نشریه فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۵، شماره ۷۴، مهر و آبان ۱۴۰۵ صفحه:۱-۲۰
https://doi.org/10.22034/jispp.15.74.1

مقاله پژوهشی

تأثیر آلانتوئین بر برخی پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) تحت تنش شوری

پویا آروین
گروه کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

چکیده

شوری از مهم‌ترین موانع رشد گیاهان در جهان است که عملکرد گیاه را به روش‌های مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این‌رو تحقیق و بررسی روش‌هایی که منجر به کنترل و کاهش اثرات شوری در گیاهان شود، حائز اهمیت است. آزمایش حاضر به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار بر گیاه دارویی رزماری انجام گرفت. فاکتور اول تیمار کلرید سدیم در پنج سطح (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار) و فاکتور دوم تیمار آلانتوئین در سه سطح (صفر، ۰/۱ و ۱۰۰ میلی‌مولار) بود. تأثیر این تیمارها بر میزان برخی شاخص‌های رشد، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، آنتوسیانین، پرولین، فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه رزماری بررسی شد. نتایج نشان داد که میزان وزن تر و خشک ریشه و اندام‌های هوایی و همچنین محتوای کلروفیل‌های a و b با افزایش سطح شوری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و با کاربرد آلانتوئین، این شاخص‌ها روند کاهشی کمتری از خود نشان دادند. در ارتباط با محتوای آنتوسیانین، پرولین و فنل کل باید اشاره کرد که با افزایش غلظت نمک، افزایش معنی‌داری در محتوای این ترکیبات مشاهده شد و کاربرد آلانتوئین محتوای فنل کل را به‌طور معنی‌داری نسبت به نمونه شاهد و تیمارهای عدم کاربرد آلانتوئین افزایش داد، ولی بر محتوای پرولین تأثیر معنی‌داری نداشت. نتایج همچنین نشان داد فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان تحت تنش شوری و آلانتوئین به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و تیمارهای برهم‌کنش شوری در آلانتوئین بیشترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را به خود اختصاص دادند. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان داد که شوری اگرچه اثرات منفی بر برخی شاخص‌های رشد گیاه رزماری داشت، اما کاربرد آلانتوئین توانست تا حدی این اثرات را کاهش دهد. از سوی دیگر، سطوحی از شوری و محلول‌پاشی آلانتوئین موجب افزایش معنی‌دار برخی متابولیت‌های ثانویه از جمله کاروتنوئیدها، آنتوسیانین، فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی شد که به نظر می‌رسد می‌تواند به بهبود و تقویت خواص دارویی گیاه رزماری منجر شود.

واژه‌های کلیدی: آلانتوئین، رزماری، شاخص‌های رشد، شوری، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

مقدمه

یکی از مهم‌ترین عوامل در کشت گیاهان، بستر کشت مناسب است. ازآنجایی‌که ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است، بنابراین با مشکلاتی از قبیل کمبود منابع آب و اراضی شور

دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۱۱/۱۴، بازنگری: ۱۴۰۵/۰۱/۲۵، پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۲۴، اولین انتشار: ۱۴۰۵/۰۸/۰۸

* نویسنده مسئول، رایانامه: pooya.arvin@pnu.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 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.1]

مواجه است (خراسانی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۵). از طرفی یک سوم از زمین‌های کشاورزی به دلیل استفاده از شیوه‌های آبیاری نامناسب و استفاده بیش از حد از کودها و سموم شیمیایی دچار تنش شوری شده‌اند و آلودگی صنعتی نیز این مشکل را تشدید کرده است (Mostafavi *et al*., 2025). تنش اسمزی و شوری ناشی از غلظت بالای نمک سبب اختلال در روابط آبی، کاهش تقسیم و گسترش سلولی، بازدارندگی ظرفیت فتوسنتزی و تغییر فرآیندهای متابولیکی گیاهان می‌شود و همچنین بر روی مورفولوژی، فیزیولوژی و آناتومی قسمت‌های مختلف گیاه به‌ویژه برگ‌ها نیز تأثیر می‌گذارد (Demiral, 2017; Zoorman and Karimi, 2020). یکی از عوارض تنش شوری، تنش خشکی فیزیولوژیک است که به علت کاهش سرعت اولیه جذب آب منجر به کاهش رشد و تجمع ماده خشک و در نهایت کاهش وزن خشک اندام‌هوایی گیاه را به دنبال دارد (Naeemi *et al*., 2025). پژوهش‌های صورت گرفته روی گیاه دارویی مرزه نشان داد با افزایش تنش شوری، وزن خشک برگ، ساقه و ریشه گیاه کاهش یافت (سعیدی‌نیا و همکاران، ۱۴۰۲). در مطالعات Haghighi و همکاران (۲۰۲۳) بر گیاه رزماری نیز دیده شد که بیشترین وزن تر و خشک شاخه و برگ مربوط به شوری صفر بود و با افزایش شوری، مقادیر این پارامترها به‌طور معناداری کاهش یافت، به‌طوری‌که در بیشترین غلظت نمک که معادل ۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم بود، کمترین میزان وزن تر و خشک شاخه و برگ حاصل شد.

از سوی دیگر تنش اسمزی با تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن منجر به بروز تنش اکسیداتیو و به دنبال آن آسیب قابل‌توجه به ساختارهای سلولی، تغییر متابولیسم طبیعی و کاهش رشد گیاهان می‌شود (Balasubramaniam *et al*., 2023). از این‌رو سیستم دفاعی ذاتی گیاه، همواره با افزایش سنتز و تجمع آنتی‌اکسیدان‌ها و اسمولیت‌های سازگار از پروتئین‌ها، آنزیم‌ها و سایر مولکول‌های زیستی در برابر آسیب‌های اکسیداتیو محافظت می‌کند (Arif *et al*., 2020). با این‌حال گاهی اوقات سیستم دفاعی ذاتی گیاه برای مقابله با اثرات مخرب تنش شوری و به دنبال آن تنش اکسیداتیو کافی نیست و روش‌های مناسبی مورد نیاز است که تحمل گیاهان را در شرایط تنش بهبود بخشد. کاربرد ترکیبات تعدیل‌کننده تنش مانند آلانتوئین راهکاری سریع و مقرون به‌صرفه برای کاهش اثرات مخرب تنش است (Raihan *et al.,* 2023). آلانتوئین (۵ اوریدو – هیدانتوئین) و شکل هیدرولیزشده آن (آلانتوات) به‌طورکلی اورید نامیده می‌شوند (Werner and Witte, 2011). آلانتوئین به‌عنوان یک متابولیت حد واسط با تخریب اکسیداتیو پورین‌ها ایجاد می‌شود و پتانسیل بالایی برای حفاظت از گیاهان در برابر عوامل تنش‌زای محیطی دارد. اوریدها در مقایسه با فرم‌های آمیدی (گلوتامین و آسپارژین) نسبت کربن به نیتروژن کمتری دارند و در انتقال نیتروژن بهتر عمل می‌کنند (Raihan *et al.,* 2023). گزارش شده است که آلانتوئین در شرایط عادی با انتقال و استفاده مجدد از نیتروژن به رشدونمو گیاه کمک می‌کند و همچنین با مهار گونه‌های فعال اکسیژن، افزایش فعالیت‌های آنزیمی، تجمع پرولین، حفظ پایداری غشا و افزایش محتوای آب نسبی گیاه در کاهش اثرات مخرب تنش‌های مختلف مانند شوری، خشکی و فلزات سنگین نقش ایفا می‌کند (Kaur *et al*., 2023; Raihan *et al.,* 2023). نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که آلانتوئین با مهار گونه‌های فعال اکسیژن و فعال‌سازی بیوسنتز اسید آبسیزیک نقش حفاظتی خود را در برابر تنش ایفا می‌کند (Chowrasia *et al*., 2023). علاوه‌براین آلانتوئین با بهبود وضعیت آبی گیاه، افزایش تجمع اسمولیت‌های سازگار و کاهش جذب سدیم، سبب افزایش تحمل گیاهان به تنش شوری می‌شود. تا به امروز در مطالعات متعددی تأثیر آلانتوئین در کاهش اثرات مخرب تنش شوری در گیاهان مختلف گزارش شده است (Chowrasia *et al.,* 2023; Irani and Todd, 2018; Liu *et al*., 2020). برای مثال در یک پژوهش علمی، افشانه غلظت‌های ۰/۱ و ۱ میلی‌مولار آلانتوئین باعث افزایش وزن خشک بخش هوایی و ریشه، سطح برگ، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و قندهای محلول گیاه نخود در شرایط تنش شوری ۳۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم شد (Liu *et al*., 2020). همچنین رشد گیاه کلزا با افشانه برگی با غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار آلانتوئین در شرایط تنش خشکی افزایش یافت (Raihan *et al*.,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.1]

2023).

گیاه دارویی اکلیل کوهی با نام عمومی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) گیاهی چندساله و بوته‌ای متعلق به خانواده نعناعیان (Lamiaceae) با ساقه‌های چوبی به ارتفاع نیم تا یک متر، برگ‌های سبز دائمی و بسیار معطر با آرایش متقابل، کناره برگشته و باریک است (Soltani Alikooyi *et al.*, 2025). مواد مؤثره موجود در برگ‌ها و سرشاخه‌های این گیاه خواص دارویی، آنتی‌اکسیدانی و ضدمیکروبی قوی داشته و از این‌رو در صنایع غذایی، داروسازی و آرایشی بهداشتی کاربردهای متعددی دارد (Jamshidi-Kia *et al.*, 2017). آنتی‌اکسیدان‌ها ترکیباتی هستند که با رادیکال‌های آزاد واکنش داده و واکنش زنجیره‌ای را با حذف واسطه‌های رادیکال آزاد خاتمه داده و واکنش‌های اکسیداسیون را مهار می‌کنند (Mamta *et al.*, 2014). خاصیت آنتی‌اکسیدانی عمدتاً به دلیل وجود متابولیت‌های ثانویه گیاهی مانند فنل‌ها، فلاونوئیدها، کاروتنوئیدها و ترپنوئیدها است (Nieto *et al.*, 2018). در گیاهان متابولیت‌های ثانویه در طول مسیرهای بیوسنتزی متابولیت‌های اولیه تولید می‌شوند و می‌توان آن‌ها را به‌عنوان محصولات مسیرهای جانبی بیوشیمیایی در سلول‌های گیاهی در نظر گرفت. این متابولیت‌ها نقش مهمی در محافظت از گیاهان در برابر تنش‌های محیطی ازجمله شوری دارند (Chaturvedi and Gupta, 2021).

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی برگی غلظت‌های مختلف آلانتوئین بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه رزماری در شرایط تنش شوری انجام شد. در راستای اهداف پژوهش، پارامترهای مختلفی از جمله وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، آنتوسیانین، پرولین، ترکیبات فنلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان رزماری تحت تیمار مورد ارزیابی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر آلانتوئین بر صفات فیزیولوژیک، ترکیبات بیوشیمیایی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه رزماری تحت تنش شوری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به‌صورت گلدانی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه پیام‌نور بجنورد با عرض جغرافیایی ۵۷° ۳۷′ ۲۶″ شمالی و طول جغرافیایی ۱۹° ۵۷′ ۱۹″ شرقی و ارتفاع ۱۱۲۶ متر از سطح دریا در سال ۱۴۰۳ انجام گرفت.

