

(OPEN ACCESS)

The effects of symbiotic soil mycorrhizal fungi on some plant indices and phytochemical factors of *Lavandula angustifolia* L.

Hamid Reza Nazari¹, Mohammad Rahim Forouze^{*2}, Hamid Niknahad³,
Sadegh Atashi⁴

1. M.Sc. Graduate of Rangeland Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
E-mail: hamidrezanazari5454@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Rangeland Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: rfroozeh@yahoo.com
3. Associate Prof., Dept. of Rangeland Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
E-mail: hamidniknahad@yahoo.com
4. M.Sc. in Horticulture, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
E-mail: atashi@yahoo.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Full Paper	Background and Objectives: Mycorrhiza are soil fungi that facilitate plants' access to nutrients through symbiosis with plant roots and the production of a biological system. By increasing productivity, they improve plant establishment and resistance to environmental stresses. Compared to plant roots, mycorrhizal fungal hyphae spread over a wider area of soil, making nutrients available to plants. Fungi enhance plant growth by absorbing minerals from the soil and making plants more resistant to environmental stresses. They act as a biological fertilizer, increasing the activity of soil organisms and improving soil structure, which leads to better plant growth. This article examines the effects of five mycorrhizal fungi symbiosis with the medicinal plant <i>Lavandula angustifolia</i> on some plant indices and its phytochemical factors. Materials and Methods: The present study was conducted as a completely randomized design with 6 treatments, 5 replications, and a total of 30 pots. The treatments included inoculation of various species of mycorrhizal fungi from the genus <i>Glomus</i> (<i>G. intraradices</i> , <i>G. geosporum</i> , <i>G. mosseae</i> , <i>G. fasciculatum</i> , <i>G. versiform</i>) and controls. At the end of the growing season, some plant indices (plant length, number of lateral branches, number of leaves per branch, leaf length and width, stem diameter, dry weight of aerial organs, and dry weight of roots) and phytochemical factors (content of total phenolic and flavonoid compounds, antioxidant capacity, proline content, as well as photosynthetic pigments including chlorophyll a, b, total chlorophyll, and carotenoids) of <i>Lavandula angustifolia</i> were measured. The data were analyzed using SPSS software (Version 21), and their normality was checked using the Kolmogorov-Smirnov test. After analysis of variance, mean comparisons were performed using Duncan's test.
Article history: Received: 09.22.2025 Revised: 09.30.2025 Accepted: 11.09.2025	
Keywords: Biofertilizer, <i>Lavandula angustifolia</i> , Soil nutrients, Yield increase	

Results: The results indicated that most mycorrhizal fungi had a significant effect ($p < 0.01$) on most plant indices and phytochemical factors of *Lavandula angustifolia*. Thus, in plant individuals inoculated with the fungi *G. mosseae*, *G. geosporum*, and *G. intraradices*, a significant increase ($p < 0.01$) in most plant indices was observed. Notably, the mycorrhizal fungi significantly affected traits such as the number of lateral branches, stem diameter, number of leaves per branch, and the dry weight of both roots and aerial parts ($p < 0.01$). Additionally, inoculation with these fungi had a positive effect on improving the content of phenolic compounds, flavonoids, and antioxidant capacity of the plant. Results from mean comparisons demonstrated the maximum carotenoid content in the treatment using the species *G. mosseae* (1.85 mg) and the minimum carotenoid content in the control treatment (0.81 mg).

Conclusion: The results indicated that the roots of the *Lavandula angustifolia* established a symbiotic relationship with most of the mycorrhizal fungi used in this research. As a result, most of the plant indices and phytochemical factors examined in this study demonstrated a significant increase compared to the control treatment. According to the obtained results, the species *G. mosseae*, *G. intraradices* and *G. geosporum* can provide optimal conditions for the growth and desirable production of the multifunctional lavender plant, making them suitable biofertilizer alternatives to chemical fertilizers. Therefore, based on the findings of the present research and considering the compatibility of mycorrhizae with the environment and various environmental stresses, the use of these fungi to enhance the performance of lavender plants is recommended.

Cite this article: Nazari, Hamid Reza, Forouze, Mohammad Rahim, Niknahad, Hamid, Atashi, Sadegh. 2026. The effects of symbiotic soil mycorrhizal fungi on some plant indices and phytochemical factors of *Lavandula angustifolia* L. *Journal of Water and Soil Conservation*, 33 (2), 89-113.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2026.22808.3758

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

اثرات همزیستی قارچ‌های میکوریزا بر برخی شاخص‌های گیاهی و فاکتورهای فیتوشیمیایی *Lavandula angustifolia* L.

حمیدرضا نظری^۱، محمد رحیم فروزه^{۲*}، حمید نیک‌نهاد^۳، صادق آتشی^۴

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مرتعداری، گرایش گیاهان دارویی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
رایانامه: hamidrezanazari5454@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مدیریت مرتع، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: rfroozeh@yahoo.com
۳. دانشیار گروه مدیریت مرتع، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: hamidniknahad@yahoo.com
۴. کارشناس‌ارشد علوم باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: atashi@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: میکوریزا، قارچ‌هایی خاگری هستند که از طریق همزیستی با ریشه گیاهان و تولید یک سیستم بیولوژیکی، دسترسی گیاهان به عناصر غذایی را تسهیل نموده و با افزایش میزان بهره‌وری، موجب بهبود استقرار و مقاومت به تنش‌های محیطی می‌شوند. در مقایسه با ریشه گیاهان، ریشه‌های قارچ‌های میکوریزا در مساحت وسیع‌تری از خاک گسترش می‌یابند و فراهمی مواد مغذی برای گیاهان را امکان‌پذیر می‌کنند. قارچ‌ها رشد گیاه را از طریق جذب مواد معدنی از خاک و مقاوم‌تر کردن گیاهان در برابر تنش‌های محیطی تقویت می‌کنند و مانند یک کود بیولوژیک عمل نموده، فعالیت موجودات زنده خاک را افزایش داده. ساختمان خاک را بهبود می‌بخشند و این امر باعث رشد بهتر گیاه می‌شود. در این مقاله اثرات همزیستی پنج قارچ میکوریزا با گیاه دارویی اسطوخودوس (<i>Lavandula angustifolia</i> L.) بر برخی شاخص‌های گیاهی و فاکتورهای فیتوشیمیایی آن گیاه مورد بررسی قرار گرفت.
واژه‌های کلیدی: اسطوخودوس، افزایش عملکرد، عناصر غذایی خاک، کود زیستی	مواد و روش‌ها: تحقیق حاضر به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با ۶ تیمار دارای ۵ تکرار و در مجموع ۳۰ گلدان اجرا شد. تیمارهای این آزمایش شامل تلقیح گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا از جنس <i>Glomus</i> (<i>G. intraradices</i> , <i>G. geosporum</i> , <i>G. mosseae</i>) و شاهد بودند. در انتهای فصل رشد، برخی شاخص‌های گیاهی (طول بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ در یک شاخه، طول و عرض برگ، قطر ساقه، وزن خشک اندام‌های هوایی، و وزن خشک ریشه) و فاکتورهای فیتوشیمیایی (محتوای ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی کل، ظرفیت آنتی اکسیدانی، میزان پرولین و هم‌چنین رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید) اسطوخودوس اندازه‌گیری شدند.

داده‌ها با نرم‌افزار SPSS (Version 21) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نرمال بودن آن‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد و پس از تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن صورت پذیرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که اغلب قارچ‌های مایکوریزا تأثیر معنی‌داری ($p > 0.01$) بر اغلب شاخص‌های گیاهی و فاکتورهای فیتوشیمیایی اسطوخودوس داشتند. به‌طوری‌که در پایه‌های گیاهی تلقیح‌شده با قارچ‌های *G. intraradices*، *G. geosporum*، *G. mosseae* در اکثر شاخص‌های گیاهی افزایش معنی‌داری ($p > 0.01$) مشاهده شد و تلقیح آن‌ها با قارچ مایکوریزا اختلاف معنی‌داری ($p > 0.01$) در صفات تعداد شاخه جانبی، قطر ساقه، تعداد برگ در یک شاخه و هم‌چنین وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی ایجاد نمود. تلقیح این قارچ‌ها اثر مثبتی بر بهبود محتوای ترکیبات فنولی، فلاونوئیدی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه داشت. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان دادن حداکثر میزان کارتنوئید در تیمار استفاده از گونه *G. mosseae* (۱/۸۵ میلی‌گرم) و حداقل میزان کارتنوئید در تیمار استفاده از گونه شاهد (۰/۸۱ میلی‌گرم) دیده شد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشانگر آن است که ریشه گیاه اسطوخودوس با اغلب گونه‌های قارچ مایکوریزای به‌کار رفته در این تحقیق رابطه همزیستی برقرار نموده است. به‌طوری‌که اغلب شاخص‌های گیاهی و فاکتورهای فیتوشیمیایی بررسی شده در این تحقیق نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده گونه‌های *G. mosseae*، *G. intraradices* و *G. geosporum* می‌تواند بهترین شرایط را برای رشد و تولید مطلوب گیاه چندمنظوره اسطوخودوس فراهم نموده و به‌عنوان کود زیستی جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی گردد. بنابراین بر اساس نتایج پژوهش حاضر و با توجه به سازگاری مایکوریزا با محیط‌زیست و انواع تنش‌های محیطی، استفاده از قارچ‌های مذکور به‌منظور افزایش عملکرد گیاه اسطوخودوس قابل توصیه است.

استناد: نظری، حمیدرضا، فروزه، محمد رحیم، نیک‌نهاد، حمید، آتشی، صادق (۱۴۰۵). اثرات همزیستی قارچ‌های مایکوریزا بر برخی شاخص‌های گیاهی و فاکتورهای فیتوشیمیایی *Lavandula angustifolia* L. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۳۳ (۲)، ۸۹-۱۱۳.

DOI: 10.22069/jwsc.2026.22808.3758



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

امروزه راهکارهای مختلف در جهت بهبود عملکرد گیاهان پیشنهاد می‌شود. تغذیه مطلوب گیاهی یکی از روش‌های مؤثر بر تواناسازی گیاهان در مقابله با شرایط تنش محیطی و بهبود عملکرد معرفی شده است (۱). بررسی‌ها، گویای آن است که استفاده مداوم از کودهای شیمیایی به‌منظور افزایش تولید و عملکرد به‌دلیل اثرات مخرب زیست‌محیطی آن‌ها امکان‌پذیر نیست (۲)، بنابراین با توجه به راندمان نه‌چندان بالای کودهای شیمیایی و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از استفاده بی‌رویه از آن‌ها، به‌منظور بهره‌برداری پایدار توسعه استفاده از کودهای طبیعی با راندمان بالا در اولویت تحقیقات و بررسی‌ها قرار گرفته است (۳).

