نشریه فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۵، شماره ۷۱، فروردین و اردیبهشت ۱۴۰۵ صفحه: ۱۸۵-۱۶۹
https://doi.org/10.22034/15.71.169

مقاله پژوهشی

تأثیر سدیم نیتروپروساید و اسید سالیسیلیک بر ویژگی‌های رشدی و شاخص‌های مقاومت به تنش گیاه دارویی خرفه (*Portulaca oleracea* L.) در شرایط تنش شوری

حسن فرهادزاده بروجردی، سپیده کلاته‌جاری* و مرجان دیانت

گروه علوم و مهندسی کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

شوری به عنوان یکی از تنش‌های محیطی مهم، تأثیرات نامطلوبی بر رشد و عملکرد محصولات کشاورزی دارد. این پژوهش به منظور بررسی تأثیر کاربرد اسید سالیسیلیک (SA) و سدیم نیتروپروساید (SNP) بر ویژگی‌های رشدی و جذب عناصر معدنی در گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.) تحت تنش شوری، به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح شوری (۰، ۲/۵ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر ناشی از کلرید سدیم) و پنج سطح محلول‌پاشی (شاهد (صفر- بدون محلول‌پاشی)، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم نیتروپروساید) بودند. نتایج نشان داد که تنش شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه (۳۵ درصد)، وزن خشک اندام هوایی (۳۲ درصد)، وزن خشک ریشه (۲۰ درصد)، تعداد گل و محتوای نیتروژن برگ (۳۲ درصد) شد. با این حال، کاربرد اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید اثرات منفی شوری را تا حدی تعدیل کرد. به طور خاص، تیمار ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بیشترین تأثیر را در بهبود پارامترهای رشدی، جذب عناصر معدنی و محتوای فتوسنتزی نشان داد. همچنین، بیشترین نسبت سدیم برگ به ریشه در تیمار شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر بدون محلول‌پاشی مشاهده شد. در شرایط تنش شدید (۵ دسی‌زیمنس بر متر)، تیمار ۵۰ میلی‌مولار سدیم نیتروپروساید بالاترین نسبت کلروفیل ***a*** به ***b*** معادل ۲/۶۹ را داشت. علاوه بر این، بیشترین تجمع سدیم و کلر در برگ و ریشه در تیمار شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر ثبت شد، در حالی‌که تیمار ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در همین سطح شوری، بیشترین نسبت کلر برگ به ریشه را نشان داد. به طور کلی، گیاه خرفه توانایی تحمل شوری تا سطح ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر را دارد و استفاده از ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک برای کاهش اثرات تنش در سطوح بالاتر شوری توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تنش محیطی، خرفه، سمیت عناصر، محلول‌پاشی، نسبت سدیم به پتاسیم

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۰۸، بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۰۳، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۸، اولین انتشار: ۱۴۰۵/۰۲/۱۲

* نویسنده مسئول، رایانامه: kalatehjari@srbiau.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 2026-10-17]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.169]

مقدمه

خرفه با نام علمی (*Portulaca oleracea* L.) گیاه دارویی ارزشمند از خانواده (Portulaceae) است. خرفه گیاهی یک ساله با ساقه گوشت‌دار، برگ‌های متقابل و گل‌های کوچک زردرنگ است که توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) به عنوان یکی از پرمصرف‌ترین گیاهان دارویی معرفی شده و عنوان اکسیر جهانی به آن داده شده است (Diana *et al.*, 2023). ساقه‌های قرمزرنگ و برگ‌های سبز گوشتی و آبدار دارد. گل‌های این گیاه به رنگ زرد روشن هستند که در انتهای ساقه تشکیل می‌شود. طول این گیاه تا ٤٠ سانتی‌متر نیز می‌رسد (Al-Quwaie *et al.*, 2023). این گیاه اثر درمانی در اسهال خونی، مارگزیدگی، حشره گزیدگی، بیماری‌های قلبی، سرطان، دیابت و غیره دارد. قابل ذکر است که هیچ نشانه سمی قابل توجهی هنوز در ارتباط با این گیاه گزارش نشد (Sutjiatmo *et al.*, 2021).

شوری خاک یک مشکل در حال افزایش برای کشاورزی جهان است. تجمع نمک در خاک زمین‌های قابل‌کشت، عمدتاً ناشی از آبیاری با آب حاوی مقادیر جزئی کلرید سدیم (NaCl) و آب شور است. افزایش غلظت نمک در خاک موجب کاهش توانایی گیاه در جذب آب می‌شود. هنگامی‌که سدیم و کلر به مقدار زیاد توسط ریشه‌ها جذب می‌شوند، هر دو با مختل کردن فرایندهای متابولیکی و کاهش کارایی فتوسنتز، تأثیرات منفی بر رشد گیاه می‌گذارند. از این‌رو تنش شوری را می‌توان به دو بخش تنش اسمزی و تنش یونی ناشی از تجمع سدیم و کلر تقسیم نمود (Waheed *et al.*, 2024). گیاهان مکانیسم‌هایی را برای کاهش تنش اسمزی توسط کاهش از هدررفت آب و جذب آب بیشتر از خود بروز می‌دهند. علاوه‌براین گیاهان خسارات ناشی از تنش یونی ناشی از سدیم را با دفع سدیم از بافت برگ و تجمع آن عمدتاً در واکوئل‌ها، کاهش می‌دهند (Ma *et al.*, 2020).

ترکیبات طبیعی و مصنوعی متعددی برای تنظیم ویژگی‌های فیزیولوژیک و زیست شیمیایی گیاهان تحت تنش‌های محیطی مختلف وجود دارند (Sundararajan *et al.*, 2022). اسید سالیسیلیک یا اورتوهیدروکسی بنزوئیک اسید از ترکیبات فنولیک اسید است و یک آنتی‌اکسیدان محلول در آب به حساب می‌آید که صدمات ناشی از تنش را در گیاه کاهش می‌دهد (Angouti *et al.*, 2024). اسید سالیسیلیک به عنوان یک ماده شبه‌هورمونی است که در ریشه گیاهان تولید می‌شود که نقش محوری در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیک مختلف مثل رشد، تکامل گیاه، فتوسنتز و جوانه‌زنی ایفا می‌کند. اسید سالیسیلیک باعث طویل‌شدن سلول‌ها و همچنین تقسیم سلولی می‌شود که این کار با همکاری سایر تنظیم‌کننده‌ها از جمله اکسین صورت می‌گیرد. اسید سالیسیلیک تقسیم و مرگ سلولی را تنظیم کرده و در واقع بین رشد و پیری تعادل ایجاد می‌کند (Angouti *et al.*, 2024).

سدیم نیتروپروساید (SNP) یک ترکیب رهاکننده اکسید نیتریک (NO) است که یک گونه فعال نیتروژن است که می‌تواند به عنوان یک مولکول پیام‌رسان در پاسخ‌های سازشی به تنش‌های زیستی و غیرزیستی به عنوان یک عامل آنتی‌اکسیدان، رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROSها) را جمع‌آوری و از بین ببرد (Ramadan *et al.*, 2019). این ترکیب با کاهش شدت تنش شوری از طریق تنظیم ویژگی‌های فیزیولوژیک (Habila *et al.*, 2022) و بیوشیمیایی گیاهان (Hajihashemi *et al.*, 2022) نقش مهمی در مقابله با تنش شوری ایفا می‌کند.

رقامی و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی اثر اسید سالیسیلیک و تنش شوری بر خصوصیات رویشی و فیزیولوژیک بادمجان (*Solanum melongena*) با دو فاکتور شامل اسید سالیسیلیک و تنش شوری انجام دادند. نتایج نشان داد با افزایش سطح شوری، شاخص‌های ارتفاع، تعداد برگ، سطح برگ، وزن تر و خشک شاخساره، وزن تر و خشک ریشه، رنگدانه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کاروتنوئید، قندهای محلول و میزان عنصر پتاسیم کاهش یافت، کاربرد اسید سالیسیلیک، شاخص‌های مذکور را بهبود بخشید. مقدار غلظت عناصر سدیم و کلر تحت شرایط تنش شوری افزایش یافت و کاربرد اسید سالیسیلیک تا حدودی این شرایط را بهبود بخشید.

در تحقیقی اثر تنش شوری و سالیسیلیک اسید در مرحله

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.169]

رویشی و زایشی بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه فلفل‌دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.) بررسی شد. نتایج نشان دادند در تنش شوری، تیمار اسید سالیسیلیک افزایش خصوصیات رشدی، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل و جذب عناصر غذایی را موجب شد (Kumar *et al*., 2022).

فتحی و همکاران (۱۳۹۶) با هدف بررسی نقش کلسیم و سدیم نیتروپروساید بر کاهش اثرات مخرب تنش شوری در کنجد (*Sesamum indicum*) آزمایشی با فاکتور اصلی تنش شوری و فاکتورهای فرعی سدیم نیتروپروساید و محلول‌پاشی کلسیم انجام دادند. نتایج نشان داد که تنش شوری سبب کاهش ظرفیت فتوسنتزی و میزان کلروفیل برگ شد. به طوریکه میزان کلروفیل کل در شرایط تنش ۷۲ درصد کاهش را نسبت به شرایط شاهد نشان داد. استفاده از تیمارهای سدیم نیتروپروساید اثر مطلوبی در افزایش سطح کلروفیل داشت. در بین تیمارهای این ماده کاربرد پیش‌تیمار به علاوه محلول‌پاشی بیشترین اثر مثبت را بر مقدار کلروفیل برجای گذاشت. همچنین تنش شوری باعث کاهش نسبت کلروفیل *a/b* شد.

