نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۳ شماره ۳ / پاییز ۱۴۰۲/ صفحات ۱۵۶-۱۳۷

# The effect of Water Deficit Stress and Different Species of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Economic Yield, Essential Oil Yield and Photosynthetic Pigments of basil (*Ocimum basilicum* L.)

**Mina Amani[1], Mohsen Sabzi-Nojadeh[2]*, Saeideh Alizadeh-Salteh[3], Mehdi Younessi-Hamzekhanlu[2]**

Received: 29 March 2022 Accepted: 12 September 2022
1-PhD Student in Production and Post-Harvest Physiology of Medicinal Plants, Dept. of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2-Assist. Prof., Dept. of Horticultural Science and Engineering, Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3-Assoc. Prof., Dept. of Horticultural Science and Engineering, Orientation of Medicinal Plants, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
*Corresponding Author Email: m.sabzinojedeh@gmail.com

**Abstract**

**Background & Objective:** Mycorrhiza species are factors that improve plant growth and yield of crop. The effects of these fungi are exerted by altering some of the root properties and absorbing nutrients in the host plants under water stress conditions. The aim of this study was to evaluate the quantitative and qualitative yield of basil in greenhouse conditions under the influence of different levels of soil moisture and three species of mycorrhiza on morphological or agronomic traits, plant pigments, percentage and Essential oil function.

**Materials & Methods:** The experiment was factorial with a randomized complete block design with three replications in greenhouse conditions. Experimental factors include soil moisture at four levels of 25 (severe stress), 50 (moderate stress), 75 (mild stress) and 100 (no stress) percent of field capacity, three species of mycorrhiza fungi *Clarodeoglomus etunicatum* **(***Glomus etunicatum), Funneliformis mosseae (Glomus mosseae), Rhizophagus irregularis (Glomus intraradices)* and control treatment.

**Results:** According to the results, increasing the level of water stress reduced the performance of the aerial part yield, as the economic performance of basil, but coexistence with mycorrhizae reduced the destructive effects of water stress. Different species of mycorrhiza had positive effects on increasing plant pigments.

**Conclusion:** According to the experimental results, it can be said that *F. mosseae* compared to other species had a greater effect in improving the adverse effects of dehydration stress in most of the evaluated traits. While the effect of *G. intraradicse* on the percentage and yield of essential oil was higher than *F. mosseae* Finally, the results showed that the use of mycorrhizal fungi in comparison with the control (without inoculation with fungi) can be a good tool to improve the morphological, physiological, percentage and yield of basil essential oil in The stress conditions should be low water. Finally, the results showed that the use of mycorrhiza compared to the control (without inoculation with fungi) in water stress conditions could improve plant growth and increase plant efficiency in water stress conditions.

**Keywords**: Basil, Crop Yield, Essential Oil, Mycorrhiza, Water Stress

CC BY NC

**DOI: 10.22034/saps.2022.50909.2854**

# اثر تنش کمبود آب و گونه‌های مختلف قارچ میکوریز آربوسکولار بر عملکرد اقتصادی، عملکرد اسانس و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه دارویی ریحان

مینا امانی[۱]، محسن سبزی نوجه‌ده[۲*]، سعیده علیزاده سالطه[۳]، مهدی یونسی حمزه خانلو[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۳۱

۱-دانشجوی دکتری فیزیولوژی تولید و پس از برداشت گیاهان دارویی، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۲-استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۳-دانشیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، گرایش گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
*مسئول مکاتبه: Email: m.sabzinojedeh@gmail.com

**چکیده**

**اهداف:** قارچ‌های میکوریز آربوسکولار از عوامل بهبوددهنده رشد و عملکرد گیاهان هستند. این قارچ‌ها از طریق ایجاد تغییرات در برخی از خصوصیات ریشه و جذب عناصرغذایی در گیاهان میزبان موجب تخفیف در اثرات تخریبی حاصل از تنش کمبود آب می‌شوند. مطالعه حاضر با هدف ارزیابی عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی ریحان در شرایط گلخانه‌ای تحت تأثیر تنش رطوبت به همراه سه گونه قارچ میکوریز آربوسکولار بر روی صفات مورفولوژیکی یا زراعی، رنگیزه-های گیاهی، درصد و عملکرد اسانس این گیاه انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. فاکتورهای آزمایشی شامل تنش رطوبت در چهار سطح ۲۵ (تنش شدید)، ۵۰ (تنش متوسط)، ۷۵ (تنش ملایم) و ۱۰۰ (بدون تنش) درصد ظرفیت مزرعه‌ای، سه گونه قارچ میکوریز آربوسکولار (*Glomus etunicatum*, *Clarodeoglomus etunicatum*, *Funneliformis mosseae (Glomus mosseae)*, *Rhizophagus irregularis (Glomus intraradices)* و تیمار شاهد بود.

**یافته‌ها:** مطابق نتایج به دست آمده افزایش سطح تنش کم‌آبی باعث کاهش عملکرد بخش هوایی، به عنوان عملکرد اقتصادی ریحان گردید، اما همزیستی با میکوریز باعث کاهش اثرات مخرب تنش کم‌آبی بر گیاه شد. مقادیر پایین و متوسط تنش کم‌آبی درصد اسانس را افزایش و عملکرد اسانس را کاهش داد. گونه‌های مختلف قارچ میکوریز اثرات مثبتی در افزایش رنگیزه‌های گیاهی داشتند.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج آزمایش می‌توان بیان کرد که *F. mosseae* در مقایسه با سایر گونه‌ها تأثیر بیشتری در بهبود اثرات سوء ناشی از تنش کم‌آبی در اکثر صفات مورد ارزیابی داشت. درحالی‌که تأثیر قارچ *R. irregularis* بر درصد و عملکرد اسانس بالاتر از گونه *F. mosseae* بود. در نهایت نتایج مشخص کرد که استفاده از قارچ میکوریز در مقایسه با شاهد می‌تواند ابزار مناسبی برای بهبود صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، درصد و عملکرد اسانس ریحان در شرایط تنش کم‌آبی باشد. نتایج مشخص کرد که استفاده از قارچ میکوریز در شرایط تنش کم‌آبی قابلیت بهبود رشد گیاه را داشته و منجر به افزایش کارایی گیاه در شرایط تنش کم‌آبی می‌شود.

**واژه های کلیدی:** اسانس، تنش کم‌آبی، ریحان، عملکرد زراعی، میکوریز آربوسکولار

**مقدمه**

تنش کمبود آب یکی از مهمترین تنش‌های محیطی بر تولیدات کشاورزی در بسیاری از مناطق است که به عنوان مهمترین عامل محدودکننده غیرزیستی، اثر نامطلوبی بر رشد و تولید گیاهان دارویی می‌گذارد. تنش کم‌آبی، اغلب یک عامل کاهش عملکرد است و این امر حتی در مواردی که صدمه مشهود نباشد نیز صادق است. زمانی که رطوبت خاک کم باشد، استقرار گیاه کاهش می‌یابد، رشد محدود و نمو گیاه مختل می‌شود و در نهایت عملکرد گیاه کاهش می‌یابد (تیان و همکاران ۲۰۱۳). تنش کم‌آبی در هنگام رشد فعال گیاه، توسعه طولی قسمت‌های مختلف گیاه را به تأخیر می‌اندازد و پس از رفع تنش، بهبودی به سرعت و به طور کامل صورت نمی‌گیرد و باعث کاهش اندازه گیاه و در نهایت کاهش عملکرد گیاه می‌شود. به نظر می‌رسد ریحان نسبت به تنش کمبود آب مقاومت کمی از خود نشان می‌دهد و به همین دلیل نیاز به سازوکارهای محافظتی برای گیاه ریحان در برابر تنش ناشی از کمبود آب احساس می‌شود. گیاهان از طریق همزیستی با تعدادی از میکروارگانیسم‌های خاک قادر هستند اثرات تنش کمبود آب را کاهش داده یا برطرف نمایند (اسمیت و همکاران ۲۰۱۰). نتایج تحقیقات نشان داده است که قارچ‌های میکوریز آربوسکولار قادر هستند که اثرات نامطلوب تنش کمبود آب را در گیاهان تعدیل نمایند (کوچکی و همکاران ۲۰۱۲). هیف‌های قارچ میکوریز می‌توانند به منافذ بسیار ریزی که حتی تارهای کشنده قادر به نفوذ در آن‌ها نیستند وارد شده و باعث افزایش میزان جذب آب گردند. همزیستی قارچ میکوریز با اغلب گیاهان تحت شرایط تنش کمبود آب باعث بهبود تولید در گیاهان از طریق جذب بیشتر عناصر غذایی غیرمتحرک مانند فسفر، روی و مس می‌شود. به علاوه تحمل گیاهان به کم‌آبی را از طریق بهبود جذب آب و پتانسیل آماس برگ، کنترل منافذ روزنه‌ای و تعرق، افزایش طول و عمق ریشه و توسعه هیف‌های انتهایی افزایش می‌دهد (دیپیکا و کوتاماسی ۲۰۱۵). اصلانی و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی تأثیر قارچ‌های میکوریز *F. mosseae* و *R. irregularis* بر رشد گیاه ریحان تحت شرایط تنش کمبود آب دریافتند که با کاهش میزان رطوبت خاک، ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد و سطح برگ، تعداد شاخه جانبی، وزن خشک ریشه، عملکرد ماده تر و خشک کاهش یافت. به علاوه اثر کاربرد قارچ-های میکوریز آربوسکولار بر پارامترهای رشدی معنی-دار بود. گیاهان مایه‌کوبی شده با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در مقایسه با گیاهان مایه‌کوبی نشده، از رشد و عملکرد بیشتری هم در شرایط تنش کم‌آبی و هم در شرایط بدون تنش برخوردار بودند. تأثیر قارچ *F. mosseae* در کاهش اثر تنش کم‌آبی بیشتر از قارچ *R. irregularis*بود. در تحقیقی تنش کمبود آب باعث کاهش ارتفاع گیاه مرزنجوش شد، درصورتی‌که تلقیح قارچ میکوریز با گیاه مرزنجوش، باعث افزایش ارتفاع گیاه گردید. همچنین تنش کمبود آب باعث افزایش میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل گیاه مرزنجوش شد، درصورتی‌که تلقیح قارچ میکوریز با گیاه، باعث کاهش محتویات کلروفیل a، b و کلروفیل کل گردید و گیاه تلقیح شده با قارچ میکوریز مقاومت بیشتری به تنش نشان داد (خلیلی و نعمانی ۲۰۱۵).

