



## به زراعی کشاورزی

دوره ۲۰ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۳۹۷

صفحه‌های ۸۴۸-۸۳۱

### بررسی اثر کودهای زیستی باکتریایی و قارچ میکوریزا بر عملکرد دانه و ترکیبات

#### شیمیایی اسانس سه توده رازیانه

فاطمه زمانی<sup>۱</sup>، رضا امیرنیا<sup>۲\*</sup>، اسماعیل رضایی چپانه<sup>۳</sup>، امیر رحیمی<sup>۴</sup>

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۲. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۳. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۲۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۴/۰۹

#### چکیده

برای بررسی اثر کودهای زیستی بر عملکرد دانه و ترکیبات شیمیایی اسانس گیاه دارویی رازیانه، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۲ تیمار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. فاکتور اول شامل سه توده رازیانه (ارومیه، همدان و آلمان) و فاکتور دوم چهار سطح کودی شامل کود زیستی باکتریایی تأمین‌کننده نیتروژن، فسفر، پتاسیم، قارچ میکوریزا (*Rhizophagus irregularis*)، تلفیق کود زیستی باکتریایی + قارچ میکوریزا و عدم مصرف کود (شاهد) را شامل می‌شدند. نتایج نشان داد که کاربرد کودهای زیستی منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، درصد کلونیزاسیون، عناصر غذایی، درصد اسانس، عملکرد اسانس و بهبود ترکیبات شیمیایی اسانس گردید و در این میان تیمارهای ترکیبی نسبت به تیمارهای مصرف جداگانه بیشترین تأثیر را در افزایش صفات مورد مطالعه داشتند. به طوری که کاربرد تلفیقی کود زیستی باکتریایی + قارچ میکوریزا نسبت به شاهد عملکرد دانه را به میزان ۲۱/۵۲ درصد افزایش داد. همچنین، توده آلمان در مقایسه با توده‌های همدان و ارومیه به ترتیب ۱۱/۳۸ و ۱۰/۱۵ درصد از عملکرد دانه بیشتری برخوردار بود. همچنین بین توده‌های بومی برای تمامی صفات کمی و کیفی مورد مطالعه به جز نیتروژن دانه اختلاف معنی‌دار وجود داشت. عملکرد دانه، محتوی اسانس توده آلمان نسبت به دو توده همدان و ارومیه بالاتر بود. از بین ترکیبات اصلی اسانس رازیانه (آنتول، فنچون، لیمونن و p-Allylanisole)، بیشترین میزان آنتول در توده ارومیه در شرایطی کاربرد تلفیقی کود زیستی باکتریایی + قارچ میکوریزا به دست آمد.

**کلیدواژه‌ها:** *Rhizophagus irregularis*, *Pseudomonas*, *Azotobacter*، آنتول، عناصر غذایی.

## مقدمه

رازیانه<sup>۱</sup> از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین گیاهان دارویی تیره چتریان<sup>۲</sup> می‌باشد که عمدتاً به‌منظور استفاده از اسانس حاصل از آن در صنایع مختلف دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی مورد کشت قرار می‌گیرد (Omid Beygi, 2007). تمام اندام‌های گیاه دارای اسانس است، ولی بیشترین مقدار اسانس آن در میوه در حدود ۶-۲ درصد ساخته می‌شود. اسانس رازیانه دارای بیش از ۳۰ نوع ترکیبات ترپنی تشکیل می‌باشد. مهم‌ترین این ترکیبات شامل آنتول، فنچون، استراگول، کامفن لیمونن، آلفاپینن، میرسن، اوسیمین است (Telci et al., 2009).

سلامت محصولات تولیدشده در سیستم‌های مختلف از نظر وجود بقایای سموم و مواد شیمیایی و تأثیر آنها بر سلامت انسان و محیط زیست، توجه ویژه‌ای را به روش‌های تولید و نهاده‌های به‌کاررفته در امر تولید معطوف داشته است. در سال‌های اخیر در پی بحران آلودگی‌های زیست‌محیطی تلاش‌های گسترده‌ای به‌منظور یافتن راهکارهای مناسب برای بهبود کیفیت خاک و محصولات کشاورزی، حذف آلاینده‌ها و حفظ پایداری اکوسیستم‌های طبیعی آغاز شده است. برای کاهش این مخاطرات باید از منابع و نهاده‌هایی استفاده کرد که علاوه بر تأمین نیازهای فعلی گیاه باعث پایداری سیستم‌های کشاورزی در درازمدت می‌شود (Murty & Ladha, 1988). بنابراین استفاده از کودهای زیستی و انتخاب بهترین گونه میکروارگانیسم که بیشترین سازگاری را نسبت به اقلیم منطقه داشته باشد، می‌تواند در پایداری سیستم کشاورزی مفید واقع شود. از طرفی امروزه با توجه به اهمیت و نقش گیاهان دارویی در صنایع مختلف، نکته دارای اهمیت در تولید و پرورش این گونه‌های

ارزشمند، افزایش تولید آنها بدون کاربرد نهاده‌های شیمیایی می‌باشد. کاربرد گونه‌های میکروبی در تولید گیاهان دارویی در بهبود عملکرد و کیفیت آنها تأثیرگذار خواهد بود (Abdul-Jaleel et al., 2007).

در زراعت گیاهان دارویی تلقیح‌شده با کودهای زیستی، اثرات مثبتی بر عملکرد و کیفیت گیاهان دارویی مشاهده شده و بر اهمیت استفاده از این کودها در سیستم ارگانیک و مدیریت پایدار خاک تأکید شده است (Rezaei- Chiyaneh et al., 2014). در آزمایشی در نتیجه تلقیح با باکتری‌های *Azotobacter crococomum* و *Azospirillum lipophorum* عملکرد کاپیتول و اسانس بابونه در مقایسه با تیمار شاهد (عدم تلقیح) افزایش یافت (Dastborhan et al., 2011). کاربرد باکتری‌های *Pseudomonas*، *Azotobacter* و *Thiobacillus* منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و اسانس زیره سبز گردیده است (Rezaei- Chiyaneh et al., 2014). در زیره سبز گزارش شد که بالاترین عملکرد دانه مربوط به تیمار تلقیح با کود فسفات زیستی، ۴۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر، تلقیح با کود زیستی نیتروکسین و ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی نیتروژن با تولید ۱۰۱/۰۳ گرم در مترمربع بوده است که در سطح برتر و تیمار شاهد (عدم مصرف کود) با تولید ۲۴/۶۶ گرم در مترمربع کمترین میزان عملکرد دانه را به خود اختصاص داده است (Talaie & Amini Dehaghi, 2015). در گیاه دارویی آنیسون، بیشترین عملکرد دانه (۵۹۵/۹۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار کود ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری بین تیمار ۱۰ تن ورمی کمپوست و تیمار تلفیقی ۷/۵ تن در هکتار ورمی کمپوست و کود زیستی از تو بارور ۱ و فسفر بارور ۲ بر روی صفت عملکرد دانه مشاهده نشد (Behzadi & Salehi, 2017).

در بررسی دیگری بر روی ریحان بیشترین زیست‌توده و

1. *Foeniculum vulgare* L.
2. Apiaceae

### مواد و روش‌ها

برای بررسی تأثیر کودهای زیستی باکتریایی و قارچ میکوریزا بر عملکرد کمی و کیفی سه توده رازیانه آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۲ تیمار در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه با طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۷ دقیقه و ارتفاع ۱۳۲۸ متر از سطح دریا، به اجرا در آمد. قبل از شروع آزمایش، به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه برداری انجام گرفت. نتایج آنالیز خاک در جدول ۱ و متوسط بارندگی، درجه حرارت و رطوبت نسبی هوا شهرستان ارومیه در سال آزمایش در جدول ۲ آورده شده است.

تیمارها شامل سه توده رازیانه (ارومیه، همدان و آلمان) و چهار سطح کود زیستی باکتریایی (تأمین کننده نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، قارچ میکوریزا (*Rhizophagus irregularis*)، تلفیق کود زیستی باکتریایی + قارچ میکوریزا و عدم مصرف کود (شاهد) بود.

عملکرد اسانس با کاربرد کود نیتروکسین (حاوی باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن از جنس *Azotobacter* sp. و *Azospirillum* sp.) به دست آمد (Tahami et al., 2017). طی بررسی انجام شده روی گیاه دارویی کدو تنبل بیشترین عملکرد دانه ۵۳ و ۵۰ گرم در مترمربع به ترتیب از تیمار کود شیمیایی و اثر متقابل کود زیستی (آزوسپیریلوم و قارچ میکوریزا) + ۵۰ درصد کود شیمیایی به دست آمد (Zarei & Shabani, 2016). در بررسی دیگری روی رازیانه بیشترین میزان استراگول (۵/۷۶ درصد) و لیمونن (۴/۹۰ درصد) در تیمار ترکیب ورمی کمپوست (۶ تن در هکتار) + ازتوباکتر + سودوموناس به دست آمد (Osoli & Taleshi, 2018).

