

Kadmiyum Stresindeki Tahıl Türlerinin Besin Elementi Alımında Organik Gübrelerin Rolü

Nurdilek GÜLMEZOĞLU¹, İmren KUTLU^{2*}, Ferdi SAĞIR³

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Eskişehir, TÜRKİYE


²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Eskişehir, TÜRKİYE

³T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Tarla Bitkileri Bölümü, Eskişehir, TÜRKİYE

Geliş Tarihi/Received: 29.12.2023

Kabul Tarihi/Accepted: 26.03.2024

ORCID ID (Yazar sırasına göre / by author order)

 orcid.org/0000-0002-5756-526X  orcid.org/0000-0002-3505-1479  orcid.org/0000-0002-8731-7814

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: ikutlu@ogu.edu.tr

Öz: Organik (yarasa gübresi, vermikompost ve yaprak kompost) ve mineral gübrelemenin, kadmiyum (Cd) koşullarında uygulanmasının sekiz tahıl çeşidinin (2 ve 6 sıralı arpa, tritordeum, ekmeçlik ve makarnalık buğday, tritikale, çavdar ve yulaf) erken gelişme döneminde besin elementi [azot (N), fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), çinko (Zn), demir (Fe), bakır (Cu), mangan (Mn) ve Cd] alımına ve kuru madde miktarına etkilerini incelemek için bu araştırma yürütülmüştür. Bitkiler faktöriyel deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak kontrollü koşullarda, üç yapraklı döneme kadar yetiştirilmiştir. Tohum ekimi öncesi gübreler ve Cd toprağa uygulanmıştır. Gübrelerin bitki kuru ağırlığı ve besin elementi alımını artırma etkisi geleneksel gübreleme > yarasa gübresi > vermikompost > yaprak kompostu olarak sıralanmıştır. Tahıl türlerinde P ve Zn alımının makarnalık buğdayda, diğer besin elementlerinin ve kuru madde miktarının arpa çeşitlerinde en fazla olduğu belirlenmiştir. Besin elementlerini en az alan tahıl türünün ise tritordeum olduğu görülmüştür. Mineral gübreleme yapılan tahıl türlerinde Cd uygulanması ile Cd alımı artarken, yaprak kompostunun, en az Cd birikimine yol açtığı belirlenmiştir. Araştırma sonuçları, özellikle mineral gübrelerin Cd ile kirlenmiş topraklarda, tahıl bitkilerinin yüksek miktarda Cd alımına yol açtığı, yaprak kompostunun, Cd alımını azaltmada etkili olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kadmiyum stresi, kompost, tahıllar, vermikompost, yarasa gübresi

The Role of Organic Fertilizers in Nutrient Uptake of Cereal Species Under Cadmium Stress

Abstract: The effects of organic (bat manure, vermicompost, and compost) and mineral fertilization on the nutrients [nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), zinc (Zn), iron (Fe), copper (Cu), manganese (Mn), and cadmium (Cd)] uptake and dry matter content of eight cereals (two and six row barley, tritordeum, bread and durum wheat, triticale, rye, and oat) were examined under Cd conditions. The plants were grown in controlled conditions in three replications according to the factorial trial design until the three-leaf stage. Fertilizers and Cd were applied to the soil before seed planting. The impact of fertilizers on plant dry weight and nutrient uptake is presented in descending order: mineral fertilization > bat manure > vermicompost > compost. Among different cereal types, durum wheat had the highest uptake of P and Zn, while barley varieties had the highest amount of other nutrients and dry matter. Tritordeum was found to have the lowest nutrient content among the cereal types. The research results indicate that Cd accumulation increased with the application of Cd in cereals that received mineral fertilization. However, compost caused the least Cd accumulation. It has been shown that mineral fertilizers, especially in Cd-polluted soils, cause high amounts of Cd uptake by plants. On the other hand, compost is effective in reducing Cd uptake by plants.

Keywords: Cadmium stress, compost, cereals, vermicompost, bat guano

1. Giriş

Ağır metallerle toprağın kirlenmesi bitkisel üretimi büyük ölçüde etkilemektedir (Rizwan ve ark., 2016). Ağır bir metal olan kadmiyum (Cd), bitkiler ve insanlar için gerekli besin elementi olmadığından, bitki büyümesi ve insan sağlığı açısından toksik bir metaldir. Gıda zinciri yoluyla, Cd insan vücudunda birikerek insan sağlığı açısından ciddi tehlikelere yol açabilmektedir (Alengebawy ve ark., 2021). Tarım topraklarının Cd kirliliği, gübreleme, atık suyla sulama ve endüstriyel madencilik gibi antropojenik faaliyetler yoluyla meydana gelir. Kadmiyum içeren fosfatlı gübrelerin kullanılması, toprak ve su ekosistemindeki Cd seviyesinin yükselmesinde oldukça önemli bir rol oynar (Ozyazıcı ve ark., 2017; Kubier ve Pichler, 2019; Özyazıcı ve ark., 2019; Rahimi ve ark., 2020). Üstelik gübrelerin eklenmesi toprak biyotasını ve mikrobiyal topluluğu etkileyerek toprak kimyasını değiştirmektedir (Bigalke ve ark., 2017).

Günümüz tarım sektörü, hem gıda güvenliği hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir dengeyi sürdürme ihtiyacıyla karşı karşıyadır. Bu dengeyi sağlamanın bir yolu olarak organik gübre kullanımına başvurulabilmektedir. Organik gübreler, kimyasal gübrelerin kullanımını minimize ederek veya etkinliğini artırarak doğal kaynakların daha verimli ve dengeli bir şekilde kullanılmasını teşvik ederken, aynı zamanda toprak kalitesini ve biyo-çeşitliliği korumayı da amaçlamaktadır. Ancak, organik gübrelerin, bitkilerin besin elementi alımına olan etkilerinin yanı sıra ağır metaller gibi toprak kaynaklı kirleticilerin bitkiler tarafından alınmasını nasıl etkileyeceği araştırmacıların dikkatini çeken önemli bir konudur (Khaitov ve ark., 2019; Alam ve ark., 2020).

Organik gübrelerin Cd içerip içermediği, kullanılan hammaddelere, üretim sürecine ve kaynaklara bağlı olarak değişebilmektedir. Organik gübreler, genellikle doğal kaynaklardan elde edilen malzemelerden üretilir ve kimyasal sentez veya endüstriyel işlemler içermemektedir. Ancak, organik gübrelerin üretildiği hammaddelerin kökenine ve işleme yöntemlerine bağlı olarak Cd veya diğer ağır metallerin yanı sıra bazı sağlık riski oluşturan etmenleri içerebilir (Kominko ve ark., 2019). Özellikle hayvan gübreleri, önemli bir organik gübre bileşeni olup, bu gübrelerin Cd içerme olasılığı vardır (Martin ve Griswold, 2009). Çünkü hayvanlar, yedikleri yemlerden veya topraktan Cd ve diğer ağır metalleri vücutlarına alabilirler. Bu nedenle, hayvan gübreleri organik gübrelerin üretiminde kullanıldığında, içlerinde Cd bulunabilir.

Organik gübrelerden yarasa guano yatağının doğal bulunabilirliği ve yüksek fosfor (P) içeriğine sahip olması nedeniyle küresel ölçekte organik tarım sektöründe fosforlu gübre kaynağının bir seçeneğini oluşturabilmektedir. Aynı zamanda, solucanların ve onlarla ilişkili mikroorganizmaların ortak faaliyetleriyle üretilen vermikompost umut verici bir organik gübre türünü temsil etmektedir. Bitkilerde mevcut minerallerin zengin bir kaynağı ve etkili bitki büyümesini teşvik edici madde olarak vermikompost uygulanması tercih edilmektedir (Karlsons ve ark., 2016; Biçer ve Özyazıcı, 2020; Ozyazıcı ve Turan, 2021). Ancak vermikompost genellikle mineral besin bileşimi açısından dengeli değildir (Srivastava ve ark., 2012). Kompost gibi organik gübrelerin uygulanmasının topraktaki ağır metal kirliliğini iyileştirebileceği rapor edilmiştir (Rani ve Singh, 2022). Organik gübre olarak kompost yüksek gübreleme potansiyeline sahip olmalı ancak ağır metaller ve patojen içermemelidir. Tarımda uygulanması için düşük ağır metal kirliliğine sahip yüksek kaliteli kompost üretimi bir zorunluluktur. Kompostlamanın potansiyel olarak toksik elementlerin biyolojik olarak giderilmesinde etkili olduğu gösterilmiştir (Das ve ark., 2016).

Tahıllar, dünya nüfusunun temel gıda kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Aynı zamanda toprak kaynaklı kirleticilerin, tahıllar tarafından alınması ile insan sağlığını etkileyen önemli bir bitki grubunu temsil etmektedir (Yang ve ark., 2022). Kadmiyum, toprak, su ve hava kaynaklı yollarla tahıllara geçebilmektedir (Robson ve ark., 2014). Tahıllarda Cd alımı ve taşınmasının yolları benzer olmasına rağmen, Cd birikimi bitki türleri arasında büyük farklılıklar göstermektedir. Tahıl tanelerindeki Cd konsantrasyonları kardeşlenme aşaması başta olmak üzere büyüme aşamaları arasında da büyük farklılıklar göstermektedir (Ni ve ark., 2020). Topraktaki yüksek Cd seviyelerinin, metallerin birbirleriyle rekabeti nedeniyle besin elementlerinin [örneğin; çinko (Zn), demir (Fe) ve magnezyum (Mg)] kökler tarafından taşınmasını etkilediği bulunmuştur (Khaliq ve ark., 2019). Arpada 1.0 µM Cd, köklerdeki besin elementlerinin içeriğini önemli ölçüde azaltmıştır (Guo ve ark., 2007). Çeltik topraklarındaki Cd varlığı, toprak reaksiyonu, organik madde, kil mineralleri, redoks potansiyeli, kation değişim kapasitesi, toprak mikroorganizmaları ve gübre uygulaması dahil olmak üzere çok sayıda faktörden etkilenmiştir (Hussain ve ark., 2021). Tarımsal ürünlerdeki Cd konsantrasyonlarının en aza indirilmesi ve tahıl tanelerinin Cd içeriğini azaltmak için etkili stratejilerin araştırılmasına ihtiyaç vardır.

