اثر قارچ‌های میکوریزا و کود زیستی بیوفسفر بر شاخص‌های رشد، عملکرد، اجزاء عملکرد و ترکیبات اسانس زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.)

آرزو حقیر ابراهیم‌آبادی[1]، مهرناز حاتمی[2]، خلیل کریم‌زاده اصل[3]، منصور قربانپور[4]*

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک، اراک، ایران
۲- استادیار گروه گیاهان داوریی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک، اراک، ایران
۳- استادیار، عضو هیأت علمی بخش گیاهان دارویی و محصولات فرعی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۴- دانشیار گروه گیاهان داوریی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک، اراک، ایران
* آدرس مکاتبه: اراک، دانشگاه اراک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه گیاهان دارویی
کدپستی: ۸۳۴۹-۸-۳۸۱۵۶
تلفن: ۳۲۶۲۳۴۲۰ (۰۸۶)، نمابر: ۳۲۷۷۱۴۴۶ (۰۸۶)
پست الکترونیک: m-ghorbanpour@araku.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۳۰ **تاریخ تصویب:** ۹۶/۶/۱۳

چکیده

مقدمه: دستیابی به تولید بهینه گیاهان دارویی همراه با پایبندی علمی به اصول کشاورزی پایدار از اهمیت بالایی برخوردار است.

هدف: بررسی اثر قارچ‌های مختلف میکوریزا و کود زیستی بیوفسفر بر خصوصیات مرفولوژیکی، عملکرد، اجزاء عملکرد و کمیت و کیفیت اسانس زیره سبز.

روش بررسی: این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور انجام شد. تیمارهای مورد بررسی شامل تلقیح با سه گونه مختلف از قارچ‌های میکوریزا (*Glomus mosseae, Glomus interradices, Glomus hoi* و عدم تلقیح به عنوان شاهد) و کاربرد بیوفسفر (تلقیح بذر، تلقیح بذر + محلول پاشی و عدم استفاده به عنوان شاهد) بود.

نتایج: نتایج نشان داد اعمال تیمارهای آزمایشی موجب افزایش معنی‌دار ($P < ۰/۰۱$) صفات ارتفاع بوته، قطر سایه انداز، تعداد ساقه‌های جانبی و تعداد چتر در بوته، چترک در چتر، دانه در چتر، دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و درصد اسانس در مقایسه با شاهد شد. بیشترین میزان صفات ارتفاع بوته، قطر سایه انداز، تعداد ساقه‌های جانبی، چتر در بوته و درصد اسانس از تیمار *G. interradices* حاصل شد. همچنین، بیشترین درصد و عملکرد اسانس از تیمار *G. interradices* و بیشترین درصد ترکیبات اصلی اسانس (کومین آلدهید، پارامنتا-۱و۴-دین-۷-ال، گاما ترپینن، گاما ترپینن-۷-ال، بتاپینن، پاراسیمن و میرسن) از تلقیح دو گونه *G. mosseae* و *G. hoi* حاصل شد.

نتیجه‌گیری: در مجموع و مطابق با اثرات متقابل، کاربرد هم زمان *G. interradices* و محلول پاشی بیوفسفر بیشترین میزان درصد و عملکرد اسانس را در گیاه زیره سبز تولید نمود.

گل‌واژگان: زیره سبز، اسانس، پاراسیمن، کودهای زیستی، کومین آلدهید

مقدمه

زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) گیاهی یک ساله از خانواده چتریان (Apiaceae) بوده که به دلیل فصل رشد کوتاه، نیاز آبی کم، آفات کمتر و توجیه اقتصادی بالا به طور گسترده در مناطق خشک و نیمه خشک کشور کشت می‌شود [۱]. این گیاه عمدتاً به منظور استفاده از اسانس حاصل از آن در صنایع مختلف دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی مورد کشت قرار می‌گیرد. مواد مؤثره این گیاه شامل اسانس و تانن است و خواص درمانی (خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدباکتریایی و ضدقارچی) شبیه به زیره سیاه و آنیسون دارد [۳، ۲].

فراهم نمودن مقدار کافی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بویژه عناصر ضروری یکی از جنبه‌های بسیار مهم مدیریت زراعی بوده و می‌تواند نقش مهمی در افزایش تولید و عملکرد بالا ایفا نماید. به طور کلی با مصرف کودهای خاص محتوای عناصر ضروری عملکرد گیاه افزایش می‌یابد. افزایش غلظت این عناصر در محصولات کشاورزی نقش مهمی در افزایش کیفیت غذایی و بهبود سلامتی جامعه دارد [۴]. در حال حاضر استفاده از میکروارگانیسم‌های مفید به عنوان نهاده‌های کشاورزی مؤثر در افزایش تولید به منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی در راستای رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار مورد توجه قرار گرفته است [۵]. یکی از راه‌های دست یابی به کشاورزی پایدار، استفاده از ریزموجوداتی است که نقش مهمی در تأمین نیاز غذایی گیاهان دارند [۶] که از آن جمله می‌توان به میکوریزا اشاره کرد.

از مهم‌ترین عناصری که توسط میکروارگانیسم‌های مفید از قبیل میکوریزا به طور فعال و در سطح وسیع جذب می‌شود، عنصر فسفر است. به طوری که سرعت جریان فسفر به درون گیاه میکوریزایی سه تا شش مرتبه بیشتر از گیاهان غیرمیکوریزایی است. علاوه بر فسفر، نیتروژن نیز جزء عناصری است که گیاهان میکوریزایی جذب آن را افزایش می دهند [۷]. گزارش شده است که قارچ میکوریزا، سبب افزایش زیست توده، درصد اسانس و درنهایت عملکرد اسانس در گیاهان دارویی می‌شود [۱۰-۸]. چنین نتایجی با کاربرد کود بیوفسفر در بهبود صفات فیزیولوژیک در برخی گیاهان دارویی توسط محققین گزارش شده است [۱۲، ۱۱].

تاکنون در مورد اثر کودهای زیستی بر خصوصیات کمی و کیفی زیره سبز حداقل در سطح ملی تحقیقات کمی انجام شده، با این حال تحقیقات اندک موجود و نتایج حاصل از این آزمایش‌ها نشان می‌دهد که می‌توان به اثرات مطلوب این کودها بر گیاهان دارویی و از جمله زیره سبز امیدوار بود. گزارش شده است که تلقیح بذر گیاه دارویی رازیانه با باکتری‌های *Bacillus* و *Azospirillum* باعث افزایش ترکیب‌های اسانس شد [۱۳]. همچنین در پژوهشی که با استفاده از باکتری حل کننده فسفات به نام *Bacillus polymyxa*، بر گیاه دارویی علف لیمو انجام شد، ملاحظه شد که کیفیت اسانس بهبود یافت، به نحوی که درصد ژرانیول در اسانس در حدود ۲۷/۶ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود [۱۴]. در پژوهشی که توسط درزی و همکاران (۲۰۰۹) بر روی گیاه رازیانه انجام شد، مشخص شد که استفاده از کود زیستی فسفری منجر به افزایش اسانس دانه و عملکرد اسانس شد [۱۵]. همچنین، Abdelaziz و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که کود زیستی حل‌کننده فسفات مقدار و کیفیت اسانس رزماری را بهبود بخشید [۱۶].

در آزمایشی، Sanches Govin و همکاران (۲۰۰۵) اثر کودهای زیستی را روی گیاه همیشه‌بهار مورد بررسی قرار دادند، نتایج آنان حاکی از آن بود که کاربرد این کودها باعث افزایش مقدار ماده مؤثره شد [۱۷]. در مطالعه‌ای دیگر Kalra (۲۰۰۳) اثر تیمارهای مختلف کود زیستی بر درصد اسانس نعناع فلفلی را بررسی کرد، نتایج نشان داد که عملکرد اسانس در مقایسه با کاربرد کودهای شیمیایی برابری می‌کرد. همچنین، گزارش شد که کاربرد مخلوط *Azotobacter* و *Azospirillum* عملکرد اسانس حدود ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار، معادل ۸۵ درصد عملکرد اسانس حاصل از کود شیمیایی بود [۱۸]. طبق گزارش Fatma و همکاران (۲۰۰۹) استفاده از کودهای زیستی شامل ازتوباکتر، آزوسپریلیوم و باکتری‌های حل کننده فسفات روی میزان اسانس گیاه مرزنجوش اثرات قابل توجهی دارد [۱۹].

با توجه به لزوم انجام تحقیقات در زمینه استفاده از روش‌های جایگزین مصرف کودهای شیمیایی و از آنجا که تحقیقات در زمینه اثر کاربرد کودهای زیستی بر رشد و عملکرد گیاهان دارویی در ایران بسیار محدود بوده است و نیز با توجه به جایگاه و اهمیت زیره سبز به عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی کشور از نظر اقتصادی و دارویی، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر کودهای زیستی بر رشد، عملکرد کمی و کیفی زیره سبز (*C. cyminum* L.) در شرایط مزرعه انجام شد.

