzunluğu (18.5 cm), kök yaş



ağırlığı (0.80 g), gövde yaş ağırlığı (0.74 g), yaprak yaş ağırlığı (2.18 g) ve yaprak sayısı (20.2 adet) 100 mg/L Cd uygulamalarından elde edilmiştir. Ancak, gövde yaş ağırlığı bakımından 75 ve 100 mg/L Cd uygulamaları arasında istatistiksel olarak farklılığın önemli olmadığı aynı Duncan grubunda yer aldıkları tespit edilmiştir. Kadmiyum oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olup, Ni-Cd pillerinde, enerji üretiminde, fosforlu gübre sanayisinde, kaplamacılık sektöründe ve daha birçok alanlarda kullanılmakta ve toprağa karışarak çevre kirliliğine neden olmakta ve bitki büyüme ve gelişimini olumsuz etkilemektedir (Schroeder 1974). Konu ile ilgili yapılan stres çalışmalarında, Karanlık ve ark. (2013) pamuk bitkisinde, Aksu (2019) marulda, Yılmaz ve Kökten (2019) sorgumda, Cd dozlarının bitki boyu, kök-gövde kuru ve yaş ağırlığı gibi temel büyüme parametrelerini kontrole göre azalttığını, Aydın ve Yorgancılar (2015) Mn dozları arttıkça lüpen bitkisinin temel büyüme değerlerini azalttığını, Akar ve Atış (2019), Cd stresi koşullarında yetiştirdikleri kırmızı yumak bitkisinde yaptıkları çalışmada fide boyu ve kök uzunluğu değerlerinde kontrole göre azalışların meydana geldiğini kaydettikleri çalışma bulguları araştırma sonuçlarımızla uyum içerisindedir.

Çizelge 1. Cd dozlarının çemenin bazı morfolojik ve biyokimyasal özelliklerinin değişimi üzerine etkisi

Cd Dozları	Bitki boyu (cm)	Kök uzunluğu (cm)	Kök yaş ağırlığı (g)	Gövde yaş ağırlığı (g)	Yaprak yaş ağırlığı (g)	Yaprak sayısı (adet)	MDA (nmol/g TA)	APX (µmol/g TA)
Cd-0	16.1 a	21.6 a	1.26 a	0.93 a	2.93 a	27.4 a	6.34 c	0.20 c
Cd-25	14.9 ab	20.3 ab	1.06 ab	0.84 b	2.50 b	25.6 ab	6.83 b	0.21 c
Cd-50	14.3 ab	19.5 bc	1.00 ab	0.81b	2.36 bc	23.2 b	7.08 b	0.25 c
Cd-75	13.4 b	19.2 bc	0.93 b	0.77c	2.25 bc	23.1 b	7.58 a	0.33 b
Cd-100	13.0 b	18.5 c	0.80 b	0.74 c	2.18 c	20.2 c	7.74 a	0.41a
Ortalama	14.4	19.8	1.01	0.82	2.44	23.9	7.11	0.28
Cd dozları (Cd)	*	**	**	*	**	**	**	**
VK (%)	6.29	3.22	10.22	8.12	3.84	4.45	1.34	8.48

* $P < 0.05$ düzeyinde, ** $P < 0.01$ düzeyinde önemli olup harf ile gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak farklılık yoktur.

Ayrıca, Ayhan ve ark. (2007), mısır bitkisinde farklı Cd ve Pb konsantrasyonlarının bitkinin koleoptil ve kök büyümesinde kontrole göre önemli düzeyde farklılıklar saptadıklarını ve ağır metal uygulamalarının bitki gelişimini olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir. Güler (2011), mısır ve ayçiçeği bitkilerine artan seviyelerde uygulanan Cd ve Pb elementlerinin kök ve yaprak gelişimini azalttığını bildirmiştir. Kıran ve ark. (2014), ağır metal uygulamalarına bağlı olarak kök yaş ağırlığı değerleri bakımından kontrol uygulamalarına göre azalmaların gözlemlendiğini, ayrıca, ağır metallerin, MDA ve antioksidatif enzim (süperoksit dismutaz, katalaz, glutatyon redüktaz ve askorbat peroksidaz) aktivitelerine ait sayısal değerlerde artışlara neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Lipit peroksidasyonu (MDA) ve Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesi

Bu çalışmada, MDA içeriği ve askorbat peroksidaz (APX) aktivitesi üzerine Cd dozu uygulamalarının etkisi istatistiksel olarak % 1 seviyesinde önemli bulunmuştur (Çizelge 1). Cd dozları arttıkça her iki parametrede artışların olduğu tespit edilmiştir. Hücre membranlarındaki zararlanmanın bir göstergesi olan lipit peroksidasyonunun en yüksek seviyesi 100 mg/L Cd uygulamasından (7.74 nmol/g TA) elde edildiği, ancak 75 mg/L Cd uygulamaları ile aralarında istatistiksel bir farklılığın olmadığı belirlenmiştir. En düşük MDA içeriğinin (6.34 nmol/g TA) ise kontrolden elde edildiği tespit edilmiştir. Askorbat peroksidaz aktivitesi ise Cd dozları arttıkça artış göstermiş ve en yüksek değer 0.41 µmol/g TA olarak 100 mg/L Cd uygulamasından, en düşük değerler ise 0.20 µmol/g TA olarak kontrol uygulamalarından elde edilmiştir. Ancak, 25 ve 50 mg/L Cd uygulamaları ile aynı Duncan grubunda yer aldığı Çizelge 1’ de görülmektedir. Canal Boysan, (2015), marulda APX seviyesinin Cd uygulamaları ile önemli düzeyde artış sağladığını belirtirken, Dursun (2012), nohutta kadmiyum dozları arttıkça MDA oranında artışların olduğunu; bitki boyu, fide yaş ve kuru ağırlığının Cd dozları arttıkça azaldığını bildirdikleri çalışma bulguları, araştırma sonuçlarımız ile benzerlik göstermektedir.



Çemenin Farklı Bitki Aksamalarında Makro ve Mikro Element Miktarları

Çemende farklı Cd dozu uygulamaları sonucu yaprak, gövde ve kökte biriken makro ve mikro besin elementlerine ait ortalama değerler Çizelge 2' de verilmiştir. Ca içeriği bakımından Cd dozları, bitki aksamları ve bitki aksamı (BA) x Cd interaksyonu arasında istatistiki olarak % 1 düzeyinde önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Kadmiyum uygulamaları sonucunda; çemende tespit edilen en yüksek ortalama Ca içeriği (11.4 g/kg TA) 100 mg/L Cd uygulamasından elde edilirken, diğer tüm Cd dozu ortalama değerleri ile aralarında istatistiksel bir farklılık tespit edilmemiştir. En düşük ortalama Ca içeriği (8.14 g/kg TA) kontrol parsellerinden elde edilmiştir. Artan kadmiyum dozları çemende biriken Ca içeriğini olumlu etkilemiştir. Aksu (2019), marulda uyguladıkları 5 farklı (0, 50, 100, 150, 200 µM Cd) kadmiyum dozunun artışına paralel olarak Ca içeriğinin de kontrole kıyasla arttığını bildirdikleri sonuçlar araştırmamızdan elde edilen sonuçlar ile uyumlu iken, Demirbaş ve ark. (2020), şekerpancarında Cd uygulamalarının (kontrol (0) ve 5 mg/kg) kontrole göre bitkinin Ca içeriğini azalttığına dair tespitleri araştırma bulgularımızdan farklılık göstermektedir. Güler (2011), mısırdaki uyguladığı Pb dozlarının, bitkinin Ca içeriğinde dozların artışına paralel olarak artış sağladığını, İğdelioğlu (2014) yaptığı çalışmada artan Pb dozlarının çavdar yapraklarında biriken Ca oranını olumlu etkilediğini bildirmişlerdir. Çalışmada en fazla ortalama Ca içeriği 15.7 g/kg TA ile yaprakta en düşük ortalama Ca içeriği ise 5.64 g/kg TA ile kökte tespit edilirken, BA x Cd interaksyonunda en yüksek Ca içeriği (20.3 g/kg TA) 100 mg Cd/L uygulamalarında yaprakta elde edilmiştir.

Kadmiyum uygulamalarının, K içeriği, bitki aksamı ve BA x Cd interaksyonu üzerine etkisi istatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli olmuştur. Çalışmada en yüksek ortalama K içeriği (18.5 g/kg TA) Cd-50 ve Cd-75 mg/L uygulamalarından elde edilirken, kontrol uygulamaları ile aralarında istatistiksel bir farklılık bulunmamıştır. En düşük değer 15.6 g/kg TA ile Cd- 25 ve Cd-100 dozlarından tespit edilmiştir (Çizelge 2). Aksu (2019), marulda uyguladığı 5 farklı (0, 50, 100, 150, 200 µM Cd) kadmiyum dozlarının artışına paralel olarak K içeriğinin de kontrole kıyasla arttığını bildirdikleri sonuçlar araştırmamızdan elde edilen sonuçlar ile kısmen uyumlu iken, Demirbaş ve ark. (2020), şekerpancarında kadmiyum uygulamalarının (kontrol ve 5 mg/kg) kontrole göre bitkinin K içeriğini değiştirmediklerini bildirmişlerdir. Çalışmada en fazla K birikimi gövde kısmında (24.3 g/kg TA), en düşük değer ise köklerde (7.72 g/kg TA) kaydedilmiştir. BA x Cd interaksyonunda en yüksek değer (29.1 g/kg TA) gövdede kontrol uygulamalarından tespit edilirken, gövde kısmında Cd-100 uygulamaları ile aynı Duncan grubu içerisinde yer almışlardır.

