فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۶۰، خرداد و تیرماه ۱۴۰۳ صفحه: ۲۸۹-۳۰۲
https://doi.org/10.22034/13.60.289

مقاله پژوهشی

تأثیر محلول‌پاشی سولفات پتاسیم بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه آویشن دنایی (*Thymus daenensis*) تحت سطوح مختلف شوری

حدیث زارع منش

گروه کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۸/۱۶)

چکیده

آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه پیام‌نور استان لرستان به منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی سولفات پتاسیم بر صفات آویشن دنایی در شرایط تنش شوری اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل تنش شوری در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و محلول‌پاشی سولفات پتاسیم در سه سطح (صفر، ۱ و ۲ گرم بر لیتر) بود. نتایج نشان داد که در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار، محتوی کلروفیل a، b و کل به ترتیب با ۶/۷، ۴/۳ و ۱۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و محتوی نسبی آب برگ با ۵۷/۸ درصد، در کمترین سطح خود قرار داشتند. کاربرد محلول‌پاشی به ویژه در سطح ۲ گرم بر لیتر، منجر به افزایش معنی‌دار میانگین این صفات شد. در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، محتوی کارتنوئید و پرولین به ترتیب ۹۴ و ۱۹۵ درصد نسبت به تیمار بدون شوری افزایش یافتند و با کاربرد ۲ گرم بر لیتر سولفات پتاسیم، کارتنوئید ۱۷ درصد و پرولین ۱۶ درصد افزایش نشان دادند. بیشترین پراکسید هیدروژن در ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و بدون محلول‌پاشی بود. اما کاربرد ۱ و ۲ گرم بر لیتر به ترتیب ۲۲ و ۴۴ درصد محتوی پراکسید هیدروژن را کاهش دادند. بیشترین فعالیت سوپراکسید دسموتاز و آسکوربات پراکسیداز در ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و ۲ گرم محلول‌پاشی با مقادیر ۹/۶۰ و ۰/۹۱۰ واحد در هر میلی‌لیتر عصاره آنزیمی مشاهده شد. به‌طورکلی، سطوح شوری به ویژه تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم منجر به کاهش محتوی کلروفیل و محتوی نسبی آب برگ و افزایش صفات محتوی کارتنوئید و پرولین، پراکسید هیدروژن، محتوی مالون دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دسموتاز و آسکوربات پراکسیداز شد؛ در مقابل کاربرد محلول‌پاشی سولفات پتاسیم توانست تا حد زیادی از اثرات منفی تنش بکاهد.

واژه‌های کلیدی: آویشن، اسمولیت‌ها، تنش‌های غیرزیستی، عناصر پرمصرف

مقدمه

آویشن یا جنس *Thymus* به‌سبب سازگاری بالا با بسیاری از اقلیم‌ها، در تمام دنیا گسترش یافته است و بیش از ۳۰۰ گونه پایا و بوته‌ای آن در اروپا، آسیا و شمال آفریقا پراکنش دارند (زارع‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴). در ایران ۱۸ گونه آویشن شناسایی شده است که از این تعداد ۱۴ گونه و زیرگونه، قبلاً توسط Rechinger و همکاران (۱۹۸۲) در فلور ایرانیکا گزارش شده بود (Talebian *et al.*, 2016). *T. daenensis* یکی از گونه‌های بومی ایران، گیاهی پایا و بوته‌ای است که عمدتاً در کوه‌های زاگرس و البرز، ارتفاعات کوهستانی و دامنه‌های غرب

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: Hadis_zaremanesh@pnu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-05]

و جنوب غربی ایران یافت می‌شود (Abdollahi Arpanahi and Feizian, 2019). سرشاخه‌های گل‌دار آویشن دنایی کاربرد وسیعی در طب سنتی داشته و به جهت داشتن برگ‌های باریک از سایر گونه‌های جنس *Thymus* به راحتی قابل تشخیص است (افلاکیان و همکاران، ۱۳۹۱). از خواص درمانی آویشن می‌توان به خاصیت ضدعفونی‌کنندگی، ضدتشنج، ضدگرفتگی عضلانی و نقش مثبت آن در رفع بیماری‌های تنفسی می‌باشد که سبب اهمیت ویژه آن در صنایع داروسازی و غذایی شده است (هراتی و همکاران، ۱۳۹۵). این گیاه دارویی می‌تواند با توجه به کاربردهای وسیع، به صورت زراعی مورد کشت قرار گیرد. با این وجود، آویشن یکی از مهمترین گیاهان دارویی است که تحت تأثیر تنش‌های محیطی مختلف قرار می‌گیرد. در این راستا برخی از مطالعاتی که بر روی جنس آویشن انجام شده است حاکی از حساسیت این گونه دارویی با ارزش نسبت به تنش شوری است.

در واقع تنش شوری از جمله عوامل محدودکننده عملکرد محصولات کشاورزی در جهان و به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود (Hussain *et al.*, 2019). تنش شوری علاوه بر ایجاد تنش خشکی فیزیولوژیک و سمیت یونی، می‌تواند به علت اثر منفی یون سدیم و به هم خوردن تعادل یونی، مانع از جذب یون‌های معدنی در خاک گردد. بنابراین، گیاهان باید برای حفظ تعادل یونی داخل سلولی، با سازوکارهایی با سمیت یون سدیم و خشکی فیزیولوژیک مقابله کنند. هنگامی که گیاه در شرایط شوری قرار می‌گیرد، جریان متعادل انتقال یون‌های سدیم، کلر و دیگر یون‌ها مانند پتاسیم و کلسیم به هم می‌خورد (Parihar *et al.*, 2015; Hussain *et al.*, 2019). بررسی پژوهش‌هایی که بر روی آویشن دنایی انجام شده است نشان از حساسیت این گیاه نسبت به تنش شوری دارد. در این راستا، هراتی و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی کاهش اثرات سوء سطوح مختلف تنش شوری (چهار سطح کلرید سدیم شامل صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی آویشن دنایی گزارش دادند سطوح مختلف شوری سبب افزایش محتوی پرولین، قندهای محلول، وزن تر و افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز و کاهش سطح برگ و غلظت پروتئین شد. خادم الحسینی و همکاران (۱۴۰۰) نیز در بررسی تأثیر سطوح شوری آب آبیاری (۱ دسی‌زیمنس بر متر به عنوان شاهد، ۴ و ۷ دسی‌زیمنس بر متر) بر برخی صفات بیوشیمیایی گیاه دارویی آویشن باغی نشان دادند با افزایش شوری تا سطح ۴ دسی‌زیمنس بر متر، وزن خشک اندام‌های هوایی و میزان پرولین به ترتیب ۲۷/۶ و ۶۸/۸۴ درصد افزایش یافت. درحالیکه افزایش شوری تا سطح ۷ دسی‌زیمنس بر متر، باعث کاهش این شاخص‌ها به ترتیب با ۴۹/۵ و ۲۲/۹ درصد گردید. این محققان افزودند که می‌توان چنین نتیجه گرفت که به منظور آبیاری گیاه آویشن باغی با آب شور، شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر بهترین تیمار آبیاری با آب شور جهت حصول بهترین نتیجه از نظر بازده و ترکیب اسانس است. گلستانی (۱۳۹۹) نیز در بررسی اثر سطوح شوری (صفر، ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار سدیم کلرید) بر برخی صفات زراعی و فیزیولوژیکی آویشن دنایی گزارش داد که شوری منجر به کاهش معنی‌دار غلظت کلروفیل کل، کاروتنوئید، پتاسیم برگ، میزان نسبی آب برگ و وزن خشک اندام هوایی و افزایش معنی دار غلظت پرولین، غلظت سدیم برگ، نسبت سدیم به پتاسیم برگ و درصد نشت یونی شد.