مواد و روش‌ها

کشت و اعمال تیمارهای آزمایش

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع واقع در استان البرز در سال ۱۳۹۵ اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی شامل کاربرد قارچ‌های میکوریزا: *Glomus mosseae* (M1)، *Glomus intraradices* (M2) و *Glomus hoi* (M3) و عدم تلقیح بذر با قارچ (M0)، همچنین کاربرد بیوفسفر شامل تلقیح بذر با بیوفسفر (B1)، تلقیح بذر + محلول پاشی با بیوفسفر (B2) و عدم استفاده از بیوفسفر (B0) به عنوان شاهد بود. محلول‌پاشی پس از استقرار کامل بوته‌ها و در انتهای دوره رویشی انجام شد. محلول‌پاشی به وسیله سمپاش و پس از کالیبراسیون با غلظت ۲ درصد صورت گرفت. کود زیستی بیوفسفر مجموعه ای از باکتری‌های تسهیل کننده جذب فسفر از جنس *Pseudomonas* و *Bacillus* بود که تراکم هر یک از جنس های باکتری $۱۰^{۸}$ سلول زنده در هر میلی‌لیتر بیوفسفر می‌باشد.

ابعاد هر واحد آزمایشی ۳×۲ متر، فاصله بین کرت‌ها ۲ متر، فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر، فاصله بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر و ۲۴ بوته در هر مترمربع کاشت شد. در کل ۱۲ تیمار در ۳۶ کرت (۱۲ تیمار × ۳ تکرار= ۳۶ کرت) به مساحت ۶۰۰ مترمربع مورد ارزیابی قرار گرفت. تمامی عملیات‌های زراعی (کاشت، داشت و برداشت) مطابق استاندارها و بر اساس دستورالعمل مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع اجرا شد. پس از حذف یک متر از ابتدا و انتهای هر کرت آزمایشی به عنوان اثر حاشیه‌ای، نمونه‌برداری از کرت‌ها صورت گرفت و از هر کرت ده بوته به طور تصادفی برداشت شد. در ضمن نتایج تجزیه نمونه خاک محل اجرای آزمایش در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

اندازه‌گیری شاخص‌های زراعی

اندازه‌گیری صفات مرفولوژیکی در زمان ۵۰ درصد گل‌دهی صورت گرفت. برای تعیین اجزاء عملکرد در هنگام برداشت پنج بوته به طور تصادفی از هر کرت انتخاب و صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، قطر سایه انداز، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چتر، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری و ثبت شد.

استخراج اسانس

استخراج اسانس به صورت تقطیر با آب و توسط دستگاه کلونجر انجام گرفت. بدین منظور، ۵۰ گرم نمونه خشک شده دانه از هر کرت توزین و پس از آسیاب کردن در ۱۰۰۰ میلی لیتر آب مقطر به مدت ۲ ساعت جوشانده شد. برای حذف آب احتمالی موجود در اسانس از سولفات سدیم خشک استفاده شد. درصد اسانس با تعیین درصد رطوبت گیاه در زمان اسانس گیری، بر حسب وزن خشک نمونه محاسبه شد [۲۱، ۲۰].

جدول شماره ۱- نتایج تجزیه نمونه خاک محل اجرای آزمایش

اسیدیته	هدایت الکتریکی ($ds.m^{-1}$)	کربن درصد	پتاسیم ($Mg.kg^{-1}$)	فسفر ($Mg.kg^{-1}$)	نیتروژن (درصد)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	وزن مخصوص ظاهری ($g.cm^{-3}$)	بافت خاک
۷/۶۱	۰/۱۴۱	۸/۱	۲۳۰	۸/۲	۰/۰۹۴	۲۸/۲	۳۲/۱	۴۰/۷	۱/۷	شنی- لومی

تعیین ترکیبات اسانس

تفکیک ترکیبات اسانس توسط دستگاه کروماتوگراف گازی نوع شیمادزو (Shimadzu) مدل 9A، نوع ستون DB-5 به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت فاز ساکن ۰/۲۵ میکرون انجام پذیرفت. دمای اولیه ستون ۵۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۵ دقیقه نگهداری شد و سپس افزایش دما تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد، به صورت افزایش‌های ۳ درجه سانتی‌گراد در دقیقه برنامه‌ریزی شد. تزریق و آشکارسازی هر دو در دمای ۲۹۰ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. گاز حامل ستون، هلیم با سرعت خطی ۳۲ سانتی‌متر بر ثانیه بود.

شناسایی ترکیبات توسط دستگاه کروماتوگراف گازی متصل به طیف سنج جرمی نوع واریان (Varian) مدل ۳۴۰۰، نوع ستون DB-5 به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت فاز ساکن ۰/۲۵ میکرون انجام شد. دمای اولیه ستون ۵۰ درجه سانتی‌گراد و دمای نهایی ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد، با افزایش‌های ۳ درجه سانتی‌گراد در دقیقه و درجه حرارت محفظه تزریق نیز ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد، گاز حامل هلیم با سرعت خطی ۳۱/۵ سانتی‌متر بر ثانیه بود. همچنین، سرعت جریان ۱/۱ میلی‌متر بر دقیقه، انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت، زمان اسکن ۱ ثانیه و محدوده جرمی amu ۳۵۰-۴۰ قرار داده شد [۲۰].

تجزیه و تحلیل داده‌ها و محاسبات آماری

برای انجام تجزیه واریانس داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.1 استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام پذیرفت.

نتایج

شاخص‌های زراعی

نتایج نشان داد که اثر کاربرد قارچ میکوریزا و کود بیوفسفر بر صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، قطر سایه‌انداز، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چتر، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول شماره ۲). همچنین، اثر متقابل بین میکوریزا × بیوفسفر برای تمامی صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود.

نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف کودهای مورد بررسی و اثر متقابل بین آنها در جدول شماره ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود کاربرد گونه‌های مختلف میکوریزا و کود بیوفسفر اثر معنی‌داری روی صفات مرفولوژیکی مورد مطالعه داشت، به طوری که بیشترین میزان این صفات از کاربرد همزمان میکوریزا و بیوفسفر و کم‌ترین میزان آنها از شاهد (عدم کاربرد کود بیوفسفر و میکوریزا) به دست آمد (جدول شماره ۳). در این بررسی بلندترین بوته‌ها، بیشترین تعداد ساقه‌های فرعی و قطر سایه انداز در اثر کاربرد گونه *G. intraradices* میکوریزا به دست آمد. در اثر کاربرد کود بیوفسفر نیز بیشترین میزان این صفات مربوط به تیمار محلول پاشی با بیوفسفر بود. مطابق این نتایج و در بررسی اثر متقابل بین تیمارهای کودی، تیمار M2B2 (کاربرد گونه *G. intraradices* به همراه محلول پاشی توسط بیوفسفر) بیشترین میزان صفات رویشی زیره سبز را موجب شد.

در مطالعه حاضر، کاربرد قارچ‌های میکوریزایی و کود زیستی بیوفسفر اثر معنی‌داری بر افزایش تعداد چتر در بوته، چترک در چتر، دانه در چتر، دانه در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه داشت (جدول شماره ۲). به طوری که تلقیح با این کودهای زیستی نسبت به عدم تلقیح افزایش قابل ملاحظه ای را در میزان این صفات در زیره سبز موجب شد. بیشترین تأثیر در بین سویه‌های میکوریزایی مورد استفاده برای صفت تعداد چتر در بوته و عملکرد دانه از گونه *G. interradices* و برای صفات تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه از گونه *G. mosseae* حاصل شد (جدول شماره ۳). هم چنین محلول پاشی با بیوفسفر بیشترین میزان این صفات را موجب شد (جدول شماره ۳).

درصد اسانس دانه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد قارچ میکوریزا، کود بیوفسفر و اثر متقابل میکوریزا × بیوفسفر بر درصد اسانس

جدول شماره ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مرفولوژیک، عملکرد دانه و اجزاء عملکرد زیره سبز در تیمارهای آزمایشی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		ارتفاع بوته	تعداد ساقه فرعی	قطر سایه انداز	تعداد چتر در بوته	تعداد چترک در چتر	تعداد دانه در چتر	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه	عملکرد دانه
تکرار	۲	۳/۱۲	۰/۰۴	۵/۵۳	۱/۲۴	۰/۱۴	۰/۱۶	۹۰۵/۳۳	۰/۰۱	۴۳۰/۴۶
میکوریزا	۳	۱۳/۲۱**	۲۳/۰**	۱۲۷/۴۴**	۶۲/۰۴**	۳/۰۹**	۲۱/۰۹**	۶۴۳۹/۲۱**	۰/۶۳**	۱۴۰۶۶/۹۶**
بیوفسفر	۲	۱۵/۷۳**	۵/۹۷**	۲۰۸۴/۳۶**	۱۷۵/۷۹**	۲۴/۵۳**	۴۷/۹۲**	۵۷۶۱۶/۰۰**	۰/۲۹**	۳۸۳۶۴/۳۸**
میکوریزا × بیوفسفر	۶	۰/۷۸**	۰/۲۳**	۳/۵۸**	۶/۲۳**	۰/۵۹**	۱/۶۷**	۱۱۸۹/۵۲**	۰/۰۹**	۲۰۰۴/۷۳**
خطا	۲۲	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۸۶	۱/۳۱	۰/۰۸	۰/۰۶	۱۹/۸۸	۰/۰۱	۱۶۰/۴۶

