

بررسی پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیک، فیتوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی خرفه (*Portulaca oleracea* L.) در شرایط تنش شوری (مقاله پژوهشی)

۱- امیر یوسفی کردلر، دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۲- جلال جلیلیان^{*}، استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
J.Jalilian@urmia.ac.ir

۳- علیرضا پیرزاد، استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۲۲

پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۱۸

چکیده

گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.) گیاهی یک‌ساله از خانواده *Portulacaceae* است که در نواحی گرم و شور می‌روید و از دیرباز یکی از مغذی‌ترین سبزی‌های بومی به شمار می‌آید. با گسترش شوری خاک در مناطق خشک ایران به‌ویژه در اطراف دریاچه ارومیه، درک چگونگی مقابله این گونه با سطوح بالای نمک، هم برای کشت و کار و هم برای داروسازی اهمیت دارد. در پژوهش حاضر، واکنش خرفه به دو سطح هدایت الکتریکی خاک (۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر)، در شرایط مزرعه‌ای و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال ۱۴۰۳ در دانشگاه ارومیه با سه تکرار ارزیابی شد. نتایج نشان داد شوری بالا، وزن تر، وزن خشک و تعداد برگ را به ترتیب ۳۳/۹، ۳۶/۳ و ۳۸/۴ درصد کاهش داد و محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل کل و کارایی فتوسیستم دو نیز کاهش قابل توجهی نشان دادند. در میان صفات یونی، تجمع سدیم در ریشه، ساقه و برگ به ترتیب ۲۲۱، ۲۰۸ و ۱۰۳ درصد بیشتر از شاهد بود و نشت الکترولیت از ۳۱/۹۵ به ۵۷/۶۷ درصد رسید. در شرایط شوری، گیاه با افزایش آنتوسیانین، پلی‌فنل اکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز واکنش داد. به‌طور کلی، خرفه با ترکیبی از تنظیم اسمزی، فعال‌سازی سپرهای آنزیمی و غیر آنزیمی و محدودسازی انتقال سدیم به برگ توانست با شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر سازگار شود؛ با این حال، کاهش معنی‌دار رشد در همین سطح نشان می‌دهد که این مقدار در حد آستانه تحمل فیزیولوژیک خرفه بوده است.

واژگان کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، تنش اسمزی، هموستازی یونی، نشت الکترولیت، یون‌های سمی.

مقدمه

کرده [۸، ۱۵]. خواص دارویی گزارش‌شده برای این گیاه نیز طیف گسترده‌ای را در بر می‌گیرد: از ضدالتهابی و آنتی‌اکسیدانی گرفته تا اثرات ضددیابتی و ضد میکروبی [۲۴]. بنابراین شناخت واکنش این گیاه در شرایط محیطی دشوار از جمله شوری نه فقط برای کشاورزی پایدار، بلکه برای صنایع غذایی و دارویی نیز اهمیت ویژه دارد. در واقع، تنش شوری فرآیندهای حیاتی گیاه را از طریق ایجاد پتانسیل

خرفه گیاهی گوشتی و یک‌ساله است که تقریباً تمام مناطق گرم کره زمین پراکنش دارد و از دیرباز در طب سنتی و آشپزی بومی به‌کار رفته است. آنچه این گیاه را در سال‌های اخیر به کانون توجه محققان تبدیل کرده، ترکیب کم‌نظیر اجزای زیست‌فعال آن از جمله اسیدهای چرب امگا-۳، آنتوسیانین، فلاونوئید، بتاکاروتن و طیف وسیعی از ریزمغذی‌ها است که آن را به یکی از مغذی‌ترین سبزیجات برگی جهان تبدیل

اسمزی منفی و تجمع یون‌های سمی نظیر سدیم و کلر مختل می‌کند. پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهند که گیاهان متحمل و نیمه‌شورپسند برای مقابله با این پدیده، برهم‌کنش‌های پیچیده‌ای میان سیستم‌های ترابری یونی (نظیر خانواده ناقل‌های *HKT1*) و بازتنظیم مسیرهای متابولیک ثانویه برقرار می‌کنند [۲۱، ۱۱]. در سال‌های اخیر، با تشدید تغییرات اقلیمی، افزایش دما و کاهش کیفیت منابع آب، شوری خاک به یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی در جهان تبدیل شده است. براساس گزارش‌های اخیر، بیش از ۲۰ درصد اراضی آبی دنیا و بخش قابل توجهی از اراضی مناطق خشک و نیمه‌خشک تحت تأثیر درجات مختلف شوری قرار دارند و انتظار می‌رود این روند در دهه‌های آینده تشدید شود. از این رو، شناسایی گیاهان متحمل به شوری و شناخت سازوکارهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی تحمل تنش، از مهم‌ترین راهبردهای توسعه کشاورزی پایدار محسوب می‌شود. شوری خاک در ایران، به‌ویژه در حوضه دریاچه ارومیه، در دهه‌های اخیر به یک بحران جدی تبدیل شده است. افزایش سطح نمک در خاک و آب آبیاری، عملکرد محصولات زراعی را به شدت کاهش می‌دهد و هر ساله میلیون‌ها هکتار از اراضی حاصلخیز از چرخه تولید خارج می‌شوند [۵، ۱۶]. این واقعیت ضرورت شناسایی گیاهانی را که بتوانند در خاک‌های شور کشت شوند یا حتی شوری خاک را کاهش دهند، بیش از پیش برجسته می‌سازد.

