

بررسی تغییرات عملکرد و اجزای اسانس گیاه *Hyssopus officinalis* L. تحت تأثیر محلول پاشی عناصر روی، آهن و منگنز

محمد امینی^۱، سعید یوسفزاده^{۲*} و کمال السادات اسیلان^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته زراعت، دانشگاه پیام نور کرج، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، پست الکترونیک: s_yousefzadeh@pnu.ac.ir

۳- دانشیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: بهمن ۱۳۹۶

تاریخ اصلاح نهایی: بهمن ۱۳۹۶

تاریخ دریافت: مرداد ۱۳۹۶

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول پاشی سولفات آهن، روی و منگنز بر میزان و اجزای اسانس زوفا، آزمایشی به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در سال ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور مرند اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل شاهد، محلول پاشی آهن، روی، منگنز، آهن + روی، آهن + منگنز، روی + منگنز و آهن + منگنز + روی بودند. نتایج نشان داد محلول پاشی بر تمامی صفات مورد مطالعه بجز میزان سیس-پینو کامفون تأثیر معنی‌دار داشت. محلول پاشی توأم آهن + منگنز + روی بیشترین درصد اسانس (۰/۶٪) و بیشترین عملکرد اسانس (۳۰/۴۴ کیلوگرم در هکتار) را تولید کرد. محلول پاشی تیمار آهن + منگنز + روی در مقایسه با تیمار شاهد درصد اسانس را بیش از ۵۰٪ افزایش داد. بتا-پینن، ترانس-پینو کامفن، پینا کارون و سیس-پینو کامفون ۷۵٪ تا ۹۰٪ اجزای اسانس را به خود اختصاص دادند. محلول پاشی عناصر آهن + منگنز + روی بیشترین مقادیر (۸۹/۴٪) و تیمار شاهد (۷۷/۱٪) کمترین مقادیر مجموع ترکیب‌های ترکیب بتا-پینن، ترانس-پینو کامفن، پینو کارون و سیس-پینو کامفون را تولید کردند. در مجموع نتایج نشان داد محلول پاشی آهن + منگنز + روی می‌تواند به عنوان یک راهکار مدیریتی مناسب برای دستیابی به عملکرد مطلوب اسانس و اجزای آن در گیاه دارویی زوفا مورد استفاده قرار بگیرد.

واژه‌های کلیدی: اجزای اسانس، متابولیت‌های ثانویه، گیاهان دارویی، پینو کامفون.

مقدمه

آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌میکروبی بوده و فعالیت ضد ویروسی بالایی در برابر بیماری ایدز دارد (Letessier et al., 2001)؛ عناصر غذایی کم مصرف برای رشد طبیعی گیاهان ضروری بوده و در واکنش‌های بیوشیمیایی گیاه دخالت دارند. با تکمیل مصرف عناصر غذایی کم مصرف از طریق محلول پاشی می‌توان وضعیت رشد گیاه را بهبود بخشید (Malakooti & Lotfelahi, 2008). تغذیه برگی،

زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) گیاهی است چندساله متعلق به خانواده نعناعیان که در سطح وسیعی در اروپا، خاورمیانه آسیا و شمال آفریقا برای تولید اسانس کشت و کار می‌شود (Kizil et al., 2008). اسانس گیاه زوفا در صنایع آرایشی، بهداشتی و غذایی کاربردهای فراوانی دارد. عصاره استخراج شده از اندام هوایی گیاه دارای خاصیت

و هورمون تحریک کننده رشد و باروری (گلدهی و میوه‌دهی) گیاهان شرکت دارد (Oshodi & Adeladun, 1993). مطالعات در مورد تأثیر عناصر ریزمغذی نشان دادند در گیاه دارویی نعنا محلول‌پاشی روی به میزان سه در هزار بازده اسانس را در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Akhtar *et al.*, 2009). در تحقیقی دیگر محلول‌پاشی آهن عملکرد اسانس گیاه نعنا را تا دو برابر در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد (Pandel *et al.*, 2011). در گیاه بابونه محلول‌پاشی آهن و روی عملکرد کمی و کیفی گیاه را بهبود داد (Nasiri & Najafi, 2015). مطالعات Bagheri و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان دادند که محلول‌پاشی با کلات آهن عملکرد اسانس را در گیاه گل‌محمدی در مقایسه با تیمار شاهد دو برابر افزایش داد. محققان گزارش کردند محلول‌پاشی آهن و روی به میزان دو در هزار بیشترین درصد تیمول و کارواکول را در گیاه آویشن باغی تولید کرد (Yaegari & Ghorbani, 2012). در پژوهشی دیگر کاربرد آهن در گیاه ریحان درصد ترکیب‌های متیل کایکول را کاهش داد (Rajab beigi *et al.*, 2007). در گیاه بابونه محلول‌پاشی توأم منگنز + آهن + روی میزان کامازولن و سینثول را بیش از ۵۰٪ در مقایسه با تیمار شاهد کاهش داد (Hassanain *et al.*, 2006). بنابراین با بررسی‌های بعمل آمده در ایران تحقیقات اندکی در مورد کاربرد عناصر ریزمغذی در گیاه دارویی زوفا انجام شده است، از این‌رو با توجه به اهمیت زوفا به‌عنوان یک گیاه دارویی و همچنین اثرات عناصر ریزمغذی بر تغذیه، متابولیسم و رشد و نمو گیاهان، هدف از این تحقیق بررسی تأثیر محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز بر درصد، عملکرد و اجرای اسانس گیاه زوفا می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت مزرعه‌ای در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور مرند انجام شد. براساس آمار هواشناسی، این منطقه با ۳۵۷ میلی‌متر بارندگی سالانه دارای رژیم آب و هوایی نیمه‌خشک سرد

