Journal of Phytoallexins
Vol. 1, No. 1, Spring & Summer 2024 (Serial 1)

https://gyahpad.shahed.ac.ir/

The effect of salicylic acid on the morphological and phytochemical parameters of the medicinal plant Marjoram (*Origanum vulgare* L.) under salt stress

Esmail Nabizadeh [1*] | **Farogh Solimani** [2] | **Akbar Ghaemi Mirabad** [3] | **Khadijah Ahmadi** [4]

1. Assistant Professor, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Mahabad Branch, Mahabad, Iran.
2. MSc, Department of Environment, Mahabad city. Mahabad, Iran.
3. MSc, Department of Environment, Piranshahr city. Mahabad, Iran.
4. Ph.D. Crop Physiology, Shahid University.

** Corresponding Author Email: nabizadeh.esmaeil@gmail.com*

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 12/01/2024
Accepted: 22/04/2024

Keywords:
Essential oil,
Antioxidant,
Proline,
Grain yield,
Marjoram.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Soil salinity, which affects 25–30% of the world's crop productivity, poses a danger to global food security together with other significant environmental factors like drought and heat. Recently, 77 million hectares (5%) or over 1.5 billion hectares of the world's total cultivated soil have been damaged through high salt content and are no longer suitable for cultivation. Salinity has an impact on the morphology, physiology, and biochemistry of plants, which drastically decreases the yield of agriculture. Soil with increased salt concentrations restricts plant roots capacity to absorb water and important nutrients. SA protects the plant against the oxidative damage, reduced growth, and impaired photosynthetic efficiency brought on by stress. SA regulate plant development; it protects plants from environmental stress like salt stress. Salicylic acid positively impacts a plant's capacity for withstanding biotic and abiotic stress as well as defensive responses. *Origanum majorana* medicinal plant is a perennial herb that grows in different regions of the world, its main habitat is the Mediterranean basin and belongs to the Lamiaceae family. This study was conducted with the aim of investigating the role of salicylic acid on seed yield, morphological and physiological characteristics of marjoram medicinal plant under salt stress conditions.

Cite this article: Nabizadeh, Esmail; Solimani, Farogh; Ghaemi Mirabad, Akbar & Ahmadi, Khadijah (2024). The effect of salicylic acid on the morphological and phytochemical parameters of the medicinal plant Marjoram (*Origanum vulgare* L.) under salt stress. *Journal of Phytoallexines , 1(1).*

© The Author(s).

Publisher: Shahed University

Journal of Phytoallexins
Vol. 1, No. 1, Spring & Summer 2024 (Serial 1)
https://gyahpad.shahed.ac.ir/

Materials and Methods: In order to investigate the effect of salicylic acid on the quantitative and qualitative characteristics of marjoram medicinal plant under salinity stress conditions, a factorial experiment was conducted in the form of a completely randomized design with three replications in pots during the year 2015-2016 in the Agricultural and Natural Resources Research Greenhouse. West Azerbaijan was implemented. The first factor is salinity stress at four levels (0 (distilled water), 50, 75 and 100 mM caused by sodium chloride salt) and the second factor is salicylic acid at four levels (0, 0.5, 1 and 1.5 mM). The studied traits included plant height, thousand seed weight, seed and biological yield, essential oil percentage and yield, proline content, malondialdehyde content and antioxidant enzymes. SAS 9.1 statistical software was used to analyze the variance of the data. The mean comparison of traits was done using Duncan's test at the probability level of 5%.

Results and Discussion: The results showed that the traits evaluated in the present study were affected by the simple effects of salicylic acid and salinity stress. The research results showed that salinity stress decreased plant height (14.61 %), thousand seed weight (1.16 %), seed yield (16.07 %) and biological yield (19.11 %), proline content (14.14 %). 7 %), the percentage of essential oil (17.91 %), the yield of essential oil (31.18 %) and antioxidant enzymes content. Also, the use of salicylic acid improved the mentioned traits. The use of salicylic acid increased the activity of the aforementioned antioxidant enzymes and the accumulation of proline. Salinity stress caused morphological and physiological changes in Marjoram medicinal plant and the antioxidant defense system of the plant also responded to this stress. Also, salicylic acid reduced the harmful effects of salinity stress and by affecting the plant's antioxidant defense system, it improved plant growth under stress conditions.

Conclusion: Therefore, it can be suggested that the consumption of this substance in plants exposed to stress is a factor to eliminate or reduce the effects of stress. The use of 1.5 mM salicylic acid can be recommended to improve and increase the morphological and physiological characteristics of marjoram medicinal plant.

دوفصلنامه گیاه‌پاد
دوره ۱/ شماره ۱/ بهار و تابستان ۱۴۰۳ (پیاپی ۱)
https://gyahpad.shahed.ac.ir/

تأثیر اسید سالیسیلیک بر شاخص‌های مورفولوژی و فیزیولوژی گیاه دارویی مرزنجوش (*Origanum vulgare* L.) تحت تنش شوری

اسمعیل نبی‌زاده [۱*] | فارق سلیمانی [۲] | اکبر قائمی میرآباد [۳] | خدیجه احمدی [۴]

۱. استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد، مهاباد، ایران.
۲. کارشناسی ارشد، اداره محیط زیست، شهرستان مهاباد. مهاباد، ایران.
۳. کارشناسی ارشد، اداره محیط زیست، شهر پیرانشهر. مهاباد، ایران.
۴. دکتری تخصصی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد. ایران.

* ایمیل نویسنده مسئول: nabizadeh.esmaeil@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۳

واژه‌های کلیدی:
اسانس،
آنتی‌اکسیدانت،
پرولین،
عملکرد دانه،
مرزنجوش.

چکیده

گیاه دارویی مرزنجوش (*Origanum majorana*) یک گیاه علفی چند ساله است که در مناطق مختلف جهان می‌روید، خواستگاه اصلی آن حوضه مدیترانه و از خانواده Lamiaceae است. به‌منظور بررسی اثر اسید سالیسیلیک بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه دارویی مرزنجوش در شرایط تنش شوری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به صورت گلدانی طی سال ۹۹-۱۳۹۸ در گلخانه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی اجرا شد. فاکتور اول تنش شوری در چهار سطح (صفر (آب مقطر)، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار ناشی از نمک کلرید سدیم) و عامل دوم اسید سالیسیلیک با چهار سطح (۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) بودند. صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و بیولوژیک، درصد و عملکرد اسانس، محتوای پرولین، محتوای مالون دی آلدئید و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت بودند. نتایج نشان داد که صفات مورد ارزیابی در پژوهش حاضر تحت تأثیر اثرهای ساده اسید سالیسیلیک و تنش شوری قرار گرفتند. نتایج تحقیق نشان داد که تنش شوری موجب کاهش ارتفاع بوته (۱۴/۶۱ در صد)، وزن هزار دانه (۱/۱۶ درصد)، عملکرد دانه (۱۶/۰۷ درصد) و بیولوژیک (۱۹/۱۱ درصد)، محتوای پرولین (۷/۱۴ درصد)، درصد اسانس (۱۷/۹۱ درصد)، عملکرد اسانس (۳۱/۱۸ درصد) و محتوای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت شد. همچنین کاربرد اسید سالیسیلیک سبب بهبودی صفات مورد اشاره گردید. کاربرد اسید سالیسیلیک موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مذکور و تجمع پرولین گردید. کاربرد اسید سالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار برای بهبود و افزایش میزان ویژگی‌های مورفولوژی و فیزیولوژی گیاه دارویی مرزنجوش می‌توان توصیه کرد.

استناد: نبی‌زاده، اسمعیل؛ سلیمانی، فارق؛ قائمی میرآباد، اکبر؛ احمدی، خدیجه (۱۴۰۳). تأثیر اسید سالیسیلیک بر شاخص‌های مورفولوژی و فیزیولوژی گیاه دارویی مرزنجوش (*Origanum vulgare* L.) تحت تنش شوری. *دوفصلنامه گیاه‌پاد*، ۱ (۱)، ۷۴-۵۹.

ناشر: دانشگاه شاهد

حق‌مؤلف © نویسندگان.

مقدمه

شوری باعث ایجاد یک سری پاسخ های مورفوفیزیولوژیک و تغییرات مولکولی می‌شود که از رشد گیاه و رفتار گلدهی جلوگیری می‌کند (Banon et al., 2022). آسیب شوری در گیاهان در درجه اول ناشی از استرس اسمزی، سمیت سلولی و تضاد تغذیه‌ای است (El-Banna et al., 2022; Sousa et al., 2024). شوری توانایی گیاه را برای جذب آب کافی برای رفع نیازهای تبخیری آن کاهش می‌دهد و باعث کاهش رشد و گلدهی و کاهش مسیرهای متابولیک می‌شود (Ashraf et al., 2023). تجمع بیش از حد سدیم (Na) و کلرید (Cl) مسیرهای متابولیکی متعددی را با برانگیختن تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) غیر فعال می‌کند (Fouad et al., 2021). علاوه بر این، تجمع Na و Cl با ممانعت از جذب و فعالیت‌های انتقال حیاتی یون، کلروز حاشیه‌ای و نکروز برگ را القا می‌کند (Assaha et al., 2017). تأثیر نمک را می‌توان در انواع فعالیت‌های بیوشیمیایی، از جمله فتوسنتز، تولید اسید نوکلئیک، فعال‌سازی آنزیم و انتقال یون مشاهده کرد (Acosta-Motos et al., 2017). علاوه بر این، بسیاری از ویژگی‌های رشد و شکوفه‌دهی تحت تأثیر نمک قرار می‌گیرند (Elhindi et al., 2023). در این نگرانی، Fornes و همکاران (۲۰۰۷) و Elhindi و همکاران (۲۰۲۳) دریافتند که آبیاری با آب شور به‌طور قابل توجهی استعداد گلدهی و کیفیت گل را کاهش می‌دهد و همچنین تاریخ گلدهی را کاهش می‌دهد.

