تأثیر کاربرد مس و روی برغلظت و جذب عناصر غذایی کم‌مصرف (مس، روی، آهن و منگنز) و پرمصرف (فسفر) در گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) در شرایط گلخانه‌ای

حمایت عسگری لجایر[۱]، بابک متشرع‌زاده[۱*]، غلامرضا ثواقبی فیروزآبادی[۱] و جواد هادیان[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۸/۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۹)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف مس و روی بر جذب عناصر کم مصرف (مس، روی، آهن و منگنز) و پر مصرف (فسفر) در ریشه و شاخساره گیاه دارویی مرزه، یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل سه سطح مس (صفر، ۵ و ۲۵ میلی‌گرم مس در کیلوگرم از منبع سولفات مس) و سه سطح روی (صفر، ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک از منبع سولفات روی) به همراه ترکیبی از تمام سطوح فوق (در مجموع ۹ تیمار) بودند. نتایج نشان دادکه کاربرد سطوح کفایت روی (۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) موجب افزایش ۸۵/۳۶، ۵۳/۲۰ و ۶۶/۰۸ درصدی به‌ترتیب غلظت روی، مس و منگنز شاخساره گردید. هم‌چنین کاهش ۸/۳۸، ۱۲/۰۹ و ۵۱/۹۹ درصدی به‌ترتیب در غلظت مس، آهن و منگنز تحت تأثیر ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی مشاهده شد. کاربرد سطوح کفایت مس نیز (۵ میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک) باعث افزایش ۱۱۸/۵، ۱۹/۷۶ و ۶۳/۲۱ درصدی به‌ترتیب غلظت مس، روی و منگنز شد ولی سطوح زیاد بود مس (۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به کاهش ۱۵/۲۰ و ۷/۹۹ درصدی غلظت روی و آهن و افزایش ۲۰۱/۸۹ درصدی غلظت منگنز شاخساره منجر گردید. مقدار فلزات مس و روی در داخل اسانس قابل تشخیص نبود. به‌طورکلی نتایج این مطالعه نشان دادکه برهمکنش منفی بین مس، روی و آهن در سطوح بالاتر کاربرد مس و روی اتفاق افتاده است، لذا در مزارع تحت کشت مرزه که دارای کمبود مس و روی هستند باید این مسئله را در نظر گرفت که استفاده توام این دو عنصر در سطوح بالا صورت نگیرد. هم‌چنین به‌دلیل انتقال ناچیز عناصر به داخل اسانس، کشت و کار آنها در خاک‌های آلوده، می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: مس، روی، آلودگی خاک، مرزه

مقدمه

در بسیاری از نقاط جهان با گسترش شهرها، پیشرفت فناوری، افزایش صنایع و استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی و فاضلاب‌های شهری، اکثر خاک‌های کشاورزی به‌وسیله فلزات سنگین آلاینده شامل کادمیوم، مس، روی، نیکل، کبالت، سرب و آرسنیک در حد کم تا متوسط آلوده شده است (۴۸). در بسیاری از خاک‌های اسیدی سراسر دنیا و حدود نیمی از زمین‌های زراعی که پتانسیل تولید مواد غذایی دارند فلزات سنگین به‌عنوان عامل اصلی محدودیت رشد گیاهان می‌باشد (۱۷). بهداشت، ایمنی و کیفیت، مشخصه اصلی بیانیه سازمان بهداشت جهانی در رابطه با گیاهان دارویی است (۳۷). سازمان بهداشت جهانی (۳۷ و ۳۶) گیاهان دارویی و محصولات فرآوری شده آنهاست (۲۲). غلظت

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
۲. گروه مهندسی کشاورزی، پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی، دانشگاه شهید بهشتی
*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: moteshare@ut.ac.ir

فلزات سنگین در گیاهان دارویی یکی از معیارهای کنترل کیفیت حداکثر سطوح مجاز سرب و کادمیوم در مواد گیاهی به‌ترتیب ۱۰ و ۰/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم توصیه کرده است. روی و مس به‌عنوان عناصر کم مصرف ضروری برای رشد و نمو گیاهان بوده و در بسیاری از فرآیندهای متابولیکی گیاهان نقش دارند. عنصر روی به‌عنوان فعال‌کننده و کوفاکتور برخی آنزیم‌های حیاتی گیاه از جمله کربونیک آنهیدرازها، دهیدروژنازها، آلکالین فسفاتازها، فسفولیپازها و RNA پلی‌مرازها در متابولیسم پروتئین‌ها، قندها، اسیدهای نوکلئیک و چربی‌ها، فتوسنتز گیاه و بیوسنتز اکسین به‌عنوان یک هورمون محرک رشد ایفای نقش می‌کند (٤٢). مس نیز یک عنصر انتقالی بوده و در فرآیندهای ساخت پروتئین و کربوهیدرات نقش دارد. مس و روی به مقدار کمی به‌وسیله گیاه جذب می‌شود به‌طوری‌که محدوده طبیعی آنها در بخش سبزینه‌ای گیاهان به‌ترتیب ۵ تا ۲۰ و ۱-٤۰۰ میکروگرم در گرم ماده خشک گیاهی می‌باشد (١٤).

انگلووا و همکاران(١٥) گزارش کردند خاک‌های آلوده به فلزات سنگین برای کشت لگومینه‌های صنعتی و گیاهان اسانس‌دار مناسب هستند اما نباید به‌عنوان غذا و یا محصولات خوراکی استفاده شوند. زلجازکوف و همکاران (٤٨) گزارش کردند که گونه‌های درختی و درختچه‌ای، گیاهان خوراکی (ذرت، کلزاو ...) و گیاهان دارویی برای کشت و کار در خاک‌های کشاورزی دارای آلودگی متوسط فلزات سنگین پیشنهاد می‌شود ولی استفاده از گیاهان دارویی به‌دلیل عدم انتقال فلزات به داخل اسانس و اقتصادی بودن اسانس تولید شده نسبت به گونه‌های درختی و درختچه‌ای و گونه‌های خوراکی مزیت بیشتری دارد. حسین و همکاران (٢٦) گزارش کردند که برای جلوگیری از خطر آلودگی گیاهان خوراکی در آبیاری با پساب فاضلاب شهری، از این پساب‌ها برای آبیاری گیاهان صنعتی غیرخوراکی مانند گیاهان معطر و دارویی به‌دلیل عدم آلودگی اسانس‌ها به فلزات سنگین استفاده شود. بگدات و عید (١٦) گزارش کردند که تحقیقات بر روی برخی گیاهان دارویی و معطر (نعناع، اسطوخودوس، آویشن، همیشه بهار، ختمی و ترشک) نشان داد که آنها می‌توانند مقاومت بیشتری به برخی فلزات سنگین نسبت به گیاهان دیگر داشته باشند. این پژوهشگران گزارش کردند که مطالعات اخیر نشان داده‌اند که گل راعی غلظت بالایی از کادمیوم را در بخش هوایی بدون آثار منفی بر رشد و تولید ماده خشک تجمع دهد. مرزه (*Satureja hortensis* L.) گیاهی علفی، یکساله، دارای ساقه چهارگوش و به ارتفاع ٦٠-۳۰ سانتی‌متر است. غدد اسانس در دو سطح برگ‌ها و کاسبرگ‌ها دیده می‌شوند. این گیاه دارای دوره رویشی کوتاهی است (۸۰-۷۵ روز از جوانه‌زنی بذر تا گلدهی کامل) که معمولاً در اوایل بهار از طریق بذر کشت می‌شود. مرزه تابستانه گیاهی نورپسند است و در مناطق گرم به خوبی رشد می‌کند. گیاهان در مرحله گلدهی کامل حاوی حداکثر میزان اسانس هستند که برای استخراج اسانس معمولاً در این مرحله برداشت می‌شوند. مرزه تابستانه را می‌توان در چند چین در سال برداشت نمود. عملکرد وزن خشک این گیاه حدود ۳ تا ۵ تن در هکتار و عملکرد تر ۱۰ تا ۱۳ تن در هکتار است (۸ و۹). سازگاری مرزه به شرایط نامساعد محیطی از جمله مقاومت به خشکی و آلودگی‌های محیطی، سبب گردیده تا در مناطقی که شرایط نامناسب کشت برای سایر محصولات زراعی و باغی وجود دارد، جایگاه ویژه‌ای پیدا کند (۳۲). بنابراین این تحقیق به منظور، بررسی امکان کشت این گیاهان در خاک‌های کشاورزی دارای آلودگی متوسط مس و روی، توانایی جذب عناصر مس و روی توسط اندام‌های مختلف گیاه دارویی مرزه و جذب سایر عناصر کم‌مصرف و پرمصرف انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر سطوح مختلف مس و روی بر غلظت و جذب عناصر کم مصرف و پرمصرف در ریشه و شاخساره گیاه دارویی مرزه، یک آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، در بهار سال ۱۳۹۱ در گلخانه گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران انجام شد. نمونه خاک مورد نظر می‌بایست از نظر مس و روی در حد پایینی باشد. لذا از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری مناطق مختلف نمونه‌های خاک

جدول ۱. نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای قبل از اضافه کردن مس و روی

