

تأثیر کاربرد مس و روی بر غلظت 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 متشعزاده^{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 پرمصرف (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 داد که کاربرد سطوح کفایت روی (۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) موجب افزایش ۸۵/۳۶، ۵۳/۲۰ و ۶۶/۰۸ درصدی به ترتیب غلظت روی، مس و منگنز شاخساره گردید. هم‌چنین کاهش ۸/۳۸، ۱۲/۰۹ و ۵۱/۹۹ درصدی به ترتیب 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 به ترتیب 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 داد که 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 توأم این دو عنصر در سطوح بالا صورت نگیرد. هم‌چنین به دلیل 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

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 (۳۶ و ۳۷) گیاهان دارویی و محصولات فرآوری شده آنهاست (۲۲). غلظت

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

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

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 ۶۰-۳۰ 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 و ۹). 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 کم‌مصرف 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 ۰-۳۰ سانتی‌متری مناطق مختلف نمونه‌های خاک

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 کم‌مصرف 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 (۴۲). 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 ۱-۴۰۰ میکروگرم در گرم ماده خشک گیاهی می‌باشد (۱۴).

انگلووا و همکاران (۱۵) 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 (۴۸) گزارش کردند که گونه‌های درختی و درختچه‌ای، گیاهان خوراکی (ذرت، کلزا و ...) 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 (۲۶) 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 (۱۶) گزارش کردند که تحقیقات بر روی برخی گیاهان دارویی و معطر (نعناع، اسطوخودوس، آویشن، همیشه بهار، ختمی و ترشک) نشان داد

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	نیترژن 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 (meq l ⁻¹) Na ⁺	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 در عصاره اشباع (۲۵)، CEC خاک به روش باور (۳۸)، درصد کربن آلی به روش والکلی - بلک (۴۷)، درصد آهک به روش حجم سنجی (۲۳)، نیترژن کل خاک به روش هضم کج‌لدال (۲۰)، فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم ۰/۵ مولار به روش اولسن (۴۵)، پتاسیم قابل جذب به روش استخراج با استات آمونیوم نرمال (۴۵) و مقدار قابل جذب روی، مس، آهن و منگنز به روش استخراج با DTPA (۴۵) تعیین گردید (جدول ۱). برای کشت گلخانه‌ای خاک تهیه شده ابتدا از الک ۴ میلی‌متری عبور داده شد. تیمارهای آزمایش را سطوح مختلف مس از منبع سولفات مس CuSO₄.5H₂O 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

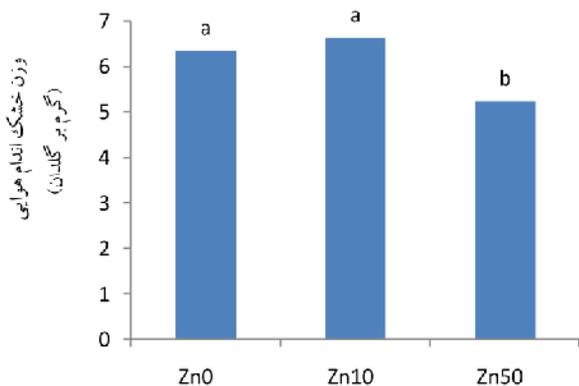
ZnSO₄.2H₂O شامل تیمارهای شاهد یا کمبود روی (صفر)، تیمار کفایت روی (۱۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک) و تیمار زیاد بود روی (۵۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک) و برهمکنش آنها بودند. حد بحرانی مس و روی قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک‌های آهکی حدود ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک هست (۷). هم‌چنین حداکثر مجاز مس و روی کل، در خاک‌های کشاورزی به ترتیب 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 به صورت 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 ۰/۷ FC، به منظور حصول تعادل

و اسانس از روش اکسیداسیون خشک استفاده گردید. یک گرم از نمونه‌های پودر شده شاخساره و ریشه با دقت 0.0001 وزن و داخل کروزه ریخته شد. سپس کروزه داخل کوره با دمای 550 درجه به مدت ۵ ساعت، قرار داده شد. سپس با استفاده از 20 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 پیت مدرج حباب‌دار برداشت شده و داخل کروزه ریخته شد. این نمونه‌ها تا متوقف شدن بخارات در روی گرم کن حرارت داده شد. سپس کروزه به مدت چهار ساعت در دمای 400 درجه سلسیوس در کوره قرار داده شد. پس از خارج کردن کروزه از کوره و سرد شدن آن، 2 میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به آن اضافه شد و تا تبخیر شدن اسید بر روی گرم کن حرارت داده شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۱ ساعت دوباره در کوره قرار داده شد و پس از سرد شدن 2 میلی‌لیتر اسید کلریدریک 20 درصد اضافه شده و با استفاده از کاغذ صافی واتمن 42 در داخل یک بالن 10 میلی‌لیتری صاف شده و به حجم رسانده شد (49 و 48.50).