کبیری و همکاران (۱۴۰۰) به منظور بررسی تأثیر سدیم نیتروپروساید بر برخی شاخص‌های جوانه‌زنی و فیزیولوژیک گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa*) تحت تنش شوری، آزمایشی با تیمارهای شامل سدیم نیتروپروساید به عنوان عامل اول و تنش شوری به عنوان عامل دوم طراحی کردند. نتایج آزمایش نشان داد که افزایش تنش شوری باعث کاهش تمام شاخص‌های جوانه‌زنی (درصد و سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن تر و خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه و محتوای نسبی آب برگ) شد. کاربرد سدیم نیتروپروساید باعث افزایش تمام صفات گردید.

با توجه به گسترش روزافزون کاربردهای گیاه دارویی خرفه و افزایش سطح زیرکشت آن و شورشدن تدریجی بسیاری از خاک‌های زراعی به صورت نامحسوس هم‌زمان با کاهش دخایر آبی این پژوهش به بررسی اثر سدیم نیتروپروساید (SNP) و اسید سالیسیلیک بر خصوصیات رشدی و شاخص‌های تنش گیاه دارویی خرفه (*Portulaa oleracea* L.) در شرایط تنش شوری پرداخت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به منظور بررسی اثر محلول‌های تیماری شامل اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش شوری در فروردین ۱۴۰۱ در گلخانه‌ای در کرج با فتوپریود ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی با منبع نور خورشید (بدون نور تکمیلی)، رطوبت نسبی ۶۵ تا ۸۰ درصد، حداکثر دما ۲۹ و حداقل دمای ۱۵ درجه سلسیوس که کنترل دما به وسیله فن صورت می‌گرفت، به مدت پنج ماه انجام شد.

بذرهای خرفه (تهیه‌شده از شرکت پاکان بذر اصفهان) ضدعفونی و تعداد پنج عدد بذر در گلدان‌های ۳ لیتری حاوی پرلیت و کوکوپیت با نسبت ۱:۲ کشت شدند. تحقیق به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار صورت گرفت. شوری در سه سطح (صفر، ۲/۵ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر از منبع کلرید سدیم) و محلول‌پاشی در ۵ سطح (صفر، اسید سالیسیلیک ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار، سدیم نیتروپروساید ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) استفاده شد.

اعمال تنش شوری با کلرید سدیم بوده به طوریکه سطح شوری با ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر همراه آب آبیاری آغاز شده و این مقادیر افزایش یافت ابتدا صفر و به ترتیب ۱/۲۸۰، ۲/۸۸۰، ۶/۰۸۰ گرم نمک کلرید سدیم به طور جداگانه در یک لیتر آب معمولی حل شده و به صورت یکسان و یکنواخت صورت گرفت. جهت آبشویی بستر کاشت پس از هر سه مرتبه آبیاری با آب شور (در راستای تنش شوری)، آبشویی با آب معمولی جهت جلوگیری از تجمع نمک در گلدان صورت گرفت. اعمال تیمارهای شوری به مدت ۵۰ روز از مرحله شش برگی تا شروع گلدهی ادامه داشت. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید با غلظت‌های مذکور سه بار با فواصل ۱۵ روزه از مرحله چهار برگی شروع شد و برای تیمارهای صفر (شاهد ـ کنترل) از آب‌مقطر استفاده شد. گیاهان ۱۰ روز پس از اتمام تیمارها که سه ماه پس از کشت بود، برداشت شدند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.169]

در پایان دوره رویشی گیاه و در زمان گلدهی، صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و جذب عناصر در برگ و ریشه اندازه‌گیری شد.

صفات مورفوفیزیولوژیک: ارتفاع بوته با خط‌کش اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن تر اندام هوایی، گیاه کشت‌شده در هر گلدان از یقه توسط قیچی قطع و وزن تمام قسمت‌های هوایی گیاه (ساقه، گل و برگ) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن تر ریشه، ریشه‌ها به آرامی از خاک جدا و شسته شدند و پس از خشک‌شدن با دستمال با ترازوی دیجیتال وزن شدند. پس از خشک‌کردن اندام هوایی و ریشه گیاه در دستگاه آون در دمای ۷۲ درجه سلسیوس به مدت ۲٤ ساعت، وزن خشک آن‌ها با ترازوی دیجیتال Digital scale با دقت ۰/۰۱ گرم به‌دست آمد (Inbar *et al.*, 1994). نسبت وزن تر و خشک اندام هوایی به ریشه محاسبه گردید. تعداد گل با شمارش دستی هر بوته انجام شد.

نسبت کلروفیل *a* به کلروفیل *b*: اندازه‌گیری میزان محتوای کلروفیل با روش Arnon (۱۹٤۹) انجام شد. بدین ترتیب که ابتدا ۰/۱ گرم نمونه برگی گیاهان را در هاون چینی با ۳ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد کاملاً ساییده شد و حجم نهایی عصاره به ۱۵ میلی‌لیتر رسید. سپس عصاره با استفاده از سانتریفیوژ به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت g × ۵۰۰۰ صاف شد. از دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu UV-160) برای اندازه‌گیری میزان جذب نمونه‌ها استفاده شد. ابتدا دستگاه با استون ۸۰ درصد صفر شده و سپس میزان جذب عصاره استخراج‌شده در طول‌موج‌های ٦٤٥ نانومتر و ٦٦٣ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. سپس با استفاده از رابطه‌های زیر کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کلروفیل کل بر حسب میلی‌گرم کلروفیل در هر گرم برگ تر محاسبه شد.

$$\text{Chl } a = [(12.7\times A663)-(2.69\times A645)]\times V / 1000\times W$$

$$\text{Chl } b = [(22.9\times A645)-(4.69\times A663)]\times V / 1000\times W$$

در رابطه‌های بالا، A میزان جذب در طول‌موج موردنظر، V حجم نهایی استون ۸۰ درصد برحسب میلی‌لیتر و W اندازه برگ تازه برحسب گرم است.

اندازه‌گیری پتاسیم برگ و سدیم برگ و ریشه: برگ‌های گیاه بعد از برداشت در هوای آزاد کاملاً خشک شدند. سپس با استفاده از هاون نمونه‌ها پودر شدند. ۰/۳ از نمونه‌های پودر شده را توزین کرده و در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس به مدت شش ساعت خاکستر و سپس در ۵ میلی‌لیتر محلول اسید نیتریک ۲ مولار حل شدند. حجم محلول در نهایت با آب دو بار تقطیر به ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد و با کاغذ صافی واتمن شماره ۱ صاف شد. سپس با دستگاه فلیم‌فتومتری (مدل PFP7 ساخت کمپانی JENWAY انگلستان) اندازه‌گیری شد (Chapman and Pratt, 1962).

$$N\% = A\times N\times 1.4/W$$

N= نرمالیته اسید، A= حجم اسید مصرفی، W= وزن نمونه

اندازه‌گیری کلر برگ و ریشه: برای اندازه‌گیری کلر ۱۰۰ میلی‌گرم از بافت گیاهی پودر شده درون لوله فالکن ریخته و پس از افزودن ۱۰ میلی‌لیتر نیتریک اسید ۰/۵ مولار و قراردهی آن به مدت یک ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس خشک‌کن، عصاره‌گیری انجام شد. مقدار یک میلی‌لیتر از عصاره برای خواندن کلر طبق روش رنگ‌سنجی در طول‌موج ٤۸۰ نانومتر توسط دستگاه Epoch استفاده شد (Munns and Tester, 2008).

اندازه‌گیری نیتروژن برگ: نیتروژن برگ با روش کجلدال اندازه‌گیری شد. برای این منظور، ۰/۵ گرم گیاه + ۱۵ سی‌سی اسید سولفوریک غلیظ+یک عدد قرص کجلدال استفاده شد. سپس ترکیب ایجادشده را در لوله مخصوص هضم در اجاق به مدت نیم ساعت و در دمای ٤۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد تا اینکه رنگ نمونه به سبز شفاف تغییر یافت. سپس نمونه را در جهت تقطیر در دستگاه کجلدال به مدت سه دقیقه روی سود ٦ تنظیم شد. در این مدت NH_4^+ به NH_3 تبدیل شد و آمونیاک در هنگام جوشیدن محلول تبخیر شد. سپس محلول سبز رنگ با اسید سولفوریک یک صدم نرمال تیتر گردید تا به رنگ قرمز روشن تبدیل شد. حجم اسید مصرفی یادداشت و از روش زیر نیتروژن برگ محاسبه شد (Sparks, 1996).

$$N\% = A\times N\times 1.4/W$$

N= نرمالیته اسید، A= حجم اسید مصرفی، W= وزن نمونه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.169]

نسبت عناصر از تقسیم مقادیر عددی‌شان محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: کلیه داده‌های به‌دست آمده حاصل از اندازه‌گیری متغیرها در تحقیق، ابتدا در Excel ثبت شده و سپس با نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۳ آنالیز شد. مقایسه میانگین داده‌ها در سطح معنی‌دار ۵ درصد با آزمون دانکن بررسی شد. نمودارها و شکل‌ها در نرم‌افزار Excel تهیه شدند.

نتایج

صفات مورفولوژیکی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی تنش شوری بر ارتفاع بوته، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، نسبت وزن تر و خشک اندام هوایی به ریشه و تعداد گل در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. اثر اصلی محلول‌های تیماری (اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید) بر ارتفاع بوته، وزن تر اندام هوایی و ریشه و وزن خشک ریشه، نسبت وزن تر اندام هوایی به ریشه و تعداد گل در سطح یک درصد و بر وزن خشک اندام هوایی در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل تنش شوری و محلول‌های تیماری بر ارتفاع بوته، وزن تر اندام هوایی و تعداد گل در سطح احتمال پنج درصد و بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱).

