فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۴، شماره ۶۹، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۴ صفحه: ۲۷۷-۲۹۷
https://doi.org/10.22034/14.69.277

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر پوتریسین و سالیسیلیک اسید بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک رزماری در شرایط تنش شوری

اسد صفری[۱]، داود صمصام‌پور*[۲] و مژگان سلیمانی‌زاده[۳]
گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۱۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۶/۱۱)

چکیده

تنش شوری با ایجاد اختلال در تعادل یونی، فشار اسمزی و بروز آسیب اکسیداتیو، رشد و عملکرد گیاهان را کاهش می‌دهد. رزماری، به‌عنوان گیاهی دارویی حساس به شوری، در چنین شرایطی آسیب‌پذیر است. مطالعات نشان می‌دهند که کاربرد پوترسین و سالیسیلیک اسید می‌تواند با بهبود دفاع آنتی‌اکسیدانی و تنظیم اسمزی، اثرات منفی شوری را کاهش دهد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر پوترسین و سالیسیلیک اسید بر بهبود رشد و پاسخ‌های فیزیولوژیک گیاه رزماری (***Rosmarinus officinalis***) تحت تنش شوری انجام شد. برای این منظور، گیاهچه‌های سه‌ماهه رزماری با غلظت‌های مختلف پوترسین (صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار) و سالیسیلیک اسید (صفر، ۰/۵، ۰/۷ و ۱ میلی‌مولار) به‌صورت محلول‌پاشی هر ۱۰ روز یک‌بار به مدت یک ماه تیمار شدند. سپس تنش شوری با استفاده از کلرید سدیم در سطوح صفر، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار به‌صورت آبیاری هر چهار روز یک‌بار به مدت دو ماه اعمال گردید. نتایج نشان داد که ترکیب پوترسین و سالیسیلیک اسید اثرات مثبتی بر رشد، شاخص‌های فیزیولوژیک و ترکیبات فیتوشیمیایی داشتند. در شرایط شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، تیمار ترکیبی پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید ۰/۵ میلی‌مولار سبب افزایش ۸۱/۲۵ درصدی ارتفاع گیاه و ۱۴۸/۰۲ درصدی تعداد برگ شد. همچنین، ترکیب پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار موجب افزایش معنی‌دار وزن تر برگ (۱۹۸/۳۰ درصد) و وزن خشک ریشه (۱۱۴ درصد) گردید. سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار بیشترین اثر را بر محتوای نسبی آب برگ (۹۱/۶۰ درصد) داشت. در شوری‌های بالا (۱۲۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار)، ترکیب پوتریسین و سالیسیلیک اسید باعث بهبود معنی‌دار ویژگی‌های فیزیولوژیک رزماری شد. بیشترین افزایش کلروفیل **a** در تیمار پوترسین با غلظت ۲ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید با غلظت ۰/۷ میلی‌مولار و پوترسین با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید با غلظت ۱ میلی‌مولار به‌ترتیب به‌میزان ۱۲۰/۹۷ و ۱۷۰/۲۱ درصد و کلروفیل **b** (۰/۵۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تیمارهای ترکیبی پوترسین با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار مشاهده گردید. همچنین، پوترسین با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار و سالیسیلک اسید ۱ میلی‌مولار سبب افزایش فنل کل و تیمار پوترسین با غلظت ۲ میلی‌مولار بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۹۹/۴٪، معادل ۷۱/۴۰٪ بالاتر از شاهد) در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار شدند. کاربرد پوترسین و اسید سالیسیلیک، به‌صورت جداگانه و ترکیبی، به‌طور مؤثری اثرات نامطلوب تنش شوری را در گیاهان رزماری کاهش داد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که کاربرد خارجی این ترکیبات می‌تواند یک استراتژی عملی برای افزایش تحمل به شوری در گیاهان دارویی و معطر مانند رزماری باشد.

واژه‌های کلیدی: پوترسین، رزماری، سالیسیلیک اسید، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، رنگیزه‌های فتوسنتزی

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: samsampoor@hormozgan.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.277]

مقدمه

شوری خاک یا آب یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که فرآیندهای متعدد در گیاهان را تغییر می‌دهد. تنش شوری به شدت جوانه‌زنی، رشد، نمو و بهره‌وری گیاهان را در سراسر جهان کاهش می‌دهد، به‌طوریکه در حال حاضر شوری خاک و خشکسالی دو مشکل اصلی پیش روی صنعت کشاورزی است (Alcazar *et al*., 2020). شوری خاک بیشتر در مناطق خشک و نیمه‌خشک وجود دارد که به‌دلیل مدیریت نامناسب آبیاری و زهکشی، بارندگی کم، تبخیر آب زیاد و آبیاری با آب‌های شور است. بیش از ۸۰۰ میلیون هکتار از زمین‌ها در سراسر جهان تحت تأثیر تنش شوری قرار می‌گیرند که بالای ۱/۵ میلیون هکتار زمین را هر سال از تولید خارج می‌کند (Etikala *et al*., 2021). بدین ترتیب ۵۰ درصد از زمین‌های قابل کشت تا اواسط قرن بیست و یکم به‌دلیل شوری از بین خواهند رفت (Alcazar *et al*., 2020). این تنش شوری جوانه‌زنی بذر را از طریق تنش اسمزی، اثرات اختصاصی یونی و تنش اکسیداتیو تحت تأثیر قرار می‌دهد. شوری همچنین می‌تواند با اثرات سمی یون‌های سدیم و کلرید روی زنده‌مانی جنین از طریق تخریب ساختار آنزیم‌ها و ماکرومولکول‌ها، آسیب اندامک‌های سلولی و غشای پلاسمایی، اختلال در تنفس، فتوسنتز و سنتز پروتئین و غیره نقش داشته باشد (Sarkar and Sadhukhan, 2023). تنش شوری علاوه بر کاهش شاخص‌های عملکردی، تولید متابولیت‌های ثانویه ازجمله اسانس را نیز در گیاهان دارویی تحت تأثیر قرار می‌دهد. تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان همیشه به یک میزان انجام نمی‌شود و عوامل متعددی تولید این ترکیب‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. نوع گونه یا جنس گیاهی، مرحله رشد و نمو، شرایط فصلی خاص، میزان دسترسی به مواد غذایی معدنی و شرایط تنشی از جمله این عوامل هستند (Alami *et al*., 2024).

یکی از قابل توجه‌ترین واکنش‌های متابولیکی گیاهان در پاسخ به بسیاری از تنش‌های غیرزیستی تجمع پلی‌آمین‌هاست (Chen *et al*., 2019). پلی‌آمین‌ها (پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین) هیدروکربن‌های آلیفاتیک، آلی و کوچک با مولکول‌های با بار مثبت و وزن مولکولی پایین هستند و به‌عنوان یک کلاس جدید از تنظیم‌کننده‌های زیستی رشد گیاه شناخته شده‌اند که منجر به افزایش رشد ساقه می‌شوند. این افزایش ممکن است به‌دلیل افزایش فعالیت تقسیم سلولی باشد. این ترکیبات همچنین در بیوسنتز آنزیم‌ها، تنظیم فرآیندهای رشدونمو، تقسیم سلولی، تمایز، گلدهی، رسیدگی میوه و پیری نقش دارند و تقریباً در همه موجودات یافت می‌شوند (Stolarska *et al*., 2023). گزارش شده که این ترکیبات در فرآیندهای رشد و تمایز در گیاهان و همچنین در پاسخ به شرایط تنش عمل می‌کنند (Sharma *et al*., 2019). پلی‌آمین‌ها نقش مهمی در تثبیت ساختار فسفولیپیدی غشاء سلولی و حفظ یکپارچگی آن تحت شرایط تنش دارند. این ترکیبات می‌توانند با بارهای مثبت خود به گروه‌های منفی فسفولیپیدها متصل شوند و پایداری غشاء را افزایش دهند، از آسیب اکسیداتیو جلوگیری کنند و نفوذپذیری غشاء را تنظیم نمایند (Chen *et al*., 2019). علاوه‌براین، پلی‌آمین‌ها در تنظیم سیگنالینگ کلسیم، فعال‌سازی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تعدیل بیان ژن‌های مرتبط با پاسخ به تنش نقش دارند (Kolupaev *et al*., 2022).

سالیسیلیک اسید متعلق به گروهی از ترکیبات فنلی است که به‌عنوان یک مولکول سیگنال کلیدی در القا مکانیسم‌های دفاعی گیاهان شناخته شده است (Kumar *et al*., 2020). همچنین نقش سالیسیلیک اسید در تعدادی از فرایندهای فیزیولوژیک نشان داده شده است. در گیاهان سالیسیلیک اسید از طریق مسیر شیکمات فنیل پروپانوئید ساخته می‌شود (Peng *et al*., 2021). برای ساخت این ترکیب دو مسیر که در هیدروکسیله شدن حلقه آروماتیک متفاوت است توصیف شده است. فنیل‌آلانین در ابتدا تبدیل به سینامیک اسید می‌شود. سپس یا زنجیره جانبی سینامیک اسید تهیه شده هیدروکسیله می‌گردد تا کوماریک اسید تهیه شود یا زنجیره جانبی سینامیک اسید پس از اکسیدشدن به اسید بنزوئیک تبدیل می‌شود (Clifford *et al*., 2024). القـاء گلدهی، رشدونمو، سنتز اتیلن، تأثیر در باز و بسته شـدن روزنـه‌هـا و تنفس، مقاومت به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.277]

تنش‌ها از نقش‌های مهم سالسیلیک اسید به حساب می‌آید (Kaya *et al*., 2023). از سوی دیگر، سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک هورمون گیاهی، در تنظیم پاسخ‌های دفاعی و تنش گیاهان مؤثر است. این ترکیب می‌تواند مسیرهای سیگنالینگ مرتبط با تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و بیان ژن‌های آنتی‌اکسیدانی را فعال کند، سیستم ایمنی گیاه را تقویت نماید و تحمل به تنش‌های محیطی مانند شوری، کم‌آبی و دماهای غیرمطلوب را افزایش دهد (Lukan and Coll, 2022; Hasanuzzaman *et al*., 2021).

گیاه رزماری با نام علمی *Rosmarinus officinalis* L. گیاهی است متعلق به خانواده Lamiaceae و بومی مناطق مدیترانه است که به‌خوبی، آب و هوای گرم مناطق خشک و نیمه‌خشک را تحمل می‌کند و در سراسر جهان کشت می‌گردد (Stefanakis *et al*., 2024). گیاهی چندساله و معطر، بوته‌ای شکل با شاخه‌های پر از برگ و ارتفاع بالای دو متر است. این گیاه به‌عنوان ادویه در غذا و نگهدارنده طبیعی در صنعت غذا استفاده می‌شود و به‌عنوان یک گیاه زینتی- دارویی محسوب می‌شود (Acimovic, 2023). رزماری همانند بسیاری از گیاهان دارویی نسبت به تنش شوری حساسیت نسبی نشان می‌دهد، به‌طوری‌که افزایش غلظت نمک در محیط رشد موجب کاهش جوانه‌زنی، افت شاخص‌های رشدی و کاهش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی آن می‌شود (Al-Fraihat *et al*., 2023; Elena *et al*., 2019). با این حال، برخی مطالعات بیانگر آن است که این گیاه توانایی تحمل سطوح متوسط شوری را داراست، ولی در سطوح بالای شوری عملکرد آن به شدت کاهش می‌یابد. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی نقش پوتریسین و سالیسیلیک اسید در بهبود ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک رزماری و افزایش تحمل آن در برابر تنش شوری است.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه داراب (E ′۴۴/ ° ۵۴ و N′۷۵/ ° ۲۸) در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱ انجام شد. گیاهچه‌های سه ماهه یکنواخت و سالم رزماری از شرکت زرگیاه شیراز تهیه و در گلدان‌هایی با سایز ۲۵ سانتی‌متر حاوی خاک (۶۰ درصد شن، ۲۸ درصد سیلت و ۱۲ درصد رس) با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۶۵ درصد کاشته شد. یک ماه قبل از اعمال تنش شوری، پوترسین با غلظت‌های (صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار) و سالیسیلیک اسید با غلظت‌های (صفر، ۰/۵، ۰/۷ و ۱ میلی‌مولار) هر ۱۰ روز یکبار به صورت محلول‌پاشی اعمال شد. یک هفته پس از اتمام تیمار، تیمار شوری هر چهار روز یکبار با کلرید سدیم با غلظت‌های (صفر، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار) انجام شد. آبیاری با آب شور به‌گونه‌ای انجام شد که محلول اضافی از پای بوته خارج شود (آبشویی)، تا از تجمع نمک در خاک گلدان جلوگیری گردد. این روش سبب شد غلظت نمک در محیط ریشه کنترل شده و شوری اضافی مانع رشد گیاه نشود. بعد از گذشت دو ماه از اعمال تنش شوری صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه مورد ارزیابی قرار گرفت. ارتفاع گیاه با استفاده از خط‌کش (سانتی‌متر) ارزیابی شد. برای شاخص تعداد برگ هر بوته بعد از برداشت و انتقال به آزمایشگاه تعداد برگ هر بوته شمارش و یادداشت شد. وزن تر خشک برگ و ریشه با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۰۰۱ اندازه‌گیری شد.

