DOI: http://dx.doi.org/10.22092/ijmapr.2016.107858

دوماهنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران
جلد ۳۲، شماره ۵، صفحه ۷۵۷-۷۴۳ (۱۳۹۵)

اثر محلول‌پاشی منابع مختلف روی بر عملکرد و ویژگی‌های فیتوشیمیایی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.)

علی فلاحی[۱]، عباس حسنی[۲*] و فاطمه سفیدکن[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران

۲*- نویسنده مسئول، استاد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران، پست الکترونیک: horthasani@yahoo.com

۳- استاد، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۳ تاریخ اصلاح نهایی: اردیبهشت ۱۳۹۴ تاریخ پذیرش: خرداد ۱۳۹۴

چکیده

روی یک عنصر ریزمغذی ضروری است که نقش‌های حیاتی زیادی در گیاهان دارد. در سال‌های اخیر نانو کودهای روی به‌دلیل جذب بیشتر آنها توسط گیاه که ناشی از اندازه کوچک و نفوذ بسیار بالای آنها از طریق غشاهای سلولی است مورد توجه بسیار قرار گرفته‌اند. به‌منظور مطالعه اثر کاربرد برگی کودهای مختلف حاوی روی بر عملکرد و ویژگی‌های فیتوشیمیایی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.)، یک آزمایش گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشگاه ارومیه در سال ۱۳۹۳ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه منبع مختلف روی (سولفات روی، کلات روی و نانوکود کلات روی) در چهار مقدار (صفر، ۱، ۲ و ۳ گرم در لیتر) بودند. نتایج نشان داد که کاربرد برگی روی تأثیر معنی‌داری بر صفات مورد اندازه‌گیری داشته است. به‌طوری که با کاربرد روی عملکرد پیکر رویشی تر و خشک، محتوای روی و فنول برگ‌ها و درصد و عملکرد اسانس افزایش یافت و از این نظر کاربرد برگی نانوکود کلات روی مؤثرتر از دو کود دیگر روی بود. کمترین و بیشترین مقادیر صفات اندازه‌گیری شده به‌ترتیب در غلظت‌های صفر و سه گرم در لیتر مشاهده شد. براساس نتایج تجزیه اسانس به‌وسیله دستگاه‌های گاز کروماتوگرافی و گاز کروماتوگرافی متصل به طیف‌سنج جرمی، ۲۰ ترکیب در اسانس ریحان شناسایی گردید. لینالول و اوژنول اجزاء اصلی اسانس بودند که تحت تأثیر کاربرد روی تغییرات ناچیزی را نشان دادند. در مجموع یافته‌های این تحقیق نشان داد که تأثیر کاربرد نانوکود کلات روی (به‌ویژه در مقدار ۳ گرم در لیتر) در افزایش عملکرد و مواد مؤثره گیاه ریحان، مؤثرتر از کودهای سولفات و کلات روی بود.

واژه‌های کلیدی: ریحان (*Ocimum basilicum* L.)، نانوکود، روی، اسانس، فنول.

مقدمه

ریحان یکی از گیاهان اسانس‌دار مهم متعلق به تیره نعناع (Lamiaceae) است که به‌عنوان گیاهی دارویی، ادویه‌ای و نیز سبزی تازه مورد استفاده قرار می‌گیرد. منشأ این گیاه ایران، افغانستان و هند گزارش شده‌است (Omidbaigi, 2006). ریحان به‌عنوان گیاهی اشتهاآور، ضدانگل، تب‌بر، خلط‌آور و ضدنفخ شناخته شده‌است. پیکر رویشی آن حاوی اسانس (۰/۵ تا ۱/۵ درصد) است

که در صنایع غذایی و عطرسازی مورد استفاده قرار گرفته و دارای خواص ضدمیکروبی می‌باشد. اگرچه ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس ریحان با توجه به ناحیه جغرافیایی و تیپ‌های شیمیایی متفاوت هستند، اما به‌طور کلی لینالول، متیل کاویکول، اوژنول، سینئول، سیترال، ژرانیول، کامفور و متیل‌سینامات از اجزاء مهم اسانس به‌حساب می‌آیند (Simon *et al*., 1990؛ Prakash, 1990؛ Omidbaigi, 2006).

اسانس‌ها ترکیب‌های پیچیده‌ای هستند که کمّیت و کیفیت آنها تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند عوامل ژنتیکی، شرایط اقلیمی و جغرافیایی (ارتفاع رویشگاه، کمّیت و کیفیت نور، دما، قابلیت دسترسی به آب، ویژگی‌های خاک) و عملیات کشاورزی (قابل دسترس بودن عناصر پرمصرف و کم‌مصرف، رژیم‌های آبیاری، تغذیه و کوددهی، سطوح شوری خاک و ...) قرار می‌گیرد (Figueiredo *et al*., 2008؛ Hassanpouraghdam *et al*., 2011).

در خاک‌های ایران به‌دلیل بالابودن pH، وجود آهک فراوان، کمبود مواد آلی، درصد بالای کربنات کلسیم و بعضاً مدیریت نامناسب تغذیه محصولات (مثلاً مصرف بی‌رویه کودهای فسفاته)، کمبود عناصر ریزمغذی مانند روی و آهن بسیار شایع است. به‌علاوه پایین بودن کارآیی جذب عناصر غذایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک از عوامل مهم کاهش عملکرد و کیفیت بسیاری از محصولات کشاورزی در ایران است. در چنین شرایطی مصرف خاکی عناصر غذایی به‌دلیل کارآیی کم نمی‌تواند پاسخگوی نیازهای غذایی گیاه باشد، از این‌رو محلول‌پاشی عناصر به‌دلیل برطرف کردن سریع کمبود، آسانتر بودن آن، کاهش سمّیت ناشی از تجمع این عناصر در خاک و جلوگیری از تثبیت، مناسب‌تر است (Malakoti & Tehrani, 1999).

عنصر روی یکی از عناصر ریزمغذی ضروری برای انسان، جانوران و گیاهان می‌باشد (Fageria *et al*., 2002). در سیستم‌های بیولوژیکی این عنصر نقش‌های مهمی در دامنه وسیعی از فرایندهای متابولیکی مانند سنتز و تجزیه کربوهیدرات‌ها، لیپیدها، اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها ایفاء می‌کند. روی یا به‌عنوان بخش فلزی آنزیم‌ها و یا به‌عنوان فعال‌کننده تعداد زیادی از آنزیم‌ها از نظر نوع کار، ساختمان و یا تنظیم نقش آنها عمل می‌کند (Marschner, 1995؛ Auld, 2001). از سایر نقش‌ها و اثرات روی می‌توان به افزایش هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز (Cakmak & Engels, 1999)، حفظ تمامیت و یکپارچگی غشاء (Cakmak & Marschner, 1988)، متابولیسم و جلوگیری از اکسیداسیون هورمون رشد ایندول استیک اسید (Kitagishi & Obata, 1986)، تنظیم بیان ژن (Marschner, 1995؛ Cakmak, 2000) و کنترل تولید و تصفیه گونه‌های فعال اکسیژن (Luo *et al*., 2010؛ Cakmak, 2000) اشاره کرد.

اگرچه نیاز گیاهان به روی اندک است اما اگر مقدار کافی از این عنصر در دسترس نباشد گیاهان از تنش‌های فیزیولوژیکی حاصل از ناکارآیی سیستم‌های متعدد آنزیمی و دیگر اعمال متابولیکی مرتبط با عنصر روی رنج خواهند برد (Baybordi, 2006). توقف یا کاهش رشد، زردی و ریزشدن برگ‌ها از علائم مخصوص کمبود روی در گیاهان می‌باشند. همچنین کاهش کیفیت محصولات، افزایش حساسیت گیاهان به آسیب‌های ناشی از شدت نور و دمای بالا و افزایش آلودگی به بیماری‌های قارچی از دیگر نتایج کمبود روی هستند (Marschner, 1995؛ Cakmak, 2000).