با مشاهده تأثیر مثبت این قارچ‌ها در افزایش جذب عناصرغذایی از خاک، بهبود بخشیدن به روابط آبی گیاه، افزایش راندمان مصرف آب در گیاه و در نهایت بالا بردن مقاومت گیاه به تنش‌های کمبود آب از یک طرف و از طرف دیگر وجود بحران آب در کشورهای مختلف، محققین را بر آن داشته تا این جنبه از رابطه همزیستی بوجود آمده بین گیاه میزبان و قارچ میکوریز را بیش از پیش مورد بررسی قرار دهند. لذا با توجه به محدودیت منابع آبی در کشور، به نظر می‌رسد به کارگیری قارچ‌های میکوریز کارایی تولید گیاهان دارویی مثل ریحان را در مقابله با تنش کمبود آب بهبود دهد. بنابراین هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی ریحان در شرایط گلخانه‌ای تحت تأثیر تنش کمبود آب به همراه سه گونه قارچ میکوریز بر روی صفات مورفولوژیکی، رنگیزه‌های گیاهی، درصد و عملکرد اسانس این گیاه می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### طرح آزمایشی و فاکتورهای مورد بررسی

در این پژوهش به منظور بررسی تأثیر تنش کمبود آب به همراه سه گونه قارچ میکوریز آربوسکولار بر روی صفات مورفولوژیکی، رنگیزه‌های گیاهی، درصد و عملکرد اسانس در گیاه دارویی ریحان، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل تنش رطوبتی و قارچ میکوریز بودند. تنش رطوبت شامل چهار سطح ظرفیت مزرعه‌ای (شاهد) و ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای و قارچ میکوریزا شامل سه گونه *R. irregularis*، *F. mosseae* و *C. etunicatum* و تیمار شاهد بود. گونه‌های قارچ میکوریز از گروه خاکشناسی دانشگاه تبریز تهیه شد که زادمایه قارچ‌های میکوریز به روش گلدانی و با میزبان سورگوم تکثیر شده بودند.

### نحوه کشت و تلقیح با قارچ و اعمال تنش کم‌آبی

برای کشت از گلدان‌های استریل هفت کیلویی با قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۱/۵ سانتی‌متر استفاده شد. به‌منظور کاشت بذرها، ابتدا دوسوم حجم گلدان با خاک لومی _ شنی، pH برابر ۷/۷ و EC برابر ۱/۹، فسفر قابل جذب ۱۴ میلی گرم بر کیلوگرم، پتاسیم قابل جذب ۳۲۱ میلی گرم بر کیلوگرم و نیتروژن کل ۰/۴ درصد پر شد، سپس ۳۰ گرم از مایه تلقیح روی سطح خاک پخش گردید. نهایتاً به اندازه چهار سانتی‌متر خاک روی آن اضافه شده و کشت بذرها انجام شد. در پایان یک سانتی‌متر خاک روی بذرها ریخته شد. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کشت انجام پذیرفت. جوانه‌زنی بذرها در محیط گلخانه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بعد از گذشت ۱۰ روز آغاز گردید. در مرحله شروع گلدهی، تنش کمبود آب در چهار سطح ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای (تیمار شاهد) تا سه هفته بعد از آن اعمال شد. اعمال تنش کم‌آبی به این صورت بود که گلدان‌ها به صورت روزانه توزین می‌شدند و نقصان رطوبتی در هر تیمار با آبیاری گلدان‌ها تا رسیدن به سطح تیمار موردنظر برطرف می‌شد. پس از اعمال تنش، نمونه‌برداری و اندازه‌گیری صفات در مرحله تمام گل صورت پذیرفت.

### صفات مورد اندازه‌گیری

پس از رسیدن گیاهان به دوره کامل گلدهی، صفات مختلف شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ، عملکرد وزن تر و خشک بوته (به عنوان عملکرد اقتصادی) و ریشه در متر مربع (وزن تر و خشک بوته و ریشه در مساحت هر گلدان یعنی ۰/۲۸ متر مربع اندازه‌گیری شد و با استفاده از عدد به دست آمده با نسبت‌گیری وزن تر و خشک بوته و ریشه در واحد مترمربع برآورد گردید)، کلروفیل a، b، کل (T)، کاروتنوئید (پورا، ۲۰۰۲)، درصد کلنیزاسیون (کورمانیک و مک گرو، ۱۹۸۲)، درصد و عملکرد اسانس در تمامی بوته‌های گلدان‌ها اندازه‌گیری شد.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

در ابتدا آزمون نرمال بودن باقیمانده‌ها و یکنواختی واریانس‌های درون تیماری انجام شده و مورد تأیید قرار گرفت. تجزیه واریانس داده‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها توسط آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS (Ver. 9.3) و برای رسم نمودارها از نرم افزار اکسل (Excel) استفاده شد.

## نتایج و بحث

### تجزیه واریانس صفات مربوط به تنش رطوبت، قارچ میکوریز و برهمکنش آن‌ها

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل واریانس اثر قارچ میکوریز و تنش رطوبت بر پارامترهای مورد بررسی در جدول ۱ آورده شده است. نتایج نشان‌دهنده آن است که اثر سطوح مختلف رطوبت خاک بر تمامی صفات به غیر از درصد کلنیزاسیون در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر میکوریز بر ارتفاع بوته و عملکرد وزن خشک بوته در متر مربع در سطح احتمال پنج درصد و

در صفات طول ریشه، درصد و عملکرد اسانس، کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و بر صفات تعداد برگ، عملکرد وزن تر و خشک بوته در متر مربع، عملکرد وزن خشک ریشه در متر مربع و درصد کلنیزاسیون غیرمعنی‌دار بود. طبق نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل میکوریز در تنش رطوبت بر صفات طول ریشه و عملکرد وزن تر ریشه در متر مربع در سطح احتمال پنج درصد و بر صفات کلروفیل a، کلروفیل کل و کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده و برهمکنش این دو فاکتور بر صفات ارتفاع بوته، تعداد برگ، عملکرد وزن تر و خشک بوته در متر مربع، عملکرد وزن خشک ریشه در متر مربع، درصد کلنیزاسیون، کلروفیل b، درصد و عملکرد اسانس غیرمعنی‌دار بود. همانطور که نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات اصلی و متقابل درصد کلنیزاسیون در این پژوهش معنی دار نبود.

**جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا، تنش رطوبت و اثر متقابل بین دو فاکتور بر صفات اندازه‌گیری شده در ریحان**

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ارتفاع بوته | تعداد برگ | طول ریشه | عملکرد وزن تر بوته در متر مربع | عملکرد وزن خشک بوته در متر مربع | عملکرد وزن تر ریشه در متر مربع | عملکرد وزن خشک ریشه در متر مربع | درصد کلنیزاسیون |
| بلوک | ۲ | ۱۱/۰۸$^{ns}$ | ۰/۰۲$^{ns}$ | ۰/۳۳$^{ns}$ | ۶۹۱/۲۲$^{ns}$ | ۱۴/۶۳۲$^{ns}$ | ۲/۰۳۳$^{ns}$ | ۱/۱۷$^{ns}$ | ۱۰/۷۶$^{ns}$ |
| میکوریز | ۳ | ۱۴/۵۷* | ۸/۴۷$^{ns}$ | ۱۶/۷۴** | ۵۳۷/۴۲$^{ns}$ | ۲۵/۸۶۸* | ۴/۶۲۷$^{ns}$ | ۰/۶۲۰$^{ns}$ | ۱۳/۰۸$^{ns}$ |
| تنش رطوبت | ۳ | ۳۳۶/۹۶** | ۳۹/۴۱** | ۶/۵۷** | ۲۲۸۱/۲** | ۴۸۰/۵۰۷** | ۸۶/۶۲۸** | ۶/۴۴** | ۹/۰۸$^{ns}$ |
| میکوریز × رطوبت خاک | ۹ | ۷/۲۶$^{ns}$ | ۱/۸۷$^{ns}$ | ۲/۹* | ۹۶/۴۶$^{ns}$ | ۱۲/۷۳۱$^{ns}$ | ۹/۴۲۱* | ۰/۲۰۷$^{ns}$ | ۲/۷۹$^{ns}$ |
| خطا | ۳۰ | ۵/۱۹ | ۴/۵ | ۱/۲۸ | ۳۹۵/۰۷ | ۷/۴۸ | ۴/۵۴۴ | ۰/۳۱ | ۱۱/۲۲ |
| ضریب تغییرات (٪) | | ۷/۹۹ | ۱۶/۳۸ | ۱۰/۹۲ | ۲/۳۹ | ۱۲/۶۱ | ۱۶/۰۴ | ۱۷/۶۲ | ۶/۷۹ |