ارتفاع بوته: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در تیمار عدم تنش شوری با استفاده از ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک ارتفاع بوته بیش از سایر تیمارها بود. با افزایش شدت تنش شوری، ارتفاع کاهش یافت، استفاده از سدیم نیتروپروساید اثر افزایشی کمتری نسبت به اسید سالیسیلیک بر ارتفاع بوته داشت (جدول ۲).

وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه: طبق نتایج مقایسه میانگین، در تیمار عدم تنش شوری با استفاده از ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بیشترین وزن تر اندام هوایی (۱۰/۳۰ گرم) مشاهده شد (جدول ۲). شوری سبب کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی خرفه گردید. کمترین وزن خشک اندام هوایی در شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر با کاهش ۷۵ درصدی مشاهده شد (جدول ۳).

محلول‌های تیماری سبب افزایش رشد گیاه شد، به طوریکه در تمامی سطوح مقادیر وزن تر و خشک اندام هوایی نسبت به شاهد بیشتر بود (جدول ٤).

وزن تر ریشه با مقدار عددی ٤/۲۳ گرم در تیمار عدم تنش شوری با استفاده از ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بیش از سایر تیمارها بود (جدول ۲). وزن خشک ریشه خرفه به‌طور معنی‌داری تحت تنش شوری کاهش یافت و کمترین مقدار آن در شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر با کاهش ۲٦ درصدی گزارش شد، شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر سبب کاهش ۲۰ درصدی وزن خشک ریشه گردید (جدول ۳).

در تیمار اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار بیشترین وزن خشک ریشه نسبت به سایر تیمارها مشاهده گردید (جدول ٤).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها با افزایش شدت تنش شوری تا ۵ دسی‌زیمنس بر متر، نسبت وزن تر و خشک اندام هوایی به ریشه خرفه ۱۵/٦۸ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۳). نتایج حاکی از کاهش ماده‌سازی و در نتیجه کم شدن وزن اندام هوایی نسبت به ریشه در شرایط تنش شوری شدید بود.

نسبت وزن تر اندام هوایی به ریشه خرفه در تیمار یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بیش از سایر تیمارها بود که بیانگر افزایش وزن تر اندام هوایی نسبت به ریشه در این تیمار است (جدول ٤).

تعداد گل: بیشترین تعداد گل در بوته خرفه (مقدار عددی ۷) در تیمار عدم تنش شوری با استفاده از ۱ و ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد (جدول ۲).

نسبت کلروفیل *a* به کلروفیل *b*: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی تنش شوری محلول تیماری و اثر متقابل این دو بر نسبت کلروفیل *a* به کلروفیل *b* خرفه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۵).

با افزایش شدت تنش شوری نسبت کلروفیل *a* به کلروفیل *b* افزایش یافت. بیشترین نسبت کلروفیل *a* به کلروفیل *b* در تیمارهای تنش شوری شدید (۵ دسی‌زیمنس بر متر NaCl) و با استفاده از ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم نیتروپروساید، ۵۰ میلی‌مولار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-17]
[DOI: DOI: 10.22034/15.71.169]

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر صفات مورفولوژیکی گیاه خرفه

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		ارتفاع بوته	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	نسبت وزن تر اندام هوایی به ریشه	نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه	تعداد گل
شوری (A)	۲	٤۲۸/۰۹**	٤۱/۰٤**	۲/٤۰**	٤/۲۳**	۰/۲۹**	۰/۲۲**	۰/۳۳**	۷٦/٤۲**
محلول‌های تیماری (B)	٤	۳۱/۲٦**	۰/۳۲**	۰/۰۲*	۰/۳۸**	۰/۰۳**	۰/۰۹**	۰/۰۲^{ns}	۳/۳۰**
(B) ×(A)	۸	۱/۸٤*	۰/۰۵*	۰/۰۱^{ns}	۰/۰٤**	۰/۰۰٤^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۲۰*
خطا	۳۰	۲/٤۰	۰/۰۸	۰/۰۰۵	۰/۰٤	۰/۰۰٦	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۵۱
ضریب تغییرات	-	۱/٤۵	۳/۲٦	۳/۳۲	۳/۲۷	٦/۷۸	۳/۹۳	۵/۷۳	۱۵/٦۲

**** و ns: به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار است.**

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار تنش شوری و محلول تیماری بر برخی صفات مورفولوژیک گیاه خرفه

تنش شوری (دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم)	محلول تیماری (میلی‌مولار)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	وزن تر اندام هوایی (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	تعداد گل
صفر (شاهد- بدون شوری)	صفر (شاهد- بدون محلول‌پاشی)	۳۷/۳۳^{c}	۱۰/۰۰^{bc}	۳/۵۰^{de}	۵/۳۳^{bc}
	۰/۵ اسید سالیسیلیک	۳۸/٦۷^{b}	۱۰/۲۰^{ab}	۳/۸۳^{b}	۷/۰۰^{a}
	۱ اسید سالیسیلیک	٤۲/۳۳^{a}	۱۰/۳۰^{a}	٤/۲۳^{a}	۷/۰۰^{a}
	۵۰ سدیم نیتروپروساید	۳۸/٦۷^{b}	۹/۹۳^{c}	۳/٤۷^{e}	۵/٦۷^{b}
	۱۰۰ سدیم نیتروپروساید	۳۸/٦۷^{b}	۹/۸۳^{c}	۳/٤۷^{e}	٦/۰۰^{b}
۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر	صفر (شاهد- بدون محلول‌پاشی)	۳٤/۰۰^{d}	۸/۸۰^{f}	۳/٤۳^{e}	٤/٦۷^{c}
	۰/۵ اسید سالیسیلیک	۳۷/۳۳^{c}	۹/۲۷^{de}	۳/٦۷^{cd}	۵/٦۷^{b}
	۱ اسید سالیسیلیک	۳۹/۳۳^{b}	۹/٤۳^{d}	۳/۸۰^{bc}	٦/۳۳^{ab}
	۵۰ سدیم نیتروپروساید	۳۷/۳۳^{c}	۹/۱۰^{e}	۳/٦۰^{de}	۵/٦۷^{b}
	۱۰۰ سدیم نیتروپروساید	۳۷/۰۰^{c}	۹/۳۰^{de}	۳/۵۷^{de}	۵/۳۳^{bc}
۵ دسی‌زیمنس بر متر	صفر (شاهد- بدون محلول‌پاشی)	۲۵/٦۷^{h}	٦/٦۰^{i}	۲/٦۰^{g}	۱/۳۳^{f}
	۰/۵ اسید سالیسیلیک	۳۰/۳۳^{ef}	٦/۹۳^{gh}	۲/۷۷^{g}	۲/۳۳^{de}
	۱ اسید سالیسیلیک	۳۱/۰۰^{e}	۷/۱۳^{g}	۳/۰۰^{f}	۲/٦۷^{d}
	۵۰ سدیم نیتروپروساید	۲۸/۳۳^{g}	٦/۸۳^{hi}	۲/٦۷^{g}	۲/۰۰^{def}
	۱۰۰ سدیم نیتروپروساید	۲۹/٦۷^{f}	٦/۷۷^{hi}	۲/٦۷^{g}	۱/٦۷^{ef}

حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست.

سدیم نیتروپروساید، ۰/۵ میلی‌مولار سدیم اسید سالیسیلیک و عدم محلول تیماری مشاهده شد. در این تیمارها مقدار کلروفیل a بیش از کلروفیل b بود (شکل ۱).

میزان سدیم و کلر ریشه و برگ و نسبت آن‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی شوری و محلول‌های تیماری (اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید) بر سدیم و کلر ریشه و برگ و نسبت سدیم برگ به ریشه و کلر برگ به ریشه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.169]

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار تنش شوری بر صفات مورفولوژیکی گیاه خرفه

تنش شوری (دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	نسبت وزن تر اندام هوایی به ریشه	نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه
صفر (شاهد- بدون شوری)	۲/۳۵^{a}	۱/۲۸^{a}	۲/۷٤^{a}	۱/۸۵^{a}
۲/۵	۲/۲۰^{b}	۱/۲۵^{a}	۲/۵٤^{b}	۱/۷۷^{b}
۵	۱/٦۰^{c}	۱/۰۲^{b}	۲/۵۰^{b}	۱/۵٦^{c}

حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست.