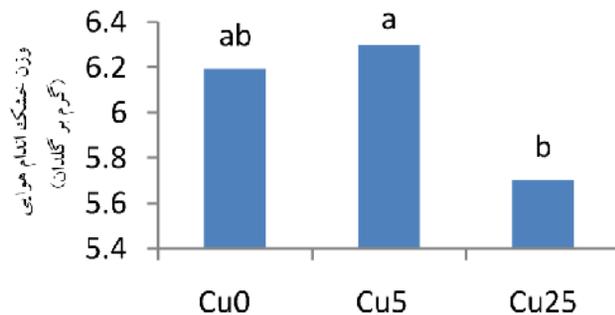
در این عصاره‌ها عناصر روی، مس، آهن و منگنز با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu-AA6400 قرائت گردید. برای اندازه‌گیری فسفر از عصاره تهیه شده برای عناصر کم مصرف (مس، روی، منگنز و آهن) استفاده شد و میزان فسفر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Shimadzu U 73100 تعیین گردید. از آنجا بررسی غلظت عناصر به دلیل به وجود آمدن اثر رقت گاهی متناقض به نظر می‌رسد لذا غلظت و جذب عناصر [جذب کل (میکروگرم بر گلدان) = وزن ماده خشک (گرم در گلدان) \times 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 $9/2$ انجام شد. مقایسه میانگین

عناصر مس و روی با خاک گلدان‌ها، به مدت ۲ ماه انکوباسیون گردید. هم‌چنین برای جلوگیری از بروز علائم کمبود سایر عناصر در گیاه و براساس نتایج آزمون خاک عناصر پتاسیم به میزان 70 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک از منبع سولفات پتاسیم، فسفر به میزان 4 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک از منبع سوپرفسفات تریپل قبل از کشت اضافه گردید. هم‌چنین عنصر نیتروژن به صورت تقسیط در 4 قسط و هر قسط 60 میلی‌گرم نیتروژن از منبع اوره همراه با آب آبیاری به هر گلدان اضافه گردید. برای کشت از گلدان‌های پلاستیکی 4 کیلوگرمی (گلدان‌ها از جنس پلی اتیلن و وزن خالی هر گلدان 10 ± 280 گرم با قطر $15/5$ و ارتفاع 18 سانتی‌متر) استفاده گردید.

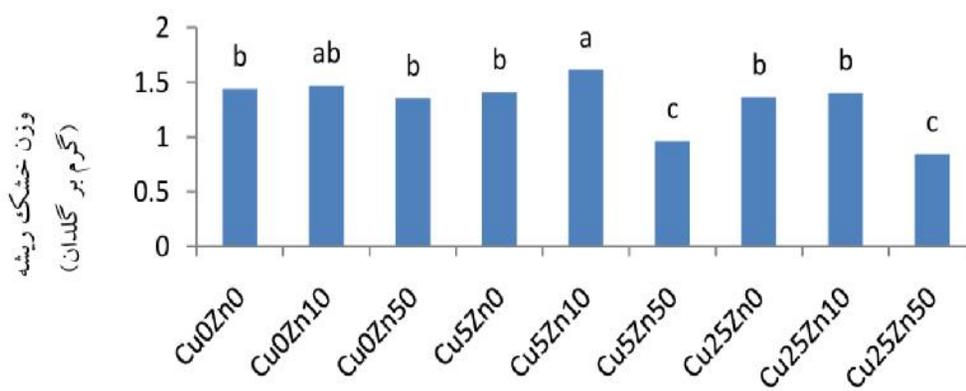
بذر مرزه تابستانه پس از تهیه از پژوهشکده گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی در خزانه کشت و پس از رسیدن به مرحله سه برگی به تعداد 4 عدد گیاهچه یکنواخت به هر گلدان انتقال داده شدند. آبیاری گلدان‌ها تا پایان آزمایش به وسیله آب مقطر تا رسیدن به دامنه $0/7$ تا $0/7$ ظرفیت زراعی به روش وزنی صورت گرفت. گلدان‌های هر هفته به‌طور تصادفی بر روی سینک گلخانه جابه‌جا شدند. در هفته 12 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 به وسیله دستگاه کلونجر در مدت 3 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، به مدت 72 ساعت در خشک کن در دمای 70 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 موئین، شستشوی ریشه‌ها روی الک انجام شد. سپس توزین و با آسیاب پودر شدند. به منظور اندازه‌گیری غلظت عناصر کم مصرف در ریشه، شاخساره



