



Original Article

Effect of Salinity Stress and Salicylic Acid on Growth, Antioxidant Activity, and Element Uptake in Purslane (*Portulaca oleracea* L.)

Hassan FarhadZadeh Borujerdi ¹, Sepideh Kalateh Jari ¹, Marjan Diyanat ¹

1. Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article history

Submitted: 2024-12-25

Revised: 2025-2-9

Accepted: 2025-6-11

KEYWORDS

Oxidative stress, Sodium accumulation, Plant growth regulator, Toxicity, Total phenolics.

ABSTRACT

Salinity stress, as one of the major challenges in agriculture, disrupts water and nutrient uptake by accumulating sodium and chloride ions in the soil, leading to reduced plant growth and yield. This stress damages plant cells through oxidative stress and disrupts metabolic processes. In this study, the effects of different salinity levels (0, 2.5, and 5 dS/m) and salicylic acid foliar application (0, 0.5, and 1 mM) on purslane (*Portulaca oleracea*) were investigated using a completely randomized factorial design with three replications. The results showed that salinity reduced plant growth and negatively affected chlorophyll a and b content. However, the application of salicylic acid (1 mM) mitigated these adverse effects by improving potassium uptake. Although salinity increased sodium and chloride accumulation, salicylic acid improved plant tolerance by reducing oxidative stress and maintaining photosynthetic efficiency. In conclusion, this study demonstrates that salicylic acid can serve as an effective strategy to enhance purslane's resistance under saline conditions.

* Corresponding author: *Sepideh Kalateh Jari*

✉ E-mail: kalatehjari@srbiau.ac.ir



تأثیر تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر رشد، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و جذب عناصر در گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.)

حسن فرهادزاده بروجردی^۱، سپیده کلاته‌جاری^۱، مرجان دیانت^۱

۱. گروه علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۳-۱۰-۰۵

بازنگری: ۱۴۰۳-۱۱-۲۱

پذیرش: ۱۴۰۴-۰۳-۲۱

چکیده: تنش شوری به‌عنوان یکی از چالش‌های اصلی کشاورزی، با تجمع یون‌های سدیم و کلر در خاک، جذب آب و مواد مغذی را مختل کرده و موجب کاهش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود. این تنش از طریق ایجاد استرس اکسیداتیو به سلول‌های گیاه آسیب زده و فرآیندهای متابولیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این پژوهش، تأثیر سطوح مختلف شوری (۰، ۲/۵، ۵ و دسی‌زیمنس بر متر) و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید (۰، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) بر گیاه خرفه در قالب آزمایشات فاکتوریل برپایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار بررسی شد. نتایج نشان داد که شوری رشد گیاه را کاهش و محتوای کلروفیل a و b را تحت تأثیر قرار داد، اما کاربرد سالیسیلیک اسید (۱ میلی‌مولار) با بهبود جذب پتاسیم، اثرات منفی شوری را تعدیل کرد. اگرچه شوری موجب افزایش تجمع سدیم و کلر شد، سالیسیلیک اسید با کاهش استرس اکسیداتیو و حفظ عملکرد فتوسنتزی، تحمل گیاه را بهبود بخشید. در نهایت، این مطالعه نشان می‌دهد که سالیسیلیک اسید می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مؤثر برای افزایش مقاومت گیاه خرفه در شرایط شوری مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی:

استرس اکسیداتیو، تجمع سدیم، تنظیم‌کننده رشد گیاهی.

*نویسنده مسئول: سپیده کلاته‌جاری

مقدمه

برای کشت مناسب نیستند (Mustafa et al., 2019).

شوری بر مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمی گیاهان تأثیر می‌گذارد و به‌طور چشمگیری بازده کشاورزی را کاهش می‌دهد. خاک با غلظت بالای نمک، توانایی ریشه‌های گیاه را برای جذب آب و مواد مغذی ضروری محدود می‌کند (Shrivastav et al., 2020). افزایش غلظت خارجی سدیم (Na^+) بر جذب پتاسیم (K^+) به سلول‌ها تأثیر منفی می‌گذارد که برای رشد گیاه حیاتی است. شوری بیشتر اثرات مخرب متعددی از جمله کاهش رشد گیاه و تأثیر بر فرآیند فتوسنتز دارد (Hameed et al., 2021). در تحقیقی نشان داده شد بیش‌ترین اثر تنش شوری ناشی از تجمع یون Na^+ ، ویژگی‌های بیوشیمیایی مانند پرولین آزاد و نشت الکترولیت از غشا و هم‌چنین شاخص پایداری غشا بود (Mansour et al., 2020). شوری باعث کاهش سبزی‌نگی برگ‌ها می‌شود. توسعه محصولات کشاورزی در مناطق مستعد شوری با استفاده از انواع اسمولیت‌ها و آسموپروتکتانت‌ها (مانند پرولین و اسید جاسمونیک) بهبود می‌یابد. با استفاده از این آسموپروتکتانت‌ها، تعداد برگ‌ها، محتوای کلروفیل، محتوای نسبی آب و کیفیت

خرفه با نام علمی (*Portulaca oleracea L.*) گیاه دارویی ارزشمند از خانواده (*Portulacaceae*)، گیاهی یک‌ساله با ساقه گوشت‌دار، برگ‌های متقابل و گل‌های کوچک زرد رنگ است که توسط سازمان بهداشت جهانی (*WHO*) به‌عنوان یکی از انواع پرمصرف‌ترین گیاهان دارویی معرفی شده و عنوان اکسیر جهانی به آن داده شده است (Diana et al., 2023). ساقه‌های قرمز رنگ و برگ‌های سبز گوشتی و آبدار دارد، ارتفاع این گیاه تا ۴۰ سانتی‌متر نیز می‌رسد (Al-Quwaie et al., 2023). این گیاه اثر درمانی در اسهال خونی، مار و حشره‌گزیدگی، بیماری‌های قلبی، دیابت و غیره دارد (Sutjiatmo et al., 2021).

شوری خاک که ۲۵ تا ۳۰ درصد از تولیدات کشاورزی جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به همراه سایر عوامل محیطی مهم مانند خشکی و گرما، تهدیدی برای امنیت غذایی جهانی محسوب می‌شود (Chaudhry and Sidhu, 2022). اخیراً ۷۷ میلیون هکتار (۵ درصد) یا بیش از ۱/۵ میلیارد هکتار از خاک‌های کشاورزی جهان به‌دلیل محتوای بالای نمک آسیب دیده‌اند و دیگر

اکسیداتیو، کاهش رشد و اختلال در کارایی فتوسنتز ناشی از تنش محافظت می‌کند (Alsahli *et al.*, 2019). این ترکیب تأثیر مثبتی بر توانایی گیاه برای تحمل تنش‌های زیستی و غیرزیستی و همچنین پاسخ‌های دفاعی دارد (Kandoudi and Nemeth-Zaborine, 2022). هدف مطالعه حاضر بررسی امکان کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید برای کاهش اثرات منفی شوری خاک بر گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.) و تعیین غلظت بهینه سالیسیلیک اسید در شرایط شوری و همچنین بررسی ارتباط بین تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ناشی از تنش شوری و سالیسیلیک اسید تأمین شده خارجی در گیاه خرفه بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌منظور بررسی اثر سالیسیلیک اسید در شرایط تنش شوری در فروردین ۱۴۰۱ در گلخانه‌ای در کرج با فتوپریود ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی، رطوبت نسبی ۶۵ تا ۸۰ درصد، حداکثر دما ۲۹ و حداقل دمای ۱۵ درجه سلسیوس که کنترل دما به‌وسیله فن صورت می‌گرفت، به مدت ۵ ماه انجام شد.

