Research Article

Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research
Vol. 41, No. 1, Page 78-95 (2025)

DOI:10.22092/ijmapr.2025.364976.3424

Effect of Trichoderma fungus and different culture media on growth characteristics, nutrient content, and essential components of Savory (*Satureja hortensis* L.)

Elham Shojaei[1], Behrooz Esmaielpour[2*], Rasool Azarmi[3], Zahra Aslani[4], Seyed Karim Tahami[5] and Mehdi Davari[6]

1. M.Sc. student, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture Science, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.
2*. Corresponding author, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture Science, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran, E-mail: behsmaiel@yahoo.com
3. Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture Science, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran
4. Ph.D. student, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
5. Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR) of Ardabil, Ardabil, Iran
6. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

Received: February 2024 Revised: October 2024 Accepted: November 2024

Abstract

Background and objectives: Savory (*Satureja hortensis* L.) is an aromatic plant from the Lamiaceae family, known for its bioactive compounds, such as thymol and carvacrol, which possess antioxidant and antimicrobial properties. These compounds have applications in various industries, including food and pharmaceuticals. Biofertilizers like mycorrhizal and *Trichoderma* fungi offer advantages over chemical fertilizers. These include reducing toxic substances in the food cycle, improving soil physical and chemical properties, and being cost-effective and environmentally sustainable. *Trichoderma* species promote plant growth through various mechanisms, including the biological control of soil-borne diseases by producing enzymes and antibiotics and direct antagonism against pathogenic fungi.

Methodology: To evaluate the effect of *Trichoderma harzianum* on growth parameters, yield, and essential oil composition of savory in organic culture media, a factorial experiment was conducted using a completely randomized design with three replications in the Horticultural Science Greenhouse of Mohaghegh Ardabili University. The experimental treatments consisted of two factors: 1. Organic matter at three levels: Control (soil and sand mixture), Soil and sand mixture with 30% spent mushroom compost and Soil and sand mixture with 30% vermicompost. 2. *Trichoderma harzianum* inoculation at two levels: Inoculated and Non-inoculated (control). A 2 cm layer of coarse sand was placed at the bottom of the pots to ensure proper drainage. Savory seeds were initially grown in small pots and later transplanted to the main pots at the two- to three-leaf stage. Standard agronomic practices, such as irrigation and weeding, were maintained throughout the experiment. At the end of the study, vegetative traits (plant height, leaf area, dry weight of stem and root, number and length of secondary branches), physiological traits (chlorophyll index), nutrient content (N, K, P, Mg, Zn), and essential oil yield and composition were assessed.

Results: The results demonstrated that organic fertilizers and *Trichoderma* inoculation

Copyright: © 2025 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (http://ijmapr.areeo.ac.ir/) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

significantly improved vegetative growth and quality traits compared to the control. The highest dry weight of aerial organs (4.82 g) was recorded in the vermicompost treatment, while *Trichoderma* inoculation resulted in 4.87 g. The highest chlorophyll index (26.86) was observed in plants treated with *Trichoderma* and vermicompost. Nutrient analysis showed that *Trichoderma* inoculation significantly increased phosphorus (3606.3 mg/kg), nitrogen (2.55%), and magnesium (55.64 mg/kg) content. In organic substrate treatments, vermicompost application resulted in the highest levels of zinc (47.87 mg/kg), nitrogen (3.06%), and phosphorus (4143 mg/kg). The highest carvacrol content (71.90%) was observed in *Trichoderma*-inoculated plants, while the highest essential oil yield (0.599 mL per pot) was found in plants treated with *Trichoderma* and vermicompost.
Conclusion: The findings suggest that organic substrates combined with *Trichoderma* fungus can serve as an effective alternative to chemical fertilizers, enhancing both yield and essential oil quality in the organic cultivation of savory.

Keywords: Essential oil, organic growing media, *Trichoderma*, medicinal plant.

تأثیر قارچ تریکودرما و بسترهای مختلف کشت بر برخی ویژگی‌های رشدی، میزان عناصرغذایی و اجزای اسانس گیاه مرزه (*Satureja hortensis* L.)

الهام شجاعی[۱]، بهروز اسماعیل‌پور[*۲]، رسول آذرمی[۳]، زهرا اصلانی[۴]، سیدکریم تهامی[۵] و مهدی داوری[۶]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

۲*- نویسنده مسئول، استاد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران، پست‌الکترونیک: behsmaiel@yahoo.com

۳- دانشیار، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

۴- دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران

۵- عضو هیئت علمی جهاد دانشگاهی اردبیل، اردبیل، ایران

۶- استاد، گروه بیماری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

تاریخ دریافت: بهمن ۱۴۰۲ تاریخ اصلاح نهایی: آبان ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: آبان ۱۴۰۳

چکیده

سابقه و هدف: مرزه (*Satureja hortensis* L.) گیاهی معطر از تیره نعناعیان بوده و با داشتن ترکیب‌هایی از قبیل تیمول و کارواکرول به عنوان ترکیب‌های آنتی‌اکسیدان و ضدمیکروب در صنایع مختلف ازجمله صنایع غذایی و دارویی استفاده می‌شود. کودهای زیستی مانند قارچ‌های میکوریز و تریکودرما در مقایسه با کودهای شیمیایی دارای مزیت‌هایی ازجمله عدم تولید مواد سمی در چرخه غذایی، اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، مقرون به صرفه بودن و قابل پذیرش از نظر زیست محیطی می‌باشد. گونه‌های قارچ تریکودرما با سازوکارهای خاصی ازجمله کنترل بیولوژیکی بیماری‌های خاک با تولید و فعالیت آنزیم‌ها، تولید آنتی‌بیوتیک‌ها و نفوذ به بدن قارچ‌های بیماری‌زا باعث تحریک و افزایش رشد گیاه می‌شوند.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی تأثیر قارچ تریکودرما (*Trichoderma harzianum*) بر شاخص‌های رشدی، عملکرد و اجزای اسانس گیاه مرزه در بسترهای کشت آلی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در گلخانه علوم باغبانی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا گردید. فاکتور اول بستر کشت در سه سطح، شامل ۱- مخلوط خاک و ماسه (شاهد) و ۲- مخلوط خاک و ماسه همراه با ۳۰ درصد کمپوست قارچ مصرف شده ۳- مخلوط خاک و ماسه همراه با ۳۰ درصد ورمی‌کمپوست بودند و فاکتور دوم در دو سطح، ۱- تلقیح با قارچ *T. harizanum* T22 و بدون تلقیح (شاهد) بود. به منظور ایجاد زهکش مناسب، ابتدا ۲ سانتی‌متر شن درشت در ته گلدان‌ها ریخته شد. سپس بذرهای مرزه در گلدان‌های کوچک کشت شده و گیاهان در مرحله دو تا سه برگ حقیقی به گلدان‌های اصلی منتقل شدند. سایر مراقبت‌های رشد از قبیل آبیاری و وجین علف‌های هرز روی آنها انجام شد. در پایان آزمایش، صفات رویشی (ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن خشک ساقه و ریشه، تعداد و طول شاخه فرعی)، صفات فیزیولوژیکی (شاخص سبزینگی)، عناصرغذایی N، K، P، Mg و Zn استخراج و آنالیز اسانس تعیین گردید.

نتایج: نتایج نشان داد که اثرهای ساده کودهای آلی و قارچ تریکودرما بر شاخص‌های رشد رویشی و صفات کیفی نسبت به شاهد معنی‌دار بود. به‌طوری‌که بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی (۴/۸۲ گرم)، (۴/۸۷ گرم)، به‌ترتیب در تیمارهای ورمی‌کمپوست و مایه‌کوبی با تریکودرما حاصل گردید. بیشترین مقدار شاخص کلروفیل (۲۶/۸۶) در تیمار مایه‌کوبی با قارچ و ورمی کمپوست، بیشترین محتوای عناصر فسفر (۳۶۰۶/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم)، نیتروژن (۲/۵۵ درصد)، منیزیم (۶۴/۵۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار مایه‌کوبی با قارچ تریکودرما و در تیمار بسترهای آلی بیشترین میزان عناصر روی (۴۷/۸۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) نیتروژن (۳/۰۶ درصد) و فسفر (۴۱۴۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) در کاربرد ورمی‌کمپوست بدست آمد. بیشترین میزان کارواکرول (۷۱/۹۰ درصد)

در تیمار مایه‌کوبی با قارچ تریکودرما و بیشترین (۰/۵۹۹ میلی‌لیتر در گلدان) عملکرد اسانس در تیمار مایه‌کوبی با قارچ تریکودرما، همراه با بستر حاوی ورمی‌کمپوست حاصل گردید.
نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج بدست آمده، بستر آلی و قارچ تریکودرما می‌توانند به عنوان بستر و کود مناسبی برای افزایش عملکرد در کشت ارگانیک مرزه معرفی شوند.

