اثر کاربرد منابع مختلف روی بر غلظت کادمیم و برخی عناصر کم مصرف در گیاه اسفناج در یک خاک آهکی

طیبه رحیمی* و عبدالمجید رونقی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۹/۲۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۲/۲۱)

چکیده

کادمیم یک عنصر سنگین است که برای انسان، گیاه و دیگر موجودات زنده سمی می‌باشد و در بین عناصر سنگین، به دلیل تحرک و زیست‌فراهمی زیاد در خاک و ایجاد سمیت در غلظت‌های کم، بررسی آن اهمیت ویژه‌ای دارد. برای ارزیابی اثر کادمیم و منابع روی (سولفاتی و کلاتی) بر رشد و غلظت برخی عناصر در اسفناج، آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تیمارها شامل سه سطح کادمیم (۵، ۱۰ و۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک به صورت سولفات کادمیم) و چهار سطح روی (صفر، ۵، ۱۰ و۲۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک از دو منبع سولفاتی و کلاتی) در سه تکرار بودند. نتایج نشان داد که مصرف کادمیم به طور معنی‌داری وزن خشک اندام هوایی اسفناج را کاهش داد. اما کاربرد روی سبب کاهش اثر زیان‌بار کادمیم بر گیاه شد. با افزایش سطح کادمیم مصرفی، غلظت این عنصر در اندام هوایی گیاه افزایش یافت. اما مصرف روی از هر دو منبع مصرفی، غلظت کادمیم اندام هوایی را به طور معنی‌داری کاهش داد. کادمیم مصرفی، غلظت روی و منگنز اندام هوایی را به طور معنی‌داری کاهش داد. اما غلظت آهن تحت تأثیر کادمیم قرار نگرفت. غلظت منگنز و آهن اندام هوایی با مصرف روی از هر دو منبع مصرفی، کاهش یافت. با توجه به نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر، به نظر می‌رسد کاربرد کودهای روی، به ویژه سولفات روی، برای کاهش اثرهای زیان‌بار کادمیم بر گیاه در خاک‌های آلوده به کادمیم مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: کادمیم، سولفات روی، کلات روی، اسفناج، آلوده شدن خاک

مقدمه

امروزه یکی از مسائل زیست محیطی، آلوده شدن خاک زیر کشت گیاهان مختلف به فلزات سنگین می‌باشد. متأسفانه به دلیل ورود انواع پسماندهای صنعتی و ضایعات کارخانه‌های مختلف، میزان ورود این فلزات به خاک رو به افزایش است (۷). آلوده شدن خاک‌های کشاورزی به فلزات سنگین یک تهدید جدی می‌باشد زیرا رشد و کیفیت محصولات کشاورزی را کاهش داده و سلامتی مصرف کننده‌ها را به خطر می‌اندازد. بنابراین کاهش آلودگی فلزات سنگین در خاک، نقش مهمی در توسعه کشاورزی ایفا می‌کند (۱۱).

در بین عناصر سنگین، کادمیم به دلیل تحرک و زیست-فراهمی زیاد آن در خاک و سمیت آن در غلظت‌های کم، اهمیت بیشتری دارد (۱۳). آلودگی زیست محیطی کادمیم از ۱۰۰ سال پیش با شروع فعالیت‌های بشر مانند استخراج

۱. بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

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

معادن، فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی و وارد نمودن پسماندها آغاز شد (۵). این عنصر جزو مواد سرطان‌زا گروه‌بندی می‌شود و زیادی آن در انسان سبب ایجاد بیماری‌های استخوانی، آماس شش‌ها، نارسایی کلیه و کبد، بیماری‌های قلبی عروقی و بالا رفتن فشار خون می‌شود. هم‌چنین کادمیم در جفت نگه‌داری شده و از انتقال مس و روی به جنین جلوگیری می‌کند (۲۵). سمیت کادمیم در گیاهان سبب ایجاد اختلال در متابولیسم عناصر کم مصرف، اختلال در تثبیت CO_2 و تعرق و کاهش و جلوگیری از فتوسنتز می‌شود (۱۷).

کادمیم از لحاظ شیمیایی شبیه روی است، وظایف متابولیسمی روی در گیاه را تقلید می‌کند (۲۱) و ممکن است به جای روی جذب شده و در گیاه انتقال یابد (۱۵). این تشابه در ویژگی‌های کادمیم و روی نشان دهنده اهمیت برهمکنش آنها در جذب و انتقال از ریشه به اندام هوایی و تجمع در بافت‌های خوراکی و در نهایت ورود به زنجیره غذایی می‌باشد (۶ و ۳۱).

مکنا و همکاران (۲۰) دریافتند که اضافه کردن ۸/۹۱– ۰/۳۹۸ میکرومول در لیتر روی به یک محلول غذایی، باعث کاهش جذب کادمیم توسط کاهو و اسفناج شده است. این پژوهشگران هم‌چنین عنوان کردند که در کاهو و اسفناج، اثر منفی روی و کادمیم بر جذب یکدیگر به علت رقابت این دو فلز برای جذب می‌باشد. پدار و همکاران (۲۶) طبق تحقیقی که در مورد گیاه اسفناج انجام دادند، گزارش کردند که سلامتی انسان با مصرف گیاهان رشد یافته در خاک‌های آلوده به کادمیم، هنگامی‌که روی حضور دارد کمتر به خطر می‌افتد. وو و ژانگ (۳۲) بیان کردند که کاربرد کادمیم نه تنها غلظت روی را به طور معنی‌داری در همه اندام‌های جو کاهش داده، از انتقال روی از ریشه به اندام هوایی نیز جلوگیری کرده است. یو و جیمز (۳۳) گزارش کردند که در گیاه جو، مصرف ۱ تا ۵۰ میکرومول کادمیم در لیتر باعث کاهش غلظت روی شد. این پژوهشگران هم‌چنین دریافتند که تغییرات فیزیولوژیک که بر اثر سمیت کادمیم به وجود آمده با تیمار ۳۰۰ میکرومول روی در لیتر کاهش یافت.

