نشریه فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۵، شماره ۷۱، فروردین و اردیبهشت ۱۴۰۵ صفحه: ۶۵-۴۵
https://doi.org/10.22034/15.71.45

مقاله پژوهشی

ارزیابی واکنش مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.) به کودهای بیولوژیک تحت تنش شوری

فریبا وفاعهد[1]، شیوا خالص رو*[1]، بتول مهدوی[2]

[1] گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

[2] گروه ژنتیک و تولید گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران

چکیده

مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.) یکی از گیاهان دارویی و معطر ارزشمند با کاربردهای فراوان در صنایع دارویی و غذایی است. کاربرد نهاده‌های با منشأ طبیعی که ضمن تأمین نیازهای غذایی گیاه، مقاومت آن در برابر تنش‌های محیطی از جمله شوری را افزایش دهد، می‌تواند راهکاری کلیدی در تولید این محصول و دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار باشد. بنابراین این پژوهش، به منظور مطالعه اثر تنش شوری و کودهای زیستی بر صفات رویشی و فیزیولوژیک گیاه دارویی مرزه تابستانه انجام شد. اثر تیمارهای کود در چهار سطح (شاهد، باکتری (*Pseudomonas fluorescens*)، جلبک (*Sargassum boveanum*)، جلبک+ باکتری) و شوری در چهارسطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ میلی‌مولار) بر صفات رویشی و فیزیولوژیک در این گیاه، آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان در سال ۱۴۰۲ به اجرا در آمد. یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان داد با افزایش سطوح تنش شوری، صفات نامبرده کاهش یافتند. کاربرد کود جلبک و باکتری، اثر افزایشی بر صفات ارتفاع بوته (۳۱/۱۲ سانتی‌متر)، طول ریشه (۱۴/۱۱ سانتی‌متر)، حجم ریشه (۴/۰۴ میلی‌لیتر)، وزن خشک اندام هوایی (۱۷/۹۳ گرم)، پروتئین کل (۲۱/۷۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و مالون دی‌آلدئید در شرایط تنش شوری داشتند، و همچنین صفات پرولین (۷/۰۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، کلروفیل (۱/۷۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و آنزیم پراکسیداز دیسموتاز (۰/۴ میلی‌گرم پروتئین در دقیقه در وزن تر) تحت تأثیر اثر متقابل کود زیستی و تنش شوری قرار گرفتند. لذا با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش مبنی بر تأثیر مثبت و معنی‌دار کودهای زیستی بر صفات مورد بررسی به ویژه تحت تنش شوری، می‌توان به عنوان راهکاری جهت کاهش اثرات نامطلوب شوری مطرح نمود.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، جلبک دریایی، سودوموناس، مرزه

دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۲/۳۱، بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۰۹، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۷، اولین انتشار: ۱۴۰۵/۰۲/۱۲

* نویسنده مسئول، رایانامه: sh.khalesro@uok.ac.ir

حق انتشار این مستند، متعلق به انجمن فیزیولوژی گیاهی ایران است. ۱۴۰۳ ©

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:
Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.45]

مقدمه

گیاهان دارویی منابع طبیعی ارزشمندی هستند و به عنوان مواد اولیه جهت تبدیل به داروهای بی‌خطر برای انسان تلقی می‌شوند. ایران یکی از غنی‌ترین منابع گیاهان دارویی جهان را دارا می‌باشد. کشور ایران خاستگاه گیاهان متنوعی است که بسیاری از این گیاهان به لحاظ خواص درمانی منحصر به‌فرد است (عبادی و همکاران، ۱۳۹۵). استفاده روزافزون از گیاهان دارویی در سطح جهان، اهمیت کشت و تولید این گیاهان را روشن‌تر می‌سازد. در حال حاضر تقاضا برای گیاهان دارویی به عنوان مواد اولیه صنایع بهداشتی و دارویی در حال افزایش است.

مرزه (*Satureja hortensis* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی و ادویه‌ای است که درکشورهایی نظیر فرانسه، اسپانیا، آمریکا و مجارستان در سطوح وسیعی کشت‌وکار می‌گردد. این گونه، گیاهی یکساله، علفی و معطر از خانواده Lamiaceae است. خاستگاه اصلی آن، شمال آفریقا، خاورمیانه و آسیای مرکزی، جنوب و جنوب شرقی اروپا است و امروزه در اغلب دنیا کشت می‌گردد (Bimbiraite-Surviliene *et al*., 2021). مرزه دارای ساقه‌های متعدد افراشته یا ساقه‌های کمانی با ارتفاع ۵۵ تا ۷۵ سانتی‌متر به رنگ تیره‌تر از برگ‌ها است. قسمت مورد استفاده مرزه، برگ یا کلیه اندام هوایی آن یعنی شاخه‌های برگدار و گلدار آن است. در سطح برگ، لکه‌های کوچک فراوانی وجود دارد که غدد ترشحی نامیده می‌شوند. این غده‌ها که حاوی اسانس است می‌توانند به صورت کرک‌های غده‌ای ظاهر شوند و به شکل برجستگی‌های ریز و نقطه‌ای روی برگ دیده می‌شوند و حاوی ترکیبات معطر و فرار هستند (Huchelmann *et al*., 2017) از مزیت این کرک‌های غده‌ای، می‌توان به دفع حشرات گیاه‌خوار و جذب گرده‌افشان‌ها اشاره کرد (Tetali, 2018). مرزه به دلیل خاصیت ضدعفونی‌کنندگی، ضدمیکروبی، ضدقارچی، ضدالتهابی، ضداسهالی، تقویت‌کننده قلب و عروق و تصفیه‌کننده خون در طب سنتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Khoury *et al*., 2016). عاملی که به این گیاه، خاصیت دارویی می‌بخشد اسانس و ترکیبات موجود در آن است. ترکیبات اصلی اسانس این گیاه تیمول، کارواکرول، ترپینن و بورنئول هستند. مرزه در اندام‌های هوایی و ساختار زایشی دارای ۳/۸ تا ۳/۹ درصد اسانس به همراه تانن، رزین و موسیلاژ است. علاوه‌براین به دلیل وجود ترکیبات فعال بیولوژیکی از جمله فلاونوئیدها، تری‌ترپن‌ها و ویتامین‌ها این گیاه، منبع ارزشمند و سالمی برای استفاده انسان است (خالص‌رو و همکاران ،۱۳۹۵). مرزه کاربردهای وسیعی در صنایع غذایی، دارویی و عطرسازی دارد که موجب اهمیت اقتصادی آن شده است (Mehdizadeh *et al*., 2019).

رشد و فیزیولوژی گیاهان، تحت تأثیر تنش‌های محیطی مانند شوری، خشکی و دما قرار می‌گیرد. تنش غیرزیستی، تهدیدی برای رشد و بهره‌وری گیاهان در نظام‌های کشاورزی است. تنش شوری، یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات زراعی در سراسر جهان است (AbdElgavad *et al*., 2016). قرارگرفتن در معرض غلظت بالای نمک (NaCl) در اطراف ناحیه ریشه، تنش اسمزی را افزایش می‌دهد و سمیت یونی را بیشتر می‌کند. تنش اسمزی بر جذب آب، جوانه‌زنی بذر، طویل‌شدن سلول، رشد برگ، رشد جوانه‌های جانبی ساکن، انشعاب جانبی، سرعت فتوسنتز، جذب و انتقال مواد مغذی از ریشه به اندام هوایی، تأمین ناگهانی کربوهیدرات‌ها به نواحی مریستمی تأثیر می‌گذارد و تأثیر منفی بر رشد کلی می‌گذارد (Van Zelm *et al*., 2020). به‌طورکلی، شوری، تأثیر شدیدی بر فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه از مرحله جوانه‌زنی بذر تا تشکیل بذر دارد. افزایش غلظت اسید آبسیزیک نیز به دلیل تنش اسمزی و کاهش pH آوند چوبی و هدایت آن از طریق سمیت یونی خاص در گیاهان رخ می‌دهد. علاوه‌براین، فعالیت آنزیم‌های اصلی سیتوزولی می‌تواند به‌دلیل تداخل در تعادل (Hemostasis) پتاسیم بین سلولی تحت تأثیر شوری قرار گیرد و از طریق ایجاد گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) باعث تنش اکسیداتیو در سلول‌های گیاهی شود (Haddadi *et al*., 2016). نتایج حاصل از مطالعه‌ای با بررسی اثر تنش شوری بر عملکرد، خصوصیات مورفولوژیکی و اسانس مرزه نشان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.45]

داد تنش شوری، صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه و همچنین وزن خشک گیاه را تحت تأثیر قرار داد بطوریکه با افزایش تنش شوری، صفات نامبرده کاهش یافتند (سعیدی‌نیا و همکاران، ۱۴۰۲). نتایج مطالعه دیگری، حاکی از آن بود که شوری باعث کاهش رشد گیاه ریحان شد بطوریکه ارتفاع بوته‌ها ۲۲ درصد و طول ریشه، ۶۰ درصد نسبت به گروه شاهد کاهش یافت (Jadczak *et al*., 2022).

برای کاهش اثرات منفی تنش شوری می‌توان از روش‌های جدیدی از قبیل میکروارگانیسم‌های خاکزی، جلبک‌ها و عصاره‌های گیاهی و ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR)ها (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) که در کشاورزی پایدار نقش مهمی دارند استفاده کرد. زیرا روش‌های مذکور علاوه بر بهبود عملکرد محصولات، موجب حفاظت محیط‌زیست نیز می‌شوند و گامی مؤثر در راستای دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار هستند.

PGPRها می‌توانند رشد گیاه را مستقیماً از طریق تولید هورمون‌های گیاهی و به‌طور غیرمستقیم از طریق تثبیت نیتروژن و تولید عوامل کنترل زیستی در برابر پاتوژن‌های گیاهی خاکزی تحت تأثیر قرار دهند (Sharafzadeh *et al*., 2016). محرک‌های زیستی مبتنی بر باکتری حاوی یک گروه اصلی از محرک‌های زیستی گیاهی هستند. ریزوباکترهای محرک رشد گیاهی (PGPR) که ریزوسفر گیاهی را کلونیزه می‌کنند، از مهم‌ترین گروه مؤثر در این زمینه محسوب می‌شوند. از جمله این باکتری‌ها می‌توان به *Pseudomonas* spp. و *Bacillus* spp. اشاره کرد. مطالعات نشان داده‌اند که این باکتری‌ها از طریق مکانیسم‌های مختلفی از جمله بهبود جذب مواد مغذی، افزایش رشد گیاه و تقویت مقاومت در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی، نقش مهمی در ارتقای عملکرد گیاهان ایفا می‌کنند. (Radhakrishnan *et al*., 2017).

جلبک دریایی نیز موجب تقویت رشد گیاه و ریشه، تأخیر در پیری و افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی مانند خشکی، شوری و دما می‌شود (Colla *et al*., 2017). عصاره جلبک دریایی به‌عنوان یک محرک زیستی نقش مهمی را در کاهش اثرات تنش غیرزیستی و افزایش بهره‌وری گیاهان ایفا می‌کند (El Boukhari *et al*., 2020). این عصاره حاوی ترکیبات مفیدی از جمله عناصر پرمصرف و کم‌مصرف و همچنین هورمون‌های گیاهی حیاتی مانند سیتوکینین، جیبرلین و اکسین است (La Bella *et al*., 2021). این ترکیبات می‌توانند رشد گیاهان را تسریع، کیفیت محصول را ارتقا و تحمل به تنش‌های محیطی را افزایش دهند (Keya Tudu *et al*., 2022). این هورمون‌ها با تحریک فرآیندهای تقسیم سلولی، طویل‌شدن سلول‌ها و افزایش فعالیت فتوسنتزی منجر به بهبود شاخص‌های رشدی گیاهان می‌شوند (Layek *et al*., 2018). در مطالعه‌ای تأثیر برخی از انواع جلبک‌های دریایی بر روی رشد و عملکرد موسیر (*Allium ascalonicum* L.) بررسی شد. نتایج نشان داد که کاربرد انواع جلبک دریایی منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، وزن تر بوته، وزن تر غده و قطر پیاز گردید (Yusuf *et al*., 2016).