واژه‌های کلیدی: اسانس، بستر آلی، قارچ تریکودرما، مرزه.

مقدمه

کشت گیاهان دارویی و معطر مانند مرزه از دیرباز دارای جایگاه ویژه‌ای بوده است. به‌طوری‌که بشر پس از تأمین نیازهای اولیه خود، در اثر مواجه با بیماری‌های ساده تا مزمن، از گیاهان برای تسکین و بهبود خود استفاده می‌کرد. بشر اولیه گیاهان سمی را از گیاهان غیر سمی تفکیک می‌نمود. با وجود پیشرفت‌های علوم شیمی و داروسازی، امروزه جوامع به استفاده از طب سنتی و مصرف گیاهان دارویی گرایش پیدا کرده‌اند (Omidbaigi, 2005).

کودهای آلی به‌ویژه کود ورمی‌کمپوست و کمپوست مصرف شده قارچ در مقایسه با کودهای شیمیایی دارای مقادیر زیادی مواد آلی هستند و به عنوان منابع غنی از عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌شمار می‌روند که این عناصر را به مرور در اختیار گیاهان قرار می‌دهند (Chaudhuri *et al*., 2001). مصرف کودهای بیولوژیک مانند قارچ میکوریز، میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات و ورمی کمپوست در یک سیستم مبتنی بر کشاورزی پایدار، موجب حفظ سلامت محیط‌زیست و افزایش کیفیت و پایداری عملکرد به‌ویژه در تولید گیاهان دارویی می‌شود (Kapoor *et al*., 2004).

امروزه اثبات شده است که این میکروارگانیسم‌ها علاوه بر کمک به جذب عناصرغذایی، موجب کاهش بیماری‌ها، بهبود ساختمان خاک، تحریک بیشتر رشد گیاه و افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌شوند (Nagananda *et al*., 2010). از آنجایی که قارچ‌های میکوریز موجب افزایش توانایی گیاه میزبان در جذب عناصر معدنی از خاک و به‌ویژه از منابع غیر قابل دسترس آنها می‌شوند، ازاین‌رو عقیده بر این است که این قارچ‌ها می‌توانند جایگزین خوبی برای قسمتی از کودهای شیمیایی مصرف شده به‌ویژه کودهای فسفاته در اکوسیستم‌های مختلف باشند (Silva *et al*., 2023). امروزه رویکرد جهانی در تولید گیاهان دارویی به سمت استقرار سیستم کشاورزی پایدار و بکارگیری روش‌های مدیریتی آنها می‌باشد، با وجود این، تحقیقات اندکی در مورد افزایش بازدهی تولید در واحد سطح و بهبود شاخص‌های رشد با استفاده از میکروارگانیسم‌ها انجام شده است. امروزه بکارگیری جانداران مفید خاکزی تحت عنوان کودهای زیستی به عنوان طبیعی‌ترین و مطلوب‌ترین راه حل برای زنده و فعال نگه‌داشتن سیستم حیاتی خاک در اراضی کشاورزی مطرح می‌باشد (Gupta *et al*., 2021).

استفاده از کودهای بیولوژیک مانند قارچ‌های میکوریز وزیکولار آربوسکولار، میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات و ورمی‌کمپوست در کشاورزی پایدار، علاوه بر افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک، باعث فراهم شدن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم شده که در نهایت منجر به بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شوند (Arancon *et al*., 2020). گونه‌های قارچ تریکودرما با سازوکارهای خاصی ازجمله کنترل بیولوژیکی بیماری‌های خاک با تولید و فعالیت آنزیم‌ها، تولید آنتی‌بیوتیک‌ها و نفوذ به بدن قارچ‌های بیماری‌زا باعث تحریک و افزایش رشد گیاه می‌شوند (Ahooi *et al*., 2020). علاوه بر این،

تریکودرما، به عنوان رایج‌ترین قارچ ساپروفیت در ریزوسفر، به عنوان یک قارچ انگلی برای سایر قارچ‌ها عمل می‌کند و می‌تواند به گیاهان در غلبه بر تنش‌های غیر زنده مانند خشکی، شوری، سرما و گرما کمک کند (Kakabouki *et al*., 2021). دسترسی این قارچ‌ها به عناصر غذایی نامحلول در خاک، برخی از اثرهای غیرمستقیم را بر روی گیاهان بر جای می‌گذارد و به‌دلیل توانایی آنها در جذب بیشتر عناصر غذایی، تأثیر مستقیم بر روی آنها دارد (Fazeli-Nasab *et al*., 2022). تریکودرما با ریشه گیاه تعامل دارد و ممکن است متابولیت‌های ثانویه شبیه اکسین تولید کند که منجر به بهبود رشد و عملکرد می‌شود (Vinale *et al*., 2008).

مرزه (*S. hortensis*) گیاهی علفی و یکساله از تیره نعناعیان (Lamiaceae) است که منشأ آن شرق مدیترانه و جنوب اروپاست (Rechinger, 1982). گونه‌های مختلف مرزه عموماً در مناطق با اقلیم مرطوب و خاک‌های عمیق تا مناطق با اقلیم خشک، آفتابی و خاک‌های سنگلاخی رشد می‌کنند (Hadian, 2013). مرزه از گیاهان دارویی و معطر مهم است که اسانس آن در صنایع داروسازی و غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. میزان ترکیبات مؤثره این گیاه با توجه به شرایط اقلیمی محل رویش و نوع تغذیه گیاه و تنش‌های محیطی متغیر خواهد بود.-Sabzi Nojadehو همکاران (۲۰۲۴) با بررسی کاربرد قارچ *T. harzianum* روی گیاه مرزه (*S. hortensis*) مهمترین اجزای اسانس را براساس میزان درصدشان به‌ترتیب کارواکرول (۵۳/۴۷ درصد)، گاما-ترپینن (۳۳/۴۴ درصد) و آلفا-ترپینن (۷/۲۵ درصد) گزارش کردند. بررسی‌های انجام شده در مورد استفاده از بسترهای کشت و قارچ تریکودرما به عنوان کودهای زیستی و تأثیر آن بر عملکرد گیاهان دارویی کمتر مورد توجه بوده است. ازاین‌رو این پژوهش، با هدف ارزیابی بررسی تأثیر بستر کشت آلی و قارچ تریکودرما بر خصوصیات رشد، عملکرد ماده خشک و اجزای اسانس مرزه (*S. hortensis*) انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت گلدانی در گلخانه آموزشی و پژوهشی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. به منظور ارزیابی تأثیر قارچ تریکودرما بر رشد، عملکرد و متابولیت‌های ثانویه گیاه مرزه، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. در این آزمایش، فاکتور اول بسترها در سه سطح، شامل ۱-مخلوط خاک و ماسه (شاهد) و ۲- مخلوط خاک و ماسه همراه با ۳۰ درصد کمپوست قارچ مصرف شده ۳- مخلوط خاک و ماسه همراه با ۳۰ درصد ورمی‌کمپوست بودند و فاکتور دوم در دو سطح، ۱- تلقیح با قارچ *T. harizanum* T22 و بدون تلقیح (شاهد) بود. برای انجام این آزمایش، بذر مرزه از گروه باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز تهیه گردید. ورمی‌کمپوست از شرکت زرین کود گرگان، پسماند کمپوست قارچ از شرکت تولید قارچ کیمیا واقع در شهرستان نمین، قارچ تریکودرما از شرکت زیست فناوران توران خریداری شد.