قلمه‌های سالم و ریشه‌دار شده (۳ ماهه) رزماری نیمه دوم اردیبهشت از شرکت آیسان کشت شیراز، تهیه و براساس یکنواختی ظاهری برای کشت انتخاب شدند. آلانتوئین نیز از شرکت سیگما-آلدریچ تهیه شد. خاک مورد نیاز از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر مزرعه، جمع‌آوری و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن تعیین شد (جدول ۱). گلدان‌هایی با قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر، انتخاب و به هر گلدان ۴ کیلوگرم خاک اضافه شد. گلدان‌ها در شرایط گلخانه، با درجه حرارت ۲±۲۵ سانتی‌گراد در روز و ۲±۱۸ سانتی‌گراد در شب قرار گرفتند. روشنایی مورد نیاز گیاهان نیز با نور طبیعی آفتاب تأمین شد. در هر گلدان یک نشاء با ارتفاع ۱۸ تا ۲۰ سانتی‌متر در تاریخ ۲۵ اردیبهشت ۱۴۰۳ کاشته شد. پس از کامل شدن پوشش برگی (تقریباً دو ماه بعد از کاشت)، تیمار شوری در پنج سطح با غلظت‌های (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار) کلرید سدیم و یک ماه بعد محلول‌پاشی با آلانتوئین در سه سطح با غلظت‌های (صفر، ۰/۱ و ۱ میلی‌مولار) اعمال شدند. آبیاری با آب شور به حدی انجام گرفت که محلول نمک از پای بوته خارج شد تا مانع تجمع نمک در گلدان گردد. محلول‌پاشی با آلانتوئین نیز در طی چهار مرحله و هر دو هفته یک‌بار هنگام غروب انجام شد (Mostafavi *et al.*, 2025; Irani and Todd, 2018). پس از پایان دوره تیماردهی، گیاهان در آبان ماه برداشت و صفات زیر مورد ارزیابی قرار گرفت.

اندازه‌گیری پارامترهای رشد: سنجش کمی رشد گیاهان کشت‌شده تحت شرایط تیمار مستلزم اندازه‌گیری وزن تر برگ‌ها، شاخه، ریشه و وزن خشک آن‌ها هست. به این منظور بعد از گذشت یک دوره رویشی مناسب (پنج ماه) که با اعمال تیمارهای شوری و محلول‌پاشی آلانتوئین همراه بود، برداشت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.1]

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

بافت خاک	اسیدیته (pH)	کربن آلی خاک (٪)	ازت کل خاک (٪)	فسفر قابل‌جذب (ppm)	پتاسیم قابل‌جذب (ppm)	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	هدایت الکتریکی (دسی‌سیمنس بر متر)
لوم سیلتی رس	۸/۳۵	۱/۰۱۱	۰/۱۰۹	۱۰	۳۳۱	۱۹	۵۳	۲۸	۱/۲۳

از نمونه‌ها با سه تکرار صورت گرفت و اندازه‌گیری‌های مورد نیاز انجام شد.

محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی: به منظور بررسی محتوای کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئیدها در غلظت‌های مختلف از شوری و آلانتوئین و همچنین تأثیر برهمکنش این عوامل بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، ۰/۱ گرم از برگ‌های تازه رزماری به همراه ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ به خوبی ساییده شدند و محلول یکنواختی به دست آمد. سپس محلول فوق صاف شده و به کمک استون ۸۰٪ به حجم نهایی ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شدند. در مرحله بعد غلظت کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئیدها (گزانتوفیل و بتا کاروتن) به روش Lichtenthaler (۱۹۹٤) و از روی میزان جذب آن‌ها در طول‌موج‌های ٦٦٣/٢، ٦٤٦/٨ و ٤٧٠ نانومتر برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر ($mg\ g^{-1}$ f. w) برای تمام نمونه‌ها محاسبه شد.

$$Chl\ a = 12.25\ A_{663.2} - 2.79\ A_{646.8}$$
$$Chl\ b = 21.51\ A_{646.8} - 5.10\ A_{663.2}$$
$$C\ x + C = 1000\ A_{470} - 1.8\ Chl\ a - 85.02\ Chl\ b / 198$$

$A_{663.2}$ = مقدار جذب در طول‌موج ٦٦٣/٢ نانومتر

$A_{646.8}$ = مقدار جذب در طول‌موج ٦٤٦/٨ نانومتر

A_{470} = مقدار جذب در طول‌موج ٤٧٠ نانومتر

محتوای آنتوسیانین: برای اندازه‌گیری میزان آنتوسیانین از روش Wagner (۱۹۷۹) استفاده شد. ۰/۱ گرم بافت تر برگ‌های رزماری به همراه ۱۰ میلی‌لیتر محلول متانول اسیدی (متانول و اسید کلریدریک به نسبت ۹۹ به ۱) به خوبی ساییده شد و به مدت ٢٤ ساعت در تاریکی و در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از ٢٤ ساعت، عصاره حاصل در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. به محلول رویی جدا شده، ۲ میلی‌لیتر اتر جهت حذف کلروفیل باقی‌مانده اضافه گردید، از محلول زیری برای سنجش آنتوسیانین استفاده شد و مقدار جذب آن در طول‌موج ۵۳۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد و محتوای آنتوسیانین به کمک منحنی استاندارد سیانیدین بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر($mg\ g^{-1}$ f. w) محاسبه شد.

میزان پرولین: بدین منظور ۰/۲ گرم وزن تر قسمت انتهایی ریشه گیاهان رزماری، با ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳٪ در هاون ساییده و از صافی واتمن صاف شد. به یک میلی‌لیتر عصاره حاصل شده، یک میلی‌لیتر اسید نین‌هیدرین و یک میلی‌لیتر اسید استیک خالص اضافه شد، لوله‌های آزمایش در حمام آب گرم به مدت یک ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. لوله‌های آزمایش بعد از خارج‌شدن از آب گرم بلافاصله به درون ظروف محتوای آب یخ (جهت متوقف‌شدن واکنش) منتقل شدند، در این مرحله به هر لوله آزمایش ۲ میلی‌لیتر تولوئن اضافه و به مدت ۲۰ ثانیه به شدت تکان داده شدند تا اینکه دو لایه به‌طور مجزا از همدیگر تشکیل گردید. لایه بالایی جدا شده و بعد از خنک‌شدن، جذب آن در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر خوانده و غلظت پرولین به کمک منحنی استاندارد برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر ($mg\ g^{-1}$ f. w) محاسبه شد (Bates *et al*., 1973).

روش عصاره‌گیری: تهیه عصاره به روش ماسراسیون (خیساندن) انجام شد. بدین منظور ۱۰ گرم از پودر خشک شده حاوی برگ‌های گیاه رزماری به ۱۰۰ میلی‌لیتر الکل متانول افزوده و به مدت ٢٤ ساعت بر روی شیکر قرار داده شد، سپس نمونه به‌دست‌آمده توسط کاغذ صافی واتمن صاف و به‌منظور حذف کامل ذرات معلق، به وسیله دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. پس از حذف حلال، به دلیل حساسیت بالای عصاره به‌دست‌آمده به نور، حرارت و اکسیژن، درب آن بسته و تا زمان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.1]

آنالیز در یخچال و در دمای ٤ درجه سانتیگراد نگهداری شدند.

میزان فنل کل: تعیین میزان فنل کل به وسیله تست Folin-Ciocalteu براساس روش Chun و همکاران (۲۰۰۳) انجام گرفت. عصاره گیاهی به‌دست‌آمده با معرف Folin-Ciocalteu و کربنات سدیم مخلوط شد و پس از یک ساعت میزان فنل کل با استفاده از روش رنگ‌سنجی در ۷۱۵ نانومتر تعیین شد. به این منظور ابتدا یک میلی‌گرم از عصاره رزماری را در یک میلی‌لیتر متانول حل کرده،۲۰ میکرولیتر از محلول عصاره گیاهی درون لوله آزمایش با ۱/۱٦۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر و ۱۰۰ میکرولیتر معرف فولین سیوکالتو مخلوط شدند. بعد از گذشت ۸ دقیقه، ۳۰۰ میکرولیتر محلول کربنات سدیم (۲۰ درصد وزنی/حجمی) به محتوای لوله آزمایش افزوده شد. لوله‌های آزمایش بعد از تکان دادن، درون حمام آب با دمای ٤۰ درجه سانتی پایه قرارگرفته و پس از گذشت ۳۰ دقیقه جذب آن‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۷٦۰ نانومتر خوانده شد. از اسید گالیک در غلظت‌های مختلف (۱۰، ۲۰، ... و ۱۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) به‌منظور رسم منحنی استاندارد استفاده و نتایج برحسب میلی‌گرم اسید گالیک در هر گرم عصاره (mg GA/g D.W) بیان شد.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی: بدین منظور ۵۰ میکرولیتر از عصاره متانولی با ۵ میلی‌لیتر محلول ۰/۰۰٤ درصد DPPH حل شده در متانول مخلوط شد. از مخلوط متانول (بدون عصاره رزماری) به همراه DPPH به‌عنوان کنترل منفی و از مخلوط گلوتـاتیون با DPPH نیز به‌عنوان کنترل مثبت در این آزمایش استفاده شد. بعد از گذشت ۳۰ دقیقه جذب نوری نمونه‌ها در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد. درصد مهار رادیکال‌های آزاد DPPH با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد.

$$Sc\ (\%) = [(A0-As)/A0] \times 100$$

A0 = جذب کنترل (حاوی تمامی واکنشگرها به غیر از نمونه آزمایش)

As = جذب نمونه آزمایش

Sc (%) = درصد مهار رادیکال آزاد DPPH

نتایج حاصل از این بررسی به‌صورت IC_{50} (Half Maximal Inhibitory Concentration) بیان شد که نشانگر غلظتی از عصاره است که توان مهار ۵۰ درصد از رادیکال‌های آزاد را دارا است (Khatamian *et al.*, 2019).

نتایج آزمایشگاهی توسط نرم‌افزار SPSS 16 در سطح آماری $P < 0.05$ به‌صورت آنالیز واریانس دو عاملی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و از آزمون LSD برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2013 انجام گرفت.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل شوری در آلانتوئین در صفت‌های پرولین، فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در سطح احتمال پنج درصد و در سایر صفت‌های آزمایش‌شده، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

اندازه‌گیری وزن تر و خشک ریشه: نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) در جدول ۲ نشان داده شده است. اثر ساده شوری و اثر ساده آلانتوئین بر وزن تر و خشک ریشه معنی‌دار شد. اثر متقابل شوری در آلانتوئین نیز بر هر دو صفت مورد بررسی در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که شوری میزان وزن تر ریشه را نسبت به نمونه شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش داد، شوری به‌ویژه در غلظت‌های ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار باعث کاهش شدید وزن تر ریشه شد، این در حالی است که با افزودن آلانتوئین به‌ویژه در غلظت ۱ میلی‌مولار، وزن تر ریشه روند کاهشی کمتری از خود نشان داد. به این ترتیب تیمار صفر نمک در ۱ میلی‌مولار آلانتوئین از لحاظ عددی با ۵/٦۲ گرم بیشترین وزن تر ریشه را به خود اختصاص داد و نسبت به نمونه شاهد ٤/۰۷ درصد افزایش داشت. تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار نمک در صفر آلانتوئین نیز با عدد ۳/٤٤ گرم، کمترین وزن تر ریشه را نشان داد که نسبت به نمونه شاهد ۳٦/۲ درصد کاهش داشت (شکل ۱). در ارتباط با اندازه‌گیری وزن خشک ریشه نیز، تیمار برهم‌کنش کلرید سدیم با غلظت صفر در ۱ میلی‌مولار آلانتوئین با ۲/٦۷ گرم و تیمار ۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم در ۱ میلی‌مولار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.1]

