Research Article

Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research
Vol. 40, No. 3, Page 544-561 (2024)

DOI:10.22092/IJMAPR.2024.363783.3386

Investigation of inoculation with mycorrhizal fungi on biochemical characteristic and essential oil content of *Ocimum basilicum* L. under drought stress in greenhouse conditions

Fatemeh Javadi[1] and Ghobad Salimi[2*]

1- M.Sc., Department of Agriculture, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran
2*- Corresponding Author, Departmentof Agriculture, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran,
E-mail: salimi8m@yahoo.com

Received: October 2023 Revised: December 2023 Accepted: May 2024

Abstract

Background and purpose: The medicinal plant *Ocimum basilicum* L. is one of the most important medicinal plants. It is native to tropical regions from Central Africa to Southeast Asia and has antimicrobial, antioxidant, analgesic, and anti-inflammatory properties. Drought stress is one of the most important abiotic factors that can severely affect plant growth and yield. This study aimed to investigate the effect of mycorrhizal fungus on some physiological and biochemical properties of the medicinal plant *O. basilicum* L. under drought stress.

Methodology: This experiment was conducted in the research greenhouse of Islamic Azad University, Kermanshah branch in 2022. The experiment was performed as a factorial experiment in a Random completely blocked design with two factors (mycorrhiza fungus) in three levels including control (without inoculation with fungus), *G. etunicatum* and *G. mosseae*, water drought stress at three levels (without stress, 75 and 50% of field capacity) were performed in four replications. The traits measured in the experiment include, the number of leaves, relative water content, ion leakage, photosynthetic pigments, proline, carbohydrate, antioxidant activity, phenol content and clonization percentage.

Results: The results of analysis of variance analysis showed that the effect of mycorrhizal fungus on all the traits measured in the experiment was significant, and also, the effect of drought stress on all the investigated traits was significant except for the amount of phenol and total chlorophyll. The interaction effect of two factors, mycorrhizal fungus and different levels of drought stress, on the characteristics of ion leakage and carotenoid content was significant. Mean comparisons of data showed that the highest number of leaves (70.5) was observed in the treatment of *G. mosseae* fungus, and the lowest number of leaves (58) was in the treatment without fungus. The highest relative water content of leaves (79.059%) was in non-stress conditions, which had a significant difference with the stress conditions of 75 and 50% of crop capacity. The highest electrolyte leakage percentage (33.02%) in the stress condition was 50% of the field capacity in the control treatment, which was not significantly different in the same condition as the *G. etunicatum* fungus treatment. Inoculation with mycorrhizal fungus increased the content of total chlorophyll so that the highest amount of total chlorophyll (0.96 mg/g of fresh weight) was obtained in the treatment of *G. mosseae*, which was not significantly different from G. *etunicatum* and also inoculation with mycorrhizal fungi increased the content of

Copyright: © 2024 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.

chlorophyll a and b by 91.8%. Inoculation with mycorrhizal fungus increased the proline content by 25.33%, too. The highest antioxidant activity (21.13%) was obtained in treating *G. mosseae*fungus. The lowest amount of essential oil was observed in the 50% of the field capacity treatment, 25.96% less than the control treatment. Drought stress decreased the percentage of root colonization in *G. mosseae* by 55.77% and in *G. etunicatum* by 57.93%.
Conclusion: Mycorrhizal fungus improved the morphological and physiological characteristics in green basil plant.symbiosis with *G. mosseae* fungus under drought stress conditions with increasing proline and antioxidant activity, improved physiological traits and resistance to drought stress in green basil plant.

Keywords: Drought stress, medicinal plant, colonization percentage, proline, essential oil percentage.

بررسی تلقیح قارچ‌های میکوریزا بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و محتوی اسانس گیاه دارویی ریحان سبز (*Ocimum basilicum* L.) تحت تنش خشکی در شرایط گلخانه

فاطمه جوادی[۱] و قباد سلیمی[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه کشاورزی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران

۲*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه کشاورزی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران، پست الکترونیک: Salimi8m@yahoo.com

تاریخ دریافت: مهر ۱۴۰۲ تاریخ اصلاح نهایی: آذر ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۴۰۳

چکیده

سابقه و هدف: گیاه دارویی ریحان سبز (*Ocimum basilicum* L.) یکی از مهمترین گیاهان دارویی است که بومی مناطق گرمسیری از آفریقای مرکزی تا جنوب‌شرقی آسیا است و دارای خواص ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی، ضد درد، ضد التهابی و غیره می‌باشد. تنش خشکی یکی از مهمترین عوامل غیرزیستی است که به‌شدت بر رشد و عملکرد گیاهان می‌تواند تأثیر منفی بگذارد. هدف از این مطالعه، بررسی اثر قارچ میکوریزا بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه دارویی ریحان سبز (*O. basilicum* L.) تحت تنش خشکی است.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه در سال ۱۴۰۱ انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور قارچ میکوریزا در سه سطح شامل شاهد (بدون تلقیح با قارچ)، قارچ گونه گلوموس اتونیکاتوم (*Glomus etunicatum*) و قارچ گونه گلوموس موسه (*G. mosseae*)، تنش خشکی در سه سطح (بدون تنش، ۷۵ و ۵۰٪ ظرفیت زراعی) در چهار تکرار انجام شد. صفات مورد بررسی در آزمایش شامل تعداد برگ، محتوی نسبی آب، نشت یونی، رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین، کربوهیدرات، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوی فنل و درصد کلونیزاسیون بودند.

نتایج: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر قارچ میکوریزا بر کل صفات مورد اندازه‌گیری در آزمایش معنی‌دار شد، همچنین اثر تنش خشکی بر روی همه صفات مورد بررسی به‌غیر از میزان فنل و کلروفیل کل معنی‌دار بود. اثر متقابل دو عامل، قارچ میکوریزا و سطوح مختلف تنش خشکی بر روی صفات محتوی نشت یونی و میزان کاروتنوئید معنی‌دار شد. مقایسات میانگین داده‌ها نشان داد که بالاترین تعداد برگ مربوط به تیمار قارچ گلوموس موسه (۷۰/۵) بود و کمترین تعداد برگ مربوط به تیمار بدون قارچ (۵۸) می‌باشد. بیشترین محتوی نسبی آب برگ در شرایط بدون تنش بود (۷۹/۰۵۹٪) که تفاوت معنی‌داری با شرایط تنش ۷۵٪ و ۵۰٪ ظرفیت زراعی داشت. بیشترین محتوی نشت الکترولیتی در شرایط تنش ۵۰٪ ظرفیت زراعی در تیمار شاهد بود (۳۳/۰۲٪) که تفاوت معنی‌داری در همین شرایط با تیمار قارچ گلوموس اتونیکاتوم نداشت. تلقیح با قارچ میکوریزا سبب افزایش محتوی کلروفیل کل شد، به‌طوری که بیشترین مقدار کلروفیل کل (۰/۹۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تیمار قارچ گلوموس موسه بدست آمد که اختلاف معنی‌داری با قارچ گلوموس اتونیکاتوم نداشت. تلقیح با قارچ میکوریزا سبب افزایش ۸/۹۱ درصدی محتوی کلروفیل a و b شد. تلقیح با قارچ میکوریزا سبب افزایش ۲۵/۳۳ درصدی محتوی پرولین شد. بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار قارچ گلوموس موسه (۲۱/۱۳٪) بدست آمده است. کمترین میزان اسانس در شرایط تنش خشکی ۵۰٪ ظرفیت زراعی مشاهده شد که ۲۵/۹۶٪ کمتر از تیمار شاهد بود. تنش خشکی در قارچ گلوموس موسه درصد کلونیزاسیون ریشه را حدود ۵۵/۷۷٪ و در قارچ گلوموس اتونیکاتوم حدود ۵۷/۹۳٪ کاهش داد.

نتیجه‌گیری کلی: قارچ میکوریزا باعث بهبود صفات مرفولوژیک و فیزیولوژیک در گیاه ریحان سبز شد. همزیستی با قارچ گلوموس موسه و گلوموس اتونیکاتوم در شرایط تنش خشکی با افزایش پرولین و تحریک فعالیت آنتی‌اکسیدانی باعث بهبود صفات فیزیولوژیک در گیاه ریحان سبز و افزایش مقاومت به تنش خشکی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تنش کم آبی، گیاه دارویی، درصد کلونیزاسیون، پرولین، درصد اسانس.

مقدمه

ریحان با نام علمی *O. basilicum* از تیره نعنا (Lamiacea)، یکی از مهمترین گیاهان اقتصادی است که بومی مناطق گرمسیری از آفریقای مرکزی تا جنوب‌شرقی آسیاست (Omidbaigi, 2005). هرچند ریحان بیشتر به‌عنوان گیاهی یک‌ساله کشت می‌شود، در آب و هوای گرمسیری یا مدیترانه‌ای می‌توان آن را مانند یک گیاه چندساله یا دوساله کاشت (Brandão *et al*., 2022).