بنابراین با توجه به اهمیت گیاه دارویی مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.) در صنایع مختلف، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تأثیر کودهای بیولوژیک شامل باکتری (*Pseudomonas fluorescens*)، جلبک (*Sargassum boveanum*)، و کاربرد تلفیقی آن‌ها بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک آن تحت تنش شوری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان در سال ۱۴۰۱ اجرا شد. گیاه دارویی مورد مطالعه، مرزه تابستانه بود. تیمارهای آزمایش شامل کودهای زیستی در چهار سطح (شاهد، باکتری *Pseudomonas Bacter*، جلبک دریایی *Sargassum boveanum* و تیمار تلفیقی جلبک دریایی+ باکتری) و تنش شوری در چهار سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) بودند.

بذر مرزه از شرکت پاکان بذر اصفهان و باکتری از شرکت دایان (خوشه‌پروران زیست‌فناور) تهیه شدند. از نواحی جزر و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]
[DOI: DOI: 10.22034/15.71.45]

مدی سواحل خلیج‌فارس در استان بوشهر نیز، جلبک دریایی جمع‌آوری گردید. جلبک‌ها با استفاده از کلید استاندارد طبقه‌بندی شناسایی شدند. برای تهیه عصاره جلبک دریایی ابتدا ۱/۲۵ گرم از پودر جلبک در ۲۵ سی‌سی آب حل شد. سپس، ۲۵ سی‌سی محلول به مدت ۱۶ ساعت در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد، شیک گردید و پس از صاف‌شدن با کاغذ صافی مورد استفاده قرار گرفت (Bhosle *et al.*, 1975).

در این آزمایش، برای کاشت گیاهان ابتدا گلدان‌ها با پرلیت و کوکوپیت (۲:۱) پر شدند. بذور مرزه قبل از کاشت با باکتری تلقیح شدند؛ سپس ۱۰ عدد از آن‌ها در گلدان‌های با قطر ۲۰ سانتی‌متر کشت شدند. پس از ظهور برگ‌های اولیه تعداد گیاهان به پنج عدد تقلیل یافت و تنش شوری اعمال شد. در طول مدت زمان تنش هر پنج روز یک بار آبشویی کامل محیط ریشه گیاهان با آب معمولی بدون تنش شوری انجام گرفت تا تغییرات EC و pH در اثر آبشویی به حداقل برسد. غلظت‌های شوری مورد نظر با استفاده از کلرید سدیم در محلول غذایی هوگلند تهیه و به گلدان‌ها اضافه شد. برای غلظت صفر میلی‌مولار (شاهد بدون تنش) از محلول هوگلند استفاده شد. محلول غذایی هوگلند حاوی ۰/۷۵ میلی‌مولار $MgSO_4$، ۰/۵ میلی‌مولار KH_2PO_4، ۱/۲۵ میلی‌مولار KNO_3، ۱/۵ میلی‌مولار $Ca(NO_3)_2$، ۵۰ میکرومولار KCl، ۵۰ میکرومولار H_3BO_3، ۱۰ میکرومولار $MnSO_4$، ۲ میکرومولار $ZnSO_4$، ۱/۵ میکرومولار $CuSO_4$، ۰/۰۷۵ میکرومولار $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$ و ۱۰ میکرومولار Fe-EDTA با فسفر ۵۰ درصد بود (Hoagland and Arnon, 1950). غلظت ۱/۵ درصد جلبک نیز براساس میزان آب مصرفی تهیه و سپس با سم‌پاش دستی، تمام سطح برگ تیمارهای موردنظر محلول‌پاشی شدند و برای تیمار شاهد نیز آبیاری با آب‌مقطر صورت گرفت. چهار روز بعد از تنش، اولین محلول‌پاشی با جلبک و با فاصله ١٤ روز بعد محلول‌پاشی‌های بعدی انجام گرفت. گیاهان در مرحله آغاز گلدهی برداشت شدند و صفات طول ریشه، ارتفاع بوته، حجم ریشه (با استفاده از استوانه مدرج)، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه اندازه‌گیری شدند. برای تعیین صفات فیزیولوژیکی، نمونه برگی از گیاه ٢٤ ساعت بعد از آخرین محلول‌پاشی تهیه گردید و در دمای ۸۰°C- تا زمان اندازه‌گیری صفات نگهداری شدند. فعالیت آنزیم پراکسیداز (Pandolfini *et al.*, 1992) مورد ارزیابی قرار گرفتند.

اندازه‌گیری کلروفیل: برای اندازه‌گیری کلروفیل، ۱۰ گرم بافت تازه برگ با استون ۸۰ درصد ساییده شد. سپس نمونه‌ها با سرعت ٦٠٠٠ دور در دقیقه به مدت ۱۰دقیقه سانتریفیوژ شدند. مقادیر کلروفیل در طول‌موج ٦٦٣ و ٦٤٥ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد و نتایج براساس میلی‌گرم بر گرم وزن تر ارائه شد (Arnon, 1967).

اندازه‌گیری پرولین: جهت ارزیابی پرولین، ۰/۵ گرم بافت تازه برگ درون هاون چینی خرد شد، سپس ۱۰ میلی‌لیتر سولفو سالیسیلیک اسید ۳ درصد به آن اضافه و نمونه درون یخ قرار داده شد. سپس به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه با ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ گردید. مقدار ۲ میلی‌لیتر از عصاره صاف‌شده درون میکروتیوب ریخته شد و ۲ میلی‌لیتر نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به آن افزوده گردید. سپس در حمام آب گرم به مدت یک ساعت حرارت داده شدند و بعد درون حمام یخ قرار گرفتند. مقدار ٤ میلی‌لیتر تولوئن به محلول اضافه گردید و سپس به مدت ۲۰ ثانیه ورتکس شد. مقدار جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج۵۲۰ نانومتر خوانده شد و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد به دست آمد. نتایج برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر گزارش گردید (Bates, 1973).

اندازه‌گیری آنزیم آسکوربات پراکسیداز: برای سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (Pandolfini *et al.*, 1992) از دستگاه اسپکتروفتومتری در طول‌موج ٤٧٥ نـانومتر در مـدت ۱۲۰ ثانیـه استفاده شد. در این روش با استفاده از بافر فسفات سدیم ۲۰ میلی‌مولار (pH=٦) و گایاکول ۲۰۰ میلی‌مولار به عنوان الکترون‌دهنده و ۱۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن (w/v 30%) به عنوان پذیرنده الکترون، میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز محاسبه و برحسب واحد میلی‌گرم پروتئین در دقیقه در وزن تر بیان شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.45]

اندازه‌گیری آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: برای سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (Giannopolitis and Ries, 1977)، ۰/۲ گرم نمونه منجمد در ۳ میلی‌لیتر بافر HEPES-KOH با pH ٦/٨ حاوی EDTA ۰/۱ میلی‌مولار عصاره‌گیری شد. همگن‌های حاصل در دور ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شده و بخش رویی برای سنجش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز مورد استفاده قرار گرفت. مخلوط واکنش شامل موارد زیر بود: HEPES-KOH ۵۰ میلی‌مولار بافر با pH ٦/٨ حاوی EDTA ۰/۱ میلی‌مولار، کربنات سدیم ۵۰ میلی‌مولار با pH ۱۰/۲، L-methionine ۱۲ میلی‌مولار، Nitro Blue Tetrazolium ۷۵ میکرومولار، ریبوفلاوین ۱ میکرومولار و ۲۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی. نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در معرض نور قرار داده شدند و پس از این مدت جذب آنها در طول‌موج ٥٦٠ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر خوانده شد. همچنین از یک لوله آزمایش حاوی مخلوط واکنش بجز عصاره آنزیمی به عنوان شاهد استفاده گردید. یک واحد فعالیت سوپراکسید دیسموتاز به عنوان مقدار آنزیمی در نظر گرفته شد که منجر به مهار ۵۰٪ احیای نوری نیتروبلوتترازولیوم می‌گردد. واحد فعالیت به صورت تغییرات جذب به میلی‌گرم پروتئین در دقیقه در وزن تر بیان شد.

اندازه‌گیری پروتئین کل: برای استخراج عصاره پروتئینی به ۰/۵ گرم نمونه خشک گیاهی ٤ میلی‌لیتر از بافر تریس اسید کلریدریک اضافه شد و بعد به مدت ۲۰ دقیقه ورتکس گردید. سپس با سرعت ۵۰۰ دور دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ انجام و فاز بالایی حاوی پروتئین کل جدا گردید. سپس به ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره پروتئینی از هر نمونه ۵ میلی‌لیتر محلول برادفورد اضافه و پس از آن به مدت۲۰ دقیقه ورتکس شد. میزان جذب مخلوط به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در دو طول‌موج ۵۳۲ نانومتر اندازه‌گیری شد و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد به دست آمد. نتایج برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر گزارش شد (Bradford, 1976).

اندازه‌گیری مالون دی‌آلدئید: برای ارزیابی مالون دی‌آلدئید، پس از خردشدن ۰/۵ گرم نمونه برگ تازه در هاون چینی، ۵ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار به آن اضافه گردید. نمونه به دست آمده به مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۱٤۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. به ۱میلی‌لیتر از محلول حاصل پس از سانتریفیوژ، ۱ میلی‌لیتر محلول ۰/۵ درصد اسید تیوباربیتوریک که حاوی اسید تری کلرواستیک ۲۰ درصد بود، اضافه گردید. مخلوط در حمام آب داغ با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد. مخلوط سردشده با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. میزان جذب مخلوط به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در دو طول‌موج ۵۳۲ نانومتر اندازه‌گیری شد و نتایج برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر گزارش شد (Davey *et al.*, 2005).

تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS (ver.9.4) و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

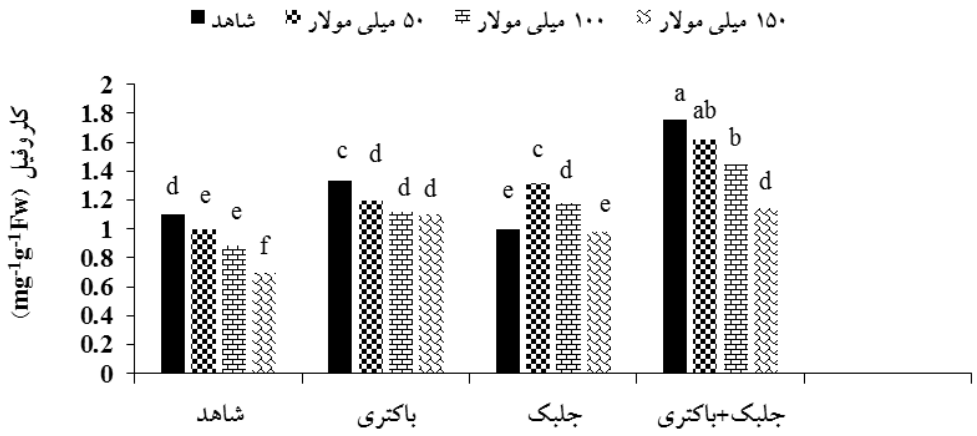
کلروفیل: تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر این بود که اثر متقابل کود زیستی و شوری بر صفت کلروفیل مرزه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱). بطوریکه بیشترین کلروفیل مرزه مربوط به تیمار تلفیقی باکتری + جلبک (۱/۷٦ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کمترین آن (۰/۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به تیمار شوری در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار اختصاص یافت (شکل ۱). محتوای کلروفیل یک پارامتر فیزیولوژیکی مهم است که می‌تواند به‌عنوان شاخص تنش گیاه عمل کند. محتوای کلروفیل، به عنوان یکی از شاخص‌های مهم فیزیولوژیکی، نقش مؤثری در سنجش شدت تنش گیاه ایفا می‌کند. بررسی‌ها نشان داده‌اند که تنش شوری در بسیاری از گیاهان، از جمله ریحان، باعث کاهش قابل توجه محتوای کلروفیل شد. این کاهش ممکن است به‌دلیل اختلال در مسیر بیوسنتز پیش‌ساز اسید ۵-آمینوولولینیک (ALA) باشد که نهایتاً منجر به کاهش فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز می‌گردد. برای مثال، ماده ۵-آمینوولولینیک نقش کلیدی در سنتز کلروفیل دارد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]
[DOI: DOI: 10.22034/15.71.45]