تهیه مایع تلقیح قارچ *T. harizanum*

گونه *T. harizanum* T22 در محیط PDA در زیر هود کشت شد، سپس برای رشد و اسپورسازی به مدت دو هفته در دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. برای جداسازی اسپورها و تهیه مایه تلقیح، به اندازه ۱۰ میلی‌لیتر محلول آب- توئین ۵ درصد به هر پتری‌دیش افزوده و پس از گردآوری اسپورهای قارچی هر پتری‌دیش، فراوانی آن به کمک لام نئوبار شمارش شده و سوسپانسیونی به غلظت ۱×۱۰^{۷} اسپور در میلی‌لیتر آماده گردید و سوسپانسیون قارچ چند روز پس از انتقال نشا به پای بوته تزریق شد.

آماده‌سازی بستر و کشت بذر

نحوه تهیه بسترهای گلدانی به این صورت بود که ابتدا

بستر کشت پایه شامل دو قسمت خاک و یک قسمت ماسه (نسبت حجمی ۲:۱ خاک مزرعه و ماسه) به خوبی با هم مخلوط و پس از آن درصدهای حجمی مورد نظر (۳۰ درصد) از پسماند کمپوست قارچ و (۳۰ درصد) ورمی‌کمپوست جداگانه با این ترکیب خاکی مخلوط گردید. برخی ویژگی‌های خاک، ورمی‌کمپوست و پسماند قارچ مورد استفاده در جدول (۱) ارائه شده است. یادآوری می‌شود که خاک، پسماند کمپوست قارچ و ورمی‌کمپوست قبل از استفاده با الک ۰/۵ سانتی‌متری غربال شدند. به منظور ایجاد زهکش مناسب، ابتدا ۲ سانتی‌متر شن درشت در ته گلدان‌ها ریخته شد. ابتدا بذرهای مرزه در گلدان‌های کوچک کشت شده، سپس گیاهان در مرحله دو تا سه برگ حقیقی به گلدان‌های اصلی منتقل گردید. سپس سایر مراقبت‌های رشد از قبیل آبیاری و وجین علف‌های هرز روی آنها انجام شد. در پایان آزمایش، صفات رویشی (ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن خشک ساقه و ریشه، تعداد و طول شاخه فرعی)، صفات فیزیولوژیکی (شاخص سبزینگی)، عناصر غذایی N، K، P، Mg و Zn استخراج و آنالیز اسانس و عملکرد اسانس تعیین گردید.

جدول ۱- برخی خواص فیزیکی و شیمیایی ورمی‌کمپوست، پسماند قارچ و خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Some physicochemical properties of vermicompost, mushroom compost waste, and soil used in the experiment

Culture medium	Silt (%)	Sand (%)	Clay (%)	K ($mg.kg^{-1}$)	EC ($dS.m^{-1}$)	pH	Organic matter (%)	Organic carbon (%)
Mushroom compost waste	21	64	15	43.7	2.37	7.7	1.98	1.15
Vermicompost	18	68	14	48.7	1.07	7.3	2.89	1.68
Soil (Control)	20	64	16	25.9	0.16	8	0.91	0.53

پارامترهای رویشی

در پایان دوره آزمایش، به منظور بررسی اثر تیمار با بسترهای آلی و مایه‌کوبی با قارچ تریکودرما بر ویژگی‌های رشدی گیاه مرزه، گیاهان از هر واحد آزمایشی به‌طور تصادفی انتخاب و صفاتی مانند ارتفاع بوته (توسط خط‌کش)، وزن تر و خشک شاخساره، وزن تر و خشک ریشه (به وسیله ترازوی دیجیتالی) اندازه‌گیری گردید. برای تعیین وزن خشک، قسمت‌های رویشی به‌طور جداگانه در داخل آون (دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت) قرار داده شدند و در نهایت وزن خشک آنها محاسبه گردید.

شاخص سبزینگی

به منظور اندازه‌گیری شاخص سبزینگی، از هر گیاه سه برگ به صورت تصادفی انتخاب و قرائت گردید و میانگین اعداد بدست آمده به عنوان میزان شاخص سبزینگی مد نظر قرار گرفت. این کار در طی دوره رشد با استفاده از کلروفیل‌متر (مدل CCM200 ساخت کشور آمریکا) انجام شد.

عناصر غذایی

به منظور تعیین عناصر غذایی اندام هوایی گیاهان، از روش سوزاندن خشک و ترکیب با اسید کلریدریک استفاده گردید. روش کار به این صورت بود که یک گرم نمونه خشک و پودر شده گیاه را با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین و در بوته چینی ریخته و در کوره قرار داده شد. درجه حرارت کوره را روی ۶۰۰- ۵۵۰ درجه سانتیگراد تنظیم کرده و دو ساعت در این دما نگه‌داشته شدند تا

خاکستر گیاهان به رنگ سفید درآید، پس از سرد شدن بوته‌ها، ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ مولار به آن اضافه شد، سپس با حرارت دادن ملایم کروزه روی حمام بن‌ماری، مواد خاکستر شده در اسید حل شدند. محلول تهیه شده را از قیف و کاغذ صافی واتمن ۴۲ به داخل بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتر عبور داده شد تا صاف گردد. سپس برای اندازه‌گیری فسفر، پتاسیم و منیزیم مورد استفاده قرار گرفت. میزان فسفر برگ‌ها با استفاده از روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات وانادات) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۶/۵ و مقادیر پتاسیم به روش نشر شعله‌ای و با کمک دستگاه فلیم فتومتر (مارک JENWAY، ساخت کشور انگلستان) اندازه‌گیری شد (Hamada & EL- enany 1994). اندازه‌گیری نیتروژن با استفاده از دستگاه گرهارد و به روش کجلدال که شامل سه مرحله هضم، تقطیر و تیتراسیون می‌باشد، انجام شد.

اندازه‌گیری اجزای تشکیل‌دهنده اسانس

به منظور استخراج اسانس، حدود ۴۰ گرم از نمونه‌های برگ و سرشاخه گل‌دهنده پس از دستیابی به رطوبت حدود ۱۰ تا ۱۴ درصد که به خوبی خرد شده بود در دستگاه کلونجر به مدت ۲ ساعت حرارت داده شد. اسانس به دست آمده توسط سولفات سدیم خشک شد و برای شناسایی ترکیب‌های اسانس‌ها از دستگاه‌های گاز کروماتوگرافی(GC) مدل 7890B ساخت کشور آمریکا و گاز کروماتوگرافی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC/MS) مدل 5977A، متصل شده به دستگاه طیف‌سنج جرمی Satuorn ll استفاده گردید. از ستون موئینه DB-5 ساخت شرکت J&W به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۲۵۰ میکرومتر با ضخامت سطح داخلی ۰/۲۵ میکرومتر استفاده شد. برنامه‌ریزی حرارتی ستون از دمای اولیه ۶۰ درجه سانتی‌گراد تا دمای نهایی ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد بود که در هر دقیقه ۳ درجه سانتی‌گراد به آن افزوده شد. نوع گاز حامل و فشار ورودی آن به ستون، هلیوم با درجه خلوص ۹۹/۹۹۹ درصد که فشار ورودی آن به ستون، برابر ۳ کیلوگرم بر سانتیمترمربع تنظیم شده بود. شناسایی طیف‌ها به کمک شاخص‌های بازداری آنها که با تزریق هیدروکربن‌های نرمال (C7-C 25) تحت شرایط یکسان با تزریق اسانس‌ها و توسط برنامه رایانه‌ای نوشته‌شده به زبان بیسیک محاسبه گردید.

