

Kadmiyum Toksisitesinin Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin Tane Sterol Konsantrasyonlarına Etkisi

Halil ERDEM  1*

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Tokat/Türkiye

Alınış tarihi: 3 Şubat 2023, Kabul tarihi: 23 Mayıs 2023

Sorumlu yazar: Halil ERDEM, e-posta: erdemh@hotmail.com

Öz

Amaç: Araştırmada, sera koşullarında üç farklı (Yunus, Osmaniye ve Ceyhan-99) ekmeklik buğday çeşidine toksik kadmiyum (Cd) uygulamasının tane campesterol, stigmasterol ve β -sitosterol düzeylerine olan etkisi araştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem: Tesadüf parselleri deneme desenine göre gerçekleştirilen çalışmada topraktan 0 ve 20 mg kg⁻¹ Cd uygulaması yapılmıştır. Bitkiler tane olgunluk döneminde hasat edilmiş ve bu örneklerde bitki ve tane verimi ile tane Cd, N, P, K, Zn, Fe, campesterol, stigmasterol ve β -sitosterol konsantrasyonları belirlenmiştir.

Araştırma Bulguları: Araştırma sonucunda toprağa toksik Cd uygulaması ile üç farklı ekmeklik buğday çeşidinin kuru madde verimi ile tane veriminde istatistiksel olarak önemli (P<0.05) azalmalar meydana gelmiştir. Çeşitler arasında tane veriminde en fazla azalma Osmaniye (%17.8 azalma), en az azalma ise Yunus (%8.1 azalma) çeşidinde olmuştur. Toprağa Cd uygulaması ile üç ekmeklik buğday çeşidinde Cd konsantrasyonları önemli düzeyde (P<0.05) artmış, buna karşın tane campesterol, stigmasterol, β -sitosterol konsantrasyonları ile besin elementleri (N, P, K, Zn ve Fe) konsantrasyonları azalmıştır. Tane Cd konsantrasyonunun artması ile çeşitlerin ortalama campesterol, stigmasterol ve β -sitosterol konsantrasyonlarında sırası ile %28.6, %13.6 ve %20 düzeylerinde azalma meydana gelmiştir.

Sonuç: Sonuçlar toksik Cd uygulaması ile ekmeklik buğday çeşitlerinin sterol konsantrasyonlarında önemli düzeyde azalmaya neden olduğu ve çeşitler arasında Cd toksisitesine karşı Yunus çeşidinin toleranslı, Osmaniye çeşidinin ise hassas olduğu ortaya çıkmıştır.

Anahtar kelimeler: β -sitosterol, buğday, campesterol, kadmiyum, stigmasterol, verim

The Effect of Cadmium Toxicity on Grain Sterol Concentrations of Bread Wheat Varieties

Abstract

Objective: The aim of this study was to investigate the effects of toxic cadmium (Cd) applications on grain campesterol, stigmasterol and β -sitosterol concentrations on three different (Yunus, Osmaniye and Ceyhan-99) bread wheat cultivars under greenhouse conditions.

Materials and Methods: In the study, which was carried out according to the randomized plots experiment design, 0 and 20 mg kg⁻¹ Cd were applied from the soil. Plants were harvested during the grain maturity period and plant and grain yield and grain Cd, N, P, K, Zn, Fe, campesterol, stigmasterol and β -sitosterol concentrations were determined in these samples.

Results: As a result of the research, statistically significant (P<0.05) decreases occurred in plant yield and grain yield of three different bread wheat varieties with the application of toxic Cd to the soil. Among the cultivars, the highest decrease in grain yield was in Osmaniye (17.8% decrease), and the least decrease was in Yunus (8.1% decrease). With Cd application to the soil, Cd concentrations increased significantly (P<0.05) in three bread wheat cultivars, whereas grain campesterol, stigmasterol, β -sitosterol concentrations and nutrient elements (N, P, K, Zn and Fe) concentrations decreased. With the increase in grain Cd concentration, the average campesterol, stigmasterol and β -sitosterol concentrations of the

cultivars decreased by 28.6%, 13.6% and 20%, respectively.

Conclusion: The results revealed that toxic Cd application caused a significant decrease in sterol concentrations of bread wheat cultivars and Yunus cultivar was tolerant and Osmaniye cultivar sensitive to Cd toxicity among cultivars.

Key words: β -sitosterol, wheat, campesterol, cadmium, stigmasterol, yield

Giriş

Bitki steroller, kolesterol ile benzer kimyasal yapıya ve biyolojik işlevlere sahip, bitkiler tarafından üretilen doğal bileşiklerdir (Benveniste, 2004). Fitosteroller, insanlarda kolesterolün bağırsaktaki emilimini azaltarak düşürdüğü ve bazı kanser türlerine (mide, prostat, meme) karşı koruyucu etkileri bulunduğu bildirilmiştir (Quilez ve ark., 2003). Günümüzde bitkilerde serbest sterol olarak sterol esterler, sterol glukozitler ve açılmış sterol glukozitler dahil olmak üzere 250'den fazla sterol ve sterol konjugatı tanımlanmıştır (Valitova ve ark., 2016). Yüksek bitkilerde bulunan baskın steroller beta sitosterol (β -Sitosterol), stigmasterol ve campesterol'dür (Valitova ve ark., 2016). Bitki steroller hücre zarının ve lipid yığınlarının önemli bileşenleri olup, bitki gelişimi ve stres koşulları gibi çeşitli fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerde önemli rol oynamaktadır. Zarin ayrılmaz bileşenleri olarak bitki steroller, zarin çift katlı lipid tabakasının bütünlüğünün, akışkanlığının ve geçirgenliğinin korunmasına katkıda bulunarak bitkilerin stres koşullarına karşı direncini artırır (Simons ve Sampaio, 2011; Rogowska ve Szakiel, 2020). Ayrıca bitki steroller, tohum çimlenmesi, bitki fenotipi, yaşlanma, çiçeklenme zamanı ve tohum verimi gibi bitki büyümesi ve gelişmesinde önemli fizyolojik işlevlerde de rol almaktadır (Vriet ve ark., 2013; Shimada ve ark., 2021). Tahıllar, yağlı tohumlu bitkilerden daha düşük konsantrasyonlarda fitosterol içermektedir. Ancak, toplam tüketim miktarları ile kıyaslandığında tahıl grubu ürünler yağlı tohumlu gıdalardan çok daha fazla tüketilmekte ve bu da tahılların insan sağlığı açısından iyi birer sterol kaynağı olduğunu göstermektedir (Taşan, 2008). Yapılan bir çalışmada, farklı buğday çeşitlerinin tanesinde 108-270 mg kg⁻¹ aralığında campesterol, 288-486 mg kg⁻¹ aralığında B-sitosterol ve 15-24 mg kg⁻¹ aralığında Stigmasterol bulunduğu bildirilmiştir (Piironen ve Lampi, 2004).