از نظر نحوه اثر، تنش شوری از دو مسیر موازی به گیاه آسیب می‌زند. مسیر نخست اسمزی است: افزایش غلظت نمک در محلول خاک پتانسیل آب خاک را منفی‌تر می‌کند و گیاه دیگر نمی‌تواند آب را با صرف هزینه متابولیکی معمول جذب کند. مسیر دوم یونی است: تجمع سدیم و کلر در بافت‌های سلولی فعالیت آنزیم‌ها را مختل می‌سازد، تولید گونه‌های فعال اکسیژن را شتاب می‌دهد و در نهایت به غشاهای سلولی آسیب می‌رساند [۱۴، ۲۱]. گیاهانی که بقا در این شرایط را ممکن می‌کنند،

معمولاً ترکیبی از تنظیم اسمزی، بازیابی فعال یون‌ها و بالا بردن ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را به کار می‌برند [۹].

خرفه علاوه بر ارزش تغذیه‌ای بالا، به دلیل دارا بودن ترکیبات زیست‌فعال نظیر پلی‌فنول‌ها، فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها، اسیدهای چرب امگا-۳ و سایر متابولیت‌های ثانویه، در سال‌های اخیر به عنوان یکی از گیاهان دارویی و عملکردی مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات جدید نشان داده‌اند که تنش‌های محیطی، به‌ویژه شوری، علاوه بر تأثیر بر رشد گیاه، می‌توانند کیفیت فیتوشیمیایی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی خرفه را نیز تغییر دهند؛ بنابراین بررسی همزمان پاسخ‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و فیتوشیمیایی این گیاه می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای مدیریت کشت آن در اراضی شور فراهم سازد. در بررسی‌های پیشین نشان داده شده است که خرفه می‌تواند تا سطوح شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر رشد کرده و ترکیبات زیست‌فعال خود را حفظ کند [۱۷]. همچنین گزارش شده است که شوری بر ترکیبات فیتوشیمیایی این گیاه اثر معنی‌داری دارد [۱۰]. با این همه، درک روشنی از آستانه واقعی تحمل این گیاه و ترکیب سازوکارهایی که همزمان فعال می‌شوند، در شرایط اقلیمی شمال غرب ایران وجود ندارد. بر این اساس، هدف اصلی این پژوهش بررسی جامع پاسخ‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک، یونی، فیتوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی خرفه تحت تنش شوری در شرایط مزرعه بود. همچنین این مطالعه در پی پاسخ به این پرسش‌ها بود که: (۱) شوری شدید چه اثری بر رشد و روابط آبی خرفه دارد؟ (۲) آیا خرفه از طریق محدودسازی انتقال یون‌های سمی و فعال‌سازی سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی قادر به تحمل شوری است؟ و (۳) تغییرات ایجاد شده در ترکیبات فیتوشیمیایی تا چه اندازه می‌تواند ارزش تغذیه‌ای و دارویی این گیاه را تحت تأثیر قرار دهد؟

مواد و روش‌ها

محل اجرا و شرایط آزمایش

آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۴ در دانشگاه ارومیه اجرا گردید. پیش از کاشت، نمونه‌برداری ترکیبی از عمق صفر تا ۴۰ سانتی‌متری خاک انجام شد و غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی پس از

هواخشک‌کردن و الک نمودن نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید. جدول ۱ مشخصات شیمیایی خاک محل آزمایش را قبل از اعمال تیمارها نشان می‌دهد. داده‌های هواشناسی سال اجرای آزمایش و میانگین ده‌ساله محل نیز جمع‌آوری شد تا زمینه بهتری برای تفسیر نتایج فراهم آید (جدول ۲).

جدول ۱- غلظت کاتیون‌ها، آنیون‌ها و شاخص‌های شیمیایی خاک محل آزمایش قبل از کاشت

ویژگی	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ²⁻	اسیدیته خاک
	(meq L ⁻¹)							pH
مقدار	۰/۶۱	۲۵/۱	۱۹	۵۰/۱	۰/۷۵	۳/۶۷	۲/۸۶	۷/۲

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۴ و میانگین ۱۰ ساله محل اجرای آزمایش (ارومیه)

پارامتر	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	میانگین ۱۰ ساله (۱۳۹۵ تا ۱۴۰۴)
بارندگی ماهیانه (mm)	۶۲	۴۶	۸	۱	۲	۰/۵	۸	۳۲۹/۳۶
مجموع ساعات آفتابی	۲۲۰	۲۶۵	۲۹۰	۳۵۵	۳۴۰	۳۲۵	۲۲۸	۲۴۰/۲
میانگین رطوبت نسبی (%)	۵۰	۴۶	۴۰	۳۸	۳۲	۳۷	۴۸	۴۷/۶۸
میانگین دمای ماهیانه (°C)	۱۱	۱۶	۲۲	۲۶	۲۷	۲۲	۱۶	۱۴/۲۵

طرح آزمایشی و نحوه ایجاد تیمار شوری

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تیمار شوری و سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح شوری بودند: (۱) شاهد با هدایت الکتریکی ۲ دسی‌زیمنس بر متر و (۲) تنش شوری با هدایت الکتریکی ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، که برای ایجاد محیط شوری مذکور، خاک‌های شور طبیعی از اراضی حاشیه دریاچه ارومیه تهیه و به کرت‌های مربوطه منتقل گردید. شایان ذکر است که انتخاب سطح شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر به‌عنوان تیمار تنش حاد، براساس پایش‌های میدانی اراضی حاشیه دریاچه ارومیه و گزارش‌ها مبنی بر فوق‌اشباع بودن نمک در خاک این مناطق صورت گرفت. هدف از انتخاب این سطح حاد در مقایسه با شاهد (۲) دسی‌زیمنس بر متر، به چالش کشیدن سیستم هموستازی یونی و ارزیابی آستانه تحمل نهایی فیزیولوژیک و فیتوشیمیایی خرفه در مواجهه با شرایط واقعی اراضی نکاشت منطقه بود تا پتانسیل آن