روابط بین شوری و عناصر غذایی در گیاهان بسیار پیچیده بوده و بنابر محیط، شرایط و مدت آزمایش، نوع و ترکیب نمک به کار رفته و اندام گیاه، نتایج متفاوت است (عطارزاده و همکاران، ۱۳۹۴). لذا مدیریت در جهت کاهش اثرات شوری از اهداف اصلی پژوهشگران مختلف در ایـن زمینه است. محلول‌پاشی عناصر مورد نیاز گیاه از جمله پتاسیم یکی از این جنبه‌های مدیریتی بوده که تا حدودی سبب کاهش اثرات شوری در گیاه می‌گردد (آقایی و همکاران، ۱۳۹۸). در واقع کاربرد برخی عناصر به صورت محلول‌پاشی، سبب کم‌کردن اثرات منفی شوری می‌گردد. محققان زیادی بر اثرات مثبت محلول‌پاشی عناصر بر کاهش اثرات شوری در گیاه تأکید دارند (Abdelaal *et al.*, 2019). تحت تنش شوری، استفاده از عناصر مغذی همراه با آبیاری، منجر به کاهش کارایی آنها به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-05]

واسطه قلیایی‌بودن بیش از حد خاک و عدم قابلیت استفاده از آن‌ها به جهت تثبیت در خاک می‌گردد، اما استفاده از این عناصر به صورت محلول‌پاشی منجر به افزایش کارایی جذب عناصر می‌گردد (Zayed *et al.*, 2011). در شرایط تنش شوری، ممکن است با وجود غلظت قابل‌توجه پتاسیم در خاک، شرایط جذب مهیا نبوده و یا پتاسیم جذب‌شده در ریشه‌ها تجمع یابد که نهایتاً کاهش پتاسیم در اندام‌های هوایی را به همراه خواهد داشت (Summart *et al.*, 2010). محلول‌پاشی پتاسیم در شرایط تنش شوری، موجب کاهش انتقال سدیم از ریشه‌ها به اندام‌های هوایی و حفاظت اندام‌های فتوسنتزی از مضرات یون سدیم می‌گردد. لذا با توجه به موارد ذکرشده و نتایج مطالعات محققان مختلف، تأمین پتاسیم کافی در شرایط تنش شوری ضروری است. از طرفی دیگر به سبب افزایش روزافزون تهدید شوری منابع آب و خاک در مناطق مختلف کشور و همچنین نبود اطلاعات کافی در رابطه با واکنش گیاه آویشن دنایی به عنوان یکی از گیاهان دارویی با ارزش و بومی نسبت به تنش شوری، هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر شوری آب آبیاری بر خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه آویشن دنایی و همچنین نقش تعدیل‌کنندگی محلول‌پاشی کود پتاسیم تحت این شرایط بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی سولفات پتاسیم بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آویشن دنایی *Thymus daenensis* تحت تنش شوری، به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه دانشگاه پیام‌نور لرستان انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل تنش شوری در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و محلول‌پاشی سولفات پتاسیم در سه سطح (صفر، ۱ و ۲ گرم بر لیتر) بود. مخلوط خاک مورد استفاده در گلدان‌های آزمایشی شامل خاک زراعی، ماسه و کود گوسفندی به ترتیب با نسبت ۲: ۱: ۰/۵، بود که بعد از مخلوط کردن کامل آن‌ها با یکدیگر مورد استفاده قرار گرفت. گلدان‌ها از نوع پلاستیکی چهار کیلوگرمی (از جنس پلی‌اتیلن، با قطر ۲۱ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر)، بود. خصوصیات خاک گلدان مورد استفاده پیش از آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. نشاء آویشن از بخش گیاهان دارویی مرکز تحقیقات جهاد دانشگاهی تهیه شد. به منظور داشتن نمونه تخریبی جهت اندازه‌گیری صفات، هر سطح تیماری شامل دو گلدان بود که مجموعاً هر بلوک آزمایشی متشکل از ۱۸ گلدان در سه تکرار بوده که در هر گلدان سه نشاء کاشته شد.

اعمال تیمارهای آزمایشی، تنش شوری: پس از استقرار کامل گیاهچه‌ها، جهت اعمال سطوح شوری موردنظر، آبیاری با آب شور حاصل از نمک کلرید سدیم (NaCl) هر سه روز یکبار انجام شد و به منظور جلوگیری از تجمع نمک هر ۱۴ روز یکبار در هر تیمار، آبشویی گلدان‌ها انجام شد. همچنین به منظور جلوگیری از شوک ناگهانی ناشی از تنش شوری آب آبیاری، تیمارهای شوری از کمترین مقدار شروع و غلظت‌های بیشتر به تدریج طی چند روز به گلدان‌ها اضافه شد.

تیمار محلول‌پاشی: محلول‌پاشی برگی هورمون سولفات پتاسیم مجموعاً در دو مرحله صورت گرفت. مرحله اول در زمان رشد رویشی و دو هفته پس از اعمال تنش و مرحله دوم محلول‌پاشی در ابتدای ورود گیاهان به فاز زایشی انجام شد.

در مرحله گلدهی، نمونه‌برداری از آخرین برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته گیاهچه‌های آویشن دنایی جهت تعیین شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی انجام گرفت. پس از نمونه‌برداری برگی به منظور سنجش محتوی نسبی آب برگ، از هر تیمار چند نمونه برداشته و به سرعت در نیتروژن مایع قرار گرفتند. سپس نمونه‌های جمع‌آوری‌شده جهت اندازه‌گیری شاخص‌های بیوشیمیایی در فریزر ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. شاخص‌های بیوشیمیایی شامل پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، پراکسیداسیون لیپیدی (MDA)، محتوی رنگیزه‌های نوری شامل کلروفیل (*a*, *b*) و کارتنوئید؛ فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدان نظیر سوپراکسید دسموتاز (SOD) و آسکوربات پراکسیداز (APX) و همچنین غلظت پروتئین کل بود.

محتوی نسبی آب برگ: محتوای نسبی آب برگ در مرحله

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-05]

جدول ۱- تجزیه خاک مورد استفاده در آزمایش گلخانه‌ای

بافت خاک	pH	هدایت الکتریکی ds/m	درصد ماده آلی	وزن مخصوص ظاهری	ظرفیت تبادل کاتیونی	فسفر	سدیم	پتاسیم
						(mg/kg soil)		
شنی رسی لومی	۷/۳۵	۰/۵۱	۱/۸۰	۱/۲۸	۱۱/۱۰	۴۴	۲۶۶/۷۶	۱۰۰/۲۱

گلدهی به روش Barrs و Weatherley (۱۹۶۲) و با استفاده از فرمول زیر، برحسب درصد محاسبه شد که در آن وزن تر (FW)، وزن در حالت تورژسانس (TW) و وزن خشک نمونه (DW) است.

$$RWC = (FW - DW) / (TW - DW)$$

اندازه‌گیری محتوی کلروفیل و کاروتنوئید: به منظور سنجش این صفات، میزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول‌موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر تعیین شد و محتوی کلروفیل *a*، *b* و کاروتنوئید براساس روش Arnon (۱۹۶۷) محاسبه شدند.

محتوی پرولین: اندازه‌گیری محتوی پرولین بر مبنای روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) انجام شد و با توجه به منحنی استاندارد پرولین در دستگاه طیف‌سنج نوری Shimadzu uv-160) در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر غلظت پرولین تعیین شد.

محتوی پراکسید هیدروژن: مقدار پراکسید هیدروژن براساس واکنش پراکسید هیدروژن با یدید پتاسیم (KI) و براساس روش Alexieva و همکاران (۲۰۰۱) تعیین شد.

