نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد پنجم، شماره دوم، ۱۳۹٤
http://ejsms.gau.ac.ir

# بررسی تغییرات جذب عناصر کم‌مصرف و پرمصرف در گیاه دارویی پونه (*Mentha Pulegium* L.) کشت شده در شرایط گلخانه‌ای تحت‌تأثیر عناصر مس و روی

**حمایت عسگری‌لجایر[۱]، غلامرضا ثواقبی‌فیروزآبادی[۲]، *بابک متشرع‌زاده[۳] و جواد هادیان[۴]**

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، [۲]استاد فقید گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، [۳]دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، [۴]استادیار گروه مهندسی کشاورزی، پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی، دانشگاه شهید بهشتی تهران

تاریخ دریافت: ۹۳/۱/۱۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/۵

## چکیده

**سابقه و هدف:** استفاده از عوامل به‌زراعی یکی از روش‌های معمول در تولید گیاهان دارویی می‌باشد. مس و روی از عناصر کم‌مصرف و عوامل به‌زراعی بوده که در غلظت‌های پایین، رشد و نمو گیاهان را افزایش می‌دهد، در حالی‌که غلظت‌های بالای این عناصر می‌تواند به‌عنوان یک عامل محدودکننده، نشانه‌های نامطلوبی در گیاه ایجاد کند. از طرف دیگر، کشت و کار گیاهان دارویی در خاک‌های دارای آلودگی فلزات سنگین مانند مس و روی به‌دلیل عدم انتقال این عناصر به داخل متابولیت‌های ثانویه توصیه گردیده است. در مورد تأثیر فلزات سنگین و عناصر کم‌مصرف در گیاهان زراعی و سبزیجات پژوهش‌های وسیعی صورت گرفته، ولی رفتار گیاهان دارویی در چنین شرایطی خوب مطالعه نشده است. از آن‌جا که پدیده کمبود و بیش‌بود مس و روی در کشور قابل مشاهده بوده، بنابراین در این پژوهش جذب عناصر کم‌مصرف و پرمصرف توسط گیاه دارویی پونه در یک خاک دچار کمبود و بیش‌بود عناصر مس و روی در شرایط گلخانه مورد بررسی قرار گرفت.

**مواد و روش‌ها:** این آزمایش به‌صورت فاکتوریل شامل سه سطح مس (صفر، ۵ و ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک از منبع سولفات مس) و سه سطح روی (صفر، ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک از منبع سولفات روی) و برهمکنش آن‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه طراحی و اجرا شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که بیش‌ترین جذب مس (۳۱۷/٤ میکروگرم بر گلدان) و روی ( ۱۸۱۸/۲۷ میکروگرم بر گلدان) اندام هوایی به‌ترتیب از تیمار $Cu_{25}Zn_{10}$ و $Cu_5Zn_{50}$ به‌دست آمد. بیش‌ترین جذب آهن و منگنز اندام هوایی به‌ترتیب به‌میزان ۳٦۷٤/۱۲ و ۱۵۳۷/٤۱ میکروگرم بر گلدان، فسفر و پتاسیم اندام هوایی به‌ترتیب به‌میزان ۲۱/۸۸ و ۳۸۰/۵۲ میلی‌گرم بر گلدان از تیمار $Cu_5Zn_{10}$ حاصل شد. بیش‌ترین جذب مس، روی، آهن و منگنز ریشه به‌ترتیب به‌میزان ۲۹۱/۳۳، ۱۸۰۲/۸۵، ۱۸۷٤٤/٤ و ۱۲۳۵/٦۸ میکروگرم بر گلدان، فسفر به‌میزان ۲۲/۵٦ میلی‌گرم بر گلدان در تیمار $Cu_{25}Zn_{50}$ و پتاسیم به‌میزان ۱۱۵/۹٤ میلی‌گرم بر گلدان در تیمار $Cu_5Zn_{50}$ مشاهده گردید.

* مسئول مکاتبه: moteshare@ut.ac.ir

**نتیجه‌گیری:** نتایج این بررسی نشان داد که گیاه دارویی پونه دارای قدرت جذب و انتقال بالای از عناصر به اندام هوایی می‌باشد. با توجه به این‌که گیاه دارویی پونه جنبه تازه‌خوری و ادویه‌ای نیز داشته، بنابراین مصرف پونه کشت شده در خاک‌های دارای آلودگی مس و روی به‌علت جذب و انتقال این عناصر به اندام هوایی با احتیاط لازم صورت گیرد. تیمار ترکیبی سطوح پایین مس و روی بیش‌ترین جذب پتاسیم، فسفر و منگنز و آهن اندام هوایی را ایجاد کرد. ولی در تیمار ترکیبی سطوح بالاتر این عناصر بر همکنش منفی بین مس، روی، آهن و منگنز، فسفر و پتاسیم مشاهده گردید. پس باید در میزان کاربرد آن‌ها همراه با یکدیگر دقت لازم صورت می‌گیرد.

***واژه‌های کلیدی:*** پونه، جذب، عناصر پرمصرف، عناصر کم‌مصرف، فلزات سنگین

## مقدمه

امروزه گرایش به استفاده از کشت و کار گیاهان دارویی در سطوح زراعی و گلخانه‌ای به جای جمع‌آوری از طبیعت رو به افزایش است. با توجه به محاسن کشت گیاهان دارویی در مقایسه با جمع‌آوری از طبیعت، اهلی‌سازی و کشت این گیاهان در حال جایگزینی با جمع‌آوری آن‌ها از طبیعت می‌باشد (۱۱). در حال حاضر در دنیا برای پرورش و تولید گیاهان دارویی نه‌تنها به روش‌های به‌نژادی اکتفا نمی‌شود، بلکه استفاده از عوامل به‌زراعی و امکانات موجود به‌زراعی، یکی از روش‌های معمول در تولید گیاهان دارویی می‌باشد (۳۵). عناصر کم‌مصرف از عوامل به‌زراعی بوده که بشر از سالیان پیش به‌منظور دستیابی به محصول بیش‌تر و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی از این عناصر استفاده نموده است (۲٤). مس و روی از عناصر کم‌مصرف ضروری هستند، به‌گونه‌ای که اگر در دسترس گیاه کم‌تر یا بیش‌تر از حد نیاز گیاه باشد، اختلالاتی را در فرآیندهای حیاتی گیاه به وجود می‌آورد (۲۵). از آن‌جا که پدیده کمبود و بیش‌بود مس و روی در کشور قابل مشاهده است (۲٦)، بنابراین بررسی این پدیده روی گیاهان دارویی دارای اهمیت می‌باشد.