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک مرزه تابستانه تحت تأثیر سطوح تنش شوری و کود بیولوژیک

منبع تغییرات	پرولین	کلروفیل	پراکسیداز	سوپراکسیداز دیسموتاز	پروتئین کل	مالون دی‌آلدئید
تکرار	۰/۰۷۳	۰/۰۵۳	۰/۰۰۱۹	۰/۰۱٤	۱۰/٦۱	۰/۰۰۱٦
کود	۵/۲۹۳**	۰/۵۳۳**	٤/۲۱٦**	٤/۰۰۹**	۳۱/٦۹**	۰/۰۲٦ns
شوری	۱۵/۵٤۸**	۰/۵۷۰**	۱٦/٦۱۹**	۱٦/۷۷۸**	۱۱۵/۷۱**	۰/۱۰۵**
کود × شوری	۰/۱۹۷**	۰/۰۱۷**	۰/۳۳۳**	۰/۳۲۱**	۱/٤۸ns	۰/۰۲۵ns
خطای آزمایش	۰/۰۲٦	۲/۰۲	۰/۰۱۵	۱/٦۸	۱/۵٤	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (٪)	۲/۳٦	٤/٤۹	۵/۸۳	۹/۵۳	۲/۰۹	۱۰/٤۹

ns، * و ** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد



شکل ۱- اثر متقابل شوری وکود زیستی بر کلروفیل مرزه. میانگین‌ها با حروف مشابه براساس آزمون LSD (P<0.05) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

و مهار آن در شرایط تنش نمک می‌تواند سبب کاهش تولید کلروفیل شود (Attia *et al*., 2011). این یافته‌ها با مطالعات اخیر که نشان داده‌اند تنش شوری باعث کاهش کلروفیل ریحان می‌شود، هماهنگی دارد (Oprea *et al*., 2024). در تحقیقی گزارش شد که استفاده از کودهای زیستی به‌دلیل کمک در جذب نیتروژن و فسفر و نقشی که این عناصر در تولید کلروفیل و تأمین آنزیم‌های مورد نیاز گیاه در شرایط تنش دارند، توانست تنش را کنترل نماید و موجب بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه مارتیغال گردد (محمدپور وشوایی و همکاران، ۱۳۹۵). همچنین گزارش شده است که وجود گلیسین‌بتائین در عصاره جلبک نیز از زوال کلروفیل جلوگیری می‌کند. تنش شوری با افزایش فعالیت آنزیم تجزیه‌کننده کلروفیل (کلروفیلاز)، القای تخریب ساختار کلروپلاست و عدم تعادل کمپلکس‌های پروتئین، میزان رنگیزه کلروفیل را کاهش می‌دهد (Sajjad *et al*., 2013). پژوهشگران یکی دیگر از دلایل کاهش کلروفیل در تنش شوری را اختلال در جذب یون‌هایی مانند منیزیم و آهن می‌دانند که در ساختار کلروپلاست نقش اساسی دارند و بنابراین با کاهش جذب این یون‌ها سنتز کلروفیل کاهش یافته و در نتیجه فتوسنتز گیاه هم کاهش پیدا می‌کند (شکوهیان و همکاران، ۱٤۰۲).

پرولین: تجزیه واریانس داده‌های آزمایش بیانگر این بود که اثر متقابل کود زیستی و شوری بر صفت پرولین در مزره در

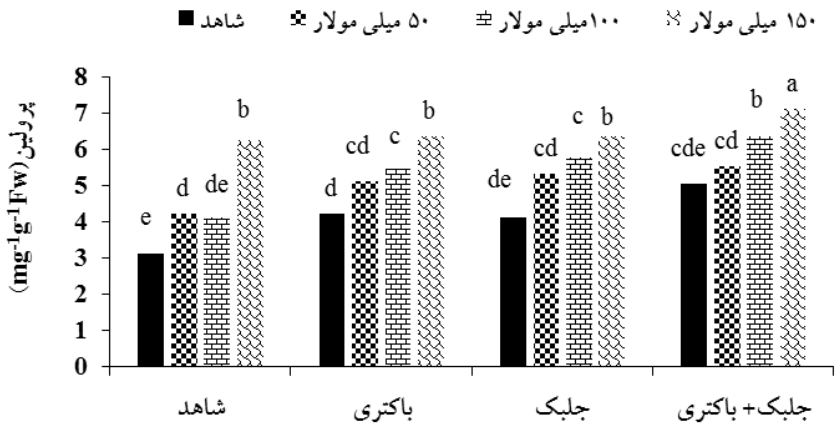
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]
[DOI: DOI: 10.22034/15.71.45]

سطح احتمال یک درصد آماری معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین پرولین مرزه به مقدار ۷/۰۱ به تیمار تلفیقی باکتری + جلبک و تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کمترین آن (۳/۰۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به تیمار شاهد تعلق داشت (شکل ۲). در مطالعه‌ای مشخص شد که پرولین در گیاهان در معرض تنش شوری نسبت به شاهد افزایش یافته است. با این حال مشخص شد که میزان این افزایش به دنبال استفاده از کود زیستی جلبک دریایی کمتر بود (Yarsi, 2023). پرولین یک ماده تنظیم اسمزی مهم در سلول‌های گیاهی است که تجمع آن در گیاهان یک پاسخ کلی به تنش‌های غیرزیستی مختلف است. در واقع، افزایش پرولین در تنش گیاه یک مکانیسم دفاعی در برابر تنش شوری است. افزایش پرولین به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی توسط باکتری‌های محرک به خصوص نیتروژن است زیرا پرولین دارای ساختار نیتروژنی است (Gusain *et al*., 2015). بنابراین سنتز بیشتر پرولین توسط گیاه مرزه در اثر افزایش شوری، ممکن است یکی از عوامل کاهش‌دهنده رشد این گیاه تحت چنین شرایطی باشد و در مطالعه امیری و مؤذنی در سال ۱۳۹۵ که به منظور بررسی اثر شوری بر پرولین و محتوای رنگیزه‌ها در گیاه دارویی مرزه خوزستانی انجام شد، مشاهده شد که با افزایش شدت شوری محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی کاهش یافت. همچنین با افزایش شوری از مقدار صفر به ۴۰ گرم در ۱۰۰ کیلوگرم خاک محتوی پرولین افزایش و در غلظت ۸۰ گرم کاهش و در غلظت ۱۲۰گرم مجدداً افزایش یافت. در تنش شوری میزان کلروفیل کاهش اما پرولین افزایش می‌یابد چون گلوتامات که ماده پیش‌ساخت کلروفیل و پرولین می‌باشد، صرف تولید پرولین می‌شود. از طرفی فعالیت آنزیم گلوتامات لیگاز برای تبدیل گلوتامین به پرولین فعال می‌گردد (Molazem *et al*., 2010). در مطالعه دیگری تنش شوری سبب افزایش پرولین در گیاه گشنیز شد (ستایش‌مهر و اسماعیل‌زاده، ۱۳۹۲) که با نتیجه تحقیق حاضر مطابقت دارد.

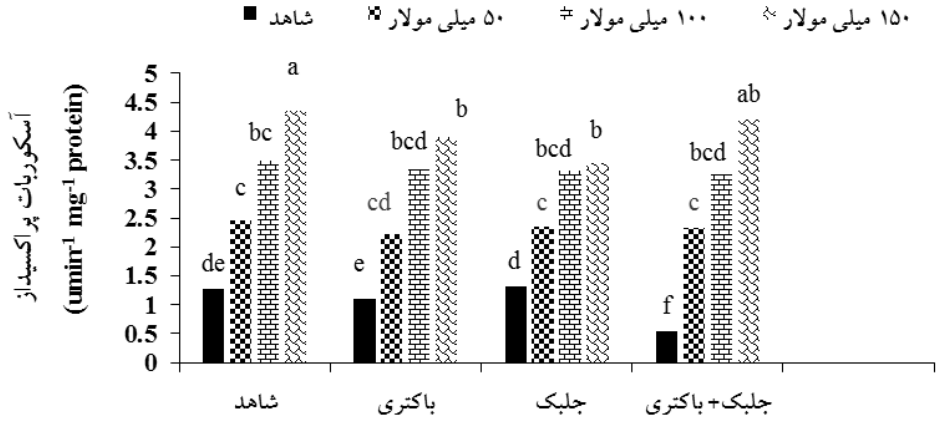
آنزیم آسکوربات پراکسیداز: براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر متقابل کود زیستی و شوری در سطح احتمال یک درصد بر صفت آنزیم پراکسیداز مرزه معنی‌دارگردید (جدول ۱). بطوریکه بیشترین آنزیم پراکسیداز مرزه مربوط به تیمار تنش ۱۵۰ میلی‌مولار (۴/۲ میلی‌گرم پروتئین در دقیقه در وزن تر) و کمترین آن (۰/۵۴ میلی‌گرم پروتئین در دقیقه در وزن تر) مربوط به تیمار تلفیقی باکتری + جلبک بود (شکل ۳). نتایج مطالعه‌ای نشان داد بیشترین مقدار فعالیت آنزیم پراکسیداز از تنش شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر و عدم کاربرد باکتری در گیاه جعفری (*Tagetes erecta* L.) به دست آمد (گرایلو و همکاران، ۱۴۰۲). پراکسیداسیون در سلول‌ها زمانی رخ می‌دهد که گیاه تحت تنش شدید قرار گیرد براساس نتایج حاصل از این پژوهش نیز این امر تأکید می‌گردد. شرایط شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بیشتر از سایر تیمارها موجب تخریب سلولی شده است. معمولاً یکی از تغییرات بیوشیمیایی که در گیاهان در شرایط تنش رخ می‌دهد، تجمع گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مانند سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال هیدروکسیل است که همگی بسیار سمی و واکنش‌پذیر هستند و متابولیسم طبیعی سلول‌ها را مختل می‌کنند. این رادیکال‌ها تنش اکسیداتیو ثانویه را از طریق پراکسیداسیون لیپیدها ایجاد می‌کنند که منجر به تخریب غشاء، تخریب پروتئین، غیرفعال شدن آنزیم‌ها، حذف رنگدانه‌ها و آسیب به DNA می‌شود که منجر به آسیب جدی به ساختار سلول‌ها و در نهایت به کل گیاه می‌شود (Kang *et al*., 2014). گیاهان با طیف وسیعتری از اقدامات دفاعی از جمله آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و متابولیت‌های غیرآنتی‌اکسیدانی برای از بین بردن ROS مجهز شده‌اند، چندین آنزیم آنتی‌اکسیدانی اصلی، از جمله SOD، POD، CAT و APX در این فرآیند نقش دارند. فعالیت‌های SOD، POD، CAT و APX به‌طور قابل‌توجهی در گیاهان با تنش شوری افزایش می‌یابد، که ممکن است با سمیت ایجادشده توسط تنش شوری مقابله کند (Xia *et al*., 2016). نتایج تحقیقی در گل همیشه‌بهار نشان داد که تنش شوری فعالیت آنزیم پراکسیداز را افزایش داد (Hemmati *et al*., 2018)؛ که منطبق با نتیجه تحقیق حاضر است. همچنین گزارش شده است که تلقیح با برخی از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.45]



شکل ۲- اثر متقابل سطوح مختلف شوری و کود زیستی بر پرولین مرزه. (میانگین‌ها با حروف مشابه براساس آزمون LSD (P<0.05) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

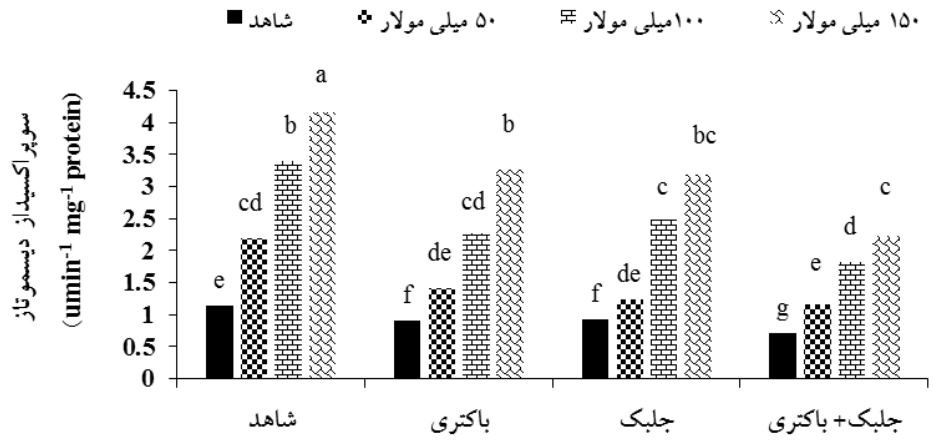


شکل ۳- اثر متقابل شوری و کود زیستی آنزیم پراکسیداز در مرزه. (میانگین‌ها با حروف مشابه براساس آزمون LSD (P<0.05) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

باکتری‌های مفید محرک رشد می‌تواند از طریق افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی تحت تنش غیرزیستی، تأثیر منفی بر رشد گیاه را کاهش دهد (گرایلو و همکاران، ۱۴۰۲).