محتوی مالون دی‌آلدئید: میزان اکسیداسیون گیاهچه‌ها براساس تجمع مالون دی‌آلدئید (MDA) برگ و با استفاده از محلول تیوباربیتوریک اسید (TBA) تعیین شد. برای این منظور، میزان جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده و محتوی مالون دی‌آلدئید تعیین شد (Heath and Packer, 1968).

پروتئین کل و سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان: نمونه‌های برگی با استفاده از ازت مایع به خوبی پودر شدند و ۰/۵ گرم از پودر حاصل به فالکون‌های ۱۵ میلی‌لیتری منتقل و ۲/۵ میلی‌لیتر بافر استخراج به آنها افزوده شد. پس از ورتکس نمونه همراه با بافر استخراج، نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ و از مایع رویی برای قرائت محتوی پروتئین کل و سنجش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دسموتاز و آسکوربات پراکسیداز استفاده شد. در نهایت سنجش غلظت پروتئین کل محلول با استفاده از روش Bradford (۱۹۷۶) در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر، فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز (APX) با استفاده از روش Ranieri و همکاران (۲۰۰۰) و در طول‌موج ۲۹۰ نانومتر و و سوپراکسید دسموتاز با استفاده از روش Giannopolitis و Ries (۱۹۷۷) خوانده شد.

در نهایت جهت تجزیه واریانس داده‌ها، از نرم‌افزار آماری SAS 9.4، و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

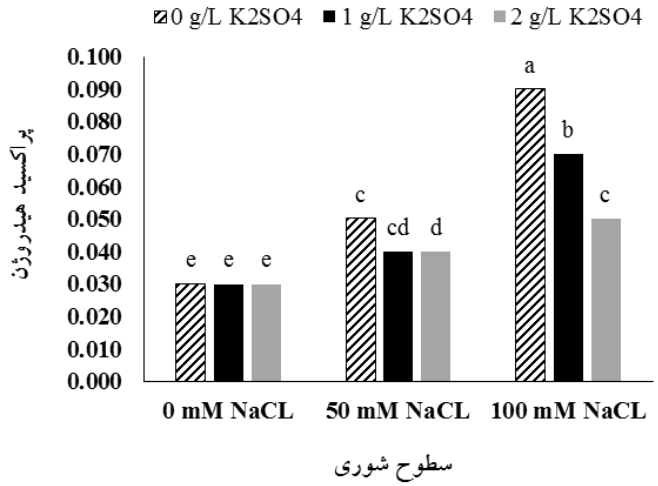
محتوی پراکسید هیدروژن: نتایج تجزیه واریانس صفات حاکی از تأثیرپذیری محتوی پراکسید هیدروژن از برهمکنش فاکتورهای شوری و محلول‌پاشی در سطح یک درصد بود (جدول ۲). محتوی پراکسید هیدروژن در شرایط بدون شوری در هر سه سطح تیماری محلول‌پاشی برابر با ۰/۰۳۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود و از این نظر اختلافی با یکدیگر نداشتند (شکل ۱). با افزایش شدت شوری محتوی پراکسید هیدروژن به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ولی کاربرد سطوح محلول‌پاشی توانست تا حدی محتوی پراکسید هیدروژن را کاهش دهد. بر این اساس مشاهده شد که بیشترین محتوی پراکسید هیدروژن در شرایط ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و سطح تیماری بدون محلول‌پاشی (۰/۰۹۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود و نسبت به شرایط شاهد افزایش ۲۰۰ درصدی را نشان داد. اما در همین سطح تنش شوری، کاربرد سطوح ۱ و ۲ گرم بر لیتر به ترتیب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-05]

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی آویشن دنایی

منابع تغییر	df	میانگین مربعات				
		پراکسید هیدروژن	مالون دی‌آلدئید	پروتئین کل	آسکوربات پراکسیداز	سوپراکسید دسموتاز
تکرار	۲	۰/۰۰۰۰۲	۲/۱۵	۱/۰۷	۰/۰۰۰۰۱۲	۰/۳۲
شوری	۲	۰/۰۰۳۵**	۱۱۷**	۱۸۰**	۰/۴۲۲**	۳۵**
محلول پاشی	۲	۰/۰۰۰۶**	۶/۳۳*	۱۱/۳**	۰/۲۸**	۴/۳۸ ns
شوری × محلول‌پاشی	۴	۰/۰۰۰۳۱**	۰/۷۳ ns	۴/۱۸*	۰/۱۶**	۲/۲۹**
خطا	۱۶	۰/۰۰۰۰۱۳	۱/۱۶	۱/۴۱	۰/۰۰۰۲	۰/۲۰
ضریب تغییرات (٪)		۹/۱۱	۱۳/۵۴	۱۰/۰۷	۳/۷	۷/۳۸

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد



شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش فاکتورهای شوری و محلول‌پاشی از نظر صفت محتوی H_2O_2. ستون‌های دارای حروف مشترک، از نظر آزمون دانکن در سطح پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

۲۲ و ۴۴ درصد محتوی پراکسید هیدروژن را کاهش دادند (شکل ۱). در این پژوهش، افزایش پراکسید هیدروژن در آویشن دنایی در اثر تنش شوری نشان‌دهنده ایجاد تنش اکسیداتیو تحت این شرایط است. پراکسید هیدروژن می‌تواند با رادیکال سوپراکسید وارد واکنش شده و رادیکال‌های هیدروکسیل فعال‌شده بیشتری را ایجاد نمایند. رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل آغازگر واکنش‌هایی است که سبب پراکسیداسیون لیپیدها می‌گردد (Qiao *et al.*, 2021). افزایش محتوی پراکسید هیدروژن تحت تنش شوری در این پژوهش با نتایج یافته‌های سایر محققان مطابقت داشت (آریان و همکاران، ۱۳۹۷؛ Poursakhi *et al.*, 2019). این محققان در بررسی تأثیر غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار شوری (NaCl) بر خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مرزه خوزستانی گزارش دادند که به دنبال افزایش شدت شوری، محتوی پراکسید هیدروژن به طور معنی‌داری افزایش یافت (آریان و همکاران، ۱۳۹۷).

محتوی مالون دی‌آلدئید: نتایج تجزیه واریانس بیانگر تأثیرپذیری محتوی مالون دی‌آلدئید از اثرات اصلی شوری و محلول‌پاشی به ترتیب در سطح یک و پنج درصد بود (جدول ۲). میانگین محتوی این شاخص در شرایط شوری نشان داد که

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-05]