تنش خشکی یکی از مهمترین عوامل غیرزیستی است که به‌شدت بر رشد و عملکرد گیاهان می‌تواند تأثیر منفی بگذارد (Benaffari *et al*., 2022). مطالعات مختلف ثابت کرده‌اند که تنش خشکی باعث کاهش رشد رویشی گیاهان می‌شود، به‌عنوان مثال، در گونه‌های اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia*) (Chrysargyris *et al*., 2016) و ریحان (García-Caparrós *et al*., 2019) باعث کاهش ارتفاع بوته، سطح برگ، تعداد برگ در بوته و محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی شد. علاوه بر این، Al-Huqail و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که تنش خشکی باعث کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی برای ریحان شیرین (*O. basilicum*) شد. محدودیت در رشد شاخساره به احتمال زیاد به دلیل تخصیص دوباره کربوهیدرات به نفع رشد ریشه یا کاهش بازده فتوسنتز بود، البته اثر تنش خشکی را می‌توان با کاهش عملکرد بذر تا مرحله زایشی گسترش داد (Rastogi *et al*., 2019).

همزیستی گیاه و ریزجانداران خاکزی مانند میکوریزا، راهکاری مفید برای افزایش مواد آلی خاک، تقویت جوامع میکروبی، افزایش کارایی مصرف نهاده‌های کشاورزی به‌ویژه آب آبیاری و در نهایت بهبود عملکرد کمّی و کیفی گیاهان محسوب می‌شود (Sun *et al*., 2021). قارچ‌های میکوریزا می‌تواند تولید آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی مانند کاروتنوئیدها، ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی را تحریک کند (Amiri *et al*., 2015). به‌عنوان مثال، گیاهان شمعدانی رز (*Pelargonium graveolens*) تیمار شده توسط گونه‌های مختلف گلوموس دارای محتوی فنل و فلاونوئید بالاتری نسبت به گیاهان غیر کلونیزه شده تحت تنش خشکی بودند (Cheng *et al*., 2021). علاوه بر این، *Ephedra aphyla* تلقیح شده با مخلوطی از قارچ‌های میکوریزا، به‌عنوان مثال *Claroideoglomus etunicatum*، *R. irregularis* و *F. mosseae* افزایش ترکیبات فنلی را تحت تنش شوری نشان داد (Alqarawi *et al*., 2014). علاوه بر این، افزایش محتوی کاروتنوئید در گیاهان گل جعفری (*Tagetes erecta*) در همزیستی با *G. constrictum* گزارش شد (Asrar & Elhindi, 2011).

این مطالعات نشان می‌دهد که قارچ‌های میکوریزی می‌توانند با حفظ هموستازی ROS از طریق تجمع آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی، تنش‌های غیرزیستی را تحمل کنند. به‌طور کلی، بهبود سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی ناشی از قارچ‌های میکوریزا را می‌توان به این واقعیت نسبت داد که قارچ‌های میکوریزا می‌توانند ROS را انباشته کنند و قارچ‌های میکوریزا دارای ژن‌های SOD هستند (Xiong *et al*., 2020؛ Israel *et al*., 2022). قارچ‌ها از راه‌های مختلفی مانند افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، اسمولیت‌ها (به‌ویژه پرولین) و حفظ رنگیزه‌های کلروفیلی، موجب کاهش خطرات ناشی از تنش و افزایش تحمل گیاه میزبان به تنش شوری می‌شوند (de Assis *et al*., 2020).

خشکی در ایران و جهان پدیده‌ای اجتناب‌ناپذیر است که همه ساله با شدت‌های متفاوتی، تولید موفقیت‌آمیز محصولات کشاورزی را با مخاطره روبرو می‌سازد. با توجه به اینکه یکی از ارکان اصلی در کشاورزی پایدار استفاده از کودهای زیستی در اکوسیستم‌های زراعی با هدف حذف یا کاهش قابل ملاحظه در مصرف نهاده‌های شیمیایی است و با توجه به کاهش روزافزون منابع آبی و رویارویی گیاهان با تنش آبی و کاهش کیفیت و کمّیت محصولات کشاورزی، این پژوهش به‌منظور ارزیابی تأثیر قارچ میکوریزا بر شاخص‌های فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه ریحان سبز در شرایط تنش خشکی در گلخانه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در گلخانه مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی کشاورزی دانشگاه آزاد واحد کرمانشاه در تابستان سال ۱۴۰۱ به‌صورت

آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش عبارتند از: سه سطح تلقیح قارچ میکوریزا (بدون قارچ، *G. etunicatum* و *G. mosseae*) و سه سطح رژیم آبیاری (آبیاری در حد ظرفیت زراعی (شاهد)، آبیاری در حد ۵۰٪ ظرفیت زراعی و آبیاری در حد ۷۵٪ ظرفیت زراعی). بذر ریحان سبز از شرکت پاکان بذر در اصفهان و دو گونه قارچ میکوریزا *G. etunicatum* و *G. mosseae* از شرکت زیست فناوران توران تهیه شد.

برای اعمال تیمارهای مورد آزمایش، از گلدان‌هایی با سیستم تهویه از پایین با قطر دهانه ۲۵ سانتی‌متر، ارتفاع ۲۱ سانتی‌متر و مقدار ۵ کیلوگرم خاک استفاده شد که ۵ سانتی‌متر انتهای آن با سنگریزه و بقیه با خاک پاستوریزه همراه تیمار قارچی مورد نظر پر شد و برای بستر کاشت در نظر گرفته شدند. برای پاستوریزاسیون خاک گلدان‌ها، خاک مد نظر در کیسه‌های کنفی ۱۰ کیلوگرمی بسته‌بندی و به‌مدت یک ساعت در اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۵ اتمسفر قرار گرفت. تعداد اسپور قارچ‌های *G. mosseae* و *G. tunicatum* در ۱۰ گرم خاک از مایه تلقیح به‌ترتیب حدود ۷۵۰ و ۵۰۰ بود و به ازای هر کیلوگرم خاک، ۱۰ گرم مایه تلقیح میکوریزایی در عمق ۵ سانتی‌متری گلدان اضافه شد؛ بذرها را در عمق یک تا دو سانتی‌متری خاک گلدان کاشته و در فواصل زمانی دو روز یک‌بار آبیاری شدند. تیمار تنش خشکی پس از استقرار گیاه در مرحله ۶-۴ برگی اعمال شد. به منظور اعمال تنش خشکی درصدهای مختلفی از FC (آبیاری در حد ظرفیت زراعی (شاهد)، آبیاری در حد ۷۵٪ ظرفیت زراعی و آبیاری در حد ۵۰٪ ظرفیت زراعی) در خاک گلدان‌ها ایجاد و برای تنظیم رطوبت از روش توزین گلدان‌ها استفاده شد. کلیه مراقبت‌های زراعی در طول دوره رشد انجام شد. اندازه‌گیری صفات در مرحله‌ای که ۸۰٪ گلدهی بوته‌ها صورت گرفته، انجام شد. در این مرحله، از هر تیمار چهار گلدان به‌صورت تصادفی انتخاب و تعداد برگ گیاه در گلدان اندازه‌گیری شد. برای تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه، ابتدا ریشه‌ها به دقت با آب مقطر شستشو داده شد و از محلول FAA (فرمالین، الکل، استیک اسید) برای تثبیت ریشه‌ها استفاده شد. براساس این روش ۵۰ قطعه یک سانتی‌متری از ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده به منظور ارزیابی درصد کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ‌ها به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. سپس برای ارزیابی قطعات ریشه، هر قطعه ریشه بر روی لام مخصوص در زیر بینوکولار ارزیابی شده و میزان کلونیزاسیون با برآورد طولی ریشه که به ساختمان‌های قارچی (وزیکول، آربوسکول و هیف) آلوده بوده، محاسبه شده و میانگین کلونیزاسیون ریشه برای این ۵۰ قطعه تعیین گردید (Soorni *et al*., 2020). اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی با استفاده از روش Wellburn (۱۹۹۴) و اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از روش Moon و Terao (۱۹۹۸) انجام شد و برای تعیین میزان فنل کل موجود در عصاره متانولی تهیه شده از برگ از معرف فولین سیکالتو استفاده شد (Singliton & Rushi, 1965). اندازه‌گیری کربوهیدرات با استفاده از روش Schlegel (۱۹۵۶) در مرحله قبل از گلدهی انجام شد. اندازه‌گیری میزان پرولین نیز با استفاده از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) انجام گردید. نشت الکترولیت با استفاده از روش Ershadi و همکاران (۲۰۱۶) و محتوی نسبی آب برگ با استفاده از روش Barrs و Weatherly (۱۹۶۲) اندازه‌گیری شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ آنالیز و مقایسه میانگین از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱٪ انجام شد.

نتایج

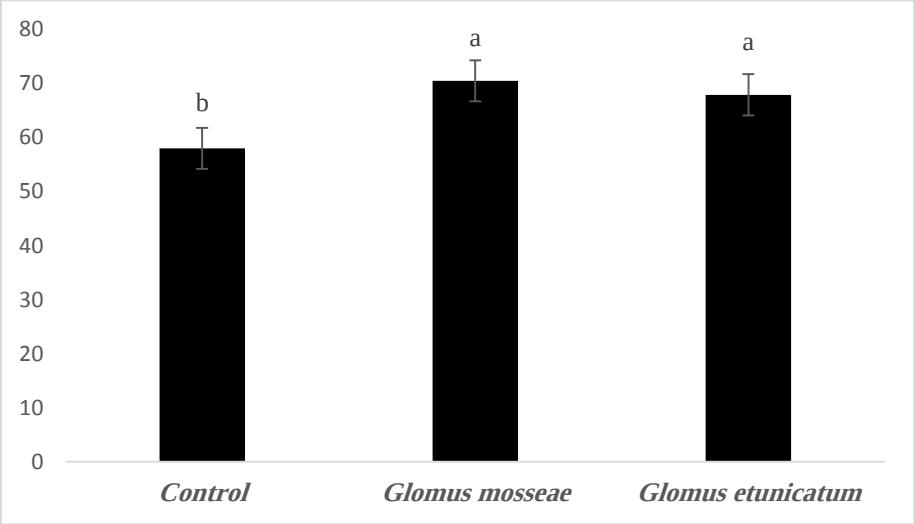
نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که تنش خشکی و قارچ میکوریزا تأثیر معنی‌داری بر صفت تعداد برگ در سطح احتمال ۱٪ داشتند (جدول ۱). اما اثر متقابل میکوریزا و تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر روی صفت تعداد برگ نداشت. بالاترین تعداد برگ مربوط به تیمار قارچ گلوموس موسه (۷۰/۵) بود و کمترین تعداد برگ مربوط به تیمار بدون قارچ (۵۸) می‌باشد (شکل ۱). مقایسه میانگین نشان می‌دهد که بیشترین تعداد برگ در سطوح مختلف تنش در شرایط بدون تنش (۷۶/۷۵) و کمترین تعداد برگ (۵۶/۲۵) در شرایط تنش ۵۰٪ ظرفیت زراعی بدست آمد (شکل ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر قارچ میکوریزا و خشکی بر برخی صفات ریحان سبز

Table 1. ANOVA of mycorrhizal fungus and drought stress effects on some *Ocimum basilicum* traits

S.O.V.	d.f.	Number of leaves	Relative water content	Electrolyte leakage	Chlorophyll *a* content	Chlorophyll b content	Total chlorophyll content	Carotenoids content	Phenols content	Proline content	Carbohydrates content	Antioxidant activity	Essential oil percentage
Repetition	3	44.76	10.569	1.80	1.021	0.001	0.002	0.007	813.3	0.31	2.46	16.25	0.05
Mycorrhizal fungus (M)	2	522.65**	828.1**	120.7**	0.01**	0.026**	0.013**	0.25**	3020.6*	1.76**	11.9**	86.59**	0.118**
Drought stress (D)	2	1299.3**	1518.7**	16.45**	0.08**	0.17**	0.005^{ns}	0.04*	2196.4^{ns}	0.29**	0.35^{ns}	12.14**	0.638**
M × D	4	12.4^{ns}	46.6^{ns}	1.7**	0.05^{ns}	0.005^{ns}	0.002^{ns}	0.02*	2373.9^{ns}	0.008^{ns}	0.02^{ns}	0.28^{ns}	0.001^{ns}
Experimental error	24	7.009	32.34	0.21	0.07	0.001	0/002	0.009	791.9	0.006	0.14	0.23	0.2
C.V. (%)		4.8	8.4	1.64	28	5	5.13	9.27	12.2	2.29	7.26	2.65	25

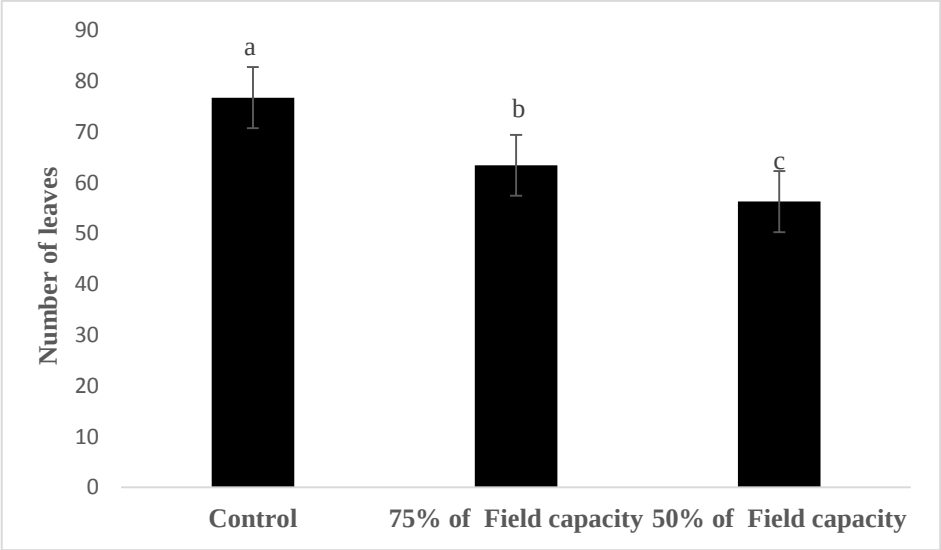
n.s., *, and **: non-significant, significant at 1, and 5% probability levels, respectively.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر قارچ میکوریزا بر تعداد برگ در ریحان سبز

Figure 1. Means comparison of mycorrhizal fungus effects on number of leaves in *Ocimum basilicum*

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

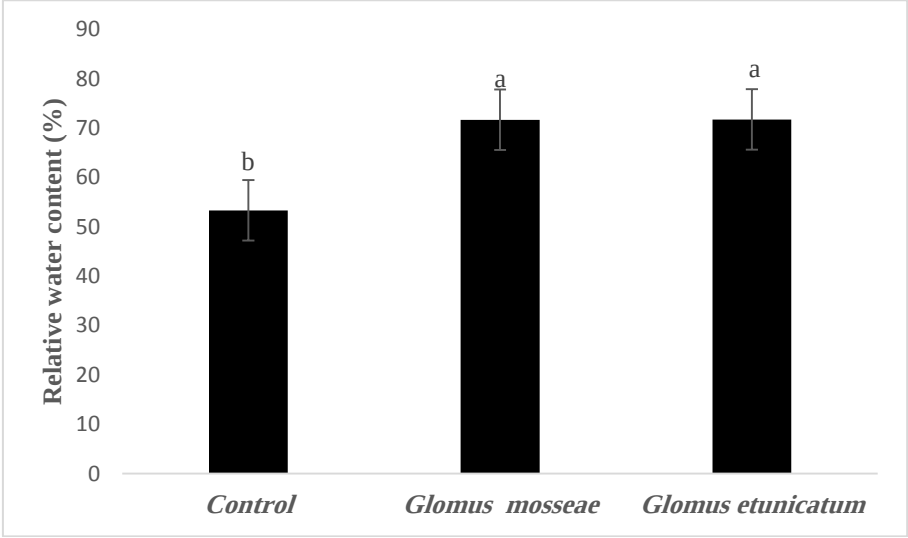


شکل ۲- مقایسه میانگین اثر خشکی بر تعداد برگ در ریحان سبز

Figure 2. Means comparison of drought stress effects on number of leaves in *Ocimum basilicum*

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

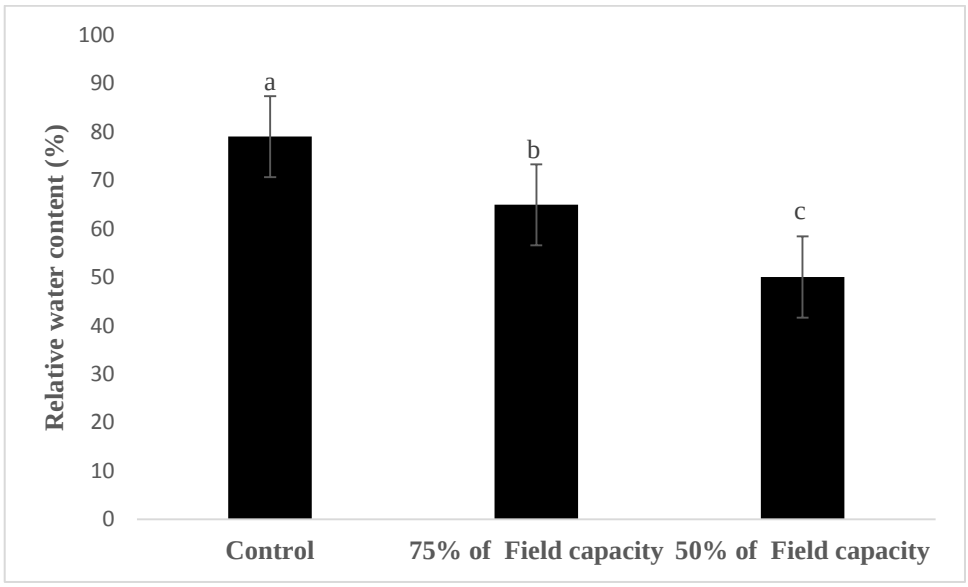
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی قارچ میکوریزا و تنش خشکی بر روی محتوی نسبی آب برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود ولی اثر متقابل این دو عامل بر روی این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۱). مقایسات میانگین اثرهای ساده نشان داد که بیشترین محتوی نسبی آب برگ در شرایط بدون تنش بود (۷۹/۰۵۹٪) که تفاوت معنی‌داری با شرایط تنش ۷۵٪ و ۵۰٪ ظرفیت زراعی داشت (شکل ۳) و کمترین میزان آب نسبی برگ (۵۶/۸۲٪) در شرایط تنش کم‌آبی و ۵۰٪ ظرفیت زراعی بود. طبق مقایسه میانگین، اثر قارچ میکوریزا بر روی صفت محتوی آب نسبی برگ مثبت بود و بیشترین محتوی آب نسبی برگ در تیمار قارچ گلوموس اتونیکاتوم بدست آمد که با تیمار گلوموس موسه تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۴).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر قارچ میکوریزا بر محتوای نسبی آب در ریحان سبز

