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

Bohloul Abbaszadeh[1*], Parizad Mavandi[2] and Razieh Azimi[1]

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

نسخه پیش از انتشار اصلاح شده

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.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-12-29]

تأثیر کودهای آلی و زیستی بر شاخص‌های رشدی، کمیت و کیفیت زنیان

(*Trachyspermum copticum*)

بهلول عباس‌زاده[1*]، پریزاد ماوندی[2] و راضیه عظیمی[1]

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

نسخه پیش از انتشار (اصلاح نشده)

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 تاثیر کودهای بیولوژیک بر عملکرد کمی و کیفی زنیان، اجرا شد. ورمی‌کمپوست 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 (*Rhizophagus irregularis* و *Funneliformis mosseae*)، باکتری *Azotobacter chroococcum* و ورمی‌کمپوست، به طور چشمگیری موجب بهبود شاخص‌های رشدی، عملکرد دانه و عملکرد اسانس شد اما بر درصد اسانس و ترکیبات فیتوشیمیایی گیاه چندان موثر نبود. قارچ *Funneliformis mosseae* بیشترین تأثیر را بر اندام‌هوایی، از جمله تعداد ساقه‌های فرعی، قطر ساقه و عملکرد دانه داشت، در حالی‌که *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 ورمی‌کمپوست (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 بذر، *Azotobacter chroococcum*، Thymol.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-12-29]

۱- مقدمه

گیاه دارویی زنیان یا نانخواه (Ajowan، Lovagel، Carum) با نام علمی *Trachyspermum copticum* (L.) Link، گیاهی یکساله، معطر و علفی از خانواده Apiaceae بوده که رویشگاه آن کشورهایی مانند 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 ۴/۴٪ گزارش شده‌است، 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 Thymol، *p*-Cymene و γ-Terpinene 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 نعناع 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 نهاده‌های 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 نهاده‌های 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 ۳۰-۰ 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).

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-12-29]

جدول ۱. مشخصات تجزیه خاک مزرعه (از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر) و ورمی‌کمپوست

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

خاک Soil							
بافت Texture	شوری EC (ms)	اسیدیته pH (mv)	نیتروژن (٪) N	فسفر (٪) P	پتاسیم K (ppm)	کل‌موادخنثی‌شونده (٪)T.N.V	کربن آلی (٪)O.C
لومی شنی Sandy loam	2.46	7.70	0.086	8.9	213	12.58	0.088

ورمی‌کمپوست Vermicompost									
	شوری EC (ms)	اسیدیته pH (mv)	نیتروژن (٪)N	فسفر (٪)P		پتاسیم (٪)K		کربن/ نیتروژن C/N (٪)	مواد آلی OM (٪)
				فسفر P (٪)	اکسید فسفر P_2O_5 (٪)	پتاسیم K (٪)	اکسید پتاسیم K_2O (%)		
	0.84	7.71	1.00	0.65	1.49	0.48	0.52	2.19	38.56

آزمایش به صورت اسپلیت، 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. ورمی‌کمپوست در سه سطح صفر (شاهد)، ۵ و ۱۰ تن در هکتار به عنوان عامل اصلی، و قارچ میکوریزا در سه سطح عدم کاربرد (شاهد-M_1)، کاربرد گونه‌های *Funneliformis mosseae*-M_2 و *Rhizophagus irregularis*-M_3، و عدم کاربرد-A_1 و کاربرد باکتری محرک رشد *Azotobacter chroococcum* strain 5-A_2 به عنوان عوامل فرعی بودند. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک، ایجاد خطوط کشت قبل از کاشت بذور انجام شد. فاصله‌ی کشت ۲۰×۳۵ سانتی‌متر و هر کرت با ابعاد ۳×۳ متر بود.