Ağır metal kirliliği küresel olarak tüm canlıları tehdit eden uzun zamandır önemli bir çevre sorunu olmuştur. Ağır metaller arasında yer alan kadmiyum (Cd), canlı organizmalar ve insanlar için toksik olarak kabul edilir ve tarım toprakları ile bitkilerde zararlı etkilere neden olan toksik çevre kirleticilerinden biridir (Shanmugaraj ve ark., 2019). Tarım ve endüstrilerdeki gelişme, tarımsal topraklarda Cd konsantrasyonlarının artmasına neden olmaktadır (Bojórquez ve ark., 2016). Kadmiyum, çok sayıda antropojenik aktivite ve emisyonlar yoluyla ekosistemlere girmektedir (Abbas ve ark., 2014). Kentsel atıkların bertarafı, eritme, madencilik, metal üretimi ve sentetik fosfatlı gübrelerin uygulanması gibi antropojenik faaliyetler çevredeki Cd konsantrasyonunu arttırmaktadır (Chellaiyah, 2018). Bitkilerde kloroz ve bodur büyüme, Cd toksisitesinin neden olduğu kolayca tanımlanabilir semptomlardır (Jali ve ark., 2016). Daha yüksek toksisite, bitki büyümesini engelleyerek bitkilerde nekroza yol açmaktadır (Hermans ve ark., 2011). Bitkilerde Cd toksisitesi, karbon fiksasyonunu engelleyerek, klorofil içeriğini ve fotosentetik aktiviteyi azaltarak bitkileri olumsuz etkilemektedir (Gallego ve ark., 2012). Toksik Cd, yaprakların nispi su içeriğini, stoma iletkenliğini ve terlemeyi en aza indirerek bitkilerde ozmotik strese yol açarak bitkilerde fizyolojik hasarlara neden olmaktadır (Rizwan ve ark., 2016). Aynı zamanda Cd toksisitesi bitkilerde, reaktif oksijen türlerinin (ROS) aşırı üretimine neden olarak bitki hücre zarlarında hasara, hücre moleküllerinin ve organellerinin tahrip olmasına neden olmaktadır (Abbas ve ark., 2017). Bu çalışmada, Cd toksisitesi koşulları altında yetiştirilen üç farklı ekmeklik buğday çeşitinin tane campesterol, stigmasterol ve β -sitosterol konsantrasyonlarındaki değişimler incelenmiştir.

Materyal ve Metod

Materyal

Bitki Materyalleri

Sera koşullarında gerçekleştirilen çalışmada Yunus, Osmaniye ve Ceyhan-99 ekmeklik buğday (*Triticum aestivum*) çeşitleri kullanılmıştır. Yunus buğday çeşidinin başak görünümü beyaz, kılçıksız, bitki boyu 115-125 cm aralığında, yatmaya dayanıklı, ekmeklik kalitesi yüksek, bin dane ağırlığı 39.4 gr'dır (Aydoğan, 2016). Osmaniye buğday çeşidi başak görünümü beyaz, kılçıklı, bitki boyu 90-105 cm aralığında, yatmaya dayanıklı, ekmeklik kalitesi yüksek, bin dane ağırlığı 36.8 gr'dır (Anonim, 2023b). Ceyhan-99 buğday çeşidi başak görünümü beyaz, kılçıklı, bitki

boyu 90-100 cm aralığında, yatmaya dayanıklı, ekmeklik kalitesi yüksek, bin dane ağırlığı 42-45 gr'dır (Anonim, 2023a).

Toprak Materyali

Çalışmada, kil tekstüre sahip, pH'sı 8.83 (alkali), kireç oranı %17.8 (fazla kireçli), organik maddesi %0.12 (çok düşük) ve tuz miktarı 0.24 mS/cm (tuzsuz) olan bir toprak kullanılmıştır. Deneme toprağının bitkiye yarayışlı P₂O₅ konsantrasyonu 0.15 kg da⁻¹ (yetersiz), bitkiye yarayışlı K₂O konsantrasyonu 46.2 kg da⁻¹ (yeterli), DTPA'da ekstakte edilebilir Cd konsantrasyonu 0.04 mg kg⁻¹ (düşük), Zn konsantrasyonu 0.11 mg kg⁻¹ (yetersiz), Fe konsantrasyonu 2.84 mg kg⁻¹ (yetersiz)'dir.

