Research Article

Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research
Vol. 40, No. 3, Page 485-505 (2024)

DOI:10.22092/IJMAPR.2024.131923

Effects of salt stress and salicylic acid on morphological, physiological, and growth traits of creeping savory (*Satureja spicigera* (C. Koch) Boiss.)

Borzoo Yousefi[1*] and Roya Karamian[2]

1*- Corresponding author, Department of Biology, Faculty of Science, Bu-Ali Sina university, Hamadan, Iran
E-mail: borzooyoosefi@yahoo.com
2- Department of Biology, Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

Received: September 2023 Revised: January 2024 Accepted: January 2024

Abstract

Background and objectives: Creeping savory is a medicinal and perennial plant that grows in the north and northwest of Iran. The essential oil of this plant has antibiotic properties and is used in herbal medicines, food preparation, and health products. Salinity stress has adverse effects on photosynthetic processes and plant growth and yield. Salicylic acid protects plants against stress by regulating many physiological and enzymatic processes. So far, not much information has been published about the effect of salicylic acid on the physiological process, morphologically, and yielding traits of creeping savory under salinity stress conditions.

Methodology:
This factorial experiment was implemented in the greenhouse of the Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research Center based on a Completely Randomized Design including four levels of salinity (0-50-100-150 mM) and two levels of salicylic acid (0 and 2 mM). Chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) was measured with a Hansatech, UK Pocket PEA device. The chlorophyll index (SPAD) was measured with a SPAD-502Plus device, Minolta, Japan. Leaf proline content and soluble protein were measured based on Bradford method using a Bio Tek PowerWave XS2 Microplatereader, USA. Various morphological and yield traits such as plant height, leaf area (by a Light Box device, ADC, UK), leaf fresh weight, root fresh weight, and shoot fresh weight (g) were measured. Leaf dry weight, root dry weight, and shoot dry weight were weighed after drying the samples at 75°C for 48 hours. Relative water content (RWC) was calculated. Leaf electrical conductivity (µS/cm) was measured with an EC COND 3110, WTW (Germany). Analysis of variance and comparison of means (Dunkan test) were performed using IBM SPSS Statistics (Ver. 26).

Results: The highest plant height (92.7 cm), leaf area (0.8 cm^2), shoot fresh weight (26.9 g), and shoot dry weight (9.15 g) were obtained at 0 mM NaCl + 2 mM SA. The highest leaf fresh weight (13.5 mg), leaf dry weight (2.5 mg), quantum yield of photosystem II (0.80), and photosynthetic index (37.0) were observed at 50 mM NaCl + 2 mM SA. The highest root fresh weight (27.3 grams), root dry weight (4.3 grams), and the highest relative water content (91.7 percent) were obtained at 0 mM NaCl. The highest proline (12.7 µg/g) was observed at 150 mM NaCl and the highest soluble protein (1.1 mg/g) was observed at 100 mM NaCl + 2 mM SA. The use of 2 mM salicylic acid, under salinity stress conditions, increased plant height (16.4%), leaf area (18.6%), leaf fresh weight (17.3%), shoot fresh weight (35.4%), shoot dry weight (35.8%), relative water content (8.4%) and soluble protein by 41.4%, but decreased proline

Copyright: © 2024 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (http://ijmapr.areeo.ac.ir/) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

content (41.4%) and electrical conductivity (49.4%). Applying 2 mM salicylic acid has a significant effect on root fresh weight, maximum quantum yield of photosystem II and chlorophyll index in mild salinity conditions. Also, SA increased leaf dry weight in mild salt stress but decreased it in severe salinity conditions.

Conclusion: This research showed that applying salicylic acid under salinity stress causes changes in some morphophysiological, photosynthetic, and biochemical characteristics of creeping savory. Increasing the salinity levels decreased some photosynthetic, physiological, vegetative, and yield traits, but the content of some osmotic regulators, such as proline and protein, was increased. The application of 2 mM salicylic acid improved some of the adverse effects of salinity in creeping savory at different salinity levels, enhancing growth and yield traits in the salicylic acid-treated plants. Applying two mM salicylic acid increases the tolerance of creeping savory against salinity stress by increasing the osmotic protectants and inducing the activity of antioxidant systems. Based on the research results, growing this plant in soils with a salinity of more than 100 mM is not recommended. Also, in the case of planting creeping savory in saline soils (less than 100 mM), to increase plant growth and farmers' income, it is recommended to apply two mM salicylic acid as a foliar spray.

Keywords: Proline, photosynthesis, chlorophyll index, creeping savory, *Satureja spicigera* (C. Koch) Boiss.

اثر تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و عملکرد *Satureja spicigera* (C. Koch) Boiss.

برزو یوسفی[۱*] و رویا کرمیان[۲]

۱*- دانشجوی دکترای فیزیولوژی گیاهی، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی، همدان، ایران

۲- نویسنده مسئول، استاد، فیزیولوژی گیاهی، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی، همدان، ایران، پست الکترونیک: borzooyoosefi@yahoo.com

تاریخ دریافت: شهریور ۱۴۰۲ تاریخ اصلاح نهایی: دی ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: بهمن ۱۴۰۲

چکیده

سابقه و هدف: مرزه خزنده (*Satureja spicigera* (C. Koch) Boiss.) گیاهی دارویی و چند ساله است که در شمال و شمال‌غرب ایران رویش دارد. اسانس این گیاه خاصیت آنتی‌بیوتیک دارد و در تهیه داروهای گیاهی، فراورده‌های غذایی و بهداشتی استفاده می‌شود. تنش شوری اثرهای نامطلوبی بر فرایندهای فتوسنتزی و رشد و عملکرد گیاه دارد. اسید سالیسیلیک از طریق تنظیم بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی و آنزیمی از گیاهان در برابر تنش محافظت می‌کند. تاکنون اطلاعات چندانی در مورد تأثیر اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری بر صفات مورفولوژیکی، عملکردی و فیزیولوژیکی مرزه خزنده منتشر نشده است.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در قالب طرح فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با چهار سطح شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) و ۲ سطح اسید سالیسیلیک (صفر و ۲ میلی‌مولار) در ۳ تکرار در سال ۱۳۹۸ در گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه اجرا شد. صفات فلورسانس کلروفیل، شاخص کلروفیل، محتوای پرولین برگ، پروتئین محلول، ارتفاع گیاه، سطح برگ، وزن تر برگ، وزن تر ریشه، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک برگ، وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی، محتوای آب نسبی و هدایت الکتریکی برگ اندازه‌گیری شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار IBM SPSS Statistics (Ver. 26) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵٪ انجام گردید.

نتایج: بیشترین ارتفاع گیاه (۹۲/۷ سانتی‌متر)، سطح برگ (۰/۸ سانتی‌متر مربع)، وزن تازه اندام هوایی (۲۶/۸ گرم) و وزن خشک اندام هوایی (۹/۱ گرم) در تیمار نمک طعام صفر میلی‌مولار + اسید سالیسیلیک ۲ میلی‌مولار به‌دست آمد. بیشترین وزن تر برگ (۱۳/۴ میلی‌گرم)، بیشترین وزن خشک برگ (۲/۵ میلی‌گرم) و بیشترین عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (۰/۸۰) در تیمار نمک طعام ۵۰ میلی‌مولار + اسید سالیسیلیک ۲ میلی‌مولار مشاهده شد. بیشترین وزن تر ریشه (۲۷/۳ گرم)، بیشترین وزن خشک ریشه (۴/۳ گرم)، بیشترین شاخص فتوسنتزی (۳۶/۹) و بیشترین محتوای آب نسبی (۹۱/۷٪) در تیمار شاهد نمک به‌دست آمد. بیشترین محتوای پرولین (۱۲/۷ میکروگرم بر گرم) در تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار نمک طعام مشاهده شد. بیشترین پروتئین محلول (۱/۱ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم نمک طعام + اسید سالیسیلیک ۲ میلی‌مولار مشاهده شد. کاربرد اسید سالیسیلیک ۲ میلی‌مولار در شرایط تنش شوری ارتفاع گیاه (۱۶/۳٪)، سطح برگ (۱۸/۶٪)، وزن تازه برگ (۱۷/۳٪)، وزن تازه اندام هوایی (۳۵/۴٪)، وزن خشک اندام هوایی (۳۵/۷٪)، محتوای آب نسبی (۸/۴٪) و پروتئین محلول را ۴۱/۴٪ افزایش داد ولی محتوای پرولین (۴۱/۴٪) و هدایت الکتریکی (۴۹/۴٪) را کاهش داد.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که استفاده از سالسیلیک اسید در شرایط تنش شوری موجب بروز تغییراتی در برخی ویژگی‌های مرفوفیزیولوژیکی، عملکردی، فتوسنتزی و بیوشیمیایی گیاه مرزه خزنده می‌شود. افزایش شوری صفات رویشی و عملکردی گیاه و نیز برخی صفات فتوسنتزی و فیزیولوژیکی را کاهش داد ولی میزان تنظیم‌کننده‌های اسمزی از قبیل پرولین و پروتئین را افزایش داد. کاربرد سالیسیلیک اسید ۲ میلی‌مولار توانست برخی اثرهای مخرب شوری را در گیاه مرزه خزنده بهبود ببخشد، به‌طوری‌که گیاهان تیمار شده با اسید سالیسیلیک نسبت به گیاهانی که تحت تنش شوری بودند ولی اسید سالیسیلیک دریافت نکردند، مقاومت بیشتری به

شوری نشان دادند و رشد بهتری داشتند. براساس نتایج این تحقیق، کشت این گیاه در خاک‌های با شوری بیشتر از ۱۰۰ میلی‌مولار توصیه نمی‌شود. همچنین در صورت کاشت مرزه خزنده در خاک‌های با شوری کمتر از ۱۰۰ میلی‌مولار، می‌توان از اسید سالیسیلیک ۲ میلی‌مولار به صورت محلول‌پاشی برگی برای رشد بهتر گیاه و افزایش درآمد زارعان بیشتر استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، فتوسنتز، شاخص کلروفیل، مرزه خزنده، *Satureja spicigera* (C. Koch) Boiss.

مقدمه

تنش شوری یکی از عمده‌ترین مشکلات کشاورزی در نواحی خشک و نیمه‌خشک دنیاست (El-Hendawy *et al*., 2005). تنش شوری سبب کمبود آب در سلول می‌شود و در نهایت تولید ماده خشک گیاه را کاهش می‌دهد (Montanari *et al*., 2008). اثرهای نامطلوب تنش شوری در گیاهان شامل افزایش سمّیت یونی، تنش اسمزی، تنش دریافت مواد مغذی، تنش هموستازی/کمبود، کاهش تورژسانس سلولی، کاهش ظرفیت آب برگ و افزایش استرس‌های اکسیداتیو با واسطه ROS است (Khan *et al*., 2014).

پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه به شرایط شوری می‌تواند موجب کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی و کاهش تولید بیوماس در گیاه شود (Hasanuzzaman & Fujita, 2013). محتوای کلروفیل در گیاهان مقاوم به تنش شوری افزایش یا بدون تغییر باقی می‌ماند، در حالی که در گیاهان حساس کاهش می‌یابد (Ashraf & Harris, 2013).

محتوای نسبی آب (RWC) یک عامل حیاتی تعیین کننده بقای برگ‌ها و فعالیت متابولیکی گیاه و متغیر مفیدی برای بررسی وضعیت آب گیاه است (Kadioglu *et al*., 2011). در گیاهان مختلفی کاهش RWC تحت غلظت‌های مختلف نمک گزارش شده است (Menezes *et al*., 2017؛ Arvin & Firuzeh, 2021).

یکی از راه‌های اصلی تنظیم اسمزی سلول و سازگاری گیاهان با محیط شور، تجمع زیاد اسمولیت‌های آلی مانند کربوهیدرات‌ها، پروتئین و اسیدهای آمینه‌ای مانند پرولین است (Zhang *et al*., 2012). پرولین با مهار گونه‌های فعال اکسیژن نقش مهمی در حفظ ساختار پروتئینی و غشاء سلول دارد و به کاهش تنش‌های محیطی کمک می‌کند (Kaur & Asthir 2015). تجمع پرولین در شرایط تنش شوری در بسیاری از گیاهان مانند گیاه کلزا (Baghizadeh *et al*., 2014)، پنبه (Dong *et al*., 2014) و تاج‌خروس (Menezes *et al*., 2017) گزارش شده است. مقدار پروتئین‌های محلول برگ معمولاً در شرایط محیطی تنش‌زا تغییر می‌کند. افزایش یا کاهش و یا عدم تغییر مقدار پروتئین در شرایط تنش شوری با توجه به شدت تنش و میزان تحمل گیاه به تنش، توسط برخی از پژوهشگران (Daneshmand & Arvin, 2011؛ Baghizadeh *et al*., 2014) گزارش شده است.

اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل تکنیک نسبتاً جدیدی است که برای سنجش فعالیت‌های فتوسنتزی گیاهان بکار می‌رود (Kocheva *et al*., 2004). این تکنیک براساس محاسبه‌های فیزیولوژیکی پایه‌ریزی شده و بازده سازوکار برداشت و جذب نور را در ارتباط با فعالیت‌های فتوسیستم II اندازه‌گیری می‌کند (Maxwell & Johnson 2000). نسبت Fv/Fm نشان‌دهنده ظرفیت انتقال الکترون فتوسیستم II است و عملکرد کوانتومی فتوسنتز خالص را نشان می‌دهد. به‌طور معمول میزان عملکرد فتوشیمیایی فتوسیستم II تحت شرایط تنش کاهش می‌یابد (Bertamini *et al*., 2019؛ Mohammadian *et al*., 2003).

اسید سالیسیلیک (SA) یک ترکیب فنلی است که در تنظیم رشد و نمو گیاهان و پاسخ آنها به عوامل تنش زیستی و غیرزیستی نقش دارد (Miura & Tada, 2014). اسید سالیسیلیک در تنظیم بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی مهم گیاه مانند فتوسنتز، متابولیسم نیتروژن، متابولیسم پرولین (Proline)، سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی و روابط گیاه و آب در شرایط تنش نقش دارد و از گیاهان در برابر تنش‌های زیستی محافظت می‌کند (Miura & Tada, 2014؛ Khan *et al*., 2014).

نقش اسید سالیسیلیک در تقویت سازوکارهای تحمل به

تنش شوری به‌طور گسترده در بسیاری از گیاهان زراعی گزارش شده است (Palma *et al*., 2013؛ Khan *et al*., 2014؛ Nazar *et al*., 2015b).

مرزه خزنده (*Satureja spicigera* (C. Koch) Boiss.) گیاهی چندساله و مقاوم است. این گیاه در سواحل خشک رودها و مکان‌های صخره‌ای در ارتفاع ۱۵۰۰–۲۰ متری رشد می‌کند (Davis, 1982). مرزه خزنده گیاهی اسانس‌دار است که ترکیبات مهم اسانس آن تیمول و کارواکرول هستند و در شمال و شمال‌غرب ایران می‌روید (Yousefi *et al*., 2023). مرزه خزنده به‌عنوان چاشنی در تهیه غذا و تولید لوازم بهداشتی و داروهای گیاهی استفاده می‌شود.

تاکنون اطلاعاتی در مورد تأثیر اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری بر صفات مورفولوژیکی، عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی مرزه خزنده منتشر نشده است. در این تحقیق اثرهای تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر صفات فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و فتوسنتزی گیاه مرزه خزنده در گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه بررسی شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه (۳۴/۱۵ درجه شمالی و ۴۷/۰۴ درجه شرقی) در سال ۱۳۹۸ انجام شد. در این پژوهش طرح مورد استفاده فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار شامل: چهار سطح شوری (صفر،۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) و ۲ سطح اسید سالیسیلیک (صفر و ۲ میلی‌مولار) انجام گردید. گونه مورد مطالعه مرزه خزنده *Satureja spicigera* (C. Koch) Boiss. بود.

کشت بذرها

ابتدا بذر مرزه خزنده از مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه شد. آنگاه بذرها با هیپوکلریت سدیم ۰/۵٪ ضدعفونی و با آب مقطر شسته و خشک شد. سپس بذرها با قارچ‌کش مانکوزب و به‌مقدار ۲ در هزار وزنی آغشته گردید و در بستر ترکیبی کوکوپیت و پیت‌ماس به مقدار مساوی و در سینی کشت شد. آبیاری بذرها تا زمان جوانه‌زنی به‌صورت مه‌پاشی و هر روز یک‌بار انجام شد. آبیاری گیاهچه‌ها پس از جوانه‌زنی تا مرحله ۶ برگی هر سه روز یک‌بار و به‌صورت مه‌پاش انجام شد. پس از ۴ هفته گیاهچه‌های با رشد یکسان و در مرحله ۴ تا ۶ برگی در بستری متشکل از خاک زراعی، ماسه و کود دامی پوسیده (۱:۱:۱) به وزن ۴/۵ کیلوگرم به گلدان‌های پلاستیکی منتقل شدند. گلدان‌ها در شرایط دوره نوری ۱۷ ساعت نور با شدت ۳۰۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه و ۷ ساعت تاریکی و رطوبت نسبی ۶۰–۵۰٪ نگهداری شدند (Hajiboland *et al*., 2015).

در زمان استقرار گیاهک‌ها، گلدان‌ها هر ۳ روز یک‌بار با آب معمولی چاه آب کشاورزی به مقدار مساوی (۲۵۰۰ میلی‌لیتر) آبیاری شد. قبل از انجام تیمارهای اصلی شوری، به منظور سازگاری اولیه گیاهان با شوری، گیاهان (بجز گیاهان شاهد) در دو نوبت با غلظت‌های ۲۰ میلی‌مولار نمک طعام آبیاری شدند، سپس تیمارهای سدیم کلراید صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به‌مدت ۸ هفته انجام شد.

براساس طرح فاکتوریل با ۳ تکرار و ۴ تیمار نمک سدیم کلراید به مقدار صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به‌ترتیب برابر (۲/۲، ۶/۵، ۹/۱ و ۱۳ دسی زیمنس بر متر) و حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر برای هر گلدان به‌مدت ۸ هفته و هر هفته دو بار گیاهان آبیاری شدند. پس از هر ۴ بار انجام تیمار نمک، برای خروج نمک‌های انباشته شده در گلدان، گیاهان یک نوبت با آب مقطر آبیاری گردیدند. برای تهیه غلظت اسید سالیسیلیک ۲ میلی‌مولار مقدار ۲/۷۶ گرم اسید سالیسیلیک (HOC_6H_4COOH) در چند میلی‌لیتر الکل اتانول و ۱۰ لیتر آب مقطر گرم به‌خوبی حل شد. برای هر گلدان (بوته) محلول‌پاشی با تیمار اسید سالیسیلیک با غلظت ۲ میلی‌مولار برای تیمارهای اسید سالیسیلیک و آب مقطر برای تیمار شاهد و به‌مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر به‌صورت محلول‌پاشی برگی در ۸ هفته و یک نوبت در هفته انجام شد (Andalibi *et al*., 2021).

اندازه‌گیری صفات

سنجش فلورسانس کلروفیل (Fv/Fm) و شاخص کلروفیل (SPAD)

برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل (عملکرد کوانتومی فتوسیستم II)، ابتدا تعداد ۲۰ برگ از هر گلدان توسط فویل آلومینیومی به‌مدت ۳۰ دقیقه پوشانده و به تاریکی عادت داده شد. با دستگاه کلروفیل فلوریمتر Hansatech مدل Pocket PEA ساخت کشور انگلستان در طول موج ۶۹۵ نانومتر خوانده شد. سطح نور (PFD سطح جریان فوتون) ۴۰۰ میکرومول فوتون در مترمربع در ثانیه و زمان تابیدن نور ۵ ثانیه برای تمامی تیمارها انتخاب شد. Fv/Fm حداکثر بازده کوانتومی فتوشیمیایی فتوسیستم II است و به‌وسیله فرمول زیر محاسبه می‌شود (Bilger & Björkman, 1990).

$$Fv/Fm = (Fm-Fo)/Fm$$

Fm: حداکثر فلورسانس کلروفیل و Fo: میزان فلورسانس پایه می‌باشد.

شاخص کلروفیل (SPAD) برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل متر (SPAD-502Plus, Minolta, Japan) اندازه‌گیری شد.

تخمین محتوای پرولین آزاد و پروتئین محلول برگ

محتوای پرولین برگ (Bates *et al*., 1973) با استفاده از جذب نوری نمونه‌های گیاهی و استاندارد پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر در دستگاه Bio Tek PowerWave XS2 Microplate, USA خوانده شد (µg/g FW). غلظت پروتئین محلول (mg/g FW) براساس روش Bradford (۱۹۷۶) اندازه‌گیری شد. ۱ میکرولیتر از عصاره خام برگ به ۲۰۰ میکرولیتر کوماسی برلیانت بلو اضافه شد و پس از ۱۵ دقیقه جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر در دستگاه Bio Tek PowerWave XS2 Microplate, USA قرائت شد. غلظت پروتئین محلول با استفاده از منحنی استاندارد آلبومین سرم گاوی (BSA) بدست آمد.