پیش از کاشت، مقادیر مختلف ورمی‌کمپوست 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 M_2 و M_3، قبل از کاشت بذر در مزرعه در هر چاله کاشت ۱۰ گرم از کود زیستی 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 به‌صورت 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، به‌صورت 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، یادداشت‌برداری 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 خط‌کش 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

نسخه پیش از انتشار اصلاح نشده

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-12-29]

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. به‌منظور 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 به‌وسیله 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 ۲۸۰ °C تنظیم شد. برنامه حرارتی ستون شامل افزایش دما از ۶۰ تا ۲۲۰ °C با سرعت ۳ درجه سانتی‌گراد در دقیقه بوده و سپس افزایش به ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۲۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه و توقف در این دما به مدت ۱۰ دقیقه بود. گاز حامل به‌کار رفته نیتروژن با سرعت جریان ۰/۷میلی‌لیتر 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 به‌کار رفته از نوع DB-5 بود و برنامه حرارتی ستون مشابه با GC در نظر گرفته شد. درجه حرارت محفظه تزریق ۲۶۰ °C و دمای ترانسفرلاین ۲۸۰°C تنظیم شد. گاز حامل هلیوم با درجه خلوص ۹۹/۹۹۹ بوده که با سرعت ۳۰/۶ 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 بازداری ترکیبات، مورد شناسایی قرار گرفتند.

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 ورمی کمپوست به ترتیب با میانگین ۲/۸۷ و ۲/۲۷ 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 با ۱۵/۰۵درصد 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).

نسخه پیش از انتشار اصلاح نشده

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-12-29]

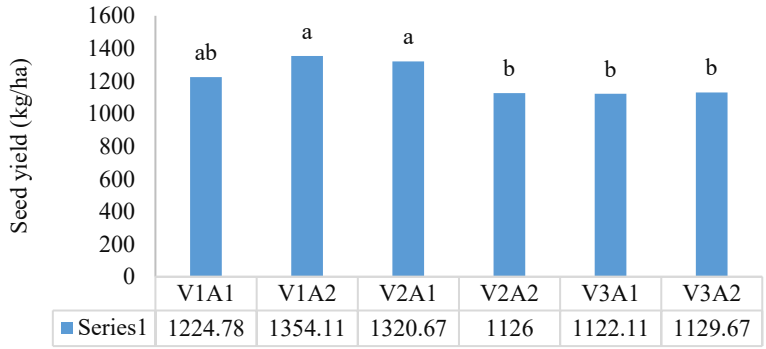
جدول ۲. مقایسه میانگین اثر کود ورمی‌کمپوست بر درصد اسانس و برخی از ترکیبات گیاه زنیان

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

ورمی‌کمپوست Vermicompost (kg/ha)	عملکرد بذر Seed yield (kg/ha)	درصد اسانس Essential oil percentage (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield (kg/ha)	شاخص‌برداشت 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 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.



شکل ۱. تأثیر ورمی‌کمپوست* ازتوباکتر بر عملکرد دانه گیاه زنیان

figure1. Effect of vermicompost*azotobacter on seed yield

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 ورمی‌کمپوست (۲۸/۲۵۴ کیلوگرم در هکتار) و ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست (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 سه‌گانه کودها (جدول ۴) نشان داد، با کاربرد سویه *Funneliformis mosseae* بیشترین تعداد ساقه فرعی با میانگین ۲۳ عدد در گیاه مشاهده شد. درحالی‌که کاربرد *Azotobacter chroococcum*، گیاهانی با بلندترین گل آذین (با میانگین ۹/۱۶ سانتی‌متر) را تولید کرد. بیشترین تعداد گل‌آذین (میانگین ۲۰۲ عدد) با کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، تلقیح با سویه *Rhizophagus irregularis* و *Azotobacter chroococcum* در گیاه مشاهده شد. با توجه به نتایج بدست آمده، بذرهای 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 سانتی‌متر) بود. بیشترین طول ریشه اصلی (۳۴/۸۳ سانتی‌متر) و ریشه‌های فرعی (۲۹/۶۶ سانتی‌متر) و وزن خشک ریشه (۱۴۵۳ کیلوگرم در هکتار) نیر در هنگام کاربرد *Rhizophagus irregularis* به همراه *Azotobacter chroococcum* مشاهده شد (جدول ۴).