Çalışmada, farklı kadmiyum dozlarının bitkinin Mg elementi içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. En fazla Mg içeriği (2.84 g/kg) 50 mg/L Cd dozundan elde edilmiş ve Cd-75 uygulamaları ile aynı grupta yer almıştır. En düşük magnezyum oranı (2.20 g/kg) kontrolden elde edilmiş ve Cd-25, Cd-75 ve Cd-100 uygulamaları ile aralarında istatistiksel bir farklılığın olmadığı belirlenmiştir. Demirbaş ve ark.(2020), şekerpancarında kadmiyum uygulamalarının (kontrol (0) ve 5 mg/kg) kontrole göre bitkinin Mg içeriği arttırdığını, Aksu ve Yıldız (2007), domateste, Cd dozlarının (0, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 2, 3, 5, 10 ve 20 mg/kg Cd) artışına bağlı olarak kontrole göre magnezyum seviyesinin yükseldiğini bildirmişlerdir. Ayrıca farklı bitki kısımları arasında ve BA x Cd interaksyonunda istatistiksel olarak % 1 seviyesinde önemli farklılıkların olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2). Bitki aksamları arasında en fazla Mg içeriği (3.21 g/kg) yaprakta, en az ise (1.50 g/kg) kökte belirlenmiştir. Konu ile ilgili, Karakaş (2013), kanola bitkisinde Cd uygulamasının gövdede Ca, K, Mg ve Na birikiminin köke kıyasla daha fazla olduğunu belirttikleri çalışma sonuçları, araştırma bulgularımız ile uyum içerisindedir. BA x Cd interaksyonunda en yüksek Mg içeriği (3.96 g/kg) yaprak kısmında, 75 mg/L Cd dozundan tespit edilirken, yaprak kısmında 50 mg/L Cd dozu uygulamaları ve gövdede Cd uygulamasının yapılmadığı kontrol uygulamaları ile aynı grup içerisinde yer almışlardır.

Na içeriği üzerine Cd dozlarının etkisi % 1 düzeyinde önemli olup en fazla Na içeriği (4.14 g/kg) Cd-50 mg/L dozundan elde edilirken, Cd-100 uygulamaları ile arasında istatistiksel bir farklılık belirlenmemiştir. Çalışmada en düşük Na içeriği (2.82 g/kg) kontrolden elde edilmiş ve Cd-25 uygulamaları ile aynı grup içerisinde yer almıştır. Bu araştırmada, artan Cd dozlarının kontrole göre Na içeriğini arttırdığına dair bulgularımız, Erdal ve ark. (2000) stres koşullarında yetiştirdikleri hiyarda yaptıkları çalışmada stres şiddeti ile paralel olarak Na içeriğinin de kontrole göre arttığını tespit ettikleri araştırma sonuçları ile desteklenmektedir. Bitkinin farklı kısımlarında ve BA x Cd interaksyonunda istatistiksel olarak % 1 seviyesinde önemliliğin söz konusu olduğu en fazla Na



birikiminin (4.89 g/kg) gövdede, en az değer ise (1.63 g/kg) kökte belirlendiği görülmektedir (Çizelge 2). BA x Cd interaksiyonunda en fazla Na oranı 7.31 g/kg ile gövdede ve Cd-100 uygulamalarından belirlenmiştir.

Çizelge 2. Çemenin farklı bitki aksamalarının makro ve mikro besin içerikleri üzerine Cd dozlarının etkisi