گیاه پونه از جمله گیاهان دارویی است که به‌واسطه اثرات دارویی از دیرباز توجه پژوهشگران را به خود معطوف داشته است. مصرف این گیاه به شکل‌های مختلف دارویی، غذایی و بهداشتی موجب برتری این گیاه نسبت به سایر گیاهان دارویی شده است. برگ‌های پونه برای ایجاد طعم و مزه، درست کردن چای و به‌عنوان ادویه استفاده می‌شوند (۱٤). اگرچه در مورد تنش فلزات سنگین در گیاهان زراعی و سبزیجات پژوهش‌های وسیعی صورت گرفته (٦ و ۸)، اما رفتار گیاهان دارویی در چنین شرایطی خوب مطالعه نشده است. به‌طورکلی، پژوهش‌های انجام‌یافته درباره گیاهان دارویی در اکوسیستم‌های طبیعی و زراعی گویای آن بوده که کشت و کار گیاهان دارویی در خاک‌های آلوده، به‌دلیل تطابق با شرایط محیطی به‌وسیله افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه و عدم مشکل وارد شدن این فلزات به زنجیره غذایی در صورت مصرف متابولیت‌های ثانویه، گزینه مناسبی برای کشت و کار در این خاک‌ها می‌باشد (۵ و ۳٦). متابولیت‌های ثانویه براساس منشأ زیست‌ساختی به سه گروه مهم ترپن‌ها، فنول‌ها و ترکیبات نیتروژن‌دار تقسیم‌بندی می‌شوند. اسانس‌ها از یک سری ترکیبات پیچیده شیمیایی ساخته شده‌اند که عمدتاً شامل ترکیبات ترپنی هستند (۱۱). گیاهان دارویی اسانس‌دار در مقایسه با دیگر گیاهان مزیت‌های قابل‌توجهی دارند مانند فلزات سنگین وارد محصول نهایی تولیدی (اسانس) نمی‌شوند (۳۳). تاکنون در خصوص جذب

عناصر کم‌مصرف و نیز فلزات سنگین و تأثیر آن‌ها بر خصوصیات کمی یا کیفی پونه در سطح ملی تحقیقاتی صورت نگرفته است. برنال و همکاران (۲۰۰۷) اثر سطوح ۰/۱، ۱۰ و ۵۰ میکرولار مس را بر جذب مس، روی و آهن گیاه سویا بررسی و گزارش کردند که با افزایش مس، جذب مس اندام هوایی افزایش و جذب روی و آهن کاهش یافت (٦). علی و همکاران (۲۰۰۲) تأثیر سطوح مختلف مس (۷/۸۵، ۱۵/۷و ۷۸/۷ میکرومولار مس) را بر جذب برخی عناصر در گیاه ذرت بررسی و گزارش کردند که با افزایش مس غلظت مس اندام هوایی افزایش یافت؛ در تمام سطوح مورد مطالعه، غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در ریشه و اندام هوایی کاهش ولی عناصر آهن و روی افزایش را نشان دادند (۳).

با توجه به اهمیت مس و روی به‌عنوان عناصر کم‌مصرف در رشد گیاه و تولید متابولیکی آن، انجام یک مطالعه جامع در این زمینه می‌تواند در جهت افزایش عملکرد مؤثر باشد. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر مس و روی بر جذب عناصر کم‌مصرف و پرمصرف در ریشه و اندام هوایی گیاه دارویی پونه در شرایط گلخانه انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف مس و روی بر غلظت و جذب عناصر کم‌مصرف و پرمصرف در ریشه و اندام هوایی گیاه دارویی پونه، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، در بهار سال ۱۳۹۱ در گلخانه گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران انجام شد. جهت تهیه نمونه خاک با میزان مس و روی ناچیز، از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری مناطق مختلف نمونه‌های خاک جمع‌آوری و پس از تجزیه آن‌ها خاک مورد نظر انتخاب و برای انجام آزمایش به گلخانه آورده شد. پس از هوا خشک کردن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن شامل بافت خاک به روش هیدرومتری، رطوبت ظرفیت مزرعه به روش صفحه فشاری، pH و EC در عصاره اشباع، CEC خاک به روش باور، درصد کربن آلی به روش والکی-بلک، درصد کربنات کلسیم معادل، به روش حجم‌سنجی، نیتروژن کل خاک به روش هضم کجلدال، فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم ۰/۵ مولار به روش اولسن، پتاسیم قابل‌جذب به روش استخراج با استات آمونیوم نرمال و غلظت عناصر کم‌مصرف کاتیونی مثل روی، مس، آهن و منگنز با عصاره‌گیر DTPA تعیین گردید (۲) (جدول ۱). برای کشت گلخانه‌ای، خاک تهیه شده ابتدا از الک ٤ میلی‌متری عبور داده شد. در این آزمایش از گلدان‌های پلاستیکی ٤ کیلوگرمی (گلدان‌ها از جنس پلی‌اتیلن و وزن خالی هر گلدان ۱۰±۲۸۰ گرم با قطر ۱۵/۵ و ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر) استفاده گردید. 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 (۵ میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک) و تیمار بیش‌بود مس (۲۵ میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک) و سه سطح روی از منبع سولفات روی $ZnSO_4.2H_2O$ شامل تیمارهای شاهد یا کمبود روی (صفر)، تیمار کفایت روی (۱۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک) و تیمار بیش‌بود روی (۵۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک) و برهمکنش آن‌ها تشکیل دادند. حد بحرانی مس و روی قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک‌های آهکی حدود ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش شده است (۲۳). همچنین حداکثر مجاز مس و روی کل، در خاک‌های کشاورزی به‌ترتیب ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک می‌باشد (۱۷). لازم به ذکر می‌باشد که مقادیر ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای حداکثر