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



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



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

کاهش داده است (شکل ۱ و ۲). با مصرف مس و روی در سطوح پایین به دلیل تأمین نیازهای تغذیه‌ای، افزایش کارایی جذب سایر عناصر غذایی کم مصرف و پر مصرف و فعال‌سازی آنزیم‌های مربوط به تکثیر و طول‌شدگی سلول‌ها باعث تسریع رشد در گیاهان می‌شود (۳۴ و ۳). 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 همکاران (۳۹) و حال (۲۳) همخوانی دارد. هم‌چنین بیشترین مقدار وزن خشک (۱/۶۱ گرم در گلدان) از ترکیب تیماری روی ۱۰ و مس ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین میزان خشک ریشه (۰/۸۴ 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

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 ۶/۶۲ و ۶/۳۰ 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 ۶/۳۴ به ۵/۲۳ گرم در گلدان و ۶/۱۹ به ۵/۷ گرم در گلدان (به‌ترتیب معادل ۱۷/۵۰ و ۷/۹۱ درصد)

اسکندری و همکاران (۱) مشاهده کردند که با افزایش مس تا سطح ۵ 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 ۵ و ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، غلظت و جذب این عنصر در ریشه به‌ترتیب ۸۸/۱۶ و ۲۹۵/۴ درصد و ۸۳/۷ و ۲۷۳/۶۵ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. همان‌طور که در جدول ۴ و ۵ 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 کم‌خطر و گازی، از جمله سازوکارهای گیاه در مواجهه با غلظت زیاد فلزات سنگین است (۴۱).

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 (۵۱) نیز غلظت مس در ریشه گیاه نعنای فلفلی و ریحان با افزایش کاربرد مس (۲۰، ۶۰ و ۱۵۰ 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 ۲ و 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

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 (جدول ۴ و ۵) نشان داده شده است، افزایش مس سبب افزایش معنی‌دار غلظت و جذب مس شاخساره گردیده است. به‌طوری‌که در سطوح ۵ و ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم مس، غلظت و جذب مس در شاخساره ۱۱۸/۵ و ۳۰۴/۶ 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 ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مس از منبع سولفات مس به‌دست آمد و هم‌چنین با افزایش میزان مس در خاک تا ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، غلظت مس بخش هوایی به‌طور تدریجی و معنی‌دار افزایش یافت.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس تأثیر مس و روی بر غلظت آهن، مس، روی، آهن، منگنز و فسفر ریشه و بخش هوایی گیاه مرز

میانگین مربععات

منبع تغییرات	درجه آزادی	غلظت مس			غلظت روی			غلظت آهن			غلظت منگنز			غلظت فسفر		
		بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی
مس	۲	۳۳۷/۷۶۳	۳۰۶۵/۲۴۴**	۳۵۲۵/۳۳۴**	۲۵۷۵۲۷/۱۷۷**	۱۰۷۵۲۷/۱۷۷**	۲۰۵۱۵۳/۳۳۳**	۱۳۳۳۳۳/۳۳۳**	۳۳۳۳۳/۳۳۳**	۳۳۳۳۳/۳۳۳**	۳۳۳۳۳/۳۳۳**	۳۳۳۳۳/۳۳۳**	۳۳۳۳۳/۳۳۳**	۳۳۳۳۳/۳۳۳**	۳۳۳۳۳/۳۳۳**	۳۳۳۳۳/۳۳۳**
روی	۲	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**
مس × روی	۴	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**
خطا	۱۸	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
ضریب تغییرات		۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳

** : معنی دار در سطح یک درصد. * : معنی دار در سطح ۵ درصد. NS : غیر معنی دار

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس تأثیر مس و روی بر جذب آهن، روی، مس، منگنز و فسفر ریشه و بخش هوایی گیاه مرز

میانگین مربععات

منبع تغییرات	درجه آزادی	جذب مس			جذب روی			جذب آهن			جذب منگنز			جذب فسفر		
		بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی								
مس	۲	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**
روی	۲	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**
مس × روی	۴	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**	۳۳۳۳۳**
خطا	۱۸	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
ضریب تغییرات		۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳

** : معنی دار در سطح یک درصد. * : معنی دار در سطح ۵ درصد. NS : غیر معنی دار

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر مس و روی بر غلظت عناصر غذایی مورد بررسی