محتوای نسبی آب برگ: برای تعیین محتوای نسبی آب برگ از جوان‌ترین برگ بالغ در هر گیاه سه دیسک برگی تهیه شد. بدین منظور برای تعیین وزن تر نمونه‌ها، بالافاصله وزن شدند (FW)، سپس تمامی برگ‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت درون لوله‌های آزمایش حاوی ۴۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر در دمای اتاق و محیط تاریک قرار داده شد و وزن اشباع آن‌ها اندازه‌گیری شد (TW). در مرحله بعد نمونه‌ها به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک و وزن خشک آن‌ها تعیین گردید (DW). محتوای نسبی آب برگ (RWC) با استفاده از روش (Sarmoum *et al*., 2019) محاسبه شد. داده‌های به‌دست آمده با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شد:

$$RWC = (FW-DW)/ (TW-DW)\times 100$$

FW: وزن تر برگ، DW: وزن خشک برگ، TW: وزن

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.277]

اشباع.

اندازه‌گیری میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی: جهت عصاره‌گیری و تعیین کلروفیل و کاروتنوئید برگ، با ۵ میلی‌لیتر از حلال استون ۸۰ درصد استخراج صورت گرفت. بدین منظور نیم گرم برگ تازه در هاون ساییده و با ۵ میلی‌لیتر استون: آب (۸۰:۲۰) مخلوط شد. نمونه‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه با سرعت هزار دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. پس از جداکردن عصاره رویی، مرحله بالا بار دیگر تکرار شد. جذب عصاره در طول‌موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر براساس فرمول زیر به‌صورت گرم به وزن تر محاسبه شد (Lichtenthaler and Buschman, 2001).

Chl*a* =12.7A663 - 2.69 A645
Chl*b* =22.9A645 - 4.68 A663
Car = (1000 A470-1/8 Ch*a* - 85.02 Ch*b*)/198

که در این معادله‌ها a مقدار کلروفیل a، b مقدار کلروفیل b، و Car مقدار کاروتنوئیدها و A_λ جذب در طول‌موج λ نانومتر است (دستگاه با استون ۸۳ درصد کالیبره شد). میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بیان شد.

تهیه عصاره برای ارزیابی فنل، آنتی‌اکسیدان و فلاونوئید: برای تهیه عصاره آنتی‌اکسیدان، فنل و فلاونوئید ۳ میلی‌لیتر متانول ۸۵ درصد با ۰/۵ گرم بافت تازه برگ با استفاده از نیتروژن مایع کوبیده سپس به‌مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۱۰ هزار دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شدند. از فاز رویی برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدان، محتوی فنل و فلاونوئید استفاده شد (Singleton and Rossi, 1965).

سنجش محتوای فنل کل با معرف فولین- سیوکالتو و روش (Singleton and Rossi, 1965) انجام شد. ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ در متانول ۸۰ درصد همگن و سپس با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد و ۱ میلی‌لیتر محلول متانول (۱/۸ میلی‌لیتر آب‌مقطر و ۰/۲ میلی‌لیتر معرف فولین) به آن اضافه و به‌مدت ۵ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد؛ سپس ۱ میلی‌لیتر سدیم کربنات ۱۲ درصد به محلول اضافه شد. پس از ۳۰ دقیقه قرار گرفتن در دمای آزمایشگاه، جذب محلول حاصل در طول‌موج ۷۶۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد.

برای ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل این آزمایش مطابق روش (Nanjo *et al.*, 1996) و براساس فعالیت مهار رادیکال آزاد ۲و ۲- فنیل ۱- پیکریل هیدارزیل (DPPH) محاسبه شد. ابتدا ۲۰۰ میکرولیتر از عصاره تهیه‌شده از بافت برگ با ۵۰۰ میکرولیتر آب مخلوط شده و به‌مدت ۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. ۷۵ میکرولیتر از عصاره رویی سانتریفیوژ شده با ۲ میلی‌لیتر DPPH ۰/۱ میلی‌مولار مخلوط شد. محلول حاصل به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق و تاریکی قرار گرفت و جذب عصاره در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر با اسپکتروفتومتر خوانده شد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی از رابطه زیر محاسبه شد:

درصد فعالیت آنتی‌اکسیدان= [(عدد جذب شاهد/ عدد جذب نمونه)-۱]×۱۰۰

میزان فلاونوئید کل با روش رنگ‌سنجی آلومینیوم کلراید اندازه‌گیری شد (Toor and Savage, 2005). یک دهم گرم از نمونه‌های گیاهی در ۱۰ میلی‌لیتر متانول عصاره‌گیری شد. به ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره حاصل، آب مقطر اضافه شد تا حجم ۵ میلی‌لیتر به‌دست آید. سپس به محلول حاصل ۰/۳ میلی‌لیتر $NaNO_2$ ۵ درصد و پس از ۵ دقیقه، ۰/۶ میلی‌لیتر $AlCl_3$ ۱۰ درصد اضافه شد. در نهایت ۲ میلی‌لیتر NaOH ۱ مولار و ۲ میلی‌لیتر آب‌مقطر اضافه و شدت جذب در طول‌موج ۵۱۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. غلظت نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد کوئرستین به‌دست آمد.

تجزیه و تحلیل اطلاعات به‌دست‌آمده، توسط نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام شد. میانگین‌های صفات ارزیابی شده با آزمون LSD در سطح آماری پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تیمار و تنش شوری بر ارتفاع گیاه، تعداد برگ، وزن تر و خشک برگ

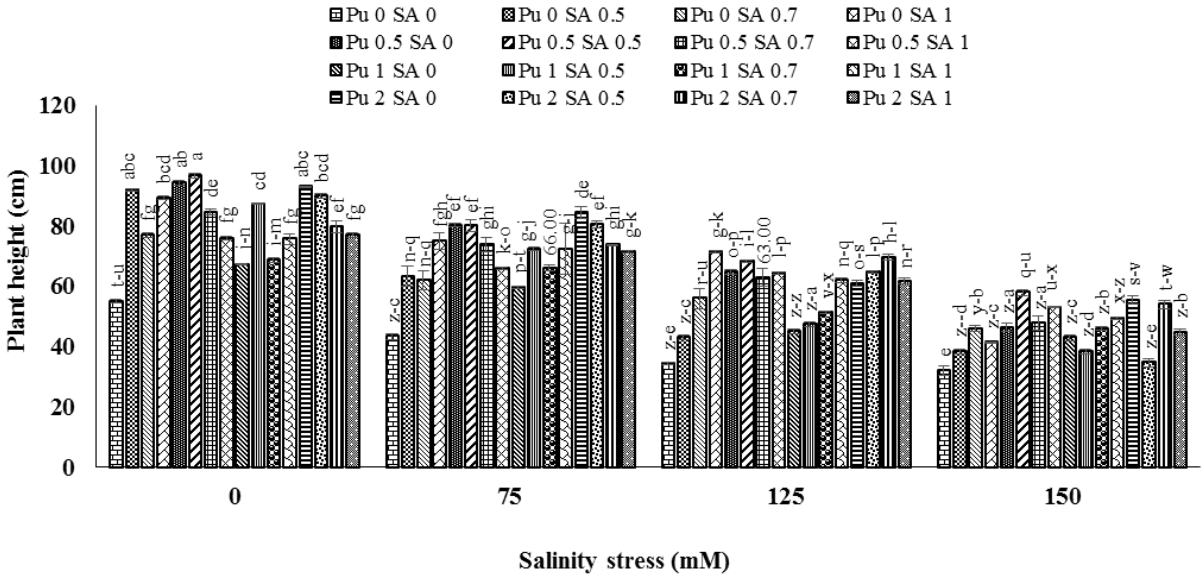
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.277]

جدول ۱- اثر تیمارهای پوترسین و سالیسیلیک اسید بر تغییرات مورفولوژیکی گیاه رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) تحت تنش شوری

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	تعداد برگ	وزن تر برگ	وزن خشک برگ	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه
پوترسین (a)	۳	۱۳۵/۲۷**	۸۰/۵۵**	۵/۳۸**	۱/۳۹**	۷/۲۱**	۰/۰۷۰۲**
سالیسیلیک اسید (b)	۳	۲۳۹/۷۲**	۳۳۳/۵۷**	۲/۱۶**	۰/۹۸۳**	۸/۸۸**	۰/۰۲۸۲**
شوری (c)	۳	۱۹۸۵/۶۱**	۲۸۵۲/۶۶**	۸۲/۴۷**	۲۱/۵۹**	۳۸/۷۴**	۰/۷۵۹**
a×b	۹	۹۵/۲۵ ^{ns}	۱۷۷/۵۷ ^{ns}	۲/۴۸ ^{ns}	۱/۰۵ ^{ns}	۲/۴۷ ^{ns}	۰/۴۱۷**
a×c	۹	۲۲۶/۲۹**	۱۷۳/۹۲**	۲/۳۷**	۱/۰۴۷**	۰/۵۶۳**	۰/۴۶۱**
b×c	۹	۸۲/۲۲**	۲۱۳/۳۷**	۱/۴۲**	۰/۷۲۸**	۲/۷۵**	۰/۲۲۴**
a×b×c	۶۳	۸۴۱/۱۱**	۶۹۹/۴۳**	۲۳/۸۱**	۵/۷۰**	۱۰/۶۶**	۰/۳۶۲**
خطای آزمایش	۱۲۸	۱۲/۶۴	۱۲/۸۴	۰/۵۶۴	۰/۰۰۶۵	۰/۰۲۱۹	۰/۰۰۸۶
ضریب تغییرات	–	۵/۵۷	۹/۱۰	۷/۴۷	۱/۸۰	۲/۶۵	۹/۱۸

ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد



شکل ۱- اثرات متقابل تیمار پوترسین با غلظت‌های (صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار)، سالیسیلیک اسید با غلظت‌های (صفر، ۰/۵، ۰/۷ و ۱ میلی‌مولار) و شوری با غلظت‌های (صفر، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار) بر ارتفاع گیاه رزماری. میانگین حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. نوار خطا نشان‌دهنده خطای استاندارد است. Pu: پوترسین و SA: سالیسیلیک اسید.

و ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱).

ارتفاع گیاه: نتایج نشان داد که شوری سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع شد، در حالیکه تیمارها سبب افزایش ارتفاع گیاه رزماری شدند (شکل ۱). بیشترین افزایش ارتفاع در تیمار پوترسین با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار و شاهد (عدم تنش شوری) به‌ترتیب به‌میزان ۹۶/۶۷ و ۵۵ سانتی‌متر مشاهده شد (شکل ۱). در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، تیمار پوترسین با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار و

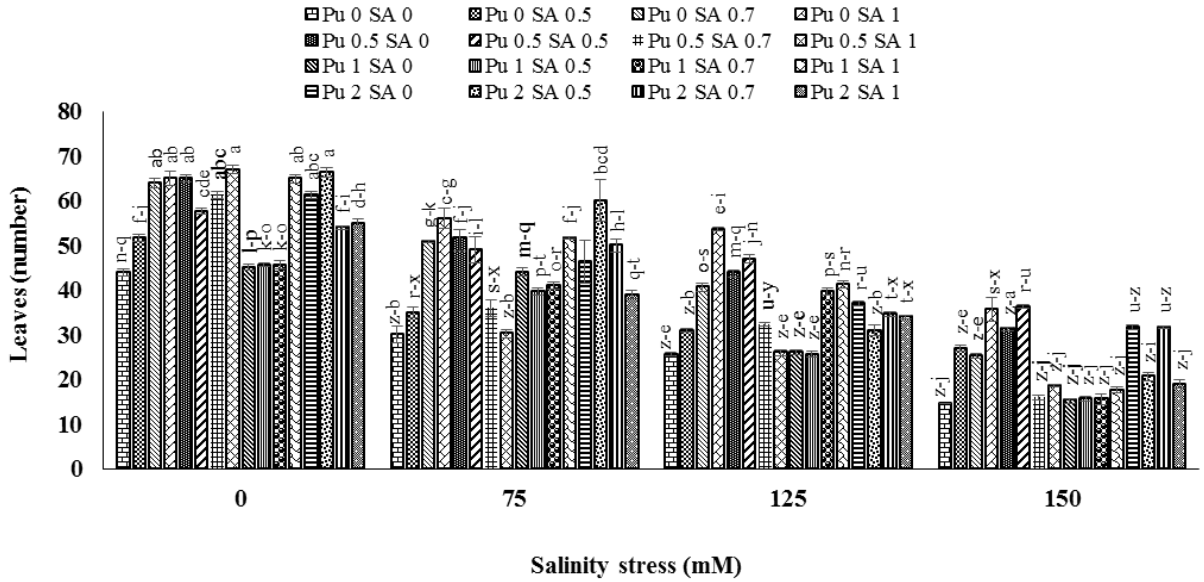
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.277]