مجاز مس و روی، مقدار کل این عناصر بوده و مقدار قابل‌جذب، خیلی کم‌تر از این مقدار هست. در این پژوهش، با توجه به سبک بودن بافت خاک و احتمال غیرقابل جذب شدن بخش کوچکی از عناصر مذکور به‌دلیل داشتن مقدار رس کم‌تر، سطوح بیش‌بود عناصر طوری انتخاب گردید که مقدار قابل‌جذب این عناصر پس از دوره انکوباسیون در محدوده بیشینه مقدار مجاز قرار گیرد و تنش اندکی به گیاهان وارد شده باشد. برای اعمال تیمارها در هر گلدان، عناصر مس و روی به‌صورت نمک‌های محلول در ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شده و به‌طور یکنواخت و به‌صورت لایه لایه به سطح خاک اسپری 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 ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، به‌منظور حصول تعادل عناصر مس و روی با خاک، گلدان‌ها به‌مدت ۲ ماه در دمای اتاق انکوباسیون گردید. در طول دوره انکوباسیون، آبیاری در حد ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و برهم زدن خاک هر گلدان پیوسته انجام گردید تا فرآیند تعادل عناصر با خاک بهتر صورت گیرد (۳٤). برای جلوگیری از کمبود احتمالی عناصر، قبل از کشت و با توجه نتایج آزمون خاک، عناصر غذایی پتاسیم و فسفر بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب به مقدار ۷۰ (از منبع سولفات پتاسیم) و ٤ (از منبع سوپرفسفات تریپل) با خاک گلدان‌ها مخلوط گردید. همچنین عنصر نیتروژن به‌صورت تقسیط در ٤ قسط شامل (زمان کاشت، مرحله رشد سریع ساقه، آستانه گلدهی، اواسط گلدهی) و هر قسط ٦۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع اوره همراه با آب آبیاری به هر گلدان اضافه گردید. قلمه ریزوم پونه در خزانه کشت و پس از رسیدن به مرحله سه‌برگی به تعداد ٤ عدد گیاهچه یکنواخت به هر گلدان انتقال داده شدند. آبیاری گلدان ها تا پایان آزمایش به‌وسیله آب مقطر تا رسیدن به دامنه ۷۰ تا ۸۰ درصد ظرفیت زراعی به روش وزنی صورت گرفت. گلدان ها هر هفته به‌طور تصادفی بر روی سینک گلخانه جابه‌جا شدند. دوازده هفته پس از کاشت و رسیدن به مرحله گلدهی کامل، گیاهان از محل طوقه قطع شدند. بدین‌صورت اندام هوایی و ریشه از هم جدا شدند. سپس ریشه‌ها به دقت از خاک خارج گردیدند. به‌منظور جلوگیری از هدررفت ریشه‌های مویین، شستشوی ریشه‌ها روی الک انجام شد. نصف گیاهان در هر گلدان برای اسانس‌گیری جدا گردید. نصف دیگر اندام هوایی نیز با آب مقطر شستشو شد و همراه ریشه‌ها، هوا خشک گردید. نمونه‌ها پس از قرار گرفتن در پاکت کاغذی، به‌مدت ۷۲ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شدند. نمونه‌ها پس از توزین جهت تجزیه شیمیایی پودر شدند. به‌منظور اندازه‌گیری غلظت عناصر مس، روی، آهن و منگنز در ریشه و اندام هوایی گیاه دارویی پونه از روش اکسیداسیون خشک استفاده گردید. یک گرم از نمونه‌های پودر شده اندام هوایی و ریشه با دقت ۰/۰۰۰۱ وزن و داخل کروزه ریخته شد. کروزه داخل کوره با دمای ۵۵۰ درجه به‌مدت ۵ ساعت، قرار داده شد. سپس نمونه گیاهی با استفاده از ۲۰ میلی لیتر اسید کلریدریک نرمال و حرارت روی اجاق شنی، هضم و عصاره تهیه گردید. در این عصاره‌ها عناصر روی، مس، آهن و منگنز با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu-AA6400 قرائت گردید. برای اندازه‌گیری فسفر و پتاسیم از عصاره تهیه شده برای عناصر مس، روی، منگنز و آهن استفاده شد و فسفر به روش مولیبدات وانادات (روش زرد) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Shimadzu U73100 و پتاسیم به روش شعله‌سنجی توسط دستگاه فیلم‌فتومتر Corning Flame Photometer 410 تعیین گردید

(۱۰). بررسی غلظت عناصر به‌دلیل بوجود آمدن اثر رقت، گاهی متناقض به‌نظر می‌رسد؛ بنابراین جذب عناصر [جذب کل (میکروگرم بر گلدان= وزن ماده خشک (گرم در گلدان) × غلظت (میکروگرم در گرم)] در این پژوهش مورد بررسی آماری قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ انجام شد. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن (در سطح ۵٪) صورت گرفت. نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شد.

## نتایج و بحث

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱، این خاک از نظر بافت متوسط (لوم شنی)، بدون مشکل شوری یا قلیائیت با مواد آلی کم و خاک آهکی بوده و از نظر مس و روی مورد استفاده در سطح پایینی می‌باشد و برای اعمال تیمارها مناسب به نظر می‌رسد.

**جدول ۱- نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای.**

**Table 1. Physical and chemical properties of soil used in greenhouse culture.**

| ویژگی خاک Soil Characteristic | واحد Unit | مقدار Quantity | ویژگی خاک Soil Characteristic | واحد Unit | مقدار Quantity |
|---|---|---|---|---|---|
| رس Clay | درصد ٪ | 17.46 | منیزیم Magnesium | میلی‌اکی‌والان بر لیتر ($meql^{-1}$) | 2.6 |
| سیلت (٪) Silt | درصد ٪ | 18 | ظرفیت تبادل کاتیونی CEC | سانتی‌مول بار بر کیلوگرم $Cmolckg^{-1}$ | 10.77 |
| شن (٪) Sand | درصد ٪ | 64.56 | نیتروژن کل Total Nitrogen | درصد ٪ | 0.044 |
| کلاس بافت خاک Soil Texture Class | – – | Sandy Loam لوم شنی | فسفر قابل‌جذب Available Phosphorus | میلی‌گرم بر کیلوگرم ($mgkg^{-1}$) | 8.79 |
| اسیدیته pH | – – | 7.4 | پتاسیم قابل‌جذب Available Potassium | میلی‌گرم بر کیلوگرم ($mgkg^{-1}$) | 180 |
| قابلیت هدایت الکتریکی EC | دسی‌زیمنس بر متر ($dSm^{-1}$) | 1.28 | آهن * Fe | میلی‌گرم بر کیلوگرم ($mgkg^{-1}$) | 12.3 |
| کربنات کلسیم معادل $CaCO_3$ | درصد ٪ | 6.77 | منگنز * Mn | میلی‌گرم بر کیلوگرم ($mgkg^{-1}$) | 9.32 |
| کربن آلی Organic Carbon | درصد ٪ | 0.63 | مس * Cu | میلی‌گرم بر کیلوگرم ($mgkg^{-1}$) | 0.63 |
| درصد اشباع Saturation Percentage | درصد ٪ | 29.1 | روی * Zn | میلی‌گرم بر کیلوگرم ($mgkg^{-1}$) | 0.71 |
| سدیم محلول Solution Sodium | میلی‌اکی‌والان بر لیتر ($meql^{-1}$) | 2.46 | بیکربنات $HCO_3^{-1}$ | میلی‌اکی‌والان بر لیتر ($meql^{-1}$) | 4.1 |
| کلسیم محلول Solution Calcium | میلی‌اکی‌والان بر لیتر ($meql^{-1}$) | 8.4 | کلر Cl | میلی‌اکی‌والان بر لیتر ($meql^{-1}$) | 3.8 |

