Journal of Rangeland

Print ISSN: 2008-0891

Online ISSN: 2676-5039

Investigating the Impact of Mycorrhizal Fungi on Morphological and Phytochemical Traits of Turkmen Lycium (*Lycium depressum*) Under Salinity Stress

Yasaman Kiasi[1], Mohamad Rahim Forouzeh*[2], Elham Malekzadeh[3], Abdollah Ardebili[4], Hossein Barani[5]

1. Ph.D. Student of Rangeland Science and Engineering, Department of Range Management, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2. Corresponding author, Associate Prof., Department of Range Management, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: rfroozeh@yahoo.com, forouzeh@gau.ac.ir
3. Assistant Prof., Department of Soil Sciences, Faculty of Soil Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
4. Associate Prof., Department of Microbiology, Faculty of Medicine, Golestan University of Medical Sciences and Health Services, Gorgan, Iran
5. Associate Prof., Department of Range Management, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Article Info

Article type:
Research Full Paper

2025; Vol 19, Issue 1

Article history:
Received: 07.10.2024
Revised: 16.02.2025
Accepted: 24.02.2025

Keywords:
Arbuscular mycorrhizal fungi,
symbiosis,
salinity stress,
antioxidants,
proline.

Abstract

Background and objectives: Salinity stress is a major environmental challenge affecting plant growth and performance, particularly in arid and semi-arid regions. The physiological characteristics of Lycium depressum make it a promising candidate for desertification control and soil salinity reduction due to its resilience to harsh conditions. Given its recent inclusion in restoration programs for saline and alkaline rangelands, this study investigates the morphological and phytochemical traits of L. depressum inoculated with mycorrhizal fungi under salinity stress.

Methodology: A factorial greenhouse experiment was conducted using a completely randomized block design with four replications to assess the effects of mycorrhizal fungi on L. depressum under salinity stress. The experimental factors included: Arbuscular Mycorrhizal Fungi – Funneliformis mosseae (F1), Rhizophagus intraradices (F2), their combination (F1+F2), and a control group (without fungi, F0). Salinity Stress Levels – Four treatments (S1=6, S2=10, S3=14, and S4=18 dS/m).

Results: The results demonstrated significant effects ($P < 0.05$) of both salinity treatments and fungal inoculation on the studied traits. The highest levels of phenols, flavonoids, antioxidants, and proline were recorded in the highest salinity treatment (S4) with the fungal combination (F1+F2), while the lowest levels were observed in the control group (F0) at the lowest salinity level (S1). Conversely, leaf greenness, fresh leaf weight, dry leaf weight, leaf count, and plant height reached their highest values in the fungal combination (F1+F2) at the lowest salinity level (S1), whereas the lowest values were observed in the control treatment (F0) under the highest salinity level (S4).

Conclusion: Salinity stress adversely affects the morphological traits of L. depressum, but mycorrhizal fungi inoculation significantly mitigates these negative impacts. The combined fungal treatment (F1+F2) demonstrated the most substantial

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.5.8]

benefits, improving plant tolerance to salinity and enhancing phytochemical and morphological traits. These findings highlight the potential of mycorrhizal fungi as an effective strategy for rehabilitating degraded rangelands affected by environmental stresses, particularly salinity, thereby contributing to ecosystem health and productivity restoration.

Cite this article: Kiasi, Y., M.R. Forouzeh, E. Malekzadeh, A. Ardebili, H. Barani, 2025. Investigating the Impact of Mycorrhizal Fungi on Morphological and Phytochemical Traits of Turkmen Lycium (Lycium depressum) Under Salinity Stress. Journal of Rangeland, 19(1): 68-87.

© The Author(s).
DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.5.8
Publisher: Iranian Society for Range Management

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.5.8]

مـــرتـــع

شاپا چاپی: ۰۸۹۱-۲۰۰۸

شاپا الکترونیکی: ۵۰۳۹-۲۶۷۶

بررسی تاثیر قارچ‌های مایکوریزا بر تغییرات برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی گونه دیوخار ترکمنی (*Lycium depressumm*) در شرایط تنش شوری

یاسمن کیاسی[۱]، محمدرحیم فروزه*[۲]، الهام ملک زاده[۳]، عبدالله اردبیلی[۴]، حسین بارانی[۵]

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی مرتع، گروه مدیریت مرتع، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مدیریت مرتع، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: rfroozeh@yahoo.com, forouzeh@gau.ac.ir

۳. استادیار گروه حاصل‌خیزی و بیولوژی خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۴. دانشیار گروه میکروب شناسی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشت درمانی گلستان، گرگان، گرگان، ایران.

۵. دانشیار گروه مدیریت مرتع، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل – پژوهشی

۱۴۰۴؛ جلد ۱۹، شماره ۱

تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۰۵/۰۷
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۵

واژه‌های کلیدی:
اکوسیستم‌های مرتعی،
همزیستی،
اصلاح مرتع،
مناطق خشک و نیمه خشک،
بیابان‌زدایی.

چکیده

سابقه و هدف: تنش شوری یکی از چالش‌های عمده در پایداری اکوسیستم‌های طبیعی است که بر رشد و عملکرد گیاهان به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک تأثیر می‌گذارد. ویژگی‌های فیزیولوژیکی گونه دیوخارترکمنی (*Lycium depressumm*) به دلیل مقاومت نسبی‌اش به شرایط سخت محیطی، آن را به گیاهی ایده‌آل برای بیابان‌زدایی و کاهش درجه شوری خاک تبدیل کرده است تا حدی که اخیرا به عنوان یکی از گونه های هدف در برنامه‌های اصلاح و احیا مراتع شور و قلیا مورد استفاده قرار گرفته است. هدف از این تحقیق بررسی برخی از خصوصیات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی گونه دیوخارترکمنی *(L. depressum Stocks.)* تلقیح شده با قارچ مایکوریز تحت تأثیر تنش شوری است.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی تاثیر قارچ‌های ماکوریزا بر تغییرات برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی گونه دیوخار ترکمنی در شرایط تنش شوری آزمایش گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل ۱) قارچ آربسکولار مایکوریزا *Funneliformis mosseae (F1), Rhizophagus intraradices (F2), F. mosseae +R. intraradices (F1+F2)*، شاهد (بدون قارچ *F0*) ۲) چهار سطح تنش شوری (*S1=6*، *S2=10*، *S3=14* و *S4=18* دسی زیمنس بر متر) بود. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از مدل خطی عمومی *(GLM)* در نرم‌افزار *Minitab 19*انجام و مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی صورت گرفت. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2016 رسم شدند.

نتایج: نتایج نشان داد که اثرات ساده و متقابل تیمارهای شوری و قارچ بر صفات مورد مطالعه اثرگذاری معنی داری دارد ($P<0.05$). همچنین بیشترین میزان فنل، فلاونوئید، آنتی‌اکسیدان و پرولین در تیمار سطح ۴ شوری (S_4) و ترکیب دو گونه قارچ F_1+F_2 و کمترین میزان آن در تیمار شاهد (بدون قارچ) و سطح۱ (S_1) شوری مشاهده گردید. در حالی که بیشترین میزان سبزینگی، وزن تر برگ، وزن خشک برگ، تعداد برگ، و ارتفاع گیاه نیز در تیمار ترکیب دو گونه قارچ F_1+F_2 و سطح یک تنش شوری (S_1) مشاهده گردید و کمترین مقدار پارامترهای مورفولوژی اندازه‌گیری شده در تیمار شاهد بدون قارچ (F_0) و سطح ۴ تنش شوری (S_4) مشاهده گردید.

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.5.8]

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج این تحقیق مشاهده شد که تنش شوری بر ویژگی‌های مورفولوژی گیاه دیوخارترکمنی اثر منفی می‌گذارد اما تلقیح گیاه دیوخارترکمنی با قارچ های مایکوریزا تا حد زیادی اثرات منفی تنش شوری را کاهش می دهد. بطور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از قارچ‌های مایکوریزا به‌ویژه ترکیب گونه‌های F_1+F_2 می‌توانند به‌طور مؤثری به افزایش تحمل گیاهان در برابر تنش‌های شوری کمک کنند و ویژگی‌های فیتوشیمیایی و مورفولوژیکی آن‌ها را بهبود بخشند. این یافته‌ها تأکید می‌کند که بهره‌برداری از این قارچ‌ها به‌عنوان یک استراتژی مؤثر می‌تواند در پروژه‌های اصلاح و احیای مراتع آسیب‌دیده به دلیل تنش‌های محیطی، به ویژه شوری، نقش کلیدی ایفا کرده و به بازگرداندن سلامت و بهره‌وری اکوسیستم‌های مرتعی کمک نماید.

استناد: کیاسی، ی.، م.ر. فروزه، ا. ملک زاده، ع. اردبیلی، ح. بارانی، ۱۴۰۴. بررسی تاثیر قارچ‌های مایکوریزا بر تغییرات برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی گونه دیوخار ترکمنی (*Lycium depressumm*) در شرایط تنش شوری. مرتع، ۱۹(۱): ۶۸-۸۷.

DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.5.8

ناشر: انجمن علمی مرتعداری ایران © نویسندگان

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.5.8]

مقدمه

تنش شوری یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی در اکوسیستم‌های طبیعی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌شمار می‌رود. این معضل به دلیل کاهش منابع آب و تغییرات اقلیمی به‌طور فزاینده‌ای در حال افزایش است (۴۲). شوری خاک می‌تواند موجب کاهش جذب آب و مواد مغذی توسط گیاهان شده و تأثیرات منفی گسترده‌ای بر رشد، توسعه و تولیدمثل آن‌ها داشته باشد (۶۸). بنابراین، شناسایی و توسعه روش‌های مؤثر برای مدیریت این تنش و افزایش تاب‌آوری گیاهان در برابر آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

یکی از استراتژی‌های طبیعی مؤثر برای افزایش مقاومت گیاهان به شرایط تنش شوری، همزیستی با قارچ‌های مایکوریزا است. این قارچ‌ها با ریشه‌های گیاهان همزیستی کرده و می‌توانند جذب آب و مواد مغذی را در شرایط نامساعد بهبود بخشند. تحقیقات متعدد نشان داده‌اند که قارچ‌های مایکوریزا می‌توانند تأثیرات مثبتی بر رشد و عملکرد گیاهان تحت تنش شوری داشته باشند. به‌ویژه، این قارچ‌ها از طریق بهبود ساختار خاک و افزایش دسترسی به مواد مغذی، نقش مهمی در ارتقاء سلامت گیاهان در شرایط شوری ایفا می‌کنند (۲۴، ۳۰، ۵۸ و ۵۹).