اثرات مصرف روی بر رشد، عملکرد و تولید متابولیت‌های ثانویه گیاهان دارویی و معطر در تحقیقات مختلف مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. El-Sherbeny و Abou Zeid (۱۹۸۶) دریافتند که استعمال برگی کودهای حاوی عناصر روی، مس، بور و منگنز باعث افزایش رشد، محتوی روغن‌های فرّار و کربوهیدرات‌های گیاه رازیانه شده است. Misra و Sharma (۱۹۹۱) با کاربرد روی در نعناع ژاپنی دریافتند که کاربرد این عنصر تولید ماده خشک، تولید اسانس و نیز منتول را در گیاه تحریک می‌کند.

نتایج تحقیق El-Sawi و Mohamed (۲۰۰۲) نشان داد که کاربرد برگی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر از عناصر روی، منگنز و ترکیب آنها باعث افزایش صفات رویشی، درصد اسانس

بذر، عملکرد اسانس پیکر رویشی و بذر در گیاه زیره سبز شد. میزان کومین‌آلدئید به‌عنوان جزء غالب اسانس، در پاسخ به محلول‌پاشی عناصر روی و منگنز در هر دو اسانس بذر و پیکر رویشی افزایش یافت.

Gerjtovský و همکاران (۲۰۰۶) دریافتند که اثر کاربرد خاکی روی (در مقادیر صفر، ۵۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در گیاه بابونه تا میزان ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بر درصد اسانس و درصد اجزاء اسانس مانند کامازولن، آلفا–بیسابلول و بتا–فارنزن مثبت بوده و در مقادیر بیشتر کاربرد، روی باعث کاهش درصد اسانس و اجزای آن شده است.

طبق گزارش Kumar و همکاران (۲۰۱۰)، مصرف خاکی عناصر روی و گوگرد در گیاه نعناع، به‌دلیل بهبود فعالیت‌های آنزیمی مختلف و سنتز بیشتر پروتئین‌ها، منجر به افزایش رشد و عملکرد پیکر رویشی، درصد و عملکرد اسانس و میزان منتول در اسانس شد.

در یک تحقیق محلول‌پاشی گیاه شمعدانی (*Pelargonium graveolens*) با سولفات روی (در غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) باعث افزایش معنی‌دار صفات رویشی، محتوای کلروفیل و پروتئین برگ‌ها، درصد و عملکرد اسانس گردید. همچنین اجزاء عمده اسانس مانند سیترونلول، ژرانیول و لینالول با کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات روی افزایش یافتند (Ayad *et al*., 2010).

محلول‌پاشی گیاه ریحان با کلات روی، باعث بهبود رشد و عملکرد گیاه، درصد و عملکرد اسانس و نیز میزان لینالول و متیل کاویکول به‌عنوان اجزاء غالب اسانس در شرایط تنش شوری گردید (Said-Al Ahl & Mahmoud, 2010). همچنین کاربرد سولفات روی به‌صورت خاکی و محلول‌پاشی باعث افزایش معنی‌دار رشد و عملکرد اسانس در گیاه شاه‌اسپرم شد، اما افزایش درصد اسانس در پاسخ به کاربرد روی معنی‌دار نبود. همچنین با کاربرد روی درصد کاروون به‌عنوان جزء غالب اسانس، به‌طور مختصری افزایش یافت (Derakhshani *et al*., 2011a).

استفاده از فناوری نانو در کلیه عرصه‌ها ازجمله کشاورزی در حال گسترش است. نانوذرات به مجموعه‌ای از اتم‌ها یا مولکول‌ها اطلاق می‌شود که اندازه آنها ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد. به علت بالابودن نسبت سطح به حجم، این ذرات خواص فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و نیز عملکردهای جدید و متفاوتی را نسبت به توده ماده اولیه بروز می‌دهند (Lengke *et al*., 2007). یکی از کاربردهای فناوری نانو در بخش کشاورزی، تولید و عرضه کودهای شیمیایی به شکل نانوذرات است که به‌دلیل جذب بیشتر آنها توسط گیاه که ناشی از اندازه کوچک و نفوذ بسیار بالای آنها از طریق غشاهای سلولی است اخیراً مورد توجه بسیار قرار گرفته‌اند (Panwar *et al*., 2012). مطالعات نشان می‌دهند که استفاده از کودهای نانو باعث افزایش کارآیی مصرف کود، کاهش سمّیت خاک، به حداقل رساندن اثرات منفی مرتبط با مصرف بیش از حد عناصر و کاهش تعداد دفعات کاربرد کود می‌گردد. به‌علاوه اینکه نقش کودهای نانو در تأمین اهداف کشاورزی پایدار، گزارش شده و مورد تأکید قرار گرفته است (Naderi & Danesh-Shahraki, 2013). تأثیر قابل ملاحظه مصرف نانوکود روی در بهبود رشد و عملکرد گیاهانی مانند نخود (Pandey *et al*., 2010)، بادام زمینی (Prasad *et al*., 2012)، گوجه‌فرنگی (Panwar *et al*., 2012)، پنبه (Rezaei & Abbasi, 2014) و ارزن (Tarafdar *et al*., 2014) گزارش شده است. طبق گزارش Moghimi Pour و همکاران (۲۰۱۴)، کاربرد برگی نانوکلات روی و سولفات روی (در غلظت‌های صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ گرم در لیتر) را باعث افزایش معنی‌دار فتوسنتز خالص، هدایت روزنه‌ای، میزان تعرق، محتوی کلروفیل برگ، درصد و عملکرد اسانس در گیاه ریحان مقدس (*Ocimum sanctum*) می‌دانند و بیشترین مقدار صفات یادشده زمانی بدست آمد که گیاهان با ۱/۵ گرم در لیتر نانوکلات روی محلول‌پاشی شده بودند.

با توجه به اینکه هدف نهایی در زراعت گیاهان دارویی، دستیابی به مواد مؤثره دارای کمّیت و کیفیت بالا می‌باشد، از این‌رو شناخت عوامل مؤثر بر رشد و عملکرد کمّی و کیفی این گیاهان حائز اهمیت فراوان است. در

همین راستا، این تحقیق به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی منابع مختلف روی (با تأکید بر نانوذرات روی به‌عنوان یک منبع کودی جدید) بر عملکرد و ویژگی‌های فیتوشیمیایی گیاه ریحان و در جهت نیل به اهداف کشاورزی پایدار انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت یک آزمایش گلدانی در گلخانه تحقیقاتی و آزمایشگاه‌های گروه علوم باغبانی و علوم خاک دانشگاه ارومیه و در طی بهار و تابستان سال ۱۳۹۳ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل محلول‌پاشی منابع مختلف روی (سولفات روی، کلات روی و نانوکود کلات روی) در مقادیر مختلف (صفر، ۱، ۲ و ۳ گرم در لیتر) بودند که به‌صورت فاکتوریل، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در ۴ تکرار اعمال شدند. بذرهای گیاه ریحان (رقم کشکنی لولو) در اوایل اردیبهشت در گلدان‌های پلاستیکی (با ارتفاع ۳۰ و قطر دهانه ۲۵ سانتی‌متر) که هر یک با ۹ کیلوگرم خاک (۳ قسمت خاک مزرعه+۲ قسمت ماسه) پر شده بودند کشت گردیدند. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در گلدانها در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

بافت خاک	pH	EC (dS/m)	کربن آلی (٪)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
لومی شنی	۷/۵	۰/۹۷	۰/۵۲	۳/۵	۱۱۴	۰/۵	۳/۷۲	۰/۵۶	۰/۳

پس از جوانه‌زنی و سبزشدن بذرها، گیاهچه‌ها در طی چند مرحله تنک شده و در نهایت در هر گلدان ۷ بوته نگهداری شد. در مرحله ۱۰ تا ۱۲ برگی، محلول‌پاشی بوته‌های ریحان با منابع و مقادیر مختلف روی انجام شد و این محلول‌پاشی‌ها در دو نوبت دیگر به فواصل ۱۵ روز تکرار شدند. در طول مدت آزمایش، میانگین دماهای بیشینه و کمینه در گلخانه به‌ترتیب ۳۵ و ۱۸ درجه سلسیوس بود و روشنایی مورد نیاز گیاهان نیز با نور طبیعی آفتاب تأمین می‌شد. بوته‌های ریحان در مرحله گلدهی (اواسط تیر) برداشت شده و صفات مورد نظر به‌شرح زیر مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند.