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد؛ ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول شماره ۳- نتایج مقایسه میانگین صفات مرفولوژیک، عملکرد دانه و اجزای عملکرد زیره سبز در تیمارهای آزمایشی بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن

تیمار		ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد ساقه فرعی	قطر سایه انداز (سانتی‌متر)	تعداد چتر در بوته	تعداد چترک در چتر	تعداد دانه در چتر	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
میکوریزا	M0	۱۸/۲۱c	۴/۳۱c	۵۴/۲۲d	۱۴/۶۳d	۹/۰۷c	۱۲/۰۶c	۲۴۸/۹۰d	۲/۴۵c	۳۲۴/۲۰c
	M1	۱۹/۵۶b	۵/۳۷a	۶۱/۴۴b	۱۸/۵۰b	۱۰/۴۹a	۱۳/۶۳a	۳۱۰/۳۰a	۲/۹۴a	۴۰۲/۸۰a
	M2	۲۰/۷۸a	۵/۶۲a	۶۲/۷۸a	۲۰/۹۶a	۹/۸۷b	۱۳/۰۶b	۲۹۳/۴۰b	۲/۶۷b	۴۱۲/۴۰a
	M3	۱۸/۳۰c	۴/۸۷b	۵۹/۱۱c	۱۷/۳۳c	۹/۶۸b	۱۰/۱۴d	۲۷۱/۰۰c	۲/۳۳d	۳۸۱/۴۰b
بیوفسفر	B0	۱۷/۸۹b	۴/۲۴b	۴۵/۲۵c	۱۳/۴۷b	۸/۱۳b	۱۰/۰۸c	۲۰۱/۶۰c	۲/۴۲c	۳۱۶/۲۰c
	B1	۱۹/۸۰a	۵/۳۱a	۶۱/۵۸b	۲۰/۵۰a	۱۰/۶۵a	۱۲/۵۴b	۳۱۱/۶۰b	۲/۶۴b	۴۰۱/۴۰b
	B2	۱۹/۹۴a	۵/۵۶a	۷۱/۳۳a	۱۹/۶۰a	۱۰/۵۵a	۱۴/۰۴a	۳۲۹/۶۰a	۲/۷۳a	۴۲۳/۱۰a
میکوریزا × بیوفسفر	M0b0	۱۷/۲۳h	۳/۷۰g	۴۰/۰۰j	۱۱/۳۳g	۷/۸۰e	۱۰/۷۰f	۱۶۲/۳۰i	۲/۳۴ef	۲۹۳/۱۰f
	M0b1	۱۸/۶۰f	۴/۷۰de	۵۶/۶۷g	۱۶/۵۰d	۹/۹۰cd	۱۲/۶۳d	۲۸۶/۳۰f	۲/۵۶cd	۳۱۷/۵۰e
	M0b2	۱۸/۸۰ef	۴/۵۳ef	۶۶/۰۰d	۱۶/۰۷de	۹/۵۰d	۱۲/۸۳d	۲۹۸/۰۰e	۲/۴۶de	۳۶۲/۰۰d
	M1b0	۱۷/۹۰g	۴/۵۳ef	۴۷/۰۰hi	۱۴/۳۳def	۸/۲۷e	۱۱/۳۰e	۲۳۹/۰۰g	۲/۵۵cd	۳۱۷/۸۰e
	M1b1	۲۰/۹۰b	۵/۷۰bc	۶۴/۶۷de	۲۲/۷۷a	۱۱/۳۰b	۱۳/۹۰c	۳۳۹/۰۰b	۲/۹۲b	۴۴۰/۷۰b
	M1b2	۱۹/۸۷c	۵/۸۷b	۷۲/۶۷b	۱۸/۴۰c	۱۱/۹۰a	۱۵/۷۰a	۳۵۳/۰۰a	۳/۳۳a	۴۵۰/۰۰ab
	M2b0	۱۹/۴۳d	۴/۶۳ef	۴۸/۳۳h	۱۵/۷۰de	۸/۲۰e	۱۰/۵۳f	۲۳۳/۰۰g	۲/۶۳cd	۳۲۳/۰۰e
	M2b1	۲۰/۸۷b	۵/۶۳bc	۶۳/۶۷e	۲۳/۷۳a	۱۱/۰۰b	۱۳/۸۰c	۲۹۶/۰۰e	۲/۷۳c	۴۴۳/۳۰b
	M2b2	۲۲/۰۳a	۶/۶۰a	۷۶/۳۳a	۲۳/۴۳a	۱۰/۴۰c	۱۴/۸۳b	۳۵۱/۳۰a	۲/۶۴cd	۴۷۱/۰۰a
	M3b0	۱۷/۰۰h	۴/۱۰fg	۴۵/۶۷i	۱۲/۵۰fg	۸/۲۳e	۷/۸۰h	۱۷۲/۰۰h	۲/۱۷f	۳۳۰/۷۰e
	M3b1	۱۸/۸۳ef	۵/۲۰cd	۶۱/۳۳f	۱۹/۰۰bc	۱۰/۴۰c	۹/۸۳g	۳۲۵/۰۰c	۲/۳۳ef	۴۰۴/۰۰c
	M3b2	۱۹/۰۷de	۵/۳۰bc	۷۰/۳۳c	۲۰/۵۰b	۱۰/۴۰c	۱۲/۸۰d	۳۱۶/۰۰d	۲/۴۹de	۴۰۹/۶۰c

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف آماری معنی‌دار بین آنهاست. علائم اختصاری تیمارها در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول شماره ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین درصد اسانس دانه (۳/۳۱ درصد) در تیمار با *G. interradices* و کمترین درصد اسانس نیز در شاهد (عدم تلقیح با میکوریزا) به میزان ۱/۹۲ درصد به دست آمد (جدول شماره ۵). همچنین، بیشترین درصد اسانس دانه در تیمار محلول‌پاشی با بیوفسفر (۲/۲۶ درصد) و کمترین درصد اسانس دانه در شاهد (۲/۰۵ درصد) مشاهده شد. مقایسه میانگین اثر متقابل میکوریزا × بیوفسفر نیز اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف نشان داد. به طوری که بیشترین درصد اسانس دانه از تیمار تلفیقی *G. interradices* میکوریزا و محلول‌پاشی بذر با بیوفسفر به دست آمد. هرچند از نظر آماری اختلاف آماری معنی‌داری در درصد اسانس بین تیمارهای M2B1، M2B2 و M3B2 وجود نداشت.

عملکرد اسانس

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول شماره ۴) نشان داد که تأثیر هر دو عامل میکوریزا و بیوفسفر به تنهایی و اثر متقابل آنها در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد اسانس معنی‌دار شد. مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بین تلقیح و عدم تلقیح با میکوریزا تفاوت قابل توجهی وجود دارد، به طوری که کمترین میزان عملکرد اسانس از شاهد و بیشترین میزان آن از کاربرد *G. interradices* به دست آمد (جدول شماره ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌داری بین سطوح کود فسفات زیستی (بیوفسفر) بود، به طوری که عملکرد اسانس در محلول پاشی با بیوفسفر بیشترین و در شاهد کمترین میزان بود. مقایسه میانگین اثر متقابل دو عامل میکوریزا × بیوفسفر نیز اختلاف معنی‌داری را نشان داد و بیشترین عملکرد اسانس از تیمار M2B2 (تلقیح با گونه *G. interradices* و محلول پاشی با بیوفسفر) به دست آمد، در حالی که کم‌ترین عملکرد اسانس از گیاهان شاهد M0B0 (عدم تلقیح میکوریزا و بیوفسفر) حاصل شد.

ترکیبات اصلی اسانس

کومین آلدهید

نتایج نشان داد که اثر عامل میکوریزا، کود زیستی بیوفسفر و اثر متقابل میکوریزا × بیوفسفر در سطح یک درصد بر درصد کومین آلدهید در اسانس معنی‌دار شد (جدول شماره ۴). مقایسه میانگین بین سطوح کود میکوریزا نشان داد که بیشترین میزان کومین آلدهید اسانس مربوط به گیاهان تحت تیمار *G. mosseae* و *G. interradices* به ترتیب با ۴۵/۵۱ و ۴۳/۷۲ درصد بود که در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول شماره ۲). مقایسه میانگین‌ها در بین سطوح کود زیستی بیوفسفر دارای اختلاف معنی‌داری نبود، به طوری که بیشترین درصد کومین آلدهید ۴۳/۰۳ و ۴۲/۸۲ درصد به ترتیب مربوط به محلول پاشی و تلقیح بذر با بیوفسفر بود (جدول شماره ۵). کمترین میزان این ترکیب اسانس در هر دو عامل در شاهد (عدم تلقیح) به دست آمد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سطوح مختلف میکوریزا × بیوفسفر نشان داد که بالاترین درصد کومین آلدهید در اسانس از کاربرد تلفیقی گونه *G. mosseae* و کاربرد بیوفسفر به دست آمد. به طوری که بین روش‌های تلقیح بذر با بیوفسفر احتلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول شماره ۵).