در برنامه‌های احیا یا گیاه‌پالایی اراضی شور حوضه دریاچه ارومیه مشخص گردد. به‌منظور جداسازی دقیق محیط‌های شور و جلوگیری از نشت یا آبشویی نمک به کرت‌های مجاور، ابتدا محل کرت‌های شور به عمق ۴۰ سانتی‌متر خاک‌برداری شد. سپس بستر و دیواره کرت‌ها با پوشش پلاستیکی ضخیم کاملاً عایق‌بندی گردید تا به‌عنوان حائلی فیزیکی از خروج آب و انتشار افقی شوری ممانعت به عمل آید. جهت برقراری سیستم زهکشی مناسب در داخل این کرت‌های ایزوله، تعداد ۶ عدد لوله PVC^۱ که بر روی بدنه آن‌ها شیارهای متعددی جهت جذب آب مازاد تعبیه شده بود، به‌صورت طولی در کف کرت‌ها و بر روی لایه نایلونی مستقر شدند (شکل ۱).



شکل ۱- نحوه اجرای آزمایش

دقت ۰/۰۱ میلی‌متر و تعداد برگ در هر بوته اندازه‌گیری شدند.

صفات فیزیولوژیک و روابط آبی

محتوای نسبی آب برگ (RWC: Relative Water Content) براساس فرمول بارز و ویتزلی [۳] محاسبه شد:

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

محتوای آب نسبی بر حسب درصد $RWC(\%) =$

وزن برگ در حالت تازه و بلافاصله پس از برداشت $FW =$

وزن برگ پس از خشک شدن کامل در آون $DW =$

وزن آماس یافته - وزن برگ پس از غوطه‌ور $TW =$

شدن در آب و رسیدن به حداکثر تورژسانس

پتانسیل اسمزی با دستگاه اسمومتر اندازه‌گیری گردید. فلورسانس کلروفیل (Fv/Fm) پس از ۳۰ دقیقه تاریک‌سازی با دستگاه فلوروم ثبت شد. نشت الکترولیت طبق روش لاتز و همکاران [۱۳] با فرمول $EL = (EC_1 / EC_2) \times 100$ محاسبه گردید که در آن:

نشت الکترولیت بر حسب درصد $EL(\%) =$

(هدایت الکتریکی اولیه) - هدایت الکتریکی $EC_1 =$

محلول پس از انکوباسیون نمونه‌های برگ در آب مقطر قبل از آتوکلاو

بذور مورد استفاده در این پژوهش متعلق به اکوتیپ محلی (توده بومی) خرفه منطقه ارومیه بود که از بوته‌های خودروی مستقر در اراضی حوضه جمع‌آوری و پس از بوجاری و تعیین قوه نامیه، عملیات کاشت آن در تاریخ ۲۵ اردیبهشت‌ماه در عمق مناسب انجام گرفت. دوره آبیاری مزرعه، به‌صورت منظم هر ۸ روز یک‌بار تنظیم شد برداشت توده زیستی خرفه در اواخر شهریورماه محقق گردید و در طول این دوره، نمونه‌برداری‌های متناوب زراعی جهت ثبت صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک انجام شد.

اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک

به‌منظور ارزیابی دقیق روند پاسخ گیاه به تیمارها، صفات مورد مطالعه در دو فاز زمانی مشخص اندازه‌گیری شدند؛ صفات فیزیولوژیک همچون کلروفیل، محتوای آب نسبی برگ، صفات فیتوشیمیایی و آنزیم‌های آنتی اکسیدانی در طول دوره رشد (به‌ترتیب در فواصل مشخص و روز ۴۵ام) ارزیابی شدند. در مقابل، صفات عملکردی، بیومس نهایی و تفکیک یون‌های سلولی در پایان دوره رشد (۶۰ روز پس از کاشت) به‌صورت مخرب نمونه‌برداری و سنجش شدند. وزن تر اندام هوایی با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم، وزن خشک پس از خشک‌کردن در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت، قطر ساقه با کولیس دیجیتال با

سوپراکسید دیسموتاز (SOD: Superoxide Dismutase) براساس کاهش فیتوشیمیایی نیتروبلوتترازولیوم (Nitrotetrazolium test: NBT) در ۵۶۰ نانومتر [۶]، فعالیت کاتالاز (CAT: Catalase) با پایش کاهش جذب پراکسید هیدروژن در ۲۴۰ نانومتر [۲] و فعالیت پراکسیداز (POD: Peroxidase) از اکسیداسیون گایاکول در ۴۷۰ نانومتر [۴] اندازه‌گیری شدند. نتایج بر حسب واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین گزارش شد.