عملکرد پیکر رویشی

اندام‌های هوایی در هر گلدان، از سطح خاک کف‌بر شده و بلافاصله وزن تر آنها با ترازوی دقیق (۳ رقم اعشار) اندازه‌گیری شد. سپس اندام‌های یادشده به داخل آون (با دمای ۷۲ درجه سلسیوس) منتقل گردیده و پس از ۴۸ ساعت وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد.

میزان روی برگ

نمونه‌های برگی تهیه شده، پس از خشک شدن در آون (۷۲ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت) به‌وسیله آسیاب پودر شده و با هضم به روش سوزاندن خشک، عصاره آنها تهیه گردید. میزان روی برگ‌ها به روش جذب اتمی و با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (Emami, 1996).

میزان فنول کل

سنجش میزان ترکیب‌های فنولی در مرحله گلدهی، به روش رنگ‌سنجی و توسط معرف فولین سیوکالتئو انجام شد. برای استخراج عصاره جهت اندازه‌گیری میزان فنول کل، ۰/۵ گرم از بافت تر برگ به همراه ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰٪ در هاون ساییده شد. مخلوط حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور و در دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفیوژ گردید و در نهایت میزان فنول کل با استفاده از روش Marinova و همکاران (۲۰۰۵) اندازه‌گیری شد. لازم به

ذکر است که برای محاسبه فنول کل از منحنی استاندارد اسید گالیک استفاده شد و مقدار فنول کل برابر با میلی‌گرم اسید گالیک در گرم وزن تر بیان گردید.

استخراج و اندازه‌گیری کمّی اسانس

برای استخراج اسانس، بوته‌های برداشت شده در مرحله گلدهی کامل در دمای اتاق (حدود ۲۵ درجه سلسیوس) و در سایه به مدت یک هفته خشک شده و بعد اسانس آنها به روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه کلونجر (به مدت ۲ ساعت) استخراج شد (Charles & Simon, 1990) و در نهایت محتوی (درصد) اسانس بر حسب میلی‌لیتر در ۱۰۰ گرم ماده خشک محاسبه گردید.

جداسازی و شناسایی ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس

جداسازی و شناسایی اجزاء اسانس با استفاده از دستگاه‌های کروماتوگرافی گازی (GC) و کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC/MS) انجام شد. شناسایی ترکیب‌های اسانس با استفاده از اندیس بازداری، بررسی طیف‌های جرمی ترکیب‌ها و مقایسه آن با طیف‌های جرمی استاندارد موجود در کتابخانه‌های رایانه‌ای و مراجع معتبر (Davies, 1990؛ Adams, 2007) انجام گردید. مشخصات دستگاه‌های مورد استفاده به‌شرح زیر بود.

دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC)

در این تحقیق از دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل Thermo-UFM و مجهز به ستون ph-5 (به طول ۱۰ متر و قطر داخلی ۰/۱ میلی‌متر و ضخامت فاز ساکن ۰/۴ میکرومتر) استفاده شد. دمای اولیه ۶۰ درجه سلسیوس (با زمان نگهداری ۳ دقیقه) بود که با ۴۰ درجه سلسیوس افزایش در هر دقیقه به دمای نهایی ۲۸۵ درجه سلسیوس رسید. درجه حرارت محفظه تزریق و آشکارساز (FID) ۲۸۰ درجه سلسیوس بود. گاز حامل دستگاه هلیوم (با درجه خلوص ۹۹/۹۹۹٪) و با سرعت ۳۲ سانتی‌متر بر ثانیه در طول ستون حرکت می‌کرد.

دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC/MS)

از گاز کروماتوگراف متصل شده به طیف‌سنج جرمی مدل واریان ۳۴۰۰ از نوع تله یونی مجهز به ستون DB-5 (به طول ۳۰ متر و قطر ۰/۲۵ میلی‌متر که ضخامت لایه فاز ساکن در آن ۰/۲۵ میکرومتر بود) استفاده شد. برنامه‌ریزی حرارتی ستون از دمای اولیه ۵۰ درجه تا دمای نهایی ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد بود که در هر دقیقه ۴ درجه به آن افزوده می‌شد. دمای محفظه تزریق ۱۰ درجه بیشتر از دمای نهایی ستون تنظیم گردید. گاز حامل هلیوم (با درجه خلوص ۹۹/۹۹۹٪) بود که با سرعت ۳۱/۵ سانتی‌متر بر ثانیه در طول ستون حرکت می‌کرد. زمان اسکن برابر یک ثانیه، انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت و ناحیه جرمی از ۴۰ تا ۳۶۰ بود.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های مربوط به صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج

عملکرد پیکر رویشی

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثرات ساده منبع و مقدار روی بر عملکرد پیکر رویشی تر معنی‌دار (در سطح ۱٪) بوده‌است. بالاترین عملکرد پیکر رویشی تر (۸۰/۱۰۴ گرم در گلدان) در نانوکود کلات روی و پایین‌ترین میزان آن (۶۶/۱ گرم در گلدان) در کلات روی بدست آمد (جدول ۳). اگرچه با افزایش غلظت روی بکار رفته، عملکرد پیکر رویشی تر افزایش یافت اما اختلاف بین مقادیر ۱، ۲ و ۳ گرم در لیتر معنی‌دار نبود (جدول ۴).

همچنین نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که اثرات ساده نوع کود و مقدار روی (در سطح ۱٪) و اثرات متقابل نوع و مقدار روی (در سطح ۵ درصد) بر عملکرد پیکر رویشی خشک معنی‌دار بوده‌است. براساس

نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱)، بالاترین عملکرد پیکر رویشی خشک در تیمار ۳ گرم در لیتر نانوکود کلات روی بدست آمد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. کمترین عملکرد پیکر رویشی خشک نیز در تیمارهای بدون مصرف روی حاصل شد. همچنین صرفنظر از نوع کود با افزایش غلظت روی مقدار این صفت افزایش یافته است.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مربوط به صفات اندازه‌گیری شده تحت تأثیر نوع و مقدار کود روی مورد استفاده

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		عملکرد پیکر رویشی تر	عملکرد پیکر رویشی خشک	میزان روی برگ	میزان فنول کل	درصد اسانس	عملکرد اسانس
بلوک	۳	۲۴۸/۲۴*	۴/۷۴**	۱۰۹/۳۵ *	۰/۰۷۷ ns	۰/۰۶۲۱**	۰/۴۹۵ *
نوع کود	۲	۸۳۹/۶۴**	۱۲/۲۳**	۳۵۳/۶۴ **	۰/۴۰۱**	۰/۱۹۴۱**	۷/۹۲ **
غلظت	۳	۴۷۱/۱۶**	۱۴/۴۳**	۱۱۳/۹۰ *	۰/۱۸۸**	۰/۰۸۷۹*	۱۴/۹۵ **
کود×غلظت	۶	۱۱۶/۷۵ ns	۱/۵۴*	۱۷۶/۲۰ ns	۰/۰۴۹ ns	۰/۰۲۹۸ ns	۰/۸۴۹ **
اشتباه آزمایشی	۳۳	۷۴/۲	۰/۶۳۷	۳/۹	۰/۰۲۹	۰/۰۲۶۷	۰/۲۸۰
ضریب تغییرات (٪)		۱۱/۸۲	۸/۰۴	۵/۹۷	۴/۸۳	۱۵/۰۶	۱۱/۰۱

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ و غیرمعنی‌دار

میزان روی برگ

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که اثرات ساده نوع کود (در سطح ۱٪) و مقدار روی (در سطح ۵٪) بر محتوی روی برگ‌ها معنی‌دار بوده‌است. بیشترین میزان روی برگ در تیمار نانوکود کلات روی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سایر منابع کودی مورد استفاده داشت (جدول ۳). از سوی دیگر اگرچه با افزایش مقدار روی بکار رفته، محتوی روی در برگ‌ها افزایش یافت اما از این نظر اختلاف معنی‌داری بین مقادیر ۱، ۲ و ۳ گرم در لیتر مشاهده نشد (جدول ۴).