آنزیم سوپراکسیداز دیسموتاز: آنزیم سوپراکسیداز دیسموتاز به طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر متقابل کود زیستی و شوری قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین میزان آنزیم سوپراکسیداز دیسموتاز مرزه در تیمار تنش ۱۵۰ میلی‌مولار (۴/۱۵ میلی‌گرم پروتئین در دقیقه در وزن تر) و کمترین آن (۰/۷ میلی‌گرم پروتئین در دقیقه در وزن تر) در تیمار تلفیقی باکتری + جلبک مشاهده گردید (شکل ٤). تنش نمک می‌تواند تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) (O_2^-, H_2O_2,OH^-) را در گیاهان افزایش دهد. پراکسید هیدروژن توسط کاتالاز (CAT) و پراکسیداز (POX) در بخش‌های مختلف سلولی از بین می‌رود (Caretto *et al.*, 2015). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تحت تنش شوری اغلب با افزایش مقاومت به شوری همراه است (حق‌شناس و اسکندری، ۱۳۹۰). افزایش رادیکال‌های آزاد مانند سوپراکسید زمانی رخ می‌دهد که گیاه با تنش‌های شدید خشکی و شوری مواجه می‌شود. در این راستا، واکنش بعدی گیاه سنتز و فعالیت بیشتر آنزیم SOD برای خنثی‌سازی بیشتر آنیون مخرب سوپراکسید است. محصول این

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]
[DOI: DOI: 10.22034/15.71.45]

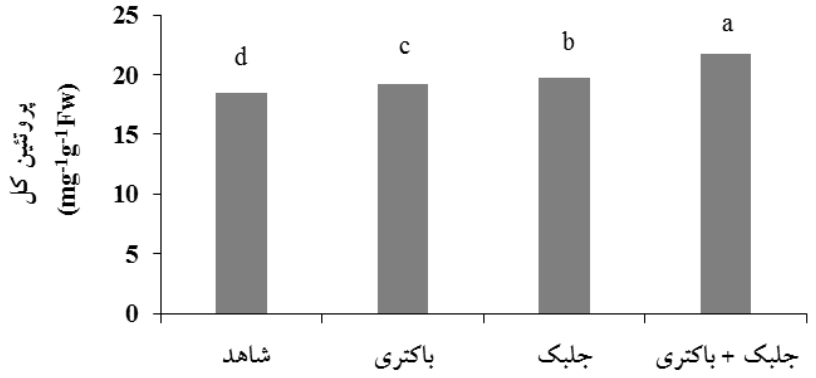


شکل ٤- اثر متقابل شوری و کود زیستی آنزیم سوپراکسیداز دیسموتاز در مرزه. (میانگین‌ها با حروف مشابه براساس آزمون LSD (P<0.05) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

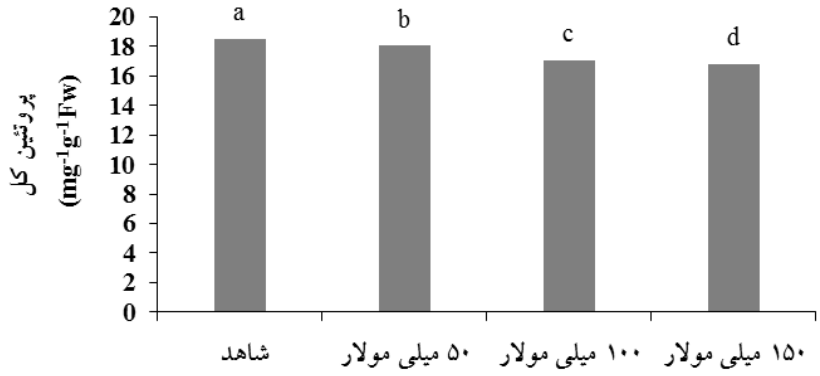
واکنش پراکسید هیدروژن است. تحقیقات نشان داده است که محتوای پراکسید هیدروژن بستگی به شدت تنش خشکی در گیاهان دارد (Ghorbani *et al*., 2013). در مطالعه‌ای که درباره پاسخ‌های فیزیولوژیکی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) به تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه و تنش شوری انجام شد نتایج نشان داد که تنش شوری باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز شد (Fathi *et al*., 2020) که با نتیجه تحقیق حاضر قابل تطبیق است. فعالیت ویژه SOD در گیاهان تیمارشده با PGPR که در شرایط تنش غیرزیستی رشد کرده‌اند، در مقایسه با گیاهان تیمارنشده در شرایط تنش یکسان به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است (Gururani *et al*., 2013). به‌طورکلی باکتری‌های محرک رشد می‌توانند تنش اکسیداتیو در گیاهان را با تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیداتیو کاهش دهد.

پروتئین کل: اثر کود و شوری بر صفت پروتئین کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید اما اثر متقابل آن‌ها بر صفت مذکور معنی‌دار نبود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که استفاده از کودهای تلفیقی باکتری و جلبک می‌تواند به‌طور معنی‌داری باعث افزایش محتوای پروتئین کل در گیاه مرزه شد، در حالیکه تنش شوری اثر معکوس داشت. بیشترین پروتئین کل مرزه مربوط به تیمار تلفیقی باکتری و جلبک (۲۱/۷٦ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد (۱۸/٤٦ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود. کود تلفیقی باعث افزایش ۱۷/۸ درصدی پروتئین نسبت به گروه شاهد شد (شکل ۵). همچنین بیشترین پروتئین مرزه تحت تأثیر شوری به تیمار شاهد و کمترین آن به تیمار شوری ۱۵۰ میلی‌مولار تعلق داشت (شکل ٦). این افزایش محتوای پروتئین را می‌توان با تثبیت ساختارهای پروتئینی در گیاهان با استفاده از ترکیبات مختلف بتائین که ساختار پروتئین و فعالیت آنزیمی را تثبیت می‌کند، توضیح داد (Gupta *et al*., 2021). مطالعات پژوهشگران نشان داده است که استفاده از کودهای زیستی، به‌ویژه باکتری سودوموناس، می‌تواند با ایجاد شرایط مطلوب‌تر برای رشد گیاه مانند تحریک تولید هورمون‌های گیاهی، توسعه ریشه، و افزایش جذب آب و عناصر غذایی از جمله نیتروژن و فسفر منجر به افزایش محتوای پروتئین دانه شود (مرشدی و همکاران، ۱٤۰۲). به بیانی دیگر افزایش پروتئین توسط کودهای زیستی از جمله عصاره جلبک دریایی ممکن است به دلیل اثرات تقویتی بر تکثیر ریشه و جذب بیشتر نیتروژن، فسفر و گوگرد مورد نیاز برای سنتز پروتئین باشد (Shah *et al*., 2013). گزارش شده است کاربرد جلبک دریایی همچنین باعث افزایش معنی‌دار میزان پتاسیم، سدیم و پروتئین در دانه آفتابگردان شد (Hannan and Salem, 2011). افزایش محتوای پروتئین ناشی از عصاره جلبک دریایی را می‌توان به جذب اکثر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]
[DOI: DOI: 10.22034/15.71.45]



شکل ٥- مقایسه میانگین پروتئین کل مرزه تحت تأثیر کودبیولوژیک



شکل ٦- مقایسه میانگین پروتئین کل مرزه تحت تأثیر شوری

عناصر اصلی در این عصاره‌ها، به ویژه منیزیم، نسبت داد که می‌تواند سنتز کلروفیل را فعال کرده و در نتیجه نرخ فتوسنتزی را بهبود بخشد (Castellanos-Barriga *et al*., 2017). یکی از فرایندهای مهم درون سلولی، سنتز پروتئین‌ها است که شدیداً تحت تأثیر تغییر شرایط محیطی و تنش قرار گرفته و به همراه آن فتوسنتز، جابجایی متابولیت‌ها و جذب و انتقال یون‌ها نیز تأثیر می‌پذیرند. بسیاری از پروتئین‌ها طی تنش شوری، هیدرولیز می‌شوند و بر این اساس، کاهش در غلظت پروتئین کل، می‌تواند از نتایج تنش باشد (Doganlar *et al*., 2010). علت کاهش مقدار پروتئین کل می‌تواند ناشی از اثر شوری (اثر ویژه یون‌ها و یا تنش اکسیداتیو) بر ساختار پروتئین‌ها و تخریب آنها و یا در اثر صدمه به مسیرهای سنتز و در نتیجه کاهش تولید پروتئین‌ها باشد. همچنین تأثیر اکسیژن‌های فعال بر DNA و RNA می‌تواند از دلایل کاهش سنتز پروتئین‌ها در شرایط تنش باشد (اتحادپور و همکاران، ۱۳۹۸).

مالون دی‌آلدئید: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر شوری بر صفت مالون دی‌آلدئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید اما اثر کود و اثر متقابل کود زیستی و شوری بر صفت مالون دی‌آلدئید در هیچکدام از سطوح آماری معنی‌دار نگردید (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌های آزمایش نشان داد بیشترین میزان مالون دی‌آلدئید مرزه تحت تأثیر تیمار تنش شوری در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار (۰/٤٦ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد (۰/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) حاصل گردید (شکل ۷). مالون دی‌آلدئید یک محصول پراکسیداسیون لیپیدی، به عنوان شاخص آسیب اکسیداتیو غشای سلولی توسط ROS در نظر گرفته می‌شود و هنگامی که

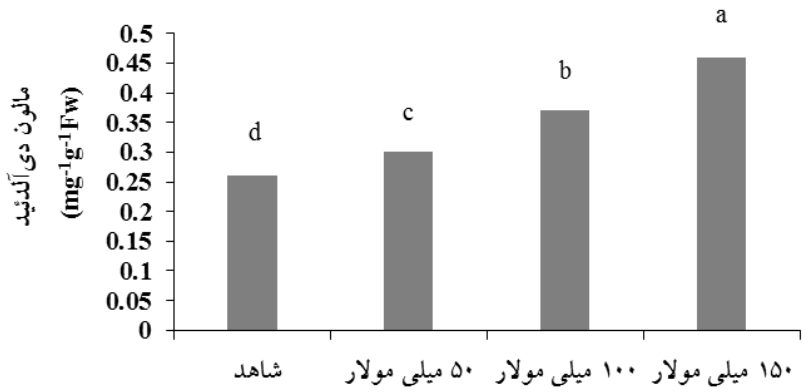
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.45]

جدول ۲- تجزیه واریانس میانگین مربعات برخی صفات کمی مرزه تابستانه تحت تأثیر سطوح تنش شوری و کود بیولوژیک