شیرعلی و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی اثر همزیستی دو گونه مایکوریزا آربوسکولار (*Rhizophagus intraradices* و*Funneliformis mosseae*) بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه مرتعی *Agropyron elongatum* (Host). Beauv در شرایط گلخانه پرداختند نتایج نشان داد که هر دو گونه مایکوریزا، به‌ویژه *R. intraradices*، بهبود چشمگیری در ویژگی‌های گیاهان دارند و گونه *F. mosseae* طول ساقه، وزن تر و خشک اندام هوایی را به‌ترتیب ۳۱۸، ۲۴۰ و ۲۲۰ درصد افزایش داد همچنین محتوای فنول، نیتروژن، پتاسیم، فسفر و کلروفیل‌ها را به میزان ۱۳۴ تا ۱۸۱ درصد بهبود بخشید، *R. intraradices* به‌ترتیب این صفات را ۴۷۴، ۳۲۵ و ۳۱۷ درصد افزایش داد و تأثیرات آن بر محتوای فنول، نیتروژن، پتاسیم، فسفر و کلروفیل‌ها به ۱۵۳ تا ۳۳۷ درصد رسید. در بررسی دیگر فتاحی و همکاران (۲۰۲۱) تغییرات مولفه‌های رشدی و عناصر مغذی گونه *Bromus tomentellus* تحت تاثیر همزیستی با قارچ مایکوریزا جهت استفاده در عملیات کپه‌کاری مراتع قارچ *R. intraradices* نسبت به قارچ *F. mosseae* اثر افزایشی بیشتر و معنی‌داری بر فاکتورها داشت. به طوری که در مورد بسیاری از فاکتورها این میزان بیش از ۳-۲ برابر تیمار شاهد بود. در بین مولفه‌های رشد، ارتفاع ساقه (۵۱ درصد)، جوانه‌زنی (۴۱ درصد) و زنده‌مانی (۴۵ درصد) بیشترین و طول ریشه کمترین افزایش را در مقایسه با تیمار شاهد داشتند. در حالیکه وزن خشک اندام‌های هوایی نیز در تیمار *R. intraradices* افزایش معنی‌داری نشان داد. پوریافر و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که تلقیح بذور لیلکی ایرانی با قارچ مایکوریزای آرباسکولار باعث بهبود محتوای کلروفیل a و b (به‌ترتیب به میزان ۵۳/۵ و ۵۰ درصد)، محتوای فنل کل (به میزان ۵۰/۷ درصد)، محتوای فلاونوئید کل (به میزان ۴۳/۳) و ظرفیت آنتی اکسیدانی کل (به میزان ۸۲ درصد) نسبت به نهال های تلقیح نشده گردید.

برخی از مطالعات نشان داده است که قارچ‌های مایکوریزا می‌توانند با بهبود رشد و عملکرد گیاهان تحت تنش شوری، به کاهش اثرات منفی شوری کمک کنند. به‌عنوان مثال نتایج مطالعات معصومی زواریان و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی اثرات قارچ مایکوریزا بر روی خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی انیسون (*Pimpinella anisum*) تحت تنش شوری نشان داد اثر متقابل شوری و مایکوریزا بر تعداد بذر در بوته، درصد اسانس بذر و آنتول، غلظت پتاسیم در برگ ($P<0.01$)، ارتفاع بوته، وزن خشک بوته، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد بذر در چترک و غلظت سدیم در برگ ($P<0.05$) به صورت مثبت معنی‌دار شد. نتایج مطالعات اداوی و باغبانی آرانی (۲۰۲۰) حاکی از تأثیر مثبت مایکوریزا بر توسعه ریشه، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در ریشه و برگ و هم‌چنین موجب افزایش ارتفاع، تعداد ساقه اصلی و فرعی، وزن خشک ریشه، برگ و اندام هوایی و تعداد غده سیب‌زمینی است. همچنین مطالعه ژویو همکاران (۲۰۲۱) بر روی *Lycium barbarum* با استفاده از *F. mosseae* در شرایط شوری ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl نشان داد که وزن تر و خشک به‌ترتیب تا ۳۰ و ۲۵ درصد افزایش یافت، و تعداد برگ‌ها تا ۴۰ درصد افزایش

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.5.8]

یافت الهندی و همکاران (۲۰۲۲) در تحقیق خود بر روی *Lycium chinense* با استفاده از *R. irregularis* و غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار NaCl، افزایش وزن خشک و تر به میزان ۳۵ و ۲۸ درصد را گزارش کردند. تعداد برگ‌ها نیز ۵۰ درصد افزایش و سبزینگی به‌طور قابل توجهی بهبود یافت .منصوری و فرامرزی (۲۰۲۳) نیز در بررسی خود بر روی گیاهان از جنس *Lycium* نشان دادند که با استفاده از *Glomus* spp. تحت شوری ۲۰۰ میلی‌مولار NaCl، وزن تر و خشک گیاهان به‌ترتیب تا ۴۰ و ۳۰ درصد افزایش یافت و تعداد برگ‌ها و میزان سبزینگی به‌طور معناداری افزایش یافت. پولاستری و همکاران (۲۰۱۸) نیز در مطالعه‌ای بر روی تأثیر قارچ دو نوع قارچ مایکوریزا بر رشد قمیش تحت شرایط شوری، نشان دادند که تلقیح با این قارچ به‌طور قابل توجهی ارتفاع گیاه، وزن خشک، و محتوای کلروفیل را افزایش داد و همچنین نرخ فتوسنتز و میزان جذب آب در گیاهان تلقیح‌شده بهبود یافت. علاوه بر این، شهید و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی تأثیر *F. mosseae* بر خصوصیات فیتوشیمیایی گیاه گندم تحت تنش شوری پرداختند و دریافتند که این قارچ باعث افزایش محتوای ترکیبات فنلی، فلاونوئیدی و آنتی‌اکسیدان‌ها در گیاه گندم شده و میزان آسیب‌های اکسیداتیو و تجمع یون‌های سمی را کاهش می‌دهد.

با توجه به اینکه بخش عمده‌ای از کشور ایران را مراتع خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهد، که برخی از آن‌ها دارای خاک‌های شور هستند، استفاده از گونه‌های مرتعی بومی و مقاوم به شوری و خشکی در اصلاح و توسعه مراتع اهمیت ویژه‌ای دارد (۲۸). *L. depressum* به‌عنوان یک گیاه چندمنظوره و بومی مناطق خشک شمال شرق استان گلستان، متعلق به تیره Solanaceae، به شوری و خشکی مقاوم است. این گونه درخت یا درختچه‌ایست خزان پذیر که تا ارتفاع ۴ متر نیز رشد می‌کند. گلدهی از ماه خرداد تا مرداد بوده و رسیدن بذر از ماه مرداد تا مهر انجام می‌پذیرد. گل دو جنسه بوده و گرده افشانی به وسیله حشرات از جمله زنبورها صورت می‌گیرد. این گیاه در خاک‌های رسی، شنی و لومی با زهکش خوب رشد می‌کند، مقاومت نسبتاً بالایی به شوری و خشکی دارد و در خاک‌های عمیق تا نیمه عمیق شور و حتی فاقد شوری در مناطق خشک و نیمه خشک پرورش می‌یابد. این گونه گیاهی به‌طور مؤثر در تثبیت خاک، کاهش فرسایش و حفظ تنوع زیستی در مناطق خشک و شور عمل می‌کند. علاوه بر نقش اکولوژیکی، *L. depressum* به طور سنتی به‌عنوان مسکن و هضم‌کننده برای درمان کرم‌های روده استفاده شده و دارای اثرات ضد توموری و آنتی‌اکسیدانی نیز می‌باشد (۶۱).

اثرات ضد میکروبی و ضد قارچی آن گیاه نیز گزارش شده است. تحقیقات مختلف نشان داده که برگ‌های گیاه لیسیوم حاوی مواد آنتی‌اکسیدانی، فلاونوئیدی و فنولی بالا می‌باشد و این گیاه در درمان دیابت، فشارخون بالا و مشکلات کلیه موثر است (۶۱). کیفیت و کمیت متابولیت‌های ثانویه گیاهان تحت تأثیر شرایط محیطی و تنش‌هایی مانند شوری و خشکی قرار می‌گیرد و این تنش‌ها می‌توانند بر رشد و کیفیت ترکیبات گیاهی تأثیر بگذارند (۱۶و ۲۹). محققان دریافتند که خصوصیات رویشی قلمه و بذر گونه دیوخار ترکمنی در سطوح بالای ۱۰ دسی زیمنس/متر کاهش معنی داری دارد (شربتی و همکاران، ۲۰۱۷؛ شریفیان، ۲۰۲۰). لذا به‌منظور بهبود تحمل گیاهان به این تنش‌ها و افزایش کیفیت متابولیت‌ها، همزیستی با قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا (AM) می‌تواند بسیار مؤثر باشد (۵۰ و ۶۳). قارچ‌های مایکوریزا، به‌ویژه از نوع مایکوریزا آربوسکولا (AMF) ، با بهبود جذب آب و مواد مغذی و تقویت پاسخ‌های بیوشیمیایی، می‌توانند به ارتقاء توانایی گیاهان در مقابله با تنش‌های محیطی از جمله تنش شوری کمک کنند. این تحقیق به بررسی تأثیر قارچ‌های مایکوریزا بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی *L. depressum* در سطوح مختلف تنش شوری می‌پردازد. بررسی برخی خصوصیات مورفولوژی و فیتوشیمیایی (فنل، فلاونوئید،آنتی اکسیدان و پرولین) گونه دیوخارترکمنی تلقیح شده با قارچ‌های AM تحت تاثیر تنش شوری از اهداف این تحقیق می‌باشد که نتایج این تحقیق می‌تواند به درک بهتر مکانیزم‌های تأثیر قارچ‌های مایکوریزا بر بهبود مقاومت گیاهان به شوری کمک کند و راهکارهای جدیدی برای مدیریت خاک‌های شور و بهبود عملکرد گیاهان در شرایط نامساعد ارائه دهد.

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.5.8]

مواد و روش ها

طرح آزمایش:

آزمایش گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با ۴ تکرار در سال ۱۴۰۱ در گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل ۱) قارچ‌های AM در چهار سطح شاهد بدون تلقیح قارچ (F0)، قارچ *Funneliformis mosseae* (F1)، قارچ *Rhizophagus intraradices* (F2)، و قارچ *F. mosseae +R. intraradices* (F1+F2) و ۲) تنش شوری در چهار سطح شاهد با شوری خاک رویشگاه (۶ دسی‌زیمنس بر متر)، و سطوح ۱۴،۱۰ و ۱۸دسی‌زیمنس بر متر بود (جدول ۲). گونه‌های قارچ مایکوریزا از شرکت دانش‌بنیان زیست فناوران توران در شاهرود تهیه شدند.