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس در برهم‌کنش شوری و آلانتوئین بر برخی شاخص‌های رشدی و پارامترهای بیوشیمیایی در گیاه رزماری

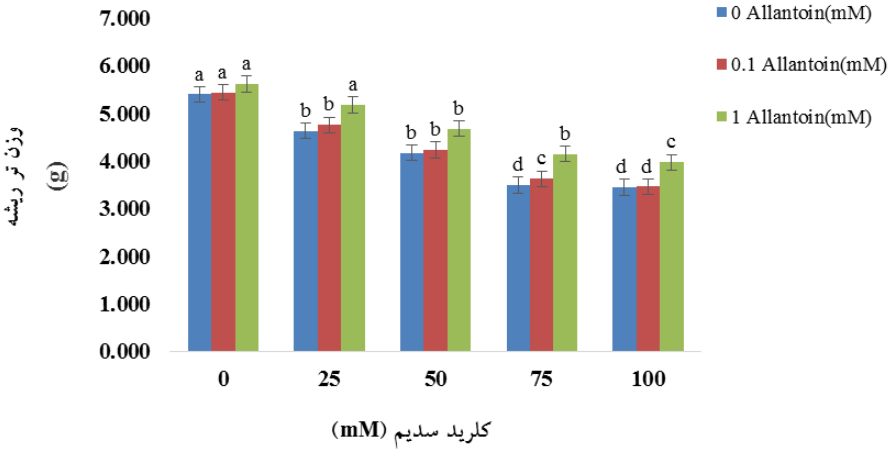
منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	کلروفیل a
شوری	٤	٤/٣١٠**	١/١٣٠**	٢٠/٣٦٢**	٢/٥٧٣**	٠/١٥٢**
آلانتوئین	٢	١/٤٥٧*	٠/٢٩٦**	٣/١٠٥**	١/٠٦٦**	٠/١٠٦**
شوری × آلانتوئین	٨	١/٠١٣**	٠/٠٣٧**	٠/٣٣١**	٠/٠٤٤**	١/٠١٣**
خطا	٣٠	٠/٠٨٢	٠/٠١١	٠/٠٧٩	٠/٠٣٣	٠/٠٠٢
ضریب تغییرات (٪)		٢١/٢٤	١٨/٥٦	١٤/٣	١٩/٦٧	٤/٣

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

ادامه جدول ۲-

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		کلروفیل b	کارتنوئید	آنتوسیانین	پرولین	فنل کل	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی
شوری	٤	٠/٠٨٤**	٠/٠٢٤**	٠/٣٣٧**	٥٣٢١/٧**	١٠٣٤/٠٨**	٣٦٤/٦٣**
آلانتوئین	٢	٠/٠٤٦**	٠/٠٢٢**	٠/٠٠٥ns	٧٧/٧ns	٨٠٠/٠٢**	٧٨٦/٠٦**
شوری × آلانتوئین	٨	٠/٠٠٩**	٠/٠٠٤**	٠/٠٣٦**	٩٢/٨*	٣٠/٠٢*	٣٠/٣١*
خطا	٣٠	٠/٠٠٣	٠/٠٠١	٠/٠٠٥	٤٢/٣٣	١٠/١٧	١٣/٥٣
ضریب تغییرات (٪)		٧/٠٦	٥/٤٥	١٣/٠٦	٢٤/١٤	١٩/٦٣	٢٢/٠٦

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

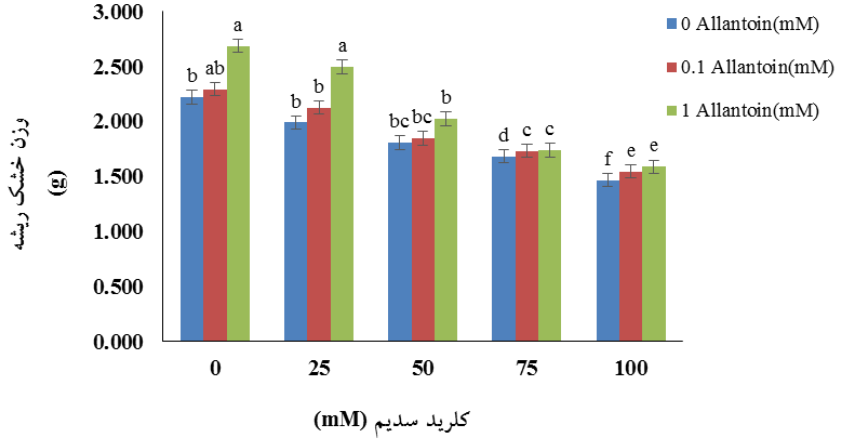


شکل ۱- مقایسه میانگین برهم‌کنش کلرید سدیم و آلانتوئین بر وزن تر ریشه با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵٪ (حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار)

آلانتوئین با ۲/۴۹ گرم بیشترین وزن خشک ریشه و تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در غلظت صفر آلانتوئین با ۱/۴۶ گرم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.1]



شکل ۲- مقایسه میانگین برهم‌کنش کلرید سدیم و آلانتوئین بر وزن خشک ریشه با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵٪ (حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار)

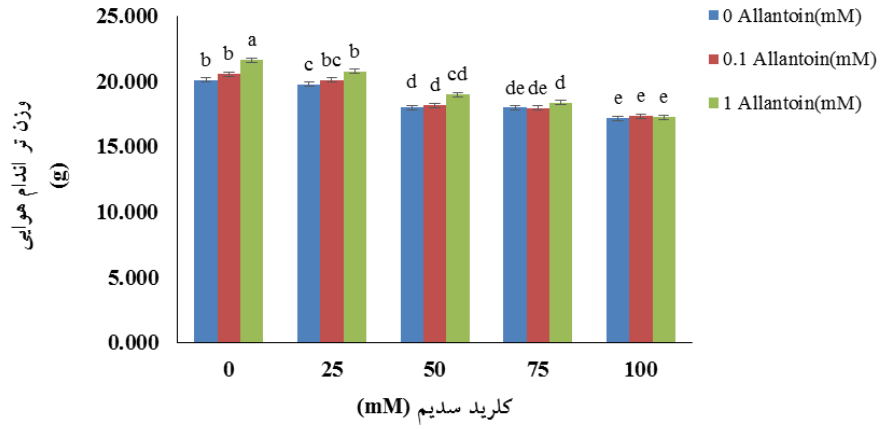
کمترین میزان وزن خشک ریشه را در گیاهان رزماری تحت تیمار به خود اختصاص دادند (شکل ۲). برهم‌کنش شوری و کاربرد آلانتوئین همچنین نشان داد که در تیمار شوری صفر با کاربرد ۱ میلی‌مولار آلانتوئین، وزن خشک ریشه ۲۰/۷ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش و در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در غلظت صفر آلانتوئین، وزن خشک ریشه ۳٤/۲ درصد نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت.

اندازه‌گیری وزن تر و خشک اندام هوایی(شاخه و برگ): جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر ساده شوری، اثر ساده آلانتوئین و اثر متقابل شوری در آلانتوئین بر وزن تر و خشک اندام هوایی گیاهان رزماری تحت تیمار در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که افزایش شوری به‌طور معنی‌داری باعث کاهش وزن تر اندام هوایی در گیاهان رزماری شد. در مورد اثر متقابل شوری در آلانتوئین بر وزن تر اندام هوایی نیز، تفاوت‌های معنی‌داری دیده شد. بدین ترتیب تیمار برهم‌کنش کلرید سدیم با غلظت صفر به همراه آلانتوئین با غلظت ۱ میلی‌مولار بیشترین میزان وزن تر اندام هوایی (۲۱/٦۲ گرم) را به خود اختصاص داد (شکل ۳) که نسبت به نمونه شاهد ۷/٦ درصد افزایش داشت.

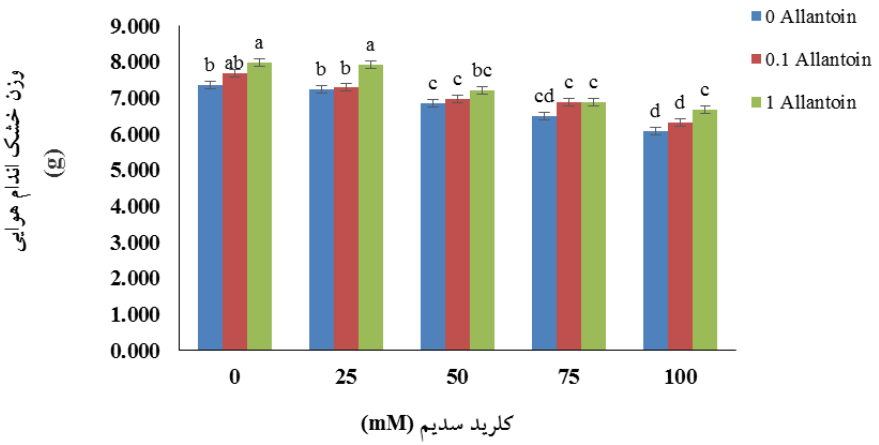
در مورد مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی، داده‌ها نشان داد افزایش شوری باعث کاهش معنی‌دار این شاخص شد، و اثر متقابل شوری و آلانتوئین افزایش معنی‌دار این صفت را به همراه داشت. به این ترتیب بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی مربوط به تیمار برهم‌کنش با غلظت صفر کلرید سدیم در ۱ میلی‌مولار آلانتوئین با ۷/۹۹ گرم و تیمار ۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم در ۱ میلی‌مولار آلانتوئین با ۷/۹۱ گرم وزن خشک و کمترین میزان مربوط به تیمار با غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در غلظت صفر آلانتوئین با ٦/۰۹ گرم وزن خشک بود. برهم‌کنش شوری و کاربرد آلانتوئین همچنین نشان داد که در تیمار شوری صفر با کاربرد ۱ میلی‌مولار آلانتوئین، وزن خشک اندام هوایی ۸/٤ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش و در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در غلظت صفر آلانتوئین، وزن خشک اندام هوایی ۱۷/۳ درصد نسبت به نمونه شاهد کاهش داشت. به نظر می‌رسد در این مطالعه کاربرد افشانه برگی آلانتوئین سبب افزایش شاخص‌های رشدی در شرایط تنش شوری شده و تا حدی اثرات مخرب شوری را تعدیل کرده است (شکل ٤).