محصول بهبود خواهد یافت (Semida *et al.*, 2020). سالیسیلیک اسید (SA) گیاه را در برابر آسیب‌های اکسیداتیو، کاهش رشد و اختلال در کارایی فتوسنتز ناشی از تنش محافظت می‌کند (Dakheel *et al.*, 2022). سالیسیلیک اسید ابتدا در سال ۱۸۲۶ از پوست درخت بید (*Salix alba*) کشف شد (Dakheel *et al.*, 2022). سالیسیلیک اسید رشد گیاه را تنظیم می‌کند و گیاهان را در برابر تنش‌های محیطی از جمله تنش شوری محافظت می‌کند (Maruri-López *et al.*, 2019). با استفاده از سالیسیلیک اسید می‌توان به بازده کشاورزی بالا دست یافت، زیرا این ماده رشد گیاه و نرخ جوانه‌زنی را در شرایط شوری و بدون تنش بهبود می‌بخشد (Jangra *et al.*, 2022). مشخص شده است که استفاده از سالیسیلیک اسید می‌تواند بر تولید بذر، تنظیم روزه‌ها، محتوای کلروفیل و فتوسنتز تأثیر بگذارد (Moustakas *et al.*, 2022). تحت تنش‌های غیرزیستی، استفاده از سالیسیلیک اسید منجر به نرخ بالای تغذیه معدنی، ارزش پتانسیل آب، نرخ فتوسنتز و رشد می‌شود (Ignatenko *et al.*, 2023) و گیاه را در برابر آسیب‌های

گلدان‌ها را اندازه‌گیری نموده اگر از دو برابر EC اعمال شده بیشتر بود در دور بعدی آبیاری بدون تیمار شوری انجام شد. اعمال تیمارهای شوری به مدت ۵۰ روز از مرحله ۶ برگی تا شروع گلدهی ادامه داشت. محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید با غلظت‌های مذکور سه بار با فواصل ۱۵ روزه از مرحله ۴ برگی شروع شد و برای تیمارهای صفر (شاهد — کنترل) از آب مقطر استفاده شد. گیاهان ۱۰ روز پس از اتمام تیمارها، برداشت شدند (شکل ۱).



شکل ۱- گیاه خرفه در مرحله تیماردهی

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

ارتفاع بوته با خط‌کش اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن تر اندام هوایی، گیاه کشت‌شده در هر گلدان از یقه توسط قیچی قطع شد و وزن تمام قسمت‌های هوایی

بذرهای خرفه (تهیه شده از شرکت پاکان بذر اصفهان) ضدعفونی شد، در گلدان‌های ۳ لیتری حاوی پرلیت و کوکوپیت با نسبت ۱:۲، ده عدد بذر کشت شد که پس از رسیدن به مرحله ۴ برگی ۴-۵ گیاه در گلدان باقی ماند.

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در ۳ تکرار صورت گرفت. شوری در ۳ سطح (۰، ۲/۵ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر از منبع کلرید سدیم) و سالیسیلیک اسید در ۳ سطح (صفر (شاهد)، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) استفاده شد.

اعمال تنش شوری با کلرید سدیم بوده به طوری که 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 و ۲/۸۸۰ گرم نمک کلرید سدیم به‌طور جداگانه در یک لیتر آب معمولی حل‌شده و به‌صورت یکسان و یکنواخت آبیاری صورت گرفت. علاوه‌براین مقدار آب معادل ۲۵ درصد آب مصرفی به‌صورت مازاد و برای شستشوی نمک‌های باقی مانده در خاک اضافه شد به طوری که آب خارج شده از انتهای گلدان‌ها باعث شستشوی املاح شود بعد از دو بار اعمال تیمار شوری جهت حفظ و تثبیت شوری به صورت تصادفی EC زه‌آب تعدادی از

گیاه (ساقه، گل و برگ) اندازه‌گیری شد. پس از خشک کردن اندام هوایی در دستگاه آون در دمای ۷۲ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت، وزن خشک با ترازوی دیجیتال *Digital scale* با دقت ۰/۰۱ گرم به دست آمد (Inbar et al., 1994).

رنگیزه‌های فتوسنتزی: اندازه‌گیری میزان محتوای کلروفیل با روش Arnon (1949) انجام شد. بدین ترتیب که ابتدا ۰/۱ گرم نمونه برگ 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 به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت $g \times 5000$ 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 استخراج شده در طول موج‌های ۶۴۵ نانومتر و ۶۶۳ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرالت گردید. سپس با استفاده از رابطه‌های زیر کلروفیل a (رابطه ۱) و کلروفیل b (رابطه ۲) محاسبه شد.

رابطه ۱: $(2.69 \times A_{663}) - (12.7 \times A_{645})$
 $\times V / 1000 \times W$ = میلی‌گرم کلروفیل
 در هر گرم برگ‌تر

رابطه ۲: $(4.69 \times A_{663}) - (22.9 \times A_{645})$
 $\times V / 1000 \times W$ = میلی‌گرم کلروفیل
 b در هر گرم برگ‌تر
 در رابطه‌های بالا، A میزان جذب در طول موج مورد نظر، V حجم نهایی استون ۸۰ درصد برحسب میلی‌لیتر و W وزن برگ تازه برحسب گرم است.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

میزان آنزیم کاتالاز: ۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی گیاه تازه با ۹۸۰ میکرولیتر از بافر فسفات حاوی پراکسید هیدروژن دو میلی‌مولار مخلوط و تغییرات جذب آن‌ها در طول موج ۲۴۰ نانومتر از راه اندازه‌گیری تجزیه پراکسید هیدروژن توسط اسپکتروفتومتر مدل *Visible/UV-45* λ به صورت تغییرات جذب بر زمان (OD/ min) ثبت شد. فعالیت آنزیمی با استفاده از قانون بیرلامبرت و با ضریب خاموشی کاتالاز $39/4 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ محاسبه و در نهایت بر حسب میکرومول بر گرم بافت تازه در دقیقه بیان گردید (Obinger et al., 1997).

سوپراکسید دیسموتاز: ۰/۱ میلی‌گرم عصاره آنزیمی با تامپون استات ۰/۲ مولار، ۰/۴ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۳

۰/۵ مولار و قراردعی آن به مدت یک ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس خشک کن، عصاره گیری انجام شد. مقدار یک میلی لیتر از عصاره برای قرائت کلر طبق روش رنگ سنجی در طول موج ۴۸۰ نانومتر توسط دستگاه اپوچ^۱ *Biotek Epoch Microplate Spectrophotometer* محصول شرکت بایوتک آمریکا، استفاده شد (Munns and Tester, 2008).

