تأثیر روی و مس و شکل‌های شیمیایی آنها بر رشد و ترکیب شیمیایی برنج در یک خاک آهکی

مختار زلفی‌باوریانی[۱*] و منوچهر مفتون[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۷/۱۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۳/۳)

چکیده

با توجه به اهمیت روی و مس در خاک‌های آهکی و ضدیت این عناصر با یکدیگر، بررسی تأثیر آنها بر رشد و ترکیب شیمیایی گیاه و ارتباط شکل‌های مختلف شیمیایی آنها با پاسخ‌های گیاهی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این تحقیق با اعمال سطوح مختلف روی و مس، تأثیر آنها بر رشد و جذب این عناصر توسط برنج و شکل‌های مختلف شیمیایی آنها در خاک بررسی شد. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که کاربرد روی با افزایش رشد گیاه و غلظت و جذب کل روی ولی کاهش غلظت مس در گیاه همراه بود. کاربرد مس نیز هرچند تأثیر معنی‌داری بر رشد گیاه نداشت ولی سبب افزایش غلظت و جذب کل مس و کاهش غلظت روی در گیاه شد. هم‌چنین نتایج به دست آمده نشان‌دهنده افزایش در شکل‌های کربناته، جذبی و تبادلی روی و نیز افزایش در شکل تبادلی مس در اثر کاربرد روی است. شکل کربناته روی حداکثر تأثیر را بر غلظت و جذب کل این عنصر در گیاه داشت. کاربرد مس نیز با افزایش شکل کربناته و آلی این عنصر در خاک همراه بود و حداکثر هم‌بستگی بین شکل آلی این عنصر و غلظت و جذب کل آن در گیاه دیده شد.

واژه‌های کلیدی: روی، مس، قابلیت جذب، اشکال شیمیایی، برنج

۱. عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر (دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشگاه شیراز)

۲. استاد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mzolfi2001@yahoo.com

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-02-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.54.9.8]

مقدمه

روی از جمله عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بوده که اختلال در جذب آن در اراضی غرقابی، سدیمی، آهکی و آلی بیشتر محسوس است (۲۹ و۳۱). کاهش قابلیت استفاده روی را تحت شرایط غرقابی به افزایش غلظت آهن، منگنز و فسفر تحت این شرایط و در نتیجه تضاد آنها با روی و نیز رسوب روی به صورت سولفید روی (۱۴) نسبت می‌دهند. کاهش غلظت روی در بافت مریستمی برنج باعث کاهش مقدار کل پروتئین و کاهش رشد می‌شود (۹). تأثیر روی بر رشد و ترکیب شیمیایی برنج در خاک‌های آهکی استان فارس گزارش شده است (۱ و ۲). هم‌چنین تأثیر مس بر رشد برنج توسط محققان مختلف گزارش شده است (۶ و ۲۲). علاوه بر عوامل محیطی متعدد در قابلیت استفاده و جذب روی و مس، مقدار هر کدام از این عناصر در خاک می‌تواند بر قابلیت استفاده و جذب دیگری تأثیر گذارد. گزارش‌های بسیاری در رابطه با تأثیر روی و مس در کاهش جذب یکدیگر وجود دارد که اکثراً علت آن را رقابت این دو عنصر در محل‌های جذب سطح ریشه و یا ممانعت آنها در انتقال یکدیگر از ریشه به اندام‌های هوایی گیاه گزارش نموده‌اند (۳، ۴، ۱۷ و ۳۴).

اندازه‌گیری شکل‌های مختلف عناصر در خاک در مطالعه نگهداری و آزاد سازی عناصر به وسیله خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۴). تعیین دقیق این اجزا در مطالعات مربوط به خاک و گیاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا این شکل‌ها با ریشه‌های گیاه در ریزوسفر برهمکنش دارند (۳۵). با اندازه‌گیری شکل‌های مختلف روی و مس می‌توان چگونگی تبدیل این عناصر به شکل‌های مختلف آنها پس از کاربرد را مورد مطالعه قرار داده و شکل‌های قابل جذب گیاهی را تعیین نمود. هم‌چنین با مطالعه تأثیر روی و یا مس بر شکل‌های مختلف شیمیایی این دو عنصر می‌توان مسأله تضاد این عناصر را به طور جامع و شفاف‌تر مورد مطالعه قرار داد، زیرا تأثیر هر کدام از این دو عنصر بر شکل‌های شیمیایی دیگری احتمالاً می‌تواند بر قابلیت دسترسی آن مؤثر باشد.