تجزیه آماری داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده

برای انجام تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های صفات اندازه‌گیری شده از نرم‌افزار SAS ۹/۱ استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و رسم نمودار نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس، تأثیر بسترهای کشت آلی و تلقیح با قارچ تریکودرما روی صفات مورفولوژیکی گیاه مرزه (جدول ۲) نشان داد که اثر بستر کاشت روی صفاتی مانند ارتفاع گیاه، تعداد شاخه جانبی، سطح برگ، وزن خشک ریشه و ساقه و طول شاخه جانبی معنی‌دار بود. همچنین اثر تلقیح با قارچ تریکودرما برای تمام صفات به غیر از وزن خشک ریشه و طول شاخه جانبی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. جدول مقایسه میانگین مربوط به تأثیر تیمار بستر کاشت بر ارتفاع گیاهان نشان داد که بیشترین ارتفاع گیاه (۴۷/۰۲ سانتی‌متر) مربوط به گیاهان کشت شده در بسترهای حاوی ورمی‌کمپوست بود که با گیاهان کشت شده در بستر پسماند کمپوست قارچ تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین مقدار ارتفاع (۲۶/۲۳ سانتی‌متر) مربوط به گیاهان پرورش یافته در بستر شاهد بود (جدول ۳). همچنین براساس نتایج مقایسه میانگین مربوط به اثر ساده تلقیح با قارچ تریکودرما، گیاهان تلقیح شده با قارچ تریکودرما با بیشترین ارتفاع (۴۴ سانتی‌متر) نسبت به شاهد (۳۲/۷۶ سانتی‌متر) تفاوت

معنی‌داری نشان داد (جدول ۴). براساس نتایج بدست آمده، اثر ساده تیمارهای محیط کشت و تلقیح با قارچ بر تعداد شاخه‌های جانبی تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۲). همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین و کمترین تعداد شاخه‌های جانبی به‌ترتیب (۹/۳۳) و (۵) در گیاهان کشت شده در محیط حاوی ورمی‌کمپوست و گیاهان شاهد بدست آمد (جدول۳). همچنین نتایج مقایسه میانگین اثرهای ساده تلقیح با قارچ نشان داد که بیشترین تعداد شاخه‌های جانبی در گیاهان تلقیح شده با قارچ تریکودرما (۹/۱۱) و کمترین میزان آن (۵/۸۸) در گیاهان بدون مایه‌کوبی با قارچ بدست آمد (جدول ۴).

مقایسه میانگین تأثیر بسترهای کشت آلی نشان داد که بیشترین میزان سطح برگ (۱۲۱۵/۵ میلی‌متر مربع) مربوط به گیاهان در بستر ورمی‌کمپوست بود که تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت و کمترین میزان سطح برگ (۸۳۲/۵ میلی‌متر مربع) در بستر کمپوست پسماند مشاهده گردید (جدول ۳). همچنین براساس نتایج مقایسه میانگین اثر ساده تلقیح با قارچ، گیاهان تلقیح شده با قارچ تریکودرما بیشترین میزان سطح برگ (۱۱۵۸/۴۴ میلی‌متر مربع) را داشتند که تفاوت معنی‌داری با شاهد (۹۶۶/۵۶ میلی‌مترمربع) نشان دادند (جدول ۴).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین (جدول‌های ۳ و ۴) تأثیر بستر کشت آلی بر وزن خشک ریشه و شاخساره مرزه مشخص گردید که بیشترین مقدار وزن خشک ریشه و شاخساره به ترتیب (۰/۴۴ و ۴/۸۲ گرم) مربوط به گیاهان رشد کرده در بستر ورمی‌کمپوست بود که تفاوت معنی‌داری با بستر حاوی پسماند نداشتند و کمترین مقدار برای این صفات به ترتیب (۰/۲۲ و ۳/۲۴ گرم) مربوط به شاهد بود. همچنین اثر ساده تلقیح با قارچ تریکودرما بر وزن خشک ساقه نشان داد که بیشترین مقدار ساقه (۴/۸۷ گرم) برای گیاهان تلقیح شده با قارچ و کمترین (۳/۶۴ گرم) میزان آن مربوط به گیاه شاهد بود.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تأثیر بسترهای کشت آلی و تلقیح با قارچ تریکودرما نشان داد که بیشترین مقدار طول شاخه جانبی (۲۶/۸۶ سانتی‌متر) برای گیاهان پرورش یافته در بستر ورمی‌کمپوست حاصل شد که با قارچ تریکودرما تلقیح شده بودند و کمترین مقدار طول شاخه جانبی (۱۷/۲۳ سانتی‌متر) مربوط به گیاهان پرورش یافته در بستر بدون کود آلی و بدون تلقیح بود (جدول ۵).

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر بستر کشت و قارچ تریکودرما بر برخی صفات مورفولوژیکی مرزه (***Satureja hortensis***)

Table 2. ANOVA of cultivation medium and *Trichoderma* effects on some *Satureja hortensis* morphological traits

		M.S.							
S.O.V.	**d.f.**	**Plant height**	**Number of lateral branches**	**Leaf area**	**Root dry weight**	**Stem dry weight**	**Carotenoids**	**Greening index**	**Lateral branches length**
Cultivation medium (M)	2	710^{**}	30.16^{**}	246714^{**}	0.08^{**}	4.69^{*}	2.09^{ns}	0.63^{*}	47.33^{*}
Trichoderma (T)	1	588.58^{**}	46.72^{**}	165696^{**}	0.004^{ns}	6.84^{**}	4.43^{**}	2.26^{**}	2.40^{ns}
M×T	2	14.80^{ns}	1.7^{ns}	18819.5^{ns}	$5\times10\text{-}2^{ns}$	0.22^{ns}	0.66^{ns}	0.61^{*}	2.52^{*}
Experimental error	12	0.18	2.33	17667.61	5×10-3	0.77	1.07	0.94	11.62
C.V. (%)		16.35	20.36	12.51	19.87	20.73	25.09	18.46	15.98

$^{n.s.}$, *, and **: non-significant, significant at 5, and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر بستر کشت بر برخی صفات مورفولوژیکی مرزه (***Satureja hortensis***)

Table 3. Means comparison of cultivation medium effects on some *Satureja hortensis* morphological traits

Cultivation medium	**Plant height (cm)**	**Number of lateral branches**	**Leaf area (mm^2)**	**Root dry weight (g)**	**Stem dry weight (g)**
Soil (Control)	26.32^{b}	5^{b}	1139.5^{a}	0.22^{b}	3.24^{b}
Vermicompost	47.02^{a}	9.33^{a}	1215^{a}	0.44^{a}	4.82^{a}
Mushroom compost waste	42.02^{a}	8.16^{a}	832.5^{b}	0.42^{a}	4.71^{a}

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر قارچ تریکودرما بر برخی صفات مورفولوژیکی مرزه (*Satureja hortensis*)

Table 4. Means comparison of *Trichoderma* effects on some *Satureja hortensis* morphological traits

Treatment	Plant height (cm)	Number of lateral branches	Leaf area (mm^2)	Stem dry weight (g)
Control (Non-inoculated)	32.76 [b]	5.88[b]	966.56[b]	3.64b
Trichoderma	44.2[a]	9.11[a]	1158.44[a]	4.87[a]

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

شاخص سبزینگی

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تأثیر بسترهای کشت آلی و تلقیح با قارچ تریکودرما در جدول (۵) نشان داد که بیشترین مقدار شاخص سبزینگی (۲/۵۳) مربوط به گیاهان تلقیح شده با قارچ تریکودرما است که در بستر ورمی‌کمپوست پرورش یافته بودند و کمترین مقدار آن (۱/۲۸) مربوط به گیاهان رشد کرده در بستر بدون کود آلی و بدون تلقیح با قارچ بود (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر بسترکشت × قارچ تریکودرما بر شاخص سبزینگی و طول شاخه‌های جانبی مرزه (*Satureja hortensis*)

Table 5. Means comparison of cultivation medium × *Trichoderma* effects on greening index and lateral branches length of *Satureja hortensis*

Cultivation medium	Treatment	Greening index (CCM200)	Lateral branches length (cm)
Mushroom compost waste	Non-inoculated	1.38[b]	19.66[bc]
	Inoculated with fungus	2.37[a]	24.4[a]
Vermicompost	Non-inoculated	1.46[b]	21.26 [abc]
	Inoculated with fungus	2.53[a]	26.86[a]
Soil (Control)	Non-inoculated	1.28[b]	18.56[c]
	Inoculated with fungus	1.35[b]	23.17[bc]

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

عناصر غذایی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر بسترهای کشت آلی و تلقیح با قارچ تریکودرما روی عناصر گیاه مرزه (جدول ۶) نشان داد که اثر ساده بستر کاشت روی عناصر نیتروژن و روی در سطح احتمال ۵ درصد، بر فسفر در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده است. همچنین اثر ساده تلقیح با قارچ تریکودرما نشان داد که تلقیح با قارچ تریکودرما، برای عناصر پتاسیم و فسفر و منیزیم در سطح احتمال ۵ درصد تأثیر معنی‌دار داشته است، در حالی که اثر متقابل این دو فاکتور برای هیچ‌یک از عناصر مذکور معنی‌دار نبود (جدول ۶).