میزان فنول کل

نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن است که اثرات ساده نوع و مقدار کود روی بر میزان فنول کل معنی‌دار (در سطح ۱٪) بوده‌است (جدول ۲). بیشترین میزان فنول کل با محلول‌پاشی نانوکود کلات روی بدست آمد که اختلاف معنی‌داری با کلات روی و سولفات روی نشان داد (جدول ۳). همچنین با افزایش مقدار روی بکار رفته میزان فنول کل نیز افزایش یافت که البته اختلاف بین مقدار ۱ گرم در لیتر با تیمار شاهد (بدون مصرف روی) معنی‌دار نبود (جدول ۴).

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های مربوط به اثر نوع کود روی بر عملکرد پیکر رویشی تر، فنول کل و میزان روی برگ‌ها

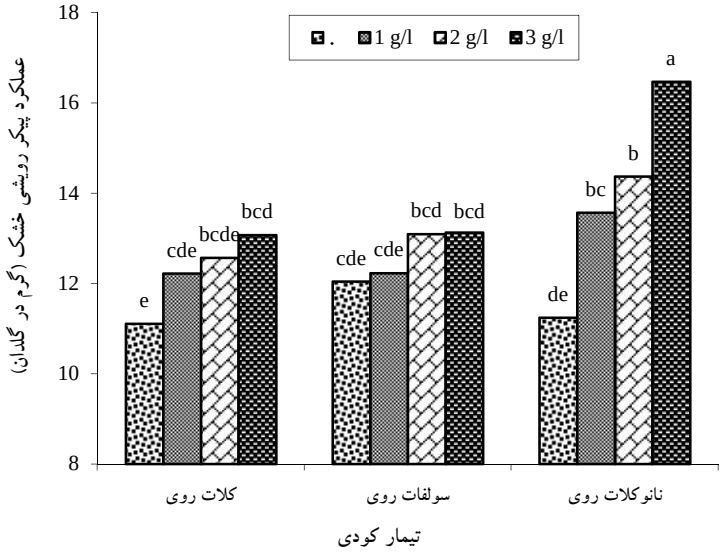
صفات / نوع کود	عملکرد پیکر رویشی تر (گرم در گلدان)	میزان روی برگ (میلی‌گرم در کیلوگرم)	میزان فنول کل (میلی‌گرم اسیدگالیک در گرم وزن تر)
کلات روی	۶۶/۱۰ c	۲۴/۴۳ b	۳/۴۵ b
سولفات روی	۷۲/۸۰ b	۳۶/۶۲ b	۳/۴۸ b
نانوکود کلات روی	۸۰/۱۰۴ a	۵۴ a	۳/۷۴ a

حروف غیرمشابه در مقابل میانگین‌ها در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بین آنهاست (آزمون دانکن).

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های مربوط به اثر مقدار کود روی بر عملکرد پیکر رویشی‌تر، فنول کل و میزان روی برگ‌ها

صفات / غلظت کود	عملکرد پیکر رویشی تر (گرم در گلدان)	میزان روی برگ (میلی‌گرم در کیلوگرم)	میزان فنول کل (میلی‌گرم اسیدگالیک در گرم وزن تر)
شاهد (بدون مصرف روی)	۶۴/۱۹ b	۲۵/۵۰ b	۳/۴۳ c
۱ گرم در لیتر	۷۳/۴۲ a	۳۶/۱۶ ab	۳/۴۸ bc
۲ گرم در لیتر	۷۵/۱۵ a	۴۴/۹۱ a	۳/۶۰ ab
۳ گرم در لیتر	۷۹/۲۳ a	۴۶/۸۳ a	۳/۷۱ a

حروف غیرمشابه در مقابل میانگین‌ها در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بین آنهاست (آزمون دانکن).



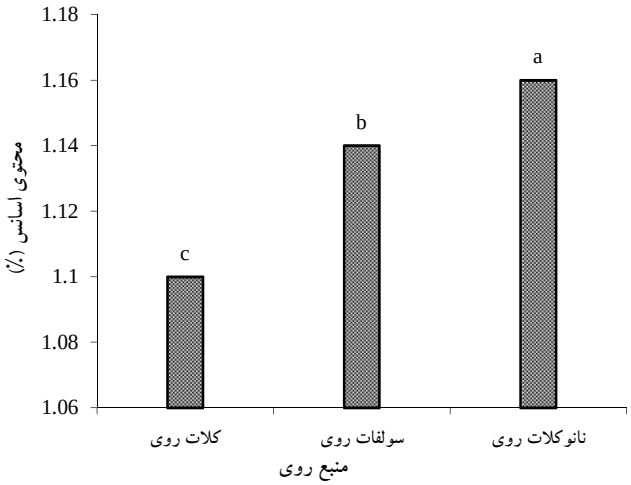
شکل ۱- تأثیر منابع و مقادیر مختلف کود روی بر عملکرد پیکر رویشی خشک گیاه ریحان

میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ می‌باشند (آزمون دانکن).

درصد و عملکرد اسانس

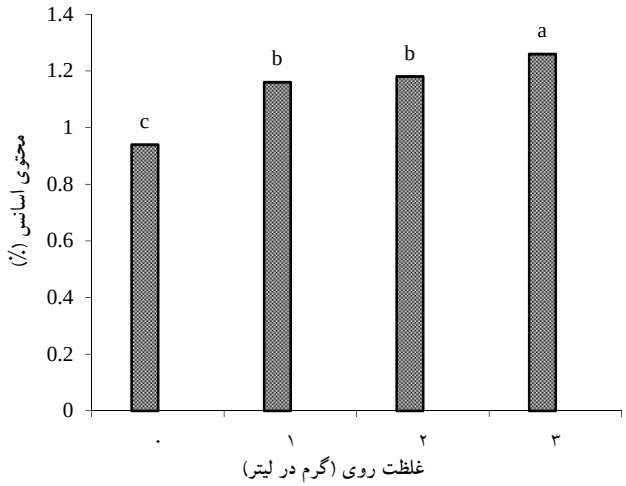
براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثرات ساده نوع کود (در سطح ۱٪) و مقدار روی (در سطح ۵٪) بر درصد اسانس معنی‌دار بوده است. بالاترین محتوی اسانس (۱/۱۶٪) در تیمار نانوکود کلات روی مشاهده شد که با سولفات روی (۱/۱۴٪) و کلات روی (۱/۱٪) اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۲). همچنین با افزایش غلظت روی، محتوی اسانس نیز افزایش یافت، به‌طوری که بیشترین (۱/۲۶٪) و کمترین (۰/۹۴٪) محتوی اسانس به‌ترتیب در مقدار ۳ گرم در لیتر و تیمار بدون مصرف روی مشاهده شد (شکل ۳).

در مورد عملکرد اسانس نیز مشاهده می‌شود که اثرات ساده نوع و مقدار کود روی و نیز اثرات متقابل آنها بر این صفت معنی‌دار (در سطح ۱٪) بوده است. با افزایش مقدار روی عملکرد اسانس افزایش یافت (شکل ۴)، به‌طوری که بیشترین مقدار این صفت (۰/۱۸۵ میلی‌لیتر در گلدان) در تیمار ۳ گرم در لیتر نانوکود کلات روی بدست آمد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت.



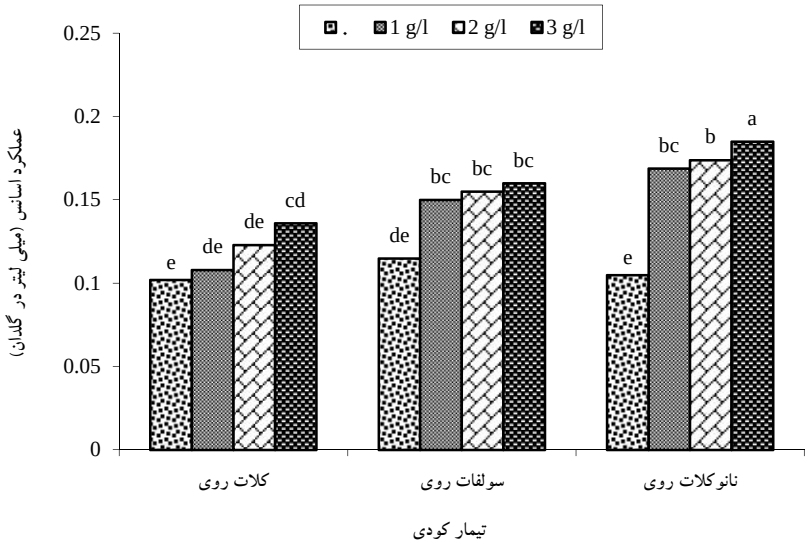
شکل ۲- تأثیر نوع کود روی بر محتوی اسانس گیاه ریحان

میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ می‌باشند (آزمون دانکن).