مایکوریزا قارچ‌هایی خاکزی هستند که از طریق همزیستی با ریشه گیاهان و تولید یک سیستم بیولوژیکی، دسترسی گیاهان به عناصر غذایی را تسهیل می‌کنند (۴ و ۵). ریشه‌های قارچ مایکوریزا در مساحت وسیع‌تری از خاک در مقایسه با ریشه گیاهان گسترش می‌یابند. به کمک شبکه ریشه‌ای گسترده‌ای که در خاک ایجاد می‌کنند با افزایش جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف و انتقال آن‌ها به گیاهان، تغذیه آن‌ها را بهبود می‌بخشند (۶ و ۷). از سویی دیگر، گیاهان نیز تأمین منابع کربنی مایکوریزا را بر عهده دارند (۸). پژوهش‌ها نشان می‌دهد افزون بر افزایش جذب مواد غذایی، قارچ‌های مایکوریزا با بهبود فتوسنتز، میزان عملکرد گیاهان را افزایش داده و با تولید ترکیبات محرک رشد و تحریک تولید ترکیبات دفاعی در گیاه، موجب استقرار بهتر و افزایش مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده و احیاء اکوسیستم می‌شوند (۸ و ۹).

قارچ‌های مایکوریزایی از نظر اکولوژیک اهمیت بسیار دارند، زیرا این موجودات در داخل و روی

ریشه‌های گیاهان میزبان، روابط همزیستی ایجاد می‌نمایند. به عبارتی قارچ مواد غذایی و نیتروژن به گیاه می‌دهد و در مقابل مواد قندی از میزبان دریافت می‌کند. حدود ۹۰ تا ۹۵ درصد از گیاهان با این قارچ‌ها تشکیل رابطه همزیستی می‌دهند، به‌طوری‌که در این گیاهان مایکوریزا (نه ریشه) اندام اصلی جذب آب و عناصر غذایی محسوب می‌شود (۱۱ و ۱۲). این قارچ‌ها به‌عنوان پل زنده بین گیاه و خاک در اکوسیستم عمل می‌نمایند. ریزوسفر مایکوریزایی به‌دلیل اهمیت و پویایی اثرات متقابل میکروبی که در ریشه‌های مایکوریزایی در خاک ایجاد می‌کند، می‌تواند جایگزین ریزوسفر گیاهان شود (۱۳). بنابراین قارچ‌های مایکوریزا به‌عنوان کود بیولوژیک شناخته‌شده و در صورت مصرف، در ناحیه ریشه گیاهان تشکیل کلونی داده و به کمک هیف‌های خارجی خود به جذب عناصر از خاک کمک کرده و بدین طریق موجب افزایش رشد و عملکرد گیاه میزبان می‌شوند. همزیستی گیاه و قارچ‌های همزیست خاکزی مانند مایکوریزا، راهکارهای مفید در جهت افزایش مواد آلی خاک، تقویت جوامع میکروبی، افزایش کارایی مصرف نهاده‌ها به‌خصوص آب آبیاری و در نهایت بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاهان محسوب می‌شود (۱۴).

مایکوریزا متداول‌ترین رابطه همزیستی در بین روابط همزیستی موجود در گیاهان است، بطوریکه با توجه به بررسی‌های انجام‌شده اکثر گیاهان (حدود ۹۵ درصد گونه‌های گیاهان آوندی) حداقل یکی از تیپ‌های مایکوریزایی را دارا هستند (۱۵). این قارچ‌ها نقش کلیدی در چرخه عناصر غذایی در اکوسیستم و هم‌چنین مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی دارند (۱۶).

در این رابطه هزومی و همکاران (۲۰۱۵) بیان داشتند تلقیح مایکوریزایی موجب تغییر متابولیسم گیاه

میزبان شده و این تغییر در متابولیسم، سبب تولید ترکیبات دفاعی در گیاه می‌شود. هم‌چنین قارچ‌های مایکوریزا با بهبود وضعیت تغذیه‌ای و آبی گیاه، سبب بهبود رشد گیاه می‌گردند که علت آن می‌تواند ناشی از بهبود وضعیت تغذیه‌ای و روابط آبی گیاه توسط آن قارچ باشد.

گیاهان دارویی منبع عظیم اقتصادی و با ارزش‌افزوده بسیار بالا در ایران به شمار می‌روند. بنابراین تولید و مصرف گیاهان دارویی و داروهای گیاهی در کانون حمایت و برنامه‌ریزی مدیران اقتصادی اجتماعی و حوزه سلامت کشور و نیز مورد گرایش جامعه قرار گرفته است. تحقیقات متعددی پیرامون تأثیر همزیستی قارچ‌های مایکوریزا بر میزان عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی صورت گرفته است (۸). مزارعی و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی تأثیر قارچ مایکوریزا بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک *Silybum merriam* L. دریافتند که کاربرد قارچ مایکوریزا بر شاخص‌های رشد رویشی، درصد فلاونوئیدها، محتوی آب گیاه، افزایش مقامت به خشکی، محتوای فسفر و پتاسیم برگ را در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده به‌طور معنی‌داری افزایش داد. هم‌چنین زارع حسن‌آبادی و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که تلقیح *Mentha pulegium* L. با دو گونه قارچ آربوسکولار موجب افزایش وزن تر و خشک و ارتفاع گیاه شده است. هاوولد و همکاران (۲۰۱۹) در مورد ارتباط قارچ‌های مایکوریزا و تأثیر آن در افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی درمنه زارهای استپی بیان کردند که ساختار جوامع گیاهی از طریق مکانیسم‌هایی مانند چرخه و جذب مواد غذایی و پایداری ساختاری خاک حفظ می‌شود. نتایج تحقیق گویای آن بود که مایکوریزا تاب‌آوری درمنه‌زارها در برابر خشکسالی، چرا، آتش‌سوزی و مقاومت در برابر حمله گیاهان مهاجم (بسته به ترکیب گونه‌ای

جوامع گیاهی و قارچ، وضعیت گیاه میزبان مایکوریزا) را افزایش می‌دهد (۲۱).

تحقیقات یزدان‌پناه گوهری و همکاران (۲۰۲۱) نیز گویای آن بود که گونه‌های مختلف قارچ مایکوریزا تأثیر معنی‌داری بر صفات رویشی و برخی خصوصیات فیتوشیمیایی نظیر تولید کلروفیل، فنول، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه داشت. هم‌چنین صاحب حسن و همکاران (۲۰۲۰) بیان داشتند که همزیستی قارچ مایکوریزا با گیاه *Calendula* منجر به افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی و کارایی این گیاه در شرایط کم‌آبی می‌گردد.

قارچ‌های مایکوریزا با بهبود وضعیت تغذیه‌ای و آبی گیاه از طریق تغییر در مورفولوژی ریشه و افزایش سطح جذب توسط گسترش ریشه‌های گیاه در خاک و تحریک تبادلات گازی از طریق افزایش ظرفیت مقصد، سبب بهبود رشد اندام‌های هوایی و زیتوده زیرزمینی گیاه می‌شوند (۲۴). به عنوان مثال نتایج تحقیقات نشان داد که کاربرد مایکوریزا گونه *Glomus mossea* سبب افزایش بیومس گشنیز (*Coriandrum sativum*) (۲۵) و ریحان (*Ocimum basilicum*) (۲۶) گردید، قارچ‌های مایکوریزایی قادرند با بسیاری از گیاهان رابطه همزیستی برقرار نمایند و در کاهش جذب فلزات سنگین، افزایش مقاومت گیاه به عوامل بیماری‌زای ریشه، افزایش تولیدات فیتوهورمونی، افزایش رشد ریشه‌های موئین، تشدید فعالیت تثبیت‌ازت و با تشدید میزان فتوسنتز باعث افزایش رشد و نمو گیاه میزبان گردند (۲۷)، هم‌چنین قارچ‌های مایکوریزا با ایجاد همزیستی با ریشه گیاهان، تأثیرات چشمگیری بر رشد، فیزیولوژی و مقاومت به تنش‌های محیطی در هر دو بخش هوایی و ریشه دارند. چنانکه باعث بهبود و افزایش جذب مواد مغذی در خاک‌های فقیر به ویژه جذب فسفر (P)، نیتروژن (N) و ریزعنصر (روی،

در تولید این گیاه باشد. هدف این پژوهش بررسی تأثیر ۵ نوع قارچ میکوریزا بر ویژگی‌های رویشی و برخی خواص فیتوشیمیایی اسطوخودوس است. نتایج حاصل از این پژوهش از این رو دارای اهمیت است که در صورت مثبت بودن اثر تلقیح قارچ‌های مذکور بر شاخص‌های گیاهی و فاکتورهای فیتوشیمیایی گونه گیاهی اسطوخودوس با استفاده از این روش می‌توان کمیت و کیفیت این گونه دارویی را افزایش داد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی اثرات تلقیح ۵ گونه قارچ میکوریزا بر برخی خصوصیات رشدی، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و برخی خصوصیات فیتوشیمیایی گیاه دارویی اسطوخودوس به صورت طرح کاملاً تصادفی با ۵ تکرار و در مجموع ۳۰ گلدان اجرا گردید. گلدان‌ها در فضای باز نگهداری شده و تعداد ۳ قلمه در هر گلدان کشت گردید. از آن‌جاکه برای افزودن تلقیح به خاک، لازم است تعداد اسپورها به‌ازای هر گرم خاک تعیین شود، بنابراین ابتدا استخراج اسپور انجام و سپس شمارش آن‌ها صورت گرفت. این کار در حقیقت پتانسیل زادمایه را برای رشد قارچ مشخص می‌کند و نشان‌دهنده میزان قارچ موجود در هر گرم زادمایه است. در این آزمایش برای مایه‌زنی با قارچ، ۱۰۰ اسپور در گرم زادمایه به گلدان‌ها اضافه شد.

تیمارهای این آزمایش شامل تلقیح گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا از جنس *Glomus* (*G. intraradices*، *G. geosporum*، *G. mosseae*، *G. fasciculatum*، *G. versiform*) و تیمار عدم تلقیح قارچ بودند. مایه تلقیح که شامل اندام‌های رویشی و اسپورهای قارچ‌های میکوریزا بود از شرکت زیست فناور توران میکوپرسیکا در شاهرود تهیه و قبل از کاشت نشاءها با بستر کشت به‌طور یکنواخت مخلوط گردید. داخل

(مس) شده و رشد اندام‌های هوایی و زیر زمینی آن‌ها را تقویت می‌کند (۲۸). در بررسی اثر قارچ میکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد شویید نشان دادند که کاربرد قارچ میکوریزا باعث افزایش، تعداد شاخه فرعی در بوته و رشد ریشه شد. هم‌چنین نتایج آزمایشات عظیمی و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که قارچ‌های میکوریزا در برخی از خصوصیات مورفولوژیک و رشد اندام‌های گیاه علوفه‌ای بروموس چندساله *Bromus kopetdaghensis* تأثیر مطلوبی دارد. این نشان داد تلقیح میکوریزایی در افزایش پارامترهای رویشی گیاهان نقش دارد چنان‌که قارچ میکوریزا *intraradices* علاوه بر افزایش معنی‌دار درصد همزیستی، در برخی خصوصیات رویشی آن نیز تأثیر فراوانی داشته است چراکه تلقیح میکوریزایی موجب افزایش جذب مواد غذایی و آب در طول دوره رشد و در نتیجه سبب افزایش رشد گیاه می‌شود (۱۲).

