

Impact of Organic and Biological Fertilizers on the Growth indices, Quantitative and Qualitative Traits of *Trachyspermum copticum*

Bohloul Abbaszadeh^{1*}, Parizad Mavandi²  and Razieh Azimi¹ 

1- Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

2- National Center for Genetic Resources (NCGR), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

* Corresponding author, Email: babaszadeh@rifr-ac.ir

Abstract

Background and Objective: Ajwain, a medicinal plant, is used widely in traditional and modern medicine, as well as in the food, livestock and poultry industries. This study was conducted to investigate the role of organic and biological fertilizers on the quantitative and qualitative performance of Ajwain and the sustainability of its cultivation.

Methods: A field experiment was conducted in a split factorial arrangement based on a randomized complete block design with three replications to investigate the effects of biofertilizers on the quantitative and qualitative traits of Ajwain. Vermicompost was applied at three levels: 0 (control), 5, and 10 t/ha as the main factor. Mycorrhizal fungi were applied at three levels: no application (control), application of *Rhizophagus irregularis* and *Funneliformis mosseae*, and the presence or absence of the growth-promoting bacterium *Azotobacter chroococcum*.

Results: According to the results, the symbiotic interaction between mycorrhizal fungi (*Rhizophagus irregularis* and *Funneliformis mosseae*), *Azotobacter chroococcum*, and vermicompost significantly improved growth indices, yield of plant organs, and essential oil (EO) yield, but did not significantly affect the EO percentage and phytochemical compounds.

Funneliformis mosseae had the greatest impact on aerial parts, including the number and diameter of lateral stems, stem diameter and seed yield while *Rhizophagus irregularis* played a more effective role in increasing root length, weight, and development of roots and seed yield. However, the use of organic and biological fertilizers did not significantly affect the major compounds of EO. The highest contents of *p*-cymene (15.05%) and γ -terpinene (48.40%) were obtained using vermicompost (5 and 10 t/ha, respectively), and thymol (35.74%) with *Rhizophagus irregularis*.

Conclusion: The results highlight the importance of using organic and biological fertilizers to enhance the quantitative yield of Ajwain. However, it seems that the quality control of EO is not affected by the treatments used and may depend on genetic factors and other agronomic treatments, including stresses.

Keywords: *Azotobacter chroococcum*, Essential oil, Seed yield, Thymol.

How to Cite: Shirmardi, M., Hayatzadeh, M., Ghaneei-Bafghi, M.J., Hemmat, N., Fooladi Doghzloo, M., 2025. Soil fertility assessment in saffron (*Crocus sativus* L.) cultivated fields (case study: Bahabad city, Yazd province). J. Soil Plant Interact. 16(4), 1–17 (In Persian). <https://doi.org/10.47176/jspi.16.4.21791>

تأثیر کودهای آلی و زیستی بر شاخص‌های رشدی، کمیت و کیفیت زنیان (*Trachyspermum copticum*)

بهلول عباس‌زاده^{۱*}، پریزاد ماوندی^۲ و راضیه عظیمی^۱

۱- موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۲- مرکز ملی مدیریت منابع ژنتیکی کشاورزی و منابع طبیعی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: babaszadeh@rifr-ac.ir

چکیده

پیشنه پژوهش و هدف: گیاه دارویی زنیان کاربرد وسیعی در طب سنتی و مدرن، صنایع غذایی و دام و طیور دارد. این تحقیق به منظور بررسی نقش کودهای آلی و زیستی بر عملکرد کمی و کیفی زنیان و پایداری توسعه کشت آن اجرا شد.
روش‌ها: آزمایشی مزرعهای به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار برای بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک بر عملکرد کمی و کیفی زنیان، اجرا شد. ورمی کمپوست در سه سطح صفر (شاهد)، ۵ و ۱۰ تن در هکتار به عنوان عامل اصلی، قارچ میکوریزا در سه سطح عدم کاربرد (شاهد)، کاربرد *Rhizophagus irregularis* و *Funneliformis mosseae* و عدم کاربرد و کاربرد باکتری محرک رشد *Azotobacter chroococcum* استفاده شد.

نتایج: بر اساس نتایج، تعامل همزیستی میان قارچ‌های میکوریزا (*Funneliformis mosseae* و *Rhizophagus irregularis*)، باکتری *Azotobacter chroococcum* و ورمی کمپوست، به طور چشمگیری موجب بهبود شاخص‌های رشدی، عملکرد دانه و عملکرد اسانس شد اما بر درصد اسانس و ترکیبات فیتوشیمیایی گیاه چندان مؤثر نبود. قارچ *Funneliformis mosseae* بیشترین تأثیر را بر اندام‌هوایی، از جمله تعداد ساقه‌های فرعی، قطر ساقه و عملکرد دانه داشت، در حالی که *Rhizophagus irregularis* نقش مؤثرتری در افزایش طول، وزن و توسعه ریشه‌ها و عملکرد دانه ایفا کرد. این در حالی است که استفاده از کودهای آلی و زیستی بر ترکیبات عمده اسانس (*p*-Cymene، γ -Terpinene و Thymol) اثر معنی‌دار نداشتند و بیشترین درصد *p*-Cymene (۱۵/۰۵٪) و γ -Terpinene (۴۸/۴۰٪) با مصرف ورمی کمپوست (به ترتیب ۵ و ۱۰ تن در هکتار)، و Thymol با کاربرد گونه *Rhizophagus mosseae* (۳۵/۷۴٪) بدست آمد.

نتیجه‌گیری کلی: یافته‌های این پژوهش اهمیت کاربرد کودهای آلی و زیستی را در بهبود عملکرد کمی گیاه زنیان (*Trachyspermum copticum*) به‌خوبی نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد ترکیبات اصلی اسانس تحت تأثیر تیمارهای به‌کار رفته نبوده و ممکن است وابسته به عوامل ژنتیکی و سایر تیمارهای زراعی از جمله تنش‌ها باشد ولی درصد و عملکرد اسانس تفاوت معنی‌داری را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، عملکرد بذری، *Azotobacter chroococcum*، Thymol.

گیاه دارویی زنیان یا نانخواه (Carum, Lovagel, Ajowan) با نام علمی *Trachyspermum copticum* (L.) Link گیاهی یکساله، معطر و علفی از خانواده Apiaceae بوده که رویشگاه آن کشورهایمانند مصر، عراق، ایران و هند می‌باشد (Mhatre et al., 2024). دامنه انتشار آن در ایران، شرق کشور (فلور ایران)، سیستان و بلوچستان، آذربایجان، تبریز، اصفهان، خوزستان، فارس، کرمان و تربت حیدریه است و این گیاه در بلوچستان با نام هندی آن "اجوان" و "اسپرکال" شناخته می‌شود. اسانس میوه این گیاه متمایل به زرد بوده و مقدار آن بین ۲ تا ۴٪ گزارش شده است، فلاونوئیدها، آلکالوئیدها، گلیکوزیدها، استروئیدها، کربوهیدرات‌ها، فنل‌ها، تانن‌ها و ترپن‌ها از عمده ترکیبات موثره شناخته شده در عصاره زنیان هستند (Bairwa et al., 2012; Dubey and Kashyap, 2015). ریشه‌های این گیاه مدر و برگ‌های آن دارای خاصیت ضدنفخ می‌باشد و میوه آن دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی (Singh and Ahmad, 2017)، آنتی‌باکتریال (Manayi et al., 2014) و ضدالتهابی (Aslam et al., 2020) است. Thymol به عنوان یکی از ترکیبات اصلی و فعال اسانس زنیان، در طب سنتی برای درمان اختلالات گوارشی، افزایش اشتها و بهبود بیماری‌های تنفسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر γ -Terpinene و *p*-Cymene، Thymol از دیگر اجزای عمده ترکیبات اسانس این گیاه هستند (El-Sayed et al., 2025).

در مطالعه نوروزی اصفهانی و همکاران (Norouzi Esfahani et al., 2023) بر گیاه *Verbascum thapsus*، استفاده از ورمی‌کمپوست در سطوح ۴ و ۸ تن در هکتار باعث افزایش معنی‌دار در صفات ارتفاع ساقه، وزن خشک اندام هوایی، طول ریشه و میزان کلروفیل شد. همچنین، در شرایط تنش خشکی، کاربرد ورمی‌کمپوست موجب بهبود صفات فیزیولوژیکی گیاه گردید. افزایش وزن تر و خشک، ارتفاع ساقه، درصد و عملکرد اسانس، کلروفیل، ترکیبات فنولی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در نعنای فلفلی (*Mentha spicata*) در کاربرد ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست توسط لطیفی و همکاران گزارش شد (Latifi et

al., 2024). نتایج پژوهش‌های ماوندی و همکاران افزایش سطح برگ و ماده خشک اندام هوایی *Lavandula angustifolia* Mill. در تیمارهای مختلف تا ۶۲ درصد با ورمی‌کمپوست نسبت به شاهد را نشان داد. علاوه بر این، با کاربرد توام ورمی‌کمپوست و کود دامی، بهبود قابل‌توجهی در کیفیت اسانس گیاه، به‌ویژه ترکیبات اکسیژن‌دار از جمله 1,8-Cineole، Borneol و Camphor که از اجزای مهم و با ارزش دارویی در اسانس اسطوخودوس محسوب می‌شوند، گزارش شد (Mavandi et al., 2021). ویسنی و همکاران، افزایش و تغییر ترکیب اسانس در گیاه شوید (*Anethum graveolens* L. 'Dill') را با کلونیزاسیون قارچ میکوریزا گزارش کردند (Weisany et al., 2015).