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-12-29]

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر کود ورمی‌کمپوست* میکوریزا و میکوریزا* ازتوباکتر بر صفات گیاه زنیان

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

ازتوباکتر*میکروریزا Mycorrhiza*Azotobacter				میکوریزا* ورمی‌کمپوست Vermicompost*Mycorrhiza				
تیمارها Treatments	درصد اسانس percentage Essential oil (%)	عملکرداسانس Essential oil yield (kg/ha)	شاخص‌برداشت‌اسانس Essential oil harvest index	تیمارها Treatments	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	قطر گل آذین Inflorescence diameter (cm)	عملکرد بذر Seed yield (kg/ha)	عملکرداسانس Essential oil yield (kg/ha)
M_1A_1	2.48^{a}	28.834^{a}	1.19^{a}	V_1M_1	78.66^{b}	4.25^{d}	1161.5^{bc}	27.773^{ab}
M_1A_2	2.37^{a}	27.890^{a}	1.13^{ab}	V_1M_2	97.66^{a}	5.37^{ab}	1322.17^{ab}	31.199^{a}
M_2A_1	1.65^{b}	20.290^{b}	0.78^{c}	V_1M_3	98.60^{a}	4.58^{cd}	1384.67^{a}	26.116^{ab}
M_2A_2	2.46^{a}	29.271^{a}	1.13^{ab}	V_2M_1	86.33^{ab}	4.41^{cd}	1383.17^{a}	28.254^{ab}
M_3A_1	2.04^{ab}	24.460^{ab}	0.93^{bc}	V_2M_2	76.33^{b}	4.16^{d}	1156.33^{bc}	16.618^{c}
M_3A_2	1.62^{b}	20.790^{b}	0.71^{c}	V_2M_3	85.16^{ab}	5.58^{a}	$1130.50b^{c}$	20.365^{bc}
				V_3M_1	80.83^{b}	4.83^{c}	1094.50^{c}	29.060^{a}
				V_3M_2	84.00^{ab}	4.91^{bc}	1133.17^{bc}	26.526^{ab}
				V_3M_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)

نسخه پیش از انتشار (اصلاح نشده)

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-12-29]

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر کودهای ورمی‌کمپوست، 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 ساقه‌های‌فرعی Number of lateral stems (n/p)	طول گل‌آذین Inflorescence length (cm)	تعداد گل آذین Number of inflorescences (n/p)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	طول‌ریشه اصلی Main root length (cm)	طول‌ریشه فرعی Lateral root length (cm)	عملکردبرگ Leaf yield ($kgha^{-1}$)	عملکرد ساقه با گل آذین Stem yield with inflorescence ($kgha^{-1}$)	عملکرد سرشاخه (برگ+ساقه) Shoot yield (Leaf + Stem) ($kgha^{-1}$)	وزن خشک ریشه Root dry weight ($kgha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kgha^{-1}$)
$V_1M_1A_1$	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}
$V_1M_1A_2$	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}
$V_1M_2A_1$	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}
$V_1M_2A_2$	16.33^{cd}	8.50^{ab}	94.66^{fgh}	2.81^{a}	34.83^{a}	29.66^{a}	418.67^{h}	2140.3^{ab}	$2559b^{cd}$	1453^{a}	4012^{a-d}
$V_1M_3A_1$	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}
$V_1M_3A_2$	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}
$V_2M_1A_1$	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}
$V_2M_1A_2$	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}
$V_2M_2A_1$	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}
$V_2M_2A_2$	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}
$V_2M_3A_1$	12.33^{f}	8.16^{abc}	114.33^{d}	1.23^{e-j}	23.00^{f}	17.00^{de}	1076.67^{e}	$1978b^{c}$	3054.7^{ab}	601.67^{hi}	3656.3^{b-f}
$V_2M_3A_2$	15.66^{cde}	8.66^{ab}	101.33^{fg}	1.43^{fgh}	25.00^{def}	17.00^{de}	$1116d^{e}$	1380.3^{c}	2496.3^{bcd}	572.67^{hi}	3069^{f-i}
$V_3M_1A_1$	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}
$V_3M_1A_2$	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}
$V_3M_2A_1$	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}
V3M2A2	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}
$V_3M_3A_1$	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}
$V_3M_3A_2$	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}

