

Original article

Effect of foliar application of salicylic acid and inoculation with mycorrhizal fungi on some physiological and biochemical traits of barley (*Hordeum vulgare* L.) cv. Fortuna under different salinity levels

Nasim pourtaghi¹, Saeid Khomari^{2*}, Raouf Seyed-Sharifi³, Esmail Goli-Kalanpa⁴, Zahra Vatanpour⁵

1. Ph.D. Student in Crop Physiology, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2. Professor in Crop Physiology, Department of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
3. Professor in Crop Physiology, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardabil, Iran
4. Associate Professor in Soil Chemistry and Fertility, Department of Soil Science Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
5. Assistant Professor, Department of Plant Physiology, Germi Branch, Islamic Azad University, Germi, Iran

Received 10 October 2024; Revised 9 November 2024; Accepted 18 November 2024

Extended abstract

Introduction

Soil salinity is a major abiotic stress that limits plant growth and productivity. Agricultural soil salinity induces several detrimental effects, including oxidative stress, osmotic stress, and disturbances in nutrient uptake. However, plants that can enhance their defense mechanisms by sustaining antioxidant capacity, maintaining osmotic adjustment, and improving nutrient acquisition under saline conditions are able to exhibit relatively stable growth and acceptable performance under such conditions. Salicylic acid and mycorrhizal fungi symbiosis play essential roles in alleviating the adverse effects of salinity by inducing antioxidant defenses and regulating carbohydrate metabolism in crops. Mycorrhizae can enhance plant growth and performance through several mechanisms, including mitigating the adverse effects of salinity, improving plant water status, producing growth-promoting hormones, and enhancing photosynthesis. Salicylic acid, synthesized in root cells, plays a central role in regulating physiological processes and functions as a key signaling molecule in activating plant defense responses. Soluble sugars, along with free proline, function as osmotic regulators and signaling molecules that trigger diverse defense responses under salt stress.

Materials and methods

In the present study, the effects of foliar application of salicylic acid (0, 0.6, and 1.2 mM) on enhancing the symbiotic association with arbuscular mycorrhizal fungi and its consequent impacts on plant growth, membrane stability, antioxidant enzyme activities, free proline and soluble sugar contents, as well as maximum quantum efficiency of photosystem II (Fv/Fm), were investigated in barley (*Hordeum vulgare* L. cv. Fortuna) under salinity stress (0, 60, and 120 mM NaCl). The present experiment was conducted as a factorial arrangement in a randomized complete block design (RCBD) with three replications at the Research Greenhouse Complex of the Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, during the 2021–2022 growing season.

* Corresponding author: Saeid Khomari; E-Mail: saeid.khomari@gmail.com

Results and discussion

The combined application of mycorrhizal fungus and salicylic acid significantly increased relative water content of leaves by 125.92% under salt stress. Inoculation with mycorrhizal fungi markedly enhanced cell membrane stability index, maximum quantum yield of photosystem II (Fv/Fm), total chlorophyll, chlorophyll a, free proline content, and polyphenol oxidase (PPO) activity. Foliar application of salicylic acid also led to significant increases in cell membrane stability index, maximum quantum yield of photosystem II, total chlorophyll, chlorophyll a and b content, soluble sugar content, and PPO activity.

Conclusion

Application of both salicylic acid and mycorrhizal fungi enhanced the tolerance of barley cv. Fortuna to salinity stress, primarily by improving leaf relative water content, maintaining cell membrane integrity, increasing chlorophyll concentration, and enhancing PPO activity.

Acknowledgements

This study was conducted as part of the doctoral dissertation of the first author at the Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili. The authors gratefully acknowledge the valuable assistance and cooperation of all individuals who contributed to the execution and preparation of this work.

Keywords: Antioxidant defense, Chlorophyll, Photosynthetic efficiency, Relative water content (RWC), Soluble sugars

اثر محلول پاشی برگی اسید سالیسیلیک و تلقیح با قارچ مایکوریزا بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی جو (*Hordeum vulgare* L.) رقم فورتونا در سطوح مختلف شوری

نسیم پورتقی^۱، سعید خماری^{۲*}، رئوف سیدشریفی^۳، اسماعیل گلی کلانپا^۴، زهرا وطن پور^۵

۱. دانشجوی دکتری رشته اگروتکنولوژی گرایش فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
۲. استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز
۳. استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
۴. دانشیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
۵. استادیار گروه فیزیولوژی گیاهی، واحد گرمی، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمی، ایران

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: دفاع آنتی‌اکسیدان قند محلول کارایی فتوسنتز کلروفیل محتوای نسبی آب برگ	شوری خاک از عمده‌ترین تنش‌های غیر زیستی است که رشد و عملکرد گیاه را محدود می‌کند. اسید سالیسیلیک و همزیستی قارچ مایکوریزا نقش مهمی را در رفع اثرات نامطلوب تنش شوری به واسطه القای سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدان و تنظیم متابولیسم هیدرات‌کربن در گیاهان زراعی ایفا می‌کنند. قندهای محلول همراه با پرولین آزاد به عنوان تنظیم‌کننده اسمزی و همچنین به عنوان مولکول‌های علامت رسان در فعال کردن پاسخ‌های دفاعی مختلف در برابر تنش نمک عمل می‌کنند. در مطالعه حاضر، نقش محلول پاشی برگی اسید سالیسیلیک (صفر، ۰/۶ و ۱/۲ میلی مولار) در افزایش همزیستی قارچ مایکوریزا و تأثیر آن بر رشد، سلامت غشاهای سلولی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، محتوای پرولین آزاد، مقدار قند محلول و عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو در جو رقم فورتونا تحت تنش شوری (صفر، ۶۰ و ۱۲۰ میلی مولار نمک NaCl) مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش حاضر به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی طی سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد. نتایج به دست آمده نشان داد که کاربرد توأم قارچ مایکوریزا و اسید سالیسیلیک تحت تنش شوری به اندازه ۱۲۵/۹۲ درصد نسبت به شاهد موجب افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ گردید. مصرف قارچ شاخص پایداری غشای سلولی، عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو، محتوای کلروفیل کل، کلروفیل a، پرولین آزاد و نیز فعالیت پلی فنل اکسیداز را به طور معنی‌داری افزایش داد. محلول پاشی اسید سالیسیلیک شاخص پایداری غشای سلولی، عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو، محتوای کلروفیل کل، کلروفیل a، کلروفیل b، قند محلول و نیز فعالیت پلی فنل اکسیداز را به طور معنی‌داری افزایش داد. کاربرد اسید سالیسیلیک و مایکوریزا عمدتاً از طریق بهبود محتوای نسبی آب برگ، شاخص پایداری غشای سلولی، محتوای کلروفیلی برگ و فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی پلی فنل اکسیداز در رقم جو فورتونا باعث تحمل بهتر گیاه در تنش شوری گردید.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۸	
تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۵ ۱۶۵-۱۳۵ (۱): ۱۹	

مقدمه

اراضی آبی دنیا در معرض شور شدن ثانوی قرار دارند (Pooja et al., 2024). شوری خاک زراعی موجب اثرات مخرب متعددی از جمله تنش اکسیداتیو، تنش اسمزی و عدم تعادل در جذب عناصر غذایی در سیستم گیاهی می‌شود و در صورتی که گیاه قادر به تقویت سیستم دفاعی خود از طریق

امروزه افزایش جمعیت و کاهش زمین‌های قابل کشت به عنوان دو معضل عمده پیش روی توسعه پایدار کشاورزی در نظر گرفته می‌شود (Shahbaz et al., 2013). از طرف دیگر، شوری ثانوی در اراضی زراعی با روندی افزایشی در حال گسترش است به طوری که دو درصد اراضی دیم و ۲۰ درصد

تغییرات بیوشیمیایی از جمله تجمع پرولین، کربوهیدرات‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها (Abdel-Fattah et al., 2012) و تغییرات فیزیولوژیکی از جمله افزایش کارایی فتوسنتزی و محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش موجب افزایش رشد و عملکرد گیاه میزبان می‌شوند (Diagne et al., 2020). مایکوریزا مخرب تنش شوری، بهبود وضعیت آبی گیاه، تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه و ریشه و با بهبود فرآیند فتوسنتز به بهبود رشد و عملکرد گیاه کمک کند (Narimani and Seyed Sharifi, 2023). همچنین می‌تواند از طریق تغییر در مرفولوژی ریشه و گسترش سیستم ریشه‌ای با افزایش طول ریشه گیاه میزبان و افزایش سطح جذب از طریق ریشه‌های قارچ باعث بهبود روابط آبی گیاه میزبان گردد (Ebrahimi et al., 2022).

تنظیم‌کننده‌های رشدی نظیر اسید سالیسیلیک با ایجاد توازن در غلظت درون‌زاد هورمون‌های گیاهی در کنترل پاسخ‌های گیاه به شرایط نامساعد ناشی از تنش شوری نقش مهمی دارند. اسیدسالیسیلیک یا اسید اورتو هیدروکسی بنزویک (SA) که از مشتقات فنولی است به‌عنوان تنظیم‌کننده چندین فرآیند فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، پیام‌رسان گیاهی، رشد و نمو گیاه، سیستم دفاعی گیاه و پاسخ به تنش‌های زنده و غیرزنده در نظر گرفته می‌شود (Torabi et al., 2023). اسید سالیسیلیک در سلول‌های ریشه تولید می‌شود و نقش زیادی در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف گیاه دارد و به‌عنوان یک پیام‌رسان کلیدی در فعال‌سازی پاسخ‌های اختصاصی دفاعی گیاه شناخته شده است (Pirasteh-Anosheh et al., 2022). افزایش محتوای رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل و کارتنوئیدها) و تنظیم و تعدیل فعالیت برخی آنزیم‌های مهم دخیل در متابولیسم دفاعی گیاه از دیگر نقش‌های اسید سالیسیلیک است (Ruelland et al., 2014). رشد و تولید مطلوب در گیاه جو در خاک شور، به‌واسطه استفاده از اسید سالیسیلیک و تأثیر آن بر صفات فیزیولوژیکی گیاه گزارش شده است (Hanif et al., 2024).

با توجه به جستجوی کامل در پایگاه‌های اطلاعاتی نظیر گوگل اسکولار، هیچ مستند پژوهشی در زمینه ارزیابی اثرات استفاده هم‌زمان اسید سالیسیلیک و قارچ مایکوریزا بر رشد و

حفظ ظرفیت‌های آنتی‌اکسیدانی، توانایی تنظیم اسمزی و بهبود جذب عناصر غذایی در شرایط تنش باشد، می‌تواند عملکرد قابل‌قبولی در این شرایط نشان دهد (Sharaya et al., 2023). تنش شوری با القای تنش آبی، موجب بسته شدن روزنه، کاهش غلظت دی‌اکسید کربن در سلول‌های مزوفیل برگ گیاهان تحت تنش و تجمع NADPH^1 در کلروپلاست می‌شود. در این شرایط مقدار NADP^+ در دسترس برای انجام واکنش‌های نوری فتوسنتز کاهش یافته، بنابراین اکسیژن به‌عنوان پذیرنده الکترون عمل کرده منجر به تولید گونه‌های فعال اکسیژن و درنهایت تنش اکسیداتیو می‌شود (Mahdavian, 2023). به دنبال تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن و آسیب رساندن به سلول، کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک با تأثیر بر بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، مقدار کلروفیل، محتوای نسبی آب سلولی، نشت غشایی سلول‌ها، عملکرد کوانتومی باعث کاهش رشد گیاه می‌شود. همچنین در تنش شوری پرولین، قند محلول، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی افزایش می‌یابد تا گیاه بتواند با شرایط شوری سازگاری یابد (Koochekzadeh et al., 2023). افزایش تحمل گیاهان به اثر ناشی از تنش شوری به طرق مختلف می‌تواند گامی مؤثر در جهت دستیابی به تولید پایدار در کشاورزی باشد (Narimani and Seyed Sharifi, 2023). جو (*Hordeum vulgare* L.) یکی از غلات مهم از خانواده گندمیان است که برای تأمین غذای انسان و دام ضروری است و یکی از غلاتی است که تحت شرایط آب و هوایی که به‌سرعت در حال تغییر است می‌تواند به‌عنوان یک محصول انتخابی در آینده برای کشت در نظر گرفته شود (Verma et al., 2022). جو ماده اولیه تهیه مالت و بالطبع ماء‌الشعیراست که در صنایع غذایی مانند قنادی، نساجی، مکمل تقویتی و استخوان‌سازی به دلیل دارا بودن ویتامین B و تهیه نوشابه همچنین میکروبیولوژی بکار می‌رود (Morshedi et al., 2023).

یکی از راه‌کارهای مناسب و طبیعت‌مدار برای بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی در شرایط تنش‌های محیطی، استفاده از گونه‌های مختلف قارچ مایکوریزا است. این قارچ با اغلب گیاهان رابطه همزیستی برقرار نموده و ضمن تشکیل کلونی در ناحیه ریشه گیاهان به جذب عناصر غذایی از خاک کمک کرده و از طریق مکانیسم‌های سازگاری با القای

¹ - کوآنزیم نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید فسفات (Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate)

فیزیولوژی و عملکرد گیاه زراعی جو یافت نشد، لذا در آزمایش حاضر کوشش گردید تا بهینه‌سازی احتمالی شرایط رشدی جو رقم فورتونا متأثر از کاربرد توأم اسید سالیسیلیک و قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*) و نیز بهبود برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تأثیرگذار بر تولید و عملکرد قابل قبول تحت تنش شوری مورد مطالعه و ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر کاربرد قارچ میکوریزا و اسید سالیسیلیک بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه جو در شرایط تنش شوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی با دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی و با طول دوره روشنایی ۱۵-۱۶ ساعت با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی و رطوبت ۷۰ درصد اجرا شد (Asghari, 2023). با مختصات جغرافیایی ۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا اجرا شد عوامل مورد بررسی شامل سطوح شوری (عدم اعمال شوری به عنوان شاهد، شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی مولار به ترتیب صفر، ۶ و ۱۲ دسی زیمنس)، قارچ (عدم کاربرد میکوریزا موسه آ به عنوان شاهد، کاربرد میکوریزا موسه آ) و محلول پاشی اسید سالیسیلیک (محلول پاشی با آب به عنوان شاهد، محلول پاشی ۰/۶ و ۱/۲ میلی مولار) بودند. گلدان‌هایی با قطر ۴۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر از خاک زراعی پر شدند. خصوصیات خاک استفاده شده در این آزمایش، در جدول ۱ ارائه شده است. در این آزمایش از جو رقم فورتونا (تهیه شده از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج) با تراکم مطلوب ۴۰۰ بذر در مترمربع به تعداد ۵۵ عدد بذر در گلدان‌ها کشت شد. کود اوره به مقدار ۴۱۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر با آب آبیاری در دو مرحله (۱۵ روز بعد از کاشت و مرحله پنجه‌زنی) استفاده شد. برای اعمال هر یک از سطوح شوری در خاک، مقدار نمک مورد نیاز با استفاده از نرم‌افزار Salt calc محاسبه شد. در این نرم‌افزار به استناد هدایت الکتریکی خاک و درصد عصاره اشباع، مقدار نمک مورد نیاز برای هر کیلوگرم خاک گلدان محاسبه شده (Narimani and Seyed-Sharifi, 2023) و به هر گلدان در دو مرحله از دوره رشد رویشی (مرحله بعد از کاشت و مرحله سه الی چهار برگی) همراه آب آبیاری اضافه

شد. قارچ میکوریزای استفاده شده از گونه *Glomus mosseae* بود که از شرکت زیست فناوریان توران تهیه و به میزان ۲۰ گرم در هر مترمربع خاک (۲۰۰ کیلوگرم در هر هکتار) بر اساس توصیه شرکت مذکور استفاده شد. محلول پاشی با اسید سالیسیلیک (محصول شرکت مرک آلمان) در دو نوبت در مراحل ساقه‌دهی و گلدهی اعمال شد (Albrecht et al., 1995). همچنین زمان محلول پاشی در هر مرحله، ۱۰-۸ قبل از ظهر بود و طوری انجام شد که تمام قسمت‌های هوایی بوته‌های موجود در هر گلدان به طور کامل مرطوب شود (Narimani and Seyed-Sharifi, 2023). برای تهیه محلول‌های اسید سالیسیلیک از اتانول و آب گرم استفاده شد (Pirasteh-Anosheh et al., 2022). اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی برحسب نیاز گیاه زراعی و شرایط محیطی گلخانه به یک اندازه در مورد تمام گلدان‌ها اعمال شد. برای حفظ شوری در طول دوره رشد در زیر هر گلدان یک زیرگلدانی قرار داده شد تا بعد از هر سه تا چهار نوبت آبیاری، دوباره نمک‌های احتمالی وارد شده به زیرگلدانی در آب حل شده و به داخل هر گلدان برگشت داده شود. در طول دوره رشد، کنترل علف‌های هرز و سله شکنی به صورت دستی انجام گردید. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد با طول دوره روشنایی ۱۵-۱۶ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) نگهداری شدند. (Narimani and Seyed-Sharifi, 2023). صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مورد بررسی در آزمایش به شرح زیر بودند:

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ با روش ریچی و همکاران (Ritchie et al., 1990) از روی اختلاف وزن اشباع، وزن تر و وزن خشک برگچه‌ها ارزیابی شد. نشت الکترولیت (EL) با هدف ارزیابی پایداری غشای سلولی (MSI) اندازه‌گیری شد. برای این منظور از برگ‌های جوان و توسعه‌یافته بالای پوشش گیاهی هر گلدان، به تعداد مساوی دیسک تهیه و ضمن قرار دادن آن‌ها در ظروف شیشه‌ای درب دار مقدار ۱۰ سی‌سی آب دیونیزه در آن‌ها ریخته شد و برگ‌ها داخل آب دیونیزه به مقدار ۱۰ سی‌سی و پس از قرارگیری در معرض تاریکی به مدت ۲۴ ساعت، هدایت الکتریکی آن‌ها توسط دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد. سپس با قرار دادن ظرف‌ها داخل اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه و پس از سرد کردن آن‌ها مجدداً هدایت الکتریکی آن‌ها اندازه‌گیری شده و بر اساس رابطه ۱ و ۲ میزان نشت

غلظت کلروفیل‌های a و b به روش آرنون (Arnon, 1967) با استفاده از روش‌های استاندارد و سانتریفوژ و قرائت با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری محتوای مالون دی‌آلدئید به روش استوارت و بوولی (Stewart and Beweley, 1980)، پرولین نمونه‌های برگ‌ها با استفاده از معرف نین هیدرین به روش بیتز و همکاران (Bates et al., 1973) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری قند محلول روش آنترون (معرف آنترون-اسید سولفوریک) با جوشاندن پودر گیاهی در اسید داخل حمام آبی و قرائت با اسپکتروفتومتر بکار رفت (Jam et al., 2024). اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی پلی فنل اکسیداز از روش سوداکار و همکاران (Sudhakar et al., 2001) انجام گردید. پس از تأیید نرمال بودن داده‌ها (آزمون شاپیرو-ویلک) و یکنواختی واریانس خط‌های آزمایشی (آزمون لون)، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزار STATISTICA 13.0 و SAS 9.4 انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت پذیرفت. برای رسم شکل‌ها از مایکروسافت EXCEL® استفاده گردید.

