

ارزیابی تغییرات جذب عناصر معدنی در گیاه دارویی بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica*) تحت تأثیر مقادیر

مختلف مس و روی

حمایت عسگری لجایر^۱، غلامرضا ثواقبی فیروزآبادی^۲، بابک متشرعزاده^{۳*} و جواد هادیان^۲

۱. کارشناس ارشد گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران و دانشجوی دکتری گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تبریز

۲. استاد فقیه و دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

۳. استادیار، پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی دانشگاه شهید بهشتی، تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۶/۱۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۵/۲۷)

چکیده

روی و مس از عناصر غذایی ضروری کم مصرف گیاه و در غلظت‌های زیاد، عاملی تنش‌زا برای گیاهان و به عنوان عامل محدودکننده رشد و جذب سایر عناصر غذایی به‌شمار می‌روند. هدف این پژوهش، بررسی جذب عناصر کم مصرف (مس، روی، آهن و منگنز) و پر مصرف (فسفر و پتاسیم) در گیاه دارویی بالنگوی شهری در خاک دچار کمبود، کفایت و بیش‌بود عناصر مس و روی است. 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) بود. نتایج نشان داد که تمام تیمارهای اعمال شده موجب اثر مثبت بر جذب مس و روی ریشه شد؛ اما در اندام هوایی، مس و روی در غلظت‌های پایین (به ترتیب ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و بالا (به ترتیب ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) به ترتیب اثر مثبت و منفی بر جذب همدیگر داشتند. اثر منفی سطوح بالای روی بر جذب مس اندام هوایی بیش از سطوح بالای مس بر جذب روی اندام هوایی بود. میزان جذب پتاسیم ریشه و اندام هوایی نیز به غیر از سطوح بالای مس و تیمارهای ترکیبی روی با سطوح بالای مس افزایش داشت. این نتایج هشدار می‌دهد در استفاده کنترل شده از مس و روی در کشت و کار گیاه دارویی بالنگوی شهری است.

کلیدواژه‌گان: بالنگوی شهری، تنش، جذب، گیاه دارویی.

مقدمه

امروزه، مشخص شدن عوارض جانبی داروهای شیمیایی و تبلیغات طبیعی، بی‌ضرربودن و عوارض جانبی کم داروهای گیاهی موجب ترغیب و توجه به کشت و تولید گیاهان دارویی در سطح کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه مانند ایران شده است (Jafari et al., 2014). در بین گیاهان دارویی، گونه‌های موجود در خانواده نعناع به سبب انعطاف اکولوژیکی بسیار زیاد آن‌ها به اقلیم‌های متنوع، مصارف تغذیه‌ای- دارویی و وجود ترکیبات معطر کاربرد دار در صنایع آرایشی و بهداشتی از اهمیت زیادی برخوردار است (Omid beygi, 2008). بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* F. & C.M) متعلق به خانواده نعناع، گیاهی تقریباً بی‌کرک، به ارتفاع ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر، دارای برگ‌های متقابل و دندانه‌دار و گل‌های آبی‌رنگ و به ندرت مایل به زرد روشن است (Zargari, 1997). پنج گونه از این گیاه

در فلور ایران گزارش شده است که یکی از آن‌ها *Lallemantia iberica* است (Nori-Shargh et al., 2009).

هر یک از عناصر کم مصرف نقش خاصی در گیاه ایفا می‌کند، به طوری که کمبود و بیش‌بود این عناصر محدودکننده جذب سایر عناصر غذایی و رشد است و همین امر لزوم توجه بیشتر در کاربرد آن‌ها را مشخص می‌سازد (Shabanzadeh et al., 2012). حد بحرانی کمبود مس و روی قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک‌های آهکی به ترتیب ۰/۷ و ۱/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش شده است (Malakouti et al., 2008). زمانی که غلظت این عناصر در خاک بیش از نیاز گیاه باشد، به‌منزله فلزات سنگین، باعث اختلال در فرایندهای مهم سوخت‌وسازی و در نتیجه توقف یا کاهش رشد گیاهان می‌شوند (Alaoui-Sossé et al., 2004; Rion and Alloway, 2004). شایان ذکر است که حداکثر مجاز مس و روی کل در خاک‌های کشاورزی به ترتیب ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است (Kabata- Pendias, 2001). در گیاهان میزان سمیت مس و روی بسته به نوع گیاه و غلظت بحرانی آن متفاوت است

به روش‌های مرسوم آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد (Ali ehyae and Behbahanizadeh, 1993) (جدول ۱). برای کشت گلخانه‌ای از خاک عبور کرده از الک ۴ میلی‌متری استفاده شد. برای تقویت خاک و برای جلوگیری از بروز علائم کمبود سایر عناصر در گیاه و بر اساس نتایج آزمون خاک، عناصر غذایی پتاسیم و فسفر بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به ترتیب به مقدار ۷۰ (از منبع سولفات پتاسیم) و ۴ (از منبع سوپرفسفات تریپل) قبل از کاشت به خاک گلدان‌ها اضافه و مخلوط شد. همچنین، عنصر نیتروژن به صورت تقسیط در چهار قسط (شامل زمان کاشت، مرحله رشد سریع ساقه، آستانه گلدهی، اواسط گلدهی) و هر قسط ۶۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع اوره همراه با آب آبیاری به هر گلدان اضافه شد.

