اثر سطوح مختلف کادمیم و روی بر عملکرد و جذب عناصر ریز مغذی در گندم رقم چمران

سیروس جعفری[1*]، زهرا ایرانشاهی[2]، قدرت ا... فتحی[2] و سید عطاا... سیادت[2]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۱/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۸/۱۴)

چکیده

کادمیم در گیاه، انسان و دام یک آلاینده محسوب می‌شود. به هدف بررسی مصرف کادمیم و روی بر عملکرد و جذب عناصر ریزمغذی در گندم، آزمایشی گلخانه‌ای در دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین انجام شد. این آزمایش فاکتوریل و در قالب بلوک‌های کامل تصادفی، سه سطح کادمیم (۰، ۵۰، ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و سه سطح روی (۰، ۵۰، ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) به‌صورت فاکتوریل در نه تیمار در گلدان با بذر گندم رقم چمران اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که مصرف کادمیم به طور معنی‌داری ($P<0/01$) عملکرد دانه، عملکرد کاه و عملکرد کل را کاهش داد ولی مصرف روی به‌طور معنی‌دار ($P<0/01$) عملکرد آنها را افزایش می‌دهد. مصرف کادمیم به تنهایی موجب ۶۱/۴۷ درصد کاهش در عملکرد دانه شد درحالی‌که مصرف روی به تنهایی میزان عملکرد دانه را به میزان ۳۷/۰ درصد افزایش داد. افزایش کادمیم، غلظت و جذب کادمیم توسط دانه و کاه را افزایش ولی مصرف روی جذب کادمیم را کاهش داد. غلظت کادمیم در کاه بیشتر از دانه، ولی غلظت روی روند معکوسی را نشان داد. غلظت روی در دانه بیشتر از کاه بود. مصرف روی، جذب کل کادمیم را از ۴۲/۹ میلی‌گرم در گلدان در تیمار روی صفر به ۷/۸ میلی‌گرم در گلدان با سطح روی ۱۰۰ کاهش داد. بنابراین برای کاهش غلظت کادمیم در دانه گندم در اراضی آلوده، مصرف کود روی توصیه می‌شود. هم‌چنین لازم است که در مصرف کود فسفر آزمون سنجش میزان کادمیم آن ضروری گردد. حتی آهکی زیاد خاک نیز سبب ممانعت از جذب کادمیم توسط گیاه در خاک آلوده شده نگردید.

واژه‌های کلیدی: آلاینده، کادمیم، خاک، روی، قابلیت جذب

۱. گروه علوم خاک، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

۲. گروه زراعت، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: siroosjafari@yahoo.com

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.13.0]

مقدمه

تورک (۲۹) نشان داد که در گندم با افزایش غلظت کادمیم، علاوه بر کاهش ارتفاع و زرد شدن برگ‌ها، رنگ ریشه‌ها نیز به‌طور غیرطبیعی قهوه‌ای شده و اندازه برگ‌های جوان نیز کاهش می‌یابد. کادمیم مانع فتوسنتز، تنفس، جذب مواد و فعالیت آنزیم‌ها شده و می‌تواند تعادل هورمون‌ها را به‌هم زند (۸). کادمیم باعث به هم ریختگی کلروپلاست سلول‌های مزوفیلی پارانشیمی در برگ گیاهان می‌شود (۲۶). از مهم‌ترین عوامل خاکی و گیاهی مؤثر بر قابلیت جذب کادمیم توسط گیاه می‌توان به میزان کل کادمیم، منشاء کادمیم خاک، pH، قدرت اکسیداسیون و احیای، ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم، شوری، نوع رس، گونه و یا ارقام گیاهی اشاره نمود (۶). نورول و همکاران (۲۲) در گندم دوروم کشت شده در خاک آلوده به کادمیم نشان دادند که وجود کلر و شوری زیاد در خاک سبب می‌شود میزان کادمیم موجود در دانه و خاک نسبت به خاکی که این عنصر در آن کمتر باشد بیشتر می‌گردد، برخلاف روی که با افزایش شوری خاک جذب آن در محلول خاک کاهش می‌یابد.

پینتو و همکاران (۲۴) نشان دادند که سورگوم بیشترین تجمع کادمیم را نسبت به گرامینه‌های دیگر در ریشه خود دارد و میزان جذب کادمیم در حضور مواد آلی افزایش می‌یابد. نیگام و همکاران (۲۱) در آزمایشی به این نتیجه رسیدند که ۷۵-۶۵ درصد کادمیم در ریشه ذخیره شده و تنها مقدار کمی از آن به قسمت‌های هوایی گیاه منتقل می‌گردد. ذخیره کادمیم در قسمت‌های مختلف گیاه به این ترتیب می‌باشد: دانه< قسمت هوایی(ساقه)< ریشه. در غلات فلزات سنگین در ریشه و اندام هوایی نگهداری می‌شوند و این امری خوشایند است زیرا این بخش از غلات گیاهان برای غذای انسان استفاده نمی‌شوند. گندم دوروم نسبت به جذب کادمیم حساستر از گندم نان است. تحت تأثیر سمیت کادمیم، وزن خشک اندام هوایی در بین رقم‌های گندم نان و دوروم خیلی متفاوت نیست. به‌طور میانگین کاهش وزن اندام هوایی گندم دوروم ۳۱ و گندم نان ۳۰٪ است (۲۹). زونگ و همکاران (۳۶) در کشت هیدروپونیک گندم با اعمال تیمار کادمیم و روی متوجه شدند که با افزایش غلظت روی تا ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، میزان بیومس ریشه و اندام هوایی نسبت به شاهد افزایش یافت. هم‌چنین در غلظت بالاتر کادمیم، رشد ریشه نسبت به شاهد کاهش بیشتری یافت. تلاستوس و همکاران (۲۸) در آزمایش گلدانی در گندم بهاره در خاکی همراه با افزایش آهک، تحت تیمارهای روی و کادمیم نشان دادند که در گلدان‌های آهکی میزان کادمیم در کاه و کلش گیاه نسبت به گلدان‌های شاهد کاهش یافته بود. هم‌چنین میزان کادمیم در دانه در گلدان‌های آهکی نسبت به شاهد کاهش و عملکرد نیز افزایش چشمگیری نشان داد. جیاو و همکاران (۱۵) در آزمایش خود در گندم و کتان در حضور کادمیم و روی نشان دادند که غلظت کادمیم در حضور روی در دانه هر دو گیاه نسبت به ریشه و دیگر قسمت‌های گیاه کمتر است. مولینز و همکاران (۱۹) نشان دادند که جذب روی و کادمیم توسط گیاه بر غلظت کلروفیل برگ‌ها و مقدار ماده خشک گیاهی اثر داشت. به نحوی که با افزایش کادمیم، میزان کلروفیل و عملکرد کاهش و با افزایش روی این دو افزایش می‌یابد. در گیاه جو با افزایش میزان روی، سمیت کادمیم در گیاه با کاهش آسیب در اندام این گیاه و بهبود رشد گیاه کاهش یافت (۳۳).