نن و همکاران (۲۲) پی بردند که مصرف روی باعث کاهش غلظت کادمیم در گندم و ذرت شده و میزان کاهش در گندم بیشتر بوده است. آنان هم‌چنین ذکر کردند که تجمع کادمیم در خاک‌های با کمبود روی بیشتر می‌باشد. آدیلوگلو (۳) به خاکی با کمبود روی، کادمیم اضافه کرد و نتیجه گرفت که با مصرف کادمیم، وزن خشک گندم نان، شبدر، جو و ذرت به طور معنی‌داری کاهش و غلظت کادمیم اندام هوایی در این گیاهان افزایش یافت. اما کاربرد روی، وزن خشک این گیاهان را افزایش و غلظت کادمیم اندام هوایی آنها را کاهش داد.

با توجه به مطالب ذکر شده، هدف از انجام این آزمایش بررسی اثر منابع مختلف روی بر رشد و عملکرد و غلظت کادمیم گیاه اسفناج رشد کرده در یک خاک آهکی آلوده به سطوح مختلف کادمیم بود.

مواد و روش‌ها

برای انجام این آزمایش، نمونه خاک از افق سطحی (صفر تا ۳۰ سانتی‌متری) سری چیتگر (Fine-loamy, carbonatic, thermic, Typic Calcixerepts) تهیه شد. این منطقه در حومه سروستان استان فارس و در عرض جغرافیایی ´۱۱ °۲۹ تا ´۲۵ °۲۹ شمالی و طول جغرافیایی ۴۵ °۵۲ تا ۲۵ °۵۳ شرقی قرار گرفته است. این خاک، خاکی آهکی و غیر شور با مقدار کم روی و کادمیم می‌باشد که برای اعمال تیمارهای آزمایش مناسب است. پس از هواخشک کردن خاک و عبور از الک دو میلی‌متری، برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به قرار زیر اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است. بافت به روش هیدرومتری (۹)، ماده آلی به روش اکسایش مرطوب (۲۴)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع به وسیله هدایت سنج الکتریکی، پ- هاش در خمیر اشباع به وسیله پ- هاش‌متر، کربنات کلسیم معادل (CCE) (۱۹)، نیتروژن کل به روش میکروکلدال (۱۰)، فسفر قابل استفاده (۳۰) و روی، کادمیم، آهن، منگنز و مس محلول در DTPA (۱۸) اندازه‌گیری شدند. آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل ۲ ×۳× ۴ در

جدول۱. برخی خصوصیات خاک مورد مطالعه

بافت	CCE	pH	EC_e	OM	Zn	Cd	Mn	P	Fe	Cu	TN
	(٪)		(dS/m)	(٪)	(mg/kg)						(٪)
لوم سیلتی	۶۳	۷/۴	۰/۴۶	۱/۲۱	۰/۵۴	ND*	۴/۴	۷/۷	۳/۸	۱/۲	۰/۰۴

*ND: کمتر از حد تشخیص دستگاه جذب اتمی

قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار در دانشگاه شیراز، سال ۱۳۸۶ انجام شد. تیمارها شامل سه سطح کادمیم (۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک به صورت سولفات کادمیم) و چهار سطح روی (صفر، ۵، ۱۰و ۲۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک از دو منبع سولفات روی و کلات روی Zn-EDTA) برای گیاه اسفناج (*Spinosa oleracea*) رقم ویروفلی (*Viroflay*) اعمال گردید. به منظور جلوگیری از کمبود احتمالی عناصر، به ترتیب ۱۵۰، ۵، ۲۵، ۱۰ و ۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن، آهن، فسفر، منگنز و مس بر اساس نتایج آزمون خاک به صورت محلول و به طور یک‌نواخت به خاک اضافه شد. عناصر مورد نظر به ترتیب از منابع اوره، کلات آهن (Fe-EDDHA)، منو کلسیم فسفات و سولفات‌های منگنز و مس تأمین گردید. نیمی از نیتروژن مورد نیاز در ابتدای کشت همراه با سایر عناصر غذایی و مابقی در اواسط فصل رشد به گلدان‌ها افزوده شد.