صفات فیتوشیمیایی

فول کل

پس از عصاره گیری متانولی، عصاره های حاصل پس از صاف شدن با دستگاه تبخیرکننده چرخان با دمای ۴۰ درجه سانتی گراد تغلیظ و میزان ترکیب های فنلی موجود در عصاره این گیاه از طریق رنگ سنجی به روش فولین — سیوکالتو مورد بررسی قرار گرفت (Singleton and Rossi jaj, 1965). مطابق روش McDonald و همکاران (۲۰۰۱)، ۰/۵ میلی لیتر از عصاره استخراجی با ۵ میلی لیتر معرف فولین — سیوکالتو (که با آب مقطر ۱۰ برابر رقیق شد) و ۴ میلی لیتر از محلول کربنات سدیم یک مولار به خوبی مخلوط گردید. مخلوط به مدت ۱۵ دقیقه

درصد و ۰/۲ میلی لیتر بنزیدین محلول در الکل ۵۰ درجه سلسیوس ۰/۰۱ مولار اضافه و تغییرات جذب آن به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل *Visible/UV-45 Lambda* در طول موج ۵۳۰ نانومتر در مقابل دستگاه شاهد قرائت شد. نتایج براساس واحد آنزیمی در گرم وزن تر گزارش گردید (Haji Amini et al., 2014).

اندازه گیری پتاسیم و سدیم برگ:

برگ های گیاه بعد از برداشت در هوای آزاد کاملاً خشک شدند. سپس با استفاده از هاون نمونه ها پودر شدند. ۰/۳ از نمونه های پودر شده را توزین کرده و در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۶ ساعت خاکستر شدند و سپس در ۵ میلی لیتر محلول اسید نیتریک ۲ مولار حل شدند. حجم محلول در نهایت با آب دو بار تقطیر به ۲۵ میلی لیتر رسانده شد و با کاغذ صافی واتمن شماره ۱ صاف شد. سپس با دستگاه فلیم فومتری (مدل *PFP7* ساخت کمپانی *JENWAY* انگلستان) اندازه گیری شد (Chapman and Pratt, 1962).

اندازه گیری کلر برگ: برای

اندازه گیری کلر ۱۰۰ میلی گرم از بافت گیاهی پودر شده درون لوله فالکن ریخته و پس از افزودن ۱۰ میلی لیتر نیتریک اسید

۰/۱ میلی لیتر کلرید آلومینیوم (۱۰ درصد متانولی)، ۰/۱ میلی لیتر استات پتاسیم (۱M) و ۲/۸ میلی لیتر آب مقطر ترکیب شدند. سپس محلول‌ها در دمای اتاق به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شد. جذب هر ترکیب واکنشی در ۴۱۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل *Visible/UV-45 Lambda* اندازه‌گیری شد. منحنی استاندارد با محلول‌های کوئرستین (Quercetin, Sigma Chemical Co.) متانولی در غلظت‌های ۱۰۰۰-۲۵۰ میکروگرم بر میلی لیتر تهیه شده و منحنی با نرم‌افزار *Excel* رسم گردید، سپس معادله خط $y=bx+a$ به دست آمد. جذب‌های خوانده شده از نمونه‌ها به جای y قرار داده شده و x یا همان غلظت به دست آمد (Chang et al., 2002).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی، از رادیکال آزاد *DPPH* (2,2-Diphenyl- Picryl- Hydrazyl) استفاده شد. ابتدا عصاره‌های متانولی نمونه گیاهی در غلظت‌های متفاوت 5×10^{-6} تا 5×10^{-2} mg/100^۲ الی 5×10^{-6} در متانول خالص تهیه گردید. سپس مخلوطی به نسبت ۱:۱ از محلول (8 mg/100) *DPPH* و عصاره‌های گیاهی با غلظت‌های متفاوت تهیه شد.

در دمای اتاق قرار گرفت. سپس مقدار جذب محلول توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل *Visible/UV-45 Lambda* در طول موج ۷۶۵ نانومتر قرائت شد (Oroojalian et al., 2010). بدین منظور روش رنگ‌سنجی (فولین-سیوکالتو) نیز روی محلول‌های استاندارد اسید تانیک با غلظت‌های مختلف انجام شد. منحنی استاندارد در برابر جذب اسید تانیک رسم گردید ($Y, Y=0/00114X+0/01062$) عدد جذب و X غلظت بر حسب ppm). برای تعیین غلظت فنل نمونه‌ها اعداد جذب به دست آمده از اسپکتروفتومتر را در معادله بالا (Y) قرار داده و میزان غلظت ترکیب‌های فنلی موجود در نمونه‌ها بر حسب ppm (X) محاسبه گردید. در نهایت مقادیر فنول کل عصاره با استفاده از منحنی استاندارد بر اساس میلی‌گرم گالیک اسید در گرم عصاره اندازه‌گیری شد.

فلاونوئید کل

از روش رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم برای تعیین مقدار فلاونوئیدها استفاده شد. هر کدام از عصاره‌های متانولی گیاهی (نیم میلی‌لیتر از ۱:۱۰ گرم بر میلی‌لیتر) به صورت جداگانه با ۱/۵ میلی‌لیتر متانول،

احتمال یک درصد معنی دار بود. اثر اصلی محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر صفات مذکور در سطح یک درصد و بر وزن خشک اندام هوایی در سطح پنج درصد تفاوت معنی دار نشان داد. اثر متقابل تیمارها بر ارتفاع بوته، وزن تر لندام هوایی و کلروفیل a در سطح پنج درصد و بر کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۱).

جذب نمونه‌ها بعد از ۳۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه در ۵۱۷ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل *Visible/UV-45* λ اندازه‌گیری شد. درصد مهار رادیکال آزاد *DPPH* نمونه‌ها با استفاده از رابطه زیر به دست آمد:

$$R\% = \frac{AD - AS}{AD} \times 100 \quad ۳: \text{ رابطه}$$

R : درصد مهار

AD : جذب *DPPH* در ۵۱۷ نانومتر

AS : جذب نمونه‌ها در ۵۱۷ نانومتر

برای مقایسه فعالیت عصاره‌ها از پارامتر IC_{50} (غلظتی از عصاره که ۵۰ درصد رادیکال‌های آزاد را مهار می‌کند) استفاده شد (Sun et al., 2007).

تجزیه و تحلیل داده‌ها: کلیه

داده‌های به دست آمده حاصل از اندازه‌گیری متغیرها در تحقیق، با نرم‌افزار آماری *SAS* نسخه ۹/۴ آنالیز شد. مقایسه میانگین داده‌ها در سطح معنی دار ۵ درصد با آزمون دانکن بررسی شد. نمودارها و شکل‌ها در نرم‌افزار *Excel* تهیه شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی تنش شوری بر ارتفاع بوته، وزن تر و خشک لندام هوایی، کلروفیل a و b ، فعالیت آنزیم کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در سطح