نان و همکاران (۲۰) نشان دادند که افزایش روی، انتقال کادمیم در ذرت و گندم را در یک خاک آهکی از خاک به اندام‌ها و بخش‌های گیاهی کاهش می‌دهد. افزایش روی می‌تواند سمیت کادمیم را در گیاه جو با کاهش آسیب به اندام این گیاه و بهبود رشد آن کاهش دهد (۳۲). هارت و همکاران (۱۴) نشان داند که در گندم دوروم و نان که جذب کادمیم به‌وسیله ریشه کاهش می‌یابد با افزایش میزان روی، رقابتی بین روی و کادمیم برای جذب ایجاد می‌شود. گندم دوروم نسبت به گندم نان محتوای بیشتری از کادمیم را در دانه خود دارد به‌ویژه در شرایطی که کمبود روی وجود داشته باشد. پیج و همکاران (۲۳) با افزایش روی به گندم و لوپن نشان دادند که در لوپن بیشترین مقدار روی و کادمیم در ریشه باقی‌مانده و در اندام

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.13.0]

هوایی لوپن کادمیمی مشاهده نمی‌شود ولی در گیاه گندم، کادمیم در بخش هوایی گیاه هم وجود دارد. در این آزمایش مشاهده شد که کادمیم در بخش هوایی گیاه در جوان‌ترین برگ حداکثر تجمع را داراست. هم‌چنین آنان اعلام کردند که روی از ریشه به اندام هوایی منتقل و از طریق آوند آبکش از برگ‌های پیر به برگ‌های جوان منتقل می‌شود ولی برخلاف روی، کادمیم به میزان بیشتر در ریشه باقی می‌ماند. در خاک‌های شور و یا شور و سدیمی حلالیت عناصر کم مصرفی چون آهن، مس، روی، منگنز و مولیبدن معمولاً کم بوده و گیاهان در این شرایط اغلب کمبود عناصر فوق را نشان می‌دهند. تحت شرایط شوری، عملکرد گیاه هم کاهش می‌یابد. بنابراین میزان کمبود بسته به نوع گیاه و نوع بافت گیاهی، سطح شوری، شرایط رشد، غلظت عناصر کم مصرف در محیط رشد، نوع ترکیب بستر گیاه و طول دوره تیمار شوری متفاوت است (۱). بنابراین این آزمایش به هدف بررسی اثر سطوح مختلف کادمیم و روی بر عملکرد گندم و جذب این عناصر توسط بخش‌های مختلف انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۸۷-۱۳۸۶ در گلخانه دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین در ملاثانی با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه و به ارتفاع ۵۱ متر از سطح دریا، اجرا شد. متوسط بارندگی سالانه ۲۶۶ میلی‌متر و میانگین رطوبت نسبی سالیانه هوا ۵۸/۵ درصد می‌باشد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. تیمارهای آزمایشی عبارتند از: ۱. کادمیم در سه سطح (۰ و ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) از منبع کلرید کادمیم. ۲. روی در سه سطح (۰ و ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) از منبع سولفات روی.

این تیمارها به‌صورت فاکتوریل در ۹ تیمار مختلف با چهار تکرار اجرا شدند. این آزمایش در یک خاک لوم رسی(از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری مزرعه دانشکده کشاورزی) که ماده آلی آن ۰/۷ درصد، آهک ۴۱ درصد، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع آن ۱/۷ دسی زیمنس بر متر، پ هاش آن ۷/۵ می‌باشد، اجرا شد. میزان فسفر خاک ۱۴، پتاسیم ۹۰/۴، روی ۰/۳، آهن ۱۲، مس ۰/۹ و کادمیم ۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم در خاک بود. در گلدان‌های پلاستیکی حدود ۱۷ کیلوگرم خاک ریخته شد. قسمت بالای گلدان‌ها جهت آبیاری تا عمق مناسب خالی نگه‌داشته شد. گلدان‌های شاهد بدون اضافه کردن کادمیم و روی آماده شده و بقیه گلدان‌ها با مقادیر روی و کادمیم تعریف شده برای هر تیمار کاملاً مخلوط شدند. پس از اعمال تیمارها، بذر گندم رقم چمران در سوم آذرماه ۱۳۸۶ در عمق حدود ۵-۴ سانتی‌متری کشت و سپس به تعداد ۱۲ بوته در هر گلدان تنک شد. برداشت در اول اردیبهشت سال ۱۳۸۷ بعد از رسیدن کامل گندم صورت گرفت. برداشت گیاهان از طریق کف بر کردن بوته صورت گرفت. بوته‌های بریده شده از هر گلدان در پاکت کاغذی قرار داده شده و سپس برای خشک شدن کامل گیاه، پاکت‌های مورد نظر در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت در آون خشک شدند. دانه‌ها از سنبله جدا و وزن خشک بوته اندازه‌گیری شد. هم‌چنین عملکرد بیولوژیکی شامل برگ، ساقه و سنبله، میزان کاه و وزن ۱۰۰۰ دانه اندازه‌گیری شد. در اندازه‌گیری عناصر غذایی کم مصرف از روش خاکسترگیری خشک و حل کردن خاکستر در اسید کلریدریک استفاده گردید. عناصر آهن، مس و روی با روش جذب اتمی شعله‌ای و با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Carl Ziess Yena Gensis 5FL اندازه‌گیری شدند. دقت دستگاه جذب اتمی مورد استفاده برای عنصر روی ۰/۰۱۳ و برای کادمیم ۰/۰۳۲ میلی‌گرم در لیتر بود. نتایج به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS تحلیل (۲۵) و برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر تیمارها بر تولید و اجزاء عملکرد گندم