ابتدا نمونه سه کیلوگرمی خاک در کیسه‌های پلاستیکی ریخته شد و پس از مخلوط نمودن با تیمارهای کودی به داخل گلدان برگردانده شد. تعداد ۱۵ عدد بذر اسفناج در عمق حدود یک سانتی‌متر ی کاشته شد. بعد از استقرار گیاهان، تعداد آنها در هر گلدان به ۴ بوته که به طور یک‌نواخت در سطح گلدان قرار گرفته بودند کاهش داده شد. در طول دوره رشد، گلدان‌ها به صورت روزانه توسط آب مقطر تا حدود ۸۰٪ ظرفیت مزرعه به روش وزنی آبیاری شدند. هشت هفته بعد از کاشت، ابتدا درجه سبزی (Greenness) گیاه در هر گلدان توسط کلروفیل‌متر دستی (SPAD-502) قرائت شد. سپس گیاه از محل طوقه قطع و تمامی نمونه‌ها توسط آب مقطر شستشو شدند. نمونه‌ها در خشک‌کن و در دمای ۶۵ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت خشک، قرار داده شدند و پس از توزین توسط آسیاب برقی پودر شده و آماده تجزیه شیمیایی شدند. یک گرم ماده خشک گیاهی در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه به مدت سه ساعت به صورت خاکستر در آورده شد و سپس خاکستر حاصل در اسید کلریدریک حل شد و پس از صاف نمودن با کاغذ صافی، حجم نهایی محلول به ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. غلظت کادمیم، روی، آهن و منگنز با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل Shimatzu AA-670G) اندازه‌گیری گردید. داده‌های جمع آوری شده با استفاده از نرم‌افزارهای Excel وMSTATC و طبق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که اضافه کردن روی از هر دو منبع باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اسفناج شده است (جداول ۲ و ۳). کاربرد ۲۰ میلی‌گرم روی از منبع سولفات روی، میانگین وزن خشک و تر اسفناج را به ترتیب ۱۷۴ و ۱۲۱ درصد در مقایسه با شاهد (بدون روی) افزایش داده است (جدول ۲). مصرف ۲۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک به صورت کلات روی، میانگین وزن خشک و تر را نسبت به تیمار شاهد به ترتیب از ۲/۴۶ به ۴/۶۵ گرم در گلدان و از ۲۵/۱۷ به ۳۸/۸۴ گرم در گلدان (به ترتیب معادل ۸۹ و ۵۴ درصد) افزایش داده است (جدول ۳). دو منبع روی از این نظر اختلاف معنی‌دار دارند. به طوری که میانگین وزن خشک در تیمار روی سولفاتی نسبت به روی کلاتی به طور معنی‌داری بیشتر می‌باشد.

جدول۲. اثر کاربرد کادمیم و سولفات روی بر وزن خشک و تر، قرائت کلروفیل‌متر و غلظت روی در اندام هوایی اسفناج

سطح روی (میلی‌گرم در کیلوگرم)	سطح کادمیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)			میانگین
	۵	۱۰	۲۰	
	وزن خشک (گرم در گلدان)			
۰	۳/۶۵e*	۳/۱۶e	۰/۵۷f	۲/۴۶D
۵	۵/۷۳c	۵/۶۳c	۴/۵۳d	۵/۲۹C
۱۰	۶/۳۷ab	۶/۱۴bc	۵/۷۲c	۶/۰۸B
۲۰	۶/۹a	۶/۸۴a	۶/۵۱ab	۶/۷۵A
میانگین	۵/۶۶A	۵/۴۴A	۴/۳۳B	
	وزن تر (گرم در گلدان)			
۰	۳۴/۵e*	۳۲/۸۶e	۸/۱۶ f	۲۵/۱۷D
۵	۴۳/۹۴d	۴۳/۲۵d	۳۴/۹۷e	۴۰/۷۲C
۱۰	۵۰/۶۷bc	۴۴/۵۳cd	۴۳/۵۲d	۴۶/۲۴B
۲۰	۵۸/۰۶ a	۵۷/۷۳ a	۵۱/۳۹b	۵۵/۷۲A
میانگین	۴۶/۷۹A	۴۴/۵۸A	۳۴/۵۱B	
	عدد قرائت شده توسط کلروفیل‌متر			
۰	۴۵/۶۲cd*	۴۵/۴۲d	۴۳/۴۳d	۴۴/۸۲B
۵	۵۶/۴۷a	۴۸/۴۷a-d	۴۸/۷۸a-d	۵۱/۲۴A
۱۰	۵۶ab	۴۸/۳۸a-d	۴۷/۳۷bcd	۵۰/۵۸A
۲۰	۵۴/۴۸abc	۵۱/۶۳a-d	۴۷/۴۳bcd	۵۱/۱۸A
میانگین	۵۳/۱۴A	۴۸/۴۷B	۴۶/۷۵B	
	غلظت روی (میلی‌گرم در کیلوگرم)			
۰	۴۸/۵e*	۳۳/۵f	۳۱/ ۴۹f	۳۷/ ۸D
۵	۹۸/۶b	۷۹/۱۲c	۵۴/۶ de	۷۷/ ۴C
۱۰	۱۰۴/۴b	۹۵/۴b	۶۴/۲cd	۸۸B
۲۰	۱۳۴/۳a	۱۲۱/۸a	۷۵c	۱۱۰A
میانگین	۹۶/۴A	۸۲/۴B	۵۶/۳C	

* در هر پارامتر اندازه‌گیری شده، در هر ستون یا ردیف، تفاوت میانگین‌هایی با حداقل یک حرف لاتین مشترک طبق آزمون دانکن از نظر آماری در سطح ۵٪ معنی‌دار نمی‌باشد.

جدول۳. اثر کاربرد کادمیم و کلات روی بر وزن خشک و تر، قرائت کلروفیل‌متر و غلظت روی در اندام هوایی اسفناج