تیمارها	مس		روی		آهن		مگنیز		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	۴/۵۳ ^f	۱۱۴/۲۵ ^f	۱۵۰۳/۹۷ ^g	۱۸۲/۵۳ ^b	۹۰/۵۴ ^f	۴۷/۱۳ ^e	۰/۱۵۰ ^e	۰/۱۴۳ ^a	۰/۱۵۰ ^e	۰/۱۴۳ ^a
Cu0Zn10	۵/۶۵ ^g	۱۲۷/۲۳ ^e	۱۷۱۴/۳۰ ^{ef}	۱۹۵/۲۶ ^b	۹۸/۵۲ ^{ef}	۵۹/۳۳ ^b	۰/۱۴۰ ^{ab}	۰/۱۴۳ ^{ab}	۰/۱۵۹ ^c	۰/۱۴۰ ^{ab}
Cu0Zn50	۱۵/۲۰ ^d	۱۶۸/۹۰ ^c	۲۳۶۹/۸۰ ^c	۱۶۰/۴۶ ^{cd}	۱۳۲/۷۶ ^{cd}	۴۰/۴۶ ^{ef}	۰/۱۳۳ ^{ab}	۰/۱۳۳ ^{ab}	۰/۱۸۹ ^{bc}	۰/۱۳۳ ^{ab}
Cu5Zn0	۱۰/۶۵ ^e	۱۲۷/۲۸ ^e	۱۶۱۰/۱۵ ^{fg}	۱۸۹/۴۰ ^b	۹۵/۳۸ ^f	۵۵/۵۸ ^b	۰/۱۴۹ ^c	۰/۱۴۹ ^c	۰/۱۴۹ ^c	۰/۱۴۹ ^c
Cu5Zn10	۱۶/۴۶ ^d	۱۴۴/۳۷ ^d	۱۸۵۸/۹۰ ^c	۲۳۱/۶۰ ^a	۱۰۶/۳۷ ^e	۶۵/۷۷ ^a	۰/۱۶۳ ^{de}	۰/۱۶۳ ^{de}	۰/۱۶۳ ^{de}	۰/۱۶۳ ^{de}
Cu5Zn50	۲۲/۲۰ ^c	۱۹۱/۶۳ ^b	۲۶۳۱/۱۱ ^b	۱۴۴/۶۶ ^e	۱۴۱/۴۸ ^{bc}	۳۷/۱۵ ^f	۰/۱۲۹ ^{ab}	۰/۱۲۹ ^{ab}	۰/۱۲۹ ^{ab}	۰/۱۲۹ ^{ab}
Cu25Zn0	۲۷/۷۸ ^c	۱۲۷/۸۰ ^e	۲۲۱۲/۷۹ ^d	۱۶۷/۹۳ ^c	۱۲۷/۴۹ ^d	۴۵/۲۷ ^{cd}	۰/۱۸۰ ^{cd}	۰/۱۸۰ ^{cd}	۰/۱۸۰ ^{cd}	۰/۱۸۰ ^{cd}
Cu25Zn10	۳۰/۲۴ ^b	۱۵۳/۲۶ ^d	۲۴۵۸/۵۲ ^c	۱۵۲/۱۱ ^{de}	۱۴۵/۳۳ ^b	۴۲/۲۵ ^{de}	۰/۲۰۷ ^{ab}	۰/۲۰۷ ^{ab}	۰/۲۰۷ ^{ab}	۰/۲۰۷ ^{ab}
Cu25Zn50	۳۶/۲۷ ^a	۲۴۰/۱۰ ^a	۲۹۱۳/۳۳ ^a	۱۲۲/۳۰ ^f	۱۷۲/۴۷ ^a	۳۱/۳۰ ^e	۰/۲۲۵ ^a	۰/۲۲۵ ^a	۰/۲۲۵ ^a	۰/۲۲۵ ^a

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

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر مس و روی بر جذب عناصر غذایی مورد بررسی