سالیسیلیک اسید با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری به‌میزان ۸۱/۲۵ درصد در ارتفاع گیاه نسبت به شاهد نشان داد (شکل ۱). نتایج این مطالعه نشان داد که شوری به‌طورکلی باعث کاهش ارتفاع گیاه می‌شود و این کاهش شوری‌های بالا (به‌ویژه ۱۵۰ میلی‌مولار) قابل توجه است. با این حال، تیمار با پوترسین و سالیسیلیک اسید توانست بخشی از این کاهش را جبران کردند. پوترسین به‌عنوان یک پلی‌آمین نقش مهمی در افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی ایفا می‌کند (Blazquez, 2024). پلی‌آمین‌ها با تثبیت ساختار فسفولیپیدی غشاء، از تخریب سلولی ناشی از تنش شوری جلوگیری می‌کنند (Han and Yang, 2021). پلی‌آمین‌ها می‌توانند مسیرهای سیگنالینگ هورمونی مرتبط با اکسین و جیبرلین را فعال کنند که مستقیماً با طول سلول‌ها و افزایش ارتفاع گیاه مرتبط هستند (D'Inca *et al*., 2024). سالیسیلیک اسید یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی است که در پاسخ به تنش‌های زیستی و غیرزیستی نقش دارد (Kaya *et al*., 2023). سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد، مسیرهای سیگنالینگ هورمونی مرتبط با تقسیم و طول سلول‌ها را فعال می‌کند. این تعامل‌ها منجر به حفظ یا افزایش ارتفاع گیاه در شرایط استرس شوری می‌شوند، زیرا سلول‌ها قادر به حفظ تورژسانس و گسترش دیواره سلولی هستند (Jayakannan *et al*., 2015). در تحقیقاتی نشان داده شد که پوترسین می‌تواند اثرات منفی در گیاه برنج را کاهش دهد و باعث افزایش زیست‌توده گیاهی می‌شود (Chunquan *et al*., 2021). در تحقیقی مشخص گردید تیمار ۱ میلی‌مولار پوترسین در شرایط شوری ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl باعث افزایش قابل توجهی در ارتفاع ذرت شد (Alobaidy, 2013). در پژوهشی ارتفاع گیاه گلابی ۱۵٪ بیشتر از شاهد در تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار تنش شوری با کاربرد پوترسین با غلظت ۱ میلی‌مولار مشاهده شد (A Abd El-wahab and Shakweer, 2024). همچنین Chen و همکاران (۲۰۱۶) در گزارشی مشخص گردید که سالیسیلیک اسید می‌تواند رشد گندم را در شرایط شوری با کاهش پراکسیداسیون لیپیدی و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بهبود دهد (Chen *et al*., 2016). در پژوهشی نتایج نشان دادند کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاه گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری منجر به افزایش شاخص‌های رشدی و کاهش تجمع ROS شد (Mimouni *et al*., 2016). در مطالعه‌ای تیمار سالیسیلیک اسید با غلظت ۰/۶ میلی‌مولار در شرایط شوری ۸۰ میلی‌مولار NaCl باعث افزایش ارتفاع گیاه چغندرقند شد (Hussein *et al*., 2020).

تعداد برگ: در این مطالعه نتایج نشان داد در عدم شوری (صفر میلی‌مولار)، ترکیب تیماری پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار و ترکیب تیمارهای پوترسین ۲ میلی مولار و سالیسیلیک اسید ۰/۵ میلی‌مولار با افزایش غلظت تأثیر مثبت داشته و تعداد برگ‌ها به‌ویژه افزایش یافته است، تعداد برگ‌ها به‌طور قابل توجهی بیشتر از شاهد بود. ترکیب تیماری پوترسین و سالیسیلیک اسید اثرات مثبت قابل توجهی در تعداد برگ‌ها در شوری‌های مختلف نشان داد. در شوری ۷۵ میلی‌مولار، تیمار پوترسین ۲ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید ۰/۵ میلی‌مولار باعث افزایش قابل توجهی در تعداد برگ‌ها نسبت به سایر تیمارها شد. در مجموع در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار تیمار پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار به‌میزان ۱۴۸/۰۲ درصد سبب افزایش تعداد برگ نسبت به شاهد شد (شکل ۲). اثر مثبت پوترسین و سالیسیلیک اسید بر افزایش تعداد برگ‌ها می‌تواند با بهبود عملکرد فتوسنتزی و کاهش آسیب‌های اکسیداتیو مرتبط باشد (Jalili *et al*., 2023). پوترسین با تثبیت ساختار غشایی و کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن، سلول‌های برگ را در برابر آسیب‌های استرس شوری محافظت می‌کند (Ma *et al*., 2022)، در حالیکه سالیسیلیک اسید مسیرهای دفاعی و سیگنالینگ رشد را فعال می‌کند. این تعامل باعث حفظ سلامت سلول‌ها و توسعه بیشتر برگ‌ها شده و در نهایت منجر به افزایش تعداد برگ‌ها در گیاه می‌شود (Salinas *et al*., 2025). در مطالعه‌ای اثر سالیسیلیک اسید روی گیاه برنج در شرایط تنش شوری بررسی شد (Kim *et al*., 2018). در پژوهشی روی گوجه‌فرنگی نشان داده شد که استفاده از سالیسیلیک اسید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.277]

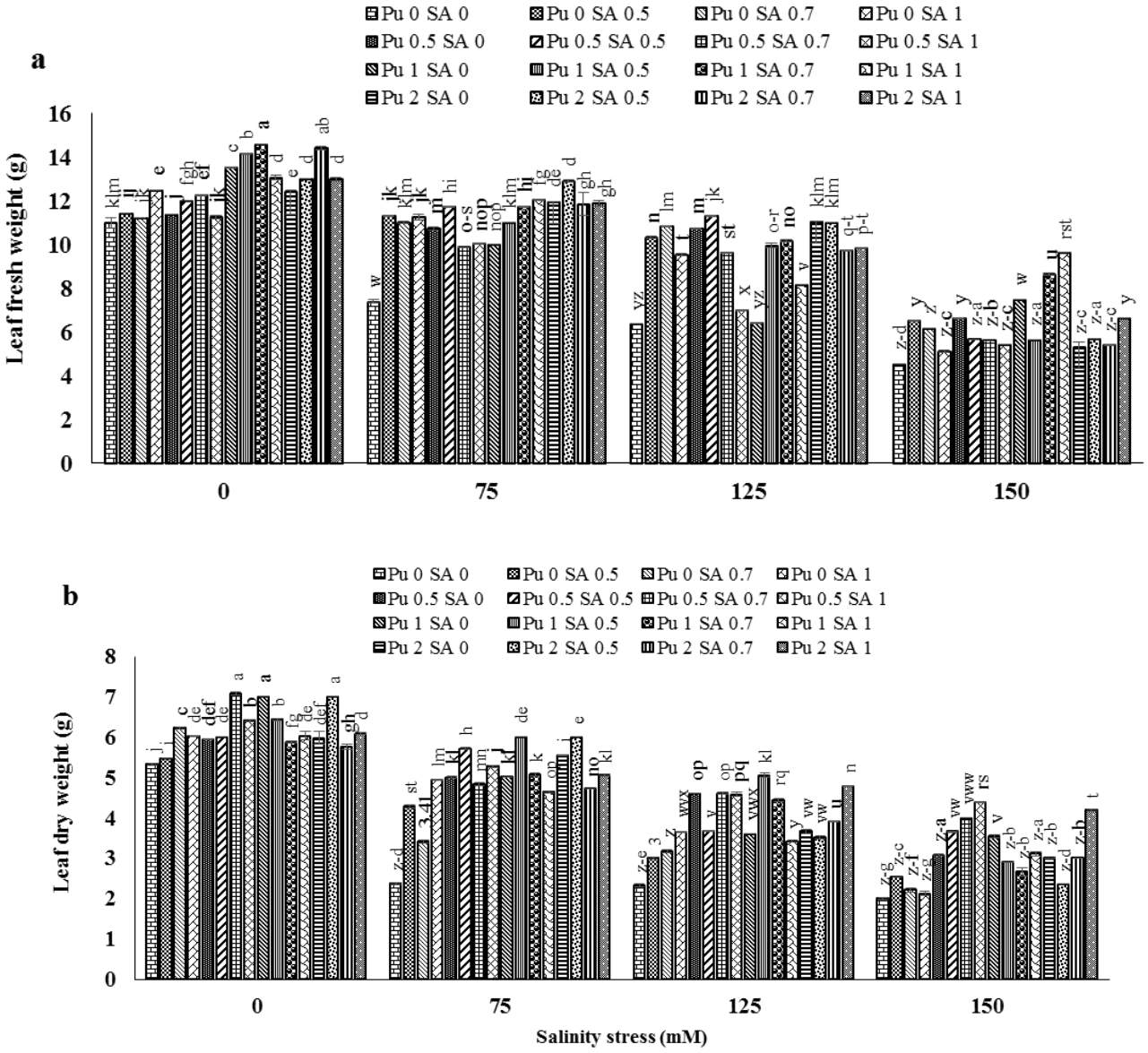


شکل ۲- اثرات متقابل تیمار پوترسین با غلظت‌های (صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار)، سالیسیلیک اسید با غلظت‌های (صفر، ۰/۵، ۰/۷ و ۱ میلی‌مولار) و شوری با غلظت‌های (صفر، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار) بر تعداد برگ گیاه رزماری. میانگین حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. نوار خطا نشان‌دهنده خطای استاندارد است. Pu: پوترسین و SA: سالیسیلیک اسید

در شوری‌های ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار باعث افزایش تعداد برگ‌ها و سطح فتوسنتزی شد (Zahra *et al.*, 2010). در تحقیقی روی گیاه کلزا (*Brassica napus*) مشاهده کردند که سالیسیلیک اسید در شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار، باعث افزایش تعداد برگ‌ها و کاهش اثر مضر سدیم شد (Ilyas *et al.*, 2024). در مطالعه‌ای روی ریحان (*Ocimum basilicum*) نشان داده شد که تیمار پوترسین و سالیسیلیک اسید باعث بهبود رشد رویشی و افزایش تعداد برگ‌ها در سطوح مختلف شوری شد (Kahveci *et al.*, 2021; Danaee and Abdossi, 2019).

وزن تر و خشک برگ: بیشترین وزن تر برگ‌ها در تیمار پوترسین ۱ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید ۰/۷ میلی‌مولار و عدم تنش شوری مشاهده شد. در شوری ۷۵ میلی‌مولار، تیمار پوترسین ۲ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید ۰/۵ میلی‌مولار به‌طور خاص عملکرد خوبی داشت و وزن تر برگ‌ها را به‌طور قابل توجهی افزایش داد. در شوری‌های بالاتر (۱۲۵ میلی‌مولار)، تأثیرات منفی شوری بیشتر مشهود بود، اما تیمار پوترسین ۲ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید ۰/۵ میلی‌مولار همچنان قادر بود وزن تر برگ‌ها را نسبت به سایر تیمارها حفظ کند. به‌طور کلی، در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار تیمار پوترسین ۱ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار به‌میزان ۱۱۳/۰۲ درصد سبب افزایش برگ در مقایسه با شاهد شد (شکل ۳a). وزن تر برگ یکی از شاخص‌های مهم رشد رویشی است که تحت تأثیر شوری کاهش می‌یابد، اما تیمارهای پوترسین و سالیسیلیک اسید توانستند این کاهش را تا حدی جبران کنند. مکانیسم اثر این ترکیبات به نقش آن‌ها در کاهش تنش اکسیداتیو، حفظ تعادل یونی و بهبودکارایی فتوسنتز مرتبط است (Mahmoud *et al.*, 2023). کاهش آسیب ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن و حفظ غشاهای سلولی موجب حفظ آب و مواد مغذی در برگ‌ها می‌شود، در حالیکه تقویت مسیرهای فتوسنتزی باعث تولید بیشتر مواد آلی و رشد بهتر بافت برگ می‌شود. این مکانیسم‌ها در مجموع منجر به افزایش وزن تر و خشک برگ‌ها می‌شوند (Jalili *et al.*, 2023). در تحقیقی، گزارش کردند که سالیسیلیک اسید در برنج با افزایش تثبیت CO_2 و بهبود عملکرد فتوسیستم II، توانست زیست‌توده برگ‌ها را افزایش دهد (Chen *et al.*, 2022). در پژوهشی نتایج نشان دادند که پوترسین در گیاه گندم، با تنظیم نسبت سدیم به پتاسیم و کاهش سمیت سدیم، منجر به افزایش وزن تر برگ

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.277]



شکل ۳- اثرات متقابل تیمار پوترسین با غلظت‌های (صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار)، سالیسیلیک اسید با غلظت‌های (صفر، ۰/۵، ۰/۷ و ۱ میلی‌مولار) و شوری با غلظت‌های (صفر، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار) بر a) وزن تر برگ و b) وزن خشک برگ گیاه رزماری. میانگین حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. نوار خطا نشان‌دهنده خطای استاندارد است. Pu: پوترسین و SA: سالیسیلیک اسید

در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl شد (Zhao *et al.*, 2023). مطالعه‌ای روی گوجه‌فرنگی نیز اثبات کرد که تیمار پوترسین از طریق کاهش ROS و افزایش پرولین، موجب حفظ وزن تر برگ‌ها در شرایط شوری شد (Ma *et al.*, 2022). در این تحقیق، بهترین غلظت پوترسین (۱ میلی‌مولار) و سالسیلیک اسید (۱ میلی‌مولار) توانستند وزن تر برگ‌ها راحفظ کنند که با یافته‌های Farouk و Omar (۲۰۲۰) روی ریحان همخوانی دارد، جایی که این ترکیبات موجب افزایش سنتز کلروفیل و حفظ محتوای آب برگ‌ها شدند (Farouk and Omar, 2020).