محققان مختلف روش‌های متفاوتی را برای جداسازی شکل‌های مختلف عناصر کم مصرف به کار برده‌اند. مک لارن وکروفورد (۱۵) شکل‌های مختلف مس را به پنج جزء شامل مس محلول و قابل تبادل، بخشی که به طور ضعیف در مکان‌های ویژه جذب سطحی شده، مس آلی، مسی که با مواد اکسیدی هم‌رسوب شده است و مس باقی‌مانده تقسیم نمود. شومن (۲۵) روش دیگری را برای جداسازی شکل‌های مختلف عناصر کم مصرف در خاک‌های اسیدی به کار برد. شکل‌های مختلف این عناصر شامل بخش‌های هم رسوب شده با اکسیدهای آهن بی‌شکل، اکسیدهای آهن متبلور، اکسیدهای منگنز و هم‌چنین شکل‌های تبادلی، آلی و همراه با شن، سیلت و رس بود. تسیر و همکاران (۳۰) عناصر کم مصرف را به پنج جزء تبادلی، کربناتی، پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز و آلی تفکیک نمودند. کاو و همکاران (۱۰) در بررسی پراکندگی شکل‌های مختلف مس، روی، کادمیم، آهن و منگنز در نزدیکی یک معدن مس روش عصاره‌گیری دنباله‌ای را ارائه کردند که این عناصر را به شکل‌های تبادلی، همراه با اکسیدهای بی شکل آهن، همراه با اکسیدهای متبلور آهن و آلی جداسازی می‌کند. روش دیگر برای جداسازی عناصر کم مصرف توسط استاور و همکاران (۲۸) ارائه گردید که توسط اسپوزیتو و همکاران (۲۷) اصلاح شد. در این روش که برای خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک کاربرد دارد و در اجرای این آزمایش نیز از آن استفاده شد، شکل‌های تبادلی و محلول، جذب سطحی شده، آلی، کربناته و باقی‌مانده جداسازی می‌شوند. گزارش‌هایی حاکی از وجود ارتباط نزدیک بین اجزای جدا شده توسط این روش و جذب عناصر کم مصرف به وسیله گیاه موجود است (۲۶، ۲۸ و ۳۶).

کلباسی و همکارن (۸) و یثربی(۲) نتیجه‌گیری کردند که روی اضافه شده به خاک‌های آهکی عمدتاً به شکل کربناته تبدیل می‌شود. بر اساس تحقیقات یثربی (۲) فرم کربناته روی عمده‌ترین نقش را در تغذیه گیاه دارد. مولینگ و همکاران (۱۶) گزارش می‌کنند که مس مصرفی در خاک عمدتاً به شکل آلی تبدیل می‌شود. بر اساس گزارش مک‌لارن و کروفورد (۱۵)

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-02-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.54.9.8]

عمده‌ترین شکل قابل جذب مس شکل‌های تبادلی، جذب سطحی شده و آلی است. بنابراین با توجه به سطح زیر کشت نسبتاً زیاد برنج در خاک‌های آهکی استان فارس و حساسیت این گیاه به عناصر روی و مس و نیز اهمیت مطالعه شکل‌های مختلف این عناصر در خاک این آزمایش جهت رسیدن به اهداف زیر اجرا شد.

۱ـ بررسی تأثیر روی و مس بر رشد برنج و جذب این عناصر توسط گیاه

۲ـ بررسی تأثیر روی و مس بر شکل‌های مختلف شیمیایی این عناصر در خاک

۳ـ تعیین هم‌بستگی بین شکل‌های شیمیایی روی و مس با پاسخ‌های گیاهی

مواد و روش‌ها

با بررسی خاک‌های تحت کشت برنج در نقاط مختلف استان فارس از نظر مقادیر روی و مس قابل استفاده، خاک سری حسین آباد واقع در شهرستان نورآباد فارس با نام رده‌بندی Fine, carbonatic, hyperthermic, Typic Ustochrepts که مقادیر روی و مس آن کمتر از سایر خاک‌ها بود انتخاب و به اندازه کافی از عمق ۳۰ – ۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شد. پس از خشک کردن خاک در هوا و گذارندن آن از الک دو میلی‌متری برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن از جمله بافت به روش هیدرومتری (۷)، پ هاش گل اشباع (۱۱)، هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (EC) (۱۸)، کربنات کلسیم معادل (CCE) به روش خنثی سازی با اسید (۱۹)، کربن آلی (OC) به روش والکلی و بلاک (۳۳) و مقادیر آهن، روی، مس و منگنز قابل استخراج با DTPA (۱۳) قبل از اجرای طرح اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

این آزمایش گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل و با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای مورد استفاده عبارت بودند از سه سطح روی (صفر، ۷/۵ و ۱۵ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک از منبع سولفات روی)، دو سطح مس (صفر و ۵ میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک از منبع سولفات مس) و پنج سطح نیتروژن (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک از منبع اوره). البته با توجه به این‌که آثار اصلی و متقابل فاکتور نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر شکل‌های مختلف روی و مس در خاک نداشت لذا در این مقاله تنها نتایج مربوط به آثار اصلی و متقابل دو فاکتور اول ارائه می‌شود.

سایر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه به مقدار کافی به تمامی تیمارها به صورت یکسان اضافه شد. تمامی عناصر غذایی به صورت محلول به گلدان‌های حاوی دو کیلوگرم خاک اضافه شدند. کاشت تعداد ۱۰ عدد بذر برنج رقم قصرالدشتی در هر گلدان انجام و دو هفته بعد همراه با غرقاب کردن خاک تعداد نشاءها به ۴ عدد تقلیل یافت. دمای گلخانه در طول دوره رشد گیاه در محدوده ۲۰ – ۳۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم و گلدان‌ها به طور مداوم با آب مقطر آبیاری گردیدند به طوری که ارتفاع آب در حدود ۳±۰/۵ سانتی‌متری روی سطح خاک نگه داشته شد. در پایان مرحله پنجه‌زنی گیاهان برداشت شد. وزن خشک اندام هوایی پس از خشک کردن گیاه در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت و غلظت عناصر روی و مس نیز به روش خشک سوزانی (Dry Ashing) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی شیماتزو مدل ۶۷ – AA تعیین شد.

پس از برداشت گیاه، شکل‌های مختلف شیمیایی عناصر روی و مس در خاک در تمامی تیمارها به روش عصاره‌گیری متوالی اسپوزیتو و همکاران (۲۷) استخراج گردید. در این روش شکل‌های تبادلی، جذبی، آلی، کربناته و باقی مانده به ترتیب با استفاده از پتاسیم نیترات ۰/۵ مولار، آب دی مینرالیزه شده، سدیم هیدروکسید ۰/۵ مولار، اتیلن دی آمین تترا استیک اسید ۰/۰۵ مولار و نیتریک اسید ۴ مولار مطابق جدول ۲ استخراج شد.