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

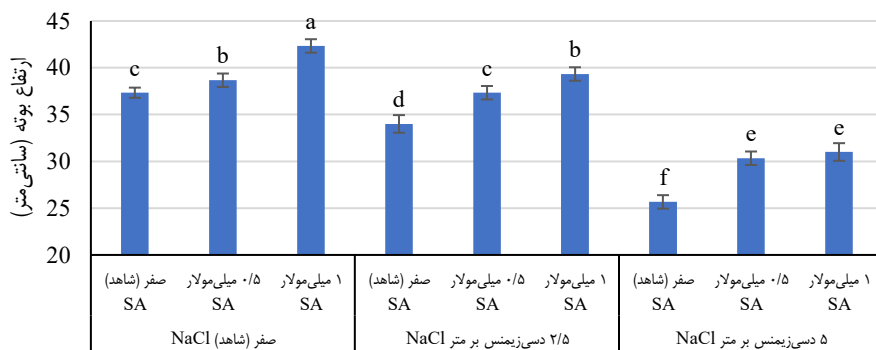
میانگین مربعات								
منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن کلروفیل a	کلروفیل b	کاتالاز	سوپراکسید دیسموتاز
تنش شوری	۲	۱۳۰/۲۳**	۱۰/۷۶**	۱/۵۱**	۰/۱۶**	۰/۰۵**	۰/۳۱**	۱۳/۶۰**
سالیسیلیک اسید	۲	۸/۱۱**	۰/۰۲**	۰/۰۳*	۰/۰۳**	۰/۰۰۵**	۰/۰۰۷**	۰/۹۳**
تنش شوری × سالیسیلیک اسید	۴	۰/۲۲*	۰/۰۵*	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۰۶*	۰/۰۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۵**	۰/۴۱**
خطا	۴	۳/۷۵	۰/۰۸	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۵
ضریب تغییرات (%)	-	۵/۶۹	۳/۳۷	۳/۶۷	۴/۱۹	۵/۷۲	۶/۸۳	۶/۵۹

**، *، ns: به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح

احتمال ۱ و ۵ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

موجب کاهش ارتفاع بوته شد، به طوری که در تیمار تنش شوری شدید و عدم محلول‌پاشی ۳۱/۲۳ درصد کاهش ارتفاع نسبت به شاهد (عدم تنش شوری و عدم محلول‌پاشی مشاهده شد (شکل ۲).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیش‌ترین ارتفاع بوته (۴۲/۳۳ سانتی‌متر) مربوط به شرایط عدم تنش شوری و محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بود، افزایش شدت تنش شوری،



تنش شوری (دسی‌زیمنس بر متر NaCl) × اسید سالیسیلیک (میلی‌مولار)

شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر ارتفاع بوته خرفه

بیش‌ترین وزن تر اندام هوایی مربوط به شرایط عدم تنش شوری و محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بود که نسبت به شاهد (عدم تنش شوری و عدم محلول‌پاشی) ۳ درصد افزایش وزن تر را نشان داد، افزایش غلظت سالیسیلیک اسید موجب افزایش وزن تر اندام هوایی خرفه شد (جدول ۲).

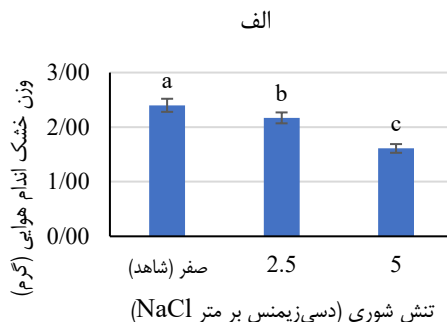
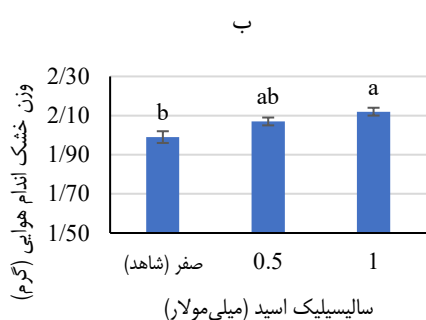
جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر صفات فیزیولوژیکی گیاه خرفه

تنش شوری (دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم)	سالیسیلیک اسید (میلی‌مولار)	وزن تر اندام هوایی (گرم)	کاتالاز (واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین)	سوپراکسید دیسموتاز (واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین)
صفر (شاهد)	صفر (شاهد)	۱۰/۰۰b	۰/۲۵f	۲/۵۳g
صفر (شاهد)	۰/۵	۱۰/۲۰ab	۰/۲۶ef	۲/۶۷fg
۱	۱	۱۰/۳۰a	۰/۲۷ef	۲/۷۰f
صفر (شاهد)	صفر (شاهد)	۸/۸۰d	۰/۳۳d	۳/۴۷d
۲/۵	۰/۵	۹/۲۷c	۰/۲۸e	۲/۹۳e
۱	۱	۹/۴۳c	۰/۳۱d	۲/۶۰fg
صفر (شاهد)	صفر (شاهد)	۶/۶۰f	۰/۶۸a	۵/۶۳a
۵	۰/۵	۶/۹۳e	۰/۵۸b	۴/۶۷b
۱	۱	۷/۱۳e	۰/۵۴c	۴/۴۷c

در هر ستون، میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

افزایش وزن خشک اندام هوایی شد. در تیمار ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید وزن خشک اندام هوایی بیش از سایر تیمارها بود (شکل ۳-ب).

با افزایش شدت تنش شوری وزن خشک اندام هوایی کاهش یافت، بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی در شرایط شاهد (بدون تنش شوری) مشاهده شد (شکل ۳-الف). محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید موجب



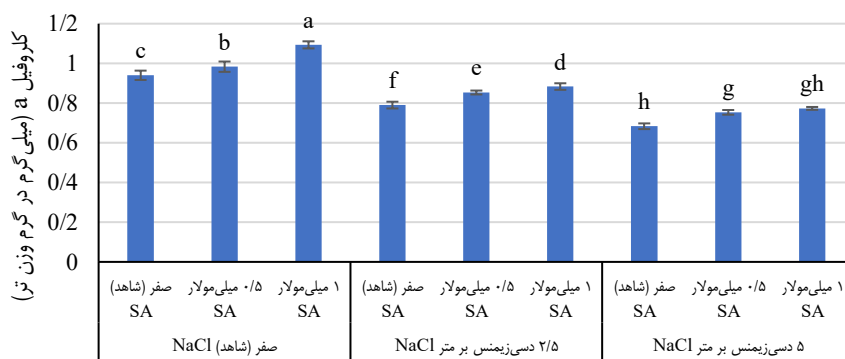
شکل ۳- مقایسه میانگین اثر اصلی تیمار تنش شوری (الف) و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید (ب) بر وزن خشک اندام هوایی خرفه

میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

موجب بهبود رشد خرفه شد. نتایج مشابهی برای گیاهان دیگر مانند گل همیشه‌بهار (*Calendula officinalis*) گزارش شده است که در شرایط شوری آسیب‌دیده و با استفاده از سالیسیلیک اسید رشد بهتری نشان دادند (Bayat et al., 2023).

بیش‌ترین مقدار کلروفیل a (۱/۰۹) میلی‌گرم در گرم در شرایط عدم تنش شوری و محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید مشاهده شد، افزایش غلظت سالیسیلیک اسید اثر افزایشی بر رنگیزه فتوسنتزی و افزایش شدت تنش شوری اثر کاهشی بر آن داشت (شکل ۴).