نتایج حاصل از تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین سطوح مختلف تیمار کادمیم و روی و یا اثر متقابل آنها بر وزن هزار دانه، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. ولی بین سطوح مختلف

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.13.0]

کادمیم از لحاظ اثر بر عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری ملاحظه شد(جدول ۱). تیمار کادمیم صفر با میانگین ۱۶/۱ گرم در گلدان و تیمار کادمیم ۱۰۰ با میانگین ۱۱/۰ گرم در گلدان به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین عملکرد دانه می‌باشند. بر این اساس با افزایش سطوح کادمیم مصرفی، عملکرد دانه کاهش می‌یابد. وجود کادمیم زیاد در محیط ریشه و جذب آن توسط گندم می‌تواند موجب کاهش عملکرد کمی و کیفی محصول شود. کادمیم باعث به هم ریختگی کلروپلاست سلول‌های مزوفیلی پارانشیمی در برگ گیاهان شده و در نتیجه با کاهش فتوسنتز، باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود که گوپتا و پوتالیا (۱۳) نیز چنین نتایجی را گزارش نمودند. هم‌چنین در سطوح مختلف روی از لحاظ اثر بر عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود داشت (جدول۱). مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی با میانگین ۱۴/۸ گرم در گلدان و تیمار صفر آن با میانگین ۱۰/۸ گرم در گلدان به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین عملکرد دانه است. با افزایش میزان روی مصرفی، عملکرد دانه افزایش می‌یابد. روی در فعالیت اکسین و تولید کلروفیل و در نتیجه افزایش فتوسنتز در گیاه نقش داشته و در نتیجه باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود. وانخاده (۳۰) نیز نتایج مشابهی را در شرایط تقریباً مشابهی ارائه نموده‌اند.

نتایج نشان داد که بین سطوح مختلف کادمیم از لحاظ اثر بر عملکرد کل، تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲). براساس نتایج حاصله، تیمار کادمیم صفر با میانگین ۴۱/۶ گرم و کادمیم ۱۰۰ با میانگین ۲۹/۴ گرم به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین عملکرد کل ماده خشک می‌باشد. با افزایش سطوح کادمیم مصرفی، عملکرد کل کاهش یافت. وجود کادمیم زیاد در محیط ریشه و جذب آن توسط گندم می‌تواند موجب کاهش عملکرد کمی و کیفی محصول شود. کادمیم با کاهش شدت فعالیت‌های آنزیمی، غیرفعال کردن آنزیم‌ها، کاهش فتوسنتز در گیاه و اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی و به‌خصوص جذب عناصر غذایی، سبب کاهش عملکرد می‌شود. نتایج مشابهی توسط مارچیول و همکاران (۱۸) نیز در خصوص کاهش رشد ریشه و چوب پنبه‌ای شدن در اثر وجود کادمیوم زیاد ارائه شده است. جذب کادمیم توسط گیاه در فیزیولوژی و متابولیسم گیاهی اختلال ایجاد می‌کند. غلظت‌های زیاد کادمیم و یا زمانی که در طولانی مدت عرضه آن ادامه داشته باشد، افت عمومی فعالیت متابولیکی با از بین رفتن فشار تورمی سلول‌ها و بسته شدن روزنه‌ها را در پی داشته و در نتیجه کاهش عملکرد گیاه را به دنبال دارد (۱۸). تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین سطوح مختلف روی از لحاظ اثر بر عملکرد دانه، تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲). تیمار روی ۱۰۰ با میانگین ۳۷/۳ و روی صفر با میانگین ۳۰/۹ گرم در گلدان به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین عملکرد کل می‌باشند. با افزایش میزان روی مصرفی، عملکرد کل افزایش می‌یابد. این امر ممکن است که به دلیل اثر روی بر تولید هورمون اکسین و در نتیجه افزایش میزان کلروفیل‌سازی در گیاه و در نتیجه افزایش فتوسنتز گیاه باشد. چوچ و همکاران (۹) و وانخاده (۳۰) نیز تحلیل مشابهی در خصوص این نتایج داشته اند. به دلیل ضروری بودن این عنصر در تولید هورمون رشد ایندول استیک اسید، کاهش رشد اندام هوایی در غیاب روی مشاهده می‌گردد که کاهش عملکرد کل گیاه را به دنبال دارد (۴). نتایج حاصل از تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که اثر متقابل معنی‌داری بین میزان مصرف کادمیم و روی بر عملکرد کل وجود ندارد (جدول ۲).

اثر تیمارها بر غلظت کادمیم و روی دانه گندم

تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که میان سطوح مختلف کادمیم از لحاظ اثر بر غلظت کادمیم دانه تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۳). براساس نتایج حاصل از این آزمایش، تیمار کادمیم صفر با میانگین ۰/۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم و کادمیم ۱۰۰ با میانگین ۶/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌ترتیب دارای کمترین و بیشترین غلظت کادمیم در دانه می‌باشند. به عبارتی با افزایش میزان کادمیم مصرفی، کادمیم دانه افزایش می‌یابد. نتایج مشابهی نیز توسط گوپتا و پوتالیا (۱۳) و تمبو و سیچیلنگو (۲۷)

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.13.0]