آماده سازی قلمه ها در بستر ماسه بادی شسته شده جهت ریشه دارشدن:

قلمه‌های سالم از ۱۱ پایه مادری گونه مذکور از تپه‌های مرتع قره‌قره بزرگ واقع در حاشیه جاده آق‌قلا در طول جغرافیایی "۴۷ ´۳۰ °۲۰ شمالی و عرض جغرافیایی "۴۱۹ ´۳۶ °۴۱ شرقی به صورت تصادفی برداشت شد قلمه‌ها از میانگره پایینی ساقه با قیچی باغبانی برداشت شده و طول و ضخامت آن‌ها به صورت یکنواخت انتخاب شد.

سپس در تاریخ ۱۹ اسفند ماه ۱۴۰۱ به گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل شدند. قبل از شروع به کشت، ماسه بادی شسته شده در نایلون‌ها آماده‌سازی شد. ماسه بادی شسته شده به منظور حذف قارچ‌های بومی خاک و عوامل پاتوژن به طور کلی ایجاد یک محیط عاری از قارچ و حذف عوامل بیماریزا طی سه سیکل دو ساعت در اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۲ اتمسفر استریل شد.

قلمه‌ها در گلدان‌های نایلکسی به ابعاد ۱۳×۱۱ سانتی‌متر کاشته شدند و هر دو روز یکبار به مدت ۹۰ روز آبیاری شدند. دمای گلخانه از ۲۳ درجه سانتی‌گراد در اسفند تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد در خرداد متغیر بود.

پس از ۹۰ روز، از میان قلمه‌های مذکور، ۶۴ قلمه به دلیل خصوصیات مورفولوژیکی نظیر ارتفاع اولیه گیاه، طول اولیه ریشه، تعداد برگ و تعداد شاخه‌ها جهت کشت در بستر خاک رویشگاه انتخاب شدند (شکل ۱).

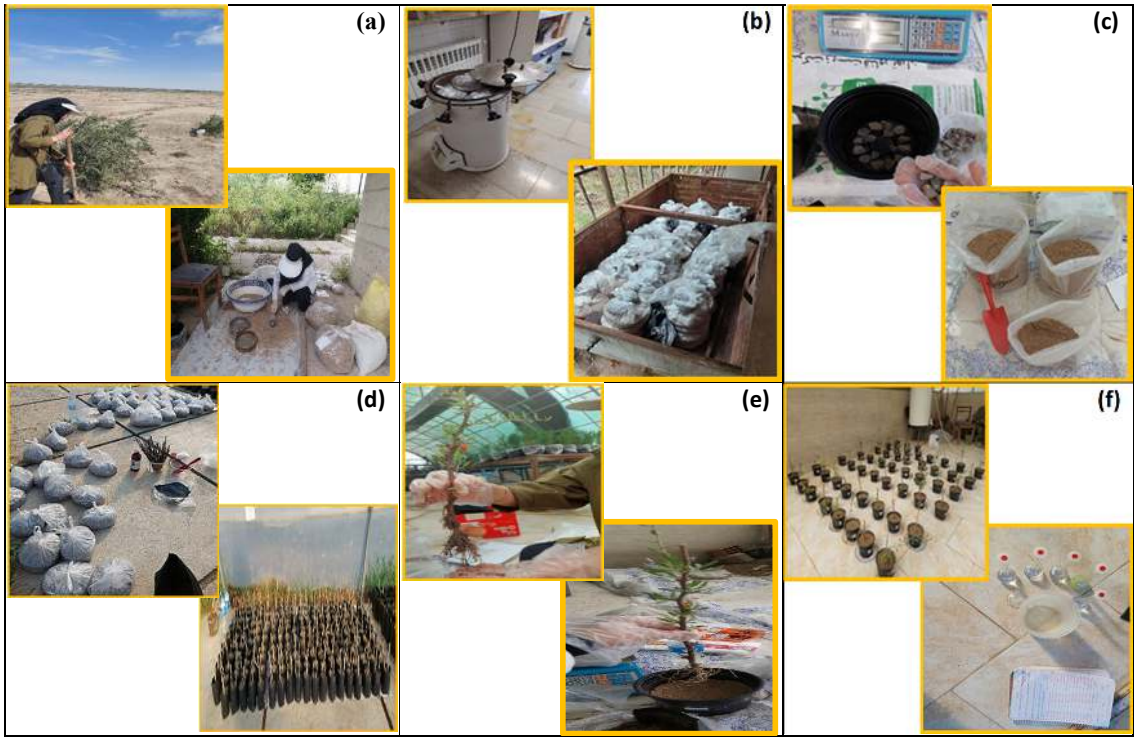
انتقال قلمه‌های ریشه‌دار شده به بستر خاک رویشگاه گونه دیوخار ترکمنی:

برای انتقال قلمه‌های ریشه‌دار شده از محیط کشت ماسه بادی شسته شده به خاک زیستگاه دیوخار ترکمنی و اعمال تیمارهای قارچ آربسکولار مایکوریزا و سطوح شوری، از خاک زیستگاه در تپه‌های مرتع قره‌قره بزرگ نمونه‌برداری شد. نمونه ها پس از هوا خشک شدن با پتک کوبیده شدند بستر کشت گلدانی بعد از عبور از الک ۴ میلی‌متری در اتوکلاو (دمای ۱۲۱ °C و فشار ۱/۱ اتمسفر) استریل گردید. پس از ضدعفونی گلدان‌ها با اتانول ۷۰ درصد، با حدود ۲/۲۵۰ کیلوگرم خاک رویشگاه استریل پر شدند. به منظور جلوگیری از تجمع نمک در گلدان ها سه سوراخ به قطر یک سانتی‌متر در ته هر گلدان، به عنوان زهکش تعبیه گردید و ته هر گلدان به ارتفاع سه سانتی متر سنگ ریزه ریخته شد.

برای مایه‌زنی با قارچ،۶۰ اسپور درگرم زادمایه به گلدان‌ها اضافه شد به طوری که در فاصله یک سانتی‌متری زیر قلمه‌های ریشه دار شده لایه نازکی از زادمایه قرار گرفت و تیمارهای شاهد، بدون استفاده از زادمایه بودند. جهت استقرار گیاه و جلوگیری از شوک ناشی از تنش شوری، تیمار شوری به صورت تدریجی اعمال شد و بعد از هر بار آبیاری در زه آب هدایت الکتریکی اندازه گیری شد تا به حد شوری مورد نظر برسد (۱۵). گلدان‌ها به مدت دو سال با حفظ رطوبت ۸۰ - ۷۰ درصد ظرفیت زراعی نگهداری شدند. پس از پایان دوره رویشی، صفات مورفولوژیکی (ارتفاع گیاه، وزن تر، وزن خشک، طول ریشه، تعداد برگ) و فیتوشیمیایی (فنول، فلاونوئید، آنتی‌اکسیدان و پرولین) اندازه‌گیری شد (شکل ۱) پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، وزن تر و وزن خشک با استفاده از ترازو دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری و ثبت شد. ارتفاع گیاه با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری گردید و تعداد برگ‌ها با شمارش سبزینگی توسط دستگاه SPAD اندازه‌گیری شد (۴).

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.5.8]



شکل ۱: مراحل ریشه دار شدن قلمه تا کشت در بستر خاک رویشگاه و تلقیح با قارچ‌ها و اعمال سطوح تنش شوری

اندازه‌گیری برخی از مهمترین ویژگی‌های خاک:

برای اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های خاک، بافت خاک به روش هیدرومتری (۲۲) اندازه‌گیری شد pH و قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره اشباع با استفاده ازpH متر و دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی دیجیتال در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تعیین شدند (۲۷). کربن آلی با استفاده از پتاسیم دی‌کرومات به روش واکلی-بلاک (۴۴)، کل مواد خنثی‌شونده با روش خنثی‌سازی با اسید و تیتراسیون با هیدروکسید سدیم (۳۵)، و نیتروژن کل با روش کجلدال (۱۰) اندازه‌گیری شد. فسفر قابل جذب توسط عصاره‌گیری با بی‌کربنات سدیم ۰/۵ نرمال و روش رنگ آبی در طول موج ۶۸۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (۴۷)، و پتاسیم قابل جذب با استات آمونیوم یک نرمال (pH=7) عصاره‌گیری و با دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد (۳۲). کاتیون‌های محلول شامل کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون کمپلکسومتری، و سدیم و پتاسیم به روش فلیم فتومتری در عصاره اشباع خاک اندازه‌گیری شدند (۴۹). (جدول ۱)

جدول ۱: مهم‌ترین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

بافت خاک	اسیدیته گل اشباع (PH)	هدایت الکتریکی (EC) (dS/m)	سیلت	رس	شن	پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب	نیتروژن کل	کلسیم	منیزیم
			٪			ppm	ppm	٪	ppm	ppm
سیلتی-لومی	۶/۷	۶	۵۲	۱۲	۳۶	۲۷۱	۵/۸	۰/۱۲	۲۱۳۳/۵	۲۳۴/۶

اعمال سطوح مختلف شوری:

گیاهان پس از کاشت جهت استقرار، به مدت ۴ هفته با محلول غذایی هوگلند (۴۱) با نصف غلظت فسفر (برای تحریک همزیستی) آبیاری شدند. پس از ۴ هفته، تیمارهای شوری در سطوح ۶، ۱۰، ۱۴ و ۱۸ دسی زیمنس بر متر از محلول غذایی هوگلند حاوی نمک‌های کلرید سدیم، سولفات سدیم، کلرید کلسیم، منیزیم کلرید و پتاسیم کلرید و۲/۵ برابر حجم منفذی خاک به گلدان‌ها اعمال گردید

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.5.8]

(۳۴). به‌منظور جلوگیری از ایجاد شوک اسمزی، تیمارهای فوق به‌صورت تدریجی و در طی دو هفته اعمال گردید، سپس گیاهان به‌مدت ۴ هفته با سطوح مختلف شوری تیمار شدند (۱۵). گلدان‌های تخریبی برای اندازه‌گیری سطح شوری خاک در پایان اعمال تیمارهای شوری در نظر گرفته شد. در ۴ هفته پایانی رشد، آبیاری با آب معمولی با حفظ رطوبت ۷۰-۸۰ درصد ظرفیت زراعی انجام شد.