در این تحقیق نتایج نشان داد که تیمار پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید ۰/۷، پوترسین ۱ میلی‌مولار و ترکیب تیماری پوترسین ۲ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید ۰/۵

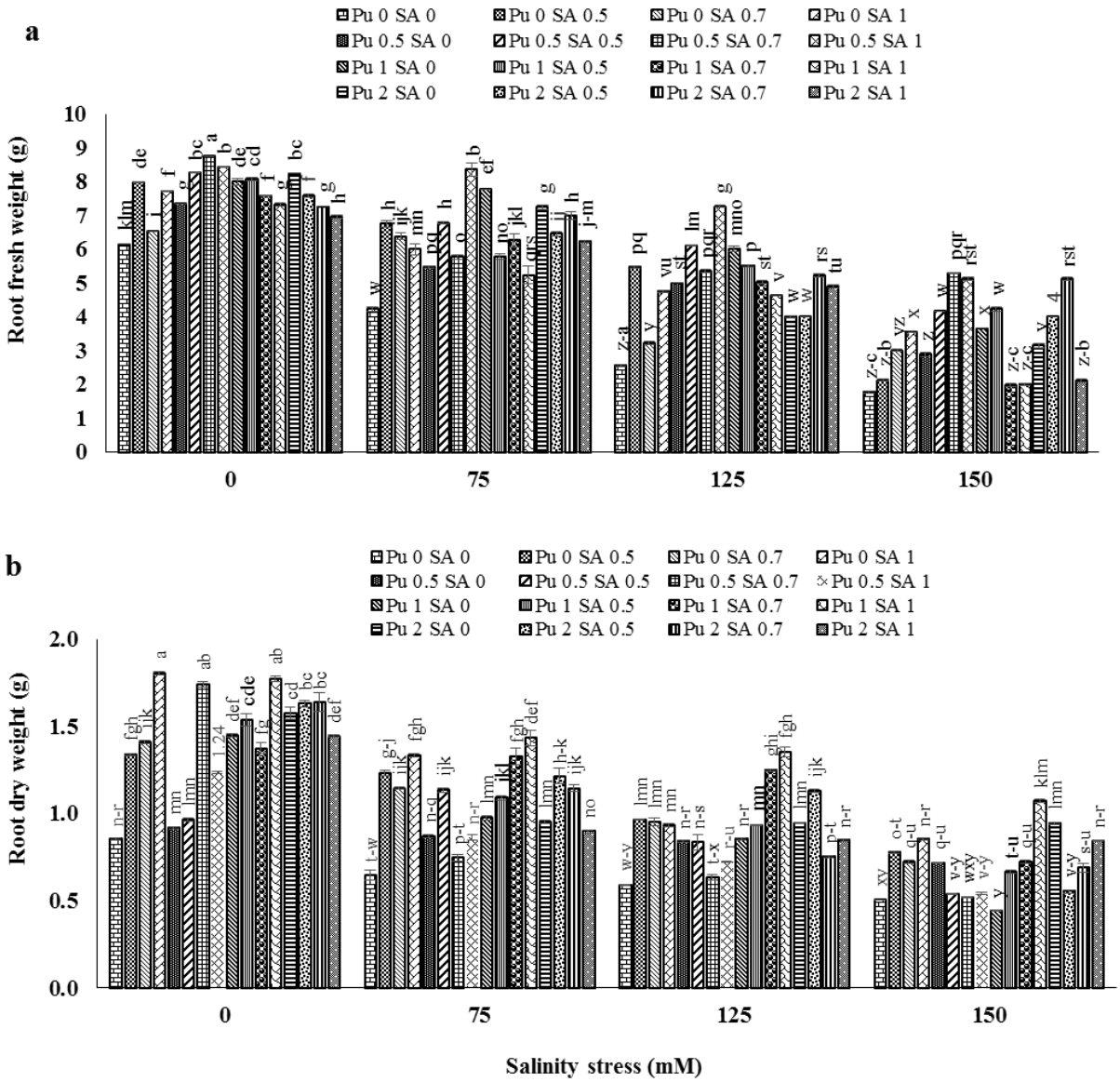
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.277]

میلی‌مولار با وزن خشک برگ ۷/۰۸، ۷ و ۷ گرم، معادل ۳۳/۰۸، ۳۱/۵۷ و۳۱/۵۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. در شوری ۷۵ و ۱۲۵ میلی‌مولار، پوترسین ۱ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید ۰/۵ میلی‌مولار با وزن خشک برگ ۶ و ۵/۰۵ گرم، معادل ۱۵۳/۱۶ و ۱۱۷/۶۷ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد. همچنین در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار با ۴/۳۸ گرم، حدود ۱۱۹ درصد بیشتر از شاهد بود (شکل ۳b). در تحقیقی روی پروانش (*Catharanthus roseus*)، تیمار سالیسیلیک اسید در شرایط تنش شوری منجر به بهبود خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک این گیاه شد (Chowdhury *et al*., 2024). همچنین، مطالعه‌ای دیگر روی گیا استویا (*Stevia rebaudiana*)، تأثیر مثبت سالیسیلیک اسید بر برخی خصوصیات رشدی در شرایط تنش شوری مشاهده شد (Janah *et al*., 2024). در گیاه ریحان سبز (*Ocimum basilicum*)، سالیسیلیک اسید باعث کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و بهبود مقاومت به تنش شوری گردید (Shekoofeh *et al*., 2012).

وزن تر و خشک ریشه: نتایج بررسی تأثیر تیمارهای مختلف پوترسین و سالیسیلیک اسید بر وزن تر ریشه گیاه تحت شرایط شوری‌های مختلف نشان داد. تیمار پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید ۰/۷ میلی‌مولار) در شرایط عدم شوری، با وزن تر ریشه ۸/۷۴ گرم بیشترین افزایش را نسبت به شاهد نشان داد و حدود ۴۲/۳۴ درصد افزایش داشت. در شوری ۷۵ میلی‌مولار، پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار) با وزن تر ریشه ۸/۳۵ گرم معادل ۹۷/۳۹ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. در شوری ۱۲۵ میلی‌مولار، پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار) با ۷/۲۶ گرم به‌میزان ۱۸۳/۵۹ درصد بیشتر از شاهد بود. در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، تیمار پوترسین با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار به همراه سالیسیلیک اسید ۰/۷ میلی‌مولار با ۵/۲۸ گرم، حدود ۱۹۸/۳۰ درصد بیشتر از شاهد بود (شکل ۴a). در شرایط عدم تنش شوری، بهترین تیمار برای وزن خشک ریشه، سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار با ۱/۸۰ گرم بود که نسبت به شاهد معادل ۰/۸۵۰ گرم به‌میزان ۱۱۱/۷۶ درصد افزایش در مقایسه با شاهد نشان داد. در شوری ۷۵ میلی‌مولار، پوترسین ۱ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار با میانگین ۱/۴۳ گرم بهبود قابل توجهی در مقایسه با شاهد ۰/۶۵۰ گرم نسبت به شاهد به‌میزان ۱۳۸/۳۳ درصد افزایش را تجربه کرد. در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، پوترسین ۱ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار با ۱/۰۷ گرم بالاترین وزن خشک ریشه را داشت که در مقایسه با شاهد به‌میزان ۱۱۴ درصد افزایش داشت (شکل ۴b). در شرایط عدم تنش شوری، بهترین تیمار برای وزن خشک ریشه، سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار با ۱/۸۰ گرم بود که نسبت به شاهد معادل ۰/۸۵۰ گرم به‌میزان ۱۱۱/۷۶ درصد افزایش نشان داد. در شوری ۷۵ میلی‌مولار، پوترسین ۱ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار با میانگین ۱/۴۳ گرم بهبود قابل توجهی در مقایسه با شاهد ۰/۶۵۰ گرم نسبت به شاهد به‌میزان ۱۳۸/۳۳ درصد افزایش را تجربه کرد. در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، پوترسین ۱ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار با ۱/۰۷ گرم بالاترین وزن خشک ریشه را داشت که در مقایسه با شاهد به‌میزان ۱۱۴ درصد افزایش داشت (شکل ۴b). اثر مثبت پوترسین و سالیسیلیک اسید بر افزایش وزن تر و خشک ریشه با بهبود ویژگی‌های مورفولوژیک ریشه مرتبط است. پوترسین با کاهش آسیب اکسیداتیو و تثبیت غشاهای سلولی، رشد طولی و حجمی ریشه‌ها را تسهیل می‌کند (Gonzalez-Hernandez *et al*., 2022)، در حالیکه سالیسیلیک اسید مسیرهای سیگنالینگ مرتبط با تقسیم و توسعه سلول‌های ریشه را فعال می‌کند (Bagautdinova *et al*., 2022). این تعاملات در شرایط تنش شوری اهمیت ویژه‌ای دارند، زیرا ریشه‌های سالم و توسعه‌یافته قادر به جذب بهتر آب و مواد مغذی هستند و به حفظ رشد و عملکرد کلی گیاه کمک می‌کنند (Ghassemi-Golezani *et al*., 2019). در گیاه زینیا (*Zinnia elegans*)، تیمار با غلظت‌های ۱، ۲، ۴ میلی‌مولار پوترسین تحت سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl، باعث بهبود ویژگی‌های مورفولوژیک گیاه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.277]



شکل ۴- اثرات متقابل تیمار پوترسین با غلظت‌های (صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار)، سالیسیلیک اسید با غلظت‌های (صفر، ۰/۵، ۰/۷ و ۱ میلی‌مولار) و شوری با غلظت‌های (صفر، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار) بر a) وزن تر برگ و b) وزن خشک ریشه گیاه رزماری. میانگین حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. نوار خطا نشان‌دهنده خطای استاندارد است. Pu: پوترسین و SA: سالیسیلیک اسید.

شد که نشان‌دهنده تأثیر مثبت این ترکیب بر رشد و توسعه ریشه است (Mohammadi *et al.*, 2024). همچنین، در پژوهشی روی کدو طبی (*Cucrbita pepo* subsp pepo var. styriaka)، پرایمنیگ بذر با ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار پوترسین تحت تنش شوری ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی‌مولار NaCl باعث افزایش وزن خشک ریشه شد، به‌طوریکه تیمار ۱ میلی‌مولار موجب افزایش ۱۴/۱۴ درصدی وزن خشک ریشه نسبت به شاهد گردید (Farsaraei *et al.*, 2021). در مطالعه‌ای دیگری روی دو ریشه نخودفرنگی (*Cajanus cajan*)، کاربرد پوترسین به همراه تلقیح قارچ مایکوریزا موجب افزایش وزن خشک ریشه در سطوح مختلف شوری (تا ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl) شد. این نتایج نشان می‌دهد مایکوریزا موجب افزایش وزن خشک ریشه در سطوح مختلف شوری (تا ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl) شد. این نتایج نشان می‌دهد استفاده از پوترسین، به‌ویژه درغلظت‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.277]

جدول ۲- اثر تیمارهای پوترسین و سالیسیلیک اسید بر تغییرات فیزیولوژیکی گیاه رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) تحت تنش شوری