این پژوهش با هدف بررسی کاربرد تلفیقی باکتری‌های تأمین کننده نیتروژن، فسفر و پتاسیم با قارچ میکوریزا در یک نظام زراعی کم‌نهاد بر عملکرد، میزان اسانس دانه رازیانه، ترکیبات شیمیایی اسانس و جذب عناصر غذایی سه توده رازیانه در شرایط آب و هوایی ارومیه به مرحله اجرا در آمد.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب	مواد آلی	نیتروژن کل	هدایت الکتریکی	اسیدیته	رس سیلت	شن	بافت خاک
(mg kg <sup>-1</sup> )		درصد	درصد	(dSm <sup>-1</sup> )	pH	درصد	درصد	درصد
۲۰۵/۹۵	۱۳/۶۲	۰/۹۷	۰/۱۴	۱/۴۲	۷/۹۶	۴۴	۴۰	۱۶ لومی

جدول ۲. میانگین بارندگی، درجه حرارت و رطوبت نسبی شهرستان ارومیه در سال ۱۳۹۴-۱۳۹۵

ماه‌های سال	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
	۹۴	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵
درجه حرارت کمینه (C°)	۱/۴	۳/۴	۹	۱۱/۰	۱۵/۶	۱۵/۶	۱۲/۴
درجه حرارت بیشینه (C°)	۱۴	۱۵/۴	۲۳/۱	۲۶/۴	۳۱/۵	۳۲/۶	۲۹/۱
میزان بارندگی (mm)	۱۹/۴	۶۳/۷	۵۱/۹	۲۸/۹	۵/۱	۰	۰
رطوبت نسبی (%)	۳۱/۸	۶۷/۳	۱۷۲/۲	۲۲۷/۱	۲۶۴/۲	۲۴۱/۲	۱۷۸/۸

صرفه‌جویی در مصرف آب در آزمایش حاضر، آبیاری فقط در مراحل فنولوژیکی رازیانه تنظیم شد؛ اما، به‌علت شرایط بارندگی در طول فصل رشد، تنها آبیاری در سه مرحله به‌صورت نشستی در مرحله شروع گلدهی، گلدهی کامل و مرحله پر شدن دانه صورت گرفت.

وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی در طول دوره رشد گیاه انجام گرفت، به‌طوری‌که مزرعه در طول دوره رشد عاری از علف‌های هرز بود. برداشت محصول نهایی در ۱۵ شهریور ۱۳۹۵ زمانی که رنگ بذرها قهوه‌ای شده بود، صورت گرفت. برای تعیین عملکرد نهایی پس از حذف ردیف‌های کناری و نیم متر از ابتدای کرت و نیم متر از انتهای کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای بوته‌های موجود در ۲/۴ مترمربع برداشت شده و عملکرد دانه تعیین گردید.

برای تعیین درصد کلنیزاسیون، ابتدا قطعات ریشه به طول یک سانتی‌متر در محلول فرمالین استیک اسید قرار داده شدند، و بعد از ۲۴ ساعت نمونه‌ها با آب مقطر شسته و در KOH ۱۰ درصد به مدت یک ساعت در دمای ۹۰ درجه در آن قرار داده شدند. سپس ریشه‌ها به مدت ۳ دقیقه در اسید کلریدریک ۱٪ قرار داده شدند. نمونه‌ها با تریپان بلو ۰/۰۵ درصد رنگ‌آمیزی شده و به مدت ۱/۵ ساعت در آن ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از آن نمونه‌ها به‌وسیله لاکتوگلیسرول رنگ‌زدایی شدند، و در زیر میکروسکوپ مورد بررسی قرار گرفتند. درصد کلنیزاسیون از نسبت تعداد نقاط رنگی از کل نقاط مورد بررسی به‌دست آمد (Giovannetti & Mosse, 1980; Phillips & Hayman, 1970).

$100 \times (\text{تعداد کل برخوردارها} / \text{تعداد نقاط آبی}) = \text{درصد}$   
استخراج اسانس با استفاده از روش تقطیر با آب و دستگاه اسانس‌گیر صورت پذیرفت. بدین منظور، ۳۰ گرم از بذور برداشت‌شده کاملاً خردشده و درون بالن

برای اعمال تیمار قارچ میکوریزا، حاوی *Rhizophagus irregularis* به میزان ۳۰ گرم به‌ازای هر بوته در هنگام کاشت زیر بذر قرار داده شد (هر گرم نمونه قارچ حاوی حدود ۳۰۰ اسپور زنده بود). در تیمار باکتریایی، بذر گیاه رازیانه یک ساعت قبل از کشت با کود زیستی فسفات‌ه بارور-۲ (حاوی دو نوع باکتری حل‌کننده فسفات از گونه‌های *Bacillus lentus* و *Pseudomonas putida* با تعداد  $10^9$  باکتری زنده و فعال در هر گرم کود بیولوژیک)، از تو بارور ۱ (حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از جنس *Azotobacter* با تعداد  $10^9$  باکتری زنده و فعال در هر گرم کود بیولوژیک) و پتا بارو-۲ (حاوی دو نوع باکتری‌های آزادکننده پتاسیم از گونه‌های *Pseudomonas koreensis* و *Pseudomonas vancoverensis* (با تعداد  $10^8$  باکتری زنده و فعال در هر گرم کود بیولوژیک) هر سه به‌صورت پودر با نسبت‌های مشخص (۱۰۰ گرم در هکتار) بر اساس دستورالعمل توصیه‌شده شرکت زیست فناور سبز تلقیح شدند. به این صورت که محتوی بسته با آب مخلوط و روی بذرها اسپری شدند تا یک پوشش کاملاً یکنواخت روی سطح آن‌ها تشکیل شود و سپس بذرها در سایه خشک شدند و عملیات کاشت صورت گرفت. در تیمار تلفیقی نیز پس از تلقیح با باکتری‌های مورد نظر، بذرها در سایه خشک شدند. سپس، در هنگام کاشت خاک حاوی میکوریزا به میزان ۳۰ گرم به‌ازای هر بوته زیر بذر قرار داده شد.

پس از عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح زمین کرت‌های آزمایشی در سه تکرار و هر تکرار شامل ۱۲ کرت با فاصله بین ردیف ۴۰ و روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر ایجاد شد. در هر کرت شش ردیف به فاصله ۲۵ سانتی‌متر کاشته شد. کاشت بذور رازیانه در نیمه دوم اسفندماه ۱۳۹۴ صورت گرفت. جهت

۱۹۰ درجه رسیده به مدت ۲ دقیقه نگه داشته شده و سپس با تغییرات ۲ درجه در دقیقه به ۲۱۰ درجه رسید. از هلیم فوق خالص با سرعت عبور ۱ میلی لیتر در دقیقه به عنوان گاز حامل استفاده شد. پیک‌های خروجی براساس زمان بازداری با نمونه‌های استاندارد مقایسه و تعیین هویت شده و براساس سطح زیر منحنی تعیین غلظت گردیدند (Tilak et al., 2005).

نیتروژن به روش کج‌دال مدل BUCHI-B 324 (ساخت کشور سوئیس) و فسفر به روش کالیمتری اندازه‌گیری شد. میزان پتاسیم با استفاده از دستگاه فلم‌فوتومتر (مدل 620G فاطر الکترونیک ساخت ایران) تعیین شد (Bahadori et al., 2015; Mahmoudzadeh et al., 2015). تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) انجام گرفت. میانگین‌های به دست آمده با استفاده از آزمون LSD با یکدیگر مقایسه آماری شدند.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که توده‌های بومی و کود زیستی بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار داشتند، اثر متقابل توده بومی و کود زیستی بر این صفات معنی‌دار نبود (جدول ۳).

مخصوص دستگاه ریخته شد و روی آن ۳۰۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه گردید. عمل اسانس‌گیری با دمای جوش آب، به مدت ۳ ساعت انجام شد. سپس اسانس داخل ظرف شیشه‌ای مخصوص جمع‌آوری گردید. اسانس پس از افزودن سولفات سدیم، برای جداسازی و شناسایی ترکیبات اسانس با دستگاه‌های GC-MS در شرایط خنک (دمای ۴ درجه سانتی‌گراد) و تاریک یخچال نگهداری شد. عملکرد اسانس در واحد سطح که تابعی از درصد اسانس و عملکرد بذری می‌باشد از طریق معادله زیر محاسبه گردید:

عملکرد بذری = درصد اسانس × عملکرد اسانس

برای ارزیابی مواد مؤثره اسانس با دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل Hewlett-Packard 6890 (ساخت کشور آمریکا) دارای انجکتور splitless و ستون موئینه به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت فیلم ۲۵۰ میلی‌متر مدل DB-WAX (Agilent/J and W Scientific, Folsom, CA, USA) استفاده شد. دتکتور از نوع یونیزه آن و اشعه با حرارت ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که در آن گاز هیدروژن و هوا با سرعت ۴۰ میلی‌لیتر بر دقیقه عبور داده می‌شود. دمای اولیه در ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ دقیقه نگه داشته شده و سپس با تغییرات ۱۰ درجه در دقیقه به ۱۴۰ درجه رسیده و پس از ۱ دقیقه با تغییرات ۴ درجه در دقیقه به

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر کود زیستی و توده بر صفات مورد بررسی سه توده رازیانه

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	درصد کلونیزاسیون میکوریزای	درصد اسانس	عملکرد اسانس	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
تکرار	۲	۶۸/۷۴ *	۸۵/۴۴ **	۲/۴۴ **	۲۶۲/۳۴ **	۰/۰۷۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۲۸ **
توده بومی	۲	۱۰۰۶/۸۴ **	۵۷/۶۹ **	۱/۲۱ **	۶۰۳/۲۸ **	۰/۰۱۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۴ **	۰/۱۱۸ **
کود زیستی	۳	۱۷۲۹/۷۹ **	۶۹۷۵/۲۲ **	۳/۰۱ **	۱۱۲۲/۰۹ **	۰/۱۵۷ **	۰/۰۲۰ **	۰/۱۹۹ **
کود زیستی × توده بومی	۶	۹۷/۳۷ <sup>ns</sup>	۸/۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۶۹ <sup>ns</sup>	۱۵/۸۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۹ <sup>ns</sup>
خطا	۲۲	۶۶/۷۴	۹/۶۵	۰/۱۸۹	۳۹/۱۷	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۱۳
ضریب تغییرات (%)		۶/۲۸	۸/۴۸	۱۴/۲۵	۱۵/۳۱	۴/۹۰	۱۳/۹۹	۶/۵۶

\*\*\*, \*\*, \* و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

### عملکرد دانه

افزایش سرعت و مدت فتوسنتز باعث افزایش راندمان انتقال مواد فتوسنتزی به مخزن شده که این امر منجر به افزایش عملکرد این گیاه دارویی شده است. پژوهشگران دیگری در گیاه دارویی ماریتیغال گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه از تیمار قارچ میکوریزا به دست آمد که با تیمار شاهد ۱۱۷ درصد اختلاف داشت (Yadegari *et al.*, 2017). در آزمایشی دیگری که بر روی گیاه دارویی گشنیز انجام شده است، بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۱۵۱۷/۸ کیلوگرم در هکتار از تلقیح با باکتری *Azospirillum* به دست آمد؛ تیمار تلقیح با *Azospirillum* از طریق تأثیر بارزی که بر روی ویژگی تعداد چتر در بوته گیاه دارویی گشنیز گذاشته بود، باعث افزایش عملکرد دانه گردید (Darzi, 2012).