* DTPA-Extractable

**جذب مس و روی اندام هوایی و ریشه:** نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان می دهد که اثر مس و روی و برهمکنش آن‌ها بر جذب این عناصر در ریشه و اندام هوایی در سطح احتمال ۱ درصد ($P\leq ۰/۰۱$) معنی‌دار بوده است. مقایسه میانگین مربوط به تأثیر مس و روی بر جذب این عناصر در اندام هوایی و ریشه در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، در تیمارهای $Zn_{50}$، $Cu_5Zn_{50}$ و $Cu_{25}Zn_{50}$ در مورد جذب مس و در تیمارهای $Cu_{25}$، $Cu_{25}Zn_{10}$ و $Cu_{25}Zn_{50}$ در مورد جذب روی، میزان جذب در ریشه بیش‌تر از اندام هوایی بود. ولی در بقیه تیمارها میزان جذب مس و روی اندام هوایی بیش‌تر بود. نتایج فوق بیانگر این مطلب است که با کاربرد سطح بالای روی به‌صورت تلفیقی با سطوح مس و یا به‌صورت مجزا، میزان جذب مس ریشه و با کاربرد سطح بالای مس به‌صورت تلفیقی با سطوح روی و یا به‌صورت مجزا، میزان جذب روی ریشه بیش‌تر از اندام هوایی گردید. با توجه به محاسبه جذب از حاصل‌ضرب غلظت و وزن ماده خشک از یک طرف و به‌دلیل وجود داشتن اثرات ضدیتی عناصر مس و روی با یکدیگر با کاربرد سطوح بالای آن‌ها در اندام هوایی از طرف دیگر، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که کاربرد سطح بالای یکی از این عناصر با کاهش غلظت دیگری در اندام هوایی، باعث کاهش جذب گردیده است. متعاقباً در ریشه با کاربرد سطح بالای یکی از این عناصر، غلظت عنصر دیگر افزایش و جذب هم افزایش می‌یافت؛ که در نهایت باعث زیادتر شدن جذب در تیمارهای اشاره شده در ریشه گردید. نتایج مشابه در مورد اثر ضدیتی عناصر مس و روی در سطوح بالا به‌وسیله بوربری و طهرانی (۲۰۱۰)، مارشنر (۲۰۱۱)، کوپیتکه و همکاران (۲۰۰٦) و تجمع مس و روی بیش‌تر در ریشه به‌وسیله کوزیکینا و همکاران (۲۰۰٤) و جیانگ و همکاران (۲۰۰۷) گزارش گردیده است (۷، ۲۵، ۱۸، ۲۱ و ۱٦). در گزارش‌های زیادی دلیل تجمع بیش‌تر مس و روی در ریشه نسبت به اندام هوایی، پیوند قوی این عناصر با دیواره سلول‌های ریشه، ظرفیت انتقال پایین از طریق آوند چوبی به اندام هوایی، رقابت در محل‌های جذب ریشه و انتقال عناصر به اندام هوایی، غیرفعال شدن در دیواره سلول‌های ریشه به‌عنوان سیستم دفاعی را ذکر نموده‌اند (۱۲، ۱۷، ۲۵ و ۳۲). در سطوح پایین‌تر مس و روی ($Cu_5Zn_{10}$) نیز نه‌تنها این عناصر اثرات ضدیتی با هم نداشتند، بلکه به‌دلیل فراهم آوردن سطوح مناسبی از عناصر مس و روی، گیاه دارویی پونه هم عنصر غذایی بیش‌تری را جذب کرده و هم انرژی خود را صرف تولید ماده خشک بیش‌تر نموده و به همین دلیل میزان جذب مس و روی اندام هوایی در این تیمارهای آزمایشی بیش‌ترین افزایش را داشته است. نتایج مشابه در مورد رابطه مثبت و سازنده مس و روی در سطوح پایین در پژوهش‌های بوربری و طهرانی (۲۰۱۰)، پرالتا- وید و همکاران (۲۰۰۲) و افزایش جذب به‌دلیل افزایش تولید ماده خشک در پژوهش‌های لیاو و همکاران (۲۰۰۰)، پانده و همکاران (۲۰۰۷) و جیانگ و همکاران (۲۰۰۷) گزارش گردیده است (۷، ۲۹ و ۱٦، ۲۲، ۲۸). همچنین با کاربرد سطوح مس ($Cu_5$ و $Cu_{25}$) و روی ($Zn_{10}$ و $Zn_{50}$) به‌صورت مجزا، به‌ترتیب جذب این عناصر هم در ریشه و هم در اندام هوایی افزایش می‌یافت. ولی به‌دلیل وزن خشک بیش‌تر اندام هوایی نسبت به ریشه، میزان جذب اندام هوایی بیش‌تر از ریشه بود. گزارش‌های زیادی درباره عوامل مؤثر بر جذب، انتقال و توزیع عناصر کم‌مصرف در قسمت‌های مختلف گیاه شده است (۹، ۱۳، ۱۵ و ۲۲). اگرچه، شواهد زیادی مبنی بر جذب فعال این عناصر توسط ریشه گیاهان وجود دارد ولی در غلظت‌های بالای مس و روی در محلول خاک، این جذب عمدتاً به‌صورت غیرفعال و بدون مصرف مستقیم انرژی، از طریق مکانیسم پخشیدگی و تماس ریشه‌ای توسط گیاهان صورت می‌گیرد (۱۷). عوامل

زیادی در قابلیت جذب روی و مس توسط گیاهان دخالت دارند. عوامل خاکی مختلفی از جمله میزان کربنات کلسیم، واکنش خاک، درصد رس و مواد آلی خاک، درصد رطوبت خاک، درصد اکسیدهای آهن و آلومینیوم و عوامل گیاهی از جمله ویژگی‌های ریشه گیاه مانند سرعت رشد ریشه، سرعت جذب عنصر توسط ریشه، طول کل ریشه و سطح جذب ریشه در جذب عناصر غیرمتحرک در خاک دخالت دارند (۹، ۱۵ و ۲۸). پس می‌توان دلیل دیگری بر جذب بیش‌تر مس و روی، سبک بودن بافت خاک، داشتن ماده آلی کم‌تر و داشتن ظرفیت تبادل کاتیونی پایین‌تر، تثبیت کم‌تر این عناصر در خاک و به طبع آن جذب و انتقال این عنصر به شاخساره عنوان کرد (۱۵). نتایج این پژوهش با یافته‌های لیاو و همکاران (۲۰۰۰) مطابقت دارد (۲۲). از آن‌جا که تنها برگ و ساقه‌های این گیاه به‌عنوان یک گیاه دارویی استفاده شده، بنابراین جذب حداکثر فلزات در ریشه این گیاه دارویی به‌عنوان خطر جدی برای سلامتی انسان مطرح نیست. همچنین به‌دلیل نبود استاندارد ملی و بین‌المللی برای حداکثر جذب مس و روی در گیاهان دارویی، باید مصرف پونه کشت شده در خاک‌های دارای آلودگی مس و روی به‌علت جذب و انتقال این عناصر به اندام هوایی با احتیاط لازم صورت گیرد.