صفات مورفوفیزیولوژیک مورد مطالعه

بعد از برداشت گیاهان، ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) اندازه‌گیری گردید. برای سنجش سطح برگ، تعداد ۳۰ برگ از هر گلدان جدا شد و توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Light Box, ADC, UK) اندازه‌گیری و میانگین سطح برگ (میلی‌متر مربع) محاسبه شد. بعد از برداشت گیاهان، بخش هوایی از محل یقه جدا شد و وزن تر اندام هوایی (گرم) اندازه‌گیری گردید. برای تعیین وزن خشک اندام‌های هوایی (گرم)، نمونه‌ها مدت ۴۸ ساعت در آون و درجه ۷۵ سانتی‌گراد قرار گرفته و بعد توزین شدند. ریشه‌ها همراه با خاک چسبیده به آن، به دقت از گلدان‌ها جدا و روی الک غوطه‌ور قرار داده شد، سپس با آب به آرامی شستشو و با دستمال کاغذی خشک شدند و وزن تر ریشه (گرم) سنجش گردید. برای تعیین وزن خشک ریشه (گرم)، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک و بعد توزین شد.

سنجش محتوای نسبی آب (RWC)

برای هر یک از تیمارها از هر تکرار تعداد ۳۰ برگ تقریباً یکسان از بوته جدا و بلافاصله وزن شد و میانگین وزن تر برگ محاسبه شد (LFW). سپس به‌مدت ۱۶ تا ۱۸ ساعت در آب مقطر (برای آب‌گیری کامل) در محیط آزمایشگاهی با دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. آنگاه آب سطحی با کاغذ صافی خشک شد و نمونه‌ها دوباره وزن شدند (LTW). پس از قرار دادن برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد وزن خشک برگ (LDW) توزین و بعد میانگین آن محاسبه شد. درصد محتوای نسبی آب برگ از طریق رابطه زیر محاسبه گردید (Bian & Jiang, 2009).

$$RWC = (FW–DW)/(TW–DW)100$$

اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC) برگ

تعداد ۳۰ برگ از هر بوته جدا و با آب مقطر شستشو و

به‌مدت ۲۴ ساعت در ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر ۲ بار تقطیر در لوله آزمایش و در دمای آزمایشگاه (۲۴ سانتی‌گراد) قرار گرفت. سپس EC محلول نمونه‌ها با دستگاه (EC COND 3110, WTW, Germany) برحسب میکرو زیمنس بر سانتی‌متر (µS/cm) خوانده شد (Blum & Ebercom, 1981).

تجزیه‌وتحلیل آماری

در پایان، تجزیه واریانس و همبستگی پیرسون توسط نرم‌افزار SPSS 26 انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵٪ انجام گردید.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای ساده شوری و اسید سالیسیلیک در سطح ۱٪ بر ارتفاع گیاه و وزن تازه برگ معنی‌دار بود ولی اثر متقابل شوری× اسید سالیسیلیک معنی‌دار نبود (جدول ۱). اثر شوری و اسید سالیسیلیک و اثر متقابل شوری× اسید سالیسیلک بر سطح برگ، وزن تر اندام هوایی گیاه، وزن خشک اندام هوایی گیاه، محتوای آب نسبی و هدایت الکتریکی برگ در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. اثر شوری بر وزن خشک برگ در سطح ۵٪ معنی‌دار بود ولی اثر اسید سالیسیلیک و اثر متقابل شوری× اسید سالیسیلیک بر وزن خشک برگ معنی‌دار نبود. اثر شوری و اثر متقابل شوری× اسید سالیسیلک بر وزن تر ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود ولی اثر اسید سالیسیلیک بر وزن تر ریشه معنی‌دار نبود. اثر شوری و اثر متقابل شوری× اسید سالیسیلک در سطح ۱٪ و اثر اسید سالیسیلیک در سطح ۵٪ بر وزن خشک ریشه معنی‌دار بود. اثر شوری، اسید سالیسیلیک و اثر متقابل شوری× سالیسیلک اسید بر Fv/Fm معنی‌دار نبود (جدول ۱). شوری بر شاخص کلروفیل برگ در سطح ۱٪ اثر معنی‌داری داشت. اثر شوری و اثر متقابل شوری× اسید سالیسیلک در سطح ۱٪ و اثر اسید سالیسیلیک در سطح ۵٪ بر محتوای پرولین و پروتئین محلول معنی‌دار بود (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر شوری و اسید سالیسیلیک بر برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مرزه خزنده (***Satureja spicigera***)

Table 1. ANOVA of salinity and salicylic acid effects on some morphological and physiological traits of *Satureja spicigera*

S.O.V.	d.f.	PLH	LA	LFW	LDW	APFW	APDW	RFW
NaCl	3	654.93**	0.045**	15.76**	1.23*	140.76**	16.39**	235.1**
Salicylic acid (SA)	1	693.38**	0.05**	10.86**	0.03^{ns}	116.7**	14.32**	0.36^{ns}
NaCl × SA	3	80.04^{ns}	0.012**	3.74^{ns}	0.05^{ns}	18.28**	2.90**	73.34**
Experimental error	6	39.17	0.001	2.886	0.34	1.09	0.36	2.39
C.V. (%)		8.82	4.93	15.78	29.23	6.40	11.09	10.12

S.O.V.	d.f.	RDW	SPAD	Fv/Fm	RWC	LEC	Proline	Soluble protein
NaCl	3	6.94**	15.76**	0.001^{ns}	351.89**	206898.0**	0.05**	179800**
Salicylic acid (SA)	1	0.80*	10.86^{ns}	0.001^{ns}	264.04**	232194.5**	0.07*	483700*
NaCl × SA	3	1.49**	3.74^{ns}	0.001^{ns}	199.04**	62347.4**	0.03**	67180**
Experimental error	6	0.111	2.89	0.0001	19.076	97.37	0.0001	1.42
C.V. (%)		14.08	5.58	0.13	5.40	3.96	14.72	0.19

ns, *, and **: non-significant, significant at 5, and 1% probability levels, respectively; PLH: Plant height, LA: Leaf area, LFW: Leaf fresh weight, LDW: Leaf dry weight, APFW: Aerial parts fresh weight, APDW: Aerial parts dry weight, RFW: Root fresh weight, RDW: Root dry weight, SPAD: Single Photon Avalanche Diode (chlorophyll index), Fv: variable florescence, Fm: maximum florescence, RWC: relative water content, LEC: Leaf electrical conductivity.

ارتفاع گیاه

افزایش میزان شوری سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه شد و اسید سالیسیلیک به‌طور معنی‌داری ارتفاع گیاه را افزایش داد (جدول ۲). برهم‌کنش شوری× اسید سالیسیلیک معنی‌دار نبود (جدول ۱). میزان کاهش ارتفاع گیاه در تیمارهای شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد به‌ترتیب ۲۵/۳، ۲۹ و ۱۹ درصد بود (جدول ۲).

سطح برگ

افزایش شوری موجب کاهش سطح برگ شد، به‌طوری که افزایش شوری به ۱۵۰ میلی‌مولار موجب کاهش ۲۴/۸ درصدی نسبت به شاهد شد (جدول ۲). بیشترین میانگین سطح برگ (۰/۸۲ سانتی‌متر مربع) در تیمار شاهد و کاربرد اسید سالیسیلیک بدست آمد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت و کمترین آن در تیمار شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و عدم مصرف اسید سالیسیلیک (۰/۴۶ سانتی‌مترمربع) مشاهده شد (جدول ۳). اسید سالیسیلیک در تیمارهای شوری۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۳۲/۹، ۶/۹، ۱۲/۵ و ۲۳/۷ درصد سطح برگ را افزایش داد (جدول ۳).

وزن تازه برگ

شوری ۵۰ میلی‌مولار سبب افزایش وزن تازه برگ (۱۱/۷٪) نسبت به نمک شاهد شد ولی تیمارهای شوری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار وزن تازه برگ را به‌ترتیب به مقدار ۲۳/۳٪ و ۲۴/۷٪ نسبت به تیمار شاهد کاهش داد (جدول ۲). بیشترین وزن تازه برگ (۱۳/۴۸ میلی‌گرم) در تیمار شوری ۵۰ میلی‌مولار و کاربرد اسید سالیسیلیک بدست آمد که با تیمار شاهد، تیمار شوری ۵۰ میلی‌مولار و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک و نیز تیمار شوری ۵۰ میلی‌مولار و کاربرد اسید سالیسیلیک اختلاف معنی‌دار نشان نداد. کمترین وزن تازه برگ (۸/۳۶ میلی‌گرم) در تیمار نمک ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۲).

وزن خشک برگ

شوری ۵۰ میلی‌مولار سبب افزایش ۲/۸ درصدی وزن خشک برگ نسبت به شاهد شد ولی تیمارهای شوری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار وزن خشک برگ را به‌ترتیب به مقدار ۱۵/۷٪ و ۲۷/۷٪ نسبت به تیمار شاهد کاهش داد (جدول ۲). بیشترین وزن خشک برگ (۲/۵ میلی‌گرم) در تیمار شوری ۵۰ میلی‌مولار و کاربرد اسید سالیسیلیک بدست آمد که فقط با تیمار شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک و تیمار شوری ۱۵۰ میلی‌مولار همراه با کاربرد اسید سالیسیلیک اختلاف معنی‌دار داشت.

وزن تازه اندام هوایی

وزن تازه گیاه در تیمارهای شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۱۰/۴، ۲۴/۹ و ۴۷/۵ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت (جدول ۲). بیشترین وزن تازه اندام هوایی گیاه در تیمار شوری شاهد و کاربرد اسید سالیسیلیک (۲۶/۸ گرم) بدست آمد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت. کمترین وزن تازه اندام هوایی (۹/۳۵ گرم) در تیمار نمک ۱۵۰ میلی‌مولار بدست آمد (جدول ۳). اسید سالیسیلیک در تیمارهای شوری صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۵۱، ۲۴/۶، ۲۲/۱ و ۴۸ درصد وزن تازه اندام هوایی گیاه را افزایش داد (جدول ۳).

وزن خشک اندام هوایی

وزن خشک گیاه در تیمارهای شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۲۱/۸، ۱۸/۸ و ۴۴/۹ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت (جدول ۲). بیشترین وزن خشک اندام هوایی گیاه در تیمار شوری شاهد و کاربرد اسید سالیسیلیک (۹/۱۵ گرم) بدست آمد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت و کمترین آن (۳/۲۵ گرم) در تیمار نمک ۱۵۰ میلی‌مولار بدست آمد (جدول ۳). اسید سالیسیلیک در تیمارهای شوری صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۵۵، ۴۵/۳، ۱۴/۳ و ۱۹/۳ درصد وزن خشک اندام هوایی گیاه را افزایش داد (جدول ۳).

وزن تر ریشه

وزن تازه ریشه گیاه در تیمارهای شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۵۷/۵، ۴۴/۱ و ۷۶/۴ درصد نسبت به تیمار شوری شاهد کاهش یافت (جدول ۲). بیشترین وزن تازه ریشه گیاه در تیمار شاهد بدست آمد (۲۷/۳ گرم) که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت و کمترین آن (۶/۵ گرم) در تیمار نمک ۱۵۰ میلی‌مولار بدست آمد (جدول ۲). اسید سالیسیلیک در شرایط بدون تنش شوری مقدار وزن تازه ریشه را ۳۵/۲٪ کاهش داد ولی در تیمارهای شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار وزن تازه ریشه را به‌ترتیب ۵۹/۵، ۱۳/۴ و ۲۵/۱ درصد افزایش داد (جدول ۳).

