



Effect of salinity stress on some morpho-physiological traits of barley (*Hordeum vulgare* L.) in an aeroponic system

Zahra Movahedi¹ , Ahmad Moieni² , Mehdi Ghabooli¹ & Samaneh Khalili²

¹Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran.

²Department of Plant Genetics and Breeding, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Corresponding author. E-mail: zahra_movahedi_312@yahoo.com

ABSTRACT

Introduction: Barley (*Hordeum vulgare* L.) is the fourth most important cereal crop worldwide. It is considered one of the most salt-tolerant cereal among cereals. Salinity is one of the principal abiotic stresses that significantly affects plant growth and yield. Thus, salinity is considered a serious threat to agriculture. Aeroponics is a hydroponic system in which plant roots are suspended in the air and are periodically watered with a nutrient-rich solution using a timer and pump to spray fertiliser. Therefore, this study aims to investigate the effects of different levels of salinity stress and cultivar type on some morphological, physiological and biochemical traits of barley in an aeroponic system.

Materials and methods: To investigate the effects of cultivar on morpho-physiological characteristics of barley under salt stress, an experiment was conducted in an aeroponic system as a factorial experiment based on the completely randomised design (CRD) with six replications. The first factor was cultivars at two levels (including Sararood and Bahman), and the second factor was salinity at four levels (including 0, 5, 10, and 15 dS/m NaCl). First, the seeds germinated, and then the uniform seedlings were selected and placed in pots. After a few days, seedlings were transferred to an aeroponic system. The aeroponic system was established in a growth chamber (each unit with 100 × 100 × 120 cm; depth × width × length) by controlling key environmental factors, such as temperature and photoperiod. The barley roots were also sprayed with the Hoagland solution every 20 min for 20 sec; the nutrient solution was renewed weekly. One week after the plants were established in the aeroponic system, treatments were applied. One month after applying salt stress, the traits of fresh and dry weight of roots and shoots, plant height, root length and volume, photosynthetic pigments, proline content, soluble sugar content, protein, antioxidant enzymes and K⁺/Na⁺ ratio were measured.

Results: The ANOVA results revealed significant main effects and interactions of salinity stress and cultivar on several parameters, including fresh and dry weight of roots and shoots, plant height, root length and volume, photosynthetic pigments, proline content, soluble sugar content, protein, antioxidant enzymes, and K⁺/Na⁺ ratio. As the concentration of sodium chloride increased, the amount of fresh and dry weight of roots and shoots, plant height, root length and volume, content, protein, chlorophyll a and b and K⁺/Na⁺ ratio decreased, and the amount of proline content, soluble sugar content, catalase, and guaiacol peroxidase increased. Among the two cultivars studied, the Sararood cultivar was more tolerant to salinity stress than the Bahman cultivar.

Conclusion: In general, the results of this study showed that salinity stress had a negative effect on most of the studied traits in both cultivars. Based on the results of the present study, it can be stated that the Sararood cultivar was less affected by salinity stress and had a better reaction than the Bahman cultivar. These findings also indicate that using an aeroponic system can help improve root-related studies, and it can be concluded that the aeroponic system could be a valuable tool for initial screening of cultivars, especially for root traits.

Keywords: Soluble proteins, Photosynthetic pigments, Antioxidant defense system, Soilless culture.

Article Type: Research Article

Article history: Received: 11 Dec 2024, Revised: 30 Dec 2024, Accepted: 24 Jan 2025, Published online: 28 Mar 2025

Cite this article: Movahedi, Z., Moieni, A., Ghabooli, A. & Khalili, S. (2024). Effect of salinity stress on some morpho-physiological traits of barley (*Hordeum vulgare* L.) in an aeroponic system. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, 4(1), 49-65. DOI: [10.22126/cbb.2025.12325.1111](https://doi.org/10.22126/cbb.2025.12325.1111)



© The Author(s).



[10.22126/cbb.2025.12325.1111](https://doi.org/10.22126/cbb.2025.12325.1111)

Publisher: Razi University



اثر تنش شوری بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) در سیستم هواکشت

زهرا موحدی^۱، احمد معینی^۲✉، مهدی قبولی^۱ و سمانه خلیلی^۲

^۱ گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

^۲ گروه ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

✉ نویسنده مسئول. رایانامه: zahra_movahedi_312@yahoo.com

چکیده

مقدمه: جو (*Hordeum vulgare* L.) چهارمین غله مهم در سراسر جهان است. این گیاه یکی از مقاوم‌ترین گیاهان به تنش شوری در بین غلات محسوب می‌شود. تنش شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که باعث کاهش شدید عملکرد و کیفیت محصول گیاهان زراعی می‌شود. بنابراین، شوری تهدیدی جدی برای کشاورزی محسوب می‌شود. هواکشت یک سیستم هیدروپونیک است که در آن ریشه‌های گیاه در هوا معلق می‌شوند و به طور متناوب با محلول غنی از مواد مغذی و با استفاده از یک تایمر و پمپ به صورت پاشش کود، آبیاری می‌شوند. این پژوهش با هدف بررسی اثر سطوح مختلف تنش شوری و نوع رقم بر برخی صفات فیزیولوژیک، مورفولوژیک و بیوشیمیایی گیاه جو در سیستم هواکشت در شرایط گلخانه انجام شد.

مواد و روش‌ها: جهت بررسی اثر رقم بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک گیاه جو در شرایط تنش شوری، آزمایشی در سیستم هواکشت بصورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با شش تکرار انجام شد. فاکتور اول، رقم در دو سطح (شامل ارقام سرارود و بهمن) و فاکتور دوم شوری در ۴ سطح (شامل ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) بودند. ابتدا بذرها را جوانه‌دار کرده و سپس گیاهچه‌های یکنواخت انتخاب و در گلدان‌های کوچک قرار داده شدند. پس از چند روز، نشاها به سیستم هواکشت منتقل شدند. سیستم هواکشت در یک محفظه رشد (هر واحد با ابعاد ۱۰۰ × ۱۰۰ × ۱۲۰ سانتی‌متر؛ عمق × عرض × طول) با کنترل برخی عوامل محیطی مانند دما و دوره نوری ایجاد شد. ریشه‌های جو نیز هر ۲۰ دقیقه به مدت ۲۰ ثانیه با محلول هوگلند اسپری شدند و محلول غذایی هفتگی تعویض گردید. یک هفته پس از استقرار گیاهان در سیستم هواکشت، اعمال تیمارهای شوری آغاز شد. یک ماه پس از اعمال تنش شوری صفات وزن تر و خشک ریشه و اندام‌هوایی، ارتفاع گیاه، طول و حجم ریشه، رنگیزه‌های فتوسنتزی، میزان پرولین، میزان قند محلول، پروتئین، آنزیم‌های آنتی اکسیدان و نسبت پتاسیم به سدیم اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی و اثر متقابل تنش شوری و رقم بر صفات وزن تر و خشک ریشه و اندام‌هوایی، ارتفاع گیاه، طول و حجم ریشه، رنگیزه‌های فتوسنتزی، میزان پرولین، میزان قند محلول، پروتئین، آنزیم‌های آنتی اکسیدان و نسبت پتاسیم به سدیم معنی‌دار شد. با افزایش غلظت کلرید سدیم، میزان وزن تر و خشک ریشه و اندام‌هوایی، ارتفاع گیاه، طول و حجم ریشه، کلروفیل a و b، پروتئین و نسبت پتاسیم به سدیم در هر دو رقم مورد مطالعه کاهش یافت و میزان پرولین، قند محلول، آنزیم‌های کاتالاز و گایاکول پراکسیداز افزایش یافت. از بین دو رقم مورد بررسی رقم سرارود نسبت به رقم بهمن نسبت به تنش شوری، متحمل‌تر بود.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که تنش شوری بر بیشتر صفات مورد مطالعه در هر دو رقم تأثیر منفی داشت. براساس نتایج مطالعه حاضر می‌توان نتیجه گرفت که رقم سرارود کمتر تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفته است و تحمل بالاتری نسبت به رقم بهمن داشته است. این یافته‌ها همچنین نشان می‌دهد که استفاده از سیستم هواکشت می‌تواند به بهبود مطالعات ریشه کمک کند و ابزار مفیدی برای غربال‌گری اولیه ارقام بخصوص از نظر صفات ریشه باشد.