**جذب آهن و منگنز ریشه و اندام هوایی:** نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان‌دهنده اثر معنی‌دار شدن مس و روی بر جذب آهن و منگنز ریشه و اندام هوایی می‌باشد. مقایسه میانگین مربوط به اثر روی و مس بر جذب آهن و منگنز اندام هوایی و ریشه در جدول ۳ آمده است. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود، در تمام تیمارهای مورد آزمایش میزان جذب آهن ریشه بیش‌تر از اندام هوایی بود. ولی در مورد منگنز به غیر از تیمارهای شاهد، $Zn_{10}$، $Cu_5$ و $Cu_5Zn_{10}$ میزان جذب ریشه بیش‌تر از اندام هوایی بود. کاربرد تمام سطوح مس و روی به‌کار برده شده در این پژوهش، جذب آهن و منگنز ریشه نسبت به شاهد افزایش داشت. ولی کاربرد مس و روی در سطوح پایین به‌صورت مجزا و یا تلفیقی با یکدیگر، بر جذب آهن و منگنز بخش هوایی اثر مثبت و در سطوح بالا به‌صورت مجزا و یا تلفیقی با یکدیگر بر جذب این عناصر در اندام هوایی اثر منفی داشته است. در این مورد می‌توان بیان نمود که کاربرد سطوح پایین روی از طریق تأثیر مثبت بر وزن خشک و افزایش غلظت آهن و منگنز در اندام هوایی به‌دلیل اثر برهمکنش مثبت و سازنده به افزایش جذب و در سطوح بالا از طریق تأثیر منفی بر این عوامل به کاهش جذب آهن و منگنز در اندام هوایی منجر گردیده است. نتایج این پژوهش با گزارش‌های پانده و همکاران (۲۰۰۷) و برنال و همکاران (۲۰۰۷) مبنی بر تأثیر مثبت مس و روی بر افزایش جذب آهن و منگنز در سطوح پایین و تأثیر منفی این عناصر در سطوح بالا همخوانی دارد (٦ و ۲۸). با کاربرد تمام سطوح مورد استفاده در این پژوهش میزان جذب آهن و منگنز ریشه افزایش می‌یافت. به‌طوری‌که افزایش در سطوح بالا با وجود کاهش وزن خشک ریشه، احتمالاً به‌دلیل تجمع این عناصر در ریشه و عدم انتقال به اندام هوایی نسبت داده شود. نتایج این پژوهش با یافته‌های کواچیک و همکاران (۲۰۱۲) و شهریارپور و تاج‌آبادی‌پور (۲۰۱۰) مطابقت دارد (۲۰ و ۳۱). شواهد موجود نشان می‌دهد که جذب منگنز و آهن عمدتاً فعال و از طریق فعالیت‌های متابولیکی گیاه کنترل می‌گردد. ولی با این‌حال در غلظت‌های زیاد این عناصر در خاک ممکن است به‌صورت غیرفعال هم توسط گیاه جذب گردد (۱۷). با توجه به این‌که مقدار منگنز و آهن موجود در خاک در حد کفایت و تأمین نیاز گیاه بود، می‌توان قضاوت نمود که جذب منگنز و آهن در این پژوهش عمدتاً از جذب فعال و پروسه‌های متابولیکی تأثیر می‌پذیرند. این جذب در خلاف جهت شیب غلظت و با مصرف مستقیم و یا غیرمستقیم انرژی همراه است.

**جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر مس و روی بر جذب مس، روی، آهن، منگنز، فسفر و پتاسیم ریشه و اندام هوایی گیاه پونه.**

**Table 2. Analysis of variance for effect of Cu and Zn on uptake of Cu, Zn, Fe, Mn, P and K in root and shoot of pennyroyal.**

| | میانگین مربعات Mean of squares | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | جذب مس Uptake of Cu | | جذب روی Uptake of Zn | | جذب آهن Uptake of Fe | | جذب منگنز Uptake of Mn | | جذب فسفر Uptake of P | | جذب پتاسیم Uptake of K | | |
| منبع تغییرات Source of Variation | درجه آزادی Degrees of freedoms | ریشه Root | اندام هوایی Shoot | ریشه Root | اندام هوایی Shoot | ریشه Root | اندام هوایی Shoot | ریشه Root | اندام هوایی Shoot | ریشه Root | اندام هوایی Shoot | ریشه Root | اندام هوایی Shoot |
| مس Cu | 2 | 983.50** | 11056.84** | 80.01** | 159589.06** | 373288.91** | 320301.78** | 1810.53** | 30426.05** | 0.072** | 3.97** | 3907.16** | 36701.13** |
| روی Zn | 2 | 202.82** | 5298.05** | 3886.42** | 291852.90** | 564215.82** | 707205.95** | 1758.09** | 77967.28** | 0.601** | 15.93** | 524.63** | 8776.22** |
| مس × روی Zn × Cu | 4 | 77.81** | 404.96** | 1604.28** | 22019.81** | 716168.77** | 62086.64** | 2046.80** | 4973.94** | 0.339** | 0.194$^{ns}$ | 43.96** | 4390.12* |
| خطا Error | 18 | 1.22 | 31.76 | 93.55 | 908.96 | 16739.36 | 3288.36 | 47.99 | 251.33 | 0.005 | 0.152 | 19.54 | 117.15 |
| ضریب تغییرات Coefficient of variation | | 4.78 | 8.56 | 4.92 | 6.57 | 4.73 | 5.41 | 4.39 | 5.42 | 3.11 | 4.67 | 4.76 | 4.24 |

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد و $^{ns}$ غیرمعنی‌دار.