محاسبه مقادیر کودها برای هر گلدان بر اساس آزمون خاک انجام شد. عوامل مورد بررسی عبارت بود از عامل اول شامل سطوح مختلف مس از منبع سولفات مس $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ [شامل شاهد یا کمبود مس (صفر)، کفایت مس (۵ میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک) و بیش‌بود مس (۲۵ میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک)] و عامل دوم شامل سطوح مختلف روی از منبع سولفات روی $ZnSO_4 \cdot 2H_2O$ [شامل شاهد یا کمبود روی (صفر)، کفایت روی (۱۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک) و بیش‌بود روی (۵۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک)]، به همراه ترکیبی از تمام سطوح فوق (در مجموع نه تیمار) (جدول ۲). حد بحرانی مس و روی قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک‌های آهکی حدود ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است (Malakouti et al., 2008). همچنین، حداکثر مجاز مس و روی کل در خاک‌های کشاورزی به ترتیب ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است (Kabata- Pendias, 2001). لذا، در این پژوهش، با توجه به سبک‌بودن بافت خاک، تیمارها طوری انتخاب شد که مقدار قابل جذب این فلزات پس از دوره انکوبه‌کردن در محدوده ماکزیمم مقدار مجاز این فلزات قرارگیرد و تنش اندکی به گیاهان وارد شده باشد.

به منظور اعمال تیمارها در هر گلدان، عناصر مس و روی به صورت نمک‌های محلول در ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل و به طور یکنواخت و به صورت لایه‌لایه به سطح خاک اسپری شد تا مخلوط یکدست و یکنواختی حاصل و در هر مرحله خاک هر گلدان به صورت جداگانه مخلوط و یکنواخت شود. پس از اعمال تیمارهای مس و روی در گلدان و رساندن رطوبت آن به حد ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، به منظور حصول تعادل عناصر مس و روی با خاک، گلدان‌ها به مدت دو ماه در دمای اتاق انکوبه شد. در طول دوره انکوبه‌کردن، آبیاری در حد ۷۰ درصد ظرفیت

(Sheldon and Menzis, 2005; Rion and Alloway, 2004). برای اکثر گونه‌های موجود سطح بحرانی سمیت مس و روی در برگ‌ها به ترتیب ۲۰ تا ۳۰ و ۳۰۰ تا ۴۰۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک است (Kabata- Pendias, 2001; Marschner, 2011).

تاکنون در خصوص تأثیر عناصر کم‌مصرف و نیز فلزات سنگین بر خصوصیات کمی یا کیفی بالنگوی شهری در سطح ملی تحقیقاتی صورت نگرفته است. در بررسی اثر سطوح مختلف روی (صفر، ۲/۵، ۵ و ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی) و آهن (صفر، ۵، ۱۰ و ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم آهن) بر رشد و عملکرد گیاه دارویی نعنای، سطح بهینه آهن و روی برای رشد و جذب عناصر غذایی به ترتیب ۱۰ و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (Pande et al., 2007). همچنین، در تحقیق دیگری، تأثیر سطوح مختلف مس (۷/۸۵، ۱۵/۷ و ۷۸/۷ میکرومولار مس) بر جذب برخی عناصر در گیاه ذرت نشان داد که با افزایش مس غلظت مس اندام هوایی افزایش می‌یابد. در تمام سطوح مطالعه‌شده، غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در ریشه و اندام هوایی کاهش یافت، ولی عناصر آهن و روی افزایش پیدا کرد (Ali et al., 2002).

گیاهان دارویی از اهمیت خاصی در تأمین بهداشت و سلامت جامعه برخوردارند و در سال‌های اخیر رویکردی همه‌جانبه برای استفاده از داروهای با منشأ طبیعی، به خصوص گیاهی، در جوامع مختلف جهان پدید آمده است. از سوی دیگر، از طریق افزایش آلودگی محیط زیست، ورود فلزات سنگین سمی به چرخه زندگی گیاهان اجتناب‌ناپذیر است. لذا، در پژوهش حاضر، تأثیر عناصر مس و روی، به منزله عناصر کم‌مصرف، در غلظت‌های کم و فلزات سنگین در غلظت‌های زیاد بر جذب عناصر معدنی گیاه دارویی بالنگوی شهری بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت گلدانی در گلخانه تحقیقاتی گروه مهندسی علوم خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، در گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۱۵/۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر و گنجایش ۴ کیلوگرم خاک اجرا شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرحی کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. جهت تهیه نمونه خاک با میزان مس و روی در حد کمبود، از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری مناطق مختلف نمونه‌های خاک جمع‌آوری و پس از تجزیه، خاک مورد نظر انتخاب و برای آزمایش به گلخانه آورده شد. پس از هواخشک‌کردن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

لحاظ ظاهری کاملاً یکسان بود انتخاب شد و چهار عدد گیاهچه به هر گلدان انتقال داده شد. آبیاری تا پایان آزمایش با آب مقطر و با توزین روزانه گلدان‌ها، به مقدار مناسب هر گلدان تا رسیدن رطوبت به دامنه ۷۰ تا ۸۰ درصد ظرفیت زراعی محاسبه و اضافه شد. تا پایان آزمایش، گلدان‌ها هر هفته به طور تصادفی روی سینک گلخانه جابه‌جا می‌شد.

زراعی و برهم‌زدن خاک هر گلدان پیوسته انجام شد تا فرایند تعادل عناصر با خاک بهتر صورت گیرد (Talukder *et al.*, 2011).

بذر گیاه دارویی بالنگوی شهری از پژوهشکده گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی تهیه شد. سینی‌های کشت حاوی بستر پرلیت و کوکوپیت نشا بود و در مرحله سه‌برگی، نشاهایی که از