منبع تغییرات	درجه آزادی	طول ساقه	طول ریشه	حجم ریشه	وزن خشک اندام هوایی
تکرار	۳	۱۹/۳۵^{ns}	۱/۵۲۵۳	۰/۰۴۱	۱/۵۵
کودزیستی	۳	۲۳۳/۴۲**	۳۵/۳۳**	۸/۴۷۱**	۷/۸۵۸**
شوری	۳	۲۸۳**	۴۳/۰۱**	۱۶/۴۶**	۵۷/۲۹**
کود زیستی × شوری	۹	۱۵/۴۹ ^{ns}	۲/۴۹ ^{ns}	۱۹۱/۹۸^{ns}	۲/۵۷۳^{ns}
خطای آزمایش	۴۵	۱۳/۸۶	۲/۱۴۶	۰/۰۸۵	۷۰/۶۱
ضریب تغییرات (٪)		۱۳/۸۳	۱۰/۶۴	۸/۵۴	۷/۸۴

ns، * و ** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

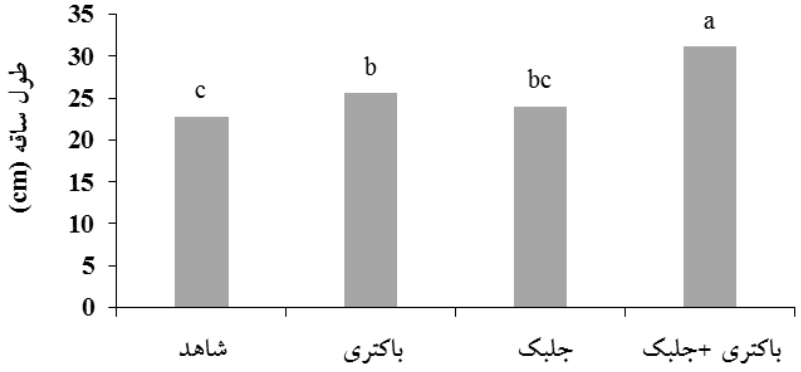


شکل ۷- مقایسه میانگین مالون دی‌آلدئید مرزه تحت تأثیر شوری

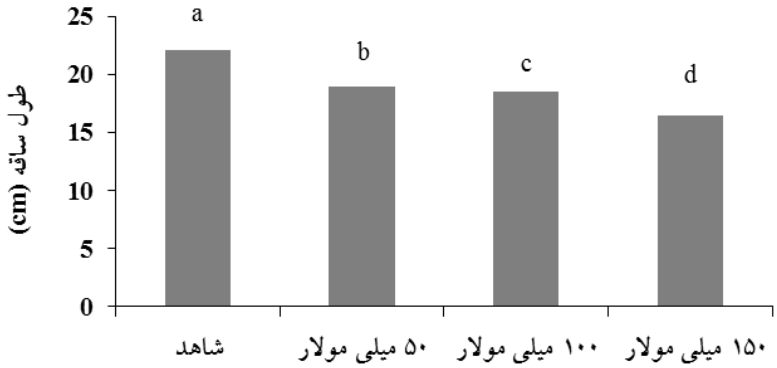
گیاهان در معرض تنش شوری قرار می‌گیرند در بافت‌ها تجمع می‌یابد. وجود تنش شوری ممکن است پراکسیداسیون لیپیدی غشاء را افزایش دهد و در نتیجه باعث افزایش نفوذپذیری غشا، خروج الکترولیت‌ها و در نهایت آسیب به سیستم‌های غشای سلولی شود (Saleh *et al.*, 2016).

طول ساقه: براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایش، تأثیر کود بیولوژیک و تنش شوری بر طول ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و اثر متقابل آن‌ها بر صفت نامبرده معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین حاکی از آن بود که تیمار تلفیقی باکتری + جلبک موجب افزایش معنی‌دار این صفت نسبت به تیمار شاهد گردید (شکل ۸). از نظر تیمار شوری، بیشترین طول ساقه مرزه تحت شوری متعلق به تیمار شاهد و کمترین آن در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده گردید که با سطح ۱۰۰ میلی‌مولار در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۹). یکی از شاخص‌های رشد رویشی گیاهان، طول ساقه است. افزایش طول ساقه در گیاهان تیمارشده با کود بیولوژیک می‌تواند به افزایش فعالیت میکروبی خاک و دسترسی بیشتر گیاهان به عناصر میکرو و ماکرو نسبت داده شود (Tahami *et al.*, 2017). در واقع آزاد شدن آهسته عناصر غذایی در محلول خاک و اثر تسهیل‌کننده آنها در تقویت رشد گیاه توسط کودهای بیولوژیکی تأثیرگذار است (Barghamadi and Najafi, 2016). نتایج سایر پژوهش‌ها مبنی بر بهبود رشد ریحان تحت تأثیر کودهای بیولوژیک و باکتری‌های محرک رشد گیاه (*Ocimum basilicum* L.) همسو با نتایج تحقیق حاضر است (Tahami *et al.*, 2017; Fattahi *et al.*, 2019). محققین دیگری با بررسی اثر کاربرد کودهای زیستی بر رشد، عملکرد و ترکیب اسانس گیاه مرزه (*Satureja rechinger* Jamzad.) دریافتند کودهای زیستی، سبب افزایش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]
[DOI: DOI: 10.22034/15.71.45]



شکل ۸- مقایسه میانگین طول ساقه مرزه تحت تأثیر کود بیولوژیک



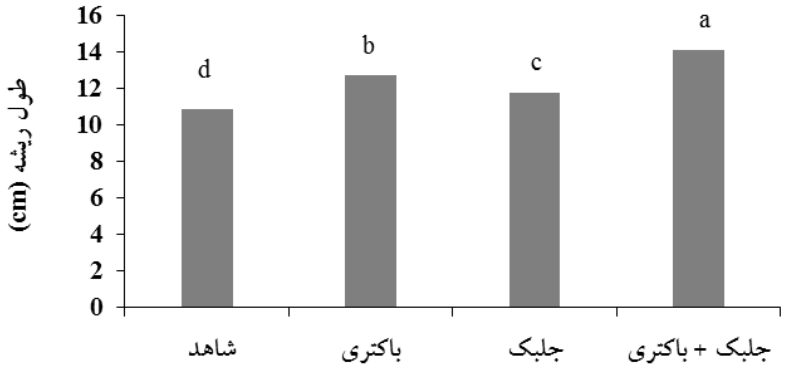
شکل ۹- مقایسه میانگین طول ساقه مرزه تحت تأثیر شوری

معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد شاخه و وزن خشک اندام هوایی گیاه مرزه نسبت به شاهد شد (مکی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱). کود جلبک دریایی نیز می‌تواند سبب افزایش جذب عناصر غذایی شده و همین امر موجب افزایش رشد رویشی و عملکرد کمی و کیفی گیاهان شود (Saa *et al*., 2015). علاوه بر این افزایش ارتفاع گیاه در نتیجه کاربرد کودهای بیولوژیک ناشی از تولید هورمون‌های رشد از جمله جیبرلین و اکسین‌ها گزارش شده است (Mondal and Panda, 2019). یکی از فاکتورهای غیرزیستی که می‌تواند مراحل مختلف رشدونمو گیاه را تحت تأثیر قرار دهد تنش شوری است. گیاهان در پاسخ به این تنش، تغییرات مورفولوژیکی از جمله کاهش ارتفاع و وزن خشک بروز می‌دهند. کاهش رشد گیاهان در اثر شوری معمولاً به دلیل تأثیر شوری بر فتوسنتز و فرآیندهای جانبی آن می‌باشد (Shultana *et al*., 2020). نمک با مهار رشد گیاه و تداخل با فرایندهای مهم سلولی، به کاهش رشد و زیست‌توده منجر می‌گردد. در مطالعه‌ای نشان داده شد که تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار طول ساقه ریحان گردید (Dawood *et al*., 2014). به نظر می‌رسد کاهش طول ساقه در اثر شوری به دلیل کاهش فتوسنتز باشد. در نتایجی مشابه Heidari (۲۰۱٤) بیان نمودند که کاربرد عصاره جلبک دریایی موجب افزایش ارتفاع همیشه‌بهار گردید که با نتیجه تحقیق حاضر مطابقت دارد.

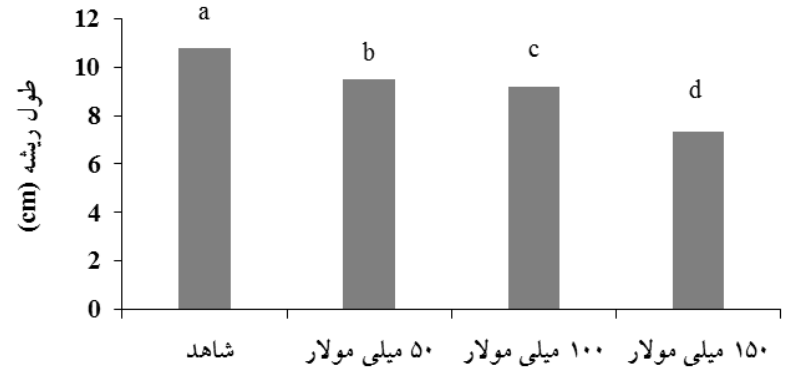
طول ریشه: تأثیر کود بیولوژیک و تنش شوری بر طول ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین، کاربرد کودهای بیولوژیک باکتری، جلبک و تلفیق باکتری + جلبک، طول ریشه را در مقایسه با تیمار شاهد به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.45]



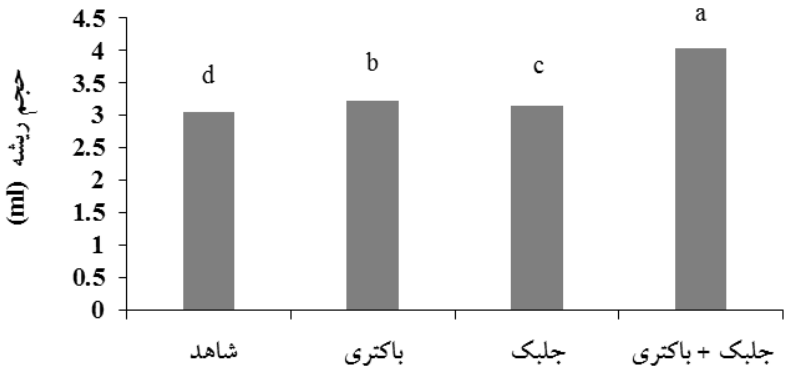
شکل ۱۰- مقایسه میانگین طول ریشه مرزه تحت تأثیر کود بیولوژیک



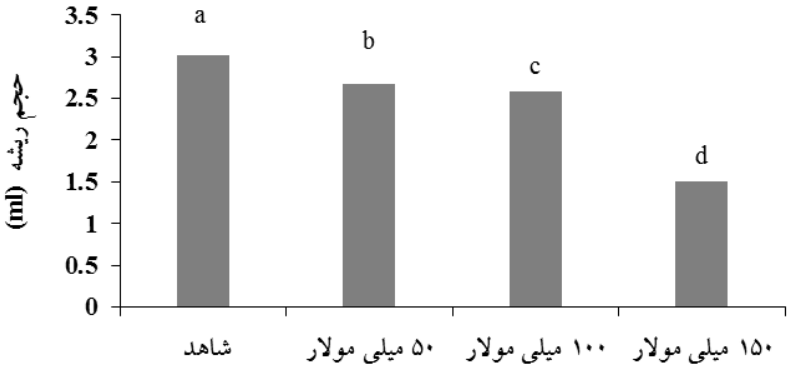
شکل ۱۱- مقایسه میانگین طول ریشه مرزه تحت تأثیر شوری