Figure 3. Means comparison of mycorrhizal fungus effects on relative water content in *Ocimum basilicum*

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

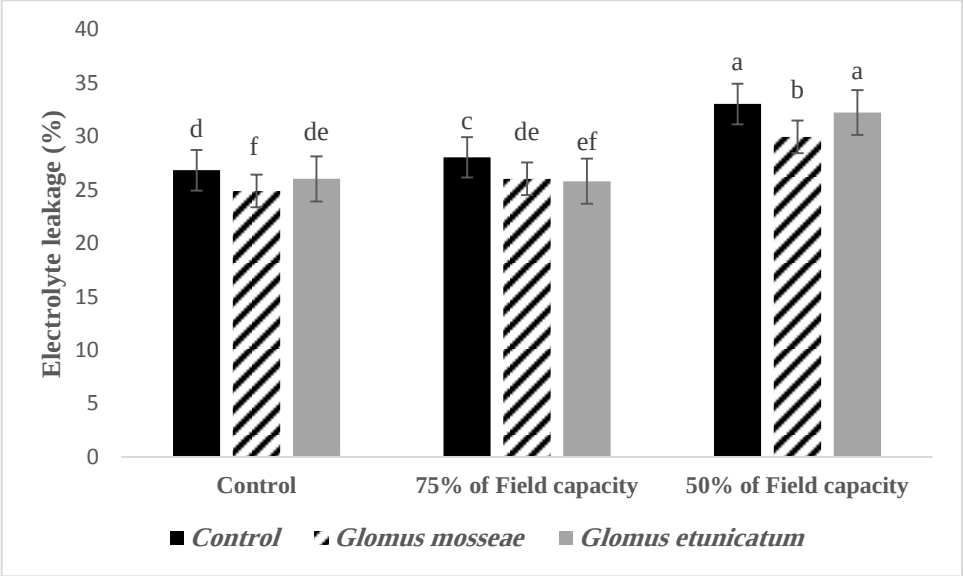


شکل ۴- مقایسه میانگین اثر خشکی بر محتوای نسبی آب در ریحان سبز

Figure 4. Means comparison of drought stress effects on relative water content in *Ocimum basilicum*

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

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی قارچ میکوریزا و تنش خشکی و اثر متقابل این دو عامل بر نشت یونی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسات میانگین اثرهای متقابل نشان داد که با افزایش تنش خشکی نشت یونی افزایش می‌یابد، به‌طوری که بیشترین محتوی نشت یونی در شرایط تنش ۵۰٪ ظرفیت زراعی در تیمار شاهد بود (۳۳/۰۲٪) که تفاوت معنی‌داری در همین شرایط با تیمار قارچ گلوموس اینکاتوم نداشت و کمترین میزان محتوی نشت یونی (۲۴/۹٪) در شرایط تیمار شاهد در تلقیح با قارچ گلوموس موسه بدست آمد. طبق مقایسه میانگین، اثر قارچ میکوریزا بر روی صفت نشت یونی مثبت بود (شکل ۵).

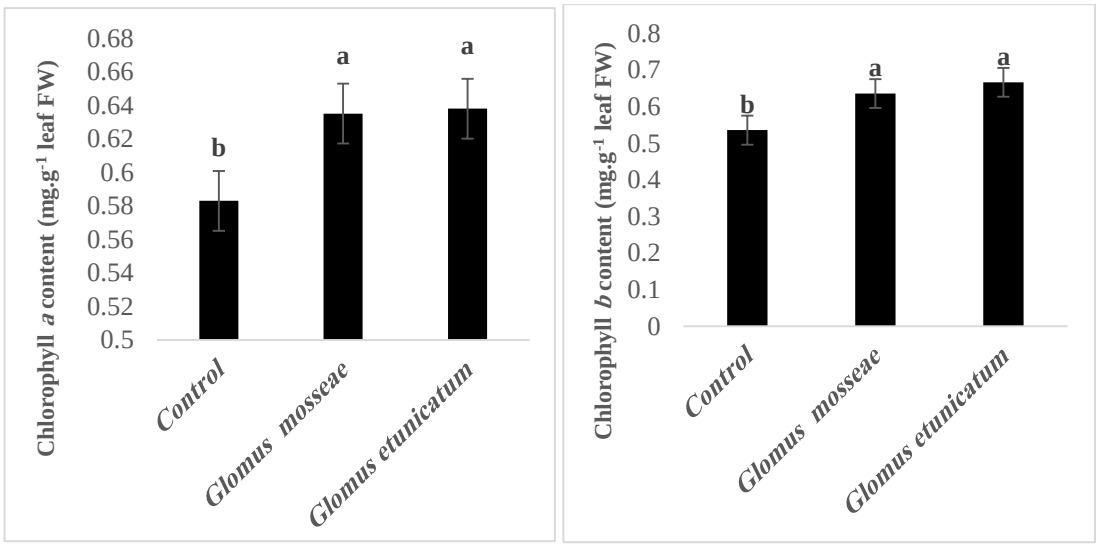


شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ میکوریزا × خشکی بر نشت الکترولیتی در ریحان سبز

Figure 5. Means comparison of mycorrhizal fungus × drought stress interaction on electrolyte leakage in *Ocimum basilicum*

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

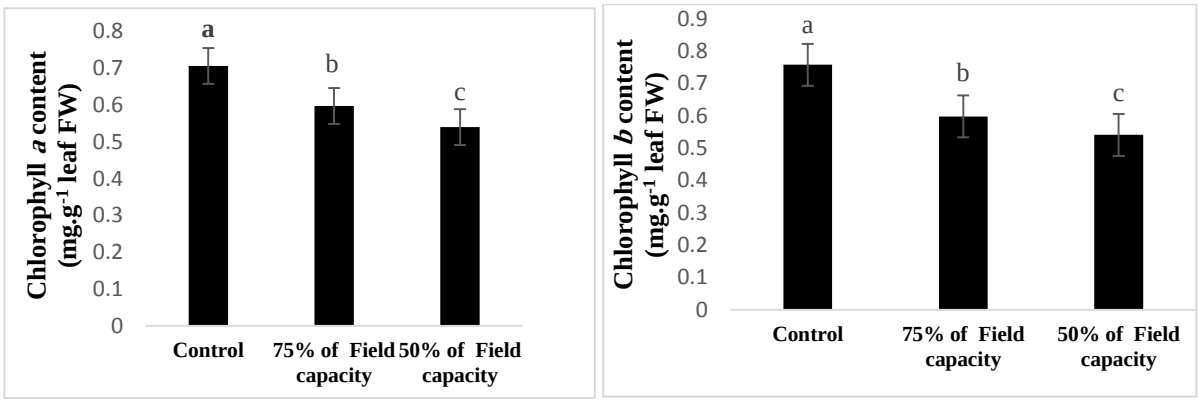
نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای ساده تنش خشکی و قارچ میکوریزا در سطح احتمال ۱٪ بر محتوی کلروفیل a و b معنی‌دار بوده است (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر ساده تلقیح با قارچ میکوریزا و تنش خشکی بر محتوی کلروفیل a و b در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. تلقیح با قارچ میکوریزا سبب افزایش محتوی کلروفیل a و b شد (شکل ۶). بیشترین مقدار کلروفیل a و b در تیمار قارچ گلوموس موسه و تنش خشکی ۵۰٪ ظرفیت زراعی بدست آمد (شکل ۷).