سطح روی (میلی‌گرم در کیلوگرم)	سطح کادمیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)			میانگین
	۵	۱۰	۲۰	
	وزن خشک (گرم در گلدان)			
۰	۳/۶۵de*	۳/۱۶e	۰/۵۷g	۲/۴۶D
۵	۴/۵۵abc	۴/۱۵cd	۱/۶۴f	۳/۴۵C
۱۰	۵/۱۳a	۴/۸ab	۲/۰۳f	۳/۹۸B
۲۰	۵/۱۶a	۴/۹۵ab	۳/۸۵cde	۴/۶۵A
میانگین	۴/۶۲A	۴/۲۷A	۲/۰۲B	
	وزن تر (گرم در گلدان)			
۰	۳۴/۵bcd*	۳۲/۸۶cd	۸/۱۶f	۲۵/۱۷C
۵	۳۹/۸۶ab	۳۷/۴۱abc	۱۴/۰۶ef	۳۰/۴۴B
۱۰	۴۳/۷a	۴۱/۸۲a	۱۵/۴۲e	۳۳/۶۴B
۲۰	۴۴/۲۷a	۴۲/۶۳a	۲۹/۶۲d	۳۸/۸۴A
میانگین	۴۰/۵۸A	۳۸/۶۸A	۱۶/۸۲B	
	عدد قرائت شده توسط کلروفیل‌متر			
۰	۴۵/۶۲ab*	۴۵/۴۲ab	۴۳/۴۳ab	۴۴/۸۲A
۵	۵۴/۵۳a	۴۲/۷ab	۴۱/۹۵b	۴۶/۳۹A
۱۰	۵۳/۶۲ab	۵۲/۳ab	۴۶/۲۵ab	۵۰/۷۲A
۲۰	۵۰/۶۳ab	۵۳/۵ab	۵۱ab	۵۱/۷۱A
میانگین	۵۱/۱A	۴۸/۴۸A	۴۵/۶۶A	
	غلظت روی (میلی‌گرم در کیلوگرم)			
۰	۴۸/۵e*	۳۳/۵h	۳۱/۴۹f	۳۷/۸D
۵	۱۳۷/۵c	۸۲/۹ef	۷۴/۶f	۹۸/۳C
۱۰	۱۵۶/۹b	۱۰۸/۷d	۸۶/۷e	۱۱۷/۴B
۲۰	۱۷۶a	۱۴۷/۸bc	۱۱۹/۶d	۱۴۷/۸A
میانگین	۱۲۹/۷A	۹۳/۲B	۷۸/۱C	

* در هر پارامتر اندازه‌گیری شده، در هر ستون یا ردیف، تفاوت میانگین‌هایی با حداقل یک حرف لاتین مشترک، طبق آزمون دانکن از نظر آماری در سطح ۵٪ معنی‌دار نمی‌باشد.

بنابراین، روی سولفاتی اثر بهتری بر وزن خشک داشته است.

صالح (۲) گزارش کرد که دو منبع روی سولفاتی و کلاتی وزن خشک باقلا را افزایش دادند. اما روی سولفاتی به طور معنی‌داری در افزایش وزن خشک مؤثرتر بوده است. با توجه به نقش روی در فعالیت آنزیم‌ها و سنتز پروتئین این مطلب قابل توجیه می‌باشد. روی یکی از ضروری‌ترین عناصر ریزمغذی

می‌باشد که در بسیاری از اعمال بیولوژیک نقش دارد. به عنوان مثال، روی باعث ثبات غشای پلاسمایی سلول‌ها شده و هم‌چنین کوفاکتور بسیاری از آنزیم‌های آنتی اکسیداتیو می‌باشد (۳۴). بهتاش و همکاران (۱) عنوان کردند که کاربرد روی باعث افزایش وزن تر و خشک، شاخص کلروفیل، تعداد برگ و سطح برگ چغندر لبویی شده است. وزن خشک اندام هوایی تحت تأثیر مصرف کادمیم به طور معنی‌داری کاهش یافت. افزودن ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در تیمارهای روی سولفاتی و روی کلاتی به ترتیب میانگین وزن خشک اسفناج را نسبت به تیمار شاهد از ۵/۶۶ به ۴/۳۳گرم در گلدان و از ۴/۶۲ به ۲/۰۲ گرم در گلدان کاهش داد که به ترتیب معادل ۲۳ و۵۶ درصد کاهش در وزن خشک اسفناج می‌باشد. کاربرد ۲۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک (صرف نظر از منبع روی) نسبت به تیمار شاهد وزن خشک را معادل ۳۸ درصد کاهش داده است.

با مصرف روی سولفاتی و روی کلاتی به ترتیب میزان کاهش وزن خشک اندام هوایی اسفناج ۶ و ۲۵ درصد تعدیل شده است. این نتایج نشان می‌دهد که روی توانسته است اثر سوء کادمیم بر وزن خشک اندام هوایی اسفناج را کاهش دهد. ژائو و همکاران (۳۴) اعلام نمودند که کادمیم باعث کاهش رشد در گیاهان، کاهش فتوسنتز، کاهش در انتقال و جذب عناصر ماکرو و میکرو و آزاد شدن رادیکال‌های آزاد می‌شود. در گندم، در صورت مصرف کادمیم، غلظت هیدروژن پراکساید (H_2O_2) به عنوان یک ماده اکسید کننده افزایش یافت و در صورت مصرف روی، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربیت پراکسیداز (APX) افزایش یافته و کلاً روی، سمیت کادمیم در گندم را کاهش داد. شوت و مکفی (۲۸) بیان کردند که کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، ارتفاع و وزن خشک گیاه سویا را به ترتیب ۴۰ و ۳۴ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داد. بولان و همکاران (۸) گزارش کردند که بین غلظت کادمیم محلول خاک و وزن خشک اسفناج رابطه معکوس وجود دارد. مصرف کادمیم باعث کاهش معنی‌دار عدد قرائت شده توسط کلروفیل‌متر در روی سولفاتی شد (جدول ۲). اما در مورد روی کلاتی اثری نداشت (جدول ۳).

مصرف کادمیم، غلظت روی اندام هوایی را به طور معنی‌داری کاهش داده است. کاربرد ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در تیمارهای روی سولفاتی و روی کلاتی به ترتیب باعث کاهش ۴۱ و ۳۹ درصدی در غلظت روی اندام هوایی اسفناج نسبت به تیمار شاهد شده است (جداول ۲ و ۳).