واژه‌های کلیدی: پروتئین‌های محلول، رنگیزه‌های فتوسنتزی، سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی، کشت بدون خاک.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

نوع مقاله: دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۲۱ **اصلاح:** ۱۴۰۳/۱۰/۱۰ **پذیرش:** ۱۴۰۳/۱۱/۰۵ **انتشار آنلاین:** ۱۴۰۴/۰۱/۰۸

استناد: موحدی، ز.، معینی، ا.، قبولی، م. و خلیلی، س. (۱۴۰۴). اثر تنش شوری بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) در سیستم

هواکشت. *بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات*، ۴(۱)، ۴۹-۶۵. DOI: [10.22126/cbb.2025.12325.1111](https://doi.org/10.22126/cbb.2025.12325.1111)



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

جو (*Hordeum vulgare* L.) جز قدیمی‌ترین گیاهان زراعی به‌شمار می‌رود (Cozzolino *et al.*, 2015) که بعد از گندم، برنج و ذرت چهارمین غله مهم دنیا محسوب می‌شود. همچنین در دنیا، از نظر تولید رتبه پنجم را در بین غلات بخود اختصاص داده است (FAO, 2023). از نظر سطح زیرکشت در ایران پس از گندم رتبه دوم را دارد و در سال ۲۰۲۳ از سطح زیر کشت ۱/۶۵ میلیون هکتاری ۳ میلیون تن، برداشت صورت گرفته است (FAO, 2023). این گیاه با توجه به سازگاری بالا به شرایط اقلیمی مختلف، قابلیت رشد در خاک‌های فقیر، نیاز رطوبتی پایین، مصرف برای تغذیه انسان، ارزش علوفه‌ای و استفاده از آن در کارخانجات نشاسته سازی مورد توجه خاصی قرار دارد. همچنین از دانه این گیاه به‌عنوان منبعی برای پروتئین و فیبر برای نشخوارکنندگان و تقویت تولید تخم در مرغان تخم‌گذار استفاده می‌کنند (Arab *et al.*, 2024).

در ایران سطح وسیعی از زمین‌های کشاورزی تحت تاثیر شوری قرار دارند که روش اصلاح این خاک‌ها بسیار مشکل، وقت‌گیر و پرهزینه می‌باشد. شوری، تجمع بیش از اندازه نمک‌های قابل حل و عناصر معدنی در محلول آب و خاک است که منجر به انباشت نمک در ناحیه ریشه شده و گیاه در جذب آب کافی از محلول خاک دچار مشکل می‌شود (Soofinia & Pourmohammad, 2024). سالانه دو میلیون هکتار (حدود ۱ درصد) از زمین‌های کشاورزی جهان در اثر شوری از چرخه تولید خارج

می‌شوند. در ایران حدود ۲۰ درصد از اراضی تحت تاثیر شوری قرار دارد (Kazemi ArPanahi *et al.*, 2024). مطالعه پاسخ گیاهان زراعی به تنش‌های محیطی به لحاظ کاهش رشد و عملکرد آنها طی شرایط نامساعد محیطی اهمیت زیادی دارد و لذا درک پاسخ گیاهان به تنش‌های محیطی جهت تولید و اصلاح ارقام متحمل به تنش کاملاً ضروری است. از آنجا که شرایط تنش‌زای محیطی سبب اختلال در مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاهان می‌شوند، بنابراین بررسی واکنش گیاهان به تنش‌های محیطی به‌عنوان ابزاری مناسب برای مطالعه و شناخت مکانیسم‌های تحمل در گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد (Maksimovic *et al.*, 2013).

یکی از ارزان‌ترین و ساده‌ترین راه‌ها برای غلبه بر مشکل شوری توسعه ارقام متحمل است. شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری، از طریق بررسی در مرحله گیاهچه‌ای اهمیت بیشتری دارد زیرا تغییرات در ژنوتیپ‌ها در این مرحله از نظر ژنتیکی قابل کنترل است. همچنین بررسی در سطح مزرعه به دلیل غیریکنواختی خاک، عوامل اقلیمی و عوامل محیطی که می‌توانند بر مراحل فیزیولوژیکی تاثیر بگذارند، مشکل است. بنابراین مطالعه در شرایط آزمایشگاهی در مقایسه با شرایط مزرعه دارای مزیت است (Ali *et al.*, 2014). با بررسی و مطالعه در مرحله گیاهچه‌ای در زمان صرفه‌جویی کرده و سطوح تنش را به‌خوبی می‌توان کنترل کرد (Arifuddin *et al.*, 2021).

از این پژوهش، بررسی سطوح مختلف تنش شوری در دو رقم سرارود و بهمن و بررسی کارایی سیستم هواکشت جهت بررسی اولیه ارقام بخصوص از نظر صفات مرتبط با ریشه بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۶ تکرار (هر تکرار از دو گیاهچه تشکیل می‌شد) در سیستم هواکشت انجام شد. بذرها را رقم سرارود و بهمن تهیه شده، پس از شستشو با آب مقطر، به مدت ۱۰ دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد قرار داده و در نهایت ۳ مرتبه با آب مقطر شستشو داده شدند. سپس بذرها را ضدعفونی شده برای جوانه‌زنی در داخل پتری‌دیش در ژرمیناتور قرار داده شدند. پس از جوانه‌زنی، بذرها به گلدان‌های کوچک حاوی پیت موس منتقل شده و در مرحله دو برگه این گیاهان به سیستم هواکشت که در شرایط گلخانه روز و شب ۲۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۰ درصد قرار گرفته است، منتقل شدند. سیستم هواکشت مورد استفاده در این تحقیق، از مخزن قرار گرفتن گیاهچه، نازل‌ها، مخزن محلول غذایی، پمپ‌های اسپری کننده محلول غذایی و سیستم کنترل، تشکیل شده بود (Movahedi & Moieni, 2024). تغذیه گیاهان در سیستم هواکشت با محلول هوگلند صورت گرفت. یک هفته پس از استقرار گیاهان در سیستم هواکشت، اعمال تیمارهای شوری انجام گرفت. جهت بررسی اثر تنش شوری بر رشد دو رقم