**$^{ns}$، $^{**}$ و $^{*}$ به ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می باشد.**

**ادامه جدول ۱**

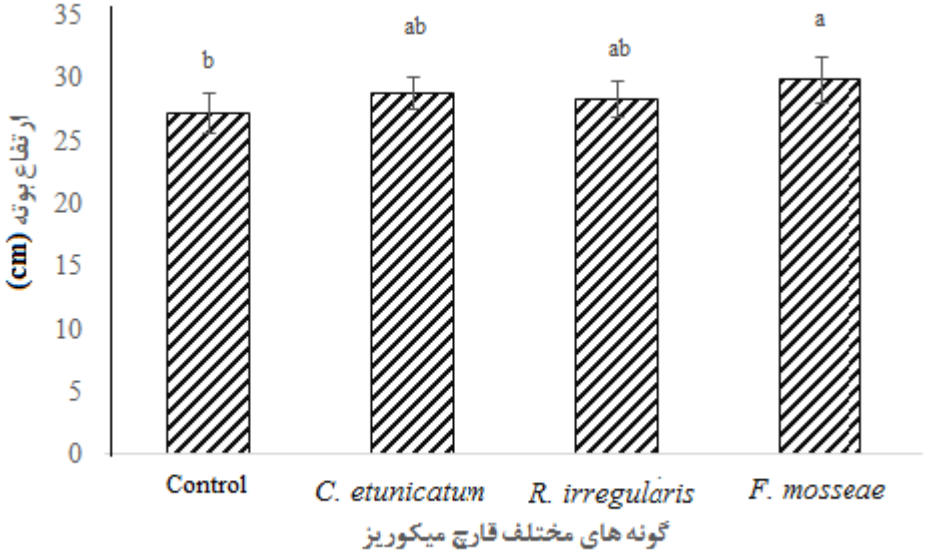
| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | درصد اسانس | عملکرد اسانس | کلروفیل a | کلروفیل b | کلروفیل کل | کاروتنوئید |
| بلوک | ۲ | ۰/۰۰۱$^{ns}$ | ۰/۰۰۱$^{ns}$ | ۰/۹۴۵$^{ns}$ | ۰/۲۵$^{ns}$ | ۱/۵۳$^{ns}$ | ۰/۰۲$^{ns}$ |
| میکوریز | ۳ | ۰/۰۰۹** | ۰/۰۰۴** | ۸/۰۹** | ۱/۰۹** | ۱۴/۸۴** | ۰/۴۱** |
| تنش رطوبت | ۳ | ۰/۵۶** | ۰/۰۵** | ۵۷/۶۴** | ۲۰/۰۸** | ۱۴۶/۷** | ۱/۳۷** |
| میکوریز × رطوبت خاک | ۹ | ۰/۰۰۲$^{ns}$ | ۰/۰۰۱$^{ns}$ | ۳/۰۴** | ۰/۱۸$^{ns}$ | ۴/۰۰۶** | ۰/۱** |
| خطا | ۳۰ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۶۹ | ۰/۱۳ | ۱/۲۷ | ۰/۰۱ |
| ضریب تغییرات (٪) | | ۰/۱۹ | ۱۶/۲ | ۶/۱۱ | ۵/۱۱ | ۵/۴۴ | ۴/۸۹ |

**$^{ns}$، $^{**}$ و $^{*}$ به ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می باشد.**

**ارتفاع بوته**

نتایج نشان داد که تیمارهای میکوریزا در مقایسه با تیمار بدون میکوریز باعث افزایش ارتفاع بوته گیاه دارویی ریحان شدند. تأثیر میکوریز گونه *F. mosseae* بر ارتفاع بوته بیشتر از دو گونه دیگر بود. بیشترین ارتفاع گیاه در گونه *F. mosseae* ۲۹/۸۹ سانتی‌متر بود که با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری داشت و کمترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار شاهد با میانگین ۲۷/۱۶

سانتی‌متر بود (شکل ۱). قارچ‌های میکوریزا به دلیل افزایش سطح جذب ریشه از طریق تشکیل هیف، سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی به وسیله گیاهان می‌شوند. بهبود جذب عناصرغذایی در گیاهان میزبان اغلب منجر به پاسخ‌های رشدی در این گیاهان می‌شود. قارچ باعث افزایش میزان جذب آب در گیاه نسبت به تیمارهای بدون قارچ می‌شود و افزایش جذب آب، سبب تورژسانس در سلول‌ها می‌گردد که خود یک عامل محرک طویل شدن سلول‌ها و ارتفاع بوته است (اورتاس و همکاران ۲۰۱۱). گزارش‌های زیادی وجود دارند که تلقیح گیاهان با قارچ‌های میکوریز رشد و مقدار جذب مواد غذایی را در گیاه افزایش می‌دهد و به دنبال آن مقاومت به تنش‌های محیطی و بیماری‌ها و همچنین عملکرد آن‌ها افزایش می‌یابد (پوراس-سوریانو و همکاران ۲۰۰۹).

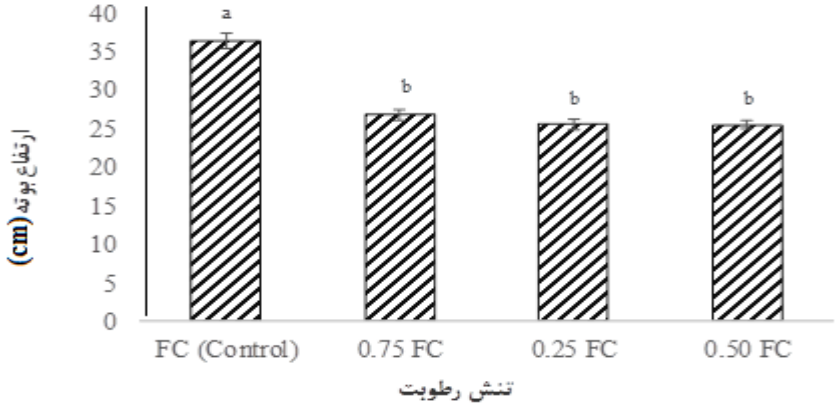



**شکل ۱- تأثیر گونه‌های مختلف قارچ میکوریز بر ارتفاع بوته ریحان**

شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) می‌باشد.

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

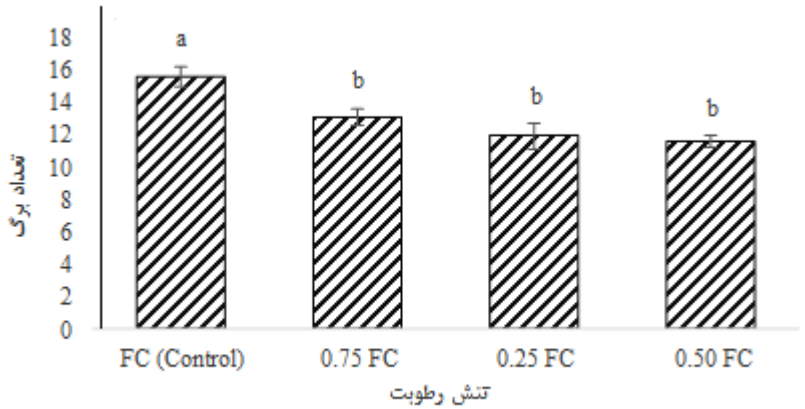
با توجه به شکل ۲ با اعمال تنش رطوبت ارتفاع گیاه کاهش پیدا کرد، به‌طوری‌که بیشترین مقدار ارتفاع گیاه در سطح بدون تنش با مقدار ۳۶/۴۱ سانتی‌متر بود که با بقیه تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت و کمترین ارتفاع در سطح ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای با مقدار ۲۵/۴۱ سانتی‌متر مشاهده شد. تنش رطوبت به دلیل کاهش طول دوره رشد گیاه منجر به کاهش فواصل میانگره‌ها می‌شود. همچنین غلظت هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد (جیبرلین و سیتوکینین) که در افزایش تقسیم سلولی و افزایش طول میانگره‌ها نقش دارند در شرایط تنش کاهش یافته و منجر به کاهش ارتفاع بوته شده است. در این پژوهش، کاهش ارتفاع بوته ریحان با افزایش تنش کمبود آب می‌تواند احتمالاً حاکی از حساسیت نسبی رشد رویشی گیاه ریحان به شرایط کم‌آبی باشد. علت کاهش ارتفاع در شرایط تنش کم‌آبی، می‌تواند به دلیل کاهش فشار تورژسانس و متعاقب آن کاهش تقسیم و بزرگ شدن سلولی باشد (اورتاس و همکاران۲۰۱۱).




**شکل ۲- تأثیر تنش رطوبت بر ارتفاع بوته ریحان**
شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) می‌باشد.
تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

**تعداد برگ**

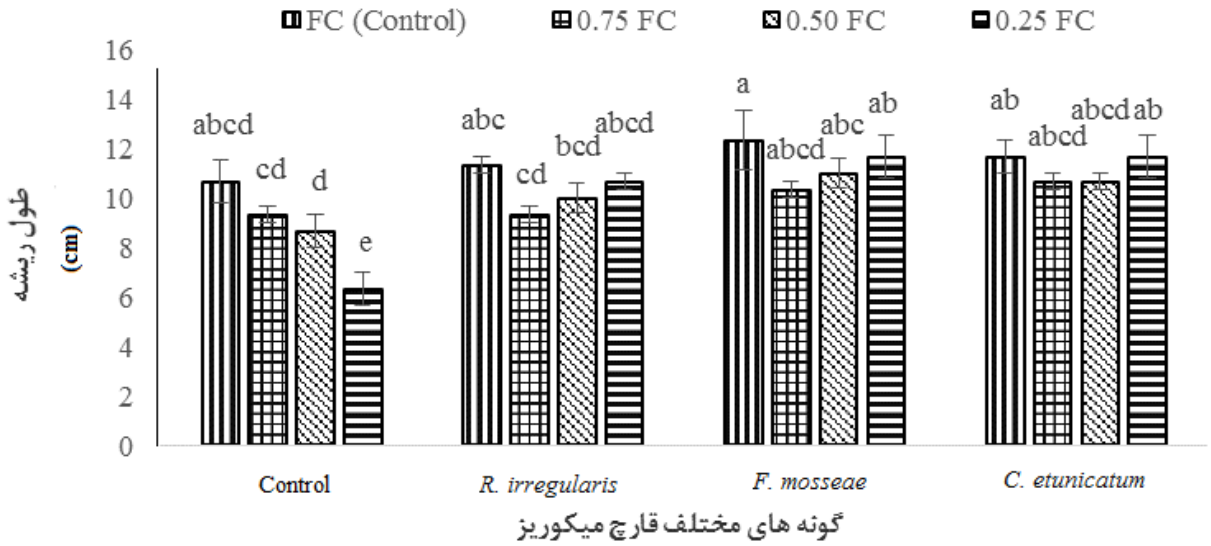
با توجه به مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تنش رطوبت بر تعداد برگ مشخص شد که با اعمال تنش کم‌آبی، تعداد برگ در ریحان کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که بیشترین تعداد برگ در تیمار آبیاری کامل (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) به دست آمد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۳). تعداد برگ در بوته یکی از شاخص‌های رشد رویشی است و ممکن است تحت تأثیر کمبود آب یا شرایط دیگر محیطی قرار گیرد. این کاهش را می‌توان به اثر مستقیم بر روی تقسیم سلولی در اثر کاهش سنتز نوکلئیک اسیدها و همچنین افزایش تجزیه آن‌ها نسبت داد. دلیل دیگر به تغییر تعادل هورمونی موجود و افزایش تولید هورمون آبسیزیک اسید و کاهش سطوح ایندول استیک اسید در گیاهان تحت تنش مربوط است (عبدالله و الخوشیبان ۲۰۰۷). عبدالجلیل و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش کردند که با کاهش پتانسیل آب خاک تولید برگ جدید در گیاه کم می‌شود. احتمالاً کاهش خصوصیات رشدی به دلیل کاهش محتوای نسبی آب و متعاقباً کوچک شدن اندازه سلول‌ها، کاهش تقسیم سلول‌های مریستمی و در نتیجه کند شدن رشد برگ‌ها، توقف تولید برگ، تسریع پیری و به دنبال آن ریزش برگ‌ها می‌باشد.