جدول ۱. تحلیل آماری اثر تیمارهای افزایش کادمیم و روی بر عملکرد دانه

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	ارزش F
تکرار	۳	۹۴/۳	۳۱/۵	۵/۵**
کادمیم	۲	۱۶۴/۵	۸۲/۳	۱۴/۴**
روی	۲	۱۱۱/۰	۵۵/۵	۹/۷**
کادمیوم× روی	۴	۱۹/۱	۴/۸	۰/۸ns
خطا	۲۴	۱۳۷/۱	۵/۷	–
کل	۳۵	۵۲۶/۱	–	–

ns: غیرمعنی‌دار **: معنی‌دار در سطح یک درصد

جدول ۲. تحلیل آماری اثر تیمارهای افزایش کادمیم و روی بر عملکرد کل ماده خشک گندم

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	ارزش F
تکرار	۳	۱۳۰/۹	۴۳/۷	۲/۶ns
کادمیوم	۲	۹۳۰/۶	۴۶۵/۳	۲۷/۹**
روی	۲	۲۷۸/۸	۱۳۹/۴	۸/۴**
کادمیم×روی	۴	۵۸/۹	۱۴/۷	۰/۹ns
خطا	۲۴	۳۹۹/۳	۱۶/۶	–

ns: غیرمعنی‌دار **: معنی‌دار در سطح یک درصد

جدول ۳. تحلیل آماری اثر تیمارهای افزایش روی و کادمیم بر میزان کادمیم دانه

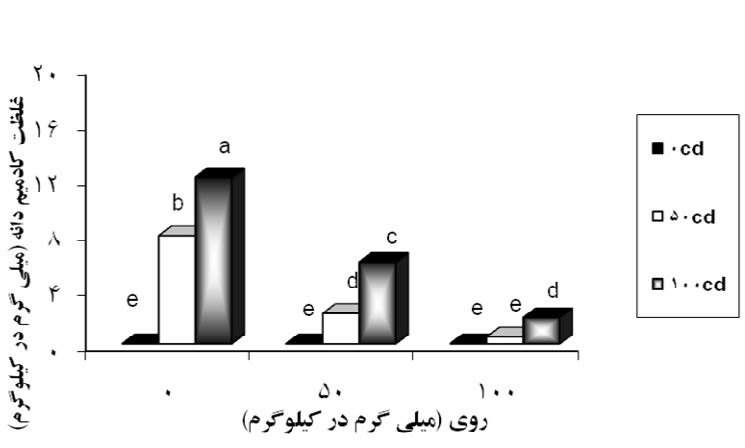
منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	ارزش F
تکرار	۳	۲/۵	۰/۸	۲/۵ns
کادمیوم	۲	۲۶۴/۸	۱۳۲/۴	۳۹۹/۵**
روی	۲	۲۱۳/۴	۱۰۶/۷	۳۲۲/۰**
کادمیم×روی	۴	۱۱۶/۰	۲۹/۰	۸۷/۵**
خطا	۲۴	۸/۰	۰/۳	–
کل	۳۵	۶۰۴/۶	–	–

ns: غیرمعنی‌دار **: معنی‌دار در سطح یک درصد

گزارش شده است. از آنجایی‌که وجود بیش از ۰/۱۲-۰/۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم در دانه بالاتر از حد مجاز است (۲) باید از کشت گندم در خاک‌های آلوده که میزان کادمیم در خاک آنها بیش از ۱/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، خودداری کرد. هم‌چنین تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که میان سطوح مختلف روی از حیث اثر بر غلظت کادمیم دانه تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۳ و شکل ۱). براساس نتایج این آزمایش تیمار روی ۱۰۰ با میانگین ۰/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و روی صفر با میانگین ۶/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌ترتیب دارای کمترین و بیشترین غلظت کادمیم دانه می‌باشند. با افزایش میزان

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.13.0]



شکل ۱. تأثیر سطوح مختلف کادمیم و روی بر غلظت کادمیم دانه

روی افزوده شده، غلظت کادمیم دانه کاهش یافت. با افزایش روی، رشد و توسعه سلولی بافت‌های گیاهی تسریع شده و به دلیل اثر رقت، از غلظت کادمیم در تیمارهای با افزایش روی کاسته می‌شود. آدامز و همکاران (۵) رابطه بین pH خاک و غلظت کادمیم موجود در خاک را دو فاکتور عمده در جذب و انتقال کادمیم گزارش کردند. به‌طورکلی بین pH خاک و میزان جذب کادمیم توسط ریشه گیاه رابطه معکوسی وجود دارد به‌طوری‌که غلظت کادمیم در بافت گیاهی با افزایش pH خاک کاهش می‌یابد (۳۴).

هم‌چنین اثر متقابل معنی‌داری بین میزان مصرف کادمیم و روی بر غلظت کادمیم دانه وجود دارد (جدول ۳). در این آزمایش بیشترین غلظت کادمیم دانه در تیمار ۱۰۰ کادمیم و سطح صفر روی با میانگین ۱۲/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم دانه حاصل شد. کمترین غلظت کادمیم دانه نیز در تیمارهایی بود که کادمیم مصرفی آنها در سطح صفر بود. در این آزمایش با افزایش مصرف روی، غلظت کادمیم دانه کاهش یافت. علت اثر کاهندگی روی بر غلظت کادمیم دانه احتمالاً از یک سو مربوط به اثر رقت و بازدارندگی روی بر انتقال کادمیم از کاه به دانه و از سوی دیگر اثر رقابتی روی بر جذب کادمیم است. کادمیم و روی دارای آثار متقابل شدیدی نسبت به‌هم هستند. شباهت این دو عنصر در روند جذب و انتقال از ریشه به ساقه و تجمع در قسمت‌های گیاه می‌تواند بیانگر اثرات متقابل آنها باشد (۳، ۱۰ و ۳۷). هم‌چنین تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که میان سطوح مختلف کادمیم از لحاظ اثر بر غلظت روی در دانه تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۴ و شکل ۲). تیمار کادمیم صفر با میانگین ۵۳/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم روی و کادمیم ۱۰۰ با میانگین ۹/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم روی به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین غلظت روی دانه می‌باشند. با افزایش سطوح کادمیم مصرفی به علت اثر رقت، غلظت روی دانه کاهش می‌یابد. کست (۷) گزارش نمود که کادمیم سبب محدودیت در جذب روی توسط گیاه می‌شود. از لحاظ آماری سطوح مختلف روی مصرفی بر غلظت روی در دانه تفاوت معنی‌داری ایجاد نموده است (جدول۴). براساس نتایج این آزمایش، تیمار روی ۱۰۰ با میانگین ۴۳/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم و روی صفر با میانگین ۱۲/۹ به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین غلظت روی در دانه می‌باشند. با افزایش میزان روی مصرفی، غلظت روی دانه افزایش یافته و باعث غنی شدن دانه گندم شده است. علت آن‌را می‌توان به حضور روی بیشتر در محیط خاک و در نتیجه جذب بیشتر روی توسط گیاه مربوط دانست. بیلماز و همکاران (۳۵) نیز چنین نتایجی را با افزایش روی به خاک گزارش نمودند. مقایسهٔ این دو نتیجه با هم نشان می‌دهد که اثر کاهندگی کادمیم بر غلظت روی در دانه حتی از اثر خود روی