شناخت نقش ریشه و صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک مرتبط با آن در پاسخ به تنش‌های غیرزیستی می‌تواند به‌نژادگران را در اتخاذ راهبرد مناسب برای تهیه ارقام متحمل به تنش یاری کند. از آنجایی که ریشه‌ها در خاک هستند و مطالعه روی آنها بدون از بین بردن تارهای کشنده، آسیب رساندن و از بین بردن برخی ریشه‌های بزرگتر غیرممکن است بنابراین چنین تحقیقاتی که روی جنبه‌های رشدی یا عملکردی ریشه‌ها صورت می‌گیرد با مشکل مواجه شده و دارای محدودیت است. بنابراین یکی از سیستم‌های مناسب جهت مطالعه بخش‌های مختلف ریشه و مطالعه روی صفات مرتبط با ریشه، سیستم هواکشت می‌باشد (Waisel & Eshel, 2002). هواکشت یک سیستم هیدروپونیک است که در آن ریشه‌های گیاه در هوا معلق می‌شوند و به‌طور متناوب با محلول غنی از مواد مغذی و با استفاده از یک تایمر و پمپ به صورت پاشش کود، آبیاری می‌شوند (Mithunesh et al., 2015). علاوه بر این، غربال‌گری ژنوتیپ‌ها در شرایط کنترل شده اثرات جانبی محیط را در سیستم به حداقل می‌رساند. سیستم‌های بدون خاک به دلیل عاری بودن از مشکلات ناشی از تنش مرتبط با خاک برای این منظور دارای ارجحیت است (Mohamadi et al., 2024).

برای استفاده از خاک‌های شور و دستیابی به عملکرد مناسب در خاک‌های شور، شناسایی و تولید گیاهان زراعی متحمل به شوری امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. بنابراین با توجه به افزایش روزافزون زمین‌های شور و تأثیر تنش شوری بر صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاهان، هدف

جو (سرارود و بهمن) در سیستم هواکشت ۴ سطح از کلرید سدیم (۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) تهیه گردید. پس از گذشت یک ماه، نمونه‌برداری جهت آزمایشات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی صورت گرفت. پس از اندازه‌گیری طول ریشه و اندام‌هوایی با خط‌کش، وزن تر ریشه و اندام‌هوایی اندازه‌گیری شد و جهت تعیین وزن خشک و آزمایش‌هایی که نیاز به نمونه خشک گیاه داشت، پس از جدا کردن ریشه و اندام‌هوایی، در پاکت‌های مجزا قرار داده شدند و به مدت ۴۸ ساعت در آون ۸۰ درجه‌سانتی‌گراد قرار گرفتند. لازم به ذکر است برای به‌دست آوردن حجم ریشه، مقدار ۳۰۰ سی‌سی آب در استوانه مدرج یک لیتری ریخته و به‌وسیله آن حجم ریشه‌ها محاسبه گردیدند. ۳ تکرار از هر تیمار برای استفاده در آزمایش‌هایی که نیاز به نمونه‌تر داشتند، برداشت شد و بعد از جداسازی ریشه از اندام‌هوایی، هریک از اندام‌ها به‌طور جداگانه و در فریزر ۸۰- درجه‌سانتی‌گراد نگهداری شدند.

رنگیزه‌های برگ شامل کلروفیل a و b با استون ۸۰ درصد استخراج و سنجش آن مطابق با روش Arnon (1949) انجام شد. غلظت کلروفیل a و b در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر به‌وسیله اسپکتروفتومتر قرائت گردید.

برای اندازه‌گیری مقدار پروتئین کل، از جوان‌ترین برگ توسعه یافته گیاهچه‌های جو با استفاده از معرف برادفورد به روش اسپکتروفتومتری استفاده گردید. روش کار به این‌صورت بود که ۰/۱ گرم از بافت برگ با یک میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ مولار در داخل هاون چینی کوبیده شد و

پس از انتقال به میکروتیوب با سرعت ۱۲۰۰۰ rpm به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ گردید. از محلول شفاف رویی ۱۰۰ میکرولیتر برداشته و به لوله‌های آزمایشی حاوی ۵ میلی‌لیتر معرف برادفورد اضافه گردید. پس از تثبیت رنگ محلول، قرائت در دمای آزمایشگاه و طول موج ۵۹۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر صورت گرفته و در نهایت اعداد جذب با استفاده از رابطه به‌دست آمده از منحنی استاندارد غلظت‌های مختلف پروتئین خالص^۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر گیاهچه ارائه گردید (Bradford, 1976).

مقدار قند محلول جوان‌ترین برگ توسعه یافته گیاهچه‌های جو بر اساس روش Irigoyen و همکاران (1992) تعیین گردید. روش کار به این صورت بود که ۰/۵ گرم از بافت خشک برگ به همراه پنج میلی‌متر اتانول ۹۵ در داخل هاون چینی کوبیده شد. استخراج دو بار دیگر و هر بار با پنج میلی‌لیتر اتانول ۷۰ تکرار شد و محلول به دست آمده سانتریفیوژ شد. برای اندازه‌گیری قند محلول، ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره با ۳ میلی‌لیتر آنترون مخلوط شد. لوله‌های آزمایش ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شد تا ماده رنگی تکمیل شود و پس از خنک شدن نمونه‌ها، میزان جذب در طول موج ۶۲۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. در نهایت اعداد جذب با استفاده از رابطه به‌دست آمده از منحنی استاندارد غلظت‌های مختلف گلوکز خالص،

¹ Bovine Serum Albumin (BSA)

موج ۴۲۰ نانومتر به مدت یک دقیقه خوانده شد (Updhyaya et al., 1985).

برای اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم، نمونه‌ها داخل بوتله چینی و در اسید نیتریک غلیظ تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شده تا نمونه‌ها در اسید کاملاً هضم شدند. سپس نمونه‌ها صاف شده و با آب مقطر دیونیزه به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسیدند. بعد از آن غلظت سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر و بر پایه محلول‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌های این آزمایش با نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص‌های رشدی

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جداول ۱ و ۲) نشان داد که میزان شاخص‌های رشدی مورد مطالعه در این آزمایش شامل ارتفاع گیاه، طول و حجم ریشه، وزن تر و خشک ریشه و اندام‌هوایی تحت تاثیر سطوح مختلف تنش شوری و اثر متقابل آنها قرار گرفت و اختلاف آنها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین (جداول ۳ و ۴) اثر متقابل تنش شوری و رقم نشان داد که با افزایش شدت شوری از میزان شاخص‌های رشدی مورد مطالعه ارقام مورد بررسی کاسته شد که این کاهش در رقم بهمن بیش از رقم سرارود بود. براساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳) بیشترین میزان وزن تر و خشک ریشه و اندام‌هوایی در هر دو رقم در شرایط عدم

به‌صورت میلی‌گرم کربوهیدرات در گرم وزن خشک گیاهچه ارائه شد.