روشی برای کاهش تثبیت کودهای شیمیایی در خاک و در نتیجه کاهش خطرات محیطی از جمله کاهش آلودگی خاک و آب است (Kannan, 2010). با این روش تغذیه می‌توان عناصر را در سریع‌ترین زمان در اختیار گیاه قرار داد، همچنین تغذیه برگ‌گی می‌تواند در رشد و افزایش عملکرد گیاهان نیز مؤثر باشد. در ایران به‌دلیل غالبیت شرایط آهکی خاک‌ها، مصرف نامتعادل کودهای شیمیایی و به‌ویژه مصرف بی‌رویه فسفر، عدم رعایت تناوب زراعی، مصرف ناچیز کودهای آلی و سرانجام عدم مصرف کودهای محتوای عناصر ریزمغذی در گذشته، امروزه کمبود این عناصر در خاک‌ها و در نتیجه مواد غذایی بیشتر مشهود می‌باشد (Ghaffari Malayeri *et al.*, 2012). بنابراین برای برطرف کردن نیاز گیاه به عناصر غذایی و افزایش عملکرد و کیفیت محصول در این مناطق، به‌دلیل کارایی پایین مصرف خاکی، تغذیه برگ‌گی مفید و مؤثر است (Marschner, 2008). آهن فلزی فعال است که در بسیاری از فرایندهای گیاهی از قبیل فتوسنتز، تنفس میتوکندریایی، آسیمیلایون نیترژن، بیوسنتز هورمون‌ها (اتیلن، اسید جیبرلیک و اسید جاسمونیک)، تولید و پاکسازی انواع اکسیژن فعال و حفاظت اسمزی تأثیر زیادی دارد (Hansch & Mendel, 2009). آهن از جمله عناصر ضروری برای رشد و تولیدمثل گیاهان بوده، بنابراین برای بقای آنها لازم است (Marschner, 2008). منگنز به‌عنوان عامل فعال‌کننده در بسیاری از آنزیم‌ها به‌ویژه آنزیم‌های درگیر در فرایندهای فتوسنتزی گیاهان نقش دارد. کمبود منگنز باعث کاهش رشد، نکروزه شدن و ریزش زودتر از موعد برگ‌ها می‌شود. همچنین منگنز جزء ترکیب‌های ساختمانی کلروفیل بوده و کمبود آن باعث کاهش میزان سنتز کلروفیل می‌شود (Kabata-Kabata *et al.*, 1999). عنصر روی به‌عنوان بخشی از ساختمان آنزیم‌ها و یا به‌صورت کوفاکتور عمل می‌کند. عنصر روی برای ساخت RNA، DNA، متابولیسم کربوهیدرات‌ها، روغن‌ها و پروتئین‌ها (ساختمان ریبوزوم) استفاده می‌شود. این عنصر در فتوسنتز، تقسیم سلولی و طولی شدن سلول، حفظ ساختمان و عملکرد غشای سلولی

شامل A: شاهد، B: محلول پاشی آهن، C: محلول پاشی روی، D: محلول پاشی منگنز، E: محلول پاشی آهن + روی، F: محلول پاشی آهن + منگنز، G: محلول پاشی روی + منگنز و H: محلول پاشی آهن + منگنز + روی بودند.

بوده و متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۱۱/۳ درجه سانتی‌گراد است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. این آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا گردید. تیمارها

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Mn	Zn	Fe	K	P	N	Organic carbon	pH	EC	بافت خاک
(mg/kg)					(%)	(%)		(dSm ⁻¹)	
۷/۱	۰/۲۱	۹/۱	۴۷۸	۱۳۲	۰/۱۸	۱/۶۲	۷/۵۱	۱/۱۱	لومی شنی

آب مقطر اضافه گردید. بالن روی هیتر قرار گرفت و بعد از وصل شدن به دستگاه اسانس‌گیر حرارت داده شد. پس از به جوش آمدن، نمونه‌ها به مدت ۳ ساعت حرارت داده شدند، در این مدت بعد از به جوش آمدن آب، فشار بخار افزایش یافته و تحت تأثیر آن اسانس از نمونه خشک آسیاب شده خارج و به همراه بخار آب وارد قسمت مبرد گردید. در مبرد عمل میعان انجام شده و قطرات اسانس در درون آب به صورت دو مرحله مشخص به سمت لوله مدرج حرکت می‌کنند و در آنجا به علت سبک‌تر بودن، اسانس استخراج شده روی آب قرار می‌گیرد و آب اضافی از طریق لوله رابط به بالن برمی‌گردد. در پایان، بعد از ۱۰ تا ۱۵ دقیقه عمل استخراج و اندازه‌گیری درصد اسانس انجام گردید (Darzi & Sadeghineko, 2016).

جداسازی و شناسایی ترکیب‌های اسانس

شناسایی اسانس در بخش تحقیقات گیاهان دارویی مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی فوق سریع (Ultra-Fast GC) و کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی انجام شد. به طوری که مقدار ۰/۲ میکرولیتر اسانس توسط سرنگ ۱۰ میکرولیتری برداشته و به دستگاه فوق سریع GC تزریق شد. گاز کروماتوگراف فوق سریع

هر کرت آزمایشی دارای پنج ردیف کاشت با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین هر بوته ۲۵ سانتی‌متر بود. بین هر کرت با کرت مجاور که از نظر سطح دریافت کودی متفاوت بودند، ۱ متر به صورت نکاشت در نظر گرفته شد. نشاء‌های گیاه در تاریخ ۱۰ اردیبهشت به صورت شیاری و به عمق ۵-۳ سانتی‌متر کشت گردید. عملیات وجین علف‌های هرز نیز در سه مرحله و به صورت دستی انجام شد. بعد از کاشت یک مرحله آبیاری برای استقرار بوته‌ها انجام و تا زمان استقرار بوته‌ها هر سه روز یک‌بار آبیاری انجام شد. بعد از آن به فاصله هر شش روز یک‌بار آبیاری تکرار گردید. در تاریخ ۱ تیر در مرحله ساقه‌دهی گیاهان با سولفات روی، آهن و منگنز با غلظت ۴ در هزار در اوایل صبح محلول پاشی شدند. تیمار شاهد با آب محلول پاشی گردید. پس از محلول پاشی، مزرعه آبیاری شد. زمانی که گیاهان به مرحله گلدهی کامل رسیدند، در تاریخ ۱۰ مرداد برداشت از مزرعه انجام شد. در این مطالعه درصد، عملکرد و اجزای اسانس مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای استخراج اسانس از روش تقطیر با آب و دستگاه کلونجر استفاده شد. در مرحله استخراج اسانس، ابتدا ۵۰ گرم نمونه خشک شده از هر کرت آزمایشی که در مرحله گلدهی کامل جمع‌آوری شده بودند تهیه گردید و پس از آسیاب شدن، به بالن دستگاه منتقل شد و به آن

تجزیه و تحلیل داده‌ها، آزمایش نرمال بودن آنها انجام شد و پس از اطمینان از حالت توزیع نرمال، نسبت به تجزیه و تحلیل آنها اقدام گردید. برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ استفاده شد.

نتایج

درصد اسانس

با توجه به نتایج، محلول پاشی عناصر ریزمغذی بر درصد اسانس در سطح ۵٪ معنی دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین و کمترین درصد اسانس به ترتیب از محلول پاشی توأم عناصر روی + آهن + منگنز (H) و تیمار شاهد (A) بدست آمد (شکل ۱). تیمار H در مقایسه با تیمار شاهد درصد اسانس را بیش از ۵۰٪ افزایش داد. کاربرد عناصر ریزمغذی در حالت منفرد و ترکیبی در تمامی موارد درصد اسانس را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد.