نیتروژن

نتایج مقایسه میانگین تأثیر بسترهای کشت آلی بر میزان نیتروژن نشان داد که بیشترین مقدار برای این عنصر (۳/۰۶ درصد) مربوط به گیاهان کشت شده در بستر ورمی‌کمپوست بود که تفاوت معنی‌داری با گیاهان موجود در بستر پسماند کمپوست قارچ نداشت و کمترین مقدار (۲/۲۶ درصد) برای گیاهان موجود در بستر شاهد بود (جدول ۷). همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر ساده مایه‌کوبی با قارچ نشان داد که بیشترین میزان نیتروژن (۴/۰۱ درصد) در گیاهان تلقیح شده با قارچ مشاهده گردید (جدول ۸).

پتاسیم

نتایج بدست آمده از جدول ۶ تجزیه واریانس نشان داد که فقط تیمار مایه‌کوبی با قارچ تریکودرما تأثیر معنی‌داری بر میزان پتاسیم اندام هوایی گیاه مرزه داشت. نتایج مقایسه میانگین تلقیح با قارچ تریکودرما بر عنصر پتاسیم نشان داد که بیشترین غلظت پتاسیم (۴/۰۱ درصد) در گیاهان تلقیح شده بود که تفاوت معنی‌داری با گیاهان تلقیح نشده داشت (جدول ۸).

فسفر

مقایسه میانگین تأثیر بسترهای کشت آلی بر غلظت فسفر نشان داد این عنصر در بستر ورمی‌کمپوست بیشترین مقدار (۴۱۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین مقدار (۲۹۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در بستر شاهد را داشت که با بستر گیاهان پرورش یافته در بستر پسماند کمپوست قارچ تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۷). در تلقیح با قارچ تریکودرما بیشترین مقدار فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم ۳۶۰۶) مربوط به گیاهان تلقیح شده بود که تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت (جدول۸).

منیزیم

مقایسه میانگین مربوط به تلقیح با قارچ تریکودرما روی مقدار منیزیم گیاهان مرزه نشان داد که بیشترین مقدار منیزیم (۶۴/۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) برای گیاهان تلقیح شده با قارچ بود که اختلاف معنی‌داری با شاهد (۵۹/۹۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) داشت (جدول ۸).

روی

مقایسه میانگین تأثیر بسترهای کشت آلی بر محتوای عنصر روی نشان داد که بیشترین مقدار برای این عنصر (۴۸/۸۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به بستر ورمی‌کمپوست بود که تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت و کمترین مقدار روی (۳۵/۹۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در گیاهان پرورش یافته در بستر حاوی پسماند کمپوست قارچ حاصل شد (جدول ۷).

جدول ۶- تجزیه واریانس تأثیر بستر کشت و قارچ تریکودرما بر محتوای عناصر غذایی بخش هوایی و عملکرد اسانس مرزه (***Satureja hortensis***)

Table 6. ANOVA of cultivation medium and *Trichoderma* effects on aerial parts nutrient content and *Satureja hortensis* essential oil yield

		M.S.					
S.O.V.	**d.f.**	**N**	**K**	**P**	**Mg**	**Zn**	**Essential oil yeild**
Cultivation medium (M)	2	1.20^{*}	0.31^{ns}	2519^{**}	223.24^{ns}	271.81^{*}	0.086^{**}
Trichoderma (T)	1	0.92^{ns}	0.68*	7264^{*}	94.97^{*}	88.75^{ns}	0.068^{**}
M×T	2	0.05^{ns}	0.09^{ns}	7269^{ns}	4.13^{ns}	16.2^{ns}	0.009^{*}
Experimental error	12	0.30	0.15	15972	78.94	64.03	0.001
C.V. (%)		17.08	18.39	11.73	14.27	18.39	10

$^{n.s.}$, *, and **: non-significant, significant at 5, and 1% probability levels, respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین تأثیر بستر کشت بر محتوای عناصر غذایی بخش هوایی مرزه (***Satureja hortensis***)

Table 7. Means comparison of cultivation medium effects on *Satureja hortensis* aerial parts nutrient content

Cultivation medium	**N (%)**	**P (mg.kg^{-1})**	**Zn (mg.kg^{-1})**
Soil (Control)	2.26^{b}	2930^{b}	45.69^{ab}
Vermicompost	3.068^{a}	4143^{a}	48.87^{a}
Mushroom compost waste	3.016^{a}	3124^{b}	35.95^{b}

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

جدول ۸- مقایسه میانگین تأثیر قارچ تریکودرما بر محتوای عناصر غذایی بخش هوایی مرزه (***Satureja hortensis***)

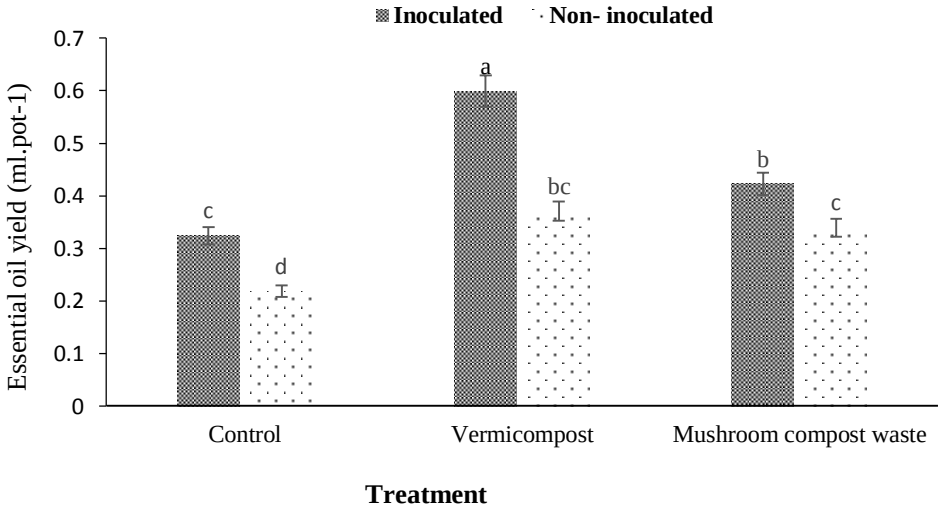
Table 8. Means comparison of *Trichoderma* effects on *Satureja hortensis* aerial parts nutrient content

Trichoderma	**K (%)**	**P (mg.kg^{-1})**	**Mg (mg.kg^{-1})**
Non-inoculated (Control)	2.55^{b}	3204^{a}	59.96^{b}
Inoculated with fungus	4.01^{a}	3606^{a}	64.55^{a}

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

عملکرد اسانس

نتایج بدست آمده نشان داد که کاربرد بسترهای آلی کشت و قارچ تریکودرما در سطح احتمال ۱ درصد و عمل متقابل این دو عامل بر عملکرد اسانس مرزه در سطح احتمال ۵ درصد تأثیر معنی‌داری داشته است (جدول ۶). بعلاوه نتایج مقایسات میانگین‌ها نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد اسانس (۰/۵۹۹ و ۰/۲۱۸ میلی‌لیتر در گلدان) در گیاهان مایه‌کوبی شده با قارچ تریکودرما همراه با بستر حاوی ورمی‌کمپوست و گیاهان بدون مایه‌کوبی و بستر بدون مواد آلی بدست آمد (نمودار ۱).



شکل ۱- مقایسه میانگین تأثیر بستر کشت × قارچ تریکودرما بر عملکرد اسانس مرزه (***Satureja hortensis***)

Figure 1. Means comparison of cultivation medium × *Trichoderma* on *Satureja hortensis* essential oil yield

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

اجزای اسانس

با توجه به نتایج آنالیز طیف‌سنجی جرمی، ۲۰ ترکیب از اجزای تشکیل‌دهنده اسانس مرزه شناسایی گردید که میزان درصد آنها در تیمارهای مختلف در جدول ۹ ارائه شده است. سه ترکیب اصلی اسانس مرزه در این تحقیق براساس میزان درصدشان شامل کارواکرول، گاما ترپینن و آلفا ترپینن بودند. بالاترین میزان کارواکرول (۷۱/۹۰ درصد) در تیمار کاربرد قارچ تریکودرما و بستر شاهد و گاماترپینن (۲۰/۲ درصد) در تیمار کاربرد تریکودرما و بسترهای حاوی پسماند قارچ و آلفا ترپینن (۷/۶ درصد) در تیمار کاربرد قارچ تریکودرما و پسماند قارچ حاصل شد و کمترین مقدار کارواکرول (۶۳/۲۴ درصد) در تیمار بدون قارچ تریکودرما

و بستر حاوی پسماند، گاماترپینن (۱۵/۷ درصد) در تیمار بدون تریکودرما و پسماند و آلفا ترپینن (۱/۹۰ درصد) در تیمار بدون تریکودرما و در بستر بدون مواد آلی بدست آمد (جدول ۹).