جدول ۲: سطوح مختلف تنش شوری و قارچ های مایکوریزا بکار رفته در آزمایش

نام تیمار قارچی	علامت اختصارسطوح قارچی	سطح تیمار شوری	علامت اختصار سطوح شوری ($dS\ m^{-1}$)
Non-mycorrhiza	F0	۶	S1
Funneliformis mosseae	F1	۱۰	S2
Rhizophagus intraradices	F2	۱۴	S3
F. mosseae +R. intraradices	F1+F2	۱۸	S4

تهیه عصاره اتانولی:

برای اندازه‌گیری فنل‌کل، فلاونوئیدکل، آنتی اکسیدان و پرولین، از عصاره اتانولی پودر برگ گیاه در استفاده شد. بدین صورت که یک گرم از پودر نمونه به همراه ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد در ارلن روی شیکر به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و عصاره با عبور از کاغذ صافی استخراج شد(۱۴).

اندازه‌گیری محتوای فنل کل:

برای این منظور، از روش رنگ‌سنجی فولین-سیوکالتو بر اساس روش اسلینکارد و سینگلتون (۱۹۷۷) استفاده شد. ۲۰ میکرولیتر از عصاره نمونه از برگ گیاه درون لوله آزمایش ریخته شد. به هر نمونه، ۱/۱۶ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده شد. سپس، ۱۰۰ میکرولیتر معرف فولین-سیوکالتو (۵۰ درصد) به نمونه اضافه گردید و در ادامه، ۳۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم (۲۰ درصد) به آن افزوده شد. عصاره‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در بن‌ماری (مدل بعـداد ساخت ایران) با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از این مدت، جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل PhotonixAr 2015). (UV/VIS نسبت به شاهد اندازه‌گیری 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 (۳۸).

اندازه‌گیری محتوای فلاونوئید:

روش رنگ‌سنجی آلومینیوم کلراید طبق روش چانگ و همکاران (۲۰۰۲) و با بهره‌گیری از کوئرستین به عنوان استاندارد استفاده شد. برای اندازه‌گیری میزان فلاونوئید کل، ۵۰۰ میکرولیتر از هر عصاره درون هر لوله آزمایش قرار گرفت. سپس، ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر به هر لوله اضافه شد. سپس، به هر لوله ۱/۵ میلی‌لیتر اتانول (۸۰ درصد) افزوده شد. پس از آن، ۱۰۰ میکرولیتر محلول آلومینیوم کلراید (۱۰ درصد) و ۱۰۰ میکرولیتر محلول استات پتاسیم یک‌مولار به هر لوله اضافه گردید. جذب محلول حاصل، بعد از گذشت ۴۰ دقیقه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدلدر طول موج ۴۱۵ نانومتر نسبت به شاهد اندازه‌گیری شد. میزان فلاونوئید کل عصاره‌ها بر اساس میلی‌گرم معادل کوئرستین بر گرم وزن خشک برگ گیاه دیوخارترکمنی براساس منحنی استاندارد در غلظت‌های مختلف کوئرستین گزارش شد.

اندازه‌گیری آنتی‌اکسیدان:

۵۰۰ میکرولیتر از هر عصاره پودر برگ گیاه داخل هر لوله آزمایش ریخته شد. ۰/۵ میلی‌لیتر معرف DPPH (Diphenyl picrylhydrazyl) به هر محلول اضافه شـد. محلـول آمـاده شـده بـه مـدت ۳۰ دقیقـه در تـاریکی قـرار گرفت. سپس میزان جذب آن در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت شد. در نهایـت با استفاده از معادله ۳-۱۱ درصد به دام‌اندازی رادیکالهای آزاد DPPH اندازه‌گیـری شـد (۴۰).

معادله (۱): درصد به داماندازی رادیکالهای آزاد

$$I(\%) = \left[\frac{A\ blank - Asample}{Ablank}\right] * 100$$

که در آن A_{blank} جذب نمونه شاهد (بدون عصاره گیاهی) و A_{sample} جذب نمونه بود.

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.5.8]

اندازه‌گیری پرولین:

برای اندازه‌گیری پرولین، ۰/۱ گرم نمونه خشک شده را در هاون چینی همراه با ۱۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوسالیسیلیک ٪۳/۳ ابتدا به‌خوبی سائیده و سپس با عبور از کاغذ صافی، عصاره حاصل را در لوله‌آزمایش ریخته و در مخلوط آب و یخ نگهداری گردید. در مرحله بعد ۲ میلی‌لیتر از معرف ناین‌هیدرین (۱/۲۵ گرم ناین هیدرین، ۲۰ میلی‌لیتر اسیدفسفریک ۶ مولار و ۳۰ میلی‌لیتر اسیداستیک خالص) و ۲ میلی‌لیتر اسیداستیک‌گلاسیال (خالص) به هر یک از لوله‌های محتوای عصاره افزوده شد. لوله‌ها به‌مدت یک ساعت در حمام آب‌جوش (بن‌ماری) در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس به‌منظور خنک شدن در مخلوط آب و یخ قرار داده شدند. در این مرحله ۶ میلی‌لیتر تولوئن به هر یک از لوله‌ها آزمایش افزوده و به‌مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه شدیداً تکان داده شدند. در این حالت دو فاز تشکیل شد. فاز فوقانی حاوی پرولین توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد. غلظت پرولین نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد پرولین محاسبه، و به‌صورت میکرومول بر گرم ارزیابی گردید (۸ و ۳۸).

تجزیه و تحلیل داده‌ها:

تجزیه واریانس به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کاملاً تصافی از روش General linear (GLM) model در نرم‌افزار $\text{Minitab}_{\text{Ver.19}}$ انجام شد و برای مقایسه میانگین اثرات ساده و متقابل بین سطوح مختلف از روش توکی استفاده شد. همچنین برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2016 استفاده شد.

نتایج

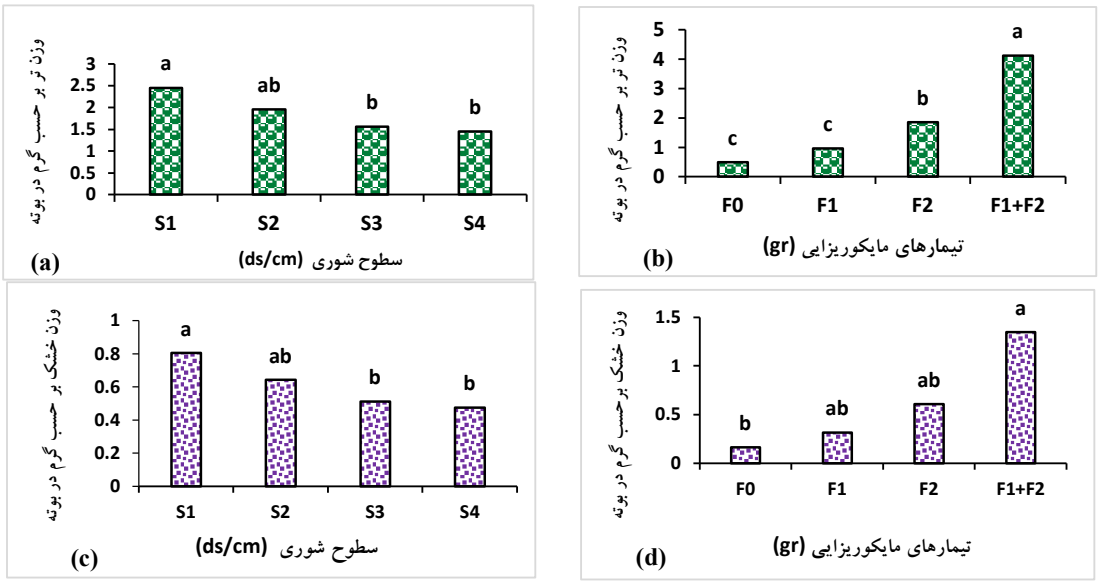
وزن تر و خشک گیاه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس شوری و قارچ مایکوریزا به طور مستقل بر وزن تر و خشک گیاه تأثیر معنی‌داری داشتند، اما اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۳).

افزایش تنش شوری به کاهش حدود ۵۰ درصدی وزن تر و خشک گیاه منجر شد، به طوری که در سطح شوری S1 (۶ دسی‌زیمنس بر متر) وزن تر و خشک برگ‌ها به‌ترتیب ۲/۴۶ و ۰/۸۰۴ گرم بود، اما در شوری S4 (۱۸ دسی‌زیمنس بر متر) به ۱/۴۵ و ۰/۴۷۶ گرم کاهش یافت. از سوی دیگر، تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش حدود ۸ برابری وزن تر و خشک گیاه شد. در شرایط بدون قارچ، میانگین وزن تر و خشک به‌ترتیب ۰/۴۹۴ و ۰/۱۶۲ گرم بود، که با اعمال تیمار قارچی به ویژه مخلوط دو قارچ (F1+F2)، این مقادیر به‌ترتیب به ۴/۱۲ و ۱/۳۵ گرم افزایش یافت (شکل ۲).

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.5.8]



شکل ۲: اثرات اصلی شوری (a) و قارچ‌های مایکوریزا (b) بر وزن تر و اثرات اصلی شوری (c) و قارچ‌های مایکوریزا (d) بر وزن خشک برگ (گرم در بوته) دیوخارترکمنی. میانگین های دارای یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

ارتفاع بوته و تعداد برگ در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات ساده و متقابل تیمارهای شوری و قارچ برای صفات ارتفاع بوته و تعداد برگ به لحاظ آماری معنی‌دار است (جدول ۳، $P<0.05$) بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل، ترکیب تیماری S1F1+F2 با میانگین ۵۲/۲۵ سانتی‌متر، بیشترین ارتفاع بوته را نشان داد و از نظر آماری تفاوت معناداری با تیمارهای S2F1+F2، S3F1+F2 و S4F1+F2 داشت (شکل ۳). در خصوص صفت تعداد برگ، نتایج مقایسه میانگین حاکی از آن است که تیمار S1F1+F2 با میانگین ۱۶۷/۲۵ برگ در بوته، بیشترین تعداد برگ را داشته است، در حالی که کمترین تعداد برگ در تیمار S4F0 با میانگین ۱۶/۷۵ برگ مشاهده شد

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.5.8]