در هر دو منبع روی، با افزایش سطح کادمیم اضافه شده به خاک، غلظت کادمیم در اندام هوایی اسفناج افزایش یافته است (جداول ۴ و ۵). به طوری که افزودن ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک در تیمار روی سولفاتی و روی کلاتی به ترتیب باعث افزایش میانگین غلظت کادمیم از ۳۷/۳ به ۸۵/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم و از ۶۰/۴ به ۱۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (به ترتیب معادل ۱۳۰ و ۹۸ درصد) شده است. اما مصرف روی، غلظت کادمیم اندام هوایی را کاهش داد. کاربرد ۲۰ میلی‌گرم روی به صورت سولفاتی و کلاتی به ترتیب باعث کاهش ۶۶ و ۱۸ درصدی در غلظت کادمیم اندام هوایی اسفناج نسبت به تیمار شاهد شد (جداول ۴ و ۵).

مصرف ۲۰ میلی‌گرم کادمیم نسبت به تیمار شاهد در تیمار روی سولفاتی سبب کاهش عدد قرائت شده توسط کلروفیل‌متر به میزان ۱۲ درصد شد و از این نظر بین دو منبع روی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۶).

مطابق با جدول ۶، مصرف ۲۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک (بدون در نظر گرفتن منبع روی) غلظت روی را نسبت به تیمار شاهد ۴۰ درصد کاهش داده است.

دو منبع روی از نظر غلظت کادمیم اختلاف معنی‌دار دارند. به طوری که در تیمار روی سولفاتی نسبت به روی کلاتی، غلظت کادمیم اندام هوایی به طور معنی‌داری کمتر شد (جدول ۶).

گزارش گوپتا و پوتالیا (۱۶) نیز حاکی از آن است که با افزایش سطح کادمیم مصرفی، غلظت این عنصر در دانه گندم افزایش. ولی با مصرف روی، غلظت کادمیم در دانه کاهش یافته است. اثر کاهندگی روی بر غلظت کادمیم دانه ممکن است مربوط به اثر رقت، اثر رقابتی برجذب کادمیم یا اثر بازدارندگی روی بر انتقال کادمیم در گیاه باشد.

جدول۴. اثرکاربرد کادمیم و سولفات روی بر غلظت کادمیم، منگنز و آهن اندام هوایی اسفناج

سطح روی (میلی‌گرم در کیلوگرم)	سطح کادمیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)			میانگین
	۵	۱۰	۲۰	
	غلظت کادمیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)			
۰	۵۴/۳d*	۹۴/۹b	۱۴۱/۸a	۹۷A
۵	۳۹/۹ef	۵۳d	۷۸/۴c	۵۷/۱B
۱۰	۲۸/۱fg	۳۱fg	۷۷/۶c	۴۵/۶C
۲۰	۲۶/۸g	۲۷/۸ fg	۴۵/۵de	۳۳D
میانگین	۳۷/۳C	۵۱/۷B	۸۵/۶A	
	غلظت منگنز (میلی‌گرم در کیلوگرم)			
۰	۳۴/۹a*	۳۷/۲a	۳۴/۶ab	۳۵/۶A
۵	۳۴/۸a	۳۱/۸ a-d	۳۲/۵ a-d	۳۳A
۱۰	۳۲ a-d	۳۳/۲abc	۳۲/۱a-d	۳۲/۴A
۲۰	۲۷/۸bcd	۲۶/۳d	۲۷/۵cd	۲۷/۲B
میانگین	۳۲/۴A	۳۲/۱A	۳۱/۷A	
	غلظت آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم)			
۰	۲۱۵/۵bc*	۱۹۸/۸bc	۳۰۱/۳a	۲۳۸/۶A
۵	۱۷۹/۵c	۲۰۹/۷bc	۱۹۵/۹bc	۱۹۵B
۱۰	۱۹۸bc	۲۰۳/۹bc	۲۱۴/۸bc	۲۰۵/۶B
۲۰	۲۴۷/۱b	۲۰۰/۳bc	۱۹۴/۵bc	۲۱۴AB
میانگین	۲۱۰A	۲۰۳/۲A	۲۲۶/۶A	

* در هر پارامتر اندازه‌گیری شده، در هر ستون یا ردیف، تفاوت میانگین‌هایی با حداقل یک حرف لاتین مشترک، طبق آزمون دانکن از نظر آماری در سطح ۵٪ معنی‌دار نمی‌باشد.

واسیلف و همکاران (۲۹) گزارش کردند که کادمیم باعث بروز کلروز در برگ‌ها، قهوه‌ای شدن ریشه و کاهش مقدار کلروفیل برگ‌های جو شده است. غلظت منگنز اندام هوایی در دو منبع روی کاربردی، تحت تأثیر کادمیم مصرفی کاهش یافته است که تنها در تیمار روی کلاتی از نظر آماری در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. به طوری که غلظت منگنز در تیمار روی کلاتی با مصرف ۲۰ میلی‌گرم کادمیم نسبت به تیمار شاهد ۱۳ درصد کاهش نشان داد. اما غلظت آهن تحت تأثیر کادمیم روند مشخصی را نشان نداد (جداول ۴ و ۵).