ویژگی خاک	مقدار	ویژگی خاک	مقدار
رس (%)	۱۷/۴۶	Mg^{+2} ($meq\ l^{-1}$)	۲/۶
سیلت (%)	۱۸/۰۰	CEC ($Cmolc\ kg^{-1}$)	۱۰/۷۷
شن (%)	۶۴/۵۶	نیتروژن کل (درصد)	۰/۰۴۴
کلاس بافت خاک	لوم شنی	فسفر قابل جذب ($mgkg^{-1}$)	۸/۷۹
pH	۷/۴	پتاسیم قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۱۸۰
EC (dSm^{-1})	۱/۲۸	Fe ($mg\ kg^{-1}$) *	۱۲/۳
(%) $CaCO_3$	۶/۷۷	Mn ($mg\ kg^{-1}$) *	۹/۳۲
کربن آلی (%)	۰/۶۳	Cu ($mg\ kg^{-1}$) *	۰/۶۳
درصد اشباع	۲۹/۱	Zn ($mg\ kg^{-1}$) *	۰/۷۱
محلول Na^{+}($meq\ l^{-1}$)	۲/۴۶	HCO_3^{-}($meq\ l^{-1}$)	۴/۱
Ca^{+2} ($meq\ l^{-1}$)	۸/۴	Cl^{-} ($meq\ l^{-1}$)	۳/۸

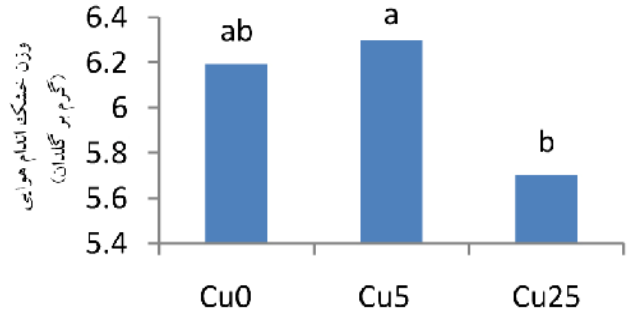
*DTPA-Extractable

جمع‌آوری و پس از تجزیه آنها خاک مورد نظر انتخاب و برای انجام آزمایش به گلخانه آورده شد و پس از هوا خشک کردن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، بعضی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن از جمله بافت خاک به روش هیدرومتری (۱۹)، رطوبت ظرفیت مزرعه با صفحه فشاری (۳۸)،pH و EC درعصاره اشباع (۲۵)، CEC خاک به روش باور (۳۸)، درصد کربن آلی به روش والکلی- بلک (٤۷)، درصد آهک به روش حجم سنجی (۲۳)، نیتروژن کل خاک به روش هضم کجلدال (۲۰)، فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم ۰/۵ مولار به روش اولسن (٤۵)، پتاسیم قابل جذب به روش استخراج با استات آمونیوم نرمال (٤۵) و مقدار قابل جذب روی، مس، آهن و منگنز به روش استخراج با DTPA (٤۵) تعیین گردید (جدول۱). برای کشت گلخانه‌ای خاک تهیه شده ابتدا از الک ٤ میلی‌متری عبور داده شد. تیمارهای آزمایش را سطوح مختلف مس از منبع سولفات مس $CuSO_4.5H_2O$ شامل تیمارهای شاهد یا تیمار کمبود مس (صفر)، تیمار کفایت مس (پنج میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک) و تیمار زیاد بود مس (۲۵ میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک) و سه سطح روی از منبع سولفات روی $ZnSO_4.2H_20$ شامل تیمارهای شاهد یا کمبود روی (صفر)، تیمار کفایت روی (۱۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک) و تیمار زیاد بود روی (۵۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک) و برهمکنش آنها بودند. حد بحرانی مس و روی قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک‌های آهکی حدود ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک هست (۷). هم‌چنین حداکثر مجاز مس و روی کل، در خاک‌های کشاورزی به‌ترتیب ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک می‌باشد(۲۷). لذا در این پژوهش با توجه به سبک بودن بافت خاک تیمارها طوری انتخاب گردید که مقدار قابل جذب این فلزات پس از دوره انکوباسیون در محدوده بیشینه مقدار مجاز این فلزات قرار گیرد و تنش اندکی به گیاهان وارد شده باشد. برای اعمال تیمارها، عناصر مس و روی به‌صورت نمک‌های محلول در مقدار مشخصی آب مقطر حل شده و به‌طور یکنواخت و به‌صورت لایه لایه به سطح خاک پاشش شد تا مخلوط یکدست و یکنواخت حاصل شود و در هر مرحله خاک هر گلدان به‌صورت جداگانه مخلوط و یکنواخت گردید. پس از اعمال تیمارهای مس و روی در گلدان و رساندن رطوبت آن به حد FC ۰/۷، به منظور حصول تعادل

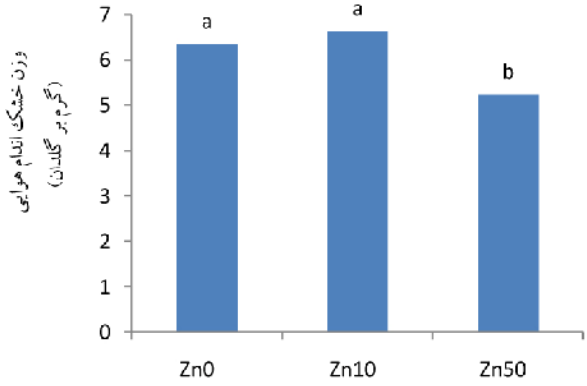
عناصر مس و روی با خاک گلدان‌ها، به‌مدت ۲ ماه انکوباسیون گردید. هم‌چنین برای جلوگیری از بروز علائم کمبود سایر عناصر در گیاه و براساس نتایج آزمون خاک عناصر پتاسیم به میزان ۷۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک از منبع سولفات پتاسیم، فسفر به میزان ٤ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک از منبع سوپرفسفات تریپل قبل از کشت اضافه گردید. هم‌چنین عنصر نیتروژن به‌صورت تقسیط در ٤ قسط و هر قسط ٦٠ میلی‌گرم نیتروژن از منبع اوره همراه با آب آبیاری به هر گلدان اضافه گردید. برای کشت از گلدان‌های پلاستیکی ٤ کیلوگرمی (گلدان‌ها از جنس پلی اتیلن و وزن خالی هر گلدان ۱۰±۲۸۰ گرم با قطر ۱۵/۵ و ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر) استفاده گردید.

بذر مرزه تابستانه پس از تهیه از پژوهشکده گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی در خزانه کشت و پس از رسیدن به مرحله سه برگی به تعداد ٤ عدد گیاهچه یکنواخت به هر گلدان انتقال داده شدند. آبیاری گلدان‌ها تا پایان آزمایش به‌وسیله آب مقطر تا رسیدن به دامنه ۰/۷ تا ۰/۷ ظرفیت زراعی به روش وزنی صورت گرفت. گلدان‌های هر هفته به‌طور تصادفی بر روی سینک گلخانه جابه‌جا شدند. در هفته ۱۲ پس از کاشت و رسیدن به مرحله گلدهی کامل، گیاهان از محل طوقه قطع شدند. بدین صورت شاخساره و ریشه از هم جدا شدند. نصف گیاهان در هر گلدان برای اسانس‌گیری جدا و به منظور حفظ کمیت و کیفیت اسانس، در سایه و دمای محیط خشک شدند و اسانس با استفاده از روش تقطیر با آب به‌وسیله دستگاه کلونجر در مدت ۳ ساعت اسانس‌گیری استخراج شدند. نصف دیگر شاخساره نیز با آب مقطر شستشو داده شد و همراه ریشه‌ها هوا خشک گردید. نمونه‌ها پس از قرار گرفتن در پاکت کاغذی مخصوص، به‌مدت ۷۲ ساعت در خشک کن در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند تا وزن آنها به مقدار ثابتی برسد. سپس ریشه به دقت از خاک خارج گردیدند. به منظور جلوگیری از هدررفت ریشه‌های مویین، شستشوی ریشه‌ها روی الک انجام شد. سپس توزین و با آسیاب پودر شدند. به منظور اندازه‌گیری غلظت عناصر کم مصرف در ریشه، شاخساره و اسانس از روش اکسیداسیون خشک استفاده گردید. یک گرم از نمونه‌های پودر شده شاخساره و ریشه با دقت ۰/۰۰۰۱ وزن و داخل کروزه ریخته شد. سپس کروزه داخل کوره با دمای ۵۵۰ درجه به‌مدت ۵ ساعت، قرار داده شد. سپس با استفاده از ۲۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک یک نرمال و حرارت دادن روی اجاق شنی، نمونه گیاهی هضم شده و عصاره تهیه گردید. به‌طور خلاصه جهت اندازه‌گیری مقدار عناصر در داخل اسانس نیز ابتدا نیم میلی‌لیتر از اسانس گیاهان با استفاده از پیپت مدرج حباب‌دار برداشت شده و داخل کروزه ریخته شد. این نمونه‌ها تا متوقف شدن بخارات در روی گرم کن حرارت داده شد. سپس کروزه به‌مدت چهار ساعت در دمای ٤۰۰ درجه سلسیوس در کوره قرار داده شد. پس از خارج کردن کروزه از کوره و سرد شدن آن، ۲ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به آن اضافه شد و تا تبخیر شدن اسید بر روی گرم کن حرارت داده شد. سپس نمونه‌ها به‌مدت ۱ ساعت دوباره در کوره قرار داده شد و پس از سرد شدن ۲ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲۰ درصد اضافه شده و با استفاده از کاغذ صافی واتمن ٤۲ در داخل یک بالن ۱۰ میلی‌لیتری صاف شده و به حجم رسانده شد (٤۹ و ۵۰و٤۸).