Doğru gübre uygulaması, tahıllarda Cd alımını ve birikimini etkili bir şekilde azaltabilir. Pek çok mineral gübrenin, kısmen Zn, Fe, mangan (Mn), silisyum ve selenyum gibi mikro besin elementleri de dahil olmak üzere aynı taşıma sistemi nedeniyle tahıllarda Cd alımını ve birikimini etkili bir şekilde azalttığı rapor edilmiştir (Hussain ve ark., 2021). Tarlada farklı gübrelerin bir arada uygulanması, tahıllarda Cd birikiminin azaltılmasında daha etkili olabilir. Organik gübreler toprak verimliliğini artırmasının yanı sıra ağır metaller ile kirlenmiş toprakları iyileştirmek için de kullanılabilir. Organik gübrelerin toprağa eklenmesi kirleticilerin biyoyararlılığını azaltan çökeltme, kompleksleşme, adsorpsiyon ve absorpsiyon gibi doğal mekanizmaları güçlendirmenin bir yoludur (Perez-de-Mora ve ark., 2007). Üstelik organik gübreler, kirleticileri bağlayarak, besin maddelerini artırarak ve yerli mikrobiyal topluluğu uyararak kirliliği toprakta bitki yetiştirme olanağı sağlar (Oldare ve ark., 2011). Toprak çözeltisinde Cd ile çeşitli komplekslerin oluşması nedeniyle kadmiyumun biyoyararlılığı toprak organik maddesinden etkilenmektedir. Kadmiyumun biyoyararlılığı toprak organik madde kaynağına, konsantrasyonuna ve kimyasal formlarına bağlıdır. Ek olarak toprak organik maddesi içeriğinin, Cd bağlamasına doğrudan etkisi vardır. Kirkham (2006), yüksek organik madde içeren toprakların, mineral topraklardan 30 kat daha fazla Cd tutma potansiyeline sahip olduğunu bildirmiştir. Organik gübreler üzerine bazı çalışmalar yapılmış olmasına rağmen, kadmiyumun tahıl türlerindeki alım farklılıklarının ve Cd stresini azaltarak tahıl gelişiminin iyileştirilmesindeki rolünün araştırılmasına hala ihtiyaç vardır. Bu çalışmada bazı organik gübreler ile geleneksel gübrelemenin Cd stresi altında farklı tahıl türlerinin besin elementi alımı arasındaki farklar araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Araştırmada bitkisel materyal olarak kullanılan 8 tahıl çeşidi [2 sıralı arpa (Hilal), 6 sıralı arpa (Bayrak), ekmeçlik buğday (Kayra), makarnalık buğday (Şölen), yulaf (Albatros), tritikale (Ege Yıldızı), çavdar (Aslım) ve tritordeum (makarnalık buğday) ile yabancı arpa *Hordeum chilense*'nin melezlenmesiyle elde edilen bir hat)], Eskişehir Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan organik ticari gübrelerin (katı yarasa gübresi, yaprak kompostu ve vermikompost) içerikleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde, organik gübrelerin besin elementi içeriklerinin birbirlerinden oldukça farklı oldukları görülmektedir. Yarasa gübresinin P ve Fe içeriği diğer organik gübrelerden yüksek iken, yaprak kompostunun Zn içeriği en yüksek olarak belirlenmiştir. Kadmiyum içeriği sadece yarasa gübresinde az miktarda belirlenmiştir (Tablo 1).

Araştırma toprağı kumlu tınlı, tuzsuz, hafif alkali karakterde olup, kireç içeriğinin "orta kireçli", organik madde kapsamının "çok az", toplam N miktarı "az", P₂O₅ miktarının "çok az", K₂O miktarı "yeterli", Fe içeriği orta, Mn, Zn ve Cd içeriğinin az, Cu içeriğinin ise yeterli düzeyde olduğu saptanmıştır (Tablo 2). Çalışmada, Cd uygulamaları için kadmiyum sülfat hidrat (3CdSO₄.8H₂O; Merck 845500) kullanılmıştır.

Araştırma tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak iklim odasında kontrollü koşullarda (ışık/karanlık: 16/8 saat, ışık: 10 Klux, nem % 60-70 ve sıcaklık: 22-25 °C) yürütülmüştür. Üç litrelik plastik saksılara, hava kuru 4 mm'lik elekten geçirilen ve özellikleri Tablo 2'de verilen 2 kg toprak doldurulmuştur. Ekim öncesi, sadece geleneksel (mineral) gübre

Tablo 1. Araştırmada kullanılan organik gübrelerin içerikleri

Table 1. Contents of organic fertilizer used in research

Özellikler	Birim	Yarasa gübresi	Yaprak kompostu	Vermikompost
pH		5.2	7.1	8.1
Elektriksel iletkenlik (EC)	%	7.32	4.35	4.05
HA+FA	%	5.82	28	26.41
Organik madde	%	37.61	42.50	42.13
Toplam azot (N)	%	1.87	2.18	0.05
P	%	9.27	0.74	0.48
Potasyum (K)	%	2.74	0.83	0.76
Kalsiyum (Ca)	%	8.3	3.6	7.4
Mg	%	0.25	1.0	1.44
Fe	mg kg ⁻¹	31510	8189	65.65
Bakır (Cu)	mg kg ⁻¹	17.2	218	39.21
Mn	mg kg ⁻¹	1958	326.7	386.4
Zn	mg kg ⁻¹	37.3	206.4	102.3
Sodyum (Na)	mg kg ⁻¹	731.5	4384.5	2081.5
Cd	mg kg ⁻¹	1.41	-	-
Nem	%	5.69	19	52.83

HA: Humik asit, FA: Fulvik asit

Tablo 2. Araştırmada kullanılan toprakların özellikleri

Table 2. Properties of study soils

Özellik	Birim	Analiz değeri
pH		7.67
EC	dS m ⁻¹	1.20
Kireç	%	11.83
Organik madde	%	0.65
Kil	%	10.28
Kum	%	67.45
Silt	%	22.27
Toplam N	%	0.05
Alınabilir P	mg kg ⁻¹	0.88
Alınabilir K	mg kg ⁻¹	453
Alınabilir Fe	mg kg ⁻¹	1.20
Alınabilir Cu	mg kg ⁻¹	1.10
Alınabilir Zn	mg kg ⁻¹	0.23
Alınabilir Mn	mg kg ⁻¹	0.89
Toplam Cd	mg kg ⁻¹	0.27

uygulanacak bitkilere taban gübrelemesi olarak; azot [200 mg N kg⁻¹ (NH₄)₂SO₄], fosfor (100 mg P kg⁻¹) ve potasyum [125 mg K kg⁻¹ (KH₂PO₄)], demir [2.5 mg Fe kg⁻¹ (Fe-EDTA)] ve çinko [5 mg Zn kg⁻¹ (ZnSO₄.7H₂O)] içeren kimyasallar, çözelti halinde uygulanarak karıştırılmıştır. Organik gübreler ise 1 kg toprak başına 2.5 g tartılıp, uygulama yapılacak saksıların topraklarına karıştırılmıştır. Geleneksel gübre uygulaması olan saksılara bitkilerin çıkışından 10 gün sonra temel azotlu gübre aynı miktarda bir defa daha uygulanmış; organik gübreler ise ekim öncesi uygulanan gübrelerin yarısı kadar tartılıp (1.25 g kg toprak⁻¹) çıkıştan 10 gün sonra saksı topraklarına karıştırılmıştır. Kadmiyum uygulaması yapılacak topraklara hesaplanan miktar (5 mg kg⁻¹), çözelti halinde, temel gübrelerin uygulama zamanında uygulanmış, saksılar üç hafta süreyle kontrollü koşullarda inkübasyona bırakılmıştır. Kontrol grubundaki bitki topraklarına herhangi bir gübre uygulaması yapılmamıştır.

İnkübasyon süresi sonunda her saksıya 8 tahlil çeşidinin her birinden 20 tohum ekilmiş, çıkış başlayınca her saksıda 15 adet bitki kalacak şekilde seyreltilmiştir. Bitkiler, toprak nemi ölçüm cihazı (Delta-T Devices HH2 Soil Moisture Meter) ile kontrol edilerek ihtiyaç durumlarına göre tarla kapasitesine kadar sulanmıştır. Çalışma sonunda, 28 gün süreyle yetiştirilmiş olan 3-4 yapraklı tahlillar toprak üstü kısımlarından kesilerek hasat edilmiştir.

Hasat edilen bitkiler saf su ile yıkanıp, nemi alındıktan sonra 70 °C'de kurutulup, tek bitki ağırlıkları belirlenmiştir. Kurutulan bitkiler değirmende öğütülmüş ve örneklerden 0.2 g tartılarak 1:2.5 oranında % 35'lik hidrojen peroksit (H₂O₂) ve % 65'lik nitrik asit (HNO₃) ile 45 dakika mikrodalga fırında (CEM Mars6)

çözündürülmüştür. Araştırma kapsamında element analizleri üç paralel olarak yapılmış, element içeriği belli standart sertifikalı bir bitki [domates yaprak örneği, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg (NIST), MD, USA] örneğinin aynı yöntemle analiz edilmesi ile kontrol edilmiştir. Mikro dalga fırında yakılmış örneklerin besin elementi (Zn, Cu, Fe, Mn ve Cd) konsantrasyonları Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (AAS, Atomic Adsorption Spectrometry; Analytic-Jena novAA 350, Germany) ile saptanmıştır. Aynı bitki süzüklerinde P konsantrasyonu kolorimetrik yöntemle spektrofotometrede (Thermo AQA2000E), K, Ca ve Mg konsantrasyonları ise alev fotometrede (BWB/XP2011) belirlenmiştir (Harborne, 1984). Bitki örneklerinde N içerikleri ise Kjeldhal yöntemine göre tespit edilmiştir (Kacar ve İnal, 2008). Bitkilerin besin elementleri alımı, konsantrasyonları ile tek bitki kuru ağırlığı (g) çarpılarak (N, P, K, Ca ve Mg, besin elementleri için mg bitki⁻¹; Fe, Cu, Mn, Zn ve Cd besin elementleri için µ bitki⁻¹ olarak) hesaplanmıştır.

Tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre kurulan denemeden elde edilen veriler IBM SPSS 20 paket programı kullanılarak analiz edilmiş ve ortalamalar arasındaki farklılıklar Tukey çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir (Açıkgöz ve Açıkgöz, 2001).