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

مقدار	ویژگی خاک	مقدار	ویژگی خاک
۲/۶	Mg ⁺² (meqL ⁻¹)	۱۷/۴۶	رس (/.)
۱۰/۷۷	CEC (Cmolckg ⁻¹)	۱۸/۰۰	سیلت (/.)
۰/۰۴۴	نیتروژن کل (درصد)	۶۴/۵۶	شن (/.)
۸/۷۹	فسفر قابل جذب (mgkg ⁻¹)	لوم شنی	کلاس بافت خاک
۱۸۰	پتاسیم قابل جذب (mgkg ⁻¹)	۷/۴	pH
۱۲/۳	Fe (mgkg ⁻¹)*	۱/۲۸	EC (dSm ⁻¹)
۹/۳۲	Mn (mgkg ⁻¹) *	۶/۷۷	کربنات کلسیم معادل (/.)
۰/۶۳	Cu (mgkg ⁻¹) *	۰/۶۳	کربن آلی (/.)
۰/۷۱	Zn (mgkg ⁻¹) *	۲۹/۱	درصد اشباع
۴/۱	HCO ₃ ⁻¹ (meqL ⁻¹)	۲/۴۶	محلول Na ⁺ (meqL ⁻¹)
۳/۸	Cl ⁻¹ (meqL ⁻¹)	۸/۴	Ca ⁺² (meqL ⁻¹)

*DTPA-Extractable

جدول ۲. نقشه تیمارهای استفاده شده در کشت گلخانه‌ای

نماد	سطوح تیماری	تیمارها
Cu0Zn0	Controls	T0
Cu0Zn10	Zn at 10 mg Kg ⁻¹ and Cu zero	T1
Cu0Zn50	Zn at 50 mg Kg ⁻¹ and Cu zero	T2
Cu5Zn0	Cu at 5 mg Kg ⁻¹ and Zn zero	T3
Cu5Zn10	Cu at 5 mg Kg ⁻¹ and Zn at 10 mg Kg ⁻¹	T4
Cu5Zn50	Cu at 5 mg Kg ⁻¹ and Zn at 50 mg Kg ⁻¹	T5
Cu25Zn0	Cu at 25 mg Kg ⁻¹ and Zn zero	T6
Cu25Zn10	Cu at 25 mg Kg ⁻¹ and Zn at 10 mg Kg ⁻¹	T7
Cu25Zn50	Cu at 25 mg Kg ⁻¹ and Zn at 50 mg Kg ⁻¹	T8

رنگ‌سنجی با روش زرد با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Shimadzu U73100 و پتاسیم به روش شعله‌سنجی با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر Corning Flame Photometer 410 تعیین شد (Emami, 1996). بررسی غلظت عناصر به دلیل به وجود آمدن اثر رقت، گاهی متناقض به نظر می‌رسد؛ لذا جذب عناصر [جذب کل (میکروگرم بر گلدان) = وزن ماده خشک (گرم) در گلدان) × غلظت (میکروگرم در گرم)] در این تحقیق بررسی آماری شد. در نهایت، با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۲ تجزیه آماری انجام شد. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

آزمایش به مدت دوازده هفته ادامه یافت و برداشت گیاهان پس از رسیدن به مرحله گلدهی کامل از نزدیک سطح خاک انجام شد. پس از برداشت گیاهان، ریشه‌ها به دقت از خاک خارج شد. وزن خشک ریشه و اندام هوایی، با قراردادن در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و تا رسیدن به وزن ثابت صورت گرفت. برای اندازه‌گیری غلظت عناصر مس، روی، آهن و منگنز در ریشه و اندام هوایی به روش خشک‌سوزانی عصاره‌گیری انجام گرفت و با دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu-AA6400 غلظت این عناصر قرائت شد. برای اندازه‌گیری فسفر و پتاسیم از عصاره تهیه‌شده برای عناصر مس، روی، منگنز و آهن استفاده شد. غلظت فسفر بر اساس

نتایج و بحث

مقدار مس اندام هوایی و ریشه

تیمار مس و روی، همچنین اثر برهم‌کنش آن‌ها تأثیر معناداری ($P \leq 0.05$) بر جذب مس اندام هوایی و ریشه گیاه بالنگوی شهری داشت (جدول ۳). همان‌طور که مقایسه میانگین داده‌ها نشان داده است (جدول ۵)، جذب مس اندام هوایی (۶۶/۰۸ و ۶۳/۲۱ درصد) و جذب مس ریشه (۱۲۸/۷۴ و ۲۰۲/۵۵ درصد) افزایش را نسبت به شاهد به ترتیب در سطوح پایین روی ($\text{Cu}_0\text{Zn}_{10}$) و مس (Cu_5Zn_0) نشان داد. کاربرد سطوح بالای مس ($\text{Cu}_{25}\text{Zn}_0$) سبب افزایش ۲۰۱/۸۹ و ۳۳۱/۸۹ درصدی به‌ترتیب در جذب مس اندام هوایی و ریشه شد. ولی کاربرد سطوح بالای روی ($\text{Cu}_0\text{Zn}_{50}$) به کاهش ۵۱/۹۹ درصدی در جذب مس اندام هوایی و افزایش ۱۸۸/۹۳ درصدی در جذب مس ریشه انجامید. با توجه به نتایج این آزمایش، مشاهده می‌شود که روی در غلظت‌های کم، اثر افزایشی و در غلظت‌های زیاد، اثر کاهشی بر جذب مس اندام هوایی دارد. به‌نظر می‌رسد علت افزایش جذب مس اندام در شرایط مصرف غلظت کم روی، فراهم‌آوردن سطوح مناسبی از عنصر روی و افزایش وزن ماده خشک از یک‌طرف و از طرف دیگر به دلیل افزایش فعالیت‌های سوخت‌وسازی گیاه و تأمین انرژی مورد نیاز برای جذب فعال عنصر مس و به تبع آن افزایش غلظت آن عنصر باشد.

در همین راستا، Zare dehabadi *et al.* (2007) طی پژوهشی به این نتیجه رسیدند که با مصرف ۵ و ۱۰ میکرومولار روی، شاخص‌های رشد (مانند وزن خشک اندام هوایی، سطح برگ، طول بخش هوایی و غیره) افزایش یافت. علت این امر را به نقش این فلز در بیوسنتز اکسین، به عنوان هورمون محرک رشد، تحریک طویل‌شدن سلول در ساقه و کولتوپتیل از طریق انتقال پروتئین‌ها به دیواره، کاهش pH در غشای سلول‌ها و تغییر در کلسیم سیتوزولی و به تبع آن افزایش انعطاف‌پذیری دیواره سلولی و تحریک رشد به دلیل افزایش اکسین، افزایش ساختن و رسوب مواد پلی‌ساکاریدی و پروتئینی مورد نیاز برای ظرفیت نرم‌شوندگی دیواره سلولی با افزایش اکسین و دخالت در سوخت‌وساز نیتروژن، نشاسته و چربی‌ها در گیاه و تأمین بیشتر نیتروژن به منزله عنصر ضروری برای رشد و تسریع رشد نسبت داده‌اند.