منابع تغییرات	درجه آزادی	محتوای نسبی آب برگ	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید
پوترسین (a)	۳	۹۶/۲۸**	۰/۰۹۷۰**	۰/۰۱۱۹**	۰/۰۲۱۲**
سالیسیلیک اسید (b)	۳	۱۲۸۰/۴۸**	۰/۵۱۶**	۰/۰۴۱۰**	۰/۰۲۳۴**
شوری (c)	۳	۲۴۱۰/۵۹**	۱/۲۸**	۰/۲۰۴ ^{ns}	۰/۰۳۰۹**
a×b	۹	۵۷۶/۴۹ ^{ns}	۰/۱۰۹ ^{ns}	۰/۳۹۷ ^{ns}	۰/۰۰۶۲ ^{ns}
a×c	۹	۴۸۶/۹۲**	۰/۲۱۹**	۰/۰۱۷۹**	۰/۰۱۶۴**
b×c	۹	۶۳۲/۲۴۷۲**	۰/۲۰۰**	۰/۰۵۲۴**	۰/۰۱۴۷**
a×b×c	۶۳	۶۸۱/۸۷**	۰/۳۶۳**	۰/۰۷۱۷**	۰/۰۱۹۶**
خطای آزمایش	۱۲۸	۱/۹۸	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۱۰۰	۰/۰۰۰۴۵
ضریب تغییرات	–	۱/۷۹	۴/۰۵	۵/۲۹	۸/۱۰

ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

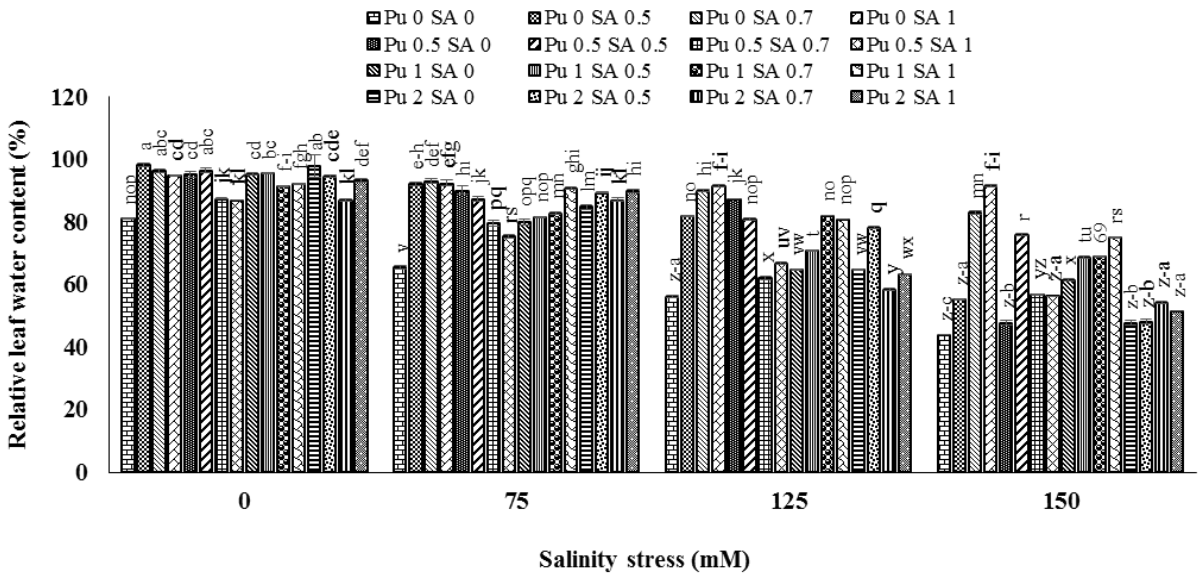
حدود ۱ میلی‌مولار می‌تواند اثرات منفی تنش شوری را کاهش داده و موجب افزایش وزن خشک ریشه در گیاهان مختلف شود (Garg and Sharma, 2019).

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تیمار و تنش شوری بر محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل a، b و کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۲).

محتوای نسبی آب برگ: در شرایط عدم شوری، بالاترین مقدار محتوای نسبی آب برگ مربوط به سالیسیلیک اسید ۰/۵ میلی‌مولار با مقدار ۹۸/۱۵ درصد است که نسبت به شاهد (۸۱ درصد) افزایش چشمگیری را معادل ۲۱/۱۷ درصد افزایش در مقایسه با شاهد نشان می‌دهد. در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار با ۹۱/۶۰ درصد بهترین نتیجه را در محتوای نسبی آب برگ ارائه داده که نسبت به شاهد (۴۳/۹۵ درصد) به‌میزان ۱۰۸/۴۱ درصد افزایش نشان می‌دهد (شکل ۵). این نتایج نشان می‌دهد که پوترسین با تنظیم تعادل اسمزی، کاهش تعرق و افزایش نگهداری آب در سلول‌های برگ، تأثیر مثبتی بر حفظ محتوای آب گیاه دارد. پوترسین سبب تقویت دیواره سلولی، و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی می‌شود که منجر به کاهش آسیب‌های ناشی از تنش شوری می‌شود (Slathia *et al*., 2012). در تحقیقی روی گیاه آویشن (*Thymus vulgaris*) با تنش شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر، افزودن ۱ میلی‌مولار پوترسین به محلول غذایی باعث بهبود وضعیت آبی برگ‌ها و کاهش آسیب‌های ناشی از شوری شد (Mohammadi *et al*., 2019). در پژوهشی نتایج نشان داد محلول‌پاشی پوترسین با غلظت ۱/۰ پی‌پی‌ام به گیاه گندم باعث بهبود محتوای نسبی آب برگ به‌میزان ۱۹/۷۶ درصد در مقایسه با شاهد شد (Wasaya *et al*., 2023). در مطالعه‌ای نقش محافظتی پوترسین در محتوای نسبی آب برگ در گیاه خیار تحت تنش شوری مشخص گردید (Shi *et al*., 2008). در پژوهشی کاربرد خارجی پوترسین سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ در گل‌های زنیا (*Zinnia elegans*) تحت تنش شوری مشاهده شد (Mohammadi *et al*., 2024).

کلروفیل a، b و کاروتنوئید: براساس داده‌ها، تیمارهای مختلف پوترسین و سالسیلیک اسید در گیاه رزماری تأثیر قابل توجهی بر میزان کلروفیل a داشتند. در شرایط عدم شوری، بیشترین میزان کلروفیل a در تیمار پوترسین با غلظت ۲ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید با غلظت ۱ میلی‌مولار (۱/۷۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر) مشاهده شد که ۳۴/۸۴ درصد بیشتر از شاهد (۱/۳۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تنش شوری ۷۵

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.277]

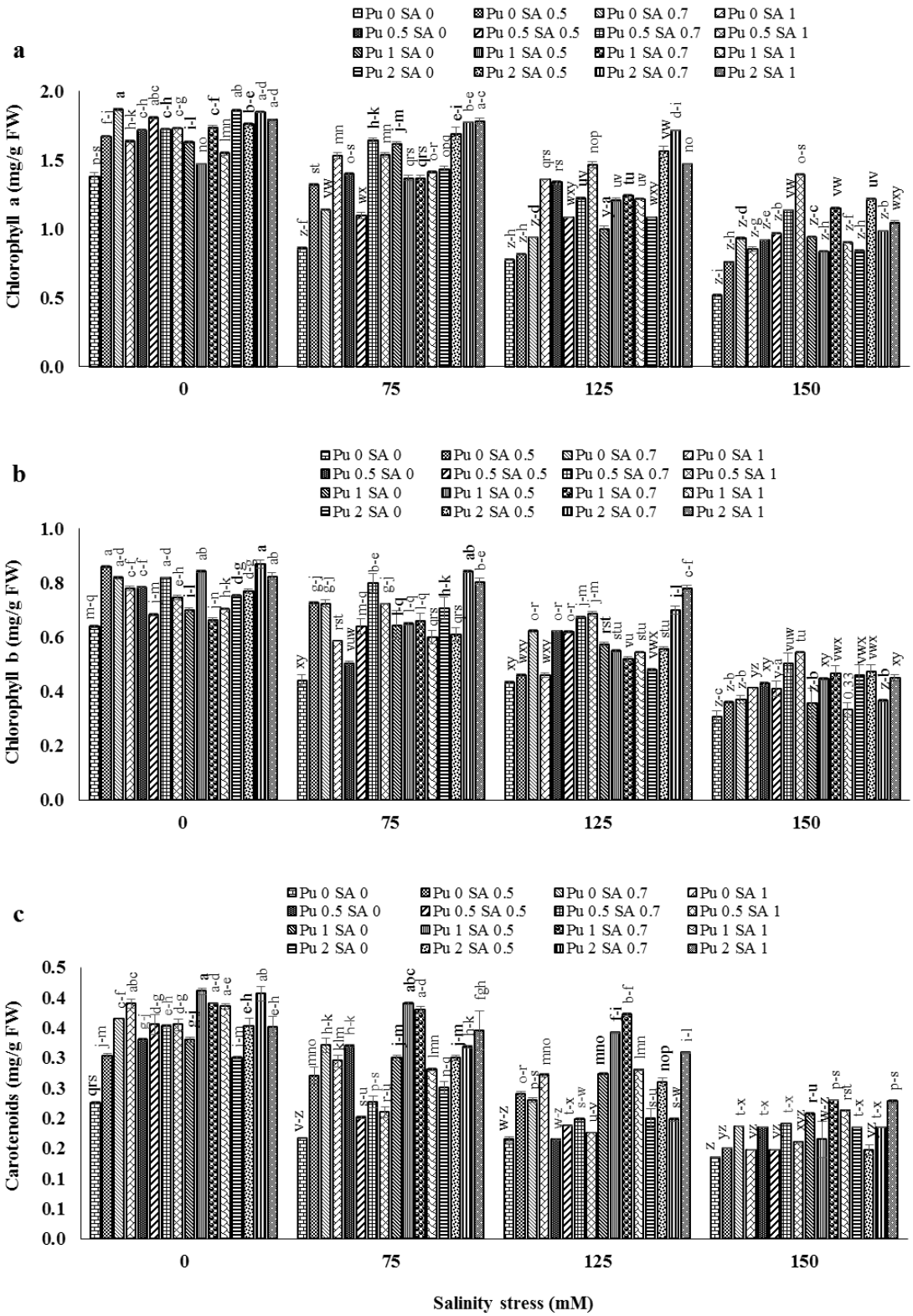


شکل ۵- اثرات متقابل تیمار پوترسین با غلظت‌های (صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار)، سالیسیلیک اسید با غلظت‌های (صفر، ۰/۵، ۰/۷ و ۱ میلی‌مولار) و شوری با غلظت‌های (صفر، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار) بر محتوای نسبی آب برگ گیاه رزماری. میانگین حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. نوار خطا نشان‌دهنده خطای استاندارد است. Pu: پوترسین و SA: سالیسیلیک اسید

میلی‌مولار بود. در شوری‌های بالاتر (۱۲۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار)، تیمار پوترسین با غلظت ۲ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید با غلظت ۰/۷ میلی‌مولار و پوترسین با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید با غلظت ۱ میلی‌مولار به‌ترتیب به‌میزان ۱۲۰/۹۷ و ۱۷۰/۲۱ درصد تأثیر مثبتی بر کلروفیل a در مقایسه با شاهد داشتند (شکل ۶a). در گیاه آویشن، تیمار ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید تحت تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار باعث افزایش کلروفیل a شد (Mohammadi *et al.*, 2019). در تحقیق انجام‌شده روی بادرنجبویه، استفاده از ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید تحت تنش شوری ۱۲۰ میلی‌مولار موجب افزایش ۴۲/۷ درصدی در میزان کلروفیل a نسبت به شاهد شد. این افزایش به‌دلیل تقویت توان فتوسنتزی گیاه و جلوگیری از کاهش سطح کلروفیل ناشی از شوری بود (Bolhassani *et al.*, 2024).