شکل ۳- تأثیر مقدار کود روی بر محتوی اسانس گیاه ریحان

میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ می‌باشند (آزمون دانکن).



شکل ۴- تأثیر منابع و مقادیر مختلف کود روی بر عملکرد اسانس گیاه ریحان

میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ می‌باشند (آزمون دانکن).

اجزاء تشکیل‌دهنده اسانس

ترکیب‌های شناسایی شده و درصد آنها در اسانس تیمارهای مختلف در جدول ۵ نشان داده شده‌است. در مجموع ۲۰ جزء در اسانس حاصل از تیمارهای مختلف شناسایی شد. لینالول (۷۲/۲-۶۵/۹ درصد)، اوژنول (۸/۳-۵/۹ درصد)، ای-بتا-اوسیمن (۳/۳- ۲/۰ درصد)، اپی-آلفا-مورولول (۳/۲-۲/۵ درصد)، آلفا-ترپینئول (۳/۳-۰/۵ درصد)، ترانس-آلفا-برگاموتن (۲/۷-۲/۳ درصد)، ۸،۱-سینئول (۲/۱-۱/۷ درصد) و آلفا-مورولن (۱/۸-۱/۱ درصد) عمده‌ترین ترکیب‌های شناسایی شده بودند. ۱۶ ترکیب در تمام

تیمارها مشترک بودند. ترکیب‌های آلفا-پینن در نانوکود کلات روی ۲ گرم در لیتر، سابینن در سولفات روی ۳ گرم در لیتر و ترپینن-۴-اُل در کلات روی ۱ گرم در لیتر حضور نداشتند. به‌علاوه اینکه ترانس-پینوکاروئول فقط در تیمارهای شاهد (بدون مصرف کود)، کلات روی ۳ گرم در لیتر و نانوکود کلات روی ۱ و ۳ گرم در لیتر مشاهده شد.

جدول ۵- درصد ترکیب‌های اسانس گیاه ریحان تحت تأثیر محلول‌پاشی منابع و مقادیر مختلف روی

ردیف	نام ترکیب	شاخص بازداری	C	C1	C2	C3	S1	S2	S3	N1	N2	N3
۱	α-pinene	۹۳۹	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	–	۰/۱
۲	sabinene	۹۷۵	۱/۰	۱/۱	۰/۷	۱/۲	۱/۱	۱/۱	–	۱/۱	۱/۰	۰/۹
۳	myrcene	۹۸۹	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳۲	۰/۳	۰/۳	۰/۲
۴	1,8-cineole	۱۰۳۰	۱/۹	۲/۲	۱/۷	۲/۱	۱/۹	۱/۸	۲/۱	۱/۷	۲/۲	۱/۷
۵	E-β-ocimene	۱۰۴۵	۲/۵	۲/۴	۲/۹	۳/۲	۳/۱	۲/۸	۳/۳	۲/۶	۳/۱	۲/۰
۶	linalool	۱۰۸۸	۶۸/۴	۷۲/۲	۶۷/۴	۶۷/۹	۶۸/۸	۶۸/۴	۶۹/۶	۶۸/۹	۶۵/۹	۶۹/۶
۷	*trans*-pinocarveol	۱۱۳۸	۰/۱	–	–	۰/۱	–	–	–	۰/۱	–	۰/۲
۸	camphor	۱۱۴۵	۰/۶	۰/۸	۰/۷	۰/۷	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۶	۰/۸	۰/۸
۹	terpinen-4-ol	۱۱۷۷	۰/۲	–	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۲
۱۰	α-terpineol	۱۱۸۸	۱/۹	۰/۸	۳/۳	۰/۵	۱/۸۵	۳/۱	۱/۳	۳/۴	۱/۶۵	۲/۳
۱۱	*cis*-carveol	۱۲۲۹	۰/۹	۱/۱	۰/۶	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۸	۰/۵	۰/۵	۰/۹
۱۲	geraniol	۱۲۶۵	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴
۱۳	eugenol	۱۳۵۵	۷/۴	۵/۹	۶/۸	۸/۳	۸/۰	۷/۵	۷/۲	۷/۲	۸/۱	۷/۰
۱۴	β-elemene	۱۳۹۰	۱/۷	۱/۴	۱/۵	۱/۴	۱/۴	۱/۴	۱/۱	۱/۴	۰/۹	۱/۶
۱۵	*trans*-α-bergamotene	۱۴۲۸	۲/۶	۲/۵	۲/۷	۲/۶	۲/۴	۲/۷	۲/۳	۲/۴	۲/۶	۲/۴
۱۶	γ-muurolene	۱۴۷۷	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۶	۰/۵	۰/۶
۱۷	α-muurolene	۱۵۰۳	۱/۸	۱/۷	۱/۸	۱/۶	۱/۸	۱/۶	۱/۳	۱/۷	۱/۱	۱/۸
۱۸	cubenol	۱۵۱۱	۱/۲	۱/۱	۱/۱	۱/۱	۱/۱	۱/۰	۱/۱	۱/۱	۱/۶	۱/۲
۱۹	epi-α-cadinol	۱۶۲۲	۰/۴	۰/۴	۰/۵	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۳۵	۰/۴	۰/۴	۰/۵
۲۰	epi-α-muurolol	۱۶۴۲	۳/۰	۲/۵	۳/۲	۲/۹	۳/۱	۲/۹	۲/۶	۲/۹	۳۲/۰	۳/۱
	مجموع		۹۶/۹	۹۷/۴	۹۶/۶	۹۶/۵	۹۷/۷	۹۷/۴	۹۵/۴	۹۷/۶	۹۴/۳	۹۷/۳

C= بدون کاربرد کود، C1، C2 و C3= به‌ترتیب کلات روی ۱، ۲ و ۳ گرم در لیتر، S1، S2 و S3= به‌ترتیب سولفات روی ۱، ۲ و ۳ گرم در لیتر، N1، N2 و N3= به‌ترتیب نانوکود کلات روی ۱، ۲ و ۳ گرم در لیتر

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که محلول‌پاشی گیاه ریحان با عنصر روی باعث افزایش عملکرد پیکر رویشی تر و خشک شده است. بیشترین و کمترین افزایش عملکرد به‌ترتیب مربوط به نانوکود کلات روی و کلات روی بود.