Metod

Denemenin kurulması ve yürütülmesi

Sera denemesi tesadüf parselleri desenine göre dört tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Yedi numara plastik saksıların kullanıldığı çalışmada her bir saksıya 4 mm elekten geçirilmiş hava kuru 2750 g toprak tartılmıştır. Deneme başlangıcında her bir saksıya temel gübreleme olarak 300 mg kg⁻¹ N (Ca(NO₃)₂.4H₂O formunda), 100 mg kg⁻¹ P (KH₂PO₄ formunda), 50 mg kg⁻¹ S (CaSO₄.2H₂O formunda), 2.5 mg kg⁻¹ Fe (Fe-EDTA formunda) ve 2.5 mg kg⁻¹ Zn (ZnSO₄.7H₂O formunda) dozlarında çözelti şeklinde toprak ile homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Kadmium uygulamaları ise 0 mg Cd kg⁻¹ (kontrol-Cd0) ve 20 mg Cd kg⁻¹ (Cd20) dozlarında ve 3(CdSO₄).8H₂O formunda denemenin başlangıcında temel gübreler ile beraber verilmiştir. Saksı başına 10 adet tohum ekilmiş ve çimlenmeden sonra bu sayı 4'e seyreltilmiştir. Bitkiler denemenin başlangıcından hasat zamanına kadar saf su ile ve tarla kapasitesine yakın (%70 civarında) bir nem içeriğinde olacak şekilde sulanmıştır. Bitkiler tane olgunluk döneminde iken sap ve başaklar ayrı ayrı hasat edilmiştir.

Bitki analizleri

Sap ve başak şeklinde hasat edilen bitki örneklerinin toplam ağırlıkları (bitki verimi) hassas terazi ile belirlendikten sonra başaklar el ile tohumları ayıklanmış ve her bir saksıya ait bitkilerin dane verimi hassas terazi ile belirlenmiştir. Verimleri belirlenen tane örneklerinden 0.25 gr tartılmış ve mikrodalga cihazında (Mars 6) yaş yakma yöntemine göre asit (H₂O₂-HNO₃) karışımında yakılarak Cd, P, K, Zn ve Fe elementlerinin konsantrasyonları ICP-OES (Varian Vista Pro) cihazında tespit edilmiştir (Kacar ve İnal, 2008). Azot konsantrasyonları ise Kjeldahl cihazında Bremner (1965) yöntemine göre

yapılmıştır. Campesterol, Stigmasterol ve Betasitosterol (β-sitosterol) konsantrasyonları Analitik Kimyacılar Birliği metod 994.10'a göre GC-MS (Gaz Kromatografisi Kütle Spektrometresi) cihazında belirlenmiştir (AOAC, 2000)

Verilerin değerlendirilmesi

Kadmium uygulamasının (Cd0 veCd20) ekmeklik buğday çeşitlerinin bitki verimi, tane verimi, tane campesterol, stigmasterol ve β-sitosterol konsantrasyonları ile tane Cd, N, P, K, Zn, Fe konsantrasyonlarına etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı tek yönlü varyans analizi (ANOVA) testi uygulanarak belirlenmiş, uygulamalar arasındaki farklılıklar Duncan analizi ile belirlenmiştir. İstatistiksel analizlerde MSTAT-C paket programı kullanılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Toprağa Cd uygulaması ile Yunus, Osmaniyem ve Ceyhan-99 ekmeklik buğdayların bitki verimi, tane verimi ile Cd, campesterol, stigmasterol ve β-sitosterol konsantrasyonlarında ortaya çıkan değişimler Çizelge 1'de verilmiştir. Kontrol (Cd0) uygulamasına göre toprağa 20 mg kg⁻¹ (Cd20) Cd uygulaması ile çalışmada kullanılan üç farklı ekmeklik buğday çeşidinin hem bitki verimi hem de dane verimlerinde istatistiksel olarak (P<0.05) önemli düzeyde azalmaya neden olduğu ortaya çıkmıştır. Ortalama bitki verimi bakımından sonuçlar değerlendirildiğinde, Cd0 uygulamasının bitki verimi 8.88 g bitki⁻¹ iken, Cd20 dozunda bu değer 7.37 g bitki⁻¹'ye düşmüştür. Bitki verimi bakımından çeşitler arasında Cd uygulaması ile verimde azalma en fazla Osmaniyem (%27 azalma) çeşidinde olurken, Yunus (%9.25 azalma) ve Ceyhan-99 (%9.7 azalma) çeşitlerinde ortaya çıkan azalma daha az olmuştur (Çizelge 1). Bitki veriminde ortaya çıkan bu azalma tane veriminde de ortaya çıkmış, çeşitler arasında en fazla azalma bitki veriminde olduğu gibi Osmaniyem (%17.8 azalma) çeşidinde olmuş, Yunus (%8.1 azalma) ve Ceyhan-99 (%10.8 azalma) çeşitlerinde ortaya çıkan azalma ise daha az olmuştur (Çizelge 1). Yapılan çalışmalarda, Cd toksisitesinin, buğday bitkilerinin kök ve gövde uzunluklarını azalttığı buna bağlı olarak da hem kök hem de yeşil aksam kuru madde verimlerinde azalmalara neden olduğu bildirilmiştir (Cao ve ark., 2007; Ahmad ve ark., 2012; Jin ve ark., 2015). Topraktaki yüksek Cd konsantrasyonları, buğdayın sürgün, kök yaş ve kuru ağırlıklarında azalmaya neden olduğu (Ci ve ark., 2010; Riaz ve ark., 2014; Rizwan ve ark., 2016), toksik Cd'un buğdayın verim özelliklerini, koçan sayısını,

başak ağırlığını, başak uzunluğunu, başakçık sayısını ve tane verimini azalttığı bildirilmiştir (Khan ve ark., 2007). Bitkilerde Cd'nin fitotoksik

konsantrasyonlarının eşiği buğday genotiplerine, topraktaki Cd'a maruz kalma dozuna, süresine ve diğer faktörlere göre değişmektedir (Khan ve ark., 2007)..