در بین توده‌های رازیانه، توده آلمان بیشترین عملکرد دانه (۱۴۲/۳۹ گرم در مترمربع) را نشان داد و بین توده همدان و ارومیه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۱۴۶/۶۸ گرم در مترمربع در تیمار تلفیقی کود زیستی باکتریایی + قارچ میکوریزا مشاهده شد، با این وجود از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار قارچ میکوریزا نداشت و کمترین عملکرد دانه نیز با میانگین ۱۱۵/۱۱۱ گرم در مترمربع مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد که کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا به همراه باکتری‌های تأمین‌کننده عناصر غذایی به دلیل

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی توده‌های رازیانه در تیمارهای کود زیستی

تیمار کودی	عملکرد دانه (گرم در مترمربع)	درصد کلونیزاسیون	درصد اسانس	عملکرد اسانس (گرم در مترمربع)	فسفر (%)	پتاسیم (%)
ارومیه	۱۲۷/۸۴b	۳۴/۲۵b	b۲/۹۲	۳/۷۹ b	۰/۲۱۲ b	۱/۶۵c
همدان	۱۲۵/۴۷b	۳۷a	۲/۸۲b	۳/۶۵b	۰/۲۲۱ ab	۱/۷۱ b
آلمان	۱۴۲/۳۹a	۳۸/۵۸a	۳/۴۲ a	۴/۸۹a	۰/۲۴۵ a	۱/۸۴ a
LSD	۶/۹۱	۲/۶۳	۰/۳۶	۵/۳۰	۰/۰۲۶	۰/۰۹۶

میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ستون، بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد دارند.

جدول ۵. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی رازیانه در تیمارهای کود زیستی

تیمار کودی	عملکرد دانه (گرم در مترمربع)	درصد کلونیزاسیون	درصد اسانس	عملکرد اسانس (گرم در مترمربع)	نیتروژن (%)	فسفر (%)	پتاسیم (%)
عدم مصرف کود (شاهد)	۱۱۵/۱۱c	۱۰/۶۷ c	۲/۳۲ c	۲/۶۶ c	۱/۲۷ c	۰/۱۶ c	۱/۵۴ c
قارچ میکوریزا	۱۳۸/۹۹a	۵۷/۱۱ a	۲/۹۱ b	۴/۰۵ b	۱/۴۱ b	۰/۲۷ a	۱/۷۰ b
کود زیستی باکتریایی	۱۲۶/۸۰b	۱۴/۶۷ b	۳/۳۱ ab	۴/۲۲ b	۱/۵۶ a	۰/۲۰ b	۱/۸۱ a
قارچ میکوریزا + کود زیستی باکتریایی	۱۴۶/۶۸a	۶۴ a	۳/۶۷ a	۵/۳۹ a	۱/۵۴ a	۰/۲۵ a	۱/۸۸ a
LSD	۷/۹۸	۳/۰۶	۰/۴۲	۶/۱۱	۰/۰۵۹	۰/۰۳۰	۰/۱۱

میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ستون، بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد دارند.

در گیاه سیاهدانه مشخص شد که بیشترین میزان عملکرد دانه (۵۵۳/۴۱ کیلوگرم در هکتار) از تلقیح توأم بذر با *Azotobacter* و *Azospirillum* به دست آمد. پاسخ سیاهدانه به تلقیح به این کودها به دلیل فراهمی بیشتر عناصر غذایی برای بوته‌ها بوده که در نتیجه باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی برای دانه‌ها شده است (Ghanepasand & Haj Seyed Hadi, 2016). در گیاه ماریتیغال مشخص شد که بیشترین عملکرد دانه (۱۱۸/۲۹ گرم در مترمربع) مربوط به تیمار کاربرد قارچ میکوریزا (*Glomus moseae*) بود. این پژوهش‌گران بیان کردند میکروارگانیسم‌های موجود در کودهای زیستی می‌توانند با افزایش طول دوره پرشدن دانه و مقدار مواد فتوسنتزی ذخیره‌شده، افزایش عملکرد دانه را توجیه کنند. بنابراین، افزایش میزان مواد غذایی قابل دسترس به‌وسیله کاربرد کودهای زیستی می‌تواند تا حد زیادی به افزایش عملکرد دانه منجر شود (Hamzei & Salimi, 2014). در تحقیقی دیگری گزارش گردید که بیشترین عملکرد دانه زنیان از تیمار کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + *Azotobacter* + *Pseudomonas* به دست آمد. افزایش عملکرد زنیان در تیمار تلفیقی به دلیل تأثیر مثبت کودهای زیستی بر روابط آبی گیاه میزبان، چرخه مواد غذایی و در دسترس قرار دادن و افزایش جذب عناصر غذایی باشد (Rezaei-Chiyaneh et al., 2015). کودهای زیستی علاوه بر تثبیت نیتروژن و آزاد کردن پتاسیم و انحلال فسفر با تولید مواد محرک رشد سبب بهبود رشد ریشه و نهایتاً افزایش سرعت جذب آب و عناصر غذایی، با تحت تأثیر قرار دادن اجزای عملکرد موجب افزایش عملکرد دانه می‌گردند که با نتایج این آزمایش‌ها مطابقت دارد.

درصد کلونیزاسیون ریشه

بومی و کود زیستی بر درصد کلونیزاسیون معنی‌دار بود، اما اثر متقابل توده‌های بومی و کود زیستی معنی‌دار نشد (جدول ۳). کمترین درصد کلونیزاسیون (۳۴/۲۵ درصد) مربوط به توده ارومیه و بیشترین درصد کلونیزاسیون (۳۸/۵۸ درصد) مربوط به توده آلمان بود، اما از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین توده آلمان و همدان مشاهده نشد (جدول ۴). همچنین اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف کودی مشاهده شد؛ به طوری که بیشترین درصد کلونیزاسیون (۶۴ درصد) مربوط به تیمار تلفیقی (میکوریزا+ کود زیستی باکتریایی) و کمترین مقدار (۱۰/۶۷ درصد) مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۵). در آزمایشی روی ماریتیغال نتایج نشان داد که بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه مربوط به تیمار ۶۰ کیلوگرم کود فسفر بر هکتار و تلقیح با قارچ *Glomus moseae* و کمترین درصد کلونیزاسیون ریشه نیز که معادل ۴/۴۸ درصد بود به تیمار ۱۲۰ کیلوگرم کود فسفر بر هکتار و بدون تلقیح اختصاص یافت (Hamzei & Salimi, 2014). در گیاه نعنای فلفلی نتایج نشان‌دهنده اثر معنی‌دار شدن قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا بر درصد کلونیزاسیون ریشه بود. به طوری که بر طبق اظهار نظر این پژوهش‌گران درصد کلونیزاسیون ریشه می‌تواند به بیولوژی میکروارگانیسم‌ها، قدرت رقابت آنها با سایر میکروب‌ها، خصوصیات ریشه گیاه، خواص فیزیکی خاک و محیط گیاه میزبان وابسته می‌باشد (Mahmoudzadeh et al., 2015). در آزمایشی دیگر بر روی ماشک گل خوشه‌ای میزان کلونیزاسیون ریشه در تیمار تلقیح دوگانه کود زیستی ریزوبیوم و میکوریزا ۵۶/۵۷ درصد بیشتر از شاهد بود؛ کلونیزاسیون بیشتر در اثر تیمار تلقیح دوگانه را می‌توان به برهمکنش مثبت میکوریزا و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن نسبت داد (Kamaye et al., 2015).

بالا بودن درصد کلونیزاسیون ریشه از دو نظر اهمیت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر توده‌های

### درصد اسانس

اثر توده‌های بومی و کود زیستی بر درصد اسانس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین درصد اسانس (۳/۴۲ درصد) مربوط به توده آلمان و کمترین درصد اسانس (۲/۸۲ درصد) متعلق به توده همدان بود، اما از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با توده ارومیه (۲/۹۲ درصد) نداشت (جدول ۴). همچنین در بین تیمارهای کودی بیشترین درصد اسانس (۳/۶۷ درصد) متعلق به تیمار تلفیقی (میکوریزا+ کود زیستی باکتریایی) بود، اما از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار کود زیستی باکتریایی (۳/۳۱ درصد) نشان نداد و کمترین مقدار درصد اسانس (۲/۳۲ درصد) از تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۵). چنین به‌نظر می‌رسد که کاربرد باکتری‌ها به‌همراه تلقیح با قارچ همزیست میکوریزا از طریق بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک و تولید برخی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه، سبب افزایش فتوسنتز گیاهی شده که در نتیجه به‌دلیل تأثیر مثبت بر رشد رویشی و زایشی گیاه در نهایت منجر به افزایش درصد اسانس رازیانه شده است.