3. Bulgular

3.1. Uygulamaların iki sıralı arpa bitkisindeki etkileri

İki sıralı arpada gübre, Cd ve gübre x Cd uygulamaları bitki kuru ağırlığı ve element alımları, Mg ve Fe hariç, istatistiki olarak önemli (p<0.01) etkilerde bulunmuştur. Bitki kuru ağırlığı, geleneksel gübre ve vermikompost uygulamalarıyla artış göstermiş, diğer gübre uygulamaları ile kontrol konusu istatistiki olarak aynı grupta yer almıştır. Kadmiyum ile kirlenmiş toprakta yetiştirilen kompost uygulanan bitkilerde Cd uygulanan kontrol bitkilerine göre % 17'lik bir kuru ağırlık azalması gerçekleşmiştir. Kompost uygulaması yapıldığında iki sıralı arpada Cd stresinde kuru madde kaybı daha fazla olmuştur. Mineral element alımları uygulanan gübrelerle göre Cd stresinde farklılıklar göstermiştir. Hiçbir gübreleme yapılmadığında, N, Zn ve Cu alımı neredeyse aynı kalırken, K ve Mn alımı artmış, diğerleri ise azalış göstermiştir. Geleneksel gübrelemede Mn alımı artarken, diğer besin elementlerinin alımı azalmıştır. Vermikompost ve yarasa gübresi uygulamalarında ortamda Cd yokluğunda veya varlığında besin elementi alımlarındaki değişimin düşük düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Kompost

uygulaması Cd koşullarında tüm besin elementlerinin alımında artışa sebep olmuştur. Yapılan gübreleme uygulamaları çoğunlukla normal koşullarda besin elementi alımını arttırmış olmasına rağmen, N, Cu ve Fe alımı kompost uygulamasında en düşük bulunmuştur. Kadmiyum birikimi en fazla 13.68 µg bitki⁻¹ ile geleneksel gübre uygulamasında tespit edilmiştir. Geleneksel gübrelemede Cd birikimi % 95.5 ile kontrol ve organik gübre uygulananlara göre daha düşük olmuştur (Tablo 3).

3.2. Uygulamaların altı sıralı arpa bitkisindeki etkileri

Altı sıralı arpa çeşidinde gübre, Cd ve gübre × Cd etkileşimleri besin elementi alımlarının değişimi istatistik olarak önemli ($p < 0.01$) bulunurken, bitki kuru ağırlığına gübre x Cd etkileşiminin etkileri önemsiz bulunmuştur. Kadmiyum uygulaması kuru ağırlıklarda tüm gübre uygulamalarında önemsiz miktarda azalışa sebep olmuştur. Geleneksel gübreleme ile kuru ağırlık artışı diğer uygulamalara göre daha yüksek bulunmuştur. Besin elementi alımları incelendiğinde, gübre uygulanmadığında ve Cd koşullarında N, Zn ve Fe alımı artış göstermiştir. Geleneksel gübrelemede Cd varlığında tüm besin elementlerinin alımı artarken, yaprak kompostu ve yarası gübresi uygulanan altı sıralı arpa bitkisinin besin elementi alımları azalmıştır. Vermikompost uygulaması ise Cd varlığında N alımını arttırmıştır. Kadmiyum varlığında K, Ca, Mg, Fe ve Mn alımları organik gübre uygulamalarında gübre uygulanmayan kontrol bitkilerinden daha düşük bulunmuştur. En fazla Cd birikimi (40.06 µg bitki⁻¹) geleneksel gübrelemede gerçekleşmiş, organik gübreler Cd birikiminin daha az olmasına sebep olmuştur (Tablo 4).

3.3. Uygulamaların tritordeum bitkisindeki etkileri

Tritordeum bitkisinde kuru ağırlık üzerine yalnız gübre uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli bulunurken, yapılan uygulamalar ve bunların etkileşimleri besin elementi alımlarına istatistik olarak önemli ($p < 0.01$) bulunmuştur. Kadmiyum stresi altındaki bitkilerin kuru ağırlıkları bir miktar azalmıştır ancak özellikle vermikompost ve yarası gübresi uygulandığında Tritordeum kuru madde miktarını koruyabilmiştir. Bitki N alımları en düşük 9.84 mg bitki⁻¹ ile kontrol-Cd(+) uygulamasında, en yüksek ise 53.95 mg bitki⁻¹ ile geleneksel-Cd(+) uygulamalarında belirlenmiştir. Organik gübre uygulamaları Cd varlığında N alımını arttırmıştır. Fosfor alımı en yüksek geleneksel gübrelemede her iki Cd koşulunda birbirine yakın değerde bulunmuştur. Geleneksel

gübreleme ile P alımı kontrol ve organik gübre uygulamalarının yaklaşık 5 katı civarındadır. Geleneksel gübreleme Cd varlığında diğer besin elementlerinin de alımını artırırken, yaprak kompostu ve yarası gübresi uygulandığında Cd koşullarında azalış belirlenmiştir. Vermikompost uygulanan tritordeum bitkisinin Cd stresi altında Fe alımı bir miktar azalış göstermesine rağmen, diğer besin elementlerinin alımı artmıştır. Kadmiyum alımı geleneksel gübrelemede diğer uygulamaların 5 katı civarındadır (Tablo 5).

3.4. Uygulamaların ekmeklik buğday bitkisindeki etkileri

Ekmeklik buğdayın bitki kuru ağırlığı ve besin elementi alımlarına Cd stresi, gübre uygulamaları ve etkileşimlerinin etkisi istatistik olarak önemli ($p < 0.01$) bulunmuştur. Bitki kuru ağırlıkları 0.76 (kontrol+Cd) ile 2.48 g bitki⁻¹ (geleneksel-Cd) arasında değişim göstermiştir. Kadmiyum stresi bitki kuru ağırlığının azalmasına sebep olmuştur. En düşük kuru madde kaybı yaprak kompostu uygulamasında tespit edilmiştir. Besin elementlerinin alımı Cd varlığında tüm uygulamalarda azalış göstermiştir ancak yaprak kompostu uygulaması Cd varlığında N, Zn ve Cu alımında artışa sebep olmuştur. Yapılan gübre uygulamaları hem normal koşullarda hem de Cd stresinde besin elementlerinin alımını kontrole göre arttırmıştır. Kontrol ile karşılaştırıldığında organik gübre uygulamalarının ekmeklik buğdayda P alımına etkisinin düşük olduğu görülmektedir. Yaprak kompostu uygulamasının Zn alımını diğer uygulamalara göre en fazla arttırdığı belirlenmiştir. Kadmiyum alımı geleneksel gübrelemede 18.14 µg bitki⁻¹ düzeyindeyken, organik gübreler uygulandığında yaklaşık 4.5 kat azalmıştır (Tablo 6).

3.5. Uygulamaların makarnalık buğday bitkisindeki etkileri

Makarnalık buğdayın bitki kuru ağırlığı ve besin elementi alımlarına gübre uygulamaları, Cd stresi ve etkileşimleri önemli ($p < 0.01$) etkilerde bulunmuştur. Hiç gübreleme yapılmayan Cd'lu ortamda yetiştirilen makarnalık buğday bitkilerinin kuru ağırlığı 0.96 g ile en düşük belirlenmiştir. En yüksek kuru ağırlık 2.25 g ile geleneksel gübrenin kadmiyum uygulaması yapılmayan konusunda bulunmuştur. Vermikompost, yaprak kompostu ve yarası gübresi uygulanan kadmiyumlu toprakta yetiştirilen bitkilerde kuru ağırlık azalması ise kontrole göre daha düşüktür. Azot alımı Cd uygulanmayan toprakta vermikompost uygulamasında kontrole göre düşük bulunmuştur. Ancak Cd uygulaması ile N alımı artış göstermiştir. Geleneksel gübre uygulaması da Cd varlığında N

Tablo 3. İki sıralı arpa bitkisinde kuru ağırlık ve besin elementi alımı
 Table 3. Dry weight and nutrient uptake of two-row barley

Gübre uygulamaları	Cd	KA g bitki ⁻¹	N	P	K mg bitki ⁻¹	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe µg bitki ⁻¹	Mn	Cd
Kontrol	Cd (-)	1.43 de	21.13 i	2.17 e	31.53 h	6.03 c	6.64 b	12.11 h	13.56 g	87.17 b	55.16 j	0.03 h
	Cd (+)	1.28 ef	21.61 h	1.06 f	45.39 g	3.29 h	4.52 d	10.20 i	14.15 g	47.61 f	89.34 h	2.37 e
	Ortalama	1.35 C	21.37 E	1.62 D	38.46 D	4.66 C	5.58 CD	11.16 E	13.86 E	67.39 B	72.25 E	1.20 E
Geleneksel	Cd (-)	2.85 a	119.19 a	12.01 a	114.93 a	10.81 a	12.42 a	26.22 e	46.07 a	102.69 a	234.90 b	0.61 f
	Cd (+)	2.49 b	109.32 b	10.67 b	104.97 b	10.08 b	12.30 a	21.17 f	37.79 b	100.97 a	252.45 a	13.68 a
	Ortalama	2.67 A	114.25 A	11.34 A	109.95 A	10.44 A	12.36 A	23.69 C	41.93 A	101.83 A	243.67 A	7.15 A
Vermikompost	Cd (-)	1.91 c	26.68 g	2.22 de	74.57 c	5.29 d	6.81 b	19.12 g	24.46 d	63.01 d	142.16 c	0.18 g
	Cd (+)	1.66 cd	39.36 e	2.53 cd	66.76 d	4.62 e	6.48 b	19.13 g	26.97 c	75.05 c	136.24 d	10.51 b
	Ortalama	1.79 B	33.02 C	2.37 B	70.67 B	4.95 B	6.65 B	19.12 D	25.72 B	69.03 B	139.20 B	5.35 B
Yaprak kompostu	Cd (-)	1.76 cd	20.72 j	2.24 de	45.13 g	4.04 f	4.86 d	67.42 b	11.96 h	45.56 f	93.96 g	0.14 g
	Cd (+)	1.05 f	36.38 f	2.70 c	66.29 d	4.70 e	6.74 b	107.41 a	26.34 c	63.41 d	131.02 e	4.25 d
	Ortalama	1.40 C	28.55 D	2.47 B	55.71 C	4.37 D	5.80 C	87.41 A	19.15 D	54.48 D	112.49 C	2.20 D
Yarasa gübresi	Cd (-)	1.73 cd	42.45 c	2.16 e	59.16 e	3.54 g	4.86 d	31.78 d	21.70 e	52.66 e	81.56 i	0.01 h
	Cd (+)	1.31 ef	41.21 d	1.94 e	52.00 f	3.55 g	5.69 c	36.68 c	19.87 f	62.16 d	101.16 f	9.93 c
	Ortalama	1.52 C	41.83 B	2.05 C	55.58 C	3.55 E	5.27 D	34.23 C	20.79 C	57.41 C	91.36 D	4.97 C
Ortalama	Cd (-)	1.93 A	46.03 B	4.16 A	65.06 B	5.94 A	7.12 A	31.33 B	23.55 B	70.22 A	121.55 B	0.20 B
	Cd (+)	1.56 B	49.58 A	3.78 B	67.08 A	5.25 B	7.15 A	38.91 A	25.03 A	69.84 A	142.04 A	8.15 A
	Gübre	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Önemlilik düzeyi	Cd	**	**	**	**	**	öd	**	**	öd	**	**
	Gübre×Cd	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