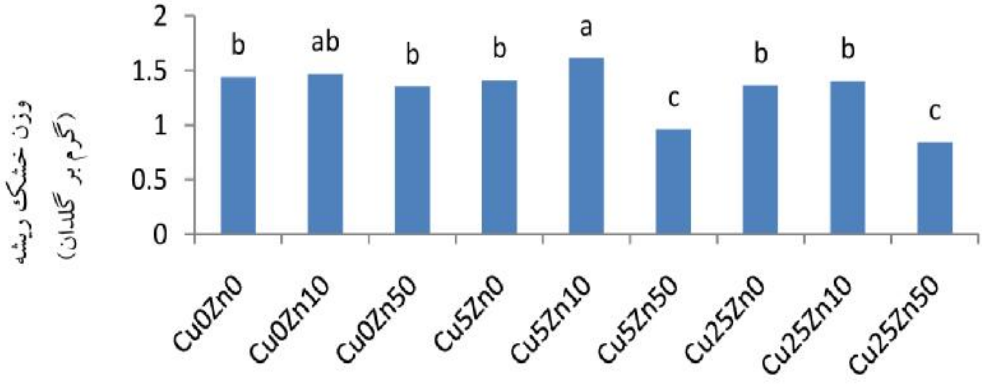
در این عصاره‌ها عناصر روی، مس، آهن و منگنز با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu-AA6400 قرائت گردید. برای اندازه‌گیری فسفر از عصاره تهیه شده برای عناصر کم مصرف (مس، روی، منگنز و آهن) استفاده شد و میزان فسفر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Shimadzu U 73100 تعیین گردید. از آنجا بررسی غلظت عناصر به‌دلیل به‌وجود آمدن اثر رقت گاهی متناقض به نظر می‌رسد لذا غلظت و جذب عناصر [جذب کل (میکروگرم بر گلدان= وزن ماده خشک (گرم در گلدان) × غلظت (میکروگرم در گرم)] در این تحقیق مورد بررسی آماری قرار گرفت. غلظت عناصر مس و روی در این عصاره‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu – AA 6400 قرائت گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ انجام شد. مقایسه میانگین



شکل ۱. اثر اصلی مس بر وزن خشک اندام هوایی (گرم بر گلدان)



شکل ۲. اثر اصلی روی بر وزن خشک اندام هوایی (گرم بر گلدان)



شکل ۳. اثر برهمکنش مس و روی بر وزن خشک ریشه (گرم بر گلدان)

با استفاده از آزمون دانکن (در سطح ۱%) صورت گرفت. نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

وزن خشک ریشه و اندام هوایی

نتایج نشان داد که اضافه کردن ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم مس تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی نداشته است. بیشترین وزن خشک اندام هوایی در سطح ۱۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم و ۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم به‌ترتیب به میانگین ٦/٦٢ و ٦/٣٠ گرم بر گلدان به‌دست آمد. مصرف ۵۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم و ۲۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم میانگین وزن خشک را نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب از ٦/٣٤ به ۵/۲۳ گرم در گلدان و ٦/١٩ به ۵/۷ گرم در گلدان (به‌ترتیب معادل ۱۷/۵۰ و ۷/۹۱ درصد) کاهش داده است (شکل ۱ و ۲). با مصرف مس و روی در سطوح پایین به‌دلیل تأمین نیازهای تغذیه‌ای، افزایش کارایی جذب سایر عناصر غذایی کم مصرف و پر مصرف و فعال‌سازی آنزیم‌های مربوط به تکثیر و طویل‌شدگی سلول‌ها باعث تسریع رشد در گیاهان می‌شود (٣٤ و٣). کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی را در غلظت‌های بالای مس و روی می‌توان به تنش وارد شده از طرف این فلزات، کاهش جذب سایر عناصر غذایی، کاهش سوخت و ساز و تنفس مرتبط دانست که با یافته‌های پانده و همکارن (۳۹) و حال (۲۳) همخوانی دارد. هم‌چنین بیشترین مقدار وزن خشک (١/٦١ گرم در گلدان) از ترکیب تیماری روی ۱۰ و مس ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین میزان خشک ریشه (٠/٨٤ گرم بر گلدان) نیز از تیمار روی ۵۰ و مس ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد(شکل ۳). افزایش تولید اکسین و نقش ریشه‌زایی هورمون

اکسین را دلیل افزایش رشد ریشه را در غلظت‌های پایین روی می‌توان دانست(۲). در خصوص کاهش رشد ریشه در غلظت زیاد مس و روی باید بیان داشت که این امر احتمالاً به‌دلیل تجمع عناصر سنگین در ریشه باشد. از علل دیگر بازدارندگی رشد ریشه، می‌توان حساسیت زیاد مریستم رأس ریشه به فلزات سنگین، کاهش رشد ریشه در غلظت‌های زیاد فلزات سنگین ناشی از ناهنجاری‌های کروموزومی، تقسیم سلولی غیرطبیعی و ممانعت از سنتز پروتئین در ریشه ذکر نمود که نتایج این تحقیق با مطالعات لوکس و همکاران (۲۸) همخوانی دارد.

غلظت و جذب مس

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲ و ۳)، بیانگر معنی‌دار شدن اثر مس بر غلظت و جذب مس ریشه و شاخساره است. همان‌طور که در جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول٤ و ٥) نشان داده شده است، افزایش مس سبب افزایش معنی‌دار غلظت و جذب مس شاخساره گردیده است. به‌طوری‌که در سطوح ٥ و ٢٥ میلی‌گرم بر کیلوگرم مس، غلظت و جذب مس در شاخساره ۱۱۸/٥ و ۳۰٤/٦ درصد و ۱۰۹/۲۲ و ۲۵۸/۷۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داشته است. این مطالب گویای این امر است که با افزایش غلظت فلز مس در خاک، جذب و تجمع این عنصر در بافت‌های گیاه دارویی مرزه افزایش می‌یابد و جذب مس از روند مشابه با غلظت مس تبعیت می‌کند. به نظر می‌رسد به‌دلیل سبک بودن بافت خاک و داشتن ظرفیت تبادل کاتیونی پایین‌تر، تثبیت مس در خاک کمتر اتفاق افتاده است و گیاه راحت‌تر فلز مصرفی را جذب نموده است. بنابراین این نتایج با یافته‌های رضاخانی و همکاران (۳) هم‌خوانی دارد. این محققان در یک آزمایش گلخانه‌ای بر روی گیاه اسفناج نشان دادند که بالاترین غلظت مس در بخش هوایی این گیاه از کاربرد ٤٠ میلی‌گرم در کیلوگرم مس از منبع سولفات مس به‌دست آمد و هم‌چنین با افزایش میزان مس در خاک تا ٤٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم، غلظت مس بخش هوایی به‌طور تدریجی و معنی‌دار افزایش یافت. اسکندری و همکاران (۱) مشاهده کردند که با افزایش مس تا سطح ٥ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، میانگین جذب مس شاخساره در گیاه پسته به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ولی کاربرد بیشتر مس در خاک تأثیر معنی‌داری بر جذب مس شاخساره نداشت. نتایج هم‌چنین نشان داد که با افزایش مس تا سطح ٥ و ٢٥ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، غلظت و جذب این عنصر در ریشه به‌ترتیب ۸۸/۱٦ و ۲۹٥/٤ درصد و ۸۳/۷ و ۲۷۳/٦٥ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. همان‌طورکه در جدول ٤ و ٥ مشاهده می‌شود غلظت مس در ریشه از بیشترین مقدار برخوردار است که می‌تواند بیانگر محدود کردن انتقال فلز مس از ریشه به اندام هوایی توسط این گیاه باشد. این نتیجه می‌تواند تأییدکننده این فرضیه باشد که گیاه دارویی مرزه از طریق کاهش انتقال فلز مس از ریشه به اندام هوایی میزان سمیت این فلز را کاهش می‌دهد. با توجه به اینکه در جذب عناصر غذایی غیرمتحرک در خاک تثبیت فلز در ریشه و ممانعت از انتقال آن به اندام هوایی و یا تبدیل به ترکیبات کم خطر و گازی، از جمله سازوکارهای گیاه در مواجهه با غلظت زیاد فلزات سنگین است(٤١).

با وجود غلظت بی‌شتر مس در ریشه، جذب این عنصر توسط اندام هوایی بیشتر از ری‌شه بوده، علت این امر وزن خشک کمتر ریشه در مقایسه با اندام هوایی می‌باشد که جذب از طریق حاصل‌ضرب غلظت و وزن ماده خشک محاسبه گردیده است. مطابق نتایج پژوهش حاضر، در مطالعه زلجازکوف و همکاران (٥١) نیز غلظت مس در ریشه گیاه نعناع فلفلی و ریحان با افزایش کاربرد مس (۲۰، ٦٠ و ۱٥٠ میلی‌گرم بر لیتر) افزایش یافت درحالی‌که قسمت عمده مس در ریشه تجمع کرده و انتقال مس به قسمت هوایی به مقدار زیادی محدود بود. مارشنر (۲۹) نیز بیان داشت که در گیاهانی که مس زیادی دریافت می‌کنند مقدار مس در ریشه افزایش و تقریباً به مقدار این عنصر در محیط ریشه می‌رسد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲و ۳) نشان می‌دهد که غلظت روی در خاک اثر معنی‌داری (در سطح یک درصد) بر غلظت و جذب مس ریشه و بخش هوایی گیاه مرزه دارد، به‌طوری‌که با افزایش سطح

جدول۲. نتایج تجزیه واریانس تأثیر مس و روی بر غلظت مس، روی، آهن، منگنز و فسفر ریشه و بخش هوایی گیاه مرزه