وزن خشک ریشه

وزن خشک ریشه گیاه در تیمارهای شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۵۱/۴، ۳۲/۹ و ۸۱/۷ درصد نسبت به تیمار شوری شاهد کاهش یافت (جدول ۲). بیشترین وزن خشک ریشه گیاه (۴/۳ گرم) در تیمار نمک شاهد (صفر میلی‌مولار) بدست آمد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت و کمترین آن (۰/۸ گرم) در تیمار نمک ۱۵۰ میلی‌مولار بدست آمد (جدول ۳). اسید سالیسیلیک در شرایط بدون تنش شوری وزن خشک ریشه را ۴۲/۱٪ کاهش داد ولی در تیمارهای شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار وزن خشک ریشه را به‌ترتیب ۱۴/۹۱، ۱/۵۱ و ۳۲/۱ درصد افزایش داد (جدول ۳).

شاخص کلروفیل برگ (SPAD)

با افزایش شدت شوری میزان شاخص کلروفیل کاهش یافت. تیمارهای شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۱۹/۱، ۲۳/۳ و ۲۵ درصد شاخص کلروفیل برگ را نسبت به شاهد کاهش داد (جدول ۲). اسید سالیسیلیک شاخص کلروفیل برگ را به‌طور معنی‌داری در شرایط بدون تنش شوری (شاهد) به میزان ۲۵/۸٪ افزایش داد و در تیمارهای شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار به‌طور غیر معنی‌داری سبب افزایش ۲/۷ و ۵/۲ درصدی شاخص کلروفیل شد (جدول ۳).

محتوای آب نسبی برگ (RWC)

محتوای آب نسبی برگ در تیمارهای شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۱۱/۲، ۲۲/۴۲ و ۲۷/۹ درصد نسبت به نمک شاهد کاهش یافت (جدول ۲). بیشترین محتوای آب نسبی برگ (۹۱/۷٪) در تیمار صفر میلی‌مولار نمک (شاهد) مشاهده شد که با تیمارهای شوری ۵۰ میلی‌مولار، شوری ۵۰ میلی‌مولار همراه با کاربرد اسید سالیسیلیک و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار همراه با کاربرد اسید سالیسیلیک اختلاف معنی‌داری نداشت ولی با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار نشان داد (جدول ۳). کمترین محتوای آب نسبی برگ (۶۶٪) در تیمار نمک ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۳). اسید سالیسیلیک در تیمار شاهد (نمک صفر میلی‌مولار) محتوای آب نسبی برگ را به مقدار ۵/۵۹٪ کاهش داد ولی در شرایط تنش شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۹/۱۶، ۳/۰۱ و ۳۳/۴۱ درصد محتوای آب نسبی برگ را افزایش داد (جدول ۳).

هدایت الکتریکی برگ (EC)

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین هدایت الکتریکی برگ (۷۱۹/۱ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر) در تیمار نمک ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت. کمترین هدایت الکتریکی برگ (۴۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) در تیمار شاهد مشاهده شد که با تیمار شوری صفر میلی‌مولار همراه با کاربرد اسید سالیسیلیک اختلاف معنی‌دار نشان نداد (جدول ۲). اسید سالیسیلیک در شرایط بدون تنش (تیمار شاهد) هدایت الکتریکی برگ را به مقدار ۳۴/۴٪ نسبت به شاهد افزایش داد ولی در شرایط تنش شوری اسید سالیسیلیک سبب کاهش هدایت الکتریکی سلول شد و در تیمارهای ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۳۶/۳، ۳۶/۸ و ۶۵/۷ درصد هدایت الکتریکی برگ را کاهش

داد (جدول ۳).

پرولین

با افزایش تنش شوری، میزان پرولین برگ افزایش یافت (جدول ۲). بیشترین مقدار پرولین (۱۲/۷ میکروگرم بر گرم وزن تازه) در تیمار شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و عدم مصرف اسید سالیسیلیک مشاهده شد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت و کمترین آن (۲/۲ میکروگرم بر گرم وزن تازه) در تیمار نمک ۱۰۰ میلی‌مولار و کاربرد اسید سالیسیلیک مشاهده شد (جدول ۳). اسید سالیسیلیک در تیمار شوری شاهد باعث افزایش ۲۲/۳ درصدی پرولین شد، اما در غلظت‌های شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار، محتوای پرولین را به‌ترتیب ۷/۲، ۸۶/۷ و ۴۷ درصد کاهش داد (جدول ۳).

پروتئین کل

با افزایش شوری تا ۱۰۰ میلی‌مولار، محتوای پروتئین محلول در برگ افزایش یافت، اما در تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار مقدار آن کاهش یافت (جدول ۲). بیشترین پروتئین محلول در برگ (۱/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) در تیمار شوری ۵۰ میلی‌مولار + کاربرد اسید سالیسیلیک بدست آمد که با تیمارهای شاهد و کاربرد اسید سالیسیلیک، شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک و همین‌طور تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و کاربرد اسید سالیسیلیک اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳). کمترین پروتئین محلول در برگ (۰/۵۶ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) در تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار شوری مشاهده شد که با تیمار شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کاربرد اسید سالیسیلیک اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). اسید سالیسیلیک در تیمارهای شوری صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به‌ترتیب محتوای پروتئین برگ را ۱۳۵/۲، ۲۹/۱۲، ۷/۸۲ و ۴۲/۳ درصد افزایش داد (جدول ۳).

برآورد همبستگی پیرسون برای صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی

برآورد همبستگی پیرسون برای صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و فتوسنتزی (جدول ۴) نشان داد که ارتفاع گیاه به‌ترتیب بیشترین همبستگی مثبت معنی‌دار را با صفات وزن تازه اندام هوایی ($r= 0.78^{**}$) و وزن خشک اندام هوایی ($r= 0.76^{**}$) و بیشترین همبستگی منفی معنی‌دار را با هدایت الکتریکی برگ ($r= -0.57^{**}$) داشت. سطح برگ بیشترین همبستگی مثبت معنی‌دار را با صفات وزن تازه اندام هوایی ($r= 0.76^{**}$) و وزن خشک اندام هوایی ($r= 0.75^{**}$) و بیشترین همبستگی منفی معنی‌دار را با هدایت الکتریکی برگ ($r= -0.68^{**}$) داشت. صفت عملکرد کوانتومی فتوسیستم II با صفت هدایت الکتریکی برگ همبستگی منفی معنی‌دار ($r= -0.58^{*}$) داشت. صفت شاخص کلروفیل با هیچ‌یک از صفات دیگر همبستگی مثبت یا منفی معنی‌داری نشان نداد. وزن تر برگ به‌ترتیب بیشترین همبستگی مثبت معنی‌دار را با صفات محتوای آب نسبی برگ ($r= 0.71^{**}$)، وزن خشک برگ ($r= 0.65^{**}$) و وزن تر اندام هوایی ($r= 0.58^{*}$) و بیشترین همبستگی منفی را با هدایت الکتریکی برگ ($r= -0.56^{*}$) داشت. وزن خشک برگ بیشترین همبستگی مثبت معنی‌دار را با وزن آماس برگ ($r= 0.61^{**}$) نشان داد. محتوای آب نسبی برگ بیشترین همبستگی مثبت معنی‌دار را با صفات وزن اندام هوایی گیاه ($r= 063^{**}$) و بیشترین همبستگی منفی معنی‌دار را با هدایت الکتریکی برگ ($r= -0.79^{**}$) داشت.

وزن تازه اندام هوایی گیاه بیشترین همبستگی مثبت معنی‌دار را با وزن خشک اندام هوایی گیاه ($r= 0.94^{**}$) و بیشترین همبستگی منفی معنی‌دار را با هدایت الکتریکی برگ ($r= -0.78^{**}$) نشان داد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن خشک اندام هوایی گیاه و وزن تازه ریشه ($r= 0.58^{*}$) و همبستگی منفی معنی‌داری بین وزن خشک اندام هوایی گیاه و هدایت الکتریکی برگ ($r= -0.71^{**}$) مشاهده شد. همبستگی بین صفات وزن تازه ریشه و وزن خشک ریشه مثبت و معنی‌دار ($r= 0.93^{**}$) و بین وزن تازه ریشه و هدایت الکتریکی برگ ($r= -0.62^{*}$) منفی و معنی‌دار بود.

جدول ۲- مقایسه میانگین تأثیر شوری و اسید سالیسیلیک بر برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مرزه خزنده (***Satureja spicigera***)

Table 2. Means comparison of salinity and salicylic acid effects on some morphological and physiological traits of *Satureja spicigera*

Treatment		M.S.±SE						
		PLH (cm)	**LA (cm^2)**	**LFW (mg)**	**LDW (mg)**	**APFW (g)**	**APDW (g)**	**RFW (g)**
NaCl (mM)	0	83.67±3.18^{a}	0.72±0.009^{a}	11.86±0.80^{ab}	2.15±0.29^{ab}	22.34±0.60^{a}	7.52±0.46^{a}	22.50±1.67^{a}
	50	68.56±3.20^{b}	0.65±0.02^{b}	12.94±0.36^{a}	2.45±0.32^{a}	17.90±0.29^{b}	5.65±0.56^{b}	15.07±1.13^{b}
	100	64.89±3.78^{b}	0.68±0.02^{a}	10.09b±0.36^{c}	1.67±0.28^{b}	14.83±0.56^{c}	5.56±0.28^{b}	16.28±0.46^{b}
	150	68.00±1.15^{b}	0.52±0.02^{c}	8.97±0.04^{c}	1.60±0.13^{b}	11.36d±0.90^{d}	3.13±0.17^{c}	7.28±0.55^{c}
Salicylic acid (SA) (mM)	0	65.58±2.99^{b}	0.59±0.04^{b}	10.09±1.11^{b}	2.07±0.26^{a}	14.11±1.96^{b}	4.64±0.66^{b}	15.15±4.72^{a}
	2	76.33±3.54^{a}	0.70±0.03^{a}	11.84±0.67^{a}	2.12±0.13^{a}	19.11±1.55^{a}	6.30±0.59^{a}	15.40±1.37^{a}
Treatment		**M.S.±SE**						
		RDW (g)	**SPAD (u)**	**RWC (%)**	**LEC (µS cm^{-1})**	**Proline (µg g^{-1} leaf FW)**	**Protein (mg g^{-1} leaf FW)**	
NaCl (mM)	0	3.41±0.35^{a}	32.67±0.44^{a}	89.13±0.30^{a}	50.69±1.70^{a}	4.60±0.01^{c}	0.59±0.01^{d}	
	50	2.27±0.17^{c}	31.67±1.21^{a}	85.15±3.27^{a}	215.02±3.37^{b}	6.00±0.02^{b}	0.81±0.02^{b}	
	100	2.92±0.09^{b}	30.70±139^{a}	73.81±1.23^{b}	297.42±8.07^{c}	6.41±0.03^{b}	0.93±0.03^{a}	
	150	0.92±0.12^{d}	29.31±0.23^{a}	77.12±4.40^{b}	482.93±11.51^{d}	11.40±0.04^{a}	0.70±0.01^{c}	
Salicylic acid (SA) (mM)	0	2.53±0.79^{a}	30.74±2.36^{a}	77.69±6.27^{b}	347.38±25.51^{a}	8.25±0.07^{a}	0.70±0.04^{b}	
	2	2.22±0.22^{b}	30.20±0.73^{a}	84.54±1.80^{a}	175.66±22.37^{b}	3.75±0.04^{b}	0.99±0.01^{a}	