الکترولیت از غشای سلولی محاسبه گردید (Sajed Gollojeh et al., 2020).

$$EL = (EC_0/EC_1) \times 100 \quad [1]$$

$$MSI = (1 - (EC_0/EC_1)) \times 100 \quad [2]$$

در این معادله، EL نشت الکترولیت، MSI شاخص پایداری غشای سلولی، EC_0 هدایت الکتریکی نمونه‌ها پس از تاریکی و EC_1 هدایت الکتریکی نمونه‌ها پس از اتوکلاو هستند. پارامترهای فلورسانس کلروفیل در آخرین برگ توسعه‌یافته یک هفته بعد از محلول‌پاشی، با استفاده از دستگاه فلورومتر اندازه‌گیری شد. بدین منظور، برگ‌ها با استفاده از گیره‌های مخصوص برگ به مدت ۲۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند. سپس فلورسانس حداقل و فلورسانس حداکثر در برگ‌های سازگار شده به تاریکی اندازه‌گیری شدند و میزان فلورسانس متغیر و حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسنتز دو (Fv/Fm) با استفاده از رابطه ۳ و ۴ تعیین گردید (Bolandi et al., 2024).

$$Fv/Fm = (Fm - F_0/Fm) \quad [3]$$

$$Fv = Fm - F_0 \quad [4]$$

در این معادله، Fv فلورسانس متغیر، Fm فلورسانس حداکثر و F_0 فلورسانس حداقل در نظر گرفته شد.

جدول ۱. برخی خصوصیات خاک آزمایش (تهیه‌شده از مزارع اطراف روستای پیراقوم، شهرستان اردبیل)

Table 1. Some characteristics of the test soil (Prepared from the fields around Piragom, Ardabil city)

اسیدیته خاک PH	هدایت الکتریکی کل اشباع خاک Total saturated electrical conductivity of soil ds.m ⁻¹	کربن آلی Organic carbon %	نیتروژن کل Total nitrogen	فسفر P mg.kg ⁻¹	پتاسیم K	کلسیم Ca mg.l ⁻¹	سدیم Na
7.88	3.77	1.1	0.09	16	408.23	90.62	1164.61

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ

۳۱ درصد نسبت به شاهد نشان دادند. بیشترین محتوای نسبی آب برگ از محلول‌پاشی ۰/۶ میلی مولار اسید سالیسیلیک به دست آمد که نسبت به شاهد ۵۹/۴۶ درصد افزایش داشت و محلول‌پاشی ۱/۲ میلی مولار اسید سالیسیلیک نسبت به شاهد ۳۷/۸۳ درصد افزایش نشان داد. در مورد اثرات متقابل دوجانبه، در بررسی اثر شوری × قارچ، محتوای نسبی آب برگ در ترکیب تیماری شوری صفر × مصرف قارچ به‌اندازه ۳۲/۱۴ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. کمترین محتوای نسبی آب به ترکیب تیماری شوری ۱۲۰ میلی مولار × عدم مصرف قارچ اختصاص یافت که ۳۵/۷۱ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد.

مطابق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثرات اصلی عوامل آزمایشی در سطح احتمال یک درصد، اثر متقابل قارچ × شوری در سطح احتمال پنج درصد و سایر اثرات متقابل دو و سه‌جانبه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار به دست آمد. با افزایش سطوح شوری کاهش معنی‌داری در محتوای نسبی آب برگ مشاهده گردید؛ به‌طوری‌که در غلظت‌های شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی مولار به ترتیب به‌اندازه ۳۶/۶۱ و ۴۵ درصد نسبت به شاهد کاهش داشت. تیمارهایی که در آن‌ها قارچ مصرف شده بود، محتوای نسبی آب برگ بالاتری به میزان

جدول ۲. تجزیه واریانس اثرات تنش شوری، تلقیح با قارچ میکوریزا و محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر محتوای نسبی آب برگ، شاخص پایداری غشای سلولی، بیشینه کوانتومی فتوسیستم دو، محتوای کلروفیل شامل کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل، محتوای مالون دی آلدئید، محتوای پرولین، میزان قند محلول و فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در برگ جو فور تونا.

Table 2. Anova of salt stress, mycorrhiza and salicylic acid effects on some biochemical and physiological characteristics of barley (*Hordeum vulgare* cv. Fortuna).

S.O.V	درجه منابع تغییر آزادی df	محتوای نسبی آب برگ Relative leaf water content	شاخص پایداری غشای سلولی Cell membrane stability index	عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو Quantum yield of photosystem II	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b
Replication (R)	تکرار 2	0.329**	1.755 ^{ns}	0.001 ^{ns}	128.7**	114.2**
Salt stress (S)	شوری 2	0.341**	22.312*	0.363**	50.15*	100.64**
Mycorrhiza (M)	قارچ 1	0.237**	22.311**	0.022*	73.7*	31.2 ^{ns}
Salicylic acid (SA)	هورمون 2	0.246**	3.628*	0.116**	345.8**	162.52**
S×M	2	0.017*	1.228 ^{ns}	0.000 ^{ns}	1.35 ^{ns}	0.9 ^{ns}
S×SA	4	0.054**	21.517**	0.015*	63.1**	52.84**
M×SA	2	0.076**	0.283 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.76 ^{ns}	5.0 ^{ns}
S×M×SA	4	0.039**	1.00 ^{ns}	0.000 ^{ns}	1.7 ^{ns}	5.24 ^{ns}
Error	خطا 34	0.005	0.975	0.004	10.1	7.62
ضریب تغییرات (CV%)	-	13.99	1.04	9.74	12.89	24.04

Table 2. Continued

جدول ۲. ادامه

S.O.V	درجه منابع تغییر آزادی df	کلروفیل کل Chlorophyll total	مالون دی آلدئید Malondialdehyde	پرولین proline	قند محلول Soluble shogare	پلی فنل اکسیداز Poly phenol oxidase
Replication (R)	تکرار 2	470.538**	0.004*	0.00**	0.218**	0.56**
Salt stress (S)	شوری 2	265.214**	0.095**	0.03*	3.684**	2.37**
Mycorrhiza (M)	قارچ 1	200.662**	0.001 ^{ns}	0.01*	0.041 ^{ns}	0.41**
Salicylic acid (SA)	هورمون 2	894.761**	0.07**	0.002 ^{ns}	2.02**	1.48**
S×M	2	4.414 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.018 ^{ns}	0.12 ^{ns}
S×SA	4	167.356**	0.02**	0.00**	0.161**	0.28**
M×SA	2	8.807 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.082 ^{ns}	0.04 ^{ns}
S×M×SA	4	2.252 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.02 ^{ns}
Error	خطا 34	14.197	0.001	0.001	0.039	0.05
ضریب تغییرات (CV%)	-	10.42	30.45	24.21	10.07	12.32

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱، ^{ns}: غیر معنی دار
ns, ** and * indicate non-significance and significance at 1 and 5% statistical levels, respectively.

در بررسی اثر شوری × اسید سالیسیلیک، ترکیب تیماری شوری ۶۰ × اسید سالیسیلیک ۰/۶ میلی مولار بالاترین محتوای نسبی آب برگ را به خود اختصاص داد که با وجودی که نسبت به شاهد به میزان ۱/۶۱ درصد کاهش بود، نسبت

قرار داد و به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بهبود بخشید (Kunpratum et al., 2024). گزارش مشابهی در خصوص گندم شده است (Yadave et al., 2024). اسید سالیسیلیک به دلیل افزایش انباشت آبسیزیک اسید و کاهش انباشت الکترولیت‌ها محتوای نسبی آب سلولی را تحت شرایط تنش بهبود بخشیده در نتیجه باعث رشد بهتر گیاهچه‌ها می‌گردد (Mehrabi et al., 2024). اسید سالیسیلیک بر محتوای نسبی آب در گیاه ریحان تأثیر مثبت داشت که آن را می‌توان به افزایش قدرت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی اسید سالیسیلیک در نتیجه کاهش تنش شوری، همبستگی آن با پایداری غشا سلولی و تعدیل و تنظیم اسمزی در جهت حفظ تورژسانس سلولی نسبت داد (Mohammadi et al., 2022).

جدول ۳. تأثیرات سه‌جانبه تنش شوری، تلقیح با قارچ مایکوریزا و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با برش‌دهی اثرات متقابل قارچ مایکوریزا × اسید سالیسیلیک بر محتوای نسبی آب در جو. M: مایکوریزا، Mo: تیمار بدون کاربرد مایکوریزا، M1: با کاربرد مایکوریزا، SA: اسید سالیسیلیک، SA0: بدون کاربرد اسید سالیسیلیک، SA1: با اسید سالیسیلیک ۰/۶ میلی مولار، SA2: با اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار، MS: میانگین مربعات.

Table 3. Effects Salinity × mycorrhiza × salicylic acid sliced by mycorrhiza × salicylic acid effects for Relative Water Content of barley. M: Mycorrhiza; Mo: Without mycorrhiza; M1: Using mycorrhiza; SA: Salicylic acid; SA0: Without salicylic acid; SA1: Salicylic acid 0.6 mM; SA2: Salicylic acid 1.2 mM; MS: Mean squares

SA	M	MS	Pr > F
SA0	Mo	0.08	0.0006**
SA0	M1	0.25	<0.0001**
SA1	Mo	0.05	0.0092**
SA1	M1	0.01	0.34 ^{ns}
SA2	Mo	0.02	0.186 ^{ns}
SA2	M1	0.14	<0.0001**

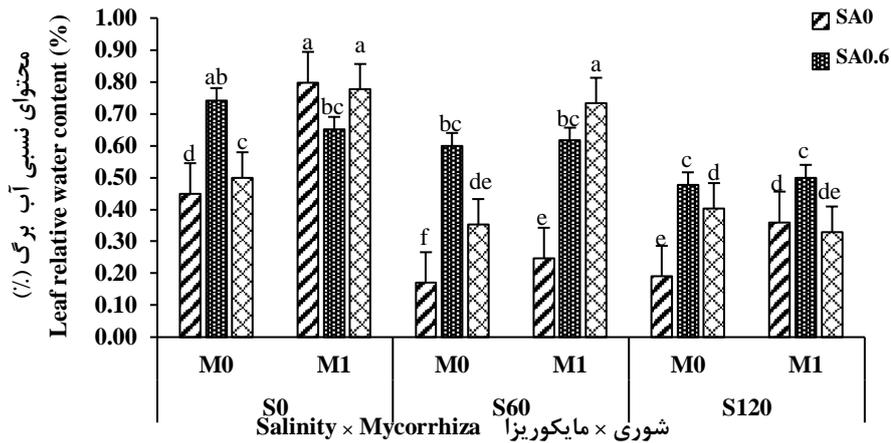
* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱. ns: غیر معنی‌دار ns, ** and * indicate non-significance and significance at 1 and 5% statistical levels, respectively

شاخص پایداری غشای سلولی

مطابق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثرات اصلی شوری و اسید سالیسیلیک در سطح احتمال پنج درصد و اثر اصلی قارچ (جدول ۴) در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل شوری × اسید سالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار به دست آمد و بقیه اثرات متقابل دو و سه‌جانبه غیر معنی‌دار بود.

به ترکیب تیماری شوری ۶۰ × اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار و ترکیب تیماری شوری ۱۲۰ × اسید سالیسیلیک ۰/۶ میلی مولار به ترتیب به‌اندازه ۱۲/۹۶ و ۲۴/۴۹ درصد افزایش داشت. در بررسی اثر قارچ × اسید سالیسیلیک، بر اساس نتایج تجزیه اثرات سه‌جانبه و برش‌دهی اثر متقابل مصرف قارچ × اسید سالیسیلیک از اثرات سه‌جانبه، ترکیب تیماری مصرف قارچ × اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار که به‌اندازه ۱۲۵/۹۲ درصد نسبت به شاهد محتوای نسبی آب برگ بیشتری داشت، اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان داد (جدول ۳). در مورد اثرات سه‌جانبه در تیمارهای تحت تنش شوری، بالاترین محتوای نسبی آب برگ در ترکیب تیماری شوری ۶۰ میلی مولار × مصرف قارچ × اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار به دست آمد که نسبت به شاهد به میزان ۶۲/۲۲ درصد افزایش داشت (شکل ۱).

کاهش محتوای نسبی آب برگ به‌طور آشکارا اولین علامت تنش محدودیت آب در گیاهان است (Jam et al., 2024). تنش شوری باعث کاهش قابلیت جذب آب توسط ریشه می‌شود که در نتیجه محتوای نسبی آب را کاهش می‌دهد (Mohammadi et al., 2022). گیاهان تحت تنش شوری اثرات اسمزی از خود نشان می‌دهند بدین نحو که با جذب آب کمتر که در تنش اتفاق می‌افتد، املاح غلیظ‌تر شده و فشار تورگر کاسته می‌شود که توأم با کاهش محتوای نسبی آب است (Boussora et al., 2024). در تحقیقی بر روی گندم (*Triticum aestivum*) سطوح مختلف نمک محتوای نسبی آب برگ را کاهش داد (Mehrabi et al., 2024). گزارش مشابهی در مورد گیاه بابونه آلمانی *Matricaria chamomile* و ریحان *Ocimum basilicum L.* (Mohammadi et al., 2022) محققان دریافتند که مایکوریزا باعث افزایش محتوای نسبی آب در گیاه نخود (*Cicer arietinum*) تحت تنش شوری شد (Huang et al., 2024). قارچ مایکوریزا با افزایش سیستم ریشه دهی و ایجاد یک سیستم ریشه‌ای قوی و گسترش شبکه هیف خارجی خود و افزایش سطح جذب ریشه در ذرت (*Zea mays*)، موجب استفاده از حجم بیشتر خاک و در نتیجه بهبود جذب آب و عناصر غذایی گشته در نتیجه بر محتوای نسبی آب برگ تأثیر فزاینده می‌گذارد (Koochekzadeh et al., 2023). در یک بررسی بر روی برنج (*Oryza sativa*) اسید سالیسیلیک محتوای نسبی آب را در تنش شوری تحت تأثیر



شکل ۱. اثر متقابل سه‌جانبه سطوح شوری و سالیسیلیک اسید و میکوریزا بر محتوای نسبی آب سلولی برگ در جو. میانگین‌ها همراه اشتباه استاندارد آورده شده است. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن می‌باشد. سطوح مختلف شوری (S0، S60 و S120) به ترتیب صفر، ۶۰، ۱۲۰ میلی مولار، سطوح مختلف قارچ (M0 و M1) به ترتیب با مصرف قارچ میکوریزا و بدون مصرف قارچ میکوریزا و سطوح مختلف اسید سالیسیلیک (SA0، SA0.6 و SA1.2) به ترتیب صفر، ۰/۶، ۱/۲ میلی مولار. خطوط بالای ستونها خطای استاندارد آزمایشگاه داده‌ها را نشان می‌دهد.