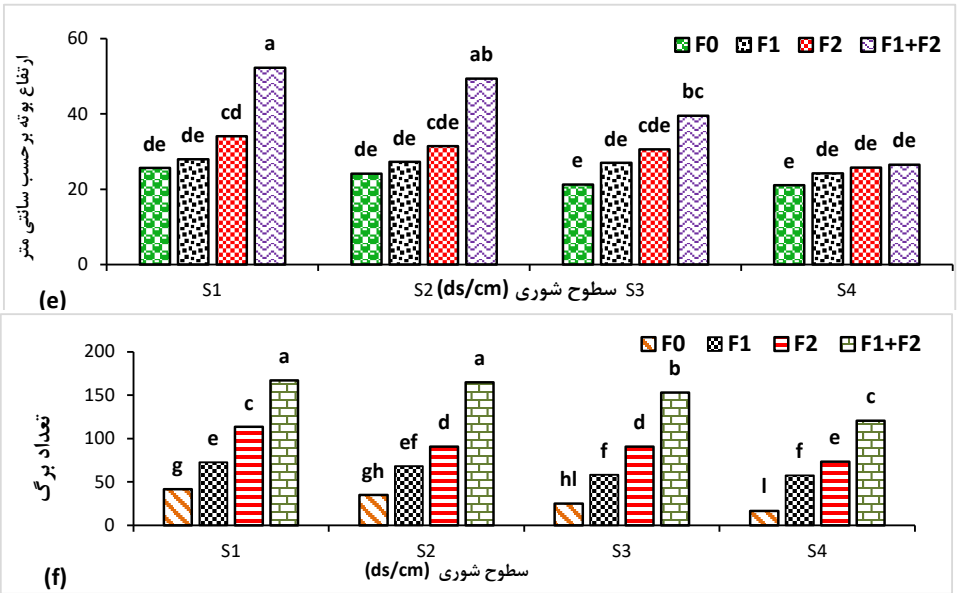
جدول ۳: تجزیه واریانس اثر قارچ مایکوریزا و تنش شوری بر برخی از خصوصیات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه دیوخار ترکمنی

Source of variation منبع تغییرات	Degree of freedom (درجه آزادی)	Total Phenol (mg/g) (فنل کل)	Total flavonoids (mg/g) (فلاونوئید کل)	Antioxidant activity % (آنتی اکسیدان)	Prolin (mg/g) (پرولین)	Plant height (cm) (ارتفاع گیاه)	Fresh Weight of leaf (gr) (وزن تر برگ)	Leaf dray weight (gr) (وزن خشک برگ)	Chlorophyll شاخص کلروفیل	Number of leafs تعداد برگ
Salinity (شوری)	۳	^{ns}۲/۴۱	^{ns}۲/۱۶	*۲۷۳۸/۲۴	*۱۰۹/۳۳	*۱۸/۹۱	*۱۰/۵۵	*۱۰/۵۵	*۲۶۰/۲۸	*۱۶۷/۷۳
Fungi (قارچ)	۳	**۲۰/۰۴	*۲۴/۱۰	*۷۸۷۸۲/۶۸	*۱۶۰۰/۲۰	*۵۸/۸۳	*۱۳۱/۵۹	*۱۳۱/۵۹	*۳۵۱۳/۱۸	*۲۴۸۳/۴۹
Blok (بلوک)	۳	^{ns}۲/۱۲	^{ns}۰/۵۳	^{ns}۱/۹۶	*۴/۰۷	^{ns}۲/۳۹	*۲۴/۱۵	*۲۴/۱۵	*۲۵/۲۹	*۲۷/۶۰
Salinity*Fungi (قارچ*شوری)	۹	^{ns}۰/۱۷	^{ns}۰/۱۸	*۴۴۰/۶۶	*۱۶/۳۱	*۵/۰۵	^{ns}۱/۵۶	^{ns}۱/۵۶	*۱۳/۴۷	*۱۴/۳۶
Error (خطا)	۴۵									
CV% (ضریب تغییرات)		۳/۳۴۶	۵/۰۵۴	۰/۸۸۳	۳/۱۰۵	۰/۱۴۰	۳۰/۲۱	۳۰/۲۰	۰/۰۱۳۴	۴/۹۰۱

ns و* به‌ترتیب غیر معنی دار و معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

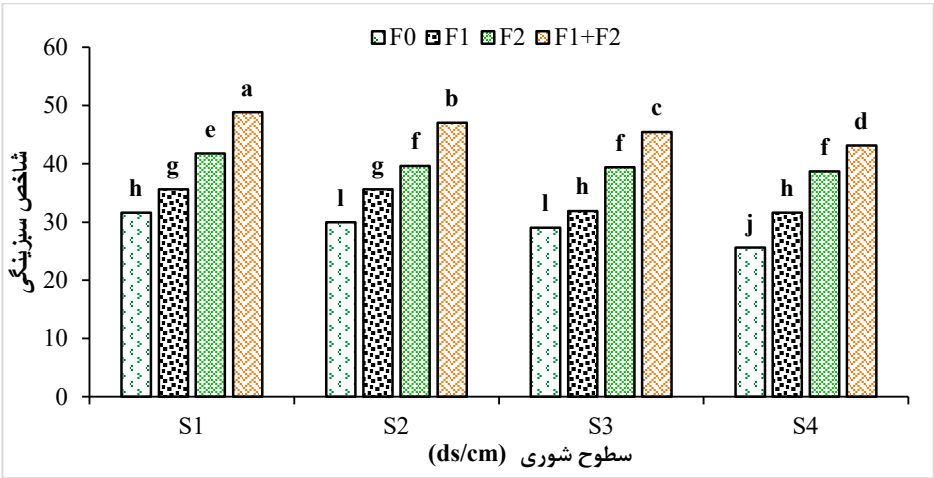
[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.5.8]



شکل ۳: اثرات متقابل شوری و مایکوریزا بر ارتفاع گیاه (e) و تعداد برگ (f). اعداد با حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار هستند (آزمون توکی در سطح ۵٪).

شاخص سبزینگی در برگ

نتایج تجزیه و تحلیل واریانس نشان داد اثرات متقابل تیمارهای شوری و قارچ در سطح اطمینان ۹۵ درصد برشاخص سبزینگی معنی‌دار است (جدول ۳، $p<0.05$). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل (شکل ۴)، بالاترین میزان شاخص سبزینگی در ترکیب تیمار S1F1+F2 با مقدار ۴۸/۸۷۵ و کمترین میزان در تیمار S4F0 با مقدار ۲۵/۶۵ مشاهده شد که این تفاوت‌ها از نظر آماری معنادار هستند (شکل ۴).



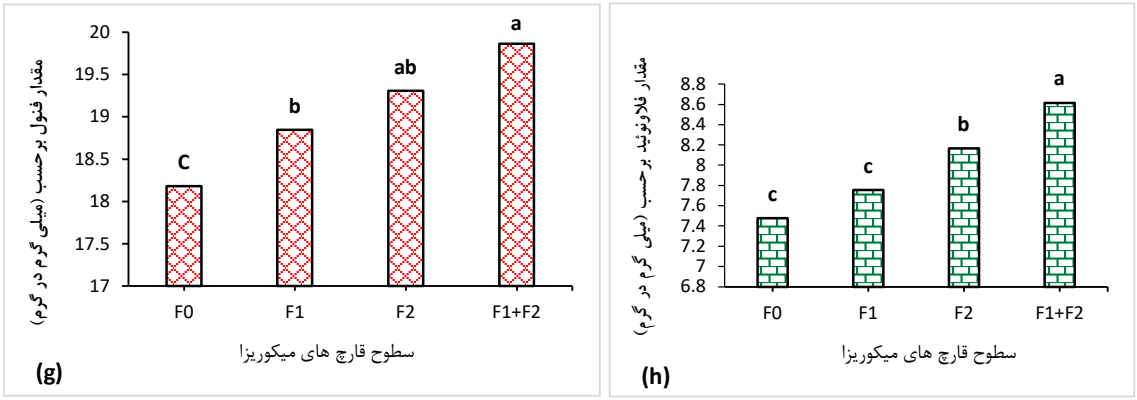
شکل ۴: اثرات متقابل شوری و مایکوریزا بر مقدار سبزینگی گیاه دیوخار ترکمنی. اعداد با حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار هستند (آزمون توکی در سطح ۵٪).

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.5.8]

فنول کل فلاونوئید کل

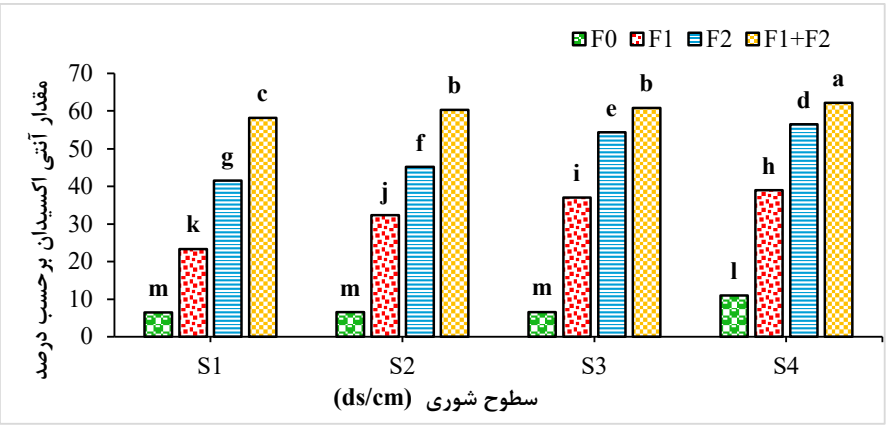
نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر مستقل تیمار شوری و اثر متقابل تیمارهای شوری و قارچ بر میزان فنول و فلاونوئید در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار نیست درحالیکه اثر مستقل تیمار قارچهای مایکوریزا معنی دار است ($P<0.05$). اثرگذاری قارچ در میزان فنول و فلاونوئید حدود ۱/۲ برابر نسبت به شاهد است. بیشترین میزان فنول و فلاونوئید به‌ترتیب در تیمار S4F1+F2 با مقادیر ۲۰/۲۱۶ و ۸/۹۴ مشاهده شد. در مقابل، کمترین میزان این ترکیبات در تیمار شاهد (S1F0) بدون قارچ مایکوریزا با مقادیر ۱۷/۶۴۵ برای فنول و ۷/۳۹۷ برای فلاونوئید ثبت گردید (شکل h۵ , g).



شکل ۵: اثرات اصلی قارچ مایکوریزا بر فنول (g) و فلاونوئید (h) (میلی گرم در گرم) میانگین های دارای یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

آنتی اکسیدان

نتایج آنالیز آماری نشان داد که اثرات متقابل و ساده تنش شوری و قارچ‌های مایکوریزا بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ گیاه دیوخار ترکمنی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود ($P<0.05$). بیشترین مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار تلقیح دو قارچ در شرایط شوری سطح چهار (S4F1+F2) با میانگین ۶۲/۱۹۳ مشاهده شد، در حالی که کمترین مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شرایط شوری سطح یک و تیمار بدون قارچ با میانگین ۶/۴۶۷ ثبت گردید (شکل ۶).