همچنین با افزایش مقدار محلول‌پاشی در هر سه نوع کود، عملکرد گیاه افزایش یافت. البته عنصر روی در بیوسنتز اسیدآمینه تریپتوفان (به‌عنوان پیش‌ماده سنتز اکسین) و تبدیل آن به ایندول استیک اسید (IAA) نقش دارد. بنابراین افزایش شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه در اثر کاربرد روی را می‌توان تا حدود زیادی به نقش این عنصر در بیوسنتز اکسین به‌عنوان یک هورمون محرک رشد در گیاه نسبت داد (Hafeez *et al*., 2013؛ Vitosh *et al*., 1994). در مورد نحوه تأثیر عنصر روی بر هورمون اکسین فرضیه‌های زیادی وجود دارد. Tsui (۱۹۴۸) و Cakmak و همکاران (۱۹۸۹) غلظت کمتر IAA را در گیاهان دارای کمبود روی گزارش کردند که علت آن به کاهش بیوسنتز IAA از تریپتوفان (Gibson *et al*., 1972)، آسیب به انتقال قطبی IAA (Hertel, 1983)، افزایش اکسیداسیون IAA در نتیجه افزایش فعالیت پراکسیداز و نیز اکسیداسیون نوری (Cakmak, 1988) نسبت دادند. همچنین عنصر روی نقش مهمی در فعالیت آنزیم‌های دخیل در متابولیسم کربن مانند کربونیک آنهیدراز، ریبولوز ۱،۵-بیس فسفات و فروکتوز ۱،۶- بیس فسفات دارد (Misra *et al*., 2005). بنابراین افزایش هدایت روزنه‌ای (Sharma *et al*., 1995؛ Moghimi Pour *et al*., 2014)، سنتز کلروفیل (Vitosh *et al*., 1994؛ Akay, 2011) و به‌تبع آن فتوسنتز (Cakmak & Engels, 1999؛ Moghimi Pour *et al*., 2014) تحت شرایط در اختیار بودن روی کافی می‌تواند از دیگر دلایل بهبود رشد و عملکرد گیاه باشد. Kumar و همکاران (۲۰۱۰) افزایش رشد و عملکرد پیکر رویشی گیاه نعناع را در اثر مصرف خاکی عناصر روی و گوگرد، به بهبود فعالیت‌های آنزیمی مختلف و سنتز بیشتر پروتئین‌ها نسبت دادند. البته افزایش رشد و بیوماس گیاه در اثر کاربرد روی در گیاهان دارویی دیگری مانند رازیانه (El-Sherbeny & Abou Zeid, 1986)، شمعدانی (Ayad *et al*., 2010)، زیره سبز (El-Sawi & Mohamed, 2002)، شاه‌اسپرم (Derakhshani *et al*., 2011b) و ریحان مقدس (Moghimi Pour *et al*., 2014) نیز گزارش شده‌است. از دیگر نتایج این تحقیق می‌توان به تأثیر بیشتر نانوکود کلات روی نسبت به دو منبع کودی دیگر در بهبود رشد و عملکرد و نیز افزایش غلظت روی برگ‌ها اشاره کرد. همان‌گونه که ذکر شد نانوذرات به‌دلیل جذب بیشتر آنها توسط گیاه که ناشی از اندازه کوچک و نفوذ بسیار بالای آنها از طریق غشاهای سلولی است مورد توجه بسیار قرار گرفته‌اند. با توجه به قطر نانوذرات انتظار می‌رود که سرعت جذب، انتقال و تجمع این گونه ذرات بسیار بیشتر از ذرات معمولی باشد. البته بالابودن کارآیی جذب و سطح مخصوص نانوذرات در مقایسه با ذرات معمولی، می‌تواند اثرگذاری بیشتر این ذرات را توجیه کند (Monica & Cremonini, 2009). گزارش‌های علمی مختلف تأییدکننده این فرضیه هستند که ورود نانوذرات در سلول‌های گیاهی از طریق روزنه‌های باز و نانومنافذ طبیعی موجود انجام می‌شود که ممکن است باعث افزایش فعالیت‌های متابولیکی سلول‌های گیاهی و در نتیجه تولید محصول بیشتر شوند (Eichert *et al*., 2008؛ Tarafdar *et al*., 2014). اثرات کاربرد نانو ذرات اکسید روی در افزایش رشد گیاه نخود (Pandey *et al*., 2010)، رشد و بیوماس گوجه‌فرنگی (Panwar *et al*., 2012)، رشد و غلظت روی در برگ و دانه بادام زمینی (Prasad *et al*., 2012) و کلروفیل، پروتئین، بیوماس خشک گیاه، عملکرد دانه و غلظت روی در ارزن (Tarafdar *et al*., 2014) نیز گزارش شده‌است. در تحقیقات Moghimi Pour و همکاران (۲۰۱۴) نیز کاربرد برگی نانوکلات روی در بهبود صفات مورد اندازه‌گیری ریحان مقدس مؤثرتر از سولفات روی بود که می‌تواند تأییدکننده نتایج این تحقیق باشد.

از دیگر نتایج این تحقیق، تأثیر معنی‌دار منابع و غلظت‌های مختلف روی بر میزان فنول برگ‌ها بود. با

افزایش مقدار روی بکار رفته میزان فنول نیز افزایش یافت. همچنین نانوکود کلات روی از این نظر مؤثرتر از سولفات و کلات روی بود. در مجموع گزارش‌های بسیار محدودی در مورد رابطه عنصر روی با ترکیب‌های فنولی گیاهان وجود دارد. Venkatesan و همکاران (۲۰۰۵) همبستگی مثبت و بسیار بالایی را بین روی و محتوی پلی‌فنول‌ها در برگ‌های بالغ چای گزارش کردند. همچنین مصرف سولفات روی (به دو صورت خاکی و محلول‌پاشی) در گیاه شاه‌اسپرم باعث افزایش محتوی فنول کل در برگ‌ها شد (Derakhshani *et al.*, 2011b). با این حال Hajiboland و Amirazad (۲۰۱۰) افزایش فنولیک‌ها را در شرایط کمبود روی در گیاه کلم گزارش کردند.

نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که محلول‌پاشی عنصر روی باعث افزایش محتوی و عملکرد اسانس گیاه ریحان شده‌است. مشابه سایر صفات اندازه‌گیری شده، تأثیر نانوکود کلات روی در افزایش محتوی و عملکرد اسانس بیشتر از سولفات و کلات روی بود. از سوی دیگر با افزایش مقدار روی بکار رفته مقدار این دو صفت نیز افزایش یافت. ویژگی‌های کمّی و کیفی اسانس‌ها به‌وسیله عوامل مختلف مانند ژنتیک گیاه، شرایط اقلیمی و جغرافیایی و نیز عملیات کشاورزی و مدیریت کشت و پرورش کنترل می‌شود (Figueiredo *et al.*, 2008؛ Hassanpouraghdam *et al.*, 2011). وضعیت حاصلخیزی خاک، قابل دسترس بودن عناصر کم‌مصرف و پرمصرف و مدیریت تغذیه و کوددهی جزء عوامل مهم تأثیرگذار بر کمّیت و کیفیت اسانس‌ها هستند و در این میان نقش عناصر کم‌مصرف مانند روی می‌تواند بسیار تعیین‌کننده باشد. تثبیت دی‌اکسید کربن، محتوی متابولیت‌های اولیه و متابولیسم ساکارز ارتباط نزدیکی با تولید و انباشت اسانس دارند. از آنجایی که عنصر روی در سنتز پروتئین‌ها، فتوسنتز و متابولیسم ساکاریدها نقش دارد و نیز با توجه به اینکه دی‌اکسید کربن و گلوکز مهمترین منابع کربن و انرژی مورد استفاده در بیوسنتز ترپن‌ها هستند، از این‌رو نقش روی در تولید و تجمع اسانس بسیار مهم و اساسی است (Srivastava *et al.*, 1997). Misra و همکاران (۲۰۰۵) نیز گزارش کردند که بیوسنتز اسانس در گیاه شمعدانی، بشدت به‌وسیله قابلیت دسترسی یا کمبود عنصر روی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. افزایش درصد و عملکرد اسانس تحت تأثیر کاربرد روی که در این تحقیق مشاهده شد توسط سایر محققان مانند El-Sherbeny و Abou Zeid (۱۹۸۶) در رازیانه، Srivastava و همکاران (۱۹۹۷) در نعناع فلفلی، El-Sawi و Mohamed (۲۰۰۲) در زیره سبز، Said-Al Ahl و Mahmoud (۲۰۱۰) در ریحان، Ayad و همکاران (۲۰۱۰) در شمعدانی، Nasiri و همکاران (۲۰۱۰) در بابونه آلمانی و Derakhshani و همکاران (۲۰۱۱a) در شاه‌اسپرم نیز گزارش شده است. Moghimi Pour و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیق مشابهی در گیاه ریحان مقدس، ضمن بررسی تأثیر کاربرد برگی نانوکلات روی و سولفات روی دریافتند که افزایش درصد و عملکرد اسانس در گیاهان تیمار شده با نانوکلات بیشتر از سولفات روی بود که نتایج این تحقیق را مورد تأیید قرار می‌دهد. همان‌گونه که ذکر شد نانوذرات به‌دلیل جذب بیشترشان توسط گیاه، اثرگذاری بیشتری نسبت به ذرات معمولی دارند و این می‌تواند مؤثرتر بودن نانوکود کلات روی را نسبت به سولفات و کلات روی توجیه کند.