Fig. 1. Mean comparison of the salinity × mycorrhiza × salicylic acid interaction effects on the leaf Relative Water Content (%RWC) of *Hordeum vulgare* Fortuna. Means ± S.E. with at least one common letter in each chart using Duncan test have no significant difference at the 5% probability level. ns, ** and * indicate insignificance and significance at the statistical level of 1 and 5%, respectively. S= Salt stress (0, 60, 120 mmolar), M= mycorrhiza (0, 1), SA= salicylic acid (0, 0.6, 1.2 mmolar). The lines above the columns show the standard error of the mean of the data.

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های حداقل مربعات اثر اصلی سطوح مختلف میکوریزا بر شاخص پایداری غشای سلولی جو. M: میکوریزا، Mo: تیمار بدون کاربرد میکوریزا، M1: با کاربرد میکوریزا، LS Means: میانگین حداقل مربعات.

شکل ۲. مقایسه میانگین نسبت به شاهد گردید (شکل ۲). اثرات دوجانبه شوری × اسید سالیسیلیک با برش‌دهی اثر اسید سالیسیلیک بر محتوای نسبی آب برای مقایسات ترکیبات تیماری در جدول ۵ گردآوری شده است. اثرات متقابل شوری × قارچ، قارچ × اسید سالیسیلیک و شوری × قارچ × اسید سالیسیلیک تأثیر معنی‌داری بر شاخص پایداری غشای سلولی نداشت.

Table 4. Comparison Least Square Means main effects of mycorrhiza on Membrane Stability Index on Barley. M: Mycorrhiza; Mo: Without mycorrhiza; M1: Using mycorrhiza; LS Means: Least Square Means

M	LS Means	Pr> t
M0	94.37	<0.0001**
M1	95.66	

** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱.

** indicate significance at 1% statistical levels.

در یک بررسی بر روی نخودفرنگی (*Pisum sativum*)، شاخص پایداری غشا در تنش شوری نسبت به شاهد کاهش یافت (Youssef et al., 2023). در هنگام تنش شوری، نشت الکترولیتی افزایش و در نتیجه شاخص پایداری غشای سلولی کاهش می‌یابد به دلیل اینکه در شرایط تنش گونه‌های فعال اکسیژن افزایش‌یافته سبب پراکسیداسیون لیپیدی شده

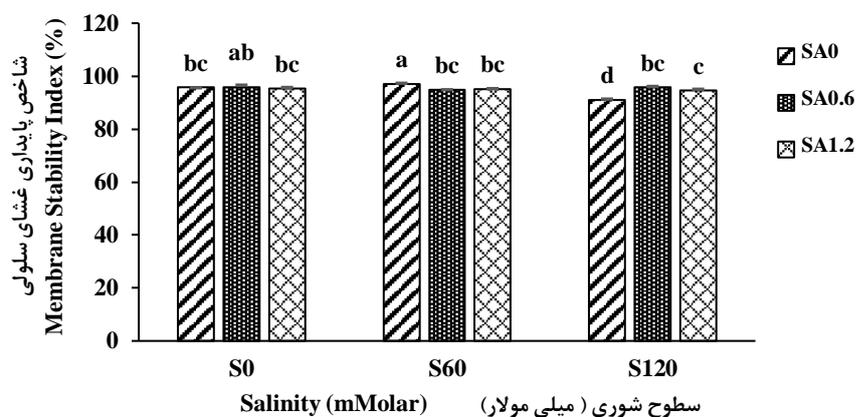
شاخص پایداری غشای سلولی در سطح شوری ۱۲۰ میلی مولار به اندازه ۲ درصد نسبت به شاهد کاهش داشت و در سطح شوری ۶۰ میلی مولار تفاوت چندانی نسبت به شاهد نشان نداد. مصرف قارچ ۱/۳۷ درصد نسبت به شاهد، شاخص پایداری غشای سلولی را در برگ جو افزایش داد. در بررسی اثر اسید سالیسیلیک، غلظت ۰/۶ میلی مولار به میزان ۰/۹۵ درصد و غلظت ۱/۲ میلی مولار ۰/۴۴ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد. در مورد اثرات متقابل دوجانبه شوری × اسید سالیسیلیک، کمترین میزان شاخص پایداری غشای

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های حداقل مربعات ترکیبات تیماری مختلف شوری × اسید سالیسیلیک شاخص پایداری غشای سلولی. S: شوری؛ S0: تیمار بدون شوری؛ S1: با شوری ۶۰ میلی مولار؛ S2: با شوری ۱۲۰ میلی مولار؛ SA: اسید سالیسیلیک؛ SA0: بدون کاربرد اسید سالیسیلیک؛ SA1: با اسید سالیسیلیک ۰/۶ میلی مولار؛ SA2: با اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار؛ LS Means: میانگین حداقل مربعات؛ LS Means Number: شماره مقایسات میانگین حداقل مربعات.

Table 5. Comparison Least Square Means for effect Salinity × Salicylic acid of Membrane Stability Index Barley. S: Salinity; S0: None salinity; S1: Salinity 60 mM; S2: Salinity 120 mM; SA: Salicylic acid; SA0: Without salicylic acid; SA1: Salicylic acid 0.6 mM; SA2: Salicylic acid 1.2 mM; LS Means: Least Square Means; LS Means Number: Least Square Means Number.

Least Square Means (میانگین حداقل مربعات)									
S	S0	S0	S0	S1	S1	S1	S2	S2	S2
SA	SA0	SA0	SA0	SA1	SA1	SA1	SA2	SA2	SA2
LS Means	95.75	95.92	95.28	97.05	94.80	95.15	90.94	95.70	94.55
Number LS Means	1	2	3	4	5	6	7	8	9

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1								
2	0.76	1							
3	0.41	0.27	1						
4	0.03	0.05	0.004	1					
5	0.1	0.06	0.41	0.0004	1				
6	0.29	0.18	0.81	0.002	0.55	1			
7	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	1		
8	0.94	0.71	0.46	0.024	0.12	0.33	<0.0001	1	
9	0.04	0.02	0.21	0.0001	0.66	0.30	<0.0001	0.05	1



شکل ۲. اثر متقابل کاربرد اسید سالیسیلیک و سطوح مختلف شوری بر شاخص پایداری غشای سلولی برگ در جو. میانگین‌ها همراه اشتباه استاندارد آورده شده است. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن است. سطوح مختلف شوری (S0، S60 و S120) به ترتیب صفر، ۶۰، ۱۲۰ میلی مولار و سطوح مختلف اسید سالیسیلیک (SA0، SA0.6 و SA1.2) به ترتیب صفر، ۰/۶، ۱/۲ میلی مولار است. خطوط بالای ستونها خطای استاندارد از میانگین داده‌ها را نشان می‌دهد.

Fig. 2. Mean comparison of the salinity × salicylic acid interaction effects on Membrane Stability Index (MSI) of *Hordeum vulgare* Fortuna. Means ± S.E. with at least one common letter in each chart using Duncan test have no significant difference at the 5% probability level. ns, ** and * indicate insignificance and significance at the statistical level of 1 and 5%, respectively. S= Salt stress (0, 60, 120 mmolar), SA= salicylic acid (0, 0.6, 1.2 mmolar). The lines above the columns show the standard error of the mean of the data.

معنی‌داری از شوری متأثر شد و با افزایش سطح نمک هر دو کاهش معنی‌داری یافت. در این آزمایش در تنش شوری، میکوریزا شادابی ریشه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد

در نتیجه باعث کاهش پایداری غشای سلولی (Mohammadi et al., 2022). در بررسی دیگری بر روی *Zelkova serrate* شاخص پایداری غشای سلولی و طراوت ریشه به‌طور

تیماری شوری ۶۰ × اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار و شوری ۱۲۰ × اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار، به یک اندازه بالاترین عملکرد را در تیمارهای تحت تنش از خود نشان دادند (شکل ۳). مقایسات سطوح مختلف تیماری اثر متقابل شوری × اسید سالیسیلیک در جدول ۷ مشخص شده است. مقایسات میانگین اثر متقابل شوری × اسید سالیسیلیک با برش‌دهی اثر اسید سالیسیلیک نشان‌دهنده معنی‌دار بودن سطوح تیمار اسید سالیسیلیک در اثر دوجانبه بوده است (جدول ۸).

جدول ۶. مقایسه میانگین‌های حداقل مربعات اثر اصلی سطوح مختلف میکوریزا بر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II جو. M: میکوریزا، Mo: تیمار بدون کاربرد میکوریزا، M1: با کاربرد میکوریزا، LS Means: میانگین حداقل مربعات.

Table 6. Comparison Least Square Means main effects of mycorrhiza on Quantum yield of photosystem II on Barley. M: Mycorrhiza; Mo: Without mycorrhiza; M1: Using mycorrhiza; LS Means : Least Square Means.

M	LS Means	Pr> t
MO	0.64	0.029*
M1	0.68	

* معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵.

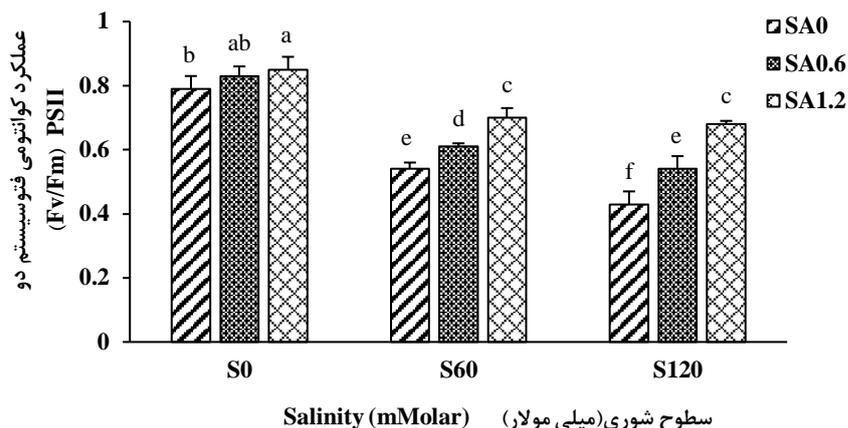
* indicate significance at 5% statistical levels.

در یک بررسی بر روی گندم، شاخص کارایی فتوسیستم های برگ‌های تحت تنش شوری دیده در مقایسه با شاهد کاهش معنی‌دار داشته است (Habibi and Hosseini, 2020). در آزمایشی بر روی گیاه پنبه عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو بر اثر تنش شوری به طور معنی‌داری کاهش یافت. با مصرف میکوریزا عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو افزایش نشان داد. قارچ میکوریزا با تنظیم پارامترهای فلورسانس برگ رشد گیاه پنبه را تحت تنش شوری بهبود می‌بخشد (Zhang et al., 2024). محققان نشان دادند که مصرف میکوریزا در تنش شوری می‌تواند عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو را بهبود دهد. در آزمایشی مشاهده شد که تنش نمک به ساختار فتوسنتزی ری‌گراس چندساله (*Lolium prenes*) آسیب می‌رساند و با مصرف میکوریزا شوری نمی‌تواند ضربه مهمی را بر پارامترهای فلورسانس کلروفیلی برگ وارد کند که شاید به دلیل تخریب اسیمیلات و توانایی تنظیم دستگاه‌های فتوسنتزی در تنش شوری باشد یا به دلیل این باشد که شوری نخست هدایت روزنه‌ای را

(Wang et al., 2020). گزارش شده است در شرایط تنش، نشستی غشا در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا به دلیل کم کردن تنش اکسیداتیو کمتر از عدم کاربرد میکوریزا بود. میکوریزا و کودهای زیستی با افزایش جذب مواد معدنی و افزایش تولید آنتی‌اکسیدان‌ها موجب افزایش پایداری غشای سلولی می‌شود (Aghaie et al., 2022). محلول پاشی اسید سالیسیلیک در تیمارهای تحت تنش شوری به طور معنی‌داری باعث افزایش شاخص پایداری غشای سلولی گیاه خودفرنگی گردید (Youssef et al., 2023). در تحقیق دیگری روی گیاه گندم (*Triticum aestivum*) مشاهده شد تیمار توأم اسید سالیسیلیک و میکوریزا به طور معنی‌داری اثرات منفی تنش خشکی بر شاخص پایداری غشای سلولی را کاهش داد (Fayez et al., 2024). تأثیر اسید سالیسیلیک بر کاهش نشت یونی و افزایش شاخص پایداری غشاء تحت تنش شوری گزارش شده است (Mohammadi et al., 2022).

عملکرد کوانتومی فتوسیستم II

مطابق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثرات اصلی شوری و اسید سالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد، اثر اصلی قارچ در سطح احتمال پنج درصد و اثر متقابل شوری × اسید سالیسیلیک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار به دست آمد. بقیه اثرات متقابل دو و سه‌جانبه غیر معنی‌دار بود. عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو با افزایش سطح شوری روند کاهشی داشت. در غلظت‌های ۱۲۰ میلی مولار و ۶۰ میلی مولار به ترتیب به‌اندازه ۳۲/۹۲ و ۲۴/۳۹ درصد نسبت به شاهد کاهش داشت. مصرف قارچ ۶/۲۵ درصد نسبت به شاهد، عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو را در برگ جو افزایش داد. در مقایسه میانگین سطوح تیماری قارچ این افزایش معنی‌دار نشان داده شده است (جدول ۶). در بررسی اثر اسید سالیسیلیک، غلظت ۰/۶ میلی مولار به میزان ۱۰ درصد و غلظت ۱/۲ میلی مولار ۲۰ درصد نسبت به شاهد باعث افزایش عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو گردید. در مورد اثرات دوجانبه شوری × اسید سالیسیلیک، کمترین میزان عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو در شوری ۱۲۰ میلی مولار × اسید سالیسیلیک صفر بود که نسبت به شاهد ۴۵/۵۷ درصد کاهش داشت. بیشترین میزان عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو در شوری صفر × اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار بود که نسبت به شاهد ۷/۵۹ درصد افزایش داشت. بر اساس مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد، ترکیبات



شکل ۳. اثر متقابل کاربرد سالیسیلیک اسید و سطوح مختلف شوری بر بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) در جو. میانگین‌ها همراه اشتباه استاندارد آورده شده است. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن است. سطوح مختلف شوری (S0، S60، S120) به ترتیب صفر، ۶۰، ۱۲۰ میلی مولار و سطوح مختلف اسید سالیسیلیک (SA0، SA0.6، SA1.2) به ترتیب صفر، ۰/۶، ۱/۲ میلی مولار است. خطوط بالای ستونها خطای استاندارد از میانگین داده‌ها را نشان می‌دهد.

Fig. 3. Mean comparison of the salinity × salicylic acid interaction effects on PSII (Fv/Fm) of *Hordeum vulgare* Fortuna. Means±S.E. with at least one common letter in each chart using Duncan test have no significant difference at the 5% probability level. ns, ** and * indicate insignificance and significance at the statistical level of 1 and 5%, respectively. S= Salt stress (0, 60, 120 mmolar), SA= salicylic acid (0, 0.6, 1.2 mmolar). The lines above the columns show the standard error of the mean of the data.

جدول ۷. مقایسه میانگین‌های حداقل مربعات ترکیبات تیماری مختلف شوری × اسید سالیسیلیک عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو جو. S0: شوری؛ S1: تیمار بدون شوری؛ S2: شوری ۶۰ میلی مولار؛ S3: شوری ۱۲۰ میلی مولار؛ SA: اسید سالیسیلیک؛ SA0: بدون کاربرد اسید سالیسیلیک؛ SA1: با اسید سالیسیلیک ۰/۶ میلی مولار؛ SA2: با اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار؛ LS Means: میانگین حداقل مربعات؛ LS Means Number: شماره مقایسات میانگین حداقل مربعات.

Table 7. Comparison Least Square Means for effect Salinity × Salicylic acid of Quantum yield of photosystem II of Barley. S: Salinity; S0: None salinity; S1: Salinity 60 mM; S2: Salinity 120 mM; SA: Salicylic acid; SA0: Without salicylic acid; SA1: Salicylic acid 0.6 mM; SA2: Salicylic acid 1.2 mM; LS Means: Least Square Means; LS Means Number: Least Square Means Number.

Least Square Means (میانگین حداقل مربعات)									
S	S0	S0	S0	S1	S1	S1	S2	S2	S2
SA	SA0	SA0	SA0	SA1	SA1	SA1	SA2	SA2	SA2
LS Means	0.79	0.82	0.85	0.53	0.60	0.70	0.42	0.54	0.68
Number LS Means	1	2	3	4	5	6	7	8	9

j/i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1								
2	0.38	1							
3	0.13	0.51	1						
4	<0.0001	<0.0001	<0.0001	1					
5	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.07	1				
6	0.02	0.002	0.0004	<0.0001	0.012	1			
7	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.006	<0.0001	<0.0001	1		
8	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.93	0.09	0.0001	0.005	1	
9	0.006	0.0006	<0.0001	0.0004	0.04	0.59	<0.0001	0.0005	1

نمی‌گیرد. در تحقیق دیگر که بر روی برنج تحت تنش شوری و با مصرف مایکوزیما انجام شده است، مایکوزیما باعث حفاظت

کاهش می‌دهد بدین ترتیب فتوسنتز کاهش یافته و فتوسیستم دو در مراحل اولیه استرس شوری تحت تأثیر قرار

کوانتومی فتوسیستم دو در شرایط تنش تأثیرگذار باشد (Sperdoui et al., 2024). در بررسی دیگری کاربرد اسید سالیسیلیک عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو را به طریق فتوشیمیایی با تقویت کارایی کمپلکس در حال تشکیل اکسیژن و افزایش کسر مراکز واکنش باز فتوسیستم دو، افزایش داد (Moustakas et al., 2023).