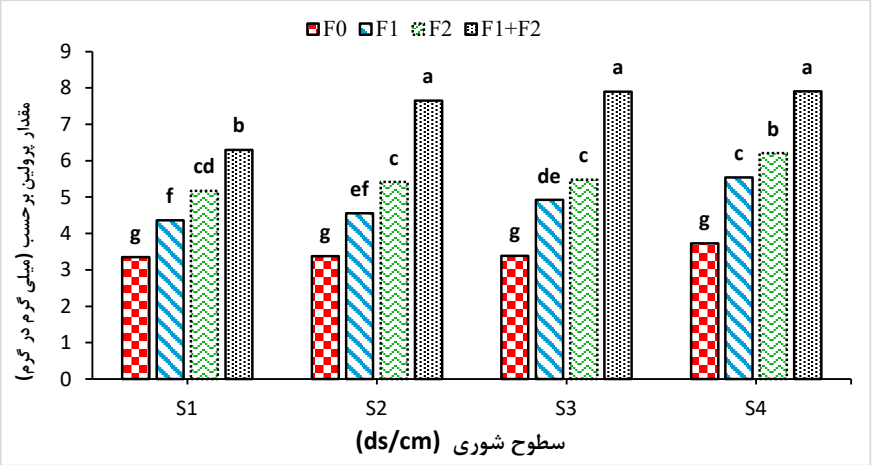
شکل ۶: اثرات متقابل شوری و مایکوریزا بر میزان آنتی اکسیدان گیاه دیوخارترکمنی. اعداد با حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار هستند (آزمون توکی در سطح ۵٪).

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.5.8]

پرولین

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که اثرات تنش شوری و قارچ‌های مایکوریزا بر میزان پرولین برگ دیوخار ترکمنی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بوده است ($P<0.05$). بررسی‌ها نشان داد که با افزایش شوری، میزان پرولین به‌طور کلی افزایش یافت و این افزایش در تیمارهای مایکوریزایی چشمگیرتر از تیمار شاهد بود. بیشترین میزان پرولین در بالاترین سطح شوری (S4) و تلقیح دو قارچ به میزان ۷/۹ میلی‌گرم در گرم مشاهده شد، در حالی که کمترین میزان آن در سطح شوری کم و بدون قارچ با ۳/۳۴۹ میلی‌گرم در گرم بود (شکل ۷).



شکل ۶: اثرات متقابل شوری و مایکوریزا بر میزان پرولین گیاه دیوخارترکمنی. اعداد با حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار هستند (آزمون توکی در سطح ۵٪)

بحث و نتیجه‌گیری

همانطورکه نتایج حاصل از مقایسه میانگین شاخص وزن تر و خشک گیاه در جدول (۳) نشان داد افزایش تنش شوری منجر به کاهش حدود ۵۰ درصدی وزن تر و خشک گیاه و از سوی دیگر، تلقیح ریشه با قارچ مایکوریزا باعث افزایش حدود ۸ برابری وزن تر و خشک گیاه شد. این نتایج تائید کننده نتایج مطالعات انجام شده توسط بیرانوند و همکاران (۲۰۱۷) است که اذعان داشتند افزایش شوری منجر به کاهش ویژگی‌هایی مانند ارتفاع، قطر ساقه، تعداد شاخه و برگ، و وزن تر و خشک گیاه شمعدانی معطر می‌شود. اما با تلقیح قارچ‌های *G. mosseae* و *G. intraradices*، رشد گیاه و عملکرد اسانس بهبود یافت. علاوه بر این، زون و همکاران (۲۰۲۳) نیز گزارش کردند که تلقیح قارچ *Funneliformis mosseae* باعث افزایش وزن تر و خشک برگ‌های گیاه *Xanthoceras sorbifolium* شد. همچنین، قاسمی و همکاران (۲۰۲۳) تأثیر مثبت مایکوریزا بر رشد گیاه کتان (*Linum usitatissimum*) را تایید کردند.

درخصوص شاخص ارتفاع بوته و تعداد برگ در بوته، نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل، ترکیب تیماری S1F1+F2، بیشترین ارتفاع بوته (میانگین ۵۲/۲۵ سانتی‌متر) و بیشترین تعداد برگ (میانگین ۱۶۷/۲۵ برگ در بوته) را نشان داد. در حالی که کمترین تعداد برگ در تیمار S4F0 مشاهده شد (شکل ۳). کاهش ارتفاع بوته و طول ساقه ممکن است ناشی از عدم تورژسانس مناسب سلول‌ها و اختصاص بیشتر مواد به مقابله با تنش باشد. این شرایط می‌تواند منجر به کوتاه شدن دوره رشد گیاه و اختلال در توسعه طبیعی سلول‌ها شود که در نهایت به کاهش ارتفاع گیاه منجر می‌گردد. شرایط محیطی، از جمله دسترسی کافی به آب، تأثیر بسزایی بر رشد و ارتفاع بوته دارد. کمبود آب باعث کاهش فشار تورژسانس سلول‌ها و کاهش طول آن‌ها و در نتیجه کاهش ارتفاع گیاه می‌شود. در مراحل ابتدایی تنش اسمزی ناشی از شوری، اختلال در جذب آب منجر به کاهش محتوی آب سلول‌ها و گیاه می‌گردد. در مراحل بعدی، تجمع نمک به سطوح سمی

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.5.8]

می‌تواند باعث پیری زودرس برگ‌ها و کاهش سطح برگ‌های فتوسنتزکننده شود که این مسئله به کاهش رشد و طول سلول‌ها می‌انجامد (۶۴). محققان اذعان دارند شوری می‌تواند از طریق دهیدراته شدن سلولی و کـاهش توســعهٔ بـــرگ و همچنـــین نکروزشدن برگ‌ها و ریزش آن‌هـا بـه واسـطهٔ سـمیت یـونی، سطح سبز برگ در گیاه را کاهش دهد (۴۲).

نتایج تحقیقات Xu و همکاران (۲۰۲۴) برروی گونه‌های گیاهی *Medicago sativa* L.، *Bromus inermis* Leyss و *Festuca arundinacea* Schreb در تلقیح با قارچ‌های *Funneliformis* mosseae، *Rhizophagus intraradices* نشان داد تلقیح با قارچ اثر معنی داری بر روی افزایش ارتفاع گیاه زیتوده و تعداد پنجه در مقایسه با شاهد بدون قارچ مایکوریزا دارد. همچنین، محمدیه و همکاران (۱۳۹۴) نشان دادند که افزایش شوری باعث کاهش جذب و انتقال مواد از ریشه به برگ و در نتیجه کاهش رشد و ارتفاع گیاه می‌شود. کاهش ارتفاع گیاهان تحت تنش شوری ممکن است به دلیل کاهش نرخ فتوسنتز باشد. این نتایج نشان می‌دهندکه مدیریت تنش‌های محیطی به‌ویژه شوری‌و بهینه‌سازی شرایط رشد می‌تواند به بهبود عملکرد گیاهان کمک کند.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین شاخص سبزینگی در برگ نشان داد که با افزایش سطوح شوری، مقدار سبزینگی کاهش یافته است. در عوض، تلقیح با قارچ‌های مایکوریزا به بهبود سبزینگی گیاه کمک کرده است. به‌ویژه، ترکیب دو قارچ (F1+F2) و سپس تیمار قارچ (F2) به طور معناداری سبزینگی بیشتری نسبت به سایر تیمارها و گروه شاهد بهبود داده است (شکل ۴). به نظر می رسد ترکیب *F. mosseae* و *R. intraradices* به دلیل تأثیر مثبت بر جذب مؤثرتر مواد مغذی و آب، بهبود سبزینگی گیاه را تسهیل می‌کند. این ترکیب به بهبود ساختار خاک و سلامت ریشه کمک کرده و به‌دلیل اثرات هم‌افزایی، عملکرد فتوسنتز و سبزینگی گیاه را بهبود می‌بخشد (۵۸ و ۲۳،۳۳) تنش شوری می‌تواند فعالیت فتوسنتزی گیاه را کاهش داده و منجر به کاهش مقدار کلروفیل، جذب دی‌اکسید کربن و ظرفیت فتوسنتزی گردد (۲۱). کلروفیل به متابولیسم گیاه، فعالیت آنزیم روبیسکو و میزان نیتروژن برگ وابسته است. تحت شرایط شوری بالا، تأثیر شوری بر پروتئین‌ها منجر به تخریب کلروفیل می‌شود (۶۰). علاوه بر این، تنش شوری باعث افزایش تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اسید آبسزیک و اتیلن می‌شود که با تحریک آنزیم کلروفیلاز، موجب تجزیه کلروفیل می‌گردد (۴۸).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات تیمارها بر شاخص فنول کل فلاونوئید کل حاکی از اثرگذاری حدود ۱.۲ برابری قارچ نسبت به شاهد است (شکل ۵). این نتایج با یافته‌های (۳۱) همخوانی دارد که نشان دادند قارچ *Piriformospora indica* بهبود رشد و افزایش ترکیبات فنولی را در گیاه نعناع فلفلی به همراه دارد. همچنین، مطالعه ژانگ و همکاران (۲۰۱۸) بر روی ذرت نشان داد که مایکوریزا از طریق افزایش تولید آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند فنول‌ها و فلاونوئیدها، اثرات منفی شوری را کاهش داده و به رشد بهتر گیاه کمک می‌کند. علاوه بر این، مطالعه هاشم و همکاران (۲۰۱۶) بر روی گیاه *Acacia gerrardii* تحت تنش شوری نشان داد که قارچ‌های مایکوریزا مانند *Funneliformis mosseae* و *Rhizophagus intraradices* با افزایش تولید ترکیبات فنولی و فلاونویدها، مقاومت گیاه در برابر شوری را بهبود می‌بخشند. این یافته‌ها به وضوح نشان‌دهنده نقش مؤثر مایکوریزا در تقویت سیستم دفاعی گیاهان و بهبود کیفیت ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی در شرایط تنش شوری است.

نتایج آنالیز آماری اثرگذاری تیمارهای مورد مطالعه بر شاخص آنتی اکسیدان نشان داد که بیشترین مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار تلقیح دو قارچ در شرایط شوری سطح چهار (S4F1+F2) است (شکل ۶). تحقیقات مشابهی نیز به تأثیر قارچ‌های مایکوریزا در بهبود فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهان تحت تنش شوری اشاره دارند. اوایس و همکاران (۲۰۲۰) تأثیر *R. intraradices* بر گیاه لوبیا را بررسی کردند و نتایج آن‌ها نشان داد که این قارچ به طور قابل توجهی سطح آنتی‌اکسیدان‌ها را افزایش داده و توانایی گیاه در مقابله با استرس شوری را بهبود بخشیده است. این یافته‌ها با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد و نشان‌دهنده نقش حیاتی *R. intraradices* در تقویت سیستم دفاعی گیاه در شرایط تنش شوری است.