جدول ۹- تأثیر محیط کشت و قارچ تریکودرما بر اجزای اسانس مرزه (*Satureja hortensis*)

Table 9. Cultivation medium and *Trichoderma* effects on *Satureja hortensis* essential oil compounds

N	Compound	RI	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
1	α-thujene	924	1.2	0.1	1.2	0.9	0.5	0.7
2	α-pinene	934	0.5	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2
3	camphene	947	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
4	sabinene	971	0.1	0.4	0.1	0.1	-	0.1
5	β-pinene	976	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
6	α-phellandrene	1004	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
7	delta-3-carene	1007	0.6	0.1	0.1	0.1	0.9	0.8
8	α-terpinene	1011	**4**	**7.6**	**2.9**	**3.6**	**4.1**	**1.9**
9	*β*-cymene	1024	1.4	1.3	1.4	1.2	0.7	0.4
10	β-bisabolene	1028	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4
11	γ-terpinene	1057	**20**	**20.2**	**15.2**	**15**	**19**	**18.3**
12	α-terpineol	1197	0.1	0.1	0.1	-	0.1	-
13	carvacrol	**1288**	**65.7**	**64**	**70.9**	**63.9**	**62.2**	**69.2**
14	thymol	1266	2.5	2.6	2.4	2.1	1.9	1.8
15	carvacryl acetate	1345	0.5	0.2	0.3	0.4	0.2	0.1
16	(*Z*)-caryophyllene	1419	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.4
17	(*E*)-caryophyllene	1424	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	-
18	germacrene B	1542	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2
19	spathulenol	1578	0.7	-	0.7	0.6	0.5	0.5
20	caryophyllene oxide	1580	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4

T_1: *Trichoderma* and Vermicompost, T_2: *Trichoderma* and Mushroom compost, T_3: *Trichoderma* and Control (Soil), T_4: Non-*Trichoderma* and Vermicompost, T_5: Non-*Trichoderma* and Mushroom compost, and T_6: Non-*Trichoderma* and control (Soil).

بحث

براساس نتایج بدست آمده از این تحقیق، استفاده از ترکیب‌های آلی در بستر کشت، بیشتر صفات رویشی را به‌طور معنی‌داری افزایش داد و در تمام موارد استفاده از ورمی‌کمپوست باعث افزایش بیشتری در ارتفاع بوته، وزن خشک ساقه و ریشه شد. همچنین نتایج بدست آمده در رابطه با تأثیر قارچ تریکودرما بر شاخص‌های رشد رویشی نشان داد که کاربرد قارچ نیز موجب افزایش صفات رویشی گردید. کودهای آلی (ورمی‌کمپوست و کمپوست) می‌توانند رشد گیاه را از طریق بهبود جذب

عناصر غذایی، سطح برگ و ظرفیت فعالیت فتوسنتزی افزایش دهند (Rahimi *et al*., 2023). از آنجایی که رشد و نمو گیاه وابسته به پارامترهای حاصلخیزی خاک می‌باشد، به نظر می‌رسد که بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی بستر کشت به وسیله ورمی‌کمپوست دلیل افزایش رشد گیاه نسبت به تیمار شاهد باشد (Rashtbari & Alikhani, 2013). Rizvani Moghadam و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی که در مورد اثر کودهای بیولوژیک و آلی را بر صفات کمی و کیفی گیاه مرزه انجام دادند، گزارش کردند که اعمال این تیمارها ارتفاع گیاه، عملکرد ساقه، عملکرد سرشاخه گلدار و عملکرد بیولوژیک و اسانس را به‌طور معنی‌داری افزایش داد که این با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارد. قارچ تریکودرما، فاکتورهای رشدی مانند اکسین، سیتوکنین، مولکول‌های شبیه سیتوکنین و جیبرلین را تولید می‌کند که باعث افزایش رشد ریشه و توسعه گیاه می‌شوند (Azarmi *et al*., 2011). مشابه نتایج این تحقیق، در اثر مایه‌کوبی گیاه مرزه (*S. hortens*) با قارچ *T. harzianum* پارامترهای رشدی مانند ارتفاع بوته، طول ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه به‌طور معنی‌داری در مقایسه با گیاهان مایه‌کوبی نشده افزایش یافتند (Sabzi-Nojadeh *et al*., 2024).

همچنین در تحقیق دیگری استفاده از گونه *T. harzianum* ارتفاع ساقه، قطر ساقه، وزن تر و خشک ریشه و ساقه در گیاه گوجه فرنگی را بهبود بخشیده است (Azarmi *et al* ., 2011). در تحقیقی با کاربرد قارچ تریکودرما به همراه ورمی‌کمپوست بر گیاه کرفس (*Apium graveolens*) نتایج حاصل از این تحقیق حکایت از اثر مثبت کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و قارچ تریکودرما داشت. به‌طوری‌که بیشترین وزن خشک ساقه (۴۹/۲۳ گرم)، تعداد برگ (۴۶ عدد)، قطر ساقه (۱۵میلی‌متر) در کاربرد ورمی‌کمپوست و قارچ تریکودرما نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد (Ahooi *et al*., 2020).

نتایج این تحقیق نشان داد، کاربرد قارچ تریکودرما همراه با ورمی‌کمپوست موجب افزایش شاخص کلروفیل گردید. نیتروژن یکی از اجزاء ضروری در مولکول کلروفیل است. با توجه به اینکه نیتروژن بخشی از کلروفیل را تشکیل می‌دهد و در ساختمان اسیدهای آمینه شرکت دارد، افزایش جذب این عنصر در اثر استفاده از کود شیمیایی حاوی نیتروژن و یا کودهای زیستی دارای نیتروژن مانند ورمی‌کمپوست، می‌تواند در افزایش میزان کلروفیل نقش مهمی داشته باشد (Argüello *et al*., 2006). در راستای نتایج این تحقیق، Ahooi و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند که کاربرد قارچ تریکودرما به همراه ورمی‌کمپوست بر گیاه کرفس (*Apium graveolens*) موجب افزایش میزان کلروفیل و کارتنوئید نسبت به تیمار شاهد گردید (Ahooi *et al*., 2020). کودهای آلی (ورمی‌کمپوست و کمپوست) می‌توانند رشد گیاه و جذب فتوسنتز را با افزایش سطح برگ و ظرفیت فتوسنتزی در مرحله قبل از گل‌دهی افزایش دهند (Rahimi *et al*., 2023).

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد بستر کاشت بر میزان جذب عناصر نیتروژن، فسفر، و روی معنی‌دار بود که در اغلب آنها بستر ورمی‌کمپوست موجب افزایش مقدار عناصر شد. همچنین براساس نتایج بدست آمده تریکودرما موجب بهبود جذب عناصری از قبیل پتاسیم، فسفر و منیزیم در مقایسه با شاهد گردید. ورمی‌کمپوست به‌عنوان کود آلی به‌طور گسترده‌ای برای بهبود ویژگی‌های خاک از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب و تسهیل در دسترس بودن عناصر غذایی برای گیاهان استفاده می‌شود (Khosropour *et al*., 2021). همچنین طبق نتایج Sheikhi و همکارن (۲۰۱۴) کاربرد ورمی‌کمپوست، غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و منیزیم را در اندام هوایی اسفناج (*Spinacia oleracea*) افزایش داده است. Adinarayana و Kumar (۲۰۰۶) با مطالعه کاربرد ورمی‌کمپوست بر رشد سبزی‌های برگی نشان دادند که افزودن ورمی‌کمپوست به خاک باعث افزایش جذب

عنصر روی در گیاهان می‌شود، آنان بیان کردند با توجه به اینکه ساخت ایندول استیک اسید به‌طور غیرمستقیم تحت تأثیر روی می‌باشد و به‌دلیل غنی بودن ورمی کمپوست از عنصر روی، با افزایش جذب این عنصر و تأثیر در ساخت هورمون ایندول استیک اسید باعث افزایش رشد ریشه و افزایش ماده خشک می‌گردد.