برای استخراج و سنجش پرولین از جوان‌ترین برگ توسعه یافته گیاهچه‌های جو و از روش Bates و همکاران (1973) در واکنش به نین‌هیدرین در طول موج ۵۲۰ نانومتر و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد. برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکول پراکسیداز، عصاره گیاهی با روش Kang و Saltiveit (2002) با اندکی تغییر تهیه گردید. ۰/۵ گرم از بافت گیاهی تازه توزین گردیده و داخل هاون سرد منتقل شد، و سپس توسط ۳ میلی‌لیتر بافر (بافر تریس- HCl ۰/۵ مولار با اسیدیته ۷/۵، ۳ میلی‌مولار، EDTA ۱ میلی‌مولار) کاملاً له شد. عصاره بدست آمده به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. محلول رویی به‌عنوان عصاره خام برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکول پراکسیداز استفاده شد. برای سنجش آنزیم کاتالاز، ابتدا ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات (۵۰ میلی‌مولار و با اسیدیته ۷) و ۳۰۰ میکرولیتر آب اکسیژنه (۰/۰۳ درصد حجمی) درلوله آزمایش در مجاورت یخ با هم مخلوط شده و بلافاصله ۱۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به آن افزوده و تغییرات جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۴۰ نانومتر خوانده شد (Aebi, 1984). برای تعیین فعالیت آنزیم پراکسیداز ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار برداشته، روی آن ۱ میلی‌لیتر H_2O_2 ۱ درصد، ۱ میلی‌لیتر گایاکول ۱ درصد و ۰/۳ میلی‌لیتر از عصاره آنزیم استخراجی اضافه و بلافاصله تغییرات جذب در طول

تنش شوری مشاهده شد. براساس نتایج به دست آمده از این مطالعه مشخص شد که طی تنش شوری و با افزایش سطوح شوری ارتفاع بوته نسبت به شاهد کاهش یافت، بیشترین ارتفاع نیز مربوط به رقم بهمن و در شرایط بدون اعمال تنش بود (جدول ۴). نتایج طول و حجم ریشه نشان داد که رقم بهمن حساسیت بیشتری نسبت به تنش شوری دارد. همچنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تنش شوری در تمام سطوح مورد مطالعه، طول و حجم ریشه را در هر دو رقم کاهش داده است (جدول ۴). کاهش برخی شاخص‌های رشدی مانند ارتفاع، وزن تر و خشک ریشه و اندام‌هوایی، طول و حجم ریشه در این مطالعه با نتایج Atlasi و همکاران (2018)، Abbasipour Bahrani و همکاران (2021) و Hamzeh-Kahnoji و همکاران (2021) در گیاه جو همخوانی دارد. این پژوهشگران بیان کردند که طی تنش شوری و با افزایش شدت شوری ارتفاع، زیست توده و حجم ریشه در گیاه جو کاهش می‌یابد.

کاهش ارتفاع طی تنش شوری ممکن است ناشی از کاهش تکثیر سلولی و کاهش مدت تجمع مواد خشک باشد که این موضوع می‌تواند موجب کوتاه شدن میانگره‌ها و به دنبال آن موجب کاهش ارتفاع شود، به عبارت دیگر، به دلیل عدم تورژسانس مناسب سلول‌ها و تخصیص بیشتر مواد سنتز شده جهت مقابله با تنش شوری، کوتاه

شدن دوره رشد گیاه و و دیگر مکانیسم‌های فرار از تنش، رشد و توسعه عادی سلول‌ها تحت تاثیر قرار گرفته و می‌تواند موجب کاهش ارتفاع گیاه شوند (Fahmideh et al., 2021). کاهش وزن اندام‌هوایی و به تبع آن وزن خشک، یکی از پیامدهای کاهش ارتفاع در گیاه می‌باشد. یکی دیگر از دلایل کاهش وزن تر و خشک اندام‌هوایی تحت تنش شوری می‌تواند کاهش غلظت کلروفیل، کاهش سطح فتوسنتز کننده، کاهش طول مدت فعالیت فتوسنتزی برگ، کاهش انتقال مواد ذخیره‌ای از ریشه به اندام‌هوایی و در نتیجه کاهش مواد فتوسنتزی لازم برای رشد باشد (Munns & Tester, 2008). کاهش طول، حجم و وزن تر و خشک ریشه در اثر تنش شوری نیز می‌تواند به علت اثر اسمزی ناشی از حضور یون‌های سمی در ناحیه ریشه، افزایش یون‌های سدیم در ناحیه ریشه، به هم خوردن تعادل مواد غذایی در اثر تنش شوری باشد. در واقع ریشه با صرف انرژی از ورود یون‌های سمی به درون گیاه جلوگیری کرده و با این روش با تنش شوری مقابله می‌کند. این کار باعث می‌شود که انرژی لازم برای انتقال آب و عناصر غذایی به سایر قسمت‌ها را از دست داده و در نتیجه باعث کاهش صفات مرتبط با ریشه خواهد شد (Salama et al., 1994; Abbasipour Bahrani et al., 2021).

جدول ۱- تجزیه واریانس مرتبط با تاثیرات تنش شوری و رقم بر وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی در گیاه جو

Table 1- Analysis of variance regarding the effects of salinity stress and cultivar on dry weight and fresh weight of root and shoot in barley

(Mean of Squares) میانگین مربعات					
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	وزن تر اندام هوایی Shoot fresh weight	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight
رقم (A) Cultivar (A)	1	0.011 ^{n.s}	0.0007 ^{n.s}	0.00125 ^{n.s}	0.00049 ^{n.s}
شوری (B) Salinity (B)	3	2.044 ^{**}	0.196 ^{**}	1.72 ^{**}	0.115 ^{**}
A*B	3	1.89 ^{**}	0.182 ^{**}	1.91 ^{**}	0.122 ^{**}
خطا Error	40	0.305	0.031	0.27	0.018
ضریب تغییرات C.V	-	10.00	13.42	10.94	11.62

** و n.s به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد و عدم تفاوت معنی داری است
 **, n.s: Significant at 1% probability levels, and non-significant, respectively

جدول ۲- تجزیه واریانس مرتبط با تاثیرات تنش شوری و رقم بر ارتفاع گیاه، طول و حجم ریشه در گیاه جو

Table 2- Analysis of variance regarding the effects of salinity stress and cultivar on plant height, root length and root volume

(Mean of Squares) میانگین مربعات				
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	ارتفاع گیاه Plant height	طول ریشه Root length	حجم ریشه Root volume
رقم (A) Cultivar (A)	1	0.000316 ^{n.s}	0.30031 ^{n.s}	0.045 ^{n.s}
شوری (B) Salinity (B)	3	4.34 ^{**}	1.76 ^{**}	0.865 ^{**}
A*B	3	4.35 ^{**}	2.076 ^{**}	0.965 ^{**}
خطا Error	40	0.75	0.29	0.14
ضریب تغییرات C.V	-	6.97	5.82	10.02

** و n.s به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد و عدم تفاوت معنی داری است
 **, n.s: Significant at 1% probability levels, and non-significant, respectively

جدول ۳-مقایسه میانگین تاثیرات تنش شوری و رقم بر وزن تر و خشک ریشه و اندام‌هوایی در گیاه جو

Table 3- Mean comparison for effects of salinity stress and cultivar on dry weight and fresh weight of root and shoot in barley

وزن خشک ریشه (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن تر اندام هوایی (گرم)	کلرید سدیم (دسی‌زیمنس بر متر)	رقم
Root dry weight (g)	Root fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)	Shoot fresh weight (g)	NaCl (ds/m)	Cultivar
1.32 ^{ab}	5.3 ^c	1.6 ^b	6.5 ^b	0	سرارود
1.27 ^b	5.1 ^c	1.5 ^b	6.1 ^b	5	Sararood
1.2 ^b	4.8 ^d	1.2 ^c	5.1 ^c	10	
0.91 ^c	3.9 ^e	0.9 ^{cd}	4.1 ^d	15	
1.61 ^a	6.5 ^a	1.9 ^a	7.5 ^{ab}	0	بهمن
1.52 ^a	6.1 ^{ab}	1.7 ^{ab}	6.2 ^{ab}	5	Bahman
1.05 ^b	4.2 ^e	1.1 ^c	5.5 ^b	10	
0.52 ^d	2.1 ^f	0.65 ^e	3.2 ^c	15	

میانگین‌هایی که در یک ستون حروف مشابهی دارند از لحاظ آماری در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند
Means that have the same letters in a column are not statistically significant at the 1% probability level.