Cd dozları	Bitki aksamı	Ca (g/kg TA)	K (g/kg TA)	Mg (g/kg TA)	Na (g/kg TA)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)
Cd-0	Yaprak	12.5 bc	16.3 de	2.15 cd	2.55 def	2.78 ef	0.29 de
	Gövde	7.96 cde	29.1 a	3.53 ab	4.56 bc	8.11 cde	0.60 de
	Kök	3.99 fg	4.52 h	0.92 e	13.6 fg	8.86 cd	2.48 c
Ortalama		8.14 B	16.6 AB	2.20 B	2.82 C	6.58 B	1.12 B
Cd-25	Yaprak	14.4 b	18.6 d	3.24 b	3.97 cd	6.04 de	0.40 de
	Gövde	9.93 cd	17.9 d	1.90 d	3.92 cd	2.56 f	0.28 e
	Kök	6.49 ef	10.4 fg	1.86 d	1.81 f	18.6 b	3.36 b
Ortalama		10.3 A	15.6 B	2.33 B	3.23 BC	9.07 A	1.35 B
Cd-50	Yaprak	15.2 b	19.6 d	3.75 a	4.47 c	3.62 ef	0.09 e
	Gövde	12.9 b	24.0 bc	2.38 c	5.50 b	5.94 de	0.46 de
	Kök	3.19 g	11.7 f	2.38 c	2.45 ef	20.3 b	3.53 b
Ortalama		10.4 A	18.5 A	2.84 A	4.14 A	9.83 A	1.36 B
Cd-75	Yaprak	16.0 b	24.3 b	3.96 a	5.21 b	3.36 ef	0.58 de
	Gövde	7.74 de	22.6 c	2.44 c	3.16 d	5.94 de	0.92 d
	Kök	9.37 cd	8.76 g	1.38 de	1.72 f	10.8 c	2.34 c
Ortalama		11.0 A	18.5 A	2.59 AB	3.36 BC	6.71 B	1.28 B
Cd-100	Yaprak	20.3 a	15.6 e	2.93 bc	2.71 de	3.63 ef	0.31 de
	Gövde	8.65 cd	28.0 a	3.33 b	7.31 a	2.92 ef	0.26 e
	Kök	5.17 ef	3.21 h	0.98 e	0.83 g	22.4 a	5.86 a
Ortalama		11.4 A	15.6 B	2.41 B	3.61 AB	1.00 A	2.14 A
Ort.	Yaprak	15.7 a	18.8 b	3.21 a	3.78 b	3.89 b	0.33 b
	Gövde	9.44 b	24.3 a	2.72 b	4.89 a	5.22 b	0.50 b
	Kök	5.64 c	7.72 c	1.50 c	1.63 c	16.2 a	3.51 a
Bitki Aksamı (BA)	**	**	**	**	**	**	**
Cd dozları (Cd)	**	**	**	**	**	**	**
BA x Cd	**	**	**	**	**	**	**
VK (%)		15.3	8.32	11.6	13.7	19.9	16.1

* $P < 0.05$ düzeyinde, ** $P < 0.01$ düzeyinde önemli olup harf ile gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak farklılık yoktur.

Çemenin Cu ve Ni içerikleri üzerine kadmiyum dozlarının etkisi % 1 seviyesinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Elde edilen en yüksek Cu (1.0 mg/kg) ve Ni (2.14 mg/kg) içeriği 100 mg/L Cd dozundan tespit edilirken, Cu içeriği bakımından Cd- 25, Cd-50 ve Cd-100 uygulamaları arasında farklılık bulunmamıştır. En düşük Cu (6.58 mg/kg) ve Ni (1.12 mg/kg) içeriği kontrolden elde edilmiştir. Cu içeriği açısından kontrol uygulamaları ile Cd-75 uygulamaları, Ni içeriği açısından da kontrol ile Cd-25, Cd-50 ve Cd-75 uygulamaları arasında istatistiksel bir farklılık tespit edilmemiştir. BA x Cd interaksiyonunda en yüksek Cu içeriği (22.4 mg/kg) ve Ni içeriği (5.86 mg/kg) kökte Cd-100 uygulamalarından belirlenmiştir.

Çemenin Farklı Bitki Aksamalarında Ağır Metal İçeriği

Çemenin Fe, Zn, Mn, Cd, Cr, Pb ve Se gibi bazı ağır metal içerikleri üzerine kadmiyum dozlarının etkisi % 1 seviyesinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. En fazla Fe oranı 176.3 mg/kg ile Cd-50 dozundan elde edilirken, Cd-25 ve Cd-100 uygulamaları ile aralarında önemli farklılık tespit edilmemiştir. En düşük Fe içeriği ise 132.5 mg/kg olarak kontrolden tespit edilmiştir. Cd stresinin, bitkinin Fe içeriği üzerine kontrole göre artışlara neden olduğu görülmektedir (Çizelge 3). Erdal ve ark. (2000) stres koşullarında yetiştirdikleri hıyarda yaptıkları çalışmada artan stres dozunda Fe içeriğinin de kontrole göre arttığını, Demirbaş ve ark. (2020) şekerpancarında kadmiyum uygulamalarının (kontrol (0) ve 5 mg/kg) kontrole göre bitkinin Fe içeriğini değiştirmediğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada, bitki aksamaları arasında ve BA x Cd interaksiyonu yönünden istatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli farklılıkların olduğu belirlenmiştir. En fazla Fe içeriği 398.4



mg/kg olarak çemenin kök kısmında, en düşük Fe içeriği ise 28.2 mg/kg ile gövdede belirlenirken, yapraktaki birikimi ile aralarında istatistiksel olarak farklılığın olmadığı belirlenmiştir. BA x Cd interaksyonu bakımından ise en fazla Fe içeriği 480.4 mg/kg ile kökte ve Cd-50 dozundan tespit edilmiştir.