در شکل ۶b مشخص گردید با افزایش تنش در گیاه میزان کلروفیل b کاهش یافت است. در حالیکه تیمارها سبب بهبود کلروفیل b در گیاه رزماری شدند. بیشترین میزان کلروفیل b در تیمار سالیسیلیک اسید ۰/۵ میلی‌مولار و ترکیب تیماری پوترسین با غلظت ۲ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید با غلظت ۰/۷ میلی‌مولار در عدم تنش شوری به‌میزان ۳۴/۳۷ و ۳۵/۹۳ درصد در مقایسه با شاهد مشاهده شد (شکل ۶b). در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، تیمار پوترسین با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار با مقدار کلروفیل b برابر با ۰/۵۵۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر بهبود عملکرد را نشان داده و کاهش کمتری در مقایسه با سایر تیمارها داشته است. به‌عبارت دیگر، این تیمار در شرایط شوری شدید، به‌میزان ۷۷/۴۱ درصد در حفظ کلروفیل b نسبت به شاهد مؤثر بوده است (شکل ۶b). تیمار با سالسیلیک اسید می‌تواند با کاهش تنش اکسیداتیو، بهبود پایداری غشاها، و بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، سطح کلروفیل b را حفظ کند و یا حتی افزایش دهد (Moustafa-Farag *et al.*, 2020). در تحقیقی در گیاه بادرنجبویه، تیمار با ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در شرایط شوری ۱۰۰ میلی‌مولار موجب افزایش در میزان کلروفیل b شد (Safari Kamal Abadi *et al.*, 2023). این افزایش در سطح کلروفیل b به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش اثرات منفی شوری بر غشاهای سلولی بود (Safari Kamal Abadi *et al.*, 2023). در گیاه آویشن، استفاده از ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در شرایط شوری ۱۲۵ میلی‌مولار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.277]



شکل ۶- اثرات متقابل تیمار پوترسین با غلظت‌های (صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار)، سالیسیلیک اسید با غلظت‌های (صفر، ۰/۵، ۰/۷ و ۱ میلی‌مولار) و شوری با غلظت‌های (صفر، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار) بر a) کلروفیل a، b) کلروفیل b و c) کاروتنوئید گیاه رزماری. میانگین حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. نوار خطا نشان‌دهنده خطای استاندارد است. Pu: پوترسین و SA: سالیسیلیک اسید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.277]

جدول ۳- اثر تیمارهای پوترسین و سالیسیلیک اسید بر تغییرات بیوشیمیایی گیاه رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) تحت تنش شوری

منابع تغییرات	درجه آزادی	فلاونوئید	آنتی‌اکسیدان	فنل
پوترسین (a)	۳	۲۴/۸۸**	۶۱۷/۵۲**	۱۰۴۹/۳۳**
سالیسیلیک اسید (b)	۳	۲۱/۶۶**	۴۲۹/۲۴**	۹۸۸/۴۵**
شوری (c)	۳	۷۳/۰۸**	۵۶۶/۲۵**	۲۵۹۲/۹۴ **
a×b	۹	۲۰/۲۰ **	۳۴۶/۶۶ **	۳۲۸۹/۸۶ **
a×c	۹	۱۷/۰۱**	۳۲۵/۶۰**	۲۳۵۵/۵۷ns
b×c	۹	۱۰/۸۱**	۵۰۰/۷۴**	۱۲۶۰/۰۰**
a×b×c	۶۳	۳۳/۱۳**	۷۳۶/۵۲**	۶۵۳۲/۷۷**
خطای آزمایش	۱۲۸	۰/۷۱۹	۱/۸۸	۸/۴۸
ضریب تغییرات	–	۸/۴۴	۱/۹۸	۲/۸۸

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

موجب افزایش در میزان کلروفیل b شد (Miri *et al.*, 2015).

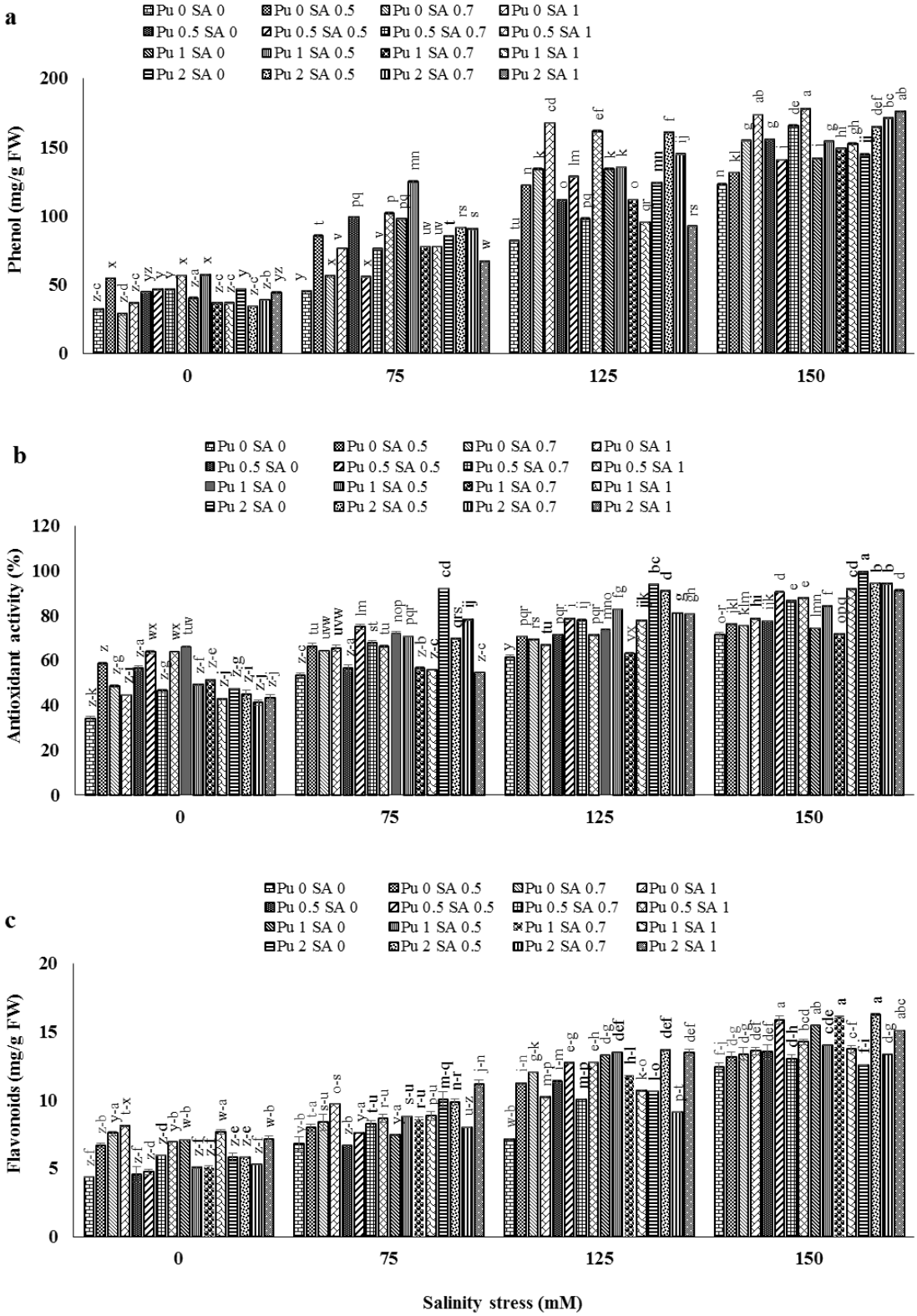
نتایج نشان داد در شرایط شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، تیمارهای پوترسین و سالیسیلیک اسید تأثیرات متفاوتی بر میزان کاروتنوئید در گیاه رزماری داشتند. تیمار پوترسین با غلظت ۱ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار بیشترین میزان کاروتنوئید را با مقدار ۰/۴۱۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر نشان داد، که نشان‌دهنده اثر مثبت آن در حفظ کاروتنوئید در شرایط تنش شوری است. در شرایط شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، در تیمار پوترسین با غلظت ۲ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید با غلظت ۱ میلی‌مولار نسبت به شاهد با مقدار ۰/۲۲۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر افزایش قابل توجهی داشت. این افزایش معادل ۶۸/۸۸ درصد است که نشان‌دهنده تأثیر مثبت پوترسین در حفظ کاروتنوئید تحت شرایط شوری شدید است (شکل 6c). در تحقیقی روی زوفا استفاده از ۱ میلی‌مولار پوترسین در شرایط شوری ۱۰۰ میلی‌مولار باعث افزایش میزان کاروتنوئید شد (Aghaei *et al.*, 2019). در یک مطالعه، استفاده از ۱ میلی‌مولار پوترسین در شرایط شوری ۱۰۰ میلی‌مولار باعث افزایش در میزان کاروتنوئید شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabra*) شد (Kardavan Ghabel and Karamian, 2020). این تحقیق نشان داد که پوترسین نقش مهمی در کاهش اثرات منفی شوری و بهبود عملکرد فتوسنتز دارد. در پژوهشی روی گیاه اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia*) تیمار با ۱ میلی‌مولار پوترسین در شرایط شوری ۱۷۵ میلی‌مولار باعث افزایش در میزان کاروتنوئید شد. این مطالعه نشان داد که پوترسین به‌طور ویژه می‌تواند در حفظ غلظت کاروتنوئید در گیاهان دارویی تحت تنش شوری موثر باشد (Beheshti *et al.*, 2024).

بر طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تیمار و تنش شوری بر فنل، آنتی‌اکسیدان و فلاونوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۳).

فنل و آنتی‌اکسیدان: نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تیمارهای پوترسین و سالیسیلیک اسید تأثیرات قابل توجهی بر غلظت فنل در گیاهان رزماری تحت تنش شوری مختلف دارند. در شرایط عدم شوری، غلظت فنل در تیمار سالیسیلیک اسید با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار با مقدار ۵۴/۱ میلی‌گرم در گرم بالاترین مقدار را دارد، اما تیمار شاهد (۳۲ میلی‌گرم در گرم) مشاهده می‌شود. همچنین، در شرایط شوری شدید (۱۵۰ میلی‌مولار)، پوترسین با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار و سالیسیلک اسید ۱ میلی‌مولار بیشترین میزان فنل را نشان می‌دهد. در شوری شدید، این تیمار به بالاترین مقدار فنل می‌رسد که

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.277]



شکل ۷- اثرات متقابل تیمار پوترسین با غلظت‌های (صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار)، سالیسیلیک اسید با غلظت‌های (صفر، ۰/۵، ۰/۷ و ۱ میلی‌مولار) و شوری با غلظت‌های (صفر، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار) بر میزان a) فنل و b) آنتی‌اکسیدان c) فلاونوئید گیاه رزماری. میانگین حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. نوار خطا نشان‌دهنده خطای استاندارد است. Pu: پوترسین و SA: سالیسیلیک اسید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.277]

به‌میزان ۴۴/۸۶ درصد سبب افزایش فنل در مقایسه با شاهد در گیاه رزماری شدند (شکل ۷a). پوترسین به بهبود هموستازی سلولی کمک می‌کند و ممکن است با تنظیم تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به حفظ غشای سلولی و کاهش آسیب‌های اکسیداتیو کمک کند (Yiu *et al*., 2009). سالیسیلیک اسید نیز به‌عنوان یک هورمون گیاهی در تنظیم پاسخ به تنش شناخته شده است. سالیسیلیک اسید موجب تنظیم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و افزایش تولید ترکیبات فنلی در گیاهان تحت تنش می‌شود (Verma *et al*., 2016). در یک مطالعه روی گل محمدی (*Rosa damascena*) تحت شرایط شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، تیمار با سالیسیلیک اسید (۰/۷ میلی‌مولار) و پوترسین ۱ میلی‌مولار باعث افزایش در سطح ترکیبات فنلی شد (Khorrami Moghadam *et al*., 2023). در شرایط شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، تیمار با سالیسیلیک اسید (۰/۵ میلی‌مولار) و پوترسین (۲ میلی‌مولار) موجب افزایش در سطح ترکیبات فنلی در آویشن شد (Zeynali *et al*., 2023).

نتایج نشان داد که تیمارهای مختلف پوترسین و سالیسیلیک اسید تأثیر قابل توجهی بر فعالیت آنتی‌اکسیدان در گیاه تحت تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار داشتند. در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بین تیمارهای مختلف، تیمار پوترسین با غلظت ۲ میلی‌مولار با بالاترین مقدار آنتی‌اکسیدان (۹۹/۴ درصد) بیشترین تأثیر را نشان داد که نسبت به شاهد ۷۱/۴۰ درصد افزایش یافت (شکل ۷b). در یک مطالعه روی آویشن تحت تنش شوری تیمار سالیسیلیک اسید باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی شد (Bistgani *et al*., 2019). در پژوهشی روی اکلیل کوهی (*Rosmarinud officinallis*) تیمار با سالیسیلیک اسید در شرایط شوری ۲۰۰ میلی‌مولار منجر به افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی شد. این افزایش یا کاهش قابل توجه سطح MDA و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی همراه بود (Al-Fraihat *et al*., 2023).