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.5.8]

در مطالعه‌ای دیگر، چو و همکاران (۲۰۲۱) اثر *F. mosseae* بر گیاه گوجه‌فرنگی را تحت شرایط تنش شوری مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که این قارچ با افزایش تولید آنتی‌اکسیدان‌ها و کاهش استرس اکسیداتیو، به بهبود رشد و سلامت گیاه کمک کرده است. این اثر به دلیل تقویت جذب عناصر غذایی و تقویت سیستم دفاعی گیاه صورت گرفت که نتایج تحقیق حاضر نیز آن را تأیید می‌کند.

احمدی و همکاران (۲۰۲۲) تأثیر *F. mosseae* را بر گیاه خودرو *Hippophae rhamnoides* در شرایط گلخانه‌ای بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که قارچ تولید آنتی‌اکسیدان‌ها را افزایش و رشد گیاه تحت تنش شوری را بهبود می‌دهد که به دلیل افزایش جذب مواد مغذی و تقویت دفاع گیاه بود. این نتایج نیز هم‌راستا با یافته‌های تحقیق حاضر هستند که نشان‌دهنده اهمیت مایکوریزا در بهبود تحمل گیاه به تنش شوری است.

بابایی و همکاران (۲۰۲۳) نیز اثر *R. intraradices* بر گیاه مرتعی *Medicago sativa* در گلخانه را ارزیابی کردند و نتایج نشان داد که این قارچ به افزایش سطح فلاونوئیدها و فنول‌ها منجر شده و بهبود تحمل گیاه در برابر شوری را فراهم کرده است. ایکس یو و همکاران (۲۰۱۶) نیز در مطالعه‌ای مشابه گزارش دادند که قارچ‌ها با افزایش میزان آنتی‌اکسیدان‌ها و جذب بهتر آب و مواد مغذی، به گیاه در مقابله با شوری کمک کرده‌اند.

این مطالعات به وضوح نشان‌دهنده نقش کلیدی مایکوریزا در تقویت سیستم دفاعی گیاهان و بهبود توانایی آن‌ها در مقابله با تنش‌های محیطی، به‌ویژه تنش شوری، هستند. نتایج تحقیق حاضر بر اهمیت استفاده از قارچ‌های مایکوریزا در کشاورزی پایدار و بهبود سلامت گیاهان تأکید می‌کند.

همچنین نتایج حاصل از مقایسه میانگین تیمارهای شوری و قارچ در میزان پرولین نشان داد که با افزایش شوری، میزان پرولین به‌طور کلی افزایش یافت و این افزایش در تیمارهای مایکوریزایی چشمگیرتر از تیمار شاهد بود (شکل ۷). مطالعات مشابه مانند تحقیق دیانتی و همکاران (۲۰۲۰) بر روی *Teucrium chamaedrys* نشان دادند که کاربرد قارچ‌های مایکوریزا در شرایط تنش شوری، رشد ریشه، کلروفیل و پرولین را افزایش و نشت الکترولیت و سدیم برگ را کاهش می‌دهد. سایر پژوهش‌ها نیز مانند بالتزار و همکاران (۲۰۲۲) و روئیز و همکاران (۲۰۲۱) تأیید می‌کنند که قارچ‌های مایکوریزا با افزایش جذب مواد مغذی، بهبود تعادل یونی و افزایش سطح پرولین، مقاومت گیاهان به شوری را افزایش می‌دهند. تحقیقات چانگ کیو و همکاران (۲۰۱۸) و اولین و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان می‌دهند که همزیستی قارچ‌های مایکوریزا با گیاهان باعث بهبود رشد ریشه، افزایش جذب آب و مواد مغذی و همچنین افزایش پرولین در شرایط شوری می‌شود، که همه این عوامل به افزایش تحمل گیاهان در برابر تنش‌های محیطی کمک می‌کنند.

این یافته‌ها اهمیت قارچ‌های مایکوریزا را در بهبود تحمل گیاهان به شوری و افزایش تجمع پرولین، که به عنوان یک اسمولیت کلیدی در حفظ تعادل اسمزی و کاهش آسیب‌های اکسیداتیو عمل می‌کند، تأیید می‌کنند.

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که تنش شوری به‌طور قابل‌توجهی بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه دیوخار ترکمنی اثر منفی گذاشته و باعث کاهش رشد و تولید ترکیبات ثانویه مهم در گیاه شد. در مقابل، تلقیح گیاه با قارچ‌های مایکوریزا، به‌ویژه ترکیب *F. mosseae* و *R. intraradices* اثرات منفی شوری را به میزان قابل توجهی کاهش داد. این قارچ‌ها از طریق افزایش جذب مواد مغذی، بهبود وضعیت آب در گیاه، و تقویت پاسخ‌های آنتی‌اکسیدانی، باعث بهبود پارامترهایی مانند ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک برگ‌ها و افزایش محتوای ترکیبات فیتوشیمیایی گیاه شدند. به‌طور کلی، کاربرد قارچ‌های مایکوریزا به‌عنوان یک راهکار زیستی می‌تواند نقش مهمی در افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش شوری و احیای اکوسیستم‌های تخریب‌شده ایفا کند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بهره‌گیری از این قارچ‌ها، به‌ویژه در پروژه‌های احیای مراتع و زمین‌های زراعی آسیب‌دیده، می‌تواند موجب افزایش پایداری و بهره‌وری اکوسیستم‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک شود.

اهمیت این یافته‌ها در آن است که با توجه به افزایش وسعت زمین‌های شور در جهان، به‌ویژه در مناطق خشک، استفاده از روش‌های زیستی مانند قارچ‌های مایکوریزا می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد پایدار و سازگار با محیط‌زیست

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.5.8]

در مقابله با شوری مورد توجه قرار گیرد. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که این قارچ‌ها توانایی بهبود تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی مانند شوری را از طریق افزایش جذب آب و مواد مغذی و تقویت مقاومت گیاه در برابر استرس‌های اکسیداتیو دارند. به این ترتیب، قارچ‌های مایکوریزا نه تنها برای کشاورزی پایدار بلکه به‌عنوان ابزاری مؤثر در احیای اکوسیستم‌های تخریب‌شده نیز کاربرد بالقوه دارند.

References

1. Adavi, Z. & M. Baghbani Arani., 2020. The effect of planting date, cultivar, and mycorrhizal fungi on growth characteristics and antioxidant enzyme activity in potatoes. Biannual Journal of Plant Production Technology, 12(1): 177-192.
2. Ahmadi, M., I. Saidi & A. Zarei, 2022. Effects of *Funneliformis mosseae* on antioxidant capacity and growth of sea buckthorn under greenhouse conditions and salt stress. Ecological Indicators, 14(1): 109-127.
3. Ahmed, M.Z., M. Shahid, S. Ali & H. Bibi, 2022. Role of Glomus intraradices in enhancing growth, stress tolerance, and biochemical attributes of tomato plants under saline conditions. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 22(3): 987-1002.
4. AOAC. 1984. AOAC official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.
5. Awais, M., N. Ahmad & H. Rehman, 2020. Mycorrhizal fungi improve growth and antioxidant activity in beans under salt stress. Mycorrhiza, 30(3): 239-250.
6. Babaei, M., R. Mohammadi & A. Gholizadeh, 2023. The role of Rhizophagus intraradices in enhancing growth and antioxidant compounds in alfalfa under greenhouse salt stress conditions. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 23(1): 123-134.
7. Baltazar-Bernal, O., J.L. Spinoso-Castillo & E. Mancilla-Álvarez, 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi induce tolerance to salinity stress in taro plantlets (*Colocasia esculenta* L. Schott) during acclimatization. Plants, 11(13): 1780.
8. Bates, L.S., R.P. Waldren & I.D. Teare, 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil, 39(1): 205-207.
9. Biranvand, R., H. Rezaei Nejad, S. Hoseini & S. Seyyedeh Zahra, 2017. The effect of two mycorrhizal fungi species (*Glomus mosseae* and *G. intraradices*) on some morphological and physiological traits of scented geranium (*Pelargonium graveolens* L.) under salt stress. Journal of Soil and Plant Relations - Isfahan University of Technology, 8(1): 107-121.
10. Chang, C., M. Yang, H. Wen & J. Chern, 2002. Estimation of Total Flavonoid Content in Propolis by Two Complementary Colorimetric Methods. Journal of Food Drug Analysis, 10(3): 178-182.
11. Chang, Q., L. Zhang & H. Guo, 2018. Amelioration of salt stress tolerance in wheat seedlings by exogenous application of glycine betaine and abscisic acid. Environmental and Experimental Botany, 155: 58-66.
12. Zong, J., Z. Zhang, P. Huang & Y. Yang, 2023. Arbuscular mycorrhizal fungi alleviate salt stress in *Xanthoceras sorbifolium* through improved osmotic tolerance, antioxidant activity, and photosynthesis. Frontiers in Microbiology, *14*: 1138771.
13. Coruh, I., A. Gormez, S. Ercisli & M. Sengul. 2008. Total phenolic content, antioxidant, and antibacterial activity of *Rumex crispus* grown wild in Turkey. Pharmaceutical Biology, 46(9): 634-638.
14. Dashtbani, F., R. Haji Boland & N. Ali Asgharzadeh, 2017. Germination, photosynthesis, and growth of two halophyte species, *Pococelania distans* and *Aeluropus littoralis*, under saline conditions and their symbiosis with *Arbuscular mycorrhizal* fungi in their natural habitat in Tabriz plain. Iranian Journal of Biology, 30(4): 1-17. (In persian)
15. Dehghani Bidgoli, R., 2018. Effects of drought and salinity stress on some secondary metabolites of rosemary (*Rosmarinus officinalis*). Applied Plant Eco-Physiology Research, 5(1): 37-51.
16. Deyanti, B., K. Arghavani, A. Kheiri, S. Amani Far & S. Aziziollah, 2020. The effect of mycorrhizal fungi on the morphophysiological characteristics of *Teucrium chamaedrys* L. under salt stress conditions. Iranian Journal of Horticultural Science, 51(3): 621-632.
17. Han, X., Y. Wang, K. Cheng, H. Zhang & M. Tang, 2021. Arbuscular mycorrhizal fungus and exogenous potassium application improved *Lycium barbarum* salt tolerance. Journal of Plant Growth Regulation, 41: 2980-2991.
18. Evelin, H., R. Kapoor & B. Giri. 2012. *Arbuscular mycorrhizal* fungi in alleviation of salt stress: A review. Soil Biology and Biochemistry, 47: 29-37.