در تفسیر نتیجه حاصل از بهبود میزان اسانس در اثر کاربرد کودهای زیستی قارچی و باکتریایی، می‌توان اظهار داشت از آنجایی که اسانس‌ها ترکیب‌هایی ترپنوئیدی بوده که واحدهای سازنده آن‌ها (ایزوپرنوئیدها) مانند ایزوپنتیل پیروفسفات (IPP) و دی‌متیل‌آلیل‌پیروفسفات (DMAPP)، نیاز مبرم به ATP و NADPH دارند و با توجه به این موضوع که حضور عناصری نظیر نیتروژن و فسفر برای تشکیل ترکیب‌های اخیر ضروری می‌باشد، از این‌رو کودهای زیستی قارچی و باکتریایی از طریق پیامد مثبتی که بر روی فعالیت میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات و پتاسیم و تثبیت‌کننده نیتروژن و سایر میکروارگانیسم‌های مفید در خاک می‌گذارد، امکان دسترسی مطلوب به عناصر

دارد؛ نخست دست‌یابی به بیشترین بهره‌وری از توان مفید سیستم‌های همزیستی، علاوه بر وجود تعداد کافی از سویه‌های میکروبی فعال در ناحیه ریزوسفر، مستلزم افزایش میزان آلودگی ریشه گیاه توسط همزیست میکروبی است تا بتوان از بیشترین توان و ظرفیت آنها استفاده نمود و بازدهی سیستم را افزایش داد. دوم، میزان مناسب کلونیزاسیون برای برهمکنش بین قارچ و گیاه دارای اهمیت است و در بروز پیامدهای مفید قارچ بر رشد گیاه دارای اهمیت می‌باشد (Singh & Kapoor, 2000). تلقیح با کودهای زیستی باکتریایی باعث تولید شبکه‌های هیف قارچ‌ریشه‌ای گسترده‌تری می‌شود و افزایش رشد ریشه‌ها به موازات افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه صورت می‌گیرد (Jahan et al., 2007). درصد کلونیزاسیون ریشه گیاهان، در نظام زراعی کم‌نهاده و ارگانیک، ۴۰ درصد بیشتر از نظام زراعی رایج است (Mader, 2002).

مقدار رطوبت خاک به مقدار زیادی کلونیزاسیون را تحت تأثیر قرار می‌دهد، لذا شاید بتوان رطوبت بیشتر و تعادل عناصر غذایی در خاک نظام‌های زراعی اکولوژیک و کم‌نهاده را دلیل کلونیزاسیون بیشتر ریشه در آن‌ها دانست (Gehring et al., 2006). استنباط می‌شود که مصرف توأم برخی از مقادیر کودهای زیستی (باکتری و میکوریزا) سبب بروز یک اثر تشدیدکننده بر همزیستی با ریشه گیاه میزبان می‌شود و متعاقب آن درصد کلونیزاسیون ریشه بهبود می‌یابد. در تحقیقی دیگر کاربرد مایه تلقیح قارچ میکوریزا آریسکولار *G. moseae* سبب افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه در حدود ۷/۲ برابر گیاهان آویشن دنايي غیرمیکوریزای شد و در پی آن افزایش چشمگیر جذب پتاسیم مشاهده شد درصد کلونیزاسیون ریشه با میزان جذب پتاسیم و عملکرد خشک گیاه در هکتار همبستگی مثبت معنی‌دار نشان داد (Bahadori et al., 2015).



غذایی پرمصرف و کم‌مصرف را توسط گیاه دارویی رازیانه فراهم آورده و متعاقب آن می‌تواند در بهبود میزان اسانس مؤثر باشد. در آزمایشی روی زنیان مشاهده شد که استفاده از باکتری حل‌کننده فسفات به دلیل تأمین مواد فتوسنتزی باعث افزایش معنی‌دار درصد اسانس شد (Eblagh et al., 2013). در آزمایشی دیگر اثر تلقیح با میکوریزا بر میزان اسانس رازیانه و زنیان معنی‌دار بود؛ به‌گونه‌ای که در شرایط تلقیح با میکوریزا درصد اسانس رازیانه و زنیان به ترتیب ۴/۲ و ۳ درصد بود. دلیل افزایش درصد اسانس را این پژوهش‌گران به خاطر بهبود فعالیت میکروبی خاک، تولید برخی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه که باعث افزایش فتوسنتز گیاهی شده نسبت داده‌اند (Koocheki et al., 2015). در بابونه آلمانی بالاترین مقدار اسانس در واحد سطح مربوط به تیمار ۱۰۰ گرم کود زیستی فسفره و ۴۰ کیلوگرم کود شیمیایی فسفره خالص در هکتار با تولید ۰/۵۳ گرم اسانس در هر ۵۰ گرم گل خشک بود. کودی زیستی به‌دلیل فراهمی مناسب و متناسب فسفر در بهترین حالت نسبت به تیمارهای دیگر می‌باشد، بنابراین مقدار تولید متابولیت‌های ثانویه در این گیاهان بالا رفته و افزایش تولید اسانس را به خود اختصاص می‌دهند (Alijani et al., 2011).

نتایج آزمایش سیاهدانه نشان داد که بیشترین درصد اسانس در تلقیح بذرها با ازتوباکتر و کاربرد ۷/۵ تن کود دامی به‌دست آمد. به‌عبارتی کاربرد توأم کود زیستی و کود دامی اثر افزایشی بر درصد اسانس سیاهدانه داشت. احتمالاً، تسهیل جذب نیتروژن توسط باکتری‌های تثبیت‌کننده موجود در کود زیستی ازتوبارور و نقش نیتروژن در مسیر ساخت اسانس سبب افزایش درصد اسانس سیاهدانه شده است (Ghanepasand & Haj Seyed Hadi, 2016). در زیره سبز بیشترین درصد اسانس (۳/۵) در تیمار ترکیبی سه گانه *Barvar + Azoto Barvar*

### عملکرد اسانس

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر توده‌های بومی و کود زیستی بر عملکرد اسانس معنی‌دار بود، اما اثر متقابل توده‌های بومی و کود زیستی معنی‌دار نشد (جدول ۳). بیشترین عملکرد اسانس (۴/۸۹ گرم در مترمربع) مربوط به توده آلمان بود و بین توده ارومیه (۳/۷۹ گرم در مترمربع) و همدان (۳/۵۶ گرم در مترمربع) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). همچنین بیشترین عملکرد اسانس (۵/۳۹ گرم در مترمربع) متعلق به تیمار تلفیقی (میکوریزا+ کود زیستی باکتریایی) و کمترین مقدار (۲/۶۶ درصد گرم در مترمربع) مربوط به تیمار شاهد بود، اما از نظر آماری اختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد اسانس بین تیمار قارچ میکوریزا با کود زیستی باکتریایی مشاهده نشد (جدول ۵).

۹/۲۹ درصد)، لیمون (۵/۰۹ درصد) و p-Allylanisole (۵/۰۹۱ درصد) از توده همدان و تلقیح با کود زیستی باکتریایی به دست آمد و کمترین میزان فنچون (۲/۹۳ درصد)، لیمون (۱/۱۱ درصد) و p-Allylanisole (۲/۵۰۹ درصد) از توده همدان و عدم تلقیح به دست آمد (جدول ۶).

به نظر می‌رسد که همزیستی میکوریزی از طریق تأثیر بر جذب مناسب عناصر غذایی و بهره‌گیری مطلوب فاکتورهای رشدی توسط رازیانه، موجب افزایش میزان آنتول در اسانس می‌شود. احتمالاً همزیستی میکوریزی از طریق بهبود میزان آنتول رازیانه، سبب کاهش میزان فنچون در اسانس آن می‌شود. گزارشات دیگری هم تأیید کرده‌اند که استفاده از کودهای زیستی با افزایش آنتول باعث کاهش میزان فنچون موجود در اسانس رازیانه می‌شود (Kapoor et al., 2004).