وو و ژانگ (۳۲) بیان کردند که کادمیم باعث کاهش غلظت

جدول ۵. اثر کاربرد کادمیم و کلات روی بر غلظت کادمیم، منگنز و آهن اندام هوایی اسفناج

سطح روی (میلی‌گرم در کیلوگرم)	سطح کادمیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)			
	۵	۱۰	۲۰	میانگین
	غلظت کادمیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)			
۰	۵۴/۳۳f*	۹۴/۹c	۱۴۱/۸a	۹۷A
۵	۷۳/۶de	۹۳ c	۱۱۱/۹b	۹۲/۸A
۱۰	۶۰ f	۷۹/۵d	۱۰۷/۶b	۸۲/۳B
۲۰	۵۳/۹f	۶۵/۳ ef	۱۱۸/۶b	۷۹/۲B
میانگین	۶۰/۴C	۸۳/۱۸B	۱۲۰A	
	غلظت منگنز (میلی‌گرم در کیلوگرم)			
۰	۳۴/۹ab*	۳۷/۲a	۳۴/۶ab	۳۵/۶A
۵	۳۷/۰۵a	۳۷/۹a	۲۸/۸bc	۳۴/۶A
۱۰	۲۹/۶bc	۲۵/۹c	۲۲/۹c	۲۶/۱B
۲۰	۲۷/۵bc	۲۷c	۲۵/۹c	۲۶/۸B
میانگین	۳۲/۳A	۳۲A	۲۸B	
	غلظت آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم)			
۰	۲۱۵/۵bcd*	۱۹۸/۸bcd	۳۰۱/۳a	۲۳۸/۶A
۵	۲۳۴/۸b	۲۰۷/۱bcd	۱۹۱/۶bcd	۲۱۱/۲B
۱۰	۱۴۵/۶d	۱۹۴/۶bcd	۲۲۲/۷bc	۱۸۷/۶C
۲۰	۱۵۶/۳cd	۱۵۲/۶cd	۱۵۳/۳cd	۱۵۴/۱D
میانگین	۱۸۸/۱A	۱۸۸/۳A	۲۱۷/۲A	

* در هر پارامتر اندازه‌گیری شده، در هر ستون یا ردیف، تفاوت میانگین‌هایی با حداقل یک حرف لاتین مشترک، طبق آزمون دانکن از نظر آماری در سطح ۵٪ معنی‌دار نمی‌باشد.

آهن، منگنز و روی در اندام هوایی جو شده است و یک همبستگی منفی و معنی‌دار بین غلظت این عناصر و غلظت کادمیم در بافت‌های مختلف گیاهی وجود دارد که می‌تواند بیانگر این مطلب باشد که این عناصر می‌توانند برای کاهش غلظت کادمیم در جو در خاک‌های آلوده به کادمیم به‌کار روند. شارما و همکاران (۲۷) بیان کردند که کادمیم با عناصر کم مصرفی مثل آهن، منگنز و روی جهت انتقال از طریق پروتئین‌های ناقل موجود در غشای سلولی رقابت می‌کند.

مصرف روی به صورت روی سولفاتی به طور معنی‌داری باعث افزایش عدد قرائت شده توسط کلروفیل‌متر شد. به طوری که مصرف ۲۰ میلی‌گرم روی سولفاتی آن را ۱۴ درصد افزایش داد (جدول ۲). با افزایش سطح روی اضافه شده به خاک، غلظت آن در اندام هوایی زیاد شده است (جداول ۲ و ۳). غلظت روی در تیمار روی کلاتی نسبت به روی سولفاتی به طور معنی‌داری بیشتر می‌باشد (جدول ۶). مصرف ۲۰ میلی‌گرم روی به صورت سولفاتی و کلاتی به ترتیب غلظت روی را ۱/۹ و ۳/۹ برابر نسبت به تیمار شاهد افزایش داد.

جدول ۶. اثر کاربرد منابع مختلف روی و کادمیم بر وزن خشک و تر، قرائت کلروفیل‌متر و غلظت روی، کادمیم، منگنز و آهن اندام هوایی اسفناج

منبع روی	سطح کادمیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)			میانگین
	۵	۱۰	۲۰	
	وزن خشک (گرم در گلدان)			
سولفات روی	۵/۶۶a*	۵/۴۴a	۴/۳۳bc	۵/۱۴ A
کلات روی	۴/۶۲b	۴/۲۷c	۲/۰۲d	۳/۶۳ B
میانگین	۵/۱۴ A	۴/۸۵ B	۳/۱۸C	
	وزن تر (گرم در گلدان)			
سولفات روی	۴۶/۷۹a	۴۴/۵۸a	۳۴/۵۱ c	۴۱/۹۶ A
کلات روی	۴۰/۵۸ b	۳۸/۶۸ b	۱۶/۸۲d	۳۲/۰۲ B
میانگین	۴۳/۷A	۴۱/۶A	۲۵/۶۶ B	
	عدد قرائت شده توسط کلروفیل‌متر			
سولفات روی	۵۳/۱۴a	۴۸/۴۷bc	۴۶/۷۵bc	۴۵/۴ A
کلات روی	۵۱/۱ab	۴۸/۴۸ bc	۴۵/۶۶c	۴۸/۴ A
میانگین	۵۲/۱۲A	۴۸/۴۸B	۴۶/۲۱B	
	غلظت روی (میلی‌گرم در کیلوگرم)			
سولفات روی	۹۶/۴b	۸۲/۴c	۵۶/۳d	۷۸/۳ B
کلات روی	۱۲۹/۷a	۹۳/۲b	۷۸/۱c	۱۰۰/۳A
میانگین	۱۱۳/۱A	۸۷/۸۳B	۶۷/۲C	
	غلظت کادمیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)			
سولفات روی	۳۷/۳e	۵۱/۷d	۸۵/۶b	۵۸/۲B
کلات روی	۶۰/۴c	۸۳/۱۸ b	۱۲۰a	۸۷/۸ A
میانگین	۴۸/۸۵C	۶۷/۴۴B	۱۰۲/۸ A	
	غلظت منگنز (میلی‌گرم در کیلوگرم)			
سولفات روی	۳۲/۴a	۳۲/۱ a	۳۱/۷ a	۳۱/۹۴ A
کلات روی	۳۲/۳ a	۳۲ a	۲۸ b	۳۰/۷ A
میانگین	۳۲/۳ A	۳۲/۰۵ A	۲۹/۸ A	
	غلظت آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم)			
سولفات روی	۲۱۰ab	۲۰۳/۲ ab	۲۲۶/۶a	۲۱۳/۲ A
کلات روی	۱۸۸/۱b	۱۸۸/۳b	۲۱۷/۲ ab	۱۹۷/۸ A
میانگین	۱۹۹B	۱۹۵/۷ B	۲۲۱/۹ A	

* در هر پارامتر اندازه‌گیری شده، در هر ستون یا ردیف، تفاوت میانگین‌هایی با حداقل یک حرف لاتین مشترک، طبق آزمون دانکن از نظر آماری در سطح ۵٪ معنی‌دار نمی‌باشد.