غلظت عناصر استخراج شده در هر مرحله با استفاده از دستگاه جذب اتمی شیماتزو مدل ۶۷ – AA اندازه‌گیری و مقدار آن در خاک با استفاده از معادلات زیر محاسبه شد:

$$A = \frac{c^{*}v - c'^{*}v'}{m} \qquad v' = \frac{m'}{d}$$

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-02-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.54.9.8]

جدول ۱. برخی از خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق خاک (سانتی‌متر)	Sand	Silt	Clay	CCE*	OC	EC	pH	Fe	Zn	Mn	Cu
	%					dSm^{-1}		$(mgkg^{-1})$			
۰-۳۰	۴۰/۸	۲۴/۸	۳۴/۴	۵۳	۱/۴	۱/۱	۷/۳	۳۲/۲	۰/۹	۴/۳	۱/۷

* : کربنات کلسیم معادل

جدول۲. دستور و ترتیب روش عصاره‌گیری دنباله‌ای و مشخصات شکل‌های روی و مس استخراج شده

مشخصات شکل‌های شیمیایی	ماده عصاره‌گیر	غلظت عصاره‌گیر (مولار)	وزن مخصوص (گرم بر میلی‌لیتر)	زمان به تعادل رسیدن (ساعت)
تبادلی*	KNO_3	۰/۵	۱/۰۲	۱۶
جذبی**	$X\text{-}H_2O$	۵۵/۵	۰/۹۹	۲
آلی	NaOH	۰/۵	۱/۰۱	۱۶
کربناته	Na_2EDTA	۰/۰۵	۱/۰۰	۶
باقی مانده	HNO_3	۴/۰۰	۱/۱۲	۱۶

* : بخش قابل تبادل روی سطح ذرات خاک و قابل استخراج با پتاسیم نیترات

** : بخش نگهداری شده به طور ویژه روی سطح ذرات خاک و قابل استخراج با آب دی مینرالیزه (X-H2O) که سه مرتبه عصاره‌گیری شد.

در این معادلات A : مقدار عنصر در خاک (میکروگرم در گرم)، c : غلظت عنصر در عصاره‌گیر (میکروگرم در میلی‌لیتر)، v : حجم عصاره‌گیر(میلی لیتر)، c' : غلظت عنصر در عصاره‌گیر باقی‌مانده از مرحله قبل (میکروگرم در میلی‌لیتر)، v' : حجم عصاره‌گیر باقی‌مانده از مرحله قبل (میلی‌لیتر)، m : وزن خاک (گرم)، m' : وزن محلول باقی مانده از مرحله قبل (گرم) و d: وزن مخصوص عصاره‌گیر (گرم بر میلی‌لیتر) است. نتایج حاصله از آزمایش با استفاده از برنامه M STAT C مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و ضمن مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد معادله‌های مربوطه نیز تعیین شد.

نتایج و بحث

۱ـ تأثیر روی و مس بر وزن خشک اندام هوایی و غلظت و جذب کل روی و مس در گیاه

نتایج حاصل از تجزیه آماری نشان داد که کاربرد ۱۵ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک سبب افزایش میانگین وزن خشک اندام هوایی گیاه به میزان ۱۲/۵ درصد شده است (جدول ۳). حقیقت نیا (۱) با مطالعه تأثیر روی در ۳۷ نمونه خاک از نقاط مختلف استان فارس گزارش کرد که کاربرد ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک سبب افزایش وزن ماده خشک برنج شد. ساهو و همکاران (۲۱) گزارش کردند که کاربرد ۵ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک سبب افزایش وزن ماده خشک برنج به میزان ۱۷۰ درصد شد.

روند تغییرات غلظت و جذب کل روی در گیاه در اثر کاربرد این عنصر نشان داد که در هر دو سطح مس، سبب افزایش غلظت و جذب کل این عنصر در گیاه شده است. به طوری که کاربرد ۱۵ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک سبب افزایش میانگین غلظت و جذب کل روی به ترتیب به میزان ۱۶۹/۳ و ۲۰۳ درصد شده است (جدول ۳). ساهو و همکاران (۲۰) گزارش کردند که کاربرد ۵ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک به صورت سولفات روی سبب افزایش غلظت و جذب کل روی در گیاه به ترتیب به میزان ۲۲۱ و ۲۳ درصد شد.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-02-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.54.9.8]

جدول ۳. تأثیر سطوح مختلف روی و مس بر میانگین وزن خشک اندام هوایی و غلظت و جذب کل روی و مس در گیاه