**شکل ۳- تأثیر تنش رطوبت بر تعداد برگ ریحان**
شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) می‌باشد.
تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

**طول ریشه**

نتایج مقایسه میانگین تأثیر برهمکنش میکوریز در تنش رطوبت بر طول ریشه در شکل ۴ آمده است. با توجه به نتایج، با اعمال تنش کمبود آب، طول ریشه کاهش یافت، ولی تیمارهای میکوریز باعث افزایش طول ریشه شد. بیشترین طول ریشه (۱۲/۳۳ سانتی‌متر) در تیمار میکوریز گونه *F. mosseae* در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه (تیمار شاهد) مشاهده شد. مارولاندا و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که گیاهان دارای همزیستی میکوریز نسبت به گیاهان غیرمیکوریز آب را از خاک سریع‌تر و کامل‌تر تخلیه می‌کنند و باعث می‌شوند که پتانسیل آب خاک کاهش بیشتری پیدا کرده، سطح برگ‌ها افزایش یابد که این خود باعث افزایش نیاز تعرق گیاهان میکوریز می‌شود. از طرف دیگر سیستم ریشه‌ای در گیاهان میکوریز توسعه بیشتری یافته و بیشتر از ریشه گیاهان غیرمیکوریز منشعب شده و قطر ریشه‌های فرعی در آن‌ها کاهش و طول ریشه افزایش یافته است. همه این عوامل باعث می شود که ریشه میکوریز سطح تماس بیشتری با خاک پیدا کرده و بدین صورت سریع‌تر آب را جذب می‌نماید (خان ۲۰۰۵).



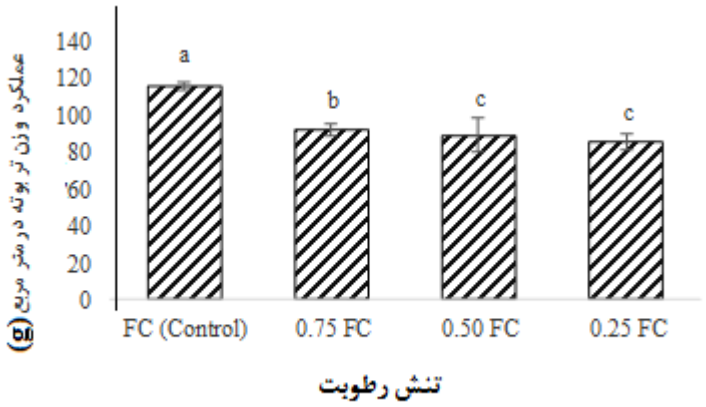

**شکل ۴- تأثیر برهمکنش گونه‌های مختلف قارچ میکوریز در تنش رطوبت بر طول ریشه ریحان**

شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) می‌باشد.

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

**عملکرد وزن تر بوته در متر مربع**

نتایج حاصل از مقایسه میانگین تنش رطوبت بر صفت عملکرد وزن تر بوته در متر مربع نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای (تیمار شاهد) با مقدار ۱۱۵/۴۶ گرم بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای با مقدار ۸۴/۹۰۶ گرم اندازه‌گیری شد که با تیمار ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۵).




**شکل ۵- تأثیر تنش رطوبت بر عملکرد وزن تر بوته در مترمربع ریحان**

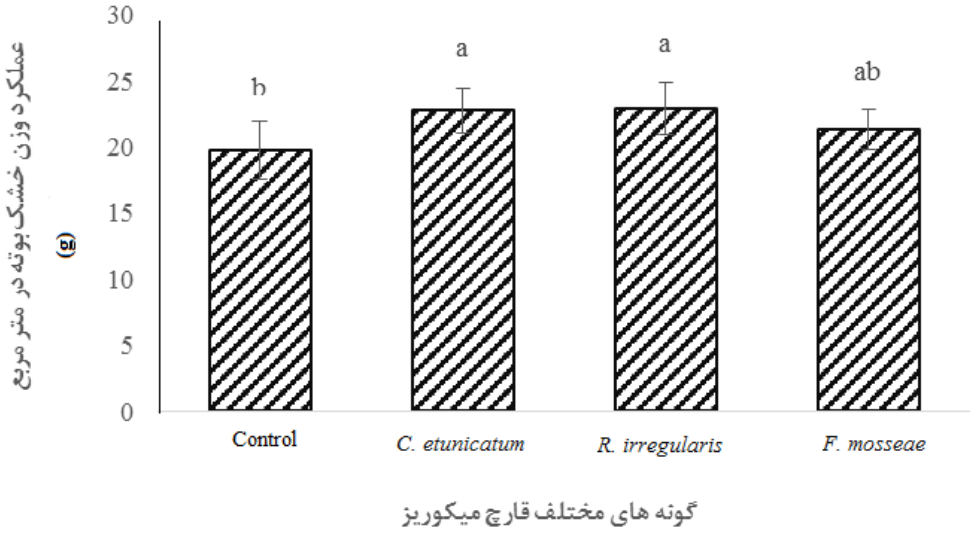
شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) می‌باشد.

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

**عملکرد وزن خشک بوته**

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تیمارهای میکوریز در مقایسه با تیمار بدون میکوریز باعث افزایش عملکرد وزن خشک بوته گیاه دارویی ریحان شدند. بیشترین عملکرد وزن خشک گیاه در متر مربع در گونه *R. irregularis* مشاهده شد که ۲۲/۹ گرم بود و کمترین عملکرد وزن خشک مربوط به تیمار شاهد با ۱۹/۷۵ گرم بود (شکل ۶). گزارش شده است که این گونه‌های قارچی با تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه نظیر اکسین، جیبرلین، سیتوکینین (مانند زآتین) و ترکیبات شبه اکسین نظیر ۶-آلفا پنتیل پیرون که تنها در غلظت‌های بخصوصی به‌عنوان محرک رشد گیاهی عمل می‌کند، نه‌تنها باعث افزایش وزن بوته و ریشه گیاه می‌شود که باعث افزایش حجم ریشه‌های گیاه شده و در نتیجه این افزایش، سطح فعال ریشه گیاه افزایش یافته و از این طریق جذب آب بخصوص در شرایط تنش تسهیل می‌شود (اوج ۲۰۰۱). به دنبال این پدیده‌ها، گیاه روزنه‌های خود را باز نگه داشته و بهتر فتوسنتز انجام داده و وزن بیشتری تولید می‌کند. جوشی و همکاران (۲۰۰۷) اظهار داشتند که تلقیح ریشه این گیاه با میکوریز نه‌تنها در افزایش رشد و تکثیر گیاه خصوصاً رشد ریشه مؤثر بوده، بلکه توانایی گیاه را برای رشد در خاک‌های حاشیه‌ای که با کمبود فسفر نیز مواجه هستند، افزایش می‌دهد.

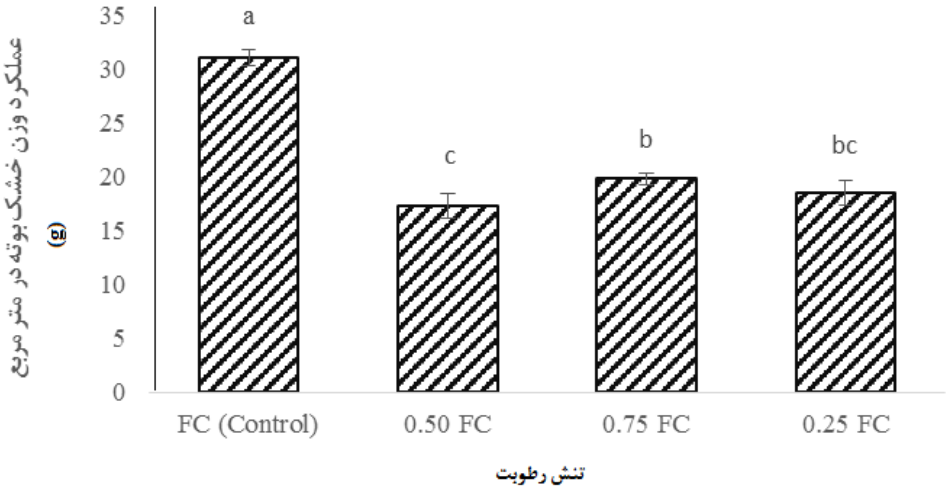
نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که اثر تنش رطوبت بر وزن خشک بوته در متر مربع باعث کاهش وزن خشک در اثر تنش کم‌آبی شد. بیشترین مقدار وزن خشک بوته در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای (تیمار شاهد) با مقدار ۳۱/۰۵ گرم بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای با مقدار ۱۷/۳ گرم بود (شکل ۷). یکی از دلایل کاهش وزن بوته در گیاه کاهش فتوسنتز می‌باشد و همچنین با توجه به محیط‌های تنش و بدون تنش کمبود آب، کاهش وزن بوته نشان‌دهنده ذخیره‌سازی ناهمسان آب در توده‌ها می‌باشد (ردی و همکاران، ۲۰۰۴). در شرایط تنش کم‌آبی با کاهش مقدار آب قابل دسترس، فتوسنتز کاهش می‌یابد و به دنبال آن وزن گیاه نیز کاهش می‌یابد. کاهش وزن بوته بیان‌کننده این است که تنش کم‌آبی می‌تواند روی رشد قسمت‌های هوایی گیاه تأثیر گذاشته و باعث کاهش آن‌ها شود. کمپئول و همکاران (۲۰۰۶) به این نتیجه رسیدند که تنش کم‌آبی باعث کاهش وزن بوته در گیاه *Isatis tincttoria* شد.