پارامنتا-۱و۴-دین-۷-ال

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر دو عامل تلقیح میکوریزایی و بیوفسفر در سطح یک درصد بر درصد پارامنتا-۱و۴-دین-۷-ال در اسانس معنی‌دار شد (جدول شماره ۴). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بین سطوح تلقیح میکوریزا تفاوت قابل توجهی وجود دارد، به طوری که میزان درصد پارامنتا-۱و۴-دین-۷-ال در اسانس در تلقیح با میکوریزا در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح) بیشتر بود (جدول شماره ۵). بیشترین میزان این صفت مربوط به گیاهان تیمار شده با *G. hoi* به میزان ۱۴/۲۱ درصد بود. در رابطه با روش های مختلف تلقیح با بیوفسفر بر میزان درصد پارامنتا ۱و۴-دین-۷-ال در اسانس، کمترین میزان مربوط به شاهد (عدم تلقیح) (۱۰/۹۵ درصد) بود و دو روش تلیقیح در یک گروه آماری قرار گرفتند. با این حال روش محلول‌پاشی پارامنتا-۱و۴-دین-۷-ال بیشتری در اسانس (۱۲/۱۵ درصد) تولید نمود (جدول شماره ۵). اثر متقابل دو عامل میکوریزا × بیوفسفر در مورد درصد پارامنتا-۱و۴-دین-۷-ال در اسانس از

جدول شماره ۴- نتایج تجزیه واریانس خصوصیات کمی و کیفی اسانس زیره سبز

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		درصد اسانس	عملکرد اسانس	Cuminaldehyde	p-Mentha-1,4-dien-7-ol	γ-Terpinene	γ-Terpinene-7-al	β-Pinene	p-Cymene	Myrcene
تکرار	۲	۰/۰۰۲	۰/۱۴	۳/۵۴۷۳۸۷	۶/۶۳	۶/۶۳	۰/۱۰	۶/۶۳	۷/۵۷	۰/۰۷
میکوریزا	۳	۰/۲۷۲**	۱۸/۸۴**	۸۵/۴۰**	۷۶/۳۱**	۸۱/۳۷**	۰/۵۱ns	۷۸/۷۴**	۷۱/۸۹**	۴/۴۴**
بیوفسفر	۲	۰/۱۴۰**	۳۱/۷۸**	۲۸/۸۰**	۳۱/۹۶**	۳۱/۹۶**	۰/۹۹ns	۳۱/۹۶**	۲۶/۸۶**	۳/۹۹**
میکوریزا × بیوفسفر	۶	۰/۰۰۷**	۱/۳۹**	۱۵/۵۴**	۸/۱۶ns	۱۲/۴۳**	۲/۰۵*	۱۲/۵۱*	۸/۹۵*	۰/۳۶**
خطا	۲۲	۰/۰۰۲	۰/۱۱	۳/۸۹	۴/۴۳	۲/۵۸	۰/۶۶	۲/۹۲	۳/۴۹	۰/۰۸

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد؛ ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ns. غیرمعنی‌دار.

جدول شماره ۵- نتایج مقایسه میانگین خصوصیات کمی و کیفی اسانس زیره سبز در تیمارهای آزمایشی بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن

تیمار		درصد اسانس (درصد)	عملکرد اسانس (کیلوگرم در هکتار)	Cuminaldehyde (درصد)	p-Mentha-1,4-dien-7-ol (درصد)	γ-Terpinene (درصد)	γ-Terpinene-7-al (درصد)	β-Pinene (درصد)	p-Cymene (درصد)	Myrcene (درصد)
میکوریزا	M0	۱/۹۲d	۶/۲۳c	۳۹/۰۶c	۱۳/۰۲c	۱۶/۰۱c	۱۲/۱۱a	۱۱/۵۲c	۱۸/۲۳c	۴/۱۸c
	M1	۲/۱۶c	۸/۷۴b	۴۵/۵۱a	۸/۶۵b	۲۲/۵۱a	۱۲/۶۳a	۶/۵۱b	۲۴/۰۶a	۴/۸۲b
	M2	۳/۳۱a	۹/۶۱a	۴۳/۷۲a	۸/۶۳b	۲۰/۷۲b	۱۲/۳۰a	۷/۷۸b	۲۲/۵۰a	۴/۵۷b
	M3	۲/۵۹b	۸/۶۴b	۳۹/۸۶b	۱۴/۲۱a	۱۷/۲۸c	۱۲/۵۴a	۱۲/۷۱a	۱۸/۸۳b	۵/۸۳a
بیوفسفر	B0	۲/۰۵c	۶/۴۸c	۴۰/۲۵b	۹/۲۵b	۱۷/۲۵b	۱۲/۱۹a	۷/۷۵b	۱۹/۲۵b	۴/۲۰b
	B1	۲/۱۸b	۸/۸۱b	۴۳/۰۳a	۱۱/۹۹a	۱۹/۹۹a	۱۲/۷۳a	۱۰/۴۹a	۲۱/۳۲a	۵/۰۷a
	B2	۲/۲۶a	۹/۶۲a	۴۲/۸۲a	۱۲/۱۵a	۲۰/۱۵a	۱۲/۲۷a	۱۰/۶۵a	۲۲/۱۵a	۵/۲۹a
میکوریزا × بیوفسفر	M0b0	۱/۸۴e	۵/۳۸h	۳۶/۳۵f	۱۰/۹۵cd	۱۳/۳۵h	۱۱/۹۳b	۹/۴۵bcd	۱۶/۰۲e	۳/۲۰e
	M0b1	۱/۹۳d	۶/۱۳f	۳۸/۲۵def	۱۴/۹۸ab	۱۵/۰۸gh	۱۲/۷۰ab	۱۳/۴۸ab	۱۷/۰۸e	۴/۶۸cd
	M0b2	۱/۹۹d	۶/۱۹e	۴۲/۵۸bc	۱۳/۱۲abc	۱۹/۵۸cde	۱۱/۷۰b	۱۱/۶۲ab	۲۱/۵۸bc	۴/۶۵cd
	M1b0	۲/۱۰c	۶/۶۷ef	۴۲/۱۵bc	۸/۲۲de	۱۹/۱۵de	۱۲/۹۰ab	۳/۸۵f	۲۱/۱۵bcd	۴/۴۰cd
	M1b1	۲/۱۳c	۹/۳۸d	۴۷/۴۵a	۹/۶۵cde	۲۴/۴۵a	۱۲/۲۰b	۵/۵۸ef	۲۵/۱۲a	۴/۹۰bc
	M1b2	۲/۲۶b	۱۰/۱۷bc	۴۶/۹۲a	۸/۰۸de	۲۳/۹۲ab	۱۲/۸۰ab	۱۰/۰۸abc	۲۵/۹۲a	۵/۲۲b
	M2b0	۲/۱۲c	۶/۹۰e	۴۱/۸۵bcd	۶/۷۷e	۱۸/۸۵def	۱۱/۹۳b	۸/۱۳cde	۲۰/۸۵bcd	۴/۳۵d
	M2b1	۲/۳۸a	۱۰/۵۳b	۴۵/۲۵ab	۷/۶۰de	۲۲/۲۵abc	۱۲/۰۰b	۸/۶۷bcde	۲۳/۵۸ab	۴/۶۲cd
	M2b2	۲/۴۲a	۱۱/۳۹a	۴۴/۰۵abc	۱۱/۵۳bcd	۲۱/۰۷bcd	۱۲/۹۷ab	۶/۵۳def	۲۳/۰۷ab	۴/۷۵bcd
	M3b0	۲/۱۱c	۶/۹۸e	۴۰/۶۵cde	۱۱/۰۵cd	۱۷/۶۳efg	۱۲/۰۰b	۹/۵۵bcd	۱۸/۹۷cde	۴/۸۵bcd
	M3b1	۲/۲۸b	۹/۲۱d	۴۱/۱۸cde	۱۵/۷۲a	۱۸/۱۷def	۱۴/۰۰a	۱۴/۲۲a	۱۹/۵۰cde	۶/۰۹a
	M3b2	۲/۳۸a	۹/۷۲cd	۳۷/۷۳ef	۱۵/۸۷a	۱۶/۰۳fgh	۱۱/۶۳b	۱۴/۳۷a	۱۸/۰۳de	۶/۵۳a

حروف مشابه در هر گروه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف آماری معنی‌داری بین آنهاست. علائم اختصاری تیمارها در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول شماره ۴). با این وجود همان طور که اثرات ساده تیمارهای کودی گویا بود، بیشترین میزان این ترکیب از دو سطح M3B1 و M3B2 به ترتیب با ۱۵/۷۲ و ۱۵/۸۷ درصد به دست آمد (جدول شماره ۵).