برای کاهش اثرات چشمگیر شوری بر روی استقرار گیاهان، چندین استراتژی کنترلی از جمله استفاده از ترکیبات مختلف طبیعی یا مصنوعی مانند یون‌ها، محرک‌های زیستی و مواد رشد گیاه توسعه و اجرا شده است (Ondrasek et al., 2022). استفاده از هورمون‌های گیاهی برای افزایش رشد و نمو در شرایط تنش غیرزیستی بسیار توصیه می‌شود و ایده‌های جدیدی را برای آبیاری با آب شور ارائه می‌کند (El-Taher et al., 2022). اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک فیتوهورمون گیاهی/مواد رشد گیاه درون‌زا، نقش مهمی در چندین مسیر بیوشیمیایی گیاه در شرایط نرمال یا تنش‌زا ایفا می‌کند و توانایی گیاه را برای مقاومت در برابر تنش تعدیل می‌کند (Ali et al., 2022). تأثیر اسید سالیسیلیک بر رشد گیاه بر اساس غلظت آن، گونه‌های گیاهی و شرایط اکولوژیکی متفاوت است (Yang et al., 2023). اسید سالیسیلیک برون‌زا انواع مسیرهای متابولیک گیاه به‌عنوان مثال، جوانه‌زنی، جذب مواد مغذی، سرعت فتوسنتز، جذب کلروفیل و تجمع املاح آلی را تنظیم می‌کند (Peng et al., 2021). چندین مطالعه نشان می‌دهد که اسید سالیسیلیک با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و کاهش تجمع ROS، رشد گیاه را تقویت می‌کند و تحمل استرس را القا می‌کند (Costa et al., 2022). گلدهی پارامتر مهم دیگری است که مستقیماً توسط اسید سالیسیلیک در چندین گیاه تنظیم می‌شود (Safari et al., 2022).

گیاه دارویی مرزنجوش (*Origanum majorana*) یک گیاه علفی چند ساله است که در مناطق مختلف جهان می‌روید، خانه اصلی آن حوضه مدیترانه و از خانواده Lamiaceae است. کشت آن در جنوب فرانسه، انگلستان، آلمان، هند و برخی از کشورهای عربی مانند سوریه و مصر گسترش می‌یابد (Verma et al., 2010). گیاه مرزنجوش دارای شاخه‌های فراوانی است که روی سطح زمین پخش می‌شوند، برگ‌هایی گرد یا بیضی شکل با کرکی‌هایی که به ارتفاع می‌رسند. حدود ۹۰ سانتی‌متر است و گل‌های آن صورتی دوکی، بنفش یا سفید به صورت خوشه‌ای با بوی معطر شبیه به بوی نعناع است. برگ‌های مرزنجوش حاوی ترکیبات تغذیه‌ای مهمی مانند ویتامین K، E، منگنز، آهن، کلسیم و سرشار از اسانس‌ها است، زیرا این روغن‌ها از طریق تقطیر با بخار ۵-۰/۳ درصد روغن از برگ‌های آن استخراج می‌شوند. بی رنگ تا زرد متمایل به سبز (زرد تیره) و بوی کمی دارد (Renta, 2012). روغن گیاه دارویی مرزنجوش به‌عنوان یک ضد عفونی کننده استفاده می‌شود که میکروب‌ها را از بین می‌برد زیرا حاوی تیمول است. همچنین در ترشح شیر در مادران شیرده استفاده می‌شود. همچنین به عنوان رسوب گیاهی در طب عامیانه برای سرفه، آسم، سرماخوردگی، افسردگی، ناراحتی‌های گوارشی، دندان درد، سردرد و احتقان سینوسی، به‌عنوان مسکن قاعدگی و به‌عنوان مدر استفاده می‌شود (Roby et al., 2013). این مطالعه با هدف بررسی نقش اسید سالیسیلیک بر عملکرد دانه، ویژگی‌های مورفولوژی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی مرزنجوش در شرایط تنش شوری انجام شد.

مواد و روش‌ها

مواد آزمایش و شرایط رشد

آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در گلخانه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح اسید سالیسیلیک (۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) و تنش شوری در چهار سطح (۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) بودند. تیمار اسید سالیسیلیک به صورت محلول‌پاشی در ۴ و ۵ برگی و شروع گلدهی و ۲ روز قبل از شروع تیمارهای شوری اعمال شد، به‌طوری که تمام سطوح فوقانی و زیرین اندام‌های هوایی کاملاً خیس شوند محلول‌پاشی شدند و برای اطمینان از اثر بخشی تیمارها هر مرحله محلول‌پاشی دو مرتبه به‌صورت متوالی انجام گرفت. هم‌چنین گیاهان شاهد به همین روش و تنها با آب مقطر تیمار شدند. برای تهیه محلول اسید سالیسیلیک، پودر اسید سالیسیلیک در ۵۰۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر با غلظت ده برابر نسبت به بیشترین غلظت مورد نظر حل شد و سپس برای تهیه غلظت‌های مورد نظر با آب مقطر رقیق گردید. تیمارهای شوری به صورت تدریجی به‌منظور جلوگیری از شوک اسمزی به محلول غذایی تا رسیدن به غلظت مورد نظر افزوده شد. به‌منظور مشخص شدن بعضی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مرتبط با خاک محل آزمایش، قبل از اجراء نمونه خاک بطور متوسط از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر تهیه و عناصر غذایی، نمونه‌های خاک در آزمایشگاه خاک‌شناسی بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی اندازه‌گیری گردید که نتیجه آن در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱. خواص فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of experimental soil.

K (mg/kg)	P (mg/kg)	N (%)	Organic Carbon (%)	Soil texture	Sand (%)	Silit (%)	Clay (%)	Lime (%)	Saturation percentage	pH	EC (ds/m)
225	12	0.12	1.2	loamy clay	16	42	42	16	48	7.2	0.8

کاشت بذور مرزنجوش و اعمال تیمارها

کشت گیاه دارویی مرزنجوش به صورت گلدانی انجام گرفت. قطر دهانه گلدان و ارتفاع آن به ترتیب ۲۳ و ۲۵ سانتی‌متر بود. حجم خاک ۱۸۰/۵۵ سانتی‌متر مکعب و به‌طور متوسط میزان خاک در هر گلدان ۶۷۰۰ گرم بود. در هر گلدان به نسبت مساوی از ماسه بادی و خاک برگ بصورت یکنواخت تهیه و ریخته شد. به‌منظور تعیین رس خاک ، میزان رطوبت موجود در خاک ریخته شده گلدان یا به عبارتی به‌منظور تعیین وزن خشک خاک گلدان ۲ نمونه از خاک ریخته شده در گلدان از وزن کردن به مدت ۲۴ ساعت در آون دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد خشک پس گردیده و با استفاده از میانگین نمونه میزان وزن خشک خاک گلدان مشخص گردید. سپس به هر گلدان به قدری آب ریخته تا به درجه اشباع برسد و ۲۴ ساعت پس از آبیاری کامل سه تا گلدان نمونه‌ها را در آون در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردیده و میزان آب گلدان مشخص گردیده است و آبیاری به صورت منظم انجام گرفته است. پس از آماده کردن گلدان‌ها اقدام به کاشت بذر در گلدان گردید. در اوایل اردیبهشت در هر گلدان به تعداد ۱۰ عدد بذر در عمق ۳۰ - ۲۵ میلی‌متر در بستر کشت قرار داده شد. همچنین برای داشتن تعداد بیشتری بوته در هر تیمار دو گلدان برای هر تیمار (علاوه بر ۳ تا گلدان اصلی) در هر تکرار در نظر گفته شد. به‌منظور تسریع در سبز شدن، بذور گلدان‌ها را به مدت ۱۲ روز در محیطی سرپوشیده که از نظر شرایط آب و هوا نور و درجه حرارت کاملا یکسان بود قرار داده شدند. بعد از رشد کامل بوته‌های مرزنجوش اقدام به تنک کردن آنها گردید میزان آب آبیاری برای تمامی گلدان‌ها یکسان بود. تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک از مرحله ۴ و ۵ برگی (۲۰ روز پس از کاشت) انجام گرفت. در آخر فصل ۳ بوته انتخاب و ارتفاع بوته تعداد پنجه تعداد برگ و تعداد کپسول اندازه‌گیری شد. پس از خشک شدن در آون در ۷۰ درجه وزن، ساقه، برگ، خوشه و وزن دانه یاداشت شد و وزن کل بوته‌ها (عملکرد بیولوژیک) و وزن کل

دانه‌ها (عملکرد دانه) محاسبه شد. میزان اسانس با استفاده از دستگاه کلونجر اندازه‌گیری شد و عملکرد اسانس از حاصلضرب عملکرد دانه در درصد اسانس محاسبه گردید.