Çizelge 1. Kadmiyum uygulamasının ekmeklik buğday çeşitlerinin bitki verimi, tane verimi ile Cd, campesterol, stigmasterol ve β -sitosterol konsantrasyonlarına etkisi

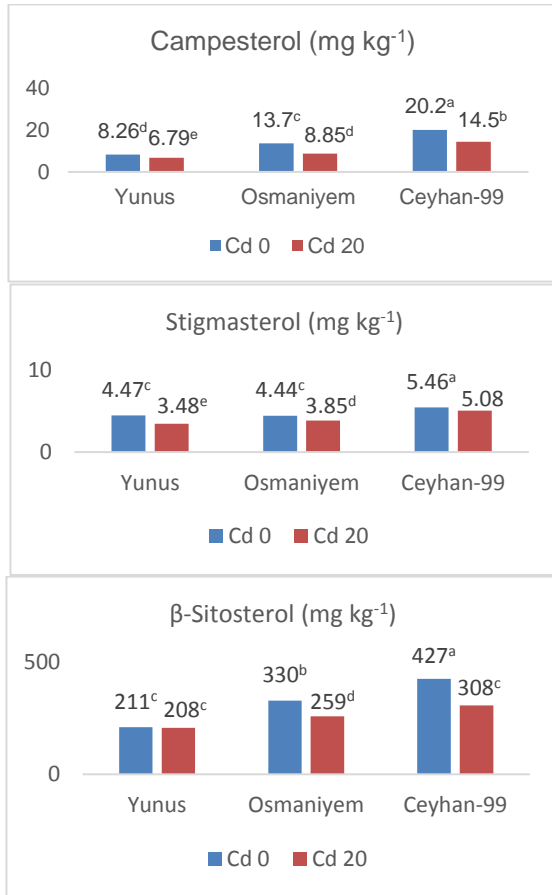
Çeşit	Cd Dozu (mg kg ⁻¹)	Bitki Verimi (g bitki ⁻¹)	Dane Verimi (g bitki ⁻¹)	Cd Konst. (μ g kg ⁻¹)	Campesterol (mg kg ⁻¹)	Stigmasterol (mg kg ⁻¹)	β -sitosterol (mg kg ⁻¹)
Yunus	0	8.21 ^b	2.60 ^{bc}	15.7 ^d	8.26 ^d	4.47 ^c	211 ^e
Osmaniyem	0	11.30 ^a	2.93 ^a	14.2 ^d	13.7 ^c	4.44 ^c	330 ^b
Ceyhan 99	0	7.13 ^{bc}	2.77 ^{ab}	10.6 ^d	20.2 ^a	5.46 ^a	427 ^a
Ortalama	0	8.88^A	2.77^A	13.5^B	14.0^A	4.79^A	323^A
Yunus	20	7.13 ^{bc}	2.39 ^c	3462 ^c	6.79 ^e	3.48 ^e	208 ^e
Osmaniyem	20	8.22 ^b	2.41 ^c	5412 ^a	8.85 ^d	3.85 ^d	259 ^d
Ceyhan 99	20	6.44 ^c	2.47 ^{bc}	4653 ^b	14.5 ^b	5.08 ^b	308 ^c
Ortalama	20	7.37^B	2.42^B	4509^A	10.0^B	4.14^B	258^B

Büyük harflerle gösterilen ortalamalar Cd uygulamaları, küçük harflerle gösterilen ortalamalar çeşit ve Cd dozu interaksyonu arasındaki duncan testini temsil etmektedir. Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiki olarak fark yoktur ($p < 0.05$).

Kadmiyum toprakta hareketli bir element olup, bitki kökleri tarafından kolayca alınıp yeşil aksam taşınmakta ve tanede birikebilmektedir (Moral ve ark., 2002). Yapılan çalışmalarda araştırmacılar topraktaki yüksek Cd konsantrasyonları ile yeşil aksam Cd konsantrasyonu arasında pozitif bir ilişkinin bulunduğu bildirilmiştir (Moral ve ark., 2002; Erdem ve ark., 2012). Toprağa Cd uygulaması ile çalışmada kullanılan üç buğday çeşidinin de tane Cd konsantrasyonlarında istatikselsel olarak ($P < 0.05$) önemli artışlar meydana gelmiştir (Çizelge 1). Tüm çeşitlerin Cd0 dozunda ortalama tane Cd konsantrasyonu 13.5 μ g kg⁻¹ iken, Cd20 dozunda bu değer 4509 μ g kg⁻¹'a çıkmıştır. Kontrol uygulaması altında Yunus çeşidinin tane Cd konsantrasyonu 15.7 μ g kg⁻¹'den Cd20 uygulamasında 3462 μ g kg⁻¹'e çıkmış, Osmaniyem çeşidinin ise Cd0 dozunda 14.2 μ g kg⁻¹ olan tane Cd konsantrasyonu Cd20 dozunda 5412 μ g kg⁻¹'e çıkmıştır (Çizelge 1). Elde ettiğimiz sonuçlara benzer şekilde, Erdem ve ark. (2012) ekmeklik (Bezostaja) ve makarnalık (Kızıltan) buğday çeşitlerine topraktan 0, 2.5 ve 10 mg kg⁻¹ Cd uygulaması ile, ekmeklik buğday çeşidinin yeşil aksam Cd konsantrasyonu Cd0 dozunda 0.14 mg kg⁻¹'den Cd10 dozunda 27.9 mg kg⁻¹'a, makarnalık buğday çeşidinde ise Cd0 dozunda 0.50 mg kg⁻¹ olan yeşil aksam Cd konsantrasyonu Cd10 dozunda 50.1 mg kg⁻¹'a çıktığını bildirmişlerdir. Hem verimdeki azalma hem de tane Cd konsantrasyon artışı bakımından çalışmada kullanılan çeşitler arasında Cd toksisitesinden en fazla etkilenen buğday çeşidinin Osmaniyem, en az etkilenen çeşit ise Yunus olduğu ortaya çıkmıştır. Ci ve ark. (2011) Cd'un kökten gövdeye taşınımı Cd'a toleranslı çeşitlerin Cd'a duyarlı çeşitlere kıyasla daha düşük olduğunu