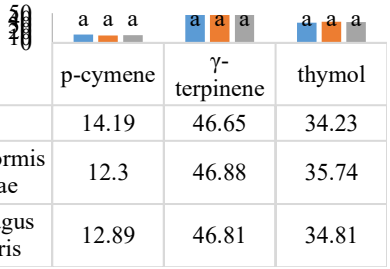
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

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)

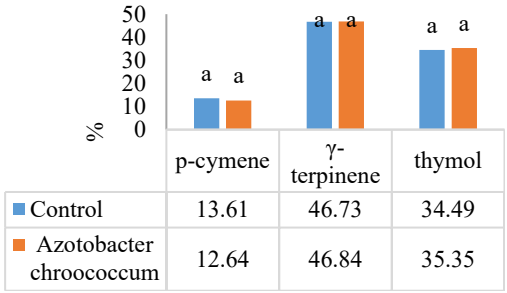
نسخه پیش از انتشار (اصلاح نشده)

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-12-29]



شکل ۲. تأثیر قارچ‌های مختلف میکوریزا بر ترکیبات اصلی اسانس

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



شکل ۳. تأثیر ازتوباکتر بر ترکیبات اصلی اسانس

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

کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به همراه *Funneliformis mosseae* و *Azotobacter chroococcum*، در این گیاه بیشترین عملکرد برگ را (۱۵۶۶/۳۳ کیلوگرم در هکتار) داشت. این در حالی بود که بیشترین عملکرد ساقه به همراه گل‌آذین، در تیمار مصرف ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست 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 ورمی‌کمپوست 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* به‌دست 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 chroococcum* به‌دست 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 معنی‌دار مشاهده شد. همچنین، بین تعداد ساقه جانبی و طول گل‌آذین، همبستگی منفی معنی‌داری وجود داشت. تعداد ساقه جانبی با قطر ساقه، طول ریشه اصلی و فرعی، همبستگی مثبت معنی‌داری نشان داد. طول گل‌آذین با طول ریشه اصلی، و همچنین تعداد گل‌آذین با طول ریشه اصلی، دارای همبستگی منفی معنی‌دار 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 معنی‌داری 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 معنی‌داری دارد.

بحث

افزایش عملکرد بذر با اعمال تیمارهایی همچون مصرف قارچ‌های *Funneliformis mosseae* و *Rhizophagus irregularis* و کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست (جدول ۳) و عدم افزایش آن در تیمارهایی مانند مصرف ۱۰ تن در هکتار از ورمی‌کمپوست، 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 ورمی‌کمپوست بیشتر از ۱۰

نسخه پیش از انتشار اصلاح نشده

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-12-29]