تجزیه آماری

داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS^۲ نسخه ۹/۱ تجزیه واریانس شدند. نرمال بودن باقی‌مانده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلک [20] و همگنی واریانس با آزمون بارتلت تأیید گردید. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج

۱- صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک

جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که تنش شوری اثر بسیار معنی‌داری بر تمام صفات رشدی داشت. ضریب تغییرات بین ۱/۱۶ تا ۴/۵۳ درصد بود که از کیفیت مناسب آزمایش حکایت می‌کند. همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر شوری بر محتوای آب نسبی (RWC) و کلروفیل b در سطح پنج درصد و بر فلورسانس کلروفیل (Fv/Fm) در سطح پنج درصد معنی‌دار بود، درحالی‌که بر پتانسیل اسمزی، نشت الکترولیت (EL)، کلروفیل a و کلروفیل کل در سطح یک درصد معنی‌دار شد. ضریب تغییرات این صفات بین ۱/۶۹ تا ۷/۰۵ درصد بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش شوری از ۲ به ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، وزن تر از ۳۰۴/۶ گرم بر مترمربع در شاهد به ۲۰۱/۳ گرم بر مترمربع (۳۳/۹ درصد) و وزن خشک از ۲۶/۷ به ۱۷ گرم بر مترمربع (۳۶/۳ درصد) رسید. همچنین تعداد برگ از ۵۹ به ۳۶/۳ عدد در بوته (۳۸/۴ درصد)

(هدایت الکتریکی نهایی) - هدایت الکتریکی $EC_2 =$ محلول پس از آتوکلاو کردن نمونه‌ها (برای آزادسازی کامل الکترولیت‌ها)

رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b، کل) بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر و براساس روش لیکتنتالر [۱۲] با اسپکتروفتومتر (UV-1800, Shimadzu، ژاپن) با فرمول زیر محاسبه شدند. میزان رنگیزه براساس میلی‌گرم در گرم وزن تر - (غلظت × حجم عصاره) / (وزن نمونه × ۱۰۰۰)

$$a = 12/21 \times A_{663} - 2/81 \times A_{646}$$

$$b = 20/13 \times A_{646} - 5/3 \times A_{663}$$

کلروفیل b + کلروفیل a = کلروفیل کل

جذب نوری در طول موج ۶۶۳ نانومتر $A_{663} =$

جذب نوری در طول موج ۶۴۶ نانومتر $A_{646} =$

آنالیز یونی

نمونه‌های خشک‌شده ریشه، ساقه و برگ با اسید نیتریک ۶۵ درصد در دستگاه هضم مرطوب هضم شدند. سدیم با فلیم‌فتومتر، و کلر با روش تیتراسیون نقره‌سنجی اندازه‌گیری شدند.

اندازه‌گیری صفات فیتوشیمیایی

فلاونوئیدها با روش رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم (Aluminium Chloride: $AlCl_3$) در طول موج ۴۱۵ نانومتر (استاندارد کوئرستین) اندازه‌گیری شدند. آنتوسیانین‌ها با روش pH دیفرانسیل در ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر [۷] تعیین گردیدند. فعالیت پلی‌فنل اکسیداز در ۴۲۰ نانومتر تعیین شد.

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

عصاره آنزیمی از ۰/۵ گرم بافت تازه برگ در ۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ مولار (pH=7.0) حاوی ۱ میلی‌مولار EDTA و یک درصد PVP در محیط سرد تهیه شد. پس از سانتریفوژ (۱۲۰۰۰ دور در دقیقه، ۲۰ دقیقه، ۴ درجه سانتی‌گراد)، محلول رویی برای سنجش آنزیم‌ها استفاده گردید. فعالیت

² -Statistical Analysis System

۲- صفات یونی

براساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۵)، اثر شوری بر تمامی صفات یونی شامل سدیم ریشه، ساقه و برگ، کلر ریشه، ساقه و برگ در اندام‌های مختلف در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. ضریب تغییرات صفات بین ۰/۴۶ تا ۹/۵ درصد بود که حاکی از دقت مطلوب آزمایش است.

کاهش یافت (جدول ۴). تنش شوری پتانسیل اسمزی را از ۰/۵۶- به ۱/۳۰- مگاپاسکال منفی‌تر کرد. نشت الکترولیت تحت تنش شوری از ۳۱/۹۵ به ۵۷/۶ درصد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین مقادیر کلروفیل a از ۱/۷۱ به ۱/۱۱ و کلروفیل کل از ۲/۴۱ به ۱/۶۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر کاهش معنی‌دار نشان دادند. کاهش محتوای نسبی آب (از ۷۲/۱۱ به ۵۵/۰۸ درصد)، فلورسانس کلروفیل و کلروفیل b در مقایسه میانگین (آزمون دانکن در سطح ۵ درصد) به سطح معنی‌داری رسید (جدول ۴).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک و ساختاری، فیزیولوژیک و روابط آبی خرفه تحت تأثیر تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی (df)	وزن تر	وزن خشک	تعداد برگ	محتوای نسبی آب	پتانسیل اسمزی	فلورسانس کلروفیل (Fv/Fm)	نشت الکترولیت (EL)	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل
بلوک	۲	۴۳ ^{ns}	۰/۱۶ ^{ns}	۴/۶۶ ^{ns}	۲۲/۱۹۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۵۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۳۸ ^{ns}	۶/۱۳۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۱۴ ^{ns}	۰/۰۰۰۸۱ ^{ns}	۰/۰۰۱۵ ^{ns}
شوری	۱۵۸۱۰/۶ ^{**}	۱۴۰/۱۶ ^{**}	۷۷۰/۶۷ ^{**}	۴۳۵/۰۳ [*]	۰/۸۲۸۸۲ ^{**}	۰/۰۰۸۸۳ [*]	۹۹۲/۲۸ ^{**}	۰/۵۳۴۰۲ ^{**}	۰/۰۴۳۳۵ [*]	۰/۸۳۶۲ ^{**}	۱۵۸۱۰/۶ ^{**}
اشتباه آزمایشی	۲	۸/۶۶	۲/۱۶	۴/۶۷	۹/۳	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۰۱۷	۹/۴۶	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۰۴۱
ضریب تغییرات (%)	-	۱/۱۶	۶/۷۴	۴/۵۳	۴/۸	۷/۰۵	۱/۶۹	۶/۸۷	۳/۷۸	۵/۱۶	۳/۱۴

ns, **, *** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک و ساختاری، فیزیولوژیک و روابط آبی خرفه تحت تأثیر تنش شوری