**شکل ۶- تأثیر گونه‌های مختلف قارچ میکوریز بر عملکرد وزن خشک بوته در متر مربع ریحان**

شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) می‌باشد.

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.



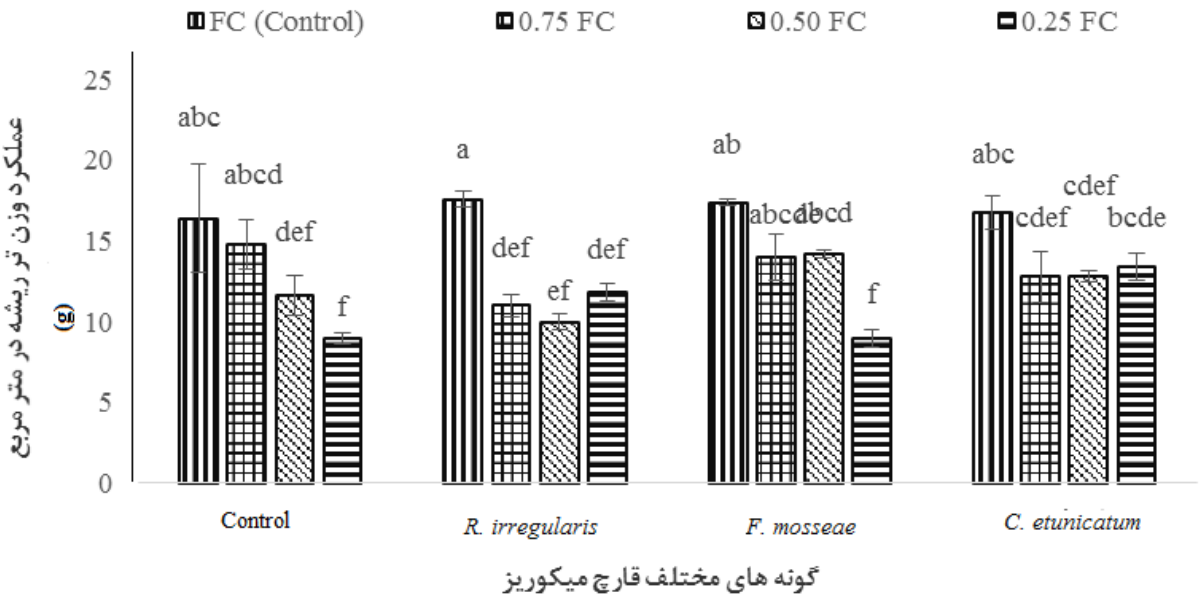

**شکل ۷- تأثیر سطوح مختلف تنش رطوبت بر عملکرد وزن خشک بوته در مترمربع ریحان**

شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) می‌باشد.

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

**عملکرد وزن تر ریشه**

نتایج مقایسه میانگین تأثیر برهمکنش میکوریز در تنش رطوبت بر عملکرد وزن تر ریشه در شکل ۸ آورده شده است. با توجه به نتایج، با اعمال تنش رطوبت، عملکرد ریشه کاهش یافت، ولی تیمارهای میکوریز باعث افزایش عملکرد ریشه شد. کمترین میزان عملکرد ریشه، در تیمار بدون میکوریز با رطوبت خاک ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای مشاهده شد. بیشترین عملکرد ریشه در تیمار میکوریز گونه *R. irregularis* در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه (تیمار شاهد) مشاهده شد. بنا بر نظر برخی پژوهشگران، ریشه به عنوان فیلتر کنترل‌کننده عبور یون‌ها عمل می‌کند. از این رو در شرایط تنش، ریشه انرژی بیشتری صرف مقابله با تنش‌های محیطی می‌کند و این امر می‌تواند سبب کاهش رشد آن شود (موافق و همکاران ۲۰۱۲).



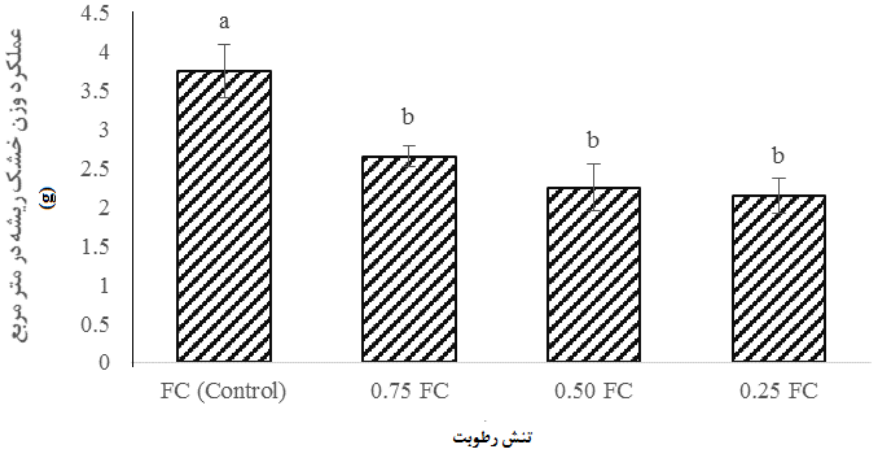

**شکل ۸- تأثیر برهمکنش گونه‌های مختلف قارچ میکوریز در تنش رطوبت بر عملکرد وزن تر ریشه در مترمربع ریحان**

شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) می‌باشد.

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

**عملکرد وزن خشک ریشه**

نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار وزن خشک ریشه در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای (تیمار شاهد) با مقدار ۳/۷۵ گرم بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای با مقدار ۲/۱۵ گرم بود (شکل ۹). ریشه یکی از مهمترین بخش‌های گیاه در کنترل سطح آب در گیاه می‌باشد. وظیفه ریشه‌ها در گیاه نگهداری و حمایت مکانیکی گیاه در خاک، دریافت آب و مواد معدنی می‌باشد و همچنین مهمترین وظیفه ریشه دریافت سیگنال‌های هر گونه تغییری در وضعیت آب و مواد غذایی خاک و در واقع تنش کم‌آبی است. عبدالله و الخوشیبان (۲۰۰۷) گزارش نمودند که افزایش رشد ریشه در پاسخ به کمبود آب می‌تواند در اثر افزایش میزان جیبرلین و سیتوکینین در ریشه‌ها باشد که از یک‌سو تقسیم و بزرگ شدن یاخته ریشه و از سوی دیگر منشعب و بلند شدن سریع ریشه‌ها را برای دسترسی به آب، تحریک می‌کنند که گیاه را برای زنده ماندن در شرایط تنش توانا می‌کند. رشد ریشه کمتر از قسمت‌های هوایی به کمبود آب حساس است. با توجه به این امر، کمبود آب منجر به افزایش نسبت ریشه به شاخساره می‌گردد. بدین ترتیب ظرفیت گیاه برای جذب مواد غذایی و آب از خاک افزایش می‌یابد.



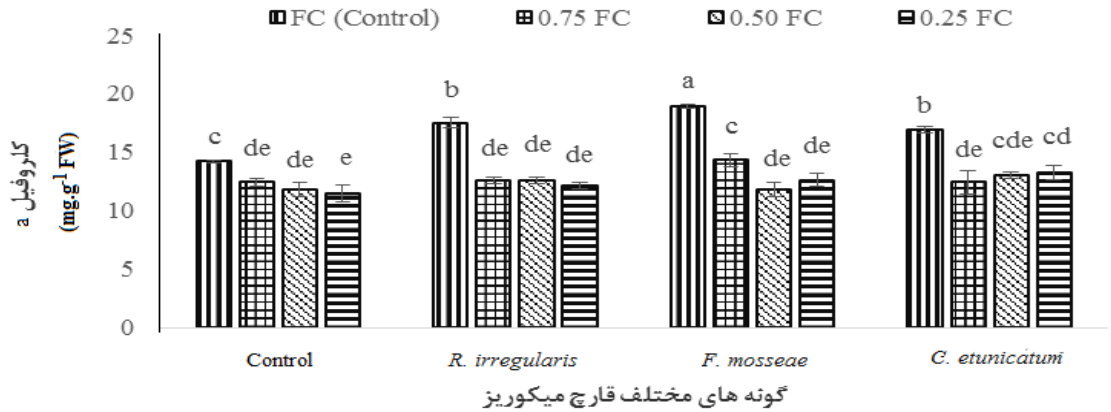

**شکل ۹- تأثیر تنش رطوبت بر عملکرد وزن خشک ریشه در مترمربع ریحان**

شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) می‌باشد.

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

**سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی**

مقایسه میانگین اثر متقابل رطوبت خاک در قارچ میکوریز نشان داد که با اعمال تنش کم‌آبی میزان کلروفیل a در گیاهان ریحان میکوریز و غیرمیکوریز کاهش یافت. به‌طورکلی در تنش رطوبت خاک میزان کلروفیل a در گیاهان میکوریز بیشتر از گیاهان غیرمیکوریز بود. در همه گونه‌های قارچ میکوریز بیشترین مقدار کلروفیل a در تیمار شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) مشاهده شد. همانطور که در شکل ۱۰ ملاحظه می‌شود بیشترین و کمترین میزان کلروفیل a به ترتیب به تیمار شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) گیاهان میکوریز *F. mosseae* (۱۸/۹۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و تیمار رطوبت خاک ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای گیاهان غیرمیکوریز (۱۱/۴۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) تعلق دارد.