محتوای کلروفیل a

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، اثر اصلی قارچ (جدول ۹) و اثر متقابل شوری × اسید سالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار به دست آمد. بقیه اثرات متقابل دو و سه‌جانبه غیر معنی‌دار بود (جدول ۲). کلروفیل a با افزایش سطح شوری روند کاهشی داشته و در غلظت‌های ۱۲۰ میلی مولار و ۶۰ میلی مولار به ترتیب ۱۲ و ۲/۳۲ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد. مصرف قارچ ۹/۹۱ درصد نسبت به شاهد، کلروفیل a را در برگ جو افزایش داد. در بررسی اثر اسید سالیسیلیک، غلظت ۱/۲ میلی مولار ۴۱/۴۷ درصد و غلظت ۰/۶ میلی مولار به میزان ۱۴ درصد نسبت به شاهد باعث افزایش کلروفیل a گردید. در مورد اثرات دوجانبه شوری × اسید سالیسیلیک، بیشترین میزان کلروفیل a در شوری ۱۲۰ میلی مولار × اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار حاصل شد که به اندازه ۲۷/۸۴ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. کمترین میزان کلروفیل a مربوط به ترکیب تیماری شوری ۱۲۰ میلی مولار × اسید سالیسیلیک صفر بود که نسبت به شاهد ۳۵/۱۴ درصد کاهش داشت (شکل ۴). اثرات متقابل شوری × قارچ، قارچ × اسید سالیسیلیک و شوری × قارچ × اسید سالیسیلیک تأثیر معنی‌داری بر کلروفیل a نداشت. مقایسات میانگین سطوح تیماری اثر متقابل شوری × اسید سالیسیلیک در جدول ۱۰ گردآوری شده است. تجزیه واریانس اثرات متقابل شوری × اسید سالیسیلیک با برش‌دهی اثر اسید سالیسیلیک بر محتوای کلروفیل a نشان می‌دهد که تأثیر اسید سالیسیلیک ۰/۶ میلی مولار نسبت به ۱/۲ میلی مولار معنی‌دار بوده است (جدول ۱۱).

محتوای کلروفیل b

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، اثر متقابل شوری × اسید سالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار به دست آمد. اثر اصلی قارچ و سایر اثرات متقابل دو و سه‌جانبه

از دستگاه‌های فتوسنتزی گیاه برنج با تقویت عملکرد کوانتومی واقعی فتوسیستم دو به طریق فتوشیمیایی و القای خاموشی غیر فتوشیمیایی باعث افزایش عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو گردید (Wei et al., 2023). کاربرد میکوریزا باعث کاهش فلورسانس حداقل در شرایط تنش شد. اصولاً مقدار فلورسانس کلروفیل در زمانی که پذیرنده الکترون (کوئینون) در حالت احیا باشد زیاد است به این دلیل مقدار Fv نیز زیاد می‌شود ولی زمانی که کوئینون در حالت اکسیداسیون است مقدار فلورسانس کلروفیل a کم می‌شود، در این حالت میزان Fv کاهش می‌یابد.

جدول ۸. تأثیرات سطوح اسید سالیسیلیک پس از برش‌دهی اثر اسید سالیسیلیک از اثرات متقابل شوری × اسید سالیسیلیک بر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II جو. SA: اسید سالیسیلیک؛ SA0: بدون کاربرد اسید سالیسیلیک؛ SA1: با اسید سالیسیلیک ۰/۶ میلی مولار؛ SA2: با اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار؛ MS: میانگین مربعات.

Table 8. Effects of salicylic acid levels of Salinity × Salicylic acid sliced by SA on Quantum yield of photosystem II of Barley. SA: Salicylic acid; SA0: Without salicylic acid; SA1: Salicylic acid 0.6 mM; SA2: Salicylic acid 1.2 mM; MS: Mean Squares

SA	MS	F	Pr > F
SA0	0.21	50.13	<0.0001**
SA1	0.13	32.14	<0.0001**
SA2	0.05	11.93	0.0001**

** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱.

** indicate significance at 1% statistical levels.

به‌طور کلی فلورسانس متغیر به تغییرات فراساختاری حساس بوده و تنش‌های محیطی میزان فلورسانس متغیر را به علت ممانعت از فتواکسیداسیون فتوسیستم دو کاهش می‌دهد (Aghaie et al., 2022). مصرف اسید سالیسیلیک به‌تنهایی در شرایط شور نتوانست تأثیر منفی شوری بر کارایی فتوسیستم‌ها را تخفیف دهد (Habibi and Hosseini, 2020). در بررسی دیگر بر روی گیاه ریحان کاربرد اسید سالیسیلیک از طریق القای خاموشی غیر فتوشیمیایی، عملکرد فتوسیستم دو را تقویت کرد و بدین ترتیب باعث از هم پاشیدن انرژی تحریک‌شده اضافی در شرایط بدون تنش گردید و در شرایط تنش و حالت اکسایشی، پلاستوکوئینون با حفظ سرعت جابجایی الکترون‌ها همانند سرعت جابجایی در گیاه شاهد، شروع به ایجاد سازگاری در گیاه کرد. بنابراین اسید سالیسیلیک با مکانیسم‌هایی می‌تواند بر عملکرد

ترکیبات تیماری شوری × اسید سالیسیلیک در جدول ۱۲ آورده شده است.

جدول ۹. مقایسه میانگین‌های حداقل مربع اثر اصلی سطوح مختلف مایکوریزا بر محتوای کلروفیل a جو. M: مایکوریزا، Mo: تیمار بدون کاربرد مایکوریزا، M1: با کاربرد مایکوریزا، LS Means: میانگین حداقل مربع.

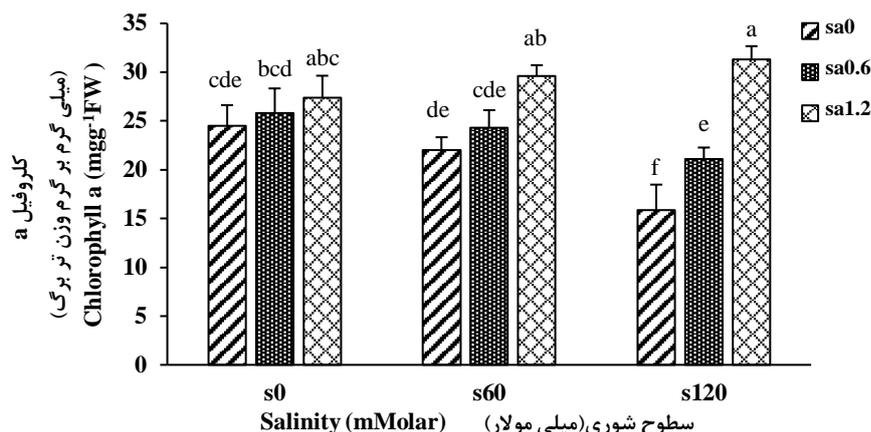
Table 9. Comparison Least Square Means mycorrhiza main effects on chlorophyll a of Barley. M: Mycorrhiza; Mo: Without mycorrhiza; M1: Using mycorrhiza; LS Means : Least Square Means.

M	LS Means	Pr> t
Mo	23.49	0.01**
M1	25.82	

** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱.

** indicate significance at 1% statistical levels.

غیر معنی‌دار بود (جدول ۲). کلروفیل b با افزایش سطح شوری روند کاهشی داشته و در غلظت‌های ۱۲۰ میلی مولار و ۶۰ میلی مولار به ترتیب ۳۲ و ۲۴/۲۵ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد. مصرف قارچ بر میزان کلروفیل b غیر معنی‌دار بود. در بررسی اثر اسید سالیسیلیک، غلظت ۱/۲ میلی مولار ۶۷/۷۴ درصد و غلظت ۰/۶ میلی مولار به میزان ۶۱/۲۷ درصد نسبت به شاهد، باعث افزایش کلروفیل b گردید. در مورد اثرات دوجانبه شوری × اسید سالیسیلیک، بیشترین میزان کلروفیل b در شوری ۶۰ میلی مولار × اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار حاصل شد که به اندازه ۴/۸۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. کمترین میزان کلروفیل b مربوط به ترکیب تیماری شوری ۱۲۰ میلی مولار × اسید سالیسیلیک صفر بود که نسبت به شاهد ۷۳/۴۱ درصد کاهش داشت (شکل ۵). مقایسات میانگین سطوح مختلف



شکل ۴. اثر متقابل کاربرد سالیسیلیک اسید و سطوح مختلف شوری بر محتوای کلروفیل a در برگ جو. میانگین‌ها همراه اشتباه استاندارد آورده شده است. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن است. سطوح مختلف شوری (S0، S60 و S120) به ترتیب صفر، ۶۰، ۱۲۰ میلی مولار و سطوح مختلف اسید سالیسیلیک (SA0، SA0.6 و SA1.2) به ترتیب صفر، ۰/۶، ۱/۲ میلی مولار است. خطوط بالای ستونها خطای استاندارد از میانگین داده‌ها را نشان می‌دهد.

Fig. 4. Mean comparison of the salinity × salicylic acid interaction effects on chlorophyll a of Hordeum vulgare Fortuna. Means±S.E. with at least one common letter in each chart using the Duncan test have no significant difference at the 5% probability level. ns, ** and * indicate insignificance and significance at the statistical level of 1 and 5%, respectively. S= Salt stress (0, 60, 120 mmolar), SA= salicylic acid (0, 0.6, 1.2 mmolar). The lines above the columns show the standard error of the mean of the data.

کلروفیل کل با افزایش سطح شوری روند کاهشی داشته و در غلظت‌های ۱۲۰ میلی مولار و ۶۰ میلی مولار به ترتیب ۱۹/۸ و ۱۰/۸۹ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد. مصرف قارچ ۱۱/۱۸ درصد نسبت به شاهد، کلروفیل کل را در برگ جو افزایش داد. در بررسی اثر اسید سالیسیلیک، غلظت ۱/۲ میلی

محتوای کلروفیل کل

مطابق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، در مورد اثرات اصلی شوری، قارچ، اسید سالیسیلیک و اثر متقابل شوری × اسید سالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار به دست آمد. بقیه اثرات متقابل دو و سه‌جانبه غیر معنی‌دار بود.

سالیسیلیک صفر بود که نسبت به شاهد ۴۹/۱۱ درصد کاهش داشت (شکل ۶).

مقایسات میانگین ترکیبات تیماری اثر متقابل شوری × اسید سالیسیلیک نشان داده شده است (جدول ۱۴). اثر اسید سالیسیلیک با برش دهی اثر متقابل شوری × اسید سالیسیلیک در سطح ۰/۶ میلی مولار در سطح احتمال ۰/۰۵ معنی دار شد (جدول ۱۵).

مولار ۳۲/۷۹ درصد و غلظت ۰/۶ میلی مولار به میزان ۲۶/۹۴ درصد نسبت به شاهد باعث افزایش کلروفیل کل گردید. مصرف قارچ بر کلروفیل کل تأثیر معنی دار داشت (جدول ۱۳). در مورد اثرات دوجانبه شوری × اسید سالیسیلیک، بیشترین میزان کلروفیل کل در شوری ۶۰ میلی مولار × اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار حاصل شد که به اندازه ۱۴/۹۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. کمترین میزان کلروفیل کل مربوط به ترکیب تیماری شوری ۱۲۰ میلی مولار × اسید

جدول ۱۰. مقایسه میانگین های حداقل مربعات ترکیبات تیماری مختلف شوری × اسید سالیسیلیک محتوای کلروفیل a جو. S: شوری؛ So: تیمار بدون شوری؛ S1: با شوری ۶۰ میلی مولار؛ S2: با شوری ۱۲۰ میلی مولار؛ SA: اسید سالیسیلیک؛ SA0: بدون کاربرد اسید سالیسیلیک؛ SA1: با اسید سالیسیلیک ۰/۶ میلی مولار؛ SA2: با اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار؛ LS Means: میانگین حداقل مربعات؛ LS Means Number: شماره مقایسات میانگین حداقل مربعات.

Table 10. Comparison Least Square Means for effect Salinity × Salicylic acid chlorophyll a of Barley. S: Salinity; So: None salinity; S1: Salinity 60 mM; S2: Salinity 120 mM; SA: Salicylic acid; SA0: Without salicylic acid; SA1: Salicylic acid 0.6 mM; SA2: Salicylic acid 1.2 mM; LS Means: Least Square Means; LS Means Number: Least Square Means Number.

S	Least Square Means (میانگین حداقل مربعات)								
	S0	S0	S0	S1	S1	S1	S2	S2	S2
SA	SA0	SA0	SA0	SA1	SA1	SA1	SA2	SA2	SA2
LS Means	24.50	25.82	27.39	22.05	24.28	29.59	15.88	21.09	31.32
Number LS Means	1	2	3	4	5	6	7	8	9

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1								
2	0.47	1							
3	0.12	0.4	1						
4	0.19	0.05	0.006	1					
5	0.90	0.4	0.099	0.23	1				
6	0.009	0.05	0.24	0.0002	0.006	1			
7	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0019	<0.0001	<0.0001	1		
8	0.07	0.014	0.001	0.6	0.09	<0.0001	0.0076	1	
9	0.0007	0.005	0.04	<0.0001	0.0005	0.35	<0.0001	<0.0001	1

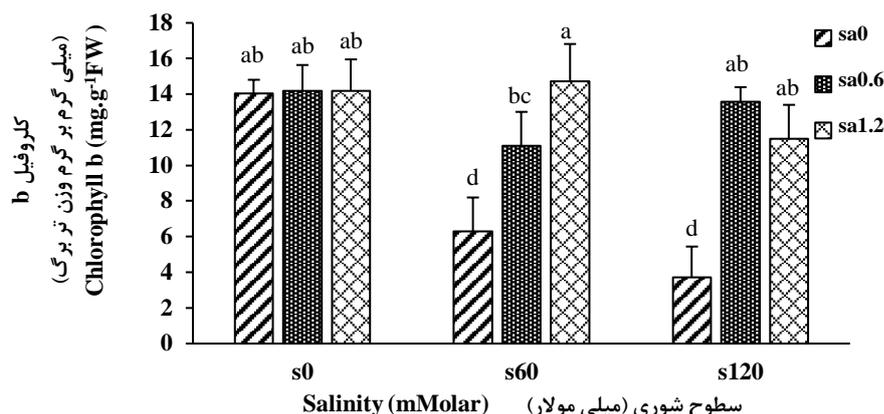
جدول ۱۱. تأثیرات سطوح اسید سالیسیلیک پس از برش دهی اثر اسید سالیسیلیک از اثرات متقابل شوری × اسید سالیسیلیک بر محتوای کلروفیل a جو. SA: اسید سالیسیلیک؛ SA0: بدون کاربرد اسید سالیسیلیک؛ SA1: با اسید سالیسیلیک ۰/۶ میلی مولار؛ SA2: با اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار؛ MS: میانگین مربعات.

Table 11. Effects of salicylic acid levels of Salinity × Salicylic acid sliced by SA on chlorophyll a of Barley. SA: Salicylic acid; SA0: Without salicylic acid; SA1: Salicylic acid 0.6 mM; SA2: Salicylic acid 1.2 mM; MS: Mean Squares

SA	MS	F	Pr > F
SA0	118.21	11.71	<0.0001**
SA1	34.92	3.46	0.043*
SA2	23.36	2.31	0.11 ^{ns}

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱؛ ns: غیر معنی دار.

ns, ** and * indicate non-significance and significance at 1 and 5% statistical levels, respectively.



شکل ۵. اثر متقابل کاربرد اسیدسالیسیلیک و سطوح شوری بر محتوای کلروفیل b برگ جو. میانگین‌ها همراه خطای معیار آمده است. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن است. سطوح مختلف شوری (S0، S60 و S120) به ترتیب صفر، ۶۰، ۱۲۰ میلی مولار و سطوح مختلف اسید سالیسیلیک (SA0، SA0.6 و SA1.2) به ترتیب صفر، ۰/۶، ۱/۲ میلی مولار است. خطوط بالای ستونها خطای استاندارد آزمایشگاه داده‌ها را نشان می‌دهد.

Fig. 5. Mean comparison of the salinity × salicylic acid interaction effects on chlorophyll b of *Hordeum vulgare* Fortuna. Means±S.E. with at least one common letter in each chart using Duncan test have no significant difference at the 5% probability level. ns, ** and * indicate insignificance and significance at the statistical level of 1 and 5%, respectively. S= Salt stress (0, 60, 120 mmolar), SA= salicylic acid (0, 0.6, 1.2 mmolar). The lines above the columns show the standard error of the mean of the data.