سطوح تنش شوری	وزن تر (گرم بر متر مربع)	وزن خشک (گرم بر متر مربع)	تعداد برگ	محتوای نسبی آب (%)	پتانسیل اسمزی (مگاپاسکال)	فلورسانس کلروفیل (Fv/Fm)	نشت الکترولیت (%)	کلروفیل a (میلی‌گرم در گرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم وزن تر)	کلروفیل کل (میلی‌گرم در گرم وزن تر)
۲ دسی زیمنس بر متر	۳۰۴/۶ a	۲۶/۷a	۵۹a	۷۲/۱۱a	-۰/۵۶a	۰/۸۱۱۷a	۳۱/۹b	۱/۷۱a	۰/۷۱a	۲/۴۱a
۱۶ دسی زیمنس بر متر	۲۰۱/۳ b	۱۷ b	۳۶/۳۳b	۵۵/۰۸b	-۱/۳b	۰/۷۳۴۷b	۵۷/۶a	۱/۱۱b	۰/۵۴b	۱/۶۷b

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشد.

نتایج مقایسه میانگین (جدول ۶) نشان داد که تنش شوری موجب افزایش چشمگیر تجمع سدیم در تمامی اندام‌ها شد؛ سدیم ریشه از ۵/۶۵ به ۱۸/۱۶، سدیم ساقه از ۵/۰۹ به ۱۵/۷۰ و سدیم برگ از ۴/۲۰ به ۸/۵۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک افزایش یافت.

به همین ترتیب، کلر ریشه از ۱/۵۴ به ۷/۵۸، کلر ساقه از ۱/۱۳ به ۵/۲۵ و کلر برگ از ۰/۹۹ به ۲/۵۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک افزایش معنی‌دار نشان داد (جدول ۶).

جدول ۵- تجزیه واریانس صفات یونی خرفه تحت تأثیر تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	سدیم ریشه	سدیم ساقه	سدیم برگ	کلر ریشه	کلر ساقه	کلر برگ
بلوک	۲	۰/۷۱۳۴ ^{ns}	۰/۴۶۳۶ ^{ns}	۰/۴۲۳۶ ^{ns}	۰/۱۹۴۵ ^{ns}	۰/۰۵۱۲ ^{ns}	۰/۰۱۰۴ ^{**}
شوری	۱	۲۳۴/۶۳ ^{**}	۱۶۸/۸۶ ^{**}	۲۸/۱۲۳ ^{**}	۵۴/۶۶ ^{**}	۲۵/۳۷ ^{**}	۳/۵۷۲ ^{**}
اشتباه آزمایشی	۲	۰/۰۵۸۲	۰/۲۹۸۵	۰/۰۲۷۹۵	۰/۱۵۴۱	۰/۰۲۵۳	۰/۰۰۰۰۶
ضریب تغییرات (/.)	-	۲/۰۳	۵/۲۵	۲/۶۳	۸/۶	۴/۹۸	۰/۴۶

ns, **, *** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر موجب تجمع چشمگیر سدیم در هر سه اندام شد (جدول ۶). بیشترین افزایش در ریشه مشاهده گردید (از ۵/۶۵ به ۱۸/۱۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک، معادل ۲۲۱ درصد)، سپس ساقه (۲۰۸ درصد) و برگ (۱۰۳ درصد).

این الگوی نزولی از ریشه به برگ نشان‌دهنده کنترل فعال انتقال سدیم به اندام‌های هوایی است. کلر نیز در همه اندام‌ها افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۶).

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات یونی خرفه تحت تأثیر تنش شوری

سطوح تنش شوری	سدیم ریشه (میلی‌گرم در گرم وزن خشک)	سدیم ساقه (میلی‌گرم در گرم وزن خشک)	سدیم برگ (میلی‌گرم در گرم وزن خشک)	کلر ریشه (میلی‌گرم در گرم وزن خشک)	کلر ساقه (میلی‌گرم در گرم وزن خشک)	کلر برگ (میلی‌گرم در گرم وزن خشک)
۲ دسی‌زیمنس بر متر	۵/۶۵b	۵/۰۹b	۴/۲b	۱/۵۴b	۱/۱۳b	۰/۹۹b
۱۶ دسی‌زیمنس بر متر	۱۸/۱۶a	۱۵/۷a	۸/۵۳a	۷/۵۸a	۵/۲۵a	۲/۵۳a

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشد.

۳- صفات فتوشیمیایی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

معنی‌داری نشان دادند. فلاونوئیدها تغییر معنی‌داری نداشتند (جدول ۷).