ترتیب ۱۶/۷، ۸/۳ و ۲۹/۷ درصد افزایش داد (شکل ۱۰). باکتری‌های موجود در کودهای زیستی علاوه بر تثبیت نیتروژن هوا و متعادل‌کردن جذب عناصر اصلی پرمصرف و کم‌مصرف مورد نیاز گیاه با ساخت و ترشح مواد محرک رشد گیاه و همچنین ترشح اسیدهای آمینه مختلف و انواع آنتی‌بیوتیک‌ها موجب توسعه و رشد ریشه می‌شوند (حمیدی و همکاران، ۱۳۸۹). کودهای زیستی حاوی میکروارگانیسم‌هایی هستند که می‌توانند در روی یا اطراف بافت‌های گیاهی رشد کنند و رشد گیاه را با مکانیسم‌های مختلفی از جمله سنتز هورمون‌های گیاهی، تثبیت نیتروژن غیرهمزیستی، حل‌شدن فسفات معدنی و کانی‌سازی فسفات آلی تحریک کنند (Ruzzi and Aroca, 2015). بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که کودهای زیستی می‌توانند تنش گیاهی ناشی از نمک را کاهش دهند و سبب افزایش معنی‌دار توده‌های تازه و خشک ریشه و برگ گیاهان تحت تنش شوری شوند (Numanad *et al*., 2018). طول ریشه یکی از مهمترین ویژگی‌های رشدی گیاه به دلیل تماس مستقیم با خاک در شرایط تنش شوری است. پژوهشگران گزارش کرده‌اند که تجمع نمک و یون‌ها موجب تنش اسمتیک و خشکی می‌شود که به کاهش جذب آب توسط بافت‌های گیاه منجر می‌گردد. کاهش محتوای آب بافت به کاهش رشدونمو سلولی منجر شده، در نتیجه، موجب کاهش رشد ریشه و ساقه می‌گردد (ستایش‌مهر و اسماعیل‌زاده، ۱۳۹۲). تعدادی از محققین دیگر در تحقیق خود اعلام کردند که تنش شوری موجب کاهش طول گیاهچه، طول ریشه‌چه در مرزه شده است (سعادتیان و همکاران، ۱۳۹۱؛ خلیلی و همکاران، ۱۳۹٤) که با نتیجه تحقیق

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]
[DOI: DOI: 10.22034/15.71.45]



شکل ۱۲- مقایسه میانگین حجم ریشه مرزه تحت تأثیر کود بیولوژیک



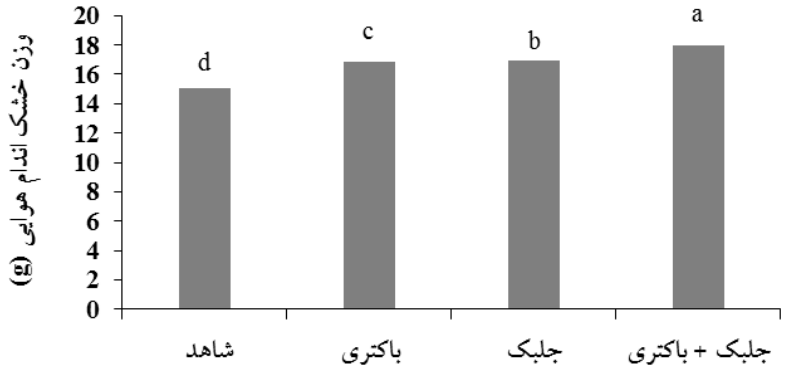
شکل ۱۳- مقایسه میانگین حجم ریشه مرزه تحت تأثیر شوری

حاضر مطابقت داد.

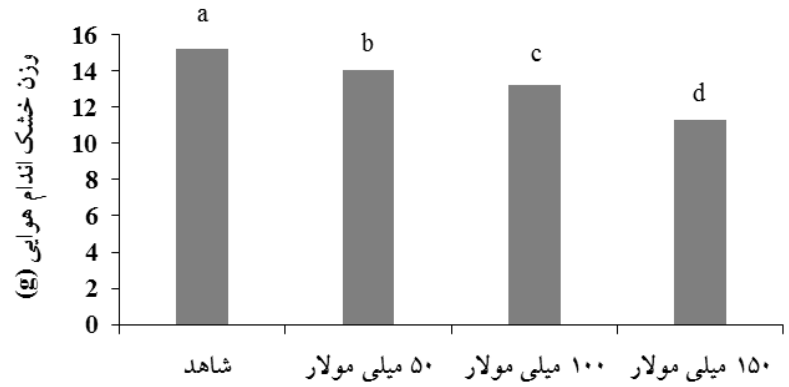
حجم ریشه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که اثر متقابل کود زیستی و شوری بر صفت حجم ریشه در هیچکدام از سطوح آماری معنی‌دار نگردید، اما اثر اصلی کود و شوری بر صفت حجم ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌های آزمایش نشان داد بیشترین حجم ریشه مرزه تحت تأثیر کود در تیمار تلفیقی باکتری و جلبک به میزان ٤/٠٤ میلی‌لیتر و کمترین آن در تیمار شاهد به میزان ۳/۰۵ میلی‌لیتر مشاهده گردید (شکل ۱۲). همچنین مقایسه میانگین داده‌های آزمایش داد بیشترین حجم ریشه تحت تأثیر شوری به تیمار شاهد به میزان ۳/۰۲ میلی‌لیتر و کمترین آن به تیمار تنش در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار به میزان ۱/۵۰ میلی‌لیتر تعلق داشت (شکل ۱۳). در مطالعه‌ای که درباره مقایسه کود زیستی حاوی جلبک و کود شیمیایی بر برخی از صفات مورفولوژیکی گیاه مرزه تحت تنش شوری انجام شد نتایج نشان داد که با افزایش تنش شوری طول و حجم ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (رضایی و همکاران، ۱۳۹۸). می‌توان تولید گونه‌های فعال اکسیژن یا ROS را عامل اصلی کاهش حجم و توسعه ریشه تحت تنش شوری دانست (Lei *et al*., 2017). تنش شوری می‌تواند اثرات نامطلوبی بر صفات ریشه داشته باشد این می‌تواند به دلیل مهار متابولیسم گیاهی باشد که تحت تنش شوری قرار می‌گیرد (Desoky *et al*., 2019). بنابراین کودهای زیستی از جمله جلبک دریایی می‌تواند با افزایش دسترسی به عناصر ماکرو و میکرو مورد نیاز گیاهان، بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.45]



شکل ۱۴- مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی مرزه تحت تأثیر کود بیولوژیک



شکل ۱۵- مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی مرزه تحت تأثیر شوری

آب در خاک سبب رشد بیشتر اندام‌های گیاهی شود (Mukherjee and Patel, 2020). کودهای زیستی به ویژه بر تراکم و توسعه ریشه، با بهبود ساختار خاک و تولید هورمون‌های گیاهی و ترویج جذب و انتقال مواد معدنی تأثیر می‌گذارد (Saa *et al.*, 2015). عصاره جلبک دریایی باعث تحریک رشد ریشه می‌شود و گیاهان را قادر می‌سازد تا به اندازه کافی مواد مغذی را از لایه‌های عمیق‌تر خاک استخراج کنند (Yakhin *et al.*, 2017).

وزن خشک اندام هوایی: تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که اثر متقابل کود زیستی و شوری بر صفت وزن خشک اندام هوایی در هیچکدام از سطوح آماری معنی‌دار نگردید، اما اثر کود و شوری بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین وزن خشک اندام هوایی مرزه تحت تأثیر کود از تیمار تلفیقی باکتری و جلبک به میزان ۱۷/۹۳ گرم و کمترین آن از تیمار شاهد به میزان ۱۵/۰۲ گرم حاصل گردید (شکل ۱۴). همچنین مقایسه میانگین داده‌های آزمایش حاکی از آن بود که بیشترین وزن خشک اندام هوایی مرزه تحت تأثیر شوری در تیمار شاهد به میزان ۱۵/۹۳ گرم و کمترین آن به تیمار تنش در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار به میزان ۱۱/۳۲ گرم مشاهده گردید (شکل ۱۵). یکی از عوامل احتمالی اثر بازدارندگی نمک بر وزن خشک گیاه این است که تنش شوری باعث عدم تعادل عناصر غذایی و افزایش کمبود یون می‌شود که باعث کاهش توانایی گیاه در جذب آب و مواد غذایی می‌شود (Nassar *et al.*, 2014). به نظر می‌رسد کاهش وزن خشک در اندام رویشی در اثر شوری به دلیل کاهش فتوسنتز

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]
[DOI: DOI: 10.22034/15.71.45]

باشد زیرا افزایش شوری در محیط آب و خاک سبب کاهش شدید رشد در اندام‌های هوایی و ساقه گیاهان می‌شود و این امر منجر به کم شدن وزن خشک اندام رویشی می‌گردد (آقایی و همکاران، ۱۳۹۳). در مطالعه‌ای در رابطه با گیاه آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) گزارش شد که با افزایش سطح شوری، وزن خشک اندام هوایی کاهش یافت (بابایی و همکاران، ۱۳۸۹). برخی از میکروارگانیسم‌ها، به ویژه PGPR، می‌توانند عملکرد گیاه را در محیط‌های تنش‌زا با تأمین نیتروژن ثابت، فیتوهورمون‌ها، فسفات محلول و غیره بهبود بخشند (Rojas-Tapias *et al*., 2012). در طی تحقیقی گزارش شده است که استفاده از عصاره جلبک دریایی به دلیل وجود هورمون‌های رشد موجود در آن سبب افزایش روند جذب و حرکت مواد مغذی در گیاهان موجب افزایش وزن در برگ شده که در نهایت موجب افزایش وزن گیاه می‌شوند (Agarwal *et al*., 2021). در مطالعه‌ای دیگر در گیاهانی که به وسیله عصاره جلبک دریایی تیمارشده بودند مشاهده گردید استفاده از کودهای زیستی سبب افزایش وزن‌تر و خشک گیاه در مقایسه با کودهای شیمیایی در ریحان شد (ویسانی و همکاران، ۱۳۹۱).

نتیجه‌گیری

یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان داد که کاربرد کودهای بیولوژیک، تأثیر مثبتی بر خصوصیات گیاه دارویی مرزه تابستانه داشت. کاربرد کود تلفیقی جلبک و باکتری، موجب حصول بالاترین مقادیر صفات رویشی و فیزیولوژیک در گیاه مذکور گردید، اما با افزایش سطوح تنش شوری، صفات نامبرده کاهش یافتند. کاربرد تیمار تلفیقی جلبک و باکتری، اثر افزایشی بر صفات طول ساقه، طول ریشه، حجم ریشه، وزن خشک اندام هوایی، پروتئین کل و مالون دی‌آلدئید در شرایط تنش شوری داشتند، و همچنین صفات پرولین، کلروفیل و آنزیم آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسیداز دیسموتاز تحت تأثیر اثر متقابل کود زیستی و تنش شوری قرار گرفتند. به‌طور کلی به نظر می‌رسد کاربرد تلفیقی باکتری سودوموناس و عصاره جلبک دریایی می‌تواند ضمن کاهش مصرف کودهای شیمیایی و تعدیل اثر تنش شوری، راهکار پایدار و مؤثری در راستای تولید مرزه تابستانه باشد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه کردستان جهت تأمین اعتبار جهت اجرای این پژوهش قدردانی می‌گردد.

منابع

اتحادپور، مرضیه، فتاحی‌مقدم، محمدرضا، زمانی، ذبیح‌الله، گاعین، بهروز و نقوی، محمدرضا (۱۳۹۸). بررسی اثر تنش شوری بر برخی صفات فیزیولوژیک دانهال‌های برگزیده مرکبات و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل. *علوم باغبانی ایران*، ۵۰(۲)، ۴۳۳-۴۲۱ http://dx.doi.org/10.22059/ijhs.2018.253957.1417

امیری، حمزه، و مؤذنی، لیلا (۱۳۹۵). برهمکنش شوری و اسید آسکوربیک با برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی در *Satureja Khuzestanica*. *یافته‌های نوین در علوم زیستی*، ۳(۱)، ۷۹-۶۹. DOR: 20.1001.1.24236330.1395.3.1.7.1

آقایی، کیوان، طلایی، نجمه، کنعانی، محمدرضا، و یزدانی، مهناز (۱۳۹۳). اثر تنش شوری بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دو گونه مریم‌گلی (*Salvia*). *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۳(۹)، ۲۱-۳۲. DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.8.5

بابایی، کیوان، امینی دهقی، مجید، مدرس ثانوی، علی‌محمد، و جباری، رضا (۱۳۸۹). بررسی اثر تنش شوری بر برخی صفات مورفولوژیک فیزیولوژیک و شیمیایی گیاه آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.). *نشریه زراعت*، ۸۶، ۷۹-۷۱.