جدول ٤- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای محلول تیماری بر صفات مورفولوژیکی گیاه خرفه

محلول تیماری (میلی‌مولار)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	نسبت وزن تر اندام هوایی به ریشه
صفر (شاهد- بدون محلول‌پاشی)	۱/۹۹^{c}	۱/۱۱^{c}	۲/٦٦^{a}
۰/۵ اسید سالیسیلیک	۲/۰۷^{ab}	۱/۲۲^{ab}	۲/۵۷^{a}
۱ اسید سالیسیلیک	۲/۱۲^{a}	۱/۲٦^{a}	۲/٤۳^{b}
۵۰ سدیم نیتروپروساید	۲/۰٤^{bc}	۱/۱٦^{bc}	۲/٦۵^{a}
۱۰۰ سدیم نیتروپروساید	۲/۰۵^{bc}	۱/۱٦^{bc}	۲/٦۷^{a}

حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر نسبت کلروفیل *a* به کلروفیل *b* در گیاه خرفه

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
		نسبت کلروفیل *a* به کلروفیل *b*
شوری	۲	۰/۵۵**
محلول‌های تیماری	٤	۰/۰۲**
شوری × محلول‌های تیماری	۸	۰/۰۲**
خطا	۳۰	۰/۰۱
ضریب تغییرات	-	۳/٤٤

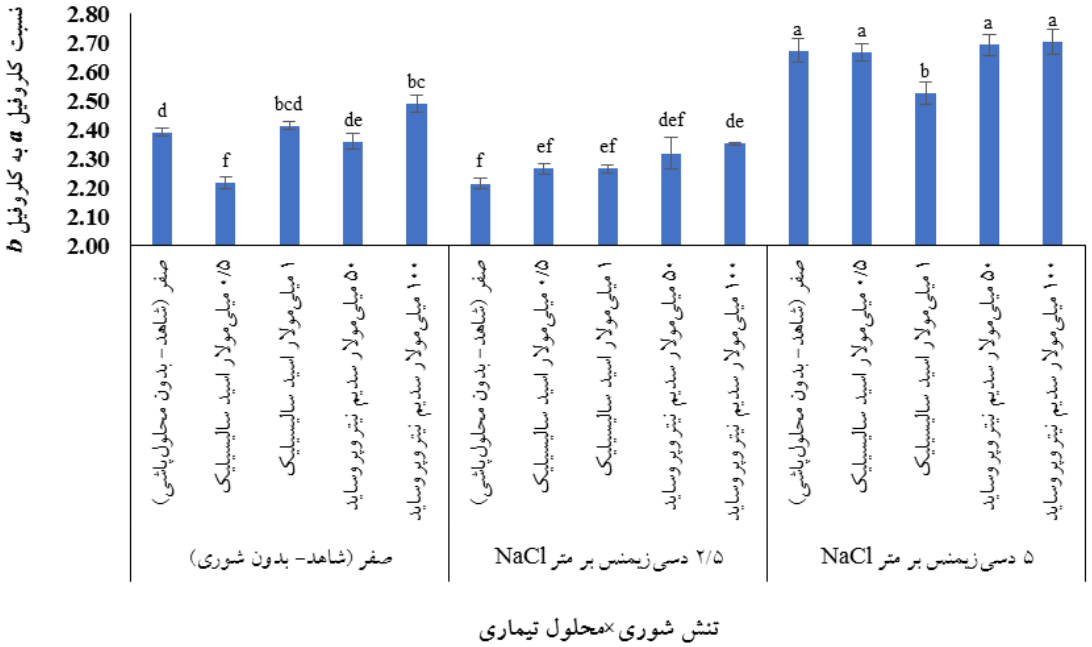
** بیانگر معنی‌داری در سطح ۱ درصد است.

شوری و محلول‌های تیماری تمامی صفات مذکور معنی‌دار شد (جدول ٦).

سدیم برگ و ریشه: نتایج اثر متقابل تیمارها نشان داد که در شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر، گیاهان تیمارشده با اسید سالیسیلیک ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار و سدیم نیتروپروساید ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار به ترتیب کاهش ۳۸، ٤۲، ۳۷ و ۳٦ درصدی سدیم برگ و کاهش ٤٦، ۵۰، ٤٤ و ٤۳ درصدی سدیم ریشه را نشان دادند. بیشترین نسبت سدیم برگ به سدیم ریشه در تیمار تنش شوری ملایم (۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر NaCl) و در شرایط عدم کاربرد محلول تیماری مشاهده شد (جدول ۷).

نتایج اثر متقابل تیمارها نشان داد که در شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر، گیاهان تیمارشده با اسید سالیسیلیک ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار و سدیم نیتروپروساید ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار به ترتیب کاهش ۵۰، ۵٤، ٤۸ و ٤۵ درصدی کلر برگ و کاهش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-17]
[DOI: DOI: 10.22034/15.71.169]



شکل ۱- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و محلول تیماری بر نسبت کلروفیل *a* به کلروفیل *b* گیاه خرفه

جدول ٦- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر میزان جذب کلر و سدیم و نسبت آن‌ها در گیاه خرفه

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		سدیم برگ	سدیم ریشه	نسبت سدیم برگ به ریشه	کلر برگ	کلر ریشه	نسبت کلر برگ به ریشه
شوری (A)	۲	۸۸/۹۸**	۱۲٤/۹٦**	۰/۲۳**	۳٤۰۰/۲**	۱۵۰٦۰/۷**	۰/۵۷**
محلول‌های تیماری (B)	٤	۵/۲۲**	۱۷/۲٦**	۰/۰٤**	۵۸۹/۲**	۱٦٤/۵**	۰/٦٦**
(B) ×(A)	۸	۱/۸۷**	۵/۳۸**	۰/۰٤**	۱٦٦/۲**	٤٦/۸**	۰/۱۲**
خطا	۳۰	۰/۰۷	۰/۱۹	۰/۰۰٤	۹/۰۹	۱۲/۹۸	۰/۰۳
ضریب تغییرات	-	۷/٤۷	۸/۷٦	٤/۵۳	۱۲/۰۲	۷/۷٤	۸/٦۷

** **بیانگر معنی‌داری در سطح ۱ درصد است.**

۱۹، ۲۰، ۱۷ و ۱٦ درصدی کلر ریشه را نشان دادند. بیشترین نسبت کلر برگ به کلر ریشه مربوط به تیمار تنش شوری شدید (۵ دسی‌زیمنس بر متر NaCl) و کاربرد یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود (جدول ۷).

جذب عناصر معدنی و نسبت آن‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی شوری و محلول‌های تیماری (اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید) بر نیتروژن، نسبت سدیم برگ به پتاسیم و نسبت کلر برگ به پتاسیم برگ در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل شوری و محلول‌های تیماری بر صفات مذکور در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۸).

نیتروژن برگ: طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها تنش شوری در سطوح ۲/۵ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر سبب کاهش ۱۱ و ۳٦ درصدی نیتروژن برگ شد (شکل ۲).

محلول‌های تیماری سبب افزایش نیتروژن برگ شدند به طوریکه اسید سالیسیلیک ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار و سدیم نیتروپروساید ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار به ترتیب سبب افزایش ۲۵، ۲٦، ۲۰ و ۲۱ درصدی نیتروژن برگ شدند (شکل ۳).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-17]
[DOI: DOI: 10.22034/15.71.169]

جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار تنش شوری و محلول تیماری بر میزان جذب کلر و سدیم و نسبت آن‌ها در گیاه خرفه

تنش شوری (دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم)	محلول تیماری (میلی‌مولار)	سدیم برگ (میلی‌گرم در گرم)	سدیم ریشه (میلی‌گرم در گرم)	نسبت سدیم برگ به ریشه	کلر برگ (میلی‌گرم در گرم)	کلر ریشه (میلی‌گرم در گرم)	نسبت کلر برگ به ریشه
صفر (شاهد- بدون شوری)	صفر (شاهد- بدون محلول‌پاشی)	۱/۸۰^{g}	۲/۵۷^{e}	۱/۴۴^{cdef}	۱۱/۶۷^{i}	۲۰/۰۰^{i}	۱/۷۲^{ef}
	۰/۵ اسید سالیسیلیک	۱/۷۰^{g}	۲/۵۳^{e}	۱/۵۰^{bcd}	۱۰/۶۷^{i}	۱۹/۶۷^{i}	۱/۸۵^{def}
	۱ اسید سالیسیلیک	۱/۷۰^{g}	۲/۶۰^{e}	۱/۵۳^{bc}	۱۰/۰۰^{i}	۱۹/۶۷^{i}	۱/۹۵^{cde}
	۵۰ سدیم نیتروپروساید	۱/۶۳^{g}	۲/۵۷^{e}	۱/۵۸^{b}	۱۱/۰۰^{i}	۱۸/۰۰^{i}	۱/۶۳^{fg}
	۱۰۰ سدیم نیتروپروساید	۱/۶۳^{g}	۲/۴۳^{e}	۱/۴۹^{bcde}	۱۲/۰۰^{i}	۲۰/۰۰^{i}	۱/۷۰^{ef}
۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر	صفر (شاهد- بدون محلول‌پاشی)	۳/۹۷^{d}	۶/۷۷^{bc}	۱/۷۱^{a}	۳۸/۰۰^{b}	۴۶/۳۳^{e}	۱/۲۳^{h}
	۰/۵ اسید سالیسیلیک	۲/۶۳^{e}	۳/۶۳^{d}	۱/۳۸^{ef}	۱۹/۰۰^{gh}	۳۵/۶۷^{gh}	۱/۸۸^{cdef}
	۱ اسید سالیسیلیک	۲/۳۷^{f}	۳/۲۷^{d}	۱/۳۸^{ef}	۱۶/۶۷^{h}	۳۴/۳۳^{h}	۲/۰۷^{bcd}
	۵۰ سدیم نیتروپروساید	۲/۸۰^{e}	۳/۵۰^{d}	۱/۲۵^{gh}	۱۹/۶۷^{g}	۳۸/۰۰^{fg}	۱/۹۶^{bcd}
	۱۰۰ سدیم نیتروپروساید	۲/۶۷^{e}	۳/۶۰^{d}	۱/۳۵^{fg}	۲۲/۶۷^{f}	۳۹/۶۷^{f}	۱/۷۷^{ef}
۵ دسی‌زیمنس بر متر	صفر (شاهد- بدون محلول‌پاشی)	۹/۲۳^{a}	۱۲/۹۰^{a}	۱/۴۰^{def}	۶۸/۰۰^{a}	۹۵/۳۳^{a}	۱/۴۰^{gh}
	۰/۵ اسید سالیسیلیک	۵/۶۷^{b}	۶/۹۷^{b}	۱/۲۳^{h}	۳۴/۰۰^{d}	۷۶/۶۷^{cd}	۲/۲۶^{ab}
	۱ اسید سالیسیلیک	۵/۳۰^{c}	۶/۴۰^{c}	۱/۲۱^{h}	۳۰/۶۷^{e}	۷۶/۰۰^{d}	۲/۵۰^{a}
	۵۰ سدیم نیتروپروساید	۵/۸۰^{b}	۷/۱۷^{b}	۱/۲۴^{h}	۳۵/۰۰^{cd}	۷۹/۰۰^{bc}	۲/۲۷^{ab}
	۱۰۰ سدیم نیتروپروساید	۵/۹۰^{b}	۷/۳۰^{b}	۱/۲۴^{h}	۳۷/۳۳^{bc}	۸۰/۰۰^{b}	۲/۱۵^{bc}

حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست.

جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر میزان جذب نیتروژن و نسبت سدیم و کلر برگ به پتاسیم در گیاه خرفه

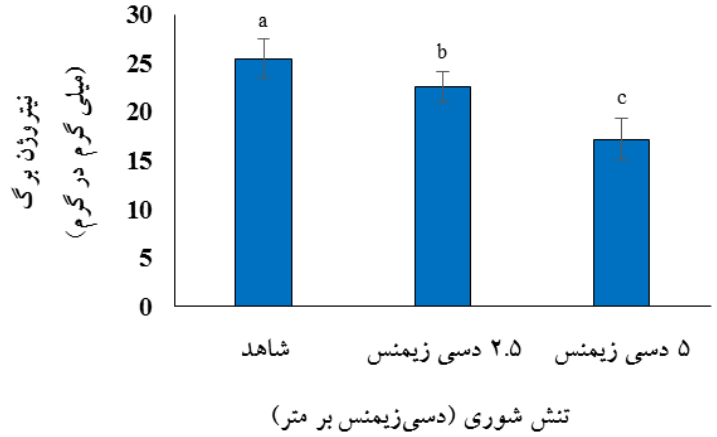
منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		نیتروژن برگ	نسبت سدیم برگ به پتاسیم برگ	نسبت کلر برگ به پتاسیم برگ
شوری	۲	۲۵۶/۴**	۰/۱۵**	۶/۰۱**
محلول‌های تیماری	۴	۳۴/۴**	۰/۰۲**	۱/۴۹**
شوری× محلول‌های تیماری	۸	۹/۸^{ns}	۰/۰۰۷**	۰/۴۸**
خطا	۳۰	۱۱/۰۷	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات	-	۱۵/۵۶	۴/۶۶	۶/۲۷

**** و ns: به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار است.**

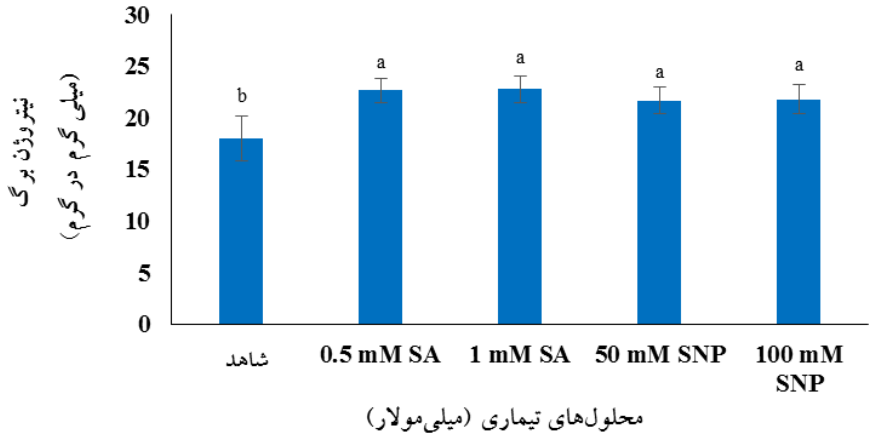
بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها نسبت سدیم برگ به پتاسیم برگ (۰/۴۱) و نسبت کلر برگ به پتاسیم برگ (۳/۰۵) در تیمار تنش شوری شدید (۵ دسی‌زیمنس بر متر NaCl) و عدم استفاده از محلول تیماری بیش از سایر تیمارها بود که بیانگر کاهش جذب پتاسیم نسبت به سدیم و کلر بود (جدول ۹).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.169]



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر اصلی تنش شوری بر نیتروژن برگ خرفه. حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست. بارها بیانگر انحراف معیار داده‌هاست.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر اصلی محلول‌های تیماری (اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید) بر نیتروژن برگ خرفه. حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست. بارها بیانگر انحراف معیار داده‌هاست.

بحث

اثرهای منفی شوری بر رشد گیاه، به‌علت پتانسیل اسمزی پایین محلول خاک (تنش اسمزی)، اثرهای ویژه یونی (تنش شوری)، عدم تعادل عناصر غذایی یا مجموعه این عوامل ایجاد می‌شود، لذا هنگامی که گیاه در شرایط شور رشد می‌کند فعالیت فتوسنتزی آن کاهش یافته و منجر به کاهش طول ساقه می‌گردد. با افزایش غلظت املاح، فشار اسمزی محلول خاک زیاد می‌شود، در نتیجه مقدار انرژی که گیاه باید صرف جذب آب از خاک نماید افزایش می‌یابد که این عمل باعث کاهش جذب آب، افزایش تنفس و کاهش ارتفاع گیاه می‌شود (Ahmadi and Souri, 2018; Amiripour *et al*., 2021). شوری سبب کاهش ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک گیاه می‌شود (Yang *et al*., 2023). کاهش رشد گیاه در اثر شوری می‌تواند در اثر تغییر در انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به ریشه‌ها، کاهش رشد بخش هوایی به ویژه برگ‌ها و یا به دلیل بسته شدنی جزئی یا کلی روزنه‌ها یا به علت اثر مستقیم نمک بر روی سیستم فتوسنتزی و یا تأثیر بر توازن یونی باشد. اثر سوء تنش شوری روی کاهش ارتفاع بوته در گیاهان مختلف گزارش شد است که استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد راهکاری مناسب برای تعدیل تنش شوری است (Ahmadi and Souri, 2018). در این

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-17]
[DOI: DOI: 10.22034/15.71.169]

جدول ۹- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار تنش شوری و محلول تیماری بر نسبت سدیم و کلر برگ به پتاسیم در گیاه خرفه

تنش شوری (دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم)	محلول تیماری (میلی‌مولار)	نسبت سدیم برگ به پتاسیم برگ	نسبت کلر برگ به پتاسیم برگ
صفر (شاهد- بدون شوری)	صفر (شاهد- بدون محلول‌پاشی)	۰/۰۶^{g}	۰/۳۷^{h}
	۰/۵ اسید سالیسیلیک	۰/۰۵^{g}	۰/۳۳^{h}
	۱ اسید سالیسیلیک	۰/۰۵^{g}	۰/۳۰^{h}
	۵۰ سدیم نیتروپروساید	۰/۰۵^{g}	۰/۳۵^{h}
	۱۰۰ سدیم نیتروپروساید	۰/۰۵^{g}	۰/۳۷^{h}
۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر	صفر (شاهد- بدون محلول‌پاشی)	۰/۱۵^{d}	۱/۴۸^{b}
	۰/۵ اسید سالیسیلیک	۰/۰۹^{e}	۰/۶۳^{f}
	۱ اسید سالیسیلیک	۰/۰۷^{f}	۰/۵۲^{g}
	۵۰ سدیم نیتروپروساید	۰/۰۹^{e}	۰/۶۵^{f}
	۱۰۰ سدیم نیتروپروساید	۰/۰۹^{e}	۰/۷۷^{e}
۵ دسی‌زیمنس بر متر	صفر (شاهد- بدون محلول‌پاشی)	۰/۴۱^{a}	۳/۰۵^{a}
	۰/۵ اسید سالیسیلیک	۰/۲۱^{b}	۱/۲۴^{c}
	۱ اسید سالیسیلیک	۰/۱۹^{c}	۱/۰۹^{d}
	۵۰ سدیم نیتروپروساید	۰/۲۱^{b}	۱/۲۶^{c}
	۱۰۰ سدیم نیتروپروساید	۰/۲۱^{b}	۱/۳۲^{c}

حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست.

تحقیق اسید سالیسیلیک سبب افزایش ارتفاع گیاه شد که می‌تواند به دلیل نقش مهم این هورمون در افزایش تقسیم سلولی و تمایز سلول‌ها و افزایش تعداد روزنه‌ها باشد و از طرفی اسید سالیسیلیک سبب افزایش بافت‌های استحکامی و جلوگیری از تخریب دیواره سلولی می‌شود (Emamverdian *et al.*, 2020). اسید سالیسیلیک سبب بهبود جذب سایر عناصر غذایی می‌شود که این خود می‌تواند افزایش رشد گیاه را به همراه داشته باشد. چون اسید سالیسیلیک یکی از محرک‌های مهم فرایند فتوسنتز و کلروفیل‌سازی است، بنابراین تأثیر مهمی در افزایش رشد گیاه دارد (Desire and Arslan, 2021). اسید سالیسیلیک در افزایش ارتفاع گیاه ریحان تحت تنش خشکی اثر بخش بود (Kahveci *et al.*, 2021) که همسو با نتایج تحقیق حاضر است. همچنین سدیم نیتروپروساید به دلیل نقش اساسی در کاهش مقدار پراکسیداسیون لیپیدی و کاهش خسارت وارده به رنگیزه‌ها در مقابل تنش اکسیداتیو و همچنین تقویت فعالیت‌های بیولوژیکی مانند رشد و نمو، فتوسنتز، جذب و انتقال یون‌ها و تغییر در فعالیت برخی آنزیم‌های مهم رشد گیاه سبب بهبود رشد گیاه می‌شود (Ramadan *et al.*, 2019). در تحقیقی مشابه افزایش عملکرد رشد گیاه در عدس با کاربرد توسط Yasir و همکاران (۲۰۲۱) گزارش شد.