آنتوسیانین ($P \leq 0.01$)، پلی‌فنل اکسیداز ($P \leq 0.01$)، سوپراکسید دیسموتاز ($P \leq 0.01$)، پراکسیداز ($P \leq 0.01$) و کاتالاز ($P \leq 0.05$) در اثر تنش افزایش

جدول ۷- تجزیه واریانس صفات فیتوشیمیایی خرفه تحت تأثیر تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	فلاونوئیدها	آنتوسیانین‌ها	پلی فنل اکسیداز	کاتالاز	سوپراکسید دسموتاز	پراکسیداز
بلوک	۲	۰/۴۲۴۰ ^{ns}	۰/۲۳۴۶ ^{ns}	۰/۰۰۰۹۵ ^{ns}	۲۰/۸۰۶ ^{ns}	۱۲/۴۵۳ ^{ns}	۲۱/۳۴۴ ^{ns}
شوری	۱	۱۵۴۶/۹ ^{ns}	۷/۱۷ ^{**}	۰/۰۶۲ ^{**}	۴۴۱/۳۶ [*]	۱۵۳۱/۸ ^{**}	۱۷۳۷/۴ ^{**}
اشتباه آزمایشی	۲	۸۵/۴۲۹	۰/۰۴۹۱	۰/۰۰۰۲۱	۶/۳۷۴	۷/۸۸۲	۴/۳۷۶
ضریب تغییرات (%)	-	۸/۶۶	۲/۷۹	۳/۳۸	۴/۴۷	۳/۶۹	۳/۶۷

ns, *, ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

در تیمار تنش، آنتوسیانین از ۶/۸۳ به ۹/۰۲ میکروگرم بر گرم وزن تر (۳۲ درصد بیشتر) رسید؛ پلی‌فنل اکسیداز ۶۱ درصد افزایش یافت. فعالیت سوپراکسید دسموتاز از ۶۰/۲۰ به ۹۲/۱۵ (۵۲ درصد) و پراکسیداز از ۴۰/۰۳ به ۷۴/۰۷ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین (۸۵ درصد) بالا رفتند (جدول ۸).

جدول ۸- مقایسه میانگین صفات فیتوشیمیایی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی خرفه تحت تأثیر تنش شوری

سطوح تنش شوری	فلاونوئیدها	آنتوسیانین‌ها	پلی فنل اکسیداز (PPO)	کاتالاز	سوپراکسید دسموتاز	پراکسیداز
(میلی گرم کوئرستین در هر (میکروگرم در گرم وزن تر) گرم وزن تر) mg QE/g FW)						
۲ دسی زیمنس بر متر	۹۰/۷۳a	۶/۸۳b	۰/۳۳b	۴۷/۹۱b	۶۰/۲b	۴۰/۰۳b
۱۶ دسی زیمنس بر متر	۱۲۲/۸۴a	۹/۰۲a	۰/۵۳a	۶۵/۰۷a	۹۲/۱۵a	۷۴/۰۷a

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

رشد رویشی، روابط آبی و فتوسنتز

کاهشی که در وزن تر، وزن خشک و تعداد برگ خرفه تحت تنش شوری مشاهده شد با یافته‌های سایر پژوهش‌ها روی توده‌های خرفه تحت تنش نمک و همچنین گزارش‌های مربوط به گیاهان نیمه‌شورپسند سازگاری دارد [۱۰، ۱۱]. وقتی شوری محیط ریشه بالا می‌رود، پتانسیل آب خاک به قدری منفی می‌شود که گیاه دیگر نمی‌تواند بدون هزینه متابولیکی زیاد آب جذب کند. این محدودیت آبی مستقیماً تقسیم سلولی و کشش دیواره سلولی را کند می‌کند [۱۴]. از

سوی دیگر، یون‌های سدیم و کلر که انبوه شده‌اند، با یون‌های پتاسیم برای جایگاه‌های آنزیمی رقابت می‌کنند و ساختار پروتئین‌ها را تغییر می‌دهند؛ این رویداد در نهایت کارایی فتوسنتز را پایین می‌آورد و تولید ماده خشک را کاهش می‌دهد [۲۱]. منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی که در گیاهان تحت تنش دیده شد، واکنشی سازگارانه است: گیاه با انباشتن اسمولیت‌های سازگار از قبیل پرولین، قندهای محلول و گلیسین‌بتائین و تجمع یون‌ها در واکوئل، پتانسیل اسمزی سلول را منفی‌تر از محیط ریشه نگه می‌دارد تا جذب آب ممکن باشد [۹]. از

کلروپلاست، آن‌ها را خنثی می‌کنند [۱۸]. در واقع، افزایش آنتوسیانین در تنش شوری یک واکنش دفاعی غیرآنزیمی است. آنتوسیانین‌ها در واکوئل‌های مزوفیل جمع می‌شوند و رادیکال‌های آزاد را قبل از رسیدن به کلروپلاست خنثی می‌کنند [۱۸]. افزایش پلی‌فنل اکسیداز نشان‌دهنده فعال شدن مسیر متابولیسم فنیل‌پروپانویید است. نکته قابل توجه این است که این تغییرات ارزش تغذیه‌ای و دارویی خرفه را در شرایط شور بالا می‌برند؛ بنابراین کشت این گیاه در خاک‌های با شوری معتدل، علیرغم کاهش عملکرد، سبب بهبود کیفیت محصول می‌شود.