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر قارچ میکوریزا بر محتوی کلروفیل ***a*** یا ***b*** در ریحان سبز

Figure 6. Means comparison of mycorrhizal fungus effects on chlorophyll *a* or *b* content in *Ocimum basilicum*

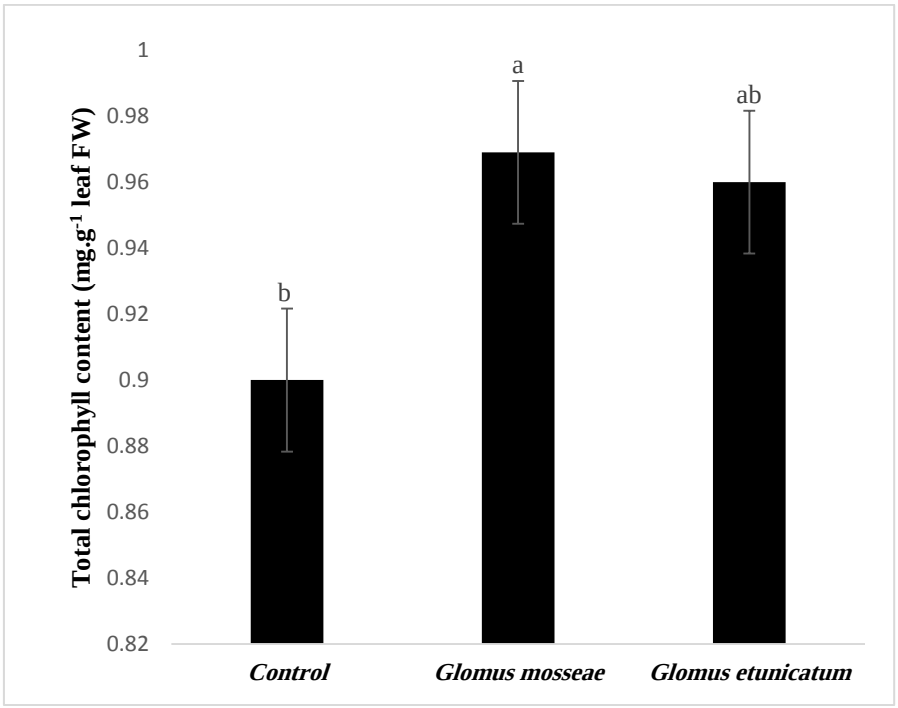
Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر خشکی بر محتوی کلروفیل ***a*** یا ***b*** در ریحان سبز

Figure 7. Means comparison of drought stress effects on chlorophyll *a* or *b* content in *Ocimum basilicum*
Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

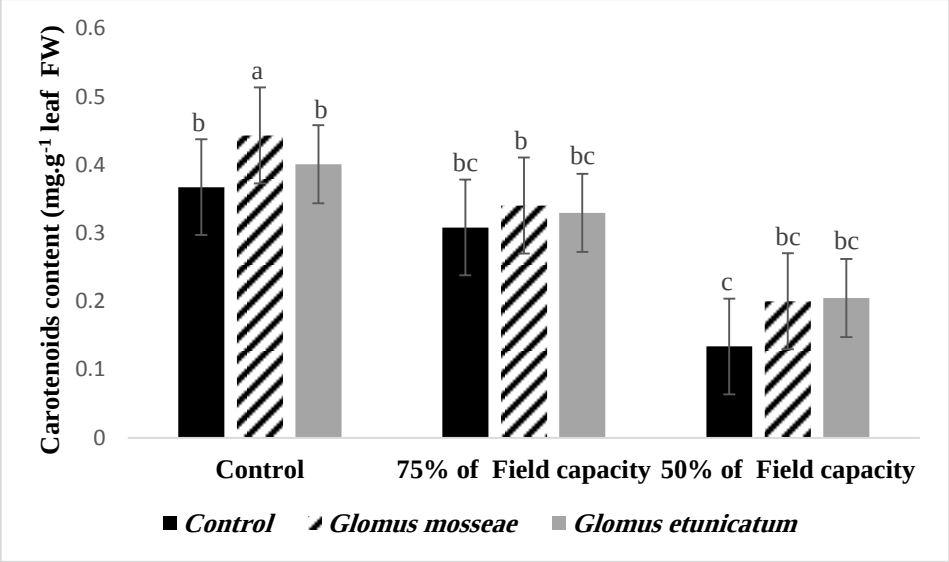
نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده قارچ میکوریزا در سطح احتمال ۱٪ بر محتوی کلروفیل کل معنی‌دار بوده است (جدول ۱). تلقیح با قارچ میکوریزا سبب افزایش محتوی کلروفیل کل شد، به‌طوری که بیشترین مقدار کلروفیل کل (۰/۹۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تیمار قارچ گلوموس موسه بدست آمد که اختلاف معنی‌داری با قارچ گلوموس اتونیکاتوم نداشت (شکل ۸).



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر قارچ میکوریزا بر محتوی کلروفیل کل در ریحان سبز

Figure 8. Means comparison of mycorrhizal fungus effects on total chlorophyll content in *Ocimum basilicum*
Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

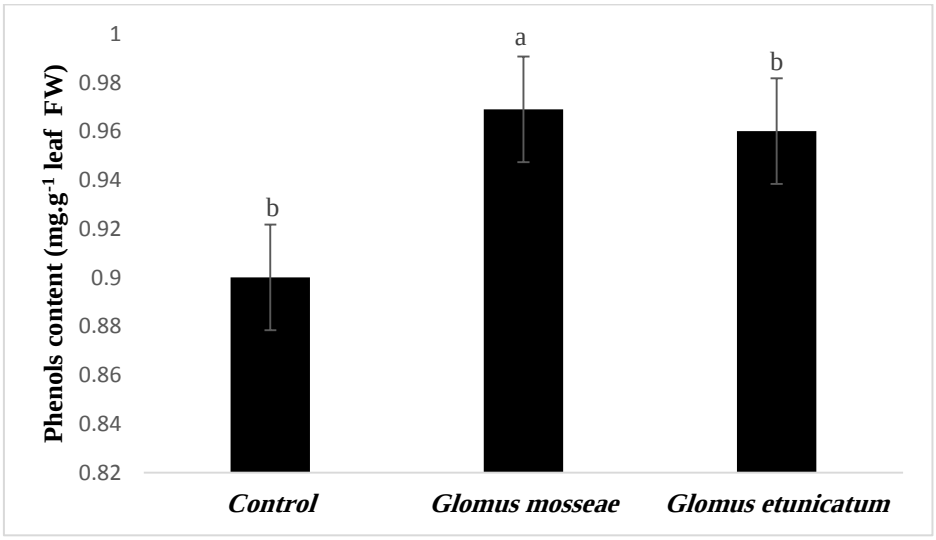
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی قارچ میکوریزا و تنش خشکی و اثر متقابل این دو عامل بر محتوی کاروتنوئید در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسات میانگین اثرهای متقابل نشان داد با افزایش تنش خشکی محتوی کاروتنوئید کاهش می‌یابد، به‌طوری که کمترین محتوی کاروتنوئید (۰/۱۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شرایط تنش ۵۰٪ ظرفیت زراعی در تیمار شاهد بود که تفاوت معنی‌داری در همین شرایط با تیمار قارچ گلوموس اینکاتوم نداشت و بیشترین میزان محتوی محتوی کاروتنوئید (۰/۴۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شرایط تیمار شاهد در تلقیح با قارچ گلوموس موسه بدست آمد (شکل ۹).



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ میکوریزا × خشکی بر محتوی کاروتنوئیدها در ریحان سبز

Figure 9. Means comparison of mycorrhizal fungus × drought stress interaction on carotenoids content in *Ocimum basilicum*

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



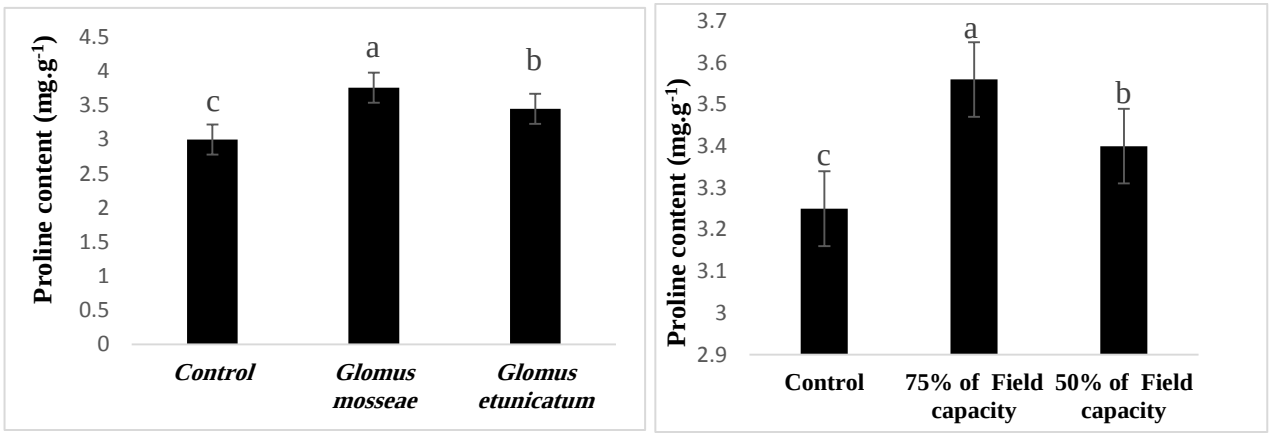
شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر قارچ میکوریزا بر محتوی فنول در ریحان سبز

Figure 10. Means comparison of mycorrhizal fungus effects on phenols content in *Ocimum basilicum*

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

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده قارچ میکوریزا در سطح احتمال ۱٪ بر محتوی فنول کل معنی‌دار بوده است (جدول ۱). تلقیح با قارچ میکوریزا سبب افزایش محتوی فنول کل شد، به‌طوری که بیشترین مقدار فنول کل (۲۰/۷۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تیمار قارچ گلوموس موسه بدست آمد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود (شکل ۱۰).