شوری رشد و توسعه گیاهان را از طریق فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی، مولکولی و بیوشیمیایی مهار می‌کند (Polash et al., 2019). سالیسیلیک اسید (SA) به‌عنوان یکی از تنظیم‌کننده‌های طبیعی رشد گیاه (PGRs)، نقش مهمی در کنترل فرآیندهای تحمل به شوری ایفا می‌کند. شرایط محیطی بر رشد و توسعه گیاهان تأثیر می‌گذارند (Sheteiwiy et al., 2021). شناخت عوامل محیطی که بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارند، بسیار مهم است. یافته‌های ما نشان داد که تنش شوری تأثیر منفی بر ارتفاع بوته، وزن تر و خشک بخش‌های هوایی خرفه دارد. اگرچه سالیسیلیک اسید

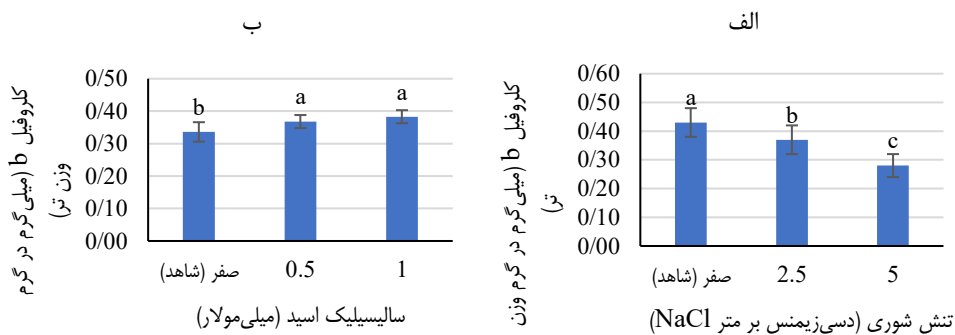


تنش شوری (دسی‌زیمنس بر متر NaCl) × اسید سالیسیلیک (میلی‌مولار)

شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر کلروفیل a برگ خرفه میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

کلروفیل b برگ خرفه شد. در تیمار ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید کلروفیل b بیش از سایر تیمارها بود (شکل ۵-ب).

با افزایش شدت تنش شوری، میزان کلروفیل b برگ خرفه کاهش یافت (شکل ۵-الف). محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید موجب افزایش



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر اصلی تیمار تنش شوری (الف) و محلول پاشی سالیسیلیک اسید (ب) بر کلروفیل *b* برگ خرفه

تنش شوری بر یکی از مهم‌ترین فرآیندهای گیاهی، یعنی فتوسنتز، تأثیر می‌گذارد (Qin *et al.*, 2020). گزارش‌ها نشان می‌دهند که دستگاه فتوسنتزی در سطوح مختلف، از جمله رنگدانه‌ها، عملکرد روزنه‌ها و تبادل گاز، ساختار و عملکرد غشای تیلاکوئید، انتقال الکترون و آنزیم‌ها، تحت تأثیر اثرات اکسیداتیو تنش شوری آسیب می‌بیند (Zahra *et al.*, 2022). هرگونه نوسان در سطح کلروفیل می‌تواند بر رشد گیاه تأثیر بگذارد، زیرا کلروفیل‌ها نقش مهمی در فتوسنتز ایفا می‌کنند (Chatziagianni *et al.*, 2023). تنش شوری سطح کلروفیل a و b کمتری داشت. نتایج مشابهی در گیاه خردل (*Brassica juncea*) نیز مشاهده شد (Barros *et al.*, 2021). استفاده از ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید از طریق اسپری برگی، رنگدانه‌های فتوسنتزی کلروفیل را در گیاهان تحت تنش شوری افزایش داد. مطالعات متعددی پیش‌بینی کرده‌اند که استفاده از سالیسیلیک اسید می‌تواند این تأثیر را بر کلروفیل داشته باشد (Sousa *et al.*, 2021; Maia *et al.*, 2023).

در تنش شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر $NaCl$ و بدون محلول پاشی سالیسیلیک اسید بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز به‌دست آمد،

پتانسیل اسمزی پایین ناشی از تنش آبی، عدم تعادل غذایی، اثرات یون‌های خاص یا ترکیبی از این عوامل ممکن است به عواقب مخرب شوری منجر شود (Safdar *et al.*, 2019; Yadav *et al.*, 2020). در همین حال، یون‌های مضر در بخش‌های هوایی بیشتر از ریشه تجمع می‌یابند و برگ‌ها نسبت به ریشه‌ها حساس‌تر به شوری هستند (Azeem *et al.*, 2023). به‌طور گسترده‌ای پذیرفته شده است که فیتوهورمون‌ها در کنترل رشد گیاه نقش مهمی دارند. سالیسیلیک اسید خارجی تأثیرات مفیدی بر فعالیت‌های مختلف گیاهی از جمله جوانه‌زنی بذر، توانایی فتوسنتز و نرخ رشد دارد (Syta *et al.*, 2019). یافته‌های ما نشان داد که استفاده خارجی از سالیسیلیک اسید از طریق اسپری برگی هم اثرات ترمیمی و هم اثرات تقویت‌کننده رشد در شرایط شوری دارد. تحقیقات قبلی نشان داده است که افزودن ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به محلول هیدروپونیک ذرت، توانایی گیاه را برای تحمل تنش شوری افزایش می‌دهد (Keshavarz *et al.*, 2019; Yan *et al.*, 2021).

خاک با غلظت بالای نمک، توانایی ریشه‌های گیاه را برای جذب آب و مواد مغذی ضروری محدود می‌کند. کاهش پتانسیل آب، تنش اسمزی و عدم تعادل غذایی ناشی از غلظت بالای یون سدیم (Na^+) در ریشه است.

به طوری که فعالیت کاتالاز نسبت به شاهد (عدم تنش شوری و عدم محلول پاشی اسید سالیسیلیک) ۲/۷۲ درصد افزایش یافت (جدول ۲).

آنزیم کاتالاز قادر است بدون نیاز به عامل احیاء کننده، پراکسید هیدروژن موجود در سلول را به آب و اکسیژن تبدیل کند، بنابراین با افزایش میزان کاتالاز به دلیل نقش آن در زدودن آب اکسیژنه از محیط، به کاهش تنفس نوری و کاهش نقطه جبرانی دی اکسید کربن نیز کمک می کند و کاتالاز علاوه بر این پراکسید هیدروژن را از محیط حذف و کمبود اکسیژن حاصل از واکنش مهار را نیز جبران می کند (Liu *et al.*, 2024). افزایش تولید رادیکال آزاد اکسیژن پاسخگوی پراکسیداسیون وابسته به استرس غشا لیپیدی است (Ismail *et al.*, 2022) که گیاه با ارائه افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی آنزیم ها و پراکسیداسیون لیپید در ریشه و برگ می تواند سبب مهار تنش شود (Tada *et al.*, 2023).