همچنین، Boorboori and Tehrani (2010) دریافتند روی در سطوح پایین موجب افزایش غلظت مس اندام هوایی می‌شود. علی‌رغم نقش بسیار مهم روی در بسیاری از فرایندهای سوخت‌وسازی گیاه، مشابه با سایر فلزات سنگین تمرکز بالای

روی در خاک و در گیاه سبب بروز برخی علائم ناشی از تنش و مهار رشد در گیاهان می‌شود.

Rout and Das (2003) گزارش کردند که در غلظت‌های بالای فلز روی، ساختار میتوکندریایی تخریب می‌شود. در نتیجه فرایندهای انرژی‌خواه مرتبط با رشد سلول‌ها دچار اختلال و رشد متوقف می‌شود. Rion and Alloway (2004) نیز گزارش کردند که فلز روی از طریق رقابت این فلز با مس در جذب و جابه‌جایی توسط گیاه باعث کاهش جذب مس می‌شود. با مصرف سولفات مس، جذب این عنصر در اندام هوایی افزایش یافت که این افزایش جذب در غلظت‌های پایین نشان‌دهنده افزایش غلظت مس با مصرف سولفات این عنصر و افزایش عملکرد ماده خشک به دلیل کمبود مس در خاک است. همچنین، افزایش جذب در غلظت‌های بالا نشان‌دهنده تغلیظ این عنصر در اندام هوایی با وجود کاهش وزن ماده خشک است. گزارش‌هایی وجود دارد که با افزایش مس در خاک، غلظت این عنصر در اندام هوایی به دلیل تسریع جابه‌جایی از ریشه به اندام هوایی افزایش می‌یابد (Kovakik *et al.*, 2009; Kovakik *et al.*, 2012; Ouzounidou, 1995).

علاوه بر این، در گزارش‌های مختلفی به نقش مس به منزله عنصر کم‌مصرف و تحریک‌کننده رشد و نمو در غلظت‌های پایین و به منزله فلزات سنگین و سرکوب‌کننده رشد در غلظت‌های بالا اشاره شده است (Ali *et al.*, 2002; Sheldon and Menzies, 2005). بنابراین، با توضیحات اشاره‌شده، تغییرات جذب مس اندام هوایی با اضافه‌شدن مس در خاک توجیه‌پذیر است. در این پژوهش در تمامی تیمارهای مس و روی مورد استفاده، جذب مس در ریشه افزایش یافت. افزایش جذب مس در تیمارهای مس مورد استفاده شاهدهی بر این فرضیه است که گیاه بالنگوی شهری از طریق کاهش انتقال فلز مس از ریشه به اندام هوایی، میزان سمیت این فلز را کاهش می‌دهد. همچنین، این افزایش جذب مس در تیمارهای روی مورد استفاده، شاهدهی بر آثار متقابل مس و روی در محل‌های جذب در ریشه است. نتایج پژوهش‌های سایر محققان نیز حاکی از آثار متقابل مس و روی در ریشه است (Kopittke and Menzies, 2006; Rion and Alloway, 2004). با توجه به اینکه تیمارهای مورد استفاده شامل کمبود و زیادهبود عنصر مس بود ولی در تیمار کمبود و زیادهبود کاهش معنادار نسبت به سطوح کفایت این عنصر مشاهده نشد، پیشنهاد می‌شود در مطالعات تکمیلی آینده سازوکار تحمل به کمبود و سمیت عنصر مس در این گیاه دارویی بررسی شود.

مقدار روی ریشه و اندام هوایی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان می‌دهد که اثر مس و روی و برهم‌کنش آن‌ها بر جذب روی ریشه و اندام هوایی در سطح احتمال ۱ درصد ($P \leq 0.01$) معنادار بوده است. مقایسه میانگین مربوط به تأثیر تیمارها بر جذب روی اندام هوایی و ریشه در جدول ۵ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، جذب روی اندام هوایی (۵۹/۸۱ و ۱۶/۵۸ درصد) و جذب روی ریشه (۳۴/۹۷ و ۱۷/۳۹ درصد) نسبت به شاهد به ترتیب در سطوح پایین روی ($\text{Cu}_0\text{Zn}_{10}$) و مس (Cu_5Zn_0) افزایش نشان داد. همچنین، کاربرد سطوح بالای روی ($\text{Cu}_0\text{Zn}_{50}$) باعث افزایش ۱۱۱/۷۰ و ۶۹/۵۰ درصدی به ترتیب در جذب روی اندام هوایی و ریشه شد. ولی، کاربرد سطوح بالای مس ($\text{Cu}_{25}\text{Zn}_0$) کاهش ۲۶/۰۳ درصدی در جذب روی اندام هوایی و افزایش ۲۳/۸۰ درصدی در جذب روی ریشه را منجر شد. از نتایج به‌دست‌آمده چنین برمی‌آید که عنصر روی در تمام سطوح مورد استفاده سبب تحریک جذب روی در اندام هوایی و ریشه در گیاه بالنگوی شهری می‌شود. ارتباط میان افزایش جذب روی در ریشه و اندام هوایی با مصرف عنصر روی را از یک‌سو می‌توان به نقش این فلز به منزله عنصر کم‌مصرف در بیوسنتز اکسین به‌عنوان هورمون محرک رشد نسبت داد، زیرا فلز روی به منزله کوفاکتور بسیاری از آنزیم‌ها در زیست‌ساخت اسید آمینه تریپتوفان به عنوان پیش‌ماده سنتز اکسین نقش دارد (Ghorbanli and Babalar, 2003). از سوی دیگر، دلیل دیگری بر جذب بیشتر مس و روی، سبک‌بودن بافت خاک، داشتن ماده آلی کمتر و داشتن ظرفیت تبادل کاتیونی پایین‌تر، تثبیت کمتر این عناصر در خاک و به‌تبع آن جذب و انتقال این عنصر به اندام هوایی است. برخی مطالعات دیگر نیز چنین گزارش داده‌اند که با فراهم‌شدن عنصر روی در محیط رشد، جذب این عنصر در ریشه و اندام هوایی افزایش می‌یابد (Stoyanova and Doncheva, 2002; Pande et al., 2007).