فسفر	مگنیز		آهن			روی			مس	
	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	تیمارها	
(mg/pot)	(mg/pot)	(μg/pot)	(μg/pot)	(μg/pot)	(μg/pot)	(μg/pot)	(μg/pot)	(μg/pot)	(μg/pot)	
۹/۶۱ ^a	۲/۱۶ ^e	۳۲۲/۱۷ ^d	۱۳۰/۳۱ ^d	۱۲۲۱/۲۲ ^b	۲۱۶۵ ^e	۲۷۵/۸۶ ^g	۱۶۴/۶۶ ^f	۳۰/۲۶ ^g	۸/۱۶ ^g	Cu ₀ Zn ₀
۹/۴۳ ^a	۲/۳۴ ^d	۳۹۷/۶ ^b	۱۷/۴۳۱ ^c	۵۲۱/۲۶ ^b	۵/۶۱۵ ^e	۵۱۱/۷ ^d	۱۸۶/۶۷ ^{de}	۴۶/۵۸ ^e	۱۲/۶۹ ^f	Cu ₀ Zn ₁₀
۶/۸۶ ^c	۲/۵۷ ^{bc}	۲۰۸/۹۵ ^f	۱۷۹/۹۹ ^b	۸۲۹/۵۲ ^d	۳۲۱۰/۷ ^b	۷۰۶/۹ ^b	۲۲۸/۶۷ ^{ab}	۲۱/۴۱ ^g	۲۰/۶۰ ^d	Cu ₀ Zn ₅₀
۹/۲۷ ^a	۲/۱۰ ^c	۳۵۵/۷۶ ^c	۱۳۴/۴۵ ^{cd}	۱۲۱۱/۰۲ ^b	۲۲۶۹/۵ ^{de}	۳۱۵/۷۴ ^g	۱۷۹/۳۲ ^{cf}	۶۳/۳۱ ^d	۱۴/۹۹ ^e	Cu ₅ Zn ₀
۹/۷۱ ^a	۲/۶۴ ^b	۵۵۹/۳۶ ^a	۱۷۲/۱۶ ^b	۶۱۱۷/۹۰ ^a	۳۰۰۷/۴ ^b	۵۹۳/۲ ^c	۲۳۳/۵۵ ^a	۸۶/۹۳ ^c	۲۷/۶۷ ^c	Cu ₅ Zn ₁₀
۷/۴۴ ^c	۱/۹۶ ^f	۲۰۴/۲۵ ^f	۱۳۳/۳۰ ^{cd}	۷۹۳/۵۵ ^d	۲۵۳۶/۵ ^e	۷۹۲/۵۷ ^a	۱۸۴/۹۴ ^{de}	۳۵/۷۷ ^f	۲۱/۴۳ ^d	Cu ₅ Zn ₅₀
۸/۴۱ ^b	۲/۴۴ ^{cd}	۲۶۷/۵۲ ^c	۱۷۴/۰۷ ^b	۹۹۳/۳۷ ^c	۳۰۲۱/۵ ^b	۲۰۷/۰۷ ^h	۱۷۴/۶۸ ^{ef}	۱۰۸/۵۵ ^b	۳۰/۴۹ ^b	Cu ₅ Zn ₀
۸/۳۳ ^b	۲/۹۰ ^a	۲۵۸/۱۴ ^e	۲۰۳/۰۳ ^a	۹۳۱/۷۰ ^{cd}	۳۴۳۴/۳ ^a	۳۵۲/۴۸ ^{ef}	۲۱۴/۱۳ ^{bc}	۱۳۴/۰۵ ^a	۴۲/۲۴ ^a	Cu ₅ Zn ₁₀
۶/۱۱ ^d	۱/۹۷ ^f	۱۵۶/۱۳ ^g	۵۷/۴۳۱ ^e	۶۱۲/۲۰ ^e	۲۴۵۳ ^{cd}	۳۷۰/۱۷ ^e	۲۰۲/۰۷ ^{cd}	۶۵/۰۵ ^d	۳۰/۵۱ ^b	Cu ₅ Zn ₅₀

ارقام در هر ستون با حروف کوچک یکسان نشان دهنده تفاوت معنی دار نیست. مقادیر در هر ستون با حروف کوچک مختلف نشان دهنده تفاوت معنی دار است. خط اطمینان ۰.۰۵٪ استفاده شده است. مقادیر در هر ستون با حروف کوچک مختلف نشان دهنده تفاوت معنی دار نیست. مقادیر در هر ستون با حروف کوچک مختلف نشان دهنده تفاوت معنی دار است. خط اطمینان ۰.۰۵٪ استفاده شده است. مقادیر در هر ستون با حروف کوچک مختلف نشان دهنده تفاوت معنی دار نیست. مقادیر در هر ستون با حروف کوچک مختلف نشان دهنده تفاوت معنی دار است. خط اطمینان ۰.۰۵٪ استفاده شده است.

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 به وسیله تقطیر با آب با استفاده از دستگاه کلونجر، فلزات در تفاله بعد تقطیر باقی می‌ماند و تولید اسانس عاری از فلزات مستدل می‌باشد. اسکورا و چانگ (۴۳) 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 به دلیل 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 آوویو 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 به دلیل 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 داده‌ها (جدول ۳ و ۴) 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