bildirmişlerdir. Araştırmacılar bu sonuçların buğday çeşitleri arasında Cd toksisitesine karşı çeşitlerin farklı tolerans mekanizmalarında sahip olmalarından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Ağır metaller, zararlı işlevsel grupları (örneğin, fosfolipitlerin hidroksil grubu) ile etkileşime girerek bütünlüğünü bozmaktadır (Janicka-Russak ve ark., 2008). Sonuç olarak, Cd gibi ağır metal stresi altındaki bitkilerde lipidler, fosfolipidler, glikolipidler ve steroller önemli ölçüde azalmaktadır (Morsy ve ark., 2012). Önceki yapılan çalışmalar ile uyumlu olarak, Cd20 uygulaması ile ekmeklik buğday çeşitlerinin sterol konsantrasyonlarında istatikselsel olarak önemli ($P < 0.05$) azalmaya neden olduğu ortaya çıkmıştır (Çizelge 1, Şekil 1). Çeşitlerin kontrol koşullarında ortalama campesterol, stigmasterol ve β -sitosterol konsantrasyonları sırası ile 14, 4.79 ve 323 mg kg⁻¹ iken bu durum Cd20 dozu uygulaması altında sırası ile ortalama 10, 4.14 ve 258 mg kg⁻¹'a düşmüştür (Çizelge 1). Yunus çeşidinin Cd0 dozundaki tane campesterol konsantrasyonu 8.26 mg kg⁻¹ iken Cd20 dozunda bu değer 6.79 mg kg⁻¹'a düşmüş, Osmaniyem çeşitinde ise 13.7 mg kg⁻¹ olan kontrol uygulamasının tane campesterol konsantrasyonu Cd20 dozunda 8.85 mg kg⁻¹'a düşmüştür (Çizelge 1, Şekil 1). Sonuçlardan da görüleceği gibi Cd uygulaması ile tane campesterol konsantrasyonunda en fazla azalma Osmaniyem (%35.4 azalma) çeşidinde meydana gelirken en az azalma ise Yunus (%17.8 azalma) meydana gelmiştir. Toprağa 20 mg kg⁻¹ dozunda Cd uygulaması ile ekmeklik buğday çeşitlerinin campesterol konsantrasyonlarında ortaya çıkan azalmaya benzer şekilde tane stigmasterol konsantrasyonlarında da istatikselsel olarak ($P < 0.05$) önemli azalmaya neden olmuştur. Stigmasterol konsantrasyonu bakımından

çeşitler arasında en fazla azalma Yunus (%22 azalma) ve Osmaniyem (%13 azalma), en az ise Ceyhan-99 (%6 azalma) çeşidinde olmuştur (Çizelge 1, Şekil 1). Morsy ve ark. (2012) ağır metal ile kirlenmiş ve kirlenmemiş iki farklı toprakta yetiştirdiği kapari bitkisinin tohumunda belirlediği toplam sterol konsantrasyonunun kirlenmemiş toprakta 0.67 nmol g^{-1} iken kirli toprakta ise 0.35 nmol g^{-1} 'a düştüğünü bildirmiştir.



Şekil 1. Toprağa Cd uygulamasının ekmeklik buğday çeşitlerinin tane campesterol, stigmasterol ve β-sitosterol konsantrasyonlarına etkileri

Elde ettiğimiz sonuçlara benzer şekilde bakır ve kadmiyum stresinin bezelye (Quartacci ve ark., 2000), biber (Jemal ve ark., 2000) ve hıyarda (Janicka-Russak ve ark., 2008) toplam lipid, fosfolipid, glikolipid ve sterol konsantrasyonlarını azalttığı bildirilmiştir. Sterollerin bir fraksiyonu olan β-sitosterol'lerin ise bitki membranlarını güçlendirdiği, hücre zarında bulunan fosfolipid çift katmanın su geçirgenliğini düzenlediği bildirilmiştir (Nes, 2003; Schaller, 2004; Banas ve ark., 2005). Toprağa Cd uygulaması ile ekmeklik buğday çeşitlerinin β-sitosterol konsantrasyonlarında istatistiksel olarak önemli ($P < 0.05$) azalmaya neden olmuş, Osmaniyem çeşidinin Cd0 dozunda 330 mg kg^{-1} olan β-sitosterol konsantrasyonu Cd20 dozunda 259 mg kg^{-1} 'a düşmüş, Yunus çeşidinin ise 211 mg kg^{-1} olan Cd0 dozundaki β-sitosterol konsantrasyonu, Cd20 dozunda 208 mg kg^{-1} 'a düşmüştür (Çizelge 1, Şekil 1). Ortaya çıkan sonuçlar, çeşitler arasında en fazla azalmanın Osmaniyem (%21.4 azalma) ve Ceyhan-99 (%27.9 azalma) çeşitlerinde olduğunu, Yunus çeşidinde ise istatistiksel olarak bir değişimin görülmediğini ortaya koymuştur. Ros ve ark. (1992) ve Fodor ve ark. (1995), ağır metal stresi altında büyüyen bitkilerin zarındaki yağ asidi doygunluğunun arttığını, buna karşılık sterol seviyesinin önemli ölçüde azaldığını bildirmişlerdir. Kadmiyum, bitkilerin mineral besin elementleri konsantrasyonunu ve fonksiyonlarını etkileyerek fizyolojik süreçleri ve biyokimyasal mekanizmaları etkileyebilir (Khan ve ark., 2009). Yapılan çalışmalarda, yetiştirme ortamında bulunan yüksek Cd dozları, buğday beslenmesini bozarak bitkinin dokularındaki besin oranlarını değiştirmektedir (Ouzounidou ve ark., 1997; Rizwan ve ark., 2016). Yapılan çalışmalar ile uyumlu olarak, kontrol koşullarına göre toprağa 20 mg kg^{-1} dozunda Cd uygulaması ile ekmeklik buğday çeşitlerinin tane azot (N), fosfor (P), potasyum (K), çinko (Zn) ve demir (Fe) konsantrasyonlarında istatistiksel olarak önemli azalmaya neden olduğu ortaya çıkmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Kadmiyum uygulamasının ekmeklik buğday çeşitlerinin tane N, P, K, Zn ve Fe konsantrasyonlarına etkisi