عملکرد اسانس

نتایج جدول تجزیه واریانس حکایت از آن داشت که عملکرد اسانس در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر محلول پاشی عناصر ریزمغذی قرار گرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین شکل ۲ نشان داد مشابه با درصد اسانس بیشترین (۳۰/۵) کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۱۱/۱) کیلوگرم در هکتار) عملکرد اسانس از محلول پاشی تیمار H و تیمار شاهد حاصل شد. البته کاربرد تیمارهای ترکیبی در مقایسه با تیمار شاهد عملکرد اسانس بیشتری را تولید کردند. به طوری که محلول پاشی ترکیبی تیمار آهن + منگنز + روی در مقایسه با تیمار شاهد نزدیک به سه برابر عملکرد اسانس را افزایش داد.

Thermo مدل UFM، ستون DB-5 پر شده با سیلیکای گداخته به طول ۱۰ متر، قطر ۱/۱ میلی متر و ضخامت لایه فاز ساکن ۰/۴ میکرومتر بود. برنامه ریزی حرارتی ستون از ۲۸۵-۶۰ درجه سانتی گراد با افزایش دمای ۸۰ درجه در دقیقه و توقف به مدت سه دقیقه در دمای نهایی بود. نوع آشکارساز FID با دمای ۲۸۰ درجه سانتی گراد و گاز حامل هلیوم با فشار ۰/۵ میلی لیتر در دقیقه و نسبت شکاف ۱ به ۱۰۰۰ بود. گاز کروماتوگراف واریان ۳۴۰۰ متصل به طیف سنجی جرمی با ستون DB-5 به طول ۳۰ متر و قطر ۰/۲۵ میلی متر که ضخامت لایه فاز ساکن در آن ۰/۲۵ میکرون می باشد، مورد استفاده قرار گرفت. برنامه ریزی حرارتی از ۶۰ تا ۲۷۰ درجه سانتی گراد با افزایش دمای ۳ درجه در دقیقه، درجه حرارت محفظه تزریق ۲۸۰ درجه سانتی گراد و درجه حرارت ترانسفرلین ۲۹۰ درجه سانتی گراد تنظیم شد. گاز هلیوم با خلوص ۹۹/۹۹۹ به عنوان گاز حامل مورد استفاده قرار گرفت. زمان اسکن برابر با یک ثانیه، انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت و محدوده جرمی از ۳۵۰-۴۰ بود. درصد ترکیب‌های تشکیل دهنده هر اسانس پس از جداسازی به همراه شاخص بازداري محاسبه شد. همچنین مقدار یک میکرولیتر از هر اسانس در دو میلی لیتر دی کلرومتان رقیق شد و بعد به دستگاه کروماتوگراف متصل به طیف سنج جرمی تزریق و طیف‌های جرمی مربوط به ترکیب‌های اسانس به منظور بررسی کیفی (شناسایی) بدست آمد. در نهایت، شناسایی ترکیب‌های موجود در هر اسانس با استفاده از اندیس‌های بازداري (Retention Index) و پیشنهادهای کتابخانه‌ای رایانه دستگاه گاز کروماتوگراف متصل به طیف سنجی جرمی و مقایسه آنها با ترکیب‌های استاندارد انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از برنامه آماری SAS (SAS Institute Inc., 2002) استفاده گردید. قبل از

جدول ۲- تجزیه واریانس درصد، عملکرد و اجزای اسانس زوفا تحت تأثیر محلول پاشی کودهای سولفات آهن، روی و منگنز

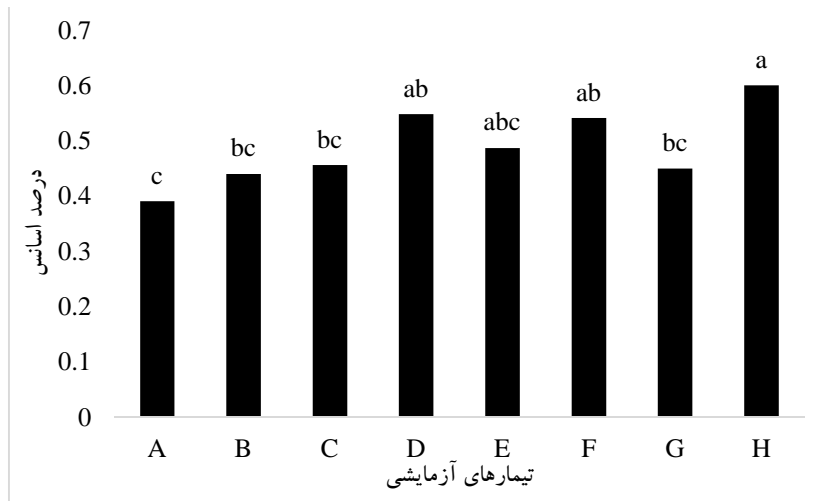
میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
-pinene + trance-pinocamphone+ pinocarvone+ cis-pinocamphone	cis-pinocamphone	pinocarvone	trance-pinocamphone	-pinene	عملکرد اسانس	درصد اسانس		
۱۰۷/۶۹	۸۹/۹۱	۰/۳۸	۰/۲۳۰	۰/۱۴۰	۲/۲۳	۰/۰۰۱	۲	تکرار
۴۵/۲۸*	۱۸/۰۱	۲۲/۵۶**	۲۵/۹۳**	۱۷/۸۱**	۱۰۹/۹۱**	۰/۰۱۴*	۷	تیمار
۳/۳۱	۲/۸۴	۰/۶۲	۱/۰۶	۰/۸۲	۱۰/۵۹	۰/۰۰۵	۱۴	خطای آزمایش
۴/۰۵	۵/۰۷	۲۲/۳۱	۱۳/۶۰	۵/۵۴	۱۶/۹۵	۱۴/۹		ضریب تغییرات (%)

** و *، به ترتیب نشانگر معنی دار بودن در سطح آماری ۱٪ و ۵٪ و بدون علامت نشانگر عدم معنی دار بودن می باشند.

جدول ۳- مقایسه میانگین اجزای اسانس زوفا تحت تأثیر محلول پاشی کودهای سولفات آهن، روی و منگنز