مقایسه تیمار ورمی‌کمپوست و خاک با تیمار کمپوست و خاک که بیانگر تأثیر کرم خاکی در جذب نیتروژن توسط گیاه با مقدار مشابه کمپوست زباله بود، ۱۳٪ جذب بیشتر نیتروژن توسط گیاه را نشان داد که به دلیل فراهمی بیشتر نیتروژن در تیمار ورمی‌کمپوست است (Jeyabal & Kuppswamy, 2001).

در این تحقیق، نتایج بدست آمده مربوط به تلقیح قارچ تریکودرما نشان داد که این تیمار موجب افزایش میزان عناصر پتاسیم، فسفر و منیزیم گردید.

در اثر مایه‌کوبی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*) با قارچ تریکودرما بیشترین میزان جذب فسفر (۰/۰۰۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، پتاسیم (۰/۰۱۹ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) و نیتروژن (۰/۰۱۶۷ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در گیاهان تلقیح شده مشاهده گردید (Salahiostad & Selahvorzi, 2022). در تحقیق دیگری، افزایش میزان جذب عناصر غذایی از قبیل فسفر، پتاسیم و روی در گیاه پسته (*Pistacia vera* L.) تلقیح شده با قارچ تریکودرما گزارش شده است (Hosseinzeynali *et al*., 2020). ویژگی حل‌کنندگی فسفات و روی (Devi *et al*., 2020) و تولید اکسین (Sirrenberg *et al*., 2007) از مهمترین ویژگی‌های قارچ‌های محرک رشد می‌باشد. قارچ تریکودرما با ترشح برخی اسیدهای آلی مانند اسید گلوکونیک، سیتریک اسید و فوماریک اسید در ریزوسفر موجب کاهش pH و افزایش حلالیت ترکیب‌های نامحلول مانند روی، فسفر و افزایش جذب آنها توسط گیاه می‌شود (Kakabouki *et al*., 2021).

براساس نتایج بدست آمده می‌توان بیان کرد مایه‌کوبی گیاهان با قارچ تریکودرما در بستر حاوی ورمی‌کمپوست از طریق بهبود جذب عناصر غذایی بر میزان ماده خشک گیاه تأثیر مثبتی گذاشته است و موجب افزایش معنی‌دار عملکرد اسانس نسبت به تیمار شاهد شده است. هنگامی که کمپوست به خاک اضافه می‌شود بر اثر ایجاد تغییرات در خصوصیات شیمیایی خاک، حلالیت عناصر را افزایش داده که پیامد آن جذب بیشتر این عناصر توسط گیاه و بهبود عملکرد گیاه است (Mumivand *et al*., 2011). در راستای نتایج این تحقیق، بیشترین (۴/۴۵ گرم در مترمربع) و کمترین (۲/۰۸ گرم در مترمربع) عمکرد اسانس گیاه آویشن (*Thymus vulgaris* L.) به‌ترتیب با کاربرد ورمی‌کمپوست و بستر بدون کود آلی گزارش شده است (Rahimi *et al*., 2023). مطابق با نتایج این تحقیق، مایه‌کوبی گیاه نعناع (*Mentha arvensis*) با قارچ تریکودرما (*T. harzianum*) موجب افزایش عملکرد اسانس در مقایسه با گیاهان مایه‌کوبی نشده گردید، به‌طوری‌که مایه‌کوبی با قارچ از طریق بهبود جذب عناصر غذایی و پارامترهای رشدی موجب افزایش عملکرد اسانس شده است (Singh *et al*., 2019).

نتایج حاصل از آنالیز اسانس گیاه مرزه نشان داد که بستر کشت آلی بر روی بیشتر ترکیب‌ها تأثیر مثبتی داشته است. در رابطه با بهبود میزان ترکیب‌های اسانس گیاه مرزه در اثر مصرف ورمی‌کمپوست و کمپوست پسماند قارچ، می‌توان اظهار داشت از آنجایی که اسانس‌ها ترکیب‌های ترپنوئیدی بوده که واحدهای سازنده آنها نیاز مبرم به ATP و NADPH دارند، بنابراین افزایش مقادیر ورمی‌کمپوست از طریق فراهم نمودن جذب بیشتر فسفر و نیتروژن که در اجزاء تشکیل دهنده اسانس مرزه حضور دارند موجب افزایش میزان اسانس می‌شود (Sefidkon, 2005). در تحقیقی، کاربرد ۲ تن در هکتار ورمی‌کمپوست در گیاه مرزه تابستانی موجب افزایش میزان ترکیب‌هایی مانند کارواکرول، گاما ترپینن و آلفا ترپینن در مقایسه با بستر بدون ورمی‌کمپوست گردید (Heidarpour *et al*., 2019). تأمین میزان کافی عناصر نیتروژن و فسفر و

فتوسنتز کافی برای تشکیل ترکیب‌های ترپینوئیدی ضروری است و با توجه به نتایج حاصل از تحقیقات متعدد در رابطه با سازوکار عمل میکروارگانیسم‌های محرک رشد روی گیاهان، می‌توان نتیجه گرفت که کود زیستی بکار برده شده از طریق بهبود جذب عناصر پرمصرف از قبیل نیتروژن و فسفر باعث افزایش میزان کلروفیل و تأمین آنزیم‌های مورد نیاز گیاه و باعث افزایش میزان بافت‌های فتوسنتزکننده و در نهایت افزایش اسانس شده‌اند (Saki *et al.*, 2019). استفاده از کودهای آلی مانند کمپوست ممکن است موجب بهبود ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) و افزایش در دسترس بودن برخی از عناصر مانند نیتروژن شود که هم منجر به افزایش ماده خشک شده، هم باعث افزایش غلظت ترکیب‌های فیتوشیمیایی گیاهان شوند (Heidarpour *et al.*, 2019).

ترشح اسیدهای آلی مانند گلوکونیک اسید، اسید سیتریک و فوماریک اسید توسط گونه‌های تریکودرما موجب کاهش pH خاک و در نهایت افزایش حلالیت و جذب ریزمغذی‌های مهم مورد نیاز برای رشد گیاهان مانند آهن، منگنز، منیزیم، کاتیون‌های معدنی و فسفات‌ها می‌شود (Bentiz *et al.*, 2004). در تحقیقی، بیشترین محتوای اسانس (۴۲/۱۱ درصد بیشتر از کنترل) در گیاهان تلقیح شده با قارچ تریکودرما و باکتری باسیلوس فلکسس (*Bacillus flexus*) بدست آمد. همچنین عملکرد اسانس در هر گلدان با تلقیح منفرد قارچ تریکودرما و باکتری باسیلوس فلکسس به‌طور قابل توجهی افزایش یافت، در حالی که استفاده از ترکیب قارچ تریکودرما و باکتری باسیلوس فلکسس باعث افزایش بیشتر عملکرد اسانس به میزان ۶۵/۹۵ درصد در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده گردید (Singh *et al.*, 2019).

نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که کودهای آلی به‌ویژه ورمی‌کمپوست همراه با قارچ تریکودرما باعث افزایش عملکرد رویشی نسبت به شاهد شد. قارچ تریکودرما به تنهایی و همراه با کود آلی میزان ترکیب‌ها و عملکرد اسانس را نسبت به شاهد افزایش داد. بنابراین می‌توان گفت تیمارهای کودی بدون مخاطرات محیطی و با حفظ پایداری و سلامت سیستم کشاورزی می‌تواند نیازهای غذایی گیاه را تا حدود زیادی برطرف کند و باعث استقرار بهتر میکروارگانیسم‌های خاکزی برای تناوب‌های بعدی شود؛ علاوه بر این، عوارض کودهای شیمیایی را نیز ندارد.