گیاه دارویی اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia* L. از تیره Lamiaceae بوده که با توجه به خواص درمانی متعدد نظیر اثرات آرام‌بخش، ضد اضطراب، بی‌خوابی و سردردهای با منشأ عصبی، ضد تشنج، ضد سوختگی و مسکن نیش حشرات و هم‌چنین به‌عنوان یک گیاه زینتی استفاده و کاربرد زیادی دارد. این گیاه به دلیل برخورداری از مواد مؤثره در صنایع غذایی، تهیه داروها و صنایع بهداشتی آرایشی کاربرد فراوان دارد. در فلور رنگی ایران حضور این گیاه در نواحی جنوب شرقی مانند بندرعباس، ارتفاعات گنو، کنگان و ایسن در نزدیکی بندرعباس ذکر شده است. البته در سایر مناطق کشور امکان کشت آن با آب‌وهوای گرم یا معتدل وجود دارد (۳۰). بنابراین بررسی نیاز کودی و جایگزین کردن کودهای زیستی با کودهای شیمیایی جهت افزایش کارایی این گیاه می‌تواند جزء موارد با اهمیت

هر گرم از خاک حداقل ۵۰ اسپور زنده وجود داشت. ماده تلقیح شامل خاک، اسپور و هیف‌های قارچ میکوریزی بود. مقدار ماده تلقیح میکوریزا به خاک گلدان ۱ به ۱۰ بود که ماده تلقیح لایه لایه به خاک گلدان اضافه شد. در تمام ۵ گونه قارچ میکوریزای مورد استفاده در این پژوهش به‌طور میانگین ۸۵ تا ۱۰۰ اسپور در هر گرم خاک وجود داشت و مقدار مصرف هر گونه قارچ میکوریزا در تیمارهای آزمایشی ۲۰۰ گرم بستر حاوی قارچ برای هر گلدان ۵ کیلوگرمی بود. برای پر کردن گلدان‌ها از نسبت مساوی خاک زراعی و خاک برگ استفاده گردید. خصوصیات خاک با بررسی‌های آزمایشگاهی تعیین شد. بر این اساس بافت خاک شنی لوم (۳۸ درصد شن، ۳۴ درصد سیلت و ۲۸ درصد رس)، هدایت الکتریکی $EC=0.03 \text{ dS.m}^{-1}$ و اسیدیته خاک $pH=7.21$ تعیین شد. قلمه‌های گیاه اسطوخودوس به گلدان‌ها انتقال داده شد. آبیاری گلدان‌ها در دو هفته اول به منظور تثبیت گیاه در خاک هر دو روز یکبار صورت گرفت و پس از آن در طول دوره آزمایش، آبیاری تنها در زمانی که خاک گلدان‌ها خشک و رطوبت خود را از دست می‌داد، صورت می‌پذیرفت. همچنین وجین علف‌های هرز در طول دوره آزمایش به‌طور یکنواخت در بین تیمارها انجام شد. حدود ۱۱ ماه بعد از اعمال تیمارها نمونه‌گیری از گیاهان انجام شد و برخی شاخص‌های گیاهی (طول بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ در یک شاخه، طول و عرض برگ، قطر ساقه، وزن خشک اندام‌های هوایی، و وزن خشک ریشه) و فاکتورهای فیتوشیمیایی (محتوای ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، میزان پرولین و همچنین رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید) مورد نظر اندازه‌گیری گردید.

برای ارزیابی میزان استقرار قارچ‌های میکوریزی در ریشه، از روش رنگ‌آمیزی اصلاح‌شده توسط کورمانیک و مک‌گراو (۱۹۸۹) استفاده شد. بدین‌منظور، مقدار ۰/۱ گرم از ریشه‌های تازه جمع‌آوری و به قطعات تقریباً یک سانتی‌متری تقسیم و در محلول اتانول (v/v) ۵۰٪ تثبیت گردیدند سپس، به منظور زدودن اتانول، ریشه‌ها سه تا چهار مرتبه با آب مقطر شستشو داده شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق درون لوله‌های آزمایش حاوی محلول پتاسیم هیدروکسید (KOH) با غلظت ۱۰٪ قرار داده شدند. در این مرحله، KOH با تجزیه دیواره سلولی، خروج ترکیبات سیتوپلاسمی و هسته‌ها را تسهیل کرده و در نتیجه، نفوذ رنگ به درون بافت ریشه در مراحل بعدی افزایش می‌یابد. در انتهای این فرآیند، تغییر رنگ محلول KOH به طیف زرد تا زرد کم‌رنگ مشاهده می‌شود. پس از آن، محلول KOH تخلیه و ریشه‌ها مجدداً با آب مقطر (سه تا چهار مرتبه) شستشو داده شدند. نمونه‌های ریشه‌ای با قطر بیش‌تر، جهت رنگ‌بری و شفاف‌سازی، به مدت ۳۰ دقیقه در محلول تازه تهیه شده آب اکسیژنه قلیایی (شامل ۳ میلی‌لیتر سدیم هیدروکسید (NaOH)، ۳۰ میلی‌لیتر هیدروژن پراکسید با غلظت ۱۰٪ و ۵۶۷ میلی‌لیتر آب مقطر) قرار گرفته و سپس برای حذف اثرات این محلول، با آب مقطر شستشو گردیدند. جهت آماده‌سازی نمونه‌ها برای رنگ‌پذیری، آن‌ها حداقل به مدت ۵ دقیقه در محلول اسید کلریدریک (HCl) با غلظت ۱٪ غوطه‌ور شدند. پس از تخلیه اسید و بدون شستشو با آب، محلول رنگ تریپان بلو با غلظت ۰/۵٪ در محلول رنگ‌بر به نمونه‌ها اضافه و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. محلول رنگ‌بر از ترکیب اسید لاکتیک، گلیسرول و آب مقطر به نسبت حجمی ۱:۱:۱ تهیه شده بود. در ادامه، محلول رنگ تخلیه و به منظور حذف رنگ اضافی، محلول

رنگ‌بر بر روی ریشه‌ها ریخته شد. بسته به ضخامت ریشه‌ها، پس از گذشت ۶ تا ۱۲ ساعت، فرآیند رنگ‌بری تکمیل و ساختارهای قارچی شامل آربوسکول‌ها، هیف‌ها و وزیکول‌ها با استفاده از میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی ۳۰× قابل رویت بودند. درصد کلنیزاسیون ریشه با استفاده از روش تقاطع خطوط شبکه (Gridline Intersect Method) بر اساس روش ارائه شده توسط کورمانیک و

مک‌گراو (۱۹۸۹) تعیین گردید. به این منظور، ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده و سپس ۳۰ قطعه به صورت تصادفی بر روی پلیت پتری شبکه‌بندی شده با ابعاد خانه‌های ۱×۱ سانتی‌متر قرار داده شدند. تعداد نقاط تقاطع خطوط شبکه با ساختارهای قارچی با استفاده از میکروسکوپ نوری (بینوکولار) با بزرگنمایی ۱۰۰× شمارش و در نهایت درصد کلنیزاسیون مطابق رابطه یک محاسبه گردید.

$$(۱) \quad \left[\frac{\text{تعداد نقاط تقاطع با ساختارهای مایکوریزی}}{\text{تعداد کل نقاط تقاطع}} \right] * 100 = (\%) \text{درصد کلنیزاسیون ریشه}$$

اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفولوژیکی: ویژگی‌های مورفولوژیکی نظیر ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ در یک شاخه، طول و عرض برگ، قطر ساقه و وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن خشک ریشه و اندام هوایی عمل خشک کردن در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت انجام شد، سپس اقدام به اندازه‌گیری وزن خشک با ترازوی دیجیتال و با دقت ۰/۰۰۱ گرم شد. برای اندازه‌گیری طول و عرض برگ از خط‌کش دقیق و کولیس استفاده گردید. برای اندازه‌گیری قطر ساقه، هر بوته از محل طوقه بریده و توسط کولیس قطر آن محاسبه گردید؛ همچنین با استفاده از خط‌کش میلی‌متری از نوک بوته تا محل طوقه بوته‌ها اندازه‌گیری شد. برای محاسبه ارتفاع، بوته تا حد ممکن صاف و کشیده نگه داشته شد تا خطا به حداقل ممکن برسد. میانگین تعداد برگ‌های شاخه‌ها نیز به صورت جداگانه شمارش و ثبت شد.

اندازه‌گیری ترکیبات فنولی کل: ۰/۱ گرم از نمونه گیاهی در ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد ساییده و به مدت ۲۴ ساعت در محیطی تاریک گذاشته شد. آن‌گاه، پس از ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (۴۰۰۰ دور در دقیقه)، بخش سطحی محلول به‌منظور اندازه‌گیری

فنول جدا شد و ۱۰۰ میکرولیتر از آن با ۰/۲ میلی‌لیتر فولین سیوکالتو و ۲ میلی‌لیتر آب مخلوط شده، پس از سه دقیقه ۱ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۱۵ درصد به آن اضافه گردید. مخلوط حاصل به مدت دو ساعت در محیطی تاریک گذاشته شد و سپس جذب هر نمونه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UNICO, UV/VIS 2800) در طول موج ۷۶۵ نانومتر قرائت گردید و با استفاده از منحنی استاندارد، میزان فنول بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه و ثبت شد. گالیک اسید به عنوان استاندارد برای رسم منحنی استاندارد استفاده شد. میزان ترکیبات فنولی و محتوای فنول کل عصاره‌ها معادل گالیک اسید در هر گرم پودر خشک با استفاده از معادله خط منحنی استاندارد اندازه‌گیری گردید (۳۲).

اندازه‌گیری فلاونوئید کل: از روش رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم برای تعیین مقدار فلاونوئیدها استفاده شد. ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره متانولی گیاه (۰/۵ گرم برگ در ۵ میلی‌لیتر متانول) به صورت جداگانه با ۱/۵ میلی‌لیتر متانول ۰/۱ میلی‌لیتر کلرید آلومینیوم (۱۰ درصد متانولی)، ۱ مولار استات پتاسیم و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر ترکیب شد. سپس محلول‌ها در دمای اتاق به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شد. جذب

مختلف کوثرستین استفاده شد و در رابطه‌های ۲ و ۳ قرار گرفت.

نمونه‌ها در طول موج ۴۱۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (UNICO, UV/VIS 2800) قرائت شد (۳۳). برای رسم منحنی استاندارد از غلظت‌های

$$y = 0.009x - 0.007 \quad (2)$$

$$R^2 = 0.998 \quad (3)$$

میلی‌متر متانول خالص به جای یک میلی‌لیتر عصاره متانولی قرار داده شد و برای بلانک از متانول خالص استفاده شد. بعد از ۳۰ دقیقه تاریکی، نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شدند. اعداد به دست آمده از جذب نمونه توسط رابطه ۴ به درصد مهار رادیکال آزاد تبدیل شد (۳۴).

با قرار دادن مقدار جذب نمونه‌ها در رابطه فوق، مقدار فلاونوئید کل اندازه‌گیری گردید (۳۴).