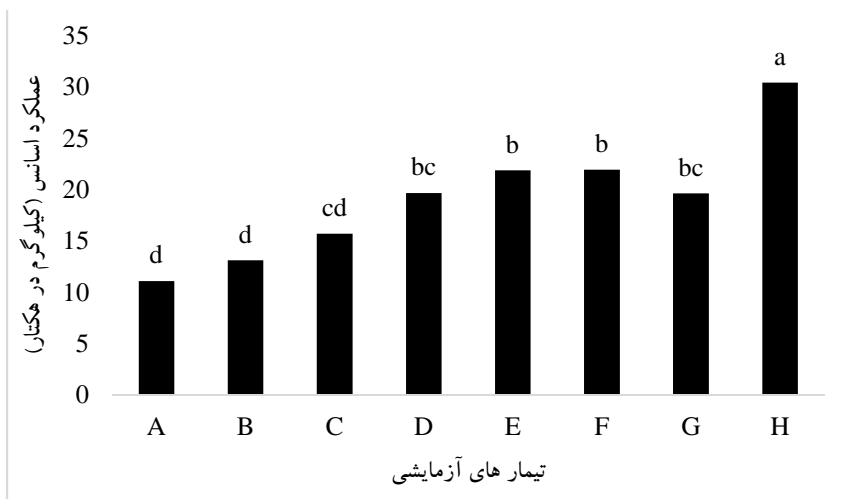
-pinene + trance-pinocamphone+ pinocarvone+ cis-pinocamphone	cis-pinocamphone	pinocarvone	trance-pinocamphone	-pinene	تیمارها
	۱۱۷۷	۱۱۶۷	۱۱۶۵	۹۸۰	شاخص بازداری
۷۷/۱c	۵۵/۸bc	۰/۰d	۸/۱bc	۱۳/۲c	A
۸۰/۵bc	۵۸/۹a	۱/۷c	۶/۵de	۱۳/۴c	B
۷۹/۵bc	۵۷/۸ab	۴/۴b	۳/۹e	۱۳/۴c	C
۸۳/۵ab	۵۷/۶ab	۰/۰d	۱۰/۰b	۱۵/۹b	D
۷۹/۵c	۵۸/۴ab	۲/۰c	۶/۱f	۱۳/۰c	E
۸۲/۶bc	۵۴/۶abc	۰/۹cd	۸/۰cd	۱۹/۱a	F
۸۲/۰۸bc	۵۲/۱c	۶/۱۸a	۵/۷ef	۱۸/۱a	G
۸۹/۴a	۵۵/۷abc	۷/۰a	۱۳/۳a	۱۳/۴c	H

A: شاهد، B: محلول پاشی آهن، C: محلول پاشی روی، D: محلول پاشی منگنز، E: محلول پاشی آهن+ روی، F: محلول پاشی آهن+ منگنز، G: محلول پاشی روی+ منگنز و H: محلول پاشی آهن+ منگنز+ روی - در هر ستون میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف آماری معنی دار در سطح ۵٪ ندارند.



شکل ۱- مقایسه میانگین درصد اسانس زوفا تحت تأثیر محلول پاشی کودهای سولفات آهن، منگنز و روی

A: شاهد، B: محلول پاشی آهن، C: محلول پاشی روی، D: محلول پاشی منگنز، E: محلول پاشی آهن + روی، F: محلول پاشی آهن + منگنز، G: محلول پاشی روی + منگنز و H: محلول پاشی آهن + منگنز + روی
 در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵٪ ندارند.



شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد اسانس زوفا تحت تأثیر محلول پاشی کودهای سولفات آهن، منگنز و روی

A: شاهد، B: محلول پاشی آهن، C: محلول پاشی روی، D: محلول پاشی منگنز، E: محلول پاشی آهن + روی، F: محلول پاشی آهن + منگنز، G: محلول پاشی روی + منگنز و H: محلول پاشی آهن + منگنز + روی
 در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵٪ ندارند.

ترکیب‌های اسانس

با توجه به اینکه مجموع چهار ترکیب بتا-پینن، ترانس-پینو کامفون، پینو کارون و سیس-پینو کامفون ۷۵٪ تا ۹۰٪ اجزاء اسانس را تولید کردند، تنها به مقایسه میانگین و بررسی این ترکیب‌ها پرداخته شده است. نتایج نشان داد که

محلول پاشی عناصر ریزمغذی بر میزان بتا-پینن، ترانس-پینو کامفون و پینو کارون در سطح ۱٪ و بر مجموع این ترکیب‌ها در سطح ۵٪ معنی‌دار شد. البته محلول پاشی بر میزان سیس-پینو کامفون تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). نتایج جدول مقایسه میانگین نشان داد محلول پاشی

محلول پاشی آهن با افزایش میزان کلروفیل برگ و بهبود ظرفیت فتوسنتزی در گیاه آسیمیلات‌های بیشتری به مسیرهای ساخت ترپین‌ها و فیل پروپانوییدها اختصاص می‌دهد که محل تجمع آنها در کرک‌های ترش‌می‌باشد. مطالعات نشان داده است که فتوسنتز و تولید فرآورده‌های فتوسنتزی رابطه مستقیمی با تولید اسانس در گیاهان دارد، به طوری که همبستگی بین فتوسنتز و تولید اسانس نشان می‌دهد که گلوکز به‌عنوان پیش ماده مناسب برای تأمین NADPH و ATP در سنتز اسانس و به‌ویژه مونوترپین‌ها عمل می‌کند. از این رو به نظر می‌رسد که مقدار گلوکز حاصل از فتوسنتز، سوبسترای لازم را برای تأمین انرژی و سنتز ترکیب‌های مؤثر در اسانس فراهم می‌کند (Misra et al., 2007). با توجه به تأثیر عنصر آهن در رشد و نمو گیاه، می‌توان یکی از دلایل بیشتر شدن میزان اسانس را افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه و نقش این عنصر در ساختمان کلروپلاست دانست که این افزایش منجر به تولید بیشتر غده‌های ترشح‌کننده اسانس در برگ می‌شود (Kumar et al., 2012). در این راستا تحقیقات نشان داد در گیاه دارویی ریحان مقدس (*Ocimum sanctum* L.) کاربرد آهن تعداد و اندازه کرک‌های ترش‌می را در سطح فوقانی و تحتانی برگ افزایش داد که این موضوع خود دلیلی بر افزایش میزان اسانس به‌دلیل استفاده از تیمارهای کودی آهن می‌باشد. عنصر روی در فتوسنتز و متابولیسم ساکاریدها نقش دارد و از آنجایی که CO_2 و گلوکز از منابع احتمالی کربن مورد استفاده در بیوسنتز ترپین‌ها هستند، بنابراین نقش روی در ساخت و تجمع اسانس بسیار مهم و مؤثر به‌نظر می‌رسد (Yassen et al., 2010). شناخته‌شده‌ترین نقش منگنز دخالت آن در آزادسازی اکسیژن فتوسنتزی در کلروپلاست است. به لحاظ نقش کلیدی منگنز در شکستن مولکول آب، حتی کمبود جزئی منگنز روی فتوسنتز و آزادسازی اکسیژن اثر می‌گذارد، به طوری که در اثر کمبود منگنز غلظت کلروفیل کاهش می‌یابد (Romheld & Marschener, 1991).