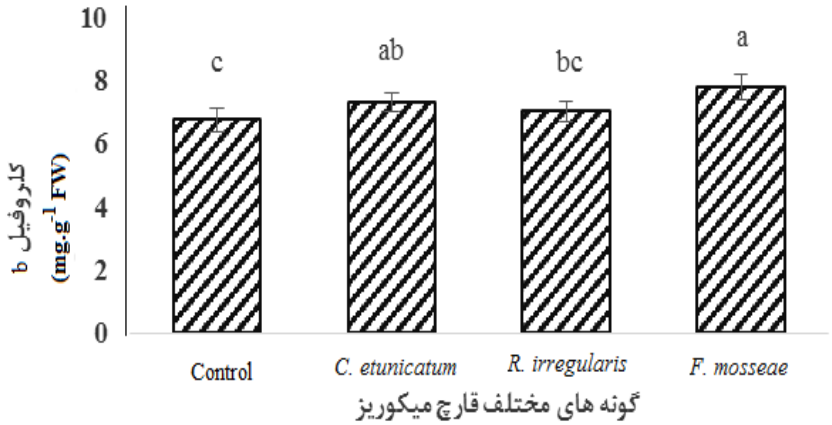



**شکل ۱۰- تأثیر برهمکنش گونه‌های مختلف قارچ میکوریز در تنش رطوبت بر کلروفیل a ریحان**

شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) می‌باشد.

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

مقایسه میانگین حاصل از اثر قارچ میکوریز بر گیاه دارویی ریحان نشان داد که میزان کلروفیل b در گیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان غیرمیکوریز بود. همانطورکه در شکل ۱۱ ملاحظه می‌شود بیشترین میزان کلروفیل b متعلق به گونه *F. mosseae* (۷/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) بود که با گونه *C. etunicatum* اختلاف معنی‌دار نداشت، ولی با بقیه تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. تیمار شاهد با ۶/۷۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ کمترین مقدار کلروفیل b را دارا بود که با تیمار *R. irregularis* اختلاف معنی‌دار نداشت.

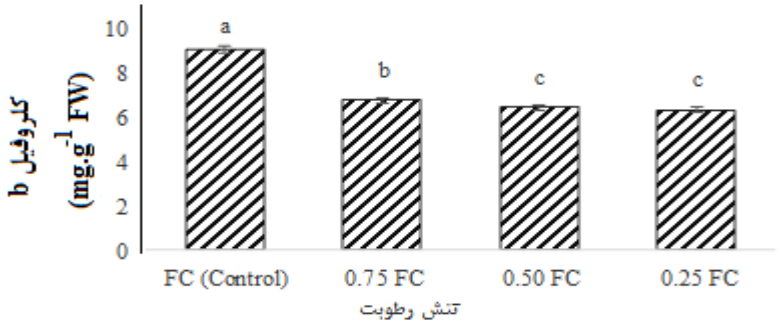



**شکل ۱۱- تأثیر گونه‌های مختلف قارچ میکوریز بر کلروفیل b ریحان**

شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) می‌باشد.

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

باتوجه به نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها مشخص شد که با افزایش تنش رطوبت، میزان کلروفیل b در ریحان کاهش یافته است. بیشترین مقدار کلروفیل b مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای (تیمار شاهد) با مقدار ۹/۰۴۴ میلی‌گرم بر گرم بافت گیاه بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت و کمترین مقدار کلروفیل b نیز مربوط به تیمار ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای با مقدار ۰/۳۰۱ میلی‌گرم بر گرم بود که با تیمار ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱۲).



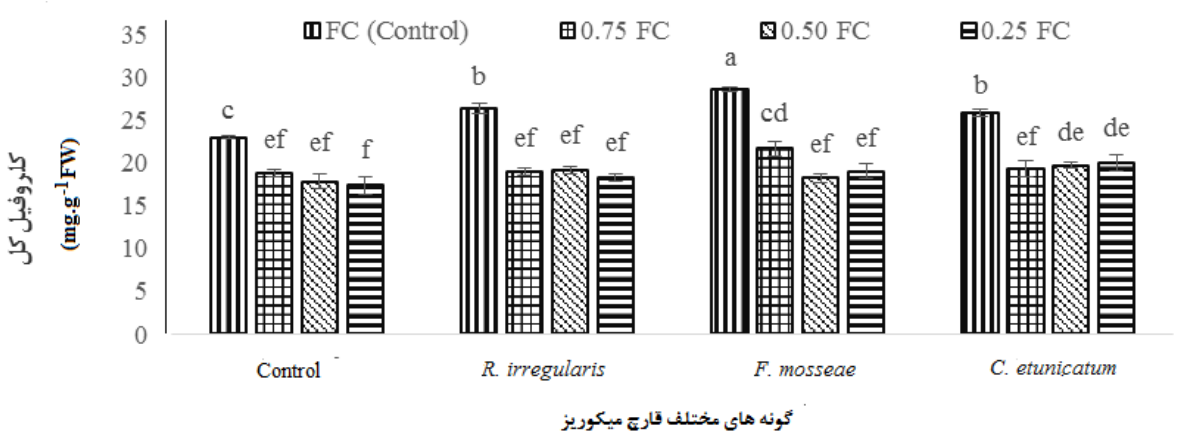

**شکل ۱۲- تأثیر تنش رطوبت بر کلروفیل b ریحان**

شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) می‌باشد.

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۳ شماره ۳ / پاییز ۱۴۰۲/ صفحات ۱۵۶-۱۳۷

مقایسه میانگین حاصل از برهمکنش رطوبت خاک در قارچ میکوریز نشان داد که با اعمال تنش کم‌آبی میزان کلروفیل کل گیاهان ریحان میکوریز و غیرمیکوریز کاهش یافت. در مجموع در تنش رطوبت میزان کلروفیل کل در گیاهان میکوریز بیشتر از گیاهان غیرمیکوریز بود. همانطور که در شکل ۱۳ ملاحظه می‌شود بیشترین و کمترین میزان کلروفیل کل به ترتیب به تیمار شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) گیاهان میکوریز *F. mosseae* (۲۸/۵۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و تیمار تنش رطوبت ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای گیاهان غیرمیکوریز (۱۷/۳۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) تعلق دارد.

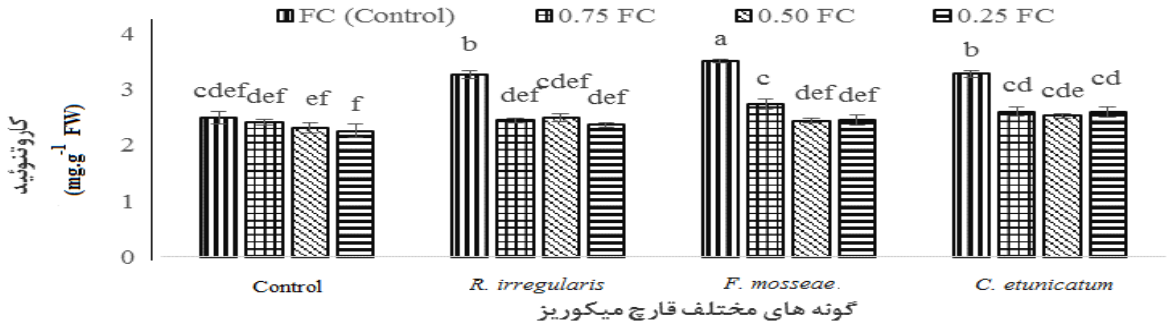



**شکل ۱۳- تأثیر برهمکنش گونه‌های مختلف قارچ میکوریز در تنش رطوبت بر کلروفیل کل ریحان**

شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) می‌باشد.

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

مقایسه میانگین حاصل از اثر متقابل تنش رطوبت در قارچ میکوریز نشان داد که با اعمال تنش کم‌آبی میزان کاروتنوئید گیاهان ریحان میکوریز و غیرمیکوریز کاهش یافت. در تنش رطوبت میزان کاروتنوئید در گیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان غیرمیکوریز بود. همانطور که در شکل ۱۴ ملاحظه می‌شود بیشترین و کمترین میزان کاروتنوئید به ترتیب به تیمار شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) گیاهان میکوریز *F. mosseae* (۳/۴۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و تیمار رطوبت خاک ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای گیاهان غیرمیکوریز (۲/۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) تعلق دارد.




**شکل ۱۴- تأثیر برهمکنش گونه‌های مختلف قارچ میکوریز در تنش رطوبت بر کاروتنوئید ریحان**

CC BY NC

DOI: 10.22034/saps.2022.50909.2854

شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) می‌باشد.
تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

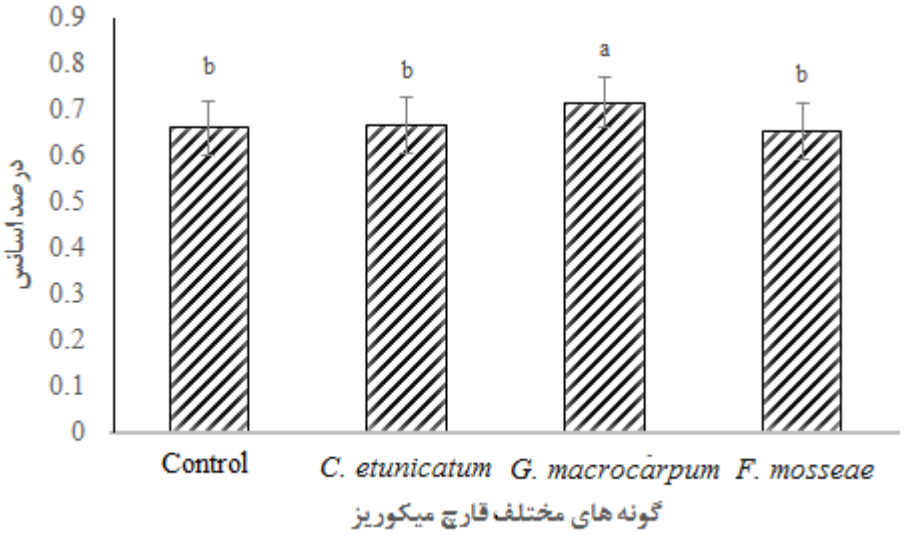
میزان کلروفیل در گیاهان زنده یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است و حفظ غلظت کلروفیل تحت تنش کم‌آبی به ثبات فتوسنتز در این شرایط کمک می‌کند. به نظر می‌رسد که کاهش میزان کلروفیل تحت تنش شدید کم‌آبی، به علت افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز و پراکسیداز، تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و در نتیجه پراکسیداسیون و تجزیه کلروفیل و همچنین هیدرولیز پروتئین‌های تیلاکوئیدی باشد. میکوریز از طریق افزایش جذب عناصر کم‌مصرف از قبیل آهن، روی، مس و منگنز در هنگام تنش بر میزان کلروفیل برگ تأثیر دارند. به‌طوری‌که عنصر آهن در سنتز پروتئین‌های کلروفیل بکار رفته است (مونوز و همکاران ۲۰۱۱). همچنین عناصر روی و مس می‌توانند از طریق سنتز پروتئین در تولید کلروپلاست اثر بگذارند (زارع و همکاران ۲۰۱۲). با توجه به پژوهش حاضر، قارچ میکوریز بر میزان پارامترهای کلروفیلی اثر گذاشته و باعث افزایش میزان آن‌ها در تیمارهای میکوریز در مقایسه با تیمار شاهد در شرایط تنش کمبود آب گردید. مقالات زیادی گزارش شده که تلقیح گیاه با قارچ میکوریز باعث افزایش محتوای کلروفیل شده است (اسرار و الهیندی ۲۰۱۱). اصلانی و همکاران (۲۰۱۱) نیز اظهار داشتند که تنش آبی اثر معنی‌داری بر مقدار کلروفیل ریحان داشت، به‌طوری‌که با کاهش مقدار آب خاک، مقدار کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید کاهش یافت. کاهش میزان کلروفیل a در اثر تنش کمبود آب ممکن است به علت افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن باشد که این رادیکال‌های آزاد باعث پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگیزه‌ها می‌گردد.