گاما ترپینن

نتایج تجزیه واریانس (جدول شماره ۴) نشان داد که اثر عوامل مورد بررسی و اثر متقابل بین آنها در سطح احتمال یک درصد بر درصد درصد گاما ترپینن در اسانس معنی‌دار شد. مقایسه میانگین بین سطوح کود میکوریزایی نشان داد که بیشترین مقدار درصد گاما ترپینن در اسانس مربوط به گیاهان تحت تیمار *G. mosseae* به میزان ۲۲/۵۱ درصد وکمترین آن متعلق به شاهد (عدم تلقیح) به میزان ۱۶/۰۱ درصد بود (جدول شماره ۲). مقایسه میانگین‌ها در بین سطوح کود زیستی بیوفسفر اختلاف معنی‌دار نداشت، با این وجود بیشترین درصد گاما ترپینن در اسانس از محلول پاشی با بیوفسفر (۲۰/۱۵ درصد) به دست آمد (جدول شماره ۵). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های اثر متقابل میکوریزا × بیوفسفر نشان داد که بالاترین درصد گاما ترپینن در اسانس در تلقیح با گونه *G. hoi* و محلول‌پاشی هم‌زمان بیوفسفر (۲۴/۴۵ درصد) به دست آمد.

گاما ترپینن-۷-ال

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس (جدول شماره ۴) بیانگر آن بود که تأثیر هر دو عامل تلقیح میکوریزا و بیوفسفر بر درصد گاما ترپینن-۷-ال در اسانس معنی‌دار نبود. اثر متقابل میکوریزا × بیوفسفر بر درصد گاما ترپینن-۷-ال در اسانس در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود و بیشترین میزان این صفت از کاربرد گونه *G. hoi* و تلقیح بذر با بیوفسفر به دست آمد (جدول شماره ۵).

بتاپینن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر عامل میکوریزا، کود زیستی بیوفسفر در سطح یک درصد و اثر متقابل میکوریزا × بیوفسفر در سطح پنج درصد بر درصد بتاپینن در اسانس معنی دار شد (جدول شماره ۴). مقایسه میانگین بین سطوح کود میکوریزا نشان داد که بیشترین میزان بتاپینن اسانس مربوط به گیاهان تلقیح شده با *G. hoi* با ۱۲/۷۱ درصد بود (جدول شماره ۵). مقایسه میانگین‌ها در بین سطوح کود زیستی بیوفسفر دارای اختلاف معنی‌داری بود، به طوری که بیشترین درصد بتاپینن ۱۰/۴۹ و ۱۰/۶۵ درصد به ترتیب مربوط به تلقیح بذر و محلول‌پاشی با بیوفسفر بود که در یک گروه قرار گرفتند (جدول شماره ۲). کمترین میزان این ترکیب اسانس در هر دو عامل در شاهد (عدم تلقیح) به دست آمد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سطوح مختلف میکوریزا × بیوفسفر نشان داد که بالاترین درصد بتاپینن در اسانس از کاربرد تلفیقی گونه *G. hoi* و کاربرد بیوفسفر به دست آمد. به طوری که بین روش‌های تلقیح بذر با بیوفسفر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول شماره ۵).

پاراسیمن

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر دو عامل تلقیح میکوریزایی و بیوفسفر و اثر متقابل بین آنها در سطح یک درصد بر درصد پاراسیمن در اسانس معنی‌دار شد (جدول شماره ۴). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بین سطوح تلقیح میکوریزا تفاوت قابل توجهی وجود دارد، به طوری که میزان درصد پاراسیمن در اسانس در تلقیح با میکوریزا در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح) بیشتر بود (جدول شماره ۲). بیشترین میزان این صفت مربوط به گیاهان تیمار شده با *G. mosseae* و *G. interradices* به ترتیب به میزان ۲۴/۰۶ و ۲۲/۵۰ درصد بود که در یک گروه قرار گرفتند. در رابطه با روش‌های مختلف تلقیح با بیوفسفر بر میزان درصد پاراسیمن در اسانس، کمترین میزان مربوط به شاهد (عدم تلقیح) (۱۹/۲۵ درصد) بود و دو روش تلیقیح در یک گروه آماری قرار گرفتند. با این حال روش محلول‌پاشی پاراسیمن بیشتری در اسانس (۲۲/۱۵ درصد) تولید نمود (جدول شماره ۵). بیشترین میزان این ترکیب در بین اثرات متقابل دو عامل مورد مطالعه از دو سطح M1B1 و M1B2 به ترتیب با ۲۵/۱۲ و ۲۵/۹۲ درصد به دست آمد (جدول شماره ۲).

میرسن

نتایج تجزیه واریانس (جدول شماره ۴) نشان داد که اثر عوامل مورد بررسی و اثر متقابل بین آنها در سطح احتمال یک درصد بر میزان میرسن در اسانس معنی‌دار شد. مقایسه میانگین بین سطوح کود میکوریزایی نشان داد که بیشترین مقدار درصد میرسن در اسانس مربوط به گیاهان تیمار شده با *G. hoi* به میزان ۵/۸۳ درصد و کمترین آن متعلق به شاهد (عدم تلقیح) به میزان ۴/۱۸ درصد بود (جدول شماره ۵). مقایسه میانگین‌ها در بین دو سطح تلقیح کود زیستی بیوفسفر اختلاف معنی‌دار نداشت، با این حال بیشترین درصد میرسن اسانس از محلول پاشی با بیوفسفر (۵/۲۹ درصد) به دست آمد (جدول شماره ۵). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های اثر متقابل میکوریزا × بیوفسفر نشان داد که بیشترین درصد میرسن در اسانس در گیاهان تلقیح با گونه *G. hoi* و محلول پاشی هم زمان بیوفسفر (۶/۵۳ درصد) به دست آمد.

بحث

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که استفاده از قارچ‌های میکوریزا و کود زیستی بیوفسفر موجب افزایش معنی‌دار صفات ارتفاع بوته، قطر سایه انداز، تعداد ساقه‌های جانبی و تعداد چتر در بوته، چترک در چتر، دانه در چتر، دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و درصد اسانس گیاه زیره سبز در مقایسه با شاهد شد. در بین سه گونه قارچ میکوریزا، بیشترین میزان صفات ارتفاع بوته، قطر سایه انداز، تعداد ساقه‌های جانبی، چتر در بوته و درصد اسانس از گونه *G. interradices*، همچنین بیشترین میزان صفات چترک در چتر، دانه در چتر، دانه در بوته و وزن هزار دانه از گونه *G. mosseae* به دست آمد. در بین روش‌های کاربرد بیوفسفر نیز محلول پاشی بر صفات مورد اندازه‌گیری تأثیرگذارتر از تلقیح بذر با بیوفسفر بود. تأثیر معنی‌دار کودهای زیستی روی شاخص‌های مرفولوژیکی، فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی در مطالعات سایر محققین نیز مشاهده شده است (Ratti و همکاران، ۲۰۰۱ در به‌لیمو [۱۴]؛ کرمی و همکاران، ۲۰۱۱ در گاوزبان [۲۲]؛ طلایی و امینی دهقی، ۲۰۱۵ در زیره سبز [۲۳]. به طوری که سعیدنژاد و رضوانی مقدم (۲۰۱۰) در بررسی مزیت کارایی کودهای زیستی نسبت به کودهای شیمیایی در گیاه دارویی زیره سبز نتیجه گرفتند که کاربرد کودهای زیستی به طور معنی‌داری باعث افزایش صفات مرفولوژیکی زیره سبز و درنهایت عملکرد دانه شد. این محققین گزارش کردند که کودهای زیستی دارای نقش قابل توجهی در بهبود صفات مرفولوژیکی زیره سبز بوده و می‌توانند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی باشند [۲۴].

علاوه بر این، تأثیر مثبت قارچ میکوریزا و بیوفسفر بر ارتفاع بوته گیاهان دارویی مختلف مانند ریحان (اصلانی و همکاران، ۲۰۱۱) [۲۵]، زوفا (شباهنگ و همکاران، ۲۰۱۴) [۲۶]، مرزه (اسماعیل‌پور و همکاران، ۲۰۱۳) [۲۷]، ترخون (لامیان و همکاران، ۲۰۱۵) [۲۸]، نعناع فلفلی (محمودزاده و همکاران، ۲۰۱۵) [۲۹]، انیسون (معصومی زواریان و همکاران، ۲۰۱۵) [۳۰]، و همیشه‌بهار (مقدسان و همکاران، ۲۰۱۶) گزارش شده است [۳۱]. همچنین، عظیمی و همکاران (۲۰۱۴) گیاه آویشن باغی را با قارچ‌های میکوریزا تلقیح نموده و اثر معنی‌داری روی صفات مرفولوژیک و رشد مشاهده نمودند. آنها سازوکار این افزایش را این گونه بیان نمودند که احتمالاً بخشی از ریسه‌ها وارد سیستم ریشه شده و سبب کاهش غلظت اسید آبسیزیک و افزایش میزان سیتوکینین‌ها شده است که این امر موجب گسترش سیستم ریشه‌ای و افزایش جذب آب و مواد غذایی شد [۳۲]. گمان می‌رود میسیلیوم‌های برون ریشه‌ای با ترشح اسیدهای آلی حل‌کننده فسفات‌های نامحلول نظیر اسید مالیک به ریزوسفر، جذب فسفر گیاه را افزایش دهد (مطهری و همکاران، ۲۰۱۱) که درنتیجه این فعل و انفعالات، اکثر صفات مرفولوژیکی گیاه بهبود یافتند. احتمالاً ترشح ترکیب‌ها و هورمون‌های محرک رشد توسط باکتری‌های به کار رفته در کود زیستی بیوفسفر در تحریک رشد گیاه نقش داشته اند [۳۳].