سطوح مس (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	سطوح روی (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)			میانگین
	۰	۷/۵	۱۵	
	وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان)			
۰	۱۴/۰ b *	۱۵/۲ ab	۱۵/۶ a	۱۴/۹ A
۵	۱۴/۳ b	۱۵/۲ ab	۱۶/۲ a	۱۵/۲ A
میانگین	۱۴/۲ C	۱۵/۲ B	۱۵/۹ A	
	غلظت روی (میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاه)			
۰	۱۶/۹ d	۳۶/۸ c	۴۷/۷ a	۳۳/۸ A
۵	۱۶/۵ d	۳۲/۴ c	۴۲/۱ b	۳۰/۳ B
میانگین	۱۶/۷ C	۳۴/۶ B	۴۴/۹ A	
	جذب کل روی (میکروگرم در گلدان)			
۰	۲۳۶/۵ c	۵۵۸/۲ b	۷۴۵/۸ a	۵۱۳/۵ A
۵	۲۳۵/۶ c	۴۹۰/۳ b	۶۸۴/۶ a	۴۷۰/۱ A
میانگین	۲۳۶/۰ C	۵۲۴/۳ B	۷۱۵/۱ A	
	غلظت مس (میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاه)			
۰	۱۱/۲ b	۹/۹ c	۹/۶ c	۱۰/۲ B
۵	۱۲/۷ a	۱۲/۴ a	۱۱/۳ b	۱۲/۱ A
میانگین	۱۱/۹ A	۱۱/۱ B	۱۰/۵ B	
	جذب کل مس (میکروگرم در گلدان)			
۰	۱۵۶/۴ b	۱۴۹/۶ b	۱۴۹/۱ b	۱۵/۷ B
۵	۱۸۱/۱ a	۱۸۷/۳ a	۱۸۳/۸ a	۱۸۴/۱ A
میانگین	۱۶۸/۷ A	۱۶۸/۵ A	۱۶۶/۵ A	

* : برای هر پاسخ گیاهی، میانگین‌هایی که دارای حروف کوچک مشترک بوده و یا میانگین‌هایی که در هر ردیف و یا ستون در یک حرف بزرگ مشترک هستند از طریق آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

کاربرد ۵ میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک سبب کاهش میانگین غلظت روی به میزان ۱۰/۲ درصد شد اما بر جذب کل روی تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۳). چودهری و همکاران (۵) گزارش نمودند که مصرف ۱/۳ میلی‌گرم سولفات مس در کیلوگرم خاک سبب کاهش غلظت روی از ۵۹/۸ به ۴۰/۳ میکروگرم در گرم ماده خشک شد.

مقایسه میانگین‌های غلظت و جذب کل مس نشان داد که کاربرد مس با افزایش غلظت و جذب کل این عنصر در گیاه همراه بوده است. هرچند کاربرد روی تأثیر معنی‌داری بر جذب کل مس نداشت، اما کاربرد ۷/۵ میلی‌گرم این عنصر در کیلوگرم خاک سبب کاهش میانگین غلظت مس به میزان ۶/۹ درصد شده است (جدول ۳). چودهری و لونراگان (۴) و کیتون و همکاران (۳) نیز چنین نتایجی را گزارش کردند. تأثیر عناصر روی و مس را در کاهش جذب یکدیگر می‌توان به رقابت آنها در محل‌های جذب سطح ریشه نسبت داد.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-02-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.54.9.8]

۲- تأثیر روی و مس بر شکل‌های مختلف روی و ارتباط آن با پاسخ‌های مختلف گیاهی

بررسی جدول ۴ نشان می‌دهد که مقدار مطلق و میزان نسبی روی باقی مانده بیشتر از سایر شکل‌های روی در خاک بوده و مقایسه شکل‌های مختلف آن از نظر مقدار مطلق به صورت زیر می‌باشد:

تبادلی < جذبی < آلی < کربناته << باقی‌مانده

مجموع شکل‌های روی تبادلی، جذب سطحی شده و آلی کمتر از هشت درصد جمع شکل‌های روی خاک را تشکیل می‌دهند. این نکته قابل ذکر است که در پژوهش حاضر شکل‌های مختلف روی در خاک نسبت به جمع شکل‌ها سنجیده شده‌اند و به طور مستقل به عصاره‌گیری کل روی خاک اقدام نشده است. البته با توجه به اینکه استخراج شکل‌های مختلف به صورت متوالی انجام شده است، مجموع شکل‌های مختلف می‌تواند نشان‌دهنده مقدار کل روی نیز باشد. همچنان که اسپوزیتو و همکاران (۲۷) بین جمع شکل‌های مختلف روی و مقدار کل روی خاک تفاوتی مشاهده نکردند. سایر محققان مانند لی‌کلیر و همکاران (۱۲) و شومن و هارکرو (۲۳) نیز مقدار نسبی هر شکل را نسبت به جمع شکل‌های روی سنجیده‌اند. بررسی جدول ۴ نشان می‌دهد که کاربرد سطوح مختلف روی سبب افزایش در شکل‌های تبادلی، جذب سطحی، کربناته و مجموع شکل‌های روی شده اما بر شکل‌های آلی و باقی‌مانده تأثیر معنی‌داری نداشته است. مقایسه میانگین مقدار شکل‌های مختلف روی از طریق آزمون دانکن نشان داد که در اثر مصرف ۱۵ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک شکل‌های تبادلی، جذبی، کربناته و مجموع شکل‌ها به ترتیب از ۰/۴۱، ۱/۴۱، ۵/۴۸، و ۵۰/۶۴ به ۰/۶۱، ۱/۸۶، ۱۳/۶۲ و ۶۳/۰۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک افزایش یافته است (جدول ۴).

روند افزایش در مورد شکل‌های تبادلی و جذب سطحی شده با شیب ملایم و شکل کربناته با شیب تندتری بود. به طوری که در اثر افزایش ۱۵ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک، شکل‌های تبادلی و جذب سطحی شده به ترتیب ۴۸/۸ و ۳۱/۹ درصد اما شکل کربناته به میزان ۱۴۹ درصد افزایش حاصل نموده است. کلباسی و همکاران (۸) نتیجه‌گیری کردند که اضافه کردن روی به خاک های آهکی باعث رسوب روی به شکل کربناته می‌شود. یثربی (۲) نیز چنین نتایجی را گزارش نموده است. از آنجایی که شکل‌های تبادلی و جذبی مقدار ناچیزی از کل روی را تشکیل می‌دهند لذا از لحاظ نسبی کاربرد روی تأثیر معنی داری بر آنها نداشته است (جدول ۴). درصد نسبی شکل کربناته افزایش ولی درصد نسبی شکل باقی مانده کاهش یافته است. این امر مبین این است که روی مصرفی عمدتاً به شکل کربناته تبدیل شده است.