فلاونوئید: نتایج نشان داد میزان فلاونوئید در گیاه با افزایش غلظت شوری افزایش معنی‌داری یافت. بیشترین افزایش معنی‌دار در کاربرد تیمارها نسبت به شاهد مشاهده شد (شکل ۷c). در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار ترکیب تیمارهای پوترسین با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار، پوترسین با غلظت ۱ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید با غلظت ۰/۷ میلی‌مولار و ترکیب تیماری پوترسین با غلظت ۲ میلی‌مولار و سالسیلیک اسید با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار به‌ترتیب به‌میزان ۲۴/۹۶، ۲۹/۸۳ و ۳۱/۰۴ درصد در مقایسه با شاهد منجر به افزایش فلاونوئید در گیاه شدند (شکل ۷c). فلاونوئیدها نقش مهمی به عنوان آنتی‌اکسیدان‌های ثانویه در گیاهان ایفا می‌کنند و با خنثی‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن، سلول‌ها را در برابر آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش شوری محافظت می‌کنند (Hasanuzzaman *et al*., 2021). این ترکیبات با کاهش پراکسیداسیون لیپیدها، پایداری غشاهای سلولی را حفظ کرده و نفوذپذیری و عملکرد سلولی را ارتقا می‌دهند. علاوه‌براین، فلاونوئیدها می‌توانند مسیرهای سیگنالینگ مرتبط با هورمون‌ها و پاسخ‌های دفاعی را فعال کنند و با تقویت ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و تعادل متابولیکی، رشد و توسعه گیاه را تحت شرایط استرس بهبود دهند (Brunetti *et al*., 2018). در مطالعه‌ای روی مریم گلی تحت شرایط تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار تیمار با سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار و پوترسین ۱ میلی‌مولار به‌طور معنی‌داری فلاونوئید را افزایش داد (Zeynali *et al*., 2023). در تحقیقی روی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa*) در شرایط شوری ترکیب تیمار سالیسیلیک اسید و پوترسین اثرات مثبتی بر فلاونوئید و رشد گیاه داشت (Azizi *et al*., 2021).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار ترکیبی پوترسین و سالیسیلیک اسید، به‌ویژه پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار با سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار، به طور مؤثری رشد رزماری را در شرایط شوری بهبود بخشید و تعداد برگ، ارتفاع گیاه، وزن تر برگ و وزن خشک ریشه را افزایش داد. این ترکیب همچنین باعث ارتقای محتوای آب برگ، افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی و تقویت ترکیبات آنتی‌اکسیدانی شامل فنل و کاروتنوئیدها شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.277]

این نتایج نشان می‌دهند که استفاده از این ترکیب تیماری می‌تواند به عنوان یک استراتژی مؤثر برای افزایش مقاومت رزماری در برابر تنش شوری و بهبود عملکرد گیاه مورد توجه قرار گیرد. با این حال، اثرات بهینه به غلظت‌های خاصی از این مواد وابسته است و نتایج ممکن است بسته به شرایط محیطی، شدت شوری و گونه‌های مختلف رزماری متفاوت باشد. بنابراین، برای تعمیم این یافته‌ها، تحقیقات بیشتری در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای و روی سطوح مختلف شوری توصیه می‌شود.

منابع

A Abd El-wahab, M, & H Shakweer, N. (2024). Potential impacts of amino acids, putrescine and glycine betaine on productivity and fruit attributes of “Le-Conte” pear trees grown under water scarcity stress. *Fayoum Journal of Agricultural Research and Development*, *38*(1), 15-35. http://dx.doi.org/10.21608/fjard.2024.342079

Acimovic, M. G. (2023). Agricultural Waste: Environmental Impact, Useful Metabolites and Energy Production. Springer Nature, Singapore. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-19-8774-8_17

Aghaei, K., Pirbalouti, A. G., Mousavi, A., Badi, H. N., & Mehnatkesh, A. (2019). Effects of foliar spraying of l-phenylalanine and application of bio-fertilizers on growth, yield, and essential oil of hyssop [*Hyssopus officinalis* L. subsp. Angustifolius (Bieb.)]. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *21*, 101318. http://dx.doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101318

Alami, M. M., Guo, S., Mei, Z., Yang, G., & Wang, X. (2024). Environmental factors on secondary metabolism in medicinal plants: Exploring accelerating factors. *Medicinal Plant Biology*, *3*(1). https://doi.org/10.48130/mpb-0024-0016

Alcazar, R., Bueno, M., & Tiburcio, A. F. (2020). Polyamines: Small amines with large effects on plant abiotic stress tolerance. *Cells*, *9*(11), 2373. https://doi.org/10.3390/cells9112373

Al-Fraihat, A. H., Al-Dalain, S. Y., Zatimeh, A. A., & Haddad, M. A. (2023). Enhancing rosemary (*Rosmarinus officinalis*, L.) growth and volatile oil constituents grown under soil salinity stress by some amino acids. *Horticulturae*, *9*(2), 252. https://doi.org/10.3390/horticulturae9020252

Alobaidy, M. G. (2013). Effect of putrescine and humic acid on cotton plant growing under salinity stress conditions. PhD Thesis. Cairo University. Egypt. http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.14527.76969

Azizi, F., Farsaraei, S., & Moghaddam, M. (2021). Application of exogenous ascorbic acid modifies growth and pigment content of *Calendula officinalis* L. flower heads of plants exposed to NaCl stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *21*(4), 2803-2814. http://dx.doi.org/10.1007/s42729-021-00567-0

Bagautdinova, Z. Z., Omelyanchuk, N., Tyapkin, A. V., Kovrizhnykh, V. V., Lavrekha, V. V., & Zemlyanskaya, E. V. (2022). Salicylic acid in root growth and development. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(4), 2228. https://doi.org/10.3390/ijms23042228

Beheshti, F., Abdipour, M., Hosseinifarahi, M., & Kelidari, A. (2024). Characterization of lavender essential oil and its chemical composition intercropped with Marigold as affected by polyamines and Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *55*(3), 343-364. http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2023.2268657

Bistgani, Z. E., Hashemi, M., DaCosta, M., Craker, L., Maggi, F., & Morshedloo, M. R. (2019). Effect of salinity stress on the physiological characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak. *Industrial Crops and Products*, *135*, 311-320. http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.055

Blazquez, M. A. (2024). Polyamines: Their role in plant development and stress. *Annual Review of Plant Biology*, *75*. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-070623-110056

Bolhassani, Z., Feizian, M., Sadegh Kasmaei, L., & Etesami, H. (2024). Mitigating water deficit stress in lemon balm (*Melissa officinalis* L.) through integrated soil amendments: A pathway to sustainable agriculture. *BMC Plant Biology*, *24*(1), 900. http://dx.doi.org/10.1186/s12870-024-05624-1

Brunetti, C., Fini, A., Sebastiani, F., Gori, A., & Tattini, M. (2018). Modulation of phytohormone signaling: A primary function of flavonoids in plant–environment interactions. *Frontiers in Plant science*, *9*, 1042. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01042

Clifford, M. N., King, L. J., Kerimi, A., Pereira-Caro, M. G., & Williamson, G. (2024). Metabolism of phenolics in coffee and plant-based foods by canonical pathways: An assessment of the role of fatty acid β-oxidation to generate biologically-active and-inactive intermediates. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *64*(11), 3326-3383. https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2131730

Chen, D., Shao, Q., Yin, L., Younis, A., & Zheng, B. (2019). Polyamine function in plants: Metabolism, regulation on development, and roles in abiotic stress responses. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 1945.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.277]

https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01945
Chen, G., Zheng, D., Feng, N., Zhou, H., Mu, D., Liu, L., & Li, T. (2022). Effects of exogenous salicylic acid and abscisic acid on growth, photosynthesis and antioxidant system of rice. *Chilean Journal of Agricultural Research*, *82*(1), 21-32. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392022000100021
Chen, Y. E., Cui, J. M., Li, G. X., Yuan, M., Zhang, Z. W., Yuan, S., & Zhang, H. Y. (2016). Effect of salicylic acid on the antioxidant system and photosystem II in wheat seedlings. *Biologia Plantarum*, *60*(1), 139-147. http://dx.doi.org/10.1007/s10535-015-0564-4
Chowdhury, D., Parvin, S., Saha, S. R., Moshiul Islam, M., Ahmed, M., Mondal, S., & Ahamed, T. (2024). Seawater-induced salinity enhances antioxidant capacity by modulating morpho-physiological and biochemical responses in *Catharanthus roseus*. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, *47*(4). http://dx.doi.org/10.47836/pjtas.47.4.13
Chunquan, Z., Wenjun, H., Xiaochuang, C., Lianfeng, Z., Yali, K., Qianyu, J., & Junhua, Z. (2021). Physiological and proteomic analyses reveal effects of putrescine-alleviated aluminum toxicity in rice roots. *Rice Science*, *28*(6), 579-593. https://doi.org/10.1016/j.rsci.2021.03.002
Danaee, E, & Abdossi, V. (2019). Phytochemical and morphophysiological responses in Basil (*Ocimum basilicum* L.) plant to application of polyamines. *Journal of Medicinal Plants*, *18*(69), 125-133.
D'Inca, R., Mattioli, R., Tomasella, M., Tavazza, R., Macone, A., Incocciati, A., & Tavladoraki, P. (2024). A *Solanum lycopersicum* polyamine oxidase contributes to the control of plant growth, xylem differentiation, and drought stress tolerance. *The Plant Journal*, *119*(2), 960-981. https://doi.org/10.1111/tpj.16809
Elena, M., Katarina, K., Ivana, V., & Zuzana, K. (2019). Handbook of Plant and Crop Stress. 4th Ed. CRC Press.
Etikala, B., Adimalla, N., Madhav, S., Somagouni, S. G., & Keshava Kiran Kumar, P. L. (2021). Salinity problems in groundwater and management strategies in arid and semi-arid regions. *Groundwater Geochemistry: Pollution and Remediation Methods*, 42-56. http://dx.doi.org/10.1002/9781119709732.ch3
Farouk, S, & Omar, M. M. (2020). Sweet basil growth, physiological and ultrastructural modification, and oxidative defense system under water deficit and silicon forms treatment. *Journal of Plant Growth Regulation*, *39*, 1307-1331. https://link.springer.com/article/10.1007/s00344-020-10071-x
Farsaraei, S., Mehdizadeh, L., & Moghaddam, M. (2021). Seed priming with putrescine alleviated salinity stress during germination and seedling growth of medicinal pumpkin. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *21*(3), 1782-1792. http://dx.doi.org/10.1007/s42729-021-00479-z
Garg, N, & Sharma, A. (2019). Role of putrescine (Put) in imparting salt tolerance through modulation of put metabolism, mycorrhizal and rhizobial symbioses in *Cajanus cajan* (L.) Millsp. *Symbiosis*, *79*(1), 59-74. https://link.springer.com/article/10.1007/s13199-019-00621-7
Ghassemi-Golezani, K., Bilasvar, H. M., & Nassab, A. D. M. (2019). Improving rapeseed (*Brassica napus* L.) plant performance by exogenous salicylic acid and putrescine under gradual water deficit. *Acta Physiologiae Plantarum*, *41*(12), 192. http://dx.doi.org/10.1007/s11738-019-2986-7
Gonzalez-Hernandez, A. I., Scalschi, L., Vicedo, B., Marcos-Barbero, E. L., Morcuende, R., & Camanes, G. (2022). Putrescine: A key metabolite involved in plant development, tolerance and resistance responses to stress. *International journal of molecular sciences*, *23*(6), 2971. https://doi.org/10.3390/ijms23062971
Han, X, & Yang, Y. (2021). Phospholipids in salt stress response. *Plants*, *10*(10), 2204. http://dx.doi.org/10.3390/plants10102204
Hasanuzzaman, M., Raihan, M. R. H., Masud, A. A. C., Rahman, K., Nowroz, F., Rahman, M., & Fujita, M. (2021). Regulation of reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under salinity. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*(17), 9326. https://doi.org/10.3390/ijms22179326
Hussein, M. M., El-Saady, A., Gobarah, M., & Abo El-Khier, A. (2020). Nutrient content and growth responses of sugar beet plants grown under salinity condition to citric acid and algal extract. *Egyptian Journal of Agronomy*, *42*(2), 209-224. https://doi.org/10.21608/agro.2020.38200.1223
Ilyas, M., Maqsood, M. F., Shahbaz, M., Zulfiqar, U., Ahmad, K., Naz, N., & Ali, H. M. (2024). Alleviating salinity stress in canola (*Brassica napus* L.) through exogenous application of salicylic acid. *BMC Plant Biology*, *24*(1), 611. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05314-y
Jalili, I., Ebadi, A., Askari, M. A., KalatehJari, S., & Aazami, M. A. (2023). Foliar application of putrescine, salicylic acid, and ascorbic acid mitigates frost stress damage in *Vitis vinifera* cv.'Giziluzum'. *BMC Plant Biology*, *23*(1), 135. https://doi.org/10.1186/s12870-023-04126-w
Janah, I., Elhasnaoui, A., Makbal, R., Ahmali, A., Tastift, M. A., Lamnai, K., & Aissam, S. (2024). Effect of salicylic acid treatment on agro-morphological performances, mineral nutrition, antioxidant capacity, and steviol glycosides content of *stevia* subjected to salt stress. *Russian Journal of Plant Physiology*, *71*(3), 68. http://dx.doi.org/10.1134/S1021443724604634
Jayakannan, M., Bose, J., Babourina, O., Rengel, Z., & Shabala, S. (2015). Salicylic acid in plant salinity stress signalling and tolerance. *Plant Growth Regulation*, *76*(1), 25-40. http://dx.doi.org/10.1007/s10725-015-0028-z

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.277]

Kahveci, H., Bilginer, N., Diraz-Yildirim, E., Kulak, M., Yazar, E., Kocacinar, F., & Karaman, S. (2021). Priming with salicylic acid, β-carotene and tryptophan modulates growth, phenolics and essential oil components of *Ocimum basilicum* L. grown under salinity. *Scientia Horticulturae*, *281*, 109964. http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109964

Kardavan Ghabel, V, & Karamian, R. (2020). The effects of titanium dioxide nanoparticles and spermine on physiological responses of licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) to cold stress. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, *10*(1), 93-110. https://doi.org/10.22034/jppb.2020.12557