نتایج حاصل از سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده شوری، ساده آلانتوئین و همچنین برهم‌کنش شوری در آلانتوئین بر سه رنگیزه فتوسنتزی شامل کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها معنی‌دار شد (جدول ۲). جدول مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار برهم‌کنش ۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم در ۱ میلی‌مولار آلانتوئین با ۲/۰۵ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.1]



شکل ۳- مقایسه میانگین برهم‌کنش کلرید سدیم و آلانتوئین بر وزن تر اندام هوایی با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵٪ (حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار)



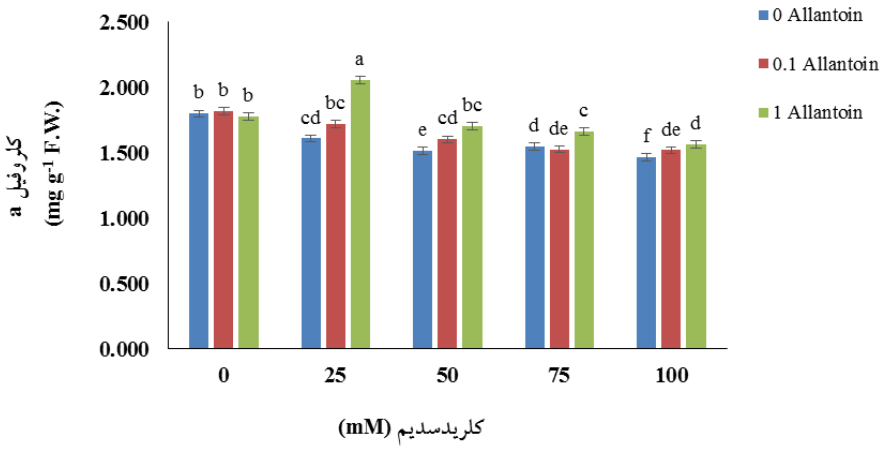
شکل ٤- مقایسه میانگین برهم‌کنش کلرید سدیم و آلانتوئین بر وزن خشک اندام هوایی با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵٪ (حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار)

بیشترین و تیمار برهم‌کنش ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در صفر آلانتوئین با ۱/٤٦ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه کمترین میزان کلروفیل a را در برگ گیاهان رزماری تحت تیمار به خود اختصاص داد (شکل ۵). نتایج همچنین نشان داد که تیمار شوری ۲۵ میلی‌مولار در ۱ میلی‌مولار آلانتوئین، محتوای کلروفیل a را ۱۳/۸ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش و تیمار برهم کنش ۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم در غلظت صفر آلانتوئین محتوای کلروفیل a را ۱۸/۸ درصد نسبت به نمونه شاهد کاهش داد. محتوای کلروفیل b نیز تحت تنش شوری و کاربرد کلرید سدیم به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و استفاده از افشانه آلانتوئین تا حدی این اثرات کاهشی را کمتر کرد به‌طوری‌که بیشترین محتوای کلروفیل b در تیمار ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در ۱ میلی‌مولار آلانتوئین با ۱/۰٦۳ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه و تیمار ۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم در ۱ میلی‌مولار آلانتوئین با ۱/۰۲۷ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه به دست آمد. تیمار برهم‌کنش ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در صفر آلانتوئین با ۰/٦٦ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه نیز کمترین میزان کلروفیل b را به خود اختصاص داد که نسبت به نمونه شاهد ۲۱/٤ درصد کاهش داشت (شکل ٦).

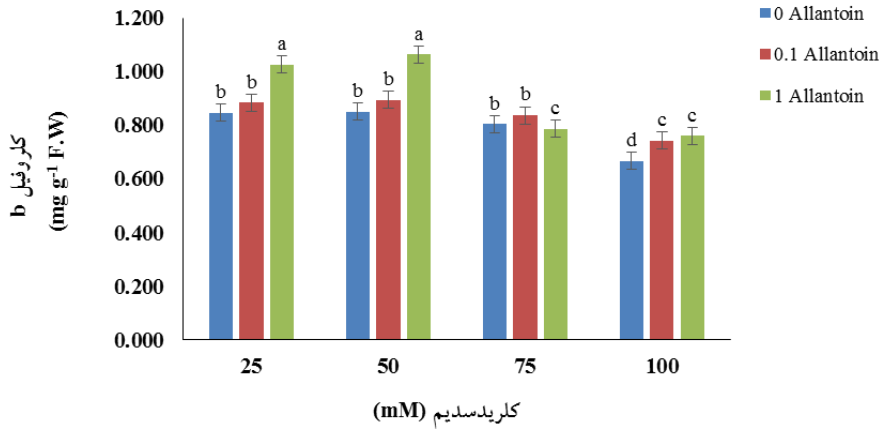
مقایسه میانگین داده‌ها در مورد محتوای کاروتنوئیدها نشان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.1]



شکل ۵- مقایسه میانگین برهم‌کنش کلرید سدیم و آلانتوئین بر محتوای کلروفیل a با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵٪ (حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار)

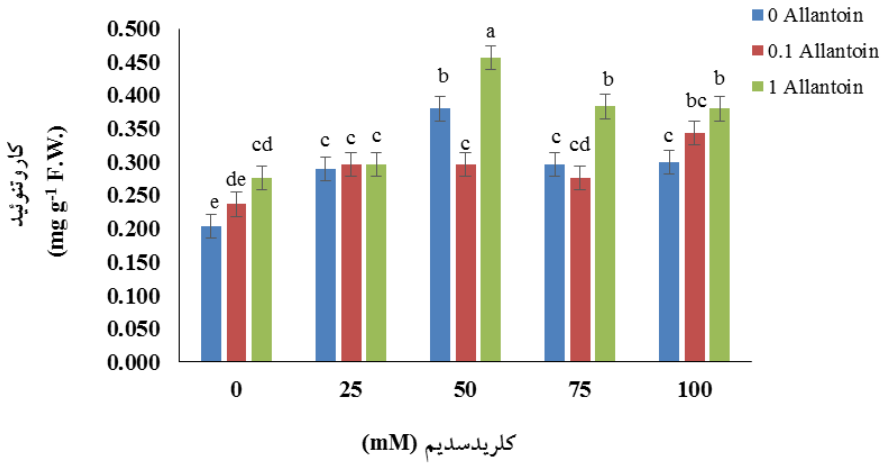


شکل ٦- مقایسه میانگین برهم‌کنش کلرید سدیم و آلانتوئین بر محتوای کلروفیل b با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵٪ (حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار)

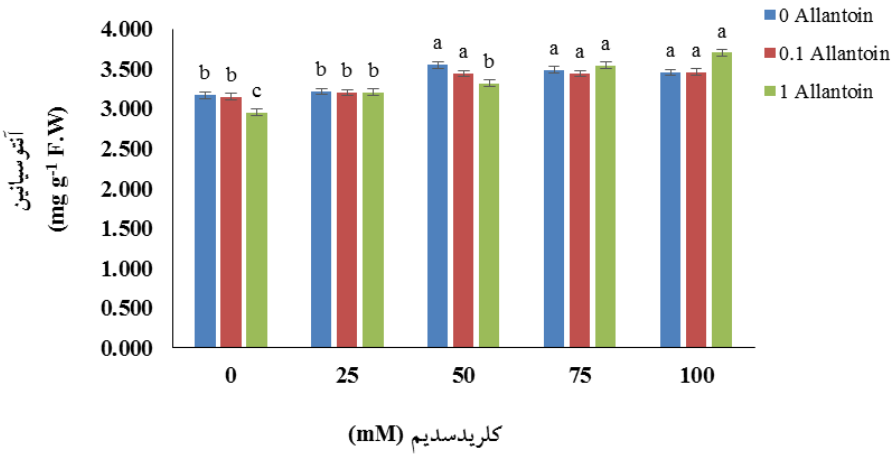
داد برهم‌کنش شوری و آلانتوئین به‌طور معنی‌داری باعث افزایش محتوای این رنگیزه در گیاهان رزماری تحت تیمار شد. به این ترتیب بیشترین محتوای کاروتنوئیدها در تیمار ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در ۱ میلی‌مولار آلانتوئین با عدد ۰/٤٥٧ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه به دست آمد که نسبت به نمونه شاهد ۱۲۵ درصد افزایش داشت. کمترین مقدار کاروتنوئیدها نیز در تیمار صفر کلرید سدیم و صفر آلانتوئین (شاهد) با عدد ۰/۲۰۳ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه به دست آمد (شکل ۷).

نتایج حاصل از سنجش میزان آنتوسیانین: اندازه‌گیری محتوای آنتوسیانین تولیدشده در گیاهان تحت تنش و تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمارهای ساده شوری و تیمارهای برهم‌کنش شوری در آلانتوئین بر محتوای آنتوسیانین در سطح ۱ درصد تأثیر معنی‌دار گذاشته و باعث افزایش میزان آنتوسیانین نسبت به نمونه شاهد شد ولی اثر ساده آلانتوئین تأثیر معنی‌داری بر محتوای این شاخص نداشت (جدول ۲ و شکل ۸). مقایسه میانگین داده‌ها مشخص کرد که اثر متقابل شوری با غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار در ۱ میلی‌مولار آلانتوئین با رقم ۳/۷۰ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه بیشترین میزان آنتوسیانین را از لحاظ عددی به خود اختصاص داد که نسبت به نمونه شاهد ۱٦/۷ درصد افزایش داشت (شکل ۸). تیمار برهم‌کنش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.1]



شکل ۷- مقایسه میانگین برهم‌کنش کلرید سدیم و آلانتوئین بر محتوای کاروتنوئید با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵٪ (حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار)

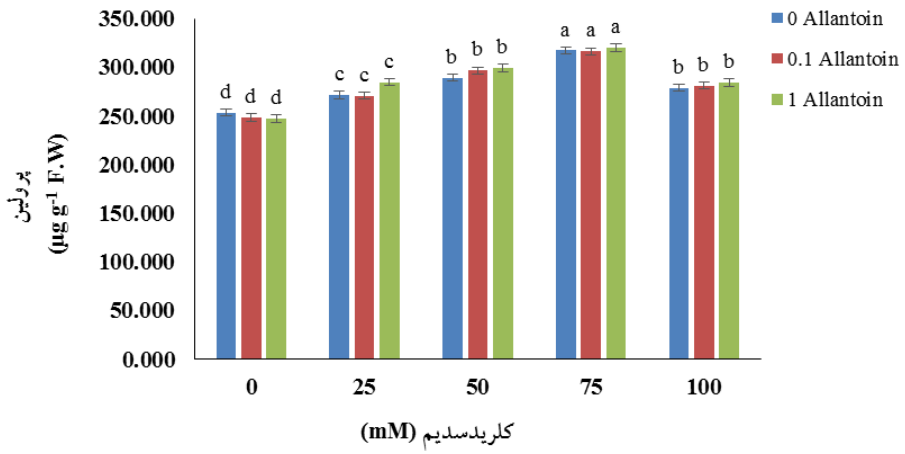


شکل ۸- مقایسه میانگین برهم‌کنش کلرید سدیم و آلانتوئین بر محتوای آنتوسیانین با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵٪ (حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار)

صفر نمک در ۱ میلی‌مولار آلانتوئین نیز با ۲/۹۵ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه کمترین میزان این شاخص را به خود اختصاص داد که نسبت به نمونه شاهد ٦/٩ درصد کاهش داشت (شکل ۸).

نتایج حاصل از سنجش میزان پرولین: نتایج تحقیق حاضر نشان داد که از نظر میزان تجمع پرولین بین سطوح شوری تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد مشاهده گردید و کاربرد کلرید سدیم در غلظت‌های مختلف میزان تولید و تجمع پرولین در ریشه گیاهان رزماری را افزایش داد. اثر متقابل شوری در آلانتوئین نیز در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد و میزان تجمع پرولین را در ریشه گیاه رزماری نسبت به نمونه شاهد افزایش داد ولی اثر ساده آلانتوئین بر محتوای پرولین معنی‌دار نشد (جدول ۲ و شکل ۹). به این ترتیب تیمارهای با غلظت ۷۵ میلی‌مولار از کلرید سدیم در غلظت‌های صفر، ۰/۱ و ۱ میلی‌مولار آلانتوئین به ترتیب با مقادیر ۳۱۷/۳، ۳۱٦/۳ و ۳۲۰/۳ میکروگرم بر گرم بافت تازه بیشترین و تیمارهای برهم‌کنش صفر میلی‌مولار کلرید سدیم در غلظت‌های مختلف از آلانتوئین (صفر، ۰/۱ و ۱ میلی‌مولار) کمترین میزان پرولین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.1]



شکل ۹- مقایسه میانگین برهم‌کنش کلرید سدیم و آلانتوئین بر محتوای پرولین با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵٪ (حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار)

ریشه را از نظر مقداری به خود اختصاص دادند (شکل ۹).