در ارتباط با تعداد شاخه‌های فرعی و قطر سایه‌انداز گیاه باید اظهار نمود که افزایش این صفات می‌تواند با رشد بیشتر اندام هوایی در اثر کاربرد تیمارهای کودی مرتبط باشد. به طوری که با کاربرد تیمارهای یاد شده، در اثر جذب و انتقال

بهتر عناصر غذایی و نقش این عناصر در رشد و توسعه گیاه، بر میزان این صفات افزوده شده است. علیجانی و همکاران (۲۰۱۱) در توجیه بهبود تعداد شاخه‌های جانبی در اثر کاربرد کود زیستی فسفاته اظهار داشتند که این چنین نتایجی به دلیل اهمیت فراوان فسفر در ساختار فتوسنتزی گیاه برای هیدروکربن‌سازی و استفاده از این منبع در انتقال مجدد برای افزایش مقدار عملکرد اقتصادی در گیاه دارویی بابونه آلمانی می‌باشد، با توجه به اینکه استفاده از کودهای زیستی تداوم کارایی استفاده کود را در خاک برای گیاهان فراهم کرده و نسبت ساقه به ریشه را در حد معقولی برای تولید حفظ و زمان بیشتری را نیز برای استفاده از کود فراهم می‌نماید، بنابراین گیاهان در این تیمارها دارای حجم رویشی بالاتری نیز خواهند بود [۳۴]. بهبود صفات رویشی توسط Giri و همکاران (۲۰۰۵) در *Cassia* [۳۵]، Saleh و همکاران (۲۰۰۵) در *cowpea* [۳۶]، Yaseri و همکاران (۲۰۰۷) در کلزا [۳۷]، Aslani و همکاران (۲۰۱۱) در ریحان [۲۵]، Shbahang و همکاران (۲۰۱۳) در رازیانه و زنیان [۳۸]، هاشم‌زاده و همکاران (۲۰۱۴) در شوید [۳۹]، قربانپور و همکاران (۲۰۱۳) در بذرالبنج گزارش شده است [۴۰].

به نظر می‌رسد که همزیستی زیره سبز با میکروارگانیسم های موجود در کود فسفات زیستی به دلیل تولید هورمون‌های محرک رشد و مواد بیولوژیکی فعال باعث افزایش رشد رویشی و به تبع آن تعداد چتر در بوته شده است [۴۱]. احتمالاً ترشح ترکیب‌ها و هورمون‌های محرک رشد توسط باکتری‌های مورد استفاده در تحریک رشد گیاه و افزایش تعداد چتر در بوته نقش داشته‌اند. نتایج به دست آمده از آزمایش‌های سایر محققان نیز نشان می‌دهد که افزایش فراهمی مواد مغذی برای گیاه باعث افزایش تعداد چتر در بوته در زیره سبز می‌شود [۱۵]. تعداد دانه در چتر، در حقیقت ظرفیت مخزن گیاه را تعیین می‌کند و هر چه تعداد دانه بیشتر باشد، گیاه دارای مخزن بزرگتری برای دریافت مواد فتوسنتزی بوده و درنهایت افزایش این صفت منجر به افزایش عملکرد دانه خواهد شد. یافته‌های بسیاری از پژوهشگران مؤید این حقیقت است که حضور کودهای زیستی در نظام‌های مختلف کشاورزی پایدار بویژه از طریق اثرات هم‌افزایی و تشدیدکننده‌ای که میان آنها به وجود می‌آید، می‌تواند با ایجاد یک بستر مناسب و پیامد آن دسترسی مطلوب گیاه به عناصر غذایی، موجب بهبود رشد و افزایش بیوماس گیاه شود [۴۲].

از آنجا که تعداد چتر در بوته یا تعداد دانه در هر چتر به تنهایی نمی‌توانند فاکتورهای مناسبی برای تعیین موفقیت گیاه در تولید دانه و عملکرد بیشتر باشند، استفاده از شاخص تعداد دانه در بوته می‌تواند برای مقایسه عملکرد زیره سبز مفید باشد. تعداد دانه در بوته به صورت حاصل ضرب تعداد چتر در بوته با تعداد دانه در هر چتر به دست می‌آید که نشان‌دهنده تعداد کل دانه‌های هر بوته می‌باشد. علاوه بر آنچه ذکر شد، افزایش میزان فراهمی عناصر غذایی و همچنین اثرات کودهای زیستی مورد استفاده باعث افزایش توان رشد و درنتیجه افزایش تعداد چتر در بوته و تعداد دانه در چتر در گیاه شد و به دنبال آن تعداد دانه در بوته نیز افزایش معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان داد. بین تمام تیمارهای اعمال شده در مقایسه با شاهد در وزن هزار دانه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. به نظر می‌رسد افزایش عرضه عناصر غذایی و مواد فتوسنتزی بخصوص در مرحله پر شدن دانه باعث بهبود میزان مواد ذخیره شده در دانه و درنتیجه افزایش وزن هزار دانه شده است. افزایش تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه ناشی از مصرف کودهای زیستی قبلاً نیز گزارش شده است [۴۳، ۲۴، ۲۳].

در آزمایش دیگری به منظور بررسی تأثیر تلقیح بذر با باکتری‌های آزوسپریلیوم بر عملکرد دانه زیره سبز، میرشکاری و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که تیمار تلقیح بذر با باکتری عملکرد بیشتری نسبت به شاهد تولید کرد [۴۳]. مطابق نتایج بررسی طلایی و امینی دهقی (۲۰۱۵) بین تیمارهای کود زیستی از نظر تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد. کمترین مقدار صفات مورد مطالعه در شاهد به دست آمد [۲۳].

کودهای زیستی یکی از منابع بسیار مفید برای بهبود کیفیت خاک‌های زراعی و افزایش عملکرد گیاهان مختلف هستند. بدین‌منظور در آزمایشی استفاده از قارچ *G. intraradices* باعث بهبود عملکرد و جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم

در گیاه زیره سبز شد [۴۴]. نتایج تحقیقی روی گیاه گشنیز نشان داد که قارچ میکوریزا، سبب افزایش عملکرد در گیاه گشنیز شد [۹]. در یک بررسی دیگر مشاهده شد که ترکیب قارچ‌های *G. mosseae* و *G. fasiculatum* میزان رشد و زیست توده را در گیاهان میزبان پیاز، گشنیز و ریحان افزایش داد [۸].

همان‌طور که ذکر شد کاربرد کودهای زیستی مورد مطالعه باعث افزایش معنی‌داری در درصد اسانس حاصل از دانه گیاه دارویی زیره سبز شد (جدول شماره ۴ و ۵). به نظر می‌رسد که افزایش میزان فراهمی عناصر غذایی برای گیاه و نیز افزایش رشد درنتیجه تلقیح با قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌های کود زیستی بیوفسفر در زیره سبز روی عملکرد و اجزای عملکرد گیاه تأثیرگذار بوده و اثر قابل توجهی بر درصد اسانس گذاشته است. در منابع مختلف به اثر مثبت کاربرد کودهای زیستی بر درصد اسانس بویژه در گیاه دارویی رزماری [۴۵]، رازیانه [۱۳]، زیره سبز [۴۴] اشاره شده است.

در تفسیر نتایج حاصل از بهبود میزان اسانس در اثر مصرف مایه تلقیح میکوریزایی و بیوفسفری، می‌توان اظهار داشت از آنجایی که اسانس‌ها ترکیب‌هایی ترپنوئیدی بوده که واحدهای سازنده آنها (ایزوپرنوئیدها) مانند ایزوپنتنیل و دی متیل آلیل پیروفسفات (IPP) و پیروفسفات (DMAPP)، نیاز مبرم به NADPH و ATP دارند و با توجه به این موضوع که حضور عناصری نظیر نیتروژن و فسفر برای تشکیل ترکیب‌های اخیر ضروری می‌باشد [۴۶]. بنابراین، همزیستی با گونه‌های مختلف قارچ‌های میکوریزایی و باکتری‌های بیوفسفر از طریق جذب کارآمد فسفر و تا حدودی نیتروژن توسط ریشه زیره سبز، موجب افزایش اسانس این گیاه دارویی شد. این موضوع با نتیجه تحقیق Kapoor و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت دارد [۲۱]. در همین رابطه همزیستی میکوریزایی ریشه گیاه، سبب افزایش چشم‌گیر میزان اسانس در دانه گشنیز شد [۴۷].