اگرچه تأثیرات مثبت هر یک از این عوامل به طور جداگانه در بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی و دارویی به خوبی شناخته شده است، اما اطلاعات محدودی در مورد اثرات هم‌افزایی و تعاملی این سه عامل (ورمی‌کمپوست، میکوریزا و ازتوباکتر) بر صفات رشدی، فیتوشیمی و عملکرد گیاه زنیان وجود دارد. درک چگونگی تأثیر ترکیبی این نهادهای زیستی بر پارامترهای عملکردی زنیان، می‌تواند راهکارهای موثری برای مدیریت پایدار تغذیه این گیاه و افزایش بهره‌وری آن در سیستم‌های کشاورزی ارائه دهد. هدف نهایی این پژوهش، شناسایی بهینه‌ترین ترکیب از این نهادهای زیستی برای بهبود عملکرد کمی و کیفی همراه با پایداری توسعه کشت زنیان بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، ایستگاه منابع طبیعی البرز اجرا شد. به منظور اندازه‌گیری مقدار عناصر غذایی قابل استفاده گیاه در خاک و بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن، از نقاط مختلف خاک زراعی منطقه مورد آزمایش، نمونه‌هایی از عمق ۳۰-۵۰ سانتی‌متر برداشت شد و پس از مخلوط کردن نمونه‌های خاک، یک نمونه نهایی برای اندازه‌گیری و ارزیابی به همراه کود ورمی‌کمپوست به آزمایشگاه ارسال گردید (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات تجزیه خاک مزرعه (از عمق ۰-۳۰ سانتی متر) و ورمی کمپوست

Table 1. Characteristics of soil (from field in depth of 0-30 cm) and vermicompost analysis

خاک							
Soil							
کربن آلی	کل مواد خنثی شونده	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	اسیدیته	شوری	بافت
(%)O.C	(%)T.N.V	K (ppm)	(%) P	(%) N	pH (mv)	EC (ms)	Texture
0.088	12.58	213	8.9	0.086	7.70	2.46	لومی شنی Sandy loam
ورمی کمپوست							
Vermicompost							
مواد آلی	کربن / نیتروژن	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	اسیدیته	شوری	
OM (%)	C/N (%)	(%)K	(%)P	(%)N	pH (mv)	EC (ms)	
38.56	2.19	اکسید پتاسیم K ₂ O (%)	اکسید فسفر P ₂ O ₅ (%)	فسفر P (%)	7.71	0.84	
		0.48	1.49	0.65			

که حاوی ۴۰۰ تا ۵۰۰ اندام فعال قارچی بود، قرار داده شد (Karegar Hajiabadi et al., 2015). در تیمار با باکتری‌های زیستی، بذرها پیش از کاشت به مدت ۱۰ دقیقه در محلول تلقیح حاوی باکتری با غلظت 10^8 CFU/mL قرار داده شدند (Naghdibadi et al., 2013). وجین علف‌های هرز به صورت دستی و با توجه به شرایط رشدی گیاه، در دو نوبت طی دوره آزمایش انجام شد. عملیات آبیاری نیز بر اساس نیاز فیزیولوژیک گیاه و شرایط اقلیمی منطقه، به صورت قطره‌ای و در دو نوبت در هفته صورت گرفت. در اواخر مهرماه و هم‌زمان با رسیدگی کامل بذرها، برداشت نهایی انجام شد و صفات مورد نظر جهت تجزیه و تحلیل، یادداشت برداری گردید. برای اندازه‌گیری تمام صفات موفولوژیک از ۳۰ بوته در هر کرت استفاده شد. ارتفاع بوته و طول ریشه‌های اصلی و فرعی با استفاده از خط کش مدرج اندازه‌گیری شدند. قطر گل‌آذین، طول گل‌آذین و قطر ساقه با کمک کولیس اندازه‌گیری شدند. تعداد ساقه جانبی و تعداد گل‌آذین‌ها با شمارش بدست آمدند، برای تعیین وزن برگ، ساقه به همراه بقایای گل‌آذین (به جز دانه) و گل‌آذین‌های دارای بذر ریز و نارس، دانه و ریشه، پس از خشک شدن اندام مورد نظر در

آزمایش به صورت اسپلنت، فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. بذرهای *Trachyspermum copticum* مورد استفاده، با مشخصات کد Z03 و منشاء ورامین، از موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع تهیه شد. ورمی کمپوست در سه سطح صفر (شاهد)، ۵ و ۱۰ تن در هکتار به عنوان عامل اصلی، و قارچ میکوریزا در سه سطح عدم کاربرد (شاهد-M₁)، کاربرد گونه‌های *Funneliformis mosseae*-M₂ و *Rhizophagus irregularis*-M₃ و عدم کاربرد A₁ و کاربرد باکتری محرک رشد *Azotobacter chroococcum* strain 5-A₂ به عنوان عوامل فرعی بودند. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک، ایجاد خطوط کشت قبل از کاشت بذور انجام شد. فاصله‌ی کشت ۳۵×۲۰ سانتی متر و هر کرت با ابعاد ۳×۳ متر بود. پیش از کاشت، مقادیر مختلف ورمی کمپوست به زمین اضافه و در عمق مناسب کرت‌های مورد نظر با خاک مخلوط شد. کودهای زیستی حاوی قارچ میکوریزایی به صورت اندام فعال قارچی (شامل اسپور، هیف و ریشه) بوده و از موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه گردید. در تیمارهای M₂ و M₃، قبل از کاشت بذر در مزرعه در هر چاله کاشت ۱۰ گرم از کود زیستی

نتایج

بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌های مربوط به ورمی‌کمپوست، بیشترین درصد اسانس در تیمار عدم مصرف کود و مصرف ۱۰ تن در هکتار کود ورمی‌کمپوست به ترتیب با میانگین ۲/۲۷ و ۲/۸۷ درصد مشاهده شد (جدول ۲). همچنین نتایج نشان داد که هرچند بین تیمارهای مختلف ورمی‌کمپوست در ترکیبات عمده اسانس اختلاف آماری وجود نداشت، اما بیشترین درصد *p-Cymene* ۱۵/۰۵ درصد متعلق به مصرف ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست بود. بیشترین درصد γ -Terpinene با ۴۸/۴۰ درصد، از مصرف ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست بدست آمد، و بیشترین درصد Thymol مربوط به عدم استفاده از ورمی‌کمپوست معادل با ۳۵/۴۳ درصد بود.

اثر متقابل ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر بر عملکرد دانه نشان داد که تیمارهای V_1A_2 (کاربرد ازتوباکتر) و V_2A_1 (کاربرد ۵ تن ورمی‌کمپوست) بیشترین عملکرد دانه را داشتند. این نتایج بیانگر نقش مؤثر ازتوباکتر در شرایط کم‌نهاده و همچنین اثربخشی سطح متوسط ورمی‌کمپوست هستند. در این آزمایش، افزایش سطح ورمی‌کمپوست به تنهایی موجب بهبود عملکرد نشد و ترکیب آن با ازتوباکتر در سطوح بالا اثربخشی کمتری داشت (شکل ۱).

بررسی داده‌های حاصل از تیمارهای مختلف نشان داد که تأثیر ترکیب ورمی‌کمپوست، مایکوریزا و ازتوباکتر بر صفات رشدی و عملکرد اسانس گیاه، پرنوسان بود و اثر افزایشی نداشت (جدول ۳). بیشترین قطر گل‌آذین (۵/۵۸ سانتی‌متر) در تیمار V_2M_3 (۵ تن ورمی‌کمپوست *Funneliformis mosseae*) مشاهده شد. همچنین بیشترین ارتفاع گیاه (حدود ۹۸ سانتی‌متر) مربوط به تیمارهای V_1M_2 و V_1M_3 بود که بدون کاربرد ورمی‌کمپوست و با استفاده از مایکوریزا به دست آمد.

اثر متقابل ورمی‌کمپوست در میکوریزا بر عملکرد دانه نشان داد که استفاده از قارچ‌های *Rhizophagus irregularis* (۱۳۲۲/۶۱۷ کیلوگرم در هکتار)، *Funneliformis mosseae* (۱۳۸۴/۶۷ کیلوگرم در هکتار) و ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست (۱۳۸۳/۱۷ کیلوگرم در هکتار) موجب افزایش عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد و سایر تیمارها شدند (جدول ۳).