ترکیبی عناصر آهن + منگنز (F) و روی + منگنز (G) بیشترین میزان بتا-پینن را تولید کردند. بعد از تیمارهای F و G محلول پاشی منگنز به‌تنهایی میزان بتا-پینن را افزایش داد. در سایر تیمارها به‌طور معنی‌داری میزان بتا-پینن کاهش یافت. بیشترین (۱۳/۳٪) و کمترین (۳/۹٪) میزان ترانس-پینو کامفون از محلول پاشی تیمارهای H و C بدست آمد. محلول پاشی تیمارهای ترکیبی آهن + منگنز + روی (H) و روی + منگنز (G) بیشترین درصد پینو کارون را تولید کردند، این در حالی بود که کمترین درصد این ترکیب از کاربرد تیمارهای شاهد و منگنز (A و D) بدست آمدند. همچنین تأثیر کاربرد عنصر منگنز به‌تنهایی بر درصد این ترکیب منفی بود. با وجود معنی‌دار نشدن نتایج جدول تجزیه واریانس بر میزان ترکیب سیس-پینو کامفون، نتایج مقایسه میانگین نشان داد محلول پاشی با آهن بیشترین (۵۸/۹٪) میزان سیس-پینو کامفون را تولید کرد. کمترین میزان سیس-پینو کامفون از محلول پاشی تیمار ترکیبی روی + منگنز (G) بدست آمد. نتایج نشان داد محلول پاشی ترکیبی عناصر آهن + منگنز + روی (۸۹/۴٪) بیشترین و تیمار شاهد (۷۷/۱٪) کمترین میزان مجموع ترکیب‌های ترکیب بتا-پینن، ترانس-پینو کامفون، پینو کارون و سیس-پینو کامفون را تولید کرد. هرچند در بعضی از موارد تفاوت معنی‌داری بین تیمار شاهد با تیمارهای محلول پاشی مشاهده نشد (جدول ۳).

بحث

با توجه به نتایج کاربرد عناصر ریزمغذی در مقایسه با تیمار شاهد تأثیر مثبتی بر درصد اسانس داشت. یک اثر هم‌افزایی در اثر محلول پاشی عناصر بر میزان اسانس مشاهده گردید. کاربرد عناصر ریزمغذی به‌دلیل گسترش سطح برگ، تعداد غدد مترشحه اسانس را در برگ افزایش می‌دهد، که به‌تبع آن میزان اسانس در گیاه افزایش می‌یابد. در این راستا نتایج مشابهی توسط سایر محققان گزارش شده است (Heidari et al., 2008).

واکنش فسفوری شدن و چرخه اسید سیتریک سروکار دارند نقش دارد. به دلیل نقش عنصر روی در فتوسنتز و متابولیسم ساکاریدها و نقش آهن در افزایش توان فتوسنتزی و پیش‌سازهای ترکیب‌های فنولی مورد نیاز در سنتز اسانس‌ها میزان اسانس در اثر کاربرد این عناصر بهبود می‌یابد (Dubey *et al.*, 2003). احتمالاً به دلیل شرایط تغذیه بهتر گیاهان در حالت ترکیبی کودها و نقش آنها در افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه عملکرد اسانس به طور قابل قبولی افزایش یافته است. عناصر روی و منگنز نقش کلیدی در فرایند فتوسنتز دارند و آهن نیز به دلیل افزایش تولید کلروفیل در افزایش عملکرد اسانس تأثیر مثبت دارد. همچنین با توجه به میزان ماده خشک کل (داده‌ها نشان داده نشده‌است) و درصد اسانس بیشتر در تیمار H و بعکس پایین بودن آنها در تیمار شاهد، این نتیجه منطقی به نظر می‌رسد. محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی یکی از روش‌های افزایش سطح برگ است و با توجه به اینکه برگ‌ها اصلی‌ترین اندام‌های فتوسنتزی هستند، عناصر غذایی سبب افزایش سطح برگ و در نتیجه افزایش فتوسنتز می‌شوند. بنابراین به دلیل افزایش فتوسنتز، بیوماس گیاه و عملکرد اسانس افزایش می‌یابد. در این راستا محققان گزارش کردند که کاربرد عناصر ریزمغذی در گیاه نعنای فلفلی به دلیل نقش این عناصر در بهبود شرایط رشدی، وزن خشک بوته، سطح برگ و بازده فتوسنتز عملکرد اسانس را افزایش داده است (Mansoori, 2014). در این راستا Hadaddi و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که محلول‌پاشی ۰/۵ گرم در لیتر سولفات منگنز در مقایسه با تیمار شاهد عملکرد اسانس را در گیاه بادرنجبویه بیش از ۲ برابر افزایش داد. نتایج مشابهی در گیاه ریحان گزارش گردید (Pazoki *et al.*, 2012). مطالعات نشان داد که محلول‌پاشی سولفات آهن و روی در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی‌داری باعث بهبود عملکرد اسانس شد (Farzanian & Yarnia, 2013). در پژوهشی دیگر محلول‌پاشی ترکیبی سولفات آهن و روی به میزان ۱/۵ و ۱ گرم بر لیتر بیشترین عملکرد اسانس را در گیاه شوید

Pazoki و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که کاربرد ۰/۵ کیلوگرم در هکتار منگنز در مقایسه با تیمار شاهد درصد اسانس را در گیاه ریحان به طور معنی‌داری افزایش داد. در تحقیقی دیگر Hadaddi و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که کاربرد سولفات منگنز به طور معنی‌داری درصد اسانس گیاه بادرنجبویه را بهبود بخشید. تحقیقات Yousefzadeh و همکاران (۲۰۱۶a) حکایت از آن داشت که محلول‌پاشی ۱/۵ گرم در لیتر نانو کود آهن در مقایسه با سایر سطوح نانو کود و تیمار شاهد بیشترین درصد اسانس را در گیاه بادرنجبویه تولید کرد. مطالعات نشان داد در گیاه دارویی سرخارگل کاربرد سولفات آهن و روی در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت. در این تحقیق در شرایط آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک درصد اسانس در اثر کاربرد سولفات آهن و روی بیش از ۳۰٪ بهبود یافت (Farzanian & Yarnia, 2013). مطالعات Emaratpardaz و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان داد که محلول‌پاشی ۳۰۰ میلی‌گرم روی در لیتر در مقایسه با تیمار شاهد درصد اسانس را دو برابر افزایش داد. در پژوهشی دیگر محلول‌پاشی روی و آهن به طور معنی‌داری درصد اسانس بایونه را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد (Nasiri *et al.*, 2010). نتایج مشابهی در گیاه ریحان مقدس و انیسون نیز مشاهده گردید (Moghadam *et al.*, 2015). مصرف عناصر غذایی سبب تغییر در کمیت و کیفیت اسانس در گیاهان دارویی می‌گردد. گیاهان دارویی در طول دوره رشد برای تولید مناسب اسانس و مواد مؤثره به مقدار کافی عناصر ریزمغذی نیاز دارند، به طوری که تأمین این عناصر مقدار و عملکرد اسانس را تا حد زیادی افزایش می‌دهد (Shabanzadeh *et al.*, 2011). تثبیت CO₂، متابولیت‌های اولیه و متابولیسم ساکاروز ارتباط نزدیکی با انباشت اسانس در گیاهان دارند. منگنز در گیاه نقش مهمی در فرایند اکسیداسیون و احیاء مانند انتقال الکترون در فتوسنتز دارد و علاوه بر آن به عنوان فعال‌کننده بسیاری از آنزیم‌ها که با متابولیسم کربوهیدرات‌ها،