نتایج حاصل از سنجش میزان فنل کل: در ارتباط با میزان ترکیبات فنلی موجود در گیاهان تحت تیمار، جدول واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای ساده شوری و ساده آلانتوئین بر میزان فنل کل در سطح یک درصد معنی‌دار شد و اثر تیمارهای برهم‌کنش شوری در آلانتوئین در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد تیمار برهم‌کنش ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در ۱ میلی‌مولار آلانتوئین به‌طور معنی‌دار محتوای فنل کل را نسبت به نمونه شاهد به مقدار ۱۳۶/۷ درصد افزایش داد و با ۶۲/۳۳ میلی‌گرم بر گرم بافت خشک (mg g^{-1} D.W.) بیشترین میزان این ترکیبات را به دست آورد، از نظر عددی نیز تیمار شاهد با ۲۶/۳۳ میلی‌گرم بر گرم بافت خشک (mg g^{-1} D.W.) کمترین مقدار مربوط به ترکیبات فنلی را در گیاهان رزماری تحت تیمار به خود اختصاص داد (شکل ۱۰).

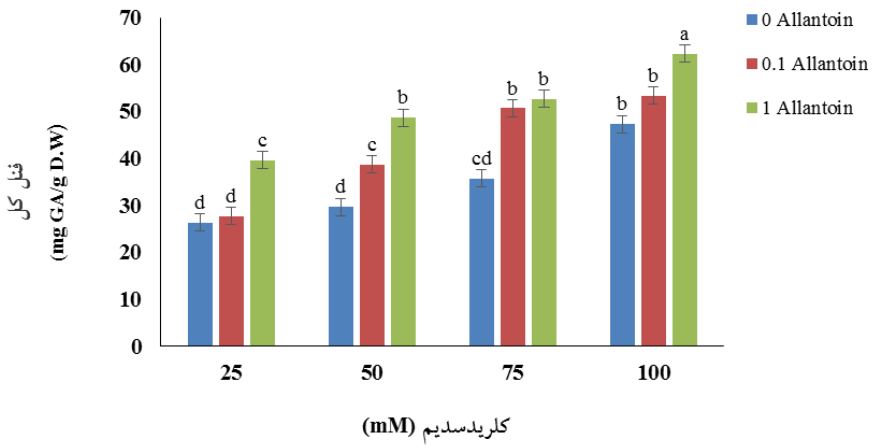
نتایج حاصل از سنجش ظرفیت و پتانسیل آنتی‌اکسیدانی: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر ساده شوری و اثر ساده آلانتوئین بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در سطح ۱ درصد و تیمار برهم‌کنش شوری در آلانتوئین در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). هم شوری و هم آلانتوئین هر دو باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان رزماری تحت تیمار شدند. بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و قدرت مهار رادیکال‌های آزاد در IC_{50}، مربوط به عصاره گیاهان رزماری تحت تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در ۱ میلی‌مولار آلانتوئین با غلظت ۵۵/۶۶ میکروگرم بر میلی‌لیتر گزارش شد. کمترین قدرت مهار رادیکال‌های آزاد در IC_{50}، نیز در ارتباط با عصاره برگی گیاهان رزماری تحت تیمار صفر کلرید سدیم در صفر آلانتوئین (شاهد) با ۹۱/۶۶ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار صفر کلرید سدیم در ۰/۱ میلی‌مولار آلانتوئین با ۹۰/۰۱ میکروگرم بر میلی‌لیتر به دست آمد (شکل ۱۱). IC_{50} به‌طور معکوس با فعالیت آنتی رادیکالی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در ارتباط است، به این ترتیب که هر چه IC_{50} کمتر باشد فعالیت و پتانسیل آنتی‌اکسیدانی بیشتر خواهد بود (Akbari *et al.*, 2022). لازم به توضیح است که عصاره‌های برگی نامبرده شده در بالا در غلظت‌های ۵۵/۶۶، ۹۰/۰۱ و ۹۱/۶۶ میکروگرم بر میلی‌لیتر قادر بودند ۵۰ درصد از رادیکال‌های آزاد DPPH را مهار نمایند، و گلوتاتیون به‌عنوان کنترل مثبت در این آزمایش در غلظت ۴۴ میکروگرم بر میلی‌لیتر حدود ۵۰ درصد از رادیکال‌های آزاد را مهار کرد.

بحث

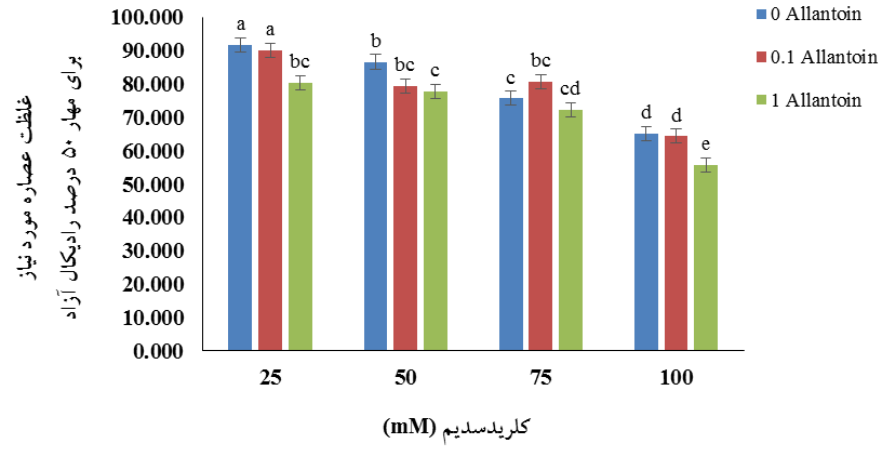
وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی (شاخه و برگ):

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.1]



شکل ۱۰- مقایسه میانگین برهم‌کنش کلرید سدیم و آلانتوئین بر محتوای فنل کل با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵٪ (حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار)



شکل ۱۱- مقایسه میانگین برهم‌کنش کلرید سدیم و آلانتوئین بر مهار رادیکال‌های آزاد در IC_{50} با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵٪ (حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار)

کاهش دسترسی ریشه‌ها به آب، بر هم خوردن توازن عناصر غذایی و افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن از جمله عوامل مهمی است که رشد گیاهان را در محیط‌های شور با مشکل مواجه می‌کند. از سوی دیگر پراکسیداسیون لیپیدهای غشای کلروپلاست‌ها سبب مختل شدن فتوسنتز و کاهش زیست‌توده گیاهان می‌شود. علاوه‌براین گیاهان با بستن روزنه‌ها، کاهش تقسیم و گسترش سلولی و کاهش انتقال تعدادی از هورمون‌ها مانند سیتوکنین به تنش شوری پاسخ می‌دهند و این سازوکارها در نهایت منجر به کاهش رشد می‌شوند (Arif *et al.*, 2020). کاهش رشد گیاهان در شرایط شور می‌تواند به دلیل سمیت کلر نیز باشد که از جذب نیترات جلوگیری می‌کند، زیرا هر دو یون به وسیله یک نوع حمل‌کننده از عرض غشای پلاسمایی انتقال می‌یابند و نیترات به‌عنوان تأمین‌کننده نیتروژن در رشد رویشی گیاهان نقش مهمی دارد (Jouyban, 2012). تحقیقات Abdoli و همکاران (۲۰۲۰) بر روی گیاه زنیان نشان داد افزایش غلظت شوری از یک دسی‌زیمنس بر متر، زیست‌توده ریشه و بخش هوایی را به‌طور معناداری کاهش داد. در تحقیق Salama و همکاران (۲۰۲۳) نیز گزارش شد که تنش شوری باعث محدود شدن رشد علف لیمو می‌شود و با افزایش سطح شوری وزن تر و خشک و ارتفاع بوته به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.1]

یافته‌های مطالعات Haghighi و همکاران (۲۰۲۳) بر روی گیاه رزماری نشان داد با افزایش شوری، به‌طور معناداری وزن تر و خشک شاخه و برگ‌ها کاهش یافت و در تیمار بیشترین غلظت نمک که معادل ۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم بود، کمترین میزان وزن تر و خشک شاخه و برگ‌ها به دست آمد.

نتایج آزمایش حاضر نشان داد با محلول‌پاشی برگی آلانتوئین میزان برخی شاخص‌های رشدی از جمله وزن تر و خشک ریشه و اندام‌های هوایی (شاخه و برگ) در گیاهان رزماری تحت تیمار شوری افزایش یافت. با توجه به نتایج بررسی‌ها به نظر می‌رسد آلانتوئین با افزایش ترکیبات دفاعی مانند آنتوسیانین‌ها، قندهای احیایی، پروتئین‌ها و پرولین باعث مهار گونه‌های فعال اکسیژن و کاهش آسیب به سلول‌های گیاهی می‌شود و از این طریق تأثیر مثبتی بر رشد گیاه می‌گذارد (Kaur *et al*., 2023). مطالعات انجام‌شده بر روی گیاه چغندرقند نشان داد که آلانتوئین با افزایش ترشح هورمون‌هایی مانند ایندول استیک اسید، سیتوکینین و جیبرلین باعث افزایش وزن تر و خشک گیاه در شرایط تنش شوری می‌شود (Yu *et al.*, 2024). در مطالعه‌ای دیگر، تیمار گیاهان آرابیدوپسیس و کلزا با آلانتوئین از طریق کاهش گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش حفاظت از غشاهای سلولی سبب افزایش شاخص‌های رشدی در شرایط تنش شد (Raihan *et al*., 2023; Liu *et al*., 2020). ترکیبات نیتروژن‌دار از جمله آلانتوئین مولکول‌های آلی هستند که علاوه بر داشتن نیتروژن، کربن، هیدروژن و اکسیژن در ساختار خود، دارای زنجیره جانبی آلی بوده که به‌عنوان یک شاخص، بین اسیدهای آمینه مختلف تمایز ایجاد می‌کنند (Soltani Alikooyi *et al*., 2025). این مولکول‌ها می‌توانند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر فعالیت فیزیولوژیکی مرتبط با رشدونمو گیاهان تأثیر بگذارند (Wu, 2009).