** : p<0.01 düzeyinde önemlilik, öd: Önemli değil, KA: Kuru ağırlık

Tablo 4. Altı sıralı arpa bitkisinde kuru ağırlık ve besin elementi alımı
Table 4. Dry weight and nutrient uptake of six-row barley

Gübre uygulamaları	Cd	KA g bitki ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	Cd
			mg bitki ⁻¹		mg bitki ⁻¹			µg bitki ⁻¹				
Kontrol	Cd (-)	1.48 b	20.18 j	3.16 c	95.19 b	5.98 c	7.79 b	12.17 h	23.53 d	107.31 c	129.00 b	0.02 h
	Cd (+)	1.32 b	23.86 h	1.37 g	51.24 h	3.20 f	4.29 ef	12.88 h	16.99 f	121.26 b	79.20 e	6.92 b
	Ortalama	1.40 B	22.02 E	2.26 B	73.21 B	4.59 B	6.04 B	12.52 E	20.26 C	114.28 B	104.10 B	3.47 B
Geleneksel	Cd (-)	2.67 a	83.78 b	8.91 b	85.91 c	6.77 b	7.75 b	21.56 e	35.94 b	102.30 d	122.27 c	0.06 g
	Cd (+)	2.20 a	99.85 a	10.04 a	113.28 a	8.41 a	10.92 a	21.57 e	45.47 a	134.74 a	136.76 a	40.06 a
	Ortalama	2.44 A	91.81 A	9.47 A	99.60 A	7.59 A	9.34 A	21.57 C	40.71 A	118.52 A	129.52 A	20.06 A
Vermikompost	Cd (-)	1.47 b	20.77 i	2.08 f	56.78 g	3.43 f	4.39 e	17.93 f	18.48 e	56.15 h	75.28 f	0.24 f
	Cd (+)	1.40 b	38.99 d	1.53 g	50.01 i	2.58 g	3.98 f	16.38 g	17.15 f	41.29 j	75.62 f	4.72 c
	Ortalama	1.44 B	29.88 C	1.80 C	53.40 E	3.00 E	4.18 E	17.16 D	17.82 D	48.72 E	75.45 D	2.48 C
Yaprak kompostu	Cd (-)	1.53 b	33.81 e	2.83 d	75.22 d	5.01 d	5.83 c	84.45 a	24.32 d	73.28 f	102.27 d	0.22 f
	Cd (+)	1.37 b	25.02 g	1.50 g	58.58 f	2.60 g	4.14 ef	71.43 b	19.34 e	50.36 i	66.46 g	3.22 e
	Ortalama	1.45 B	29.42 D	2.17 B	66.90 C	3.80 C	4.99 C	77.94 A	21.83 B	61.82 D	84.36 C	1.72 E
Yarasa gübresi	Cd (-)	1.59 b	42.81 c	2.42 e	65.93 e	4.32 e	5.01 d	38.23 c	26.28 c	84.69 e	79.41 e	0.03 gh
	Cd (+)	1.53 b	29.87 f	1.50 g	47.67 j	2.77 g	4.07 ef	35.01 d	17.01 f	62.42 g	61.22 h	4.22 d
	Ortalama	1.56 B	36.34 B	1.96 C	56.80 D	3.55 D	4.54 D	36.62 B	21.64 B	73.56 C	70.31 E	2.12 D
Ortalama	Cd (-)	1.75 A	40.27 B	3.88 A	75.81 A	5.10 A	6.15 A	34.87 A	25.71 A	84.75 A	101.65 A	0.11 B
	Cd (+)	1.56 B	43.52 A	3.19 B	64.16 B	3.91 B	5.48 B	31.45 B	23.19 B	82.01 B	83.85 B	11.83 A
	Gübre	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Önemlilik düzeyi	Cd	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	Gübre×Cd	öd	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

***: p<0.01 düzeyinde önemlilik, öd: önemi değil, KA: Kuru ağırlık

Tablo 5. Tritordeum bitkisinde kuru ağırlık ve besin elementi alımı
 Table 5. Dry weight and nutrient uptake of Tritordeum

Gübre uygulamaları	Cd	KA g bitki ⁻¹	N	P	K mg bitki ⁻¹	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe µg bitki ⁻¹	Mn	Cd
Kontrol	Cd (-)	0.85 b	19.69 f	1.27 b	31.29 e	2.66 b	3.40 ab	10.37 g	10.45 b	22.87 f	77.55 b	0.07 h
	Cd (+)	0.72 b	9.84 i	0.54 f	20.01 i	1.42 e	1.71 d	8.14 h	5.75 e	22.08 f	54.59 d	2.83 e
	Ortalama	0.79 B	14.76 E	0.90 C	25.65 D	2.04 B	2.55 B	9.25 E	8.10 CD	22.47 E	66.07 B	1.45 E
Geleneksel	Cd (-)	1.41 a	47.75 b	5.89 a	45.48 b	2.82 b	3.01 bc	17.74 d	13.75 a	55.00 b	77.68 b	0.25 f
	Cd (+)	1.11 ab	53.95 a	5.93 a	54.21 a	3.32 a	4.33 a	20.89 c	14.16 a	59.09 a	101.30 a	19.41 a
	Ortalama	1.26 A	50.85 A	5.91 A	49.84 A	3.07 A	3.67 A	19.32 B	13.96 A	57.05 A	89.49 A	9.83 A
Vermikompost	Cd (-)	0.73 b	16.09 h	0.78 e	25.69 g	1.39 e	1.66 d	12.53 f	7.58 d	24.36 ef	46.98 f	0.16 g
	Cd (+)	0.73 b	19.38 f	0.64 f	24.40 h	1.40 e	1.79 d	11.88 f	7.83 d	26.17 e	50.94 e	3.07 d
	Ortalama	0.73 B	17.74 D	0.71 D	25.05 E	1.40 D	1.72 C	12.20 D	7.70 D	25.26 D	48.96 E	1.62 D
Yaprak kompostu	Cd (-)	0.94 ab	21.58 e	0.91 d	31.36 d	1.70 de	2.15 cd	35.83 a	10.11 bc	40.04 c	65.32 c	0.16 g
	Cd (+)	0.87 b	22.90 d	0.63 f	24.43 h	1.61 e	2.01 d	30.71 b	7.15 d	24.66 ef	46.39 f	3.77 b
	Ortalama	0.90 B	22.24 B	0.77 D	27.89 C	1.66 C	2.08 BC	33.27 A	8.63 C	32.35 C	55.85 D	1.97 B
Yarasa gübresi	Cd (-)	0.81 b	18.14 g	1.14 c	33.17 c	2.27 c	2.49 bcd	17.82 d	10.65 b	39.00 c	63.05 c	0.01 i
	Cd (+)	0.78 b	24.20 c	0.99 d	28.62 f	2.00 cd	2.30 cd	16.70 e	9.29 c	31.61 d	55.51 d	3.62 c
	Ortalama	0.79 B	21.17 C	1.06 B	30.90 B	2.14 B	2.40 B	17.26 C	9.97 B	35.31 B	59.28 C	1.82 C
Ortalama	Cd (-)	0.95	24.65 B	2.00 A	33.40 A	2.17 A	2.54 A	18.86 A	10.51 A	36.25 A	66.11 A	0.13 B
	Cd (+)	0.84	26.05 A	1.75 B	30.33 B	1.95 B	2.43 A	17.66 B	8.84 B	32.72 B	61.75 B	6.54 A
	Gübre	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Önemlilik düzeyi	Cd	öd	**	**	**	**	öd	**	**	**	**	**
	Gübre×Cd	öd	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
			**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

** : p<0.01 düzeyinde önemlilik, öd: önemli değil, KA: Kuru ağırlık

Tablo 6. Ekmeklik buğday bitkisinde kuru ağırlık ve besin elementi alımı

Table 6. Dry weight and nutrient uptake of bread wheat

Gübre uygulamaları	Cd	KA	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	Cd
	g bitki ⁻¹	g bitki ⁻¹	mg bitki ⁻¹	mg bitki ⁻¹	mg bitki ⁻¹	mg bitki ⁻¹	mg bitki ⁻¹	µg bitki ⁻¹	µg bitki ⁻¹	µg bitki ⁻¹	µg bitki ⁻¹	µg bitki ⁻¹
Kontrol	Cd (-)	1.19 c	19.40 h	1.14 g	39.46 i	2.43 e	2.96 de	15.34 i	9.95 d	47.27 e	93.38 e	0.06 i
	Cd (+)	0.76 d	14.15 i	0.57 h	18.81 j	2.37 ef	1.48 f	8.54 j	4.02 f	31.82 g	63.01 h	1.77 e
	Ortalama	0.98 C	16.77 E	0.85 E	29.13 E	2.40 C	2.22 D	11.94 E	6.98 D	39.55 D	78.19 E	0.91 E
Geleneksel	Cd (-)	2.48 a	106.76 a	16.67 a	123.57 a	7.79 a	8.94 a	33.90 e	30.95 a	151.36 a	238.83 a	0.03 i
	Cd (+)	1.73 b	66.61 b	7.61 b	69.70 b	4.25 b	5.55 b	22.15 f	16.91 b	72.51 b	145.46 b	18.14 a
	Ortalama	2.11 A	86.68 A	12.14 A	96.64 A	6.02 A	7.25 A	28.02 C	23.93 A	111.94 A	192.15 A	9.09 A
Vermikompost	Cd (-)	1.37 c	29.91 e	1.42 e	47.47 d	2.45 de	3.45 cd	20.34 g	11.20 c	49.48 de	105.32 c	0.25 f
	Cd (+)	1.15 c	22.23 g	1.23 fg	44.19 e	2.10 f	2.91 e	16.33 h	8.55 e	22.20 h	99.11 d	3.40 d
	Ortalama	1.26 B	26.07 D	1.32 D	45.83 C	2.28 C	3.18 C	18.33 D	9.87 C	35.84 E	102.22 B	1.82 D
Yaprak kompostu	Cd (-)	1.32 c	29.81 e	1.66 d	45.19 e	3.56 c	3.07 de	51.07 b	10.47 cd	60.89 c	99.21 d	0.11 h
	Cd (+)	1.25 c	35.95 c	1.28 efg	40.50 g	2.48 de	2.85 e	117.48 a	11.13 cd	42.20 f	88.17 f	3.87 c
	Ortalama	1.28 B	32.88 C	1.47 C	42.85 D	3.02 B	2.96 C	84.27 A	10.80 B	51.55 C	93.69 C	1.99 C
Yarasa gübresi	Cd (-)	1.33 c	34.78 d	1.96 c	49.79 c	2.75 d	3.79 c	46.03 d	10.31 cd	69.58 b	97.80 d	0.19 g
	Cd (+)	1.21 c	28.99 f	1.33 ef	43.17 f	2.08 f	3.28 cde	48.09 c	8.72 e	51.96 d	75.64 g	4.07 b
	Ortalama	1.27 B	31.89 B	1.64 B	46.48 B	2.41 C	3.53 B	47.06 B	9.51 C	60.77 B	86.72 D	2.13 B
Ortalama	Cd (-)	1.54 A	44.13 A	4.57 A	61.10 A	3.80 A	4.44 A	33.34 B	14.57 A	75.72 A	126.91 A	0.13 B
	Cd (+)	1.22 B	33.58 B	2.40 B	43.27 B	2.66 B	3.21 B	42.52 A	9.87 B	44.14 B	94.28 B	6.25 A
Önemlilik düzeyi	Gübre	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	Cd	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Gübre×Cd	Gübre	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	Cd	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

**, p<0,01 düzeyinde önemlilik, KA: Kuru ağırlık

alımının artışına sebep olmuştur. Diğer besin elementlerinin alımı Cd uygulaması ile tüm uygulamalarda azalışla sonuçlanmıştır. Organik gübrelerin besin elementlerinin alımına etkisi geleneksel gübrelerden az olmasına rağmen, Zn alımı kompost uygulamasında en yüksektir. Cd alımı da geleneksel gübre uygulamasında en yüksek düzeydedir. En düşük Cd alımı 3.74 µg bitki⁻¹ ile vermikompost uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 7).