Çalışmada, farklı kadmiyum dozlarının bitkinin Zn elementi içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur. En fazla Zn içeriği (37.7 mg/kg) kontrolden elde edilirken, en düşük Zn içeriği (18.8 mg/kg) 75 mg/L Cd dozundan elde edilmiştir. Demirbaş ve ark. (2020), şekerpancarında kadmiyum uygulamalarının (kontrol ve 5 mg/kg) kontrole göre bitkinin Zn içeriğini azalttığını bildirmişlerdir. Aksu ve Yıldız (2007) domateste uyguladıkları Cd dozlarının (0, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 2, 3, 5, 10 ve 20 mg/kg Cd) artışına bağlı olarak kontrole göre çinko içeriğinde düzensiz artış ve azalışların olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacıların tespitleri ile çalışma bulgularımız kısmen uyum içerisindedir. Bu çalışmada, bitki aksamı arasında ve BA x Cd interaksyonunda istatistiksel olarak % 1 seviyesinde önemliliğin olduğu belirlenmiştir. Bitkide en fazla Zn içeriği (52.6 mg/kg) kökte, en az ise (5.40 mg/kg) gövdede belirlenmiştir. Bitki aksamı x Cd interaksyonunda en yüksek Zn içeriği (63.7 mg/kg) kökte ve 100 mg/L Cd dozu uygulamasından tespit edilmiştir.

Mn içeriği bakımından kadmiyum uygulamalarının istatistiksel olarak etkisi % 1 düzeyinde önemli bulunmuş ve en yüksek Mn içeriği (42.8 mg/kg) kontrolden, en düşük ise (21.9 mg/kg) Cd-100 mg/L uygulamalarından elde edilmiştir. Aksu (2019), marulda uyguladıkları 5 farklı (0, 50, 100, 150, 200 µM Cd) kadmiyum dozlarının Mn içeriğini istatistiksel olarak önemli seviyede etkilemediğini, Demirbaş ve ark. (2020), şekerpancarında kadmiyum uygulamalarının (kontrol (0) ve 5 mg/kg) kontrole göre bitkinin Mn içeriğini azalttığını bildirmişlerdir. Çalışmada en fazla mangan birikimi yapraklarda (47.4 mg/kg), en düşük ise gövdede (14.6 mg/kg) kaydedilmiştir. BA x Cd interaksyonunda en yüksek değer (70.0 mg/kg) kökte, kontrol uygulamalarından belirlenmiştir.

Çalışmada, en yüksek Cd içeriği (14.2 mg/kg) 100 mg/L Cd dozundan tespit edilirken, en düşük Cd içeriği (6.02 mg/kg) kontrolden elde edilmiştir. Kontrol ile Cd-25 uygulamaları arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık tespit edilmemiştir. Bitki aksamı bakımından, en fazla Cd birikimi 12.2 mg/kg olarak kökte belirlenmiştir. En az birikim ise 8.04 mg/kg ile yaprakta tespit edilirken gövde kısmı ile aralarında önemli farklılık kaydedilmemiştir. BA x Cd interaksyonunda en yüksek Cd miktarı 18.2 mg/kg ile kök kısmında ve Cd-100 dozundan elde edilirken, Cd-100 dozunda gövde kısmı ile Cd-50 dozunda kök kısmı ile aralarında önemli farklılık tespit edilmemiştir.

Cr içeriği bakımından en yüksek değer 1.23 mg/kg 50 mg/L dozundan elde edilirken en düşük değer (0.26 mg/kg) kontrolden tespit edilmiştir. En yüksek kurşun içeriği (2.54 mg/kg) Cd-75 mg/L dozundan kaydedilmiş ve kontrol dışındaki tüm uygulamalar aynı grupta yer almıştır. En düşük Pb içeriği ise (1.66 mg/kg) kontrolden elde edilmiştir. Se içeriği bakımından en yüksek değer (0.52 mg/kg) 50mg/L Cd dozundan elde edilirken, Cd-75 ve Cd-100 uygulamaları ile aynı Duncan grubunda yer almıştır. En az Se birikimi ise (0.36 mg/kg) kontrolden tespit edilmiştir. Artan Cd dozları kontrole göre bitkide incelenen tüm ağır metallerin birikimine neden olmuştur.

Bitki aksamı açısından, en fazla Cr (1.70 mg/kg), Pb (4.21 mg/kg) ve Se (0.61 mg/kg) içerikleri bitkinin kök aksamında tespit edilmiştir. En düşük Cr (0.25 mg/kg) içeriği yapraklarda tespit edilirken, gövde aksamı ile aynı Duncan grubunda yer almıştır. En düşük Pb birikimi (1.0 mg/kg) gövde kısmında tespit edilmiştir. En az Se birikimi (0.35 mg/kg) gövdede belirlenmiş ve yapraktaki birikimi ile istatistiksel olarak önemli farklılık tespit edilmemiştir.