رنگیزه‌های فتوسنتزی: محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل‌ها یک شاخص مهم و حساس به تنش‌های محیطی و یک معیار مناسب جهت بیان و برآورد راندمان فتوشیمیایی فتوسیستم نوری است. مطالعات نشان داده است که کارایی فتوسیستم نوری، زنجیره انتقال الکترون و میزان جذب CO_2 در بسیاری از گیاهان در شرایط تنش شوری کاهش می‌یابد (Stepien and Klobus, 2005). در پژوهش اخیر، نتایج نشان داد که شوری باعث کاهش محتوای کلروفیل در گیاهان رزماری تحت تیمار شد. در مطالعات Haghighi و همکاران (۲۰۲۳) نیز دیده شد با افزایش میزان شوری میزان کلروفیل کل در گیاهان رزماری به‌طور معناداری کاهش یافت و کمترین مقدار آن با ۱/۴۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مربوط به شوری در غلظت ۷۵ میلی‌مولار بود. تحقیقات بسیاری نشان داده است که کاهش کلروفیل در گیاهان تحت تنش شوری عمدتاً به دلیل تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها، تخریب پیش‌ماده‌های کلروفیل و یا ممانعت از بیوسنتز کلروفیل است (Firuzeh *et al*., 2018; Arif *et al*., 2020). گیاهان تحت تنش شوری و اسمزی عمل تعرق را با بستن روزنه‌ها جهت حفظ آب برگ کاهش می‌دهند. این عمل می‌تواند به حمل‌ونقل غیرفعال در آوندهای ساقه آسیب برساند. علاوه‌براین کمبود آب منجر به اختلال در واکنش‌های نوری فتوسنتز و تولید ROS می‌شود بدین صورت که با کاهش تثبیت CO_2 به دلیل بسته شدن روزنه‌ها، سطح انرژی نوری افزایش می‌یابد و با کاهش میزان $NADP^+$ (به‌عنوان پذیرنده الکترون)، انتقال الکترون‌ها از PSI به اکسیژن مولکولی تسریع شده و H_2O_2 تولید می‌شود. لذا سطح ROS افزایش‌یافته و سبب تخریب ساختمان کلروفیل‌ها می‌شود (Mittler *et al*., 2022). در ادامه نتایج پژوهش حاضر نشان داد که محلول‌پاشی آلانتوئین به‌ویژه غلظت ۱ میلی‌مولار، اثرات منفی تنش شوری بر محتوای کلروفیل در گیاه رزماری را تعدیل کرد. به نظر می‌رسد آلانتوئین با مهار گونه‌های فعال اکسیژن، کاهش جذب و انتقال سدیم و محافظت از آنزیم‌های کلروپلاستی مانند روبیسکو باعث افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش می‌شود (Liu *et al*., 2020). از طرفی تأثیر آلانتوئین بر محتوای کلروفیل را می‌توان با نقش آن در افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه که شامل فنل‌ها، فلاونوئیدها، تانن‌ها و آنتوسیانین‌ها هستند، توضیح داد که همه آن‌ها دارای اثر آنتی‌اکسیدانی بوده و از سیستم رنگدانه گیاه به‌ویژه رنگدانه‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.1]

کلروفیل در برابر اکسیداسیون یا تجزیه محافظت می‌کنند (Naikoo *et al*., 2019). علاوه‌براین به نظر می‌رسد آلانتوئین با فراهمی نیتروژن و کربن برای گیاه در تولید کلروفیل و بهبود فتوسنتز نقش ایفا می‌کند (Wen *et al*., 2022).

کاروتنوئید: در مطالعه اخیر نتایج نشان داد که شوری باعث افزایش محتوای کاروتنوئید در گیاهان رزماری شد. به نظر می‌رسد تحت شرایط تنش شوری ایجاد شده میزان ROS و آنزیم کلروفیلاز افزایش یافته و سبب آسیب به کلروفیل‌های برگی می‌شود و گیاه برای مقابله با ROSها در جهت جذب انرژی اضافی و تنظیم اسمزی برای پایداری غشاء سلولی میزان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی خود را مانند کاروتنوئیدها افزایش می‌دهد (Correia *et al*., 2014). کاروتنوئیدها نقش مهمی در مقاومت به تنش در گیاهان دارند و به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان، در محافظت از فرآیندهای فتوشیمیایی تحت شرایط تنش عمل می‌کنند (Maslova *et al*., 2021). نقش محافظتی اصلی بتاکاروتن در بافت فتوسنتزی ممکن است از طریق خاموش کردن مستقیم کلروفیل سه گانه باشد که از تولید اکسیژن منفرد جلوگیری و از آسیب اکسیداتیو محافظت می‌کند. کاروتنوئیدها انرژی نور را دریافت کرده و از طریق انتقال تحریک تک ـ تک به کلروفیل‌ها منتقل می‌کنند. این انتقال یک وضعیت انرژی پایین‌تری است که در طول فتوسنتز استفاده می‌شود. آن‌ها در وضعیت انرژی بالاتر، انرژی بیش از حد از کلروفیل‌ها را از طریق انتقال سه تایی- سه تایی جذب و به‌صورت ارتعاش پایین آزاد می‌کنند (Maoka, 2020). از سوی دیگر نتایج تحقیق حاضر نشان داد با کاربرد آلانتوئین به‌ویژه در غلظت ۱ میلی‌مولار محتوای کاروتنوئیدی در گیاهان رزماری تحت تنش شوری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. به نظر می‌رسد اسپری کردن آلانتوئین می‌تواند از طریق تحریک بیان ژن‌های دخیل در بیوسنتز متابولیت‌هایی از جمله کاروتنوئیدها باعث افزایش بیوسنتز آن‌ها شود. افزایش محتوای کاروتنوئید در تیمارهای حاوی آلانتوئین را می‌توان نشانه‌ای از تقویت سامانه دفاعی غیرآنزیمی گیاه رزماری در برابر تنش شوری دانست (Mostafavi *et al*., 2025). این افزایش کاروتنوئیدها نه‌تنها به تحمل بیشتر گیاه در شرایط شوری کمک می‌کند، بلکه از نظر کیفی نیز می‌تواند به بهبود ارزش دارویی و آنتی‌اکسیدانی گیاه رزماری منجر شود.

آنتوسیانین: نتایج مطالعه حاضر نشان داد که محتوای آنتوسیانین در گیاهان رزماری تحت تیمار با افزایش میزان شوری روند افزایشی داشت. افزایش محتوای آنتوسیانین در شرایط تنش شوری در زوفا (Jahantigh *et al*., 2016) و بادرنجبویه (Hawrylak-Nowak *et al.,* 2021) نیز گزارش شده است. آنتوسیانین از جمله ترکیبات فنلی است، که در پاسخ به تنش اکسیداتیو تجمع می‌یابد. این ترکیب با خاصیت آنتی‌اکسیدانی از گیاه در برابر گونه‌های فعال اکسیژن حفاظت می‌کند. همچنین آنتوسیانین با کاهش پتانسیل اسمزی می‌تواند وضعیت آبی گیاه را در شرایط تنش اسمزی بهبود دهد (Mostafavi *et al.,* 2025). از سوی دیگر نتایج آزمایش اخیر نشان داد برهمکنش شوری در آلانتوئین در روند افزایش محتوای آنتوسیانین نقش به‌سزایی داشت. در گزارشات Mostafavi و همکاران (۲۰۲۵) نیز دیده شد که آلانتوئین در تمامی سطوح شوری باعث افزایش محتوای آنتوسیانین در گیاه زوفا شد. از آنجایی‌که رزماری یک گیاه دارویی محسوب می‌شود به نظر می‌رسد افزایش محتوای آنتوسیانین به‌عنوان یک متابولیت ثانویه می‌تواند در بهبود و تقویت ارزش دارویی این گیاه مؤثر باشد.

پرولین: تنش شوری باعث اختلال در وضعیت آبی گیاه و بروز تنش اسمزی می‌شود. گیاهان برای مقابله با این تنش‌ها از سازوکارهای مختلفی استفاده می‌کنند. یکی از این سازوکارهای کلیدی، افزایش چشمگیر پرولین است که به حفظ تعادل اسمزی کمک می‌کند (Firuzeh *et al.,* 2018). پرولین یک اسمولیت سازگار است که حلالیت بالایی در آب دارد و در غلظت بالا، بدون اثر منفی روی ماکرومولکول‌ها، موجب حفظ پتانسیل اسمزی سلول و استمرار جذب آب تحت تنش شوری می‌شود. علاوه‌برین تجمع پرولین تحت تنش شوری نقش مهمی در تنظیم فرایندهای سلولی و خنثی‌کردن رادیکال‌های آزاد دارد (Hayat *et al*., 2012). پرولین با حذف رادیکال‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.1]

هیدروکسیل سبب پایداری غشاء، حفظ پروتئین‌ها و اندامک‌های درون سلول شده و پس از رفع تنش نیز به‌عنوان منبع کربن، انرژی و نیتروژن به کار می‌رود. در اغلب گیاهان تجمع پرولین تحت شرایط تنش شوری منجر به افزایش تحمل گیاهان به تنش شده و افزایش مقدار پرولین در این شرایط به‌عنوان یکی از برگ خریدهای تحمل به تنش در نظر گرفته می‌شود (Hakim *et al.*, 2014). در مطالعات Amooaghaie و همکاران (۲۰۲۱) بر روی گیاه زنیان گزارش شد که با افزایش غلظت نمک میزان پرولین افزایش یافت. به نظر می‌رسد شوری ناشی از کلرید سدیم منجر به تحریک ژن‌های سنتزکننده آنزیم‌های مسیر گلوتامات شده و سنتز پرولین در گیاه افزایش می‌یابد (سعادت و صدقی، ۱۴۰۳). مطالعه روی گیاه دارویی بابونه آلمانی نیز مشخص کرد با افزایش سطح شوری، میزان تجمع پرولین در گیاه افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین میزان پرولین در تیمار شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین آن در تیمار ۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (لطف‌الهی و همکاران، ۱۳۹۴). در تحقیق حاضر نیز نتایج نشان داد که شوری باعث افزایش محتوای پرولین شد و بیشترین مقدار پرولین در غلظت ۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم به دست آمد. علت اینکه از غلظت ۷۵ میلی‌مولار به بعد دیگر تجمع پرولین افزایش نمی‌یابد را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که پرولین نمی‌تواند بیشتر از این، اثر تخریبی نمک را هم‌پوشانی کند و تجمع بیش از حد آن برای سلول امری بی‌فایده محسوب می‌شود. از طرفی در غلظت‌های بالای کلرید سدیم تولید فتواسمیلیت‌ها و اسکلت کربنی مورد نیاز به‌عنوان پیش‌ماده جهت سنتز پرولین کم می‌شود و در نتیجه سنتز این مولکول‌ها نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Iqbal *et al.*, 2014). در ارتباط با کاربرد آلانتوئین و تأثیر آن بر محتوای پرولین در گیاهان رزماری تحت تیمار نتایج نشان داد که تأثیر چشمگیر و معنی‌داری بر محتوای این شاخص نداشت.

فنل کل: نتایج این پژوهش نشان داد که تنش شوری موجب افزایش معنی‌دار محتوای فنل کل در گیاهان رزماری شد. شوری و به دنبال آن تداخلی که در جذب آب مورد نیاز گیاه اتفاق می‌افتد در انتقال کربن به مخازن گیاه محدودیت ایجاد کرده و کربن انباشته شده به تولید متابولیت‌های ثانویه اختصاص می‌یابد که بدون رقابت با رشدونمو هستند (Ning *et al.*, 2022). افزایش مقادیر فنلی را می‌توان به پاسخ متداول گیاه به شرایط کم آبی و افزایش ROSها و راهی برای ذخیره اسکلت کربنی تولیدشده توسط فتوسنتز در دوره‌هایی که رشد گیاه محدود می‌شود در نظر گرفت. از سوی دیگر، تنش شوری با افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن، بیان آنزیم‌های کلیدی مسیر فنیل‌پروپانوئید را تحریک کرده و موجب تجمع بیشتر ترکیبات فنلی با خاصیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود (Kapoor *et al.*, 2020). در مطالعات انجام‌شده توسط Jahantigh و همکاران (۲۰۱۶) دیده شد که محتوای فنل در گیاه زوفا در اثر تنش شوری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که با نتایج پژوهش اخیر همخوانی دارد. در تحقیقات Emami Bistgani و همکاران (۲۰۱۹) بر روی گیاه آویشن نیز گزارش شد شوری باعث افزایش محتوای فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان به‌منظور محافظت از آن‌ها در برابر استرس اکسیداتیو می‌شود. از سوی دیگر به نظر می‌رسد محلول‌پاشی با آلانتوئین در طول دوره رشد، سبب شد تا گیاه از طریق حسگرها و گیرنده‌های خود این سیگنال‌ها را دریافت و پاسخ خود که تولید متابولیت‌های ثانویه است را فعال کند (Thakur *et al.*, 2018; Mostafavi *et al.*, 2025). در مطالعه حاضر نیز داده‌های به‌دست‌آمده نشان داد که کاربرد آلانتوئین به‌ویژه در غلظت ۱ میلی‌مولار به‌طور معنی‌داری محتوای فنل کل را نسبت به نمونه شاهد و تیمارهای عدم کاربرد آلانتوئین افزایش داد. از آنجایی‌که ترکیبات فنلی یکی از متابولیت‌های ثانویه مهم و مواد مؤثره دارویی ارزشمند در گیاه رزماری به‌حساب می‌آیند به نظر می‌رسد سطوحی از شوری به همراه آلانتوئین با افزایش محتوای این متابولیت ثانویه می‌تواند تأثیر مثبتی در بهبود ارزش دارویی این گیاه داشته باشد.