3.6. Uygulamaların tritikale bitkisindeki etkileri

Tritikale bitkisinin kuru ağırlığı ve besin elementi üzerine yapılan uygulamalar ve interaksiyonlarının etkisi önemli ($p<0.01$) bulunmuştur. Bitkilerin kuru ağırlıkları 0.67-2.03 g bitki⁻¹ arasında değişim gösterirken en fazla kuru ağırlık yarasa gübresi ve geleneksel gübre uygulamalarından elde edilmiştir. Kadmiyum uygulamaları tritikalenin bitki kuru ağırlığında azalmaya neden olmuştur. Yapılan gübre uygulamaları ise her iki koşulda da bitki kuru ağırlığının kontrol bitkilerine göre artışı sağlamıştır. En fazla N alımı (72.19 mg bitki⁻¹) Cd uygulanmayan vermikompost uygulamasında belirlenirken, Cd ile birlikte vermikompost uygulandığında ise en düşük ikinci değer (17.87 mg bitki⁻¹) ölçülmüştür. Geleneksel gübreleme, yaprak kompostu ve yarasa gübresi uygulanan bitkilerin ise her iki koşulda yakın değerlerde N alımına sahip oldukları görülmektedir. Geleneksel gübreleme ile P, Mg, Fe ve Mn en yüksek miktarda alınırken, yarasa gübresi P, Ca ve Cu alımında en yüksek değerdedir, yaprak kompostu uygulaması ise en fazla Zn alımına sebep olmuştur. Kadmiyum alımı en yüksek (16.73 µg bitki⁻¹) geleneksel gübre uygulamasında tespit edilmiş, Cd uygulanan kontrol bitkilerindeki miktarı 2.50 µg bitki⁻¹ olarak belirlenmiş olup organik gübreleme yapılan bitkilerin Cd alımı birbirine yakın değerdedir (Tablo 8).

3.7. Uygulamaların çavdar bitkisindeki etkileri

Yapılan uygulamalar ve interaksiyonları çavdarın kuru ağırlığı ve besin elementi alımı üzerine önemli ($p<0.01$) etkilerde bulunmuştur. Çavdar bitkisinin kuru ağırlığı Cd stresiyle azalış göstermiştir. En yüksek bitki kuru ağırlığı (1.40 g bitki⁻¹) normal koşullarda vermikompost uygulamasından elde edilmiştir. Kadmiyum ile birlikte yaprak kompostu ve vermikompost uygulanan bitkilerin kuru ağırlıkları gübreleme yapılmayanlara göre daha düşük bulunmuştur. Gübreleme yapılmayan kontrol bitkilerinin K ve Fe hariç diğer besin elementi alımları Cd uygulamasıyla azalış göstermiştir. Normal koşullarda, P hariç diğer besin elementlerinin

alımında organik gübrelerin alımında organik gübrelerin değeri geleneksel gübrelemeden daha yüksek bulunmuştur. Kadmiyum uygulanan toprakta yetiştirilen bitkilerde yarasa gübresi uygulaması en fazla N, Fe ve Zn alımına sebep olmuştur. En fazla Cd birikimi 33.13 µg bitki⁻¹ ile geleneksel gübrelemede gözlemlenirken, yarasa gübresi 6.08 µg bitki⁻¹ ile takip etmiştir (Tablo 9).

3.8. Uygulamaların yulaf bitkisindeki etkileri

Yulafın kuru ağırlığı ve besin elementi alımına gübreleme, Cd uygulamaları ve interaksiyonlarının etkisi istatistiki olarak önemli ($p<0.01$) bulunmuştur. Geleneksel gübreleme ve vermikompost uygulanan bitkilerin kuru ağırlıkları yaklaşık 2.1 g ile en yüksek bulunurken, gübreleme yapılmayan bitkiler Cd uygulandığında 0.71 g ile en düşük kuru ağırlığa sahip olmuşlardır. Kadmiyum uygulaması tüm gübre çeşitlerinde kuru ağırlıkların azalmasına neden olmuştur ancak yaprak kompostu uygulanan bitkilerde kuru ağırlık kaybı en düşüktür. Yulafın besin elementi alımlarına bakıldığında, Zn alımı yaprak kompostu uygulamasında en yüksek olurken, diğer besin elementlerinin alımı geleneksel gübrelemede en yüksektir. Gübreleme yapılmayan yulaf bitkilerinin besin elementi alımları azalmıştır. Geleneksel gübreleme yapıldığında Fe alımı Cd uygulamasıyla artış göstermiştir. Vermikompost uygulaması Cd koşullarında besin elementlerinin alımını azaltırken, yaprak kompostu uygulanan bitkilerde Cd varlığında N alımı artış göstermiştir. Yarasa gübresi ile Cd birlikte uygulandığında P ve Ca alımı azalmış, Cu ve Fe alımı değişmeden kalmış, diğer besin elementlerinin alımı ise artmıştır. Kadmiyum alımı ise en yüksek (39.17 µg bitki⁻¹) geleneksel gübrelemede tespit edilmiştir. Bu değer ikinci en yüksek değere sahip yarasa gübresi uygulamasından yaklaşık 5.5 kat fazladır, yaprak kompostu uygulaması ise en az Cd alımına yol açmıştır (Tablo 10).

4. Tartışma ve Sonuç

Tahıl bitkilerinin çoğu insanlar için Cd riskinin başlıca kaynakları olabilmektedir. Tahıllarda Cd birikimini azaltabilecek uygulamaların anlaşılması, Cd kirliliğinin kontrol altına alınmasına katkıda bulunabilir. Kompost, biyokömür veya bazı mineral gübrelerin birlikte kullanılması, tahıllarda Cd konsantrasyonlarını önemli ölçüde azaltabilir (Hu ve ark., 2022). Kadmiyum ile kirlenmiş toprakta yetiştirilen sekiz tahıl çeşidine uygulanan geleneksel ve organik gübreler bitki kuru ağırlığını önemli derecede etkilemiştir. Kadmiyum uygulaması tüm tahıl çeşitlerinde ve uygulamalarda kuru ağırlığın azalmasına neden olmuştur. Yapılan gübre uygulamaları normal koşullarda beklenildiği gibi kuru ağırlık artışına sebep olmuştur.

Tablo 7. Makarnalık buğday bitkisinde kuru ağırlık ve besin elementi alımı
 Table 7. Dry weight and nutrient uptake of durum wheat

Gübre uygulamaları	Cd	KA g bitki ⁻¹	N	P	K mg bitki ⁻¹	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe µg bitki ⁻¹	Mn	Cd
Kontrol	Kd (-)	1.85 ab	39.93 f	1.72 e	62.64 c	3.38 f	4.32 cd	20.44 f	11.24 g	44.51 f	127.97 c	0.33 f
	Kd (+)	0.96 c	20.34 j	0.96 g	28.13 j	1.86 i	1.89 g	9.98 g	7.55 i	21.21 h	63.82 g	4.00 d
	Ortalama	1.41 BC	30.14 E	1.34 E	45.39 E	2.62 D	3.11 D	15.21 E	9.39 E	32.86 E	95.90 E	2.16 D
Geleneksel	Kd (-)	2.25 a	63.72 b	22.81 a	115.39 a	10.55 a	10.34 a	39.89 d	30.44 a	132.01 a	238.14 a	0.32 f
	Kd (+)	1.88 ab	78.44 a	13.62 b	81.67 b	6.86 b	6.91 b	31.13 e	22.91 b	69.90 c	173.71 b	34.40 a
	Ortalama	2.06 A	71.08 A	18.21 A	98.53 A	8.70 A	8.62 A	35.51 C	26.68 A	100.95 A	205.93 A	17.36 A
Vermikompost	Kd (-)	1.86 abc	24.32 i	2.22 d	56.73 d	3.96 d	4.26 cd	29.80 e	20.77 c	74.54 b	128.12 c	0.33 f
	Kd (+)	1.64 bc	45.80 c	1.49 f	46.07 g	2.61 h	3.44 ef	31.56 e	9.34 h	48.49 e	106.34 e	3.74 e
	Ortalama	1.75 AB	35.06 D	1.85 C	51.40 B	3.29 C	3.85 BC	30.68 D	15.05 B	61.51 B	117.23 B	2.04 E
Yaprak kompostu	Kd (-)	1.93 ab	43.24 e	1.82 e	52.37 f	3.75 e	3.96 de	92.70 a	13.80 e	45.85 ef	105.87 e	0.22 g
	Kd (+)	1.29 bc	37.18 h	1.40 f	43.85 h	2.86 g	3.38 f	59.00 b	12.90 f	37.84 g	102.75 e	9.10 b
	Ortalama	1.61 BC	40.21 C	1.61 D	48.11 D	3.31 C	3.67 C	75.85 A	13.35 D	41.84 D	104.31 C	4.66 B
Yarasa gübresi	Kd (-)	1.41 bc	45.37 d	3.13 c	53.23 e	5.06 c	4.52 c	49.02 c	15.21 d	60.97 d	115.02 d	0.32 f
	Kd (+)	1.24 bc	38.87 g	1.38 f	43.25 i	3.48 f	3.63 ef	48.87 c	13.50 ef	43.07 f	82.63 f	4.50 c
	Ortalama	1.33 C	42.12 B	2.26 B	48.24 C	4.27 B	4.07 B	48.94 B	14.36 C	52.02 C	98.82 D	2.41 C
Ortalama	Kd (-)	1.86 A	43.32 B	6.34 A	68.07 A	5.34 A	5.48 A	46.37 A	18.29 A	71.57 A	143.03 A	0.30 B
	Kd (+)	1.40 B	44.13 A	3.77 B	48.59 B	3.53 B	3.85 B	36.11 B	13.24 B	44.10 B	105.85 B	11.15 A
Önemlilik düzeyi	Gübre	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	Cd	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Gübre×Cd	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