		میانگین مربعات									
		غلظت مس		غلظت روی		غلظت آهن		غلظت منگنز		غلظت فسفر	
منبع تغییرات	درجه آزادی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی
مس	۲	۹۱٤/۲۷**	۳٦۲/٤۸**	۳۰٦۵/۲٤**	۳۵۲۵/۳٤**	۱۰۷۵۲۷۹/۱۷**	٤۱۹۳/۲۰**	٤۳۵۱/۵۲**	٤۲۲/۳۱**	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۰۱^{ns}
روی	۲	۳۰٦/۲٤**	۷۷/۷٦**	۱٤۵٦۷/۳۸**	۱۳۳٤۸/٤۸**	۱۷۸۹۲٦۲/۵٤**	٦۱۸۹/۵۸**	٤۷۳۸/٦٦**	۸۹۲/۹۲**	۰/۰۰٤**	۰/۰۰۰٤*
مس × روی	٤	۵/٤۷**	۷/۹۸**	۷۹۷/۲۰**	۸۷۵/۲۱**	۲۵۹٤٤/٤٦*	۱۰۱۰/٤٤**	۲٤/۳٦ ^{ns}	۸۵/۱۸**	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰ ^{ns}
خطا	۱۸	۰/۸٤	۰/۵۷	٤۲/۳۱	۲۸/۲۹	۷۱۹٦/۲۳	۵۸/۱۱	۲۹/۰٤	۵/۷۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰
ضریب تغییرات		٤/۹۳	۷	٤/۱۹	٦/۹٦	۳/۹٦	٤/٤۳	٤/۳٦	۵/۰٦	٦/۲۱	۷/۷۵

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

جدول۳. نتایج تجزیه واریانس تأثیر مس و روی بر جذب مس، روی، آهن، منگنز و فسفر ریشه و بخش هوایی گیاه مرزه

		میانگین مربعات									
		جذب مس		جذب روی		جذب آهن		جذب منگنز		جذب فسفر	
منبع تغییرات	درجه آزادی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی
مس	۲	۹۸۳/۵۰**	۱۱۰۵٦/۸٤**	۸۰/۰۱**	۱۵۹۵۸۹/۰٦**	۳۷۳۲۸۸/۹۱**	۳۲۰۳۰۱/۷۸**	۱۸۱۰/۵۳**	۳۰٤۲٦/۰۵**	۰/۰۷۲**	۳/۹۷**
روی	۲	۲۰۲/۸۲**	۵۲۹۸/۰۵**	۳۸۸٦/٤۲**	۲۹۱۸۵۲/۹۰**	۵٦٤۲۱۵/۸۲**	۷۰۷۲۰۵/۹۵**	۱۷۵۸/۰۹**	۷۷۹٦۷/۲۸**	۰/٦۰۱**	۱۵/۹۳**
مس × روی	٤	۷۷/۸۱**	٤۰٤/۹٦ **	۱٦۰٤/۲۸**	۲۲۰۱۹/۸۱**	۷۱٦۱٦۸/۷۷**	٦۲۰۸٦/٦٤**	۲۰٤٦/۸۰**	٤۹۷۳/۹٤**	۰/۳۳۹**	۰/۱۹٤^{ns}
خطا	۱۸	۱/۲۲	۳۱/۷٦	۹۳/۵۵	۹۰۸/۹٦	۱٦۷۳۹/۳٦	۳۲۸۸/۳٦	٤۷/۹۹	۲۵۱/۳۳	۰/۰۰۵	۰/۱۵۲
ضریب تغییرات		٤/۷۸	۸/۵٦	٤/۹۲	٦/۵۷	٤/۷۳	۵/٤۱	٤/۳۹	۵/٤۲	۳/۱۱	٤/٦۷

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

جدول۴- مقایسه میانگین اثر مس و روی بر غلظت عناصر غذایی مورد بررسی

تیمارها	مس		روی		آهن		منگنز		فسفر	
	ریشه (mg/kg)	بخش هوایی (mg/kg)	ریشه (mg/kg)	بخش هوایی (mg/kg)	ریشه (mg/kg)	بخش هوایی (mg/kg)	ریشه (mg/kg)	بخش هوایی (mg/kg)	ریشه (mg/kg)	بخش هوایی (mg/kg)
Cu0Zn0	۵/۶۶^{g}	۴/۵۳^{f}	۱۱۴/۲۵^{f}	۴۱/۲۳^{ef}	۱۵۰۳/۹۷^{g}	۱۸۲/۵۳^{b}	۹۰/۵۶^{f}	۴۸/۱۳^{c}	۰/۱۵۰^{e}	۰/۱۴۳^{a}
Cu0Zn10	۸/۶۵^{f}	۶/۹۴^{e}	۱۲۷/۲۳^{e}	۷۶/۳۰^{bc}	۱۷۱۴/۳۰^{ef}	۱۹۵/۲۶^{b}	۹۸/۵۲^{ef}	۵۹/۳۲^{b}	۰/۱۵۹^{e}	۰/۱۴۰^{ab}
Cu0Zn50	۱۵/۲۰^{d}	۴/۱۵^{f}	۱۶۸/۹۰^{c}	۱۳۷/۰۰^{a}	۲۳۶۹/۸۰^{c}	۱۶۰/۴۶^{cd}	۱۳۲/۷۶^{cd}	۴۰/۴۶^{ef}	۰/۱۸۹^{bc}	۰/۱۳۳^{ab}
Cu5Zn0	۱۰/۶۵^{e}	۹/۹۰^{d}	۱۲۷/۲۸^{e}	۴۹/۳۸^{de}	۱۶۱۰/۱۵^{fg}	۱۸۹/۴۰^{b}	۹۵/۳۸^{f}	۵۵/۵۸^{b}	۰/۱۴۹^{e}	۰/۱۴۵^{a}
Cu5Zn10	۱۶/۴۶^{d}	۱۲/۴۶^{c}	۱۴۴/۳۷^{d}	۸۵/۱۸^{b}	۱۸۵۸/۹۰^{e}	۲۳۱/۶۰^{a}	۱۰۶/۳۷^{e}	۶۵/۷۷^{a}	۰/۱۶۳^{de}	۰/۱۳۹^{ab}
Cu5Zn50	۲۲/۲۰^{c}	۶/۵۲^{e}	۱۹۱/۶۳^{b}	۱۴۴/۴۳^{a}	۲۶۳۱/۱۱^{b}	۱۴۴/۶۶^{e}	۱۴۱/۴۸^{bc}	۳۷/۱۵^{f}	۰/۲۰۳^{b}	۰/۱۳۵^{ab}
Cu25Zn0	۲۲/۳۸^{c}	۱۸/۳۳^{b}	۱۲۷/۸۰^{e}	۳۴/۹۶^{f}	۲۲۱۲/۷۱^{d}	۱۶۷/۹۳^{c}	۱۲۷/۴۹^{d}	۴۵/۲۷^{cd}	۰/۱۸۰^{cd}	۰/۱۴۲^{a}
Cu25Zn10	۳۰/۲۴^{b}	۲۱/۸۶^{a}	۱۵۳/۲۶^{d}	۵۷/۳۰^{d}	۲۴۵۸/۵۲^{c}	۱۵۲/۱۱^{de}	۱۴۵/۳۳^{b}	۴۲/۲۵^{de}	۰/۲۰۷^{ab}	۰/۱۳۴^{ab}
Cu25Zn50	۳۶/۲۷^{a}	۱۲/۹۷^{c}	۲۴۰/۰۱^{a}	۷۳/۸۶^{c}	۲۹۱۳/۳۴^{a}	۱۲۲/۳۰^{f}	۱۷۲/۴۷^{a}	۳۱/۳۰^{g}	۰/۲۲۵^{a}	۰/۱۲۱^{b}

میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند

جدول۵. مقایسه میانگین اثر مس و روی بر جذب عناصر غذایی مورد بررسی

تیمارها	مس		روی		آهن		منگنز		فسفر	
	ریشه (µg/pot)	بخش هوایی (µg/pot)	ریشه (µg/pot)	بخش هوایی (µg/pot)	ریشه (µg/pot)	بخش هوایی (µg/pot)	ریشه (µg/pot)	بخش هوایی (µg/pot)	ریشه (mg/pot)	بخش هوایی (mg/pot)
Cu_0Zn_0	۸/۱۶^{g}	۳۰/۲۶^{fg}	۱۶٤/٦٦^{f}	۲۷۵/۸٦^{g}	۲۱٦۵^{e}	۱۲۲۱/۲۲^{b}	۱۳۰/۳۱^{d}	۳۲۲/۱۸^{d}	۲/۱٦^{e}	۹/٦۱^{a}
Cu_0Zn_{10}	۱۲/٦۹^{f}	٤٦/۵۸^{e}	۱۸٦/٦۷^{de}	۵۱۱/۷٤ ^{d}	۲۵۱٦/۵^{c}	۱۳۱۱/۲۵ ^{b}	۱٤٤/۸۱^{c}	۳۹۸/۲۸^{b}	۲/۳٤^{d}	۹/٤۳^{a}
Cu_0Zn_{50}	۲۰/٦۰^{d}	۲۱/٤۱^{g}	۲۲۸/٦۸^{ab}	۷۰٦/۹۸ ^{b}	۳۲۱۰/۷^{b}	۸۲۹/۵۲^{d}	۱۷۹/۹۹^{b}	۲۰۸/۹۵^{f}	۲/۵۷^{bc}	٦/۸٦^{c}
Cu_5Zn_0	۱٤/۹۹^{e}	٦۳/۳۱^{d}	۱۷۹/۳۲^{ef}	۳۱۵/۷٤^{fg}	۲۲٦۹/۵^{de}	۱۲۱۱/۰۲ ^{b}	۱۳٤/٤۵^{cd}	۳۵۵/۷٦^{c}	۲/۱۰ ^{e}	۹/۲۷^{a}
Cu_5Zn_{10}	۲٦/٦۲^{c}	۸٦/۹۳^{c}	۲۳۳/۵۵^{a}	۵۹۳/۲۲^{c}	۳۰۰۷/٤^{b}	۱٦۱۷/۹۰^{a}	۱۷۲/۱٦^{b}	٤۵۹/۳٦^{a}	۲/٦٤^{b}	۹/۷۱^{a}
Cu_5Zn_{50}	۲۱/٤۲^{d}	۳۵/۷۷^{f}	۱۸٤/۹٤^{de}	۷۹۲/۵۷^{a}	۲۵۳٦/۵^{c}	۷۹۳/۵۵^{d}	۱۳٦/۳۰^{cd}	۲۰٤/۲۵^{f}	۱/۹٦^{f}	۷/٤٤^{c}
$Cu_{25}Zn_0$	۳۰/٤۹^{b}	۱۰۸/۵۵^{b}	۱۷٤/۲۸^{ef}	۲۰۷/۰۸^{h}	۳۰۲۱/۵^{b}	۹۹۳/۳۸^{c}	۱۷٤/۰۷^{b}	۲٦۷/۵۲^{e}	۲/٤٤^{cd}	۸/٤۱^{b}
$Cu_{25}Zn_{10}$	٤۲/۲٤^{a}	۱۳٤/۰۵^{a}	۲۱٤/۱۳^{bc}	۳۵۲/٤۸^{ef}	۳٤۳٤/۳^{a}	۹۳۱/۷۰^{cd}	۲۰۳/۰۳^{a}	۲۵۸/۱٤^{e}	۲/۹۰^{a}	۸/۲۳^{b}
$Cu_{25}Zn_{50}$	۳۰/۵۱^{b}	٦۵/۰۵^{d}	۲۰۲/۰۸^{cd}	۳۷۰/۱۸^{e}	۲٤۵۳^{cd}	٦۱۳/۲۰^{e}	۱٤٤/۸۵^{c}	۱۵٦/۸۳^{g}	۱/۸۹ ^{f}	٦/۱۱^{d}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

روی تا سطح ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم غلظت و جذب مس شاخساره به‌ترتیب ۵۳/۲۰ و ۵۳/۹۳ درصد و غلظت و جذب مس ریشه به‌ترتیب ۵۲/۸۲ و ۵۸/۸۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت و بعد از آن یعنی در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی، غلظت و جذب مس شاخساره به‌ترتیب ۸/۳۸ و ۲۹/۲٤ درصد نسبت به شاهد کاهش و غلظت و جذب مس ریشه به‌ترتیب ۱٦۸/۵۵ و ۱۵۲/٤۵ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که کاهش در غلظت و جذب مس اندام هوایی در سطوح بالای روی به‌دلیل اثرهای ضدیتی و بر هم خوردن تعادل عناصر غذایی در این سطوح باشد. زلفی باوریانی و مفتون (٤) گزارش دادند که کاربرد روی بر جذب کل مس تأثیر معنی‌داری نداشته است ولی کاربرد ۷/۵ و ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم این عنصر سبب کاهش غلظت مس به‌ترتیب به مقدار ۱۱/٦۰ و ۱٤/۳۰ درصد نسبت به شاهد شده است. تأثیر عناصر روی و مس در کاهش جذب یکدیگر را می‌توان به رقابت آنها در محل‌های جذب سطح ریشه نیز نسبت داد.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳ و ٤) نشان می‌دهد که اثرهای متقابل مس و روی بر غلظت و جذب مس بخش هوایی و ریشه گیاه مرزه در سطح یک درصد معنی‌دار است. بیشترین غلظت و جذب مس بخش هوایی از سطح ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی و ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم مس و کمترین آن از سطح ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی و سطح صفر مس به‌دست آمد. هم‌چنین بیشترین غلظت و جذب مس ریشه از سطح ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی و ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم مس و کمترین آن در تیمار شاهد حاصل شد. این کاهش غلظت و جذب مس در اندام هوایی بیانگر آن است که که برهمکنش منفی بین مس و روی در سطوح بالاتر کاربرد اتفاق افتاده است و در سطوح پایین این اثر وجود نداشته است که این نتایج با یافته‌های اونسل و همکاران (۳٤)، پرالتا وید و همکاران (۳۸ و ٤۰) مشابه می‌باشد. غلظت مس در اسانس این گیاه در حد تشخیص دستگاه جذب اتمی نبود و این مبین این مطلب است که این گیاه می‌تواند در خاک‌های دارای آلودگی مس رشد کند بدون اینکه فلز سنگین مس به داخل اسانس منتقل شود. با توجه به استخراج اسانس به‌وسیله تقطیر با آب با استفاده از دستگاه کلونجر، فلزات در تفاله بعد تقطیر باقی می‌مانند و تولید اسانس عاری از فلزات مستدل می‌باشد. اسکورا و چانگ (٤۳) گزارش کردند که فلزات سنگین انباشته شده در خاک ممکن است برای رشد گیاه و سلامتی انسان در بلند مدت ایجاد مشکلات نماید و اگر از محصولات غیرخوراکی در خاک آلوده به فلزات سنگین استفاده گردد، پتانسیل انتقال فلزات سنگین خطرناک از خاک به زنجیره غذایی مصرف‌کنندگان به‌دلیل عدم انتقال این فلزات به داخل اسانس کاهش می‌یابد. انگلوا و همکاران(۱۵) گزارش کردند که مناطق آلوده به فلزات سنگین برای رشد لگومینه‌های صنعتی و گیاهان اسانس‌دار مناسب هستند و مقدار قابل توجهی از فلزات سنگین انباشته می‌کنند ولی نباید به‌عنوان غذا و یا خوراک دام استفاده گردند. مطابق گزارش آلوویو و همکاران (۳۳) حد مجاز سازمان بهداشت جهانی برای غلظت مس در گیاهان دارویی ۱۵ میکروگرم بر گرم می‌باشد. در سطح ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم مس استفاده شده، غلظت مس در بخش هوایی (تنها بخش مورد استفاده این گیاه دارویی) بیشتر از حد مجاز توصیه شده بود. بنابراین اگر این گیاه دارویی در زمین‌های کشاورزی دارای آلودگی‌های نزدیک به ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم کشت شود نباید به‌عنوان سبزیجات تازه و خشک شده مصرف شود. به هر حال به‌دلیل عدم انتقال فلز مس به داخل اسانس می‌تواند با هدف تولید اسانس در زمین‌های کشاورزی دارای آلودگی این عنصر کشت و کار شود.

غلظت و جذب روی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها (جدول ۳ و٤) نشان می‌دهد که اثر مس و روی و برهمکنش آنها بر غلظت و جذب روی ریشه و شاخساره در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است. روند تغییرات غلظت و جذب روی در گیاه در اثر

کاربرد این عنصر نشان داد که هر دو سطح روی، سبب افزایش غلظت و جذب این عنصر در گیاه شده است. به‌طوری‌که کاربرد ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک سبب افزایش غلظت و جذب روی شاخساره به‌ترتیب به میزان ۸۵/۳٦ و ۲۳۲/۲۸ درصد و ۸۵/٦۲ و ۱۵٦/۲۸درصد شده است. جذب روی در گیاه با دو سازوکار فعال و غیرفعال صورت می‌گیرد. جذب غیرفعال از طریق جذب الکترواستاتیکی یون‌های روی بر دیواره سلولی سلول‌های ریشه گیاه صورت می‌گیرد و فعالیت‌های متابولیکی گیاه بر آن تأثیری ندارند. بنابراین جذب فعال به‌دلیل وابستگی به فعالیت‌های متابولیکی گیاه تأمین‌کننده بخش عمده روی مورد نیاز گیاه می‌باشد. می‌توان نتیجه‌گیری نمود که با افزایش غلظت و فراهمی روی در خاک رشد گیاه افزایش و جذب و انتقال آن به بخش هوایی افزایش می‌یابد.