ظرفیت و پتانسیل آنتی‌اکسیدانی: رزماری گیاهی سرشار از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی است (Jamshidi -Kia *et al.*, 2017). در پژوهش حاضر هم شوری و هم کاربرد آلانتوئین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.1]

هر دو باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان رزماری تحت تیمار شدند و بیشترین پتانسیل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در عصاره گیاهان رزماری تحت تیمار در برهم‌کنش ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در ۱ میلی‌مولار آلانتوئین با ۵۵/٦٦ میکروگرم بر میلی‌لیتر به دست آمد. این مقدار به این معناست که عصاره برگی در غلظت ۵۵/٦٦ میکروگرم بر میلی‌لیتر قادر به مهار نیمی از رادیکال‌های آزاد بوده است. IC_{50} به‌طور معکوس با فعالیت آنتی رادیکالی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در ارتباط است، به‌این‌ترتیب که هر چه IC_{50} کمتر باشد فعالیت و پتانسیل آنتی‌اکسیدانی بیشتر خواهد بود (Akbari *et al.*, 2022).

تولید گونه‌های فعال اکسیژن در طی فرایندهای طبیعی گیاهان مانند فتوسنتز و تنفس نوری و همچنین بروز انواع تنش‌ها رخ می‌دهد. از این‌رو سیستم های دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی در گیاهان برای مقابله با تنش و افزایش بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژنی توسعه یافته (Kim *et al.*, 2017) و نقش حفاظتی مهمی از طریق افزایش متابولیت‌های ثانویه جهت خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد تشکیل شده ایفا می‌کند. مطالعه انجام‌شده بر گیاه کاملینا (*Camelina sativa* L.) نشان داد که تنش شوری با افزایش محتوای آنتوسیانین سبب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی این گیاه شد (Hezaveh *et al.*, 2020). در تحقیق دیگری که روی گیاه نعناع‌فلفلی انجام شد، مشخص شد با افزایش سطح شوری به میزان ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر، فعالیت آنتی‌اکسیدانی به بیشترین میزان خود رسید (حسینی و همکاران، ۱۳۹۳). افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه ماش (Al-Zahrani *et al.*, 2021) و بادرنجبویه (Hawrylak-Nowak *et al.*, 2021) در شرایط تنش شوری نیز گزارش شده است که با نتایج مطالعات حاضر همخوانی دارد. به نظر می‌رسد تنش شوری و متعاقباً کم آبی در ریشه از طریق شبکه‌های سیگنال‌دهی سلول به سلول درک شده و به دنبال آن، سیگنال‌های استرس از طریق ریشه به سمت برگ‌ها می روند تا از طریق آوند چوبی بیوسنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدانی از جمله هورمون‌های گیاهی و متابولیت‌های ثانویه را القا کنند (Yadav *et al.*, 2021).

از سوی دیگر گیاهان مکانیسم‌های سازگاری متابولیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی پیچیده‌ای دارند که این مکانیسم‌ها را می‌توان از طریق کاربرد عوامل برون‌زاد الیسیتوری تحریک کرد (Isah, 2019). به نظر می‌رسد که آلانتوئین نیز به‌طور غیرمستقیم و از طریق تحریک مکانیسم و مسیرهای مربوطه باعث افزایش ترکیبات فنلی مانند آنتوسیانین و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش می‌شود (Mostafavi *et al.*, 2025). در مطالعه اخیر نیز نتایج نشان داد که کاربرد آلانتوئین به‌طور معنی‌داری ظرفیت و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان رزماری را نسبت به نمونه شاهد و تیمارهای عدم کاربرد آلانتوئین افزایش داد که این خود می‌تواند باعث بهبود خاصیت دارویی گیاهان رزماری تحت تیمار باشد.

نتیجه‌گیری

در مجموع، نتایج این پژوهش نشان داد که تنش شوری به‌طور معنی‌داری موجب کاهش شاخص‌های رشدی و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه رزماری و همزمان سبب افزایش برخی پاسخ‌های بیوشیمیایی و دفاعی از جمله تجمع آنتوسیانین، پرولین، ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود. این تغییرات بیانگر تلاش گیاه برای سازگاری با شرایط تنش و کاهش آسیب‌های ناشی از تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن است. با این‌حال، شدت تنش شوری در سطوح بالاتر به‌گونه‌ای بود که پاسخ‌های دفاعی ذاتی گیاه به‌تنهایی نتوانست از افت رشد و کاهش زیست‌توده جلوگیری کند. کاربرد آلانتوئین، به‌ویژه در غلظت ۱ میلی‌مولار، نقش مؤثری در تعدیل اثرات منفی شوری ایفا کرد و با بهبود وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی، حفظ رنگیزه‌های فتوسنتزی، افزایش محتوای فنل کل و تقویت ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، تحمل گیاه رزماری به تنش شوری را افزایش داد. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که آلانتوئین به‌عنوان یک تعدیل‌کننده تنش، از طریق تقویت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی و بهبود وضعیت فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه، پتانسیل بالایی برای استفاده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.1]

در مدیریت کشت رزماری در مناطق شور و کم‌آب دارد. انجام پژوهش‌های تکمیلی در شرایط مزرعه‌ای و بررسی اثر آلانتوئین بر عملکرد اسانس و ترکیبات مؤثره دارویی می‌تواند در توسعه کاربرد عملی این گیاه دارویی ارزشمند نقش مهمی ایفا کند.

منابع

حسینی، اشرف السادات، افشاری، حسین، و اکبرزاده، محمد (۱۳۹۳). بررسی اثرات تنش شوری بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه نعناع‌فلفلی. اولین کنگره سراسری فناوری‌های نوین ایران با هدف دستیابی به توسعه پایدار، تهران.

خراسانی‌نژاد، سارا، سلطانلو، حسن، هادیان، جواد، و آتشی، صادق (۱۳۹۵). اثر تنش شوری بر برخی خصوصیات ظاهری، کمی و کیفی اسانس در گیاه اسطوخودوس. *مجله علوم باغبانی*، ۹۲(٦)، ٦۲۳-٦۵۲. https://doi.org/10.22067/JHORTS4.V30I2 38451

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. *پژوهش‌های خشکسالی و تغییر اقلیم*، ۱، ۹۷ – ۱۰۸. https://doi.org/10.22077/jdcr.2023.6152.1017

سعادت، هانیه، و صدقی، محمد (۱٤۰۳). اثر پیش‌تیمار سدیم نیتروپروساید بر بهبود صفات فیزیولوژیکی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهچه برنج تحت تنش شوری. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۳، ۱۵۹-۱٤۵. https://doi.org/10.22034/13.62.145

لطف‌الهی، لیلا، ترابی گل سفیدی، حسین، و امیدی، حشمت (۱۳۹٤). بررسی تأثیر سطوح مختلف شوری بر پرولین، رنگدانه‌های فتوسنتزی و رطوبت نسبی برگ گیاه دارویی بابونه آلمانی در محیط آبکشت. *پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۲۲، ۸۹-۱۰۳. DOR: 20.1001.1.23222050.1394.22.1.6.3

Abdoli, S., Ghasemi-Golezani, K., & Alizadeh -Salteh, S. (2020). Responses of Ajowan (*Trachyspermum ammi* L.) to exogenous salicylic acid and iron oxide nanoparticles under salt stress. *Environmental Science and Pollution Research, 6*(1), 1-15. https://doi.org /10.1007/s11356-020-09453-1

Akbari, B., Baghaei-Yazdi, N., Bahmaie, M., & Mahdavi Abhari, F. (2022). The role of plant-derived natural antioxidants in reduction of oxidative stress. *Bio Factors,* 1-23. https://doi.org / 10.1002/biof.1831

Al-Zahrani, H. S., Alharby, H. F., Hakeem, K. R., & Rehman, R. U. (2021). Exogenous application of zinc to mitigate the salt stress in *Vigna radiata* (L.) Wilczek—Evaluation of physiological and biochemical processes. *Plants, 10*(5), 1005. https://doi.org/10.3390/plants10051005

Amooaghaie, R., Majidi, M., & Farhadian, S. (2021). Impact of nano-TiO_2 on salt stress tolerance of *Carum copticum*. *Journal of Plant Process and Function, 11*(48), 19-33. https://doi.org/ 20.1001.1.23222727.1401.11.48.2.3

Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A., & Hayat, S. (2020). Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, *156*, 64-77. https://doi.org/10.1016/j.plaphy. 2020.08.042

Balasubramaniam, T., Shen, G., Esmaeili, N., & Zhang, H. (2023). Plants' response mechanisms to salinity stress. *Plants, 12*(12), 2253. https://doi.org/10.3390/plants12122253

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil, 39*, 205-207.

Chaturvedi, S, & Gupta, P. (2021). Plant secondary metabolites for preferential targeting among various stressors of metabolic syndrome. *Studies in Natural Products Chemistry*, *71*, 221-261. https://doi.org/10.1016 /B978-0-323-91095-8.00012-X

Chowrasia, S., Nishad, J., Mahato, R., Kiran, K., Rajkumari, N., Panda, A. K., Rawal, H. C., Barman, M., & Mondal, T. K. (2023). Allantoin improves Salinity tolerance in Arabidopsis and rice through synergid activation of abscisic acid and brassinosteroid biosynthesis. *Plant Molecular Biology*, *112*(3), 143-160. https://doi.org /10.1007/s11103-023-01350-8

Chun, O. K., Kim, D. O., & Lee, C. Y. (2003). Superoxide radical scavenging activity of the major polyphenols in fresh plums. *Journal of Agriculture and Food Chemistry, 51*, 867-872. doi: 10.1021/jf034740d

Correia, B., Pinto-Marijuan, M., Neves, L., Brossa, R., Dias, M. C., Costa, A., & Pinto, G. (2014). Water stress and recovery in the performance of two *Eucalyptus globulus* clones: Physiological and biochemical profiles. *Physiologia Plantarum, 150*(4), 580-592. https://doi.org /10.1111/ppl.12110

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.1]

Demiral, M. A. (2017). Effect of salt stress on concentration of nitrogen and phosphorus in root and leaf of strawberry plant. *Eurasian Journal of Soil Science, 6*, 357-364. https://doi.org/10.18393/ejss.319198

Emami Bistgani, Z., Hashemi, M., DaCosta, M., 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. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.055

Firuzeh, R., Khavarinejad, R. A., Najafi, F., & Saadatmand, S. (2018). Effects of gibberellin on contents of photosynthetic pigments, proline, phenol and flavonoid in savory plants (*Satureja hortensis* L.) under salt stress. *Plant Research Journal, 31*, 894-908. DOR: 20.1001.1.23832592.1397.31.4.12.4

Hakim, M. A., Juraimi, A. S., Hanafi, M. M., Ismail, M. R., Selamat, A., Rafii, M., & Lati, M. A. (2014). Biochemical and anatomical changes and yield reduction in rice (*Oryza sativa* L.) under varied salinity regimes. *Biomedical Research International, 20*, 1-11. https://doi.org/10.1155/2014/208584

Haghighi, B., Karimi, M., & Moradi, H. (2023). Investigating the effect of humic acid on the morphological and physiological characteristics of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) under salt stress. *Journal of Plant Process and Function*, 285-298. https://doi.org/10.22034/12.57.285

Hawrylak-Nowak, B., Dresler, S., Stasinska-Jakubas, M., Wojciak, M., Sowa, I., & Matraszek-Gawron, R. (2021). NaCl-induced elicitation alters physiology and increases accumulation of phenolic compounds in *Melissa officinalis* L. *International Journal of Molecular Sciences, 22*(13), 44-68. https://doi.org /10.3390 /ijms22136844

Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M. N., Wani, A. S., Pichtel, J., & Ahmad, A. (2012). Role proline under changing environments*: A review. Plant Signaling and Behavior, 7*, 1456-1466. https://doi.org /10.4161/psb.21949

Hezaveh, T. A., Rahmani, F., Alipour, H., & Pourakbar, L. (2020). Effects of foliar application of ZnO nanoparticles on secondary metabolite and micro-elements of camelina (*Camelina sativa* L.) under salinity stress. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry, 16*(4), 54-69.