عناصر ریزمغذی بر ترکیب‌های اسانس در گیاه زوفا اندک می‌باشد. مطالعات Naderi (۲۰۱۵) نشان داد در گیاه زوفا میزان ترکیب پینو کامفون در تیمار شاهد در مقایسه با سایر تیمارهای کودی بیشتر بود، این در حالی بود که کاربرد تیمارهای کودی شیمیایی و دامی در مقایسه با تیمار شاهد میزان ایزو پینو کامفون را افزایش داد. مطالعات Hassanain و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد که کاربرد منفرد کود آهن درصد سینثول و کاربرد منفرد روی و منگنز و میزان سینثول و کامازولن را در مقایسه با تیمار شاهد در گیاه بابونه کاهش داد. این در حالی بود که درصد کامازولن و فارنیسول به دلیل کاربرد آهن افزایش یافت. محلول پاشی آهن و روی در گیاه زعفران موجب افزایش میزان کروسین، پیکروکروسین و سافراناال شد (Akbarian et al., 2012). کاربرد توأم آهن + روی درصد سینثول و کامازولن را کاهش و میزان فارنیسول را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. محلول پاشی توأم آهن + منگنز بیشترین درصد کامازولن را تولید کرد. کاربرد توأم روی و منگنز میزان کامازولن، سینثول و فارنیسول را در مقایسه با تیمار شاهد کاهش داد. همچنین محلول پاشی توأم منگنز + آهن + روی میزان کامازولن و سینثول را بیش از ۵۰٪ در مقایسه با تیمار شاهد کاهش داد. مطالعات Ghaedi Jeshni و همکاران (۲۰۱۷) در گیاه بابونه آلمانی نشان داد که محلول پاشی روی تأثیر معنی داری بر درصد اسانس و میزان کامازولن داشت. آنان همچنین اذعان کردند که کاربرد سطوح مطلوبی از عناصر روی و فسفر تأثیر مثبتی بر میزان اجزای اسانس در بابونه داشت. نتایج مشابهی در گیاه ریحان و بادرنجبویه نیز گزارش شد (Roshanzameir, 2010؛ Ardekani et al., 2007). Yousefzadeh و همکاران (۲۰۱۶b) گزارش کردند که کاربرد تیمارهای تلفیقی آلی و شیمیایی به علت تأمین نسبت مناسبی از عناصر ماکرو و میکرو در خاک، نگهداری آب و بیوسنتز آنزیم‌ها اجزای اسانس را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به طوری که تیمارهای تلفیقی بیشترین درصد ژرانیول و ژرانیال را در گیاه بادرشبی در مقایسه با تیمار شاهد تولید کردند. Hadaddi و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که در گیاه

تولید کرد (Miransari et al., 2015). نتایج مشابهی در گیاه ریحان مقدس (Moghadam et al., 2015) نیز گزارش شد. نتایج نشان داد ترکیب‌های بتا-پینن، ترانس-پینو کامفن، پینا کارون و سیس-پینو کامفون اجزای غالب اسانس را تشکیل دادند. در این راستا تحقیقات Pandey و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که سیس-پینو کامفون (۵۷/۷-۴۹/۷٪)، پینو کارون (۲۴/۹-۵/۵٪) و بتا-پینن (۹/۳-۵/۷٪) اجزای اصلی ترکیب‌های اسانس گیاه زوفا را تشکیل دادند. در سایر تحقیقات پینو کامفون و بتا-پینن مهمترین ترکیب‌های تشکیل دهنده اجزای اسانس گیاه زوفا بودند (Garg et al., 1999؛ Khan et al., 2012). مطالعات Cvijovic و همکاران (۲۰۱۰) در صربستان نشان داد که ایزو پینو کامفون (۴۶/۱٪) و پینو کامفون (۱۵/۳٪) بیشترین میزان اجزای اسانس را در گیاه دارویی زوفا تولید کردند. نتایج مشابهی توسط سایر محققان نیز گزارش گردید (Ozer et al., 2005؛ Chalchat et al., 2001؛ Zheljzkov et al., 2012). ترکیب‌های ایزو پینو کامفن و پینو کامفون دارای خاصیت ضد باکتری و ضد قارچی هستند و از ترکیب‌های مهم در زوفا به‌شمار می‌آیند (Cvijovic et al., 2010؛ Fraternali et al., 2004). بنابراین به نظر می‌رسد کاربرد عناصر ریزمغذی به صورت منفرد و ترکیبی نتایج متفاوتی بر اجزای اسانس گیاهان دارویی دارد و با کاربرد عناصر غذایی درصد ترکیب‌ها به میزان قابل توجهی کاهش یا افزایش می‌یابد. همچنین کاربرد تلفیقی عناصر با کاربرد منفرد عناصر متفاوت بود. کاربرد منگنز به طور ترکیبی با آهن و روی و همچنین کاربرد منفرد منگنز تأثیر مثبتی بر میزان بتا-پینن داشت. از این رو به نظر می‌رسد کاربرد ترکیبی عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز میزان پینو کارون را افزایش داده است. محلول پاشی عناصر هم به صورت منفرد و هم در حالت ترکیبی در مقایسه با تیمار شاهد مجموع بتا-پینن، ترانس-پینو کامفون، پینو کارون و سیس-پینو کامفون را افزایش داد. بنابراین به نظر می‌رسد در مجموع تأثیر کاربرد توأم عناصر ریزمغذی بر میزان ترکیب‌های مؤثر در زوفا مثبت بود. مطالعات در مورد تأثیر