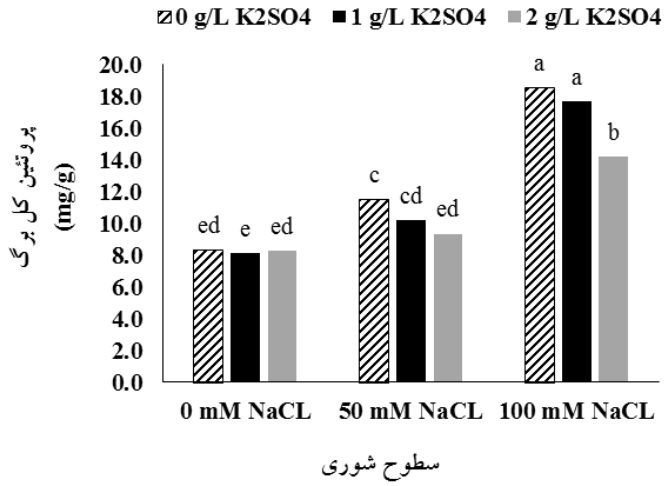
کمترین مقدار شاخص پراکسیداسیون مربوط به شرایط شاهد با میانگین ۴/۷ میکرومول بر گرم وزن تر بود که تحت ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به ترتیب با ۵۷ و ۱۵۳درصد افزایش به مقادیر ۷/۴ و ۱۱/۹ میکرومول بر گرم وزن تر رسید و از این نظر بین سطوح تیماری اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده و ثبت شد (جدول ۴). در بررسی سطوح محلول‌پاشی نیز مشاهده شد که بین سطوح تیماری شاهد و ۱ گرم بر لیتر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ولی در سطح تیماری ۲ گرم بر لیتر محتوی مالون دی‌آلدئید ۱۷ درصد کاهش یافت و به ۷/۰۳ میکرومول بر گرم وزن تر رسید و از این نظر با دو سطح تیماری دیگر اختلاف آماری معنی‌داری داشت. این نتایج با یافته‌های آریان و همکاران (۱۳۹۷) که افزایش پراکسیداسیون لیپیدی را تحت تنش شوری در مرزه خوزستانی گزارش داده بودند، مطابقت داشت. در واقع رادیکال‌های سوپراکسید ایجادشده تحت تنش شوری منجر به ایجاد پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و افزایش میزان MDA و در نتیجه آسیب غشا سلولی در طی تنش شوری می‌شوند. نتایج مطالعات محققان نشان داده است که مالون دی‌آلدئید محصول تجزیه اسیدهای چرب غیراشباع است که به عنوان یک نشانگر زیستی برای اندازه‌گیری پراکسیداسیون لیپیدها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Abdelaal *et al*., 2019).

محتوی پروتئین کل: براساس نتایج تجزیه واریانس صفات، محتوی پروتئین برگ تحت تأثیر برهمکنش شوری و محلول‌پاشی در سطح پنج درصد قرار گرفت (جدول ۲). در بررسی مقایسه میانگین این صفت مشخص شد که کمترین میانگین محتوی پروتئین مربوط به تیمار بدون تنش شوری در هر سه سطح تیماری محلول‌پاشی بود و از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با همدیگر نداشتند. در مقابل بیشترین محتوی پروتئین برگ مربوط به سطح تیماری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و سطوح صفر و ۱ گرم بر لیتر محلول‌پاشی (۱۸/۶ و ۱۷/۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود و از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۲). گزارش شده که افزایش پروتئین تحت تنش شوری، احتمالاً جهت تنظیم اسمزی و در نهایت ممانعت از کاهش آب گیاه باشد (Parida and Das, 2004)؛ به بیانی دیگر افزایش میزان پروتئین احتمالاً به سبب افزایش سنتز پروتئین‌های جدید ناشی از بروز ژن‌های تحمل به تنش و یا کاهش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین است (توکلی و همکاران، ۱۳۹۵). افزایش پروتئین تحت تنش شوری در گیاهان برنج (Kawasaki *et al*., 2001)؛ جو (توکلی و همکاران، ۱۳۹۵) و غیره گزارش شده است که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

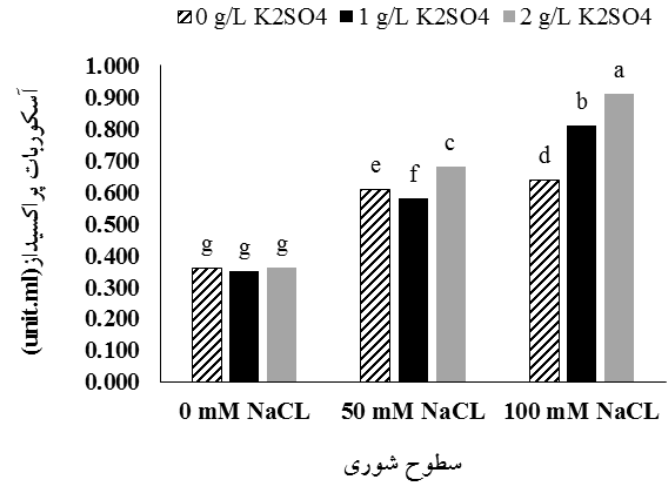
آسکوربات پراکسیداز: برهمکنش معنی‌داری از نظر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در بین فاکتورهای آزمایشی در سطح یک درصد مشاهده و ثبت شد (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین صفات، فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در شرایط بدون شوری و سطوح صفر، ۱ و ۲ گرم بر لیتر به ترتیب برابر با ۰/۳۶۰، ۰/۳۵۰ و ۰/۳۶۰ واحد آنزیمی در هر میلی‌لیتر عصاره آنزیمی بود و از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۳). بیشترین فعالیت این آنزیم مربوط به سطح تیماری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و کاربرد ۲ گرم بر لیتر محلول‌پاشی سولفات پتاسیم با میانگین ۰/۹۱۰ واحد آنزیمی در هر میلی‌لیتر عصاره آنزیمی بود و از این نظر سطوح محلول‌پاشی در این سطح تنش شوری اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر داشتند (شکل ۳). پراکسیدازها مسئول حذف مقادیر اضافی پراکسید هیدروژن در شرایط تنش می‌باشند. آنزیم SOD با تبدیل آنیون سوپراکسید به پراکسید هیدروژن، از یکسو موجب حذف این آنیون شده و از سوی دیگر با القای آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز، سمیت پراکسید هیدروژن را در سلول کاهش می‌دهد (Parihar *et al*., 2015). این یافته‌ها، نتایج حاصل از پژوهش حاضر مبنی بر افزایش فعالیت آسکوربات پراکسیداز تحت تنش شوری و افزایش فعالیت این آنزیم در شرایط کاربرد محلول‌پاشی سولفات پتاسیم را توجیه می‌نماید.

فعالیت سوپراکسید دسموتاز: برهمکنش معنی‌داری از نظر فعالیت سوپراکسید دسموتاز تحت سطوح فاکتورهای شوری و محلول‌پاشی در سطح یک درصد مشاهده و ثبت شد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-05]



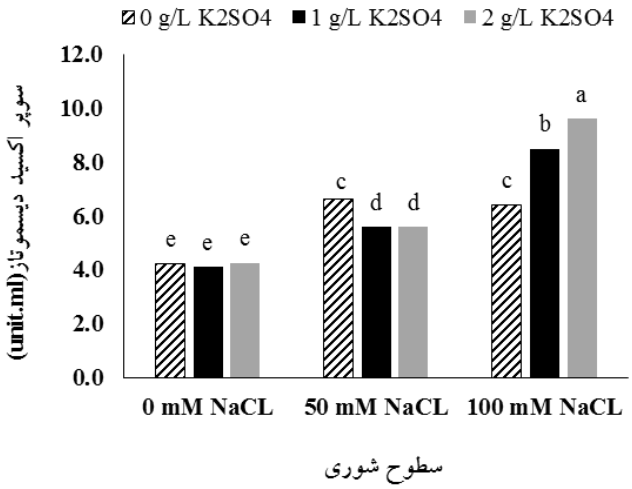
شکل ۲- مقایسه میانگین برهمکنش فاکتورهای شوری و محلول‌پاشی از نظر صفت پروتئین کل برگ. ستون‌های دارای حروف مشترک، از نظر آزمون دانکن در سطح پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.