همچنین، به نظر می‌رسد که حضور قارچ‌های میکوریزا در کنار کود زیستی بیوفسفر می‌تواند یک اثر تشدیدکننده بر میزان اسانس در دانه زیره سبز داشته باشد. نتایج پژوهش Ratti و همکاران (۲۰۰۱) نیز مؤید این مطلب است که کاربرد توأم قارچ میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات همراه با سنگ فسفات، موجب یک اثر هم‌افزایی روی فعالیت هر دو میکروارگانیزم می‌شود، و به این نحو سبب تقویت و تشدید میزان اسانس در این گیاه دارویی شده است [۱۴]. البته در بحث تولید گیاهان دارویی، ارزش واقعی به کیفیت محصول یعنی میزان ماده مؤثره داده می‌شود و در تحقیقاتی هم که با استفاده از کودهای زیستی در این زمینه به عمل آمده نیز مشاهده شد که حداکثر ماده مؤثره در چنین شرایطی حاصل می‌شود [۲۱، ۱۴، ۳]. در این پژوهش نیز به نظر می‌رسد تیمارهای کودهای زیستی مطلوب در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح)، به مراتب شرایط مناسب‌تری را برای بهبود فعالیت‌های میکروبی مفید در خاک مهیا کرده و ضمن فراهم نمودن مطلوب عناصر معدنی برای زیره سبز، از طریق ایجاد اثرهای هم‌افزایی و تشدیدکننده بین خود قادرند موجب افزایش میزان اسانس و ترکیب‌های آن در دانه شوند.

نتیجه‌گیری

در مجموع کاربرد هم‌زمان گونه *G. interradices* و محلول‌پاشی بیوفسفر بیشترین میزان صفات رشدی، عملکرد دانه و درصد اسانس، همچنین کاربرد هم‌زمان گونه *G. mosseae* و محلول‌پاشی بیوفسفر بیشترین میزان اجزاء عملکرد را حاصل نمود. بدین ترتیب استفاده از دو گونه *G. interradices* و *G. mosseae* قارچ میکوریزا به همراه محلول‌پاشی بذر با بیوفسفر جهت بهبود خصوصیات مرفولوژیک و اجزاء عملکرد در راستای دستیابی به عملکرد و درصد اسانس بیشتر در گیاه دارویی زیره سبز توصیه می‌شود. در این بررسی در مجموع ۱۷ ترکیب در اسانس شناسایی شد که هفت ترکیب به عنوان ترکیب‌های اصلی اسانس زیره سبز شامل کومین آلدهید، پارامنتا-۱و۴-دین-۷-ال، گاما ترپینن، گاما ترپینن-۷-ال، بتاپینن، پاراسیمن و میرسن شناخته شدند. در بین سه تیمار قارچ میکوریزا، بیشترین درصد و عملکرد اسانس از گیاهان تیمار شده با گونه *G. interradices* و بیشترین درصد ترکیبات اسانس از گیاهان تیمار شده با دو گونه *G. mosseae* و *G. hoi* به دست آمد. بین روش‌های

کاربرد بیوفسفر نیز اختلاف آماری معنی‌داری برای ترکیبات اسانس وجود نداشت، هرچند محلول‌پاشی با بیوفسفر بیشترین درصد و عملکرد اسانس زیره سبز را حاصل نمود. در مجموع و مطابق با اثرات متقابل، کاربرد هم زمان گونه *G. interradices* و محلول پاشی بیوفسفر بیشترین میزان درصد و عملکرد اسانس را در گیاهان تیمار شده تولید نمود.

تشکر و قدردانی

از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه اراک به خاطر حمایت در اجرای این تحقیق (در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد) تقدیر و تشکر می‌شود.

منابع

1. Kafi M. Cummin: production technology and outfit. Publication of Ferdowsi university of Mashhad, 2002, pp: 200.

2. Willatgamuwa SA, Platel K, Saraswathi G and Srinivasan K. Antidiabetic influence of dietary *cumin* seeds in *streptozotocin* induced diabetic rats. *Nutrition Res.* 1998; 18 (1): 131-42.

3. Azizi M, Alimoradee L and Rashedmohassel MH. Allelopathic effects of *Bunium persicum* and *Cuminum cyminum* essential oils on seed germination of some weeds species. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 2006; 22 (3): 198-208.

4. Malakoti MJ and Tehrani MM. Micro elements on yield increasing and improvement of agriculture product quality (micro elements with macro impact). Publication office of science of Tarbiat modares university, Tehran, 2000, pp: 966.

5. Saleh Rastin N. Biological fertilizers and its roll in pursuit of sustainable agriculture. Proceeding of the necessity of industrial production of bio-fertilizers in the country. *Agricultural research, education and promotion publication* 2001; 1: 54.

6. Ghorbanpour M, Hatami M, Kariman K and Abbaszadeh Dahaji P. Phytochemical Variations and Enhanced Efficiency of Antioxidant and Antimicrobial Ingredients in Salvia officinalis as Inoculated with Different Rhizobacteria. *Chem. Biodiversity* 2016; 13, 319 –30.

7. Alizadeh A. Effect of moisture on nutrient uptake by mycorrhizal maize in different situations. *J. Agriculture Res*. 2007; 3 (1): 101-8.

8. Hatami M and Ghorbanpour M. Changes in Phytochemicals in Response to Rhizospheric Microorganism Infection. D.K. Choudhary, A. Varma (eds.), Microbial-mediated Induced Systemic Resistance in Plants. 2016, pp: 1-14.

9. Kapoor R, Giri B and Mukerji KG. *Mycorrhization* of *coriander* (*Coriandrum sativum* L.) to enhance the concentration and quality of essential oil. *J. the Science of Food and Agriculture* 2001; 82 (4): 339-42.

10. Ghorbanpour M, Hosseini N, Khodaie Motlagh M and Solgi M. Effect of *pseudomonas* on growing, quantity and quality of essence of *Salvia officinalis* L. *Iranian J. Medicinal and Aromatic Plants* 2014; 13 (4): 89- 100.

11. Mohammadvarzi R, Habibi D, Vazan S and Pazooki A. Study the effect of PGPR and N fertilizer on seed quality of *Sunflower*. *J. Crop Ecophysiol.* 2010; 2 (3) 156-60.

12. Mafakheri S, Omidbaigi R, Sefidkon F and Rejali F. Effect of Biofertilizers, Vermicompost, *Azotobacter* and Biophosphate on the Growth, Nutrient Uptake and Essential Oil Content of *Dragonhead* (*Dracocephalum moldavica* L.). Acta Hort 2013, pp: 395-402.

13. Mahfouz SA and Sharaf-Eldin MA. Effect of mineral vs. biofertilizer on growth, yield and essential oil content of *fennel* (*Foeniculum vulgar* Mill.). *International Agrophysics* 2007; 21 (4): 361-6.

14. Ratti N, Kumar S, Verma HN and Gutam SP. Improvement in bioavailability of tricalcium

phosphate to *Cymbopogon martinii* var. motia by *rhizobacteria*, AMF and *Azospirillum* inoculation. *Microbiological Res.* 2001; 156 (2): 145-9.

15. Darzi MT, Ghalavand A, Rejali F and Sefidkon F. Effects of biofertilizers application on yield and yield components in *Fennel* (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iranian J. Medicinal and Aromatic Plants* 2006; 22 (4): 276-92.

16. Abdelaziz ME, Hanafy Ahmad AH. Shaaban MM and Pokluda R. Fresh weight and yield of *lettuce* as affected by organic manure and biofertilizers. Conference of Organic Farming, Czech University Agriculture, Czech Republic, 2005, 25-29 July: 212-4.

17. Sanches Govin E, Rodrigues Gonzales H, Carballo Guerra C and Milanés Figueredo M. Influencia de los abonos organicos y biofertilizantes en la calidad de las especies medicinales *Calendula officinalis* L. and *Matricaria recutita* L. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 2005; 10 (1): 1-4.

18. Kalra A. 18 Organic cultivation of Medicinal and aromatic plants. A hope for sustainability and qualility enhancement. *Journal of Organic Production of Medicinal, Aromatic and Dye-Yielding Plants (MADPs), FAO*, 2003; 198p.

19. Fatma EM, El-Zamik I, Tomader T, El-Hadidy HI. Abd El-Fattah L and Seham Salem H. Efficiency of biofertilizers, organic and in organic amendments application on growth and essential oil pf *marjoram* (*Majorana hortensis* L.) plants grown in sandy and calcareous. *Egyptian Academic J. Biological Sci.* 2009; 1 (1): 29-36.

20. Sefidkon F. Study quality and quantity of essential oil of *fennel* (*Foeniculum vulgare*) in different stages of growing. *Iranian J. Medicinal and Aromatic Plants* 2001; 7: 85-104.

21. Kapoor R, Giri B, Mukerji KG. Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* Mill. on *mycorrhizal* inoculation supplemented with p-fertilizer. *Bioresource Technol.* 2004; 93 (3): 307-11.

22. Karami A, Sepehri A, Hamzei J and Salimi Gh. 2011. Effect of bio-fertilizers of P and N on quantity and quality traits of *Borage* (*Borago officinalis* L.) under water deficit stress. Plant production technology, 11 (1): 37-50.

23. Talaei, GH. H. and Amini Dehaghi M., 2015. Effects of bio and chemical fertilizers on yield and yield components of *cumin* (*Cuminum cyminum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 30 (6): 932-42.

24. Saeidneghad AH and Rezvani Moghadam P. Evaluate the effect of biological and chemical fertilizers on morphological characteristics, yield, yield components and essence percentage of *Cummin* (*Cuminum cyminum*). *Journal of Horticultural Sci.* 2010; 24 (1): 38-44.