حق‌شناس، جلال‌الدین، و اسکندری، مهدی (۱۳۹۰). تأثیر ۲۸- همو برازینولید بر پارامترهای رشد در گیاه شوید. *اکوفیزیولوژی گیاهی*، ۹(۳)، ۴۱-۲۹.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.45]

حمیدی، آیدین، اصغرزاده، احمد، چوگان، دهقان شعار، مجید، قلاوند، امیر، و ملکوتی، محمد جعفر (۱۳۸۹). بررسی کاربرد کودهای ریزوباکتریایی افزاینده رشد گیاه (PGPR) در زراعت ذرت با نهاده کافی. *مجله علوم محیطی*، ٤(٤)، ۲۰-۱.

خالص‌رو، شیوا، ملکیان، حمید، و مهدوی، بتول (۱۳۹۵). تأثیر کیتوزان و تنش شوری بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر مرزه (*Satureja hortensis* L.) و بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.). مجله علوم و تحقیقات بذر ایران، ۳(٤)، ۲۳-۲٤. http://dx.doi.org/20.1001.1.24763780.1395.3.3.3.1

خلیلی، نفیسه، کامکار، بهنام، و خدابخشی، امیرحسین (۱۳۹٤). کمی‌سازی و تجزیه و تحلیل واکنش‌های جوانه‌زنی مرزه به تنش دما و شوری. *مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱، ۸۳-۹۲. https://doi.org/10.22077/escs.2015.203

رضایی، علی، و عبادی، محمدتقی (۱۳۹۸). مقایسه کود زیستی حاوی جلبک و کود شیمیایی بر برخی از صفات مورفولوژیکی گیاه مرزه، *یازدهمین کنگره علوم باغبانی ایران*، ۵-۱.

ستایش‌مهر، زهرا، و اسماعیل‌زاده، صدیقه (۱۳۹۲). اثر تنش شوری بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاه گشنیز (*Coriandrum sativum* L.). *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۲۰(۳)، ۱۲۸-۱۱۱.

سعادتیان، بیژن، احمدوند، گودرز، و سلیمانی، فاطمه (۱۳۹۱). تأثیر پرایمینگ بذر بر اجزای جوانه‌زنی مرزه (*Satureja hortensis*) تحت تنش خشکی و شوری. *علوم و فناوری بذر*، ۲(۲)، ٤٤-۳۵. https://doi.org/20.1001.1.22520961.1391.2.3.4.8

سعیدی‌نیا، مهری، بیرانوند، فرهاد، مومیوند، حسن، و موسوی، سیدحسین (۱٤۰۲). بررسی اثر تنش شوری بر میزان عملکرد، خصوصیات مورفولوژیکی، اسانس، شاخص محتوای نسبی آب گونه گیاهی مرزه (مطالعه موردی: خرم‌آباد، ایران). *پژوهش‌های خشکسالی و تغییر اقلیم*، ۱(۱)، ۹۷-۱۰۸.

شکوهیان، علی‌اکبر، حقوردی، سعید، و آذرمی، رسول (۱٤۰۲). تأثیر همزیستی ریزموجودات مفید بر خصوصیات بیوشیمیایی و مورفولوژیکی مرزه (*Satureja hortensis* L.) تحت تنش شوری. *دو فصلنامه علوم سبزی‌ها*، ۷(۱٤)، ۹۲-۷۷. https://doi.org/10.22034/iuvs.2023.1986922.1262

عبادی، محمدتقی، سفیدکن، فامه، عزیزی، مجید، و احمدی، نورالله (۱۳۹۵). تأثیر سرعت هوا و شدت تابش مادون قرمز بر عوامل خشک کردن گیاه سیاه لیمو (*Lippiacitriodora kunth*). *مجله تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۲(۱)، ۱۷۳-۱٦۱. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2016.106145

گرایلو، آذر، اعلایی، میترا، مرتضوی، سید نجم‌الدین، ارغوانی، مسعود، و صالحی، فهیمه (۱٤۰۲). تأثیر باکتری‌های باسیلوس سابتیلیس و باسیلوس ولزنسیس بر تحمل به تنش شوری گل جعفری رقم نارنجی (*Tagetes erecta* L.). *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۳۰(۱)، ۱۸۹-۲۱۱. http://dx.doi.org/10.22069/JOPP.2023.21438.3049

محمدپور وشوایی، رقیه، رمرودی، محمود، و فاخری، براتعلی (۱۳۹۵). اثرات تنش خشکی و تلقیح کود بیولوژیک بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه خارمریم (*Silybum marianum* L.). *مجله اگرواکولوژی*، ۹(۱)، ۳۱-٤۹. https://doi.org/10.22067/jag.v9i1.32650

مرشدی، ابراهیم، قرینه، محمدحسین، کوچک‌زاده، احمد، و بخشنده، عبدالمهدی (۱٤۰۲). تأثیر باکتری‌های باسیلوس و سودوموناس بر عملکرد کمی و کیفی و راندمان مالت‌سازی ارقام مختلف جو در شرایط دیم. *مجله به‌زراعی کشاورزی*، ۲۵(۲)، ۳۱۳-۳۳۰. https://doi.org/10.22059/jci.2022.333633.2638

مکی‌زاده، مریم، چایی‌چی، محمدرضا، نقدی‌بادی، حسنعلی، سلطانی‌میری، گلناز، و سادات اسیلان، کمال (۱۳۹۱). اثر کودهای زیستی بر رشد، عملکرد و ترکیب اسانس گیاه مرزه (*Satureja rechinger* Jamzad)، *فصلنامه علمی- پژوهشی گیاه و زیست‌بوم*، ۸(۲)، ۳۷-۲۷.

ویسانی، وریا، رحیم‌زاده، سعید، و سهرابی، یوسف (۱۳۹۱). تأثیر کودهای زیستی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی و میزان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.45]

اسانس ریحان (*Ocimum basilicum* L.). *فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۲۸(۱)، ۷۳-۸۷. http://dx.doi.org/10.22092/ijmapr.2012.4014

AbdElgavad, H., Zinta, G., Hegab, M. M., Pandey, R., Asard, H., & Abuelsoud, W. (2016) High salinity induces different oxidative stress and antioxidant responses in maize seedlings organs. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 276-287. https://doi.org 10.3389/fpls.2016.00276

Agarwal, P. K., Dangariya, M., & Agarwal, P. (2021) Seaweed extracts: Potential biodegradable, environmentally friendly resources for regulating plant defence. *Algal Research*, *58*, 102363. https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102363

Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, *23*, 112-121.

Attia, H., Ouhibi, C., Ellili, A., Msilini, N., Bouzaien, G., Karray, N., & Lachaal, M. (2011). Analysis of salinity impact on leaf area, photosynthetic activity, and growth of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Acta Physiologiae Plantarum, 33*(3), 823-833. https://doi.org/10.1007/s11738-010-0607-6

Barghamadi, K, & Najafi, S. (2016). Effect of different levels of nitroxin and humic acid on quantitative properties and essential oil of ajowan (*Carum copticum* L.) cb clarke). *Majallah-i Ulum-i Baghbani*, *29*(3), 321-341. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.22523

Bates, L. S. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

Bhosle, N. B., Untawale, A. G., & Dhargalkar, V. K. (1975). Effect of seaweed extract on the growth of *Phaseolus vulgaris* L. *Indian Journal of Geo-marine Sciences, 4*, 209-210.

Bimbiraite-Surviliene, K., Stankevicius, M., Sustauskaite, S., Gegotek, A., Maruska, A., Skrzydlewska, E., ... & Lukosius, A. (2021). Evaluation of chemical composition, radical scavenging and antitumor activities of *Satureja hortensis* L. herb extracts. *Antioxidants, 10*(1), 53. https://doi.org/10.3390/antiox10010053

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*, 248-254.

Caretto, S., Linsalata, V., Colella, G., Mita, G., & Lattanzio, V. (2015). Carbon fluxes between primary metabolism and phenolic pathway in plant tissues under stress. *International Journal of Molecular Sciences*, *16*, 26378-26394. https://doi.org/10.3390/ijms161125967

Castellanos-Barriga, L. G., Santacruz-Ruvalcaba, F., Hernandez-Carmona, G., Ramirez-Briones, E., & Hernandez-Herrera, R. M. (2017). Effect of seaweed liquid extracts from Ulva lactuca on seedling growth of mung bean (*Vigna radiata*). *Journal of Appiedl Phycology, 29*, 2479-2488. https://doi.org/10.1007/s10811-017-1082-x

Colla, G., Hoagland, L., Ruzzi, M., Cardarelli, M., Bonini, P., Canaguier, R., & Rouphael, Y. (2017). Biostimulant action of protein hydrolysates: Unraveling their effects on plant physiology and microbiome. *Frontiers in Plant Science, 8*, 2202. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02202

Davey, M. W., Stals, E., Panis, B., Keulemans, J., & Swennen, R. L. (2005). High throughput of malondialdehyde in plant tissues. *Analytical Biochemistry*, *347*, 201-207. https://doi.org/10.1016/j.ab.2005.09.041

Dawood, M. G., Taie, H. A. A., Nassar, R. M., Abdel hamid., A. M. T., & Schmidhalter, U. (2014). The changes induced in the physiological, biochemical and anatomical characteristics of *Vicia faba* by the exogenous application of proline under seawater stress. *South African Journal of Botany*, *93*, 54-63. https://doi.org 10.1016/j.sajb.2014.03.002

Desoky, E. S., Ibrahim, S., & Merwad, A. (2019). Mitigation of salinity stress effects on growth, physio-chemical parameters and yield of snapbean (*Phaseolus vulgaris* L.) by exogenous application of glycine betaine. *International Letters of Natural Sciences*, *76*, 60-71. DOI: 10.18052/www.scipress.com/ILNS.76.60

Doganlar, Z. B., Demir, K., Basak, H., & Gul, I. (2010). Effects of salt stress on pigment and total soluble protein contents of three different tomato cultivars. *African Journal of Agricultural Research*, *5*(15), 2056-2065. DOI: 10.5897/AJAR10.258

El Boukhari, M. E. M., Barakate, M., Bouhia, Y., & Lyamlouli, K. (2020). Trends in seaweed extract based biostimulants: Manufacturing process and beneficial effect on soil-plant systems. *Plan*s, *9*, 1-23. https://doi.org/10.3390/plants9030359

Fathi, A., Oveysi, M., Nasri, M., Tohidi, H., & Kasraei, P. (2020). Physiologica responses of peppermint (*Mentha piperita* L.) to PGPRs and salinity y stress. *Iranian Journal of Plant Physiology*, *11*(1), 3499-3508. https://doi.org/10.22034/ijpp.2020.677291

Fattahi, S., Khodabakhshzade, A., Khazaei, I., & Rostami, G. (2019). Effects of biofertilizers on the growth, physiological parameters, and essential oil content of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of BioScience and Biotechnology*, *8*(1), 59-67.

Ghorbani, M., Farboodnia, T., & Kaviani, B. (2013). Changes in hydrogen peroxide and antioxidant enzyme activity under drought stress in different wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Acta Physiologiae Plantarum, 35*(4), 1021-1029. https://doi.org/10.1007/s11738-012-1145-5

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.45]

Giannopolitis, C. N, & Ries, S. K. (1977). Superoxide dismutases occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, *59*(2), 309-314.