** : p<0.01 düzeyinde önemlilik, KA: Kuru ağırlık

Tablo 8. Tritikale bitkisinde kuru ağırlık ve besin elementi alımı
Table 8. Dry weight and nutrient uptake of triticale

Gübre uygulamaları	Cd	KA g bitki ⁻¹	N	P	K mg bitki ⁻¹	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe µg bitki ⁻¹	Mn	Cd
Kontrol	Cd (-)	1.19 bc	23.50 h	1.11 fg	42.15 h	2.26 h	2.92 e	17.32 h	12.60 e	30.32 I	77.41 i	0.03 i
	Cd (+)	0.67 c	16.03 j	0.85 g	23.46 j	1.71 i	1.83 f	8.30 i	7.54 h	37.12 h	60.76 j	2.50 d
	Ortalama	0.93 C	19.77 E	0.98 E	32.80 E	1.98 E	2.38 D	12.81 E	10.07 D	33.72 E	69.09 E	1.26 D
Geleneksel	Cd (-)	1.98 a	59.63 b	9.35 b	63.97 d	4.50 d	4.61 bc	19.96 g	16.00 c	76.95 c	125.36 d	0.11 h
	Cd (+)	1.31 abc	50.85 c	9.98 a	81.79 b	5.43 b	6.25 a	25.72 f	19.90 b	177.68 a	217.86 a	16.73 a
	Ortalama	1.65 AB	55.24 A	9.67 A	72.88 A	4.96 A	5.43 A	22.84 D	17.95 A	127.32 A	171.61 A	8.42 A
Vermikompost	Cd (-)	1.65 ab	72.19 a	3.62 c	73.30 c	4.88 c	5.43 ab	27.39 e	20.29 b	101.23 b	155.07 c	0.37 e
	Cd (+)	1.30 abc	17.87 i	1.15 f	36.25 i	2.25 h	2.82 e	19.97 g	12.05 ef	45.35 f	92.43 h	6.98 b
	Ortalama	1.47 AB	45.03 B	2.38 C	54.77 C	3.57 C	4.13 B	23.68 C	16.17 B	73.29 C	123.75 C	3.67 B
Yaprak kompostu	Cd (-)	1.38 abc	32.50 f	2.82 d	50.61 e	3.11 f	3.28 de	61.43 c	11.81 f	42.71 g	101.94 g	0.16 g
	Cd (+)	1.18 bc	30.02 g	1.36 f	43.01 g	2.66 g	3.09 e	70.60 a	9.94 g	50.61 e	108.57 f	5.41 c
	Ortalama	1.28 BC	31.26 D	2.09 D	46.81 D	2.89 D	3.18 C	66.01 A	10.88 C	46.66 D	105.26 D	2.78 C
Yarasa gübresi	Cd (-)	2.03 a	37.12 e	3.55 c	82.78 a	6.12 a	5.96 a	65.02 b	22.02 a	99.86 b	185.47 b	0.22 f
	Cd (+)	1.44 ab	38.77 d	1.87 e	46.75 f	3.32 e	4.08 cd	44.63 d	13.91 d	54.32 d	115.60 e	5.40 c
	Ortalama	1.74 A	37.95 C	2.71 B	64.77 B	4.72 B	5.02 A	54.82 B	17.96 A	77.09 B	150.54 B	2.81 C
Ortalama	Cd (-)	1.65 A	44.99 A	4.09 A	62.56 A	4.17 A	4.44 A	38.22 A	16.54 A	70.21 B	129.05 A	0.18 B
	Cd (+)	1.18 B	30.71 B	3.04 B	46.25 B	3.07 B	3.61 B	33.84 B	12.67 B	73.02 A	119.04 B	7.40 A
Önemlilik düzeyi	Gübre	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	Cd	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	Gübre×Cd	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

*: p<0.05 düzeyinde önemlilik, **: p<0.01 düzeyinde önemlilik, KA: Kuru ağırlık

Tablo 9. Çaydar bitkisinde kuru ağırlık ve besin elementi alımı
Table 9. Dry weight and nutrient uptake of rye

Gübre uygulamaları	Kd	KA	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	Cd
	g bitki ⁻¹	g bitki ⁻¹	mg bitki ⁻¹	mg bitki ⁻¹	mg bitki ⁻¹	mg bitki ⁻¹	mg bitki ⁻¹	µg bitki ⁻¹	µg bitki ⁻¹	µg bitki ⁻¹	µg bitki ⁻¹	µg bitki ⁻¹
Kontrol	Cd (-)	0.89 cde	17.36 i	1.04 f	23.29 j	2.01 h	3.08 c	8.42 g	8.93 e	26.97 h	81.31 g	0.07 g
	Cd (+)	0.77 de	11.40 j	0.77 fg	23.96 i	0.89 i	1.66 d	6.76 h	6.18 f	31.26 g	73.38 h	2.31 e
Geleneksel	Ortalama	0.83 B	14.38 E	0.91 D	23.62 E	1.45 E	2.37 E	7.59 E	7.55 C	29.11 E	77.35 E	1.19 D
	Cd (-)	1.32 ab	41.09 h	7.14 b	43.49 f	5.05 d	4.45 b	10.16 f	13.19 cd	60.82 d	93.05 f	0.10 g
Vermikompostu	Cd (+)	1.00 bcd	44.51 d	7.97 a	63.86 b	5.28 c	5.69 a	12.37 e	19.02 a	56.96 e	124.50 d	33.13 a
	Ortalama	1.16 A	42.80 B	7.56 A	53.68 B	5.17 B	5.07 B	11.26 D	16.10 A	58.89 B	108.77 C	16.62 A
Yaprak kompostu	Cd (-)	1.40 a	50.50 a	2.62 d	68.43 a	6.47 b	6.04 a	25.84 d	16.05 b	68.26 c	171.29 a	0.30 f
	Cd (+)	0.58 e	18.30 g	0.74 f	24.72 h	2.64 g	2.64 c	10.22 f	5.77 f	37.65 f	65.69 i	2.85 c
Yarasa gübresi	Ortalama	0.99 AB	34.40 C	1.68 C	46.57 C	4.55 C	4.34 C	18.03 C	10.91 B	52.96 C	118.49 A	1.58 C
	Cd (-)	1.03 a-d	35.20 e	2.00 e	50.28 e	5.03 d	4.49 b	39.62 a	12.64 d	62.24 d	126.89 c	0.02 h
Ortalama	Cd (+)	0.71 de	23.75 f	1.01 fg	27.48 g	2.86 f	2.85 c	25.46 d	9.14 e	38.34 f	62.08 j	2.38 d
	Ortalama	0.87 B	29.48 D	1.50 C	38.88 D	3.94 D	3.67 D	32.54 A	10.89 B	50.29 D	94.48 D	1.20 D
Ortalama	Cd (-)	1.24 abc	42.76 c	3.96 c	60.89 c	7.72 a	6.01 a	29.01 c	15.95 b	111.41 a	137.02 b	0.00 h
	Cd (+)	1.01 bcd	48.78 b	2.18 e	54.35 d	4.72 e	4.93 b	32.18 b	14.57 bc	71.87 b	95.86 e	6.08 b
Ortalama	Cd (-)	1.13 A	45.77 A	3.07 B	57.62 A	6.22 A	5.47 A	30.59 B	15.26 A	91.64 A	116.44 B	3.04 B
	Cd (+)	0.81 B	37.38 A	2.53 B	38.87 B	3.28 B	3.55 B	17.40 B	10.93 B	47.22 B	84.30 B	9.35 A
Önemlilik düzeyi	Gübre	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	Cd	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Gübre×Cd	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

***: p<0.01 düzeyinde önemlilik, KA: Kuru ağırlık

Tablo 10. Yulaf bitkisinde kuru ağırlık ve besin elementi almı
Table 10. Dry weight and nutrient uptake of oat

Gübre uygulamaları	Kd	KA g bitki ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	Cd
			mg bitki ⁻¹		mg bitki ⁻¹		µg bitki ⁻¹					
Kontrol	Cd (-)	1.25 bcd	12.80 h	1.41 f	67.81 d	3.96 d	5.35 c	10.63 h	12.21 f	24.24 h	138.70 c	0.24 f
	Cd (+)	0.71 e	12.56 h	0.61 h	26.80 j	1.49 g	2.06 f	5.80 i	6.67 i	17.20 i	56.27 j	2.72 d
	Ortalama	0.98 D	12.68 E	1.01 E	47.31 E	2.72 D	3.71 C	8.21 E	9.44 D	20.72 E	97.49 E	1.48 D
Geleneksel	Cd (-)	2.13 a	64.18 a	11.72 a	106.48 a	10.53 a	13.21 a	19.62 e	27.67 a	135.05 b	209.36 a	0.20 f
	Cd (+)	1.64 b	54.93 b	5.56 b	69.13 c	8.68 b	9.98 b	14.36 f	19.21 b	252.71 a	200.67 b	39.17 a
	Ortalama	1.88 A	59.56 A	8.64 A	87.81 A	9.61 A	11.59 A	16.99 D	23.44 A	193.88 A	205.02 A	19.69 A
Vermikompost	Cd (-)	2.10 a	24.68 e	1.73 e	80.11 b	3.62 e	5.44 c	24.15 d	16.68 c	42.80 e	134.73 d	0.11 g
	Cd (+)	1.15 cd	21.44 f	1.14 g	34.01 i	2.47 f	2.61 f	11.77 g	9.57 h	33.09 f	75.86 i	3.77 c
	Ortalama	1.63 B	23.06 C	1.43 D	57.06 C	3.04 C	4.03 C	17.96 C	13.13 C	37.95 D	105.29 D	1.94 C
Yaprak kompostu	Cd (-)	1.52 bc	19.47 g	2.16 d	58.61 f	3.61 e	4.56 d	54.72 a	15.41 d	77.99 c	123.44 e	0.20 f
	Cd (+)	1.13 cd	21.62 f	1.09 g	45.46 h	2.55 f	3.59 e	38.96 b	11.10 g	27.10 g	109.18 g	0.36 e
	Ortalama	1.33 C	20.55 D	1.63 C	52.03 D	3.08 C	4.08 C	46.84 A	13.26 C	52.54 C	116.31 B	0.28 E
Yarasa gübresi	Cd (-)	1.35 bc	32.31 d	3.01 c	55.40 g	4.58 c	5.03 cd	24.00 d	14.52 e	55.01 d	101.90 h	0.03 h
	Cd (+)	0.92 de	35.42 c	2.16 d	60.70 e	3.99 d	5.35 c	33.05 c	14.56 e	54.96 d	120.30 f	7.07 b
	Ortalama	1.14 CD	33.86 B	2.58 B	58.05 B	4.29 B	5.19 B	28.52 B	14.54 B	54.98 B	111.10 C	3.55 B
Ortalama	Cd (-)	1.67 A	30.69 A	4.01 A	73.68 A	5.26 A	6.72 A	26.62 A	17.30 A	67.02 B	141.63 A	0.16 B
	Cd (+)	1.11 B	29.19 B	2.11 B	47.22 B	3.84 B	4.72 B	20.79 B	12.22 B	77.01 A	112.46 B	10.62 A
Önemlilik düzeyi	Gübre	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	Cd	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	Gübre×Cd	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