Irani, S, & Todd, C. D. (2018). Exogenous allantoin increases Arabidopsis seedlings tolerance to NaCl stress and regulates expression of oxidative stress response genes. *Journal of Plant Physiology, 221*, 43-50. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.11.011

Iqbal, N., Umar, Sh., Nafees, A., Khan, M., & Iqbal, R. (2014). A new perspective of phytohormones in salinity tolerance: Regulation of proline metabolism. *Environmental and Experimental Botany*, 34-42.

Isah, T. (2019). Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. *Biological Research*, *52*(1), 39. https://doi.org/10.1186/s40659 -019 -0246 – 3

Jahantigh, O., Najafi, F., Badi, H. N., Khavari-Nejad, R. A., & Sanjarian, F. (2016). Changes in antioxidant enzymes activities and proline, total phenol and anthocyanin contents in (*Hyssopus officinalis* L). plants under salt stress. *Acta Biologica Hungarica, 67*(2), 195-204. https://doi.org/10.1556/018.67.2016.2.7

Jamshidi-Kia, F., Lorigooini, Z., & Amini-Khoei, H. (2017). Medicinal plants: Past history and future perspective. *Journal of Herbmed Pharmacology, 7*(1), 1-7.

Jouyban, Z. (2012). The effects of salt stress on plant growth. *Technical Journal of Engineering and Applied Science, 2*(1), 7-1.

Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Ramakrishnan, M., Sharma, A., & Sharma, A. (2020). The impact of drought in plant metabolism: How to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. *Applied Sciences*, *10*(16), 5692. https://doi.org/10.3390/app10165692

Kaur, R., Chandra, J., Varghese, B., & Keshavkant, S. (2023). Allantoin: A potential compound for the mitigation of adverse effects of abiotic stresses in plants. *Plants, 12*(17), 3059. https://doi.org/10.3390 /plants12173059

Khatamian, N., Homayouni Tabrizi, M., & Ardalan, P. (2019) Effect of carum carvi essential oil nanoemulsion on tubo cancer cells and L929 normal cells and evaluation of antioxidant activity. *Study of Medical Science, 30*(4), 315-321.

Kim, Y. H., Khan, A. L., Waqas, M., & Lee, I. J. (2017). Silicon regulates antioxidant activities of crop plants under abiotic-induced oxidative stress: A review. *Frontiers in Plant Science, 8,* 510. https://doi.org /10.3389 /fpls.2017.00510

Lichtenthaler, H. K. (1994). Chlorophylls and carotenoids pigments of photosynthetic biomembrances. *Methods in Enzymology, 148*, 350-382.

Liu, L., Liu, D., Wang, Z., Zou, C., Wang, B., Zhang, H., Gai, Z., Zhang, P., Wang, Y., & Li, C. (2020). Exogenous allantoin improves the salt tolerance of sugar beet by increasing putrescine metabolism and antioxidant activities. *Plant Physiology and Biochemistry, 154*, 699-713. https://doi.org/10.1016/j.plaphy .2020.06.034

Mamta, K. M., Gurpreet, S. D., Satinder, K. B., & Mausam, V. (2014). Antioxidants. In: Biotransformation of Waste Biomass into High Value Biochemicals (eds. Satinder, K. B., Gurpreet, S. D., and Carlos, R. S.) Pp. 117-138. Springer, New York, NY.

Maoka, T. (2020). Carotenoids as natural functional pigments. *Journal of Natural Medicines*, *74*(1), 1-16. https://doi.org /10.1007/s11418-019-01364-x

Maslova, T. G., Markovskaya, E. F., & Slemnev, N. N. (2021). Functions of carotenoids in leaves of higher plants. *Biology Bulletin Reviews, 11*, 476-487.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.1]

Mittler, R., Zandalinas, S. I., Fichman, Y., & Van Breusegem, F. (2022). Reactive oxygen species (ROS) signalling in plant stress responses. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, *23*, 663-679.

Mostafavi, N., Kiarostami, Kh., & Sorahinobar, M. (2025). Effect of allantoin on some morphological and physiological traits of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) under salt stress and hydroponic cultivation. *Journal of Plant Process and Function*, 227-244. https://doi.org/: 10.22034/14.66.227

Naeemi, M., Gholamalipour Alamdari, E., & Sadat Mousavi, A. (2025). The effect of chitosan bio-stimulator on morphological and physiological characteristics of hyssop under salinity stress. *Journal of Plant Process and Function*, 33-46. https://doi.org/: 10.22034/14.68.33

Naikoo, M. I., Dar, M. I., Raghib, F., Jaleel, H., Ahmad, B., Raina, A., Khan, F. A., & Naushin, F. (2019). Role and regulation of plants phenolics in abiotic stress tolerance. *Plant Signaling Molecules, 9*, 157-168. https: //doi.org/10.1016/B978-0-12-816451-8.00009-5

Nieto, G., Ros, G., & Castillo, J. (2018). Antioxidant and antimicrobial properties of rosemary (*Rosmarinus officinalis*, L.). *Medicines, 5*(98), 1-13. https://doi.org/10.3390/ medicines5030098

Ning, W., Zhu, S. Q., Nian, H., Yin, J. H., & An, B. Y. (2022). Effects of exogenous $CaCl_2$ on the photosynthetic function and active oxygen metabolism of *Salix viminalis* leaves under Pb stress. *Applied Ecology and Environmental Research, 20*(4), 3143-3154. https://doi.org /10.15666/aeer/2004_31433154

Raihan, M. R. H., Rahman, M., Rastogi, A., Fujita, M., & Hasanuzzaman, M. (2023). Exogenous allantoin confers rapeseed (*Brassica campestris*) tolerance to simulated drought by improving antioxidant metabolism and physiology. *Antioxidants, 12*(8), 1508. https://doi.org/10.3390/antiox12081508

Salama, F. M., Abdel -Rahman, S. S. A., Ragaey, M. M., Mostafa, N. M. M., & Abdel -Kader, A. A. S. (2023). Biological and chemical substances as stimulants -inducing growth and oil yield in lemongrass under salinity stress. *Assiut Journal of Agricultural Sciences, 54*(4), 90-107. https://dx.doi.org /10.21608/ajas.2023.237082. 1294

Soltani Alikooyi, M., Abbasi Surki, A., Fallah, S., & Ghasemi Nafchi, M. (2025). Improving the content of essential oil and active compounds in rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) through spraying L-phenylalanine and induction of drought stress. *Journal of Plant Process and Function*. 265-285. https://doi.org/10.22034 /14.66.265

Stepien, P, & Klobus, G. (2005). Antioxidant defense in the leaves of C_3 and C_4 plants under salinity stress. *Physiologia Plantarum, 125*(1), 31-40. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00534.x

Thakur, M., Bhattacharya, S., Khosla, P. K., & Puri, S. (2018). Improving production of plant secondary metabolites through biotic and abiotic elicitation. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, *12*, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.11.004

Wagner, G. J. (1979). Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplasts. *Plant Physiology, 64*(1), 88-93. https://doi.org/10.1104/pp.64.1.88

Wen, S., Liu, B., Long, S., Gao, S., Liu, Q., Liu, T., & Xu, Y. (2022). Low nitrogen level improves low-light tolerance in tall fescue by regulating carbon and nitrogen metabolism. *Environmental and Experimental Botany.* https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104749

Werner, A. K, & Witte, C. P. (2011). The biochemistry of nitrogen mobilization: Purine ring catabolism. *Trends in Plant Science, 16*(8), 381-387. https://doi.org/10.1016/j.tplants. 2011.03.011

Wu, G. (2009). Amino acids: Metabolism, functions, and nutrition. *Amino Acids, 37*, 1-17. https://doi.org / 10.1007/s00726-009-0269-0

Yadav, B., Jogawat, A., Rahman, M. S., & Narayan, O. P. (2021). Secondary metabolites in the drought stress tolerance of crop plants. *Gene Reports*, *23*, 1-14. https://doi.org /10.1016/j.genrep.2021.101040

Yu, X. R., Zhao, J. N., Zhuang, Y. L., Zhao, L. H., Wang, C., Yang, X. F., Wang, Y. B., & Li, C. F. (2024). Effects of spraying allantoin at different stages on inorganic nitrogen assimilation, endogenous hormones, yield. https://doi.org/10.1007/s12355-024-01420-1

Zoorman, H, & Karimi, M. (2020). Morphological and physiological responses of euonymus (*Euonymus japonicus*) to exogenous paclobutrazol under salinity stress. *Journal of Ornamental Plants, 10*(3), 179-189. https://doi.org /20.1001.1.22516433.2020.10.3.5.9

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.1]

The effect of allantoin on some physiological and biochemical parameters of the medicinal plant rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) under salt stress

Pooya Arvin

Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran

Abstract

Salinity is one of the most important obstacles to plant growth in the world, affecting plant performance in various ways. Therefore, research and investigation of methods that can control and reduce the effects of salinity on plants is important. The present experiment was conducted as a factorial experiment in a completely randomized design with three replications on the *Rosmarinus officinalis* L. The first factor was sodium chloride treatment at five levels (0, 25, 50, 75, and 100 mM), and the second factor was allantoin treatment at three levels (0, 0.1, and 100 mM). The effects of these treatments on some growth indices, photosynthetic pigments, anthocyanin, proline, total phenolic content, and antioxidant activity of rosemary were investigated. The results showed that increasing salinity significantly reduced fresh and dry weights of roots and aerial parts as well as chlorophyll *a* and *b* contents; however, application of allantoin moderated the decreasing trend of these traits. With increasing salt concentration, anthocyanin, proline, and total phenolic contents increased significantly. Allantoin application significantly increased total phenolic content compared with the control and treatments without allantoin, while it had no significant effect on proline content. The results also indicated that antioxidant activity increased significantly under salinity stress and with allantoin application, and the interaction treatment of sodium chloride with allantoin exhibited the highest antioxidant capacity. Overall, the results of this study showed that although salinity had negative effects on some growth indices of rosemary, the application of allantoin was able to reduce these effects to some extent. On the other hand, levels of salinity and foliar application of allantoin significantly increased some secondary metabolites, including carotenoids, anthocyanins, total phenols, and antioxidant capacity, which seems to improve and enhance the medicinal properties of rosemary.

Keywords: Allantoin, Antioxidant capacity, Growth indices, Rosemary, Salinity

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.1]

Received: Feb. 03, 2026; Revised: Apr. 14, 2026; Accepted: May. 14, 2026; Published Online: Oct. 30, 2026
*Corresponding Author: pooya.arvin@pnu.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.