شوری با تغییر وضعیت آبی گیاه باعث توقف رشد، جلوگیری از تقسیم و طویل‌شدن و مرگ سلولی می‌شود (Safdar *et al.*, 2021). ارشان و همکاران (۱۴۰۲) با تحقیقی روی نعنا فلفلی نشان دادند که افزایش شدت شوری موجب کاهش مقدار آب برگ، وزن تر و خشک بوته، درصد و عملکرد اسانس و محتوای کلروفیلی برگ شد. سمیت یونی، عدم تعادل عناصر غذایی و به‌هم‌خوردن تنظیم اسمزی از اثرات تنش شوری است. سدیم نیتروپروساید موجب افزایش رشد و عملکرد نعنا فلفلی و کاهش خسارت رادیکال‌های آزاد و در نتیجه افزایش تحمل نعنا فلفلی و بهبود نسبی صفات

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-17]
[DOI: DOI: 10.22034/15.71.169]

فیزیولوژیک و جذب عناصر غذایی تحت تنش شوری شد.

تعداد گل پارامتر مهمی در گیاهان زینتی و دارویی هستند که نشان‌دهنده قدرت گیاه در فاز زایشی است. بیشتر گیاهان در فاز رویشی شاید با مشکل اساسی مواجه نشود ولی تأثیر تنش در فاز رویشی خود را نمایان می‌کند (Silva *et al*., 2021). کاهش معنی‌دار تعداد گل در خرفه تحت تنش شوری این ادعا را ثابت می‌کند. در تحقیقی کاهش تعداد گل در گیاه فلفل تحت تنش شوری و افزایش تعداد گل با کاربرد اسید سالیسیلیک در تعدیل تنش گزارش شد (Iqbal *et al*., 2024). سدیم نیتروپروساید به دلیل نقش مهم در از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن سبب تعدیل تنش شوری و افزایش قدرت گیاه برای گلدهی می‌شود (Yasir *et al*., 2021).

کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش شوری می‌تواند عمدتاً به‌دلیل تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها، واکنش آن‌ها با رادیکال اکسیژن، تخریب پیش‌ماده‌های سنتز کلروفیل و ممانعت از بیوسنتز کلروفیل‌های جدید و فعال‌شدن آنزیم‌های تجزیه‌کننده کلروفیل از جمله کلروفیلاز و اختلالات هورمونی باشد. محتوای کلروفیل برگ به‌عنوان یک عامل مهم در تعیین ظرفیت فتوسنتزی برگ محسوب می‌شود و کاهش محتوای کلروفیل به‌عنوان یک عامل غیرروزنه‌ای می‌تواند منجر به کاهش ظرفیت فتوسنتزی برگ شود (Pan *et al*., 2021). علاوه‌براین، تنش شوری در جذب برخی عناصر ضروری نظیر آهن و منیزیم اختلال ایجاد می‌کند که این عناصر در سنتز کلروفیل ضروری هستند (Hoang *et al*., 2020). تنش شوری باعث پیری زودرس برگ‌ها، شکسته‌شدن کلروپلاست و کاهش میزان کلروفیل می‌شود. کاهش کلروفیل منجر به کاهش فتوسنتز می‌شود و گیاهانی که در زمان تنش میزان کلروفیل بیشتری را حفظ کنند، کارایی فتوسنتز بیشتری دارند و در برابر تنش مقاوم هستند (Yang *et al*., 2023). کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش شوری به‌دلیل فعالیت بیشتر کلروفیلاز است. بعضی از مواد تنظیم‌کننده رشد مانند اسیدآبسیزیک و اتیلن که میزان آن‌ها در شرایط تنش افزایش می‌یابد موجب تحریک فعالیت این آنزیم می‌شود. همچنین کاهش میزان سبزینه می‌تواند به دلیل تغییر سوخت‌وساز نیتروژن در رابطه با ساخت ترکیب‌هایی اسیدآمینه پرولین باشد که در شرایط تنش برای تحقق تنظیم اسمزی تولید می‌شود (Amiripour *et al*., 2021).

اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید متابولیسم مزوفیل را تحت تأثیر قرار داده و از طریق افزایش سنتز آنزیم ریبولوز-بی‌فسفات و افزایش فعالیت روبیسکو یا هر دو ظرفیت فتوسنتزی را افزایش می‌دهد. تحریک رشد همراه با باز شدن روزنه‌ها جزء اولین پاسخ‌های گیاهان به تنظیم‌کننده‌های رشد است. مکانیزم فتوسنتزی در کلروپلاست‌ها عمدتاً پیچیده است و در طی مراحل اولیه تنش‌های محیطی محدودیت عمده در فتوسنتز ناشی از بسته‌شدن روزنه‌ها است که با تنظیم‌کننده‌های رشد می‌توان آن را تا حدودی بهبود بخشید (نورزاد و همکاران، ۱۳۹٤). افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاهان تحت تیمار تنظیم‌کننده‌های رشد می‌تواند ناشی از کاهش آسیب‌های اکسیداتیو و بازدارندگی مراحل مختلف فتوسنتز باشد. این مواد محرک رشد گیاه با تعدیل بازدارندگی بیوسنتز پروتئین‌های کمپلکس LHC II در سطح رونویسی مانع از مختل‌شدن تشکیل این کمپلکس می‌شود. اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید متابولیسم مقدار کلروفیل a و b را عمدتاً به‌دلیل بهبود جذب منیزیم و نیتروژن به‌عنوان درشت مغذی‌های ضروری برای بیوسنتز کلروفیل افزایش می‌دهد (Yasir *et al*., 2021؛ اسدی‌صنم و همکاران، ۱۳۹۷). در تحقیقی مشابه افزایش محتوای فتوسنتزی گیاه کاملینا با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک تحت تنش شوری گزارش شد (Gore, 2025) که همسو با نتایج حاضر است.

شوری از طریق کاهش پتانسیل آب و سمیت یون‌های خاص از قبیل سدیم و کلر و همچنین کاهش یون‌ها غذایی مورد نیاز گیاه مانند پتاسیم بر رشد آن‌ها تأثیر می‌گذارد (Moghaddam *et al*., 2020). تجمع کلر و سدیم در ریشه و برگ گشنیز تحت تأثیر تنش شوری (Amiripour *et al*., 2021) و اثر مفید اسید سالیسیلیک در افزایش عناصر برگی و کنترل بیش از حد سدیم و کلر اندام‌های مختلف گیاه تاج

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.169]

خروس (Hoang *et al*., 2020) گزارش شد که همسو با تحقیق حاضر است.

در شرایط شوری، میزان یون‌های سدیم (Na^+) و کلر (Cl^-) در خاک بالاست. گیاهان عمدتاً این یون‌ها را از طریق ریشه‌ها جذب می‌کنند. با این حال، بعضی از این یون‌ها ممکن است به طور نامطلوب به سمت برگ‌ها منتقل شوند. این انتقال ممکن است به دلیل فشار اسمزی و مکانیسم‌های تحرک درون‌سلولی باشد. گیاهان در شرایط تنش شوری به طور انتخابی سدیم و کلر را در برگ‌ها تجمع دهند تا از تأثیر منفی این یون‌ها بر ریشه‌ها جلوگیری کنند (تبریزی‌دوز و همکاران، ۱۴۰۲). این مسأله باعث می‌شود گیاهان بهتر بتوانند یون‌ها را با هم‌زیستی متعادل کنند و اثرات سمی آن‌ها را کاهش دهند. در برخی از گیاهان، تجمع سدیم و کلر در نواحی خاص (مانند برگ‌ها) به گیاه کمک می‌کند تا از عوارض نامطلوب تنش شوری در ریشه‌ها و سایر اعضای حیاتی کاسته و متابولیسم خود را حفظ کند (Amiripour *et al*., 2021). گیاهان ممکن است مکانیسم‌هایی را فعال کنند که به آن‌ها کمک می‌کند تا یون‌های سمی را در بافت‌های خاصی (مانند برگ‌ها) ذخیره کنند و در نتیجه از نواحی حساس‌تر مانند ریشه‌ها محافظت کنند (Abdi *et al*., 2023).

کاهش مقدار نیتروژن در اندام‌های هوایی را در محیط‌های شور می‌توان ناشی از ممانعت یون کلر از جذب نیترات به دلیل رابطه آنتاگونیستی بین یون کلر با یون نیترات دانست (مردانی و همکاران، ۱۳۹۸). به استناد برخی از گزارش‌ها، اسید سالیسیلیک باعث افزایش تحرک فسفر در ریشه شده و باعث جذب بیشتر این عنصر توسط اندام هوایی گیاه می‌گردد (Hoang *et al*., 2020). افزایش عناصر برگی گیاه خرفه تحت تیماردهی اسید سالیسیلیک بیانگر اثر مثبت این ماده در جذب عناصر پرمصرف برگی است. پتاسیم تأثیر زیادی در پایین نگه داشتن پتانسیل اسمزی سلول‌های ریشه دارد و وجود آن برای حفظ و ایجاد فشار آماس و تنظیم تعادل آبی در گیاهان حیاتی است (Iqbal *et al*., 2024).