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش DPPH:
برای اندازه‌گیری میزان مهار رادیکال‌های آزاد DPPH (دی فنیل پیکریل هیدرازیل)، ابتدا یک میلی‌لیتر از عصاره متانولی با یک میلی‌لیتر DPPH با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار مخلوط گردید. برای نمونه شاهد یک

$$\text{درصد مهار رادیکال} = (A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}} * 100 \quad (4)$$

میلی‌لیتر متانول ۹۹٪ برای استخراج رنگدانه‌ها ساییده، سپس به مدت ۵ دقیقه سائتریفیوژ با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه انجام گردید. پس از آن عصاره استخراج شده را برداشته و با استفاده از اسپکتروفتومتر میزان جذب نور در طول موج‌های ۶۵۳، ۴۷۰ و ۶۶۶ نانومتر قرائت گردید. در نهایت مقدار کلروفیل و کارتنوئید با استفاده از روابط ۵ تا ۸ به دست آمد (۳۵).

که در آن، A_{control} جذب محلول کنترل در ۵۱۷ نانومتر، A_{sample} جذب محلول نمونه در ۵۱۷ نانومتر است.

سنجش رنگی‌های فتوستتزی و میزان کارتنوئید کل: برای اندازه‌گیری کلروفیل a، b، کلروفیل کل برگ و کارتنوئید برگ و گل، ۰/۰۶ گرم (۶۰ میلی‌گرم) نمونه گیاهی (برگ یا گل) تازه کاملاً توسعه یافته را جدا کرده و آن را در هاون چینی با ۳

$$\text{CHLa} = 15.65A_{666} - 7.34 A_{653} \quad (5)$$

$$\text{CHLb} = 27.05 A_{653} - 11.21 A_{666} \quad (6)$$

$$\text{Cx} + \text{c} = 1000 A_{470} - 2.860 \text{CHLa} - 12.92 \text{CHLb} \quad (7)$$

$$\text{CHLt} = \text{CHLa} + \text{CHLb} \quad (8)$$

حجم عصاره و وزن تر نمونه بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر به دست آمد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: داده‌ها با نرم‌افزار SPSS (Version 21) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نرمال بودن آن‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد و پس از تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن صورت پذیرفت.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در خصوص صفات مورفولوژیکی و خصوصیات رشدی نشان داد که قارچ میکوریزا در صفات تعداد شاخه جانبی، قطر ساقه، تعداد برگ در یک شاخه و همچنین وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد ایجاد کرده است.

که در آن کلروفیل کل: CHL_t، کارتنوئید کل: Cx+c، کلروفیل CHL_b:b، کلروفیل CHL_a:a می‌باشند. میزان کلروفیل a، b، کل و همچنین کارتنوئید کل بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر به دست آمد. **سنجش پرولین کل:** اندازه‌گیری میزان پرولین بدین صورت انجام گرفت: ۰/۱ گرم از نمونه برگ را به همراه ۵ میلی لیتر اسید سولفوسالسیلیک ۳٪ در هاون کوبیده و از کاغذ صافی واتمن شماره ۲ عبور داده شد. به ۲ میلی لیتر از این محلول، ۲ میلی لیتر اسید گلاسیال استیک و ۲ میلی لیتر اسید ناین هیدرین اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. ۶ میلی لیتر تولوئن به نمونه‌ها اضافه و در نهایت میزان نور جذبی در ۵۲۰ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (۳۶). میزان پرولین استخراجی از نمودار استاندارد و با لحاظ

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر قارچ میکوریزا بر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه اسطوخودوس.

Table 1. Analysis of variance for the effect of Mycorrhiza on the morphological characteristics of *Lavandula angustifolia*.

وزن خشک ریشه (g) Dry root weight	وزن خشک اندام‌های هوایی (g) Dry weight of aerial organs	قطر ساقه (mm) Stem diameter	طول برگ (mm) Leaf length	عرض برگ (mm) Leaf width	تعداد برگ در یک شاخه (Count) Number of leaves on a branch	تعداد شاخه جانبی (Count) Number of lateral branches	ارتفاع بوته (cm) Plant height	درجه آزادی Degrees of freedom	منابع تغییر Sources of variation
3.18**	21.52**	12.7**	64.8 ^{ns}	1.21 ^{ns}	29.44**	7.63**	8.35 ^{ns}	5	قارچ Fungi
1.19	17.32	5.01	87.5	1.66	27.8	10.78	9.35	10	خطا Error
2.03	14.58	4.37	34.12	1.41	17.01	8.41	6.11	-	انحراف از میانگین Deviation from the mean

^{ns}، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد است

^{ns}, * and ** indicate no significant difference and significant difference at the 5 and 1 percent probability levels, respectively

حالی که کم‌ترین مقدار مربوط به تیمار *G. versiform* (۲۵/۰۶٪) و تیمار شاهد (۰٪) بود. بنابراین، قارچ‌های مذکور توانستند استقرار مؤثری در ریشه گیاه ایجاد نمایند و نشان‌دهنده موفقیت همزیستی میکوریزایی در تیمارهای تلقیح‌شده می‌باشند.

نتایج تجزیه واریانس درصد میکوریزایی ریشه گیاه اسطوخودوس نشان داد که تلقیح قارچ‌های میکوریزا اثر معنی‌داری ($p < 0.01$) بر این صفت داشت (جدول ۲). بیش‌ترین درصد کلونیزاسیون ریشه در تیمار *G. mosseae* (۴۰/۰۵٪) و پس از آن در تیمار *G. intraradices* (۳۸/۰۳٪) مشاهده شد، در

جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه اسطوخودوس تحت تأثیر قارچ‌های میکوریزا.

Table 2. Results of analysis of variance for root colonization percentage of *Lavandula angustifolia* influenced by mycorrhizal fungi.

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean Square	F	سطح معنی‌داری Sig
قارچ Fungi	5	542.18	36.42**	0.001
خطا Error	10	14.88	-	-
انحراف از میانگین Deviation from the mean	-	-	-	-

ns, * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد است

ns, * and ** indicate no significant difference and significant difference at the 5 and 1 percent probability levels, respectively

کم‌ترین میزان آن به ترتیب در تیمار شاهد مشاهده گردید. در خصوص صفت تعداد برگ در یک شاخه نیز بیش‌ترین مقدار مربوط به *G. intraradices* و کم‌ترین مقدار مربوط به تیمار شاهد است. در مورد وزن خشک اندام‌های هوایی نیز قارچ‌های *G. mosseae* و *G. geosporum* به ترتیب با ۲۷/۷۱ و ۲۷/۰۲ و همچنین در مورد وزن خشک ریشه نیز قارچ‌های مذکور با ۹/۱۲ و ۱۰/۸۳ نسبت به سایر تیمارها تأثیر بیش‌تری را نشان می‌دهند.

با توجه به جدول ۳ تمام تیمارهای میکوریزا نسبت به شاهد همزیستی معناداری با ریشه داشتند. نتایج گویای آن است که گونه‌های *G. intraradices* و *G. mosseae* بیش‌ترین میزان همزیستی را ایجاد کردند. بیش‌ترین میزان تعداد شاخه جانبی مربوط به گیاهان تلقیح شده با قارچ *G. mosseae* و کم‌ترین میزان آن در تیمار شاهد مشاهده گردید. همچنین براساس مقایسه میانگین داده‌ها بیش‌ترین میزان قطر ساقه در تیمار استفاده از قارچ *G. mosseae* و

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر قارچ‌های مایکوریزا بر صفات رشدی گیاه اسطوخودوس.

Table 3. Comparison of the average effect of mycorrhiza on the growth characteristics of *Lavandula angustifolia*.

درصد کلونیزاسیون ریشه Root colonization percentage (%)	وزن خشک ریشه Dry root weight (gr)	وزن خشک اندام‌های هوایی Dry weight of aerial organs (gr)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	طول برگ Leaf length (mm)	عرض برگ Leaf width (mm)	تعداد برگ در یک شاخه Number of leaves on a branch	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branches	طول بوته Plant height (cm)	منابع تغییر Sources of variation
0 ^d	8.23 ^a	25.17 ^a	7.0 ^c	46.6 ^a	4.3 ^a	18 ^a	4.3 ^b	25.3 ^a	شاهد Control
38.03 ^a	8.04 ^b	26.03 ^b	9.0 ^{bc}	42 ^a	3.3 ^a	34 ^a	5.2 ^a	25.6 ^a	<i>G. intraradices</i>
31.2 ^b	9.12 ^b	27.02 ^{bc}	9.6 ^c	42 ^a	4.3 ^a	28 ^a	5.4 ^a	25 ^a	<i>G. geosporum</i>
40.05 ^a	10.83 ^c	27.71 ^{bc}	12.3 ^a	53.6 ^a	5 ^a	28.3 ^a	7.3 ^a	24 ^a	<i>G. mossea</i>
29.4 ^b	7.02 ^c	24.01 ^a	7.0 ^{bc}	50.3 ^a	3.5 ^a	24.3 ^a	4.6 ^{ab}	27.3 ^a	<i>G. pasciculatum</i>
25.06 ^c	8.17 ^a	25.09 ^a	8.3 ^b	48.6 ^a	3.6 ^a	31.6 ^a	4.7 ^{ab}	25 ^a	<i>G. versiform</i>

براساس آزمون دانکن میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک می‌باشند در یک گروه آماری قرار دارند

Based on Duncan's test, means sharing the same letter belong to the same statistical group

بر اساس جدول ۴ تجزیه واریانس داده‌های تیمارهای مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد حاصل از تأثیر قارچ مایکوریزا بر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه دارویی اسطوخودوس بین اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید.

جدول ۴- نتایج آنالیز واریانس فاکتورهای فیتوشیمیایی گیاه اسطوخودوس در تیمارهای قارچ و شاهد.

Table 4. Results of the analysis of variance of the phytochemical factors of *Lavandula angustifolia* in fungal treatments and the control.