**, * and $^{ns}$ significant at %1, %5 probability level and non-significant respectively.

**جدول ۳- مقایسه میانگین اثر مس و روی بر جذب عناصر غذایی مورد بررسی.**

**Table 3. Mean comparison effect of Cu and Zn on uptake of nutrient.**

| پتاسیم K | | فسفر P | | منگنز Mn | | آهن Fe | | روی Zn | | مس Cu | | تیمارها Treatment |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بخش هوایی Shoot (mg/pot) | ریشه Root (mg/pot) | بخش هوایی Shoot (mg/pot) | ریشه Root (mg/pot) | بخش هوایی Shoot (mg/pot) | ریشه Root (mg/pot) | بخش هوایی Shoot (mg/pot) | ریشه Root (mg/pot) | بخش هوایی Shoot (mg/pot) | ریشه Root (mg/pot) | بخش هوایی Shoot (mg/pot) | ریشه Root (mg/pot) | |
| 256.16$^{c}$ | 91.94$^{c}$ | 18.09$^{c}$ | 12.21$^{e}$ | 1117.19$^{c}$ | 946.14$^{d}$ | 2671.46$^{c}$ | 11968.9$^{f}$ | 1069.53$^{e}$ | 846.76$^{f}$ | 89.52$^{g}$ | 52.88$^{i}$ | شاهد |
| 292.89$^{b}$ | 106.15$^{b}$ | 16.48$^{d}$ | 16.95$^{c}$ | 1278.77$^{b}$ | 1068.43$^{c}$ | 3000.11$^{b}$ | 13725.8$^{d}$ | 1435.96$^{c}$ | 1112.95$^{d}$ | 140.73$^{f}$ | 97.94$^{h}$ | $Zn_{10}$ |
| 265.10$^{c}$ | 110.65$^{ab}$ | 12.77$^{f}$ | 20.00$^{b}$ | 812.74$^{e}$ | 1159.60$^{b}$ | 2184.93$^{e}$ | 17120.3$^{b}$ | 1686.50$^{b}$ | 1393.88$^{b}$ | 66.63$^{h}$ | 139.76$^{f}$ | $Zn_{50}$ |
| 261.97$^{c}$ | 96.30$^{c}$ | 19.82$^{b}$ | 14.10$^{d}$ | 1142.23$^{c}$ | 979.92$^{d}$ | 2738.54$^{c}$ | 12952.8$^{e}$ | 1088.94$^{e}$ | 956.47$^{e}$ | 168.86$^{e}$ | 116.37$^{g}$ | $Cu_5$ |
| 380.52$^{a}$ | 107.96$^{b}$ | 21.88$^{a}$ | 17.46$^{c}$ | 1537.41$^{a}$ | 1134.84$^{b}$ | 3674.12$^{a}$ | 15199.0$^{c}$ | 1676.49$^{b}$ | 1234.58$^{c}$ | 236.59$^{c}$ | 173.65$^{e}$ | $Cu_5Zn_{10}$ |
| 283.85$^{b}$ | 115.94$^{a}$ | 15.04$^{e}$ | 20.52$^{b}$ | 780.92$^{e}$ | 1163.87$^{b}$ | 1965.33$^{f}$ | 17846.4$^{b}$ | 1818.27$^{a}$ | 1385.82$^{b}$ | 98.13$^{g}$ | 198.76$^{d}$ | $Cu_5Zn_{50}$ |
| 215.77$^{d}$ | 65.16$^{d}$ | 15.69$^{ed}$ | 19.17$^{b}$ | 940.45$^{d}$ | 1166.65$^{b}$ | 2427.13$^{d}$ | 15904.2$^{c}$ | 908.02$^{f}$ | 1049.86$^{d}$ | 296.03$^{b}$ | 244.38$^{c}$ | $Cu_{25}$ |
| 196.21$^{e}$ | 69.87$^{d}$ | 15.16$^{e}$ | 19.38$^{b}$ | 813.37$^{e}$ | 1193.22$^{ab}$ | 2120.87$^{e}$ | 15803.5$^{c}$ | 1089.33$^{e}$ | 1191.94$^{c}$ | 317.40$^{a}$ | 263.79$^{b}$ | $Cu_{25}Zn_{10}$ |
| 140.98$^{f}$ | 71.63$^{d}$ | 11.55$^{g}$ | 22.56$^{a}$ | 633.71$^{f}$ | 1235.68$^{a}$ | 1729.87$^{g}$ | 18744.4$^{a}$ | 1291.14$^{d}$ | 1802.85$^{a}$ | 180.22$^{d}$ | 291.33$^{a}$ | $Cu_{25}Zn_{50}$ |

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means having at least one common character in each column does not significant difference at 5% level.

بنابراین همه عوامل مؤثر بر سوخت و ساز و انرژی در دسترس گیاه (فتوسنتز و تنفس) بر جذب این عناصر تأثیر می‌گذارد. سطوح مس و روی به‌عنوان یکی از عوامل خاکی با تحت‌تأثیر قرار دادن رشد و نمو و فتوسنتز و تنفس باعث تغییراتی در جذب منگنز و آهن گردیده است (۱۷، ۲٤ و ۲۵).

**جذب فسفر و پتاسیم ریشه و اندام هوایی:** با توجه به داده‌های تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر مس و روی بر هر چهار پارامتر جذب فسفر ریشه، جذب فسفر اندام هوایی، جذب پتاسیم ریشه و جذب پتاسیم اندام هوایی معنی‌دار بود. ولی اثر برهمکنش این عناصر فقط بر جذب فسفر ریشه معنی‌دار نشد. نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳) ثابت می‌کند که در تمام تیمارهای مورد آزمایش، میزان جذب پتاسیم اندام هوایی بیش‌تر از ریشه بود. ولی در مورد فسفر به غیر از تیمارهای شاهد، $Cu_5$ و $Cu_5Zn_{10}$ میزان جذب ریشه بیش‌تر از اندام هوایی بود. کاربرد تمام سطوح مس و روی به‌کار برده شده در این پژوهش جذب فسفر ریشه نسبت به شاهد افزایش داشت. ولی جذب پتاسیم ریشه به غیر از تیمارهای $Cu_{25}$، $Cu_{25}Zn_{10}$ و $Cu_{25}Zn_{50}$ نسبت به شاهد افزایش داشت. کاربرد تمام سطوح روی به‌صورت مجزا بر جذب فسفر بخش هوایی اثر منفی و بر جذب پتاسیم بخش هوایی اثر مثبت داشته است. کاربرد تلفیقی سطوح پایین مس و روی بر جذب هر دو عنصر اثر مثبت داشته است. ولی کاربرد سطح بالای مس به‌صورت مجزا یا تلفیقی با تمام سطوح روی بر جذب فسفر و پتاسیم اندام هوایی اثر منفی داشته است. در این مورد می‌توان بیان نمود که روی از طریق اثرات ضدیتی قوی با فسفر باعث کاهش غلظت و به تبع آن جذب فسفر اندام هوایی می‌گردد (۱۷، ۲۵ و ۲۸). ولی این کاهش غلظت و جذب فسفر فقط در سطوح بالای مس مشاهده گردیده است (۱)، که دلیل بر تأثیر منفی کم‌تر مس نسبت به روی بر جذب فسفر توسط گیاه می‌باشد. انتقال فسفر از خاک به ریشه گیاه یکی از مسائل مهم در تغذیه گیاهی است. در مورد فسفر به‌دلیل تحرک بسیار اندک آن در خاک قسمت عمده این نقل و انتقال از طریق پخشیدگی انجام می‌شود (۲۳). گزارش شده است که روی و مس هم در خاک و هم در گیاه، مقدار و متابولیسم فسفر را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد، ولی مقدار این تأثیر به غلظت این عناصر در خاک، نوع گونه گیاهی و فیزیولوژی گیاه بستگی دارد (٤، ۱۷ و ۲۵). مس و روی در خاک می‌تواند از طریق تشکیل ترکیبات کم‌محلول و کاهش حلالیت و قابلیت دسترسی فسفر، مقدار فسفر قابل‌جذب گیاه را کاهش دهد (٤ و ۱۷). همچنین زیادی مس و روی در خاک از طریق تحت‌تأثیر قرار دادن خصوصیات مورفولوژیکی ریشه، کاهش جذب فسفر را در پی خواهد داشت (۲۷ و ۳۰). وجود غلظت بالای مس و روی در داخل گیاه باعث کاهش حلالیت فسفر در گیاه و کاهش انتقال آن از ریشه به اندام هوایی خواهد بود (٤ و ۱۷). بنابراین با این توضیحات افزایش جذب فسفر در ریشه و کاهش جذب آن در اندام هوایی مستدل خواهد بود. در مورد پتاسیم باید بیان نمود که مس به‌واسطه تنوع ظرفیت خود در داخل گیاهان در واکنش‌های اکسیداسیون احیا شرکت می‌کند، بنابراین در غلظت‌های زیاد مس، جذب این عنصر توسط ریشه و شاخساره نیز افزایش می‌یابد و باعث تحریک تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر (ROS)، افزایش پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی، آسیب به نفوذپذیری غشای پلاسمایی و نشت یون پتاسیم از سلول‌های تحت تنش به محیط می‌شود. در حالی‌که غلظت بالای روی، به کاهش جذب پتاسیم در ریشه و شاخساره منجر نشده است. شاید دلیل این امر این بوده که روی در واکنش‌های اکسیداسیون احیا شرکت نمی‌کند و در نتیجه به‌دلیل عدم خسارت