استاینوا ودونچوا (٤٦) بر روی گیاه نخودفرنگی نشان داد که با افزایش مصرف روی، میزان روی در ریشه‌ها، ساقه‌ها و برگ‌ها افزایش می‌یابد. پانده و همکاران (۳۹) افزایش غلظت روی بخش هوایی ۱۷، ۲۵ و ۳۲ درصدی در برداشت اول و ۱۹، ۳۲ و ۱۰۹ درصدی در برداشت دوم گیاه نعناع با کاربرد ۲/۵، ۵ و ۱۵میلی‌گرم بر کیلوگرم روی از منبع سولفات روی گزارش داده‌اند. روی از عناصر کم مصرف است که جزء فلزات سنگین نیز طبقه‌بندی می‌شود ولی تا به حال سازمان بهداشت جهانی برای مقدار مجاز این عنصر در گیاهان دارویی و محصولات فرآوری شده از این گیاهان محدودیت خاص اعمال نکرده است. حداکثر مجاز غلظت روی در گیاهان دارویی به‌وسیله نویسندگان مختلف مورد بحث قرار گرفته است. مطابق با گزارش آجاسا و همکاران (۱۳) مقدار روی در محصولات کشاورزی نباید بیش از ۲۰۰ میکروگرم برگرم و با مصرف روزانه بیش از ۱۵۰ میکروگرم برگرم باشد. آلوویو و همکاران (۳۳) نیز گزارش کردند که غلظت مجاز روی در گیاهان دارویی برای مصارف انسان، ۵۲/۹٤ -۱٦/۸٤ میکروگرم بر گرم می‌باشد. نتایج هم‌چنین نشان داد که با افزایش روی تا سطح ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، افزایش ۱۱/۳٦ و ٤۷/۰٤ درصد و ۱۲/۹٦ و ۳۸/۸۸ درصد به‌ترتیب در غلظت و جذب این عنصر در ریشه مشاهده شد. همان‌طورکه در جدول ٤ و ۵ مشهود است در کل غلظت روی در ریشه بیشتر از شاخساره بود. احتمالاً گیاه از طریق فعال نمودن سیستم‌های دفاعی در ریشه باعث رسوب دادن روی در ریشه می‌گردد و یا مسیرهایی که امکان انتقال روی از این طریق امکان‌پذیر باشد را مسدود نماید. در واقع این تفاوت غلظت نشان‌دهنده مقاومت گیاه در برابر انتقال روی از ریشه به اندام هوایی می‌باشد و به نوعی می‌توان بیان نمود که نوعی سازوکار دفاعی و مقاومت به غلظت زیاد روی می‌باشد(۲٤). هم‌چنین با توجه به اینکه در جذب عناصر غذایی غیرمتحرک در خاک ویژگی‌های ریشه گیاه مانند سرعت رشد ریشه، سرعت جذب عنصر توسط ریشه، طول کل ریشه و سطح جذب ریشه مؤثر هستند (۳۹) لذا می‌توان نتیجه گرفت که با گسترش ریشه در غلظت‌های پایین و دسترسی به سطح بیشتر جذب عناصر افزایش می‌یابد.

پانده و همکاران (۳۹) افزایش تدریجی در غلظت و جذب روی ریشه تحت تیمارهای ۲/۵، ۵ و ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی در گیاه نعناع را گزارش کرده‌اند. زلجازکوف و نیلسون (٤۹) آزمایش مزرعه‌ای را با استفاده از نعناع فلفلی (Peppermint) و نعناع صحرایی (Cornmint) در سه فاصله مختلف (٤۰۰ متر، ۳۰۰۰ متر و ۱۰۰۰۰ متر) از کارخانه ذوب فلزات غیر آهنی (NFMC) انجام و گزارش کردند که با نزدیک شدن به کارخانه به‌دلیل افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک و هوا با فعالیت کارخانه، غلظت روی در ریشه و اندام هوایی این گیاهان افزایش می‌یافت و غلظت روی در برگ‌ها> ریشه> ساقه= ریزوم بود. این محققان هم‌چنین گزارش کردند که زیادی غلظت روی در برگ نسبت به ریشه به‌دلیل آلودگی بالای هوای اطراف کارخانه با این عنصر بوده است. مقایسه میانگین مربوط به تأثیر تیمار مس بر غلظت و جذب روی توسط ریشه و شاخساره در جدول ٤ و ۵ آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود کاربرد ۵ میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک سبب افزایش غلظت(۱۹/۷۶ درصد) و جذب روی شاخساره

(۱٤/٤٥ درصد) شد و بعد از آن یعنی در غلظت ۲۵ میلی‌گرم/ روی در کیلوگرم خاک غلظت و جذب روی شاخساره کاهش ۱۵/۲۰ و ۲٤/۹۳ درصد را نسبت به شاهد نشان داد. هم‌چنین غلظت و جذب روی ریشه افزایش ۱۱/٤۰ و ۸/۹۰ درصد با کاربرد ۵ میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک و ۱۱/۸۵ و ۵/۸۱ درصد با کاربرد ۲۵ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک نشان داد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که آثار ضدیتی بین روی و مس در سطوح بالاتر کاربرد مس اتفاق افتاده است. هم‌چنین در داخل گیاه، وجود غلظت‌های بالای مس، باعث کاهش انتقال روی به سایر قسمت‌ها می‌شود. دلیل این امر را می‌توان وجود یک سیستم انتقال عمومی در سطح غشاء پلاسمایی برای فلزات و وجود رقابت بین عناصر فلزی برای انتقال توسط این سیستم را عنوان کرد(۱۲).

رضاخانی و همکاران (۳) در تحقیقی نشان دادند که با افزایش مس قابل جذب خاک در تمام سطوح مورد آزمایش (۵، ۱۰، ۲۰ و ٤۰ میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک)، غلظت روی بخش هوایی گیاه اسفناج کاهش یافت که با نتایج به‌دست آمده در این مطالعه هماهنگی ندارد. مقایسه میانگین آثار متقابل مس و روی نشان داد که بیشترین غلظت و جذب روی بخش هوایی از سطح ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم مس و کمترین آن از سطح ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم مس و سطح صفر روی به‌دست آمد. هم‌چنین بیشترین غلظت و جذب روی ریشه از سطح ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی و ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم مس و کمترین آن در تیمار شاهد حاصل شد. غلظت روی در اسانس این گیاه غیر قابل تشخیص به‌وسیله دستگاه جذب اتمی بود. این مطالعه نشان داد که ریشه ممکن است به‌عنوان اندام ذخیره‌کننده این عناصر بعد از جذب از خاک و قبل از انتقال به بخش هوایی این گیاه عمل کند. از آنجا که تنها برگ و ساقه‌های این گیاه به‌عنوان یک گیاه دارویی استفاده می‌شود لذا انباشت فلزات در ریشه این گیاه دارویی ممکن است به‌عنوان خطر جدی برای سلامتی انسان مطرح نباشد اگر چه این نظر نیاز به احتیاط بیشتری دارد. مطابق گزارش آجاسا و همکاران (۱۳) در بالاترین غلظت استفاده شده نیز غلظت روی در بخش هوایی کمتر از ۲۰۰ میکروگرم بر گرم و در سطوح مجاز توصیه شده بود و پس بنابراین خطری برای سلامتی انسان ندارد. از طرف دیگر چون مقدار فلز روی در داخل اسانس غیرقابل تشخیص بود بنابراین این گیاه دارویی در خاک‌های دارای آلودگی روی می‌تواند بدون تهدیدی برای سلامتی انسان کشت و کار شود. و با توجه به تولید اسانس عاری از فلز روی و اقتصادی بودن اسانس تولید شده می‌تواند به‌عنوان گزینه عملی برای کشت و کار در خاک‌های کشاورزی دارای آلودگی این عنصر مطرح باشد.

غلظت و جذب آهن

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مس و روی بر غلظت و جذب آهن ریشه و بخش هوایی (جداول ۲ و ۳) نشان داد که تأثیر مس و روی بر غلظت و جذب این عنصر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. مقایسه میانگین مربوط به تأثیر روی و مس بر غلظت و جذب آهن در جداول ٤ و ۵ ارائه شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، کاربرد ۱۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک تأثیر معنی‌داری بر غلظت و جذب آهن شاخساره نداشته است. کاربرد بیشتر روی در خاک (۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) باعث کاهش ۱۲/۰۹ و ۳۲/۰۷ درصد به‌ترتیب در غلظت و جذب آهن بخش هوایی شده است. این امر مبین اثرهای ضدیتی بین آهن و روی وکاهش وزن ماده خشک در سطوح بالاتر روی می‌باشد. با اینکه غلظت آهن در اندام هوایی در سطوح بالاتر روی کاهش یافته است ولی هنوز در داخل محدوده مطلوب برای سبزیجات قرار دارد(٦). آدیلوگلو (۱۲) گزارش کرد که در یک خاک آهکی مقدار آهن در ذرت با کاربرد روی کاهش معنی‌داری پیدا کرد که به‌دلیل رابطه ضدیتی بین روی و آهن بوده است. روند تغییرات غلظت و جذب آهن در ریشه بر خلاف شاخساره بود، به‌طوری‌که اعمال تیمارهای روی ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب باعث افزایش غلظت و جذب آهن به میزان

۱۳/۹۸ و ۵۷/۵٦ درصد و ۱٦/۲۳ و ٤۸/۳۰ درصد شده است. به نظر می‌رسد روی به‌عنوان یک کاتیون رقیب از انتقال متابولیک فعال آهن به مکان‌های جذب در ساقه جلوگیری می‌کند و باعث افزایش غلظت آهن در ریشه می‌گردد (۲۱). پانده و همکاران (۳۹) گزارش کردند که با افزایش میزان روی در خاک، غلظت و جذب آهن در گیاه دارویی نعناع نسبت به شاهد کاهش داشت که با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق مغایرت دارد. در ارتباط با تأثیر سطوح مس بر غلظت و جذب آهن شاخساره، نتایج نشان داد که اختلاف تیمار ۵ میلی‌گرم مس در کیلوگرم با شاهد معنی‌دار نگردیده است ولی با افزایش تیمار ۲۵ میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک، غلظت و جذب این عنصر در شاخساره به‌ترتیب ۷/۹۹ و ۱۸/٦۵ درصد نسبت به شاهد کاهش داشت. به‌طورکلی اثبات گردیده است که زیادبود مس باعث آسیب رسیدن به پلاسمالاما، کاهش یون‌ها و افزایش پراکسیداسیون لیپید، کاهش آهن در کلروپلاست می‌گردد. آهن یکی از کوفاکتوهای مسیر بیوسنتز کلروفیل می‌باشد که کاهش مقدار آن در زیاد بود مس باعث آسیب رسیدن به تشکیل کلروفیل و جذب عناصر معدنی به‌وسیله گیاه می‌گردد(۲۷).