- Cvijovic, M., Djukic, D., Mandic, L., Acamovic-Djokovic, G. and Pesakovic, M., 2010. Composition and antimicrobial activity of essential oils of some medicinal and spice plants. *Chemistry of Natural Compounds*, 46(3): 481-483.
- Darzi, M.T. and Sadeghineko, B., 2016. Effects of organic amendments and biofertilizer application on some morphological traits and yield of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). *Journal of Horticultural Science*, 30(3): 491-500.
- Dubey, V. S., Bhalla, R. and Lithra, R., 2003. Sucrose mobilization in relation to essential oil biogenesis during palmarosa (*Cymbopogon martini* Roxb. Wats. var. *motia*) inflorescence development. *Bois Sciences*, 28(4): 479-487.
- Emaratpardaz, J., Hami, A. and Ghohari, G., 2016. Valuation of growth characteristics and essential oil yield of *Satureja hortensis* L. under salinity and Zn foliar spraying. *Journal of Sustainable Agriculture and production science*, 9(26): 131-141.
- Farzarian, M. and Yarnia, M., 2013. Effects of microelement fertilizers and phosphate biofertilizer on some morphological, physiological traits, yield and essence of purple coneflower in water stress conditions. *Electronic Journal of crop Production*, 3(7): 145-162.
- Fraternali, D., Ricci, D., Epifano, F. and Curini, M., 2004. Composition and antifungal activity of two essential oils of Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). *Journal of Essential Oil Research*, 16(6): 617-622.
- Garg, S.N., Naqvi, A.A., Singh, A., Ram, G. and Kumar, S., 1999. Composition of essential oil from an annual crop of *Hyssopus officinalis* grown in Indian plains. *Flavour and Fragrance Journal*, 14(3): 170-172.
- Ghaedi Jeshni, M., Mousavinik, M., Khammari, I. and Rahimi, M., 2017. The changes of yield and essential oil components of German chamomile (*Matricaria recutita* L.) under application of phosphorus and zinc fertilizers and drought stress conditions. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16: 60-65.
- Ghaffari Malayeri, M., Akbari, Gh. and Mohammadzadeh, A., 2012. Response of yield and yield components of corn on soil use and foliar application of micronutrients. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(2): 368-373.
- Hadaddi, H., Moradi, P. and Motalebi, E., 2016. The effect of methanol and manganese sulfate spraying on quantity and essential oil components of (*Melissa officinalis* L.). *Journal of Medicinal Plants*, 2(58): 80-88.
- بادرنجبویه کاربرد سولفات منگنز بر درصد نرال و ژرانیال استات تأثیر معنی داری داشت. آنان نشان دادند که کاربرد سولفات منگنز به طور معنی داری درصد نرال و ژرانیال استات را در مقایسه با شاهد افزایش داد. در تحقیقی دیگر بین میزان منیزیم خاک و درصد لیمون در گیاه دارویی مریم نخودی (*Teucrium polium* L.) همبستگی مثبت و معنی داری وجود داشت (Hosseinzadegan & Bakhshi (Khaniki, 2014).
- به عنوان نتیجه گیری کلی باید گفت که نتایج نشان داد کاربرد تلفیقی عناصر ریزمغذی بر درصد و عملکرد اسانس و همچنین اجزای اسانس تأثیر مثبتی داشت و با استفاده از محلول پاشی عناصر ریزمغذی می توان عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی زوفا را بهبود داد. بنابراین محلول پاشی با تیمار ترکیبی آهن + منگنز + روی (H) می تواند به عنوان یک راهکار مدیریتی مناسب برای دستیابی به عملکرد مطلوب اسانس و اجزای آن در گیاه دارویی زوفا مورد استفاده قرار بگیرد.

منابع مورد استفاده

- Akbarian, M.M., Sharifabad, H.H., Noormohammadi, G. and Kohouri, F.D., 2012. The effect of potassium, zinc and iron foliar application on the production of saffron (*Crocus sativa*). *Annals of Biological Research*, 3(12): 5651-5658.
- Akhtar, N., Abdul Matin Sarker, M., Akhter, H. and Katrun Nada, M., 2009. Effect of planting time and micronutrient as zinc on growth, yield and oil content of *Mentha piperita*. *Soil Science Journal*, 44(1): 125-130.
- Ardekani, M.R., Abbaszadeh, B., Sharifi Ashourabadi, A., Lebaschi, M.H. and Paknejhad, F., 2007. Effect of water deficit on quantity and quality of *Melissa officinalis* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 23(2): 251-261.
- Bagheri, A., Rahmani, A. and Abbaszadeh, B., 2013. The effect of iron chelate foliar application on damask rose. *Annals of biological Research*, 4(4): 35-55.
- Chalchat, J.C., Adamovic, D. and Gorunovic, M.S., 2001. Composition of oils of three cultivated forms of *Hyssopus officinalis* endemic in Yugoslavia. *Journal of Essential Oil Research*, 13(6): 419-421.

- Mansoori, I., 2014. Evaluation of row spacing and microelements spraying on yield and some morphological traits of peppermint. *Agriculture Crop Management*, 16(1): 43-54.
- Marschner, H., 2008. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press Limited. Harcourt Brace and Company, Publishers, London, 672p.
- Miransari, H., Mehrafarin, A. and Naghdi Badi, H., 2015. Morphophysiological and phytochemical responses of dill (*Anethum graveolens* L.) to foliar application of iron sulfate and zinc sulfate. *Journal of Medicinal Plants*, 14(2): 15-30.
- Misra, A., Dwivedi, S., Srivastava, A.K., Tewari, D.K., Khan, A. and Kumar, R., 2007. Analysis of growth, physiology, photosynthesis, essential monoterpene oil(s) yield and quality in *Ocimum sanctum* L. genotypes. *Bioscience Research*, 4(1): 1-5.
- Moghadam, E., Mahmoodi Sourestani, M., Farrokhian Firozi, A., Ramazani, Z. and Eskandari, F., 2015. The effect of foliar application of iron chelate type on morphological traits and essential oil content of holy basil (*Ocimum sanctum*). *Agriculture Crop Management*, 17(3): 595-606.
- Naderi, Gh., 2015. Influence of fertilizer, manure and biofertilizers on yield, quantity and quality of essential oil of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). *International Journal of Review Life science*, 5(2): 383-390.
- Nasiri, Y. and Najafi, R., 2015. Effects of soil and foliar applications of iron and zinc on flowering and essential oil of chamomile at greenhouse conditions. *Acta Agriculture Slovenica*, 105(1): 33-41.
- Nasiri, Y., Zehtab-Salmasi, S., Nasrollahzadeh, S., Najafi, N. and Ghasemi-Golezani, K., 2010. Effects of foliar application of micronutrients (Fe and Zn) on flower yield and essential oil of chamomile. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(17): 1733-1737.
- Nateghi, Sh., Pirzad, A.R. and Darvishzadeh, R., 2015. The impact of micronutrient fertilizers, iron and zinc on yield and yield component of anise. *Journal of Horticulture Science*, 29 (1): 37-46.
- Oshodi, A.A. and Adeladun, M.O.A., 1993. Proximate composition, some valuable minerals and functional properties of three varieties of liman bean (*Phaseolus lunatus* linn) flour. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 43: 181-185.
- Ozer, H., Sahin, F., Kilic, H. and Gulluce, M., 2005. Essential oil composition of *Hyssopus officinalis* L. subsp. *angustifolius* (Bieb.) Arcangeli from Turkey. *Flavour and Fragrance Journal*, 20(1):42-44.
- Hansch, R. and Mendel, R.R., 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*, 12: 259-266.
- Hassanain, M.A., Abdella, E.M. and Rady, M.M., 2006. Response of growth, flowering, oil yield and chemical composition of *Matricaria chamomilla* L. plants to some micronutrient foliar applications. *Journal of Agricultural and Environmental Science*, 5(2): 33-58.
- Heidari, F., Zehtab Salmasi, S., Javanshir, A., Aliari, H. and Dadpoor, M.R., 2008. The effects of application of microelements and plant density on yield and essential oil of peppermint (*Menta peperita* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 24: 1-9.
- Hosseinzadegan, R. and Bakhshi Khaniki, Gh., 2014. The effect of some ecological factors on the essential oil of *Teucrium polium* L. *New Cellular and Molecular Biotechnology Journal*, 4(13): 65-70.
- Kabata-Pendias, A. and Pendias, H., 1999. *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press, Warsaw, Poland, 400p.
- Kannan, S., 2010. Foliar fertilization for sustainable crop production, sustainable agriculture reviews, 1, genetic engineering, biofertilization. *Soil Quality and Organic Farming*, 4(5): 371-402.
- Khan, R., Shawl, A.S. and Tantry, M.A., 2012. Determination and seasonal variation of chemical constituents of essential oil of *Hyssopus officinalis* growing in Kashmir valley as incorporated species of Western Himalaya. *Chemistry of Natural Compounds*, 48(3): 502-505.
- Kizil, S., Toncer, O., Ipek, A., Arslan, N., Saglam, S. and Khawar, K.M., 2008. Blooming stages of Turkish hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) affect essential oil composition. *Acta Agriculture Scandinavica*, 58: 273-279.
- Kumar, P.K., Kumar, M.R., Kavitha, K., Singh, J. and Khan, R., 2012. Pharmacological actions of *Ocimum sanctum*-review article. *International Journal of Advances in Pharmacy, Biology and Chemistry*, 1(3): 406-411.
- Letessier, M.P., Svoboda, K.P. and Walters, D.R., 2001. Antifungal activity of the essential oil of Hyssop (*Hyssopus officinalis*). *Journal of Phytopathology*, 149: 673-678.
- Malakooti, M.J. and Lotfelahi, M.A., 2008. The Role of Zinc in the Quantitative and Qualitative Increase of Agricultural Products and the Improvement of Community Health. *Agricultural Education Publication*, 194p.