اکسایشی یا خسارت اکسایشی کم‌تر، نشت پتاسیم اتفاق نیفتاده است. نتایج این پژوهش با یافته‌های کواچیک و همکاران (۲۰۰۸) و علی و همکاران (۲۰۰۲) مطابقت دارد (۳ و ۱۹).

## نتیجه‌گیری

امروزه کشت و کار گیاهان دارویی در خاک‌های دارای آلودگی فلزات سنگین از جمله مس و روی به‌دلیل عدم انتقال این عناصر به داخل اسانس توصیه می‌گردد، که نتیجه آن می‌تواند تجمع این فلزات در اندام هوایی باشد. با توجه به این‌که گیاه دارویی پونه جنبه تازه‌خوری و ادویه‌ای نیز دارد، باید در کشت و کار این گیاه دارویی در خاک‌های دارای آلودگی فلزات احتیاط لازم صورت گیرد. تیمار ترکیبی سطوح پایین مس و روی بیش‌ترین جذب پتاسیم، فسفر و منگنز و آهن اندام هوایی را ایجاد کرد. ولی در تیمار ترکیبی سطوح بالاتر این عناصر بر همکنش منفی بین مس، روی، آهن و منگنز، فسفر و پتاسیم مشاهده گردید. پس باید در میزان کاربرد آن‌ها همراه با یکدیگر دقت لازم صورت می‌گیرد.

## منابع


1.Adedeji, F., and Fanimokun, V. 1984. Copper deficiency and toxicity in two tropical leaf vegetables (*Celosia argentea* L.) and (*Amaranthusdubius*mart. ex thell). Environmental and experimental botany. 24: 105-110.

2.Ali Ehyaei, M., and Behbahanizadeh, A. 1993. Methods of chemical analysis of soil, Vol. 1, Publication No. 893. Soil and Water Research Institute. Tehran. 129p.

3.Ali, N.A., Bernal, M.P., and Ater, M. 2002. Tolerance and bioaccumulation of copper in Phragmitesaustralis and *Zea mays*. Plant and Soil. 239: 103-111.

4.Alloway, B.J. 2004. Zinc in soils and crop nutrition, International Zinc Association, Belgium and France, 130p.

5.Bagdat, E., and Ebrahem, M. 2007. Phytoremedation behaviour of some medicinal and aromatic plants to various pollutants. J. Field Crops Central Res. Ins. (Ankara), 16: 1-2. 1-10.

6.Bernal, M., Cases, R., Picorel, R., and Yruela, I. 2007. Foliar and root Cu supply affect differently Fe-and Zn-uptake and photosynthetic activity in soybean plants. Environmental and experimental botany. 60: 145-150.

7.Boorboori, M.R., and Tehrani, M.M. 2010. The effect interaction of amounts and Methods applications of copper and zinc on plant characteristics and grain protein of wheat. Crop Physiol. J. 2: 8. 29-44. (In Persian)

8.Bouazizi, H., Jouili, H., Geitmann, A., and El-Ferjani, E. 2010. Copper toxicity in expanding leaves of *Phaseolus vulgaris* L. antioxidant enzyme response and nutrient element uptake. Ecotoxicology and environmental safety. 73: 1304-1308.

9.Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? Plant and Soil. 302: 1-17.

10.Emami, A. 1996. Methods of plant analysis Vol. 1. Publication No. 982. Soil and Water Research Institute, Tehran. 128p.

11.Fattahi, M., and Fattahi, B. 2010. Principles of Medicinal Plants. Jahad-deneshgahi Publications, Tehran, Iran, 473p. (In Persian)

12.Hall, J.L. 2002. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. J. Exp. Bot. 53: 1-11.

13.Hart, J.J., Norvell, W.A., Welch, R.M., Sullivan, L.A., and Kochian, L.V. 1998. Characterization of zinc uptake, binding, and translocation in intact seedlings of bread and durum wheat cultivars. Plant Physiology. 118: 219-226.