شکل ۳- مقایسه میانگین برهمکنش فاکتورهای شوری و محلول‌پاشی از نظر صفت فعالیت آسکوربات پراکسیداز. ستون‌های دارای حروف مشترک، از نظر آزمون دانکن در سطح پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

(جدول ۲). در بررسی مقایسه میانگین برهمکنش فاکتورهای شوری و محلول‌پاشی مشاهده شد که با افزایش شدت شوری، فعالیت سوپراکسید دسموتاز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت؛ به گونه‌ای که در شرایط شاهد بین سطوح محلول‌پاشی اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت و کمترین میزان فعالیت این آنزیم مشاهده شد؛ در مقابل تحت تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و ۲ گرم محلول‌پاشی سولفات پتاسیم (۹/۶۰ واحد آنزیمی در هر میلی‌لیتر عصاره آنزیمی) بیشترین میزان فعالیت آنزیمی مشاهده شد که افزایش ۱۲۸ درصدی را نسبت به سطوح تیماری شاهد (بدون تنش شوری) نشان داد (شکل ۴). تحت تنش شوری آنیون سوپراکسید در سلول تولید می‌شود، زیرا مهمترین تأثیر تنش شوری ایجاد اختلال در محتوی آب سلولی است که منجر به کاهش رشد می‌گردد. همچنین افزایش تنفس در این شرایط سبب تولید یون‌های مخرب در میتوکندری سلول می‌شود. در چنین شرایطی فعالیت سوپراکسید دیسموتاز به‌عنوان یک آنزیم آنتی‌اکسیدانی از بین برنده یون سوپراکسید، مشابه نتایج به‌دست‌آمده، افزایش می‌یابد. با افزایش فعالیت این آنزیم سمیت‌زدایی یون

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-05]



شکل ۴- مقایسه میانگین برهمکنش فاکتورهای شوری و محلول‌پاشی از نظر صفت فعالیت سوپراکسید دسموتاز. ستون‌های دارای حروف مشترک، از نظر آزمون دانکن در سطح پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

سوپراکسید افزایش و آسیب‌های حاصل از آن در گیاه کاهش می‌یابد. همچنین در این پژوهش کاربرد محلول‌پاشی سولفات پتاسیم توانست فعالیت این آنزیم را بهبود ببخشد (BenMoussa-Dahmen *et al*., 2016).

محتوی کلروفیل a، b و کل: بررسی نتایج تجزیه واریانس محتوی کلروفیل a، b و کل نشان داد که محتوی کلروفیل a تنها تحت تأثیر اثر اصلی شوری در سطح یک درصد، محتوی کلروفیل b تحت تأثیر اثرات اصلی شوری و محلول‌پاشی به ترتیب در سطح یک و پنج درصد و کلروفیل کل تحت تأثیر اثرات اصلی شوری و محلول‌پاشی در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی شوری نشان داد که محتوی کلروفیل a در شرایط شاهد برابر ۱۰/۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود که تحت سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به ترتیب با ۱۴ و ۳۹ درصد کاهش به مقادیر ۹/۴ و ۶/۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر رسید (جدول ۳). در بررسی تأثیرپذیری صفت کلروفیل b نیز مشاهده شد که در بین سطوح شوری، میانگین کلروفیل b در شرایط شاهد برابر با ۶/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود که تحت سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به ترتیب با ۱۸ و ۳۰ درصد کاهش به مقادیر ۵ و ۴/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر رسید. در مقابل کاربرد محلول‌پاشی توانست به‌طور معنی‌داری میانگین کلروفیل b را افزایش دهد. بر این اساس میانگین کلروفیل b در شرایط شاهد برابر با ۴/۷۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود که در شرایط کاربرد سطوح ۱ و ۲ گرم بر لیتر محلول‌پاشی سولفات پتاسیم به ترتیب برابر با ۷ و ۱۹ درصد افزایش به مقادیر ۵/۰۷ و ۵/۶۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر رسید (جدول ۴).

تغییرات محتوی کلروفیل کل تحت تأثیر اثر اصلی شوری نیز نشان داد که تحت سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، میانگین محتوی این صفت برابر با ۱۴/۴ و ۱۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود که به ترتیب کاهش ۱۶ و ۳۶ درصدی را نسبت به شرایط شاهد (۱۷/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) نشان داد. در مقابل بررسی وضعیت تغییرات کلروفیل کل در شرایط محلول‌پاشی حاکی از تأثیر مثبت محلول‌پاشی سولفات پتاسیم بر محتوی کروفیل کل بود. به‌طوری‌که محتوی کلروفیل کل از ۱۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر به مقادیر ۱۴ و ۱۵/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر به ترتیب تحت سطوح ۱ و ۲ گرم بر لیتر محلول‌پاشی سولفات پتاسیم قرار گرفت. که البته از این نظر بین سطوح شاهد و غلظت ۱ گرم بر لیتر اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت و میانگین پایین‌تری نسبت به تیمار ۲ گرم بر لیتر داشتند (جدول ۴).

به‌طورکلی، نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-05]

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی آویشن دنایی

منابع تغییر	df	میانگین مربعات					
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید	پرولین	محتوی نسبی آب برگ
تکرار	۲	۵/۲۳	۰/۳۴	۳/۸۹	۰/۲۸	۰/۰۰۰۲۳	۱/۲۷
شوری	۲	۴۱/۸**	۷/۶۲**	۸۳/۵**	۱۸۱**	۰/۱۰**	۱۶۷۱**
محلول پاشی	۲	۵/۶۱	۱/۹۴*	۱۴/۲**	۱۱/۲۰*	۰/۰۰۳۲*	۵۴*
شوری × محلول‌پاشی	۴	۰/۸۱ns	۰/۶۳ns	۲/۷۵ns	۲/۰۶ns	۰/۰۰۰۶۶ns	۱۱/۳۵ns
خطا	۱۶	۱/۷۳	۰/۳۶۴	۱/۵۴	۲/۴۱	۰/۰۰۰۶۷	۱۴/۶۹
ضریب تغییرات (٪)		۱۴/۶۱	۱۱/۷۱	۸/۷۶	۱۱/۱۵	۱۱/۸۹	۵/۲۹

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی شوری و محلول‌پاشی بر صفات آویشن دنایی

		پرولین	محتوی نسبی آب برگ	مالون دی‌آلدئید	کارتنوئید	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a
سطوح شوری (mM NaCL)	۰	۰/۱۱۱c	۸۴/۸a	۴/۷c	۹/۶c	۱۷/۱a	۶/۱a	۱۰/۹a
	۵۰	۰/۲۱۴b	۷۴/۸b	۷/۴b	۱۳/۶b	۱۴/۴b	۵b	۹/۴b
	۱۰۰	۰/۳۲۸a	۵۷/۸c	۱۱/۹a	۱۸/۶a	۱۱c	۴/۳c	۶/۷c
سطوح محلول‌پاشی ($g/L\ K_2SO_4$)	۰	۰/۱۹۹b	۶۹/۷b	۸/۵a	۱۲/۹b	۱۳b	۴/۷۴b	۸/۲۵b
	۱	۰/۲۱۸ab	۷۳/۳ab	۸/۴۶a	۱۳/۷۷ab	۱۴/۰۱b	۵/۰۷ab	۸/۹۴ab
	۲	۰/۲۳۷a	۷۴/۴a	۷/۰۳b	۱۵/۱۲a	۱۵/۴۹a	۵/۶۶a	۹/۸۳a

ستون‌های دارای حروف مشترک، از نظر آزمون دانکن در سطح پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

تنش شوری سبب کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل) شد. در مقابل کاربرد محلول‌پاشی سولفات پتاسیم توانست تا حدی اثرات تنش شوری را تخفیف دهد و منتج به افزایش محتوی کلروفیل در سطوح ۱ و ۲ گرم بر لیتر محلول‌پاشی سولفات پتاسیم نسبت به شرایط شاهد (بدون محلول‌پاشی) شوند. این نتایج با پژوهش ملک‌زاده شمس‌آباد و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت داشت. این محققان در بررسی سطوح محلول‌پاشی با سولفات پتاسیم بر رنگدانه‌های نوری گزارش دادند که محلول‌پاشی سولفات پتاسیم با غلظت یک و دو گرم بر لیتر به ترتیب سبب افزایش ۲۱/۶ و ۶/۴۵ درصدی محتوی کلروفیل کل توت‌فرنگی در مقایسه با گیاهان شاهد شدند. بررسی پژوهش‌های پیشین در این راستا نشان داد که از علائم بروز تنش‌های اکسیداتیو در گیاهان می‌توان کاهش محتوی کلروفیل و نفوذپذیری غشاء می‌باشد که منتج به کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش رشد گیاه می‌شوند (جعفری و همکاران، ۱۴۰۰). کاهش غلظت کلروفیل تحت شرایط تنش شوری می‌تواند به عنوان یک عامل محدودکننده غیرروزنه‌ای به شمار آید و علت آن را می‌توان به افزایش میزان فعالیت آنزیم کلروفیلاز نسبت داد که البته تحت شرایط تنش بیان این آنزیم القاء می‌گردد (Sayyari *et al*., 2013).