**درصد اسانس**

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تأثیر میکوریز گونه *R. irregularis* بر درصد اسانس بیشتر از دو گونه دیگر بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت و کمترین درصد اسانس مربوط به تیمار شاهد بود که با *F. mosseae* و *C. etunicatum* اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱۵). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در نمونه‌های میکوریز*R. irregularis* همزیست با گیاه ریحان درصد اسانس نسبت به شاهد غیرمیکوریز افزایش یافته است. مهمترین و معتبرترین تأثیر رابطه همزیستی با قارچ‌های میکوریز، افزایش جذب عناصر معدنی به‌ویژه فسفر در گیاه میزبان می‌باشد. در رابطه با افزایش میزان اسانس می‌توان اظهار داشت که افزایش جذب عناصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر به دنبال کاربرد قارچ‌های میکوریز نسبت به شاهد در بهبود میزان اسانس مؤثر بوده است. نیتروژن در رشد و تقسیم سلول‌های جدید حاوی اسانس نقش دارند (امید بیگی و همکاران ۲۰۰۳) و از طریق افزایش تعداد و سطح برگ و فراهم نمودن زمینه مناسب برای دریافت انرژی نورانی خورشید و نیز شرکت در ساختار کلروفیل و آنزیم‌های درگیر در متابولیسم کربن فتوسنتزی، موجب افزایش بازده فتوسنتزی شده و نقش کلیدی در افزایش میزان اسانس دارد. کاپور و همکاران (۲۰۰۴) در مورد تأثیر قارچ میکوریز بر رشد، نمو و کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی رازیانه نشان دادند که همزیستی ریشه رازیانه با قارچ *G. macrocarpum* به طور معنی‌داری میزان اسانس رازیانه را بهبود بخشیدند. نتایج تحقیق دیگری نشان داد که قارچ میکوریز *F. mosseae* سبب افزایش درصد اسانس در گیاه دارویی پونه گردید (خاساد و همکاران ۲۰۰۶).

با توجه به مقایسه میانگین تنش رطوبت بر درصد اسانس مشخص شد که بیشترین درصد اسانس (۰/۸۷ درصد) مربوط به تیمار ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای بود که با سایر سطوح رطوبت خاک اختلاف معنی‌داری داشت. همچنین کمترین درصد اسانس (۰/۳۶ درصد) مربوط به تیمار ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای بود که با

سایر تیمارها نیز اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۱۶). درصد اسانس با افزایش تنش در حد متوسط افزایش یافت، اما در تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) درصد اسانس بطور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش نشان داد. در تنش شدید عملکرد بوته کاهش یافته و به نوبه خود باعث کاهش درصد اسانس نیز خواهد شد. گیاهان معطر غنی از اسانس در مناطق خشک نسبت به مناطق مرطوب بسیار فراوان‌تر هستند. مقدار اسانس در گیاهانی مانند افسنطین، بابونه، اسطوخودوس و اکالیپتوس در شرایط کمبود آب افزایش می‌یابد، احتمال می‌رود که اسانس‌ها در سازوکار مقاومت به تنش کمبود آب از طریق کاهش تعرق مؤثر باشند (صالحی ارجمندی ۲۰۰۵).



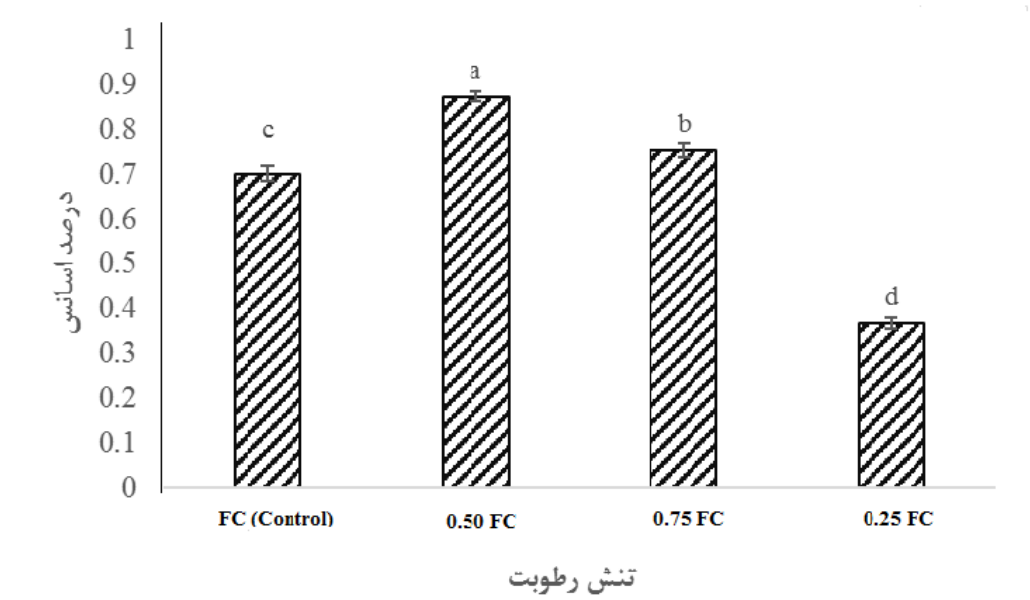

**شکل ۱۵- تأثیر گونه‌های مختلف قارچ میکوریز بر درصد اسانس ریحان**

شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) می‌باشد.

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

**عملکرد اسانس**

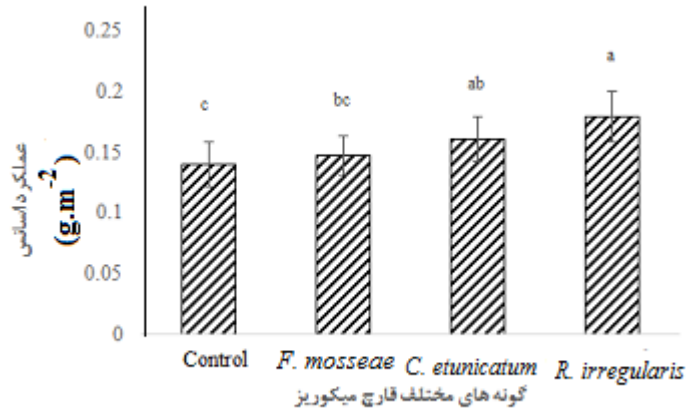
نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تیمارهای میکوریز در مقایسه با تیمار بدون میکوریز باعث افزایش عملکرد اسانس گیاه دارویی ریحان شدند. تأثیر میکوریز گونه *R. irregularis* بر عملکرد اسانس بیشتر از دو گونه دیگر بود که با تیمار *C. etunicatum* اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین عملکرد اسانس مربوط به تیمار شاهد بود که با تیمار *F. mosseae* اختلاف معنی-داری نداشت (شکل ۱۷). در یک مطالعه تلقیح با گونه-های میکوریز از طریق فعالیت‌های میکروبی خاک و تولید برخی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه منجر به افزایش عملکرد اسانس گیاه رازیانه شده است (کاپور و همکاران ۲۰۰۷). کاپور و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیقی به منظور مطالعه اثر میکوریز در افزایش غلظت و کیفیت اسانس در گیاه گشنیز نشان دادند که قارچ میکوریز سبب افزایش عملکرد بیولوژیک، درصد اسانس و نهایتاً عملکرد اسانس در گیاه گشنیز می‌گردد. گوپتا و همکاران (۲۰۰۲) روی گیاه دارویی نعناع گزارش دادند که تلقیح گیاه نعناع با میکوریز و یکی از گونه‌های گلوموس و ایجاد رابطه همزیستی با ریشه به‌طور محسوسی عملکرد اسانس را افزایش داد. آنان نشان دادند که همزیستی قارچ میکوریز با ریشه گیاه نعناع از طریق افزایش جذب آب و عناصر پرمصرف در بهبود عملکرد اسانس مؤثر بوده است.




**شکل ۱۶- تأثیر تنش رطوبت بر درصد اسانس ریحان**

شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد $(\pm SE)$ می‌باشد.

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.



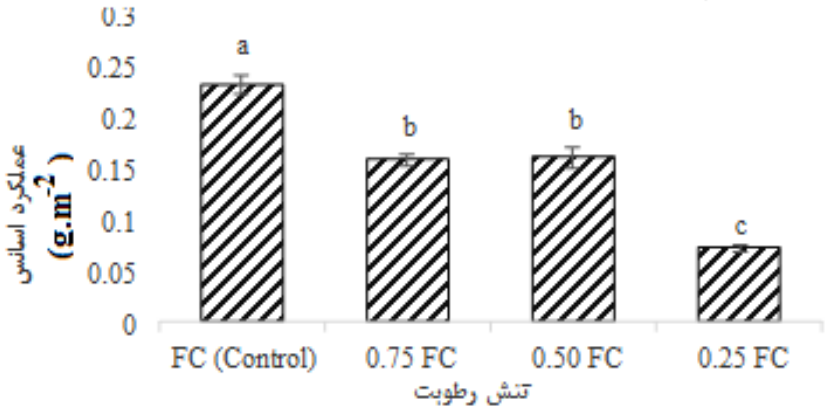

**شکل ۱۷- تأثیر گونه‌های مختلف قارچ میکوریز بر عملکرد اسانس ریحان**

شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد $(\pm SE)$ می‌باشد.