- features of basil. M.Sc. Dissertation. University of Zabol, Zabol, Iran.
- SAS Institute Inc., 2002. The SAS System for Windows, Release 9.0. Cary, NC, USA: Statistical Analysis Systems Institute.
 - Shabanzadeh, Sh., Ramroudi, M. and Galavi, M., 2011. The effect of foliar application of micronutrients on yield and qualitative characteristics of (*Nigella sativa* L.) in different irrigation regimes. *Journal of Crop Protection and Processing*, 1(2): 79-89.
 - Yaegari, M. and Ghorbani, F., 2012. Effect of Fe and Zn micronutrients on secondary metabolites content and yield of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Journal of Crop Production Research*, 4(3): 265-277.
 - Yassen, A., Abou El-Nour, E.A.A. and Shedeed, S., 2010. Response of Wheat to foliar spray with urea and micronutrients. *Journal of American Science*, 6(9): 14-22.
 - Yousefzadeh, S., Modarres-Sanavy, S.A.M., Sefidkon, F. and Ghiasy Oskuee, M., 2016a. Effect of biofertilizer, azocompost and nitrogen on oil yield and essential oil content of *Dracocephalum moldavica* L. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 46(4): 601-611.
 - Yousefzadeh, S., Sabaghnia, N. and Janmohammadi, M., 2016b. The effect of foliar application of nano-iron chelate on physiological and chemical traits of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). *Journal of medicinal plants*, 4(15): 152-162.
 - Zheljzakov, V.D., Astatkie, T. and Hristov, A.N., 2012. Lavender and hyssop productivity, oil content, and bioactivity as a function of harvest time and drying. *Industrial Crops and Products*, 36: 222-228.
 - Ozer, H., Sokmen, M., Gulluce, M., Adiguzel, A., Kilic, H. and Sahin, F., 2006. In-vitro antimicrobial and antioxidant activities of the essential oils and methanol extracts of *Hyssopus officinalis* L. ssp. *angustifolius*. *Italian Journal of Food Science*, 18(1): 73-83.
 - Pandel, P., Chand, S., Pandey, A. and Patra, D.D., 2011. Effect of sole and conjoint application of iron and manganese on herb yield, nutrient uptake, oil quality via-a-ais their optimal level in spearmint (*Mentha spicata* Linn. Emend. Nathh.cv. Arka). *International of Natural Product and Resources*, 2(2): 242-249.
 - Pandey, V., Verma, R.S., Chauhan, A. and Tiwari, R., 2014. Compositional variation in the leaf, flower and stem essential oils of Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) from western-Himalaya. *Journal of Herbal Medicine*, 4: 89-95.
 - Pazoki, A.R., Ghazi Pirkouhi, M., Shirani Rad, A.H., Bigdeli, M. and Habibi, D., 2012. Essential oil percent and essential oil yield of basil (*Ocimum basilicum* L.) changes affected by nitrogen, magnesium and manganese amounts. *New Finding in Agriculture*, 21(1): 5-16.
 - Rajab beigi, A., Ghanati, F. and Sefidkon, F., 2007. Effect of iron on the oil content of basil. *Journal of Science*, 33(4): 49-53.
 - Romheld, V. and Marschner, H., 1991. Functions of micronutrients in plants: 297-328. In: Mortvedt, J.J., Cox, F.R., Shuman, L.M. and Welch, R.M., (Eds.). *Micronutrients in Agriculture: Number 4 in the Soil Science Society of America Book Series*. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA, 760p.
 - Roshanzameir, F., 2010. Effect of drought stress and phosphorus fertilizer on quantitative and qualitative

A study on variations of essential oil yield and composition of *Hyssopus officinalis* L. affected by foliar application of zinc, iron and manganese

M. Amini¹, S. Yousefzadeh^{2*} and K. Sadat-Asilan³

1- M.Sc. student of Agronomy, Payamee Noor University, Karaj, Iran

2*- Corresponding author, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran, E-mail: s_yousefzadeh@pnu.ac.ir

3- Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran

Received: August 2017

Revised: February 2018

Accepted: February 2018

Abstract

In order to study the effects of iron, zinc and manganese sulfate on essential oil percentage, yield and composition in hyssop (*Hyssopus officinalis* L.), an experiment was conducted as randomized complete block design with three replications during 2016. Experimental treatments consisted of control, foliar application of iron, zinc, manganese, iron+zinc, iron+manganese, zinc+manganese and iron+zinc+ manganese. Results showed that foliar application of microelements had significant effects on all traits studied except cis-pinocamphone. Foliar application of iron + zinc + manganese treatment produced the maximum essential oil percentage (0.6%) and essential oil yield (30.44 Kgha⁻¹). Foliar application of iron + zinc + manganese treatment increased essential oil percentage up to 50% compared to the control treatment. -pinene, trance-pinocamphone, pinocarvone and cis-pinocamphone formed 75 to 90% of the oil components. Foliar application of iron + zinc + manganese and control treatments produced the highest (89.4%) and the lowest (77.1%) values of total -pinene, trance-pinocamphone, pinocarvone and cis-pinocamphone, respectively. Therefore, results showed that the foliar application of Zn+ Fe+ Mn could be used as a suitable management strategy to reach the optimum essential oil yield and composition in hyssop.

Keywords: Essential oil components, secondary metabolites, medicinal plants, pinocamphone.