جدول ۱۲. مقایسه میانگین‌های حداقل مربعات ترکیبات تیماری مختلف شوری × اسید سالیسیلیک محتوای کلروفیل b جو. S: شوری؛ S0: تیمار بدون شوری؛ S1: با شوری ۶۰ میلی مولار؛ S2: با شوری ۱۲۰ میلی مولار؛ SA: اسید سالیسیلیک؛ SA0: بدون کاربرد اسید سالیسیلیک؛ SA1: با اسید سالیسیلیک ۰/۶ میلی مولار؛ SA2: با اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار؛ LS Means: میانگین حداقل مربعات؛ LS Means Number: شماره مقایسات میانگین حداقل مربعات.

Table 12. Comparison Least Square Means for effect Salinity × Salicylic acid chlorophyll b of Barley. S: Salinity; S0: None salinity; S1: Salinity 60 mM; S2: Salinity 120 mM; SA: Salicylic acid; SA0: Without salicylic acid; SA1: Salicylic acid 0.6 mM; SA2: Salicylic acid 1.2 mM; LS Means: Least Square Means; LS Means Number: Least Square Means Number.

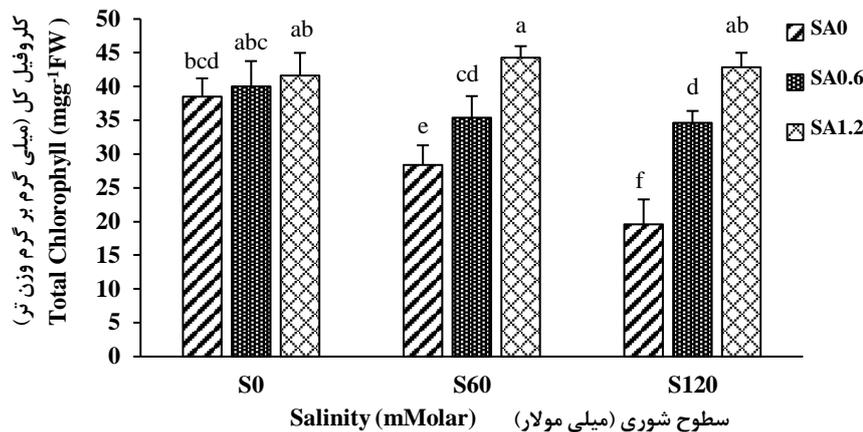
Least Square Means (میانگین حداقل مربعات)									
S	S0	S0	S0	S1	S1	S1	S2	S2	S2
SA	SA0	SA0	SA0	SA1	SA1	SA1	SA2	SA2	SA2
LS Means	14.03	14.19	14.19	6.31	11.09	14.71	3.73	13.57	11.51
Number LS Means	1	2	3	4	5	6	7	8	9
j/i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1								
2	0.92	1							
3	0.92	<0.0001	1						
4	<0.0001	<0.0001	<0.0001	1					
5	0.07	0.06	0.06	0.005	1				
6	0.67	0.74	0.74	<0.0001	0.03	1			
7	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.11	<0.0001	<0.0001	1		
8	0.77	0.7	0.7	<0.0001	0.13	0.48	<0.0001	1	
9	0.12	0.1	0.1	0.002	0.79	0.05	<0.0001	0.2	1

بر آسیمیله شدن نیتروژن داشته باشد و میزان کلروفیل را کاهش دهد (Mohseni Mohammadjanlou et al., 2022). مایکوریزا با تأثیر بر کلونیزاسیون در گیاه نخود باعث افزایش کلروفیل در شرایط تنش شوری گردید (Pooja, et

در تنش شوری غلظت تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اسید آبسزیک و اتیلن که تحریک‌کننده آنزیم کلروفیل‌از هستند، افزایش‌یافته و به‌این‌ترتیب کلروفیل‌ها تجزیه می‌شوند (Koochekzadeh et al., 2023). شوری می‌تواند اثر منفی

به واسطه تنظیمات جذب مواد مغذی، بازو بسته شدن روزنه‌ها، بازدارندگی بیوسنتز اتیلن بر فتوسنتز و محتوای کلروفیل تأثیر مثبت گذاشت (Yadav, et al., 2024). در بررسی دیگری بر روی گیاه ریحان بکار بردن اسید سالیسیلیک، اثرات مخرب تنش شوری بر روی محتوای کلروفیلی را تخفیف داد (Silva et al., 2023).

در آزمایشی بر روی گیاه جو تحت شرایط تنش شوری کلروفیل a به طور معنی داری کاهش یافت (Bagues et al., 2024). قارچ مایکوریزا مقدار کلروفیل در گیاه جعفری (*Petroselinum crispum*) مکزیکی را به دلیل جذب بیشتر مواد لازم برای سنتز کلروفیل افزایش داد. در گیاهچه‌های تحت تنش شوری گندم، اسید سالیسیلیک



شکل ۶. اثر متقابل کاربرد سالیسیلیک اسید و سطوح مختلف شوری بر محتوای کلروفیل کل در برگ جو. میانگین‌ها همراه اشتباه استاندارد آورده شده است. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن است. سطوح مختلف شوری (S0، S60 و S120) به ترتیب صفر، ۶۰، ۱۲۰ میلی مولار و سطوح مختلف اسید سالیسیلیک (SA0، SA0.6، SA1.2) به ترتیب صفر، ۰/۶، ۱/۲ میلی مولار است. خطوط بالای ستونها خطای استاندارد از میانگین داده‌ها را نشان می‌دهد.

Fig. 6. Mean comparison of the salinity × salicylic acid interaction effects on total chlorophyll of *Hordeum vulgare* Fortuna. Means±S.E. with at least one common letter in each chart using Duncan test have no significant difference at the 5% probability level. ns, ** and * indicate insignificance and significance at the statistical level of 1 and 5%, respectively. S= Salt stress (0, 60, 120 mmolar), SA= salicylic acid (0, 0.6, 1.2 mmolar). The lines above the columns show the standard error of the mean of the data.

آنتی‌اکسیدان غیر آنزیمی با آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی برهم کنش نشان می‌دهد (Koochekzadeh et al., 2023). به نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک با جلوگیری از تخریب ساختار کلروپلاست در شرایط شور باعث بهبود متابولیسم و تحمل گیاه به شوری می‌شود (Pooja, et al., 2024).

محتوای مالون دی‌آلدئید

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، اثرات اصلی شوری، اسید سالیسیلیک و اثر متقابل شوری × اسید سالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. اثر اصلی قارچ و سایر اثرات متقابل دو و سه‌جانبه غیر معنی دار بود (جدول ۲). مالون دی‌آلدئید با افزایش سطح شوری روند افزایشی داشته و در غلظت‌های ۱۲۰ میلی مولار و ۶۰ میلی مولار به ترتیب ۴۹۲/۸۵ و ۳۸۲/۱۴ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد.

جدول ۱۳. مقایسه میانگین‌های حداقل مربعات اثر اصلی سطوح مختلف مایکوریزا بر محتوای کلروفیل کل جو. M: مایکوریزا، Mo: تیمار بدون کاربرد مایکوریزا، M1: با کاربرد مایکوریزا، LS Means: میانگین حداقل مربعات.

Table 13. Comparison Least Square Means mycorrhiza main effects on total chlorophyll of Barley. M: Mycorrhiza; Mo: Without mycorrhiza; M1: Using mycorrhiza; LS Means : Least Square Means

M	LS Means	Pr> t
M0	34.22	0.0006**
M1	38.07	

** معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱. ** indicate significance at 1% statistical levels.

گزارش شده است اسید سالیسیلیک در غلظت‌های پایین به دلیل تحریک سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه، تحمل به شوری را افزایش داده درحالی‌که در غلظت‌های بالاتر به‌عنوان

مالون دی‌آلدئید نداشت. کمترین محتوای مالون دی‌آلدئید در تیمارهای بدون تنش شوری و یا در تیمارهای تحت تنش بدون محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک حاصل شد. به نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک نتوانسته است محتوای مالون دی‌آلدئید حاصل از پراکسیداسیون لیپیدی غشای سلولی را در تنش شوری کاهش دهد. مقایسات میانگین ترکیبات تیماری شوری × اسید سالیسیلیک در جدول ۱۶ آمده است. سطوح تیمار اسید سالیسیلیک بر محتوای مالون دی‌آلدئید با برش‌دهی اثر اسید سالیسیلیک از اثر متقابل شوری × اسید سالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار به دست آمد (جدول ۱۷).

مصرف قارچ بر میزان مالون دی‌آلدئید غیر معنی‌دار بود. در بررسی اثر اسید سالیسیلیک، غلظت ۱/۲ میلی مولار ۲۹۳ درصد و غلظت ۰/۶ میلی مولار به میزان ۱۹۰ درصد نسبت به شاهد، باعث افزایش مالون دی‌آلدئید گردید. در مورد اثرات دوجانبه شوری × اسید سالیسیلیک، بیشترین میزان مالون دی‌آلدئید در شوری ۱۲۰ میلی مولار × اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار حاصل شد که به اندازه ۷۸۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. کمترین میزان مالون دی‌آلدئید مربوط به ترکیب تیماری شوری صفر × اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار بود که نسبت به شاهد ۲۰ درصد کاهش داشت (شکل ۷). اثرات متقابل (شوری × قارچ)، (قارچ × اسید سالیسیلیک) و (شوری × قارچ × اسید سالیسیلیک) تأثیر معنی‌داری بر

جدول ۱۴. مقایسه میانگین‌های حداقل مربعات ترکیبات تیماری مختلف شوری × اسید سالیسیلیک محتوای کلروفیل کل جو. S: شوری؛ So: تیمار بدون شوری؛ S1: با شوری ۶۰ میلی مولار؛ S2: با شوری ۱۲۰ میلی مولار؛ SA: اسید سالیسیلیک؛ SA0: بدون کاربرد اسید سالیسیلیک؛ SA1: با اسید سالیسیلیک ۰/۶ میلی مولار؛ SA2: با اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار؛ LS Means: میانگین حداقل مربعات؛ LS Means Number: شماره مقایسات میانگین حداقل مربعات.

Table 14. Comparison Least Square Means for effect Salinity × Salicylic acid total chlorophyll Barley. S: Salinity; So: None salinity; S1: Salinity 60 mM; S2: Salinity 120 mM; SA: Salicylic acid; SA0: Without salicylic acid; SA1: Salicylic acid 0.6 mM; SA2: Salicylic acid 1.2 mM; LS Means: Least Square Means; LS Means Number: Least Square Means Number.

Least Square Means (میانگین حداقل مربعات)									
S	S0	S0	S0	S1	S1	S1	S2	S2	S2
SA	SA0	SA0	SA0	SA1	SA1	SA1	SA2	SA2	SA2
LS Means	38.53	40.01	41.58	28.36	35.37	44.31	19.61	34.67	42.83
Number LS Means	1	2	3	4	5	6	7	8	9
j/i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1								
2	0.5	1							
3	0.17	0.48	1						
4	<0.0001	<0.0001	<0.0001	1					
5	0.16	0.04	0.007	0.003	1				
6	0.01	0.06	0.22	<0.0001	0.0002	1			
7	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0003	<0.0001	<0.0001	1		
8	0.08	0.02	0.003	0.006	0.75	<0.0001	<0.0001	1	
9	0.06	0.2	0.57	<0.0001	0.002	0.499	<0.0001	0.0007	1

میکوریزا هر دو افزایش یافت (Basak et al., 2024). در بررسی دیگری محتوای مالون دی‌آلدئید در گیاه فلفل تحت تنش شوری افزایش یافت ولی با مصرف میکوریزا کاهش نشان داد. (Yarsi, 2023). در یک آزمایش بر روی گیاه گندم پرایمینگ اسید سالیسیلیک به‌تنهایی نتوانست از غلظت مالون دی‌آلدئید حاصل از پراکسیداسیون غشاهای بکاهد (Habibi and Hosseini Nejad, 2020). در بررسی دیگر

محتوای مالون دی‌آلدئید در غلظت‌های بالاتر شوری افزایش معنی‌دار و قابل توجهی داشت که این امر نشان‌دهنده آن است که اثر بازدارندگی سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی بر پراکسیداسیون لیپیدی غشا برای غلظت بالاتر نمک ناکافی بوده است. در یک تحقیق بر روی فلفل سبز (Capsicum annuum) در اثر تنش شوری میزان مالون دی‌آلدئید در تیمارهای تحت تنش با مصرف میکوریزا و بدون مصرف

جدول ۱۵. تاثیرات سطوح اسید سالیسیلیک پس از برش دهی اثر اسید سالیسیلیک از اثرات متقابل شوری × اسید سالیسیلیک بر محتوای کلروفیل کل جو. SA: اسید سالیسیلیک؛ SA0: بدون کاربرد اسید سالیسیلیک؛ SA1: با اسید سالیسیلیک ۰/۶ میلی مولار؛ SA2: با اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار؛ MS: میانگین مربعات.

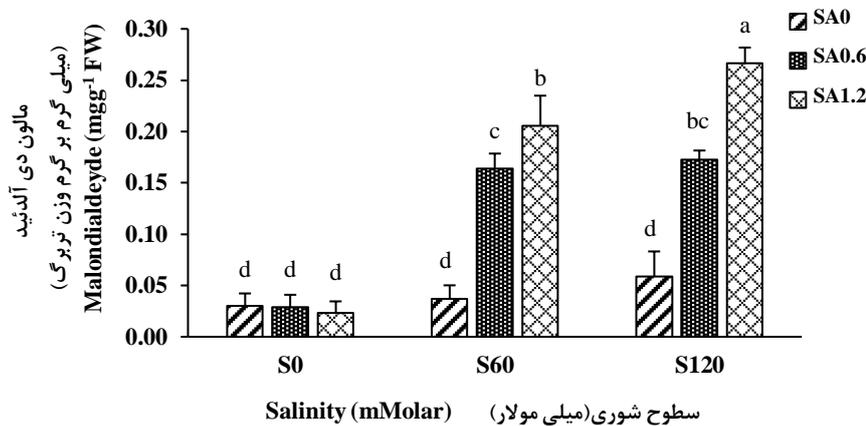
Table 15. Effects of salicylic acid levels of Salinity × Salicylic acid sliced by SA on total chlorophyll of Barley. SA: Salicylic acid; SA0: Without salicylic acid; SA1: Salicylic acid 0.6 mM; SA2: Salicylic acid 1.2 mM; MS: Mean Squares

SA	MS	F	Pr > F
SA0	537.96	37.89	<0.0001**
SA1	50.65	3.57	0.04*
SA2	11.25	0.79	0.46

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

** and * indicate significance at 1 and 5% statistical levels, respectively.

بر روی گیاه برنج تحت تنش شوری، اسید سالیسیلیک باعث افزایش میزان مالون دی آلدئید شد. همچنین در این تحقیق اثر متقابل شوری × اسید سالیسیلیک بیشترین تأثیر را بر کاهش میزان مالون دی آلدئید داشت (Farhangju et al., 2023). در تحقیق دیگری بر روی گیاه تربچه (*Raphanus sativus*) تحت تنش شوری، با مصرف اسید سالیسیلیک محتوای مالون دی آلدئید به همراه سایر آلدئیدها و پرولین و آنتی اکسیدانها افزایش معنی داری یافت که باعث افزایش مقاومت گیاه تربچه به شوری گردید (Mahdavian, 2023). در یک تحقیق بر روی دو رقم گندم، اسید سالیسیلیک باعث کاهش محتوای مالون دی آلدئید حاصله از پراکسیداسیون لیپیدی غشا در گیاه تحت تنش شوری گردید (Saeed et al., 2023).



شکل ۷. اثر متقابل کاربرد اسید سالیسیلیک و سطوح مختلف شوری بر محتوای مالون دی آلدئید سلول برگ در جو. میانگینها همراه اشتباه استاندارد آورده شده است. حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن است. سطوح مختلف شوری (S0، S60 و S120) به ترتیب صفر، ۶۰، ۱۲۰ میلی مولار و سطوح مختلف اسید سالیسیلیک (SA0، SA0.6 و SA1.2) به ترتیب صفر، ۰/۶، ۱/۲ میلی مولار است. خطوط بالای ستونها خطای استاندارد از میانگین داده ها را نشان می دهد.

Fig. 7. Mean comparison of the salinity × salicylic acid interaction effects on Malondialdehyde content of *Hordeum vulgare* Fortuna. Means ± S.E. with at least one common letter in each chart using Duncan test have no significant difference at the 5% probability level. ns, ** and * indicate insignificance and significance at the statistical level of 1 and 5%, respectively. S= Salt stress (0, 60, 120 mmolar), SA= salicylic acid (0, 0.6, 1.2 mmolar). The lines above the columns show the standard error of the mean of the data.