نتایج این تحقیق با یافته‌های رضاخانی و همکاران (۳) در مورد گیاه اسفناج مغایرات داشت. این محققان نشان دادند که با افزایش سطوح مس، غلظت آهن بخش هوایی گیاه اسفناج به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. وجود رابطه برهمکنش منفی بین مس و آهن در مطالعات ابوزید و ابوخو (۱۰) در گیاه ذرت گزارش گردیده است. در مورد جذب آهن ریشه همچون شاخساره اثر ۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم با شاهد معنی‌دار نشد و تنها تیمار ۲۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم باعث افزایش ٤۷/۱۲ و ۳۹/۵٦ درصد به‌ترتیب در غلظت و جذب آهن ریشه گردید. نتایج موجود در ارتباط با تأثیر اثر متقابل مس و روی بر غلظت و جذب آهن ریشه و شاخساره (جداول ۲ و ۳) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. بالاترین غلظت و جذب آهن بخش هوایی از سطح ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم مس و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی و و پایین‌ترین مقدار آن از سطح ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم مس و ۵۰ میلی‌گرم درکیلوگرم روی به‌دست آمد. هم‌چنین بالاترین غلظت و جذب آهن ریشه از سطح ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم مس و ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی و پایین‌ترین آن در تیمار شاهد مشاهده گردید (جداول ٤ و ۵)

غلظت و جذب منگنز

نتایج تجزیه واریانس (جداول ۲ و۳) نشان دهنده اثر معنی‌دار مس و روی بر جذب منگنز ریشه و شاخساره می‌باشد. مقایسه میانگین مربوط به اثر روی و مس بر غلظت و جذب منگنز شاخساره و ریشه در جدول ٤ و ۵ آمده است. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود، غلظت و جذب منگنز شاخساره با کاربرد ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی افزایش ٦٦/۰۸ و ۲۳/٦۲ درصد و کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم همین عنصر کاهش ۵۱/۹۹ و ۳۵/۱٤ درصدی را نسبت به شاهد نشان داد. نتایج موجود هم‌چنین نشان می‌دهد که افزایش ۱۲۸/۷۲ و ۱۸۸/۹۳ درصد در غلظت و ۱۱/۱۲ و ۳۸/۱۲ درصد در جذب منگنز ریشه به‌ترتیب در تیمار ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی مشاهده گردید. از آنجا که عناصر روی و منگنز توسط ناقل‌های مشابهی جذب و انتقال می‌یابند، تحت شرایط زیادی روی، تجمع منگنز در بخش هوایی کاهش می‌یابد (۱۲). پانده و همکاران (۳۹) گزارش کردند که با افزایش روی قابل جذب خاک غلظت و جذب منگنز ریشه و بخش هوایی گیاه نعناع افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت. ولی فیضی اصل و ولیزاده (۵) وجود اثرهای منفی بین روی و منگنز را گزارش داده‌اند. همان‌طوری‌که در جدول ٤ و ۵ مشخص است، افزایش مس تأثیر معنی‌دار بر غلظت و جذب منگنز شاخساره و ریشه داشته است. به‌طوری‌که کاربرد ۵ و ۲۵ میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک، افزایش ٦۳/۲۱ و ۲۰۱/۸۹ درصد در غلظت منگنز شاخساره و ۲۰۲/۵۵ و ۳۳۱/٤۸ درصد در غلظت منگنز ریشه را سبب گردید. هم‌چنین در سطح ۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم جذب مس ریشه و اندام هوایی به‌ترتیب افزایش ۳/۱۷ و ۱۰/٤۲ درصدی را نشان داد. کاربرد سطح ۲۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم

در ریشه افزایش ۳۳/۵۸ درصدی و در شاخساره کاهش ۱۶/۹۶ درصدی را نسبت به شاهد نشان داد. اسکندری و مظفری (۱) گزارش دادند که کاربرد ۲/۵، ۵ و ۷/۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم جذب منگنز شاخساره پسته را به‌ترتیب ۲۰، ۲۶ و ۲۶ درصد و ریشه را به‌ترتیب ۵۲، ٤٤ و ۳۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داده است. رضاخانی و همکاران (۳) گزارش دادند که با افزایش میزان مس قابل جذب خاک، غلظت منگنز بخش هوایی گیاه اسفناج به‌دلیل رقابت یونی در جذب و برهمکنش با مس کاهش معنی‌داری داشت. اثر متقابل سطوح مختلف مس و روی بر غلظت و جذب منگنز اندام هوایی و جذب منگنز ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. بیشترین غلظت منگنز اندام هوایی از سطح ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم مس و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی و کمترین آن از سطح ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی و صفر میلی‌گرم بر کیلوگرم مس به‌دست آمد. هم‌چنین بیشترین جذب منگنز بخش هوایی از سطح ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم مس و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی و بیشترین جذب منگنز ریشه از سطح ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم مس و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی به‌دست آمد.

غلظت و جذب فسفر

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳ و ٤) نشان می‌دهد که غلظت روی قابل جذب خاک، اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر جذب فسفر ریشه و بخش هوایی و غلظت روی ریشه گیاه مرزه دارد. به‌طوری‌که با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک، جذب فسفر بخش هوایی به‌طور معنی‌دار و به مقدار ۲۸/٦۱ درصد نسبت به شاهد کاهش داشت. درحالی‌که کاربرد ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی تأثیر معنی‌داری بر جذب فسفر شاخساره نداشت. با کاربرد سطوح ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی به‌ترتیب افزایش ٦ و ۲٦ درصدی در غلظت و ۸/۳۳ و ۱۹ درصدی در جذب فسفر ریشه مشاهده گردید. این نتایج نیز بیانگر برهمکنش منفی بین مس و روی در سطوح بالای روی استفاده شده می‌باشد.

برهمکنش منفی بین مس و روی از جمله رایج‌ترین برهمکنش‌ها می‌باشد که توجه بسیاری از متخصصان علم تغذیه را به خود جلب کرده است. بنابراین برای رفع نیاز گیاه دارویی مرزه به عنصر کم مصرف روی، کاربرد کودهای روی باید طوری انتخاب گردد تا علاوه بر ایجاد تعادل بین فسفر و روی، تعادل نسبی بین سایر عناصر غذایی نیز در گیاه حفظ گردد. این نتایج، گزارش‌های مارشنر (۳۰)، سینگ و همکاران (٤٤) مبنی بر وجود رابطه ناسازگاری بین فسفر و روی را تأیید می‌نماید. بونت و همکاران (۱۸) و اده‌دجی و همکاران (۱۲) عنوان کردند که افزایش روی و مس در محیط موجب کاهش جذب پتاسیم، منیزیم و فسفر به‌وسیله گیاه شد. هم‌چنین نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳ و ٤) نشان داد که اثر مس بر غلظت و جذب فسفر ریشه و بخش هوایی معنی‌دار بوده است. مقایسه میانگین مربوط به اثر مس بر غلظت و جذب فسفر ریشه و شاخساره در جدول ٤ و ۵ آمده است. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود، کاربرد ۲۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم باعث کاهش معنی‌دار و ۱۲/٤۸ درصدی در جذب فسفر شاخساره گردید. کاربرد ۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک بر جذب فسفر بخش هوایی تأثیر معنی‌داری نداشت. افزایش کاربرد مس بر غلظت فسفر بخش هوایی تأثیری نداشته است. این نتایج با یافته‌های رضاخانی و همکاران (۳) که افزایش مس تا سطح ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم باعث افزایش معنی‌دار در غلظت فسفر بخش هوایی شده بود، مغایرت دارد. کاهش جذب در سطوح ۲۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم بر کیلوگرم را می‌توان به کاهش وزن خشک بخش هوایی این گیاه نسبت داد چرا که در این سطوح غلظت فسفر اندام هوایی کاهش معنی‌داری نشان نداده است. گزارش‌های زیادی وجود دارد مبنی بر اینکه با افزایش مصرف مس غلظت فسفر در ریشه افزایش می‌یابد. برهمکنش مس و روی فقط بر جذب فسفر ریشه معنی‌دار بوده است. بیشترین جذب فسفر ریشه در تیمار ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم مس و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که سطوح پایین مس باعث افزایش جذب روی، منگنز، آهن و سطوح پایین روی باعث افزایش جذب مس، منگنز و آهن گردید. بنابراین، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که برهمکنش منفی بین مس، روی، آهن و منگنز در سطوح بالاتر کاربرد مس و روی اتفاق افتاده است. پس باید در میزان کاربرد آنها همراه با یکدیگر دقت لازم صورت گیرد. هم‌چنین در گیاهان مورد مطالعه میزان تجمع مس و روی در ریشه در مقایسه با شاخساره بالاتر بود که علت آن مربوط به سازوکارهای دفاعی گیاه در جلوگیری از انتقال مس و روی به بخش هوایی می‌باشد و از آنجا که تنها برگ و ساقه‌های این گیاه به‌عنوان یک گیاه دارویی استفاده می‌شود لذا انباشت فلزات در ریشه این گیاه دارویی به‌عنوان خطر جدی برای سلامتی انسان مطرح نیست اگر چه این نظر نیازمند دقت و احتیاط بیشتری است. در سطح ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم مس استفاده شده، غلظت مس در بخش هوایی (تنها بخش مورد استفاده این گیاه دارویی) بیشتر از حد مجاز توصیه شده (۱۵ میکروگرم بر کیلوگرم) بود. بنابراین اگر این گیاه دارویی در زمین‌های کشاورزی دارای آلودگی‌های نزدیک به ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم کشت شود نباید به‌عنوان سبزیجات تازه و خشک شده مصرف شود. در سطح ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی غلظت روی در بخش هوایی کمتر از حداکثر سطوح مجاز توصیه شده (۲۰۰ میکروگرم بر گرم) بود و خطری برای سلامتی انسان ندارد. در کل پیشنهاد می‌شود با توجه به ابعاد مختلف موضوع، نظیر تولید اسانس عاری از فلز و اقتصادی بودن اسانس تولید شده، کشت و کار این گیاه در خاک‌های دارای آلودگی‌های کمتر از حدود بحرانی مس و روی با احتیاط و نظارت بیشتر در سطح مزرعه مطالعه و بررسی گردد.