Çeşit	Cd Dozu (mg kg ⁻¹)	N (%)	P (%)	K (%)	Zn (mg kg ⁻¹)	Fe(mg kg ⁻¹)
Yunus	0	2.26 ^b	0.44 ^a	0.65 ^a	42.0 ^a	73.5 ^a
Osmaniyem	0	2.67 ^a	0.42 ^a	0.59 ^b	30.5 ^b	45.3 ^b
Ceyhan 99	0	2.91 ^a	0.29 ^{bc}	0.50 ^c	22.1 ^c	32.5 ^d
Ortalama	0	2.61^A	0.38^A	0.58^A	31.5^A	50.4^A
Yunus	20	1.73 ^d	0.42 ^a	0.61 ^{ab}	31.9 ^b	41.8 ^{bc}
Osmaniyem	20	1.84 ^{cd}	0.34 ^b	0.48 ^c	29.0 ^b	37.0 ^{cd}
Ceyhan 99	20	1.98 ^c	0.25 ^c	0.47 ^c	19.7 ^c	32.6 ^d
Ortalama	20	1.85^B	0.34^B	0.52^B	26.9^B	37.1^B

Büyük harflerle gösterilen ortalamalar Cd uygulamaları, küçük harflerle gösterilen ortalamalar çeşit ve Cd dozu interaksiyonu arasındaki Duncan testini temsil etmektedir. Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak fark yoktur ($p < 0.05$).

Kadmiyum 0 mg kg⁻¹ dozunda çeşitlerin ortalama N konsantrasyonları %2.61 iken Cd20 dozunda bu değer %1.85'e düşmüş, çeşitler arasında en fazla azalma Osmaniye (%31.1 azalma) ile Ceyhan-99 (%31.9 azalma), en az azalma ise Yunus (%23.4 azalma) çeşidinde olduğu ortaya çıkmıştır (Çizelge 1). Kadmiyum toksisitesine sahip topraklarda yetiştirilen bitkilerde ortaya çıkan N noksanlığının sebebinin, Cd'un kök bölgesinde nitrat redüktaz aktivitesini engelleyerek nitratın absorpsiyonunu azaltmasından kaynaklandığı bildirilmiştir (Borchard ve ark., 2014; Hernández ve ark., 1996). Bununla birlikte toprağa toksik Cd uygulaması ile çeşitlerin sterol konsantrasyonlarındaki azalmanın tane N konsantrasyonlarındaki düşüş ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Bunun nedeninin ise bitki sterollerinin serbest hidroksil grubu protein ve fosfolipidler arasındaki interaksiyonu sağlayan önemli bileşeni olması (Piironen ve ark., 2000) ve dolayısı ile azalan N konsantrasyonu sonucu sterol sentezinin de azalmasına neden olduğu düşünülmektedir. Tane P, K, Zn ve Fe konsantrasyonları da N'da olduğu gibi toprağa Cd uygulaması ile önemli düzeyde azalmıştır. Kontrol uygulamasının ortalama tane P, K, Zn ve Fe konsantrasyonları sırası ile %0.38, %0.58, 31.5 mg kg⁻¹, 50.4 mg kg⁻¹ iken Cd 20 dozu uygulaması ile bu değerler sırası ile %0.34, %0.52, 26.9 mg kg⁻¹ ve 37.1 mg kg⁻¹'a düşmüştür (Çizelge 2). Ouzounidou ve ark. (1997) Cd toksisitesinin, buğday bitkisinin yeşil aksam Fe, Mg, Ca ve K konsantrasyonlarını azalttığını bildirmişlerdir. Benzer şekilde Jalil ve ark. (1994) toksik Cd'un, buğday bitkisinin hem kök hem de sürgünlerindeki K, Zn ve Mn konsantrasyonunu azalttığını bildirmişlerdir. Buğday bitkisinin Cd'un toksik etkisinden dolayı besin elementleri konsantrasyonlarında ortaya çıkan bu azalma, Cd'nin bitkiler tarafından kök yüzeyinde alımı sırasında besinlerle rekabete girmesi ya da kök yüzeyindeki besin elementlerinin alımı ve/veya diğer elementlerin buğdayın toprak üstü kısmına yüklenmesini sağlayan taşıyıcıları/kanalları engellemesinden kaynaklandığı bildirilmiştir (Ci ve ark., 2009).

Sonuç ve Öneriler

Küresel ölçekte insan beslenmesinin en önemli besin kaynaklarından biri de ekmeklik buğdaydır. Elde edilen sonuçlar, Cd toksisitesinin buğdayın büyümesini ve verimini önemli düzeyde azalttığı, bununla beraber insan sağlığı için çok önemli sterol fraksiyonları olan campesterol, stigmasterol ve β -

sitosterol konsantrasyonları ile bitki besin elementleri konsantrasyonlarını azaltmıştır. Bununla beraber çalışmada test edilen üç farklı ekmeklik buğday çeşidi arasında bitki verimi, tane verimi ile tane Cd ve sterol konsantrasyonu bakımından Cd toksisitesine karşı toleranslı çeşidin Yunus, hassas olan çeşidin ise Osmaniye olduğu görülmüştür.