جدول ۴-مقایسه میانگین تاثیرات تنش شوری و رقم بر ارتفاع گیاه، طول و حجم ریشه در گیاه جو

Table 4- Mean comparison for effects of salinity stress and cultivar on plant height, root length and volume in barley

حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)	طول ریشه (سانتی‌متر)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	کلرید سدیم (دسی‌زیمنس بر متر)	رقم
Root volume (cm ³)	Root length (cm)	Plant height (cm)	NaCl (ds/m)	Cultivar
4.2 ^b	10.2 ^{ab}	13.7 ^b	0	سرارود
3.8 ^c	10.1 ^{ab}	13.1 ^b	5	Sararood
3.3 ^d	9.5 ^b	12.3 ^c	10	
3.1 ^d	8.7 ^c	10.5 ^d	15	
5.5 ^a	11.2 ^a	15.2 ^a	0	بهمن
4.1 ^b	9.5 ^b	14.5 ^{ab}	5	Bahman
3.9 ^c	8.2 ^c	10.4 ^d	10	
2.1 ^e	6.5 ^d	9.5 ^e	15	

میانگین‌هایی که در یک ستون حروف مشابهی دارند از لحاظ آماری در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند
Means that have the same letters in a column are not statistically significant at the 1% probability level.

رنگیزه‌های فتوسنتزی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵)، اثر تنش شوری روی رنگیزه‌های فتوسنتزی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل بین اثر رقم و تنش شوری نیز بر کلروفیل a و b برگ در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری را نشان داد. محتوای کلروفیل a و b برگ گیاهچه‌های جو به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر تنش

شوری قرار گرفت و با افزایش غلظت نمک کاهش قابل ملاحظه‌ای یافت، به‌طوری‌که سطح ۱۵ دسی‌زیمنس با کاهش ۳۱/۸ درصدی کلروفیل a و ۴۱/۲ درصدی کلروفیل b گیاهچه رقم بهمن در مقایسه با شاهد کمترین مقدار را داشت. همچنین در رقم سرارود نیز گیاهچه‌های تحت تنش، کلروفیل a و b پایین‌تری در مقایسه با شاهد بخصوص در سطح ۱۵ دسی‌زیمنس داشتند (جدول ۷). مطالعات متعددی نشان داده‌اند که با افزایش تنش شوری

میزان کلروفیل به طور معمول کاهش می‌یابد. Tadayonnejad و همکاران (2021) کاهش محتوای کلروفیل را در گیاه گندم با افزایش شدت شوری مشاهده کردند. نتایج مطالعه دیگری در گندم نشان داد که تنش شوری میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی را کاهش داده است (Rostami *et al.*, 2020). طبق مطالعات انجام شده، تحت تاثیر تنش شوری، غشای تیلاکوئیدها و کلروپلاست‌ها تخریب می‌شود. تحت شرایط تنش شوری، بیان ژن کلروفیل‌از بیشتر شده و تجزیه کلروپلاست‌ها سریع‌تر می‌شود. همچنین، غلظت بالای نمک مانع از جذب نیتروژن و منیزیم شده که این عناصر جهت سنتز کلروفیل ضروری هستند (Pandit *et al.*, 2024).

قند محلول کل و پروتئین

طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) اثر تنش شوری و اثر متقابل شوری و رقم بر میزان قند محلول کل و پروتئین معنی‌دار بود. با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل، مقایسه میانگین برای اثر متقابل رقم در تنش شوری انجام شد که بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۷) با افزایش تنش شوری غلظت پروتئین‌های محلول گیاهچه‌های جو بطور قابل ملاحظه‌ای در هر دو رقم سرارود و بهمن کاهش یافت به‌طوری‌که کمترین غلظت پروتئین در سطح ۱۵ دسی‌زیمنس نمک NaCl در رقم بهمن مشاهده گردید. کاهش پروتئین در جو تحت تنش شوری را می‌توان با چندین سازوکار فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی توضیح داد. یکی از عواملی که در شرایط

تنش‌های غیرزیستی از جمله تنش شوری باعث آسیب به سلول‌های گیاهی و جلوگیری از رشد گیاهان می‌شود، تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن تحت شرایط تنش بوده که باعث اکسیداسیون پروتئین‌ها، تغییرات آمینواسیدی و شکسته شدن زنجیره‌های پپتیدی می‌گردد (Saedi- Moucheshi & Safari, 2023). بنابراین کاهش محتوای پروتئین گیاهچه‌های جو در شرایط تنش شوری می‌تواند به دلیل هیدرولیز و یا کاهش پروتئین‌های محلول باشد (Rostami *et al.*, 2020). در پژوهش Ashrafi و همکاران (2013) نیز در دو رقم حساس و متحمل به تنش شوری در گیاه جو غلظت پروتئین در واکنش به تنش شوری کاهش یافت که با نتایج بدست آمده در این مطالعه همخوانی دارد.

برای میزان قند محلول نیز نتایج مقایسه میانگین (جدول ۷) نشان داد که بیشترین میزان قند محلول در تیمار ۱۵ دسی‌زیمنس نمک NaCl در رقم بهمن و کمترین آن در رقم سرارود در تیمار شاهد (عدم اعمال تنش شوری) مشاهده شد. نتایج پژوهشی در گیاه کینوا (Gharibvan notorki *et al.*, 2025) نشان داد که تنش شوری موجب افزایش قند محلول در این گیاه شد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. به نظر می‌رسد یکی از معمول‌ترین واکنش‌های گیاهان در برابر تنش محیطی تنظیم اسمزی است. تجمع یافتن قند در اندام‌های گیاه و کاهش نشاسته در آنها، با تخریب مولکول‌های درشت و برقراری تورژسانس اتفاق می‌افتد که در نتیجه آن مولکول‌های نشاسته طی چند مرحله به فروکتوز شکسته شده و

موجب منفی‌تر شدن پتانسیل آب در سلول‌ها و تنظیم اسمزی می‌شود (Kumar et al., 2007).

نسبت پتاسیم به سدیم (K^+/Na^+)

نتایج تجزیه واریانس نسبت پتاسیم به سدیم (جدول ۶) نشان داد که اثر اصلی شوری و اثر متقابل دوگانه شوری $\times$ رقم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود لذا مقایسه میانگین برای اثر متقابل انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که هر دو رقم بهمن و سرارود تحت شرایط شوری ۱۵ دسی‌زیمنس نمک NaCl کمترین میزان نسبت پتاسیم به سدیم و رقم بهمن در شرایط عدم اعمال تنش شوری بیشترین مقدار نسبت پتاسیم به سدیم را داشتند (جدول ۸). به‌طور کلی تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار نسبت پتاسیم به سدیم گردید که این کاهش در رقم بهمن بیشتر از رقم سرارود بود. رابطه بین نسبت پتاسیم به سدیم و تحمل شوری در گیاهان در مطالعات مختلف گزارش و به‌عنوان معیار مناسب برای تعیین عملکرد و تحمل شوری در گیاهان به‌کار گرفته شده است (Chhipa & Lai, 1995; Ghasemi et al., 2023).