Çalışma bulgularımıza benzer olarak; Aksu ve Yıldız (2007), domateste uyguladıkları Cd dozlarının (0, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 2, 3, 5, 10 ve 20 mg/kg Cd) artışına bağlı olarak kontrole göre kurşun içeriğinde artışların olduğunu, Gül (2013), Pb uygulamaları ile mısır ve ayçiçeğinde, en fazla Pb içeriğinin sırasıyla; kök, gövde ve yaprak kısmında tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Ayrıca, Demirbaş ve ark. (2020) şekerpancarında kadmiyum uygulamalarının (kontrol (0) ve 5 mg/kg) kontrole göre bitkinin bakır (Cu) içeriğini kısmen arttırdığına dair tespitleri araştırma bulgularımız ile benzerlik göstermektedir. Bitki aksamı x Cd interaksyonu bakımından en yüksek Cr içeriği (3.18 mg/kg) kökte ve Cd-50 dozundan elde edilmiştir. En fazla Pb içeriği 5.43 mg/kg olarak kökte ve Cd-100 dozundan elde edilirken, kökte ve Cd-50 dozu uygulaması ile aralarında istatistiksel bir farklılık tespit edilmemiştir. Se için en yüksek değer 0.78 mg/kg ile kökte Cd-50 dozundan tespit edilmiştir.



Çizelge 3. Çemenin farklı bitki aksamalarının ağır metal içeriği üzerine Cd dozlarının etkisi

Cd dozları	Bitki Aksamı (BA)	Fe (mg/kg TA)	Zn (mg/kg TA)	Mn (mg/kg TA)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Se (mg/kg)
Cd-0	Yaprak	21.9 de	56.9 ab	49.7 bc	7.94 cd	0.16 fg	0.90 fg	0.24 gh
	Gövde	35.6 de	2.86 f	8.71 e	5.36 de	0.24 fg	1.29 fg	0.26 g
	Kök	340.1 c	53.4 bc	70.0 a	4.76 de	0.39 ef	2.79 c	0.59 bcd
Ortalama		132.5 C	37.7 A	42.8 A	6.02 C	0.26 E	1.66 B	0.36 C
Cd-25	Yaprak	38.9 de	6.30 f	23.6 d	5.35 de	0.54 e	2.38 cd	0.44 efg
	Gövde	17.2 e	8.43 ef	9.84 e	4.01 e	0.36 f	0.94 fg	0.06 h
	Kök	438.9 b	58.1 ab	46.5 c	11.4 c	2.31 b	3.68 b	0.67 bc
Ortalama		165.0 AB	24.3 B	26.7 B	6.91 C	1.07 B	2.33 A	0.39 BC
Cd-50	Yaprak	21.7 e	12.9 e	36.1c	6.39 d	0.23 fg	1.60 ef	0.47 def
	Gövde	26.7 de	4.95 f	35.9 c	6.28 d	0.27 f	0.83 g	0.32 g
	Kök	480.4 a	47.7 c	5.31e	17.9 a	3.18 a	5.01 a	0.78 a
Ortalama		176.3 A	21.8 BC	25.8 BC	10.2 B	1.23 A	2.48 A	0.52 A
Cd-75	Yaprak	72.5 d	9.09 ef	57.3 b	8.73 c	0.13 g	2.08 de	0.31 g
	Gövde	42.3 de	7.20 f	9.54 e	11.6 c	0.52 e	1.39 f	0.69 b
	Kök	308.4 c	40.0 d	20.4 d	13.6 b	1.64 c	4.14 b	0.45 ef
Ortalama		142.0 BC	18.8 C	30.0 B	11.3 B	0.76 C	2.54 A	0.48 AB
Cd-100	Yaprak	29.5 de	4.91 f	47.2 c	6.96 d	0.19 fg	1.12 fg	0.50 de
	Gövde	19.2 e	3.57 f	9.16 e	17.5 a	0.28 f	0.56 g	0.42 fg
	Kök	424.4 b	63.7 a	9.46 e	18.2 a	0.98 d	5.43 a	0.59 cd
Ortalama		157.7ABC	24.1 B	21.9 C	14.2 A	0.48 D	2.37 A	0.50 A
Ort.	Yaprak	36.9 b	18.0 b	47.4 a	8.04 b	0.25 b	1.62 b	0.39 b
	Gövde	28.2 b	5.40 c	14.6 c	8.94 b	0.33 b	1.00 c	0.35 b
	Kök	398.4 a	52.6 a	25.7 b	12.2 a	1.70 a	4.21 a	0.61 a
Bitki Aksamı (BA)	**	**	**	**	**	**	**	**
Cd dozları (Cd)	**	**	**	**	**	**	**	**
BA x Cd	**	**	**	**	**	**	**	**
VK (%)		15.05	12.43	16.54	13.35	11.88	16.17	16.14

* $P < 0.05$ düzeyinde, ** $P < 0.01$ düzeyinde önemli olup harf ile gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak farklılık yoktur.