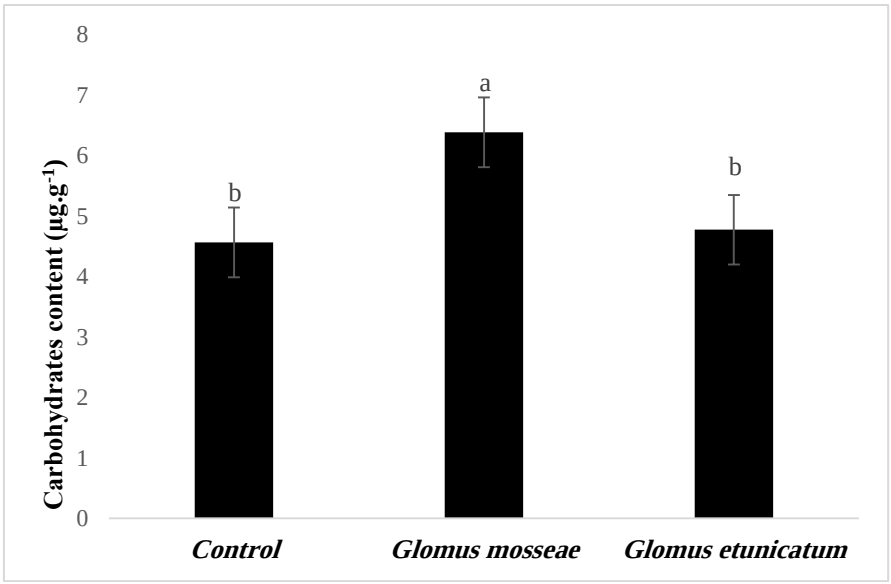
نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای ساده تنش خشکی و قارچ میکوریزا در سطح احتمال ۱٪ بر محتوی پرولین معنی‌دار بوده است (جدول ۱). تلقیح با قارچ میکوریزا سبب افزایش محتوی پرولین شد. بیشترین مقدار پرولین در تیمار قارچ گلوموس موسه (۳/۷۶ میکرومول بر گرم) و تنش خشکی ۵۰٪ ظرفیت زراعی (۳/۵۶ میکرومول بر گرم) بدست آمد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثر قارچ میکوریزا و خشکی بر محتوی پرولین در ریحان سبز

Figure 11. Means comparison of mycorrhizal fungus and drought stress effects on proline content in *Ocimum basilicum*

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



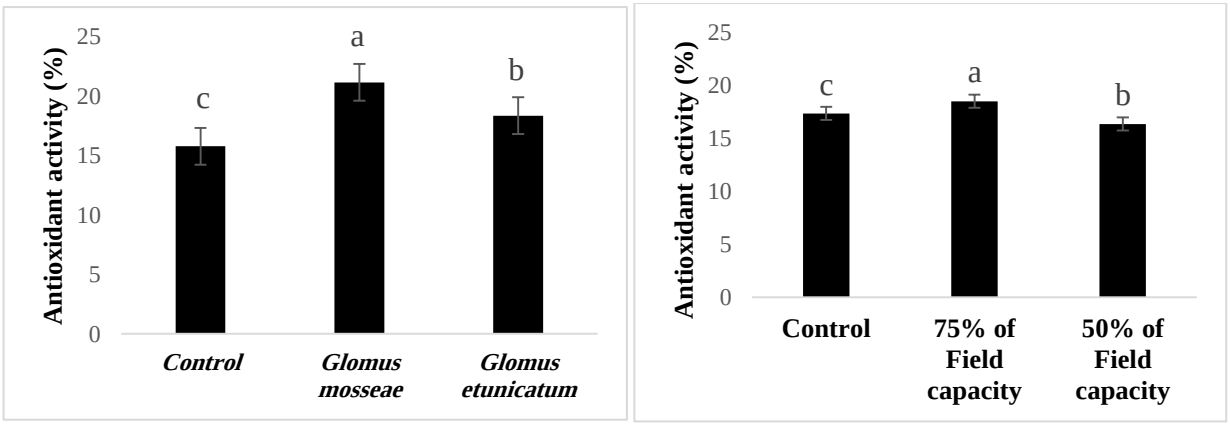
شکل ۱۲- مقایسه میانگین اثر قارچ میکوریزا بر محتوی کربوهیدرات‌ها در ریحان سبز

Figure 12. Means comparison of mycorrhizal fungus effects on carbohydrates content in *Ocimum basilicum*

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

مطابق نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، محتوی کربوهیدرات تحت تأثیر اثر ساده قارچ میکوریزا قرار گرفت (جدول ۱). تلقیح با قارچ میکوریزا سبب افزایش محتوی کربوهیدرات شد، به‌طوری که بیشترین محتوی کربوهیدرات (۶/۳۸ میکروگرم بر گرم) در تیمار قارچ گلوموس موسه بدست آمد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود (شکل ۱۲). کمترین محتوی کربوهیدرات (۲۰/۷۶ میکروگرم بر گرم) در تیمار شاهد بدست آمد.

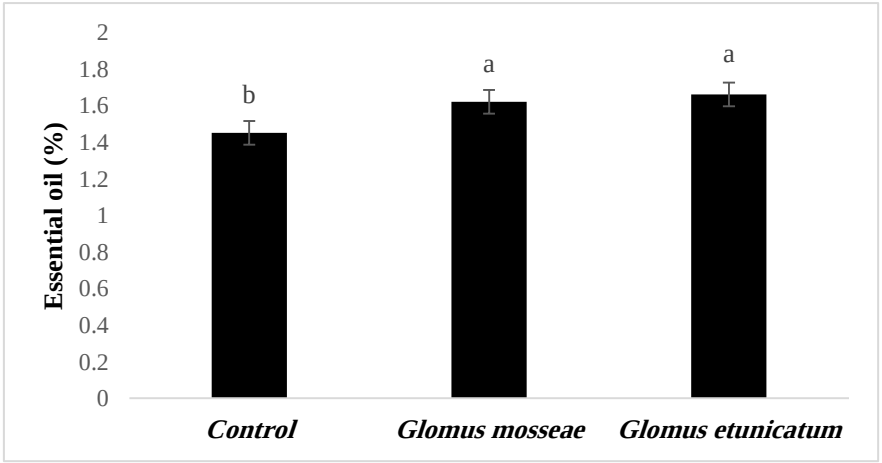
طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، اثرهای ساده تنش خشکی و قارچ میکوریزا در سطح احتمال ۱٪ بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی معنی‌دار بوده است (جدول ۱). تلقیح با قارچ سبب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی شده است، به‌طوری که بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار قارچ گلوموس موسه (۲۱/۱۳٪) بدست آمده است (شکل ۱۳). از سویی تنش خشکی نیز باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی شد، به‌طوری که بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تنش ۵۰٪ ظرفیت زراعی (۱۹/۳۶٪) مشاهده شد (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- مقایسه میانگین اثر قارچ میکوریزا و خشکی بر فعالیت آنتی اکسیدانی در ریحان سبز

Figure 13. Means comparison of mycorrhizal fungus and drought stress effects on antioxidant activity in *Ocimum basilicum*

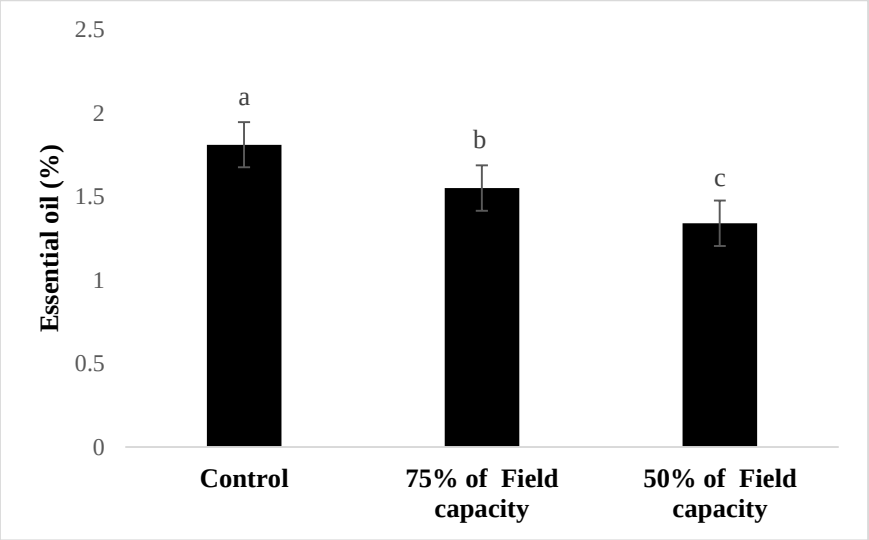
Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).



شکل ۱۴- مقایسه میانگین اثر قارچ میکوریزا بر درصد اسانس در ریحان سبز

Figure 14. Means comparison of mycorrhizal fungus effects on essential oil percentage in *Ocimum basilicum*

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



شکل ۱۵- مقایسه میانگین اثر خشکی بر درصد اسانس در ریحان سبز

Figure 15. Means comparison of drought stress effects on essential oil percentage in *Ocimum basilicum*

بررسی اثر تیمار قارچ نشان داد که بیشترین میزان اسانس (۱/۶۶٪) مربوط به تیمار تلقیح‌شده با قارچ گلوموس اتونیکاتوم بود که تفاوت معنی‌داری با گلوموس موسه نداشت و حدود ۱۴/۴۸٪ بیشتر از تیمار شاهد بود (شکل ۱۴). بیشترین میزان اسانس (۱/۸۱٪) در تیمار شاهد و کمترین میزان اسانس (۱/۳۴٪) در شرایط تنش خشکی ۵۰٪ ظرفیت زراعی مشاهده شد که ۲۵/۹۶٪ کمتر از تیمار شاهد بود (شکل ۱۵).