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر ورمی‌کمپوست، مایکوریزا و ازتوباکتر بر ترکیبات اسانس (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
$V_1M_1A_1$	0.11i	0.70ab	0.27h	0.30cde	0.24gh
$V_1M_1A_2$	0.36gh	0.46b	0.62cd	0.35a-e	0.45a-e
$V_1M_2A_1$	0.33h	0.90a	0.52ef	0.33a-e	0.48a-d
$V_1M_2A_2$	0.39fgh	0.15c	0.46f	0.44a	0.51abc
$V_1M_3A_1$	0.41e-h	0.80a	0.89a	0.37a-d	0.36d-g
$V_1M_3A_2$	0.51cde	0.72ab	0.75bcd	0.36a-e	0.42a-f
$V_2M_1A_1$	0.44d-g	0.77a	0.33gh	0.24e	0.34e-h
$V_2M_1A_2$	0.52cd	0.69ab	0.52ef	0.32a-e	0.41b-f
$V_2M_2A_1$	0.61bc	0.82a	0.45fg	0.33a-e	0.44a-e
$V_2M_2A_2$	0.37gh	0.88a	0.66cd	0.41abc	0.38c-f
$V_2M_3A_1$	0.44d-g	0.91a	0.74bcd	0.44a	0.52ab
$V_2M_3A_2$	0.38fgh	0.79a	0.82ab	0.31b-e	0.55a
$V_3M_1A_1$	0.48def	0.68ab	0.78abc	0.33a-e	0.29fgh
$V_3M_1A_2$	0.53cd	0.86a	0.74bcd	0.43ab	0.22h
$V_3M_2A_1$	0.44d-g	0.88a	0.69bcd	0.32a-e	0.24gh
$V3M2A_2$	0.72a	0.64ab	0.68cd	0.30cde	0.54ab
$V_3M_3A_1$	0.68ab	0.69ab	0.75bcd	0.28de	0.38c-f
$V_3M_3A_2$	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)

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 ورمی‌کمپوست 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 ورمی‌کمپوست در هکتار و ازتوباکتر باشد.

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 پر شدن دانه است؛ چرا که در گیاه زنیان، به‌ویژه برگ‌های پایینی کانوپی، از زمان آغاز تشکیل میوه، شروع به ریزش می‌کنند همچنین ممکن است همبستگی منفی بین عملکرد دانه و برگ به دلیل ریزبودن بذرها و پر 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.

نسخه پیش از انتشار اصلاح نشده

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-12-29]

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

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

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

* و ** نشان‌دهنده وجود همبستگی معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

*, ** significantly correlation at α=0.05 and α=0.01 probability levels, respectively

نسخه پیش از انتشار (اصلاح نشده)

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-12-29]

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	*p* -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						
p-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 ** نشان‌دهنده وجود همبستگی معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

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

نسخه پیش از انتشار (اصلاح نشده)

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-12-29]

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 متاثر باشد. مایکوریزا بهبود جذب مواد مغذی، به‌ویژه فسفر، را تسهیل می‌کند، در حالی‌که 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 مصرف کننده 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 تاثیر مثبت ورمی‌کمپوست در نگهداری میزان آب بالا و عدم نیاز گیاه به توسعه عمقی ریشه باشد (جدول ۴) که این نتایج با یافته‌های بنافاری 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 مانندهار 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 دست‌آمده از طول ریشه‌ها بیانگراین 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 بیولوژیک، 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

نسخه پیش از انتشار اصلاح نشده

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-12-29]

شاخه (۳۴۳۱/۳ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد بیولوژیکی (۴۴۴۰/۳ 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 (۱۵۶۶/۳۳ 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 تاثیر 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 مایکوریزا 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 ترپنوئیدی (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). اسیدیته 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 مایکوریزا، تأثیر

نسخه پیش از انتشار اصلاح نشده

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-12-29]

چشمگیری در افزایش عملکرد اسانس داشت، در حالی که مایکوریزا بیشتر، بر بهبود صفات رشدی مانند ارتفاع و قطر گل‌آذین مؤثرتر بوده است. یافته‌های مذکور بیانگر آن است که ورمی‌کمپوست نه‌تنها بهبود رشد کمی را به‌دنبال 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.

نتیجه‌گیری کلی

کاربرد ورمی‌کمپوست در مقادیر ۵ تا ۱۰ تن در هکتار، همراه با 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 کمّی 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 ادعان دارند هیچ‌گونه تضاد منافعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

منابع مورد استفاده

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

نسخه پیش از انتشار اصلاح شده

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-12-29]

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., Corteau, 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/medicines 4030053
23. Solouki, A., Mehrjerdi, M. Z., Aliniaeifard, 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, 112279.24. 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., Naeemi, 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.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-12-29]

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)

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-12-29]