روی تا سطح ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم غلظت و جذب مس شاخساره به ترتیب ۵۳/۲۰ و ۵۳/۹۳ درصد و غلظت و جذب مس ریشه به ترتیب 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 به ترتیب ۸/۳۸ و ۲۹/۲۴ درصد نسبت به شاهد کاهش و غلظت و جذب مس ریشه به ترتیب ۱۶۸/۵۵ و ۱۵۲/۴۵ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که کاهش در غلظت و جذب مس اندام هوایی در سطوح بالای روی به دلیل اثرهای ضدیتی و برهم خوردن تعادل عناصر غذایی در این سطوح باشد. زلفی باوریانی و مفتون (۴) 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 به ترتیب به مقدار ۱۱/۶۰ و ۱۴/۳۰ 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 ۴) 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 به دست 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 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 اونسلا و همکاران (۳۴)، پراتا وید و همکاران (۳۸ و ۴۰) مشابه می‌باشد. غلظت مس در اسانس این گیاه در حد تشخیص دستگاه جذب اتمی نبود و این مبین این

کاربرد این عنصر نشان داد که هر دو سطح روی، سبب افزایش غلظت و جذب این عنصر در گیاه شده است. به طوری که کاربرد ۱۰ و ۵۰ میلی گرم روی در کیلوگرم خاک سبب افزایش غلظت و جذب روی شاخساره به ترتیب به میزان ۸۵/۳۶ و ۲۳۲/۲۸ درصد و ۸۵/۶۲ و ۱۵۶/۲۸ درصد شده است. جذب روی در گیاه با دو سازوکار فعال و غیرفعال صورت می گیرد. جذب غیرفعال از طریق جذب الکترواستاتیکی یون های روی بر دیواره سلولی سلول های ریشه گیاه صورت می گیرد و فعالیت های متابولیکی گیاه بر آن تأثیری ندارند. بنابراین جذب فعال به دلیل وابستگی به فعالیت های متابولیکی گیاه تأمین کننده بخش عمده روی مورد نیاز گیاه می باشد. می توان نتیجه گیری نمود که با افزایش غلظت و فراهمی روی در خاک رشد گیاه افزایش و جذب و انتقال آن به بخش هوایی افزایش می یابد.

استاینوا و دونچوا (۴۶) بر روی گیاه نخودفرنگی نشان داد که با افزایش مصرف روی، میزان روی در ریشه ها، ساقه ها و برگ ها افزایش می یابد. 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 نعنای با کاربرد ۲/۵، ۵ و ۱۵ میلی گرم بر کیلوگرم روی از منبع سولفات روی گزارش داده اند. روی از عناصر کم مصرف است که جزء فلزات سنگین نیز طبقه بندی می شود 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 به وسیله 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، ۵۲/۹۴ - ۱۶/۸۴ میکروگرم بر گرم می باشد. نتایج هم چنین نشان داد که با افزایش روی تا سطح ۱۰ و ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم، افزایش ۱۱/۳۶ و ۴۷/۰۴ درصد و

۱۲/۹۶ و ۳۸/۸۸ درصد به ترتیب در غلظت و جذب این عنصر در ریشه مشاهده شد. همان طور که در جدول ۴ و ۵ مشهود است در کل غلظت روی در ریشه بیشتر از شاخساره بود. احتمالاً گیاه از طریق فعال نمودن سیستم های دفاعی در ریشه باعث رسوب دادن روی در ریشه می گردد و یا مسیرهایی که امکان انتقال روی از این طریق امکان پذیر باشد را مسدود نماید. در واقع این تفاوت غلظت نشان دهنده مقاومت گیاه در برابر انتقال روی از ریشه به اندام هوایی می باشد و به نوعی می توان بیان نمود که نوعی سازوکار دفاعی و مقاومت به غلظت زیاد روی می باشد (۲۴). هم چنین با توجه به اینکه در جذب عناصر غذایی غیرمتحرک در خاک ویژگی های ریشه گیاه مانند سرعت رشد ریشه، سرعت جذب عنصر توسط ریشه، طول کل ریشه و سطح جذب ریشه مؤثر هستند (۳۹) لذا می توان نتیجه گرفت که با گسترش ریشه در غلظت های پایین و دسترسی به سطح بیشتر جذب عناصر افزایش می یابد.

پانده و همکاران (۳۹) افزایش تدریجی در غلظت و جذب روی ریشه تحت تیمارهای ۲/۵، ۵ و ۱۵ میلی گرم بر کیلوگرم روی در گیاه نعنای را گزارش کرده اند. زلجازکوف و نیلسون (۴۹) آزمایش مزرعه ای را با استفاده از نعنای فلفلی (Peppermint) و نعنای صحرایی (Cornmint) در سه فاصله مختلف (۴۰۰ متر، ۳۰۰۰ متر و ۱۰۰۰۰ متر) از کارخانه ذوب فلزات غیر آهنی (NFMC) انجام و گزارش کردند که با نزدیک شدن به کارخانه به دلیل افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک و هوا با فعالیت کارخانه، غلظت روی در ریشه و اندام هوایی این گیاهان افزایش می یافت و غلظت روی در برگ ها < ریشه < ساقه = ریزوم بود. این محققان هم چنین گزارش کردند که زیادی غلظت روی در برگ نسبت به ریشه به دلیل 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 ۴ و ۵ آمده است. همان طور که ملاحظه می شود کاربرد ۵ میلی گرم مس در کیلوگرم خاک سبب افزایش غلظت (۱۹/۷۶ درصد) و جذب روی شاخساره