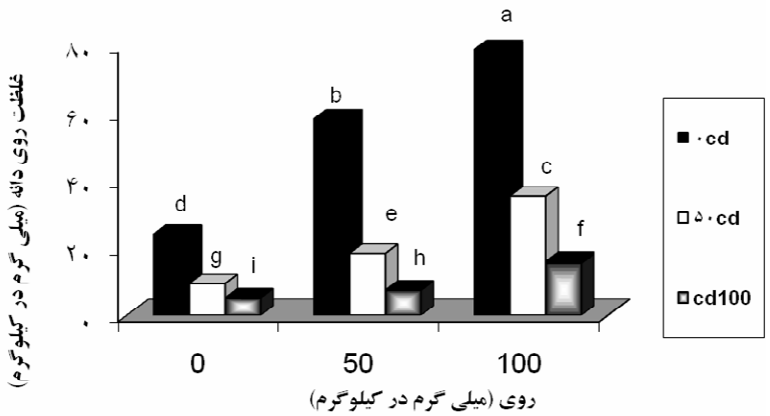
[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.13.0]

جدول ۴. تحلیل آماری اثر تیمارهای افزایش کادمیم و روی بر غلظت روی دانه

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	ارزش F
تکرار	۳	۱/۸	۰/۶	۰/۷^{ns}
کادمیوم	۲	۱۲۶۳۹/۴	۶۳۱۹/۷	۶۸۴۴/۰**
روی	۲	۵۵۹۷/۴	۲۷۹۸/۷	۳۰۳۰/۹**
کادمیوم×روی	۴	۲۱۷۸/۳	۵۴۴/۶	۵۸۹/۷**
خطا	۲۴	۲۲/۲	۰/۹	–
کل	۳۵	۲۰۴۳۹/۱	–	–

ns: غیرمعنی‌دار **: معنی‌دار در سطح یک درصد



شکل ۲. تأثیر سطوح مختلف کادمیم و روی بر غلظت روی دانه

بر میزان روی در دانه شدیدتر است، به‌طوری‌که کادمیم توانسته است میزان روی را در دانه ۸۲ درصد کاهش دهد، درحالی‌که تفاوت کاربرد روی ۷۰ درصد است. این نتایج نشان می‌دهد که اثر رقابتی کادمیم در جلوگیری از جذب روی از اثر بازدارندگی روی نیز شدیدتر است. به همین دلیل در خاک‌هایی که آلودگی آنها به کادمیم بیش از حد باشد با افزایش مصرف روی نیز می‌توان میزان آن در گیاه را به حد قابل توجهی کاهش داد.

هم‌چنین اثر متقابل معنی‌داری بین میزان مصرف کادمیم و روی بر غلظت روی دانه وجود دارد (جدول ۴). در این آزمایش بیشترین غلظت روی دانه با مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی و سطح صفر کادمیم با میانگین ۷۸/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم روی در دانه به‌دست می‌آید. کمترین غلظت روی دانه با مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم و سطح صفر روی با میانگین ۵/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در دانه در هر گلدان حاصل شد. با افزایش مصرف روی، علاوه بر افزایش روی در دانه گندم، از میزان کادمیم دانه کاسته شد. علت آن را می‌توان به اثر روی بر رشد و توسعه بافت‌های گیاهی دانست که به علت اثر رقت از غلظت کادمیم در دانه کاسته شده و علت دیگر آن نیز می‌تواند به بر همکنش منفی بین روی و کادمیم در بافت‌های گیاهی مربوط شود. چنین نتایجی توسط زونگ و جوان (۳۶) نیز ارائه شده است. ظاهراً روی نمی‌تواند با توسعه گیاه چندان غلظت کادمیم را در بافت‌های گیاهی کاهش دهد و

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.13.0]

این کادمیم است که احتمالاً با اثر آنتاگونیسمی خود، از جذب روی و انتقال آن به دانه جلوگیری می‌کند.