کاهش معنی‌دار نسبت یون‌های پتاسیم به سدیم در ریشه بعد از اعمال تنش نشان می‌دهد که شوری با جلوگیری از انتقال هیدرولیکی ریشه، انتقال آب را کاهش داده و مانع از اثر اصلاحی کلسیم بر گیاه می‌شود. از آنجایی که یون سدیم از جذب یون پتاسیم ممانعت و با آن رقابت می‌کند، کاهش در میزان نسبت پتاسیم به سدیم در اثر تنش شوری مورد انتظار است (Miri Kondori et al., 2014).

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۶) نشان داد که اثر اصلی شوری و اثر متقابل دوگانه شوری $\times$ رقم در سطح احتمال یک درصد بر میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکول پراکسیداز معنی‌دار بود. یکی از بزرگ‌ترین عوامل محدود کننده محیطی در گیاهان، شوری می‌باشد که در نتیجه این تنش در گیاهان، رادیکال‌های آزاد اکسیژن زیاد می‌شود. یکی از راه‌کارهای تحمل گیاهان به تنش شوری، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌باشد (Noctor et al., 1998; Anafjeh et al., 2017). نتایج بدست آمده در این آزمایش نشان داد که با افزایش تنش شوری، میزان فعالیت کاتالاز و گایاکول پراکسیداز در هر دو رقم مورد مطالعه افزایش یافت (جدول ۸). مشابه این نتیجه، در گیاه جو مشاهده شد که تنش شوری باعث افزایش فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله کاتالاز و پراکسیداز شده است (Pakar et al., 2016). در پژوهش دیگری که توسط Noreen و همکاران (2020) صورت گرفته است اثر تنش شوری بر سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه جو بررسی شده و بیان کردند طی تنش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی مانند کاتالاز و پراکسیداز افزایش می‌یابد.

پرولین

طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۶) اثر تنش شوری و اثر متقابل رقم و تنش شوری بر میزان پرولین گیاه جو معنی‌دار بود. افزایش شدت تنش شوری در محلول غذایی

اسپری شده به جو موجب افزایش پرولین گیاهچه در هر دو رقم بهمن و سرارود گردید. به طوری که در غلظت ۱۵ دسی‌زیمنس نمک NaCl، در رقم سرارود حدود ۴۰ درصد و در رقم بهمن حدود ۴۵/۵ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد (جدول ۸). یکی از سیستم‌های دفاعی گیاه در هنگام تنش، افزایش پرولین است. پرولین با کارهایی مانند تنظیم اسمزی، جلوگیری از تخریب آنزیم‌ها، حفظ و سنتز پروتئین، مقاومت گیاه را در برابر تنش بالا می‌برد. در واقع پرولین یک اسمولیت بوده که موجب تنظیم پتانسیل اکسیداسیونی سلول، حفظ تورژسانس و حجم سلول شده و در نهایت موجب تحمل

تنش می‌شود. از طرف دیگر تنش شوری باعث تحریک ژن‌های سنتز کننده آنزیم‌های مسیر گلوتامات شده که این آنزیم‌ها سنتز پرولین را افزایش می‌دهند (Ghasemi et al., 2023). نتایج این تحقیق با پژوهش Nabati و همکاران (2022) در گیاه نخود و مطالعه در گیاه برنج (Mohamadi et al., 2024) مطابقت داشت، نتایج داده‌های آنها نیز نشان داد که با افزایش شدت تنش شوری، میزان پرولین و مقاومت گیاه افزایش یافت.

جدول ۵- تجزیه واریانس مرتبط با تاثیرات تنش شوری و رقم بر کلروفیل a و b، پروتئین و قند محلول در گیاه

جو

Table 5- Analysis of variance regarding the effects of salinity stress and cultivar on chlorophyll a and b, soluble sugar and protein in barley

میانگین مربعات (Mean of Squares)					
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	قند محلول Soluble sugar	پروتئین Protein
رقم (A) Cultivar (A)	1	0.000125 ^{n.s}	0.0075 ^{n.s}	0.405 ^{n.s}	0.000197 ^{n.s}
شوری (B) Salinity (B)	3	0.022 ^{**}	0.025 ^{**}	2.37 ^{**}	0.371 ^{**}
A*B	3	0.021 ^{**}	0.028 ^{**}	2.34 ^{**}	0.377 ^{**}
خطا Error	40	0.0036	0.0037	0.36	0.057
ضریب تغییرات C.V	-	13.1	8.75	19.7	11.12

*** و n.s به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌داری است
 **, n.s: Significant at 1% probability levels, and non-significant, respectively

جدول ۶- تجزیه واریانس مرتبط با تاثیرات تنش شوری و رقم بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، پرولین و نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه جو

Table 6- Analysis of variance regarding the effects of salinity stress and cultivar on antioxidant enzymes, proline and K⁺/Na⁺ ratio in barley

(Mean of Squares) میانگین مربعات					
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	کاتالاز Catalase	گایاکول پراکسیداز Guaiacol peroxidase	پرولین Proline	نسبت پتاسیم به سدیم K ⁺ /Na ⁺ ratio
رقم (A) Cultivar (A)	1	0.00011 ^{n.s}	0.00031 ^{n.s}	0.000012 ^{n.s}	0.0024 ^{n.s}
شوری (B) Salinity (B)	3	0.0022 ^{**}	0.0024 ^{**}	0.0036 ^{**}	0.128 ^{**}
A*B	3	0.0019 ^{**}	0.0023 ^{**}	0.0048 ^{**}	0.12 ^{**}
خطا Error	40	0.0003	0.0003	0.001	0.021
ضریب تغییرات C.V	-	18.07	17.26	7.33	13.29

** و n.s به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌داری است
 **, n.s: Significant at 1% probability levels, and non-significant, respectively

جدول ۷- مقایسه میانگین تاثیرات تنش شوری و رقم بر کلروفیل a و b، پروتئین و قند محلول در گیاه جو
 Table 7- Mean comparison for effects of salinity stress and cultivar on chlorophyll a and b, soluble sugar and protein in barley

رقم	کلرید سدیم (دسی‌زیمنس بر متر)	کلروفیل a (میلی گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll a (mg/g FW)	کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll b (mg/g FW)	قند محلول (میلی گرم بر گرم وزن تر) Soluble sugar (mg/g FW)	پروتئین (میلی گرم بر گرم وزن تر) Protein (mg/g FW)
سرارود Sararood	0	0.56 ^b	0.84 ^a	1.4 ^f	2.7 ^b
	5	0.51 ^c	0.82 ^a	1.8 ^e	2.1 ^c
	10	0.49 ^c	0.79 ^b	3.2 ^c	2.0 ^c
	15	0.31 ^e	0.61 ^d	4.1 ^b	1.8 ^c
بهمن Bahman	0	0.69 ^a	0.85 ^a	1.7 ^e	3.1 ^a
	5	0.53 ^{bc}	0.73 ^c	2.3 ^d	2.5 ^b
	10	0.41 ^d	0.64 ^d	4.5 ^b	1.9 ^c
	15	0.22 ^f	0.35 ^e	5.6 ^a	1.1 ^d

میانگین‌هایی که در یک ستون حروف مشابهی دارند از لحاظ آماری در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند
 Means that have the same letters in a column are not statistically significant at the 1% probability level.

