



## Effect of Salicylic Acid and Sodium Selenite on Growth and Photochemical Attributes of Coneflower (*Echinacea angustifolia*) Under Salinity Stress

Hamed Adeli<sup>1</sup> | Sepideh Kalateh Jari<sup>2</sup> | Marjan Diyanat<sup>3</sup>

1. Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: [hamed.adeli@srbiau.ac.ir](mailto:hamed.adeli@srbiau.ac.ir)
2. Corresponding Author, Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: [kalatehjari@srbiau.ac.ir](mailto:kalatehjari@srbiau.ac.ir)
3. Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: [m.diyanat@srbiau.ac.ir](mailto:m.diyanat@srbiau.ac.ir)

### Article Info

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received 19 October 2023

Received in revised form

30 October 2024

Accepted 24 November 2024

Published online 30 December 2024

#### Keywords:

Biostimulant

Coneflower

Essential oil yield

Total phenol

### ABSTRACT

**Objective:** Salinity is one of the most important abiotic stresses that reduces the production of agricultural products. The use of growth stimulating compounds in order to reduce the effects of environmental stress in plants is of particular importance. The present study was conducted to investigate the effect of salicylic acid and sodium selenate on the growth, physiological and biochemical characteristics of coneflower (*Echinacea angustifolia*) in 2023 at the commercial greenhouse of ornamental plants in Alborz province under salinity stress conditions.

**Methods:** The factors studied in the research include salinity at three levels (zero, 100 and 200 mM sodium chloride) and spraying with salicylic acid and selenium selenate at five levels (control, 5 and 10 mg/l of sodium selenate and 0.5 and 1 mM salicylic acid), conducted factorially in the form of a basic completely randomized design in 3 replications.

**Results:** The results of the research showed that 200 mM of salinity stress caused a significant decrease in the fresh weight of aerial parts (32%), dry weight of roots (27%), total chlorophyll (22%), and relative water content of leaves (16%). and leaf potassium (28%), but caused an increase in ion leakage (11%), catalase enzyme activity (82%), superoxide dismutase enzyme activity (1.37 times), and sodium leaf (2.19 times). Foliar application of bio-stimulants, especially 1 mM salicylic acid, increased the fresh weight (13.07%), root dry weight (13.74%), shoot fresh weight (15.59%), chlorophyll a, b, and total content (13.13%, 14.29%, and 12.08% respectively), relative leaf water content (6.95%), and essential oil yield (27.59%). The interactive treatment of 100 mM salinity and 1 mM salicylic acid had the highest phenol and flavonoid content and essential oil percentage. The highest shoot weight and essential oil yield were obtained in the treatment without stress with 1 mM salicylic acid.

**Conclusion:** Taken together, applying biological stimulants, especially 1 mM salicylic acid, will be recommended under salinity stress conditions in coneflower.

**Cite this article:** Adeli, H., Kalateh Jari, S., & Diyanat, M. (2025). Effect of Salicylic Acid and Sodium Selenite on Growth and Photochemical Attributes of Coneflower (*Echinacea angustifolia*) Under Salinity Stress. *Journal of Crops Improvement*, 26 (4), 925-948. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2024.366323.2859>





## تأثیر سالیسیلیک اسید و سلنات سدیم بر رشد و ویژگی‌های فیتوشیمیایی سرخارگل (*Echinacea angustifolia*) در شرایط تنش شوری

حامد عادل<sup>۱</sup> | سپیده کلاته‌جاری<sup>۲</sup> | مرجان دیان<sup>۳</sup>

۱. گروه علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: [hamed.adeli@srbiau.ac.ir](mailto:hamed.adeli@srbiau.ac.ir)
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: [kalatehjari@srbiau.ac.ir](mailto:kalatehjari@srbiau.ac.ir)
۳. گروه علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: [m.diyanat@srbiau.ac.ir](mailto:m.diyanat@srbiau.ac.ir)

### اطلاعات مقاله

### چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰

**هدف:** شوری، یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که تولید محصولات کشاورزی را کاهش می‌دهد. استفاده از ترکیبات محرک رشد به منظور کاهش اثرات تنش‌های محیطی در گیاهان اهمیت خاصی دارد. از این رو تحقیق حاضر به منظور بررسی اثر سالیسیلیک اسید و سلنات سدیم بر رشد، خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سرخارگل (*Echinacea angustifolia*) در سال ۱۴۰۱ در گلخانه تجاری گیاهان زینتی در استان البرز در شرایط تنش شوری انجام شد.