Çıkar çatışması

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Yazarların katkı beyanı

HE: Denemenin kurulması ve yürütülmesi, bitki analizleri, araştırma sonuçlarının değerlendirilmesi, istatistiksel analizleri ile makale yazımı.

Kaynaklar

- Abbas, G., Saqib, M., Akhtar, J., & Murtaza, G. (2017). Physiological and biochemical characterization of *Acacia stenophylla* and *Acacia albida* exposed to salinity under hydroponic conditions. *Canadian Journal of Forest Research*, 47(9), 1293-1301.
- Abbas, S. Z., Rafatullah, M., Ismail, N., & Lalung, J. (2014). Isolation, identification, and characterization of cadmium resistant *Pseudomonas* sp. M3 from industrial wastewater. *Journal of Waste Management*, 2014, 1-6.
- Ahmad, I., Akhtar, M. J., Zahir, Z. A., & Jamil, A. (2012). Effect of cadmium on seed germination and seedling growth of four wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Pak. J. Bot.*, 44(5), 1569-1574.
- Anonim, (2023a). Tekirdağ Ticaret Borsası. Erişim linki: http://www.tdag-ticbor.org.tr/tr/beyaz_1. Erişim tarihi: 02.01.2023
- Anonim, (2023b). Tekfen Tarım. Erişim linki: <https://www.tekfentarim.com/osmaniye-ekmeklik-bugday/>. Erişim tarihi: 02.02.2023
- AOAC. (2000). *Association of Official Analytical Chemists* (13th edition ed.).
- Aydoğan, S. (2016). Kuru ve sulu yetiştirme şartlarının ekmeklik buğday çeşitlerinin verim ve kalitesine etkisinin belirlenmesi (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü). *Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, sayfa*, 50-53.
- Banas, A., Carlsson, A. S., Huang, B., Lenman, M., Banas, W., Lee, M., Noiriél, A., Benveniste, P., Schaller, H., & Bouvier-Navé, P. (2005). Cellular sterol ester synthesis in plants is performed by an enzyme (phospholipid: sterol acyltransferase) different from the yeast and mammalian acyl-CoA: sterol

- acyltransferases. *Journal of Biological Chemistry*, 280(41), 34626-34634.
- Benveniste, P. (2004). Biosynthesis and accumulation of sterols. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 55, 429-457.
- Bojórquez, C., Frías Espericueta, M. G., & Voltolina, D. (2016). Removal of cadmium and lead by adapted strains of *Pseudomonas aeruginosa* and *Enterobacter cloacae*. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 32(4), 407-412.
- Borchard, N., Siemens, J., Ladd, B., Möller, A., & Amelung, W. (2014). Application of biochars to sandy and silty soil failed to increase maize yield under common agricultural practice. *Soil and Tillage Research*, 144, 184-194.
- Bremner, J. (1965). Total nitrogen. *Methods of soil analysis: part 2 chemical and microbiological properties*, 9, 1149-1178.
- Cao, Q., Hu, Q.-H., Khan, S., Wang, Z.-J., Lin, A.-J., Du, X., & Zhu, Y.-G. (2007). Wheat phytotoxicity from arsenic and cadmium separately and together in solution culture and in a calcareous soil. *Journal of hazardous materials*, 148(1-2), 377-382.
- Chellaiah, E. R. (2018). Cadmium (heavy metals) bioremediation by *Pseudomonas aeruginosa*: a minireview. *Applied water science*, 8(6), 154.
- Ci, D., Jiang, D., Dai, T., Jing, Q., & Cao, W. (2009). Effects of cadmium on plant growth and physiological traits in contrast wheat recombinant inbred lines differing in cadmium tolerance. *Chemosphere*, 77(11), 1620-1625.
- Ci, D., Jiang, D., Liu, F., Dai, T., & Cao, W. (2011). Comparisons of cadmium tolerance and accumulation at seedling stage in wheat varieties grown in different decades in China. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33, 1811-1819.
- Ci, D., Jiang, D., Wollenweber, B., Dai, T., Jing, Q., & Cao, W. (2010). Cadmium stress in wheat seedlings: growth, cadmium accumulation and photosynthesis. *Acta Physiologiae Plantarum*, 32, 365-373.
- Erdem, H., Tosun, Y. K., & Ozturk, M. (2012). Effect of cadmium-zinc interactions on growth and Cd-Zn concentration in durum and bread wheats. *Fresenius Environ Bull*, 21(5), 1046-1051.
- Fodor, E., Szabó-Nagy, A., & Erdei, L. (1995). The effects of cadmium on the fluidity and H⁺-ATPase activity of plasma membrane from sunflower and wheat roots. *Journal of plant physiology*, 147(1), 87-92.
- Gallego, S. M., Pena, L. B., Barcia, R. A., Azpilicueta, C. E., Iannone, M. F., Rosales, E. P., Zawoznik, M. S., Groppa, M. D., & Benavides, M. P. (2012). Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: insight into regulatory mechanisms. *Environmental and Experimental Botany*, 83, 33-46.
- Hermans, C., Chen, J., Coppens, F., Inzé, D., & Verbruggen, N. (2011). Low magnesium status in plants enhances tolerance to cadmium exposure. *New phytologist*, 192(2), 428-436.
- Hernández, L., Ramos, I., Carpena-Ruiz, R., Lucena, J., & Gárate, A. (1996). Effect of cadmium on the distribution of micronutrients in *Lactuca* spp., maize and pea plants. *Fertilizers and Environment: Proceedings of the International Symposium "Fertilizers and Environment"*, held in Salamanca, Spain, 26-29, September, 1994.
- Jali, P., Pradhan, C., & Das, A. B. (2016). Effects of cadmium toxicity in plants: a review article. *Sch. Acad. J. Biosci*, 4(12), 1074-1081.
- Jalil, A., Selles, F., & Clarke, J. (1994). Effect of cadmium on growth and the uptake of cadmium and other elements by durum wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 17(11), 1839-1858.
- Janicka-Russak, M., Kabała, K., Burzyński, M., & Kłobus, G. (2008). Response of plasma membrane H⁺-ATPase to heavy metal stress in *Cucumis sativus* roots. *Journal of Experimental Botany*, 59(13), 3721-3728.
- Jemal, F., Zarrouk, M., & Ghorbal, M. (2000). Effect of cadmium on lipid composition of pepper. In: Portland Press Ltd.
- Jin, C., Fan, J., Liu, R., & Sun, R. (2015). Single and joint toxicity of sulfamonomethoxine and cadmium on three agricultural crops. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 24(4), 454-470.
- Kacar, B., & İnal, A. (2008). Bitki Analizleri Kitabı Nobel Yayınları. 1241: 120-164. In: Ankara.
- Khan, N., Anjum, N., Nazar, R., & Iqbal, N. (2009). Increased activity of ATP-sulfurylase and increased contents of cysteine and glutathione reduce high cadmium-induced oxidative stress in mustard cultivar with high photosynthetic potential. *Russian Journal of Plant Physiology*, 56, 670-677.
- Khan, N., Samiullah, Singh, S., & Nazar, R. (2007). Activities of antioxidative enzymes, sulphur assimilation, photosynthetic activity and growth of wheat (*Triticum aestivum*) cultivars differing in yield potential under cadmium stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 193(6), 435-444.
- Moral, R., Cortés, A., Gomez, I., & Mataix-Beneyto, J. (2002). Assessing changes in Cd phytoavailability to tomato in amended calcareous soils. *Bioresource technology*, 85(1), 63-68.