جدول ۸-مقایسه میانگین تاثیرات تنش شوری و رقم بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، پرولین و نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه جو

Table 8- Mean comparison for effects of salinity stress and cultivar on antioxidant enzymes, proline and K⁺/Na⁺ ratio in barley

نسبت پتاسیم به سدیم	پرولین (میلی گرم بر گرم وزن تر)	گایاکول پراکسیداز (واحد بر گرم پروتئین)	کاتالاز (واحد بر گرم پروتئین)	کلرید سدیم (دسی‌زیمنس بر متر)	رقم
K ⁺ /Na ⁺ ratio	Proline (mg/g FW)	Guaiacol peroxidase (u/ g protein)	Catalase (u/ g protein)	NaCl (ds/m)	Cultivar
1.3 ^b	0.9 ^e	0.05 ^f	0.04 ^d	0	سرارود
1.2 ^c	1.1 ^{de}	0.07 ^e	0.08 ^c	5	Sararood
1.02 ^c	1.3 ^d	0.12 ^c	0.12 ^b	10	
0.7 ^d	1.5 ^c	0.15 ^b	0.16 ^a	15	
1.6 ^a	1.2 ^d	0.07 ^d	0.05 ^d	0	بهمن
1.4 ^b	1.5 ^c	0.09 ^d	0.07 ^c	5	Bahman
0.9 ^c	1.8 ^b	0.14 ^b	0.11 ^b	10	
0.6 ^d	2.2 ^a	0.19 ^a	0.15 ^a	15	

میانگین‌هایی که در یک ستون حروف مشابهی دارند از لحاظ آماری در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند
Means that have the same letters in a column are not statistically significant at the 1% probability level.

نتیجه‌گیری کلی

گایاکول پراکسیداز را با تشدید شوری نشان داد. این یافته‌ها همچنین نشان می‌دهد که استفاده از سیستم هواکشت می‌تواند به بهبود مطالعات ریشه کمک کند و ابزار مفیدی برای غربال‌گری اولیه ارقام بخصوص از نظر صفات ریشه باشد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از یک طرح در دانشگاه ملایر با شماره قرارداد ۱۳-۸۴/۵-۱ می‌باشد. بدینوسیله از حمایت‌های مالی و معنوی دانشگاه ملایر و همچنین از دانشگاه تربیت مدرس جهت در اختیار قرار دادن گلخانه و سیستم هواکشت قدردانی می‌گردد.

در این مطالعه دو رقم بهمن و سرارود در مرحله گیاهچه‌ای بر اساس صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تشدید تنش شوری باعث کاهش قابل توجهی در ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک ریشه و اندام‌هوایی، طول و حجم ریشه، رنگیزه‌های فتوسنتزی و نسبت پتاسیم به سدیم شد. کاهش رشد گیاهچه در اثر تنش شوری ممکن است به دلیل اثرات سمی نمک و جذب نامتعادل مواد مغذی گیاهچه باشد. همچنین نتایج این پژوهش افزایش در صفاتی مانند غلظت پرولین، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و

References

- Aebi, H. 1984. Catalase *in vitro*. Methods in enzymology, 105, 121-126.
[https://doi.org/10.1016/s0076-6879\(84\)05016-3](https://doi.org/10.1016/s0076-6879(84)05016-3)

- Ali, M. N., Yeasmin, L., Gantait, S., Goswami, R., & Chakraborty, S. 2014. Screening of rice landraces for salinity tolerance at seedling stage through morphological and molecular markers. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 20, 411-423. <https://doi.org/10.1007/s12298-014-0250-6>
- Anafjeh, E., Salehi Salmi, M., Daneshvar, M., & Meratan, A. 2017. Effect of salinity stress on growth, proline content and antioxidant enzymes activity in the halophyte *Sesuvium portulacastrum* L. *Plant Process and Function*; 6 (21), 267-278. DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.20.2. [In Persian]
- Arab, N. A., Jami Moeini, M., & Marvi, H. 2024. Effect of late season application of different nitrogen sources and foliar application of potassium on the grain yield and quality in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Crop Science Research in Arid Regions*, 6(3), 35-52. <https://doi: 10.22034/csrar.2024.367597.1283>. [In Persian]
- Arifuddin, M., Musa, Y., Farid, M., Anshori, M. F., Nasaruddin, N., Nur, A., & Sakinah, A. I. 2021. Rice screening with hydroponic deep-flow technique under salinity stress. *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*, 53(3).
- Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant physiology*, 24(1), PP: 1-17. <https://doi: 10.1104/pp.24.1.1>
- Ashrafi, S.h., Hosseini, R., Garoosi, G.h.A., Haddad, R., & Moradnejad, M. 2013. Investigation on changes in single stranded DNA preferring nuclease activity, protein and chlorophyll contents during salt stress in two sensitive and tolerant barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.). *Cell and Tissue Journal*, 4(2), 187-195. <https://doi: 10.52547/JCT.4.2.187>. [In Persian]
- Atlassi Pak, V., Bahmani, O., & Asadbegi, M. 2018. Evaluation of Na^+ concentration and K^+/Na^+ ratio as a criterion for salinity tolerance in wheat and barley. *Journal of Crop Production and Processing*, 8 (3), 133-143. <https:// 10.29252/jcpp.8.3.133>. [In Persian]
- Bates, L. S., Waldren, R. A., & Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00018060>
- Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1-2), PP: 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Chhipa, B. R., & Lal, P. 1995. Na^+/K^+ ratios as the basis of salt tolerance in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 46, 533-53. <https://doi.org/10.1071/AR9950533>
- Cozzolino, D., Roumeliotis, S., & Eglinton, J. 2015. Relationships between fatty acid contents of barley grain, malt, and wort with malt quality measurements. *Cereal Chemistry*, 92, pp.93-97. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-04-14-0071-R>
- Fahmideh, L., Mazarie, A., & Pahlavan, P. 2022. Madadi, S. Effect of salinity stress on some morphophysiological and biochemical traits of two barley cultivars. *Plant Process and Function*; 11 (50), 275-292. DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.17.2. [In Persian]
- FAOSTAT. 2023. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), FAOStatistical Database, from <http://faostat.fao.org>
- Gharibvan notorki, J., Piri, H., Haghighatjoo, P., Naserin, A., & Asadi loor, M. 2025. Determining the optimal irrigation amount and salinity in quinoa (*Chenopodium quinoa*) by surface-response method. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55(11), 1981-1999. <https://doi: 10.22059/ijswr.2024.377374.669722>. [In Persian]
- Ghasemi, V., Ehtesham Nia, A., Rezaeinejad, A., & Mumivand, H. 2023. The effect of different levels of salinity stress and cultivar on biochemical and physiological characteristics and nutrient concentration of William Sweet (*Dianthus barbatus*). *Journal*