اندازه‌گیری صفات مورفولوژی

به‌منظور بررسی صفات مورفولوژیک، ۳ بوته از هر گلدان انتخاب شد. برای تعیین عملکرد دانه تک بوته و محاسبه اجزای آن، ۵ بوته از هر گلدان در زمان رسیدگی فیزیولوژیک برداشت شد. ارتفاع بوته، طول ریشه، تعداد شاخه فرعی، وزن تر بوته، وزن خشک بوته، اجزای عملکرد، محتوای پرولین، محتوای مالون دی‌آلدئید و آنزیم‌های کاتالاز و صفات مورد مطالعه بودند. ارتفاع بوته و طول ریشه با استفاده از خط‌کش میلی‌متری اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز، نمونه‌گیری قبل از اعمال آخرین دور تنش انجام گرفت. از هر کرت با در نظر گرفتن اثرات حاشیه حدود ۲ گرم برگ برداشت شد. در ۷ تیر ۱۳۹۹ برداشت صورت گرفت. هنگام نمونه‌برداری، از ابتدا و انتهای هر کرت یک متر به عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. برای تعیین عملکرد دانه، بوته‌هایی به مساحت ۴ متر مربع از هر کرت در زمان رسیدگی فیزیولوژیک به‌طور تصادفی برداشت و داده‌های مربوط به عملکرد بذر یادداشت گردید. برای اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی، نمونه‌گیری قبل از اعمال آخرین دور تنش انجام گرفت.

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژی

اندازه‌گیری مقدار اسانس: به‌منظور استخراج اسانس و تعیین درصد آن، از روش تقطیر با آب استفاده شد. در راستای ایجاد بیش‌ترین سطح تماس مواد گیاهی با آب موجود در بالون دستگاه نمونه‌های خشک اندام هوایی حاوی سرشاخه گلدار با دستگاه آسیاب خرد شده و میزان ۱۰۰ گرم از پودر حاصل با افزودن حجم معینی از آب مقطر به روش تقطیر با آب به کمک دستگاه کلونجر و به مدت ۳ ساعت اسانس‌گیری شدند و عملکرد اسانس درصد (وزن به وزن خشک) بر اساس سه تکرار محاسبه گردید. برای حذف رطوبت موجود در اسانس به دست آمده از هگزان استفاده شد (Medjahed et al., 2016).

اندازه‌گیری محتوای پرولین بافت برگ: برای اندازه‌گیری محتوای پرولین بافت برگ از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد. از لایه‌ی فوقانی حاوی تولوئن و پرولین، برای اندازه‌گیری محتوای پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر در برابر شاهد تولوئن خالص استفاده گردید. برای رسم منحنی استاندارد از پرولین خالص با غلظت‌های ۰، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر استفاده گردید.

اندازه‌گیری مالون دی‌آلدهید بافت برگ: سنجش پراکسیداسیون لیپید با استفاده از روش Heath و Packer (۱۹۷۶) توسط واکنش با تیوباربیوتریک اسید (TBA) اندازه‌گیری شد. ۰/۱ گرم از بافت برگ تازه در پنج میلی‌لیتر محلول تری کلرواستیک اسید (TCA) ۰/۱ ٪ کاملاً هموژنیزه گردید، سپس همگن حاصل در ۱۰۰۰۰ × g در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ شد. ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول رویی با دو میلی‌لیتر از محلول ۲۰٪ TCA به همراه TBA ۰/۵ درصد اضافه شد. سپس مخلوط به حمام آب گرم در دمای ۹۵ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه منتقل، و بعد از طی این زمان بلافاصله به درون یخ انتقال داده شد. پس از سرد شدن مخلوط، به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰× g در دقیقه سانتریفوژ شد و میزان جذب نوری توسط دستگاه نانودراپ (Denovix Spectrophotometer DS- 11) درطول موج ۵۳۲ نانومتر و برای اصلاح کدورت نامشخص در محلول، جذب در طول موج ۶۰۰ نانومتر نیز اندازه‌گیری شد و از عدد جذب در طول موج ۵۳۲ نانومتر کم شد. محتوای مالون دی‌آلدئید با استفاده از ضریب خاموشی (μ = ۱۵۵mM^{-1} cm^{-1}) ε محاسبه شد.

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز: سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز به روش Aebi (۱۹۸۴) انجام گرفت. فسفات پتاسیم ۰/۵ مولار با pH=7 (که شامل KH_2PO_4 ۰/۵ مولار در ۱۰۰ سی‌سی تهیه شد و K_2HPO_4 ۰/۵ مولار در ۱۰۰ سی‌سی آب مقطر تهیه شد) ۳۰ سی‌سی از فسفات پتاسیم با pH=7 به حجم ۳۰۰ سی‌سی رسید. تجزیه H_2O_2 با کاهش جذب در طول موج ۲۴۰ نـانومتر دنبال گردید و به ازای هر میکروگرم پروتئین در عصاره آنزیمی بیان شد.

سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز بر اساس روش Beauchamp و Fridovich (۱۹۷۱) انجام شد. محلول واکنش در حجم نهایی یک میلی‌لیتر برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز شامل ۸۳۵ میکرولیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با پی‌اچ ۳۳۸ میکرولیتر اتیلن دی‌آمین تتراستیک اسید ۳ میلی‌مولار، ۳۳ میکرولیتر نیتروبلوتترازولیوم ۰/۰۷۵ میلی‌مولار، ۳۳ میکرولیتر زانتین ۳ میلی‌مولار، ۳۳ میکرولیتر محلول رقیق شده زانتین اکسیداز و ۳۳ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. تغییرات جذب محلول واکنش نسبت به شاهد به وسیله سدیم آنزیم دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز براساس واحد بر میلی‌گرم پروتئین بیان گردید.

تجزیه آماری داده‌ها: برای تجزیه واریانس داده‌ها از نرم افزار آماری SAS 9.1 استفاده شد. مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته: براساس نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای اصلی تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر صفت ارتفاع بوته معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل بین تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر ارتفاع بوته غیر معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین صفات نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار بدون تنش شوری بود و کم‌ترین مقدار را تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به خود اختصاص داد (شکل ۱). از لحاظ تیمارهای اسید سالیسیلیک نیز مشاهده گردید که بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود که با تیمارهای ۰/۵ و ۱/۵ میلی‌مولار تفاوت آماری معنی‌داری نداشت و هر سه در یک گروه آماری قرار گرفته بودند و کمترین مقدار را تیمار بدون مصرف اسید سالیسیلیک به خود اختصاص داد (شکل ۱). شوری در ابتدا باعث کاهش جذب آب توسط بذرها به دلیل پتانسیل پایین اسمزی محیط شده و در مرحله دوم باعث سمیت و ایجاد تغییر در فعالیت‌های آنزیمی می‌شود. کاهش و یا افزایش فعالیت‌های آنزیمی یکی از راهکارهای مقابله و یا تحمل تنش‌ها است. این راهکارها می‌توانند با تغییر در فعالیت بسیاری از متابولیت‌ها و نیز آنزیم‌های مختلف نظیر کاتالاز، آمیلاز و پراکسیداز امکان پذیر باشد. کاهش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز تحت تأثیر تنش شوری سبب کاهش متابولیسم ذخایر غذایی کلی و در نتیجه کاهش رشد و ارتفاع گیاهان می‌شود (Dkhil and Denden, 2010). Senarenta (۲۰۰۰) گزارش نمود که اسید سالیسیلیک، نقش محوری در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف مثل رشد، تکامل گیاه، جذب یون، فتوسنتز و جوانه‌زنی بسته به غلظت بکار رفته در گیاه و شرایط محیطی ایفاء می‌کند. مکانیزم دقیق عمل اسید سالیسیلیک هنوز مشخص نیست اما احتمال دارد که اسید سالیسیلیک همانند اکسین در تنظیم طویل شدن و تقسیم سلول‌ها دخالت داشته باشد. Hanan (۲۰۰۷) نیز گزارش کرد که تیمار با اسید سالیسیلیک باعث افزایش ارتفاع بوته در گیاه گندم و جو شد.

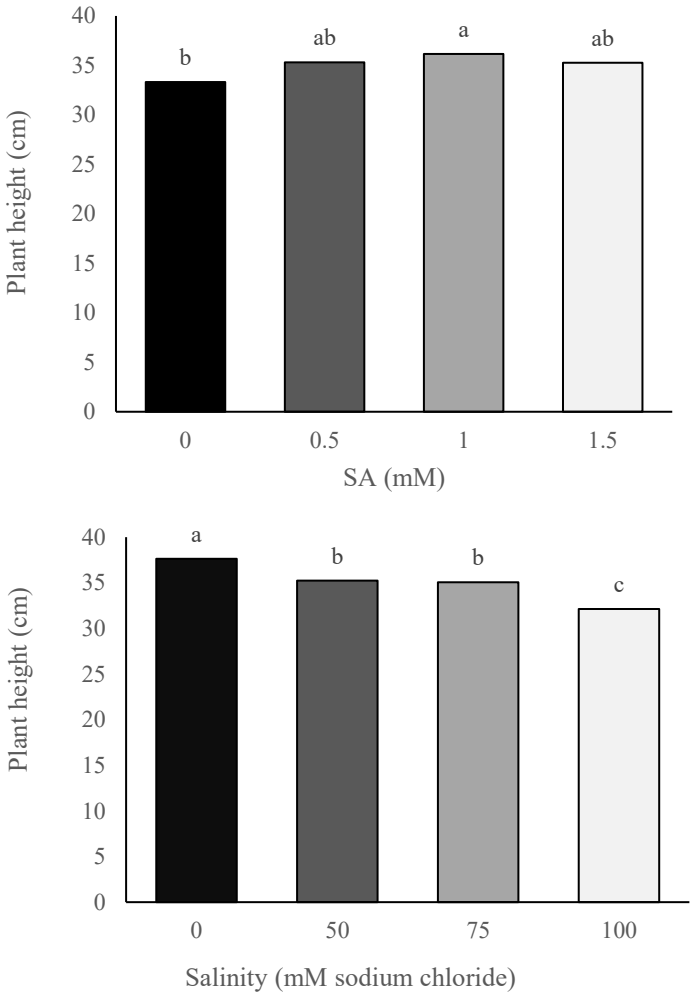
جدول ۲. تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر صفات مورد مطالعه مرزنجوش