غلظت منگنز و آهن با کاربرد روی از هر دو منبع کاهش یافته است (جداول ۴ و ۵). مطابق با داده‌های جدول ۶، دو منبع روی از نظر غلظت آهن و منگنز تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ نداشته‌اند. کاربرد ۲۰ میلی‌گرم روی سولفاتی نسبت به تیمار شاهد باعث کاهش غلظت منگنز و آهن به ترتیب به میزان ۲۳ و ۱۰ درصد شد (جدول ۴) و کاربرد ۲۰ میلی‌گرم روی کلاتی غلظت این عناصر را به ترتیب ۲۴ و ۳۵ درصد کاهش داد (جدول ۵). آدیلوگلو (۴) گزارش کرد که در یک خاک آهکی مقدار آهن و منگنز در ذرت با کاربرد روی کاهش معنی‌داری در سطح ۱٪ پیدا کرد که به دلیل رابطه تنازعی بین روی و آهن بوده است.

کامباس و همکاران (۱۲) بیان کردند که روی از انتقال آهن در گیاه شاهی آبی جلوگیری کرده و به نظر می‌رسد که روی به عنوان یک کاتیون رقیب از انتقال متابولیک فعال آهن در مکان‌های جذب در ساقه جلوگیری می‌کند.

نتیجه‌گیری

کاربرد روی، صرف‌نظر از نوع منبع آن، غلظت آهن و منگنز اندام هوایی اسفناج را کاهش داد، که نشان دهنده برهمکنش منفی بین روی با آهن و منگنز می‌باشد. دلیل کاهش غلظت آهن و منگنز می‌تواند مربوط به اثر رقت یا بازدارندگی روی برجذب و انتقال این عناصر باشد.

با توجه به نتایج به دست آمده، افزودن کادمیم به خاک سبب افزایش غلظت آن در اندام هوایی اسفناج، کاهش وزن خشک، کاهش غلظت روی و کاهش غلظت منگنز اندام هوایی اسفناج شده است. هم‌چنین کادمیم بر کاهش میزان جذب کل روی و منگنز توسط گیاه اسفناج تأثیرگذار بوده است. بنابراین کادمیم در جذب این عناصر توسط گیاه اختلال ایجاد کرده است و بین کادمیم و این عناصر برهمکنش منفی وجود دارد. مصرف روی از منابع سولفاتی یا کلاتی، غلظت کادمیم اندام هوایی اسفناج را کاهش داده و غلظت کادمیم و اثر سوء کادمیم بر وزن خشک را تعدیل کرده است. بین دو منبع روی از نظر تأثیر بر وزن خشک و غلظت روی و کادمیم تفاوت معنی‌داری وجود دارد. روی سولفاتی در افزایش وزن خشک و کاهش غلظت کادمیم اندام هوایی اسفناج مؤثرتر از روی کلاتی بوده است. این مسئله می‌تواند به گوگرد که همراه کود روی سولفاتی به خاک اضافه شده ربط داده شود. از این نظر که علاوه بر روی، گوگرد هم در افزایش رشد و هم‌چنین در کاهش اثر سوء کادمیم مؤثر بوده است. ناصر و همکاران (۲۳) بیان کردند که گوگرد آثار سمیت کادمیم بر کلزا را تعدیل کرده است. گائو و همکاران (۱۴) پیشنهاد کردند که با کاشت برنج در خاک‌های آلوده به کادمیم، کاربرد گوگرد می‌تواند تجمع کادمیم را در گیاه کاهش دهد. به نظر می‌رسد که در خاک‌های آلوده به کادمیم، کاربرد کودهای روی، بخصوص سولفات روی، می‌تواند اثر سوء کادمیم بر رشد و برخی پارامترهای گیاهی را کاهش دهد. البته عوامل متعددی از جمله پ- هاش خاک، مصرف کودهای فسفری و هم‌چنین شوری خاک بر جذب کادمیم تأثیر دارند که در این زمینه به بررسی‌های بیشتری نیاز است.

سپاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه شیراز برای تأمین وسایل و امکانات و ایجاد تسهیلات لازم و هم‌چنین از همکاران بخش خاک‌شناسی صمیمانه قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. بهتاش، ف.، ج. طباطبایی، م .ج. ملکوتی، م. ح. سروالدین و ش. اوستان. ۱۳۸۹. اثر روی و کادمیم بر رشد، مقدار کلروفیل، فتوسنتز و غلظت کادمیم در چغندر لبویی. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) ۲۴(۱): ۳۱-۴۱.