سایه و دمای محیط با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت بالا، اندازه‌گیری شدند. عملکرد اندام هوایی حاصل جمع عملکرد برگ، ساقه و دانه می‌باشد. عملکرد بیولوژیک حاصل جمع اندام هوایی و زمینی است. برای استخراج اسانس، ۵۰ گرم از بذر خشک زنیان با استفاده از دستگاه کلونجر و به روش تقطیر با آب، به مدت ۳ ساعت اسانس‌گیری شد (Telci et al., 2011). پس از اندازه‌گیری وزن اسانس حاصل از هر نمونه، درصد وزنی اسانس نسبت به وزن اولیه بذر محاسبه شد. به منظور برآورد عملکرد اسانس در واحد سطح، درصد‌های به‌دست‌آمده در مقدار بذر تولیدی در هر هکتار ضرب گردید و بدین ترتیب، میزان اسانس تولیدی در هکتار تعیین شد.

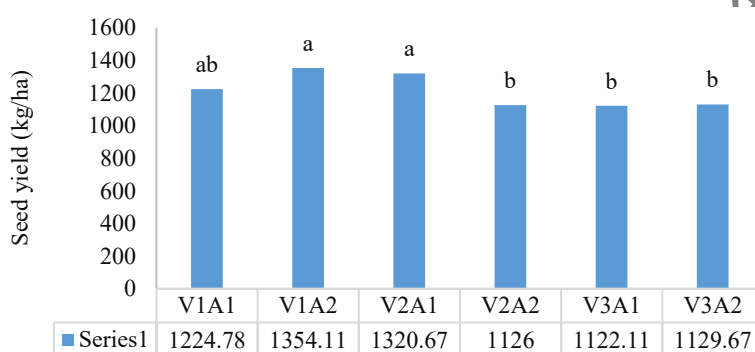
درصد ترکیبات تشکیل دهنده اسانس به وسیله GC تعیین و شناسایی آنها با استفاده از GC/MS انجام شد. کروماتوگراف گازی با مدل Agilent 7890A، مجهز به آشکارساز FID و ستون غیرقطبی DB-5 مورد استفاده قرار گرفت. دمای محفظه تزریق و آشکارساز 280°C تنظیم شد. برنامه حرارتی ستون شامل افزایش دما از 60°C تا 220°C با سرعت 3°C درجه سانتی‌گراد در دقیقه بوده و سپس افزایش به 260°C درجه سانتی‌گراد با سرعت 20°C درجه سانتی‌گراد در دقیقه و توقف در این دما به مدت ۱۰ دقیقه بود. گاز حامل به کار رفته نیتروژن با سرعت جریان 0.7 میلی‌لیتر بر دقیقه بود. شناسایی ترکیبات اسانس با استفاده از دستگاه کروماتوگراف گازی Agilent 7890A متصل به طیف‌سنج جرمی Agilent 5975C از نوع چهار قطبی انجام شد. ستون به کار رفته از نوع DB-5 بود و برنامه حرارتی ستون مشابه با GC در نظر گرفته شد. درجه حرارت محفظه تزریق 260°C و دمای ترانسفر لاین 280°C تنظیم شد. گاز حامل هلیوم با درجه خلوص ۹۹/۹۹۹ بوده که با سرعت $30/6$ سانتی‌متر بر ثانیه در طول ستون حرکت می‌کند (Solouki et al., 2023). اجزای تشکیل دهنده اسانس با بررسی طیف‌های جرمی ترکیبات و مقایسه آنها با ترکیب‌های استاندارد و استفاده از اطلاعات موجود در کتابخانه دستگاه طیف‌سنج جرمی (Adams, 2017) و محاسبه شاخص بازدارداری ترکیبات، مورد شناسایی قرار گرفتند.

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر کود ورمی کمپوست بر درصد اسانس و برخی از ترکیبات گیاه زنیان

Table 2. Comparison of vermicompost on the essential oil of *Trachyspermum copticum*

ورمی کمپوست Vermicompost (kg/ha)	عملکرد بذری Seed yield (kg/ha)	درصد اسانس Essential oil percentage (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield (kg/ha)	شاخص برداشت اسانس Essential oil harvest index	p-Cymene (%)	γ-Terpinene (%)	Thymol (%)
0	1289.46 ^a	2.87 ^a	28.363 ^a	1.3 ^a	12.44 ^{ab}	47.25 ^a	35.43 ^a
5	1223.33 ^a	1.78 ^b	21.746 ^b	0.78 ^b	15.05 ^a	44.71 ^a	35.09 ^a
10	1125.89 ^b	2.27 ^a	25.305 ^{ab}	0.87 ^b	11.89 ^b	48.40 ^a	34.25 ^a

میانگین‌های دارای حد اقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.
Means within each column followed by the same letter are not significantly different at the 5% probability level.



شکل ۱. تأثیر ورمی کمپوست* ازتوباکتر بر عملکرد دانه گیاه زنیان

figure1. Effect of vermicompost*azotobacter on seed yield

chroococcum، گیاهانی با بلندترین گل آذین (با میانگین ۹/۱۶ سانتی‌متر) را تولید کرد. بیشترین تعداد گل آذین (میانگین ۲۰۲ عدد) با کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست، تلقیح با سویه *Rhizophagus irregularis* و *Azotobacter chroococcum* در گیاه مشاهده شد. با توجه به نتایج بدست آمده، پدیده‌های تلقیح شده با *Funneliformis mosseae* گیاهانی با ساقه‌های قطورتری (۳ میلی‌متر) ایجاد کردند که مشابه با کاربرد سویه *Rhizophagus irregularis* به همراه *Azotobacter chroococcum* (۲/۸۱) (۳۴/۸۳ سانتی‌متر) و ریشه‌های فرعی (۲۹/۶۶ سانتی‌متر) و وزن خشک ریشه (۱۴۵۳ کیلوگرم در هکتار) نیز در هنگام کاربرد *Rhizophagus irregularis* به همراه *Azotobacter chroococcum* مشاهده شد (جدول ۴).

بیشترین درصد اسانس در تیمارهای M_1A_1 و M_2A_2 به ترتیب ۲/۴۸٪ و ۲/۴۶٪ ثبت شد که از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند. همچنین مشاهده شد که بیشترین عملکرد اسانس نیز هنگام استفاده از قارچ‌های *Rhizophagus irregularis* (۳۱/۱۹۹ کیلوگرم در هکتار) و *Funneliformis mosseae* (۲۶/۱۱۶ کیلوگرم در هکتار) و کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست (۲۸/۲۵۴ کیلوگرم در هکتار) و ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست (۲۹/۰۶ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد (جدول ۳). در این آزمایش تیمارهای M_1A_1 ، M_1A_2 و M_2A_2 بیشترین شاخص برداشت اسانس را داشتند.

نتایج اثر سه گانه کودها (جدول ۴) نشان داد، با کاربرد سویه *Funneliformis mosseae* بیشترین تعداد ساقه فرعی با میانگین ۲۳ عدد در گیاه مشاهده شد. درحالی که کاربرد *Azotobacter*

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر کود ورمی کمپوست* میکوریزا و میکوریزا* ازتوباکتر بر صفات گیاه زینان

Table 3. Comparison of vermicompost* mycorrhiza, and mycorrhiza*azotobacter on the traits of *Trachyspermum copticum*

ازتوباکتر*میکوریزا Mycorrhiza*Azotobacter				میکوریزا* ورمی کمپوست Vermicompost*Mycorrhiza				
تیمارها Treatments	درصد اسانس percentage Essential oil (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield (kg/ha)	شاخص برداشت اسانس Essential oil harvest index	تیمارها Treatments	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	قطر گل آذین Inflorescence diameter (cm)	عملکرد بذر Seed yield (kg/ha)	عملکرد اسانس Essential oil yield (kg/ha)
M ₁ A ₁	2.48 ^a	28.834 ^a	1.19 ^a	V ₁ M ₁	78.66 ^b	4.25 ^d	1161.5 ^{bc}	27.773 ^{ab}
M ₁ A ₂	2.37 ^a	27.890 ^a	1.13 ^{ab}	V ₁ M ₂	97.66 ^a	5.37 ^{ab}	1322.17 ^{ab}	31.199 ^a
M ₂ A ₁	1.65 ^b	20.290 ^b	0.78 ^c	V ₁ M ₃	98.60 ^a	4.58 ^{cd}	1384.67 ^a	26.116 ^{ab}
M ₂ A ₂	2.46 ^a	29.271 ^a	1.13 ^{ab}	V ₂ M ₁	86.33 ^{ab}	4.41 ^{cd}	1383.17 ^a	28.254 ^{ab}
M ₃ A ₁	2.04 ^{ab}	24.460 ^{ab}	0.93 ^{bc}	V ₂ M ₂	76.33 ^b	4.16 ^d	1156.33 ^{bc}	16.618 ^c
M ₃ A ₂	1.62 ^b	20.790 ^b	0.71 ^c	V ₂ M ₃	85.16 ^{ab}	5.58 ^a	1130.50 ^{bc}	20.365 ^{bc}
				V ₃ M ₁	80.83 ^b	4.83 ^c	1094.50 ^c	29.060 ^a
				V ₃ M ₂	84.00 ^{ab}	4.91 ^{bc}	1133.17 ^{bc}	26.526 ^{ab}
				V ₃ M ₃	77.50 ^b	4.41 ^{cd}	1150.00 ^{bc}	20.329 ^{bc}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

Means within each column followed by the same letter are not significantly different at the 5% probability level.