در غلظت های ۱۲۰ میلی مولار و ۶۰ میلی مولار شوری به ترتیب ۹۶/۴۹ و ۱۳۳/۲۲ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد. محتوای پرولین آزاد با مصرف قارچ ۲۲/۲۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. اسید سالیسیلیک تأثیر معنی داری بر محتوای پرولین آزاد نداشت. در مورد اثرات دوجانبه شوری × اسید سالیسیلیک، بیشترین میزان پرولین در شوری ۶۰ میلی

میزان پرولین آزاد

مطابق نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی شوری و قارچ (جدول ۱۸) در سطح احتمال پنج درصد و اثر متقابل شوری × اسید سالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد معنی دار به دست آمد. اثر اصلی عامل اسید سالیسیلیک و سایر اثرات متقابل دو و سه جانبه غیر معنی دار بود (جدول ۲). محتوای پرولین آزاد

میانگین ترکیبات تیماری شوری × اسید سالیسیلیک در جدول ۱۹ آمده است. با برش‌دهی اثر اسید سالیسیلیک از اثرات دوجانبه شوری × اسید سالیسیلیک، اسید سالیسیلیک ۰/۶ میلی مولار تأثیر معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد داشته است. اثر سایر سطوح اسید سالیسیلیک غیر معنی‌دار به دست آمد (جدول ۲۰). تجمع پرولین در شرایط کم‌آبی (خشکی و شوری) پاسخ عمومی بسیاری از گونه‌های گیاهی به شرایط تنش است (Abdoli Nasab and Mohammadi, Sedaran, 2021).

مولار × اسید سالیسیلیک ۰/۶ میلی مولار حاصل شد که به‌اندازه ۱۷۶/۲۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. کمترین پرولین مربوط به ترکیب تیماری شوری صفر × اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار بود که نسبت به شاهد ۱۱/۸۶ درصد کاهش داشت. میزان پرولین در سایر ترکیبات تیماری تحت تنش شوری، بیش از ۷۷ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد (شکل ۸). اثرات دوجانبه (شوری × قارچ)، (قارچ × اسید سالیسیلیک) و اثرات سه‌جانبه (شوری × قارچ × اسید سالیسیلیک) تأثیر معنی‌داری بر پرولین نداشت. مقایسات

جدول ۱۶. مقایسه میانگین‌های حداقل مربعات ترکیبات تیماری مختلف شوری × اسید سالیسیلیک محتوای مالون دی آلدئید جو. S: شوری؛ S0: تیمار بدون شوری؛ S1: با شوری ۶۰ میلی مولار؛ S2: با شوری ۱۲۰ میلی مولار؛ SA: اسید سالیسیلیک؛ SA0: بدون کاربرد اسید سالیسیلیک؛ SA1: با اسید سالیسیلیک ۰/۶ میلی مولار؛ SA2: با اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار؛ LS Means: میانگین حداقل مربعات؛ LS Means Number: شماره مقایسات میانگین حداقل مربعات.

Table 16. Comparison Least Square Means for effect Salinity × Salicylic acid Malondialdehyde of Barley. S: Salinity; So: None salinity; S1: Salinity 60 mM; S2: Salinity 120 mM; SA: Salicylic acid; SA0: Without salicylic acid; SA1: Salicylic acid 0.6 mM; SA2: Salicylic acid 1.2 mM; LS Means: Least Square Means; LS Means Number: Least Square Means Number.

Least Square Means (میانگین حداقل مربعات)									
S	S0	S0	S0	S1	S1	S1	S2	S2	S2
SA	SA0	SA1	SA2	SA0	SA1	SA2	SA0	SA1	SA2
LSMeans	0.030	0.030	0.025	0.035	0.160	0.200	0.057	0.170	0.260
LSMeans Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1								
2	1	1							
3	0.79	0.79	1						
4	0.79	0.79	0.61	1					
5	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	1				
6	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.03	1			
7	0.17	0.17	0.11	0.27	<0.0001	<0.0001	1		
8	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.61	0.093	<0.0001	1	
9	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.004	<0.0001	<0.0001	1

در هر دو شرایط شوری و غیر شوری در گیاهانی مانند گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) و ریحان و برنج میزان پرولین را افزایش داد. در آزمایشی مطالعه برهم‌کنش شوری در اسید سالیسیلیک نشان داد که محتوای پرولین بیشتر از شاهد بود (Farhangju et al., 2023). در گیاه تربچه شوری به‌طور قابل‌توجهی پرولین و آلدئیدها را افزایش داد (Mahdavian, 2023). افزایش پرولین با تیمار اسید سالیسیلیک شاید به دلیل تجمع اسید آبسزیک درون‌زای

پرولین در سلول‌های تحت تنش، با تجمع در سیتوپلاسم سلول‌ها از طریق کاهش پتانسیل اسمزی درون‌سلولی، تجمع نمک را در واکوئل تنظیم می‌کند. در گیاهانی از جمله جو، گندم با تیمار اسید سالیسیلیک تحت تنش پرولین افزایش می‌یابد (Farhangju et al., 2023). در یک آزمایش بر روی *Satureja hortensis* با افزایش تنش خشکی، میزان پرولین بهبود یافت. همچنین تیمارهای توأم مایکوریزا و باکتری باعث کاهش محتوای پرولین در شرایط کم‌آبی و کمبود آب شده است (Ghojavand et al., 2023). تیمار اسید سالیسیلیک

پرولین آن به شدت کاهش یافت (Seyedalikhani and Pazoki, 2023). طبق نتایج حاصله از تحقیقی دیگر بر روی ماش (*Vigna radiata*) به استفاده از اسید سالیسیلیک در تنش شوری برای مقاوم سازی گیاه زراعی در شرایط تنش اشاره شده است (Ogunsiji et al., 2023). اسید سالیسیلیک می تواند باعث القای تجمع پرولین در گیاهچه های گندم با دخالت اسید آبسیزیک گردد (Dris and Marashi, 2019). پرولین در شرایط تنش برای تحریک عملکرد میتوکندری و تغییر تکثیر سلولی، افزایش بیان ژن های بازیابی نقش مهمی دارد (Ghojavand et al., 2023).

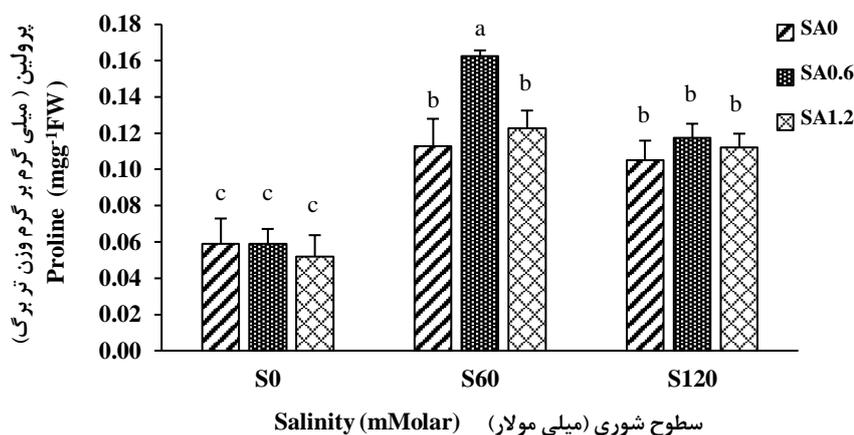
جدول ۱۸. مقایسه میانگین های حداقل مربعات اثر اصلی سطوح مختلف مایکوریزا بر محتوای پرولین جو. M: مایکوریزا، Mo: تیمار بدون کاربرد مایکوریزا، M1: با کاربرد مایکوریزا، LS Means: میانگین حداقل مربعات.

Table 18. Comparison Least Square Means mycorrhiza main effects on Proline of Barley. M: Mycorrhiza; Mo: Without mycorrhiza; M1: Using mycorrhiza; LS Means: Least Square Means

M	LSMeans	Pr> t
M0	0.09	0.013*
M1	0.11	

* معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵

* indicate significance at 5% statistical levels.



شکل ۸. اثر متقابل کاربرد سالیسیلیک اسید و سطوح مختلف شوری بر محتوای پرولین آزاد سلولی برگ در جو. میانگین ها همراه اشتباه استاندارد آورده شده است. حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن است. سطوح مختلف شوری (S0، S60 و S120) به ترتیب صفر، ۶۰، ۱۲۰ میلی مولار و سطوح مختلف اسید سالیسیلیک (SA0، SA0.6 و SA1.2) به ترتیب صفر، ۰/۰۶، ۱/۲ میلی مولار است. خطوط بالای ستونها خطای استاندارد از میانگین داده ها را نشان می دهد.

Fig. 8. Mean comparison of the salinity x salicylic acid interaction effects on Proline content of *Hordeum vulgare* Fortuna. Means±S.E. with at least one common letter in each chart using Duncan test have no significant difference at the 5% probability level. ns, ** and * indicate insignificance and significance at the statistical level of 1 and 5%, respectively. S= Salt stress (0, 60, 120 mmolar), SA= salicylic acid (0, 0.6, 1.2 mmolar). The lines above the columns show the standard error of the mean of the data.

جدول ۱۷. تاثیرات سطوح اسید سالیسیلیک پس از برش دهی اثر اسید سالیسیلیک از اثرات متقابل شوری x اسید سالیسیلیک بر محتوای مالون دی آلدئید جو. SA: اسید سالیسیلیک؛ SA0: بدون کاربرد اسید سالیسیلیک؛ SA1: با اسید سالیسیلیک ۰/۰۶ میلی مولار؛ SA2: با اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار؛ MS: میانگین مربعات.

Table 17. Effects of salicylic acid levels of Salinity x Salicylic acid sliced by SA Malondialdehyde of Barley. SA: Salicylic acid; SA0: Without salicylic acid; SA1: Salicylic acid 0.6 mM; SA2: Salicylic acid 1.2 mM; MS: Mean Squares

SA	MS	F	Pr > F
SA0	0.001	1.08	0.35 ^{ns}
SA1	0.037	32.86	<0.0001 ^{**}
SA2	0.092	82.77	<0.0001 ^{**}

** معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱، ns: غیر معنی دار.

Ns and ** indicate non-significance and significance at 1% statistical levels, respectively.

سلولی به عنوان القاکننده تولید پرولین باشد (Farhangju et al., 2023). اسید سالیسیلیک با القای تولید پرولین در راستای حفاظت گیاه در برابر تنش عمل می کند (Mohammadi Cheraghabadi et al., 2016). در یک بررسی بر روی گیاه کنگر فرنگی (*Cynara scolymus*) گزارش شده است که در گیاهانی که در شرایط ایده آلی بودند کمترین میزان پرولین سنتز شد. با کاربرد اسید سالیسیلیک بر روی برگ های گیاه کلزا (*Brassica napus*) محتوای

جدول ۱۹. مقایسه میانگین‌های حداقل مربعات ترکیبات تیماری مختلف شوری × اسید سالیسیلیک محتوای پرولین جو. S: شوری؛ S0: تیمار بدون شوری؛ S1: با شوری ۶۰ میلی مولار؛ S2: با شوری ۱۲۰ میلی مولار؛ SA: اسید سالیسیلیک؛ SA0: بدون کاربرد اسید سالیسیلیک؛ SA1: با اسید سالیسیلیک ۰/۶ میلی مولار؛ SA2: با اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار؛ LS Means: میانگین حداقل مربعات؛ LS Means Number: شماره مقایسات میانگین حداقل مربعات.

Table 19. Comparison Least Square Means for effect Salinity × Salicylic acid Proline of Barley. S: Salinity; S0: None salinity; S1: Salinity 60 mM; S2: Salinity 120 mM; SA: Salicylic acid; SA0: Without salicylic acid; SA1: Salicylic acid 0.6 mM; SA2: Salicylic acid 1.2 mM; LS Means: Least Square Means; LS Means Number: Least Square Means Number.

Least Square Means (میانگین حداقل مربعات)									
S	S0	S0	S0	S1	S1	S1	S2	S2	S2
SA	SA0	SA1	SA2	SA0	SA1	SA2	SA0	SA1	SA2
LSMeans	0.057	0.058	0.052	0.110	0.160	0.120	0.110	0.120	0.120
LSMeans Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1								
2	0.91	1							
3	0.73	0.65	1						
4	0.0005	0.0007	0.0002	1					
5	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.002	1				
6	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.5	0.01	1			
7	0.002	0.002	0.0007	0.65	0.0007	0.26	1		
8	0.0003	0.0004	<0.0001	0.82	0.004	0.65	0.5	1	
9	0.0003	0.0004	<0.0001	0.82	0.004	0.65	0.5	1	1

اثرات دو و سه جانبه بر محتوای قند محلول غیر معنی‌دار بود. محتوای قند محلول با افزایش سطح شوری روند افزایشی داشته و در غلظت‌های ۱۲۰ میلی مولار و ۶۰ میلی مولار به ترتیب ۵۲/۴۷ و ۸/۶۴ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد. مصرف قارچ بر میزان محتوای قند محلول تأثیر معنی‌داری نداشت. در بررسی اثر اسید سالیسیلیک، غلظت ۱/۲ میلی مولار ۴۱/۶۱ درصد و غلظت ۰/۶ میلی مولار به میزان ۲۱/۷۴ درصد نسبت به شاهد، باعث افزایش محتوای قند محلول گردید. در مورد اثرات دوجانبه شوری × اسید سالیسیلیک، بیشترین میزان قند محلول در شوری ۱۲۰ میلی مولار × اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار حاصل شد که به اندازه ۱۵۳/۹۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. کمترین میزان قند محلول مربوط به شاهد بود (شکل ۹). اثرات متقابل (شوری × قارچ)، (قارچ × اسید سالیسیلیک) و (شوری × قارچ × اسید سالیسیلیک) تأثیر معنی‌داری بر محتوای قند محلول نداشت. مقایسات میانگین ترکیبات تیماری شوری × اسید سالیسیلیک در جدول ۲۱ آمده است. مطابق جدول سطوح اسید سالیسیلیک تأثیر معنی‌دار در اثر

جدول ۲۰. تأثیرات سطوح اسید سالیسیلیک پس از برش‌دهی اثر اسید سالیسیلیک از اثرات متقابل شوری × اسید سالیسیلیک بر محتوای پرولین جو. S: اسید سالیسیلیک؛ SA0: بدون کاربرد اسید سالیسیلیک؛ SA1: با اسید سالیسیلیک ۰/۶ میلی مولار؛ SA2: با اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار؛ MS: میانگین مربعات. Table 20. Effects of salicylic acid levels of Salinity × Salicylic acid sliced by SA Proline of Barley. SA: Salicylic acid; SA0: Without salicylic acid; SA1: Salicylic acid 0.6 mM; SA2: Salicylic acid 1.2 mM; MS: Mean Squares

SA	MS	F	Pr > F
SA0	0.00007	0.11	0.89 ^{ns}
SA1	0.0039	6.02	0.006 ^{**}
SA2	0.0002	0.31	0.74 ^{ns}

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱؛ ns: غیر معنی‌دار.

ns, ** and * indicate non-significance and significance at 1 and 5% statistical levels, respectively.

مقدار قند محلول

مطابق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثرات اصلی عوامل آزمایشی شامل شوری و اسید سالیسیلیک و اثر دوجانبه شوری × اسید سالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد، معنی‌دار به دست آمد. اثر اصلی عامل آزمایشی قارچ و سایر

ریشه‌ای قوی باعث بهبود جذب مواد غذایی و بهبود فتوسنتز در نتیجه افزایش و تجمع محصولات فتوسنتزی و افزایش قند محلول می‌گردد. (Chen et al., 2024). کاربرد اسید سالیسیلیک از طریق افزایش کربوهیدرات‌های محلول تحمل گیاهان را در برابر شوری افزایش می‌دهد. با بررسی اثر متقابل شوری و اسید سالیسیلیک بر روی زعفران (*Crocus sativus*)؛ کاربرد اسید سالیسیلیک در غلظت‌های پایین شوری، محتوای قند محلول را افزایش داد، در حالی که در غلظت بالای شوری اسید سالیسیلیک باعث کاهش محتوای قند محلول گردید (Ghorbanpour et al., 2020).

دوجانبه شوری × اسید سالیسیلیک با برش‌دهی اثر اسید سالیسیلیک داشته است (جدول ۲۲). در آزمایشی بر روی ریحان و شوید و آویشن دناهی (*Thymus daenensis Celak*) شوری غلظت قندهای محلول را افزایش داد (Mohammadi et al., 2022). در یک بررسی بر روی گیاه لولیم چندساله (*Lolium perenne*) تحت تنش شوری گزارش شد که مصرف قارچ میکوریزا اثر معنی‌داری بر محتوای قند محلول نداشت (Wei et al., 2023). قارچ میکوریزا تحت تنش شوری، باعث افزایش محتوای قند محلول گوجه‌فرنگی گردید. قارچ با ایجاد سیستم

جدول ۲۱. مقایسه میانگین‌های حداقل مربعات ترکیبات تیماری مختلف شوری × اسید سالیسیلیک محتوای قند محلول جو. S: شوری؛ So: تیمار بدون شوری؛ S1: با شوری ۶۰ میلی مولار؛ S2: با شوری ۱۲۰ میلی مولار؛ SA: اسید سالیسیلیک؛ SA0: بدون کاربرد اسید سالیسیلیک؛ SA1: با اسید سالیسیلیک ۰/۶ میلی مولار؛ SA2: با اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار؛ LS Means: میانگین حداقل مربعات؛ LS Means Number: شماره مقایسات میانگین حداقل مربعات.