References

- Adinarayana, V. and Kumar, S.T., 2006. Effect of applied phosphorus and vermicompost on removal of heavy metals by leafy vegetables in polluted soil. 18th World Congress of Soil Science, Philadelphia. Pennsylvania, USA.
- Ahooi, S., Ajdanian, L., Nemati, S.H., Arouiee, H. and Babaei, M., 2020. Evaluation of Growth Changes of Celery (Apium graveolens) under Treated, Vermicompost and Trichoderma harzianum BI. Journal of Horticultural Science, 34(3): 389-403.
- Argüello, J.A., Ledesma A., Núñez S.B., Rodríguez C.H. and Goldfarb M.D.C.D., 2006. Vermicompost effects on bulbing dynamics, nonstructural carbohydrate content, yield, and quality ofRosado Paraguayo'garlic bulbs. Hortscience, 41(3): 589-592.
- Azarmi, R., Hajieghrari, B. and Giglou, A., 2011. Effect of Trichoderma isolates on tomato seedling growth response and nutrient uptake. African Journal of Biotechnology, 10(31): 5850-5855.
- Bentiz, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D., 2004. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil, 39: 205-207.
- Chaudhuri, P., Pal, T.K., Bhattacharjee, G. and Dey, S.K., 2001. Nutrient Changes during vermicomposting by perionyx excavations of the aquatic weed trapabispinosa. Soil Biology and Biochemistry, 130(2): 257-262.
- Devi, R., Kaur, T., Kour, D., Rana, K.L., Yadav, A., and Yadav, A.N., 2020. Beneficial fungal communities from different habitats and their roles in plant growth promotion and soil health. Microbial Biosystems, 5(1): 21-47.
- Fazeli-Nasab, B., Shahraki-Mojahed, L., Piri, R and Sobhanizadeh, A., 2022. Trichoderma: improving growth and tolerance to biotic and abiotic stress in plants. 525-564, In: Yadav, A.N., Suyal, D.C., Soni, R. and Goel, R., (Eds.), Trends of Applied

Microbiology for Sustainable Economy. Academic Press, 812p.
- Gupta, R.K., Singh, R.R. and Abrol, I.P., 2021. Influence of simultaneous changes in sodicity and pH on the hydraulic conductivity of an alkali soil under rice culture. Soil Science, 147 (1): 28-33.
- Hadian, J., 2013. Investigation of the genetic diversity of native Iranian savory species. Horticultural Science Doctoral Dissertation, University of Tehran, 180p.
- Hamada, A.M. and EL-enany, A.E., 1994. Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. Biologia Plantarum, 36: 75-81.
- Heidarpour, O., Esmaielpour, B., Soltani, A. A. and Khorramdel, S., 2019. Effect of vermicompost on essential oil composition of (Satureja hortensis L.) under water stress condition. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 22(2): 484-492.
- Hosseinzeynali, A., Abbaszadeh Dahaji, P., Alaei, H., Hosseinifard, J. and Akhgar, A., 2020. Effect of Trichoderma on growth and nutrition of pistachio trees under common garden conditions. Journal of Sol Biology, *8*(2), 115-128.
- Jeyabal, A. and Kuppswamy, G., 2001. Recycling of organic wastes for the production of vermicompost and its response in rice-legume cropping system and soil fertility. Journal of Botany, 41(3): 1373-1384.
- Kapoor, R., Giri, B. and Mukerji, K.G., 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *foeniculum vulgare* Mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. Bioresource Technology, 93: 307-311.
- Kakabouki, I., Tataridas, A., Mavroeidis, A., Kousta, A., Karydogianni, S., Zisi, C. and Papastylianou, P., 2021. Effect of colonization of Trichoderma harzianum on growth development and CBD content of hemp (*Cannabis sativa* L.). Microorganisms, 9(3): 518.
- Khosropour, E., Weisany, W., Tahir, N.A.R. and Hakimi, L., 2021. Vermicompost and biochar can alleviate cadmium stress through minimizing its uptake and optimizing biochemical properties in *Berberis integerrima* Bunge. Environmental Science and Pollution Research, 1-11.
- Mumivand, H., Babalar, M., Hadian, J. and Fakhr Tabatbaei, M., 2011. Plant growth and essential content and composition of *Satureja hortensis* L. cv. Saturn in response to calcium carbonate and nitrogen application rates. Journal of Medicinal Plants Research, 5(10):1859-1866.
- Nagananda, G. S., Das, A., Bhattacharya, S., and Kalpana, T. 2010. *In vitro* studies on the effects of biofertilizers (Azotobacter and Rhizobium) on seed germination and development of *Trigonella foenum-graecum* L. using a novel glass marble containing liquid medium. International Journal of Botany, 6: 394-403.
- Omidbaigi, R., 2005. Production and Processing of Medicinal Plants. (Vol. 3), Astan Quds Razavi Publications. Mashhad, Iran 379p. (In Persian)
- Rashtbari, M. and Alikhani, H.A., 2013. The effect and efficiency of urban waste compost and vermicompost on the morpho-physiological characteristics and performance of rapeseed under drought stress conditions. Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production, Volume 2, Number 2, pp. 114-127.
- Rahimi, A., Gitari, H., Lyons, G., Heydarzadeh, S., Tuncturk, M. and Tuncturk, R., 2023. Effects of vermicompost, compost and animal manure on vegetative growth, physiological and antioxidant activity characteristics of *Thymus vulgaris* L. Under water stress. Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences, 33(1): 40-53
- Rechinger, K.H., 1982. *Satureja*. In: Flora Iranica, No. 150. Graz, Austria.
- Rizvani Moghadam, P., Amin Ghafouri, l., Bakshaei, S. and Jafari, L., 2013. Investigating the effect of biological and organic fertilizers on some quantitative traits and the amount of essential oil of the savory medicinal plant (*Satureja hortensis* L.). Journal of Agricultural Ecology, 5(2): 105-112.
- Sabzi-Nojadeh, M., Pouresmaeil, M., Amani, M., Younessi-Hamzekhanlu, M. and Maggi, F., 2024. Colonization of *Satureja hortensis* L. (Summer savory) with Trichoderma harzianum alleviates salinity stress via improving physio-biochemical traits and biosynthesis of secondary metabolites. Industrial Crops and Products, 208: 117831.
- Salahiostad, M., Abedi, B. and, Selahvorzi, Y., 2022. The effect of Trichoderma mushroom application on the growth and absorption characteristics of *Trichoderma harzianum* Some nutrients in basil plant under different levels of soil moisture. Environmental Stresses in Crop Sciences. 14 (4): 1017-1027.
- Saki, A., Mozafari, H., Asl, K. K., Sani, B. and Mirza, M., 2019. Plant yield, antioxidant capacity and essential oil quality of *Satureja mutica* supplied with cattle manure and wheat straw in different plant densities. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 50(21): 2683-2693.
- Singh, S., Tripathi, A., Maji, D., Awasthi, A., Vajpayee, P. and Kalra, A., 2019. Evaluating the potential of combined inoculation of *Trichoderma*

harzianum and *Brevibacterium halotolerans* for increased growth and oil yield in Mentha arvensis under greenhouse and field conditions. *Industrial Crops and Products*, *131*, 173-181.

- Sefidkon, F., Jamzad, Z. and Barazandeh, M., 2005. Essential oil of *Satureja bachtiarica* Bunge, A potential source of carvacrol. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 20 (4): 425-39.
- Sheikhi, J. and Ronaghi, A.M., 2013. The effect of salinity and vermicompost application on the concentration of nutrients and the yield of spinach (*Spinacia oleracea*) in calcareous soil. Journal of Greenhouse Cultivation Sciences and Techniques, 4(13): 81-92.
- Silva, A. M., Jones, D. L., Chadwick, D. R., Qi, X., Cotta, S. R., Araújo, V. L. and Cardoso, E.J., 2023. Can arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobacteria facilitate 33P uptake in maize plants under water stress? Microbiological Research, 271: 127350.
- Sirrenberg A., Göbel, C., Grond S., Czempinski N., Ratzinger A., Karlovsky P., Santos P., Feussner I. and Pawlowski K., 2007. *Piriformospora indica* affects plant growth by auxin production. Physiologia Plantarum, 131: 581-589.
- Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E.L., Marra, R., Barbetti, M.J., Li, H., Woo, S.L. and Lorito, M., 2008. A novel role for *Trichoderma* secondary metabolites in the interactions with plants. Physiological and Molecular Plant Pathology, 72: 80-86.