بین شکل‌های مختلف روی و پاسخ‌های مختلف گیاهی نیز معادلات رگرسیونی به دست آمد که به صورت زیر ارائه می‌شود. با توجه به مطالب ذکر شده در بخش مواد و روش‌ها، در تهیه این معادلات از تعداد ۳۰ نمونه استفاده شد که هر کدام میانگین سه تکرار می‌باشد.

$$DM = ۱۳/۰۲ + ۰/۲۱۸\ CA_{Zn} \qquad r^۲ = ۰/۶۹^{**} \qquad [۱]$$

$$DM = ۱۲/۸۶ + ۴/۳۰\ EX_{Zn} \qquad r^۲ = ۰/۲۹^{*} \qquad [۲]$$

$$Zn_{concn} = ۱/۷۸ + ۳/۲۴\ CA_{Zn} \qquad r^۲ = ۰/۸۶^{**} \qquad [۳]$$

$$Zn_{concn} = -۶/۲۹ + ۷۴/۷۰\ EX_{Zn} \qquad r^۲ = ۰/۵۰^{**} \qquad [۴]$$

$$Zn_{up} = -۲۹/۹۷ + ۵۵/۷۶\ CA_{Zn} \qquad r^۲ = ۰/۹۰^{**} \qquad [۵]$$

$$Zn_{up} = -۱۵۲ + ۱۲۵۴\ EX_{Zn} \qquad r^۲ = ۰/۴۹^{**} \qquad [۶]$$

$$Cu_{concn} = ۱۵/۱۶ - ۷/۷۸\ EX_{Zn} \qquad r^۲ = ۰/۵۲^{**} \qquad [۷]$$

در معادلات فوق CA_{Zn} ، EX_{Zn} ، بترتیب شکل‌های کربناته و تبادلی روی بوده و بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم خاک می‌باشد. DM وزن خشک اندام هوایی گیاه برحسب گرم در گلدان و Zn_{concn} و Cu_{concn} به ترتیب غلظت روی و مس در گیاه بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک و Zn_{up} جذب کل روی بر حسب میکرو گرم در گلدان می‌باشد.

بررسی معادلات فوق نشان می‌دهد که شکل کربناته روی نقش مهمی در غلظت و جذب روی و وزن خشک اندام هوایی گیاه دارد. شکل تبادلی روی نیز در تغذیه گیاه مؤثر می‌باشد. بین غلظت مس در گیاه و شکل تبادلی روی معادله معنی‌داری

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-02-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.54.9.8]

جدول۴. اثر روی و مس بر میانگین و مقدار نسبی شکل‌های مختلف روی در خاک

فرم شیمیایی	میانگین و یا میزان نسبی	روی($mgkg^{-1}$)			مس($mgkg^{-1}$)	
		۰	۷/۵	۱۵	۰	۵
تبادلی	میانگین($mgkg^{-1}$)	۰/۴ ^{c*}	۰/۵ ^{b}	۰/۶ ^{a}	۰/۶ ^{A}	۰/۵ ^{B}
	میزان نسبی(٪)	۰/۸ ^{a}	۰/۹ ^{a}	۱/۰ ^{a}	۱/۰ ^{A}	۰/۸ ^{B}
جذبی	میانگین($mgkg^{-1}$)	۱/۴ ^{c}	۱/۶ ^{b}	۱/۹ ^{a}	۱/۶ ^{A}	۱/۶ ^{A}
	میزان نسبی(٪)	۲/۸ ^{a}	۳/۰ ^{a}	۳/۰ ^{a}	۲/۹ ^{A}	۲/۹ ^{A}
آلی	میانگین($mgkg^{-1}$)	۲/۲ ^{a}	۲/۳ ^{a}	۳/۳ ^{a}	۱/۸ ^{B}	۳/۴ ^{A}
	میزان نسبی(٪)	۴/۳ ^{a}	۴/۲ ^{a}	۵/۴ ^{a}	۳/۲ ^{B}	۶/۱ ^{A}
کربناته	میانگین($mgkg^{-1}$)	۵/۵۸ ^{c}	۹/۰ ^{b}	۱۳/۶ ^{a}	۹/۷ ^{A}	۹/۰ ^{A}
	میزان نسبی(٪)	۱۰/۸ ^{c}	۱۶/۳ ^{b}	۲۱/۷ ^{a}	۱۶/۹ ^{A}	۱۵/۶ ^{A}
تتمه	میانگین($mgkg^{-1}$)	۴۱/۲ ^{a}	۴۱/۷ ^{a}	۴۳/۶ ^{a}	۴۲/۴ ^{A}	۴۲/۰ ^{A}
	میزان نسبی(٪)	۸۱/۳ ^{a}	۷۵/۶ ^{b}	۶۹/۱ ^{c}	۷۶/۰ ^{A}	۷۴/۶ ^{A}
مجموع شکل ها($mgkg^{-1}$)		۵۰/۶ ^{c}	۵۵/۲ ^{b}	۶۳/۰ ^{a}	۵۶/۱ ^{A}	۵۶/۵ ^{A}

* : میانگین‌هایی که در هر ردیف در یک حرف کوچک و یا در یک حرف بزرگ مشترک هستند از نظر آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