کاهش فعالیت کاتالاز و سوپراکسید

دیسموتاز تحت تاثیر سالیسیلیک اسید در غلظت بالای کلرید سدیم به این دلیل است که شرایط گیاه با این مواد بهتر شده و نزدیک به شرایط نرمال می باشد که فعالیت آنزیمی نیز به سمت شاهد کاهش می یابد. هم چنین این کاهش فعالیت آنزیمی در شرایط تنش شدید با کاربرد محلول های تیماری ناشی از این است که رادیکال های آزاد تولید شده در شرایط کاربرد این مواد کاهش یافته و فعالیت آنزیمی نیز کاهش می یابد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی تنش شوری بر جذب سدیم، کلر و پتاسیم برگ، فنول و فلاونوئید کل و فعالیت آنتی اکسیدانی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. اثر اصلی محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر صفات مذکور در سطح یک درصد و بر فنول کل در سطح پنج درصد تفاوت معنی دار نشان داد. اثر متقابل تیمارها بر جذب سدیم، کلر و فعالیت آنتی اکسیدانی در سطح یک درصد و بر فلاونوئید کل در سطح پنج درصد معنی دار بود (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر جذب عناصر و ترکیبات آنتی اکسیدانی گیاه خرفه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		سدیم برگ	کلر برگ	پتاسیم برگ	فنول کل	فلاونوئید کل
تنش شوری	۲	۶۰/۸۹**	۲۵۴۲/۷۰**	۱۰۰/۰۰**	۱۹۲/۱۱**	۱۲۶/۳۷**
						۶۸/۲۶**

۳۸/۹۲**	۴۱/۳۷**	۲۶/۷۸*	۵۰/۷۸**	۱۰۹۹/۳۷**	۹/۵۲**	۲	سالیسیلیک اسید
۲۷/۲۶**	۹/۳۷*	۵/۲۲ ^{ns}	۵/۴۴ ^{ns}	۲۹۶/۹۸**	۳/۴۲**	۴	تنش شوری × سالیسیلیک اسید
۱/۷۸	۲/۲۶	۵/۶۷	۳/۸۵	۸/۱۵	۰/۱۱	۴	خطا
۳/۷۲	۷/۷۹	۹/۰۰	۶/۷۲	۱۰/۷۶	۸/۵۸	-	ضریب تغییرات (درصد)

**، * و ^{ns}: به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و نبود تفاوت معنی دار می باشد.

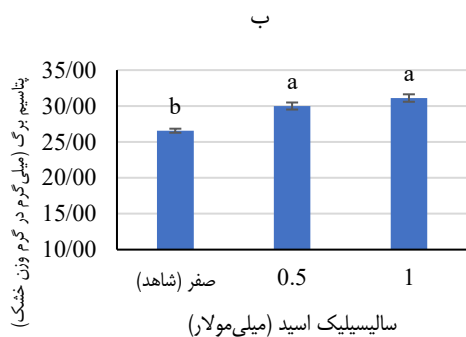
بیشترین تجمع سدیم و کلر برگ در تیمار تنش شوری شدید و بدون محلول پاشی سالیسیلیک اسید مشاهده شد. استفاده از سدیم و کلر در برگ گیاه خرفه شد (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار تنش شوری و محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر جذب عناصر و فلاونوئید کل گیاه خرفه

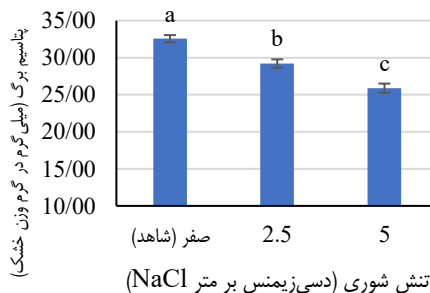
فلاونوئید کل (میلی گرم کوئرستین در گرم وزن خشک)	کلر برگ (میلی گرم در گرم)	سدیم برگ (میلی گرم در گرم)	سالیسیلیک اسید (میلی مولار)	تنش شوری (دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم)
۱۳/۶۷d	۱۱/۶۷g	۱/۸۰f	صفر (شاهد)	صفر (شاهد)
۱۴/۶۷d	۱۰/۶۷g	۱/۷۰f	۰/۵	صفر (شاهد)
۱۶/۶۷c	۱۰/۰۰g	۱/۷۰f	۱	
۲۰/۶۷b	۳۸/۰۰b	۳/۹۷d	صفر (شاهد)	
۲۲/۰۰ab	۱۹/۰۰e	۲/۶۳e	۰/۵	۲/۵
۲۳/۰۰a	۱۶/۶۷f	۲/۳۷e	۱	
۱۶/۳۳c	۶۸/۰۰a	۹/۲۲a	صفر (شاهد)	
۲۳/۳۳a	۳۴/۰۰c	۵/۶۷b	۰/۵	۵
۲۳/۳۳a	۳۰/۶۷d	۵/۳۰c	۱	

در هر ستون، میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی داری ندارند.

سالیسیلیک اسید پتاسیم بیشتری در برگ خرفه تجمع یافت، اگرچه با تیمار ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۶-ب).



بیش‌ترین جذب پتاسیم در شرایط شاهد (بدون تنش شوری) و کمترین مقدار جذب در تنش شوری شدید (۵ دسی‌زیمنس بر متر) (۲۵/۸۹ درصد کمتر از شاهد) مشاهده شد (شکل ۶-الف). در تیمار ۱ میلی‌مولار الف

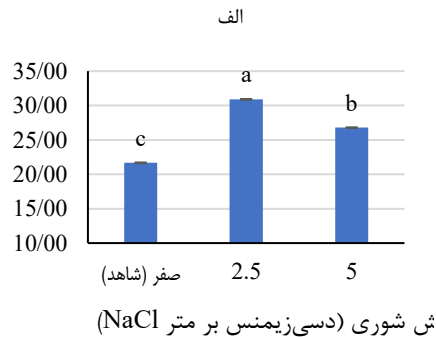
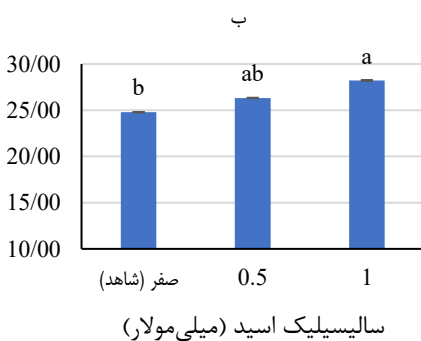


شکل ۶- مقایسه میانگین اثر اصلی تیمار تنش شوری (الف) و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید (ب) بر پتاسیم برگ خرفه

محلول پاشی برگی از سالیسیلیک اسید (۱ میلی مولار) این عناصر را کاهش داد. یافته‌های مشابهی در آزمایش‌های سایر محققان به دست آمد، جایی که استفاده برگی از سالیسیلیک اسید به طور چشمگیری اثرات سمیت $NaCl$ را با افزایش تجمع K^+ و نسبت K^+/Na^+ کاهش داد (Desire and Arslan, 2021).

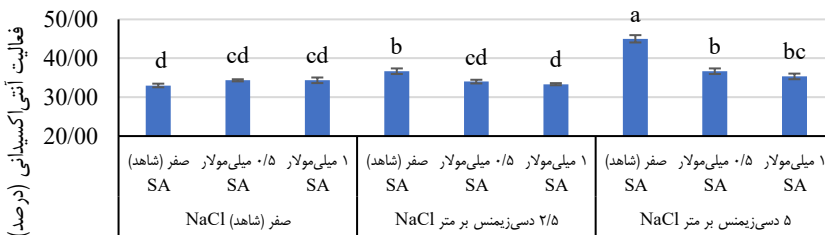
بیشترین فنول کل در شرایط شوری متوسط (۲/۵ میلی مولار $NaCl$) مشاهده شد (شکل ۷-الف). محلول پاشی سالیسیلیک اسید موجب افزایش فنول کل شد. در تیمار ۱ میلی مولار سالیسیلیک اسید فنول کل گیاه خرفه بیش از سایر تیمارها بود (شکل ۷-ب).