محتوی کارتنوئید: نتایج تجزیه واریانس صفت محتوی کارتنوئید حاکی از تأثیرپذیری این رنگیزه نوری از اثرات اصلی شوری در سطح یک درصد و محلول‌پاشی در سطح پنج درصد بود (جدول ۳). در شرایط بدون شوری، محتوی کارتنوئید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-05]

برابر با ۹/۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود که تحت سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به ترتیب با ۴۲ و ۹۴ درصد افزایش به مقادیر ۱۳/۶ و ۱۸/۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر رسید. بررسی اثر اصلی محلول‌پاشی نیز نشان داد که کاربرد سطوح ۱ و ۲ گرم بر لیتر محلول‌پاشی محتوی کارتنوئید را به ترتیب ۷ و ۱۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد که البته از این نظر بین سطوح ۱ و ۲ گرم بر لیتر اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). کارتنوئیدها به عنوان آنتی‌اکسیدان‌های بیولوژیکی نقش بسیار مهمی در حفاظت از بافت گیاهی بر عهده دارند. عدم حضور کارتنوئیدها ممکن است سبب تنش فتواکسیداتیو شدید در بافت گیاهی گردد (Gill and Tuteja, 2010). افزایش غلظت کارتنوئیدها همراه با افزایش سطح تنش شوری احتمالاً بخشی از سازوکارهای دفاعی گیاه در برابر تنش شوری است. این نتایج با یافته‌های کریمی و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت داشت. این محققان در بررسی سطوح مختلف شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) بر ژنوتیپ‌های حساس و متحمل گلرنگ گزارش دادند که افزایش غلظت شوری منجر به افزایش محتوی کارتنوئیدها شد و از این نظر واکنش ارقام حساس و متحمل متفاوت بود (کریمی و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین در این پژوهش مشخص شد که کاربرد محلول‌پاشی سولفات پتاسیم تأثیر مثبتی بر محتوی کارتنوئید داشت. افزایش محتوی کارتنوئید به دنبال کاربرد محلول‌پاشی سولفات پتاسیم تحت تنش شوری در گیاهان توت‌فرنگی (Yildirim *et al.*, 2009)، انگور (مینازاده و همکاران، ۱۳۹۷) و ... گزارش شده است که نشان‌دهنده نقش پتاسیم در پایداری رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌باشد. در واقع پتاسیم با افزایش تجمع اسمولیت‌های سازگار مانند پرولین، حفظ محتوای نسبی آب برگ که در این بررسی نیز تأیید شد و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، تجمع گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش داد و در نتیجه به پایداری بیشتر رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله کاروتنوئید آویشن در معرض تنش شوری منجر شد (مینازاده و همکاران، ۱۳۹۷).

محتوی پرولین: نتایج تجزیه واریانس صفات حاکی از تأثیر معنی‌دار اثر اصلی شوری در سطح یک درصد و محلول‌پاشی در سطح پنج درصد بود (جدول ۳). با افزایش شدت شوری، محتوی پرولین افزایش شدیدی یافت و از این نظر بین سطوح تیماری اختلاف آماری معنی‌داری وجود داشت. میانگین محتوی پرولین در شرایط شاهد برابر با ۰/۱۱۱ میکرومول بر گرم وزن تر بود که تحت سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به ترتیب با ۹۳ و ۱۹۵ درصد به مقادیر ۰/۲۱۴ و ۰/۳۲۸ میکرومول بر گرم وزن تر رسید (جدول ۴). در بررسی مقایسه میانگین اثر اصلی محلول‌پاشی نیز مشاهده شد که کاربرد محلول‌پاشی به ویژه در سطح ۲ گرم بر لیتر (۰/۲۳۷ میکرومول بر گرم وزن تر) سبب افزایش معنی‌دار محتوی پرولین نسبت به شرایط شاهد (۰/۱۹۹ میکرومول بر گرم وزن تر) شد و از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر داشتند (جدول ۳). افزایش میزان پرولین تحت تنش شوری در سایر پژوهش‌های محققان نیز گزارش شده است (هراتی و همکاران، ۱۳۹۵؛ خادم‌الحسینی و همکاران، ۱۴۰۰). در این راستا، خادم‌الحسینی و همکاران (۱۴۰۰) گزارش دادند که تنش شوری تا سطح ۴ دسی‌زیمنس بر متر منجر به افزایش معنی‌دار پرولین در بافت‌های گیاه آویشن باغی شد. با این وجود تنش شوری ۷ دسی‌زیمنس بر متر منجر به کاهش معنی‌دار مقدار پرولین شده است. در پژوهش حاضر، محلول‌پاشی همان‌طور که نتایج نشان داد، محلول‌پاشی سولفات پتاسیم توانست سبب افزایش پرولین برگ آویشن دنایی در مقایسه با شرایط شاهد گردد. این نتایج با یافته‌های Heidari و Jamshidi (۲۰۱۱) نیز که تأثیر مثبت کاربرد پتاسیم بر افزایش پرولین تحت تنش شوری در ارزن مرواریدی را گزارش دادند، مطابقت داشت. با توجه به نقش مؤثر اسیدآمینه پرولین در تعدیل آثار مخرب ناشی از تنش شوری و تنظیم اسمزی، این افزایش قابل توجیه است. به نظر می‌رسد تجمع زیاد پرولین، گیاه را قادر نموده تنش اسمزی ناشی از شوری را تا حدی برطرف نموده و منجر به توازن اسمزی شود (Poursakhi *et al.*, 2019).

محتوی نسبی آب برگ: از نظر محتوی نسبی آب برگ نیز

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-05]