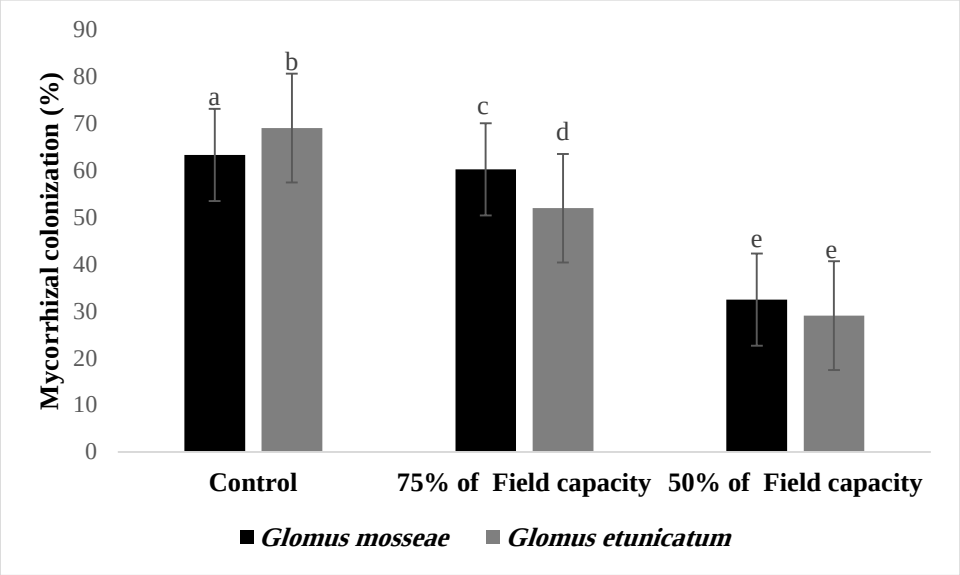
نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که درصد کلونیزاسیون ریشه تحت تأثیر اثرهای ساده و متقابل تنش خشکی و تلقیح قارچ قرار گرفت (جدول ۲). تنش خشکی تأثیر منفی بر درصد کلونیزاسیون ریشه دارد که حدود ۵۵/۷۷٪ میزان کلونیزاسیون را در قارچ گلوموس موسه و حدود ۵۷/۹۳٪ در قارچ گلوموس اتونیکاتوم کاهش داد. به‌طوری که کمترین درصد کلونیزاسیون از تیمار تنش خشکی شدید (۲۸/۹۹۶) و قارچ گلوموس اتونیکاتوم بدست آمد. بالاترین درصد کلونیزاسیون (۷۳/۲۱٪) در قارچ گلوموس موسه در شرایط بدون تنش خشکی بدست آمد (شکل ۱۶).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر قارچ میکوریزا و خشکی بر درصد کلونیزاسیون ریشه ریحان سبز

Table 2. ANOVA of mycorrhizal fungus and drought stress effects on colonization percentage of *Ocimum basilicum* roots

S.O.V.	d.f.	Fungal colonization percentage
Repetition	3	7.48
Mycorrhizal fungus (M)	1	166.99**
Drought stress (D)	2	3021.6**
M × D	2	11.78*
Experimental error	14	2.36
C.V. (%)		4.9

* and **: significant at 1 and 5% probability levels, respectively



شکل ۱۶- مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ میکوریزا × خشکی بر درصد کلونیزاسیون در ریحان سبز

Figure 16. Means comparison of mycorrhizal fungus × drought stress interaction on colonization percentage in *Ocimum basilicum*

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

*foenum-graecu*m L) به این نتیجه رسیدند که اثر متقابل قارچ و تنش خشکی بر برخی صفات ازجمله غلظت کلروفیل a و کل، عملکرد دانه و درصد کلون‌سازی (کلونیزاسیون) معنی‌دار بود و تنش خشکی باعث کاهش کلونیزاسیون ریشه می‌شود. این مطالعات نشان می‌دهد که قارچ‌های میکوریزی می‌توانند با حفظ هموستاز ROS از طریق تجمع آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی، تنش‌های غیرزیستی را تحمل کنند. به‌طور کلی، بهبود سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی ناشی از قارچ‌های میکوریزا را می‌توان به این واقعیت نسبت داد که قارچ‌های میکوریزا می‌توانند ROS را انباشته کنند و قارچ‌های میکوریزا دارای ژن‌های SOD هستند (Xiong *et al.*, 2020). قارچ‌ها از راه‌های مختلف مانند افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، اسمولیت‌ها (به‌ویژه پرولین) و حفظ رنگیزه‌های کلروفیلی، موجب کاهش خطرات ناشی از تنش و افزایش تحمل گیاه میزبان به تنش شوری می‌شوند (de Assis *et al.*, 2020). به نظر می‌رسد که همزیستی

بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان دهنده مؤثر بودن تیمار تلقیح قارچ بر خصوصیات رشدی و بیوشیمیایی ریحان سبز است. تنش خشکی با کاهش بیوسنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی باعث کاهش غلظت رنگدانه‌ها و کاهش ظرفیت فتوسنتز شده و تولید اولیه را محدود می‌کند. از سوی دیگر، تنش خشکی باعث ایجاد اختلال در سیستم‌های آنزیمی کاهش دهنده فعالیت اکسیژن فعال و افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها و خسارت به غشای سلولی و تخریب رنگدانه‌ها می‌گردد (Mahmoudzadeh *et al.*, 2016). تلقیح با قارچ میکوریزا سبب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات فنلی در شرایط تنش خشکی شد که با نتایج Farsarai و Moghadam (۲۰۱۸) در ریحان سبز مطابقت دارد. علاوه بر این، افزایش محتوی کاروتنوئید در گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis*) همزیست شده با *Glomus constrictum* گزارش شد (Asrar & Elhindi, 2011). Bijhani و همکاران (۲۰۱۵) در شنبلیله (*Trigonella*

هیف بیشتر از تندش اسپور تحت تأثیر ظرفیت اسمزی قرار می‌گیرد (Bijhani *et al*., 2015). قارچ از طریق کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و نفوذپذیری غشاء و افزایش تجمع ترکیبات تنظیم کننده اسمزی قادر به کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی است (Teimory *et al*., 2021). Hazzoumi و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که علت سودمندی قارچ‌های میکوریزا این است که تلقیح میکوریزایی موجب تغییر متابولیسم گیاه میزبان شده و این تغییر در متابولیسم سبب تولید ترکیبات دفاعی در گیاه می‌شود.

به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی باید گفت نتایج این بررسی نشان داد که تنش خشکی در گیاه ریحان سبز سبب کاهش پارامترهای رشدی و میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی شده است و بررسی اختلافات بدست آمده بین سطوح مختلف تنش خشکی با شاهد در شرایط تلقیح با قارچ میکوریزا آربسکولار نشان‌دهنده افزایش قدرت سازگاری گیاه ریحان در مقابله با شرایط تنش خشکی است. تلقیح میکوریزایی گیاه ریحان کلیه صفات مورد مطالعه را در این پژوهش بهبود بخشید، به‌طوری که گیاهان تلقیح شده با میکوریزا در وضعیت تنش خشکی، رشد بهتری نسبت به گیاهان تلقیح نشده داشتند. گیاهان تلقیح شده با میکوریزا در تنش خشکی به دلیل بهبود جذب مواد غذایی، به‌ویژه فسفر و یا تغییر در فرایندهای فیزیولوژیک مقاومت بیشتری به تنش خشکی نشان دادند. بنابراین می‌توان چنین استنباط نمود که همزیستی میکوریزایی از طریق تغذیه مناسب و افزایش بیوماس، موجبات افزایش عملکرد و افزایش جذب عناصر غذایی در گیاه ریحان سبز را فراهم می‌کند.

میکوریزایی از طریق تأثیر بر جذب مناسب عناصر غذایی و بهره‌گیری مطلوب فاکتورهای رشدی توسط گیاه، موجب افزایش میزان اسانس می‌شود (Ahmadi-Khoei & Shabani, 2015). در شرایط تنش، گیاه برای حفاظت خود اسانس بیشتری تولید می‌کند ولی با توجه به اینکه تلقیح با قارچ انجام شد بنابراین تلقیح با قارچ میزان اثرهای تنش بر روی گیاه را کاهش داده و میزان اسانس را کاهش می‌دهد. نتایج پژوهش نشان دهنده آن است که عملکرد اسانس در گیاه ریحان سبز در شرایط تلقیح با قارچ میکوریزا افزایش نشان داده است که با نتایج تحقیق Khalundi و همکاران (۲۰۱۶) در گیاه آویشن کوهی (*Mentha piperita*) مطابقت دارد و همبستگی مثبت با درصد کلونیزاسیون و تعداد اسپورهای قارچ شبه‌میکوریزایی در آویشن کوهی دارد. همچنین در تحقیق دیگری نشان داده شده است که تلقیح با قارچ‌های میکوریزا با ریشه ژنوتیپ‌های مختلف نعنا سبز به‌طور معنی‌داری موجب بهبود عملکرد اسانس و بیوسنتز متابولیت‌های ثانوی شده است (Ahmadi-Khoei & Shabani, 2015). کاهش درصد اسانس در زیره سبز (*Cuminum cyminum* L) توسط Soorni و همکاران (۲۰۲۰) گزارش شده است.