سطوح بالای نمک، اغلب ناشی از غلظت‌های بالای سدیم و کلرید، باعث شوری می‌شود. شوری باعث تجمع بیشتر Na^+ و کاهش تجمع K^+ شد و این تغییر با افزایش سطح تنش شوری بیشتر شد. براساس این مطالعه، گیاهان خرفه تحت تنش شوری غلظت‌های بالاتری از Na^+ و مقادیر کمتری از K^+ داشتند (Su et al., 2019). محلول پاشی برگی از سالیسیلیک اسید ممکن است تجمع K^+ را افزایش دهد. استفاده برگی از سالیسیلیک اسید تحمل به شوری گیاه خرفه را افزایش داد، زیرا غلظت یون‌ها در بافت‌های گیاهی شاخص کلیدی برای تحمل به شوری است. در آزمایش ما، تحت تنش شوری (۵ دسی زیمنس بر متر) غلظت سدیم و کلر در گیاه خرفه افزایش یافت، اما



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر اصلی تیمار تنش شوری (الف) و محلول پاشی سالیسیلیک اسید (ب) بر فنول کل گیاه خرفه

میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند. بیش‌ترین فلاونوئید کل در تیمارهای تنش شوری شدید و ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و تنش شوری شدید و ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید با مقدار عددی ۲۳/۳۳ میلی‌گرم کوئرستین در گرم وزن خشک ارزیابی شد. با افزایش غلظت نمک و شدت تنش شوری، مقدار فلاونوئید در بافت گیاه خرفه افزایش پیدا کرد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین حاکی از



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه خرفه

میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

تأیید کرد که سالیسیلیک اسید (۱ میلی‌مولار) تأثیر شوری بر گیاهان را کاهش دهد که همسو با نتیجه حاصل از گیاه رازیانه بود (Adalatzaadeh - Aghdam *et al.*, 2021).

نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه به وضوح نشان داد که تنش شوری اثرات منفی قابل توجهی بر رشد

توانایی سالیسیلیک اسید در خنثی کردن ROS به غلظت آن بستگی دارد، اما در غلظت‌های پایین کمتر است. در مطالعه حاضر، بالاترین شرایط شوری تأثیر کمی بر وضعیت اکسیداتیو داشت و در نتیجه رشد خرفه را کاهش داد. در تنش شوری ملایم میزان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی بیش از تنش شدید و عدم تنش شوری بود. نتایج ما

افزایش تحمل به شوری در گیاه خرفه
مورد استفاده قرار گیرد.

و فیزیولوژی گیاه خرفه دارد و باعث کاهش ارتفاع بوته، وزن تر و خشک اندام هوایی، محتوای کلروفیل و اختلال در جذب عناصر معدنی می‌شود. بااین حال، کاربرد سالیسیلیک اسید (به‌ویژه در غلظت ۱ میلی‌مولار) توانست این اثرات منفی را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد. مهم‌ترین مکانیسم‌های تأثیر سالیسیلیک اسید شامل بهبود جذب پتاسیم، کاهش تجمع سدیم و کلر، حفظ محتوای کلروفیل، کاهش استرس اکسیداتیو و افزایش تولید ترکیبات فنولی بود. نتایج نشان داد که سالیسیلیک اسید می‌تواند تعادل یونی و وضعیت فیزیولوژیکی گیاه را در شرایط شوری بهبود بخشد. این یافته‌ها از جنبه علمی اهمیت داشته و می‌تواند به عنوان راهکاری عملی برای کشت خرفه در مناطق شور مورد استفاده قرار گیرد. بااین حال، برای دستیابی به نتایج کاربردی، انجام مطالعات تکمیلی در شرایط مزرعه‌ای و بررسی جنبه‌های اقتصادی استفاده از سالیسیلیک اسید پیشنهاد می‌شود. به‌طور کلی، این تحقیق نشان داد که سالیسیلیک اسید می‌تواند به‌عنوان یک روش مؤثر و مقرون‌به‌صرفه برای

منابع

- Alsahli, A., Mohamed, A.-K., Alaraidh, I., Al-Ghamdi, A., Al-Watban, A., El-Zaidy, M. and Alzahrani, S.M. (2019). Salicylic acid alleviates salinity stress through the modulation of biochemical attributes and some key antioxidants in wheat seedlings. *Pakistani Journal of Botany*, 51(5), 1551-1559.
- Azeem, M., Pirjan, K., Qasim, M., Mahmood, A., Javed, T., Muhammad, H., Yang, S., Dong, R., Ali, B. and Rahimi, M. (2023). Salinity stress improves antioxidant potential by modulating physio-biochemical responses in *Moringa oleifera* Lam. *Scientific Reports*, 13(1), 2895.
- Barros, N.L.F., Marques, D.N., Tadaiesky, L.B.A. and de Souza, C.R.B. (2021). Halophytes and other molecular strategies for the generation of salt-tolerant crops. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 581-591.
- Bayat, H., Shahraki, B., Aminifard, M.H. and Azarmi-Atajan, F. (2023).
- Adalatzadeh-Aghdam, S., Toorchi, M. and Zarei, M. (2021). Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) Plants Responses to Salicylic Acid Foliar Application as Chemical Priming Agent under Salt Stress. *Biol Bull Russ Acad Sci* 48 (Suppl 3), S45-S53.
- Almagro, L., Correa-Sabater, J.M., Sabater-Jara, A.B. and Pedreño, M.Á. (2022). Biotechnological production of β -carotene using plant in vitro cultures. *Planta*, 256(2), 41.
- 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. and 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.

- Technology, 101, 4708-4716.
- Dakheel, M.G., Ullah, I., Doğan, D.E. and Demirsoy, L. (2022). Potential role of salicylic acid on drought stress tolerance of strawberry plants. International Symposium on Soil Science and Plant Nutrition, 269-275.
 - Desire, M. and 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.
 - Diana, A.A., Mohamed, T.E and 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.
 - El-Mageed, A., Taia, A., Gyushi, M.A., Hemida, K.A., El-Saadony, M.T., El-Mageed, A., Shimaa, A., Alleviating adverse effects of salt stress in pot marigold (*Calendula officinalis* L.) by foliar spray of silicon and nano-silicon under greenhouse and field conditions. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 6(Issue 3), 287-298.
 - Chatzigianni, M., Savvas, D., Papadopoulou, E.-A., Aliferis, K.A. and Ntatsi, G. (2023). Combined effect of salt stress and nitrogen level on the primary metabolism of two contrasting hydroponically grown *Cichorium spinosum* L. ecotypes. *Biomolecules*, 13(4), 607.
 - Chaudhry, S. and Sidhu, G.P.S. (2022). Climate change regulated abiotic stress mechanisms in plants: a comprehensive review. *Plant Cell Reports*, 41(1), 1-31.
 - Cui, X.H., Chakrabarty, D., Lee, E.J. and Paek, K.Y. (2010). Production of adventitious roots and secondary metabolites by *Hypericum perforatum* L. in a bioreactor. *Bioresource*