*: p<0.05 düzeyinde önemlilik, **: p<0.01 düzeyinde önemlilik, KA: Kuru ağırlık

Kadmiyum koşullarında ise tahıl çeşitlerine göre değişen tepkiler gözlemlenmiştir. İki sıralı arpada yaprak kompostu uygulandığında, çavdarda ise vermikompost ve yaprak kompostu uygulandığında Cd stresinde bitki kuru ağırlığı kontrole göre düşük bulunmuştur. Tahıllar içerisinde Cd koşullarında en fazla kuru ağırlık azalışı yulafta belirlenirken, en az kuru ağırlık kaybına uğrayan tahıl cinsi altı sıralı arpadır. Geleneksel gübreleme yapıldığında genellikle tahılların kuru ağırlıkları daha yüksek bulunmuştur. Ancak yapılan gübre uygulamaları ile Cd stresi meydana geldiğinde en az kuru ağırlık kaybı iki sıralı arpa ve çavdarda gübreleme yapılmadığında, altı sıralı arpa ve makarnalık buğdayda yarasa gübresi uygulandığında, tritikalede vermikompost uygulamasıyla, tritordeum, ekmeçlik buğday ve yulafta ise yaprak kompostu uygulandığında meydana gelmiştir. Organik gübrelerin bitki türüne göre değişen kuru ağırlık kaybı gözlemlenmiştir. Ahmad ve ark. (2015), benzer şekilde biyogaz bulamacının buğdayda, kompostun ise mısır bitkisinde Cd stresinde kuru ağırlığı artırdığını bulmuşlardır.

Gübreleme yapılmayan kontrol bitkileri en düşük besin elementi alımına sahip olmuştur. Tahıl bitkilerinin besin elementi alımını geleneksel gübrelemenin en fazla arttırdığı belirlenmiş, ikinci sırada ise yarasa gübresinin olduğu görülmüştür. Organik gübrelerden yarasa gübresinin besin elementi alımında özellikle N, P ve K alımında oldukça etkili olduğu belirlenmiştir. Yarasa gübresi, yüksek karbon içeriği ile beraber N, P, K, Ca ve Mg gibi önemli mineralleri içeren zengin bir gübredir (Buliga, 2010; Shetty ve ark., 2013). Bu çalışmada uygulanan organik gübrenin kaynağının içerdiği besin elementinin etkisiyle bitkilerin besin elementi alımlarında farklılıklar ortaya çıkardığı görülmektedir. Çinko içeriği yüksek olan yaprak kompostu, tahıl türlerinde diğer gübre uygulamalarına göre oldukça yüksek Zn alımını sağlamıştır. Genel olarak, toprağa organik gübrelerin uygulanması ile elde edilen tarımsal faydaların çoğu, gübre olarak değerinden ziyade toprağın organik maddesinin artmasıyla ilgili olarak fiziksel özelliklerin iyileşmesinden elde edilir ve doğrudan toprak kalitesiyle ilişkilidir (Diacono ve Montemurro, 2010; Barakat ve ark., 2012).

Tahıllar içerisinde besin elementi alımları en yüksek olanlar iki sıralı arpa (N, Ca, Mg ve Mn), altı sıralı arpa (K, Cu ve Fe) ve makarnalık buğdaydır (P ve Zn). Bitkilerde Cd uygulamasıyla besin elementlerinin alımı tahıl cinslerine göre değişmekle birlikte bazı gübre uygulamalarında azalış bazılarında ise artış göstermiştir. Genel ortalama dikkate alınırsa Cd uygulaması ile N alımı iki sıralı arpa, altı sıralı arpa, tritordeum ve makarnalık buğdayda artış göstermiştir. Bitkilerde

Cd ve N birikimi arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalarda çelişkili sonuçlar bildirilmiştir. Mitchell ve ark. (2000), N ve Cd birikimi arasında pozitif ilişki belirlerken, Bhandal ve Kuar (1992) tam tersi sonuçlar bulmuşlardır. Kadmiyum stresi altında N alımı değişimi tahıl cinsine ve uygulanan gübrenin etkinliğine bağlı olarak ortaya çıkmıştır. Diğer besin elementlerinin de Cd stresine bağlı değişimleri N'de olduğu gibidir. Bazı tahıllara uygulanan gübreler Cd mevcudiyetinde ilgili besin elementinin alımında artışa neden olmuştur. Bitkilerdeki mineral elementler arasındaki etkileşimler, elementin doğasına ve konsantrasyonuna, bitkinin organına, büyüme durumuna, büyüdüğü çevreye vb. bağlıdır. Besin elementleri birbirleriyle rekabet halindedir ve bir tanesinin bolluğu diğerlerinin alımını bozabilir (Khaliq ve ark., 2019). Tahıllara uygulanan gübreler besin elementlerinin alımını etkileyerek Cd varlığında genellikle azaldığı bildirilen besin elementlerinin alımında artışa sebep olmuştur.

Bitkilerde Cd uygulamasıyla, Cd alımları yükselmiştir. Tahıl türlerinin genel toplam olarak Cd alımı incelendiğinde altı sıralı arpa en yüksek Cd birikimine sahip olurken, en düşük Cd alımı ekmeçlik buğdayda belirlenmiştir. Tahılların Cd alımları yüksekten düşüğe, altı sıralı arpa > makarnalık buğday > yulaf > çavdar > iki sıralı arpa > tritikale > tritordeum > ekmeçlik buğday olarak sıralanmıştır. Ancak yaprak kompostu hariç diğer organik ve geleneksel gübre uygulamaları ile iki sıralı arpanın Cd alımının en yüksek olduğu görülmektedir. Wångstrand ve ark. (2007), makarnalık buğdayın (makarnalık buğday > ekmeçlik buğday > yulaf > arpa > çavdar) en fazla Cd biriktiren tahıl olduğu bildirmişlerdir. Bu çalışmada makarnalık buğday ikinci sırada yer almıştır. Altı sıralı arpa en fazla Cd alan tahıl cinsi olurken, iki sıralı arpa 5. sırada yer almıştır.

Mineral gübre uygulamalarının tahıllarda Cd uygulaması ile Cd birikimini artırdığı bu çalışma ile belirlenmiştir. Organik gübrelerden yaprak kompostunun en az Cd birikimini gerçekleştirdiği belirlenmiştir. Benzer şekilde Ahmad ve ark. (2015) kompost uygulamasının mısır ve buğday bitkilerinde Cd alımını önemli ölçüde azalttığını bildirmişlerdir. Organik gübrelerin kullanılması, bitkilerin toprak üstü kısımlarında Cd alımını kısıtlayabilecek stabil metalo-organo kompleksleri oluşturarak topraktaki kadmiyumu immobilize edebilir veya stabilize edebilir. Dourado ve ark. (2013), ağır metallerle kirlenmiş toprakta artan bitki biyokütlesinin kadmiyumun toprakta immobilizasyonundan kaynaklandığını bildirmişlerdir. Aynı araştırmacılar, Cd immobilizasyonunun kök çoğalması üzerindeki olumsuz etkisini azaltmaya yardımcı olabileceğini,

böylece bitkilerin normal ve stresli koşullarda besin maddelerini daha iyi alabileceğini ileri sürmüşlerdir. Businelli ve ark. (2009) organik gübrelerin uygulandığı toprakta ağır metallerin biyo-yararlanımında azalma olduğunu bildirirken, Rajaie ve ark. (2006), toprağa organik gübre ilavesinden sonra topraktaki en yüksek ağır metal varlığını bildirmişlerdir. Ağır metallerin biyolojik olarak kullanılabilir fraksiyonu toprak özelliklerine, iklim koşullarına ve kompost ile diğer organik maddeleri mineral formuna dönüştüren doğal mikrobiyal aktiviteye bağlıdır (Clemente ve ark., 2006). Ayrıca, Cd konsantrasyonundaki azalma, Cd'nin çok sayıda metal bağlama bölgesi için bilinen ilave organik değişikliklere aşamalı olarak bağlanması nedeniyle meydana gelmiş olabilir (Businelli ve ark., 2009).

Araştırma sonuçları, organik gübrelerin sadece toprak düzenleyici olarak kullanılmayacağını, aynı zamanda topraktaki kadmiyumun stabilize edebildiğini de göstermiştir. Organik gübreler, normal ve Cd ile kirlenmiş toprakta bitki biyokütlesini arttırmaya yönelik etkili uygulamalardır. Yaprak kompostu, tahılların çoğunda Cd alımını en aza indirmiştir, ancak buğdaylarda ve tritordeumda kadmiyumun uzaklaştırılması için vermikompost uygulaması daha etkili olmuştur. Bu sonuçlar kontrollü ve saha odaklı çalışmalara dayalı olarak diğer inorganik ve organik kirleticileri topraktan uzaklaştırmak için organik gübrelerden daha fazla yararlanılması için iyi ön veriler sağlamaktadır. Ayrıca, ağır metallerle kirlenmiş topraktaki bitkiler tarafından alınmasıyla bağlantılı olarak tahılların fizyolojisi üzerindeki değişikliklerin etkisi de araştırılmalıdır.

Etik Beyanı

Yazarlar, bu araştırma için etik onay gerekmediğini beyan etmektedir.

Finansman

Bu araştırma, hiçbir dış finansman almamıştır.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar; makaleye eşit katkıda bulduklarını, makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Teşekkür

Yazarlar, Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Bitki Besleme ve Toprak Bölümü personeli Ziraat Yüksek Mühendisi Kadriye TAŞPINAR'a bitki analizlerindeki katkılarından dolayı teşekkür ederler.