Table 2. Variance analysis of the effect of different salinity stress and salicylic acid treatments on the studied traits of marjoram

S.O.V	Df	Mean of squares					
		Plant Height	Stem dry weight	Number of branches per plant	Weight of 1000 Seeds	Biological yield	Grain yield
Block	2	83.53	790.56	151.03	1.58	15103.52	3375.14
Salinity stress (S)	3	60.68**	1597.27**	2992.15**	0.84*	299215.19**	31545.58**
Salicylic Acid (SA)	3	17.27*	279.16**	430.97*	0.05^{ns}	43097.19*	3737.57**
SA×S	9	3.51^{ns}	5.77^{ns}	180.38^{ns}	0.004^{ns}	18038.15^{ns}	621.44^{ns}
Error	30	5.48	7.05	123.20	0.22	12320.94	291.54
CV %	-	6.68	2.22	6.84	1.16	6.84	2.68

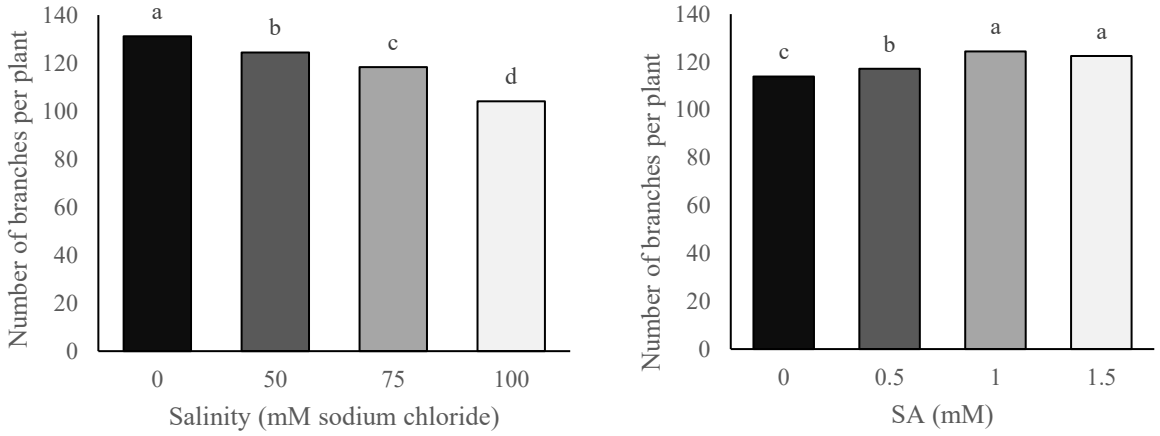
ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪.

ns, * and ** are non-significant and significant at 1% and 5% probability levels, respectively.



شکل ۱. مقایسه میانگین تأثیر شوری و اسید سالیسیلیک بر ارتفاع بوته مرزنجوش
Fig. 1. Comparison of the average effect of salinity and salicylic acid on marjoram plant height

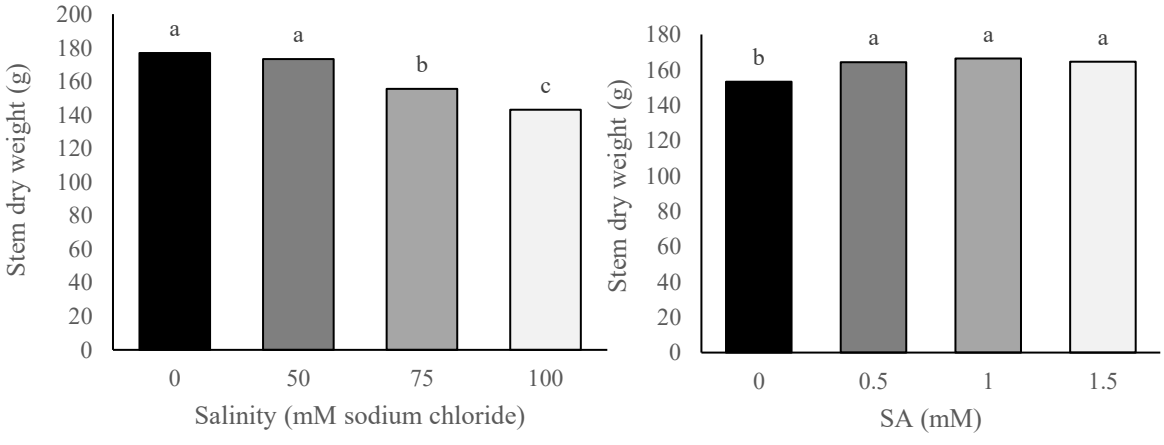
تعداد شاخه در بوته: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمار تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر صفت تعداد شاخه در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ولی اثر متقابل بین تیمارها بر تعداد شاخه در بوته غیر معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین صفات نشان داد که بیشترین تعداد شاخه در بوته مربوط به تیمار بدون تنش شوری بود و کمترین مقدار را تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به خود اختصاص داد (شکل ۲). از لحاظ تیمارهای اسید سالیسیلیک نیز مشاهده گردید که بیشترین تعداد شاخه در بوته مربوط به تیمار ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود که با تیمار ۱/۵ میلی‌مولار تفاوت آماری معنی‌داری نداشت و هر دو در یک گروه آماری قرار داشتند و کمترین مقدار را تیمار بدون مصرف اسید سالیسیلیک به خود اختصاص داد (شکل ۲). افزایش تعداد بذر در غلاف در سطح مناسب محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک احتمالاً به علت تحریک فعالیت‌های متابولیکی می‌باشد. هنگام جذب آب همانندسازی DNA تحریک فعالیت RNA و در نتیجه پروتئین‌سازی و افزایش هورمون‌های محرک رشد از جمله اکسین و اتیلن صورت گرفته که مجموعه این عوامل مقدمات افزایش تعداد شاخه و برگ را نسبت به شاهد فراهم می‌سازد (Barsa et al., 2013). اثر مثبت اسید سالیسیلیک به عنوان موثرترین تیمار بر بهبود تعداد شاخه در این آزمایش مشخص شد. این ماده از طریق خنثی کردن رادیکال‌های آزاد و یا اکسیژن فعال باعث افزایش رشد و نمو گیاه و در نتیجه افزایش تعداد شاخه و برگ گیاه می‌شود (Hayat et al., 2005).



شکل ۲. مقایسه میانگین تأثیر شوری و اسید سالیسیلیک بر تعداد شاخه بوته مرزنجوش

Fig. 2. Comparison of the average effect of salinity and salicylic acid on marjoram Number of branches per plant

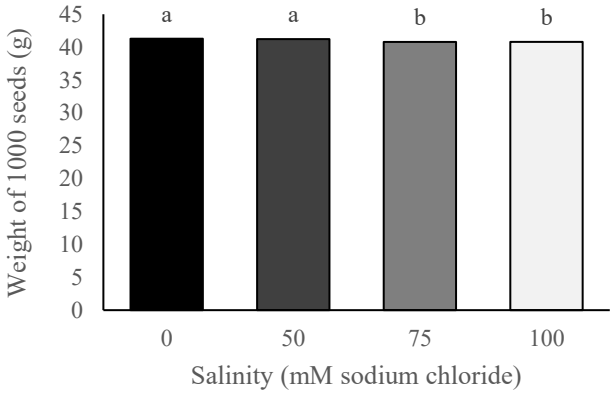
وزن خشک ساقه: باتوجه به نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه مشاهده گردید که تیمار تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر صفت وزن خشک ساقه معنی‌دار بود ولی اثر متقابل بین تیمارها بر وزن خشک ساقه معنی‌دار نگردید (جدول ۲). مقایسه میانگین صفات نشان داد که بیشترین وزن خشک ساقه مربوط به تیمار بدون تنش شوری بود و کمترین مقدار را تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به خود اختصاص داد (شکل ۳). از لحاظ تیمارهای اسید سالیسیلیک نیز مشاهده گردید که بیشترین وزن خشک ساقه مربوط به تیمار ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود که با تیمارهای ۰/۵ و ۱/۵ میلی‌مولار تفاوت آماری معنی‌داری نداشت و هر سه در یک گروه آماری قرار گرفته بودند و کمترین مقدار را تیمار بدون مصرف اسید سالیسیلیک به خود اختصاص داد (شکل ۳). با افزایش تنش شوری روند کاهشی در وزن خشک اندام هوایی مشاهده شد و در شرایط کاربرد سالیسیلیک میزان وزن خشک اندام هوایی افزایش پیدا کرد. البته به نظر می‌رسد آثار منفی تنش شوری بر وزن خشک اندام هوایی با مصرف سالیسیلیک اسید در مقایسه با شرایط عدم مصرف، کمتر شده است. وزن خشک اندام هوایی در تیمارهایی که سالیسیلیک اسید مصرف شده بود، در مقایسه با همان تیمار در شرایط بدون مصرف سالیسیلیک اسید بالاتر بود. همچنین اثر مثبت مصرف سالیسیلیک اسید بر وزن خشک اندام هوایی در تنش شوری بیشتر بود. سالیسیلیک اسید باعث افزایش معنی دار سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی در مقایسه با عدم مصرف آن در شرایط تنش شوری می‌شود (Movahhedi Dehnavi et al., 2017).