مشاهده شد که اثرات اصلی شوری در سطح یک درصد و اثر اصلی محلول‌پاشی در سطح پنج درصد تأثیر معنی‌داری بر میانگین این صفت داشتند (جدول ۳). بررسی مقایسه میانگین اثر اصلی شوری نشان داد که با افزایش شدت شوری محتوی نسبی آب برگ به طور معنی‌داری کاهش یافت؛ به گونه‌ای که بیشترین میانگین این صفت در شرایط شاهد (۸۴/۸ درصد) و کمترین میانگین مربوط به سطح ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم (۵۷/۸ درصد) بود و از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر داشتند (جدول ۴). در مقابل کاربرد محلول‌پاشی توانست محتوی نسبی آب برگ را افزایش دهد، به گونه‌ای که کمترین محتوی نسبی آب برگ مربوط به شرایط شاهد (بدون محلول‌پاشی) با میانگین ۶۹/۷ درصد و بیشترین مقدار مربوط به شرایط کاربرد ۲ گرم بر لیتر با میانگین ۷۴/۴ درصد بود و از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر داشتند (جدول ۳). به‌طورکلی، نتایج بیانگر این امر بود که افزایش شدت شوری، سبب کاهش محتوی نسبی آب برگ شد. با توجه به اینکه تنش شوری مانع جذب آب توسط گیاه می‌گردد، بدیهی است که گیاه جهت مقابله با این تنش مجبور به کاهش محتوی آب برگ‌های خود است. این نتایج با یافته‌های آقایی و همکاران (۱۳۹۸) مطابقت داشت که گزارش دادند شدت‌های بالاتر شوری آب آبیاری سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ و افزایش میزان آب نسبی از دست‌رفته برگ‌ها شد (آقایی و همکاران، ۱۳۹۸). همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد محلول‌پاشی سولفات پتاسیم منجر به بهبود محتوی نسبی آب برگ داشت که با یافته‌های Marschner (۱۹۹۵) مطابقت داشت. این محقق بیان داشت که یکی از اثرات مثبت پتاسیم در شرایط تنش، خاصیت اسموتیکی آن در واکوئل بوده که سبب نگهداری آب سلول تحت این شرایط می‌گردد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثر محلول‌پاشی سولفات پتاسیم بر برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی آویشن دنایی تحت تنش شوری بررسی شد. نتایج نشان داد که کاربرد سولفات پتاسیم به صورت محلول‌پاشی، تا حدود زیادی از پراکسیداسیون لیپیدی جلوگیری به عمل آورده، در نتیجه با کاهش تولید پراکسید هیدروژن و محتوای مالون دی‌آلدئید، سبب افزایش تحمل آویشن دنایی به تنش شوری شد. کاربرد سولفات پتاسیم ممکن است از طریق تحریک سیستم‌های مقاومتی گیاه، منجر به افزایش بیان ژن‌های دخیل و افزایش محتوای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از قبیل آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دسموتاز و یا افزایش ترکیبات سازگار با سیتوپلاسم نظیر پرولین شود و در نهایت تحمل گیاه افزایش یابد.

منابع

آریان، زهرا، مرآتی، محمدجواد، ابراهیم‌زاده، حسن، هادیان، جواد، و میرمعصومی، مسعود (۱۳۹۷). تحلیل اثر تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی مرزه خوزستانی (*Satureja khuzistanica* Jamzad). *پژوهش‌های گیاهی (زیست‌شناسی ایران)*، ۳۱(۱)، ۱-۱۱. DOR: 20.1001.1.23832592.1397.31.1.1.7

آقایی، مجید، زینلی، ابراهیم، سلطانی، افشین، و گالشی، سرالله (۱۳۹۸). کاهش اثر تنش شوری آب آبیاری توسط محلول‌پاشی سولفات پتاسیم در پنبه. *تولید گیاهان زراعی (مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی)*، ۱۲ (۱)، ۱۷-۳۲. DOR:10.22069/EJCP.2019.11633.1894

افلاکیان، سمیه، زینلی، حسین، مداح عارفی، حسن، انتشاری، شکوفه، و کاوه، شیرین (۱۳۹۱). بررسی عملکرد و اجزای عملکرد یازده اکوتیپ آویشن دنایی، *فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۲۸(۲)، ۱۸۷-۱۹۷. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2012.3020

توکلی، فرحناز، وزان، سعید، سرخه، کریم، و شاکری، احسان (۱۳۹۵). اثر تنش شوری بر برخی از صفات فیزیولوژیک و الگوی الکتروفورزی پروتئین‌های برگی دو رقم جو. *تولید فرآوری محصولات زراعی و باغی*، ۶(۱۹)، ۱۹۱-۲۰۱. DOR:

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-05]

20.1001.1.22518517.1395.6.19.14.8

خادم‌الحسینی، زینب، جعفریان، زینب، روشن، وحید، و رنجبر، غلامحسن (۱۴۰۰). تأثیر سطوح شوری آب آبیاری بر برخی صفات بیوشیمیایی گیاه دارویی آویشن باغی. *مجله فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۰ (۴۱)، ۹۷-۱۱۳، DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.1.1

عطارزاده، محمود، رحیمی، اصغر، ترابی، بنیامین، و دشتی، حسین (۱۳۹۴). تأثیر محلول‌پاشی نیترات کلسیم، پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات و سولفات منگنز بر تجمع یونی و ویژگی‌های فیزیولوژیک گلرنگ در شرایط تنش شوری. *پژوهش‌های کاربردی زراعی (پژوهش و سازندگی)*، ۲۸(۱۰۷)، ۱۳۳-۱۴۲. DOI:10.22092/AJ.2015.105714

کریمی، سمیه، ارزانی، احمد، سعیدی، و قدرت‌الله (۱۳۹۴). تأثیر تنش شوری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و محتوی کلروفیل برگ در ژنوتیپ-های حساس و متحمل به شوری گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). *مجله فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۴(۱۳)، ۲۵-۳۵. DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.13.9.1

گلستانی، مسعود (۱۳۹۹). اثر تنش شوری بر برخی صفات زراعی و فیزیولوژیکی آویشن دنایی (*Thymus daenensis* subsp. daenensis). *مجله فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۹ (۳۸)، ۴۵۹-۴۷۷. DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.27.4

ملک‌زاده شمس‌آباد، محمدرضا، اسماعیلی‌زاده، مجید، روستا، حمیدرضا، و ناظوری، فاطمه (۱۳۹۹). بررسی اثر تعداد دفعات محلول‌دهی و محلول‌پاشی با سولفات پتاسیم بر برخی صفات رویشی، زایشی، فیزیولوژیکی و عناصر معدنی در گیاه توت‌فرنگی رقم پاروس در کشت بدون خاک. *به‌زراعی کشاورزی (مجله کشاورزی پردیس ابوریحان)*، ۲۲(۱)، ۱۶۵-۱۷۹. DOR: 20.1001.1.83372008.1399.22.1.12.9

هراتی، الهام، کاشفی، بهاره، و متینی‌زاده، محمد (۱۳۹۵). بررسی کاهش اثرات سوء تنش شوری بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی آویشن دنایی (*Thymus daenensis* Celak) از طریق کاربرد اسید سالیسیلیک. *دو فصلنامه فنآوری تولیدات گیاهی*، ۸(۲)، ۱۱۱-۱۲۵. DOI: 10.22084/PPT.2016.1859

زارع‌زاده، عباس، مداح عارفی، حسن، شریفی عاشورآبادی، ابراهیم، میرحسینی، علی، عرب‌زاده، و محمدرضا (۱۳۹۴). بررسی سازگاری و فنولوژی برخی از گونه‌های جنس آویشن در شرایط زراعی. *مجله تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۱(۳)، ۵۳۹-۵۵۳. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2015.101931

جعفری، طاهره، ایرانبخش، علیرضا، کمالی علی‌آباد، کاظم، دانشمند، فاطمه، و سیفی، سیدابراهیم (۱۴۰۰). تأثیر سطوح تنش شوری بر برخی پارامترهای رشد، غلظت یون‌های معدنی، اسمولیت‌ها، آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی و فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز در سه ژنوتیپ کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd). *مجله تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی و مولکولی*، ۱۲ (۴۵)، ۶۳-۸۵. DOR: 20.1001.1.22285458.1400.12.45.3.2

مینازاده، راضیه، کریمی، روح‌الله، و محمدپرست، بهروز (۱۳۹۷). اثر تغذیه برگی سولفات پتاسیم بر شاخص‌های مورفو-فیزیولوژیکی انگور تحت تنش شوری. *نشریه زیست‌شناسی گیاهی ایران*، ۱۰(۳)، ۸۳-۱۰۶. doi: 10.22108/ijpb.2018.111936.1105

Abdelaal, K. A., EL-Maghraby, L. M., Elansary, H., Hafez, Y. M., Ibrahim, E. I., El-Banna, M,. & Elkelish, A. (2019). Treatment of sweet pepper with stress tolerance-inducing compounds alleviates salinity stress oxidative damage by mediating the physio-biochemical activities and antioxidant systems. *Agronomy*, *10*(1), 26. https://doi.org/10.3390/agronomy10010026