در بررسی نتایج تجزیه اسانس ملاحظه شد که لینالول، اوژنول، ای-بتا-اوسیمن، اپی-آلفا-مورولول، آلفا-ترپینئول، ترانس-آلفا-برگاموتن، ۸،۱-سینئول و آلفا-مورولن عمده‌ترین اجزاء شناسایی شده در اسانس بودند. لینالول به‌عنوان یک مونوترپن الکلی غیرحلقوی، اصلی‌ترین ترکیب اسانس گیاه ریحان را تشکیل می‌داد. اگرچه مقدار این ترکیب تحت تأثیر کاربرد روی تغییرات مختصری را نشان داد اما این تغییرات از روند مشخصی برخوردار نبود. بالاترین و پایین‌ترین مقدار لینالول به‌ترتیب در کلات روی ۱ گرم در لیتر و نانوکود کلات روی ۲ گرم در لیتر مشاهده شد. اوژنول یک روغن فرّار فنولی و یکی از ترکیب‌های فنیل‌پروپانوئیدی موجود در اسانس‌ها است که بعد از لینالول دومین ترکیب مهم اسانس در این آزمایش بود. اگرچه تغییرات این جزء نیز مختصر بود ولی با این حال مقدار آن با افزایش غلظت روی

در تیمار کلات روی افزایش و در تیمار سولفات روی کاهش یافت. در مورد سایر اجزاء اسانس نیز اگرچه کم و بیش تغییراتی ملاحظه شد ولی تغییرات یادشده در مورد بعضی از کودها از روند مشخصی تبعیت نمی‌کرد. در تحقیقات مشابه نیز کاربرد روی کم و بیش باعث ایجاد تغییراتی در اجزاء اسانس شده است. Misra و Sharma (۱۹۹۱) مشاهده کردند که کاربرد روی باعث افزایش غلظت منتول در اسانس نعناع ژاپنی شد. El-Sawi و Mohamed (۲۰۰۲) گزارش کردند که کاربرد برگی سولفات روی باعث افزایش جزء غالب کومین‌آلدئید در اسانس بذر و پیکر رویشی زیره سبز گردید. با این حال نتایج تحقیق Gerjtovsky و همکاران (۲۰۰۶) در بابونه آلمانی نشان داد که مصرف خاکی روی ترکیب‌های عمده اسانس مانند کامازولن و بتا–فارنزن را به‌طور مختصری تحت تأثیر قرار داد. همچنین در گیاه شاه‌اسپرم، اگرچه مصرف سولفات روی (به‌صورت خاکی و برگی) باعث افزایش جزء غالب کاروون گردید ولی این افزایش بسیار مختصر بود (Derakhshani *et al*., 2011a).

در مجموع یافته‌های این تحقیق نشان داد که مصرف روی به‌عنوان یک عنصر مهم و کلیدی می‌تواند اثرات مفیدی در بهبود رشد، عملکرد و تولید و انباشت اسانس در گیاه ریحان داشته باشد. به علاوه در مقایسه بین منابع کودی مورد استفاده برای روی ملاحظه گردید که نانوکود کلات روی به‌ویژه در غلظت ۳ گرم در لیتر، در تمام صفات مورد مطالعه مؤثرتر از سولفات و کلات روی عمل کرد. به‌علت بالا بودن کارآیی جذب کودهای نانو، قطعاً با کاهش غلظت و تعداد دفعات مصرف کود می‌توان به نتیجه دلخواه و مورد انتظار از مصرف کودها دست یافت. به بیان دیگر ضمن افزایش کارآیی مصرف کود، اثرات منفی ناشی از مصرف بی‌رویه کودها و سمّیت خاک‌ها کاهش خواهد یافت و این نتیجه می‌تواند تأمین‌کننده بخشی از اهداف کشاورزی پایدار باشد.

منابع مورد استفاده

- Adams, R.P., 2007. Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Quadrupole Mass Spectroscopy. Allured Publishing Corporation, Carol Stream, 803p.
- Akay, A., 2011. Effect of zinc fertilizer applications on yield and element contents of some registered chickpeas varieties. African Journal of Biotechnology, 10(60): 12890-12896.
- Auld, D.S., 2001. Zinc coordination sphere in biochemical zinc sites. Biometals, 14(3): 271-313.
- Ayad, H.S., Reda, F. and Abdalla, M.S.A., 2010. Effect of putrescine and zinc on vegetative growth, photosynthetic pigments, lipid peroxidation and essential oil content of geranium (*Pelargonium graveolens* L.). World Journal of Agricultural Sciences, 6(5): 601-608.
- Baybordi, A., 2006. Zinc in Soil and Crop Nutrition. Parivar Press, 179p.
- Cakmak, I., 1988. Morphologische und Physiologische Veranderungen bei Zinkmangelpflanzen. Ph.D. thesis, University Hohenheim, Germany.
- Cakmak, I., 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. New Phytologist, 146: 185-205.
- Cakmak, I. and Marschner, H., 1988. Increase in membrane permeability and exudation in roots of zinc deficient plants. Journal of Plant Physiology, 132: 356-361.
- Cakmak, I., Marschner, H. and Bangerth, F., 1989. Effect of zinc nutritional status on growth, protein metabolism and levels of Indole-3-acetic acid and other phytohormones in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Experimental Botany, 40: 405-412.
- Cakmak, I. and Engels, C., 1999. Role of mineral nutrients in photosynthesis and yield formation: 141-168. In: Rengel, Z., (Ed.). Mineral Nutrition of Crops: Fundamental Mechanisms and Implication. Haworth Press, New York, 418p.
- Charles, D.J. and Simon, J.E., 1990. Comparison of extraction methods for rapid determination of essential oil content and composition of basil. Journal of the American Society for Horticultural Science, 115(3): 458-462.
- Davies, N.N., 1990. Gas chromatographic retention indices of monoterpenes and sesquiterpenes on methyl silicone and carbowax 20M phases. Journal of Chromatography, 503: 1-24.
- Derakhshani, Z., Hassani, A., Sefidkon, F., Rasouli-Sadaghiani, M.H., Hassanpouraghdam, M.B. and Gheibi, S.A., 2011a. Effects of soil and foliar application of zinc on some growth characteristics and essential oil of costmary (*Tanacetum balsamita* L.). Iranian Journal of Horticultural Science and Technology, 12(2): 99-110.