V: Vermicompost (0, 5, and 10 t ha⁻¹), M: Mycorrhiza (No application, *Rhizophagus irregularis* and *Funneliformis mosseae*), A: *Azotobacter chroococcum* (No application and applied)

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر کودهای ورمی کمپوست، مایکوریزا و ازتوباکتر بر خصوصیات مورفولوژی گیاه زنیان

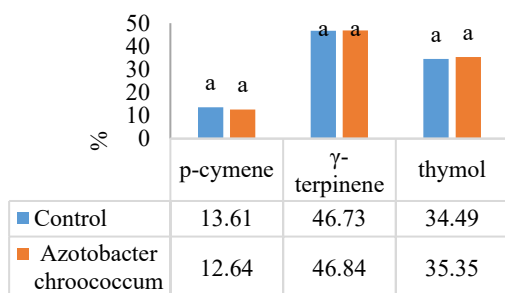
Table 4. Comparison of vermicompost, mycorrhiza, and azotobacter fertilizers on the morphological characteristics of *Trachyspermum copticum*

تیمارها Treatments	تعداد ساقه‌های فرعی Number of lateral stems (n/p)	طول گل آذین Inflorescence length (cm)	تعداد گل آذین Number of inflorescences (n/p)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	طول ریشه اصلی Main root length (cm)	طول ریشه فرعی Lateral root length (cm)	عملکرد برگ Leaf yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد ساقه بله گل آذین Stem yield with inflorescence (kg ha ⁻¹)	عملکرد سرشاخه (برگ + ساقه) Shoot yield (Leaf + Stem) (kg ha ⁻¹)	وزن خشک ریشه Root dry weight (kg ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha ⁻¹)
V ₁ M ₁ A ₁	12.66 ^f	5.33 ^{fg}	111.66 ^{de}	1.65 ^{c-f}	29.00 ^{bcd}	18.00 ^{cde}	293.67 ⁱ	1592.7 ^{bc}	1886.3 ^d	599.33 ^{hi}	2485.7 ^{ij}
V ₁ M ₁ A ₂	17.33 ^c	9.16 ^a	93.33 ^{gh}	2.00 ^b	29.33 ^{bcd}	18.00 ^{cde}	277.33 ⁱ	1600.7 ^{bc}	1878 ^d	434 ^j	2312 ^j
V ₁ M ₂ A ₁	17.00 ^c	8.00 ^{a-d}	163.00 ^b	1.90 ^{bc}	29.00 ^{bcd}	16.66 ^{de}	329.33 ⁱ	1745 ^{bc}	2074.3 ^{cd}	543.33 ⁱ	267.7 ^{hij}
V ₁ M ₂ A ₂	16.33 ^{cd}	8.50 ^{ab}	94.66 ^{fgh}	2.81 ^a	34.83 ^a	29.66 ^a	418.67 ^h	2140.3 ^{ab}	2559 ^{bcd}	1453 ^a	4012 ^{a-d}
V ₁ M ₃ A ₁	22.66 ^a	7.00 ^{cde}	104.00 ^{ef}	3.00 ^a	32.33 ^{ab}	27.33 ^{ab}	414.33 ^h	1715.7 ^{bc}	2130 ^{cd}	746.33 ^{fg}	2876.3 ^{g-j}
V ₁ M ₃ A ₂	20.33 ^b	8.00 ^{a-d}	140.33 ^c	1.86 ^{bcd}	29.33 ^{bcd}	23.33 ^{bc}	427.67 ^h	2217.3 ^{ab}	2645 ^{bc}	615.33 ^{hi}	3260.3 ^{e-h}
V ₂ M ₁ A ₁	14.33 ^{def}	8.33 ^{abc}	92.00 ^{gh}	1.43 ^{fgh}	27.00 ^{c-f}	16.00 ^e	500.66 ^g	2708 ^a	3208.7 ^{ab}	987.68 ^{cd}	4187.3 ^{ab}
V ₂ M ₁ A ₂	17.00 ^c	7.50 ^{bcd}	93.66 ^{gh}	2.00 ^b	28.33 ^{bcd}	20.00 ^{cde}	866.67 ^f	1740.7 ^{bc}	2627.3 ^{bc}	808.67 ^{ef}	3436 ^{c-g}
V ₂ M ₂ A ₁	13.66 ^{ef}	7.00 ^{cde}	92.33 ^{gh}	1.16 ^{hij}	30.66 ^{bc}	19.33 ^{cde}	1060 ^e	1664.3 ^{bc}	2724.3 ^{bc}	888.33 ^{de}	3612.7 ^{b-f}
V ₂ M ₂ A ₂	13.66 ^{ef}	5.33 ^{fg}	112.33 ^{de}	1.73 ^{b-e}	25.00 ^{def}	16.33 ^{de}	1097 ^e	1518 ^{bc}	2615 ^{bc}	657.67 ^{gh}	3272.7 ^{d-h}
V ₂ M ₃ A ₁	12.33 ^f	8.16 ^{abc}	114.33 ^d	1.23 ^{c-i}	23.00 ^f	17.00 ^{de}	1076.67 ^e	1978 ^b	3054.7 ^{ab}	601.67 ^{hi}	3656.3 ^{b-f}
V ₂ M ₃ A ₂	15.66 ^{cde}	8.66 ^{ab}	101.33 ^{fg}	1.43 ^{fgh}	25.00 ^{def}	17.00 ^{de}	1116 ^d	1380.3 ^c	2496.3 ^{bcd}	572.67 ^{hi}	3069 ^{f-i}
V ₃ M ₁ A ₁	16.00 ^{cde}	6.00 ^{efg}	141.33 ^c	1.06 ^j	28.33 ^{bcd}	15.00 ^e	1170 ^d	1345.3 ^c	2515.3 ^{bcd}	559 ^{hi}	3074.3 ^{f-i}
V ₃ M ₁ A ₂	15.33 ^{cde}	4.83 ^g	75.66 ⁱ	1.13 ^{ij}	18.66 ^g	16.00 ^e	1275 ^c	1767.3 ^{bc}	3042.3 ^{ab}	981.67 ^{cd}	4024 ^{abc}
V ₃ M ₂ A ₁	17.33 ^c	7.60 ^{bcd}	141.66 ^c	1.60 ^{def}	27.66 ^{cde}	16.00 ^e	1278.67 ^c	2152.7 ^{ab}	3431.3 ^a	1009 ^c	4440.3 ^a
V ₃ M ₂ A ₂	13.66 ^{ef}	6.66 ^{def}	202.00 ^a	1.40 ^{f-i}	23.00 ^f	14.66 ^e	1297 ^c	1312.3 ^c	2609.3 ^{bc}	1132 ^b	3741.3 ^{a-e}
V ₃ M ₃ A ₁	13.66 ^{ef}	5.50 ^{fg}	142.66 ^c	1.86 ^{bcd}	23.66 ^{ef}	21.66 ^{cd}	137 ^b	1788.7 ^{bc}	3159.7 ^{ab}	777 ^f	3936.7 ^{a-e}
V ₃ M ₃ A ₂	16.33 ^{cd}	7.33 ^{b-e}	87.33 ^h	1.46 ^{efg}	22.66 ^f	15.00 ^e	1566.33 ^a	1567.3 ^{bc}	3133.7 ^{ab}	782.33 ^f	3916 ^{a-e}

میانگین‌های دارای یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

Means within each column followed by the same letter are not significantly different at the 5% probability level.

V: Vermicompost (0, 5, and 10 t ha⁻¹), M: Mycorrhiza (No application, *Rhizophagus irregularis* and *Funneliformis mosseae*), A: *Azotobacter chroococcum* (No application and applied)



شکل ۳. تأثیر ازتوباکتر بر ترکیبات اصلی اسانس

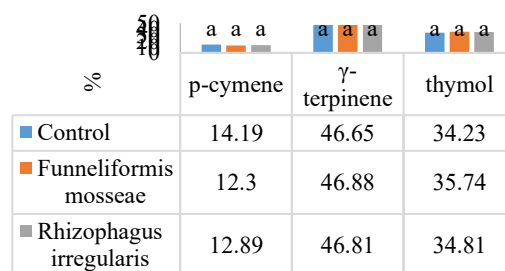
Figure 3. Effect of *Azotobacter chroococum* on main essential oil compounds

ساقه جانبی با قطر ساقه، طول ریشه اصلی و فرعی، همبستگی مثبت معنی داری نشان داد. طول گل آذین با طول ریشه اصلی، و همچنین تعداد گل آذین با طول ریشه اصلی، دارای همبستگی منفی معنی دار بودند. قطر ساقه با طول ریشه اصلی و فرعی همبستگی مثبت داشت، اما با عملکرد برگ همبستگی منفی نشان داد. طول ریشه اصلی با طول ریشه فرعی همبستگی مثبت داشت و طول ریشه فرعی با عملکرد برگ همبستگی منفی داشت. عملکرد بذر با عملکرد برگ نیز همبستگی منفی معنی داری نشان داد. درصد اسانس با عملکرد بیولوژیک همبستگی منفی داشت (جدول ۶).