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۳ شماره ۳ / پاییز ۱۴۰۲/ صفحات ۱۵۶-۱۳۷

با توجه به مقایسه میانگین تنش رطوبت بر عملکرد اسانس مشخص شد که بیشترین عملکرد اسانس (۰/۲۳ گرم در متر مربع) مربوط به تیمار شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی-داری داشت. همچنین کمترین عملکرد اسانس (۰/۰۷ گرم در متر مربع) مربوط به تیمار ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای بود که با سایر تیمارها نیز اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۱۸). متابولیت‌های ثانویه گیاهان تحت تأثیر فاکتورهای محیطی و کمبود آب که اصلی‌ترین جنبه فیزیولوژی و بیوشیمی گیاهان است، قرار می-گیرد. عملکرد اسانس تابعی از درصد اسانس و عملکرد گیاه می‌باشد، بنابراین اگرچه در شرایط تنش کم‌آبی درصد اسانس افزایش یافت، ولی به دلیل کاهش محسوس عملکرد گیاه در کل عملکرد اسانس کاهش می‌یابد. شوبهرا و همکاران (۲۰۰۴) در بررسی‌های خود روی گیاه دارویی همیشه بهار دریافتند که عملکرد اسانس در گیاه در شرایط تنش کمبود آب به شدت کاهش می‌یابد. با افزایش تنش هرچند درصد اسانس افزایش می‌یابد، اما همراه با تنش عملکرد اندام هوایی کاهش یافته و به نوبه خود باعث کاهش عملکرد مواد مؤثره می‌گردد.




**شکل ۱۸- تأثیر تنش رطوبت بر عملکرد اسانس ریحان**

شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) می‌باشد.

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

## نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان داد که با اعمال تنش کم‌آبی، صفاتی مثل طول ریشه و بوته و تعداد برگ کاهش یافت، ولی در تیمارهای تلقیح شده با قارچ میکوریز شاخص‌های رشد بیان شده، طول و وزن بیشتری نسبت به تیمارهای بدون تلقیح داشتند. با اعمال تنش کم‌آبی، غلظت مقادیر کلروفیل کاهش یافت، ولی غلظت آن‌ها در تیمارهای تلقیح شده با میکوریز بیشتر از تیمارهای بدون تلقیح بود. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان بیان کرد که تلقیح گیاه ریحان با قارچ‌های میکوریز موجب افزایش درصد و عملکرد اسانس در هر دو شرایط تنش آبی و شرایط بدون تنش گردید و با توجه به اینکه در کشت گیاهان دارویی هدف افزایش ماده مؤثره در این گیاهان می‌باشد. لذا برای رسیدن به این هدف می‌توان از قارچ میکوریز بهره برد. نتایج نشان داد که قارچ میکوریز گونه *F. mosseae* در اکثر صفات مورد بررسی روی گیاه ریحان بهتر عمل کرده است. بنابراین می‌توان گفت گونه *F. mosseae* توانایی

CC BY NC
DOI: 10.22034/saps.2022.50909.2854

بهتری جهت برقراری رابطه همزیستی با ریشه ریحان دارد.

**سپاسگزاری**

از جناب آقای محمد پوراسمعیل و دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر به خاطر همکاری‌های صمیمانه‌شان تشکر و قدردانی می‌شود.

**منابع مورد استفاده**

Abdalla M and El-Khoshiban NH. 2007. The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticium aestivum* cultivars. Journal of Applied Sciences Research, 3(12): 2062-2074.

Abdul Jaleel C, Manivannan P, Wahid A, Farooq M, Somasundaram R and Panneerselvam R. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal Agriculture and Biology, 11(1): 100-105.

Aslani Z, Hassani A, Rasouli Sadeghiani MH, Sefidkan F and Brin M. 2011. The effect of two species of Arbuscular mycorrhiza fungi *(Glumus mosseae*) and (*G. intraradices*) on growth, chlorophyll content and phosphorus uptake in basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress. Scientific-Research of Iranian Medicinal and Aromatic Plants. 27 (3): 471-486.

Asrar AW, and Elhindi KM. 2011. Alleviation of drought stress of Marigold (*Tagetes erecta*) plants by using arbuscular mycorrhizal fungi. Saudi Journal Biological Sciences, 18(1): 93-98.

Auge RM. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza, 11(1): 30-42.

Campeol E, Angelini LG, Tozzi S and Bertolacci M. 2006. Seasonal variation of indigo precursors in *Isatis tinctoria* L. and *Polygonum tinctorium* Ait. as affected by water deficit. Environmental and Experimental Botany, 58(1): 223-233.

Deepika S and Kothamasi D. 2015. Soil moisture a regulator of arbuscular mycorrhizal fungal community assembly and symbiotic phosphorus uptake. Mycorrhiza, 25(1): 67-75.

Gupta ML, Prasad A, Ram M and Kumar S. 2002. Effect of the vesicul ararbuscular mycorrhizal (VAM) fungus Glomus fasiculatum on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. Bioresource Technology, 81(4): 77-79.

Joshee N, Mentreddy SR and Yadav K. 2007. Mycorrhizal fungi and growth and development of micropropagated Scutellaria integrifolia plants. Industrial Crops and Products, 25(2): 169-177.

Kapoor R, Chaudhary V and Bhatnagar AK. 2007. Effects of arbuscular mycorrhiza and phosphorus application on artemisinin concentration in *Artemisia annua* L. Mycorrhiza, 17(7): 581-587.

Kapoor R, Giri B and Mukerji KG. 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* Mill. on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. Bioresource Technology, 93(3): 307-311.

Kapoor R, Giri B and Mukerji KG. 2005. Effect of the arbuscular mycorrhizae *Glomus fasciculatum* and *G. macrocarpum* on the growth and nutrient content of *Cassia siamea* in a semi-arid Indian wasteland soil. New Forests, 29(1): 63-73.

Khalil SE and El-Noemani ASA. 2015. Effect of bio-fertilizers on growth, yield, water relations, photosynthetic pigments and carbohydrates contents of *Origanum vulgare* L. plants grown under water stress conditions. American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture, 9(4): 60-73.

Khan AG. 2005. Mycorrhizas and phytoremediation. In: Willey N. (Ed.): Method in Biotechnology-Phytoremediation: Methods and Reviews. Totowa, USA: Humana Press.

Khaosaad T, Vierheilig H, Nell M, Zitterl-Eglseer K and Novak J. 2006. Arbuscular mycorrhiza alter the concentration of essential oils in oregano (*Origanum spp*., Lamiaceae). Mycorrhiza, 16(6): 443-446.

Kormanik PP and McGraw AC. 1982. Quantification of vesicular-arbusculare mycorrhiza in plant roots. In: N. C. Schneck(ed.) Methods and principles of mycorrhizal research. American Phytopathological Society, 37-45.

Koucheki A, Nasiri Mohalati M, Mondani F and Khorramdel S. 2012. New aspect on Ecological physiological aspects of crop plants. 1st ed. Ferdowsi Mashhad University. Press, Ferdowsi Mashhad (Iran) pp. 613.

Marulanda A, Azcon R and Ruiz-Lozano JM. 2003. Contribution of six arbuscular mycorrhizal fungi isolates to water uptake by *Lactuca sativa* plants under drought stress. Physiologia Plantarum, 119(4): 525-533.

Movafegh S, Razeghi Jadid R and Kiabi Sh. 2012. Effect of salinity stress on chlorophyll content, proline, water soluble carbohydrate, germination, growth and dry weight of three seedlings barely (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. Journal of Stress Physiology and Biochemistry, 8: 157-168.

Munoz IE, Garcia de Salamone R, Aroca JM and Ruiz Lozano RA. 2011. Azospirillum and *Arbuscular mycorrhizal* colonization enhance rice growth and physiological traits under well-watered and drought conditions. Journal of Plant Physiology, 168: 1031-1037.

Omidbaigi R, Hassani A and Sefidkon F. 2003. Essential oil content and composition of sweet basil (*Ocimum basilicum*) at different irrigation regimes. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 6(2): 104-108.

Ortas I, Sari N, Akpinar Ç and Yetisir H. 2011. Screening mycorrhiza species for plant growth, P and Zn uptake in pepper seedling grown under greenhouse conditions. Scientia Horticulturae, 128(2): 92-98.

Porra RJ. 2002. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls and b. Photosynthesis Research, 73(1-3): 149-156.

Porras-Soriano A, Soriano-Martín ML, Porras-Piedra A and Azcón R. 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi increased growth, nutrient uptake and tolerance to salinity in olive trees under nursery conditions. Journal of Plant Physiology, 166(13): 1350-1359.

Reddy AR, Chaitanya KV and Vivekanandan M. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology, 161(11): 1189-1202.

Salehi Arjomandi H. 2005. The effect of environmental stresses on the increase of secondary metabolites in plants. Proceedings of the National Conference on Sustainable Development of Medicinal Plants. Publications of Forests and Rangelands Research Institute.

Shubhra K, Dayal J, Goswami CL and Munjal R. 2004. Effects of water deficit on oil of Calendula aerial parts. Biologia Plantarum, 48(3): 445-448.

Smith SE, Facelli E, Pope S and Smith FA. 2010. Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. Plant and Soil, 326(1): 3-20.

Tian M, Chen YL, Li M and Liu RL. 2013. Structure and function of *arbuscular mycorrhiza*: a review. Chinese. Journal of Applied Ecology, 24: 2369-2376.

Zarea MJ, Hajinia S, Karimi N, Mohammadi Goltapeh, E, Rejali F and Varma A. 2012. Effect of *Piriformospora indica* and *Azospirillum strains* from saline or non-saline soil on mitigation of the effects of NaCl. Soil Biology and Biochemistry, 45: 139-146.