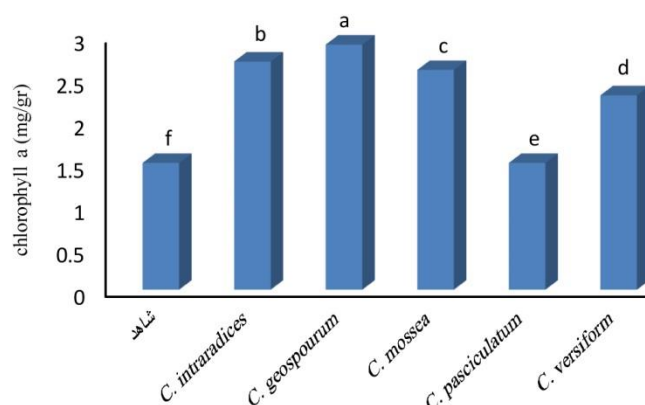
کاروتنوئید (mg g ⁻¹ FW) Carotenoid	کلروفیل کل (mg g ⁻¹ FW) Total chlorophyll	کلروفیل b (mg g ⁻¹ FW) Chlorophyll b	کلروفیل a (mg g ⁻¹ FW) Chlorophyll a	آنتی‌اکسیدان (%) Antioxidant	فلاونوئید (mg g ⁻¹ FW) Flavonoid	فنول (mg g ⁻¹ FW) Phenol	پروترین (μmol g ⁻¹ FW) Proline	درجه آزادی Degrees of freedom	منابع تغییر Sources of variation
0.78 ^{**}	8.87 ^{**}	4.72 ^{**}	1.95 ^{**}	448.4 ^{**}	0.22 ^{**}	111.5 ^{**}	0.017 ^{**}	5	قارچ Fungi
0.00007	0.0003	0.0004	0.00007	0.10	0.00003	0.025	0.00003	10	خطا Error
0.063	0.351	0.143	0.223	21.341	0.011	17.014	0.018	-	انحراف از میانگین Deviation from the mean

^{ns}، * و ^{**} به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد است

^{ns}, * and ** indicate no significant difference and significant difference at the 5 and 1 percent probability levels, respectively

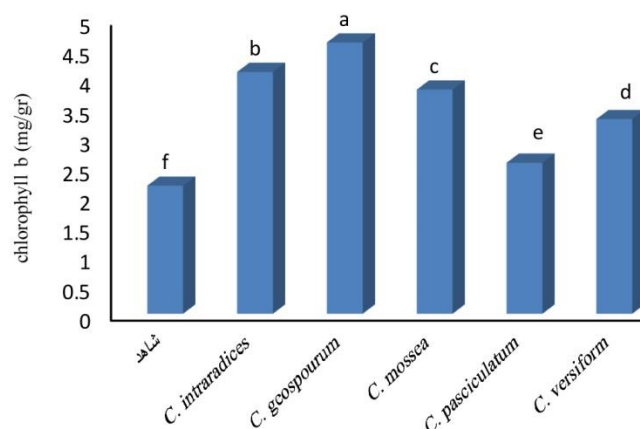
(شکل ۱). هم‌چنین بیش‌ترین میزان کلروفیل b ($5/33$) در تیمار استفاده از گونه *G. geosporum* (mg/gr) کم‌ترین میزان کلروفیل b ($2/43$) در تیمار استفاده از گونه شاهد بود (شکل ۲). نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان کلروفیل کل در تیمار استفاده از گونه *G. mosseae* به میزان $6/13$ mg/gr و کم‌ترین میزان کلروفیل کل در تیمار شاهد به میزان $3/99$ mg/gr بود (شکل ۳). همان‌طور که نتایج مقایسه میانگین نشان دادن حداکثر میزان کارتنوئید در تیمار استفاده از گونه *G. mosseae* ($1/85$ میلی‌گرم) و حداقل میزان کارتنوئید در تیمار استفاده از گونه شاهد ($0/81$ میلی‌گرم) دیده شد (شکل ۴).

جدول ۴ مقایسه میانگین داده‌های حاصل از تأثیر قارچ میکوریزا بر خصوصیات فیتوشیمیایی اسطوخودوس گویای آن است که بین تیمارهای مورد بررسی اختلاف معنی‌داری در سطح $0/01$ وجود دارد. مقایسه میانگین‌های اثر تلقیح گیاه مورد بررسی با قارچ‌های میکوریزا بر محتوای کلروفیل a ، کلروفیل b ، کلروفیل کل و کارتنوئید گیاه بیانگر اثر معنی‌دار تیمار با قارچ‌ها در افزایش صفات مذکور در مقایسه با گیاهان شاهد است ($p < 0/01$). بیش‌ترین میزان کلروفیل a در تیمار استفاده از گونه *G. geosporum* با $2/97$ mg/gr و کم‌ترین میزان کلروفیل a در تیمار استفاده از گونه *G. pasciculatum* با $1/42$ mg/gr بود



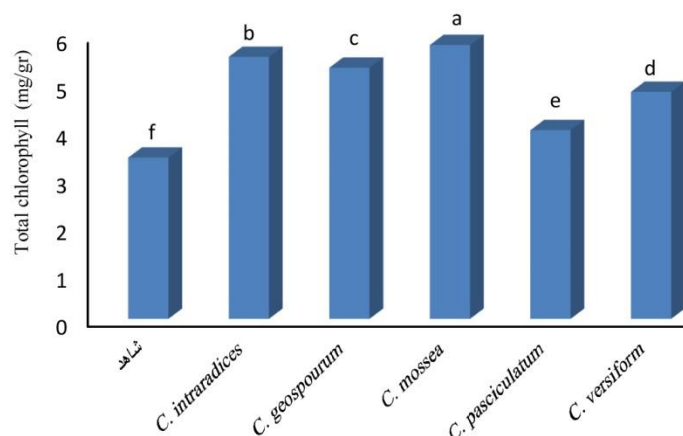
شکل ۱- بررسی اثر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر میزان کلروفیل a در اسطوخودوس.

Figure 1. Investigating the effect of different species of mycorrhiza on the content of chlorophyll a in *Lavandula angustifolia*.



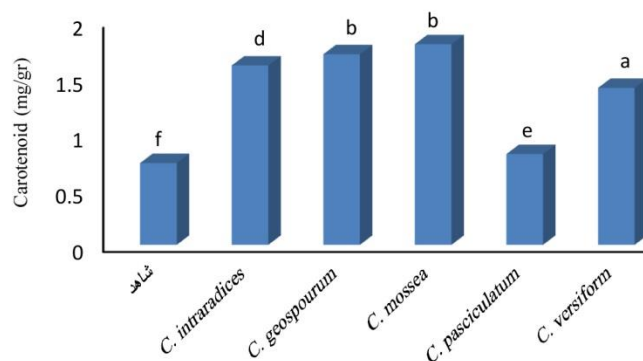
شکل ۲- بررسی اثر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر میزان کلروفیل b در اسطوخودوس.

Figure 2. Investigating the effect of different species of mycorrhiza on the content of chlorophyll b in *Lavandula angustifolia*.



شکل ۳- بررسی اثر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر میزان کلروفیل کل در اسطوخودوس.

Figure 3. Investigating the effect of different species of mycorrhiza on the content of total chlorophyll in *Lavandula angustifolia*.



شکل ۴- بررسی اثر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر میزان کارتنوئید در گیاه دارویی اسطوخودوس.

Figure 4. Investigating the effect of different species of mycorrhiza on the content of carotenoid in *Lavandula angustifolia*.

هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که هر چند اثر قارچ بر میزان پرولین گونه مورد بررسی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بود، ولی بیش‌ترین میزان پرولین به ترتیب در تیمار استفاده از تیمار بدون قارچ (شاهد) (۱/۴۶ میکرومول بر گرم) و سپس تیمارهای گونه‌های *G. intraradices* و *G. versiform* (۱/۳۲ و ۱/۲۴ میلی‌گرم در گرم) و کم‌ترین میزان پرولین در تیمارهای گونه *G. mosseae* دیده شد (شکل ۵).

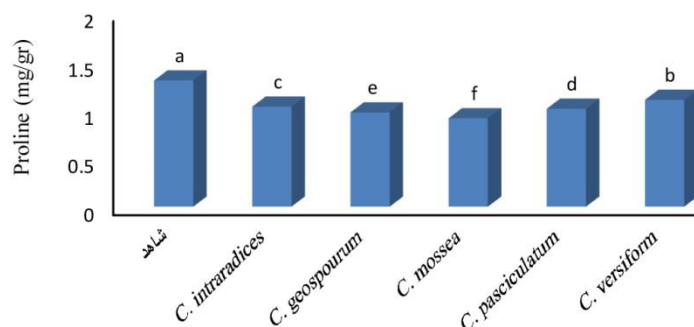
بررسی نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین میزان فنول در تیمار استفاده از گونه‌های *G. mosseae* (۳/۳۹) و *G. geosporum* (۴/۱۰) و کم‌ترین میزان فنول در تیمار استفاده از گونه‌های شاهد (۳/۳۹) و *G. mosseae* (۳/۲۰) بود (شکل ۷).

بالاترین میزان فلاونوئید در تیمار استفاده از گونه‌های *G. geosporum* (۴/۱۰) و *G. versiform* (۴/۰۱) و پایین‌ترین میزان فلاونوئید در تیمار استفاده از گونه‌های شاهد (۳/۳۹) و *G. mosseae* (۳/۲۰) بود (شکل ۷).

بیش‌ترین میزان فنول در تیمار استفاده از گونه‌های

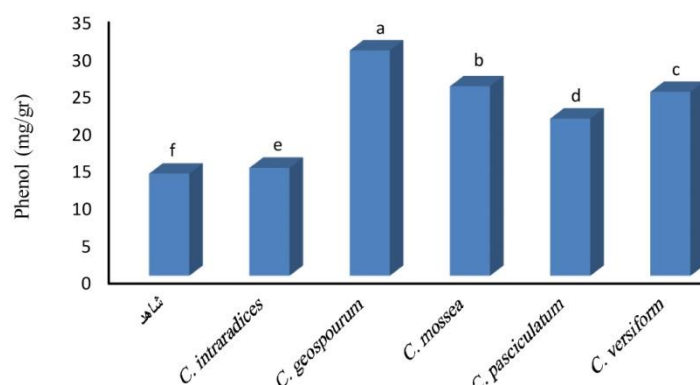
خاصیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار استفاده از گونه *G. intraradices* و *G. pasciculatum* (۱۲/۶۲) با ۱۲/۸۱ درصد دیده شد (شکل ۸).

براساس نتایج میانگین بیش‌ترین میزان خاصیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار استفاده از گونه *G. geosporum* و *G. mossea* (۳۵/۸۶) و کم‌ترین میزان (۴۳/۵۰)



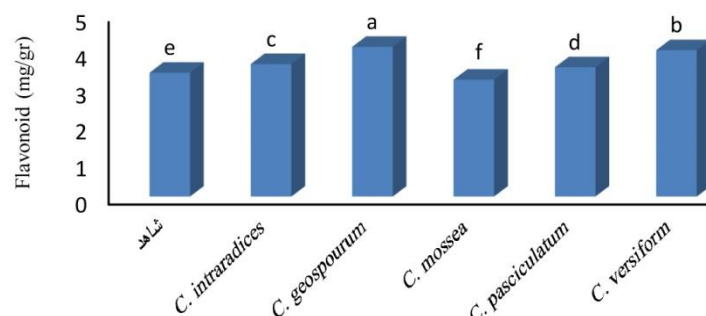
شکل ۵- بررسی اثر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر میزان پرولین در اسطوخودوس.

Figure 5. Investigating the effect of different species of mycorrhiza on the content of proline in *Lavandula angustifolia*.



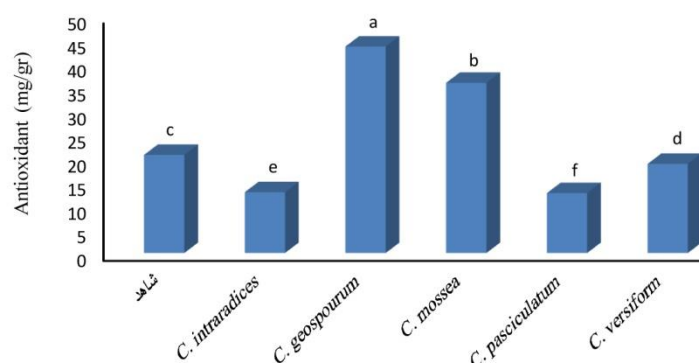
شکل ۶- بررسی اثر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر روی میزان فنول در اسطوخودوس.