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test); PLH: Plant height, LA: Leaf area, LFW: Leaf fresh weight, LDW: Leaf dry weight, APFW: Aerial parts fresh weight, APDW: Aerial parts dry weight, RFW: Root fresh weight, RDW: Root dry weight, SPAD: Single Photon Avalanche Diode (chlorophyll index), RWC: relative water content, LEC: Leaf electrical conductivity, FW: Fresh weight.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری × اسید سالیسیلیک بر برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مرزه خزنده (***Satureja spicigera***)

Table 3. Means comparison of salinity × salicylic acid interaction on some morphological and physiological traits of *Satureja spicigera*

Treatment			M.S.±SE								
			LA (cm^2)	APFW (g)	APDW (g)	RFW (g)	RDW (g)	RWC (%)	LEC ($\mu S\ cm^{-1}$)	Proline ($\mu g\ g^{-1}$ leaf FW)	Protein ($mg\ g^{-1}$ leaf FW)
NaCl × Salicylic acid	0	0	0.62 ± 0.01^{cd}	17.80 ± 0.60^{b}	5.90 ± 0.47^{bc}	27.3 ± 1.67^{a}	4.32 ± 0.35^{a}	91.70 ± 0.30^{a}	43.25 ± 1.70^{a}	2.3 ± 0.04^{f}	0.4 ± 0.01^{d}
	0	2	0.82 ± 0.02^{a}	26.88 ± 0.89^{a}	9.15 ± 0.38^{a}	17.7 ± 0.43^{bc}	2.50 ± 0.26^{bc}	86.55 ± 1.78^{ab}	58.12 ± 1.34^{ab}	3.1 ± 0.02^{d}	1.0 ± 0.06^{a}
	50	0	0.63 ± 0.02^{cd}	15.94 ± 0.29^{c}	4.61 ± 0.56^{de}	11.6 ± 1.12^{d}	2.10 ± 0.18^{c}	81.42 ± 3.27^{b}	262.67 ± 3.37^{d}	7.5 ± 0.04^{c}	0.8 ± 0.04^{b}
	50	2	0.67 ± 0.02^{bc}	19.86 ± 0.53^{b}	6.69 ± 0.36^{b}	18.5 ± 1.06^{b}	2.41 ± 0.15^{bc}	88.88 ± 2.28^{a}	67.37 ± 4.22^{b}	7.0 ± 0.09^{c}	1.1 ± 0.05^{a}
	100	0	0.64 ± 0.03^{c}	13.98 ± 0.56^{d}	4.79 ± 0.28^{de}	15.3 ± 0.45^{c}	2.99 ± 0.09^{b}	71.12 ± 1.23^{cd}	364.45 ± 8.07^{e}	9.9 ± 0.06^{b}	1.0 ± 0.07^{a}
	100	2	0.72 ± 0.03^{b}	16.31 ± 0.24^{c}	5.01 ± 0.23^{cd}	17.3 ± 0.68^{bc}	2.78 ± 0.17^{b}	73.26 ± 3.27^{c}	230.39 ± 4.27^{c}	2.2 ± 0.02^{g}	1.1 ± 0.07^{a}
	150	0	0.46 ± 0.02^{e}	9.35 ± 0.55^{e}	3.25 ± 0.17^{f}	6.5 ± 0.55^{e}	0.79 ± 0.12^{d}	66.08 ± 4.39^{d}	719.13 ± 11.52^{f}	12.7 ± 0.05^{a}	0.6 ± 0.03^{c}
	150	2	0.57 ± 0.02^{d}	13.37 ± 0.84^{c}	3.88 ± 0.57^{ef}	8.1 ± 0.13^{e}	1.04 ± 0.05^{d}	88.16 ± 0.31^{a}	246.7 ± 3.09^{cd}	3.0 ± 0.01^{e}	0.8 ± 0.01^{b}

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test); LA: Leaf area, APFW: Aerial parts fresh weight, APDW: Aerial parts dry weight, RFW: Root fresh weight, RDW: Root dry weight, RWC= relative water content, LEC: Leaf electrical conductivity, FW: Fresh weight.

جدول ۴- همبستگی پیرسون برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مرزه خزنده (***Satureja spicigera***) تحت تیمارهای شوری و اسید سالیسیلیک

Table 4. Pearson correlation of some morphological and physiological traits in *Satureja spicigera* affected by salinity and salicylic acid treatments

Trait	PLH	LA	Fv/Fm	SPAD	LFW	LDW	RWC	APFW	APDW	RFW	RDW	LEC
PLH	1											
LA	0.51*	1										
Fv/Fm	0.31	0.48	1									
SPAD	0.17	-0.17	0.15	1								
LFW	0.43	0.4	0.43	0.23	1							
LDW	0.23	0.23	-0.03	0.3	0.65**	1						
RWC	0.55*	0.33	0.46	0.55*	0.71**	0.39	1					
APFW	0.78**	0.76**	0.44	0.02	0.58*	0.44	0.63**	1				
APDW	0.76**	0.75**	0.34	-0.07	0.39	0.34	0.48	0.94**	1			
RFW	0.49	0.46	0.23	0.49	0.14	0.27	0.48	0.52*	0.58*	1		
RDW	0.34	0.44	0.24	0.42	0.02	0.14	0.36	0.39	0.46	0.93**	1	
LEC	-0.57*	-0.68**	-0.58*	-0.43	-0.56*	-0.35	-.79**	-.78**	-0.71**	-0.73**	-0.62**	1

* and **: significant at 5 and 1% probability levels, respectively; PLH: Plant height, LA: Leaf area, LFW: Leaf fresh weight, LDW: Leaf dry weight, APFW: Aerial parts fresh weight, APDW: Aerial parts dry weight, RFW: Root fresh weight, RDW: Root dry weight, SPAD: Single Photon Avalanche Diode (chlorophyll index), Fv: variable florescence, Fm: maximum florescence, RWC: relative water content, LEC: L

بحث

تحت تنش شوری، به دلیل وجود غلظت نمک زیاد در خاک ظرفیت اسمزی سلول‌های گیاهی منفی‌تر می‌شود، در نتیجه جذب آب به گیاه و ظرفیت آب برگ کاهش می‌یابد (Betzen *et al*., 2019). کاهش آب برگ هموستازی یونی را مختل و گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) را افزایش می‌دهد و منجر به تنش اسمزی و یونی می‌شود (Arif *et al*., 2020). تنش یونی و استرس اکسیداتیو ناشی از شوری باعث کاهش تولید ماده خشک گیاهی می‌شود (Mushtaq *et al*., 2022). تنش شوری زودتر از سایر شاخص‌های مورفولوژیکی بر سطح برگ و ارتفاع گیاه تأثیر می‌گذارد (Su *et al*., 2013).

در این آزمایش ارتفاع گیاه در تمام تیمارهای شوری نسبت به شاهد کاهش یافت. در گونه *Satureja khozestanica* تنش شوری سبب کاهش ارتفاع شد (Saadatfar & Hossein Jafari, 2022). در برخی از گیاهان دیگر مانند *Trigonella foenum-graecum* (Banakar *et al*., 2021) و *Anethum graveolens* L. تنش شوری سبب کاهش ارتفاع بوته گردید (Setayesh-mehr & Ganjali, 2013). اسید سالیسیلیک ارتفاع گیاه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. اسید سالیسیلیک در گونه *Menta spicata* در سطوح مختلف شوری باعث افزایش ارتفاع بوته شد (Hassanpouraghdam *et al*., 2022). در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار سطح برگ کاهش شدیدی نشان داد. شوری در گیاه شنبلیله (Banakar *et al*., 2021) و آویشن دنایی (Harati *et al*., 2015) باعث کاهش سطح برگ گیاه شد. اسید سالیسیلیک در تمام تیمارهای شوری سبب افزایش معنی‌دار سطح برگ شد. اسید سالیسیلیک باعث افزایش سطح برگ در گیاه مرزه تابستانی (*Saturja hortensis*) شد (Pourghadir *et al*., 2021) که با نتیجه بدست آمده مطابقت دارد.

وزن تازه و خشک برگ و وزن تازه و خشک اندام هوایی گیاه در تیمارهای شوری نسبت به تیمار شاهد کاهش معنی‌داری یافت. در گیاه مرزه تابستانه شوری باعث کاهش وزن خشک برگ و وزن خشک اندام هوایی گیاه شد (Mohammadi *et al*., 2023). همچنین در گیاه تاج خروس (*Amaranthus cruentus*) کاهش وزن خشک برگ و وزن اندام هوایی در تیمارهای ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار نمک مشاهده شد (Menezes *et al*., 2017). اسید سالیسیلیک در تمام تیمارهای شوری، وزن تر برگ و وزن تازه و خشک اندام هوایی گیاه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. مشابه با این نتیجه، در گیاه *Lantana camara* اسید سالیسیلیک در سطوح شوری بالا باعث بهبود وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد شد (Dehestani Ardakani *et al*., 2021).