- of Plant Production Research, 30(1), 1-19. [https://doi: 10.22069/jopp.2021.19072.2815](https://doi.org/10.22069/jopp.2021.19072.2815). [In Persian]
- Hamzeh Abbasipour Bahrani, H., Habibollah Ghazvini, H., Amiri, B., Bazrafshan, F., & Nikkhah, H.R. 2021. The effect of salinity stress on some traits of different barley lines under greenhouse and hydroponic conditions. *Agroecology Journal*, 17(1), 15-27. <https://10.22034/aej.2022.696777>. [In Persian]
- Hamzeh-Kahnoji, Z., Ebrahimi, A., Sharifi-Sirchi, G. R., & Majidi-Hervan, E. 2021. Monitoring of morphological, biochemical and molecular responses of four contrasting barley genotypes under salinity stress. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21(3), 187-196. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.08.001>
- Irigoyen, J., Einerich, D., & Sánchez-Díaz, M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, 84(1), 55-60. <http://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1992.840109.x>
- Pandit, K., Kaur Chandni, S., Kumar, M., Bhardwaj, R., & Kaur, S. 2024. Salinity stress: impact on plant growth, *Advances in Food Security and Sustainability*, 9, 145–160. <https://doi.org/10.1016/bs.af2s.2024.07.002>
- Kang, H. M., & Saltveit, M. E. 2002. Chilling tolerance of maize, cucumber and rice seedling (leaves and roots) and differentially affected by salicylic acid. *Physiologia Plantarum*, 115, 577-576. [https://doi: 10.1034/j.1399-3054.2002.1150411.x](https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1150411.x).
- Kazemi ArPanahi, A., Mahlooji, M., Marashi, S. K., Mojaddam, M., & Sakinezhad, T. 2024. Morphophysiological responses of barley genotypes to concentration of Zinc sulphate under drought and salinity conditions. *Crop Science Research in Arid Regions*, 6(3), 71-90. <https://10.22034/csrar.2023.388117.1327>. [In Persian]
- Kumar, V., Shiram, V., Jawali, N., & Shitole, M.G. 2007. Differential response of indica rice genotypes to NaCl stress in relation to physiological and biochemical parameters. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2, 581-592. <https://doi.org/10.1080/03650340701576800>
- Maksimovic, J. D., Zhang, J., Zeng, F., Zivanovic, B. D., Shabala, L., Zhou, M., & Shabala, S. 2013. Linking oxidative and salinity stress tolerance in barley: Can root antioxidant enzyme activity be used as a measure of stress tolerance?. *Plant and Soil*, 365, 141-155. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1366-5>
- Miri Kondori, M., Mohammadi, S.A., & Bandehhagh, A. 2014. Effect of salinity on root characteristics of Sahara 3771 (salt tolerant) and Clipper (salt sensitive) barley varieties. *Cereal Research*, 4(2), 175-184. DOR: 20.1001.1.22520163.1393.4.2.7.3. [In Persian]
- Mithunesh, P., Gupta, K., Ghule, S., & Hule, S. 2015. Aeroponic based controlled environment based farming system. *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)*, 17(6), 55-58. [https://doi. 10.9790/0661-17625558](https://doi.org/10.9790/0661-17625558)
- Mohamadi, S.F., Babaian Jolodar, N., Bagheri, N., Nematzadeh Qharakhili, G.A., & Hashemi Petroudi, S.H. 2024. Studying the effect of salinity stress on some morphological and physiological traits in rice genotypes at the seedling stage under hydroponic conditions. *Plant Process and Function*, 13 (59) :343-364. <https://doi: 10.22034/13.59.343>. [In Persian]
- Movahedi, Z., & Moieni, A. 2024. Effects of Farmax nano fertilizer and Amino Acid on morological traits and photosynthetic pigments of chicory in aeroponic system. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55(6), 889-902. <https://doi: 10.22059/ijswr.2024.371442.669651>. [In Persian]

- Munns, R., & Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681. <https://doi: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Nabati, J., Nasiri, Z., Nezami, A., Kafi, M. and Goldani, M. 2022. Effects of salinity stress on growth processes and survival of desi-type chickpea genotypes in hydroponic conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53(2), 29-44. <https://doi: 10.22059/ijfcs.2021.315235.654779>. [In Persian]
- Noctor, G., Arisi, A.C.M., Jouanin, L., Kunert, K.J., Rennenberg, H., & Foyer, C.H. 1998. Glutathione: biosynthesis, metabolism and relationship to stress tolerance explored in transformed plants. *Journal of Experimental Botany*, 49 (321), 623-647. <https://doi: 10.1093/jexbot/49.321.623>
- Noreen, S., Sultan, M., Akhter, M. S., Shah, K. H., Ummara, U., Manzoor, H., & Ahmad, P. 2021. Foliar fertigation of ascorbic acid and zinc improves growth, antioxidant enzyme activity and harvest index in barley (*Hordeum vulgare* L.) grown under salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 158, 244-254. <https://doi: 10.1016/j.plaphy.2020.11.007>. Epub 2020 Nov 7.
- Pakar, N., Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y., & Pessarakli, M. 2016. Barley growth, yield, antioxidant enzymes, and ion accumulation affected by PGRs under salinity stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 39, 1372-1379. <https://doi: 10.1080/01904167.2016.1143498>
- Rostami, M., Javadi, A., & Hosseinzadeh, S. M. 2020. Induction of resistance to salinity stress in the produced seeds of wheat after foliar application of nano-zinc oxide and nano-iron oxide. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 33(3), 593-606. DOR: 20.1001.1.23832592.1399.33.3.5.9. [In Persian]
- Saed-Moucheshi, A., & Safari, H. 2023. Investigation of regulatory elements related to superoxide dismutase enzyme genes in wheat. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, 2(1), 64-73. <https://doi: 10.22126/cbb.2023.8692.1034>. [In Persian]
- Salama, S., Terivedi, S., Busheva, M., Afra, A., Grab, G., & Erdei, L. 1994. Effects of NaCl salinity on growth, cation accumulation, chlorophyll structure and function in wheat cultivars differing into salt tolerance. *Plant Physiology*, 144, 241- 247. [https://doi:10.1016/S0176-1617\(11\)80550-X](https://doi:10.1016/S0176-1617(11)80550-X)
- Soofinia, S., & Pourmohammad, A. 2024. The effect of different levels of salinity stress on early-maturing genotypes grass pea (*Lathyrus sativus* L.) genotypes at various harvest times. *Crop Science Research in Arid Regions*, 6(3), 185-201. <https://doi: 10.22034/csrar.2024.444548>. [In Persian]
- Tadayonnejad, M., Dehqani, M., & Parsadoust, F. 2021. Effect of salinity stress and phosphorus application in different stages of wheat growth on biomass and some of its physiological characteristics. *Plant Process and Function*, 10 (44), 119-132. DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.15.1. [In Persian]
- Updhyaya, A., Sankhla, D., Davis, T. D., Sankhla, N., & Smidh, B. N. 1985. Effect of paclobutrazol on the activities of some enzymes of activated oxygen metabolism and lipid peroxidation in senescing soybean leaves. *Plant Physiology*, 121, 453-461. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(85\)80081-X](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(85)80081-X)
- Waisel, Y., & Eshel, A. 2002. *Aeroponics: a tool for root research under minimal environmental restrictions. Plant roots: the hidden half.* New York: Marcel Dekker, 323-331.