نتایج در رازیانه حاکی از آن بود که تیمار استفاده توأم از کمپوست و ورمی‌کمپوست بیشترین و *Pseudomonas* کمترین درصد آنتول اسانس را باعث شدند و استفاده از مخلوط کمپوست و ورمی‌کمپوست نسبت به شاهد ۲۷ درصد میزان آنتول را افزایش داد. حتی استفاده از باکتری حل‌کننده فسفات (*Pseudomonas*) که کمترین تأثیر را در افزایش میزان آنتول اسانس نسبت به شاهد داشت، حدود ۴/۵ درصد باعث افزایش میزان این ترکیب شد (Moradi et al., 2011). در آزمایشی بر روی بادرنجبویه مقایسه میانگین اثر کودهای زیستی نشان داد که تلقیح *Pseudomonas* + *Azospirillum* + *Azotobacter* بیشترین سیترولال (۲/۴۷ درصد) و بتا-کاروفیلین (۹/۵ درصد) و کمترین سیترولال (۶/۴۵ درصد) و بتا-کاروفیلین (۱/۵ درصد) مربوط به تیمار شاهد بود (Kazeminasab et al., 2016). در بالنگو شهری بیشترین مقدار لیمون (۷ درصد)، در تیمار کاربرد

احتمالاً بالا بودن عملکرد اسانس در تیمار تلفیقی (میکوریزا+ کود زیستی باکتریایی) به دلیل بالا بودن عملکرد دانه و درصد اسانس در این تیمار می‌باشد. در پژوهشی دیگر در زیره سبز بالاترین عملکرد اسانس مربوط به تیمار ترکیبی سه گانه Barvar + Azoto Barvar Biosulfur + Phosphate2 با میانگین ۱۸/۷۱ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن در تیمار شاهد با میانگین ۹/۵۳ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (Rezaei-Chiyaneh et al., 2014). نتایج آزمایشی دیگر، حکایت از آن دارد که استفاده از باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات در گیاه دارویی مرزنجوش سبب افزایش درصد و عملکرد اسانس می‌گردد؛ که افزایش مقدار اسانس در اثر تلقیح با *Azotobacter* و *Bacillus* را ناشی از افزایش تعداد غده‌های ترشحی و بیوستنز مونوترپن‌ها بیان کردند (Gharib et al., 2008). در بادرشبو نتایج نشان داد که تیمار نیتروکسین بیشترین (۱۲/۰۲۸ لیتر در هکتار) و شاهد کمترین (۵/۴۹۳ لیتر در هکتار) مقدار عملکرد اسانس را به خود اختصاص دادند (Rahimzadeh et al., 2011). چنین به نظر می‌رسد تسهیل جذب نیتروژن، پتاسیم و فسفر توسط کودهای زیستی (باکتریایی و قارچی) و نقش آنها در افزایش فتوسنتز و ماده خشک عملکرد اسانس را نیز افزایش داده است.

### ترکیبات اسانس

براساس یافته‌های پژوهش حاضر، ۲۵ ترکیب در اسانس رازیانه وجود داشت و ترکیبات اصلی اسانس رازیانه، آنتول، فنچون، لیمون و p-Allylanisole بود. بیشترین میزان آنتول (۸۷/۸۸ درصد) در توده ارومیه در شرایطی که با میکوریزا و کود زیستی باکتریایی تلقیح شده بود به دست آمد و کمترین میزان آنتول (۷۵/۹۸ درصد) در توده همدان و عدم تلقیح به دست آمد. بیشترین میزان فنچون

بررسی اثر کودهای زیستی باکتریایی و قارچ میکوریزا بر عملکرد دانه و ترکیبات شیمیایی اسانس سه توده رازیانه

همزمان بیوفسفات و نیتروکسین؛ بالاترین مقدار لینالول (۹/۱۷ درصد) در حضور تیمار نیتروکسین × نانو کود؛ بیشترین مقدار وربنون (۸/۸ درصد) در تیمار کاربرد همزمان بیوفسفات، نیتروکسین و نانو کود؛ بالاترین درصد بتا- کاریوفیلین (۱۲ درصد) در تیمار کاربرد بیوفسفات × نانو کود و بیشترین درصد جرماکرن D و بتا- کوبین (به ترتیب ۱۵ درصد و ۵/۱۱ درصد) نیز تحت تأثیر تیمار نانو کود حاصل شدند (Mafakheri et al., 2016).

جدول ۶. ترکیبات اسانس سه توده رازیانه تحت تأثیر کودهای زیستی

توده آلمان		توده همدان		توده ارومیه		زمان بازداری	ترکیبات						
میکوریزا+ کودزیستی باکتریایی	کودزیستی باکتریایی	میکوریزا	عدم تلقیح	میکوریزا+ کودزیستی باکتریایی	کودزیستی باکتریایی								
۰/۱۳۸	۰/۲۶۵	۰/۰۸۸	۰/۱۷۵	۰/۰۷۳	۰/۴۷۶	۰/۱۱۲	۰/۰۸۲	۰/۱۳۴	۰/۲۰۳	۰/۱۷۰	۰/۱۵۳	۱/۹۶	Alpha-pinene
۰/۰۲۳	۰/۰۴۳	۰/۰۰۹	۰/۰۳۳	۰/۰۰۵	۰/۰۷۴	-	۰/۰۰۸	۰/۰۲۲	۰/۰۲۸	۰/۰۱۰	۰/۰۲۰	۲/۸۰	Camphene
۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	-	۰/۰۰۱	-	۰/۰۰۱	-	-	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۴/۸۵	Benzaldehyde
۰/۰۴۷	۰/۰۹۷	۰/۰۱۸	۰/۰۲۷	۰/۰۱۸	۰/۱۰۹	-	۰/۰۲۰	۰/۰۱۸	۰/۰۶۷	۰/۰۷۸	۰/۰۳۳	۵/۲۵	Sabinene
۰/۰۱۰	۰/۰۲۱	۰/۰۰۶	۰/۰۱۳	۰/۰۰۳	۰/۰۳۳	-	-	۰/۰۰۹	۰/۰۱۵	۰/۰۲۳	۰/۰۱۱	۶/۱۴	Beta-Pinene
۰/۱۳۸	۰/۲۱۲	۰/۰۶۴	۰/۱۳۸	۰/۰۳۰	۰/۳۲۱	-	۰/۰۵۱	۰/۱۱۹	۰/۱۰۲	۰/۱۲۵	۰/۰۸۹	۹/۸	Beta-Myrcene
۰/۰۲۱	۰/۰۳۹	۰/۰۰۷	۰/۰۱۳	-	۰/۱۹۳	-	-	۰/۰۱۶	۰/۰۰۷	۰/۰۲۰	۰/۰۰۶	۱۲/۱۱	Delta-3-Carene
۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	-	۰/۰۱۳	-	-	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۱۰	۰/۰۰۴	۱۲/۹۰	Norbilan
۰/۰۲۷	۰/۰۳۶	۰/۰۱۳	۰/۰۲۶	۰/۰۱۳	۰/۱۹۱	۰/۰۱۷	۰/۰۶۱	۰/۰۱۸	۰/۰۳۴	۰/۰۴۴	۰/۰۹۵	۱۳/۵۵	o-Cymene
۳/۷۰۵	۳/۹۱۱	۲/۴۸۵	۱/۱۲۴	۱/۱۶۲	۵/۰۹۵	۱/۴۸۳	۱/۱۱۴	۲/۰۸۸	۲/۲۵۳	۲/۸۳۷	۲/۱۸۴	۱۴/۱۱	Limonene
۰/۳۱۸	۰/۵۳۴	۰/۱۵۰	۰/۲۵۱	۰/۰۹۳	۰/۷۵۵	۰/۲۶۵	۰/۱۳۵	۰/۲۵۵	۰/۱۶۸	۰/۸۵۹	۰/۲۴۱	۱۴/۷۸	Cis-Ocimene
۰/۰۸۸	۰/۱۵۲	۰/۰۵۹	۰/۱۲۶	۰/۰۵۵	۰/۱۰۶	۰/۰۱۴	۰/۰۲۳	۰/۰۸۹	۰/۲۱۹	۰/۰۸۱	۰/۱۷۸	۱۵/۶۵	Trans-beta-Ocimene
۰/۰۴۲	۰/۰۳۹	۰/۰۱۰	۰/۰۳۱	۰/۰۱۲	۰/۳۸۳	۰/۰۱۴	۰/۰۵۱	۰/۰۲۷	۰/۰۴۰	۰/۰۴۹	۰/۰۱۰۶	۱۷/۱۶	Gamma-Terpinen
۷/۸۴۹	۶/۸۱۶	۵/۱۶۴	۳/۶۹۱	۷/۶۰۵	۹/۲۹۷	۵/۱۰۰	۲/۹۳۷	۶/۰۸۹	۶/۰۳۳	۵/۵۴۰	۳/۰۶۹	۱۸/۱۹	Fenchone
۰/۱۹۹	۰/۲۴۱	۰/۱۳۶	۰/۲۰۶	۰/۱۰۱	۰/۲۹۱	۰/۰۵۸	۰/۱۳۳	۰/۱۸۱	۰/۱۶۶	۰/۱۰۲	۰/۱۵۸	۲۰/۵۵	(-)-Camphor
۰/۰۲۹	۰/۰۳۲	۰/۰۴۳	۰/۰۵۸	۰/۰۱۵	۰/۰۷۰	۰/۰۵۴	۰/۰۰۸	۰/۰۳۱	۰/۰۲۷	۰/۰۷۱	۰/۰۴۹	۲۲/۴۹	4-Terpinenol
۵/۰۳۸	۴/۶۷۷	۲/۸۲۹	۴/۱۴۸	۲/۷۶۹	۵/۰۹۱	۲/۶۱۱	۲/۵۰۹	۴/۸۸۰	۳/۶۲۶	۵/۳۵۱	۳/۷۶۱	۲۳/۲۳	p-Allylanisole
۰/۲۰۶	۰/۱۷۰	۰/۰۲۷	۰/۱۰۷	۰/۰۴۲	۰/۲۲۱	-	۰/۰۷۱	۰/۰۹۱	۰/۱۳۵	۰/۰۴۷	۰/۱۳۸	۲۵/۲۴	Fenchyl acetate
۰/۰۰۸	۰/۰۱۳	۰/۰۰۵	۰/۰۱۱	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	-	-	۰/۰۵۹	۰/۰۱۳	۰/۰۲۰	۰/۰۵۶	۲۵/۲۷	Carvol
۸۲/۴۹	۸۱/۷۱	۸۵/۵۶	۸۰/۲۸	۸۴/۵۸	۷۸/۵۲	۸۴/۹۱	۷۵/۹۸	۸۷/۸۸	۸۴/۳۸	۸۵/۹۸	۸۳/۳۳	۲۶/۲۷	Anethol
۱/۱۹۷	۱/۱۶۸	۲/۷۱۳	۱/۳۶۱	۳/۶۳۷	۰/۸۹۲	۷/۲۳۰	۵/۰۵۴	۱/۰۳۴	۱/۶۵۴	۱/۹۷۷	۱/۹۷۹	۲۸/۲۹	p-Anisaldehyde
۰/۱۵۰	۰/۱۵۶	۰/۳۰۵	۰/۱۵۴	۰/۳۱۹	۰/۱۷۰	۰/۶۲۱	۰/۲۲۵	۰/۱۶۳	۰/۱۷۸	۰/۱۷۲	۰/۲۱۶	۳۱/۱۱	Anisketone
۰/۰۲۵	۰/۰۳۰	۰/۰۳۱	۰/۰۲۱	۰/۰۳۳	۰/۰۲۶	۰/۰۷۸	۰/۰۴۳	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴	۰/۰۳۱	۰/۰۲۸	۲۱/۳۲	Propiophenone, 4-methoxy
۰/۰۵۸	۰/۰۲۵	۱/۶۲۹	۰/۵۰۶	۰/۰۲۳	۰/۲۰۰	۶/۳۱۶	۰/۰۱۰	۰/۲۶۳	۰/۰۱۸	۰/۲۶۱	۰/۶۱۶	۳۳/۲۰	Eugenol acetate
۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷	-	۰/۰۳۷	۰/۰۱۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۳۶/۴۵	p-Anisic acid