Pande et al. (2007) و Ishimaru et al. (2011) گزارش

کرده‌اند عوامل زیادی در قابلیت جذب روی و مس در گیاهان دخالت دارند. عوامل خاکی مختلفی دخالت دارند، از جمله میزان کربنات کلسیم، واکنش خاک، درصد رس و مواد آلی خاک، درصد رطوبت خاک، درصد اکسیدهای آهن و آلومینیم 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. همچنین، با مصرف عنصر مس در تمام سطوح، جذب روی ریشه افزایش می‌یابد، در حالی که جذب روی اندام هوایی به‌جز در سطوح بالا

افزایش یافت. این افزایش روی ریشه و اندام هوایی در تیمارهای مصرف مس حاکی از نقش عملکردی این عنصر در تغییرات وزن خشک ریشه و اندام هوایی و رقابت این عناصر برای جذب توسط ریشه و انتقال به اندام هوایی است. براساس گزارش‌ها، مقادیر بالای فلز مس سبب مهار بسیاری از فعالیت‌های سوخت‌وسازی مانند میزان جذب و جابه‌جایی سایر عناصر ضروری کم‌مصرف و پرمصرف و نیز اثر بر خصوصیات ریخت‌شناسی مانند عملکرد ماده خشک می‌شود (Bernal et al., 2000; Bouazizi et al., 2010; Kopittke and Menzies, 2006). در این زمینه می‌توان اظهار داشت که کاربرد سطوح پایین روی از طریق تأثیر مثبت بر وزن خشک و افزایش غلظت روی در اندام هوایی به دلیل اثر برهم‌کنش مثبت و سازنده به افزایش جذب و در سطوح بالا از طریق تأثیر منفی بر این عوامل به کاهش جذب روی در اندام هوایی منجر شده است. به‌طور کلی، با توجه نتایج ارائه‌شده و با در نظر گرفتن این موضوع که تنها برگ و بذرها این گیاه، گیاه دارویی استفاده می‌شود، لذا جذب حداکثر فلزات در ریشه این گیاه دارویی خطر جدی برای سلامتی انسان مطرح نیست. هم‌چنین، به دلیل نبود استاندارد ملی و بین‌المللی برای حداکثر جذب مس و روی در گیاهان دارویی، باید مصرف گیاه بالنگوی کشت‌شده در خاک‌های دارای آلودگی مس و روی به علت جذب و انتقال این عناصر به اندام هوایی با احتیاط لازم صورت گیرد.

مقدار آهن و منگنز ریشه و اندام هوایی

نتایج تجزیه واریانس (جدول‌های ۳ و ۴) نشان‌دهنده معنادارشدن مس و روی ($P \leq 0.05$) بر جذب آهن و منگنز ریشه و اندام هوایی است، در حالی که برهم‌کنش آن‌ها فقط بر جذب این عناصر در اندام هوایی ($P \leq 0.05$) معنادار است. مقایسه میانگین مربوط به اثر روی و مس بر جذب آهن و منگنز اندام هوایی و ریشه در جدول‌های ۵ و ۶ آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، جذب آهن اندام هوایی (۳۸/۷۰ و ۸/۸۲ درصد) و جذب منگنز اندام هوایی (۵۱/۷۳ و ۱۶/۹۵ درصد) افزایش را نسبت به شاهد به ترتیب در سطوح پایین روی ($\text{Cu}_0\text{Zn}_{10}$) و مس (Cu_5Zn_0) نشان داد. کاربرد بیشتر روی ($\text{Cu}_0\text{Zn}_{50}$) و مس ($\text{Cu}_{25}\text{Zn}_0$) در خاک به ترتیب سبب کاهش ۲۶/۷۱ درصد و افزایش ۶/۰۵ درصد در آهن اندام هوایی و کاهش ۱۶/۴۵ و ۱۹/۴۰ درصد در منگنز اندام هوایی شد. با توجه به تمام سطوح مس و روی به‌کاررفته در این پژوهش، جذب آهن و منگنز ریشه نسبت به شاهد افزایش داشت. در زمینه تغییرات آهن و منگنز اندام هوایی می‌توان اظهار داشت که کاربرد سطوح پایین روی و مس از طریق تأثیر مثبت بر وزن