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.5.8]

19. Fattahi, B., R. Almasi & F. Ghasemi Hajiabadi, 2021. Changes of morphological characteristics and nutrients of *Bromus tomentellus* under the influence of coexistence with mycorrhiza fungi for use in range seeding operation. Journal of Rangeland, 15(4): 665-676.
20. García-Sánchez, F., J.L. Jifon, M. Carvajal, M & J.P. Syvertsen, 2002. Gas exchange, chlorophyll and nutrient contents in relation to Na+ and Cl− accumulation in 'Sunburst'mandarin grafted on different rootstocks. Plant Science, 162(5): 705-712.
21. Gee, G.W. & J.W. Bauder., 1986. Particle-size analysis. Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods, 5:383-411.
22. Gianinazzi, S., H. Schüepp & J.M. Barea, 1991. Impact of *Arbuscular mycorrhizal* fungi on plant health and growth. In Mycorrhizal Functioning, 99-129 P. CRC Press.
23. Gosling, P., A. Hodge, J. Goodall & C. Campbell, 2019. Mycorrhizal fungi in agriculture. Journal of Soil Science, 70(5): 1042-1055.
24. Hashem, A., E.F. Abd Allah, A.A. Alqarawi & A.A. Al-Huqail, 2016. The protective role of *Arbuscular mycorrhizal* fungi against salt stress in *Acacia gerrardii* involves increased antioxidants, reduced oxidative damage, and enhanced nutrient uptake. Frontiers in Plant Science, 7: 1-15.
25. Pollastri, S., A. Savvides, Pesando, M. E. Lumini, M. Volpe, G. Ozudogru & R. Balestrini, 2018. Impact of two arbuscular mycorrhizal fungi on Arundo donax *L. response* to salt stress. Planta, 247: 573-585.
26. Jackson, M., 1967. Soil chemical analysis prentice. Hall of India Private Limited, New Delhi 498 (1).
27. Jafarian, F. & H. Ahmadi., 2015. Investigation of ecological characteristics of halophyte plants and strategies for improving saline rangelands. Iranian Journal of Range and Desert Research, 21(2): 45-58.
28. Jahanbazi, H., S.M. Hosseini Nasr, K. Saqeb Talebi & S.M. Hojati. 2015. Effect of salinity stress on vegetative factors, proline, plant pigments, and element uptake in aerial organs of four wild almond species. Iranian Journal of Biology (Scientific), 27(5): 777-787.
29. Johnson, N.C. & D.W. Johnson., 2019. Mycorrhizae and plant growth. Annual Review of Phytopathology, 57: 161-183.
30. Khalavandi, M., M.R. Amerian, H.A. Pirdashti, M. Baradaran Firuzabadi & A. Gholami, 2019. The effect of symbiosis with the pseudo-mycorrhizal fungus Piriformospora indica on the growth improvement of Mentha piperita under salt stress. Journal of Plant Science, 4(2): 85-92.
31. Knudsen, D., G.A. Peterson & P.F. Pratt, 1982. Lithium, sodium, and potassium. Methods of soil analysis: part 2 chemical and microbiological properties, 9: 225-246.
32. Kormanik, P.P. & A.C. McGraw., 1982. Quantifying vesicular-*Arbuscular mycorrhizal* dependency of plants. In Mycorrhiza, 37-49 P. CRC Press.
33. Kutlek, M. & D.R. Nielsen., 1994. Soil hydrology: texbook for students of soil science, agriculture, forestry, geoecology, hydrology, geomorphology and other related disciplines: Catena Verlag, 370p.
34. Loeppert, R.H. & G.L. Suarez., 1996. Carbonates and gypsum In D. L. Sparks (ED.), Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical methods. 2nd Edition. Madison Wisconsin, USA. 437-474p.
35. Ghasemi, M., M. Zahedi, M. Gheysari & M.R. Sabzalian, 2023, Effects of inoculation with four mycorrhizal species on seed phenolic and fatty acids of sesame plants grown under different irrigation regimes. Scientific Reports, 13(1): 16482.
36. Mansoori, H. & M. Faramarzi., 2023. The role of mycorrhizal fungi in enhancing growth parameters of *Lycium* spp. under saline conditions. Plant Biology, 25(4): 600-611.
37. Mashayekhi, K. & S. Atashi., 2016. Guide to plant physiology experiments (Pre-and post-harvest studies of plants). Agricultural Education Research, 318 p.
38. Mehmood, A., A. Hussain, S. Irshad, T. Mukhtar, A. Mahmood, T. Sultan, & T. Yaseen, 2023. Contribution of *Arbuscular mycorrhizal* fungi (AMF) in improving the growth and yield performances of flax (*Linum usitatissimum* L.) to salinity stress. Agronomy, 13(3): 1-16.
39. Miliauskas, G., P.R. Venskutonis & T.A. Van Beek, 2004. Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. Food Chemistry, 85(2): 231-237.
40. Millner, P.D. & D.G. Kitt., 1992. The Beltsville method for soilless production of vesicular *Arbuscular mycorrhizal* fungi. Mycorrhiza, 2: 9-15.
41. Munns, R. & M. Tester., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59: 651-681.
42. Nadian, H., M. Heidari, M. Qaryneh & M. Daneshvar. 2013. The effect of different levels of sodium chloride and mycorrhizal colonization on the growth and uptake of phosphorus, potassium and sodium by saffron. Plant production (Scientific Journal of Agriculture), 36(2): 58-49. (In Persian)

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.5.8]

43. Nelson, D.W. & L.E. Sommers., 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In A.L. Page et al (EDs.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd Edition. Agronomy Series No. 9, ASA SSSA, Madison. 961-1010 p.
44. Netto, A.T., E. Campostrini, D.E. Gonçalves, J.G. Oliveira & R.E. Bressan-Smith, 2005. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. Scientia Horticulturae, 104(2): 199-209.
45. Xue, Y. A., N. G, Hongqing. Y. U. Zhang, T. Jixun, G. U. O & X. Zhang, 2016. Arbuscular mycorrhizal fungi improve the antioxidative response and the seed production of Suaedoideae species Suaeda physophora Pall under salt stress. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 44(2): 533-540.
46. Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe & L.A. Dean, 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Circular, Washington, DC: US Department of Agriculture, 939: 19 p.
47. Orabi, S.A., S.R. Salman & M.A. Shalaby, 2010. Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. Journal of Agricultural Sciences, 6(3): 252-259.
48. Page, A.L., R.H. Miller & D.R. Keeney,1992. Method of soil Analysis. Part II: Chemical and Mineralogical Properties (Second Edition ed.). Madison, Wisconsin.
49. Paul, M., R.A. Hasegawa Bressan, J.K. Zhu & H.J. Bohnert, 2000. Plant cellular and molecular response to high salinity. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 51: 463- 499.
50. Poryafar, P., A. Khaleghi, A.R. Abbasi Far & M. Taghizadeh, 2021. Inoculation of Persian Gleditsia (*Gleditsia caspica* Desf.) seeds with *Arbuscular mycorrhizal* fungi to increase drought tolerance in seedlings. Journal of Iranian Horticultural Science, 52(4): 45-56.
51. Ruiz-Lozano, J.M., H. Evelin & R.M. Augé, 2021. Regulation of *Arbuscular mycorrhizal* symbiosis by plants: A critical role for oxidative signaling. Frontiers in Plant Science, 12: 627-851.
52. Safarimohammadi, Z., M. Moghaddam, B. Abedi & L. Samiei, 2015. The effect of salinity stress on some functional parameters and morphological characteristics of green mint (*Mentha spicata* L.) under hydroponic conditions. Soil and Plant Relationships (Greenhouse Crop Science and Technology), 6(23): 97-106.
53. Saini, P., S. Khan, S. Patil & H.S. Jatav, 2020. Effect of mycorrhizal fungi on the growth and physiological traits of crops under salt stress. Journal of Applied Microbiology, 129(2): 300-312.
54. Shahid, M.A., M.N. Khan, M.I. Shahid & N. Khalid, 2020. Effect of *Glomus mosseae* on the growth, physiological and biochemical attributes of wheat under salt stress. Scientific Reports, 10(1): 1-14.
55. Shirali, F., R. Almasi & B. Fattahi, 2020. Effects of symbiosis with two species of *Arbuscular mycorrhiza* on some morphological and physiological characteristics of rangeland grass, *Agropyron elongatum* (Host). Beauv. Journal of Rangeland, 14(4): 731-741.
56. Smith, S.E. & D.J. Read., 2008. *Mycorrhizal symbiosis* (3rd ed.). Academic Press.
57. Smith, S. E. & D.J. Read., 2020. Mycorrhizal symbiosis (4th ed.). Academic Press. 605 p.
58. Wang, X.J., Z.Q. Wang & S.G. Li. 1995. The effect of humic acids on the availability of phosphorus fertilizers in alkaline soils. Soil Use and Management, 11(2): 99-102.
59. Wu, H., H. Guo & R. Zhao, 2006. Effect of *Lycium barbarum* polysaccharide on the improvement of antioxidant ability and DNA damage in NIDDM rats. Yakugaku Zasshi, 126(5): 365-71.
60. Xu, H., Y. Shi, C. Chen, Z. Pang, G. Zhang, W. Zhang & H. Kan, 2024. *Arbuscular Mycorrhizal* fungi selectively promoted the growth of three ecological restoration plants. Plants, 13(12): 1678.
61. Younesi, O., A. Moradi & A. Namdari, 2013. Influence of *Arbuscular mycorrhiza* on osmotic adjustment compounds and antioxidant enzyme activity in nodules of salt-stressed soybean (*Glycine max*). Acta agriculturae Slovenica, 101-102: 219- 230.
62. Zarei Mehrjardi, N., J. Nabati, B. Masoumi, A. Bagheri & M. Kafi, 2012. Investigation of salt tolerance in roots and shoots of eleven chickpea genotypes resistant and sensitive to drought under hydroponic conditions. Iranian Legume Research, 2(2): 83-96.
63. Zhang, F., X. Yang, W. Ran & Q. Shen. 2018. *Arbuscular mycorrhizal* fungi enhance drought and salt tolerance in maize plants by improving plant antioxidant defense and nutrient uptake. Journal of Plant Growth Regulation, 37(2): 379-388.
64. Zhou, Y., Y. Chen & Q. Zhang, 2021. Effects of *Funneliformis mosseae* on antioxidant capacity of tomato under salt stress. Plant Growth Regulation, 93(3): 367-375.
65. Zhou, Y., X. Wang, H. Zhang, Y. Li & Y. Liu, 2021. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and physiological characteristics of *Lycium barbarum* under salt stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(2): 1253-1267.
66. Zhu, J.K., 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. Annual Review of Plant Biology, 53: 247-273.

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.5.8]