گیاه با افزایش تغذیه فسفوری همراه است. از این رو تأثیر قارچ میکوریزا و باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات بر روی میزان نیتروژن گیاه رازیانه، احتمالاً به طور غیرمستقیم از طریق بهبود وضعیت فسفر گیاه که ناشی از همزیستی میکوریزایی می‌باشد، اعمال می‌شود. بنابراین، می‌توان اظهار داشت که کاربرد توأم قارچ میکوریزا و باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات از طریق بهبودی که در مقدار جذب عناصر غذایی از طریق توسعه ریشه و فراهمی عناصر غذایی در خاک و نیز افزایشی که به دنبال آن بر روی رشد، نمو و بیوماس گیاه رازیانه ایجاد می‌کند، سبب بهبود محسوس غلظت نیتروژن در دانه شده است.

پژوهش‌گران دیگری گزارش کردند که بیشترین و کمترین میزان نیتروژن (۲۱/۲۶ گرم بر کیلوگرم و ۱۶/۹۳ گرم بر کیلوگرم) به ترتیب مربوط به تیمار *Azotobacter* و شاهد در نعنای فلفلی بود (Mahmoudzadeh et al., 2015). این پژوهش‌گران اظهار داشتند که باکتری‌های ریزوسفری، میزان هورمون سیتوکینین گیاه میزبان را افزایش می‌دهند. این هورمون، سرعت انتقال نیترات از ریشه به شاخساره گیاه را افزایش می‌دهد. همچنین، قارچ‌های میکوریزای تأثیر عمیقی بر فیزیولوژی ریشه گیاه گذاشته که سبب فعال ساختن گلوتامین سنتتاز، آرژیناز و اوره‌آز شده و از این طریق غلظت نیتروژن را در گیاهان میزبان افزایش می‌دهند. آرژیناز و اوره‌آز از آنزیم‌های کلیدی در انتقال نیتروژن از میسلیوم به داخل ریشه گیاه میزبان طی فرآیند همزیستی می‌باشند. نیتروژن توسط میسلیوم‌های خارجی به فرم نیترات یا آمونیوم جذب و به وسیله گلوتامین سنتتاز به ترکیبات آلی تبدیل می‌گردد. میانگین برهم‌کنش سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و قارچ میکوریزا در زیره سبز نشان داد که با افزایش میزان ورمی‌کمپوست، میزان نیتروژن دانه افزایش یافت و کاربرد

نتایج در رازیانه نشان داد که بیشترین میزان آنتول از تیمار کود شیمیایی متداول (NPK) و بالاترین میزان لیمونن و میرسن از تیمار ترکیبی کود زیستی + کمپوست + کود دامی به دست آمد (Abdel Wahab et al., 2016). این پژوهش‌گران بهبود کیفیت اسانس رازیانه را به دلیل فراهمی عناصر غذایی به خصوص نیتروژن و فسفر نسبت داده‌اند چرا که این دو عنصر در سنتز اسانس نقش مهمی دارند. براساس نتایج آزمایشی بر روی آنیسون اثر ورمی‌کمپوست و باکتری‌های (*Azospirillum*, *Azotobacter* و *Pseudomonas*) در سطح ۱ درصد بر میزان آنتول معنی‌دار بود در بین سطوح مختلف ورمی‌کمپوست، بیشترین میزان آنتول و متیل کایکول مربوط به کاربرد ۱۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار بود (Khalero et al., 2012). در بحث تولید گیاهان دارویی، ارزش واقعی به کیفیت محصول یعنی میزان ماده مؤثره مربوط می‌شود. تیمارهای کودهای زیستی مطلوب در مقایسه با تیمار کود شیمیایی، به مراتب شرایط مناسب‌تری برای بهبود فعالیت‌های میکروبی مفید در خاک مهیا کرده و ضمن فراهم نمودن مطلوب عناصر معدنی ماکرو و میکرو برای رازیانه، باعث افزایش کیفیت اسانس این گیاه می‌شوند.

## عناصر غذایی

### نیتروژن دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر توده‌های بومی و کود زیستی بر نیتروژن دانه در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۳). بیشترین نیتروژن دانه (۱/۵۶ درصد) از تیمار کود زیستی باکتریایی مشاهده شد، اما از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار تلفیقی (میکوریزا + کود زیستی باکتریایی) نشان نداد و کمترین نیتروژن دانه (۱/۲۷ درصد) از تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۵). افزایش غلظت نیتروژن و تحریک رشد اندام‌های هوایی

رازیانه در مراحل مختلف رشدی و بهبود غلظت فسفر در دانه آن می‌گردد.

در گیاه دارویی مریم گلی مشخص شد که با کاربرد قارچ میکوریزا جذب فسفر در یک خاک فقیر از فسفر افزایش یافت که دلیل آن به‌خاطر توسعه هیف‌های خارج ریشه‌ای بود که باعث افزایش سطح جذب‌کنندگی ریشه گردید (Tarraf et al., 2017). در تحقیق حاضر یک رابطه هم‌افزایی در بین قارچ میکوریزایی و باکتری‌های حل‌کننده فسفات در محیط خاک به‌وجود آمده که از طریق بهبود تغذیه فسفر می‌تواند منجر به افزایش غلظت فسفر در رازیانه شود. پژوهش‌گران دیگری در آزمایشی بر روی بابونه آلمانی نشان دادند که تیمار تلقیح با باکتری‌های *Azotobacter*، *Pseudomonas* و *Azospirillum* در مقایسه با عدم تلقیح باعث افزایشی در حدود ۴/۵۴ درصد بر روی فسفر شد. در رابطه با تأثیر معنی‌دار باکتری‌های جنس *Azotobacter*، *Azospirillum* و *Pseudomonas* بر نیتروژن و فسفر جذب‌شده توسط بابونه مشخص شده که باکتری‌های ریزوسفری افزایشده رشد گیاه علاوه بر تثبیت نیتروژن باعث آزادسازی هورمون‌های گیاهی از جمله جیبرلیک اسید و اکسین می‌گردند که باعث تحریک رشد گیاه، افزایش فتوسنتز و افزایش جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن و فسفر می‌گردد (Salehi et al., 2011).

#### پتاسیم دانه

اثر توده‌های بومی و کود زیستی بر پتاسیم دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین پتاسیم دانه (۱/۸۴ درصد) مربوط به توده آلمان بود و کمترین پتاسیم دانه (۱/۶۵ درصد) مربوط به توده ارومیه بود. بین توده همدان (۱/۷۱ درصد) و ارومیه (۱/۶۵ درصد) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). در میان تیمارهای مختلف کودی بیشترین پتاسیم دانه (۱/۸۸ درصد) مربوط به تیمار

۱۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار همراه با کاربرد تلفیقی هر دو نوع قارچ *Rhizophagus irregularis* و *G. mosseae* و کاربرد ۱۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار همراه با کاربرد قارچ *G. mosseae* به‌ترتیب باعث افزایش ۱۸/۴۲ درصد و ۱۵/۷ درصد نیتروژن نسبت به تیمار شاهد شد (Gholami Ganjeh & Salehi, 2015).