به دست آمده (معادله ۷) و نشان می‌دهد که با افزایش روی تبادلی، غلظت مس در گیاه کاهش می‌یابد. از طرف دیگر همان‌طور که قبلاً گفته شد در اثر مصرف روی شکل تبادلی این عنصر در خاک افزایش می‌یابد (جدول ۴). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر روی در کاهش غلظت مس در گیاه (جدول ۳)، احتمالاً بعلت تأثیر شکل تبادلی روی می‌باشد. هم‌چنین از معادلات فوق چنین استنتاج می‌شود که مهم‌ترین شکل قابل استفاده روی توسط گیاه شکل کربناته می‌باشد. یثربی (۲) نیز گزارش کرد که شکل کربناته روی مهم‌ترین نقش را در تغذیه روی در گیاه دارد.

بررسی نتایج حاصل از تجزیه آماری نشان داد که مس مصرفی تنها بر شکل آلی و تبادلی روی تأثیر معنی‌دار داشته است (جدول ۴). مقایسه میانگین شکل‌های مختلف روی نشان داد که با مصرف ۵ میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک شکل تبادلی روی از ۰/۵۶ به ۰/۴۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک کاهش یافته است و نیز شکل آلی روی از ۱/۸۱ به ۳/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک افزایش حاصل نموده است. با توجه به اینکه میانگین غلظت روی در گیاه در اثر مصرف مس از ۳۳/۷۷ به ۳۰/۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک کاهش یافته است (جدول ۳) می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر مس در کاهش غلظت روی در گیاه احتمالاً به دلیل تأثیر آن بر شکل تبادلی روی می‌باشد. زیرا بر اساس معادله ۴ شکل تبادلی روی مستقیماً بر افزایش غلظت روی در گیاه مؤثر است.

کاربرد مس از یک طرف سبب افزایش شکل آلی روی در

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-02-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.54.9.8]

جدول۵. اثر روی و مس بر میانگین و مقدار نسبی شکل‌های مختلف مس در خاک

شکل شیمیایی	میانگین و یا میزان نسبی	روی($mgkg^{-1}$)			مس($mgkg^{-1}$)	
		۰	۷/۵	۱۵	۰	۵
تبادلی	میانگین($mgkg^{-1}$)	۰/۲ ^{b*}	۰/۳ ^{b}	۰/۶ ^{a}	۰/۴ ^{A}	۰/۴ ^{A}
	میزان نسبی(٪)	۱/۴ ^{c}	۲/۳ ^{b}	۳/۷ ^{a}	۲/۷ ^{A}	۲/۲ ^{A}
جذبی	میانگین($mgkg^{-1}$)	۰/۹ ^{a}	۰/۹ ^{a}	۰/۷ ^{a}	۰/۸ ^{A}	۰/۸ ^{A}
	میزان نسبی(٪)	۵/۵ ^{a}	۵/۴ ^{a}	۴/۵ ^{a}	۵/۶ ^{A}	۴/۷ ^{A}
آلی	میانگین($mgkg^{-1}$)	۳/۸ ^{a}	۳/۷ ^{a}	۳/۶ ^{a}	۲/۵ ^{B}	۴/۹ ^{A}
	میزان نسبی(٪)	۲۳/۱ ^{a}	۲۲/۳ ^{a}	۲۲/۱ ^{a}	۱۸/۵ ^{B}	۲۶/۴ ^{A}
کربناته	میانگین($mgkg^{-1}$)	۵/۰ ^{a}	۵/۷ ^{a}	۵/۳ ^{a}	۴/۵ ^{B}	۶/۲ ^{A}
	میزان نسبی(٪)	۳۱/۱ ^{a}	۳۵/۰ ^{a}	۳۲/۷ ^{a}	۳۲/۲ ^{A}	۳۳/۷ ^{A}
باقی مانده	میانگین($mgkg^{-1}$)	۶/۰ ^{a}	۵/۷ ^{a}	۵/۸ ^{a}	۵/۷ ^{A}	۶/۱ ^{A}
	میزان نسبی(٪)	۳۸/۹ ^{a}	۳۵/۱ ^{a}	۳۶/۹ ^{a}	۴۰/۹ ^{A}	۳۳/۰ ^{B}
مجموع شکل‌ها ($mgkg^{-1}$)		۱۶/۰ ^{a}	۱۶/۲ ^{a}	۱۶/۰ ^{a}	۱۳/۸ ^{B}	۱۸/۴ ^{A}

* : میانگین‌هایی که در هر ردیف در یک حرف کوچک و یا در یک حرف بزرگ مشترک هستند از نظر آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

خاک و از طرف دیگر سبب کاهش غلظت روی در گیاه شده است بنابراین می‌توان گفت که شکل آلی روی احتمالاً تأثیری بر غلظت این عنصر در گیاه ندارد همچنان‌که رابطه معنی‌داری بین این دو به دست نیامد.

۳- تأثیر روی و مس بر شکل‌های مختلف مس و ارتباط آن با پاسخ‌های مختلف گیاهی

بررسی نتایج حاصل از تجزیه آماری نشان داد که میزان نسبی شکل باقی‌مانده مس بیشتر از سایر شکل‌های مس در خاک بوده و مقدار مطلق هرکدام از این شکل‌ها به ترتیب به صورت زیر می‌باشد:

تبادلی < جذبی << آلی < کربناته < باقی مانده

گرچه میزان نسبی مس در شکل‌های مختلف روندی مشابه روی را دنبال می‌کند اما از مقایسه جدول ۴ و ۵ مشخص می‌شود که در مورد مس نسبت به روی مقدار بیشتری از آن به شکل آلی می‌باشد. به طوری که حدود ۱۸/۵ درصد از مس بومی خاک به شکل آلی است اما در مورد روی تنها ۴/۳ درصد آن به شکل آلی است.