شاهد به ترتیب در سطوح پایین روی (Cu_0Zn_{10}) و مس (Cu_5Zn_{10}) نشان داد. جالب توجه است که با کاربرد سطوح بالاتر روی (Cu_0Zn_{50}) و مس ($Cu_{25}Zn_0$) در مقایسه با تیمار شاهد، جذب فسفر اندام هوایی $10/15$ و $20/51$ درصد به ترتیب کاهش و افزایش و جذب فسفر ریشه $25/00$ و $15/51$ درصد افزایش یافت. همچنین، جذب پتاسیم اندام هوایی و ریشه در سطوح بالای روی (Cu_0Zn_{50}) به ترتیب $6/17$ و $14/60$ درصد افزایش و در سطوح بالای مس ($Cu_{25}Zn_0$) به ترتیب $48/99$ و $22/38$ درصد کاهش در مقایسه با تیمار شاهد نشان داد (جدول ۶). در این تحقیق مقایسه فسفر و پتاسیم ریشه و اندام هوایی گیاه بالنگوی شهری نشان داد که جذب فسفر و پتاسیم در اندام هوایی بسیار بیشتر از ریشه است. این نتیجه، بر وزن خشک بیشتر اندام هوایی نسبت به ریشه دلالت دارد. همین پدیده عامل اصلی جذب بیشتر فسفر و پتاسیم در اندام هوایی نسبت به ریشه است. از طرفی، ذکر این نکته مهم نیز اهمیت دارد که فسفر به طور عادی در ریشه و پتاسیم در اندام هوایی تجمع می‌یابد. بدین معنا که غلظت عنصر فسفر در ریشه به طور مشخصی بیش از غلظت عنصر پتاسیم است و این نتیجه کم‌حرکی فسفر نسبت به پتاسیم را به اثبات می‌رساند. گزارش شده است که روی و مس هم در خاک و هم در گیاه، مقدار و سوخت‌وساز فسفر را تحت تأثیر قرار می‌دهد، ولی شدت این تأثیر به غلظت این عناصر در خاک، نوع گونه گیاهی و فیزیولوژی گیاه بستگی دارد (Kabata- Pendias, 2001; Marschner, 2011). وجود غلظت بالای مس و روی در خاک از طریق تشکیل ترکیبات کم‌محلول فسفر سبب کاهش عرضه فسفر به گیاه و در داخل گیاه نیز کاهش حلالیت فسفر در گیاه و کاهش انتقال آن از ریشه به اندام هوایی خواهد بود (Kabata- Pendias, 2001). نتایج ما مشابه نتایج Kabata- Pendias (2001) و Ali *et al.* (2002) است.

خشک و افزایش غلظت آهن و منگنز در اندام هوایی به دلیل 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 می‌شود. نتایج این تحقیق با گزارش‌های مبنی بر تأثیر مثبت مس و روی بر افزایش جذب آهن و منگنز در سطوح پایین و تأثیر منفی این عناصر در سطوح بالا با گزارش‌های (Bernal *et al.*, 2007)، (Pande *et al.*, 2007) همخوانی دارد. این موضوع به طور دقیق به اثبات رسیده است که تنش فلزات سنگین منجر به تخریب ساختار میتوکندری و تأثیر منفی بر کارایی انرژی و در نتیجه کاهش محتوای انرژی در گیاهان می‌شود (Bonnet *et al.*, 2000). فلز مس و روی از طریق تأثیر بر میزان جذب و جابه‌جایی عناصر ضروری و نیز اثر بر میزان فعالیت برخی آنزیم‌ها در جایگاه عملکردشان موجب تغییر در سوخت‌وساز گیاهان می‌شود. با توجه به اینکه آهن و منگنز عمدتاً از طریق سوخت‌وساز جذب فعال انجام می‌گیرد، همه عوامل مؤثر بر سوخت‌وساز و انرژی در دسترس گیاه (فتوسنتز و تنفس) بر جذب این عناصر تأثیر می‌گذارد (Malakuti and Tehrani, 2005). با این توضیحات، عناصر مس و روی با تغییر در سوخت‌وساز گیاه باعث تغییراتی در جذب آهن و منگنز می‌شود.

مقدار فسفر و پتاسیم ریشه و اندام هوایی

با توجه به داده‌های تجزیه واریانس (جدول ۴)، اثر مس و روی بر هر چهار پارامتر جذب فسفر ریشه، جذب فسفر اندام هوایی، جذب پتاسیم ریشه و جذب پتاسیم اندام هوایی در سطح ۱ درصد معنادار بود. ولی اثر برهم‌کنش این عناصر بر جذب فسفر و پتاسیم ریشه معنادار نشد. جذب پتاسیم ریشه ($28/08$) و ($13/22$ درصد)، جذب پتاسیم اندام هوایی ($13/07$) و ($7/84$ درصد)، جذب فسفر ریشه ($25/86$) و ($14/65$ درصد) و جذب فسفر اندام هوایی ($10/15$) و ($4/10$ درصد) افزایش را نسبت به

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس تأثیر مس و روی بر جذب مس، روی، آهن و منگنز ریشه و اندام هوایی گیاه بالنگوی شهری

میانگین مربعات							
منبع تغییرات	درجه آزادی	جذب مس		جذب روی		جذب آهن	
		ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی
مس	۲	۷۱۲/۸۱**	۳۱۷۹/۱۸**	۲۲۰۸/۰۵**	۴۷۶۱۸/۷۷**	۱۷۸۵۴۸/۵۷**	۷۶۸۴۴/۴۳**
روی	۲	۲۶۶/۸۹**	۱۰۸۷/۶۷**	۱۳۶۳۶/۰۱**	۶۱۵۵۱/۳۸**	۱۰۸۴۱۸/۴۰*	۷۷۶۸۲/۴۹**
مس × روی	۴	۶/۵۳*	۱۱۳/۸۳**	۱۳۸۹/۹۸**	۳۱۳۶/۹۱**	۲۱۳۸۳/۵۲ns	۱۳۶۹۷/۰۹۱**
خطا	۱۸	۱/۹۴	۵/۴۹	۶۳/۰۳	۱۱۱/۷۴	۲۰۳۱۲/۲۸	۱۶۲/۳۴
ضریب تغییرات		۷/۴۵	۵/۹۸	۷/۳۳	۴/۲۳	۶/۵۹	۳/۷۰

**معنادار در سطح ۱ درصد *معنادار در سطح ۵ درصد ns غیرمعنادار

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس تأثیر مس و روی بر جذب فسفر و پتاسیم ریشه و اندام هوایی گیاه بالنگوی شهری