اثر تیمارهای کادمیم و روی بر غلظت آنها در کاه گندم

تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که میان سطوح مختلف کادمیم از لحاظ اثر بر غلظت کادمیم کاه تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۵). در این آزمایش تیمار کادمیم ۱۰۰ با میانگین ۱۸/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم و کادمیم صفر با میانگین ۰/۰۴ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین غلظت کادمیم کاه می‌باشد. علت این امر را می‌توان به افزایش غلظت کادمیم خاک و جذب بیشتر آن توسط گیاه و نقش کادمیم در غیرفعال سازی بسیاری از فعالیت‌های گیاه از جمله اختلال در رشد ریشه نسبت داد. کادمیم با کاهش طول و حجم ریشه از جذب عناصر دیگر ممانعت نموده و در نتیجه جذب خود را بالاتر می‌برد. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق با نتایج وسلوو و همکاران (۳۱) و زونگ و جوان (۳۶) مطابقت دارد. وسلو و همکاران (۳۱) نشان دادند که بیشترین میزان کادمیم در اندام هوایی گیاه در کلش ذخیره شده و مقدار اندکی از آن نیز به دانه منتقل شده است. مقایسهٔ میانگین‌های کادمیم دانه (۳/۴) با کادمیم کاه (۹/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) نشان می‌دهد که غلظت کادمیم کاه ۲/۹ برابر کادمیم در دانه است. بررسی اثر عوامل مورد آزمایش بر این نسبت نشان می‌دهد که کاربرد روی نه تنها مقدار کادمیم را در کاه و دانه کاهش می‌دهد بلکه از انتقال آن به دانه نیز جلوگیری می‌کند. با توجه به افزایش عملکرد دانه در اثر کاربرد روی، این کاهش انتقال را تا حدی می‌توان ناشی از اثر رقت کادمیم در کربوهیدرات‌های ذخیره شده در دانه در اثر مثبت تأمین نیاز گیاه به روی دانست (۳۱). تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین سطوح مختلف روی از لحاظ اثر بر غلظت کادمیم کاه تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۵). تیمار روی ۱۰۰ با میانگین ۲/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم و روی صفر با میانگین ۱۸/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌ترتیب دارای کمترین و بیشترین غلظت کادمیم کاه است. این امر را می‌توان به نقش مثبت روی در کاهش اثر سمیت کادمیم در گیاه نسبت داد. روی نگهداری کادمیم در ریشه را بهبود می‌بخشد لذا با افزایش غلظت روی در خاک باعث تداخل در جذب کادمیم از طریق رقابت با این عنصر می‌شود. به‌طورکلی رابطه معکوسی در جذب کادمیم و روی توسط ریشه وجود دارد. یافته‌های گرانت و همکاران (۱۲) و هارت و همکاران (۱۴) تصدیق‌کننده این نتایج هستند.

تحلیل آماری داده‌ها نشان می‌دهد که اثر متقابل معنی‌داری بین میزان مصرف کادمیم و روی بر غلظت کادمیم کاه وجود دارد (جدول۵). در این آزمایش بیشترین غلظت کادمیم کاه در تیمار ۱۰۰ کادمیم و سطح صفر روی با میانگین ۳۰/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم در هر گلدان و کمترین غلظت کادمیم دانه در تیمارهایی بود که کادمیم مصرفی آنها در سطح صفر بود. افزایش روی با تقویت رشد گیاه، سمیت کادمیم را کاهش می‌دهد. روی نقش بازدارندگی در انتقال کادمیم به قسمت هوایی گیاه دارد. با افزایش مصرف روی در خاک، روی غالب بودن خود را نشان داده و باعث کاهش جذب کادمیم از طریق رقابت با این عنصر شده و سبب نگهداری کادمیم در محیط ریشه می‌شود. افزایش سریع غلظت کادمیم در کاه به احتمال زیاد به شکستن سد فیزیولوژیکی کنترل‌کننده جذب متابولیک این عنصر مربوط می‌شود. این نتایج نشان می‌دهند که حتی در خاک آهکی، جذب کادمیم توسط کاه و کلش گیاه تابع غلظت کادمیم موجود در خاک است و آهکی بودن خاک اثر کمی بر جذب آن توسط گیاه دارد. ویو و همکاران (۳۲) و پیلماز و همکاران (۳۵) نیز در خاک‌های آهکی نتایج مشابهی را گزارش نمودند. بین سطوح مختلف کادمیم از لحاظ اثر بر غلظت روی در کاه تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۶). طبق نتایج به‌دست آمده از این آزمایش، تیمار کادمیم صفر با میانگین ۲۷/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم روی و کادمیم ۱۰۰ با میانگین ۷/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم روی به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین غلظت روی کاه می‌باشند. با افزایش کادمیم به خاک، جذب روی در گیاه کاهش یافت. کرخام (۱۶) معتقد است که با

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.13.0]

جدول۵. تحلیل آماری اثر تیمارهای افزایش کادمیم و روی بر میزان کادمیم در کاه

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	ارزشF
تکرار	۳	۱۵/۳	۵/۱	۱/۳^{ns}
کادمیوم	۲	۲۰۶۴/۲	۱۰۳۲/۱	۲۶۴/۶**
روی	۲	۱۵۴۶/۶	۷۷۳/۳	۱۹۸/۳**
کادمیوم×روی	۴	۸۳۳/۱	۲۰۸/۳	۵۳/۴**
خطا	۲۴	۹۲/۳	۳/۹	–
کل	۳۵	۴۵۵۱/۶	–	–

ns: غیرمعنی‌دار **: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد

جدول ۶. تحلیل آماری اثر تیمارهای افزایش کادمیم و روی بر میزان روی در کاه

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	ارزشF
تکرار	۳	۴/۹	۱/۷	۰/۵^{ns}
کادمیوم	۲	۲۶۵۰/۰	۱۳۲۵/۰	۴۰۱/۵**
روی	۲	۲۳۶۸/۶	۱۱۸۴/۳	۳۵۸/۹**
کادمیوم×روی	۴	۱۰۱۰/۲	۲۵۲/۶	۷۶/۵**
خطا	۲۴	۷۹/۴	۳/۳	–
کل	۳۵	۶۱۱۳/۱	–	–

ns: غیرمعنی‌دار **: معنی‌دار در سطح یک درصد *: معنی‌دار در سطح پنج درصد

افزایش کادمیم در خاک و در نتیجه کاهش رشد ریشه، ریشه قادر نخواهد بود عناصر دیگر را به خوبی جذب کند. هم‌چنین بین تیمارهای مختلف روی از لحاظ اثر بر غلظت روی در کاه تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۶). در این آزمایش تیمار روی ۱۰۰ با میانگین ۲۷/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم و روی صفر با میانگین ۸/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین غلظت روی خاک می‌باشند. با افزایش روی در خاک، غلظت آن در کاه و کلش نیز افزایش می‌یابد. با افزایش روی در خاک رشد ریشه گیاهان افزایش یافته و انتقال مواد غذایی به نحو مطلوبی صورت می‌گیرد. این نتایج با نتایج گادالاه و رمضان (۱۱) همخوانی دارد. همان‌طورکه در مورد میزان روی در دانه گفته شد، مقایسهٔ این دو اثر نشان می‌دهد که اثر کادمیم بر جذب روی توسط گیاه حتی از اثر مصرف روی بر میزان روی در کاه نیز شدیدتر است. به‌طوری‌که تفاوت اثر کادمیم بر میزان روی در کاه ۷۴ درصد، درحالی‌که اثر روی بر میزان روی در کاه ۷۰ درصد می‌باشد. این نتیجه نشان می‌دهد که افزایش کادمیم در خاک با کاهش رشد ریشه در خاک، از جذب سایر عناصر از جمله روی جلوگیری می‌کند.