بررسی داده‌های جدول ۵ نشان می‌دهد که با افزایش ۵ میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک میانگین شکل‌های آلی و کربناته به ترتیب ۹۲/۸ و ۳۸ درصد افزایش حاصل نموده است. بنابراین قسمت عمده مس مصرفی به شکل آلی تبدیل شده است. هم‌چنین میزان نسبی شکل‌باقی مانده مس در اثر مصرف مس کاهش یافته است و این امر نشان‌دهنده این است که

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-02-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.54.9.8]

قسمت عمده مس مصرفی به شکل‌های آلی و کربناته تبدیل شده است. بر اساس این نتایج مس مصرفی بر مقدار و میزان نسبی شکل‌های تبادلی و جذب سطحی شده مس تأثیر معنی‌داری نداشت. مولینگ و همکاران (۱۶) نیز با مطالعه تأثیر مس بر شکل‌های مختلف آن در سه نوع خاک مختلف گزارش می‌کنند که مس مصرفی در تمامی خاک ها عمدتاً به شکل آلی تبدیل شده است. به طوری که در یکی از خاک‌ها با مصرف ۳/۸ کیلوگرم مس در هکتار، شکل آلی مس از ۰/۶ به ۳/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش یافته است.

بین پاسخ‌های مختلف گیاهی و شکل‌های مختلف مس نیز معادلاتی به دست آمده است که به صورت زیر می‌باشد:

$$Cu_{concn} = ۸/۶۴ + ۰/۶۹\ OR_{Cu} \qquad r^۲ = ۰/۵۵^{**} \qquad [۸]$$

$$Cu_{up} = ۱۲۶ + ۱۱/۳۵\ OR_{Cu} \qquad r^۲ = ۰/۷۴^{**} \qquad [۹]$$

در این معادلات Cu_{concn} غلظت مس بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک اندام هوایی گیاه و Cu_{up} جذب کل مس بر حسب میکروگرم در گلدان است. معادلات فوق نشان می‌دهد که عمدتاً شکل آلی مس قابل جذب برای گیاه می‌باشد. بین وزن خشک اندام هوایی گیاه و شکل‌های مختلف مس رابطه معنی‌داری به دست نیامد، هم‌چنان‌که بین مقدار مس مصرفی و وزن خشک اندام هوایی گیاه رابطه معنی‌داری وجود نداشت. ویت (۳۲) با تعیین شکل‌های مختلف مس و ارتباط آن با پاسخ‌های گیاهی نتیجه گرفت که بین شکل‌های تبادلی، محلول، جذب سطحی شده و آلی مس حالت تعادل وجود دارد و این شکل‌ها عمدتاً قابل جذب برای گیاه می‌باشند. مک لارن و کرفورد (۱۵) نیز چنین نتایجی را به دست آورده و هم‌چنین گزارش کردند که مس اکسیدی و باقی مانده تقریباً غیر قابل استفاده برای گیاه هستند.

مقایسه میانگین شکل‌های مختلف مس از طریق آزمون دانکن نشان می‌دهد که کاربرد روی تأثیر معنی‌داری بر شکل‌های جذبی، آلی، کربناته و باقی‌مانده مس نداشته و تنها به مقدار جزئی سبب افزایش شکل تبادلی مس شده است (جدول ۵). از نتایج فوق شاید بتوان نتیجه گرفت که تأثیر روی بر کاهش جذب و غلظت مس در گیاه به علت تأثیر آن بر شکل‌های مختلف مس در خاک نمی‌باشد. البته این موضوع احتیاج به تحقیقات وسیع‌تری دارد.

منابع مورد استفاده

۱. یثربی، ج. ۱۳۷۲. تأثیر سولفات روی باقیمانده بر شکل‌های روی در خاک‌های آهکی منطقه زیر سد درودزن استان فارس و رابطه این شکل‌ها با رشد و غلظت روی در ذرت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۲. حقیقت نیا. ح. ۱۳۷۵. ویژگی‌های جذب سطحی روی و ارزیابی چند عصاره‌گیر شیمیایی جهت تعیین روی قابل استفاده برای برنج در تعدادی از خاک‌های آهکی استان فارس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

3. Cayton, M. T., E. D. Royes and H. V. Neve. 1985. Effect of zinc fertilization on the mineral nutrition of rice differing in tolerance to zinc deficiency. Plant Soil 87: 319 – 327.
4. Choudhary, F. M. and J.F. Loneragan. 1970. Effect of nitrogen, copper and zinc fertilizers on the copper and zinc nutrition of weat plants. Aust. J. Agric. Res. 21: 865–879.
5. Choudhary, F.M., M. Sharif and A. Latif. 1973. Zinc – copper antagonism in the nutrition of rice (*Oryza sativa* L.). Plant Soil 38: 573 – 580.
6. Gangvar, M.R., M.S. Gangvar and P.C. Srivastava. 1988. Effect of Zn – Cu interactin on growth parameters and grain yield of rice. Oryza 25: 409 – 412.
7. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1982. Hydrometer method. PP.383-411. Agron. *In*: A. Klute (Ed.), Methods of Soil Analysis: Physical Properties. Part 1, 2nd ed., Monogr. No.9. ASA and SSSA, Madison, WI,
8. Kalbasi, M. G. , J. Racz and L. A. Loewn-Rudgers. 1978. Reaction products and solubility of applied zinc compounds in some Monitoba soils. Soil Sci. 125: 55 – 64.
9. Kitagishi, K., M. Obta and T. Kondo. 1987. Effect of zinc deficiency on 80S ribosome content of meristematic tissuses of rice plant. Soil Sci. Plant Nutr. 33: 423 – 429.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-02-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.54.9.8]