القای هماهنگ سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز پاسخ کلاسیک سیستم دفاعی آنزیمی در برابر گونه‌های فعال اکسیژن است. سوپراکسید دیسموتاز رادیکال سوپراکسید را به پراکسید هیدروژن تبدیل می‌کند و سپس کاتالاز و پراکسیداز آن را به آب و اکسیژن تجزیه می‌کنند؛ این مسیر شناخته‌شده را اصطلاحاً «محور سوپراکسید دیسموتاز-کاتالاز/پراکسیداز» می‌نامند [۹، ۱۸]. آنچه نتایج این آزمایش را نسبت به برخی گزارش‌های مشابه متمایز می‌سازد این است که در خرفه، کاتالاز که در گیاهان حساس‌تر اغلب با پراکسید هیدروژن اضافی غیرفعال می‌شود کماکان فعالیت بالاتری در تنش نشان داد. این ویژگی ممکن است به ظرفیت واکوئل‌ها برای تفکیک یون‌ها مربوط باشد [۲۵] که غلظت پراکسید هیدروژن در کلروپلاست را پایین نگه می‌دارد [۲۳].

جمع‌بندی

نتایج این پژوهش نشان داد که خرفه اگرچه در شرایط شوری شدید (۱۶ دسی‌زیمنس بر متر) با کاهش معنی‌دار رشد و برخی شاخص‌های فیزیولوژیک مواجه می‌شود، اما با بهره‌گیری از مجموعه‌ای از سازوکارهای دفاعی شامل تنظیم اسمزی، محدودسازی انتقال سدیم به اندام‌های هوایی، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تقویت ترکیبات آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی، توانایی

سوی دیگر، صدمه دیدن یکپارچگی غشاهای سلولی بر اثر رادیکال‌های آزاد و فرآیند پراکسیداسیون لیپیدها، خود را در جهش معنی‌دار نشت الکترولیت به ۵۷/۶۷ درصد نشان داد که این پدیده با نتایج حسنوزمان و همکاران همخوانی دارد [۹]. افزایش نشت الکترولیت گویای صدمه به غشاهای سلولی است. پراکسیداسیون لیپیدی در اثر رادیکال‌های آزاد، نفوذپذیری غشا را بالا می‌برد [۱۳]. با این حال، ثبات نسبی کارایی فتوسیستم II (Fv/Fm) در محدوده ۰/۷۳-۰/۸۱ نشان می‌دهد که خرفه از طریق سازوکارهای تبدیل گرمایی و پراکندگی انرژی، از مرکز واکنش فتوسیستم II خود در برابر سطوح شدید شوری (۱۶ دسی‌زیمنس بر متر) محافظت نموده است [۱۹]. کاهش کلروفیل را می‌توان به افزایش فعالیت کلروفیل‌از و کمبود منیزیم و آهن در شرایط رقابت یونی نسبت داد [۱۱].

تجمع یون‌های سمی و کنترل انتقال

الگوی توزیع سدیم که در ریشه و ساقه بسیار بیشتر از برگ بود، از ویژگی‌های گیاهانی است که توانایی حفاظت از بافت فتوسنتزی را دارند. این پدیده را می‌توان به فعالیت ناقل‌های HKT1 در بازجذب سدیم از آوند چوب و تجمع آن در واکوئل‌های ریشه و ساقه نسبت داد در واقع، خرفه با بازجذب یون‌های سدیم از آوند چوبی ریشه و ساقه و دپو کردن آن‌ها در واکوئل‌های این بافت‌ها، مانع از رسیدن غلظت‌های سدیم به برگ‌ها می‌شوند. این پاسخ هوشمندانه، تفاوت بنیادین سازوکارهای بقای خرفه را در مقایسه با گونه‌های حساس به شوری تبیین می‌کند [۲۲]. [۱۱]

پاسخ‌های فیتوشیمیایی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

جهش ۳۲ درصدی در محتوای آنتوسیانین برگ تحت شرایط تنش شوری، گویای تحریک مسیر متابولیسم فنیل‌پروپانویید به‌عنوان یک سپر آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی قوی است؛ این رنگیزه‌ها در واکوئل‌ها تجمع یافته و پیش از آسیب رادیکال‌های آزاد به

به‌عنوان گیاهی با ارزش غذایی و دارویی بالا باشد. برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود اثر سطوح میانی شوری (۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) و ترکیب گیاه‌پالایی خرفه با کشت محصولات زراعی حساس‌تر مورد بررسی قرار گیرد.

سپاسگزاری

این پژوهش برگرفته از رساله دکتری زراعت در دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه می‌باشد. از همکاری صمیمانه آزمایشگاه‌های دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

- [1]. Acosta-Motos, J. R., Ortuño, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. J., & Hernandez, J. A. (2017). Plant responses to salt stress: Adaptive mechanisms. *Agronomy*, 7(1), 18. DOI: 10.3390/agronomy7010018
- [2]. Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*, 105, 121–126. DOI: 10.1016/S0076-6879(84)05016-3
- [3]. Barrs, H. D., & Weatherley, P. E. (1962). A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, 15(3), 413–428. DOI: 10.1071/BI9620413
- [4]. Chance, B., & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalases and peroxidases. *Methods in Enzymology*, 2, 764–775. DOI: 10.1016/S0076-6879(55)02300-8
- [5]. FAO. (2021). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [6]. Giannopolitis, C. N., & Ries, S. K. (1977). Superoxide dismutase. I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, 59(2), 309–314. DOI: 10.1104/pp.59.2.309
- [7]. Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. In R. E. Wrolstad (Ed.), *Current protocols in food analytical chemistry, Unit F1.2*. Wiley. DOI: 10.1002/0471142913.faf0102s00
- [8]. Guil-Guerrero, J. L., Rodríguez-García, I., & Torija, E. (1997). Nutritional and toxic factors in selected wild edible plants. *Plant Foods for Human Nutrition*, 51(2), 99–107. DOI: 10.1023/A:1007988815888
- [9]. Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H. M. B., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S. M., Mahmud, J. A., Fujita, M., & Fotopoulos, V. (2020). Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: revisiting the crucial role of a universal defense regulator. *Antioxidants*, 9(8), 681. DOI: 10.3390/antiox9080681
- [10]. Hssaini, L., Ouahmane, L., Razouk, R., & Charafi, J. (2021). Salt stress tolerance in purslane (*Portulaca oleracea* L.): growth response under NaCl treatment. *Horticulturae*, 7(9), 283. DOI: 10.3390/horticulturae7090283
- [11]. Isayenkov, S. V., & Maathuis, F. J. M. (2019). Plant salinity stress: many unanswered questions remain. *Frontiers in Plant Science*, 10, 80. DOI: 10.3389/fpls.2019.00080
- [12]. Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350–382. DOI: 10.1016/0076-6879(87)48036-1
- [13]. Lutts, S., Kinet, J. M., & Bouharmont, J. (1995). Changes in plant