شکل ۳. مقایسه میانگین تأثیر شوری و اسید سالیسیلیک بر وزن خشک ساقه مرزنجوش

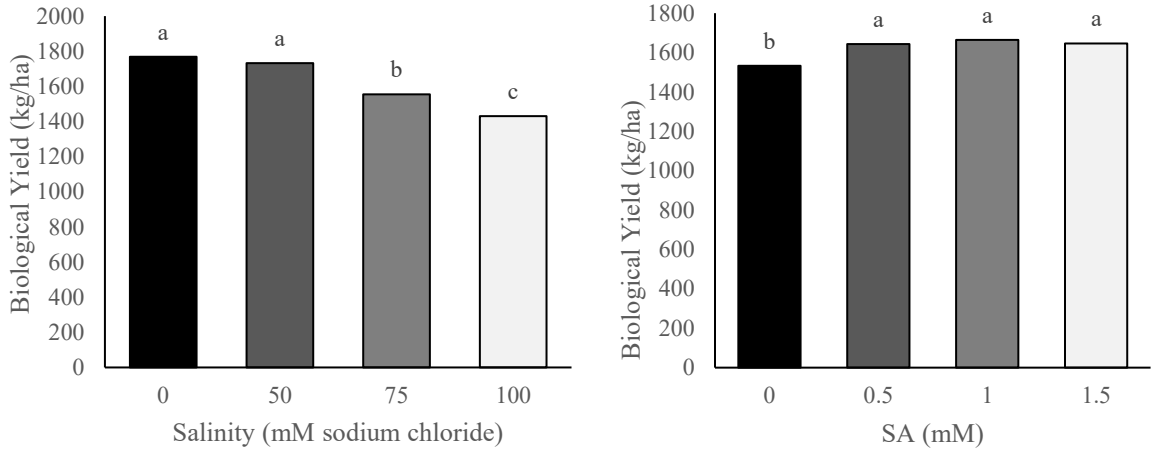
Fig. 3. Comparison of the average effect of salinity and salicylic acid on marjoram Stem dry weight

وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمار تنش شوری بر صفت وزن هزار دانه معنی‌دار بود و اثر تیمار و اسید سالیسیلیک و اثر متقابل بین تیمارها بر وزن هزار دانه غیرمعنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین صفات نشان داد که بیش‌ترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار بدون تنش شوری بود و کمترین مقدار را تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به خود اختصاص داد (شکل ۴).



شکل ٤. مقایسه میانگین تأثیر شوری و اسید سالیسیلیک بر وزن هزار دانه مرزنجوش
Fig. 4. Comparison of the average effect of salinity and salicylic acid on marjoram weight of 1000 seeds

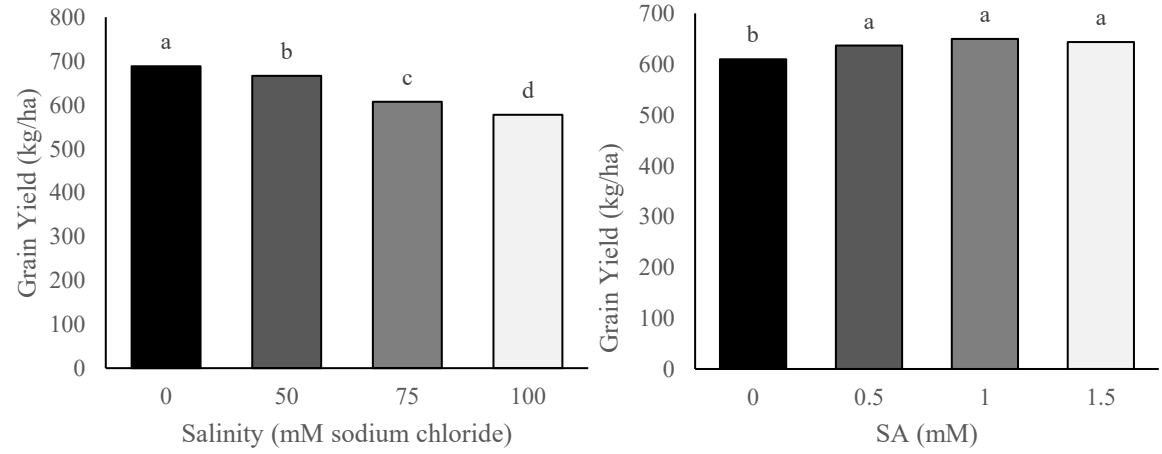
عملکرد بیولوژیک: باتوجه به نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه مشاهده گردید که تیمار تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر صفت عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود، و اثر متقابل بین تیمارها بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار نگردید (جدول ۲). مقایسه میانگین صفات نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک مربوط به تیمار بدون تنش شوری بود و کمترین مقدار را تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به خود اختصاص داد (شکل ۵). از لحاظ تیمارهای اسید سالیسیلیک نیز مشاهده گردید که بیشترین عملکرد بیولوژیک مربوط به تیمار ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود که با تیمارهای ۰/۵ و ۱/۵ میلی مولار تفاوت آماری معنی‌داری نداشت و هر سه در یک گروه آماری قرار گرفته بودند و کمترین مقدار را تیمار بدون مصرف اسید سالیسیلیک به خود اختصاص داد (شکل ۵). اسید سالیسیلیک باعث طویل شدن سلول‌ها و تقسیم سلولی می‌شود که این کار با همکاری سایر تنظیم کننده‌ها از جمله اکسین انجام می‌شود و گسترش، تقسیم و مرگ سلولی را تنظیم می‌کند یعنی در واقع بین رشد و پیری تعادل ایجاد می‌نماید (Broumand et al., 2012). کاربرد اسید سالیسیلیک طبق تحقیقات Moghadam و همکاران (۲۰۱۳) تأثیرات مثبتی بر روی عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، ارتفاع بوته و وزن هزار دانه در گیاه زراعی کلزا داشته است. آوالبایف و همکاران (۲۰۰۹) رشد گیاهچه‌ها را تحت شرایط شوری بررسی کردند و اظهار داشتند که با افزایش سطوح شوری رشد گیاه با کاهش معنی داری روبرو می‌شود. هم‌چنین تنش شوری باعث کاهش سرعت تقسیم سلول‌های مریستم ریشه و کوتولگی گیاهچه‌ها می‌گردد. باتوجه به اینکه رشد و تقسیم سلولی نیازمند حفظ فشار تورژسانس می‌باشد و سلول‌ها باید حجم مناسبی برای تقسیم داشته باشند، بنابراین در شرایط تنش شوری، از دست رفتن آب سلول، کاهش فشار تورژسانس و حجم سلول، موجب کاهش رشد و تقسیم سلولی می‌گردد. با افزایش شوری نسبت اندام هوایی به ریشه گیاهان افزایش و حجم ریشه کاهش می‌یابد. شوری علاوه بر اینکه میزان رشد گیاه را در اثر کاهش فتوسنتز به تعویق می‌اندازد، باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش ورود آب به داخل گیاه شده و بدین ترتیب کاهش مضاعفی را در وزن گیاه ایجاد کرده و در نتیجه عملکرد بیولوژیک گیاه کاهش می‌یابد (Zahedi et al., 2012).



شکل ۵. مقایسه میانگین تأثیر شوری و اسید سالیسیلیک بر عملکرد بیولوژیک مرزنجوش

Fig. 5. Comparison of the average effect of salinity and salicylic acid on marjoram biological yield

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمار تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر صفت عملکرد دانه معنی‌دار بود ولی اثر متقابل بین تیمارها بر عملکرد دانه معنی‌دار نگردید (جدول ۲). مقایسه میانگین صفات نشان داد که بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار بدون تنش شوری بود و کمترین مقدار را تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به خود اختصاص داد (شکل ۶). از لحاظ تیمارهای اسید سالیسیلیک نیز مشاهده گردید که بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود که با تیمارهای ۰/۵ و ۱/۵ میلی مولار تفاوت آماری معنی‌داری نداشت و هر سه در یک گروه آماری قرار گرفته بودند و کمترین مقدار را تیمار بدون مصرف اسید سالیسیلیک به خود اختصاص داد (شکل ۶). Kaya و همکاران (۲۰۰۶) افزایش در میزان هدایت روزنه‌ای در پاسخ به اسید سالیسیلیک در گیاه را مشاهده کردند به‌علاوه افزایش در راندمان مصرف آب و میزان بالای تعرق با اسید سالیسیلیک توسط گیاه مشاهده گردید که باعث افزایش عملکرد می‌شود. در آزمایشی دیگر مصرف اسید سالیسیلیک باعث بهبود عملکرد و اجزای عملکرد گیاه شد (Moghadam et al., 2013).