تغییر سطوح اسید سالیسیلیک در گیاهان منجر به بروز فنوتیپ‌هایی با رشد غیر طبیعی می‌شود (Pokotylo *et al*., 2022). اسید سالیسیلیک رشد گیاه را با تعدیل تقسیم و گسترش سلولی، به صورت منفی یا مثبت، تنظیم می‌کند (Li *et al*., 2022). ژن وابسته به پاتوژنز NPR1 و پروتئین آن جزو کلیدی در تنظیم رشد با واسطه اسید سالیسیلیک است (Wang *et al*., 2021؛ Fujikura *et al*., 2020). هورمون اسید سالیسیلیک در تعامل با سایر هورمون‌های رشد، به روشی وابسته به NPR1، تقسیم سلولی، گسترش سلولی و بعد رشد گیاه را تنظیم می‌کند (Li *et al*., 2022). اثر SA اگزوژن بر رشد گیاه به غلظت آن و گونه گیاهی بستگی دارد. غلظت‌های مختلف SA در گونه‌های متفاوت گیاهی دارای اثرهای القایی یا بازدارنده بر رشد است. به‌طور کلی، برای گونه‌های گیاهی، غلظت‌های پایین‌تر اسید سالیسیلیک اگزوژن اثر محرک رشد دارد، در حالی که غلظت‌های بالاتر ممکن است رشد منفی را القاء کند (Li *et al*., 2022). برای نمونه، اسید سالیسیلیک ۰/۰۵ میلی‌مولار رشد برگ‌ها و ریشه‌های بابونه را به‌ترتیب ۳۲٪ و ۶۵٪ تحریک کرد، در حالی که غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک رشد آنها را به‌ترتیب ۴۰٪ و ۴۳٪ کاهش داد (Kovácik *et al*., 2008). در آرابیدوپسیس (*Arabidopsis thaliana*)، اسید سالیسیلیک با غلظت کمتر از ۰/۰۵ میلی‌مولار رشد ریشه‌های فرعی را ارتقاء داد، در حالی که غلظت‌های بالاتر

از ۰/۰۵ میلی‌مولار تمام فرایندهای رشد را در ریشه مهار کرد (Pasternak *et al*., 2019). یادآوری می‌شود که آستانه غلظت اسید سالیسیلیک بین تقویت رشد و مهار رشد ممکن است در گونه‌های گیاهی متفاوت باشد، ازاین‌رو نتایج متفاوت و گاهی متضاد از اثر اسید سالیسیلیک بر رشد در گیاهان مختلف گزارش شده است که نشان می‌دهد که این ترکیب نقش پیچیده‌ای در رشد گیاه دارد (Li *et al*., 2022).

وزن تازه و خشک ریشه در تمام تیمارهای شوری نسبت به تیمار شوری شاهد کاهش معنی‌داری یافت و اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری وزن تازه و خشک ریشه را افزایش داد. مشابه با این نتایج، در گیاه تاج خروس وزن خشک ریشه در تیمارهای مختلف شوری کاهش یافته (Menezes *et al*., 2017) و اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری وزن تر و خشک ریشه را در گیاه *Thymus danensis* افزایش داده است (Harati *et al*., 2015). اسید سالیسیلیک همراه با سایر هورمون‌های گیاهی با تنظیم فعالیت مریستم رأس ریشه (RAM)، رشد ریشه را کنترل می‌کند (Xu *et al*., 2017؛ Pasternak *et al*., 2019). تأثیر اسید سالیسیلیک بر روی ریشه‌های فرعی و زیست توده ریشه از طریق یک تداخل قوی با اکسین انجام می‌شود (Bagautdinova *et al*., 2022) و اثر آن بر رشد ریشه، با توجه به غلظت متفاوت است. معمولاً غلظت‌های پایین اسید سالیسیلیک سبب تحریک رشد ریشه می‌شود و غلظت‌های بالا رشد آن را کُند یا متوقف می‌کند. کمبود اسید سالیسیلیک منجر به کاهش بیان چندین ژن CYCLIN، کاهش اندازه مریستم رأس ریشه و کاهش طول سلول‌های بالغ ریشه می‌شود (Xu *et al*., 2017). از سویی غلظت بالای اسید سالیسیلیک موجب سرکوب تقسیم سلولی در مریستم پروگزیمال و از این طریق سبب کاهش طول ریشه می‌شود (Pasternak *et al*., 2019). در شرایط استرس، غلظت مناسبی از اسید سالیسیلیک از طریق القای سرکوبگرهای رونویسی WRKY62 و WRKY76 از بیان ژن‌های مربوط به هموستاز ردوکس و ژن‌های مهار ROSs جلوگیری می‌کند تا غلظت متعادلی از ROSs که برای فعالیت مریستم رأس ریشه لازم است، فراهم کند و از این طریق سبب افزایش رشد ریشه می‌شود (Bagautdinova *et al*., 2022). البته باید در نظر داشت که واکنش گیاهان به غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک به ژنتیک آنها بستگی دارد. مثلاً اثر اسید سالیسیلیک بر رشد ریشه در چهار واریته از گیاه ارزن مروارید (*Pennisetum glaucum*) متفاوت بوده است. تیمار ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک منجر به افزایش طول ریشه در یک واریته شده ولی بر سایر رقم‌ها اثر معنی‌داری نداشته است. در یک واریته دیگر غلظت ۳-۱ میلی‌مولار سالیسیلیک باعث کاهش طول ریشه شد و در دو رقم دیگر این گیاه، فقط غلظت‌های بالای ۳-۲ میلی‌مولار طول ریشه را کاهش داد (Ngom *et al*., 2017).

در این تحقیق، با افزایش شدت شوری میزان شاخص کلروفیل و بازده فتوشیمیایی فتوسیستم II کاهش معنی‌داری نشان داد و اسید سالیسیلیک مقادیر آنها را در تیمارهای شوری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم افزایش داد. شوری باعث تخریب کلروفیل و کاهش فتوسنتز و توقف رشد آن می‌شود. تنش شوری بازده فتوشیمیایی فتوسیستم II، شاخص کلروفیل و شاخص فتوسنتزی را کاهش و اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری، ویژگی‌های فتوسنتزی را بهبود می‌بخشد (Nazar *et al*., 2015a). روبیسکو آنزیم اصلی فتوسنتز و تثبیت کربن است. تنش شوری سطح روبیسکو (Rubisco) را تقریباً تا ۸۰٪ کاهش می‌دهد. این کاهش ممکن است به دلیل تأثیر نمک در سطح رونویسی، ترجمه یا تنظیم ژن باشد (Miteva *et al*., 1992). محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک بر برخی عوامل متابولیک در جذب کربن یا تثبیت آنزیم روبیسکو و یا چرخه کاهش کربن فتوسنتزی تأثیر می‌گذارد (Nazar *et al*., 2015a). افزایش فعالیت فتوسنتزی و رشد گیاه توسط سالیسلیک اسید، در گیاهان تحت تنش شوری به افزایش جذب گوگرد (S)، تخصیص بیشتر نیتروژن (N) و گوگرد به پروتئین روبیسکو و افزایش در دسترس بودن CO_2 برای روبیسکو نسبت داده می‌شود (Arfan *et al*., 2007). در چغندرقند (*Beta vulgaris*) تحت تنش شوری، اسید سالیسیلیک موجب افزایش معنی‌دار

عدد کلروفیل‌متر شد (Mohamadi Cheraghabadi *et al*., 2015). همچنین کاربرد اسید سالیسیلیک خارجی به‌طور قابل توجهی شاخص فتوسنتزی را در گل‌راعی (*Hypericum perforatum*) بهبود بخشید (Kwon *et al*., 2023). تیمارهای شوری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار عملکرد کوانتومی فتوسیستم II را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش داد و اسید سالیسیلیک در این تیمارها سبب افزایش عملکرد کوانتومی فتوسیستم II شد. در گل‌راعی اسید سالیسیلیک به‌طور قابل توجهی فعالیت فتوسنتزی، حداکثر بازده کوانتومی فتوشیمیایی و فعالیت بالقوه PSII را بهبود بخشید (Kwon *et al*., 2023).

استرس نمک از طریق تولید بیش از حد گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) که باعث پراکسیداسیون لیپیدی، آسیب به رنگدانه‌های فتوسنتزی و اختلال در وضعیت مواد مغذی معدنی می‌شود، استرس اکسیداتیو را القاء می‌کند (Turan & Tripathy, 2013). اثر بازدارندگی شوری بر فتوسنتز از طریق محدودیت‌های روزنه‌ای یا غیر روزنه‌ای، مهار فرایندهای فتوشیمیایی به دلیل برهم‌خوردن تعادل آب در گیاه، اختلال در هموستاز یون‌های Na^+ و Cl^-، کاهش جذب مواد مغذی (Steduto *et al*., 2000) و تخریب رنگیزه‌های فتوسنتزی انجام می‌شود (Turan & Tripathy, 2013).

محتوای آب نسبی برگ با افزایش شدت شوری کاهش معنی‌داری داشت و اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری محتوای آب نسبی برگ را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. در گیاه دارویی شنبلیله (Arvin & Firuzeh, 2021) و گیاه فلفل (Kaya *et al*., 2020) تنش شوری باعث کاهش مقدار محتوای آب نسبی برگ شد که با نتایج ما مطابقت دارد. کاربرد اسید سالیسیلیک، تحت شرایط شوری، سبب افزایش محتوای آب نسبی در گیاهانی مانند *Lantana camara* (Dehestani Ardakani *et al*., 2021) و *Capsicum annuum* (Kaya *et al*., 2020) شد. افزایش محتوای آب نسبی برگ پایداری و تعادل آب در گیاهان را ارتقاء و به سازگاری گیاه در شرایط آب و هوایی نامطلوب کمک می‌کند (Noreen *et al*., 2012). در شرایط شوری، Na^+ جایگزین یون‌های Ca^{2+} می‌شود و فعالیت حامل‌ها و کانال‌های یونی در ریشه را مختل می‌کند که منجر به کاهش جذب آب در گیاهان می‌شود (Guo *et al*., 2015)، درنتیجه محتوای آب نسبی سلول کاهش می‌یابد. اسید سالیسیلیک سبب افزایش رشد ریشه می‌شود و از این طریق جذب آب به گیاه را افزایش می‌دهد (Bagautdinova *et al*., 2022). این فرایندها به افزایش محتوای آب سلول کمک می‌کنند.

تیمارهای شوری هدایت الکتریکی برگ را به شدت افزایش دادند. اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری، سبب کاهش هدایت الکتریکی برگ شد. مشابه با این نتایج، در گیاه میخک (*Dianthus superbus*) تنش شوری ۰/۶٪ و ۰/۹٪، رسانایی الکتریکی نسبی (REC) را افزایش داده و اسید سالیسیلیک به‌طور مؤثری مقدار آن را کاهش داد (Ma *et al*., 2017).

تنش شوری سبب برهم‌خوردن تعادل یونی می‌شود و تنش اکسیداتیو با واسطه تنش شوری غشاءهای سلول را تخریب می‌کند، در نتیجه هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. اسید سالیسیلیک به حفظ و تنظیم تعادل یونی کمک می‌کند و از اتلاف با واسطه نمک، یون‌های K^+ از طریق کانال GORK جلوگیری می‌کند. از سویی اسید سالیسیلیک با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، گونه‌های اکسیژن فعال را غیر فعال کرده و غشاء سلولی را محافظت می‌کند، پایداری غشاء را افزایش و سبب بازسازی ظرفیت غشایی می‌شود. این فرایندها هدایت الکتریکی برگ را کاهش می‌دهد (Jayakannan *et al*., 2013).