مرحله مهمتر پس از تندش اسپورف، رشد هیف حاصل از تندش است که نقش اساسی در کلونیزاسیون ریشه ایفاء می‌کند (Bijhani *et al*., 2015). Sanchez- Blanco و همکاران (۲۰۰۱) بیان کردند که گیاهان رزماری (*Rosmarinus officinalis*) میکوریزایی تحت شرایط تنش خشکی، درصد کلونیزاسیون بالایی دارند. کاهش معنی‌دار درصد کلونیزاسیون با افزایش سطح تنش احتمالاً به علت کاهش در تندش و رشد هیف‌هاست. البته به ظاهر رشد

References

- Al-Huqail, A., El-Dakak, R.M., Sanad, M.N., Badr, R.H., Ibrahim, M.M., Soliman, D. and Khan, F., 2020. Effects of Climate Temperature and Water Stress on Plant Growth and Accumulation of Antioxidant Compounds in Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) Leafy Vegetable. Scientifica, Article ID 3808909, 12 pages.
- Ahmadi-Khoei, M. and Shabani, L., 2015. The effect of inoculation with mycorrhizal arbuscular fungion expression of limonene synthase in *Mentha spicata* L. genotypes. Iranian Journal of Plant Biology, 7(23): 51-62.
- Alqarawi, A., Hashem, A., Abd-Allah, E., Alshahrani, T. and Huqail, A., 2014. Effect of Salinity on Moisture Content, Pigment System, and Lipid Composition in *Ephedra Alata* Decne. Acta Biologica Hungarica, 65: 61-71.
- Amiri, R., Nikbakht, A. and Etemadi, N., 2015. Alleviation of Drought Stress on Rose Geranium [*Pelargonium graveolens* (L.) Herit.] in Terms of Antioxidant Activity and Secondary Metabolites by Mycorrhizal Inoculation. Scientia Horticulturae, 197: 373-380.
- Asrar, A.W.A. and Elhindi, K.M., 2011. Alleviation of Drought Stress of Marigold (*Tagetes erecta*) Plants by Using Arbuscular Mycorrhizal Fungi. Saudi Journal of Biological Sciences, 18: 93-98.
- Barrs, H.D. and Weatherley, P.E., 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. Australian Journal of Biological Sciences, 15(3): 413-428.
- Bates, L.S., Waldern, R.P. and Teave, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil, 39: 205-107.
- Benaffari, W., Boutasknit, A., Anli, M., Ait-El-Mokhtar, M., Ait-Rahou, Y., Ben-Laouane, R., Ben Ahmed, H., Mitsui, T., Baslam, M. and Meddich, A., 2022. The Native Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Vermicompost-Based Organic Amendments Enhance Soil Fertility, Growth Performance, and the Drought Stress Tolerance of Quinoa. Plants, 11: 393.
- Brandão, L.B., Santos, L.L., Martins, R.L., Rodrigues, A.B.L., da Costa, A.L.P., Faustino, C.G. and de Almeida, S., 2022. The potential effects of species *Ocimum basilicum* L. on health: A review of the chemical and biological studies. Pharmacogn, 16: 23-31.
- Bijhani, M., Yadollahi, P., Asgharipour, M.R. and Heydari, M., 2015. The Effect of Mycorrhizal Inoculation of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) on its Yield and Some Physiological Characteristics under Drought Conditions. Journal of Crop Ecophysiology, 9(3): 337-352.
- Cheng, S., Zou, Y.N., Kuča, K., Hashem, A., Abd-Allah, E.F. and Wu, Q.S., 2021. Elucidating the Mechanisms Underlying Enhanced Drought Tolerance in Plants Mediated by Arbuscular Mycorrhizal Fungi. Frontiers in Microbiology, 23 December; 12: 809473.
- Chrysargyris, A., Laoutari, S., Litskas, V.D., Stavrinides, M.C. and Tzortzakis, N., 2016. Effects of Water Stress on Lavender and Sage Biomass Production, Essential Oil Composition and Biocidal Properties against Tetranychus Urticae (Koch). Scientia horticulturae, 213: 96-103.
- de Assis, R.M.A., Carneiro, J.J., Medeiros, A.P.R., de Carvalho, A.A., da Cunha Honorato, A., Carneiro, M.A.C., Bertolucci, S.K.V. and Pinto, J.E.B.P., 2020. Arbuscular Mycorrhizal fungi and organic manure enhance growth and accumulation of citral, total phenols, and flavonoids in *Melissa officinalis* L. Industrial Crops and Products, 158: 112981.
- Ershadi, A., Karimi, R. and Naderi Mahdei, K., 2016. Freezing tolerance and its relationship with soluble carbohydrates, proline and water content in 12 grapevine cultivars. Acta Physiologiae Plantarum, 38(1): 1-10.
- Farsarai, S. and Moghadam, M., 2018. The effect of mycorrhizal fungi and putrescine foliar application on biochemical traits and shoot biomass of green basil (*Ocimum ciliatum* L.) in two different harvest locations. Plant Environmental Physiology (Iranian Plant Ecophysiology Studies), 14(53): 47-58.
- García-Caparrós, P., Romero, M.J., Llanderal, A., Cermeño, P., Lao, M.T. and Segura, M.L., 2019. Effects of Drought Stress on Biomass, Essential Oil Content, Nutritional Parameters, and Costs of Production in Six Lamiaceae Species. Water, 11(3): 573-585.
- Hazzoumi, Z., Moustakime, Y., Elharchli, E., and KH. Amrani Joutei. 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.
- Israel, A,. Langrand, J., Fontaine, J. and Lounès-Hadj Sahraoui, A., 2022. Significance of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Mitigating Abiotic Environmental Stress in Medicinal and Aromatic Plants. Foods, 11(17): 2591.
- Khalundi, M., Amrian, M.R., Pirdashti, H.A., Firouzabadi brothers, M. and Gholami, A., 2016. Interaction of Piriformospora indica fungus with peppermint plant (*Mentha piperita*) on quantity and

quality of essential oil and some physiological parameters under salt stress. Journal of plant process and function, 6(21): 169-184.
- Mahmoudzadeh, M., Rasouli Sadaghiani, M.H., Asgari Lajayer, H. and 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.
- Moon, J.H. and Terao, J., 1998. Antioxidant activity of caffeic acid and dihydrocaffeic acid in lard and human low-density lipoprotein. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 46(12): 5062-5065.
- Omidbaigi, R., 2005. Production and Processing of Medicinal Plants (Vol. 1). Astan Quds Razavi Publications, 348p.
- Rastogi, S., Shah, S., Kumar, R., Vashisth, D., Akhtar, M.Q., Kumar, A., Dwivedi, U.N. and Shasany, A.K., 2019. Ocimum Metabolomics in Response to Abiotic Stresses: Cold, Flood, Drought and Salinity. PloS one, 14(2): e0210903.
- Sanchez-Blanco, M.J., Ferrnandez, T., Morales, M.A., Morte, A., and Alarcon, J.J., 2001. Variation in water status, gas exchange, and growth in *Rosmarinus officinalis* plants infected with *Glumus deserticola* under drought conditions. Journal of Plant Physiology, 161: 675-682.
- Schlegel, H.G., 1956. Die verwertung organischer sauren durch chlorella im licht. Planta, 47(5): 510-515.
- Singliton, V.L. and Rossi, J.A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture, 16(3): 144-158.
- Soorni, J., Roustakhiz, J., Salimi, K. and Noori, M., 2020. Effects of drought stress on yield and yield-related traits, antioxidant enzymes and essential oil content of some Cumin (*Cuminum cyminum* L.) ecotypes. Environmental Stresses in Crop Sciences, 13(4): 1125-1134.
- Sun, R.T., Zhang, Z.Z., Zhou, N., Srivastava, A.K., Kuča, K., Abd-Allah, E.F., Hashem, A. and Wu, Q.S.A, 2021. Review of the Interaction of Medicinal Plants and Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Rhizosphere. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 49(3): 12454-12454.
- Teimory, H., Ghabooli, M. and Movahedi, Z., 2021. Effects of different inoculation methods of Serendipita indica on some morphophysiological, biochemical, and yield traits of tomato under drought stress. Iranian Journal of Plant Biology, 13(2): 1-22.
- Wellburn, A.R., 1994. The spectral determination of chlorophylls and b as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. Journal of Plant Physiology, 144: 307-313.
- Xiong, Y.W., Li, X.W., Wang, T.T., Gong, Y., Zhang, C.M., Xing, K. and Qin, S., 2020. Root exudates-driven rhizosphere recruitment of the Plant growth-promoting rhizobacterium bacillus flexus KLBMP 4941 and Its growth-promoting effect on the coastal halophyte Limonium sinense under salt stress. Ecotoxicology and Environmental Safety, 194: P110374.