14.Hassanpouraghdam, M.B., Akhgari, A.B., Aazami, M.A., and Emarat-Pardaz, J. 2011. New menthone type of *Mentha pulegium* L. volatile oil from Northwest Iran. Czech J. Food Sci. 29: 285-290.
15.Ishimaru, Y., Bashir, K., and Nishizawa, N.K. 2011. Zn uptake and translocation in rice plants. Rice. 4: 21-27.
16.Jiang, W., Struik, P., Lingna, J., Van-Keulen, H., Ming, Z., and Stomph, T. 2007. Uptake and distribution of root applied or foliar applied $^{65}$Zn after flowering in aerobic rice. Annals of applied biology. 150: 383-391.
17.Kabata-Pendias, A. 2001. Trace elements in soils and plants, CRC press, New York, 331p.
18.Kopittke, P.M., and Menzies, N.W. 2006. Effect of Cu toxicity on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). Plant and Soil. 279: 287-296.
19.Kováčik, J., Grúz, J., Bačkor, M., Tomko, J., Strnad, M., and Repčák, M. 2008. Phenolic compounds composition and physiological attributes of *Matricaria chamomilla* L. grown in copper excess. Environmental and Experimental Botany. 62: 145-152.
20.Kovácik, J., Klejdus, B.I., Hedbavny, J., Stork, F., and Grúz, J. 2012. Modulation of copper uptake and toxicity by abiotic stresses in *Matricaria chamomilla* plants. J. Agric. Food Chem. 60: 6755-6763.
21.Kuzovkina, Y.A., Knee, M., and Quigley, M.F. 2004. Cadmium and copper uptake and translocation in five willow (*Salix* L.) species. Inter. J. Phytoremediation. 6: 269-287.
22.Liao, M., Hedley, M., Woolley, D., Brooks, R., and Nichols, M. 2000. Copper uptake and translocation in chicory (*Cichorium intybus* L.cv Grasslands Puna) and tomato (*Lycopersicon esculentum Mill. CvRondy)* plants grown in NFT system. II. The role of nicotianamine and histidine in xylem sap copper transport, Plant and soil. 223: 245-254.
23.Malakouti, M.J., Keshavarz, P., and Karimian N.A. 2008. Comprehensive Approach towards identification of nutrients deficiencies and optimal fertilization for sustainable agriculture. Tarbiat Modaress University press, 755p. (In Persian)
24.Malekouti, M.J., and Tehrani, M.M. 2005. Effects of micronutrients on the yield and quality of agricultural products (micro-nutrients with macro-effects). Tarbiat Modarres University Press, Tehran, Iran, 396p. (In Persian)
25.Marschner, H. 2011. Mineral nutrition of higher plants, Academic Press, New York, 899p.
26.Mehrizi, M.H., Shariatmadari, H., Khoshgoftarmanesh, A.H., and Moattar, F. 2011. Effects of salinity and zinc nutrition on growth and antioxidant properties of Rosmarinusofficinalis L. in a calcareous soil. Iran. J. Med. Arom. Plants. 27: 1. 25-35. (In Persian)
27.Michaud, A.M., Chappellaz, C., and Hinsinger, P. 2008. Copper phytotoxicity affects root elongation and iron nutrition in durum wheat (*Triticum turgidum* durum L.). Plant and Soil. 310: 151-165.
28.Pande, P., Anwar, M., Chand, S., Yadav, V.K., and Patra, D. 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.
29.Peralta-Videa, J., Gardea-Torresdey, J.L., Gomez, E., Tiemann, K.J., Parsons, J.G., and Carrillo, G. 2002. Effect of mixed cadmium, copper, nickel and zinc at different pHs upon alfalfa growth and heavy metal uptake. Environmental Pollution. 119: 291-301.
30.Robson, A.D. 1994. Zinc in soils and plants. Springer, 207p.
31.Shahriaripour, R., and Tajabadipour, A. 2010. Zinc nutrition of Pistachio: Interaction of zinc with other trace elements. Communications in soil science and plant analysis. 41: 1885-1888.
32.Straczek, A., Sarret, G., Manceau, A., Hinsinger, P., Geoffroy, N., and Jaillard, B. 2008. Zinc distribution and speciation in roots of various genotypes of tobacco exposed to Zn. Environmental and experimental botany. 63: 80-90.
33.Street, R.A. 2012. Heavy metals in medicinal plant products - An African perspective. South Afric. J. Bot. 82: 67-74.

34. Talukder, K.H., Ahmed, A.U., Islam, M.S., Asaduzzaman, M., and Hossain, M.D. 2011. Incubation studies on exchangeable Zn for varying levels of added Zn under aerobic and anaerobic conditions in grey terrace soils, non-calcareous floodplain soils and calcareous floodplain soils. J. Sci. Foundation. 9: 9-15.
35. Valadabadi, S.A.R., Aliabadi Farahani, H., and Moaveni, P. 2010. Investigate effect of nitrogen application on essential oil content and seed yield in different cumin (*Cuminum cyminum* L.) populations at Qazvin zone. Iran. J. Med. Arom. Plants. 26: 3. 348-357. (In Persian)
36. Zheljazkov, V.D., Craker, L.E., Xing, B., Nielsen, N.E., and Wilcox, A. 2008. Aromatic plant production on metal contaminated soils. Science of the Total Environment. 395: 51-62.

*J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 5(2), 2015*
*http://ejsms.gau.ac.ir*

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

# Change in uptake of micronutrient and macronutrient in pennyroyal (*Mentha pulegium* L.) at greenhouse condition under copper and zinc application

**H. Asgari Lajayer[1], Gh.R. Savaghebi Firoozabadi[2], *B. Motesharezadeh[3] and J. Hadiyan[4]**

[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Tehran, [2]Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Tehran, [3]Associate Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, University of Tehran, [4]Assistant Prof., Dept. of Agriculture Engineering, Medicinal Plants and Drug Research Institute, University of Shahid Beheshti

Received: 04/08/2014; Accepted: 07/27/2014

**Abstract**

**Background and Objectives:** Use of improvement factors are one of the routine methods in the production of medicinal plants. Zinc (Zn) and Copper (Cu) are micronutrient and improvement factors increased plant growth in low concentrations. While high concentrations of these elements as a limiting factor, can cause adverse symptoms on the plants cultivation of medicinal plants in soils contaminated with heavy metals such as Cu and Zn are recommended due to the lack of transfer of these elements into secondary metabolites. The effect of heavy metals and micronutrients on field crop and vegetables was studied extensively, but behavior of medicinal plants in such conditions has not been studied well. Since the deficiency and toxicity of Cu and Zn is visible in the country, so in this study uptake of micronutrient and macronutrient by medicinal plant were studied in soil with deficiency and toxicity of Cu and Zn under greenhouse conditions.

**Materials and Methods:** Three levels of Copper (0, 5 and 25 mg/Kg) and three levels of zinc (0, 10 and 50 mg/Kg) and combination of all the above levels, were used as treatments in a factorial experiment based on completely randomized design with three replications.

**Results:** According to the results, the maximum value uptake of Cu (317.4 µg $pot^{-1}$) and Zn (1818.27 µg $pot^{-1}$) in shoots was obtained in $Cu_{25}Zn_{10}$ and $Cu_5Zn_{50}$ treatment, respectively. The maximum values uptake of Fe and Mn (3674.12 and 1537.41 µg $pot^{-1}$) and P and K (21.88 and 380.52 mg $Pot^{-1}$) in shoots was revealed in $Cu_5Zn_{10}$ treatment. The highest values uptake of Cu, Zn, Fe and Mn in root (281.33, 1802.85, 18744.4 and 1235.68 µg $pot^{-1}$, respectively), P (22.56 mg $pot^{-1}$) was observed in $Cu_{25}Zn_{50}$ treatment and K (115.94 mg $pot^{-1}$) in $Cu_5Zn_{50}$ treatment.

**Conclusion:** The results showed that pennyroyal herb has the high ability to absorb and transfer elements to shoots. Considering that pennyroyal have aspects fresh and spicy, so use of pennyroyal grown in soils contaminated with Cu and Zn due to uptake and transport of these elements in shoot would be required with caution. Combined treatment with low levels of Cu and Zn created the greatest uptake of K, P, Mn and Fe in shoot. But combined treatment of higher levels of these elements were proven to have negative interactions between the Cu, Zn, Fe, Mn, P and K. Then their application should be done carefully with each other.

***Keywords:*** Heavy metal, Macronutrient, Micronutrient, Pennyroyal, Uptake

* Corresponding Authors; Email: moteshare@ut.ac.ir