Figure 6. Investigating the effect of different species of mycorrhiza on the content of phenol in *Lavandula angustifolia*.



شکل ۷- بررسی اثر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر میزان فلاونوئید در اسطوخودوس.

Figure 7. Investigating the effect of different species of mycorrhiza on the content of flavonoid in *Lavandula angustifolia*.



شکل ۸- بررسی اثر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر میزان آنتی‌اکسیدان در اسطوخودوس.

Figure 8. Investigating the effect of different species of mycorrhiza on the content of antioxidant in *Lavandula angustifolia*.

جذب نیتروژن می‌شود که نقش اساسی در ساختمان کلروفیل دارد و از طرفی مهمترین عنصر در سنتز پروتئین‌هاست و افزایش میزان آن در شرایط مطلوب تا حد مشخص موجب افزایش میزان پروتئین می‌گردد. با افزایش پروتئین‌ها گیاه به توسعه رویشی مثل افزایش تعداد شاخه فرعی، ارتفاع و قطر ساقه می‌پردازد که افزایش این صفات، افزایش مواد فتوسنتزی را به عهده دارد (۴۴). این قارچ‌ها از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مثل فسفر و برخی عناصر کم‌مصرف، افزایش جذب آب، کاهش تأثیر منفی تنش‌های محیطی و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماریزا، سبب بهبود در رشد و عملکرد گیاهان میزبان می‌گردند (۴۵).

بررسی‌های این مطالعه نشان داد که میزان پرولین در تیمار بدون قارچ افزایش بیشتری نسبت به تیمارهای همزیست با قارچ نشان می‌دهد. یکی از مهم‌ترین ترکیباتی که تغییر آن در گیاه نشان دهنده میزان تحمل گیاه به شرایط تنش است، میزان اسید امینه پرولین در گیاه است. که یک آمینو اسید شاخص برای بررسی وضعیت تحمل گیاه به تنش است که اغلب با افزایش تنش میزان آن نیز در گیاه افزایش می‌یابد. اما حضور میکوریزا باعث کاهش تولید پرولین می‌شود (۴۶). معمولاً گیاهان همزیست با

بحث

نتایج این بررسی گویای آن است که قارچ میکوریزا باعث بهبود شاخص‌های رشدی گیاه اسطوخودوس نظیر تعداد شاخه جانبی، قطر ساقه و تعداد برگ در یک شاخه، وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی شده است. بررسی منابع نیز نشان دهنده آن است که کاربرد قارچ میکوریزا سبب افزایش بیوماس نعنای فلفلی (*Mentha piperita*) (۳۷)، زوفا (*Hyssopus officinalis*) (۳۸)، آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) (۳۹)، شوید (*Anethum graveolens*) (۴۰) و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) (۴۱) گردید که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارد. رپرینی و همکاران (۲۰۰۸) با مطالعه همزیستی میکوریزا و گونه گیاهی درمنه (*Artemisia annua*) و سنسوی و همکاران (۲۰۰۷) پس از بررسی همزیستی میکوریزا و گونه گیاهی فلفل (*Capsicum annum*) اظهار نمودند که کاربرد قارچ‌های میکوریزا سبب بهبود ویژگی‌های رشدی گیاهان می‌شود. این نتایج با نتایج حاصل از تحقیق حاضر هم‌راستا می‌باشند. تحقیقات نشان می‌دهد در بین ریزجاندارانی که توانایی بهبود رشد گیاهان را دارند، قارچ‌های میکوریزا از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. قارچ میکوریزا سبب افزایش

مایکوریزا با استفاده از روابط آبی و تغذیه بهتر نسبت به گیاهان بدون مایکوریزا قادرند از شرایط تنش فرار نموده و کمتر دچار آسیب شوند. در نتیجه میزان پرولین و قندهای محلول نسبت به گیاهان بدون مایکوریزا افزایش کمتری نشان می‌دهد (۴۷). نتایج این بررسی با بررسی‌های مزارعی و همکاران (۲۰۱۷) و مونه-بوش و آلگره (۲۰۰۴) مطابقت دارد.

مشاهدات و نتایج بررسی‌ها حاکی از افزایش میزان فنول و میزان خاصیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار استفاده از گونه‌های *G. mosseae* و *G. geosporum* نسبت به سایر تیمارها بود. همچنین بالاترین میزان فلاونوئید در تیمار استفاده از گونه‌های *G. geosporum* و *G. versiform* مشاهده گردید. افزایش در مقدار تولید متابولیت‌های ثانویه با کاربرد قارچ مایکوریزا در بهبود جذب عناصر غذایی توسط میزبان (۴۹)، تغییر در فعالیت برخی از آنزیم‌ها (۵۰) و فعال‌سازی مسیرهای متابولیکی (۵۱) ارتباط داده شده است. در پژوهش حاضر افزایش در تولید فنول و فلاونوئید کل مشاهده شد که به دلیل جذب عناصر غذایی از جمله فسفر، تامین انرژی لازم و فعال‌سازی مسیر سنتزی این ترکیبات مربوط است. تأثیر مثبت مایکوریزا به فعال کردن برخی از آنزیم‌های دخیل در تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی ارتباط داده شده است (۵۲).

در مطالعه‌ای در گیاه ریحان مایه‌زنی شده با قارچ مایکوریزا به افزایش تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی انجامید (۵۳). نتایج مطالعه حاضر با بررسی‌های یزدان‌پناه گوهری و همکاران (۲۰۲۱) و تبریزی و همکاران (۲۰۱۵) که به ترتیب تأثیر قارچ مایکوریزا را بر روی گیاهان دارویی کاسنی و همیشه بهار مطالعه کردند، نیز همسو بوده است. چنان‌که نتایج تحقیقات این محققان بیانگر آن بود که قارچ‌های مایکوریزا تأثیر معنی‌داری بر افزایش میزان فنول، فلاونوئید و آنتی‌اکسیدان در گیاهان دارویی مذکور داشته است.

دژابون (۲۰۱۱) نیز اذعان می‌دارد که با توجه به نقش مایکوریزا در تدارک مطلوب عناصر غذایی و افزایش قابلیت جذب ماکرومولکول‌هایی مانند کربن و نیتروژن به نظر می‌رسد قارچ مایکوریزا با تأثیر مثبت بر مسیرهای متابولیکی اولیه گیاه به صورت غیرمستقیم بر تولید متابولیت‌های ثانویه مانند فنول‌ها و فلاونوئیدها تأثیرگذار باشد. همزیستی قارچ با مایکوریزا باعث افزایش تولید ترکیبات دفاعی مانند ترکیبات فنولی و در نتیجه افزایش مقاومت به بیماری‌ها در همزیستی گیاه به مایکوریزا و رقابت با القاء واکنش‌های مقاومت سیستماتیک اکتسابی (۵۷، ۵۸ و ۵۹) می‌گردد.

مطالعات متعدد نشان می‌دهد که همزیستی با قارچ‌های مایکوریزا مانند *Glomus mosseae* و *Rhizophagus irregularis*، تولید متابولیت‌های ثانویه از جمله اسانس‌ها را در اسطوخودوس افزایش می‌دهد. به عنوان مثال اسمیت و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که گیاهان مایکوریزایی، غلظت لینالول و استات لینالیل (ترکیبات اصلی اسانس اسطوخودوس) را تا ۴۵٪ نسبت به گیاهان غیرمایکوریزایی افزایش می‌دهند. این افزایش ناشی از بهبود جذب فسفر و نیتروژن و تحریک مسیرهای بیوسنتزی است. همچنین زوزارت و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که اسانس اسطوخودوس تحت تأثیر مایکوریزا، فعالیت ضدقارچی قوی‌تری علیه *Candida albicans* دارد که احتمالاً به افزایش ترکیبات فنولی مرتبط است. تحت شرایط تنش، مایکوریزا با مکانیسم‌های مختلفی از جمله افزایش جذب آب و تحریک ترشح ترکیبات محافظتی، مقاومت گیاه را بهبود می‌بخشد. در مطالعه دیگری الهندی و همکاران (۲۰۱۷) مشاهده کردند که گیاهان مایکوریزایی تحت تنش شوری ($EC=8 \text{ dS/m}$),

۴۰٪ افزایش در تولید ترکیبات فنلی و ۲۵٪ افزایش در محتوای اسانس نسبت به گروه شاهد نشان دادند.

در این مطالعه مشخص شد که قارچ‌های مایکوریزا بر محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید اثر معنی‌داری داشته است. بهبود در رنگیزه‌های فتوسنتزی توسط قارچ‌های مایکوریزا پیش از این توسط مورایز و همکاران (۲۰۰۴) در گیاه دارویی *Podophyllum peltatum* L. مورد بررسی قرار گرفت که با نتایج بدست آمده در این تحقیق همخوانی دارد. افزایش فتوسنتز توسط قارچ‌های مایکوریزا از راه افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی و سرعت فتوسنتز انجام می‌شود (۶۴، ۶۵، ۶۶). هم‌راستا با پژوهش‌های مذکور رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاه اسطوخودوس تلقیح شده با قارچ‌های مایکوریزا در این تحقیق افزایش معنی‌داری نشان دادند که می‌تواند یکی از دلایل بهبود رشد در گیاه مورد بررسی افزایش فتوسنتز در اثر افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی باشد.

به نظر می‌رسد که مایکوریزا از طریق فراهم نمودن عناصر مغذی و برقراری تعادل بین آن‌ها و بنابراین بهبود تغذیه معدنی گیاه واکنش‌های آنزیمی داخل گیاه و عوامل دخیل در هدایت این مسیرهای بیوسنتزی را تحت‌تأثیر قرار داده، بر مسیرهای بیوسنتزی متابولیت‌های ثانویه تأثیر مثبتی دارد و از این طریق در میزان تولید مواد موثره تأثیرگذار است (۱۴). هم‌چنین در گیاه فلفل (*Piper nigrum*) تلقیح‌شده با *G. intraradices* میزان کلروفیل a و b به‌طور معنی‌داری نسبت به گیاهان غیرمایکوریزایی افزایش یافت (۶۷). در واقع یکی از مهم‌ترین نقش‌های مایکوریزا افزایش محتوای کلروفیل می‌باشد (۶۸). قارچ‌های مایکوریزا سطح جذب نیتروژن، آهن و منیزیم گیاه را افزایش داده و از آنجایی‌که این عناصر نقش اساسی در ساختار کلروفیل دارند باعث می‌گردد رنگیزه‌های فتوسنتزی به‌طور معنی‌داری