- Morsy, A. A., Ali Salama, K. H., Kamel, H. A., & Fahim Mansour, M. M. (2012). Effect of heavy metals on plasma membrane lipids and antioxidant enzymes of *Zygophyllum* species. *Eurasian Journal of Biosciences*, 6.
- Nes, W. D. (2003). Enzyme mechanisms for sterol C-methylations. *Phytochemistry*, 64(1), 75-95.
- Ouzounidou, G., Moustakas, M., & Eleftheriou, E. (1997). Physiological and ultrastructural effects of cadmium on wheat (*Triticum aestivum* L.) leaves. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 32, 154-160.
- Piironen, V., & Lampi, A.-M. (2004). Occurrence and levels of phytosterols in foods. *Phytosterols as functional food components and nutraceuticals*, 1-32.
- Piironen, V., Lindsay, D. G., Miettinen, T. A., Toivo, J., & Lampi, A. M. (2000). Plant sterols: biosynthesis, biological function and their importance to human nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(7), 939-966.
- Quartacci, M. F., Pinzino, C., Sgherri, C. L., Dalla Vecchia, F., & Navari-Izzo, F. (2000). Growth in excess copper induces changes in the lipid composition and fluidity of PSII-enriched membranes in wheat. *Physiologia Plantarum*, 108(1), 87-93.
- Quilez, J., Garcia-Lorda, P., & Salas-Salvado, J. (2003). Potential uses and benefits of phytosterols in diet: present situation and future directions. *Clinical Nutrition*, 22(4), 343-351.
- Riaz, S., Iqbal, M., Hussain, I., Rasheed, R., Ashraf, M. A., Mahmood, S., Younas, M., & Iqbal, M. Z. (2014). Chronic cadmium induced oxidative stress not the DNA fragmentation modulates growth in spring wheat (*Triticum aestivum*). *Int J Agric Biol*, 16(4), 789-794.
- Rizwan, M., Ali, S., Abbas, T., Zia-ur-Rehman, M., Hannan, F., Keller, C., Al-Wabel, M. I., & Ok, Y. S. (2016). Cadmium minimization in wheat: a critical review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 130, 43-53.
- Rogowska, A., & Szakiel, A. (2020). The role of sterols in plant response to abiotic stress. *Phytochemistry Reviews*, 19(6), 1525-1538.
- Ros, R., Cook, D. T., Martinez-Cortina, C., & Picazo, I. (1992). Nickel and cadmium-related changes in growth, plasma membrane lipid composition, ATPase hydrolytic activity and proton-pumping of rice (*Oryza sativa* L. cv. Bahia) shoots. *Journal of Experimental Botany*, 43(11), 1475-1481.
- Schaller, H. (2004). New aspects of sterol biosynthesis in growth and development of higher plants. *Plant physiology and biochemistry*, 42(6), 465-476.
- Shanmugaraj, B. M., Malla, A., & Ramalingam, S. (2019). Cadmium stress and toxicity in plants: an overview. *Cadmium toxicity and tolerance in plants*, 1-17.
- Shimada, T. L., Ueda, T., & Hara-Nishimura, I. (2021). Excess sterol accumulation affects seed morphology and physiology in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Signaling & Behavior*, 16(4), 1872217.
- Simons, K., & Sampaio, J. L. (2011). Membrane organization and lipid rafts. *Cold Spring Harbor perspectives in biology*, 3(10), a004697.
- Taşan, M., (2008). Tahıl ve Ürünlerinde Fitosteroller. Türkiye 10. Gıda Kongresi. 21-23 Mayıs 2008, s 399-402, Erzurum.
- Valitova, J. N., Sulkarnayeva, A. G., & Minibayeva, F. (2016). Plant sterols: diversity, biosynthesis, and physiological functions. *Biochemistry (Moscow)*, 81, 819-834.
- Vriet, C., Russinova, E., & Reuzeau, C. (2013). From squalene to brassinolide: the steroid metabolic and signaling pathways across the plant kingdom. *Molecular plant*, 6(6), 1738-1757.