**روش پژوهش:** فاکتورهای مورد مطالعه در پژوهش، شامل شوری در سه سطح (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و محلول پاشی با سالیسیلیک اسید و سلنیم سلنات سلنیم در پنج سطح (شاهد، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم و ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید) به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در ۳ تکرار صورت گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج پژوهش نشان داد که ۲۰۰ میلی‌مولار تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار وزن تراندام هوایی (۳۲ درصد)، وزن خشک ریشه (۲۷ درصد)، کلروفیل کل (۲۲ درصد)، محتوای نسبی آب برگ (۱۶ درصد) و پتاسیم برگ (۲۸ درصد) گردید، اما سبب افزایش نشت یونی (۱۱ درصد)، فعالیت آنزیم کاتالاز (۸۲ درصد)، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (۱/۳۷ برابر) و سدیم برگ (۲/۱۹ برابر) شد. محلول پاشی با محرک‌های زیستی به‌ویژه ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید سبب افزایش وزن تر ریشه (۱۳/۰۷ درصد)، وزن خشک ریشه (۱۳/۷۴ درصد) و وزن تر اندام هوایی (۱۵/۵۹ درصد)، کلروفیل a، b و کل (به ترتیب ۱۳/۱۳، ۱۴/۲۹ و ۱۲/۰۸ درصد)، محتوای نسبی آب برگ (۶/۹۵ درصد)، عملکرد اسانس (۲۷/۵۹ درصد) شد. تیمار اثر متقابل شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و سالیسیلیک اسید یک میلی‌مولار دارای بیش‌ترین محتوای فنل، فلاونوئید و درصد اسانس بودند و بیش‌ترین وزن اندام هوایی گیاه و عملکرد اسانس در تیمار بدون تنش با سالیسیلیک اسید یک میلی‌مولار به‌دست آمد.

**نتیجه‌گیری:** در مجموع استفاده از محرک‌های زیستی و به‌ویژه سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار در شرایط تنش شوری در سرخارگل مورد پیشنهاد خواهد بود.

### کلیدواژه‌ها:

سرخارگل

عملکرد اسانس

فنول کل

محرک زیستی

**استناد:** عادل، حامد؛ کلاته‌جاری، سپیده و دیان، مرجان (۱۴۰۳). تأثیر سالیسیلیک اسید و سلنات سدیم بر رشد و ویژگی‌های فیتوشیمیایی سرخارگل (*Echinacea angustifolia*) در شرایط تنش شوری. به‌زراعی کشاورزی، ۲۶ (۴)، ۹۴۸-۹۲۵.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2024.366323.2859>

## ۱. مقدمه

سرخارگل با نام علمی *Echinacea angustifolia* گیاهی علفی و چندساله از خانواده گل‌ستاره‌ای می‌باشد (تیوب<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). در گذشته از این گیاه برای درمان مارگزیدگی، بیماری‌های لثه و دهان، سرماخوردگی و سرفه استفاده می‌شد. هم‌چنین با توجه به اهمیت ضدویروسی، ضد قارچی و ضدباکتریایی آن اهمیت جهانی دارد و مواد مؤثره آن رابطه مستقیمی با تقویت سیستم ایمنی بدن دارد (بورلو-ناگی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۲). در مطالعه‌ای که بر روی خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه سرخارگل در اثر تنش شوری و کاربرد سیلیسیم انجام شد، این گیاه نسبت به شوری تقریباً حساس بود (زارع و همکاران، ۱۳۹۷)، با این وجود تعیین مرز مقاومت گیاه سرخارگل در شرایط تنش شوری و کاربرد سلنات سدیم و سالیسیلیک‌اسید تاکنون صورت نگرفته و این مطالعه حائز اهمیت خواهد بود.

