

## 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<sup>۱</sup>

(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 (سولفات 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 و ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک به صورت سولفات کادمیم) و چهار سطح روی (صفر، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک از دو منبع سولفات 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

را کاهش داده و سلامتی مصرف‌کننده‌ها 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 زیست‌فراهمی 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

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

۱. بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: tayebe\_rahimi@yahoo.com

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 ۲۹° ۱۱' تا ۲۹° ۲۵' شمالی و طول جغرافیایی ۴۵° ۵۲' تا ۵۳° ۲۵' 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

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<sub>2</sub> 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، هنگامی که 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.

جدول ۱. برخی خصوصیات خاک مورد مطالعه

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

ND\*: کمتر از حد تشخیص دستگاه جذب اتمی

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 میلی لیتر رسانیده شد. غلظت کادمیم، روی، آهن و منگنز با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل Shimatzu AA-670G) اندازه‌گیری گردید. داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و MSTATC و طبق آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۵ 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 (جدول ۲ و ۳). کاربرد ۲۰ میلی گرم 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 میلی گرم 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.

قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار در دانشگاه شیراز، سال ۱۳۸۶ انجام شد. تیمارها شامل سه سطح کادمیم (۵، ۱۰ و ۲۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک به صورت سولفات کادمیم) و چهار سطح روی (صفر، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی گرم 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 میلی گرم 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 سانتی‌متری 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 کلروفیل متر دستی (SPAD-502) قرائت شد. سپس گیاه از محل طوقه قطع و

جدول ۲. اثر کاربرد کادمیم و سولفات روی بر وزن خشک و تر، قرائت کلروفیل متر و غلظت روی در اندام هوایی اسفناج

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

\* 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.

جدول ۳. اثر کاربرد کادمیم و کلات روی بر وزن خشک و تر، قرائت کلروفیل متر و غلظت روی در اندام هوایی اسفناج

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

\* در هر پارامتر اندازه گیری شده، در هر ستون یا ردیف، تفاوت میانگین هایی با حداقل یک حرف لاتین مشترک، طبق آزمون دانکن از نظر آماری در سطح ۰/۵٪ معنی دار نمی باشد.

بنابراین، روی سولفاتی اثر بهتری بر وزن خشک داشته است. معنی داری در افزایش وزن خشک مؤثرتر بوده است. با توجه به نقش روی در فعالیت آنزیم ها و سنتز پروتئین این مطلب قابل توجه می باشد. روی یکی از ضروری ترین عناصر ریزمغذی و وزن خشک باقلا را افزایش دادند. اما روی سولفاتی به طور صالح (۲) گزارش کرد که دو منبع روی سولفاتی و کلاتی

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 آنتی‌اکسیداتیو 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 سولفات و روی کلاتی به ترتیب میانگین وزن خشک اسفناج را نسبت به تیمار شاهد از ۵/۶۶ به ۴/۳۳ گرم در گلدان و از ۴/۶۲ به ۲/۰۲ گرم در گلدان کاهش داد که به ترتیب معادل ۲۳ و ۵۶ 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 (جدول 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 (جدول 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 (جدول 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 بر جذب کادمیم یا اثر بازدارندگی روی بر انتقال کادمیم در گیاه باشد.

جدول ۴. اثر کاربرد کادمیم و سولفات روی بر غلظت کادمیم، منگنز و آهن اندام هوایی اسفناج

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

\* در هر پارامتر اندازه گیری شده، در هر ستون یا ردیف، تفاوت میانگین‌هایی با حداقل یک حرف لاتین مشترک، طبق آزمون دانکن از نظر آماری در سطح ۰/۵ معنی دار نمی باشد.

معنی دار می باشد. به طوری که غلظت منگنز در تیمار روی کلاتی با مصرف ۲۰ میلی گرم کادمیم نسبت به تیمار شاهد ۱۳ درصد کاهش نشان داد. اما غلظت آهن تحت تأثیر کادمیم روند مشخصی را نشان نداد (جدول ۴ و ۵).  
وو و ژانگ (۳۲) بیان کردند که کادمیم باعث کاهش غلظت

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 ۰/۵

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

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

\* 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.

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

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 به کار 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.



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

سطح کادمیم (میلی گرم در کیلوگرم)				منبع روی
میانگین	۲۰	۱۰	۵	
وزن خشک (گرم در گلدان)				
۵/۱۴ A	۴/۳۳bc	۵/۴۴a	۵/۶۶a*	سولفات روی
۳/۶۳ B	۲/۰۲d	۴/۲۷c	۴/۶۲b	کلات روی
	۳/۱۸C	۴/۸۵ B	۵/۱۴ A	میانگین
وزن تر (گرم در گلدان)				
۴۱/۹۶ A	۳۴/۵۱ c	۴۴/۵۸a	۴۶/۷۹a	سولفات روی
۳۲/۰۲ B	۱۶/۸۲d	۳۸/۶۸ b	۴۰/۵۸ b	کلات روی
	۲۵/۶۶ B	۴۱/۶A	۴۳/۷A	میانگین
عدد قرائت شده توسط کلروفیل متر				
۴۵/۴ A	۴۶/۷۵bc	۴۸/۴۷bc	۵۳/۱۴a	سولفات روی
۴۸/۴ A	۴۵/۶۶c	۴۸/۴۸ bc	۵۱/۱ab	کلات روی
	۴۶/۲۱B	۴۸/۴۸B	۵۲/۱۲A	میانگین
غلظت روی (میلی گرم در کیلوگرم)				
۷۸/۳ B	۵۶/۳d	۸۲/۴c	۹۶/۴b	سولفات روی
۱۰۰/۳A	۷۸/۱c	۹۳/۲b	۱۲۹/۷a	کلات روی
	۶۷/۲C	۸۷/۸۳B	۱۱۳/۱A	میانگین
غلظت کادمیم (میلی گرم در کیلوگرم)				
۵۸/۲B	۸۵/۶b	۵۱/۷d	۳۷/۳e	سولفات روی
۸۷/۸ A	۱۲۰a	۸۳/۱۸ b	۶۰/۴c	کلات روی
	۱۰۲/۸ A	۶۷/۴۴B	۴۸/۸۵C	میانگین
غلظت منگنز (میلی گرم در کیلوگرم)				
۳۱/۹۴ A	۳۱/۷ a	۳۲/۱ a	۳۲/۴a	سولفات روی
۳۰/۷ A	۲۸ b	۳۲ a	۳۲/۳ a	کلات روی
	۲۹/۸ A	۳۲/۰۵ A	۳۲/۳ A	میانگین
غلظت آهن (میلی گرم در کیلوگرم)				
۲۱۳/۲ A	۲۲۶/۶a	۲۰۴/۲ ab	۲۱۰ab	سولفات روی
۱۹۷/۸ A	۲۱۷/۲ ab	۱۸۸/۳b	۱۸۸/۱b	کلات روی
	۲۲۱/۹ A	۱۹۵/۷ B	۱۹۹B	میانگین

\* در هر پارامتر اندازه گیری شده، در هر ستون یا ردیف، تفاوت میانگین هایی با حداقل یک حرف لاتین مشترک، طبق آزمون دانکن از نظر آماری در سطح ۵٪ معنی دار نمی باشد.

غلظت منگنز و آهن با کاربرد روی از هر دو منبع کاهش یافته است (جدول 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 بر جذب 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

### منابع مورد استفاده

- 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.
- 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.

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 فسفوری 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.

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 environmental 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. 3<sup>rd</sup> 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. 5<sup>th</sup> 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, 3<sup>rd</sup> 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<sub>3</sub> 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.