منابع مورد استفاده

۱. اسکندری، س و مظفری، و. ۱۳۹۱، تأثیر شوری و مقادیر مختلف مس بر جذب عناصر غذایی کم مصرف در شاخساره و ریشه دو رقم پسته در شرایط گلخانه‌ای، مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۳(۱۲): ۴۲-۲۹

۲. بوربری، م.ر و طهرانی، م.م. ۱۳۸۹. اثر برهمکنش مقادیر و روش مصرف مس و روی بر خصوصیات گیاهی و پروتئین گندم. فصلنامه علمی و پژوهشی گیاهان زراعی- دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۲(۸): ٤٤-۲۹

۳. رضاخانی، ل.، گلچین، ا و شفیعی، س. ۱۳۹۱. تأثیر سطوح مختلف مس و کادمیم بر رشد و نمو و ترکیب شیمیایی اسفناج، مجله زراعت و اصلاح نباتات. ۸ (۱): ۱۰۰-۸۷

٤. زلفی باوریانی، م و مفتون، م. ۱۳۸۹. تأثیر روی و مس و شکل های شیمیایی آنها بر رشد و ترکیب شیمیایی برنج در یک خاک آهکی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ١٤ (٥٤): ۱۲۰-۱۱۱.

۵. فیضی اصل، و و ولیزاده، غ. ۱۳۸۳، اثر کاربرد توام فسفر و روی در غلظت عناصر غذایی و عملکرد گندم دیم رقم سرداری، مجله علوم زراعی ایران. ٦ (۳): ۲۳۸-۲۲۳

٦. ملکوتی، م.ج، طهرانی، م.م. ۱۳۸٤. نقش ریزمغذی‌ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی (عناصر خرد با تأثیر کلان). چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس

۷. ملکوتی، م.ج.، کشاورز، پ. و کریمیان، ن. ۱۳۸۷.روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کود برای کشاورزی پایدار. چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.

۸. هادیان، ج. ۱۳۸۷. بررسی تنوع ژنتیکی گونه‌های مرزه بومی ایران. رساله دکتری علوم باغبانی. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۹. یزدانی، د.، شهنازی، س و سیفی، ح. ۱۳۸۳. کاشت، داشت و برداشت گیاهان دارویی. چاپ اول، نشر جهاد دانشگاهی واحد شهید بهشتی

10. Abuzid, M and A, Obukhov. 1998 .Effect of soil copper pollution on plant and uptake of heavy metal by corn seedling. Moscow Univ. Soil Sci. 47:37.
11. Adedeji, F. and V. Fanimokun. 1984 .Copper deficiency and toxicity in two tropical leaf vegetables (Celosia argentea L.) and Amaranthus dubius mart. ex thell). Environmental and experimental botany, 24(1): p. 105-110.
12. 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.
13. . Ajasa AMO, MO., Bello, AO., Ibrahim, IA., Ogunwande and NO. Olawore. 2004. Heavy trace metals and macronutrients status in herbal plants of Nigeria. Food Chemistry, 85:67-71.
14. Alloway, B.J. 1990. Heavy metals in soil, Jown Wiley and Sons, Inc., New York, USA.
15. Angelova, V., K. Ivanov, and R. Ivanova. 2006. Heavy metal content in plants from family Lamiaceae cultivated in an industrially polluted region. Journal of herbs, spices & medicinal plants, 11(4): p. 37-46.
16. Bagdat, E., and M. Ebrahem. 2007. Phytoremedation behavior of some medicinal and aromatic plants to various pollutants. Journal of Field Crops Central Research Institute (Ankara), 16(1-2): 1-10.
17. Basra AS. 1997. Mechanisms of environmental stress resistance in plants. CRC Press.
18. Bonnet, M., O. Camares, and P. Veisseire. 2000. Effects of zinc and influence of Acremonium lolii on growth parameters, chlorophyll a fluorescence and antioxidant enzyme activities of ryegrass (Lolium perenne L.) cv Apollo). Journal of Experimental Botany, 51(346): p. 945-953.
19. Bouyoucos GJ. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. Agronomy Journal, 54: 464-465.
20. Bremner J. and C. Mulvaney. 1982. Nitrogen—total. Methods of soil analysis Part 2 Chemical and microbiological properties, pp: 595-624.
21. 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.
22. Diederichs N,U. Feiter, and R. Wynberg. 2006. Production of traditional medicines: technologies, standards and regulatory issues. Commercialising Medicinal Plants: A southern African Guide, Sun Press, Stellenbosch
23. Gupta P. 1999. Soil, plant, water and fertilizer analysis. Agro Botanica, New Delhi. India.
24. Hall, J.L. 2002.Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. Journal of Experimental Botany, 53: 1-11.
25. Haluschak, P. 2006. Laboratory methods of soil analysis. Canada-Manitoba Soil Survey, p. 3-133.
26. Hussein, F.H., Khalifa, RM., El-Mergawi, RA and Youssef, AA. 2006. Utilization of Treated Municipal Wastewater for Growing Some Aromatic Plants to Produce Volatile Oils and Study Its Nutritional Status in Arid Region. The [2] International Conf. on Water Resources & Arid Environment.
27. Kabata-Pendias, A. And H. Pendias. 1991. Trace Elements in Soils and Plants, second ed. CRC Press, p. 365.
28. Lux A, M., Martinka, M. Vaculík and PJ. White. 2011. Root responses to cadmium in the rhizosphere: a review. Journal of experimental botany, 62:21-37.
29. Marschner, H. 1995. Functions of mineral nutrients: Micronutrients. PP. 313-396. In: Mineral Nutrition of Higher Plants, 2nd ed., Academic Press Ltd., San Diego, CA.
30. Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. Elsevier Science Ltd.
31. McGrath, S.P., A.M. Chaudri and K.E. Giller, 1995. Long-term effects of metals in sewage sluge on soils, microorganisms and plants. J. Ind. Microbiol., 14(2): 94-104.
32. Najafi F, R., Khavari-Nejad and MS.Ali. 2010. The effects of salt stress on certain physiological parameters in summer savory (Satureja hortensis L.) plants. Journal of Stress Physiology & Biochemistry, 6:13-21.
33. Olowoyo, J., O. Okedeyi, N. Mkolo, G. Lion and S. Mdakane. 2012. Uptake and translocation of heavy metals by medicinal plants growing around a waste dump site in Pretoria, South Africa, South African Journal of Botany 78, 116-121.
34. Öncel, I., Y. Keleş, and A. Üstün. 2000. Interactive effects of temperature and heavy metal stress on the growth and some biochemical compounds in wheat seedlings. Environmental Pollution. 107(3): p. 315-320
35. Organization WH. 2005. National policy on traditional medicine and regulation of herbal medicines. Report of a WHO global survey. Geneva: World Health Organization.

36. Organization WH. 2007. Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants: Sixty-eighth Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives .World Health Organization.
37. Organization WH. 2009. Quality control methods for medicinal plant materials. 1998. Geneva, Switzerland.
38. Page AL. 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
39. Pande P, M. Anwar, S. Chand, VK. Yadav and D. Patra. 2007. Optimal level of iron and zinc in relation to its influence on herb yield and production of essential oil in menthol mint. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 38:561-578
40. Peralta-Videa, J, JL. Gardea-Torresdey, E. Gomez, KJ. Tiemann, JG. Parsons and and G. Carrillo. 2002. Effect of mixed cadmium, copper, nickel and zinc at different pHs upon alfalfa growth and heavy metal uptake. Environmental Pollution,. 119(3): p. 291-301
41. Prasad, M.N.V. 2004. Heavy metal stress in plant. Second edition, Norosa Publishing house, USA.
42. Rion, B. and J. Alloway. 2004. Fundamental aspects of Zinc in soils and plants. International Zinc.
43. Scora, R. and A. Chang. 1997. Essential oil quality and heavy metal concentrations of peppermint grown on a municipal sludge-amended soil. Journal of environmental quality,. 26(4): p. 975-979.
44. Singh J, R. Karamanos and J. Stewart. 1986. Phosphorus-induced zinc deficiency in wheat on residual phosphorus plots. Agronomy journal, 78: 668-675
45. Sparks DL, 1996. Methods of soil analysis. Part 3-Chemical methods: Soil Science Society of America Inc
46. Stancheva, I. 2009. Essential oil variation of Salvia officinalis (L.), grown on heavy metals polluted soil. Biotechnol Biotechnol Equip, 23: p. 373-376.
47. Walkley A., and IA. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37(1): p. 29-38
48. Yadav, S. 2010. Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. South African Journal of Botany, 76(2): p. 167-179
49. Zheljazkov, V.D. and N.E. Nielsen. 1996. Effect of heavy metals on peppermint and corn mint. Plant and soil, 178(1): p. 59-66.
50. Zheljazkov, V.D., L.E. Craker, B. Xing, N.E. Nielsen and A. Wilcox. 2008. Aromatic plant production on metal contaminated soils. Science of the Total Environment, 395(2): p. 51-62.
51. Zheljazkov, V.D., L.E. Craker, and B. Xing. 2006. Effects of Cd, Pb, and Cu on growth and essential oil contents in dill, peppermint, and basil. Environmental and experimental botany, 58(1): p.9-16.