Gupta, S., Stirk, W. A., Plackova, L., Kulkarni, M. G., Dolezal, K., &Van Staden, J. (2021). Interactive effects of plant growth-promoting rhizobacteria and a seaweed extract on the growth and physiology of *Allium cepa* L. (onion), *Journal of Plant Physiology*, *262*, 153437. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153437

Gururani, M. A., Venkatesh, J., & Tran, L. S. P. (2013). Plant growth-promoting rhizobacteria enhance abiotic stress tolerance in plants by regulating antioxidant enzyme systems. *Plant Cell Reports*, *32*(6), 971-983. https://doi.org/10.1007/s00299-013-1438-y

Gusain, Y. S., Singh U. S., & Sharma, A. K. (2015). Bacterial mediated amelioration of drought stress in drought tolerant and susceptible cultivars of rice (*Oryza sativa* L.). *African Journal of Biotechnology, 14*(9), 764-773. DOI: 10.5897/AJB2015.14405

Haddadi, B. S., Hassanpour, H., & Niknam, V. (2016). Efect of salinity and waterlogging on growth, anatomical and antioxidative responses in *Mentha aquatica* L. *Acta Physiologiae Plantarum*, *38*(5), 119-125. DOI: 10.1007/s11738-016-2137-3

Hannan, E, & Salem, O. (2011). Effect of seaweed extracts as foliar spray of sunflower yield and oil content. *Egyptian Journal of Phycolgy*, *12*, 57-69. DOI: 10.21608/egyjs.2011.114938

Heidari, M. (2014). Effects of salinity stress on growth, chlorophyll content and osmotic components of two basil (*Ocimum basilicum* L.) genotypes. *African Journal of Biotechnolog, 11*(2), 379-38. DOI: 10.5897/AJB11.2572

Hemmati, K., Ebadi, A., Khomari, S., & Sedghi, M. (2018). Influence of ascorbic acid and epibrassinolide on physiological- characteristics of pot marigold under water, stress condition. *Journal Plant Interact*, *13*, 364-372. https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1483033

Hoagland, D, & Arnon, D. (1950). The water culture method for growing plants without soil. *California Agricultural Experiment Station, Circular 347*.

Huchelmann, A., Boutry, M., & Hachez, C. (2017). Plant glandular trichomes: Natural cell factories of high biotechnological interest. *Plant Physiology*, *175*, 6-22. Doi: 10.1104/pp.17.00727

Jadczak, D., Bojko, K., Kaymakanova, M., & Berova, M. (2022). Salinity-induced changes in the antioxidant status of common basil plants (*Ocimum basilicum* L.) grown under controlled conditions. *Horticulturae*, *8*(9), 775. DOI: 10.3390/horticulturae8090775

Kang, S. M., Khan, A. L., Waqas, M., You, Y. H., Kim, J. H., Kim, J. G., Hamayun, M., & Lee, I. J. (2014). Plant growth-promoting rhizobacteria reduce adverse effects of salinity and osmotic stress by regulating phytohormones and antioxidants in *Cucumis sativus*. *Journal Plant Interact*, *9*, 673-682. https://doi.org/10.1080/17429145.2014.894587

keya Tudu, C., Dey, A., Pandey, D. K., Panwar, J. S., & Nandy, S. (2022). Role of plant derived extracts as biostimulants in sustainable agriculture: A detailed study on research advances, bottlenecks and future prospects. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*, 159-179. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85579-2.00017-4

Khoury, M., Stien, D., Eparvier, V., Ouaini, N., & El Beyrouthy, M. (2016). Report on the medicinal use of eleven lamiaceae species in lebanon and rationalization of their antimicrobial potential by examination of the chemical composition and antimicrobial activity of their essential oils. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, *14*(5). Doi: 10.1002/cbdv.201600236

La Bella, S., Consentino, B. B., Rouphael, Y., Ntatsi, G., De Pasquale, C., Iapichino, G., & Sabatino, L. (2021). Impact of *Ecklonia maxima* seaweed extract and Mo foliar treatments on biofortification, spinach yield, quality and NUE. *Plants*, *10*(6), 1139. https://doi.org/10.3390/plants10061139

Layek, J., Das, A., Idapuganti, R. G., Sarkar, D., Ghosh, A., Zodape, S. T., ... & Meena, R. S. (2018). Seaweed extract as organic bio-stimulant improves productivity and quality of rice in eastern Himalayas. *Journal of Applied Phycology*, *30*(1), 547-558. https://doi.org/ 10.1007/s10811-017-1225-0

Lei, M., Manchun, L., Xiaoxue, M., Liang, Ch., Peijun, D., & Yongxue, L. (2017). A review of supervised objectbased land-cover image classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *130*, 277-293.

Mehdizadeh, L., Moghaddam, M., & Lakzian, A. (2019). Alleviating negative efects of salinity stress in summer savory (*Satureja hortensis* L.) by biochar application. *Acta Physiologiae Plantarum*, *41*, 98-112. DOI 10.1007/s11738-019-2900-3

Molazem, D., Qurbanov, E. M., & Dunyamaliyev, S. A. (2010). Role of proline, Na and chlorophyll content in salt tolerance of corn (*Zea mays* L.). *Aejaes*, *9*(3), 319-324.

Mondal, S, & Panda, D. (2019). Seaweed as source of plant growth promoters and bio-fertilizers: An overview. *Handbook of Algal Technologies and Phytochemicals*, 111-121.

Mukherjee, A, & Patel, J. (2020). Seaweed extract: Biostimulator of plant defense and plant productivity. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *17*(1), 553-558. DOI: 10.1007/s13762-019-02442-z

Numanad, M., Bashira, S., Khana, Y., Mumtaza, R., Shinwaric, Z. K., Khan, A. L., Khan, A., & AL-Harrasi, A. (2018).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.45]

Plant growth promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: A review. *Microbiological Research*, *209*, 21-32. https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.02.003

Oprea, M. I., Giosanu, D., Sumedrea, D. I., & Florea, A. (2024). Effects of salinity stress on growth parameters and chlorophyll fluorescence in three basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars. *Acta Horticulturae*, *1416*, 459-466. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2025.1416.59

Pandolfini, T., Gabbrielli, R., & Comparini, C. (1992). Nickel toxicity and peroxidase activity in seedlings of *Triticum aestivum* L. *Plant and Cell and Environment*, *15*, 719-725.

Radhakrishnan, R., Hashem, A., & Abd_Allah, E. F. (2017). Bacillus: A biological tool for crop improvement through bio-molecular changes in adverse environments. *Frontiers in Physiology*, *8*, 1-14. https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00667

Rojas-Tapias, D., Moreno-Galvan, Pardo-Diaz, S., Obando, M., Rivera, D., & Bonilla, R. (2012). Effect of inoculation with plant growth-promoting bacteria (PGPB) on amelioration of saline stress in maize (*Zea mays*). *Applied Soil Ecology*, *61*, 264-272. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.01.006

Ruzzi, M, & Aroca, R. (2015). Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, *196*, 124-134. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.042

Saa, S., Rio, O. D., Castro, S., & Brown, P. H. (2015). Foliar application of microbial and plant based biostimulants increases growth and potassium uptake in almond (*Prunus dulcis*). *Frontiers in Plant Science*, *6*, 1-9. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00087

Sajjad, M., Siddigi, E. H., Bhatti, K. H., Nawaz, K., Hussain, K., Talat, A., Anwar, S., Munir, M., & Afzal, A. (2013). Foliar application of salicylic acid as potent inducer of salt tolerance in radish (*Raphanus sativus* L.). *Middle East Journal of Scientific Research*, *14*, 1098-1102. http://dx.doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2013.14.8.2117

Saleh, A. A. H., Abu-Elsaoud, A. M., Elkelish, A. A., Sahadad, M. A., & Abdelrazek, E. M. (2016). Role of external proline on enhancing defence mechanisms of *Vicia faba* L. against ultraviolet radiation. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, *9*(8), 22-34.

Shah, M. T., Zodape, S. T., Chaudhary, D. R., Eswaran, K., & Chikara, J. (2013). Seaweed sap as an alternative liquid fertilizer for yield and quality improvement of wheat. *Journal of Plant Nutrition*, *36*, 192-200. DOI: 10.1080/01904167.2012.737886

Sharafzadeh, Sh., Sabahi, A., Ordookhani, K., & Zare, M. (2016). Growth and active substances of summer savory as affected by PGPR. *Journal of Novel Applied Sciences*, *2*(2), 997-1000. https://www.researchgate.net/publication/258565429

Shultana, R., Kee, Z. H., Pang, C. H., & Hossain, M. A. (2020). Physiological and biochemical mechanisms of tolerance in plants under salinity stress. *Plant Stress*, *2*, 100016. https://doi.org/10.1016/j.stress.2020.100016

Tahami, M. K., Jahan, M., Khalilzadeh, H., & Mehdizadeh, M. (2017). Plant growth promoting rhizobacteria in an ecological cropping system: A study on basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil production. *Industrial Crops and Products*, *107*, 97-104. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.05.020

Tetali, S. D. (2018). Terpenes and isoprenoids: A wealth of compounds for global use. *Planta*, *249*, 1-8. Doi: 10.1007/s00425-018-3056-x

Van Zelm, E., Zhang, Y., & Testrink, C. (2020). Salt tolerance mechanisms of plants. *Annual Review of Plant Biology*, *71*(1), 403-433. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100005

Xia, L. J., Yang, L. Q., Sun, N. L., Li, J., Fang, Y. J., & Wang, Y. P. (2016). Physiological and antioxidant enzyme gene expression analysis reveals the improved tolerance to drought stress of the somatic hybrid offspring of *Brassica napus* and Sinapi's alba at vegetative stage, *Acta Physiologiae Plantarum*, *38*(4), 1-10. DOI: 10.1007/s11738-016-2111-0

Yakhin, O. I., Lubyanov, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017) 'Biostimulants in plant science: A global perspective', *Frontiers in Plant Science*, *7*, 1-32. https://doi.org/ 10.3389/fpls.2016.02049

Yarsi, 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

Yusuf, R., Syakur1, A., & Hidayati, M. (2016). Appllcation of some types of seaweeds on thegrowth and yield of Shallot (*Allium ascalonicum* L.). *The Agriculture Science Journal*, *3*(2), 81-86. DOI: 10.22487/j24077593. 2016.v3.i2.8578

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.45]

Response evaluation of *Satureja hortensis* L. to biofertilizers under salinity stress

Fariba Vafaahd[1], Shiva Khalesro[*1], Batool Mahdavi[2]

[1] Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
[2] Department of Genetic and Crop Production, Agriculture College, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

Abstract

Satureja hortensis L. is a valuable medicinal and aromatic plant with numerous applications in the pharmaceutical and food industries. The use of natural inputs is a key strategy for cultivating this plant sustainably, as they can provide essential nutrients and help mitigate the effects of salinity stress. Thus, this study aimed to investigate the effect of salinity stress and biofertilizers on the morphological and physiological traits of savory. Experimental treatments were biofertilizers at four levels (control, *Pseudomonas fluorescens*, *Sargassum boveanum*, and *Pseudomonas fluorescens* + *Sargassum boveanum*) and salinity stress at four levels (0, 50, 100, and 150 mM). The research was set up as a factorial experiment using a randomized complete block design with four replications at the greenhouse of the Faculty of Agriculture of the Kurdistan University in 2023. The results indicated that these mentioned traits reduced with increasing salinity stress levels. Algae and bacteria significantly increased plant height (31.12 cm), root length (14.11 cm), root volume (4.04 ml), dry weight of aerial part (17.93 g), protein (21.76 mg. g^{-1} Fw), and malondialdehyde of savory under salinity stress condition. Also, the interaction of biofertilizer and salinity stress significantly affected proline (7.01 mg. g^{-1} Fw), chlorophyll (1.76 mg. g^{-1} Fw), and peroxidase enzyme (0.4 $unmin^{-1}$ mg^{-1} protein). Considering the results of this research indicating a positive and significant effect of bio-fertilizers on the studied traits, especially under salt stress, it can be proposed as a strategy to reduce the adverse effects of salinity.

Keywords: *Pseudomonas*, Salinity stress, *Sargassum boveanum*, Savory

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.45]

Received: May. 21, 2025; Revised: Aug. 31, 2025; Accepted: Oct. 29, 2025; Published Online: May. 02, 2026
*Corresponding Author: sh.khalesro@uok.ac.ir

Copyright © 2025 Iranian Society of Plant Physiology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.