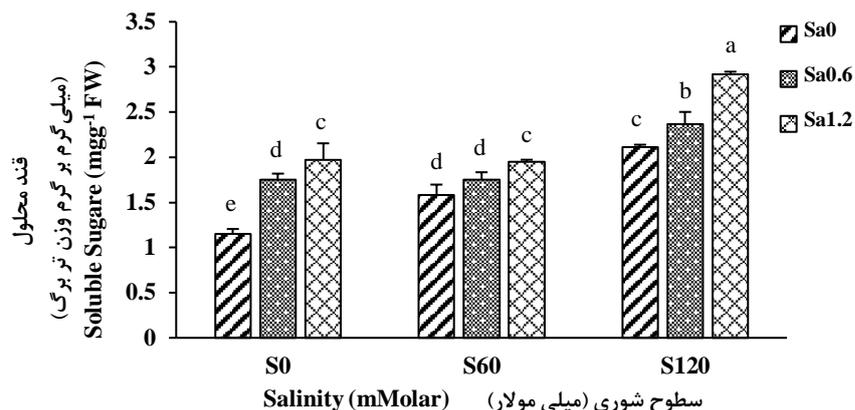
Table 21. Comparison Least Square Means for effect Salinity × Salicylic acid Soluble sugare content of Barley. S: Salinity; So: None salinity; S1: Salinity 60 mM; S2: Salinity 120 mM; SA: Salicylic acid; SA0: Without salicylic acid; SA1: Salicylic acid 0.6 mM; SA2: Salicylic acid 1.2 mM; LS Means: Least Square Means; LS Means Number: Least Square Means Number.

S	Least Square Means (میانگین حداقل مربعات)								
	S0	S0	S0	S1	S1	S1	S2	S2	S2
SA	SA0	SA1	SA2	SA0	SA1	SA2	SA0	SA1	SA2
LSMeans	1.15	1.75	1.97	1.57	1.75	1.94	2.11	2.37	2.92
LSMeans Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9
i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1								
2	<0.0001	1							
3	<0.0001	0.06	1						
4	0.0006	0.13	0.001	1					
5	<0.0001	0.97	0.055	0.14	1				
6	<0.0001	0.09	0.81	0.002	0.089	1			
7	<0.0001	0.003	0.24	<0.0001	0.003	0.16	1		
8	<0.0001	<0.0001	0.001	<0.0001	<0.0001	0.0008	0.03	1	
9	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	1

به‌اندازه ۱۴/۰۵ درصد نسبت به شاهد افزوده شد. در بررسی اثر اسید سالیسیلیک، غلظت ۱/۲ میلی مولار ۵۴/۱۷ درصد و غلظت ۰/۶ میلی مولار به میزان ۵۰ درصد نسبت به شاهد، باعث افزایش پلی فنل اکسیداز گردید. در مورد اثرات دوجانبه شوری × اسید سالیسیلیک، بیشترین میزان پلی فنل اکسیداز در شوری ۶۰ میلی مولار × اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار و شوری ۱۲۰ میلی مولار × اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار

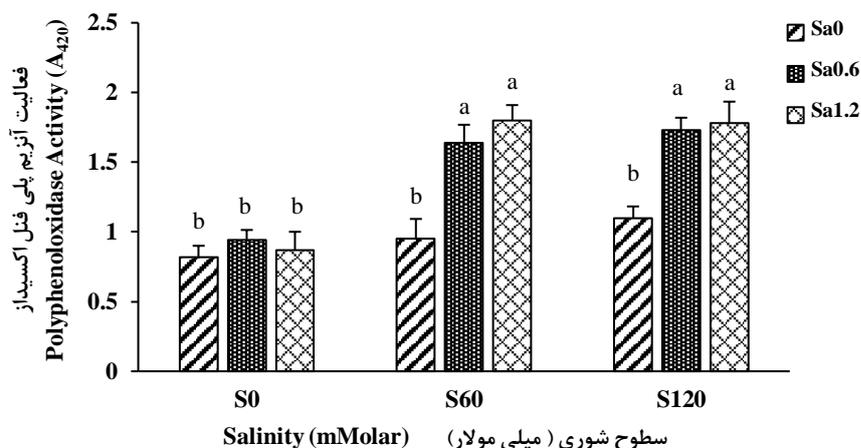
فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز

مطابق نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی قارچ (جدول ۲۳) و اثر دوجانبه شوری × اسید سالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد، معنی‌دار به دست آمد. سایر اثرات دو و سه‌جانبه غیر معنی‌دار شد (جدول ۲). پلی فنل اکسیداز با افزایش سطح شوری روند افزایشی داشته و در غلظت‌های ۱۲۰ میلی مولار و ۶۰ میلی مولار به ترتیب ۷۵ و ۶۵/۹۱ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد. با مصرف قارچ بر میزان پلی فنل اکسیداز



شکل ۹. اثر متقابل کاربرد اسید سالیسیلیک و سطوح مختلف شوری بر محتوای قند محلول در برگ جو. میانگین‌ها همراه اشتباه استاندارد آورده شده است. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن است. سطوح مختلف شوری (S0، S60 و S120) به ترتیب صفر، ۶۰، ۱۲۰ میلی مولار و سطوح مختلف اسید سالیسیلیک (SA0، SA0.6 و SA1.2) به ترتیب صفر، ۰/۶، ۱/۲ میلی مولار است. خطوط بالای ستونها خطای استاندارد از میانگین داده‌ها را نشان می‌دهد.

Fig. 9. Mean comparison of the salinity × salicylic acid interaction effects on the Soluble sugare content of *Hordeum vulgare* Fortuna. Means±S.E. with at least one common letter in each chart using Duncan test have no significant difference at the 5% probability level. ns, ** and * indicate insignificance and significance at the statistical level of 1 and 5%, respectively. S= Salt stress (0, 60, 120 mmolar), SA= salicylic acid (0, 0.6, 1.2 mmolar). The lines above the columns show the standard error of the mean of the data.



شکل ۱۰. اثر متقابل کاربرد اسید سالیسیلیک و سطوح مختلف شوری بر فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی پلی فنل اکسیداز در برگ جو. میانگین‌ها همراه اشتباه استاندارد آورده شده است. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن است. سطوح مختلف شوری (S0، S60 و S120) به ترتیب صفر، ۶۰، ۱۲۰ میلی مولار و سطوح مختلف اسید سالیسیلیک (SA0، SA0.6 و SA1.2) به ترتیب صفر، ۰/۶، ۱/۲ میلی مولار است. خطوط بالای ستونها خطای استاندارد از میانگین داده‌ها را نشان می‌دهد.

Fig. 10. Mean comparison of the salinity × salicylic acid interaction effects on the Polyphenoloxidase of *Hordeum vulgare* Fortuna. Means±S.E. with at least one common letter in each chart using Duncan test have no significant difference at the 5% probability level. ns, ** and * indicate insignificance and significance at the statistical level of 1 and 5%, respectively. S= Salt stress (0, 60, 120 mmolar), SA= salicylic acid (0, 0.6, 1.2 mmolar). The lines above the columns show the standard error of the mean of the data.

اکسیداز مربوط به شاهد بود (شکل ۱۰). اثرات متقابل (شوری × قارچ)، (قارچ × اسید سالیسیلیک) و (شوری × قارچ

حاصل شد که به ترتیب به‌اندازه ۱۱۹/۵۱ درصد و ۱۱۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. کمترین میزان پلی فنل

اکسیداتیو، مقاومت گیاه افزایش یابد (Khosravi et al., 2022). در یک بررسی بر روی گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis*)، مایکوریزا با افزایش آنتی اکسیدان‌ها از گیاه در برابر تنش محافظت کرد (Koochekzadeh et al., 2023). در یک تحقیق بر روی گیاه گوجه فرنگی در تیمارهای تحت تنش شوری با مصرف مایکوریزا، از فعالیت پلی فنل اکسیداز کاسته شد. این کاهش شاید به دلیل فعالیت آنتی اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی دیگری باشد که یک سیستم مهار کارآمد را برای کاهش سطوح آسیب رسانی اکسیداتیو، ایجاد کرده است (Ikan et al., 2023). گیاه با مایکوریزا ممکن است منجر به افزایش بیوسنتز فیتوکمیکال‌های تقویت کننده سلامت گیاه نظیر پلی فنل‌ها و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی شود. در آزمایشی بر روی بادام زمینی (*Arachis hypogaea*) در غلظت‌های بالاتر شوری، تلقیح باکتری‌های اندوفیت، فعالیت آنزیم‌هایی مانند پلی فنل اکسیداز افزایش یافت در حالی که در این آزمایش سطوح مالون دی‌آلدئید و پراکسیداز کاهش یافت (Liang et al., 2024). گزارش‌هایی مبنی بر افزایش قابل توجه فعالیت آنتی اکسیدانی آنزیم‌ها از جمله پلی فنل اکسیداز در گیاه نیشکر (*Saccharum officinarum*) در تنش شوری ارائه شده است. اسید سالیسیلیک نقش فزاینده در بیوسنتز و بیان ژن این آنزیم‌ها را به عهده دارد (Apon et al., 2023).

جدول ۲۵. تأثیرات سطوح اسید سالیسیلیک پس از برش‌دهی اثر اسید سالیسیلیک از اثرات متقابل شوری × اسید سالیسیلیک بر فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز جو. S: اسید سالیسیلیک؛ SA0: بدون کاربرد اسید سالیسیلیک؛ SA1: با اسید سالیسیلیک ۰/۶ میلی مولار؛ SA2: با اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار؛ MS: میانگین مربعات.

Table 25. Effects of salicylic acid levels of Salinity × Salicylic acid sliced by SA Polyphenoloxidase Enzyme of Barley. SA: Salicylic acid; SA0: Without salicylic acid; SA1: Salicylic acid 0.6 mM; SA2: Salicylic acid 1.2 mM; MS: Mean Squares.

SA	MS	F	Pr > F
SA0	0.14	3	0.06 ^{ns}
SA1	1.13	24.51	<0.0001**
SA2	1.67	36.29	<0.0001**

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱، ns: غیر معنی‌دار.

ns, ** and * indicate non-significance and significance at 1 and 5% statistical levels, respectively.

× اسید سالیسیلیک) تأثیر معنی‌داری بر پلی فنل اکسیداز نداشت. مقایسات میانگین ترکیبات تیماری شوری × اسید سالیسیلیک در جدول ۲۴ آمده است. مطابق جدول سطوح اسید سالیسیلیک تأثیر معنی‌دار در اثر دوجانبه شوری × اسید سالیسیلیک داشته است (جدول ۲۵).

جدول ۲۲. تأثیرات سطوح اسید سالیسیلیک پس از برش‌دهی اثر اسید سالیسیلیک از اثرات متقابل شوری × اسید سالیسیلیک بر محتوای قند محلول جو. S: اسید سالیسیلیک؛ SA0: بدون کاربرد اسید سالیسیلیک؛ SA1: با اسید سالیسیلیک ۰/۶ میلی مولار؛ SA2: با اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار؛ MS: میانگین مربعات.

Table 22. Effects of salicylic acid levels of Salinity × Salicylic acid sliced by SA Soluble sugare content of Barley. SA: Salicylic acid; SA0: Without salicylic acid; SA1: Salicylic acid 0.6 mM; SA2: Salicylic acid 1.2 mM; MS: Mean Squares.

SA	MS	F	Pr > F
SA0	1.39	36.29	<0.0001**
SA1	0.75	19.65	<0.0001**
SA2	1.85	48.07	<0.0001**

** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱.

**Significance at 1% statistical levels.

جدول ۲۳. مقایسه میانگین‌های حداقل مربعات اثر اصلی سطوح مختلف مایکوریزا بر فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز جو. M: مایکوریزا، Mo: تیمار بدون کاربرد مایکوریزا، M1: با کاربرد مایکوریزا، LS Means: میانگین حداقل مربعات.

Table 23. Comparison Least Square Means mycorrhiza main effects on Polyphenoloxidase Enzyme of Barley. M: Mycorrhiza; Mo: Without mycorrhiza; M1: Using mycorrhiza; LS Means: Least Square Means.

M	LSMeans	Pr> t
M0	1.21	0.005**
M1	1.38	

** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱.

**Significance at 1% statistical levels.

فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز به‌عنوان یکی از آنزیم‌های آنتی اکسیدانی در انواع تنش‌های زیستی و غیر زیستی تغییر می‌کند. در یک بررسی بر روی لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) و خرفه (*Portulaca oleracea*)، تنش شوری باعث افزایش میزان پلی فنل اکسیداز گردید. فعالیت هم‌زمان آنزیم‌های آنتی اکسیدانی کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز به‌گونه‌ای است که کاهش فعالیت یکی از آن‌ها باعث افزایش فعالیت دیگری می‌شود تا بدین ترتیب از میزان پراکسید هیدروژن کاسته شده و با کاهش اثرات سو تنش

جدول ۲۴. مقایسه میانگین‌های حداقل مربعات ترکیبات تیماری مختلف شوری × اسید سالیسیلیک بر فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز جو. S: شوری؛ S0: تیمار بدون شوری؛ S1: با شوری ۶۰ میلی مولار؛ S2: با شوری ۱۲۰ میلی مولار؛ SA: اسید سالیسیلیک؛ SA0: بدون کاربرد اسید سالیسیلیک؛ SA1: با اسید سالیسیلیک ۰/۶ میلی مولار؛ SA2: با اسید سالیسیلیک ۱/۲ میلی مولار؛ LS Means: میانگین حداقل مربعات؛ LS Means Number: شماره مقایسات میانگین حداقل مربعات.

Table 24. Comparison Least Square Means for effect Salinity × Salicylic acid Polyphenoloxidase Enzyme of Barley. S: Salinity; So: None salinity; S1: Salinity 60 mM; S2: Salinity 120 mM; SA: Salicylic acid; SA0: Without salicylic acid; SA1: Salicylic acid 0.6 mM; SA2: Salicylic acid 1.2 mM; LS Means: Least Square Means; LS Means Number: Least Square Means Number.

Least Square Means S × SA									
S	S0	S0	S0	S1	S1	S1	S2	S2	S2
SA	SA0	SA1	SA2	SA0	SA1	SA2	SA0	SA1	SA2
LSMeans	0.82	0.94	0.87	0.95	1.65	1.79	1.12	1.73	1.78
LSMeans Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Li/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1								
2	0.35	1							
3	0.69	0.59	1						
4	0.32	0.95	0.55	1					
5	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	1				
6	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.25	1			
7	0.02	0.15	0.05	0.16	0.0002	<0.0001	1		
8	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.52	0.61	<0.0001	1	
9	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.29	0.93	<0.0001	0.67	1

گفت در این آزمایش کاربرد قارچ و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر کاهش مواد حاصل از اثرات تنش بر غشای سلولی و پراکسیداسیون لیپیدی غشا بی‌تأثیر بوده است. به‌طور کلی کاربرد قارچ میکوریزا و اسید سالیسیلیک می‌تواند در بالا بردن مقاومت گیاه به شرایط تنش شوری، به‌واسطه ایجاد بهبود در سیستم دفاعی گیاه، بالا بردن ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بوته جو و همچنین با تنظیمات اسمزی و ایجاد سیستم ریشه‌ای قوی و بهبود جذب مواد غذایی و آب در شرایط تنش، مؤثر واقع شود.

سپاسگزاری

این مقاله بخشی از پایان‌نامه دکتری نویسنده اول مقاله است که در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شده است. بدین‌وسیله از تمامی کسانی که به نحوی در اجرا و تدوین آن نقش داشته‌اند، سپاسگزاری می‌گردد.