Kaynaklar

- Açıkgoz, N., Açıkgoz, N., 2001. Tarımsal araştırmaların istatistiki değerlendirilmesinde yapılan bazı hatalar: I. Tek faktörlü denemeler. *Anadolu*, 11(1): 135-147.
- Ahmad, I., Akhtar, M.J., Zahir, Z.A., Mitter, B., 2015. Organic amendments: effects on cereals growth and cadmium remediation. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12: 2919-2928.
- Alam, M., Hussain, Z., Khan, A., Khan, M.A., Rab, A., Asif, M., Shah, M.A., Muhammad, A., 2020. The effects of organic amendments on heavy metals bioavailability in mine impacted soil and associated human health risk. *Scientia Horticulturae*, 262: 109067.
- Alengebawy, A., Abdelkhalek, S.T., Qureshi, S.R., Wang, M.Q., 2021. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. *Toxics*, 9(3): 42.
- Barakat, M.R., Yehia, T.A., Sayed, B.M., 2012. Response of newhall naval orange to bio-organic fertilization under newly reclaimed area conditions I: Vegetative growth and nutritional status. *Journal of Horticulture Science and Ornamental Plants*, 4(1): 18-25.
- Bhandal, I.S., Kuar, H., 1992. Heavy metal inhibition of nitrate uptake and *in vivo* nitrate reductase in roots of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Indian Journal of Plant Physiology*, 35(3): 281-284.
- Biçer, A., Özyazıcı, G., 2020. İkinci ürün olarak yetiştirilen karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench.) da vermikompost dozlarının verim ve bazı kalite özelliklerine etkisi. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, 7(9): 273-287.
- Bigalke, M., Ulrich, A., Rehmus, A., Keller, A., 2017. Accumulation of cadmium and uranium in arable soils in Switzerland. *Environmental Pollution*, 221: 85-93.
- Buliga, C., 2010. Guano Exploitation in Madagascar. Washington, DC: SIT Graduate Institute/ SIT Study Abroad, (<https://digitalcollections.sit.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1893&context=ispcollection>), (Erişim Tarihi: 12.10.2023).
- Businelli, D., Massaccesi, L., Said-Pullicino, D., Gigliotti, G., 2009. Longterm distribution, mobility and plant availability of compostderived heavy metals in a landfill covering soil. *Science of The Total Environment*, 407(4): 1426-1435.

- Clemente, R., Escolar, A., Bernal, M.P., 2006. Heavy metal fractionation and organic matter mineralisation in contaminated calcareous soil amended with organic materials. *Bioresource Technology*, 97(15): 1894-1901.
- Das, S., Deka, P., Goswami, L., Sahariah, B., 2016. Vermiremediation of toxic jute mill waste employing metaphire posthuma. *Environmental Science and Pollution Research*, 23: 15418-15431.
- Diacono, M., Montemurro, F., 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(2): 401-422.
- Dourado, M.N., Martins, P.F., Quecine, M.C., Piotto, F.A., Souza, L.A., Franco, M.R., Tezotto, T., Azevedo, R.A., 2013. *Burkholderia* sp. SCMS54 reduces cadmium toxicity and promotes growth in tomato. *Annals of Applied Biology*, 163(3): 494-507.
- Guo, T.R., Zhang, G.P., Zhou, M.X., Wu, F.B., Chen, J.X., 2007. Influence of aluminum and cadmium stresses on mineral nutrition and root exudates in two barley cultivars. *Pedosphere*, 17(4): 505-512.
- Harborne, J.B., 1984. Methods of plant analysis. In: J.B. Harborne (Ed.), *Phytochemical Methods: A Guide to Modern Techniques of Plant Analysis*, Springer, Dordrecht, Netherlands, pp. 1-36.
- Hu, J., Chen, G., Xu, K., Wang, J., 2022. Cadmium in cereal crops: Uptake and transport mechanisms and minimizing strategies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(20): 5961-5974.
- Hussain, B., Ashraf, M.N., Shafeeq-ur-Rahman, Abbas, A., Li, J., Farooq, M., 2021. Cadmium stress in paddy fields: Effects of soil conditions and remediation strategies. *Science of The Total Environment*, 754: 142188.
- Kacar, B., İnal, A., 2008. Bitki Analizleri. Nobel Yayın No: 1241, Ankara.
- Karlsons, A., Osvalde, A., Andersone-Ozola, U., Ievinsh, G., 2016. Vermicompost from municipal sewage sludge affects growth and mineral nutrition of winter rye (*Secale cereale*) plants. *Journal of Plant Nutrition*, 39(6): 765-780.
- Khaitov, B., Yun, H.J., Lee, Y., Ruziev, F., Le, T.H., Umurzokov, M., Bo A.B., Cho K.M., Park, K.W., 2019. Impact of organic manure on growth, nutrient content and yield of chilli pepper under various temperature environments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(17): 3031.
- Khaliq, M.A., James, B., Chen, Y.H., Ahmed Saqib, H.S., Li, H.H., Jayasuriya, P., Guo, W., 2019. Uptake, translocation, and accumulation of Cd and its interaction with mineral nutrients (Fe, Zn, Ni, Ca, Mg) in upland rice. *Chemosphere*, 215: 916-924.
- Kirkham, M.B., 2006. Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyperaccumulation, and amendments. *Geoderma*, 137(1-2): 19-32.
- Kominko, H., Gorazda, K., Wzorek, Z., 2019. Potentiality of sewage sludge-based organo-mineral fertilizer production in Poland considering nutrient value, heavy metal content and phytotoxicity for rapeseed crops. *Journal of Environmental Management*, 248: 109283.
- Kubier, A., Pichler, T., 2019. Cadmium in groundwater- A synopsis based on a large hydrogeochemical data set. *Science of the Total Environment*, 689: 831-842.
- Martin, S., Griswold, W., 2009. Human health effects of heavy metals. *Environmental Science and Technology Briefs for Citizens*, 15(5): 1-6.
- Mitchell, L.G., Grant, C.A., Racz, G.J., 2000. Effect of nitrogen application on concentration of cadmium and nutrient ions in soil solution and in durum wheat. *Canadian Journal of Soil Science*, 80(1): 107-115.
- Rani, N., Singh, M., 2022. Remediation of soil impacted by heavy metal using farm yard manure, vermicompost, biochar and poultry manure. In: M. Aide and I. Braden (Eds.), *Soil Science-Emerging Technologies, Global Perspectives and Applications*, IntechOpen Limited, London, United Kingdom.
- Ni, Z.Y., Zhang, M.K., Wang, J.W., Li, D., Wang, Y.J., 2020. Cadmium uptake and accumulation in rice at different growth stages. *Journal of Agriculture*, 10(3): 49-54.
- Oldare, M., Arthurson, V., Pell, M., Svensson, K., Nehrenheim, E., Abubakar, J., 2011. Land application of organic waste-Effects on the soil ecosystem. *Applied Energy*, 88(6): 2210-2218.
- Ozyazici, MA., Dengiz, O., Ozyazici, G., 2017. Spatial distribution of heavy metals density in cultivated soils of Central and East Parts of Black Sea Region in Turkey. *Eurasian Journal of Soil Science*, 6(3): 197-205.
- Ozyazici, G., Turan, N., 2021. Effect of vermicompost application on mineral nutrient composition of grains of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* m.). *Sustainability*, 13(11): 6004.
- Özyazıcı, M.A., Dengiz, O., Özyazıcı, G., 2019. Ordu ili tarım topraklarının ağır metal içeriklerine yönelik zenginleşme faktörlerinin farklı enterpolasyon modeller kullanılarak konumsal dağılımlarının belirlenmesi. *ZEUGMA II. Uluslararası Multidisipliner Çalışmalar Kongresi*, 18-20 Ocak, Tam Metin Kitabı, Cilt-2, Gaziantep, Türkiye, s. 901-916.
- Perez-de-Mora, A., Madrid, F., Cabrera, F., Madejon, E., 2007. Amendments and plant cover influence on trace element pools in a contaminated soil. *Geoderma*, 139(1-2): 1-10.
- Rahimi, A., Özyazıcı, G., Ahmadi, F., 2020. Effects of some heavy metals (Cd, Cu, Pb, and Zn) concentration on qualitative traits of dill (*Anethum graveolens* L.) and basil (*Ocimum basilicum* L.). *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 4(1): 54-67.
- Rajaie, M., Karimian, N., Maftoun, M., Yasrebi, J., Assad, M.T., 2006. Chemical forms of cadmium in two calcareous soil textural classes as affected by application of cadmium-enriched compost and incubation time. *Geoderma*, 136(3-4): 533-541.
- Rizwan, M., Ali, S., Adrees, M., Rizvi, H., Zia-ur-Rehman, M., Hannan, F., Qayyum, M.F., Hafeez, F.,

- Ok, Y.S., 2016. Cadmium stress in rice: Toxic effects, tolerance mechanisms, and management: A critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, 23: 17859-17879.
- Robson, T.C., Braungardt, C.B., Rieuwerts, J., Worsfold, P., 2014. Cadmium contamination of agricultural soils and crops resulting from sphalerite weathering. *Environmental Pollution*, 184: 283-289.
- Shetty, S., Sreepada, K.S., Bhat, R., 2013. Effect of bat guano on the growth of *Vigna radiata* L. *International Journal of Science and Research*, 3(3): 1-8.
- Srivastava, P.K., Gupta, M., Upadhyay, R.K., Sharma, S., Shikha, Singh, N., Tewari, S.K., Singh, B., 2012. Effects of combined application of vermicompost and mineral fertilizer on the growth of *Allium cepa* L. and soil fertility. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(1): 101-107.
- Wångstrand, H., Eriksson, J., Öborn, I., 2007. Cadmium concentration in winter wheat as affected by nitrogen fertilization. *European Journal of Agronomy*, 26(3): 209-214.
- Yang, Y., Li, Y., Wang, T., Chen, W., Wang, M., Dai, Y., 2022. Derivation of human health risk-based thresholds for lead in soils promote the production of safer wheat and rice. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 230: 113131.

ALINTI: Gülmezoğlu, N., Kutlu, İ., Sağır, F., 2024. Kadmiyum Stresindeki Tahıl Türlerinin Besin Elementi Alımında Organik Gübrelerin Rolü. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 11(1): 91-108.

CITATION: Gülmezoğlu, N., Kutlu, İ., Sağır, F., 2024. The Role of Organic Fertilizers in Nutrient Uptake of Cereal Species Under Cadmium Stress. *Turkish Journal of Agricultural Research*, 11(1): 91-108. (In Turkish).