10. Kuo, S., P. E. Heilman and A. S. Baker. 1983. Distribution and forms of copper, zinc, cadmium, iron and manganese in soils near a copper smelter. Soil Sci. 135: 101-109.
11. Lean, E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties. PP.199-224. Part 2, 2nd ed., Agron. Monogr. No.9. *In*: A. L. Page(Eds.), ASA and SSSA, Madison, WI.
12. LeClaire, J.P., A.C. Chang, C.S. Levesque and G. Sposito. 1984. Trace metal chemistry in arid zone field soils amended with sewage sludge: IV. Correlations between zinc uptake and extracted soil zinc fractions. Soil Sci. Soc. Amer. J. 48: 509 – 513.
13. Lindsay, W.L. and W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Amer. J. 42: 421-428.
14. Mandal, L. N. and M. Haldar. 1980. Influence of phosphorus and zinc application on the availability of zinc, copper, iron, manganese and phosphorus in waterlogged rice soils. Soil Sci. 130 : 251 – 257.
15. McLaren, R. G. and D. V. Crowford. 1973. Studies on soil copper. I: The fractionation of copper in soils. J. Soil Sci. 24: 172 – 181.
16. Mullings, G. L., D. C. Martens, W. P. Miller, E. T. Kornegay and D. L. Hallock. 1982. Copper availability, form and mobility in soils from three annual copper-enriched hog manure applications. J. Environ. Qual. 11: 316 – 320.
17. Rashid, A. , F.M. Choudhary and M. Sharif. 1976. Micronutrient availability to cereals from calcareous soils. III. Zinc absorption by rice and its inhibition by important ions in submerged soils. Plant Soil 45: 613 – 623.
18. Rhoades, J. D. 1982. Soluble salts. Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties. PP.167-179. Part 2, 2nd ed., Agron. Monogr. No.9. *In*: A. L. Page (Eds.), ASA and SSSA, Madison, WI.
19. Richards, L. A. 1969. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agriculture Handbook No:60.
20. Sahu, S.K., G.N. Mitra and S.K. Pani. 1994. Effect of zinc sources on uptake of Zn and other macronutrients by rice on vertisol. J. Ind. Soc. Soil Sci. 42: 487 – 489.
21. Sahu, S.K., G.N. Mitra and S.K. Pani. 1996. Effect of Zn application on uptake of nutrients by rice on an inceptisol. J. Ind. Soc. Soil Sci. 44: 795 – 796.
22. Singh, B.P., M. Das and R.N. Prasad. 1990. Evaluation of available Cu status in altitude wetland rice soils. J. Ind. Soc. Soil Sci. 38: 464 – 468.
23. Shuman, L. M. and W.L. Hargrove. 1985. Effect of tillage on the distribution of manganese, copper, iron and zinc in soil fractions. Soil Sci. Soc. Amer. J. 49: 1117 – 1121.
24. Shuman, L.M. 1979. Zinc, manganese and copper in soil fractions. Soil Sci. 127: 10 - 17.
25. Shuman, L.M. 1985. Fractionation method for soil micronutrients. Soil Sci. 140: 11-22.
26. Sims, J. T. and J. S. Klin. 1991. Chemical fractionation and plant uptake of metals in soils amended with co-composted sewage sludge. J. Environ. Qual. 20: 387- 395.
27. Sposito, G., L. J. Lund and A. C. Chang. 1982.Trace metal chemistry in arid zone field soils amended with sewage sludge: I: Fractionation of Ni, Zn, Cd and Pb in solid phases. Soil Sci. Soc. Amer. J. 46: 260 – 264.
28. Stover, R. C., L. E. Sommers and D. J. Silveria. 1976. Evaluation of metals in wastewater sludge. J. Water Pollut. Control Fed. 48: 2165 – 2175.
29. Subrahmanyam, K., A.K. Nair, A. Chattopadhyay and D.V. Singh. 1991. Effect of zinc on yield, quality and nutrient composition of Japanese mint and availability of nutrients in soil. J. Ind. Soc. Soil Sci. 39: 399 – 401.
30. Tessier, A., P. G. C. Campbell and M. Bisson. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particular trace elements. Anal. Chem. 51: 844- 851.
31. Trehan, S.P. and U. Sekhon. 1977. Effect of clay, organic matter and CaCO3 content on zinc adsorption by soils. Plant Soil 46: 329 – 336.
32. Viets, F.G. 1962. Chemistry and availability of micronutrients in soils. J. Agric. Food Chem. 10: 174 – 177.
33. Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 34:29-38.
34. Wallace, A., E.M. Romney and R.B. Clark. 1980. Corn inbreds differing in efficiency to Zn. J. Plant Nutr. 2: 225 – 229.
35. Worden, B.T. and H.M. Reisenouer. 1991. Fractionation of soil Mn forms important to plant availability. Soil Sci. Soc. Amer. J. 55: 345 – 349.
36. Yasrebi, J., N. Karimian, M. Maftoun, A. Abtahi and A. M. Sameni. 1994. Distribution of zinc forms in highly calcareous soils as influenced by soil physical and chemical properties and application of zinc sulfate. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25: 2133 – 2145.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-02-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.54.9.8]