میانگین مربعات						
جذب پتاسیم		جذب فسفر		جذب منگنز		منبع تغییرات
اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	
۶۲۷۰/۶۷**	۶۸/۳۸**	۷/۱۵**	۰/۱۴۴**	۶۵۱۰/۳۵**	۲۱۶/۵۵**	۲ مس
۱۸۱۸/۷۸**	۷/۷۴**	۵/۰۶**	۰/۲۹۹**	۶۷۹۰/۸۹**	۸۶۰/۴۳**	۲ روی
۵۱۷/۰۱**	۰/۷۴ ns	۰/۵۷**	۰/۰۲۲ns	۱۶۷۱/۹۸**	۱۰/۶۶ ns	۴ مس × روی
۲۰/۵۴	۰/۳۴	۰/۰۳	۰/۰۰۷	۱۰/۵۰	۲۱/۳۴	۱۸ خطا
۵/۰۲	۷/۳۵	۴/۲۲	۵/۸۹	۳/۸۶	۷/۰۲	ضریب تغییرات

**معنادار در سطح ۱ درصد *معنادار در سطح ۵ درصد ns غیرمعنادار

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر مس و روی بر جذب عناصر غذایی مس، روی و آهن

آهن		روی		مس		تیمارها
بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	
(μg/pot)	(μg/pot)	(μg/pot)	(μg/pot)	(μg/pot)	(μg/pot)	
۳۵۳/۳۲d	۱۹۸۸/۰cd	۱۷۰/۲۲g	۶۹/۱۰ e	۱۹/۵۲e	۴/۷g	شاهد
۴۹۰/۰۸ b	۲۲۲۹/۲bc	۲۷۲/۰۴d	۹۳/۲۷d	۳۲/۴۲d	۱۰/۷۵f	Cu ₀ Zn ₁₀
۲۸۵/۹۲e	۲۰۷۶/۴bcd	۳۶۰/۳۹ b	۱۱۷/۱۳c	۹/۳۷f	۱۳/۵۸e	Cu ₀ Zn ₅₀
۳۸۴/۴۹ c	۲۲۰۹/۰ bcd	۱۹۸/۴۵f	۸۱/۱۲de	۳۱/۸۶d	۱۴/۲۲e	Cu ₅ Zn ₀
۵۷۹/۲۷a	۲۴۸۸/۱۰a	۳۲۷/۶۳c	۹۵/۵۵d	۵۵/۲۵b	۱۸/۳۸d	Cu ₅ Zn ₁₀
۲۸۴/۴۸e	۲۲۷۴/۷ab	۴۰۸/۱۷a	۱۴۴/۱۳b	۲۹/۷۵d	۲۴/۲۷c	Cu ₅ Zn ₅₀
۳۷۴/۷۰e	۱۹۴۱/۳ d	۱۲۵/۹۱h	۸۵/۵۵d	۵۸/۹۳b	۲۰/۲۸d	Cu ₂₅ Zn ₀
۲۵۱/۲۷f	۲۰۷۵/۴ bcd	۱۶۰/۳۸g	۹۲/۱۶ d	۶۷/۷۷a	۲۸/۱۸b	Cu ₂₅ Zn ₁₀
۱۹۳/۸۶g	۲۱۷۹/۲ bcd	۲۲۱/۷۹e	۱۹۵/۵۵a	۴۷/۳۷c	۳۴/۰۱a	Cu ₂₅ Zn ₅₀

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معناداری ندارد.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر مس و روی بر جذب عناصر غذایی منگنز، فسفر و پتاسیم

پتاسیم		فسفر		منگنز		تیمارها
بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	
(μg/pot)	(μg/pot)	(μg/pot)	(μg/pot)	(μg/pot)	(μg/pot)	
۸۷/۵۲d	۷/۹۴d	۴/۶۳c	۱/۱۶c	۸۲/۴۹d	۴۹/۳۷e	شاهد
۱۱۶/۴۷b	۱۰/۱۷b	۵/۱۰b	۱/۴۶b	۱۲۵/۱۷b	۶۱/۹۳cd	Cu ₀ Zn ₁₀
۹۲/۹۲cd	۹/۱۰c	۵/۸۵a	۱/۴۵b	۶۸/۹۲e	۶۹/۱۸bc	Cu ₀ Zn ₅₀
۹۴/۳۹cd	۸/۹۹c	۴/۸۲bc	۱/۳۳b	۹۶/۴۸c	۵۹/۰۷d	Cu ₅ Zn ₀
۱۴۰/۰۶a	۱۱/۲۲a	۵/۸۵a	۱/۷۴a	۱۵۸/۰۶a	۷۰/۵۸ab	Cu ₅ Zn ₁₀
۹۸/۸۹c	۹/۹۹bc	۳/۸۷d	۱/۷۵a	۶۲/۲۴f	۷۸/۴۲a	Cu ₅ Zn ₅₀
۶۷/۹۳e	۴/۰۵f	۳/۶۸led	۱/۳۴b	۶۶/۴۸ef	۵۹/۰۹d	Cu ₂₅ Zn ₀
۶۳/۱۶e	۵/۰۴ef	۳/۱۵f	۱/۴۵b	۵۳/۶۴g	۶۵/۴۸bcd	Cu ₂₅ Zn ₁₀
۵۰/۵۵f	۵/۵۳e	۲/۵۴g	۱/۶۸a	۴۱/۲۲h	۷۸/۵۹a	Cu ₂₅ Zn ₅₀

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معناداری ندارد.

نتیجه‌گیری کلی

هوایی را ایجاد کرد. ولی در تیمار ترکیبی سطوح بالاتر این عناصر برهم‌کنش منفی بین مس، روی، آهن، منگنز، فسفر و پتاسیم مشاهده شد. پس باید در میزان کاربرد آن‌ها همراه با

با توجه به نتایج، مشهود است که تیمار ترکیبی سطوح پایین مس و روی بیشترین جذب پتاسیم، فسفر و منگنز و آهن اندام

عناصر غذایی در گیاه دارویی بالنگوی شهری است، هرچند که برای حصول به نتایج مطمئن، تحقیقات بیشتر در این زمینه ضروری است.