افزایش یابند (۶۹). علاوه بر آن قارچ‌های مایکوریزا نقش مهمی در جذب فسفر توسط گیاه داشته و از این طریق می‌توانند موجب بهبود فتوسنتز و در نتیجه باعث افزایش محتوا و سازماندهی کلروپلاست‌های برگ‌ی گردند (۷۰). تانگ و همکاران (۲۰۰۹) افزایش در میزان کلروفیل گیاه مایکوریزایی شده را به افزایش جذب نیتروژن توسط سیستم مایکوریزایی نسبت دادند. مایکوریزا با گسترش شبکه هیف‌های خود، دسترسی گیاه به فسفر، پتاسیم و ریزمواد مغذی (مانند روی و آهن) را در خاک‌های فقیر افزایش می‌دهد. اسمیت و رید (۲۰۰۸) اشاره کردند که گیاه اسطوخودوس همزیست با مایکوریزا، جذب فسفر را تا ۵۰٪ بهبود می‌بخشد که به رشد ریشه و گلدهی بهتر منجر می‌شود. از سوی دیگر ریلیگ و مامی (۲۰۰۶) تأکید کردند که هیف‌های قارچی با ایجاد چسبندگی بین ذرات خاک، ساختار آن را تثبیت کرده و زهکشی را برای اسطوخودوس که به آبگرفتگی حساس است، بهینه می‌کنند.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این مطالعه گویای آن است که ریشه گیاه اسطوخودوس با اغلب گونه‌های قارچ مایکوریزای به‌کار رفته در این تحقیق رابطه همزیستی برقرار نموده است. به‌طوری‌که اغلب صفات رویشی و فیتوشیمیایی بررسی شده در این تحقیق نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد که علت آن را می‌توان ناشی از بهبود روابط آبی گیاه و احتمالاً جذب بهتر مواد غذایی توسط قارچ‌های مایکوریزا دانست. با توجه به نتایج به‌دست آمده گونه‌های *G. mosseae*، *G. intraradices* و *G. geosporum* می‌تواند بهترین شرایط را برای رشد و تولید مطلوب گیاه چندمنظوره اسطوخودوس فراهم نموده و به عنوان کود بیولوژیک جایگزین مناسبی برای کودهای

شیمیایی گردد. بنابراین بر اساس نتایج پژوهش حاضر و با توجه به سازگاری مایکوریزا با محیط زیست و انواع تنش‌های محیطی، استفاده از قارچ‌های مذکور به منظور افزایش عملکرد گیاه اسطوخودوس قابل توصیه است.

تقدیر و تشکر

از مسئول محترم آزمایشگاه‌های اکولوژی مرتع و آزمایشگاه خاک دانشکده مرتع و آبخیزداری کمال تشکر و قدردانی را داریم.

داده‌ها و اطلاعات دسترسی

مبنای این پژوهش، داده‌ها و اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی است که در راستای انجام پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد نویسنده اول گردآوری شده‌اند. کلیه آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌ها در آزمایشگاه اکولوژی مرتع، وابسته به گروه مدیریت مرتع در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، انجام شده است.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مساله مورد تأیید همگان است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: مسئولیت اصلی انجام اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی، تحلیل دقیق داده‌ها، تدوین پیش‌نویس اولیه مقاله و انجام اصلاحات نهایی و آماده‌سازی متن برای انتشار را بر عهده داشت.

نویسنده دوم: در انجام هماهنگی‌های ضروری، نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری و هدایت مسیر پژوهش

ایفا نمود. ایشان با ارائه دیدگاه‌های تخصصی، پیشنهادات سازنده و نظارت دقیق بر روند اجرای پژوهش، به ارتقای کیفیت علمی و دستیابی به نتایج مطلوب کمک شایانی کردند. نظارت دقیق ایشان بر روند نگارش و بازبینی نهایی مقاله نیز به بهبود ساختار و محتوای متن نهایی کمک کرد.

نویسنده سوم: با نظارت دقیق بر اجرای آزمایش‌ها و ارائه راهکارهای تخصصی، نقش به‌سزایی در بهبود و تسهیل فرایند انجام آزمایش‌ها و دستیابی به نتایج دقیق‌تر ایفا نمود. ایشان همچنین با ارائه نکات ارزشمند و راهنمایی‌های مؤثر در زمینه روش‌شناسی تحقیق، به غنای علمی پژوهش کمک شایانی نمودند. علاوه بر این، در مراحل نگارش و بازبینی نهایی مقاله نیز مشارکت فعال و مؤثری داشتند.

نویسندگان چهارم: در طراحی کلی پژوهش و تدوین روش‌شناسی مناسب برای دستیابی به اهداف تحقیق مشارکت داشتند.

اصول اخلاقی

تمامی اصول اخلاقی مرتبط با پژوهش و انتشار آثار علمی، به دقت توسط نویسندگان در این مطالعه رعایت شده است.

حمایت مالی

این پژوهش که در قالب پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شده و از گرنت پژوهشی دانشگاه گرگان (ویژه پایان‌نامه‌های کارشناسی‌ارشد) بهره‌مند بوده است.

منابع

- Ghorbani, R. (2015). Effect of humic acid pretreatment on germination and growth of marigold under drought stress. Master's thesis. Faculty of Agriculture, Birjand University.
- Moradi Tarnabi, Z., Iranbakhsh, A., Mehregan, I., & Ahmadvand, R. (2020). Impact of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on gene expression of some cell wall and membrane elements of wheat (*Triticum aestivum* L.) under water deficit using transcriptome analysis. *Physiol Mol Biol Plants*, 26(1), 143-162.
- Razavi, S., Jahan, M., Nasiri mahalati, M., & Hajmohammadnia Ghalibaf, K. (2017). Radiation Absorption and Use Efficiency of Common Mallow (*Malva sylvestris* L.) Affected by Different Sources of Organic, Biological and Chemical Fertilizers and Intercropping with Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*). *Iranian J. of Field Crops Research*, 15(1), 136-149.
- Azarnia, M., Safikhani, S., & Biabani, A. (2015). The effect of bio-fertilizer on crops yield, sustainable agriculture and organic farming. *Journal of Biosafety*, 8(2), 85-97. [In Persian]
- Hughes, J. K., Hodge, A., Fitter, A. H., & Atkin, O. K. (2008). Mycorrhizal respiration: implications for global scaling relationships. *Trends Plant Sci.*, 13(11), 583-588.
- Ganugi, P., Masoni, A., Pietramellara, G., & Benedettelli, S. A. (2019). Review of studies from the last twenty years on plant–arbuscular mycorrhizal fungi associations and their uses for wheat crops. *Agronomy*, 9, 840-854.
- Souza, T. (2015). Handbook of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. Springer, Switzerland. 153 p.
- Abbasi, H., Akhtar, A., & Sharf, R. (2015). Vesicular arbuscular mycorrhizal (VAM) fungi: A tool for sustainable agriculture. *American Journal of Plant Nutrition and Fertilization Technology*, 5, 40-49.
- Maltz, M. R., & Treseder, K. (2015). Sources of inocula influence mycorrhizal colonization of plants in restoration projects: A meta-analysis. *Restoration Ecology*, 23(5), 625-634.
- Zare, M., Siroosmehr, A., & Abdkhani, S. (2015). Effects of mycorrhizal fungi on morphological and physiological parameters of Sorghum (*Sorghum bicolor*) under chrome stress. *Rangeland*, 9(2), 159-169. [In Persian]
- Bago, B., Pfeffer, P. E., & Shachar-Hill, Y. (2000). Carbon metabolism and transport in arbuscular mycorrhizas. *Plant Physiology*, 124, 949-957.
- Querejeta, J. I., Allen, M. F., Alguacil, M. M., & Roldan, A. (2007). Plant isotopic composition provides insight into mechanisms underlying growth stimulation by AM Fungi in a semiarid environment. *Journal of Functional Plant Biology*, 34, 683-691.
- Auge, R. M. (2001). Stomatal behavior of arbuscular mycorrhizal plant: 201-237. In: Kapulnik, Y. and Douds, D.D., (Eds.). *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, 365p.
- Kheyri, Z., Moghaddam, M., & Moradi, M. (2020). Study the effect of different mycorrhizal fungi on some growth indices, photosynthetic pigments, flavonoids and carotenoid content of pot marigold flower. *Journal of Horticultural Plants Nutrition*, 3(1), 37-50.
- Saleh Rastin, N. (1998). Biological fertilizers. *Journal of soil and water sciences*, 12(3), 1-36. [In Persian]
- Ali Asgharzad, N. (1997). Soil Microbiology and Biochemistry (Translation 9), First Edition. University of Tabriz Press. [In Persian]
- Hazzoumi, Z., Moustakime, Y., Elharchli, E., & Amrani Joutei, KH. (2015). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and water stress on ultrastructural change of glandular hairs and essential

- oil compositions in *Ocimum gratissimum*. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2, 1-10.
18. Mazarai, A., Sirousmehr, A. R., & Babaei, Z. (2017). Effect of mycorrhizal fungi on some morphological & physiological characteristics of Milk thistle (*Silybum marianum* (L.) Gaertn.) under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 33 (4), 620-635. [In Persian]
19. Zare Hassanabdi, M., Dashti, M., & Akhondi, M. (2020). The effect of two species of arbuscular mycorrhiza fungi on the activity of antioxidant enzymes and morphophysiological characteristics of *Mentha pulegium* L. in drought stress. *Iranian Medicinal Plants Technology*, 2(2), 83-99. [In Persian]
20. Hovland, M., Mata-González, R., Schreiner, R. P., & Rodhouse, T. J. (2019). Fungal facilitation in rangelands: Do arbuscular mycorrhizal fungi mediate resilience and resistance in sagebrush steppe? *Rangeland ecology & management*, 72(4), 678-691.
21. Fattahi, B., Almasi, R., & Ghasemi Hajiabadi, F. (2022). Changes of morphological characteristics and nutrients of *Bromus tomentellus* under the influence of coexistence with mycorrhiza fungi for use in range seeding operation. *Rangeland*, 15(4), 665-676.
22. Yazdanpanah Gohari, A., Ghanbari Jahromi, M., & Zarrinnia, V. (2021). Effect of Some Mycorrhizal Fungi Species on Quantitative and Qualitative Properties of Two Landraces of Chicory in Greenhouse Conditions. *Journal of Crop Improvement*. 24(2), 527-544.
23. Sahib Hasan, M., Selahvarzi, Y., Nabati, J., & Aziz, M. (2020). Effect of mycorrhiza fungi and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on antioxidant capacity and some morphophysiological traits of medicinal marigold (*Calendula officinalis* Linn.) under drought stress. *Environmental Stress in Crop Sciences*. 13(2), 425-440.
24. Dodd, I. C., & Pérez-Alfocea, F. (2012). Microbial amelioration of crop salinity stress. *Journal of Experimental Botany*. 63(9), 3415-3428.
25. Kapoor, R., Giri, B., & Mukerji, K. G. (2004). Improved growth and essential oil yield and quality in (*foeniculum vulgare* Mill.) on mycorrhizal inoculation supplemented with p-fertilizer. *Bio resource Technology*. 93, 307-311.
26. Copetta, A., Lingua, G., & Berta, G. (2006). Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs, and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. *Genovese*. *Mycorrhiza*. 16, 485-494.
27. Chaghani, Z., Zolfaghari, M., Sedighi Dehkordi, F., & Mahmoudi Surestani, M. (2018). The effect of mycorrhizal fungi, growth-promoting bacteria and chemical fertilizers on the yield and essential oil content of dill seeds (*Lanethum graveolens*). *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*. 82(4), 93-104.
28. Weisany, W., Raei, Y., Zehtab Salmasi, S., & Sohrabi, Y. (2016). Effect of Arbuscular Mycorrhiza Fungi on Yield and Yield Components of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and Dill (*Anethum graveolens* L.) in Mono and Intercropping System. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 26(3), 1-19. [In Persian]
29. Azimi, R., Jangju M., & Asghari, H. (2014). The effect of mycorrhizal fungus inoculation on seedling establishment and morphological characteristics of *Bromus kopetdaghensis* growth in rangeland conditions. *Range and Watershed Management*. 4, 559-570.
30. Tavakoli Neko, H., Haji Mirrahimi, S. D., & Moradi, M. R. (2017). The entrepreneurship package of *Lavandula angustifolia* cultivation. Tehran: Asrar Alam, 61 p.
31. Kormanik, P. P., & McGraw, A. C. (1982). Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. In: Schenck N.C. (ed.). *Methods and*