Sonuç

Su ve toprak için önemli kirleticilerden olan iz elementleri ve ağır metaller bitkilerde olumlu ve önemli etkiye sahip olup tolerans sınırları aşıldığında toksisiteye neden olabilmektedirler. Bitki doku ve aksamalarında ağır metallerin aşırı birikimi strese neden olmakta, büyüme ve gelişim, mineral madde alınımı, enzim aktivitesi, fotosentez ve klorofil biyosentezi gibi birçok morfolojik ve fizyolojik olayları olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çalışmada artan dozlarda Cd uygulamalarının bitki boyu, kök uzunluğu, kök ve gövde yaş ağırlığı, yaprak ağırlığı ve yaprak sayısı değerlerinde azalmalara neden olduğu, lipit peroksidasyon ve askorbat peroksidaz aktivitesi üzerinde ise artışların meydana geldiği belirlenmiştir. Çalışma sonucunda; uygulanan kadmiyum dozlarının tüm makro ve mikro besin içeriği ile ağır metal içerikleri üzerindeki etkisi istatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Artan Cd dozlarının Ca, K, Mg ve Na içeriğinde kontrole göre artışlar sağladığı, Fe birikimi kontrole göre artış sağlarken, Zn ve Mn birikiminde ise kontrole göre azalışların meydana geldiği kaydedilmiştir. Ağır metallerden Cd, Cr, Pb ve Se ile hem mikro besin elementi hem de ağır metal olan Cu ve Ni içerikleri kontrol ile kıyaslandığında artışların olduğu tespit edilmiştir. Kadmiyum stresi altında çemenin yaprak, gövde ve kök aksamalarında biriken mineral element birikimlerinde farklılıkların ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Çalışmada, en fazla Ca, Mg ve Mn birikimi yapraklarda, K ve Na birikimi gövdede, Fe, Zn ve Mn, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Se birikimi kök aksamında belirlenmiştir.



Teşekkür

Bu araştırma, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FBA-2019-8298 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Acharya, S. N., Thomas, J. E., Basu, S. K., 2008. Fenugreek, an alternative crop for semiarid regions of North America. *Crop Science*, 48 (3): 841-853.
- Aksu, G., 2019. Kadmiyum ile kirlenmiş alanlarda bitki besin elementlerinin alınımı üzerine indol asetik asitin etkisi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 7 (2): 80- 85.
- 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 (1): 26-36.
- Aksu, E., Yıldız, N., 2007. Besin çözeltilisine artan seviyelerde uygulanan Cd ve Pb iyonlarına farklı domates çeşitlerinin tepkisinin belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 38 (2): 163-172.
- Aydın, B., Yorgancılar, M., 2015. In vivo şartlarda Fe ve Mn uygulamalarının lüpen (*Lupinus albus L.*) bitkisinin fide gelişimine etkilerinin araştırılması. *Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi*, 2 (1): 42-52.
- 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*, 2 (8): 411-422.
- Bakiş, R., Bilgin M., 1998. Çöp sızıntı sularında meydana gelen ağır metal kirliliği. I. Atıksu Sempozyumu Bildiri Kitabı, Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma Uygulama Merkezi Kayseri Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi, Kayseri 167-170.
- Canal Boysan, S., 2015. Kadmiyum toksisitesi ve arıtma çamurundan kaynaklanan ağır metal toksisitesini önlemek amacıyla demir uygulamasının marul (*Lactuca sativa L. var. Longifolia*) bitkisinin gelişimi ve antioksidatif enzim aktivitesine etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı*, 69 s.
- Demirbaş, A., Coşkan, A., Jawad, A. A. 2020. Seçilmiş bakteri izolatlarının kadmiyum ile zenginleştirilmiş topraklarda şeker pancarının gelişimi ve besin elementi alımı üzerine etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, Türkiye 13. Ulusal, I. Uluslararası Tarla Bitkileri Kongresi Özel Sayısı:95-102.*
- Dursun, B., 2012. Salisilik asit uygulanmış nohut (*Cicer arietinum l.*) fidelerinde kadmiyumun yarattığı fizyolojik ve biyokimyasal değişiklikler. *Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, 41s.
- Erdal, İ., Türkmen, Ö., Yıldız, M., 2000. Tuz stresi altında yetiştirilen hıyar (*Cucumis sativus L.*) fidelerinin gelişimi ve kimi besin maddeleri içeriğindeki değişimler üzerine potasyumlu gübrelemenin etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi*, 10 (1): 25-29.
- Friberg L. 2018. Cadmium in the Environment. CRC press.
- Gouia, H., Gorbel, M.H., Meyer, C., 2000. Effects of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of the nitrate assimilation pathway in bean. *Plant Physiology and Biochemistry*, 38:629-638.
- Gül, K., 2013. Kurşun (Pb) ile kirlenmiş topraklarda ayçiçeği ve mısırın fitoekstraksiyonu üzerine EDTA ve DTPA'nın etkileri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26 (2): 109-113.
- Güler, E.A., 2011. Besin çözeltilisine artan seviyelerde uygulanan kadmiyum ve kurşunun bazı mısır ve ayçiçeği genotiplerinin gelişimi ve mineral içeriği üzerine etkisinin belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Doktora Tezi*, 222s.
- IBM., 2013. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0.
- İğdelioğlu, S., 2014. Çavdar (*Secale cereale L.*) bitkisinde kurşun (Pb) elementinin genotoksik ve fizyolojik etkileri. *Marmara Üniversitesi, Fen Bil. Ens., Biyoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, 113 s.
- Karanlık, S. Ergün, N., Tiryakioğlu, M., 2013. Farklı kadmiyum düzeylerinin pamuk bitkisinde (*Gossypium hirsutum L.*) büyüme, Cd, Fe, Zn konsantrasyonu ve antioksidatif enzim aktiviteleri üzerine etkisi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 6 (2): 83-88.
- Karakaş, Ö. 2013. Bazı ağır metaller (Pb, Cd, Co) ile kirlenmiş toprakların kanola bitkisi kullanılarak bitkisel arıtım (fitoremediasyon) tekniği ile ıslahı. *Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, 75s.
- Kıran, S., Özkay, F., Kuşvuran, Ş., Ellialtıoğlu, Ş., 2014. Ağır metal içeriği yüksek sularla sulanan patlıcan bitkilerine uygulanan humik asidin bazı morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özellikler üzerine etkisi. *Türk Tarım- Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(6): 280-288.
- Lutts, S, Kinet, J.M., Bouharmont, J., 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa L.*) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, 78: 389-398.
- Marschner, H., 2008. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, Second Edition. London.