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 ۴ و ۵ ارائه شده است. همان‌طور که 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 به ترتیب در غلظت و جذب آهن بخش هوایی شده است. این امر مبین اثرهای ضدیتی بین آهن و روی و کاهش 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 (۶). آدیولوگلو (۱۲) گزارش کرد که در یک خاک آهکی مقدار آهن در ذرت با کاربرد روی کاهش معنی‌داری پیدا کرد که به دلیل رابطه ضدیتی بین روی و آهن بوده است. روند تغییرات غلظت و جذب آهن در ریشه بر خلاف شاخساره بود، به طوری که اعمال تیمارهای روی ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به ترتیب باعث افزایش غلظت و جذب آهن به میزان

(۱۴/۴۵ درصد) شد و بعد از آن یعنی در غلظت ۲۵ میلی‌گرم/روی در کیلوگرم خاک غلظت و جذب روی شاخساره کاهش ۱۵/۲۰ و ۲۴/۹۳ درصد را نسبت به شاهد نشان داد. هم‌چنین غلظت و جذب روی ریشه افزایش ۱۱/۴۰ 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 ۴۰ 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

میلی گرم در کیلوگرم مس و ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم روی به دست آمد. هم چنین بالاترین غلظت و جذب آهن ریشه از سطح ۲۵ میلی گرم در کیلوگرم مس و ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم روی و پایین ترین آن در تیمار شاهد مشاهده گردید (جدول ۴ و ۵)

غلظت و جذب منگنز

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲ و ۳) نشان دهنده اثر معنی دار مس و روی بر جذب منگنز ریشه و شاخساره می باشد. مقایسه میانگین مربوط به اثر روی و مس بر غلظت و جذب منگنز شاخساره و ریشه در جدول ۴ و ۵ آمده است. همان طور که ملاحظه می شود، غلظت و جذب منگنز شاخساره با کاربرد ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم روی افزایش ۶۶/۰۸ و ۲۳/۶۲ درصد و کاربرد ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم همین عنصر کاهش ۵۱/۹۹ و ۳۵/۱۴ درصدی را نسبت به شاهد نشان داد. نتایج موجود هم چنین نشان می دهد که افزایش ۱۲۸/۷۲ و ۱۸۸/۹۳ درصد در غلظت و ۱۱/۱۲ و ۳۸/۱۲ درصد در جذب منگنز ریشه به ترتیب در تیمار ۱۰ و ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم روی مشاهده گردید. از آنجا که عناصر روی و منگنز توسط ناقل های مشابهی جذب و انتقال می یابند، تحت شرایط زیادی روی، تجمع منگنز در بخش هوایی کاهش می یابد (۱۲). پانده و همکاران (۳۹) گزارش کردند که با افزایش روی قابل جذب خاک غلظت و جذب منگنز ریشه و بخش هوایی گیاه نفع افزایش معنی داری نسبت به شاهد داشت. ولی فیضی اصل و ولیزاده (۵) وجود اثرهای منفی بین روی و منگنز را گزارش داده اند. همان طوری که در جدول ۴ و ۵ مشخص است، افزایش مس تأثیر معنی دار بر غلظت و جذب منگنز شاخساره و ریشه داشته است. به طوری که کاربرد ۵ و ۲۵ میلی گرم مس در کیلوگرم خاک، افزایش ۶۳/۲۱ و ۲۰۱/۸۹ درصد در غلظت منگنز شاخساره و ۲۰۲/۵۵ و ۳۳۱/۴۸ درصد در غلظت منگنز ریشه را سبب گردید. هم چنین در سطح ۵ میلی گرم مس بر کیلوگرم جذب مس ریشه و اندام هوایی به ترتیب افزایش ۳/۱۷ و ۱۰/۴۲ درصدی را نشان داد. کاربرد سطح ۲۵ میلی گرم مس بر کیلوگرم