شوری مقدار پتاسیم برگ و ریشه خرفه را کاهش داد. این امر می‌تواند در تثبیت موازنه یون‌های غیرمتحرک در سیتوپلاسم و یون‌های متحرک در واکوئل و تغییر در آوند چوب و آبکش نقش عمده‌ای دارد. تجمع اسیدهای آلی در سلول غالباً نتیجه انتقال یون پتاسیم بدون همراهی آنیون‌ها به درون سیتوپلاسم سلول است. برای ایجاد تعادل در یون پتاسیم نیاز به سنتز اسیدهای آلی در سلول است، از این‌رو چنانچه میزان جذب پتاسیم زیاد شود، برای حفظ تعادل، سنتز اسیدها در گیاه ضرورت دارد (Amin *et al*., 2021). میزان پتاسیم ریشه و اندام هوایی گیاهان تحت تنش شوری کاهش می‌یابد (Zhou *et al*., 2024). در برخی مطالعات نتایج متناقضی از تنش شوری و جذب عنصر پتاسیم وجود دارد. یکی از دلایل کاهش مقدار پتاسیم، مسدودشدن کانال‌های واردکننده پتاسیم توسط سدیم است (Amin *et al*., 2021). پتاسیم جز عناصر پرمصرفی است که به دلیل کارکردهای ویژه خود اهمیت زیادی در واکنش گیاهان به تنش‌های محیطی به خصوص شوری دارند. تنظیم اسمزی از طریق جذب و تجمع این یون‌ها و همچنین افزایش یون‌های دیگر و ترکیبات آلی در سلول منجر به حفظ پتانسیل اسمزی در این شرایط می‌گردد. وجود پتاسیم و جذب آن‌ها از طریق ریشه می‌تواند در رقابت با سدیم، اثر این یون را کاهش دهد. نگهداری سطح مناسبی از پتاسیم برای حیات گیاهان در شرایط شوری ضروری است. پتاسیم تأثیر زیادی در پایین نگه‌داشتن پتانسیل اسمزی سلول‌های ریشه دارد و وجود آن برای حفظ و ایجاد فشار آماس و تنظیم تعادل آبی در گیاهان حیاتی است (Hajihashemi *et al*., 2022).

پتاسیم و سدیم هر دو از طریق ریشه‌های گیاه جذب می‌شوند و در شرایط شوری، غلظت سدیم در خاک افزایش می‌یابد. این افزایش باعث می‌شود که سدیم رقابت بیشتری با پتاسیم برای جذب داشته باشد و در نتیجه جذب پتاسیم کاهش یابد (Iqbal *et al*., 2024). افزایش سدیم به اثرات منفی بر عملکرد گیاه منجر می‌شود و به عنوان یک عنصر سمی عمل می‌کند و در نتیجه تعادل یونی در سلول‌ها مختل شود، که بر جذب و انتقال پتاسیم تأثیر منفی می‌گذارد (Hajihashemi *et*

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.169]

al., 2022).

در محیط‌های شور، غلظت یون کلر (Cl^-) به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. همانند پتاسیم، کلر نیز باید از طریق ریشه‌ها جذب شود. با این حال، در شرایط شوری، به دلیل افزایش سطح کلر در محیط، گیاهان به طورکلی میزان بیشتری از آن را جذب می‌کنند. در شرایط تنش شوری، جذب پتاسیم به دلیل رقابت با سدیم و همچنین اثرات منفی ناشی از سدیم کاهش می‌یابد، که منجر به افزایش نسبی کلر نسبت به پتاسیم می‌شود (Waheed *et al.*, 2024).

نتیجه‌گیری

در مجموع در تحقیق حاضر نتایج نشان داد تنش شوری دارای اثر معنی‌داری در کاهش وزن و عملکرد گیاه بود و گیاه خرفه با کاهش رشد مواجه شد. ارتفاع بوته، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه به واسطه اثر منفی تنش شوری کاهش یافت. استفاده از محلول‌های تیماری به ویژه اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار دارای اثر بهتری در تعدیل شدت تنش شوری با بهبود صفات مورفولوژیک و تعداد گل گیاه شد. در بیشتر موارد اختلاف معنی‌داری بین غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم نیتروپروساید وجود نداشت، بنابراین دامنه ۱۰۰-۵۰ میلی‌مولار از این ماده در شرایط خاک یا آب شور قابل پیشنهاد خواهد بود. با افزایش شدت تنش و جذب بیشتر کلر و سدیم نسبت این عناصر به پتاسیم کاهش یافت که بیانگر تأثیر شوری بر انباشت این عناصر در اندام گیاه بود. نسبت کلروفیل *a* به کلروفیل *b* در تیمار تنش شوری ملایم (۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر) و استفاده از ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بیش از سایر تیمارها بود. در این تیمار احتمالاً مقدار عددی کلروفیل *a* بسیار بیشتر از کلروفیل *b* بود. در مجموع می‌توان گفت اگرچه در شرایط تنش ملایم عملکرد و میزان جذب عناصر مفید کاهش یافت اما با استفاده از محلول‌های تیماری رشد گیاه تا حدودی بهبود یافت و گیاه خرفه نسبتاً این سطح از تنش را تحمل کرد. بنابراین در شرایط آب و خاک شور که منجر به نقصان عملکرد گیاه می‌شود می‌توان محلول‌های تیماری سدیم نیتروپروساید و اسید سالیسیلیک به ویژه غلظت ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک را توصیه نمود.

منابع

ارشان، کلثوم، صمصام‌پور، داود، و پاسالاری، حسین (۱۴۰۲). اثر سدیم نیتروپروساید (SNP) بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت تنش شوری. *پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۳۰(۱)، ۸۵-۱۰۲.

اسدی‌صنم، سمانه، محمدی، سیده محدثه، رامئه، ولی‌اله، گرامی، مهیار، و خوش‌روز، مجید (۱۳۹۷). اثر سدیم نیتروپروساید (SNP) بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه دارویی سرخارگل [*Echinaceae purpurea* (L.) Moench] تحت تنش شوری. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۷(۲۳)، ۱۲۳-۱۳۸. URL: http://jispp.iut.ac.ir/article-1-628-fa.html

تبریزی‌دوز، رها، کلاته‌جاری، سپیده، نادری، داود، قنبری‌جهرمی، مرضیه، و اسدی قارنه، حسنعلی (۱۴۰۲). نقش محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید بر القای فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه نرگس (*Narcissus tazetta* L.) در واکنش به آبیاری با آب شور. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۲(۵۴)، ۷۳-۹۰.

رقامی، محمود، استاجی، احمد، باقری، واحد، و آریاکیا، الیاس (۱۳۹۵). تأثیر تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک گیاه بادمجان (*Solanum melongena* var. Taki) در سیستم کشت بدون خاک. *روابط خاک و گیاه (علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای)*، ۷(۲۷)، ۷۷-۸۷.

فتحی، علیرضا، برادران فیروزآبادی، محمدرضا، عامریان، محمدرضا، و قلی‌پور، منوچهر (۱۳۹۶). اثر سدیم نیترو پروساید و کربنات کلسیم بر برخی صفات فیزیولوژیکی کنجد در شرایط تنش شوری. *فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۹(۳۵)، ۵-۲۰.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.169]

کبیری، رزیتا، نقی‌زاده، مهدی، و دلفانی، مریم (۱۴۰۰). اثر پیش‌تیمار سدیم نیتروپروساید بر بهبود جوانه‌زنی و رشد اولیه سیاهدانه (*Nigella sativa*) تحت تنش شوری. *علوم و تحقیقات بذر ایران*، *۸*(۲)، ۱۷۷-۱۹۴.

مردانی، حسین، رزمجو، جمشید، و غفاری، حمیده (۱۳۹۸). بررسی برهمکنش شوری و کود اوره بر برخی صفات فیزیولوژیکی، عملکرد کمی و کیفی گل ختمی (*Althaea afficinalis*). *فرایند و کارکرد گیاهی*، *۸*(۳۰)، ۲۲۳-۲۴۳.

نورزاد، سودابه، احمدیان، احمد، و مقدم، محمد (۱۳۹۴). بررسی میزان پرولین، شاخص کلروفیل، کربوهیدرات و مقدار جذب عناصر غذایی در گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) تحت تأثیر تنش خشکی و تیمار کودی. پژوهش‌های زراعی ایران، *۱۳*(۱)، ۱۳۹-۱۳۱.

Abdi, M. J., Ghanbari Jahromi, M., Mortazavi, S. N., Kalateh Jari, S., & Nazarideljou, M. J. (2023). Foliar-applied silicon and selenium nanoparticles modulated salinity stress through modifying yield, biochemical attribute, and fatty acid profile of *Physalis alkekengi* L., *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(45), 100513-100525. https://doi.org/10.1007/s11356-023-29450-4

Ahmadi, M, & Souri, M. K. (2018). Growth and mineral content of coriander (*Coriandrum sativum* L.) plants under mild salinity with different salts. *Acta Physiologiae Plantarum*, *40*(11), 1-8. https://doi.org/10.1007/s11738-018-2773-x

Al-Quwaie, D. A., Allohibi, A., Aljadani, M., Alghamdi, A. M., Alharbi, A. A., Baty, R. S., Qahl, S. H., Saleh, O., Shakak, A. O., Alqahtani, F. S., Khalil, O. S. F., El-Saadony, M. T., & Saad, A. M. (2023). Characterization of *Portulaca oleracea* whole plant: Evaluating antioxidant, anticancer, antibacterial, and antiviral activities and application as quality enhancer in Yogurt. *Molecules*, *28*(15), 5859. doi: 10.3390/molecules28155859

Amin, I., Rasool, S., Mir, M. A., Wani, W., Masoodi, K. Z., & Ahmad, P. (2021). Ion homeostasis for salinity tolerance in plants: A molecular approach. *Physiologia Plantarum, 171*(4), 578-594. doi: 10.1111/ppl.13185

Amiripour, A., Ghanbari Jahromi, M., Souri, M. K., & Mohammadi Torkasvand, A. (2021). Silicon stimulates physiochemical properties of coriander (*Coriandrum sativum* L.) to improve growth and yield under salt stress. *Journal of Medicinal plants and By-product*, *10*(2), 209-216.