شکل ۶. مقایسه میانگین تأثیر شوری و اسید سالیسیلیک بر عملکرد دانه مرزنجوش

Fig. 6. Comparison of the average effect of salinity and salicylic acid on marjoram grain yield

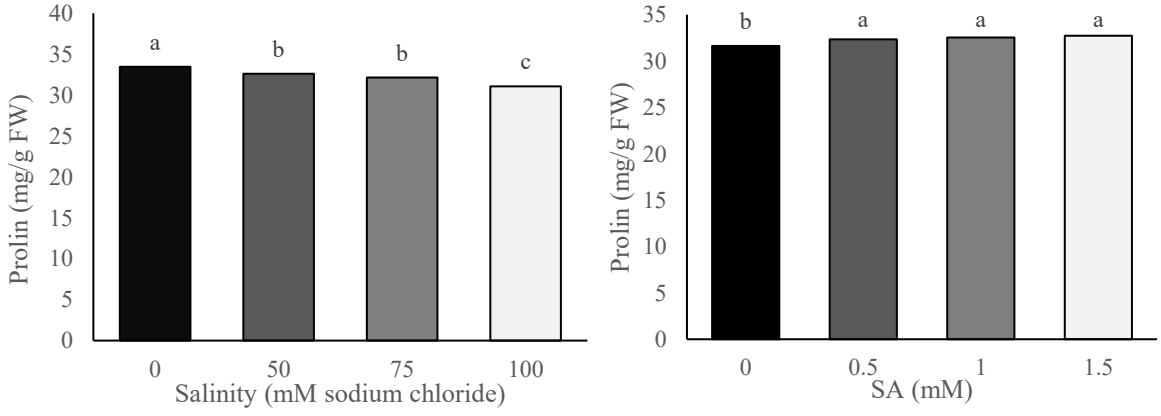
میزان پرولین: طبق نتایج تجزیه واریانس تیمار تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر صفت میزان پرولین معنی‌دار بود و اثر متقابل بین تیمارها بر میزان پرولین غیرمعنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین صفات نشان داد که در شرایط تنش شوری میزان پرولین تا حدودی کاهش نشان داد، شاید به این دلیل باشید گیاه دارویی مرزنجوش نسبت به تنش شوری اعمال شده گیاهی متحمل به تنش باشد (شکل ۷). از لحاظ تیمارهای اسید سالیسیلیک نیز مشاهده گردید که بیشترین میزان پرولین مربوط به تیمار ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود که با تیمارهای ۰/۵ و ۱ میلی مولار تفاوت آماری معنی‌داری نداشت و هر سه در یک گروه آماری قرار گرفته بودند و کمترین مقدار را تیمار بدون مصرف اسید سالیسیلیک به خود اختصاص داد (شکل ۷). Geesing و Schmidhalter (۲۰۱۴) بر اساس تحقیقات خود در سه خاک با بافت‌های مختلف بیان داشتند که خصوصیات کیفی گیاهان با افزایش به کاربردن هیدروژل سوپر جاذب بدون نقصان آب افزایش یافت.

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر صفات مورد مطالعه مرزنجوش
Table 3. Variance analysis of the effect of different salinity stress and salicylic acid treatments on the studied traits of marjoram

		Mean of Squares					
S.O.V	Df	Prolin	MDA	CAT	SOD	Essential Oil Percentage	Essential Oil Yeild
Block	2	18.57	4.05	0.08	2402.35	0.07	6.08
Salinity stress (S)	3	11.89**	3.19	0.09**	712.73^{ns}	0.12**	19.25**
Salicylic Acid (SA)	3	2.79**	1.81**	0.02**	373.16^{ns}	0.04**	4.28**
SA×S	9	0.58^{ns}	0.07^{ns}	0.004^{ns}	164.37^{ns}	0.006^{ns}	0.62^{ns}
Error	30	0.52	0.26	0.002	164.37	0.005	0.43
CV %	-	2.23	5.44	7.02	13.20	6.04	8.34

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪.

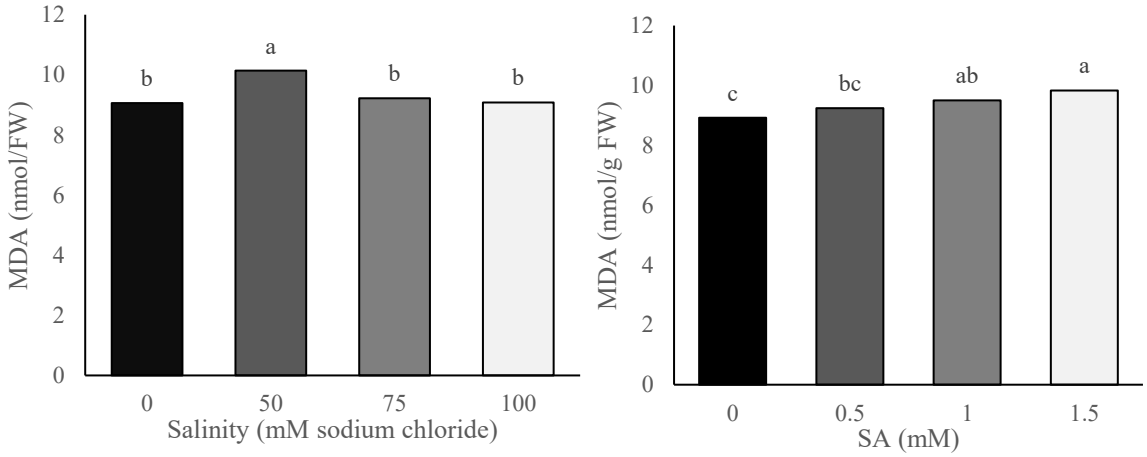
ns, * and ** are non-significant and significant at 1% and 5% probability levels, respectively.



شکل ۷. مقایسه میانگین تأثیر شوری و اسید سالیسیلیک بر محتوای پرولین مرزنجوش
Fig. 7. Comparison of the average effect of salinity and salicylic acid on marjoram prolin

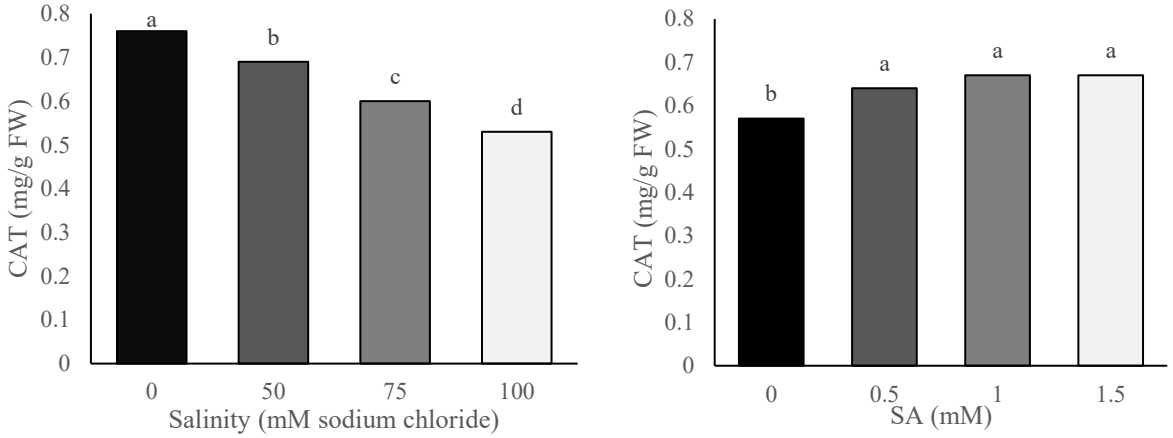
مالون دی آلدئید: باتوجه به نتایج تجزیه واریانس، تیمار تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر صفت میزان مالون دی‌آلدئید معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل بین تیمارها بر میزان مالون دی‌آلدئید معنی‌دار نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین صفات نشان داد که بیشترین میزان مالون دی‌آلدئید مربوط به تیمار ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بود و کمترین مقدار را تیمار شاهد کلرید سدیم به خود اختصاص داد (شکل ۸). از لحاظ تیمارهای اسید سالیسیلیک نیز مشاهده گردید که بیشترین میزان مالون

دی‌آلدئید مربوط به تیمار ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود که با تیمار ۱ میلی مولار تفاوت آماری معنی‌داری نداشت و هر دو در یک گروه آماری قرار گرفته بودند و کمترین مقدار را تیمار بدون مصرف اسید سالیسیلیک به خود اختصاص داد (شکل ۸). بسیاری از گیاهان وقتی در شرایط تنش قرار می‌گیرند غشای سلولی آنها آسیب جدی می‌بینند و مقدار مالون دی آلدهید سلولی آنها افزایش می‌یابد. رادیکال‌های سوپراکسید که با تنش تولید می‌شود، باعث پراکسیداسیون لیپید می‌شود. حاصل پراکسیداسیون لیپیدهای غشا ترکیباتی مانند مالون دی‌آلدهید است. پراکسیداسیون لیپیدها و تولید مالون دی‌آلدهید، شاخصی برای میزان خسارت تنش اکسیداسیو می‌باشد. گزارش شده که اسید سالیسیلیک ممکن است با پاکسازی رادیکال‌های آزاد از پراکسیداسیون چربی‌ها جلوگیری نموده و مانع افزایش مالون دی‌آلدهید شود؛ اما در این پژوهش این اثر در تنش شدید شوری تا حدودی دیده شد (Movahhedi Dehnavi et al., 2017).