همچنین نتایج همبستگی ترکیبات اسانس (جدول ۷) نشان داد که ترکیب اصلی Thymol با *p*-Cymene و *γ*-Terpinene همبستگی منفی معنی داری دارد.

بحث

افزایش عملکرد بذر با اعمال تیمارهایی همچون مصرف قارچ‌های *Funneliformis mosseae* و *Rhizophagus irregularis* و کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست (جدول ۳) و عدم افزایش آن در تیمارهایی مانند مصرف ۱۰ تن در هکتار از ورمی کمپوست، تیمار ازتوباکتر و همچنین استفاده همزمان از تیمارهای یاد شده نشان دهنده آن است که نقش تیمارهای حل کننده فسفات مانند قارچ‌های *Funneliformis mosseae* و *Rhizophagus irregularis* بیشتر از ازتوباکتر بوده است. میزان تولید بذر در تیمار ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست بیشتر از ۱۰



شکل ۲. تأثیر قارچ‌های مختلف میکوریزا بر ترکیبات اصلی اسانس

Figure 2. Effect of different mycorrhizal fungi on main essential oil compounds

کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست به همراه *Funneliformis mosseae* و *Azotobacter chroococum* در این گیاه بیشترین عملکرد برگ را (۱۵۶۶/۳۳ کیلوگرم در هکتار) داشت. این در حالی بود که بیشترین عملکرد ساقه به همراه گل آذین، در تیمار مصرف ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست با میانگین ۲۷۰۸ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. بیشترین عملکرد سرشاخه (۳۴۳۱/۳ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد بیولوژیک (۴۴۴۰/۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار مصرف ۱۰ تن در هکتار کود ورمی کمپوست و *Rhizophagus irregularis* به دست آمد (جدول ۴).

مقایسه میانگین اثر قارچ‌های میکوریزا بر ترکیبات اصلی اسانس (شکل ۲) نشان داد که بیشترین درصد *p*-Cymene (۱۴/۱۹ درصد) در تیمار شاهد، *γ*-Terpinene (۴۶/۸۸ درصد) و Thymol (۳۵/۷۴ درصد) از کاربرد قارچ *Funneliformis mosseae* به دست آمد. مقایسه میانگین به کارگیری باکتری و تیمار شاهد (شکل ۳) نشان داد که بیشترین درصد *p*-Cymene (۱۳/۶۱ درصد) مربوط به تیمار شاهد بوده و بیشترین مقادیر *γ*-Terpinene (۴۶/۸۴ درصد) و Thymol (۳۵/۳۵ درصد) در هنگام کاربرد باکتری *Azotobacter chroococum* به دست آمد. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها بر سایر ترکیبات اسانس در جدول ۵ نشان داده شده است.

در مطالعه همبستگی صفات، بین ارتفاع گیاه با تعداد ساقه فرعی، قطر ساقه اصلی، طول ریشه اصلی و فرعی، همبستگی مثبت معنی دار مشاهده شد. همچنین، بین تعداد ساقه جانبی و طول گل آذین، همبستگی منفی معنی داری وجود داشت. تعداد

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر ورمی کمپوست، مایکوریزا و ازتوباکتر بر ترکیبات اساسی (بر حسب درصد)

Table 5. Comparison of vermicompost, mycorrhiza, and azotobacter on the essential oil compounds (%) of *Trachyspermum copticum*

Treatments	α -Thujene	β -Pinene	Sabinene	Myrcene	α -Terpinene
V ₁ M ₁ A ₁	0.11i	0.70ab	0.27h	0.30cde	0.24gh
V ₁ M ₁ A ₂	0.36gh	0.46b	0.62cd	0.35a-e	0.45a-e
V ₁ M ₂ A ₁	0.33h	0.90a	0.52ef	0.33a-e	0.48a-d
V ₁ M ₂ A ₂	0.39fgh	0.15c	0.46f	0.44a	0.51abc
V ₁ M ₃ A ₁	0.41e-h	0.80a	0.89a	0.37a-d	0.36d-g
V ₁ M ₃ A ₂	0.51cde	0.72ab	0.75bcd	0.36a-e	0.42a-f
V ₂ M ₁ A ₁	0.44d-g	0.77a	0.33gh	0.24e	0.34c-h
V ₂ M ₁ A ₂	0.52cd	0.69ab	0.52ef	0.32a-e	0.41b-f
V ₂ M ₂ A ₁	0.61bc	0.82a	0.45fg	0.33a-e	0.44a-e
V ₂ M ₂ A ₂	0.37gh	0.88a	0.66cd	0.41abc	0.38c-f
V ₂ M ₃ A ₁	0.44d-g	0.91a	0.74bcd	0.44a	0.52ab
V ₂ M ₃ A ₂	0.38fgh	0.79a	0.82ab	0.31b-e	0.55a
V ₃ M ₁ A ₁	0.48def	0.68ab	0.78abc	0.33a-e	0.29fgh
V ₃ M ₁ A ₂	0.53cd	0.86a	0.74bcd	0.43ab	0.22h
V ₃ M ₂ A ₁	0.44d-g	0.88a	0.69bcd	0.32a-e	0.24gh
V ₃ M ₂ A ₂	0.72a	0.64ab	0.68cd	0.30cde	0.54ab
V ₃ M ₃ A ₁	0.68ab	0.69ab	0.75bcd	0.28de	0.38c-f
V ₃ M ₃ A ₂	0.66ab	0.79a	0.70bcd	0.35a-e	0.41b-f

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

Means within each column followed by the same letter are not significantly different at the 5% probability level.

V: Vermicompost (0, 5, and 10 t ha⁻¹), M: Mycorrhiza (No application, *Rhizophagus irregularis* and *Funneliformis mosseae*), A: *Azotobacter chroococcum* (No application and applied)

نتایج جدول ۲ و نمودار ۱ نیز مؤید نیاز غذایی پایین زنیان برای تولید دانه هستند و نشان می‌دهند که تیمارهای محرک رشد رویشی مانند عملکرد ریشه، برگ و ساقه، تأثیر مثبتی بر عملکرد زایشی از جمله تولید دانه ندارند. یکی از دلایل احتمالی همبستگی منفی بین عملکرد برگ و دانه ممکن است به دلیل ریزش زودهنگام برگ‌ها پیش از تکمیل فرآیند پیر شدن دانه است؛ چرا که در گیاه زنیان، به‌ویژه برگ‌های پایینی کانونی از زمان آغاز تشکیل میوه، شروع به ریزش می‌کنند همچنین ممکن است همبستگی منفی بین عملکرد دانه و برگ به دلیل ریزودن بذرها و پیر شدن سریع آنها از طریق انتقال مجدد و وجود کلروفیل در همه اندام‌های هوایی گیاه و فتوسنتز آنها باشد. هر چند این موضوع نیاز به تحقیقات و بررسی بیشتری دارد و ممکن است دلایل دیگری همه داشته باشد.

تن در هکتار بوده است که این نتایج بیانگر آن است که در صورت استفاده از کود آلی زیاد و نیز انواع کودهای زیستی تثبیت کننده نیتروژن ممکن است عملکرد کل اندام هوایی افزایش یافته و همچنین برخی از صفات مورفولوژیک افزایش یابند (جدول ۴) اما عملکرد بذر افزایش نخواهد یافت که این عدم افزایش می‌تواند ناشی از عواملی مانند دوره رشد کوتاه گیاه زنیان و عدم امکان استفاده از تمامی عناصر موجود در مقادیر بالای ورمی کمپوست و فرصت کم گیاه برای فعال شدن میکروارگانیسم‌های ازتوباکتر و همینطور غیر فعال شدن فعالیت ازتوباکتر به دلیل در اختیار داشتن نیتروژن کافی باشد. همچنین ممکن است عدم افزایش عملکرد دانه به دلیل رشد رویشی بیشتر گیاه به خاطر نیتروژن آزاد شده از مصرف ۱۰ تن ورمی کمپوست در هکتار و ازتوباکتر باشد.