Abdollahi Arpanahi, A. & Feizian, M. (2019). Variation in the essential oil composition and morphological parameters of *Thymus daenensis* Clack. with two species of mycorrhizal fungi under water deficit conditions. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *22*(3), 675-684. https://doi.org/10.1080/0972060X.2019.1604166

Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S., & Karanov, E. (2001). The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell and Environment*, *24*(12), 1337-1344. https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00778.x

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

Barrs, H. D. & Weatherley, P. E. (1962). A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-05]

deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, *15*, 413-428. http://dx.doi.org/10.1071/BI9620413

Bates, L. S., Waldern, R. P, & Tear, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 207-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

BenMoussa-Dahmen, I., Chtourou, H., Rezgui, F., Sayadi, S, & Dhouib, A. (2016). Salinity stress increases lipid, secondary metabolites and enzyme activity in *Amphora subtropica* and *Dunaliella* sp. for biodiesel production. *Bioresource Technology*, *218*, 816-825. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.022

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of micro gram quantities of protein utilizing the principle of proteindye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*, 248-254. doi: 10.1006/abio.1976.9999

Giannopolitis, C. N. & Ries, S. K. (1977). Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, *59*(2), 309-314. doi: 10.1104/pp.59.2.309

Gill, S. S. & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *48*, 909-930. doi: 10.1016/j.plaphy.2010.08.016

Heath, R. L. & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, *125*(1), 189-198. doi: 10.1016/0003-9861(68)90654-1

Heidari, M. & Jamshidi, P. (2011). Efect of salinity and potassium application on antioxidant enzyme activities and physiological parameters in pearl millet. *Agricultural Science in China*, *2*(10), 228-237. https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60309-6

Hussain, S., Shaukat, M., Ashraf, M., Zhu, C., Jin, Q., & Zhang, J. (2019). Salinity stress in arid and semi-arid climates: Effects and management in field crops. *Climate Change and Agriculture*, *13* (1). DOI: 10.5772/intechopen.87982

Kawasaki, S., Borchert, C., Deyholos, M., Wang, H., Brazille, S., Kawai, K., & Bohnert, H. J. (2001). Gene expression profiles during the initial phase of salt stress in rice. *The Plant Cell*, *13*(4), 889-905. doi: 10.1105/tpc.13.4.889

Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants 2nd Ed. Institute of Plant Nutrition University of Hohenheim, Germany. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-473542-2.X5000-7

Parida, A. K, & Das, A. B. (2004). Effects of NaCl stress on nitrogen and phosphorous metabolism in a true mangrove *Bruguiera parviflora* grown under hydroponic culture. *Journal of Plant Physiology*, *161*(8), 921-928. doi: 10.1016/j.jplph.2003.11.006

Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P., & Prasad, S. M. (2015). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, *22*(6), 4056-4075. doi: 10.1007/s11356-014-3739-1

Poursakhi, N., Razmjoo, J, & Karimmojeni, H. (2019). Interactive effect of salinity stress and foliar application of salicylic acid on some physiochemical traits of chicory (*Cichorium intybus* L.) genotypes. *Scientia Horticulturae*, *258*, 108810. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108810

Qiao, T., Zhao, Y., Zhong, D. B., & Yu, X. (2021). Hydrogen peroxide and salinity stress act synergistically to enhance lipids production in microalga by regulating reactive oxygen species and calcium. *Algal Research*, *53*, 102017. https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.102017

Ranieri, A., Castagna, A., & Soldatini, G. F. (2000). Differential stimulation of ascorbate peroxidase isoforms by ozone exposure in sunflower plants. *Journal of Plant Physiology*, *156*(2), 266-271. https://doi.org/10.1016/S0176-1617(00)80316-8

Rechinger, K. H., Hedge, I. C., Ietswaart, J. H., Jalas, J., Mennema, J., & Seybold, S. (eds). (1982). Labiatae. In: Flora Iranica 150. (ed. Rechinger, K. H.) Pp. 19-537. Akademische Druck- u. Verlagsanstalt, Graz.

Sayyari, M., Ghavami, M., Ghanbari, F., & Kordi, S. (2013). Assessment of salicylic acid impacts on growth rate and some physiological parameters of lettuce plants under drought stress conditions. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)*, *5*(17), 1951-1957. http://ijagcs.com/.../1951-1957.pdf

Summart, J., Thanonkeo, P., Panichajakul, S., Prathepha, P., & McManus, M. T. (2010). Effect of salt stress on growth, inorganic ion and proline accumulation in *Thai aromatic* rice, Khao Dawk Mali 105, callus culture. *African Journal of Biotechnology*, *9*(2), 145-152. DOI: 10.5897/AJB09.015

Talebian, Z., Jafari, A. O., & Yusefinejad, M. (2016). Morfometric Studies on the 14 species of *Thymus* L. (Lamiaceae) in Iran. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *29*(1), 96-106. DOR: 20.1001.1.23832592.1395.29.1.8.0

Yildirim, E., Karlidag, H., & Turan, M. (2009). Mitigation of salt stress in strawberry by foliar K, Ca and Mg nutrient supply. *Plant, Soil and Environment*, 55, 213-221. DOI: 10.17221/383-PSE

Zayed, B. A., Salem, A. K. M., & El Sharkawy, H. M. (2011). Effect of different micronutrient treatments on rice (*Oriza sativa* L.) growth and yield under saline soil conditions. *World Journal of Agricultural Sciences*, *7*(2), 179-184. https://www.idosi.org/wjas/wjas7(2)/12.pdf

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-05]

Effects of potassium sulfate sprays on physiological and biochemical traits of *Thymus daenensis* celac under various salinity levels

Hadis Zaremanesh

Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran
(Received: 2023/07/31, Accepted: 2023/11/07)

Abstract

A factorial experiment using a randomized complete block design with three replications was carried out at Payame Noor University of Lorestan Province to study the effects of potassium sulfate sprays on the traits of *Thymus daenensis* under salinity stress. The factors were salinity stress (0, 50 and 100 mM sodium chloride) and potassium sulfate sprays (0, 1 and 2 g/L). In the 100 mM sodium chloride treatment, total chlorophyll and chlorophyll a and b contents and leaf relative water content were at their lowest levels (6.7, 4.3 and 11 mg/g fresh weight and 57.8%, respectively). Application of potassium sulfate sprays, especially at 2 g/L, significantly improved these traits. In the 100 mM sodium chloride treatment, carotenoid and proline contents increased by 94% and 195%, respectively, compared to the treatment with no salinity stress, whereas carotenoid and proline contents increased by 17% and 16%, respectively, compared to the control when potassium sulfate was applied at 2 g/L. The highest hydrogen peroxide content was recorded in the treatment in which the plants were under salinity stress (100 mM sodium chloride) and potassium sulfate was not applied. However, application of potassium sulfate (1g and 2 g/L) decreased hydrogen peroxide contents by 22% and 44%, respectively. The highest rates of superoxide dismutase and ascorbate peroxidase activity (9.60 and 0.910 units/mL enzyme extract) were observed under the treatment of salinity stress (100 mM sodium chloride) and the application of potassium spray (2 g/L). In general, salinity levels, especially the 100 mM sodium chloride treatment, led to a decrease in chlorophyll content and relative leaf water content and an increase in carotenoid and proline content traits, hydrogen peroxide, malondialdehyde content, and the activity of superoxide desmutase and ascorbate peroxidase enzymes. On the other hand, the application of potassium sulfate foliar application could greatly reduce the negative effects of stress.

Keywords: Abiotic Stresses, Macronutrients, Osmolytes, Thyme

Corresponding author, Email: Hadis_zaremanesh@pnu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-05]