- response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. *Journal of Experimental Botany*, 46(12), 1843–1852. DOI: 10.1093/jxb/46.12.1843
- [14]. Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651–681. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911
- [15]. Omidbaigi, R. (2005). *Production and processing of medicinal plants* (Vol. 3). Astan Quds Razavi Publications. [in Farsi]
- [16]. Qadir, M., Quill  rou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R. J., Drechsel, P., & Noble, A. D. (2014). Economics of salt-induced land degradation and restoration. *Natural Resources Forum*, 38(4), 282–295. DOI: 10.1111/1477-8947.12054
- [17]. Rahdari, P., Golmohammadzadeh, S., & Khosravi, M. (2020). Biochemical and physiological responses of *Portulaca oleracea* L. to salinity stress. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 10(3), 3131–3140. [in Farsi]
- [18]. Rajput, V. D., Harish, Singh, R. K., Verma, K. K., Sharma, L., Quiroz-Figueroa, F. R., Meena, M., Gour, V. S., Minkina, T., Sushkova, S., & Mandzhieva, S. (2021). Recent developments in enzymatic antioxidant defence mechanism in plants with special reference to abiotic stress. *Biology*, 10(4), 267. DOI: 10.3390/biology10040267
- [19]. Sarker, U., & Oba, S. (2018). Drought stress effects on growth, ROS markers, compatible solutes, phenolics, flavonoids, and antioxidant activity in two *Amaranthus* species. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 186, 999–1018. DOI: 10.1007/s12010-018-2784-5
- [20]. Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3/4), 591–611. DOI: 10.1093/biomet/52.3-4.591
- [21]. Van Zelm, E., Zhang, Y., & Testerink, C. (2020). Salt tolerance mechanisms of plants. *Annual Review of Plant Biology*, 71, 403–433. DOI: 10.1146/annurev-arplant-050718-100005
- [22]. Wakeel, A. (2013). Potassium–sodium interactions in soil and plant under saline-sodic conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 176(3), 344–354. DOI: 10.1002/jpln.201200417
- [23]. Zhang, J., & Kirkham, M. B. (1994). Drought and salt stress: injury and resistance in field crops. *Journal of Crop Production*, 1(2), 231–246.
- [24]. Zhou, Y. X., Xin, H. L., Rahman, K., Wang, S. J., Peng, C., & Zhang, H. (2015). *Portulaca oleracea* L.: a review of phytochemistry and pharmacological effects. *BioMed Research International*, 925631. DOI: 10.1155/2015/925631
- [25]. Zhu, J. K. (2003). Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current Opinion in Plant Biology*, 6(5), 441–445. DOI: 10.1016/S1369-5266(03)00085-2

Morphophysiological, Phytochemical and Antioxidant Responses of Purslane (*Portulaca oleracea* L.) to Salinity Stress (Research Paper)

1- Amir Yousefi Kurdlar, former Ph.D. Student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

2- Jalal Jalilian*, Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

j.jalilian@urmia.ac.ir

3- Alireza Pirzad, Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

Received: 12 Jun. 2026

Accepted: 9 Aug. 2026

Abstract

Purslane (*Portulaca oleracea* L.) is an annual plant of the Portulacaceae family that grows in warm and saline areas and has long been considered one of the most nutritious native vegetables. With the spread of soil salinity in arid regions of Iran, especially around Lake Urmia, understanding how this species copes with high levels of salt is important for both cultivation and pharmaceuticals. In the present study, the response of Purslane to two levels of soil electrical conductivity (2 and 16 dS/m) was evaluated under field conditions and in a randomized complete block design in 2024 at Urmia University with three replications. The results showed that high salinity reduced fresh weight, dry weight and number of leaves by 33.9, 36.3 and 38.4%, respectively, and the relative leaf water content, total chlorophyll and photosystem II efficiency also showed significant decreases. Among the ionic traits, sodium accumulation in roots, stems and leaves was 221, 208 and 103% higher than the control, respectively, and electrolyte leakage increased from 31.95 to 57.67%. Under salinity conditions, the plant responded by increasing anthocyanin, polyphenol oxidase, superoxide dismutase, catalase and peroxidase. In general, Purslane was able to adapt to salinity of 16 dS/m by a combination of osmotic regulation, activation of enzymatic and non-enzymatic shields and restriction of sodium transport to the leaves; however, the significant reduction in growth at this level indicates that this value has the physiological tolerance threshold of the species.

Keywords: Antioxidant enzymes, Osmotic stress, Ionic homeostasis, Electrolyte leakage, Toxic ions.