اثر متقابل معنی‌داری بین میزان مصرف کادمیم و روی بر غلظت روی کاه وجود دارد (جدول ۶). در این آزمایش بیشترین غلظت روی کاه در تیمار روی ۱۰۰ و سطح صفر کادمیم با میانگین ۴۹/۱ میلی‌گرم روی در کیلوگرم در کاه به‌دست می‌آید. کمترین غلظت روی کاه با مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم و سطح صفر روی با میانگین ۴/۰۷ میلی‌گرم روی در کیلوگرم در هر گلدان به‌دست آمد.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.13.0]

هارت و همکاران (۱۴) نشان دادند که با افزایش روی، رقابتی بین روی و کادمیم برای جذب ایجاد می‌شود. با افزایش جذب کادمیم، کمبود روی نیز در گیاه تشدید می‌شود. کوللی و همکاران (۱۷) نیز در آزمایش خود بر روی گندم دوروم و تورژیدم به این نتیجه رسیدند که غلظت روی در کاه و کلش هر دو نوع گندم در خاکی که حاوی کادمیم و فاقد روی است، کمتر از خاک با روی کافی است.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین عملکرد گیاه در سطوح بالای روی به‌دست می‌آید. بنابراین مصرف روی برای افزایش عملکرد، اقتصادی به نظر می‌رسد. روی، رشد و توسعه سلولی بافتهای گیاهی را تسریع نموده و برهمکنش منفی بین کادمیم و روی سبب کاهش در جذب این فلز سمی توسط گیاه می‌گردد. این امر علاوه بر سود اقتصادی از نظر سلامتی جامعه نیز دارای ارزش زیادی است. هم‌چنین نتایج این آزمایش حاکی از آن است که کادمیم در کاه و کلش نسبت به دانه به میزان بیشتری ذخیره می‌شود. برعکس، روی در دانه نسبت به کاه و کلش به میزان بیشتری ذخیره می‌شود. بنابراین توجه به استفاده از بقایای کاه و کلش گندم به‌عنوان علوفه در خاک‌های آلوده به کادمیم و آثار آن بر ورود این عنصر آلاینده به چرخه حیاتی بسیار حائز اهمیت است. به نظر می‌رسد که مصرف کودهای حاوی روی باعث بهبود رشد و تأمین مواد لازم برای گیاه و در نتیجه جلوگیری از آسیب آلاینده‌های فلزی مثل کادمیم به گیاه شود. نتایج این تحقیق نشان داد که حتی آهکی بودن خاک نیز اثرات کاهنده زیادی بر قابلیت جذب کادمیم در خاک‌های آلوده ندارد. با وجود دقتی که در این آزمایش صورت گرفته است پیشنهاد می‌گردد که این آزمایش در مکان و شرایط دیگری با عناصر غذایی دیگر نیز تکرار گردد. در کاهش اثر سمیت کادمیم، کشت گیاهان با پتانسیل تجمع کم کادمیم در خاک‌های آلوده پیشنهاد می‌شود. شناسایی منابع آلوده و کاهش یا ممانعت از ورود آنها به خاک، مانع آلودگی منابع آب و خاک شده و از این طریق به پایداری تولیدات کشاورزی برای تأمین نیازهای غذایی نسل حاضر و آینده کمک خواهد شد. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود با توجه به این‌که یکی از منابع عمده افزایش کادمیم به خاک‌های زراعی، کادمیم موجود در کودهای فسفره است، میزان کادمیم کودهای فسفاته به‌ویژه کودهای وارداتی قبل از مجوز مصرف اندازه‌گیری شود تا از مصرف کودهای آلوده جلوگیری شود. نظر به نقش مفید روی در کاهش اثرات سوء کادمیم، مصرف آن در مناطق آلوده مفید به نظر می‌رسد. با توجه به این‌که بخش زیادی از کادمیم در کلش گیاه ذخیره می‌شود، بنابراین لازم است که از تغذیه کلش گندم در خاک‌های آلوده توسط دام نیز جلوگیری به‌عمل آید.

منابع مورد استفاده

۱. ابوطالبی، ع. و ع. تفضلی.۱۳۸۴. اثر شوری بر غلظت عناصر کم مصرف در شاخساره گونه‌های مختلف مرکبات. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۹(۴): ۴۵-۵۳.

۲. ثواقبی، غ.، م. ج. ملکوتی و م. اردلان. ۱۳۸۲. اثر سولفات روی و غلظت روی بر پاسخ‌های گیاه گندم در خاک آهکی. مجله علوم کشاورزی ایران ۳۴(۲): ۴۷۱-۴۸۲.

۳. ثواقبی، غ.، م. ج. ملکوتی. و م. اردلان. ۱۳۷۹. برهمکنش پتاسیم و روی بر غلظت و جذب عناصر غذایی در گندم. تغذیه متعادل گندم (مجموعه مقالات) ۳۲۲-۳۲۳.