Angouti, F., Nourafcan, H., Saeedi Sar, S., Assadi, A., & Ebrahimi, R. (2024). Optimizing antidiabetic properties of *Galega officinalis* extract: Investigating the effects of foliar application of chitosan and salicylic acid. *Food Science and Nutrition*, *12*(8), 5844-5857. doi: 10.1002/fsn3.4204

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, *24*(1), 1. doi: 10.1104/pp.24.1.1

Chapman, H. D, & Pratt, P. F. (1962). Methods of analysis for soils, plants and waters. *Soil Science*, *93*(1), 68. https://doi.org/10.1097/00010694-196201000-00015

Desire, M, & Arslan, H. (2021). The effect of salicylic acid on photosynthetic characteristics, growth attributes, and some antioxidant enzymes on parsley (*Petroselinum crispum* L.) under salinity stress. *Gesunde Pflanzen*, *73*(4), 435-444. https://doi.org/10.1007/s10343-021-00565-3

Diana, A. A., Mohamed, T. E., & Saad, A. M. (2023). Characterization of *Portulaca oleracea* whole plant: Evaluating antioxidant, anticancer, antibacterial, and antiviral activities and application as quality enhancer in Yogurt. *Molecules*, *28*(15), 5859. doi: 10.3390/molecules28155859

Emamverdian, A., Ding, Y., & Mokhberdoran, F. (2020). The role of salicylic acid and gibberellin signaling in plant responses to abiotic stress with an emphasis on heavy metals. *Plant Signaling and Behavior*, *15*(7), 1777372. doi: 10.1080/15592324.2020.1777372

Gore, M. (2025). Mitigation of salt stress in *Camelina sativa* by epibrassinolide and salicylic acid treatments. *Scientific Reports*, *15*, 7965. https://doi.org/10.1038/s41598-025-92555-y

Habila, S., Khunpolwattana, N., Chantarachot, T., Buaboocha, T., Comai, L., Chadchawan, S., & Pongpanich, M. (2022). Salt stress responses and SNP-based phylogenetic analysis of Thai rice cultivars. *The Plant Genome*, *15*(1), e20189. https://doi.org/10.1002/tpg2.20189

Hajihashemi, S., Jahantigh, O., & Alboghobeish, S. (2022). The redox status of salinity-stressed *Chenopodium quinoa* under salicylic acid and sodium nitroprusside treatments. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 1030938. doi: 10.3389/fpls.2022.1030938

Hoang, H. L., de Guzman, C. C., Cadiz, N. M., Hoang, T. T. H., Tran, D. H., & Rehman, H. (2020). Salicylic acid and calcium signaling induce physiological and phytochemical changes to improve salinity tolerance in red amaranth (*Amaranthus tricolor* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *20*(4), 1759-1769. https://doi.org/10.1007/s42729-020-00248-4

Inbar, O., Oren, A., Scheinowitz, M., Rotstein, A., Dlin, R., & Casaburi, R. (1994). Normal cardiopulmonary responses

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.169]

during incremental exercise in 20- to 70-yr-old men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *26*(5), 538-46. https://doi.org/10.1249/00005768-199405000-00003

Iqbal, M., Raza, H., Munawar, M., Khan, W., Siddique, Z., & Ashraf, M. I. (2024). Foliar application of salicylic acid and ascorbic acid mitigates salinity stress in hot pepper through enhanced antioxidants activity. *Zoo Botanica*, *2*(3). https://doi.org/10.55627/zoobotanica.002.03.0983

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

Kumar, S., Ahanger, M. A., Alshaya, H., Jan, B. L., & Yerramilli, V. (2022). Salicylic acid mitigates salt induces toxicity through the modifications of biochemical attributes and some key antioxidants in *Capsicum annum*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *29*, 1337-1347. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.01.028

Ma, Y., Dias, M. C., & Freitas, H. (2020). Drought and salinity stress responses and microbe-induced tolerance in plants. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 591911. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.591911

Moghaddam, M., Farhadi, N., Panjtandoust, M., & Ghanati, F. (2020). Seed germination, antioxidant enzymes activity and proline content in medicinal plant *Tagetes minuta* under salinity stress. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, *154*(6), 835-842. doi: 10.1080/11263504.2019.1701122

Munns, R, & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, *59*, 651-81. doi:10.1146/annurev. arplant.59.032607.092911

Pan, T., Liu, M., Kreslavski, V. D., Zharmukhamedov, S. K., Nie, C., Yu, M., Kuznetsov, V. V., Allakhverdiev, I. S., & Shabala, S. (2021). Non-stomatal limitation of photosynthesis by soil salinity. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, *51*(8), 791-825. https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1735231

Ramadan, A. A., Abd Elhamid, E. M., & Sadak, M. S. (2019). Comparative study for the effect of arginine and sodium nitroprusside on sunflower plants grown under salinity stress conditions. *Bulletin of the National Research Centre*, *43*(1), 1-12. https://doi.org/10.1186/s42269-019-0156-0

Safdar, M. U., Mavroulidou, M., Gunn, M. J., Purchase, D., Payne, I., & Garelick, J. (2021). Electrokinetic biocementation of an organic soil. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, *21*, 100405. https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100405

Silva, B. N., Cadavez, V., Ferreira-Santos, P., Alves, M. J., Ferreira, I. C. F. R., Barros, L., Teixeira, J. A., & Gonzales-Barron, U. (2021). Chemical profile and bioactivities of extracts from edible plants readily available in portugal. *Foods*, *10*(3), 673. doi: 10.3390/foods10030673

Sparks, D. L. (1996). Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Madison.

Sundararajan, S., Shanmugam, R., Sivakumar, H. P., & Ramalingam, S. (2022). Exogenous supplementation with sodium nitroprusside, a nitric oxide donor, mitigates the effects of salinity in *Abelmoschus esculentus* L. seedlings. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, *2*(3), 1-11. doi: 10.1007/s13580-021-00406-2

Sutjiatmo, A. B., Vikasari, S. N., & Bintussolihah, F. (2021). Antihypertensive effects of Purslane (*Portulaca oleracea*) extract in animal model of hypertension. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *755*(1), 012011. doi: 10.5281/zenodo.4482092

Waheed, A., Zhuo, L., Wang, M., Hailiang, X., Tong, Z., Wang, C., & Aili, A. (2024). Integrative mechanisms of plant salt tolerance: Biological pathways, phytohormonal regulation, and technological innovations. *Plant Stress*, *14*, 100652. https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100652

Yang, W., Zhou, Z., & Chu, Z. (2023). Emerging roles of salicylic acid in plant saline stress tolerance. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(4), 3388. doi: 10.3390/ijms24043388

Yasir, T. A., Khan, A., Skalicky, M., Wasaya, A., Rehmani, M. I. A., Sarwar, N., Mubeen, K., Aziz, M., Hassan, M. M., Hassan, F. A. S., Iqbal, M. A., Brestic, M., Islam, M. S., Danish, S., & EL Sabagh, A. (2021). Exogenous sodium nitroprusside mitigates salt stress in lentil (*Lens culinaris* Medik.) by affecting the growth, yield, and biochemical properties. *Molecules*, *26*(9), 2576. https://doi.org/10.3390/molecules26092576

Zhou, H., Shi, H., Yang, Y., Feng, X., Chen, X., Xiao, F., Lin, H., & Guo, Y. (2024). Insights into plant salt stress signaling and tolerance. *Journal of Genetics and Genomics*, *51*(1), 16-34. https://doi.org/10.1016/j.jgg.2023.08.007

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.169]

Effect of sodium nitroprusside (SNP) and salicylic acid on growth characteristics and stress resistance indices of the purslane (*Portulaca oleracea* L.) under salinity stress conditions

Hassan Farhad Zadeh Borujerdi, Sepideh Kalateh Jari*, Marjan Diyanat

Department of Agricultural Science and Engineering, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

Salinity, as one of the most critical environmental stresses, adversely affects the growth and productivity of agricultural crops. This study aimed to investigate the impact of salicylic acid (SA) and sodium nitroprusside (SNP) applications on growth traits and mineral nutrient uptake in purslane (*Portulaca oleracea* L.) under salt stress. The research was conducted as a factorial experiment in a completely randomized design with three replications. Experimental treatments included three salinity levels (0, 2.5, and 5 dS/m induced by NaCl) and five foliar application treatments (control, 0.5 and 1 mM SA, 50 and 100 mM SNP). The results indicated that severe salinity stress (5 dS/m) significantly reduced plant height (35%), shoot dry weight (32%), root dry weight (20%), flower number, and leaf nitrogen content (32%). However, the application of SA and SNP partially mitigated the adverse effects of salinity. Specifically, 1 mM SA exhibited the most pronounced improvement in growth parameters, mineral uptake, and photosynthetic content. The highest sodium (Na^+) leaf-to-root ratio was observed under moderate salinity (2.5 dS/m) without foliar treatment. Under severe stress (5 dS/m), the 50 mM SNP treatment resulted in the highest chlorophyll *a* to *b* ratio (2.69). Additionally, the highest accumulation of Na^+ and chloride (Cl^-) in leaves and roots was recorded at 5 dS/m salinity, while 1 mM SA at the same salinity level showed the highest Cl^- leaf-to-root ratio. In conclusion, purslane demonstrated relative tolerance to salinity up to 2.5 dS/m, and Salicylic acid (1 mM) is recommended to alleviate stress effects at higher NaCl concentrations.

Keywords: Environmental stress, Foliar application, Ion toxicity, *Portulaca oleracea* (purslane), Sodium-to-potassium ratio (Na^+/K^+)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.169]

Received: Feb. 16, 2025; Revised: Jun. 24, 2025; Accepted: Aug. 19, 2025; Published Online: May. 02, 2026
*Corresponding Author: kalatehjari@srbiau.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.