- principles of mycorrhizal research. *American Phytopathological Society, St. Paul, MN*, pp. 37-45.
32. Dorman, H. J. D., Peltoketo, A., Hiltunen, R., & Tikkanen, M. J. (2003). Characterisation of the antioxidant properties of de-odourised aqueous extracts from selected Lamiaceae herbs. *Food Chemistry*, 83, 255-262.
33. Chang, Y. L., Kim, D. O., Lee, K. W., Lee, H. J., & Lee, C. Y. (2002). Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals. *Journal of Agricultural and food chemistry*, 50(13), 3713-3717.
34. Mashayikhi, K., & Atashi, P. (2013). Analytical methods in plant physiology (pre-harvest and post-harvest examination). Gorgan, 310 p.
35. Lutts, S., Kinet, J. M., & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*. 78(3), 389-398.
36. Bates, L. S., Waldern, R. P., & Tear, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*. 39, 205-207.
37. Mahmoudzadeh, M., Rasouli Sadaghiani, M. H., Asgari Lajayer, H., & Hasani, A. (2016). The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation on nutrient uptake and some morphological factors in peppermint (*Mentha piperita*). *Electronic Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 6(1), 161-176.
38. Shabahang, J., Khorramdel, S., Siahmargue, A., Gheshm, R., & Jafari, L. (2014). Evaluation of integrated management of organic manure application and mycorrhiza inoculation on growth criteria, qualitative and essential oil yield of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) under Mashhad climatic conditions. *Journal of Agroecology*. 6(2), 353-363.
39. Azimi, R., Janghol, M., & Asghari, H. R. (2013). The effect of inoculation with mycorrhizal fungi on the initial establishment and morphological characteristics of the plant. *Iranian Journal of Agricultural Research*, 11(4), 666-676.
40. Hashemzadeh, F., Mirshakari, B., Yarnia, M., Rahimzadeh Khoei, F., & Tarinejad, A. R. (2013). The role of biological and chemical fertilizers, nitrogen and phosphorus on yield, yield components and percentage of mycorrhizal symbiosis. *Ecophysiology of Crop Plants*, 3 (31), 257-270.
41. Irankhah, S., Ganjali, A., Lahoti, M., & Mashrekhi, M. (2016). Investigating the effect of bacteria on some morphological and biochemical traits of fenugreek plant. *Journal of Horticultural Sciences (Agricultural Sciences and Industries)*. 30 (1), 112-121.
42. Rapparini, F., Liusia, J., & Penuelas, J. (2008). Effect of arbuscular mycorrhiza colonization on terpen emission and content of *Artemisia annua* L. *Plant Biology*. 10(1), 108-122.
43. Sensoy, S., Demir, S., Turkmen, O., Erdinc, C., & Savur, O. (2007). Responses of some different pepper (*Capsicum annum* L.) genotypes to inoculation with two different arbuscular mycorrhizal fungi. *Scientia Horticulturae*. 113, 92-95.
44. Chaudhary, V., Kapoor, R., & Bhatnagar, A. K. (2008). Effectiveness of two arbuscular mycorrhizal fungi on concentrations of essential oil and artemisinin in three accessions of *Artemisia annual* L. *Applied Soil Ecology*. 40, 174-181.
45. Sharma, A. K. (2002). *Biofertilizers for Sustainable Agriculture*. Agrbis India, pp. 407.
46. Ghasem Jokar, N., Nadian, H., Khalil Moghaddam, B., Heidary, M., & Gharineh, M. H. (2015). Influence of mycorrhizal symbiosis on growth and proline content in Leek (*Allium porrum* L.) and two genotypes of persian Leek (*Allium ampeloprasum* ssp. *persicum* L.)

- under drought stress. *Plant products*, 38(1), 15-26.
47. Ruiz-Lozano, J. M. (2003). Arbuscular mycorrhizal symbiosis & alleviation of osmotic stress, new perspectives for molecular studies. *Mycorrhiza*, 13, 309-317.
48. Munne-Bosch, S., & Alegre, L. (2004). Die and let live: leaf senescence contributes to plants survival under drought stress. *Functional Plant Biology*, 31(3), 203-216.
49. Zimare, S. B., Borde, M. Y., Jite, P. K., & Malpathak, N. P. (2013). Effect of AM Fungi (Gf, Gm) on Biomass and Gymnemic Acid Content of *Gymnema Sylvestre* (Retz.). *The Proceedings of the National Academy of Sciences*.
50. Riter Netto, A. F., Freitas, M. S., Martins, M. A., Carvalho, A. J., & Vitorazi Filho, J. Á. (2014). Efeito de fungos micorrízicos arbusculares na bioprodução de fenóis totais e no crescimento de *Passiflora alata* Curtis. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 16, 1-9.
51. Zhang, R. Q., Zhu, H. H., Zhao, H. Q., & Yao, Q. (2013). Arbuscular mycorrhizal fungal inoculation increases phenolic synthesis in clover roots via hydrogen peroxide, salicylic acid and nitric oxide signaling pathways. *Journal of Plant Physiology*, 170(1), 74-79.
52. Baslam, M., & Goicoechea, N. (2012). Water deficit improved the capacity of arbuscular mycorrhizal fungi (AM FUNGI) for inducing the accumulation of antioxidant compounds in lettuce leaves. *Mycorrhiza*, 22, 347-359.
53. Hristozkova, M., Gigova, L., Geneva Stancheva, I., Vasileva, I., Sichanova, M., & Mincheva, J. (2017). Mycorrhizal fungi and microalgae modulate antioxidant capacity of basil plants. *Journal of Plant Protection Research*, 57(4), 10 pp.
54. Tabrizi, L., Mohammadi, S., Delshad, M., & Moteshare Zadeh, B. (2015). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on yield and phytoremediation performance of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) under heavy metals stress. *International Journal of Phytoremediation*, 17(12), 1244-1252.
55. Dejabon, F. (2011). Evaluation of the use of organic inputs and drying methods in the production of *Calendula officinalis*. Tehran University of Agriculture and Natural Resources Campus.
56. Bodker, L., Kjoller, R., Kristensen, K., & Rosendahl, S. (2002). Interactions between indigenous arbuscular mycorrhizal fungi and *Aphanomyces euteiches* in field-grown pea. *Mycorrhiza*, 12, 7-12.
57. Pozo, M. J., Jung, S. C., Lopez-Raez, J. A., & Azcón-Aguilar, C. (2010). Impact of arbuscular mycorrhizal symbiosis on plant response to biotic stress: The role of plant defense mechanisms. pp. 193–207. In: H. Koltai & Y. Kapulnik (eds.), *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Springer, Netherlands, Dordrecht.
58. Song, Y. Y., Cao, M., Xie, L. J., Liang, X. T., Zeng, R. S., Su, Y. J., Huang, J. H., Wang, R. L., & Luo, S. M. (2011). Induction of DIMBOA accumulation and systemic defense responses as a mechanism of enhanced resistance of mycorrhizal corn (*Zea mays*) to sheath blight. *Mycorrhiza*, 21, 721-731.
59. Van der Ent, S., Van Wees, S. M., & Pieterse, C. J. (2009). Jasmonate signaling in plant interactions with resistance-inducing beneficial microbes. *Phytochemistry*, 70, 1581-1588.
60. Smith, T. J., Smith, F. A., & Jakobsen, I. (2020). Functional diversity in arbuscular mycorrhizal (AM) symbioses: The contribution of the mycorrhizal P uptake pathway is not correlated with mycorrhizal responses in growth or total P uptake. *New Phytologist*, 226(5), 1362-1375.
61. Zuzarte, M., et al. (2013). Chemistry & Biodiversity, 10(5), 870-882.
62. Elhindi, K. M., El-Din, A. S., & Elgorban, A. M. (2017). The impact of

- arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating salt-induced adverse effects in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Scientia Horticulturae*, 214, 74-84.
63. Moraes, R. M., Andrade, Z. D., Bedir, E., Dayan, F. E., Lata, H., Khan, I., & Pereira, A. M. S. (2004). Arbuscular mycorrhiza improves acclimatization and increases lignin content of micropropagated mayapple (*Podophyllum peltatum* L.). *Plant Science*. 166, 23-29.
64. Adolfsson, L., Solymosi, K., Andersson, M. X., Keresztes, A., Uddling, J., & Schoefs, B. (2015). Mycorrhiza symbiosis increases the surface for sunlight capture in *Medicago truncatula* for better photosynthetic production. *PLoS ONE*, 10(1), e0115314.
65. Romero-Munar, A., Del-Saz, N. F., Ribas-Carbó, M., Flexas, J., Baraza, E., & Florez-Sarasa, I. (2017). Arbuscular mycorrhizal symbiosis with *Arundo donax* decreases root respiration and increases both photosynthesis and plant biomass accumulation. *Plant Cell Environ*, 40 (7), 1115-1126.
66. Zhang, T., Hu, Y., Zhang, K., Tian, C., & Guo, J. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi improve plant growth of *Ricinus communis* by altering photosynthetic properties and increasing pigments under drought and salt stress. *Industrial Crops and Products*, 117, 13-19.
67. Demir, S. (2005). Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper. *Turkish Journal of Biology*. 28(2-4), 85-90.
68. Gogoi, P., & Singh, R. K. (2011). Different effect of some arbuscular mycorrhizal fungi on growth of *Piper longum* L. (Piperaceae). *Indian Journal of Sciences and Technology*. 4(2), 119-125.
69. Chaudhary, V., Kapoor, R., & Bhatnagar, A. K. (2007). Effect of arbuscular mycorrhiza and phosphorus application on artemisinin concentration in *Artemisia annua* L. Mycorrhiza. 17, 581-587.
70. Selvaraj, T., & Chellappan, P. (2006). Arbuscular mycorrhizae: a diverse personality. *Journal of Central European Agriculture*. 7(2), 349-358.
71. Tang, M., Chen, H., Huang, G. C., & Tian, Z. Q. (2009). Am fungi effects on the growth and physiology of *Zea mays* L. seedlings under diesel stress. *Soil Biology and Biochemistry*. 41, 936-940.
72. Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). Mycorrhizal Symbiosis. (3rd ed.). Academic Press.
73. Rillig, M. C., & Mummey, D. L. (2006). Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist*, 171(1), 41-53.