جدول ۶. نتایج همبستگی بین صفات مورفولوژیک و عملکرد گیاه زنبان

Table 6. Results of correlation between morphological and yield traits of *Trachyspermum copticum*

شاخص	عملکرد	درصد	عملکرد	وزن	عملکرد	عملکرد	عملکرد	عملکرد	طول	طولری	قطر	تعداد گل آذین	طول گل آذین	تعداد ساقه ها	قطر گل آذین	ارتفاع	تیماره
برداشت	اسانس	اسانس	بیولوژیک	خشک	سرشاخ	عملک	با گل آذین	رد	ریشه	شاه اصلی	ساقه	Number of inflorescence	Inflorescence length	ی	Inflorescence diameter	گیاه	Traits
Essential oil harvest index	Essential oil yield	Essential oil percentage	Biological yield	Root dry weight	Shoot yield	Seed yield	Stem yield with inflorescence	Leaf yield	Lateral root length	Main root length	Stem diameter	Number of inflorescence	Inflorescence length	Number of lateral stems	Inflorescence diameter	Plant height	Traits
17	16	15	14	13	12	11	10	y9	y8	y7	y6	y5	y4	y3	y2	y1	y1
															1	0.22	y1
															1	0.72**	y2
														1	0.00	0.72**	y3
													1	-0.43*	0.24	-0.20	y4
												1	0.22	-0.28	0.05	-0.11	y5
											1	-0.11	0.06	0.42*	0.04	0.49*	y6
										1	0.40*	-0.33*	-0.52**	0.74**	0.00	0.62**	y7
									1	0.41*	0.70**	-0.21	0.04	0.37*	0.024	0.46*	y8
								1	-0.39*	-0.32	-0.55**	0.09	-0.23	-0.20	0.01	-0.32	y9
							1	-0.32	0.22	0.08	0.14	-0.11	0.19	0.09	-0.00	0.11	y10
						1	0.85**	-0.44*	0.30	0.11	0.26	-0.13	0.22	0.12	-0.00	0.13	y11
					1	0.36	0.59**	0.57**	-0.13	-0.20	-0.34*	-0.01	-0.03	-0.09	0.00	-0.18	y12
				1	0.38*	0.21	0.28	0.16	0.31	0.10	0.18	-0.04	-0.06	0.00	0.12	0.14	y13
			1	0.69**	0.93**	0.37*	0.57**	0.51**	0.02	-0.11	-0.19	-0.03	-0.05	-0.07	0.05	-0.08	y14
		1	-0.64**	0.21	-0.32	-0.23	-0.27	-0.09	0.18	-0.01	0.13	0.18	-0.02	-0.06	0.05	0.00	y15
	1	0.86**	0.00	0.35*	-0.16	0.25	0.12	-0.32	0.39*	0.06	0.32	0.05	0.08	0.01	0.10	0.09	y16
1	0.85**	0.80**	0.86**	0.04	-0.63**	0.04	-0.17	-0.57**	0.38*	0.18	0.45*	0.04	0.07	0.07	0.05	0.14	y17

* و ** نشان دهنده وجود همبستگی معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشند.

*, ** significantly correlation at $\alpha=0.05$ and $\alpha=0.01$ probability levels, respectively

جدول ۷. نتایج همبستگی بین ترکیبات اسانس گیاه زنیان

Table 7. Results of correlation between essential oil compounds of *Trachyspermum copticum*

	α -Thujene	Sabinene	β -Pinene	Myrcene	α -Terpinen	<i>p</i> -Cymene	Limonene	1.8-Cineole	γ -Terpinene	Thymol	Carvacrol
α -Thujene	1										
Sabinene	-0.01 ^{ns}	1									
β -Pinene	-0.18 ^{ns}	-0.23 ^{ns}	1								
Myrcene	0.08 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.18 ^{ns}	1							
α -Terpinen	0.14 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.35**	1						
<i>p</i> -Cymene	-0.17 ^{ns}	** -0.32	0.25 ^{ns}	-0.20 ^{ns}	-0.22 ^{ns}	1					
Limonene	0.26*	-0.02 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.11 ^{ns}	1				
1.8-Cineole	-0.19 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.22 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	-0.10 ^{ns}	-0.19 ^{ns}	1			
γ -Terpinene	-0.02 ^{ns}	-0.29*	0.01 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.24 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	1		
Thymol	-0.02 ^{ns}	0.25 ^{ns}	-0.19 ^{ns}	-0.13 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	-0.35**	-0.02 ^{ns}	-0.23 ^{ns}	-0.38**	1	
Carvacrol	0.02 ^{ns}	-0.11 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.01 ^{ns}	-0.33**	-0.21 ^{ns}	0.18 ^{ns}	1

^{ns} و ** نشان دهنده وجود همبستگی معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشند.

^{ns}, *, ** significantly correlation at $\alpha=0.05$ and $\alpha=0.01$ probability levels, respectively.

یکی از ویژگی‌های مهم و تأثیرگذار در عملکرد گیاه زنیان، تعداد گل‌آذین به دلیل نقش آن در تعداد دانه است. این ویژگی، با توجه به زمان ظهور آن در میانه دوره رشد گیاه، فرصت کافی را برای اثربخشی کودهای مصرف‌شده فراهم می‌کند که موجب شد تأثیر کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به همراه قارچ *Funneliformis mosseae* و *Azotobacter chroococcum* به شکلی ملموس‌تر نمایان شود. با توجه به جدول ۴، هم‌افزایی بین قارچ *Rhizophagus irregularis* و تلقیح با *Azotobacter chroococcum* تأثیر چشمگیری بر افزایش طول ریشه اصلی و فرعی زنیان داشته‌است که این مسئله می‌تواند از چند عامل متأثر باشد. میکوریزا بهبود جذب مواد مغذی، به ویژه فسفر، را تسهیل می‌کند، در حالی که ازتوباکتر با تثبیت نیتروژن می‌تواند تأمین عناصر غذایی را افزایش دهد در نتیجه همکاری سینرژیک بین میکروارگانیسم‌ها موجب رشد بهینه سیستم ریشه‌ای می‌شود (Sharma et al., 2022). وجود همبستگی منفی بین برخی از اندام‌های هوایی و زمینی می‌تواند به دلیل تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های هوایی و زمینی باشد و در صورت توسعه بیشتر اندام‌های زمینی، از میزان رشد اندام‌های هوایی کاسته خواهد شد زیرا ریشه یک اندام مصرف‌کننده می‌باشد. همچنین *Rhizophagus irregularis* با افزایش سطح تماس ریشه با ذرات خاک، جذب آب و مواد مغذی را بهبود می‌بخشد، که در ترکیب با اثرات مثبت *Azotobacter chroococcum* می‌تواند منجر به بهبود ساختار خاک، دسترس‌پذیر بودن آب و افزایش رشد ریشه شود. از طرفی این تعامل می‌تواند تولید هورمون‌های رشد مانند اکسین‌ها و جیبرلین‌ها را تحریک کند که نقش کلیدی در توسعه ریشه دارند. در مقابل، کاربرد سویه *Funneliformis mosseae* به تنهایی، گرچه تأثیر مثبتی داشته، اما عدم حضور *Azotobacter chroococcum* باعث کاهش اثربخشی آن نسبت به ترکیب قارچ و باکتری شده‌است. از طرفی تأثیر ترکیب ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست با *Azotobacter chroococcum* بر رشد ریشه زنیان می‌تواند به دلیل تأثیر مثبت ورمی‌کمپوست در نگهداری میزان آب بالا و عدم نیاز گیاه به توسعه عمقی ریشه باشد (جدول

۴) که این نتایج با یافته‌های بنفاری و همکاران (Benaffari et al., 2022) بر گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa*) موافق اما با گزارش‌های ولی‌نژاد و همکاران (Valinezhad et al., 2019) بر روی گیاه استویا (*Stevia rebaudiana* Bertoni) و ماندهار و همکاران (Manandhar et al., 2017) مغایر بود. از طرفی، اثر کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به همراه *Azotobacter chroococcum* بر توسعه سطحی ریشه بجای رشد عمقی آن نشان دهنده فعالیت بیشتر ریشه در منطقه کودپاشی شده بوده و در نتیجه منجر به کاهش میانگین طول ریشه‌های اصلی شده است. نتایج به دست آمده از طول ریشه‌ها بیانگر این موضوع است که هرچند ترکیب چندین میکروارگانیسم می‌تواند نتایج بهتری در بهینه‌سازی رشد گیاه ارائه دهد اما نقش میکروارگانیسم‌ها وابسته به شرایط محیطی و نحوه تعامل آن‌ها با سایر منابع تغذیه‌ای است. بنابراین جهت مدیریت زیستی خاک، استفاده هم‌زمان از چندین میکروارگانیسم و شناخت میکروارگانیسم‌های مناسب برای گیاه، می‌تواند منجر به افزایش کارایی نهاده‌های زیستی و در نهایت بهره‌وری بهتر گیاه شود.