25. Aslani Z, Hassani A, Rasooli Sadaghiyani M, Sefidkon F and Barin M. Effect of two fungi species of *arbuscular mycorrhizal* (*Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*) on growth, chlorophyll contents and P concentration in *Basil* (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress conditions. Iranian journal of medicinal and aromatic plants, 2011; 27 (3): 471-86.

26. Shbahang J, Khoramdel S, Siahmargoee A, Gheshm RA and Jafari L. Evaluate the effect of integrated management of manure and *mycorrhiza* on growing features, quantity yield and essence of *Hyssop* (*Hyssopus officinalis* L.) in Mashhad condition. *J. Agroecol.* 2014; 6 (2): 353-63.

27. Esmaeilpour B, Jalilvand P and Hadian J. Effect of Drought stress and *mycorrhiza* on some morphophysiological traits and yield of Savory. Journal of agroecology, 2013; 5 (2): 169-177.

28. Lamian A, Naghdibadi HA, Ladan Moghadam AR and Mehrafarin A. Morphological changes, essence and methyl-cavichol of *Artemisia unculus* L. treated by *mycorrhiza* fungus (*Glomus interradices*) and salinity tension. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 2015; 14, 4 (56): 64-77.

29. Mahmoodzadeh M., Rasooli Sedghiani, M. H. and Asghari Lejayer H., 2015. Effect of PGR bacteries and *Arbuscular mycorrhiza* fungus on morphological characteristics and concentration of intensive elements of *Mentha piperita* L. in greenhouse condition. *Science and Technique of Greenhouse Farming* 6 (24): 155-67.

30. Masoumi Zavarian A. Yousefi Rad M and Asghari M. Study the effect of *micorrhiza* on quality and quantity characteristics of *Anise* (*Pimpinella anisum*) under salinity stress. *Iranian J. Medicinal and Aromatic Plants* 2015; 14 (4): 139-48.

31. Moghadasan Sh, Safipour Afshar A and Saeid Nematpour F. The role of *Mycorrhiza* in drought tolerance of *Marigold* (*Calendula officinalis* L.). *J. Crop Ecophysiol.* 2016; 9 (4): 521-32.

32. Azimi R, Jangjoo M and Asghari MR. Effect of *mycorrhiza* fungus on initial deployment and morphological characteristics of thyme in natural condition. *Iranian Journal of Field Crops Res.* 2014; 11 (4): 666-76.

33. Motahari M, Abbas H, Moradi P and Motahari H. Effect of phosphorus fertilizer and *mycorrhiza* on yield, yield components and essential oils of *Marigold*. The first national conference on modern agricultural Sciences and Technologies. Zanjan University, 10-12 September, 2011.

34. Alijani M, Amini Dehaghi M, Malboobi MA, Zahedi M and Modares Sanavi SAM. The effect of different levels of phosphorus fertilizer together with phosphate bio-fertilizer (Barvar 2) on yield, essential oil amount and chamazulene percentage of *Matricaria recutita* L. *Iranian J. Medicinal and Aromatic Plants* 2011; 27 (3): 450-9.

35. Giri B, Koopar R and Mukerji KJ. Effect of the *arbuscular mycorrhizae Glomus fasciculatum* and *G. macrocarpum* on the growth and nutrient content of *Cassia siamea* in a semi-arid Indian wasteland soil. *New Forests* 2005; 29: 63 - 73.

36. Saleh M and Al-Garni S. Increased heavy metal tolerance of *cowpea* plant by dual inoculation of an *arbuscular mycorrhizal* fungi and nitrogen-fixer *Rhizobium* bacterium. *African J. Biotechnol*. 2005; 5 (2): 133-42.

37. Yasari E, M. R. Azadgoleh S. Mozafari and Alashti M. Enhancement of growth and nutrient uptake of rapeseed (*Brassica napus* L.) by applying mineral nutrients and biofertilizers. *Pakistan J. Biological Sci*. 2009; 15: 12 (2): 127 - 33.

38. Shbahang J, Khoramdel S and Gheshm RA. Evaluate the effect of coexistence with *myccorhiza* on yield, yield components and essence of two species of *Fennel* (*Foeniculum vulgare* Mill.) and *Ammi* (*Carum copticum* L.) affected by N concentrations. *J. Agroecol*. 2013; 5 (3): 289-8.

39. Hashemzadeh F, Mirshekari B, Yarnia M, Rahimzadeh Khoei F, Tarinejhad A and Farzanian M. Effect of bio and chemical fertilizers on yield, yield components and *mycorrhizal* colonization percent on *Common Dill* (*Anethum graveolens* L.). *Journal of Crop Ecophysiol.* 2014; 8 (3): 257-70.

40. Ghorbanpour M, Hatami M, Khavazi K. Role of plant growth promoting rhizobacteria on antioxidant enzyme activities and tropane alkaloids production of *Hyoscyamus niger* under water deficit stress. *Turkish J. Biol*. 2013; 37: 350-60.

41. Naruala N, Kumar V, Behl RK, Deubel A, Gransee A and Merbach W. Effect of Psolubilizing *Azotobacter chroococcum* on N, P, K uptake in P-responsive *wheat* genotypes grown under greenhouse conditions. *J. Plant Nutrition and Soil Sci.* 2000; 163 (4): 393-8.

42. Sharma AK. Biofertilizers for sustainable agriculture. Agrobios, India, 2002, 407p.

43. Mirshekari B, Asadi Rahmani H and Mirmozafari Rodsari, A. The effect of seed inoculation with *Azospirillum* strains and coating with microelements on seed yield and essence of *cumin* (*Cuminum cyminum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 2010; 25 (4): 470-481.

44. Gholami Ganjeh S and Salehi A. Effects of different levels of vermicompost and biofertilizers on essential oil content and uptake of some elements in *cumin* (*Cuminum cyminum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 2015; 31 (5): 822-830.

45. Leithy S, El-meseiry T.A. and Abdallah E.F. Effect of biofertilizers, cell stabilizer and irrigation regime on Rosemary herbage oil yield and quality. *J. Applied Res.* 2006; 2: 773-9.

46. Kapoor R, Giri B and Mukerji KG. *Glomus macrocarpum*: a potential bioinoculant to improve essential oil quality and concentration in *dill* (*Anethum graveolens* L.) and *carum* (*Trachyspemum ammi* (Linn.) Sprague). *World J. Microbiology and Biotechnol.* 2002; 18 (5): 459-63.

47. Freitas MSM, Martins MA and Vieira EIJC. Yield and quality of essential oils of *Mentha arvensis* in response to inoculation with *arbuscular mycorrhizal* fungi. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 2004; 39 (9): 887-94.

Effect of Mycorrhizal Fungi and Biophosphor Fertilizer on Growth Features, Yield and Yield Components, and Essntial Oil Constituents in *Cuminum cyminum* L.

Haghir Ebrahimabadi A (M.Sc. Student)[1], Hatami M (Ph.D.)[2], Karimzadeh Asl (Ph.D.)[3], Ghorbanpour M (Ph.D.)[4*]

1- Department of Medicinal Plants, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Arak, Iran
2- Department of Medicinal Plants, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Arak, Iran
3- Member of scientific of Medicinal plants and by-products research division, Research Institute of Forests and Rangelands Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
4- Department of Medicinal Plants, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Arak, Iran
*Corresponding author: Department of Medicinal Plants, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Arak, 8349-8-38156, Iran
Tel: +98-86-32623420, Fax: +98-86-32771446
Email: m-ghorbanpour@araku.ac.ir

Abstract

Background: Achievement of optimal production of medicinal plants along with adherence to scientific principles of sustainable agriculture is of great importance.

Objective: Evaluation of different mycorrhiza fungi and biophosphorus fertilizer on morphological, yield, yield components, and quality and quantity of essential oils in cumin.

Methods: This study was carried out in a factorial experiment based on RCBD with three replications at Research Institute of Forests and Rangelands. Factors were considered as inoculation with mycorrhiza species (*G. mosseae*, *G. interradices*, *G. hoi*) and types of biophosphate application (seed inoculation, and seed inoculation + foliar application), and non inoculation with employed treatments considered as control.

Results: Results showed statistically (P <0.01) significant increase in plant height, canopy diameter, number of stem branches, number of umbel in plant, number of umbelet in umbel, number of seeds in umbel, number of seeds in plant, seed thousand weight, seed yield and essential oils content upon application of treatments compared to control. The highest value of plant height, canopy diameter, number of stem branches, number of umbel in plant and essential oils content were achived in plants inoculated with *G. interradices*. Maximum essential oil content and yield were obtained in plants treated with *G. interradices*, and the highest value of major oil constituents (Cuminaldehyde, p-Mentha-1,4-dien-7-ol, γ-Terpinene, γ-Terpinene-7-al, β-Pinene, p-Cymene and Myrcene) was identified from *G. mosseae* and *G. hoi* treated plants.

Conclusion: Totally and accordance with iteraction effects, co-application of *G. interradices* and foliar spray of biophosphate fertilizer produced maximum essential oil content and yield in cumin.

Keywords: *Cuminum cyminum* L., Biological fertilizers, Cumin-aldehyde, Essential oil, p-Cymene