- Derakhshani, Z., Hassani, A., Rasouli-Sadaghiani, M.H., Hassanpouraghdam, M.B., Hosseini Khalifani, B. and Dalkani, M., 2011b. Effect of zinc application on growth and some biochemical characteristics of costmary (*Chrysanthemum balsamita* L.). Communications in Soil Science and Plant Analysis, 42(20): 2493-2503.
- Eichert, T., Kurtz, A., Steiner, U. and Goldbach, H.E., 2008. Size exclusion limits and lateral heterogeneity of the stomatal foliar uptake pathway for aqueous solutes and water-suspended nanoparticles. Physiologia Plantarum, 134(1): 151-160.
- El-Sawi, S.A. and Mohamed, M.A., 2002. Cumin herb as a new source of essential oils and its response to foliar spray with some micro-elements. Food Chemistry, 77: 75-80.
- El-Sherbeny, S.E. and Abou Zeid, E.N., 1986. A Preliminary Study on the Effect of Foliar Micro Elements on Growth and Chemical Constituents in *Foeniculum copillacum*. Bull. NRC, Egypt, II, 606p.
- Emami, A., 1996. Leaf Analysis Methods. Technical Bulletin No. 982. Soil and Water Research Institute. Tehran, Iran.
- Fageria, N.K., Baligar, V.C. and Clark, R.B., 2002. Micronutrients in crop production. Advances in Agronomy, 77: 185-268.
- Figueiredo, A.C., Barroso, J.G., Pedro, L.G. and Scheffer, J.J.C., 2008. Factors affecting secondary metabolite production in plants: volatile components and essential oils. Flavour and Fragrance Journal, 23: 213-226.
- Gerjtovský, A., Markusova, K. and Eliasova, A., 2006. The response of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) plants to soil zinc supply. Plant, Soil and Environment, 52(1): 1-7.
- Gibson, R.A., Schneider, E.A. and Wightman, F., 1972. Biosynthesis and metabolism of indol-3yl-acetic acid. II. In vivo experiments with C-labelled precursors of IAA in tomato and barley shoots. Journal of Experimental Botany, 23: 381-399.
- Hafeez, B., Khanif, Y.M. and Saleem, M., 2013. Role of zinc in plant nutrition-A review. American Journal of Experimental Agriculture, 3(2): 374-391.
- Hajiboland, R. and Amirazad, F., 2010. Growth, photosynthesis and antioxidant defense system in Zn-deficient red cabbage plants. Plant, Soil and Environment, 56: 209-217.
- Hassanpouraghdam, M.B., Gohari, G.R., Tabatabaei, S.J., Dadpour, M.R. and Shirdel, M., 2011. NaCl salinity and Zn foliar application influence essential oil composition of basil (*Ocimum basilicum* L.). Acta Agriculturae Slovenica, 97(2): 93-98.
- Hertel, R., 1983. The mechanism of auxin transport as a model for auxin action. Zeitschrift für Pflanzenphysiologie, 112: 53-67.
- Kitagishi, K. and Obata, H., 1986. Effects of zinc deficiency on the nitrogen metabolism of meristematic tissues of rice plants with reference to protein synthesis. Soil Science and Plant Nutrition, 32: 397-405.
- Kumar, A., Patro, H.K. and Anand, K., 2010. Effect of zinc and sulphur on herb, oil yield and quality of menthol mint (*Mentha arvensis* L.) var. Kosi. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 2(4): 642-648.
- Lengke, F.M., Fleet, E.M. and Southam, G., 2007. Biosynthesis of silver nanoparticles by filamentous *Cyanobacteria* a from a silver (I) nitrate complex. Langmuir, 23(5): 2694-2699.
- Luo, Z.B., He, X.J., Chen, L., Tang, L., Gao, S. and Chen, F., 2010. Effects of zinc on growth and antioxidant responses in *Jatropha curcas* seedlings. International Journal of Agricultural Biology, 12: 119-124.
- Malakoti, M.J. and Tehrani, M.M., 1999. Effects of Micronutrients on the Yield and Quality of Agricultural Products. Tarbiat Modarres University Publications, Tehran, Iran, 299p.
- Marinova, D., Ribarova, F. and Atanassova, M., 2005. Total phenolics and total flavonoids in Bulgarian fruits and vegetables. Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy, 40(3): 255-260.
- Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, San Diego, CA, 889p.
- Misra, A. and Sharma, S., 1991. Critical Zn concentration for essential oil yield and menthol concentration of Japanese mint. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 29(3): 261-265.
- Misra, A., Srivastava, A. K., Srivastava, N. K. and Khan, A., 2005. Zn-acquisition and its role in growth, photosynthesis, photosynthetic pigments and biochemical changes in essential monoterpene oil(s) of *Pelargonium graveolens*. Photosynthetica, 43(1): 153-155.
- Moghimi Pour, Z., Mahmoodi Sourestani, M., Alamzade Ansari, N. and Ramezani, Z., 2014. Effects of foliar application of nano zinc chelate and zinc sulfate on chlorophyll content, photosynthetic parameters, essential oil content and yield of holy basil (*Ocimum sanctum*). 3rd National Congress on Medicinal Plants, Mashhad, Iran, 14-15 May: 266.
- Monica, R.C. and Cremonini, R., 2009. Nanoparticles and higher plants. Caryologia, 62(2): 161-165.

- Naderi, M.R. and Danesh-Shahraki, A., 2013. Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 5(19): 2229-2232.
- Nasiri, Y., Zehtab-Salmasi, S., Nasrullahzadeh, S., Najafi, N. and Ghassemi-Golezani, K., 2010. Effects of foliar application of micronutrients (Fe and Zn) on flower yield and essential oil of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Journal of Medicinal Plants Research, 4(17): 1733-1737.
- Omidbaigi, R., 2006. Production and Processing of Medicinal Plants (Volume 3). Astan Ghods Razavi Publication, Mashhad, 397p.
- Pandey, A.C., Sanjay, S.S. and Yadav, R.S., 2010. Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum*. Journal of Experimental Nanoscience, 6: 488-497.
- Panwar, J., Jain, N., Bhargaya, A., Akhtar, M.S. and Yun, Y.S., 2012. Positive effect of zinc oxide nanoparticels on tomato plants: A step towards developing “Nano-fertilizers”. Proceeding of 3rd International Conference on Environmental Research and Technology (ICERT), Penang, Malaysia, 30 May-1 June: 348-352.
- Prakash, V., 1990. Leafy Spices. CRC Press, 114p.
- Prasad, T.N.V.K.V., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Raja Reddy, K., Sreeprasad, T.S., Sajanlal, P.R. and Pradeep, T., 2012. Effect of nanoscales zinc oxide on the germination, growth and yield of peanut. Journal of Plant Nutrition, 35: 905-927.
- Rezaei, M. and Abbasi, H., 2014. Foliar application of nano-chelate and non-nanochelate of zinc on plant resistance physiological processes in cotton (*Gossipium hirsutum* L.). Iranian Journal of Plant Physiology, 4(4): 1137-1144.
- Said-Al Ahl, H.A.H. and Mahmoud, A.A., 2010. Effect of zinc and/or iron foliar application on growth and essential oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress. Ozean Journal of Applied Sciences, 3(1): 97-111.
- Sharma, P.N., Tripathi, A. and Bisht, S.S., 1995. Zinc requirement for stomatal opening in cauliflower. Plant Physiology, 107: 751-756.
- Simon, J.E., Quinn, J. and Murray, R.G., 1990. Basil: A source of essential oil: 484-489. In: Janick, J. and Simon, J.E., (Eds.). Advances in New Crops. Timber Press, Portland, OR.
- Srivastava, N.K. Misra, A. and Sharma, S., 1997. Effect of zinc deficiency on net photosynthetic rate, 14C Partition, and oil accumulation in leaves of peppermint. Photosynthetica, 33(1): 71-79.
- Tarafdar, J.C., Raliya, R., Mahawar, H. and Rathore, I., 2014. Development of zinc nanofertilizer to enhance crop production in pearl millet (*Pennisetum americanum*). Agricultural Research, 3(3): 257-262.
- Tsui, C., 1948. The role of zinc in auxin synthesis in the tomato plant. American Journal of Botany, 27: 939-951.
- Venkatesan, S., Murugesan, S., Senthur Pandian, V.K. and Ganapathy, M.N.K., 2005. Impact of sources and doses of potassium on biochemical and green leaf parameters of tea. Food Chemistry, 90: 535-539.
- Vitosh, M.L., Warcnke, D.D. and Lucas, R.E., 1994. Secondary and Micronutrients for Vegetables and Field Crops. Michigan State University Extension Bulletin, E-486.

Effect of foliar application of different zinc sources on yield and phytochemical characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.)

A. Fallahi[1], A. Hassani[2*] and F. Sefidkon[3]

1- Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
2*- Corresponding author, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
E-mail: horthasani@yahoo.com
3- Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: February 2015 Revised: May 2015 Accepted: May 2015

Abstract

Zinc is an essential micronutrient element and has a number of vital roles in plants. In the recent years, zinc nano-fertilizers have received considerable attention due to their increased uptake by plants as they are small in size and have high rate of penetration through plant cell membrane. To study the effect of foliar application of different zinc fertilizers on yield and phytochemical characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.), a pot experiment was conducted using a factorial based on a randomized complete block design with four replications during 2014 at the experimental greenhouse of the Horticultural Sciences Department of Urmia University. The treatments were three different zinc sources (zinc sulphate, zinc chelate and nano-zinc chelate) in four concentrations (0, 1, 2 and 3g/l). The results showed that foliar application of zinc had significant effect on evaluated parameters. Fresh and dry herb yield, zinc and phenol content of leaves, essential oil content, and yield increased with zinc application and in this regard, foliar application of nano-zinc chelate was more effective than two other zinc fertilizers. The lowest and the highest evaluated parameters were observed at concentrations of 0 and 3g/l, respectively. The results of essential oil analysis by gas chromatography (GC) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) showed that 20 components were identified in the basil essential oil. Linalool and eugenol were the main components of essential oil and they showed little variation under zinc application. Overall, the findings of this study showed that the effect of nano-zinc chelate application (especially at a concentration of 3g/l) was more effective than zinc sulphate and zinc chelate in increasing herb yield and active substances of basil.

Keywords: Basil (*Ocimum basilicum* L.), nano-fertilizer, zinc, essential oil, phenol**.**