بر اساس نتایج جدول ۳ و ۴، افزایش سطح ورمی‌کمپوست به طور کلی منجر به بهبود عملکرد برگ، عملکرد ساقه، عملکرد شاخه و عملکرد بیولوژیکی شد. در مطالعات پیشین افزایش عملکرد گل بابونه، تعداد ساقه اصلی و شاخص برداشت آن (Tasdighi et al., 2015)، عملکرد اسانس، عملکرد سرشاخه و عملکرد ساقه گیاه اسطوخودوس (Abbaszadeh et al., 2016) و ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ در بوته، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، میزان اسانس و عملکرد اسانس گیاه ریحان (Mohammadzadeh Toutounchi, 2020) با افزایش سطوح ورمی‌کمپوست گزارش شده‌است. نقش قارچ میکوریزا در افزایش عملکرد اندام‌های مختلف گیاه پیچیده‌تر بوده و به نظر می‌رسد که وابسته به سویه میکوریزا و همچنین تعامل با سایر تیمارها باشد. در این مطالعه، $V_3M_2A_1$ (ترکیب ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به همراه *Funneliformis mosseae*) به طور چشمگیری بالاترین عملکرد

شاخه (۳/۳۴۳۱ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد بیولوژیکی (۳/۴۴۰ کیلوگرم در هکتار) را نشان داد. این نتیجه تأکید می‌کند که سویه *Funneliformis mosseae*، در حضور بالاترین سطح ورمی‌کمپوست و بدون کاربرد ازتوباکتر، بیشترین هم‌افزایی را با گیاه ایجاد کرده است. قارچ‌های میکوریزا با گسترش شبکه هیف‌های خود در خاک، سطح جذب مواد مغذی، به ویژه فسفر و برخی عناصر کمیاب را افزایش می‌دهند که می‌تواند به رشد بهتر گیاه منجر شود. تفاوت در اثربخشی سویه‌های مختلف میکوریزا (*Rhizophagus irregularis* و *Funneliformis mosseae*) می‌تواند به تفاوت در توانایی آن‌ها در تشکیل همزیستی موثر با گیاه و یا کارایی آن‌ها در جذب و انتقال مواد مغذی مرتبط باشد. تأثیر *Azotobacter chroococcum* نیز در این مطالعه متغیر بود و به نظر می‌رسد که به ترکیب با ورمی‌کمپوست و میکوریزا بستگی داشته در حالی که برای عملکرد برگ ترکیب $V_3M_3A_2$ (حضور *Azotobacter chroococcum*) بالاترین مقدار را داشت (۳۳/۱۵۶۶ کیلوگرم در هکتار)، برای عملکرد شاخه و عملکرد بیولوژیکی، $V_3M_2A_1$ (عدم کاربرد *Azotobacter chroococcum*) نتایج بهتری را نشان داد. در مطالعه تیمارهای کودی بر گیاه دارویی حنا بهبود و افزایش ماده موثره و صفات عملکردی این گیاه هنگام کاربرد مخلوط ورمی‌کمپوست و میکوریزا گزارش شد (Vahidi et al., 2018). همچنین بر اساس نتایج ذوالفقاری و همکاران (Zolfaghari et al., 2022) کاربرد میکوریزا تأثیر مثبتی بر عملکرد، اجزای عملکرد و مقدار اسانس گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) داشت.

مهمترین یافته در جدول ۴، مشاهده تعاملات پیچیده میان ورمی‌کمپوست، میکوریزا و ازتوباکتر است. این تعاملات نشان می‌دهند که اثربخشی هر عامل به‌تنهایی کمتر از اثربخشی آن در ترکیب با سایر عوامل است. به‌عنوان مثال، در حالی که ورمی‌کمپوست به‌تنهایی موجب بهبود شرایط خاک می‌شود، ترکیب آن با سویه‌های قارچ میکوریزا (مانند *Rhizophagus irregularis* در $V_3M_2A_1$) منجر به افزایش چشمگیر عملکرد گیاه می‌گردد. همچنین، نتایج مربوط به وزن خشک ریشه بیانگر

تنوع در پاسخ‌های گیاه به تیمارهاست؛ برخی ترکیبات با عملکرد بالا دارای وزن ریشه زیاد بودند، در حالی که برخی دیگر وزن ریشه متوسطی داشتند. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده استراتژی‌های متفاوت گیاه در تخصیص زیست‌توده باشد. بر این اساس، انتخاب ترکیب مناسب باید بر پایه هدف خاص (مانند عملکرد برگ یا عملکرد ماده خشک) و تعاملات مشاهده‌شده صورت گیرد.

با توجه به نتایج جدول ۳، تیمارهای M_1A_1 ، M_1A_2 و M_2A_2 با درصد اسانس بالاتر از ۲/۳، نشان‌دهنده اثربخشی بالای ترکیبات میکوریزا و ازتوباکتر در بهینه‌سازی تخصیص منابع گیاه به تولید اسانس هستند. این نتایج نشان می‌دهد که کاربرد همزمان میکوریزا و ازتوباکتر می‌تواند به‌طور قابل توجهی شاخص برداشت و کیفیت اسانس را افزایش دهد، به‌ویژه زمانی که *Rhizophagus irregularis* با ازتوباکتر ترکیب شود می‌تواند نقش مؤثری در افزایش کیفیت و کمیت اسانس گیاه ایفا کند. در همین راستا، عظیم‌الدین و همکاران (Ajimaddin et al., 2005)، وینوتا (Vinutha, 2005) و بانچیو و همکاران (Banchio et al., 2009) گزارش دادند که کودهای بیولوژیکی باعث افزایش مقدار اسانس می‌شوند. از آنجا که نیتروژن و فسفر برای بازتولید ATP و NADPH که برای بیوسنتز ترکیبات ترپنئیدی (مواد تشکیل دهنده اسانس) ضروری هستند، مورد نیاز است (Loomis and Corteau, 1972)، همزیستی بین قارچ‌های میکوریزا و گیاهان می‌تواند تجمع چندین متابولیت ثانویه را در گیاهان دارویی بهبود بخشد (Weisany et al., 2016). اسیدپته خاک، محتوای مواد مغذی و تعامل با سایر میکروارگانیسم‌ها بر الگوی کلونیزاسیون این قارچ تأثیر می‌گذارد (Ouahmane et al., 2006). بنابراین کودهای بیولوژیکی می‌توانند اسانس گیاه را افزایش دهند. در مطالعه‌ای، استفاده از ورمی‌کمپوست منجر به افزایش غلظت نیتروژن در برگ‌های *Lavandula angustifolia* شده که نقش کلیدی در سنتز ترکیبات متابولیتی دارد (Mavandi et al., 2021). با توجه به نتایج مطالعه حاضر، ورمی‌کمپوست در سطح ۵ و ۱۰ تن در هکتار، چه به‌تنهایی و چه در ترکیب با میکوریزا، تأثیر

چشمگیری در افزایش عملکرد اسانس داشت، در حالی که مایکوریزا بیشتر، بر بهبود صفات رشدی مانند ارتفاع و قطر گل آذین مؤثرتر بوده است. یافته‌های مذکور بیانگر آن است که ورمی‌کمپوست نه تنها بهبود رشد کمی را به دنبال دارد، بلکه در ارتقاء کیفیت دارویی زنیان نیز نقش بسزایی ایفا می‌کند. همانگونه که بر اساس داده‌های حاصل از آنالیز ترکیبات اسانس، اثر متقابل ورمی‌کمپوست، میکوریزا و ازتوباکتر بیشترین تاثیر را بر تولید ترکیبات داشتند.

وجود رابطه منفی بین درصد اسانس و عملکرد بیولوژیک نشان می‌دهد که برای افزایش درصد اسانس، احتمالاً باید از تیمارهای تنش‌زا استفاده شود. شاید یکی از دلایل کم‌اثر بودن تیمارهای کودی در افزایش عملکرد اسانس گیاه زنیان نیز به همین موضوع مرتبط باشد. عدم وجود اختلاف معنی‌دار میان تیمارهای مختلف در شکل‌های ۲ و ۳ نیز مؤید همین مسئله است. همبستگی منفی میان Thymol و ترکیبات پیش‌ساز آن، یعنی *p*-Cymene و γ -Terpinene نشان می‌دهد که با افزایش Thymol از مقدار ترکیبات پیش‌ساز کاسته می‌شود.

تلقیح قارچ *Funneliformis mosseae*، تأثیر قابل‌توجهی در ارتقاء عملکرد زیستی و افزایش عملکرد میوه گیاه زنیان (*Trachyspermum copticum*) نشان داد. با این حال، تیمارهای اعمال‌شده تأثیر معنی‌داری بر افزایش درصد اسانس و میزان ترکیبات اصلی آن نداشتند. بر این اساس، در شرایطی که هدف از تولید، افزایش کمی گیاه و به‌ویژه توسعه اندام‌های هوایی باشد، استفاده از ورمی‌کمپوست می‌تواند به عنوان یکی از تیمارهای مؤثر توصیه شود. در مقابل، نتایج حاصل از ارزیابی صفات کیفی گیاه حاکی از آن است که به‌منظور بهبود کیفیت اسانس، از جمله افزایش درصد Thymol، بررسی تیمارهای تنش‌زا نظیر شرایط محیطی محدودکننده یا محرک‌های فیزیولوژیک، ضروری به نظر می‌رسد.