یکدیگر دقت لازم صورت گیرد. می‌توان جمع‌بندی کرد که کاربرد ۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک توأم با ۱۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک مناسب‌ترین تیمار برای جذب بهینه

REFERENCES

- Alaoui-Sossé, B., Genet, P., Vinit-Dunand, F., Toussaint, M. L., Epron, D., Badot, P. M. (2004) Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents. *Plant Science*. 166: 1213-1218.
- Ali Ehyaei, M. and Behbahanizadeh, A. (1993) Methods of chemical analysis of soil, Vol.1, Publication No. 893. *Soil and Water Research Institute*. Tehran.
- Ali, N. A., Bernal, M. P. and Ater, M. (2002) Tolerance and bioaccumulation of copper in *Phragmites australis* and *Zea mays*. *Plant and Soil*. 239:103-111.
- 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.
- Bonnet, M., Camares, O. and Veisseire, P. (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):945-953.
- 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 physiology*. 2 (8):29-44. (In Persian)
- Botanica, A. B. C. (2009) Micromorphological studies of (*Lallemantia iberica* L.) Lamiaceae species growing in Turkey. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*. 51(1): 45-54.
- 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.
- Emami, A. (1996) Methods of plant analysis Vol.1. Publication No. 982. *Soil and Water Research Institute*. Tehran.
- Ghorbanli, M. L. and Babalar, M. (2003) Mineral nutrition of Plants. *Tarbiat moallem University press*, Tehran.
- Ishimaru, Y., Bashir, K., and Nishizawa, N.K (2011) Zn uptake and translocation in rice plants. *Rice*, 4: 21-27.
- Jafari, F., Golchin, A. and Shafiei, S. (2014) The effects of nitrogen and foliar application of iron aminochelate on yield and growth indices of dill (*Anethum graveolans* L.) medical plant. *Jornal of science and technological greenhouse culture*. 5(17): 1-12.
- Kabata-Pendias, A. (2001) Trace elements in soils and plants, *CRC press*, New York.
- Kopittke, P. M. and Menzies, N. W. (2006) Effect of Cu toxicity on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Plant and Soil*. 279: 287-296.
- Kováčik, J., Klejdus, B., Hedbavny, J., Štork, F. and Bačkor, M. (2009) Comparison of cadmium and copper effect on phenolic metabolism, mineral nutrients and stress-related parameters in *Matricaria chamomilla* plants. *Plant and soil*. 320: 231-242.
- Kováčik, 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. *Journal of agricultural and food chemistry*. 60: 6755-6763
- Malakouti, M. J., Keshavarz, P. and Karimian N. A (2008). Comprehensive Approach towards identification of nutrients deficiencies and optimal fertilization for sustainable agriculture. *TarbiatModaress University press*. (In Persian).
- 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. (In Persian)
- Marschner, H. (2011) Mineral nutrition of higher plants, *Academic Press*, New Yurk.
- Morteza-Semnani, K. (2006) Essential Oil Composition of *Lallemantia iberica* Fisch. CA Mey. *Journal of Essential Oil Reserch*.18:164-165.
- Nori-Shargh, D., Kiaei, S., Deyhimi, F., Mozaffarian, V. , Yahyaei, H. (2009) The volatile constituent's analysis of *Lallemantia iberica* (MB) Fischer & Meyer from Iran. *Natural Product Research*. 23: 546-548.
- Omid Beygi, R. (2008) Production and processing of medicinal plants. Vol1. *Astan ghods press*.
- Ouzounidou, G. (1995) Responses of maize (*Zea mays* L.) plants to copper stress—I. Growth, mineral content and ultrastructure of roots. *Environmental and experimental botany*. 35(2):167-176.
- Overeem, A., Buisman, G. J., Derksen, J. T., Cuperus, F. P., Molhoek, L., Grisnich, W. and Goemans, C. (1999) Seed oils rich in linolenic acid as renewable feedstock for environment-friendly crosslinkers in powder coatings. *Industrial crops and products*. 10(3): 157-165.
- 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. *Communication in soil science and plant analysis*. 38:561-578.

- Rion, B. and Alloway, J. (2004) Fundamental aspects of Zinc in soils and plants. *International Zinc*.
- Rout, G. R. and Das, P. (2003) Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism: I. Zinc. *Agronomie*. 23(1): 3-11.
- Ruhi Nogh, A. (2011). The effect of organic fertilizer and plant density on quantitative and qualitative characteristics of medicinal plants Balngu. MS.c Thesis. *Faculty of Agricultural in Mashhad University*. Iran. (In Farsi).
- Shabanzadeh, Sh., Ramroudi, M. and Galavi, M. (2012) Influence of Micronutrients Foliar Application on Seed Yield and Quality Traits of Black Cumin in Different Irrigation Regimes. *Journal of Crop Production and Processing*. 1(2): 79-89.
- Sheldon, A. and Menzies, N. (2005) The effect of copper toxicity on the growth and root morphology of Rhodes grass (*Chloris gayana* Knuth.) in resin buffered solution culture. *Plant and soil*. 278(1): 341-349.
- Stoyanova, Z. and Doncheva, S. (2002) The effect of Zinc supply and succinate treatment on plant growth and mineral uptake in pea plant. *Plant Physiology*. 14 (2): 111-116.
- 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. *Journal of science Foundation*. 9: 2. 9-15.
- Zare Dehabadi, S., Asrar, Z. and Mehrabani, M. (2008) Effect of zinc on growth and some physiological and biochemical parameters of spearmint (*Mentha spicata* L.). *Iranian Journal of Plant Biology*, 20 (3): 230-241. (In Farsi).
- Zargari, A. (1997). Medicinal Plant. Vol. 4, *Tehran University Press*. (In Farsi).