۲. صالح، ج. ۱۳۷۸. تأثیر سطوح شوری و منبع روی بر رشد و ترکیب شیمیایی برنج و باقلا. پایان‌نامه کارشناسی ارشد بخش خاک-شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

3. Adiloglu, A. 2002. The effect of zinc (Zn) application on uptake of cadmium (Cd) in some cereal species. Arch. Agron. Soil Sci. 48: 553-556.
4. Adiloglu, S. 2006. The effect of increasing nitrogen and zinc doses on the iron, copper and manganese contents of maize plant in calcareous and zinc deficient soils. Asian J. Plant Sci. 5: 504-507.
5. Alloway, B. J. 1995. Heavy Metals in Soils. Blackie Academic & Professionals, New York, pp. 122-147.
6. An, Y. J. 2004. Soil ecotoxicity assessment using cadmium sensitive plants. Environ. Pollut. 127: 21-26.
7. Bohnert, H. J., D. E. Nelson and R. G. Jensen. 1999. Adaptations to environmetal stresses. Plant Cell 7: 1099-1111.
8. Bolan, N. S., D. C. Adriano, P. Duraisamy, A. Mani and K. Arulmozhiselvan. 2003. Immobilization and phytoavailability of cadmium in variable charge soils. I. Effect of phosphate addition. Plant Soil 250: 83-94.
9. Bouyoucos, C. J. 1962. Hydrometer method for making particle size analysis of soils. Agron. J. 15: 462-465.
10. Bremner, J. M. 1996. Total nitrogen. PP. 1085-1122. *In:* Sparks et al. (Eds.) Methods of Soil Analysis, Part 3, SSSA, ASA, Madison, WI.
11. Cheng, S. F. and C. Y. Huang. 2006. Influence of cadmium on growth of root vegetables and accumulation of cadmium in the edible root. Int. J. Appl. Sci. Eng. 43: 243-252.
12. Cumbus, I. P., D. J. Hornsey and L. W. Robinson. 1977. The influence of phosphorus, zinc and manganese on absorption and translocation of iron in watercress. Plant Soil 78: 651-660.
13. Das, P., S. Samantaray and G. R. Rout. 1997. Root studies on cadmium toxicity in plants: A review. Environ. Pollut. 98: 29-36.
14. Gao., M. X., Z. Y. Hu, G. D. Wang and X. Xia. 2010. Effect of elemental sulfur supply on cadmium uptake in to rice seedling when cultivated in low and excess cadmium soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 41: 990-1003.
15. Grant, C. A., W. T. Buckley, L. D. Bailey and F. Selles. 1998. Cadmium accumulation in crops. Can. J. Plant Sci. 78: 1-17.
16. Gupta,V. and B. Potalia. 1990. Zinc-cadmium interaction in wheat. J. Indian Soc. Soil Sci. 48: 452-457.
17. Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 2001. Trace Element in Soils and Plants. 3rd Ed., CRC Press, Boca Raton, FL.
18. Lindsay, W. L. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
19. Loppert, R. H. and D. L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. PP. 437-474. *In:* Sparks et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3, SSSA, ASA, Madison, WI.
20. Mackenna, I. M., R. L. Chaney and F. M. Williams. 1993. The effects of cadmium and zinc interactions on the accumulation and tissue distribution of zinc and cadmium in lettuce and spinach. Environ. Pollut. 79: 113-120.
21. Mengel, K. and E. A. Kirkby. 2001. Principles of Plant Nutrition. 5th Ed., International Potash Institute, Bern, Switzerland.
22. Nan, Z., J. Li, J. Zhang and G. Cheng. 2002. Cadmium–zinc and their transfer in soil-crop system under actual field conditions. Sci. Total Environ. 285: 187-195.
23. Naser, A., S. Anjum, A. Umar, M. Ahmad and A. Khan. 2008. Sulphur protects mustard (*Brassica Campestris* L.) from cadmium toxicity by improving leaf ascorbate and glutathione. Plant Growth Regul. 54: 271-279.
24. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. PP. 961-1010. *In:* Sparks et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3, 3rd Ed., SSSA, ASA Madison, WI.
25. Oliver, M. A. 1997. Soil and human health: A review. Europ. J. Soil Sci. 48: 573-592.
26. Podar, D., M. H. Ramsey and M. J. Hutchings. 2004. Effect of cadmium, zinc and substrate heterogeneity on yield, shoot metal concentration and metal uptake by *Brassica Juncea*: Implication for human health risk assessment and phytoremediation. New Phytol. 163(2): 313-324.
27. Sharma, R. K., M. Agrawal and S. B. Agrawal. 2008. Interactive effects of cadmium and zinc on carrots: Growth and biomass accumulation. J. Plant Nutr. 31: 19-34.
28. Shute, T. and S. M. Macfie. 2006. Cadmium and zinc accumulation in soybean: A threat to food safety? Sci. Total Environ. 371: 63-73.
29. Vassilev, A., C. F. Lidon, M. D. C. Matos, J. C. Ramalho and I. Yordanov. 2002. Phytosynthetic performance and content of some nutrients in cadmium-and copper- treated barley plants. J. Plant Nutr. 25: 2343-2360.
30. Watanabe, F. S. and S. R. Olsen. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and $NaHCO_3$ extracts from soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29: 677-678.
31. Warwick, P., A. Hall and V. Pashley. 1999. Zinc and cadmium mobility in podzol soils. Chemos. 38: 2357-2368.
32. Wu, F. and G. Zhang. 2002. Alleviation of cadmium toxicity by application of zinc and ascorbic acid in barley. J. Plant Nutr. 25: 2745-2761.
33. Yoo, M. S. and B. R. James. 2003. Zinc exchangeability as a function of pH in citric acid-amended soils. Soil Sci. 168: 356-367.
34. Zhao, Z. Q., Y. G. Zhu, R. Kneer and S. E. Smith. 2005. Effect of zinc on cadmium toxicity-induced oxidative stress in winter wheat seedlings. J. Plant Nutr. 28: 1947-1959.