تشکر و سپاسگزاری

در انجام این پژوهش، حمایت مالی خاصی از مؤسسات عمومی، صنعتی و غیرانتفاعی دریافت نشده است.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ‌گونه تضاد منافی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

نتیجه‌گیری کلی

کاربرد ورمی‌کمپوست در مقادیر ۵ تا ۱۰ تن در هکتار، همراه با

References

1. Abbaszadeh, B., Mavandi, P., Mirza, M., 2016. Dry Matter and Essential Oil Yield Changes of *Lavandula officinalis* under Cowmanure and Vermicompost Application. J. Med. Plants By-products 1, 97–104.
2. Adams, R., 2017. Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography-Mass Spectroscopy, 4th ed. Allured Publishing Corporation, Carol Stream, Illinois.
3. Ajimaddin, J., Vasundhara, M., Radhakrishna, D., Biradar, S., Rao, G., 2005. Integrated Nutrient Management Studies in Sweet Basil (*Ocimum basilicum*). Indian Perfum. 49, 95–101.
4. Aslam, A., Nokhala, A., Peerzada, S., Ahmed, S., Khan, T., Siddiqui, M., 2020. Evaluation and comparison of *Trachyspermum ammi* seed extract for its anti-inflammatory effect. J. Pharm. Bioallied Sci. 12, 777. https://doi.org/10.4103/jpbs.JPBS_243_19
5. Bairwa, R., Rajawat, B., Sodha, R., 2012. *Trachyspermum ammi*. Pharmacogn. Rev. 6, 56. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.95871>
6. Banchio, E., Xie, X., Zhang, H., Paré, P.W., 2009. Soil Bacteria Elevate Essential Oil Accumulation and Emissions in Sweet Basil. J. Agric. Food Chem. 57, 653–657. <https://doi.org/10.1021/jf8020305>
7. Benaffari, W., Boutasknit, A., Anli, M., Ait-El-Mokhtar, M., Ait-Rahou, Y., Ben-Laouane, R., Ben Ahmed, H., Mitsui, T., Baslam, M., Meddich, A., 2022. The Native Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Vermicompost-Based Organic Amendments Enhance Soil Fertility, Growth Performance, and the Drought Stress Tolerance of Quinoa. Plants 11, 393. <https://doi.org/10.3390/plants11030393>

منابع مورد استفاده

8. Dubey, S., Kashyap, P., 2015. *Trachyspermum ammi*: A Review on its Multidimensional Uses in Indian Folklore Medicines. Res. J. Med. Plant 9, 368–374. <https://doi.org/10.3923/rjmp.2015.368.374>
9. El-Sayed, A. A., El-Sherbeny, S. E., El-Sayed, S. A., El-Sayed, M. A., 2025. The changes in growth, yield, and biologically active compounds of essential oil in *Trachyspermum ammi* L. upon rhizobacteria and seaweed applications. Plant Soil Environ. 71(8), 379–388. <https://pse.agriculturejournals.cz/pdfs/pse/2025/08/04.pdf>
10. Karegar Hajiabadi, E., Abbaszadeh, B., Sefidkon, F., Khavazi, K., 2015. Comparing the effect of seed and transplants inoculation with biofertilizers on *Thymus pubescens* Bioss. Iran. J. Med. Aromat. Plants 31, 81–91. (In Persian with English abstract)
11. Latifi, M., Kheiry, A., Razavi, F., Sanikhani, M., 2024. Influence of vermicompost and nitrogen Treatments on the enhancement of morphophysiological Traits and essential oil composition of spearmint (*Mentha spicata* L.) for Double harvesting seasons. J. Med. Plants By-Products 13, 1016–1025. <https://doi.org/10.22034/jmpb.2024.363701.1613>
12. Loomis, W.D., Croteau, R., 1972. Essential oil biosynthesis, in: Runeckles, V. C. & Fenwick, R.H. (Ed.), Recent Advances in Phytochemistry. Springer, New York, pp. 147–185.
13. Manandhar, S., Tuladhar, R., Prajapati, K., Singh, A., Varma, A., 2017. Effect of *Azotobacter chroococcum* and Piriformospora indica on *Oryza sativa* in Presence of Vermicompost, in: Mycorrhiza - Nutrient Uptake, Biocontrol, Ecorestoration. Springer International Publishing, Cham, pp. 327–339. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68867-1_18
14. Manayi, A., Vazirian, M., Omidpanah, S., Hosseinkhani, F., Hasseli, A., 2014. Chemical composition and antibacterial activity of essential oil of *Trachyspermum ammi*. Planta Med. 80. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1394937>
15. Mavandi, P., Abbaszadeh, B., Emami Bistgani, Z., Barker, A. V., Hashemi, M., 2021. Biomass, nutrient concentration and the essential oil composition of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) grown with organic fertilizers. J. Plant Nutr. 44, 3061–3071. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1936037>
16. Mhatre, U., Mishra, A., Narkar, V., Nikam, M., Pandey, V., Uppalwar, D.S., 2024. Seed of Ajwain (*Trachyspermum Ammi*): Taxonomy, Phytochemistry, Pharmacology and Medicinal Uses. Int. J. Res. Publ. Rev. 5, 2074–2088. <https://doi.org/10.55248/gengpi.5.0424.0951>
17. Mohammadzadeh Toutounchi, P., 2020. Effect of vermicompost and manure on morphological traits, yield and essential oil content of basil (*Ocimum basilicum* L.). Bi-Quarterly J. Plant Prod. 10, 78–91. (In Persian with English abstract).
18. Naghdibadi, H., Lotfizad, M., Ghavami, N., Mehrafarin, A., Khavazi, K., 2013. Quantitative and qualitative yield response of valerian (*Valeriana officinalis* L.) to the biological and chemical fertilizers of phosphorus application. J. Med. Plants 46, 25–37. (In Persian)
19. Norouzi Esfahani, R., Khaghani, S., Gomarian, M., Azizi, A., Mortazaeinezhad, F., 2023. The Effect of Using Different Levels of Vermicompost on The Growth and Morphological and Physiological Characteristics of Medicinal-Ornamental Plant of Mullein (*Verbascum thapsus*) Under Drought Stress Conditions. J. Soil Plant Interact. 14. <https://doi.org/10.47176/jspi.14.2.20891>. (In Persian with English abstract)
20. Ouahmane, L., Hafidi, M., Plenchette, C., Kisa, M., Boumezzough, A., Thioulouse, J., Duponnois, R., 2006. Lavandula species as accompanying plants in Cupressus replanting strategies: Effect on plant growth, mycorrhizal soil infectivity and soil microbial catabolic diversity. Appl. Soil Ecol. 34, 190–199. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2006.02.002>
21. Sharma, M., Delta, A., Brar, N., Yadav, A., Dhanda, P., Baslam, M., Kaushik, P., 2022. Rhizophagus irregularis and Azotobacter chroococcum uphold eggplant production and quality under low fertilization. Int. J. Plant Biol. 13, 601–612. <https://doi.org/10.3390/ijpb13040048>
22. Singh, A., Ahmad, A., 2017. Antioxidant Activity of Essential Oil Extracted by SC-CO₂ from Seeds of *Trachyspermum ammi*. Medicines 4, 53. <https://doi.org/10.3390/medicines4030053>
23. Solouki, A., Mehrjerdi, M. Z., Aliniaefard, S., Azimi, R. 2023. Postharvest light and temperature elicitors improve chemical composition and level of essential oils in basil (*Ocimum basilicum* L.) through boosting antioxidant machinery. Postharvest Biol. Technol. 199, 112279. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112279>
24. Tasdighi, H., Salehi, A., Movahhedi Dehnavi, M., Behzadi, Y., 2015. Survey of yield, yield components and essential oil of *Matricaria chamomilla* L. With Application of vermicompost and different irrigation levels. J. Saudi Soc. Agric. Sci. 25, 61–78. (In Persian with English abstract)
25. Telci, İ., Kacar, O., Bayram, E., Arabacı, O., Demirtaş, İ., Yılmaz, G., Özcan, İ., Sönmez, Ç., Göksu, E., 2011. The effect of ecological conditions on yield and quality traits of selected peppermint (*Mentha piperita* L.) clones. Ind. Crops Prod. 34, 1193–1197. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.04.010>
26. Vahidi, A., Alizadeh, A., Bagizadeh, A., Ansari, H., 2018. Investigation of the effect of mycorrhiza, vermicompost, and chemical fertilizer on yield and lawsone content of the medicinal plant *Lawsonia inermis* under drought stress conditions. Iran. J. Irrig. Drain. 12(5), 1029–1040. (In Persian with English abstract)
27. Valinezhad, Z., Gholizadeh, A., Naemi, M., Gholamalalipour Alamdari, E Zarei, M., 2019. Effects of vermicompost and mycorrhizal fungus on quantitative and qualitative traits of medicinal plant *Stevia rebaudiana* Bertoni. Iran. J. Med.

Aromat. Plants 35, 485–500. (In Persian with English abstract)

28. Vinutha, T., 2005. Biochemical studies on *Ocimum* sp. University of Agricultural Sciences, Bangalore, India.

29. Weisany, W., Raei, Y., Pertot, I., 2015. Changes in the essential oil yield and composition of dill (*Anethum graveolens* L.) as response to arbuscular mycorrhiza colonization and cropping system. Ind. Crops Prod. 77, 295–306. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.09.003>

30. Weisany, W., Zehtab-Salmasi, S., Raei, Y., Sohrabi, Y., Ghassemi-Golezani, K., 2016. Can arbuscular mycorrhizal fungi improve competitive ability of dill+common bean intercrops against weeds?. Eur. J. Agron. 75, 60–71. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.01.006>

31. Zolfaghari, M., Tavalodeh, S., Sedighi Dehkordi, F., Mahmoudi Soorastani, M., 2022. Evaluation of growth, yield, and essential oil of medicinal plant coriander (*Coriandrum sativum* L.) under treatments of mycorrhiza, vermicompost, and chemical fertilizer. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(1), 35–46. <https://doi.org/10.22034/saps.2021.42112.2556>. (In Persian with English abstract)

نسخه پیش از انتشار (اصلاح نشده)