گیاهان در شرایط تنش شوری با انباشت اسمولیت‌ها ظرفیت اسمزی خود را تنظیم می‌کنند. در این تحقیق با افزایش تنش شوری میزان پرولین افزایش معنی‌داری پیدا کرد. در بعضی گونه‌های دیگر مرزه محتوای پرولین در شرایط تنش شوری افزایش یافته است (Saadatfar & Hossein Jafari, 2022؛ Mohammadi *et al*., 2023). اسید سالیسیلیک به‌طور قابل توجهی محتوای پرولین را در شرایط تنش شوری شدید کاهش داد. در تحقیقات قبلی،

کاربرد اسید سالیسیلیک محتوای پرولین را در گیاهان مختلفی ازجمله *Nigella sativa* (Zarei *et al*., 2019) و *Lallemantia royleana* (Rostami, 2018) در شرایط تنش شوری کاهش داد. حفظ تعادل اسمزی یک ویژگی حیاتی برای فعالیت‌های متابولیک طبیعی است و برای رشد و نمو طبیعی گیاه لازم می‌باشد. تحت تنش شوری، یک سازوکار تنظیم اسمزی به خوبی توسعه یافته از طریق سنتز اسمولیت‌ها ازجمله پرولین کمک زیادی به حفظ فشار تورگر می‌کند (Khan *et al*., 2015). با افزایش شوری تا ۱۰۰ میلی‌مولار میزان پروتئین محلول برگ افزایش معنی‌دار داشت ولی در تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار مقدار آن کاهش معنی‌داری را نشان داد. چندین پروتئین در پاسخ به تنش شوری در گیاهان انباشته می‌شوند. بافت‌های گیاهی معمولاً با تجزیه پروتئین‌ها یا تولید پروتئین‌های مرتبط با استرس نمک به آن پاسخ می‌دهند (Athar *et al*., 2022). همچنین استرس شدید با تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) سبب تخریب برخی از پروتئین‌های آنزیمی و ساختاری می‌شود (Wang *et al*., 2015). بنابراین تغییرات پروتئین محلول در برگ، شاخص مناسبی برای بررسی شدت تنش شوری در گیاهان است. نتایج تحقیقی نشان داد که محتوای پروتئین در *Thymus vulgaris* در تیمارهای شوری ملایم افزایش و در شرایط تنش شدید شوری کاهش یافته است (Harati *et al*., 2015). در گیاه شوید (*Anethum graveolens* L.) نیز با افزایش شدت تنش، میزان پروتئین‌های محلول برگ کاهش یافته است (Setayesh-mehr & Ganjali, 2013). کاربرد اسید سالیسیلیک در تمام تیمارهای شوری، سبب افزایش مقدار پروتئین محلول برگ شد.

در گیاهان *capsicum anna* (Kumar *et al*., 2022) و *Thymus vulgaris* (Harati *et al*., 2015) اسید سالیسیلیک سبب افزایش پروتئین محلول برگ شده است که با نتایج بدست آمده مطابقت دارد.

در گیاه مرزه خزنده همبستگی مثبت و معنی‌داری بین صفات ارتفاع گیاه، وزن تازه اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی و سطح برگ و همبستگی مثبت و معنی‌داری بین محتوای آب نسبی برگ با وزن تر برگ و وزن تر اندام هوایی وجود داشت که می‌توان از آن برای برنامه‌های اصلاح نبات و افزایش عملکرد این گیاه استفاده کرد.

به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی باید گفت نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که استفاده از اسید سالسیلیک در شرایط تنش شوری موجب بروز تغییراتی در برخی ویژگی‌های مرفوفیزیولوژیکی، عملکردی، فتوسنتزی و بیوشیمیایی گیاه مرزه خزنده می‌شود. افزایش شوری، صفات رویشی و عملکردی گیاه و نیز برخی صفات فتوسنتزی و فیزیولوژیکی را کاهش داد ولی میزان تنظیم‌کننده‌های اسمزی از قبیل پرولین و پروتئین را افزایش داد. کاربرد اسید سالیسیلیک ۲ میلی‌مولار توانست در سطوح مختلف شوری، برخی اثرهای مخرب شوری را در گیاه مرزه خزنده بهبود ببخشد، به‌طوری که گیاهان تیمار شده با اسید سالیسیلیک نسبت به گیاهانی که تحت تنش شوری بودند ولی اسید سالیسیلیک دریافت نکردند، مقاومت بیشتری به شوری نشان دادند و رشد و عملکرد بهتری داشتند. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، کاربرد اسید سالیسیلیک ۲ میلی‌مولار از طریق افزایش حفاظت‌کننده‌های اسمزی و القای فعالیت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی، تحمل گیاهان را در برابر تنش شوری افزایش داد و سبب افزایش رشد مرزه خزنده در شرایط تنش شوری شد. براساس نتایج این تحقیق کشت این گیاه در خاک‌های با شوری بیشتر از ۱۰۰ میلی‌مولار توصیه نمی‌شود. همچنین در صورت کاشت مرزه خزنده در خاک‌های با شوری کمتر از ۱۰۰ میلی‌مولار، می‌توان از اسید سالیسیلیک ۲ میلی‌مولار به صورت محلول‌پاشی برگی برای افزایش رشد گیاه و درآمد بیشتر استفاده کرد.

سپاسگزاری

از همکاران گرانقدر در آزمایشگاه کشت بافت و گلخانه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه و آزمایشگاه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه که در اجرای این پژوهش صمیمانه همکاری کردند، بسیار سپاسگزاریم.

Refrences

- Andalibi, L., Ghorbani, A., Moameri, M., Hazbavi, Z., Nothdurft, A., Jafari R. and Dadjou, F., 2021. Leaf area index variations in ecoregions of Ardabil province, Iran. Remote Sensing, 13: 2879.
- Arfan, M., Athar, H.R. and Ashraf, M., 2007. Does exogenous application of salicylic acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress? Journal of Plant Physiology, 164: 685-694.
- Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A. and Hayat, S., 2020. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. Plant Physiology and Biochemistry, 156: 64-77.
- Arvin, P. and Firuzeh, R., 2021. Effects of salinity stress on physiological and biochemical traits of some fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) populations. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 37(5): 822-837.
- Ashraf, M. and Harris, P.J.C., 2013. Photosynthesis under stressful environments: An overview. Photosynthetica, 51(2): 163-90.
- Athar, H., Zulfiqar, F., Moosa, A., Ashraf, M., Zafar, Z.U., Zhang, L., Ahmed, N., Kalaji, H.M., Nafees, M., Hossain, M.A., Islam, M.S., El Sabagh, A. and Siddique, K.H.M., 2022. Salt stress proteins in plants: An overview. Frontiers in Plant Science, 13: 999058.
- Bagautdinova, Z.Z., Omelyanchuk, N., Tyapkin, A.V., Kovrizhnykh, V.V., Lavrekha, V.V. and Zemlyanskaya, E.V., 2022. Salicylic acid in root growth and development. International Journal of Moleculare Sciences, 23(4): 2228.
- Baghizadeh, A., Salarizadeh, M.R. and Abaasi. F., 2014. Effects of salicylic acid on some physiological and biochemical parameters of *Brassica napus* L. (canola) under salt stress. International Journal of Agricultural Sciences, 4(2):147-52.
- Banakar, M.H., Amiri, H., Ranjbar, G.H. and Sarafraz Ardakani, M.R., 2021. Effect of salt stress on some morphological traits of fenugreek and determination of the salt tolerance threshold at vegetative stage using some experimental models. Environmental Stresses in Crop Sciences, 14(4): 1081-1103.
- Bates, L., Waldren, R. and Teare, I., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil, 39: 205-207.
- Bertamini, M., Grando, M., Zocca, P., Pedrotti, M., Lorenzi, S. and Cappellin, L., 2019. Linking monoterpenes and abiotic stress resistance in grapevines. BIO Web of Conferences, 13: 01003.
- Betzen, B., Smart, C., Maricle, K. and Maricle, B., 2019. Effects of increasing salinity on photosynthesis and plant water potential in Kansas salt marsh species. Transactions of the Kansas Academy of Science, 122: 49.
- Bian, S. and Jiang, Y., 2009. Reactive oxygen species, antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in leaves and roots of Kentucky bluegrass in response to drought stress and recovery. Scientia Horticulturae, 120: 264-270.
- Bilger, W. and Björkman, O., 1990. Role of the xanthophyll cycle in photoprotection elucidated by measurements of light-induced absorbance changes, fluorescence and photosynthesis in leaves of hedera canariensis. Photosynthetic Research, 25: 173-185.
- Blum, A. and Ebercom, A., 1981. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. Crop Sciences, 21: 43-47.
- Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, 7291(2): 248-254.
- Daneshmand, F. and Arvin, M.J., 2011. Response of Potato Species to Salt and Osmotic Stress in Vitro and the Role of Acetylsalicylic Acid: Non-Enzymatic Antioxidants. Iranian Journal of Plant Physiology, 1: 285-300.
- Davis, P., 1982. Flora of turkey (*S. spicigera* (C. Koch) Boiss.). Edinburgh university press, Scotland, UK, volume 7, 320-321.
- Dehestani Ardakani, M., Ghatei, P., Gholamnezhad, J., Momenpour, A. and Fakharipour Charkhabi, Z., 2021. Improving growth and physiological chracteristics in salt stressed lantana (*Lantana camara* Linn.) by application of exogenous salicylic acid. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 31(4): 95-115.
- Dong, Y.J., Jinc, S.S., Liu, S., Xu, L.L. and Kong, J., 2014. Effects of exogenous nitric oxide on growth of cotton seedlings under NaCl stress. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 14(1): 1-13.
- El-Hendawy, S.E., Hu, Y., Yakout, G.M., Awad, A.M., Hafiz, S.E. and Schmidhalter, U., 2005. Evaluating salt tolerance of wheat genotypes using multiple parameters. European Journal of Agronomy, 22: 243-253.
- Fujikura, U., Kazune, E., Horiguchi, G., Seo, M., Yuri, K., Yuji K. and Lenhard, M. 2020. Suppression of class I compensated cell enlargement by xs2 mutation is mediated by salicylic acid signaling. PLoS Genetics, 16: e1008873.
- Guo, R., Yang, Z., Li, F., Yan, C., Zhong, X., Liu, Q., Xia, X., Li, H. and Zhao, L., 2015. Comparative