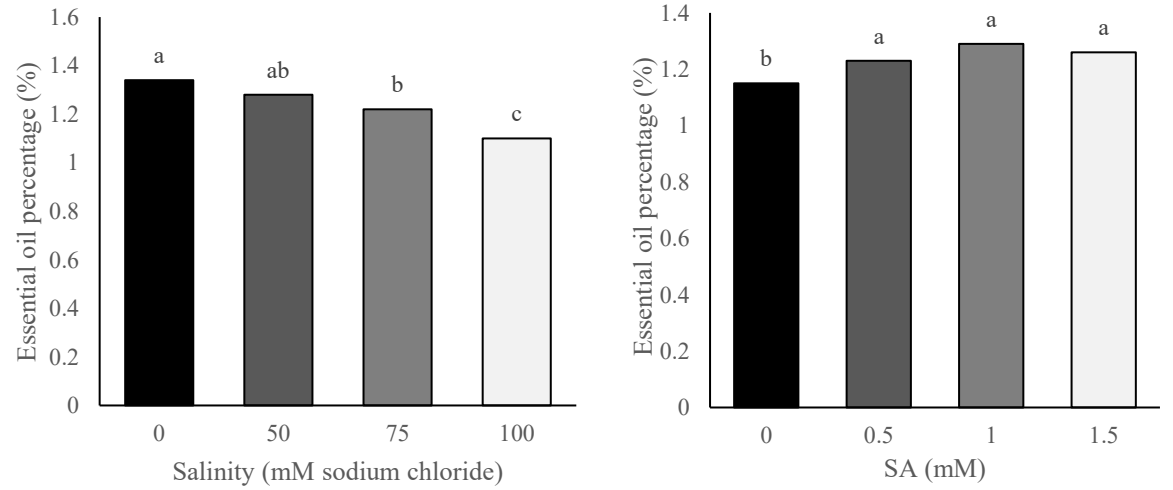
شکل ۸. مقایسه میانگین تأثیر شوری و اسید سالیسیلیک بر محتوای مالون دی آلدئید مرزنجوش
Fig. 8. Comparison of the average effect of salinity and salicylic acid on marjoram MDA

محتوای آنزیم کاتالاز و محتوای سوپر اکسید دسموتاز: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای تنش شوری، اسید سالیسیلیک و اثر متقابل آنها بر صفت میزان سوپراکسیداز معنی‌دار نگردید. همچنین اثر تیمار تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر صفت میزان کاتالاز معنی‌دار بود و اثر متقابل بین تیمارها بر میزان کاتالاز غیر معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین صفات نشان داد که بیشترین میزان کاتالاز مربوط به تیمار بدون تنش شوری بود و کم‌ترین مقدار را تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به خود اختصاص داد (شکل ۹). از لحاظ تیمارهای اسید سالیسیلیک نیز مشاهده گردید که بیش‌ترین میزان کاتالاز مربوط به تیمار ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود که با تیمارهای ۰/۵ و ۱/۵ میلی‌مولار تفاوت آماری معنی‌داری نداشت و هر سه در یک گروه آماری قرار گرفته بودند و کم‌ترین مقدار را تیمار بدون مصرف اسید سالیسیلیک به خود اختصاص داد (شکل ۹). محققین بیان داشتند که با استفاده از سوپر جاذب و بالا بردن ظرفیت تبادل کاتیونی خاک بستر مناسبی جهت نگهداری و در اختیار قرار دادن مواد غذایی و کاتیون‌های حل شده در محلول خاک برای مدت طولانی جهت استفاده گیاه فراهم گشته و از آبشویی و خروج آن‌ها از ناحیه قابل دسترسی برای گیاهان جلوگیری می‌گردد و در نتیجه سبب افزایش میزان عناصر و مواد موجود در گیاه می‌گردد (Zeineldin and dakheel, 2012).



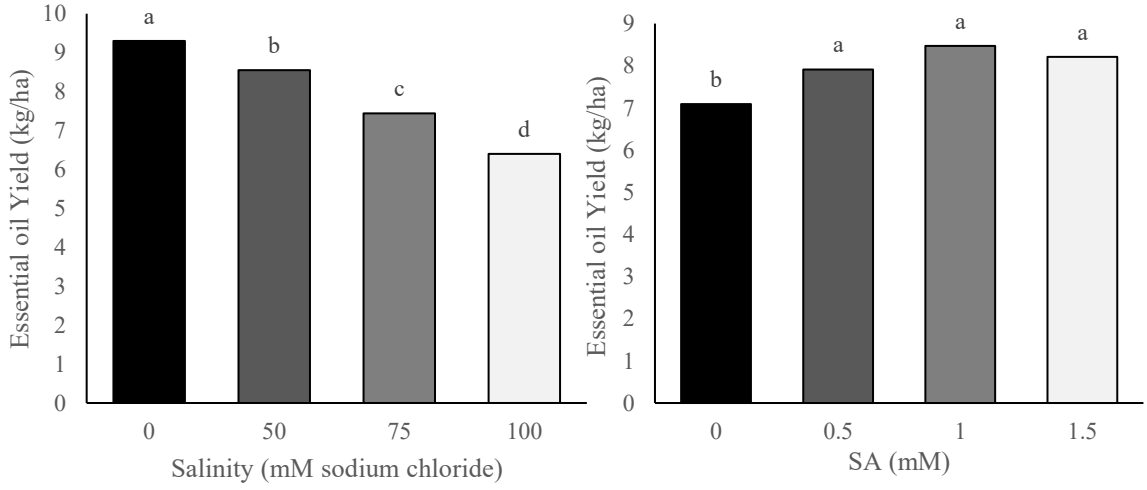
شکل ۹. مقایسه میانگین تأثیر شوری و اسید سالیسیلیک بر محتوای کاتالاز مرزنجوش
Fig. 9. Comparison of the average effect of salinity and salicylic acid on marjoram CAT

درصد اسانس: طبق نتایج تجزیه واریانس تیمار تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر صفت درصد اسانس معنی‌دار بود ولی اثر متقابل بین تیمارها بر درصد اسانس (وزنی/وزنی) معنی‌دار نگردید (جدول ۳). مقایسه میانگین صفات نشان داد که بیش‌ترین درصد اسانس مربوط به تیمار بدون تنش شوری بود و کم‌ترین مقدار را تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به خود اختصاص داد (شکل ۱۰). از لحاظ تیمارهای اسید سالیسیلیک نیز مشاهده گردید که بیش‌ترین درصد اسانس مربوط به تیمار ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود که با تیمارهای ۰/۵ و ۱/۵ میلی مولار تفاوت آماری معنی‌داری نداشت و هر سه در یک گروه آماری قرار گرفته بودند و کمترین مقدار را تیمار بدون مصرف اسید سالیسیلیک به خود اختصاص داد (شکل ۱۰). Archangi و Khodambashi (۲۰۱۴) با بررسی تأثیر تنش شوری بر خصوصیات مورفولوژیک، میزان اسانس و انباشت یونی در گیاه ریحان به این نتیجه رسیدند که تنش شوری به تدریج باعث کاهش میزان اسانس گیاه می‌گردد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.



شکل ۱۰. مقایسه میانگین تأثیر شوری و اسید سالیسیلیک بر درصد اسانس مرزنجوش
Fig. 10. Comparison of the average effect of salinity and salicylic acid on marjoram essential oil percentage

عملکرد اسانس: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمار تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر صفت عملکرد اسانس معنی‌دار بود ولی اثر متقابل بین تیمارها بر عملکرد اسانس معنی‌دار نگردید (جدول ۳). مقایسه میانگین صفات نشان داد که بیشترین عملکرد اسانس مربوط به تیمار بدون تنش شوری بود و کمترین مقدار را تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به خود اختصاص داد (شکل ۱۱). از لحاظ تیمارهای سالیسیلیک اسید نیز مشاهده گردید که بیشترین عملکرد اسانس مربوط به تیمار ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بود که با تیمارهای ۰/۵ و ۱/۵ میلی‌مولار تفاوت آماری معنی‌داری نداشت و هر سه در یک گروه آماری قرار گرفته بودند و کمترین مقدار را تیمار بدون مصرف سالیسیلیک اسید به خود اختصاص داد (شکل ۱۱). Rezaei-Chiyaneh و Pirzad (۲۰۱۴) با بررسی اثر اسید سالیسیلیک بر عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس سیاهدانه در شرایط تنش بیان نمودند که سالیسیلیک اسید باعث افزایش میزان اسانس گیاه سیاه دانه گردید.



شکل ۱۱. مقایسه میانگین تأثیر شوری و اسید سالیسیلیک بر عملکرد اسانس مرزنجوش

Fig. 11. Comparison of the average effect of salinity and salicylic acid on marjoram essential oil yield

نتیجه‌گیری

تنش شوری سبب ایجاد تغییرات مورفولوژی و فیزیولوژی در گیاه دارویی مرزنجوش شد و سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه نیز به این تنش پاسخ داد. همچنین، اسید سالیسیلیک اثرات مضر تنش شوری را کاهش داد و با تأثیر بر سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه، سبب بهبود رشد گیاه در شرایط تنش گردید. از این رو می‌توان پیشنهاد نمود که مصرف این ماده در گیاهان در معرض تنش، عاملی برای رفع و یا کاهش اثرات تنش می‌باشد.