Kaya, C., Ugurlar, F., Ashraf, M., & Ahmad, P. (2023). Salicylic acid interacts with other plant growth regulators and signal molecules in response to stressful environments in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *196*, 431-443. http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.02.006

Khorrami Moghadam, M., Khoshhal Sarmast, M., Ghasemnajad, A., & Savchenko, T. (2023). Mitigation of root and shoot proline content in response to jasmonic and salicylic acid in *Rosa damacena* subjected to short drought stress. *Journal of Plant Production Research*, *30*(4), 171-190. https://doi.org/10.22069/jopp.2024.21547.3063

Kim, Y., Mun, B. G., Khan, A. L., Waqas, M., Kim, H. H., Shahzad, R., & Lee, I. J. (2018). Regulation of reactive oxygen and nitrogen species by salicylic acid in rice plants under salinity stress conditions. *PloS One*, *13*(3), e0192650. http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0192650

Kolupaev, Y. E., Kokorev, A. I., & Dmitriev, A. P. (2022). Polyamines: Involvement in cellular signaling and plant adaptation to the effect of abiotic stressors. *Cytology and Genetics*, *56*(2), 148-163. http://dx.doi.org/10.3103/S0095452722020062

Kumar, S., Abedin, M. M., Singh, A. K., & Das, S. (2020). Role of phenolic compounds in plant-defensive mechanisms. *Plant Phenolics in Sustainable Agriculture*, *1*, 517-532. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-15-4890-1_22

Lichtenthaler, H. K, & Buschmann, C. (2001). Extraction of phtosynthetic tissues: Chlorophylls and carotenoids. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, *1*(1), F4-2. http://dx.doi.org/10.1002/0471142913.faf0402s01

Lukan, T, & Coll, A. (2022). Intertwined roles of reactive oxygen species and salicylic acid signaling are crucial for the plant response to biotic stress. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(10), 5568. https://doi.org/10.3390/ijms23105568

Ma, S., Zhou, X., Jahan, M. S., Guo, S., Tian, M., Zhou, R., & Shu, S. (2022). Putrescine regulates stomatal opening of cucumber leaves under salt stress via the H_2O_2-mediated signaling pathway. *Plant Physiology and Biochemistry*, *170*, 87-97. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.11.028

Mahmoud, N., Abdou, M. A., Salaheldin, S., Soliman, W. S., & Abbas, A. M. (2023). The impact of irrigation intervals and NPK/yeast on the vegetative growth characteristics and essential oil content of lemongrass. *Horticulturae*, *9*(3), 365. http://dx.doi.org/10.3390/horticulturae9030365

Mimouni, H., Wasti, S., Manaa, A., Gharbi, E., Chalh, A., Vandoorne, B., & Ahmed, H. B. (2016). Does salicylic acid (SA) improve tolerance to salt stress in plants? A study of SA effects on tomato plant growth, water dynamics, photosynthesis, and biochemical parameters. *Omics: A Journal of Integrative Biology*, *20*(3), 180-190. https://doi.org/10.1089/omi.2015.0161

Miri, S. M., Ahmadi, S., & Moradi, P. (2015). Influence of salicylic acid and citric acid on the growth, biochemical characteristics and essential oil content of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Journal of Medicinal Plants and by-Product*, *2*, 141-145. https://doi.org/10.22092/jmpb.2015.108901

Mohammadi, H., Amirikia, F., Ghorbanpour, M., Fatehi, F., & Hashempour, H. (2019). Salicylic acid induced changes in physiological traits and essential oil constituents in different ecotypes of *Thymus kotschyanus* and *Thymus vulgaris* under well-watered and water stress conditions. *Industrial Crops and Products*, *129*, 561-574. http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.046

Mohammadi, M., Nezamdoost, D., Khosravi Far, F., Zulfiqar, F., Eghlima, G., & Aghamir, F. (2024). Exogenous putrescine application imparts salt stress-induced oxidative stress tolerance via regulating antioxidant activity, potassium uptake, and abscisic acid to gibberellin ratio in Zinnia flowers. *BMC Plant Biology*, *24*(1), 865. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05560-0

Moustafa-Farag, M., Mohamed, H. I., Mahmoud, A., Elkelish, A., Misra, A. N., Guy, K. M., & Zhang, M. (2020). Salicylic acid stimulates antioxidant defense and osmolyte metabolism to alleviate oxidative stress in watermelons under excess boron. *Plants*, *9*(6), 724. https://doi.org/10.3390/plants9060724

Nanjo, F., Goto, K., Seto, R., Suzuki, M., Sakai, M., & Hara, Y. (1996). Scavenging effects of tea catechins and their derivatives on 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical. *Free Radical Biology and Medicine*, *21*(6), 895-902. https://doi.org/10.1016/0891-5849(96)00237-7

Peng, Y., Yang, J., Li, X., & Zhang, Y. (2021). Salicylic acid: Biosynthesis and signaling. *Annual Review of Plant Biology*, *72*(1), 761-791. http://dx.doi.org/10.1146/annurev-arplant-081320-092855

Safari Kamal Abadi, N., Mohebalipour, N., Oraei, M., Nourafcan, H., & Asadi, A. (2023). Foliar application of salicylic acid and chitosan on the growth and quantity and quality of the essential oil from lemon balm

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.277]

(*Melissa officinalis* L.). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *26*(3), 802-813. https://doi.org/10.1080/0972060X.2023.2240838

Salinas, P., Velozo, S., & Herrera-Vasquez, A. (2025). Salicylic acid accumulation: Emerging molecular players and novel perspectives on plant development and nutrition. *Journal of Experimental Botany*, *76*(7), 1950-1969. https://doi.org/10.1093/jxb/erae309

Sarmoum, R., Haid, S., Biche, M., Djazouli, Z., Zebib, B., & Merah, O. (2019). Effect of salinity and water stress on the essential oil components of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). *Agronomy*, *9*(5), 214. https://doi.org/10.3390/agronomy9050214

Sarkar, A. K, & Sadhukhan, S. (2023). Impact of salinity on growth and development of plants with the central focus on glycophytes: An overview. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, *12*, 235-266. http://dx.doi.org/10.7537/marsnsj170119.06

Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., Landi, M., & Zheng, B. (2019). Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. *Molecules*, *24*(13), 2452. https://doi.org/10.3390/molecules24132452

Shekoofeh, E., Sepideh, H., & Roya, R. (2012). Role of mycorrhizal fungi and salicylic acid in salinity tolerance of *Ocimum basilicum* resistance to salinity. *African Journal of Biotechnology*, *11*(9), 2223-2235. http://dx.doi.org/10.5897/AJB11.1672

Singleton, V. L, & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, *16*(3), 144-158.

Shi, K., Huang, Y. Y., Xia, X. J., Zhang, Y. L., Zhou, Y. H., & Yu, J. Q. (2008). Protective role of putrescine against salt stress is partially related to the improvement of water relation and nutritional imbalance in cucumber. *Journal of Plant Nutrition*, *31*(10), 1820-1831. https://doi.org/10.1080/01904160802325446

Slathia, S., Sharma, A., & Choudhary, S. P. (2012). Influence of exogenously applied epibrassinolide and putrescine on protein content, antioxidant enzymes and lipid peroxidation in *Lycopersicon esculentum* under salinity stress. *American Journal of Plant Sciences*, *3*(6), 714-720. http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2012.36086

Stefanakis, M. K., Giannakoula, A. E., Ouzounidou, G., Papaioannou, C., Lianopoulou, V., & Philotheou-Panou, E. (2024). The effect of salinity and drought on the essential oil yield and quality of various plant species of the lamiaceae family (*Mentha spicata* L., *Origanum dictamnus* L., *Origanum onites* L.). *Horticulturae*, *10*(3), 265. http://dx.doi.org/10.3390/horticulturae10030265

Stolarska, E., Paluch-Lubawa, E., Grabsztunowicz, M., Kumar Tanwar, U., Arasimowicz-Jelonek, M., Phanstiel, O., & Sobieszczuk-Nowicka, E. (2023). Polyamines as universal bioregulators across kingdoms and their role in cellular longevity and death. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *42*(6), 364-384. http://dx.doi.org/10.1080/07352689.2023.2247886

Toor, R. K, & Savage, G. P. (2005). Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Research International*, *38*(5), 487-494. http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2004.10.016

Verma, V., Ravindran, P., & Kumar, P. P. (2016). Plant hormone-mediated regulation of stress responses. *BMC Plant Biology*, *16*, 1-10. https://bmcplantbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12870-016-0771-y

Wasaya, A., Rehman, I., Mohi Ud Din, A., Hayder Bin Khalid, M., Ahmad Yasir, T., Mansoor Javaid, M., & El Sabagh, A. (2023). Foliar application of putrescine alleviates terminal drought stress by modulating water status, membrane stability, and yield-related traits in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Frontiers in Plant Science*, *13*, 1000877. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1000877

Yiu, J. C., Juang, L. D., Fang, D. Y. T., Liu, C. W., & Wu, S. J. (2009). Exogenous putrescine reduces flooding-induced oxidative damage by increasing the antioxidant properties of Welsh onion. *Scientia Horticulturae*, *120*(3), 306-314. https:// doi:10.1016/j.scienta.2008.11.020

Zahra, S., Amin, B., Ali, V. M., Ali, Y., & Mehdi, Y. (2010). The salicylic acid effect on the tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.) sugar, protein and proline contents under salinity stress (NaCl). *Journal of Biophysics and Structural Biology*, *2*(3), 35-41.

Zeynali, R., Najafian, S., & Hosseinifarahi, M. (2023). Exogenous putrescine changes biochemical (antioxidant activity, polyphenol, flavonoid, and total phenol compounds) and essential oil constituents of *Salvia officinalis* L. *Chemistry and Biodiversity*, *20*(11), e202301043. http://dx.doi.org/10.1002/cbdv.202301043

Zhao, X., Zhang, Y., Zhang, X., & Shan, C. (2023). Putrescine improves salt tolerance of wheat seedlings by regulating ascorbate and glutathione metabolism, photosynthetic performance, and ion homeostasis. *Plant, Soil and Environment*, *69*(11). http://dx.doi.org/10.17221/312/2023-PSE

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.277]

Effect of putrescine and salicylic acid on morphophysiological traits of rosemary under salinity stress

Asad Safari, Davood Samsampour*, Mojgan Soleimanizadeh

Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Hormozgan University, Bandar Abbas, Iran

(Received: 2025/08/02, Accepted: 2025/09/02)

Abstract

Salinity stress reduces plant growth and performance by disrupting ionic balance, inducing osmotic pressure, and causing oxidative damage. Rosemary, as a salinity-sensitive medicinal plant, is particularly vulnerable under such conditions. Studies have shown that application of putrescine and salicylic acid can mitigate the negative effects of salinity by enhancing antioxidant defenses and regulating osmotic balance. The present study aimed to investigate the effects of putrescine and salicylic acid on growth and physiological responses of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) under salinity stress. Three-month-old rosemary seedlings were foliar-treated every 10 days for one month with different concentrations of putrescine (0, 0.5, 1, and 2 mM) and salicylic acid (0, 0.5, 0.7, and 1 mM). Salinity stress was then applied via irrigation with NaCl at 0, 75, 125, and 150 mM every four days for two months. The results indicated that the combination of putrescine and salicylic acid positively influenced growth, physiological indices, and phytochemical composition. Under 150 mM salinity, the combined treatment of 0.5 mM putrescine and 0.5 mM salicylic acid increased plant height by 25.81% and leaf number by 148.02%. Moreover, 0.5 mM putrescine combined with 1 mM salicylic acid significantly enhanced fresh leaf weight (198.30%) and root dry weight (114%). Salicylic acid at 1 mM showed the greatest effect on relative leaf water content (91.60%). At higher salinity levels (125 and 150 mM), the combination of putrescine and salicylic acid significantly improved physiological traits of rosemary. The highest increase in chlorophyll a was observed in 2 mM putrescine + 0.7 mM salicylic acid and 0.5 mM putrescine + 1 mM salicylic acid treatments (120.97% and 170.21%, respectively), while chlorophyll b peaked at 0.5 mM putrescine + 1 mM salicylic acid (0.55 mg g^{-1} FW). Furthermore, 0.5 mM putrescine + 1 mM salicylic acid enhanced total phenolic content, and 2 mM putrescine exhibited the highest antioxidant activity (99.4%, equivalent to 40.71% above the control) under 150 mM salinity. Overall, foliar application of putrescine and salicylic acid, individually or in combination, effectively mitigated the adverse effects of salinity stress in rosemary. These findings suggest that exogenous application of these compounds may serve as a practical strategy to improve salinity tolerance in medicinal and aromatic plants such as rosemary.

Keywords: Putrescine, Rosemary, Salicylic Acid, Antioxidant Activity, Photosynthetic Pigments

Corresponding author, Email: samsampoor@hormozgan.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.277]