metabolic responses and adaptive strategies of wheat (*Triticum aestivum*) to salt and alkali stress. BMC Plant Biology, 15: 170.
- Hajiboland, R., Keyvanfar, N., Joudmand, A., Rezaee, H. and Yousefnejad, M., 2015. Effect of selenium treatment on drought tolerance of canola plants. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 27(4): 557-568.
- Harati, E., Kashefi, B. and Matinzadeh, M., 2015. Investigation reducing detrimental effects of salt stress on morphological and physiological traits of (*Thymus vulgaris*) by application of salicylic acid. Iranian Journal of Plant Physiology, 5(3): 1383-1391.
- Hassanpouraghdam, M.B., Mohammadi, L., Gohari, G. and Vojodi Mehrabani, L., 2022. The effects of foliar application of chitosan-salicylic acid nanocomposite on *Mentha spicata* L. under salinity stress in hydroponic conditions. Journal of Vegetables Sciences, 5(2): 35-51.
- Hasanuzzaman, M. and Fujita, M., 2013. Exogenous sodium nitroprusside alleviates arsenic-induced oxidative stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings by enhancing antioxidant defense and glyoxalase system. Ecotoxicology, 22(3): 584-96.
- Jayakannan, M., Bose, J., Babourina, O., Rengel, Z. and Shabala, S., 2013. Salicylic acid improves salinity tolerance in Arabidopsis by restoring membrane potential and preventing salt-induced K^+ loss via a GORK channel. Journal of Experimental Botany, 64: 2255-2268.
- Kaur, G. and Asthir, B., 2015. Proline: a key player in plant abiotic stress tolerance. Biologia Plantarum, 59(4): 609-619.
- Kaya, C., Higgs, D., Ashraf, M., Alyemeni, M.N. and Ahmad, P., 2020. Integrative roles of nitric oxide and hydrogen sulfide in melatonin-induced tolerance of pepper (*Capsicum annuum* L.) plants to iron deficiency and salt stress alone or in combination. Physiologia Plantarum, 168(2): 256-277.
- Kadioglu, A., Saruhan, N., Sağlam, A., Terzi, R. and Acet, T., 2011. Exogenous salicylic acid alleviates effects of 554 long term drought stress and delays leaf rolling by inducing antioxidant system. Plant Growth Regulation, 64: 27-37.
- Khan, M.I.R., Asgher, M. and Khan, N.A., 2014. Alleviation of salt-induced photosynthesis and growth inhibition by salicylic acid involves glycinebetaine and ethylene in mungbean (*Vigna radiata* L.). Plant Physiology and Biochemistry, 80: 67-74.
- Khan, M.I.R., Fatma, M., Per, T.S., Anjum, N.A. and Khan, N.A., 2015. Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. Frontiers in plant science, 6: 462.
- Kovácik, J., Grúz, J., Backor, M., Strnad, M. and Repcák, M., 2008. Salicylic acid-induced changes to growth and phenolic metabolism in *Matricaria chamomilla* plants. Plant cell reports, 28: 135-143.
- Kocheva, K., Lambrev, P., Georgiev, G., Goltsev, V. and Karabaliev, M., 2004. Evaluatlon of chlorophyll fluorescence and membrane injury in the leaves of barley cultivars under osmotic stress. Bioelectrochemistry, 63: 124-127.
- Kwon, E.H., Adhikari, A., Imran, M., Lee, D.S., Lee, C.Y., Kang, S.M. and Lee, I.J., 2023. Exogenous SA Applications Alleviate Salinity Stress via Physiological and Biochemical changes in St John's Wort Plants. Plants, 12(2): 310.
- Kumar, S., Ahanger, M.A., Alshaya, H., Latief Jan, B. and Yerramilli, V., 2022. Salicylic acid mitigates salt induced toxicity through the modifications of biochemical attributes and some key antioxidants in *Capsicum annuum*. Saudi Journal of Biological Sciences, 29(3): 1337-1347.
- Li, A., Sun, X. and Liu, L., 2022. Action of salicylic acid on plant growth. Frontiers in Plant Science, 13: 878076. doi: 10.3389/fpls.2022.878076
- Ma, X., Zheng, J., Zhang, X., Hu, Q. and Qian, R., 2017. Salicylic acid alleviates the adverse effects of salt stress on *Dianthus superbus* (Caryophyllaceae) by activating photosynthesis, protecting morphological structure, and enhancing the antioxidant system. Frontiers Plant Science, 21(8): 600.
- Maxwell, K. and Johnson, G.N., 2000. Chlorophyll fluorescence- a practical guide. Journal of Experimental Botany, 51: 659-668.
- Menezes, R.V., Azevedo Neto, A.D., Oliveira Ribeiro, M. and Watanabe Cova, A.M., 2017. Growth and contents of organic and inorganic solutes in amaranth under salt stress. Agropecuária Tropical Goiania, 47: 22-30.
- Miteva, T.S., Zhelev, N.Z.h. and Popova, L.P., 1992. Effect of salinity on the synthesis of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase in barley leaves. Journal of Plant Physiology, 140: 46-51.
- Miura, K. and Tada, Y., 2014. Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. Frontiers Plant Science, 5, 00004.
- Mohammadi, H., Hazrati, S. and Parviz, L., 2023. Morphophysiological and biochemical response of savory medicinal plant using silicon under salt stress. Pobrane z czasopisma Annales C- Biologia, 2: 29-40.
- Mohamadi Cheraghabadi, M., Roshanfekr, H., Hasibi,

P. and Mesgarbashi, M., 2015. Evaluation of the effect of salinity stress on chlorophyll fluorescence of two sugar beet cultivars (*Beta vulgaris* L.) in foliar application of salicylate. Iranian Agricultural Research Journal, 13(2): 349-357.
- Mohammadian, R., Rahimian, H., Moghaddam, H. and Sadeghian, S.Y., 2003. The effect of early season drought on chlorophyll a fluorescence in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Pakistan Journal of Biological Science, 6: 1763-1769.
- Montanari, M., Degl'Innocenti, E., Maggini, R., Pacifici, S., Pardossiand, A. and Guidi, L., 2008. Effect of nitrate fertilization and saline stress on the contents of active constituents of *Echinacea angustifolia* DC. Food Chemistry, 107: 1461-1466.
- Mushtaq, Z., Faizan, S., Gulzar, B., Mushtaq, H., Bushra, S., Hussain, A. and Hakeem, K., 2022. Changes in Growth, Photosynthetic Pigments, Cell Viability, Lipid Peroxidation and Antioxidant Defense System in Two Varieties of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Subjected to Salinity Stress. Phyton, 91(1); 16231.
- Nazar, R., Umar, S. and Khan, N.A., 2015a. Exogenous salicylic acid improves photosynthesis and growth through increase in ascorbate-glutathione metabolism and S assimilation in mustard under salt stress. Plant Signaling Behavior, 10(3): e1003751.
- Nazar, R., Umar, S., Khan, N.A. and Sareer, O., 2015b. Salicylic acid supplementation improves photosynthesis and growth in mustard through changes in proline accumulation and ethylene formation under drought stress. South African Journal of Botany, 98(15): 84-94.
- Ngom, B., Sarr, I., Kimatu, J., Mamati, E. and Kane, N.A., 2017. Genome-wide analysis of cytosine DNA methylation revealed salicylic acid promotes defense pathways over seedling development in pearl millet. Plant Signaling Behavior, 12: e1356967.
- Noreen, S., Ashraf, M. and Akram, N.A., 2012. Does exogenous application of salicylic acid improve growth and some key physiological attributes in sunflower plants subjected to salt stress? Journal of Applied Botanic and Food Quality, 84: 169.
- Palma, F., López-Gómez, M., Tejera, N.A. and Lluch, C., 2013. Salicylic acid improves the salinity tolerance of *Medicago sativa* in symbiosis with *Sinorhizobium meliloti* by preventing nitrogen fixation inhibition. Plant Science, 208: 75-82.
- Pasternak, T., Groot, E.P., Kazantsev, F.V., Teale, W., Omelyanchuk, N., Kovrizhnykh, V., Palme, K. and Mironova, V.V., 2019. Salicylic acid affects root meristem patterning via auxin distribution in a concentration-dependent manner. Plant Physiology, 180: 1725-1739.
- Pokotylo, I., Hodges, M., Kravets, V. and Ruelland, E., 2022. A ménage à trois: salicylic acid, growth inhibition, and immunity. Trends in Plant Science, 27(5): 460-471.
- Pourghadir, M., Mirjalili, S.A., Mohammadi Torkashvand, A. and Moradi, P., 2021. Growth, essential oil yield and components of summer savory (*Satureja hortensis* L.) influenced by Salicylic acid and Proline, Iranian Journal of Plant Physiology, 11: 3863-3872.
- Rostami, M., 2018. Effect of salinity stress and salicylic acid on physiological characteristics of *Lallemantia royleana*. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 31(2): 208-220.
- Saadatfar, A. and Hossein Jafari, S., 2022. The effect of methyl jasmonate on morpho-physiological and biochemical parameters and mineral contents in *Satureja khuzistanica* Jamzad under salinity stress. Journal of Medicinal Plants, 21(84): 7-99.
- Setayesh-mehr, Z. and Ganjali, A., 2013. The effects of drought on growth and physiological characteristics of dill (*Anethum graveolens* L.). Journal of Horticultural Science, 27(1): 27-35.
- Steduto, P., Albrizio, R., Giorio, P. and Sorrentino, G., 2000. Gas exchange response and stomatal and non-stomatal limitations to carbon assimilation of sunflower under salinity. Environmental and Experimental Botany, 44: 243-255.
- Su, J.J., Wu, S., Xu, Z.J., Qiu, S., Luo, T.T., Yang, Y.M., Chen, Q.T., Xia, Y.Y., Zou, S., Huang, B.L. and Huang, B.Q., 2013. Comparison of salt tolerance in Brassicas and some related species. American Journal of Plant Sciences, 4: 1911-1917.
- Turan, S. and Tripathy, B.C., 2013. Salt and genotype impact on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in two rice cultivars during de-etiolation. Protoplasma, 250: 209-222.
- Wang, L., Pan, D., Li, J., Tan, F., Hoffmann-Benning, S., Liang, W. and Chen, W., 2015. Proteomic analysis of changes in the Kandelia candel chloroplast proteins reveals pathways associated with salt tolerance. Plant Science, 231: 159-72.
- Wang, Z., Rong, D., Chen, D., Xiao, Y., Liu, R., Wu, S. and Yamamuro, Ch., 2021. Salicylic acid promotes quiescent center cell division through ROS accumulation and down-regulation of PLT1, PLT2, and WOX5. Journal of Integrative Plant Biology, 63: 583-596.
- Yousefi, B., Sefidkon, F. and Safari, H., 2023. Evaluation of essential oil in *Satureja spicigera* (C. Koch) Boiss. in dry farming under the effect of

Salicylic acid in reducing effect of salinity on some growth parameters of Black cumin (*Nigella sativa*). Plant Process and Function, 8(29): 287-298.
- Zhang, L., Zhao, H.X., Fan, X., Wang, M., Ding, C., Yang R.W., Yin, Zh.Q., Xie, X.L., Zhou, Y.H. and Wan, D.G., 2012. Genetic diversity among *Salvia miltiorrhiza* Bunge and related species inferred from nrDNA ITS sequences. Turkish Journal of Biology, 36(3): 319-326.

different organic fertilizers and plant densities. International Journal of Horticultural Science and Technology, 10(3): 319-332.
- Xu, L., Zhao, H., Ruan, W., Deng, M., Wang, F., Peng, J., Luo, J., Chen, Z. and Yi, K., 2017. Abnormal inflorescence meristem1 functions in salicylic acid biosynthesis to maintain proper reactive oxygen species levels for root meristem activity in Rice. Plant Cell, 29: 560-574.
- Zarei, B., Fazeli, A. and Tahmasebi, Z., 2019.