References

Acosta-Motos, J., Ortuño, M., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M., and J. Hernandez. 2017. Plant responses to salt stress: Adaptive mechanisms. Agronomy. 7: 18.

Aebi, H. 1984. Catalase in vitro. Methods Enzymology. 105: 121 –126.

Ali, Z. H., and F. H. Ali. 2022. Influence of salicylic acid on the physiological properties of two *Petunia* species. AIP Conf. Proc. 2398: 040032.

Archangi, A., and M. Khodambashi. 2014. Effects of salinity stress on morphological characteristics, essential oil content and ion accumulation in basil (*Ocimum basilicum*) plant under hydroponic conditions. Journal Science & Technology. Greenhouse Culture. 5(17): 125 -138.

Ashraf, K., Siddiqi, E. H., Bhatti, K. H., Iqbal, I., Nasir, M., Hassan, A., Aslam, K., and S. Mehmood. 2023. Role of salicylic acid in the alleviation of salt stress on pea cultivars using growth, biochemical and physiological attributes. GU Journal of Phytosciences. 3: 94 – 101.

Assaha, D. V. M., Ueda, A., Saneoka, H., Al-Yahyai, R., and M. W. Yaish. 2017. The role of Na^+ and K^+ transporters in salt stress adaptation in glycophytes. Frontiers in Physiology. 8: 509.

Avalbaev, A. M., Bezhorkov, M. V., Kildibekova, A. R., and R. A. Fatkutdinova. 2009. Wheat germagglutinin restores cell division and growth of wheat seedlings under salinity. Bulb. Journal Plant Physiology. Special Issue. 257 - 263.

Banon, D., Lorente, B., Ortunõ, M. F., Bañon, S., Sanchez-Blanco, M. J., and J. Alarcon. 2022. Effects of saline irrigation on the physiology and ornamental quality of *Euphorbia* Ascot Rainbow and its relationship with salinity indexes based on the bulk electrical conductivity. Scientia Horticulturae. 305: 111406.

Barsa, S. M. A., Pannu, I. A., and I. Afzal. 2013. Evaluation of seedling vigor of hydro and matriprimed wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds. International Journal of Agriculture and Biology. 5(2): 121 – 123.

Bates, L. S., Waldern, R. P., and I. D. Teave. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil. 39: 205-207.

Beauchamp, C., and I. Fridovich. 1971. Superoxide dismutase: Improved assayand an assay applicable to acrylamide gels. Analytical Biochemistry. 44: 276-287.

Broumand, M., Gazanchian, A., and A. A. Ameri. 2012. The effect of seed priming on improving alfalfa seedling germination and growth. Journal of Seed Science and Technology. 3(1): 10-22.

Costa, A. A., Paiva, E. P., Torres, S. B., Souza Neta, M. L., Pereira, K. T. O., Leite, M. S., SÁ, F. V. S., and C. P. Benedito. 2022. Osmoprotection in *Salvia hispanica* L. seeds under water stress attenuators. Brazilian Journal of Biology. 82: e233547.

Dkhil, B. B., and M. Denden. 2010. Salt stress induced changes in germination, sugars, starch and enzyme of carbohydrate metabolism in *Abelmoschus esculentus* L. (Moench.) seeds. African Journal of Agricultural Research. 5: 1412-1418.

El-Banna, M. F., AL-Huqail, A. A., Farouk, S., Belal, B. E. A., El-kenawy, M. A., and A. Abd El-Khalek. 2022. Morpho-physiological and anatomical alterations of salt-affected Thompson seedless grapevine (*Vitis vinifera* L.) to brassinolide spraying. Horticulturae. 8: 568.

Elhindi, K. M., Almana, F. A., and M. A. Al-Yafrsi. 2023. Role of humic acid on inducing salt tolerance of Ivy Geranium (*Pelargonium peltatum* L.) plants. Horticulturae. 9: 1012.

El-Taher, A. M., Abd El-Raouf, H. S., Osman, N. A., Azoz, S. N., Omar, M. A., Elkelish, A., and M. A. M. Abd El-Hady, 2022. Effect of salt stress and foliar application of salicylic acid on morphological, biochemical, anatomical, and productivity characteristics of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) plants. Plants. 11: 115.

Fornes, F., Belda, R. M., Carrion, C., Noguera, V., García-Agustín, P., and M. Abad. 2007. Pre-conditioning ornamental plants to drought by means of saline water irrigation as related to salinity tolerance. Scientia Horticulturae. 113: 52–59.

Fouad, A., Hegazy, A. E., Azab, E., Khojah, E., and T. Kapiel. 2021. Boosting of antioxidants and alkaloids in *Catharanthus roseus* Suspension cultures using silver nanoparticles with expression of CrMPK3 and STR genes. Plants. 10: 2202.

Geesing, D., and U. Schmidhalter. 2014. Influence of sodium polyacrylate on the water-holding capacity of three different soils and effects on growth of wheat. Soil Use and Management. 20: 207-209.

Hanan, E. D. 2007. Influence of salicylic acid on stress tolerance during seed germination of *Triticum aestivum* and *Hordeum vulgare*. Biological Research. 1: 40- 48.

Hayat, S., Fariduddin, Q., Ali, B., and A. Ahmad. 2005. Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. Acta Agronomica Hungarica. 53: 433-437.

Heath, R. L. and L. Packer. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. 1. Kinetics and stiochiometry of fatty acid peroxidation, Archives of Biochemistry and Biophysics. 125: 189– 198.

Kaya, M. D., Okcu, G., Atak, M., and Y. Kolsarici. 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). European Journal of Agronomy. 24: 291-295.

Medjahed, F., Merouane, A., Saadi, A., Bader, A., Cioni, P.L., and G. Flamini, 2016. Chemical profile and antifungal potential of essential oils from leaves and flowers of *Salvia algeriensis* (Desf.): A comparative study. Chilean Journal of Agricultural Research. 76(2): 195–200.

Moghadam, M., Saifzadeh, S., and A. H. Shirani-Rad. 2013. Investigating the effect of planting date on the agronomic characteristics of different cultivars of winter canola. The 12th Iran Plant Breeding and Breeding Congress. Islamic Azad University, Karaj branch.

Movahhedi Dehnavi, M., Niknal, N., Behzadi, Y., Mohtashami, R., and R. Bagheri. 2017. Comparison of physiological responses of linseed (*Linum usitatissimum* L.) to drought and salt stress and salicylic acid foliar application. Iranian Journal of Plant Biology. 9(3): 39-62.

Ondrasek, G., Rathod, S., Manohara, K. K., Gireesh, C., Anantha, M. S., Sakhare, A. S., Parmar, B., Yadav, B. K., Bandumula, N., and F. Raihan. 2022. Salt stress in plants and mitigation approaches. Plants. 11: 717.

Peng, Y., Yang, J., Li, X., and Y. Zhang. 2021. Salicylic acid: Biosynthesis and signaling. Annual Review of Plant Biology. 72: 761–791.

Renta, N – W. 2012. Herb yield and chemical common oregano vulgare essential oil according to the plant development stag. Kert polotea. 55(3).

Rezaei-Chiyaneh, E., and A. Pirzad. 2014. Effect of salicylic acid on yield, component yield and essential oil of black cumin (*Nigella sativa* l.) under water deficit stress. Iranian Journal of Field Crops Research. 12(3): 427-437.

Roby, M. H. H., Sarhana, M. A., Selima, K. A. H., and K. I. Kalela. 2013. Evaluation of antioxidant activity, total phenols and phenolic compounds in thyme (*Thymus vulgaris* L.), sage (*Salvia officinalis* L.) and marjoram (*Origanum majorana* L.) extracts. Industrial crops products. 43: 827 – 831.

Safari, M., Mousavi-Fard, S., Rezaei Nejad, A., Sorkheh, K., and A. Sofo. 2022. Exogenous salicylic acid positively affects morpho-physiological and molecular responses of *Impatiens walleriana* plants grown under drought stress. International Journal of Environmental Science and Technology. 19: 969–984.

Senarenta, M. G., Luque, S. F., and O. J. Rubidio. 2000. Effect of salicylic acid and planting densities on grain number and yield of maize. Agricultural Science. 17: 3-10.

Sousa, V. F. O., Santos, A. S., Sales, W. S., Silva, A. J., Gomes, F. A. L., Dias, T. J., Gonçalves-Neto, A. C., Faraz, A., Santos, J. P. O., and G. L. Santos. 2024. Exogenous application of salicylic acid induces salinity tolerance in eggplant seedlings. Brazilian Journal of Biology. 84: e257739.

Verma, R.S., Sashidhara, K.V., Yadav, A., and A. A. Naqvi. 2010. Essential oil composition of *Majorana hortensis* (Moench) from subtropical India. Acta pharmaceutica Siencia. 5: 19 – 22.

Yang, W., Zhou, Z., and Z. Chu. 2023. Emerging roles of salicylic acid in plant saline stress tolerance. International Journal of Molecular Sciences. 24: 3388.

Zahedi, H., Shirani-Rad, A. H., and H. R. Tohidi-Moghadam, 2012. Zeolite AND selenium application and their effects on production and physiological attributes of canola cultivars under water stress. Published as ARTICLE in Agrociencia. 46(5): 489-497.

Zeineldin, F. I., and Y. Y. Aldakheel. 2012. Hydrogel polymer effects on available water capacity sandy soils at Al-Hassa, Saudi Arabia. CSBE/SCGAB 2006 Annual Conference and percolation of