۱۳/۹۸ و ۵۷/۵۶ درصد و ۱۶/۲۳ و ۴۸/۳۰ درصد شده است. به نظر می رسد روی به عنوان یک کاتیون رقیب از انتقال متابولیک فعال آهن به مکان های جذب در ساقه جلوگیری می کند و باعث افزایش غلظت آهن در ریشه می گردد (۲۱). پانده و همکاران (۳۹) گزارش کردند که با افزایش میزان روی در خاک، غلظت و جذب آهن در گیاه دارویی نفع نسبت به شاهد کاهش داشت که با نتایج به دست 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 میلی گرم مس در کیلوگرم با شاهد معنی دار نگردیده است ولی با افزایش تیمار ۲۵ میلی گرم مس در کیلوگرم خاک، غلظت و جذب این عنصر در شاخساره به ترتیب ۷/۹۹ و ۱۸/۶۵ درصد نسبت به شاهد کاهش داشت. به طور کلی اثبات گردیده است که زیادبود مس باعث آسیب رسیدن به پلاسما، کاهش یونها و افزایش پراکسیداسیون لیپید، کاهش آهن در کلروپلاست می گردد. آهن یکی از کوفاکتوهای مسیر بیوستنز کلروفیل می باشد که کاهش مقدار آن در زیاد بود مس باعث آسیب رسیدن به تشکیل کلروفیل و جذب عناصر معدنی به وسیله گیاه می گردد (۲۷).

نتایج این تحقیق با یافته های رضاخانی و همکاران (۳) در مورد گیاه اسفناج مغایرت داشت. این محققان نشان دادند که با افزایش سطوح مس، غلظت آهن بخش هوایی گیاه اسفناج به طور معنی داری افزایش یافت. وجود رابطه برهمکنش منفی بین مس و آهن در مطالعات ابوزید و ابوخوا (۱۰) در گیاه ذرت گزارش گردیده است. در مورد جذب آهن ریشه همچون شاخساره اثر ۵ میلی گرم مس بر کیلوگرم با شاهد معنی دار نشد و تنها تیمار ۲۵ میلی گرم مس بر کیلوگرم باعث افزایش ۴۷/۱۲ و ۳۹/۵۶ درصد به ترتیب 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 (جدول ۲ و ۳) در سطح احتمال یک درصد معنی دار است. بالاترین غلظت و جذب آهن بخش هوایی از سطح ۵ میلی گرم در کیلوگرم مس و ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم روی و و پایین ترین مقدار آن از سطح ۲۵

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 مارشئر (۳۰)، سینگ و همکاران (۴۴) مبنی بر وجود رابطه ناسازگاری بین فسفر و روی را تأیید می‌نماید. بونت و همکاران (۱۸) و اده‌جی 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 ۴) 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 ۴ و ۵ آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، کاربرد ۲۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم باعث کاهش معنی‌دار و ۱۲/۴۸ 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 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.

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 به ترتیب ۲۰، ۲۶ و ۲۶ درصد و ریشه را به ترتیب ۵۲، ۴۴ 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 به دلیل 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 ۴) 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 ۲۸/۶۱ 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 به ترتیب افزایش ۶ و ۲۶ درصدی در غلظت و ۳۳/۸ 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.

نتیجه گیری

احتیاط بیشتری است. در سطح ۲۵ میلی گرم 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 زمین های کشاورزی دارای آلودگی های نزدیک به ۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم کشت شود نباید به عنوان سبزیجات تازه و خشک شده مصرف شود. در سطح ۵۰ میلی گرم 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 می شود با توجه به ابعاد مختلف موضوع، نظیر تولید اسانس عاری از فلز و اقتصادی بودن اسانس تولید شده، کشت و کار این گیاه در خاک های دارای آلودگی های کمتر از حدود بحرانی مس و روی با احتیاط و نظارت بیشتر در سطح مزرعه مطالعه و بررسی گردد.

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، می توان چنین نتیجه گیری 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. هم چنین 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 می باشد و از آنجا که تنها برگ و ساقه های این گیاه به عنوان یک گیاه دارویی استفاده می شود لذا انباشت فلزات در ریشه این گیاه دارویی به عنوان خطر جدی برای سلامتی انسان مطرح نیست اگر چه این نظر نیازمند دقت و

منابع مورد استفاده

- 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 گلخانه ای، مجله علوم و فنون کشت های گلخانه ای. ۳(۱۲): ۴۲-۲۹
- 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): ۴۴-۲۹
- رضاخانی، ل، گلچین، ا و شفیع، 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
- 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. ۱۴ (۵۴): ۱۲۰-۱۱۱.
- 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. ۶ (۳): ۲۳۸-۲۲۳
- ملکوتی، م. ج، طهرانی، م. م. ۱۳۸۴. نقش ریزمغذی ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی (عناصر خرد با تأثیر کلان). چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس
- 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. Ebrahim. 2007. Phytoremediation 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 2nd 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 sludge 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 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. Zheljzkov, 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. Zheljzkov, 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. Zheljzkov, 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.