- Mebey, R., M. McIntyre, P., Michael, G., Duff, J., Stevens., 1988. The news age herbalist. Collier Booly, Newyork. 93-98.
- Mengel, K., Kirkby, E. A. 2001. Principles of Plant Nutrition.5th edition. ISBN 1-4020-0008- 1.
- Özkutlu, F., Erdem, H., 2018. Ekmeklik ve makarnalık buğdaylara uygulanan çinko dozlarının kadmiyum alımına etkisi. Türk-Tarım Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6 (12): 1713-1718.
- Sairam, R. K., Srivastava, G. C., Agarwal, S., Meena, R. C., 2005. Differences in antioxidant activity in response to salinity stres in tolerant and susceptible wheat genotypes. Biologia Plantarum, 49: 85-91.
- Schroeder, H.A., 1974. The Poisons Around us. Toxic Metals in Food, Air and Water, Bloomington, Indiana Üniversitesi. Press.
- Taleisnik, E., Peyrano, G., Arias, C., 1997. Response of chloris gayana cultivars to salinity. I. Germination and early vegetatif growth. Tropical Grasslands 31: 232- 240.
- Vural, M., 2003. Türkiye'nin Tehlike Altındaki Bitkileri. FAO/BM Tematik Grubu. Türkiye'de Biyolojik Çesitlilik ve Organik Tarım Çalıştay Raporu. 15-16, Nisan, 168-183.
- Wang, L., Cui, X., Cheng, H., Chen, F., Wang, J., Zhao, X., Pu, X., 2015. A review of soil cadmium contamination in China including a health risk assessment. Environmental Science and Pollution Research, 22(21): 16441-16452.
- Wilcke, W., Kretschmar, S., Bundt, M., Saborío, G., Zech, W., 2000. Depth distribution of aluminum and heavy metals in soils of Costa Rican coffee cultivation areas. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 163 (5): 499-502.
- Yılmaz, H. Ş., Kökten, K., 2019. Kadmiyum (Cd) uygulamasının tane sorgumda (*Sorghum bicolor* L.) bazı morfolojik özellikler üzerine etkisinin belirlenmesi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 6 (3): 447-456.
- Yost, K. J., Miles, L. J. 1979. Environmental health assessment for cadmium: A systems approach. Journal of Environmental Science and Health A. 14: 285-311.
- Zengin, K.F., Munzuroğlu, Ö., 2005. Fasulye fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L.Strike) klorofil ve karotenoid miktarı üzerine bazı ağır metallerin (Ni⁺², Co⁺², Cr⁺³, Zn⁺²) etkileri. F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17(1); 164-172.