۴. عبدل‌زاده، ا. و م. اقدسی.۱۳۸۱. *فیزیولوژی گیاهی (ترجمه)*. چاپ اول، مؤسسه انتشارات فراغی، گرگان.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.13.0]

5. Adams, M. L., F. J. Zhao, S. P. Mcgrath, F. A. Nicholson and B. J. Chambers. 2004. Predicting cadmium concentration in wheat and barley grain using soil. Environ. Qual. 33: 532-541.
6. Alloway, B. J. 1990. Heavy Metals in Soils. Blakie and Sons LTD., London.
7. Cast, C. 1980. Effect of sewage sludge on Cd and Zn content of plant. Agron. Sci. 84: 92- 103.
8. Chien, H. F. and C. H. Kao. 2000. Accumulation of ammonium in rice leaves in response to excess cadmium. Plant Sci. 156: 111- 115.
9. Chuch, L., M. Saharan and K. Singh. 1989. Effect of zinc and cadmium on the yield and nutrient composition of wheat in a Typic Torripsamment. J. Ind. Soc. Soil Sci. 37: 408- 411.
10. Chudery, M., L. D. Bailey and C. A. Grant. 1994. Effect of zinc on cadmium concentration the tissue of durum wheat. Can. J. Plant Sci. 74: 549- 552.
11. Gadallah, M. A. and T. Ramadan. 1997. Effects of zinc and salinity on growth and anatomical structure of carhtamus tinctoriusl. Biologia Plantarum. 39(3): 411- 418.
12. Grant, C. A., Bailey, L. D, McLaughlin, M. J. and Singh, BR. 1999. Management Factors which Influence Cadmium Concentration in Crops. pp. 151-198. *In:* MJ McLaughlin, BR Singh 'Cadmium in Soils and Plants'. (Kluwer Academic Publishers: Dordrecht).
13. Gupta, V. and B. Potallia. 1990. Zinc-cadmium interaction in wheat. J. Ind. Soc. Soil Sci. 48: 452- 457.
14. Hart, J. J., R. M. Welch, W. A. Norvell and L. V. Kochian. 2002. Transport interaction between cadmium and zinc in roots of bread and durum wheat seedlings. Physiol. Plant 116: 73- 78.
15. Jiao, Y., C. A. Grant and L. D. Bailey. 2004. Effect of phosphorus and zinc fertilizer on cadmium uptake and distribution in flax and durum wheat. Sci. Food and Agric. 777- 785.
16. Kirkham, M. B. 2006. Cadmium in plants on polluted soils: Effect of soil factors hyperaccumulation, and amendments. Geoderma 137: 19–32.
17. Koleli, N., S. Eker and I. Cakmak. 2004. Effect of zinc fertilization on cadmium toxicity in durum and bread wheat grown in zinc deficient soil. Environ. Pollut. 131(3): 453- 459.
18. Marchiol, L., L. Leita, M. Martin, A. Peressotti and G. Zerbi. 1996. Physiological responses of two soybean cultivars to cadmium. J. Environ. Qual. 25: 562- 566.
19. Mullins, G. L., L. E. Sommers and S. A. Barber. 2002. Modelling the plant uptake of cadmium and zinc from soils treated with sewage sludge. Soil Sci. Soc. Amer. J. 50: 1245-1250.
20. Nan, Z., J. Li, J. Zhang and G. Cheng. 2001. Cadmium and zinc interaction and their transfer in soil crop system under actual field condition. Sci. the Total Environ. 285: 187- 195.
21. Nigam, R., S. Srivastava and S. Parakash. 2000. Effect of organic acids on the availability of cadmium in wheat. Chem. Speciation and Bioavailable 12 (4): 125-132.
22. Norvell, W. A., D. G. Hopkins and R. M. Welch. 2000. Association of cadmium in durum wheat grain with soil chloride and chelate extractable soil cadmium. Soil Sci. 64: 2162-2168.
23. Page, V., R. Lebayon and U. Feller. 2006. Partitioning of zinc, cadmium, manganese, and cobalt in wheat (*Triticum aestivum*) and lupin (*Lupinus albus*) and further release in to the soil. Environ. and Experim. Bot. 58: 269- 278.
24. Pinto, A. P., A. M. Mota, A. Varnenes and F. C. Pinto. 2004. Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum. Plants Sci. Total Environ. 326: 239- 247.
25. SAS Institute. 2004. SAS User'S Guide: Statistics SAS Institute, Cary. NC.
26. Souza, J. and H. Dolder. 2005. Effect of excess cadmium and zinc ions on roots and shoots of maize seedlings. Plant Nutr. 1923- 1931.
27. Tembo, B. D., K. Sichilongo and J. Cernak. 2006. Distribution of copper, lead, cadmium and zinc concentration in soils around Kabwe town in Zambia. Chemosphere 63:497-501.
28. Tlustos, P., J. Szakova, K. Korinek, D. Pavlikova, A. Hanc and J. Balik. 2006. The effect of liming on cadmium, lead and zinc uptake reduction by spring wheat grown in contaminated Soil. Plant Soil Environ. 52 (1): 16-24.
29. Köktürk, B. 2006. Cadmium uptake and antioxidative enzymes in durum wheat cultivars in response to increasing Cd application. PhD Thesis, Sabanci University.
30. Vankhadeh, S. 1999. Response of sunflower to applied Zn, Fe, P, N. Nes. s. zz: 1:143-144.
31. Veselov, D., G. Kudoyarova, M. Symonyan and S. Veselov. 2003. Effect of cadmium on ion uptake, transpiration and cytokinin content in wheat seedings. Bulg. J. Plant Physiol. special Issue. 35: 353- 359.
32. Wu, F., J. Dong, F. Chen and G. Zhang. 2005. Response of cadmium uptake in different barley genotypes to cadmium level. Plant Biol. 2201- 2209.
33. Wu, F. B. and G. P. Zhang. 2002. Alleviation of cadmium- toxcity by application of zinc and ascorbic acid in barley. J. Plant Nutr. 25: 2745- 2761.
34. Yanai, J., F. J. Zhao, S. P. Mcgrant and T. Kosaki. 2006. Effect of soil characteristics on Cd uptake by the hyperaccumulator *thlaspi caerulescens*. Environ. Pollut. 139: 167- 175.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.13.0]

35. Yilmaz, A., H. Ekiz, B. Torun, I. Guttekin, S. Karanlik, S. A. Bagci and I. Cakmak. 1997. Effect of different zinc application method on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc deficient calcareous soils. J. Plant Nutr. 20: 461- 471.
36. Zhong, Z. and Z. Yong-Guan. 2005. Effect of zinc on cadmium uptake by spring wheat (*Triticum aestivum*): long-time hydroponic study and short time Cd tracing study. J. Zhejiang University Sci. 6 (6): 643- 648.
37. Wenzel, W. and F. Blum. 2004. Effects of soil properties and cultivar on cadmium in wheat grain. P. Flanzenernahr Bodenk 159: 609-614.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.13.0]