#### فسفر دانه

اثر توده‌های بومی و کود زیستی بر فسفر دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین فسفر دانه (۰/۲۴۵ درصد) متعلق به توده آلمان بود، اما از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با توده همدان (۰/۲۲۱ درصد) وجود نداشت و کمترین مقدار فسفر دانه (۰/۲۱۲ درصد) مربوط به توده ارومیه بود (جدول ۴). همچنین در بین تیمارهای کودی بیشترین مقدار فسفر دانه (۰/۲۷۳ درصد) از تیمار قارچ میکوریز مشاهده شد، اما از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار تلفیقی (میکوریزا+ کود زیستی باکتریایی) (۰/۲۵۶ درصد) وجود نداشت و کمترین مقدار فسفر دانه (۰/۱۶۷ درصد) مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۵). در رابطه با افزایش غلظت فسفر در تیمارهای باکتریایی و قارچی دلایل مختلفی بیان شده است، از جمله ساخت اسیدهای معدنی (اسید کربنیک و اسید سولفوریک)، اسیدهای آلی (اگزالیک، سیتریک و لاکتیک) و تولید آنزیم‌های فسفاتاز و در نتیجه انحلال فسفات‌های آلی و معدنی را می‌توان نام برد (Tilak et al., 2005). بنابراین به‌نظر می‌رسد که همزیستی میکوریزایی از طریق جذب مناسب فسفر و انتقال آن به گیاه رازیانه و نیز افزایش وزن خشک گیاه و به‌ویژه دانه، موجب بهبود غلظت فسفر در دانه می‌شود. کود فسفات زیستی نیز از طریق افزایش فعالیت باکتری حل‌کننده فسفات در خاک و بهبود حلالیت فسفر در ریزوسفر، قادر به تأمین مناسب فسفر مورد نیاز گیاه

سیلیکات‌ها و انحلال‌کننده‌ها باعث آزادسازی پتاسیم و به تبع آن باعث بیشترین افزایش در میزان پتاسیم اندام هوایی گردیده است.

با مقایسه کاربرد میکوریزا و باکتری‌های محرک رشد گیاه مشخص شد که کمترین میزان پتاسیم برگ‌گی مربوط به کاربرد باکتری *Bacillus subtilis* به تنهایی بود و بیشترین میزان جذب پتاسیم در تیمار مصرف همزمان میکوریزا و باکتری *Bacillus subtilis* حاصل شد که نسبت به کاربرد هر کدام از دو میکروارگانیسم به تنهایی و تیمار شاهد افزایش چشمگیری نشان داد (Bahadori et al., 2015). در گشیز، غلظت پتاسیم دانه در تلقیح با میکوریزا و کود فسفات زیستی در مقایسه با تیمار عدم تلقیح حدود ۶۹ درصد افزایش یافت که در اینجا یک اثر تقویت‌کننده در تیمار تلقیح با میکوریزا و کود زیستی به طرز محسوسی نمایان می‌شود (Bastami & Majidian, 2016). به نظر می‌رسد باکتری‌های محرک رشد می‌تواند سبب آزاد شدن یون‌های پتاسیم غیر قابل حل از منابع آن شده و سپس توسط میسیلیوم قارچ‌های میکوریزا گرفته شده و به گیاه انتقال یابد.

### نتیجه‌گیری

از آنجا که جذب بهتر آب و عناصر غذایی منوط به وجود سیستم ریشه‌ای گسترده می‌باشد، چنین به نظر می‌رسد که عدم گستردگی سیستم ریشه‌ای رازیانه و همچنین پایین بودن محتوی فسفر خاک، زمینه را برای فعالیت بهتر قارچ همزیست میکوریزا فراهم کرده که در نتیجه تلقیح با این قارچ منجر به تولید برخی مواد محرک رشد، توسعه سیستم ریشه‌ای و در نتیجه جذب بهتر عناصر غذایی و به‌ویژه فسفر شده که در نهایت باعث بهبود عملکرد دانه و خصوصیات کیفی رازیانه شده است. در پژوهش حاضر رابطه هم‌افزایی بین قارچ میکوریزایی و باکتری‌ها نسبت

تلفیقی (میکوریزا + کود زیستی باکتریایی) بود، اما از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار کود زیستی باکتریایی (۱/۸۱ درصد) نشان نداد و کمترین میزان پتاسیم دانه (۱/۵۴ درصد) مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد که افزایش غلظت پتاسیم در دانه رازیانه در ارتباط با باکتری‌های آزادکننده پتاسیم (پتا بارور ۲) و توانایی این باکتری‌ها در افزایش پتاسیم قابل استفاده از خاک و همچنین بهبود همزیستی میکوریزایی که موجب گسترش و نفوذ مطلوب هیف‌های خارجی قارچ به منافذ باریک خاک شده و باعث می‌شود که حجم خاک قابل دسترس گیاه افزایش یابد و به دنبال آن جذب عنصر پتاسیم که در لایه‌های پایین‌تر خاک قرار دارد، باشد.

پژوهش‌گران دیگری در زیره سبز نشان دادند که در بین سطوح مختلف میکوریزایی کاربرد تلفیقی دو نوع قارچ *Rhizophagus irregularis* و *G. mosseae* به ترتیب باعث افزایش ۱/۴۱ درصد، ۲/۲۳ درصد و ۲/۳۴ درصد پتاسیم نسبت به تیمار کاربرد قارچ *G. mosseae*، قارچ *Rhizophagus irregularis* و عدم کاربرد قارچ گردید (Alijani et al., 2011). تلفیق کودهای زیستی Biosulfur + Barvar Phosphate2 و نیتروکسین منجر به افزایش میزان فسفر و پتاسیم در جای ترش شد (Nemati & Dahmardeh, 2015). همچنین در ارزیابی گیاه رزماری بیشترین میزان عنصر فسفر (۷۳۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از کاربرد کود زیستی فسفات بارور-۲ و بیشترین میزان عنصر پتاسیم (۵۵۴۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از مصرف کود زیستی پتابارور حاصل شدند (Moradi Marjaneh et al., 2017). برای تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه، این عنصر بایستی به طریقی از شکل‌های تثبیت‌شده و معدنی به شکل‌های تبادلی و محلول تبدیل شود. در این میان، باکتری‌ها از اهمیت زیادی برخوردارند. لذا، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که باکتری سودوموناس از طریق تجزیه

6. Behzadi, Y. & Salehi, A. (2017). Effects of biological, organic, and chemical fertilizers on uptake of N, P, K, grain yield, and essential oil yield in anise (*Pimpinella anisum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 32(6), 1026-1036. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.22092/ijmapr.2017.109321>
7. Darzi, M. T., Hadj Seyed Hadi, M. R. & Rejali, F. (2012). Effects of cattle manure and plant growth promoter bacteria application on some morphological traits and yield in Coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 28(3), 434-446. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.22092/ijmapr.2012.2945>.
8. Dastborhan, S., Zehtab-Salmasi, S., Nasrollahzadeh, S. & Tavassoli, A. R. (2011). Effect of biofertilizers and different amounts of nitrogen on yield of flower and essential oil and nitrogen use efficiency of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27(2), 290-305. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.22092/ijmapr.2011.6414>.
9. Eblagh, N., Fateh, E., Farzane, M. & Osfuri, M. (2013). Effect of Cattle Manure Application, Phosphate Solubilizing Bacteria and Different Phosphorous Levels on Yield and Essence Components of *Trachyspermum ammi* L. Special Issue *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 1-15. (In Persian)
10. Gehring, C. A., Mueller, R. C. & Whitham, T. G. (2006). Environmental and genetic effects on the formation of ectomycorrhizal and arbuscular mycorrhizal in cottonwoods. *Oecologia*, 149, 158-164.
11. Ghanepasand, F. & Haj Seyed Hadi, M. R. (2016). Effects of nitrogen fixing bacteria and manure application on seed yield and essential oil content of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 32(4), 716-727. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.22092/ijmapr.2016.1071>.
12. Gharib, F. A., Moussa, L. A. & Massoud, O. N. (2008). Effect of compost and Bio-fertilizers on growth, yield and essential oil of sweet marjoram (*Majorana hortensis*) plant. *International Journal of Agriculture and Biology*, 10(4), 381-387.
13. Giovannetti, M. & Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular micorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 84, 489-500.

به تیمارهای منفرد بیشترین تأثیر را بر شاخص‌های کمی و کیفی این گیاه اعمال کرد. همچنین ترکیبات اسانس در واکنش به کود زیستی چشمگیر بود و مهمترین ترکیب اسانس که بالای ۸۰ درصد اسانس را شامل می‌شد، ترکیب آنتول بود. با توجه به ضرورت تولید گیاهان دارویی در نظام‌های زراعی از یک طرف و لزوم توجه به کشت این گیاهان در نظام‌های کم‌نهاد، به نظر می‌رسد که کودهای زیستی جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی در تولید این گیاهان باشند.

#### منابع

1. Abdel Wahab, M. M., El- Attar, A. B. & Shehata, S. A. (2016). Boosting fnnel plant yield and components using combination of manure, compost and biofertilizers. *Arabian Journal of Medicinal & Aromatic Plants*, 2(1), 28-36.
2. Abdul-Jaleel, C., Manivannan, P., Sankar, B., Kishorekumar, A., Gopi, R., Somasundaram, R. & Panneerselvam, R. (2007). *Pseudomonas fluorescens* enhances biomass yield and ajmalicine production in *Catharanthus roseus* under water deficit stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 60, 7-11. (In Persian).
3. Alijani, M., Amini Dehaghi, M., Malboobi, M. A., Zahedi, M. & Modares Sanavi, S. A. M. (2011). 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 Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27(3), 450-459. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.22092/ijmapr.2011.6386>.
4. Bahadori, F., Sharifi Ashorabadi, E., Mirza, M., Matinzade, M. & Abdosi, V. (2015). The effects of plant growth promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on N, P and K uptake and yield of *Thymus daenensis* Clak. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 31(3), 527-538. (In Persian)
5. Bastami, A. & Majidian, M. (2016). Comparison between mycorrhizal fungi, phosphate biofertilizer and manure application on growth parameters and dry weight of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Medicinal plant*, 7, 23-33. (In Persian)