- salt stress. *Journal of Biological Research - Bollettino della Società Italiana di Biologia Sperimentale*, 1, 10474.
- Jangra, M., Devi, S., Satpal, Kumar, N., Goyal, V. and Mehrotra, S. (2022). Amelioration effect of salicylic acid under salt stress in *Sorghum bicolor* L. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 194(10), 4400-4423.
 - Kandoudi, W. and Nemeth-Zamborine, E. (2022). Stimulating secondary compound accumulation by elicitation: is it a realistic tool in medicinal plants in vivo? *Phytochemistry Reviews*, 1-19.
 - Keshavarz, Y., Alizadeh, O., Sharfzade, S., Zare, M. and Bazrafshan, F. (2019). Experimental analysis for affecting the exogenous salicylic acid on drought tolerance in maize in Iran. *Revista Turismo Estudos e Práticas*, (1), 1-8.
 - Liu, C., Jiang, X. and Yuan, Z. (2024). Plant Responses and Adaptations to Salt
 - Abdalla, H., AbuQamar, S.F. and El-Tarabily, K.A. (2022). Coapplication of effective microorganisms and nanomagnesium boosts the agronomic, physio-biochemical, osmolytes, and antioxidants defenses against salt stress in *Ipomoea batatas*. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1446.
 - Hameed, A., Ahmed, M.Z., Hussain, T., Aziz, I., Ahmad, N., Gul, B. and Nielsen, B.L. (2021). Effects of salinity stress on chloroplast structure and function. *Cells*, 10(8), 2023.
 - Ignatenko, A., Batova, Y.V., Kholoptseva, E. and Kaznina, N. (2023). Influence of presowing treatment of seeds with salicylic acid on growth and photosynthetic apparatus of barley with different zinc contents in substrate. *Russian Journal of Plant Physiology*, 70(3), 35.
 - Ismaiel, S.A. and El-Bialy, N. (2022). Glycine betaine enhancing plant growth and antioxidant activity of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) under

- Moustakas, M., Sperdouli, I., Adamakis, I.-D.S., Moustaka, J., İşgören, S. and Şaş, B. (2022). Harnessing the role of foliar applied salicylic acid in decreasing chlorophyll content to reassess photosystem II photoprotection in crop plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(13), 7038.
- Mustafa, G., Akhtar, M.S. and Abdullah, R. (2019). Global concern for salinity on various agro-ecosystems. *Salt Stress, Microbes, and Plant Interactions: Causes and Solution*, 1, 1-19.
- Polash, M.A.S., Sakil, M.A. and Hossain, M.A. (2019). Plants responses and their physiological and biochemical defense mechanisms against salinity: a review. *Tropical Plant Research*, 6, 250-274.
- Qin, C., Ahanger, M., Zhou, J., Ahmed, N., Wei, C., Yuan, S., Ashraf, M. and Zhang, L. (2020). Beneficial role of acetylcholine in chlorophyll metabolism and photosynthetic gas exchange in *Nicotiana benthamiana* Stress: A Review. *Horticulturae*, 10(11), 1221.
- Maia, C.F., Pereira, Y.C., da Silva, B.R.S. and Lobato, A.K.d.S. (2023). Exogenously applied 24-epibrassinolide favors stomatal performance, ROS detoxification and nutritional balance, alleviating oxidative damage against the photosynthetic apparatus in tomato leaves under nickel stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42(4), 2196-2211.
- Mansour, E., Moustafa, E.S., Desoky, E.-S.M., Ali, M.M., Yasin, M.A., Attia, A., Alsuhaibani, N., Tahir, M.U. and El-Hendawy, S. (2020). Multidimensional evaluation for detecting salt tolerance of bread wheat genotypes under actual saline field growing conditions. *Plants*, 9(10), 1324.
- Maruri-López, I., Aviles-Baltazar, N.Y., Buchala, A. and Serrano, M. (2019). Intra and extracellular journey of the phytohormone salicylic acid. *Frontiers in Plant Science*, 10, 423.

- Physiologia Plantarum*, 172(4), 2153-2169.
- Shrivastav, P., Prasad, M., Singh, T.B., Yadav, A., Goyal, D., Ali, A. and Dantu, P.K. (2020). Role of nutrients in plant growth and development. *Contaminants in Agriculture: Sources, Impacts, and Management*, 43-59.
 - Sousa, V.Q., Messias, W.F.S., Pereira, Y.C., da Silva, B.R.S., Lobato, E.M.S.G., Alyemeni, M.N., Ahmad, P. and Lobato, A.K.d.S. (2021). Pretreatment with 24-epibrassinolide synergistically protects root structures and chloroplastic pigments and upregulates antioxidant enzymes and biomass in Na⁺-stressed tomato plants. *Journal of Plant Growth Regulation*.
 - Su, N., Wu, Q., Chen, J., Shabala, L., Mithöfer, A., Wang, H., Qu, M., Yu, M., Cui, J. and Shabala, S. (2019). GABA operates upstream of H⁺-ATPase and improves salinity tolerance in *Arabidopsis* by enabling cytosolic K⁺ retention and seedlings under salinity stress. *Plant Biology*, 22(3), 357-365.
 - Safdar, H., Amin, A., Shafiq, Y., Ali, A., Yasin, R., Shoukat, A., Hussan, M.U. and Sarwar, M.I. (2019). A review: impact of salinity on plant growth. *Natural Science*, 17(1), 34-40.
 - Semida, W.M., Abdelkhalik, A., Rady, M.O., Marey, R.A. and Abd El-Mageed, T.A. (2020). Exogenously applied proline enhances growth and productivity of drought stressed onion by improving photosynthetic efficiency, water use efficiency and up-regulating osmoprotectants. *Scientia Horticulturae*, 272, 109580.
 - Sheteiwy, M.S., Abd Elgawad, H., Xiong, Y.C., Macovei, A., Brestic, M., Skalicky, M., Shaghaleh, H., Alhaj Hamoud, Y. and El-Sawah, A.M. (2021). Inoculation with *Bacillus amyloliquefaciens* and mycorrhiza confers tolerance to drought stress and improve seed yield and quality of soybean plant.

- Tang, S., Jiang, Y., Liu, Z. and Li, G. (2021). Melatonin enhances Na⁺/K⁺ homeostasis in rice seedlings under salt stress through increasing the root H⁺-pump activity and Na⁺/K⁺ transporters sensitivity to ROS/RNS. *Environmental and Experimental Botany*, 182, 104328.
- Zahra, N., Al Hinai, M.S., Hafeez, M.B., Rehman, A., Wahid, A., Siddique, K.H. and Farooq, M. (2022). Regulation of photosynthesis under salt stress and associated tolerance mechanisms. *Plant Physiology and Biochemistry*, 178, 55-69.
 - Na⁺ exclusion. *Journal of Experimental Botany*, 70(21), 6349-6361.
 - Sutjiatmo, A.B., Vikasari, S.N. and Bintussolihah, F. (2021). Antihypertensive effects of purslane (*Portulaca oleracea*) extract in animal model of hypertension. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 755(1), 012011.
 - Sytar, O., Kumari, P., Yadav, S., Brestic, M. and Rastogi, A. (2019). Phytohormone priming: regulator for heavy metal stress in plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38, 739-752.
 - Tada, Y., Kochiya, R., Toyoizumi, M. and Takano, Y. (2023). Salt tolerance and regulation of Na⁺, K⁺, and proline contents in different wild turfgrasses under salt stress. *Plant Biotechnology*, 40, 301-309.
 - Yadav, S., Modi, P., Dave, A., Vijapura, A., Patel, D. and Patel, M. (2020). Effect of abiotic stress on crops. *Sustainable Crop Production*, 3.
 - Yan, F., Wei, H., Ding, Y., Li, W., Chen, L., Ding, C.,