نتیجه‌گیری نهایی

شوری باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ شده و قارچ میکوریزا و اسید سالیسیلیک و اثرات متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری در بهبود این صفت فیزیولوژیکی داشتند. تلقیح با قارچ و محلول‌پاشی برگی اسید سالیسیلیک هرکدام به‌تنهایی باعث بهبود و افزایش شاخص پایداری غشای سلولی، عملکرد کوانتومی فتوسنتز دو، محتوای کلروفیل و فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی پلی فنل اکسیداز گردیدند. همچنین تلقیح با قارچ میکوریزا باعث افزایش معنی‌دار پرولین گردیده و محلول‌پاشی برگی اسید سالیسیلیک، محتوای قند محلول برگ را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. پرولین و قند محلول هر دو از اسمولیت‌های سازگار به تنش بوده و افزایش آن‌ها نشان‌گر بهبود تنظیمات اسمزی گیاه در مواجهه با تنش است. محتوای مالون دی‌آلدئید که در شرایط بدون تنش کمتر بود، با تنش شوری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و قارچ و اسید سالیسیلیک نیز نتوانستند آن را کاهش دهند. لذا می‌توان

منابع

Abdel-Fattah, G.M., Asrar, A.W.A., 2012. Arbuscular mycorrhizal fungal application to

improve growth and tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants grown in saline

- soil. *Acta Physiologiae Plantarum*. 34(1), 267-277. <https://doi.org/10.1007/s11738-011-0825-6>
- Abdoli Nasab, M., Mohammadi Sedaran, Z., 2021. Effect of drought tension application on the germination, physiological and biochemical characteristics of rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.). *Crop Physiology Journal*. 12(48), 81-96. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22034/saps.2022.52705.2901>
- Aghaei, F., Seyed Sharifi, R., Narimani, H., 2022. Effects of uniconazole and biofertilizers on yield, chlorophyll fluorescence indices and some physiological traits of wheat under salinity soil conditions. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*. 35, 112-124. [In Persian with English Summary].
- Albrecht, S.L., Douglas Jr, C.L., Klepper, E.L., Rasmussen, P.E., Rickman, R.W., Smiley, R.W., Wilkins, D.E., Wysocki, D.J., 1995. Effects of foliar methanol applications on crop yield. *Crop Science*. 35, 1642-1646. <https://doi.org/10.2135/cropsci1995.0011183X003500060021x>
- Apon, T.A., Ahmed, S.F., Bony, Z.F., Chowdhury, M.R., Asha, J.F., Biswas, A., 2023. Sett priming with salicylic acid improves salinity tolerance of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) during early stages of crop development. *Heliyon*, 9(5). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16030>
- Arnon, D.I., 1967. Photosynthetic activity of isolated chloroplasts. *Physiological Review*. 47, 317-58. <https://doi.org/10.1152/physrev.1967.47.3.317>
- Asghari, M., 2023. Effect of Trichoderma and biochar application on some morpho-physiological traits of sainfoin seedlings grown in soils containing heavy metals. *Journal of Plant Process and Function*. 12, 219-238. [In Persian with English Summary]. <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1711-en.html>
- Bagues, M., Neji, M., Karbout, N., Boussora, F., Triki, T., Guasmi, F., Nagaz, K., 2024. Mitigating salinity stress in barley (*Hordeum vulgare* L.) through biochar and NPK fertilizers: impacts on physio-biochemical behavior and grain yield. *Agronomy*, 14(2), 317. <https://doi.org/10.3390/agronomy14020317>
- Basak, H., Mesut Cimrin, K., Turan, M., 2024. Effects of mycorrhiza on plant nutrition, enzyme activities, and lipid peroxidation in Pepper grown under salinity stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 26(2), 359-369.
- Bates, L.S., Waldren, R.P.A., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Bolandi, M., Sheikhzadeh, P., Khomari, S., Zare, N., Sharifi, J., 2023. The effect of seed pretreatment and foliar application of growth regulators and potassium nitrate on physiological, biochemical characteristics, yield and yield components of borage (*Borago officinalis* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*. 4(21), 459-484. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22067/jcscs.2023.82741.1251>
- Boussora, F., Triki, T., Bennani, L., Bagues, M., Ben Ali, S., Ferchichi, A., Guasmi, F., 2024. Mineral accumulation, relative water content and gas exchange are the main physiological regulating mechanisms to cope with salt stress in barley. *Scientific Reports*. 14, 14931. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65967-5>
- Chen, G., Yang, A., Wang, J., Ke, L., Chen, S., Li, W., 2024. Effects of the synergistic treatments of arbuscular mycorrhizal fungi and trehalose on adaptability to salt stress in tomato seedlings. *Microbiology Spectrum*, 12, 03404-23. <https://doi.org/10.1128/spectrum.03404-23>
- Diagne, N., Ngom, M., Djighaly, P.I., Fall, D., Hocher, V., Svistoonoff, S., 2020. Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and performance: Importance in biotic and abiotic stressed regulation. *Diversity*, 12(10), 370. <https://doi.org/10.3390/d12100370>
- Dris, H., Marashi, S. K., 2019. Study the effect of different methods of applying salicylic acid on quantitative, qualitative and biochemical parameters of wheat (*Triticum aestivum* L.) in drained and not drained lands. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 12, 561-571. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2018.1371.1291>
- Ebrahimi, F., Salehi, A., Movahedi, D.M., Mirshekari, A., 2023. Morpho-physiological responses of two cultivars of german chamomile (*Matricaria chamomilla*) to mycorrhiza application under water deficit stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*. 53(3), 737-749 [In Persian with English

Summary].

<https://doi.org/10.22059/ijhs.2022.319917.1901>

- Farhangjou, S. E., Khavarinezhad, R., Saadatmand, S., Najafi, F., Babakhani, B., 2023. Effect of salicylic acid on some morphological and biochemical traits of rice (*Oryza sativa* L.) under salt stress. *Journal of Plant Production*. 30(2), 163-182. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22069/JOPP.2023.20675.2970>
- Fayez, K.A., Abdo, F.A.M., Sabra, H.M., 2024. Effects of salicylic acid, melatonin, and mycorrhizal fungi on the growth and physiological responses of wheat under varying water irrigation stress levels. *Sohag Journal of Sciences*. 9(3), 334-341. <https://doi.org/10.21608/sjsci.2024.264172.1176>
- Ghojavand, M., Kasraei, P., Moghadam, H.R.T., Nasri, M., Larijani, H.R., 2023. Effects of salicylic acid and microorganisms on morphological and physiological characteristics (*Satureja hortensis* L.) under drought stress. *European Journal of Biology*. 82(1), 12-22. <https://doi.org/10.26650/EurJBiol.2023.1196479>
- Ghorbanpour, M., Ahmadian, A., Yousefijavan, I., 2020. Interaction effects of salt stress and salicylic acid levels on physiological trials of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research*. 8, 359-373. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22077/jsr.2020.2148.1084>
- Habibi, G., Hosseini Nejad, O., 2020. Salicylic acid and hydrogen peroxide priming as a means to induce salt stress tolerance of wheat. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*. 33, 827-839. [In Persian with English Summary]. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832592.1399.33.4.11.7>
- Hanif, S., Mahmood, A., Javed, T., Bibi, S., Zia, M.A., Asghar, S., Ali, B., 2024. Exogenous application of salicylic acid ameliorates salinity stress in barley (*Hordeum vulgare* L.). *BMC Plant Biology*. 24, 1-16. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04968-y>
- Huang, P., Huang, S., Ma, Y., Danish, S., Hareem, M., Syed, A., Wong, L. S., 2024. Alleviation of salinity stress by EDTA chelated-biochar and arbuscular mycorrhizal fungi on maize via modulation of antioxidants activity and biochemical attributes. *BMC Plant Biology*. 24, 63. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04753-x>
- Ikan, C., Ben-Laouane, R., Ouhaddou, R., Anli, M., Boutasknit, A., Lahbouki, S., Meddich, A., 2023. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungus and indigenous compost improve salt stress tolerance in wheat (*Triticum durum*). *South African Journal of Botany*. 158, 417-428. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.05.038>
- Jam, E., Khomari, S., Ebadi, A., Goli Kalanpa, E., Ghavidel, A., 2024. Reducing the effects of soil heavy metal pollution in *Vicia villosa* L. by using biochar, trichoderma and phosphorus fertilizer management. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 17, 523-547. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22077/escs.2024.6100.2195>
- Khosravi, E., Salimi, A., Chavoushi, M., Zeidi, H., 2022. Role of chitosan in reducing the effects of salinity stress through enzymatic and non-enzymatic antioxidants in *Portulaca oleracea* L. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*. 35, 786-798. [In Persian with English Summary]. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832592.1401.35.4.6.6>
- Koochekzadeh, A., Siahposh, A., Moradi-Telavat, M. R., Shafiee, M., 2023. Effect of mycorrhizal inoculation and salicylic acid on growth characteristics, yield and quality of marigold under salinity stress. *Journal of Crops Improvement*. 25(4), 1141-1156. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22059/jci.2023.344308.2719>
- Kunpratun, N., Phalawat, C., Thoradit, T., Kamoltheptawin, K., Thongyoo, K., Khiaokhoen, P., Pooam, M., 2024. Effect of salicylic acid on germination and seedling growth of KhaoRai Leum Pua Petchabun (*Oryza sativa* L.) under combined drought stress. *Plant Physiology Reports*. 29, 51-64. <https://doi.org/10.3390/genes12081119>
- Liang, Q., Tan, D., Chen, H., Guo, X., Afzal, M., Wang, X., Peng, G., 2024. Endophyte-mediated enhancement of salt resistance in *Arachis hypogaea* L. by regulation of osmotic stress and plant defense-related genes. *Frontiers in Microbiology*. 15, 1383545. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1383545>

- Mahdavian, K. (2023). Application of salicylic acid on chlorophyll, carotenoids, and proline in radish under salinity stress. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences. 93(4), 809-818. <https://doi.org/10.1007/s40011-023-01484-1>
- Mehrabi, S.S., Sabokdast, M., Bihamta, M.R., Dedičová, B., 2024. The coupling effects of PGPR inoculation and foliar spraying of strigolactone in mitigating the negative effect of salt stress in wheat plants: insights from phytochemical, growth, and yield attributes. Agriculture, 14(5), 732. <https://doi.org/10.3390/agriculture14050732>
- Mohammadi Cheraghabadi, M., Roshanfekar, H., Hasibi, P., Meskarbashi, M., 2016. Effect of foliar application of salicylic acid on some physiological traits of sugar beet in salt stress conditions. Iranian Journal of Filed Crop Science. 46, 591- 604. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2015.56809>
- Mohammadi, H., Pirmoradi, M.R., Moghaddam, M., Shamshiri, M.H., Mirzaabolghasemi, M. A., 2022. Effects of salicylic acid on physiological, biochemical, nutrient uptake, and essential oil percentage of *Ocimum basilicum* cv. Keshkeni luvellou under salinity stress. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research. 38, 464-475. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2022.358101.3147>
- Mohseni Mohammadjanlou, A. R., Seyed Sharifi, R., Khomari, S., 2022. Effect of biofertilizers and putrescine on grain yield and some physiological indices of wheat (*Triticum aestivum* L.) at various irrigation levels. Journal of Plant Production Research. 24, 67-83. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22059/jci.2021.308522.2439>
- Morshedi, E., Gharineh, M. H., Kochekezadeh, A., Bakhshandeh, A.M., 2023. Effect of *Bacillus* and *Pseudomonas* bacteria on quantitative and qualitative yield and malting efficiency of different barley cultivars in rainfed conditions. Journal of Crops Improvement. 25(2), 313-330. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22059/jci.2022.333633.2638>
- Moustakas, M., Sperdouli, I., Moustaka, J., Şaş, B., İşğören, S., Morales, F., 2023. Mechanistic insights on salicylic acid mediated enhancement of photosystem II function in oregano seedlings subjected to moderate drought stress. Plants. 12(3), 518. <https://doi.org/10.3390/plants12030518>
- Narimani, H., Seyed Sharifi, R., 2023. Effect of Mycorrhiza and methanol on grain filling components, dry matter remobilization and yield of barley under soil salinity conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences. 16(2), 383-401. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22077/escs.2022.4638.2051>
- Ogunsiji, E., Umebese, C., Stabentheiner, E., Iwuala, E., Odjegba, V., Oluwajobi, A., 2023. Salicylic acid enhances growth, photosynthetic performance and antioxidant defense activity under salt stress in two mungbean [*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek] variety. Plant Signaling & Behavior. 18(1), 2217605. <https://doi.org/10.1080/15592324.2023.2217605>
- Pirasteh-Anosheh, H., Ranjbar, G., Hasanuzzaman, M., Khanna, K., Bhardwaj, R., Ahmad, P., 2022. Salicylic acid-mediated regulation of morpho-physiological and yield attributes of wheat and barley plants in deferring salinity stress. Journal of Plant Growth Regulation. 41, 1291-1303. <https://doi.org/10.1111/tpj.12651>
- Pooja, P., Tallapragada, S., Yadav, M., Chugh, R. K., Saini, S., Devi, S., 2024. Mycorrhiza in improving morpho-physiological and biochemical parameters of chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) under salinity stress. Journal of Crop Health. 76(2), 533-547. <https://doi.org/10.1007/s10343-024-00969-x>
- Ritchie, S.W., Nguyen, H.T., Holaday, A.S., 1990. Leaf Water Content and Gas-Exchange Parameters of Two Wheat Genotypes Differing in Drought Resistance. Crop Science. 30, 105-111. <https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x>
- Ruelland, E., Pokotylo, I., Djafi, N., Cantrel, C., Repellin, A., Zachowski, A., 2014. Salicylic acid modulates levels of phosphoinositide dependent-phospholipase C substrates and products to remodel the Arabidopsis suspension cell transcriptome. Frontiers in plant Science. 5, 608. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00608>
- Saeed, S., Ullah, A., Ullah, S., Elshikh, M.S., Noor, J., Eldin, S.M., Zeng, F., Amin, F., Ali,

- M.A., Ali, I., 2023. Salicylic acid and α -tocopherol ameliorate salinity impact on wheat. *ACS Omega*. 8, 26122–26135. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c02166>
- Sajed Gollojeh, K., Khomari, S., Shekhzadeh, P., Sabaghnia, N., Mohebodini, M., 2020. The effect of foliar spray of nano silicone and salicylic acid on physiological traits and seed yield of spring rapeseed at water limitation conditions. *Journal of Crop Production Research*. 12, 137-156. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22069/ejcp.2020.16396.2221>
- Seyedalikhani, S.N., Pazoki, A.R., 2023. The effect of salicylic acid and jasmonic acid on antioxidant enzymes activity, soluble carbohydrate and proline in Artichoke (*Cynara Scolymus* L.) under salt stress conditions. *Journal of Crop Production Research*. 14, 481-510. [In Persian with English Summary].
- Shahbaz, M., M. Ashraf., 2013. Improving salinity tolerance in cereals. *Critical Review Plant Science*. 32, 237-249. <https://doi.org/10.1080/07352689.2013.758544>
- Sharaya, R., Gill, R., Kalwan, G., Naeem, M., Tuteja, N., Gill, S.S., 2023. Plant-microbe interaction mediated salinity stress tolerance for sustainable crop production. *South African Journal of Botany*. 161, 454-471. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.08.043>
- Silva, T.I., da Silva Ribeiro, J.E., Dias, M.G., Nóbrega, J.S., Gonçalves, A.C.M., de Melo Filho, J.S., Zanuncio, J.C., 2023. Ecophysiology and growth of basil (*Ocimum basilicum*) under saline stress and salicylic acid. *Acta Biológica Colombiana*. 28, 128-134. <https://doi.org/10.15446/abc.v28n1.97151>
- Sperdouli, I., Panteris, E., Moustaka, J., Aydın, T., Bayçu, G., Moustakas, M., 2024. Mechanistic insights on salicylic acid-induced enhancement of photosystem II function in basil plants under non-stress or mild drought stress. *International Journal of Molecular Sciences*. 25, 5728. <https://doi.org/10.3390/ijms25115728>
- Stewart, R.R., Bewley, J.D., 1980. Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. *Plant Physiology*. 65(2), 245-248. <https://doi.org/10.1104/pp.65.2.245>
- Sudhakar, C., Lakshmi, A., Giridara Kumar, S., 2001. Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Science*. 167, 613-619. [https://doi.org/10.1016/S0168-452\(01\)00450-2](https://doi.org/10.1016/S0168-452(01)00450-2)
- Torabi, S., Alahdadi, I., Akbari, G. A., Ghorbani Javid, M., Fotovat, R., 2023. Effects of foliar application of salicylic acid and nanosilicon on the yield and physiological traits of maize (*Zea mays*) in heavy metal contaminated fields. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 54, 151-168. [In Persian with English Summary] . <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2022.346622.654931>
- Verma, R.P.S., Lal, C., Malik, R., Kharub, A.S., Kumar, L., Kumar, D., 2022. Barley improvement: Current status and future prospects in changing scenario. In: Kashyap, P.L., et al. (eds.), *New Horizons in Wheat and Barley Research*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4449-8_6
- Wang, J., Zhai, L., Ma, J., Zhang, J., Wang, G. G., Liu, X., Zhang, S., Song, J., Wu, Y., 2020. Comparative physiological mechanisms of arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating salt-induced adverse effects on leaves and roots of *Zelkova serrata*. *Mycorrhiza*. 30, 341–355. <https://doi.org/10.1007/s00572-020-00954-y>
- Wei, L.I., Yan-Lin, Z.H.A.I., Xue-Yi, H.U., Shao-Xia, G.U.O., 2023. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth and metabolism of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) under salt stress. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 51(1), 12649-12649. <https://doi.org/10.15835/nbha51112649>
- Yadav, T., Yadav, R.K., Yadav, G., Kumar, A., Makarana, G., 2024. Salicylic acid and thiourea ameliorated adverse effects of salinity and drought-induced changes in physiological traits and yield of wheat. *Cereal Research Communications*. 52(2), 545-558. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.953670>
- Yarşi, G., 2023. Effects of mycorrhiza, seaweed and bionutrient applied to reduce the salt stress on nutrient content, plant growth, malondialdehyde (MDA) and proline in pepper. *Journal of Elementology*. 28(3), 533-545. <http://dx.doi.org/10.5601/jelem.2023.28.2.2396>
- Youssef, S.M., López-Orenes, A., Ferrer, M.A., Calderón, A.A., 2023. Foliar application of salicylic acid enhances the endogenous

antioxidant and hormone systems and attenuates the adverse effects of salt stress on growth and yield of french bean plants. *Horticulturae*. 9(1), 75. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010075>

Zhang, D.J., Tong, C.L., Wang, Q.S., Bie, S., 2024. Mycorrhizas affect physiological

performance, antioxidant system, photosynthesis, endogenous hormones, and water content in cotton under salt stress. *Plants*. 13(6), 805. <https://doi.org/10.3390/plants13060805>