14. Gholami Ganjeh, S. & Salehi, A. (2015). 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*, 31(5), 822-830. (In Persian).
15. Hamzei, J. & Salimi, F. (2014). Root Colonization, Yield and Yield Components of milk thistle (*Silybum marianum*) Affected by Mycorrhizal Fungi and Phosphorus Fertilizer. *Journal of Agricultural and sustainable production*, 24, 85-96. (In Persian).
16. Jahan, M., Koocheki, A. & Nasiri mahalaty, M. (2007). Growth, photosynthesis and yield of corn in response to mycorrhiza and nitrogen fixing bacteria in conventional and ecologic agro-ecosystems. *Agronomy research journal*, 5(1), 53-66.
17. Kamayei, R., Parsa, M. & Jahan, M. (2015). Effect of Biological, Chemical, and Organic Fertilizers on Some Growth Characteristics And the performance of the *Vicia villosa* . *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(2), 391-398. (In Persian)
18. Kapoor, R., Giri, B. & Mukerji, K. G. (2004). Improved growth and essential oil yield and quality in *foeniculum vulgare* Mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. *Bioresource Technology*, 93, 307-311.
19. Kazeminasab, A., Yarnia, M., Lebaschi, M. H., Mirshekar, B. & Rajali, F. (2016). Effects of vermicompost and biofertilizers on essential oil composition of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 32(4), 678-687. (In Persian)
20. Kholesro, Sh., Ghalavand, A., Sefidkon, F. & Asgharzadeh, A. (2012). The effect of biological and organic inputs on quantity and quality of essential oil and some elements content of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27(4), 551-560. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.22092/ijmapr.2012.4504>
21. Koocheki, A. R., Shabahang, J., Khorramdel, S. & Nadjafi, F. (2015). Effects of mycorrhiza inoculation and different irrigation levels on yield, yield components and essential oil contents of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) and ajwain (*Trachyspermum ammi* L.). *Journal of Agroecology*, 7(1), 129. (In Persian)
22. Mader, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P. & Niggli, U. (2002). Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*, 296, 1694-1697.
23. Mafakheri, S., Asghari, B. & Shaltooki, M. (2016). Effects of biological, chemical and nano-fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of *Lallemantia iberica* (M.B.) Fischer & Meyer. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 32(4), 667-677. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.22092/ijmapr.2016.107138>
24. Mahmoudzadeh, M., Rassouli Sedghiani, M. H. & Asgari Lagayer, M. (2015). The Effect of Rhizobacteria Growth Stimulator and Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Morphological Characteristics and High Contaminated Elements of *Peppermint Mentha piperita* L. in Greenhouse Conditions. *Science and technology of greenhouse crops*, 24(6), 155-167. (In Persian)
25. Moradi Marjaneh, E., Galavi, M., Ramroudi, M. & Solouki, M. (2017). Investigating of some quantitative and physiological characteristics in rosemary as affected by biological and chemical fertilizers at different cuts. *Journal of Agricultural Crops Production*, 19(4), 1061-1076. (In Persian)
26. Moradi, R. A., Nasiri Mahalati, M., Rezvani Moghadam, P., Lakzian, A. & Nezhad Ali, A. A. (2011). The Effect of Application of Organic and Biological Fertilizers on Quantity and Quality Essential Oil of *Foeniculum vulgare* Mill. (Fennel). *Journal of Horticultural Science*, 25(1), 25-33. (In Persian)
27. Murty, M. G. & Ladha, J. K. (1988). Influence of *Azospirillum* inoculation on the mineral uptake and growth of rice under hydroponic conditions. *Plant and Soil*, 108, 281-285.
28. Phillips, J. M. & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55(1), 158-161.
29. Nemati, M. & Dahmardeh, M. (2015). Effect of application of bio-fertilizers and organic manure on yield and morphological index of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Agroecology*, 7(1), 135. (In Persian)
30. Omid Beygi, R. (2007). Approaches for Production and Processing in Medicinal Plants. Vol. 1. Fekr-e- Rooz, Publication, Tehran, Iran 283 pp. (In Persian)
31. Osoli, N. & Taleshi, K. (2018). Evaluation the effects of biological fertilizers and vermicompost on some of biological



- characteristics and essential oil quality of fennel plant (*Foeniculum vulgare* Mill) in Khoramabad. *Journal of Applied Recherche of Plant Eco physiology*, 4(2), 123-138. (In Persian). <http://arpe.gonbad.ac.ir>
32. Rahimzadeh, S., Sohrabi, Y., Heidari, Gh. R., Eivazi, A. R. & Hoseini, T. (2011). Effect of bio and chemical fertilizers on yield and quality of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27(1), 81-96. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.22092/ijmapr.2011.6645>.
33. Rezaei- Chiyaneh, E., Pirzad, A. & Farjami, A. (2014). Effect of Nitrogen, Phosphorus and Sulfur Supplier Bacteria on Seed Yield and Essential Oil of Cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Journal of Agricultural and sustainable production*, 4, 72-83. (In Persian).
34. Rezaei- Chiyaneh, E., Jalilian, J., Ebrahimian, E. & Seyyedi, S. M. (2015). The effect of biological fertilizers on quantitative and qualitative yield of ajowan (*Carum copticum* L.) at different irrigation levels. *Journal of Agricultural Crops Production*, 17, 775-788. (In Persian).
35. Salehi, A., Ghalavand, A., Sefidkon, F. & Asgharzade, A. (2011). The effect of zeolite, PGPR and vermicompost application on N, P, K concentration, essential oil content and yield in organic cultivation of German Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27(2), 188-201. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.22092/ijmapr.2011.6394>.
36. Singh, S. & Kapoor, K. (2000). Effects of inoculation of phosphate –solubilising microorganisms and arbuscular mycorrhizal fungus on mungbean grown natural soil conditions, mycorrhiza, 7(5), 249-253.
37. Tahami, M. K., Jahan, M., Khalilzadeh, H. & Mehdizadeh, M. (2017) Plant growth promoting rhizobacteria in an ecological cropping system: A study on basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil production. *Industrial Crops & Products*, 107, 97-104.
38. Tarraf, W., Ruta, C., Tagarelli, A., De Cillis, F., De Mastro, G. (2017). Influence of arbuscular mycorrhizae on plant growth, essential oil production and phosphorus uptake of *Salvia officinalis* L. *Industrial Crops and Products*, 102, 144-153.
39. Talaei, Gh. H. & 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), 932-942. (In Persian) <http://dx.doi.org/10.22092/ijmapr.2015.11928>.
40. Telci, I., Demirtas, I. & Sahin, A. (2009). Variation in plant properties and essential oil composition of sweet fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) fruits during stages of maturity. *Industrial Crops and Products*, 30, 126-130.
41. Tilak, K. V., Ranganayaki, K. K., Pal, R., De, A. K., Saxena, C. Shekhar, N., Shilpi Mittal, A. K. & Tripathi, B. N. (2005). Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. *Curr. Sci* 89, 136-150.
42. Yadegari, H., Khammari, I., Salari, M., Fakheri, B. A., Rahimi, M. & Bidarnamani, F. (2017). Effects of different fertilizers and their combination on some quantitative and qualitative characteristics of milk thistle (*Silybum marianum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 32(6), 1010-1025. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.22092/ijmapr.2017.109319>
43. Zarei, D. & Shabani, G. (2016). Effects of head pruning and different nutritional system (chemical, biological and integrated) on seed yield and oil content in medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). *Journal of Agricultural Sciences*, 61(1), 112-103.



## Crops Improvement

(Journal of Agricultural Crops Production)

Vol. 20 ■ No. 4 ■ Winter 2019

### The Effect of Bacterial Bio-Fertilizers and Mycorrhizal Fungi on Seed Yield and Chemical Composition of Essential Oil from Three Fennel Landrace

Fatemeh Zamani<sup>1</sup>, Reza Amirnia<sup>2\*</sup>, Esmail Rezaei-Chiyaneh<sup>3</sup>, Amir Rahimi<sup>3</sup>

1. Former M.Sc. Student, Department of Agronomy and Plants Breeding, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plants Breeding, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plants Breeding, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

Received: June 30, 2018

Accepted: September 11, 2018

#### Abstract

The present experiment has been conducted as factorial to investigate the effect of biofertilizers on seed yield and chemical composition of essential oil from fennel (*Foeniculum vulgare* L.). The experiment is based on randomized complete block design with three replications and twelve treatments at the Research Farm of the Faculty of Agriculture, University of Urmia, Iran during growing season of 2015-2016. The first factor includes three Landraces of Urmia, Hamdan, and Germany; while the second factor is composed of four biofertilizers, namely bacterial biofertilizers (which supply nitrogen, phosphorus, potassium, and sulfur), mycorrhizal fungi (*Rhizophagus irregularis*), combination of the two, and the control. Results indicate that application of biofertilizers have enhanced seed yield, colonization percentage, nutrients absorption, essential oil content, essential oil yield, and essential oil composition. Among the treatments, usage of biofertilizers shows a substantial increase in the studied traits than individual consumption. Also there has been a significant difference between the landrace for all quantitative and qualitative traits, with the exception of seed nitrogen. The application of bacterial bio-fertilizers and mycorrhizal fungi has raised seed yield by 21.52%, in comparison to the control. Seed yield of German landrace is 11.38% and 10.15%, higher than Hamedan and Urmia landrace. The main components of the essential oils fennel are Anethol, Fenchone, Limonene, and p-Allylanisole, with the highest amount of the former being found in Urmia landrace when inoculated with mycorrhiza and bacterial biofertilizers. In general, results show that the use of biofertilizers have had a significant effect on improving the quality and quantity of fennel traits.

**Keywords:** Anethol, *azotobacter*, fenchone, nutrients absorption, *Pseudomonas*.