شوری یکی از مهم‌ترین عوامل تنش‌زای غیرزنده است (امیری‌پور<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). برخی از پژوهش‌گران بیان داشتند که شوری از طریق ایجاد سمیت در خاک و بر هم زدن تعادل مواد غذایی محلول در خاک رشدونمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (پریهر<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). کاهش اثرات تنش شوری، می‌تواند تأثیر مثبتی بر افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی داشته باشد (امیری‌پور<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). مطالعات بر روی عکس‌العمل گیاهان در برابر تنش شوری نشان داده است که گیاهان هنگام تنش افزایش معنی‌داری در رادیکال آزاد اکسیژن (ROS<sup>۶</sup>)، سوپر اکسید، رادیکال هیدروکسید و پراکسید هیدروژن از خود نشان می‌دهند (کیثاوات<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۲۳).

استفاده از ترکیبات یا تنظیم‌کننده‌های رشد به‌صورت برونزا در بسیاری از موارد در کاهش اثرات تنش‌های محیطی مؤثر بوده است (حسینی‌فرد<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۲۲). یکی از ترکیباتی که در ایجاد تحمل در برابر تنش شوری در گیاه مؤثر است، سالیسیلیک‌اسید می‌باشد که نقش حفاظتی در برابر اثرات منفی تنش دارد (رشید<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). سالیسیلیک‌اسید در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیک مختلف مثل رشد، تکامل گیاه، فتوسنتز و جوانه‌زنی نقش محوری ایفا می‌کند. باعث طویل شدن سلول‌ها و هم‌چنین تقسیم سلولی می‌شود که این کار با همکاری سایر تنظیم‌کننده‌ها از جمله اکسین صورت می‌گیرد. سالیسیلیک‌اسید گسترش تقسیم و مرگ سلولی را تنظیم کرده و در واقع بین رشد و پیری تعادل ایجاد می‌کند (دهستانی-اردکانی<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۲۲). در شرایط تنش، سالیسیلیک‌اسید نقش مهمی در افزایش مقاومت گیاه با بهبود خصوصیات آنتی‌اکسیدانی در گیاه ایفا می‌کند (رشید<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۰).

سلنیم یک ریزمغذی ضروری با خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدسرطانی و ضدویروسی برای سلامت موجودات مختلف است (حسن‌الزمان<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۰) و نقش محافظتی و آنتی‌اکسیدانی در کاهش تنش اکسیداتیو ناشی از دما، خشکسالی، شوری، استرس مکانیکی، اشعه ماورای بنفش، عوامل بیماری‌زا و فلزات سنگین دارد. هم‌چنین، سلنیم با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه از طریق افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی

1. Tyub
2. Burlou-Nagy
3. Amiripour
4. Parihar
5. Amiripour
6. Reactive Oxygen Species
7. Kesawat
8. Hosseinifard
9. Rasheed
10. Dehestani-Ardakani
11. Rasheed
12. Hasanuzzaman

تنش را بهبود می‌بخشد. سلنات‌سدیم فرم مرسوم کود سلنیم است که به‌تازگی برای تعدیل تنش‌های محیطی در گیاهان استفاده می‌شود (کریمی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۰).

از آنجاکه تاکنون گزارشی در راستای کاربرد سالیسیلیک‌اسید و سلنات‌سدیم در گیاه سرخارگل جهت بهبود اثرات منفی تنش شوری ارائه نشد، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر این ترکیبات بر رشد و ویژگی‌های فیتوشیمیایی سرخارگل در شرایط تنش شوری انجام شد.

## ۲. پیشینه پژوهش

در پژوهشی که با عنوان اثرات محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید بر صفات مورفوفیزیولوژیکی خرفه در شرایط تنش شوری انجام شد، محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید موجب کاهش اثرات زیان‌بار شوری بر رشد گیاه خرفه گردید (فتحی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). در پژوهشی که به بررسی اثر سالیسیلیک‌اسید بر رشد و پاسخ گیاهان باغی در شرایط تنش شوری پرداخته شد، نقش حمایتی سالیسیلیک‌اسید در شرایط تنش شوری نشان داده شد. تجمع بیش‌تر پرولین، حفظ سطح سبز و تداوم فتوسنتز به دنبال تیمار سالیسیلیک‌اسید در شرایط شوری از دیگر عواملی هستند که می‌توانند در افزایش رشد گیاهان نقش مؤثری داشته باشند (یانگ<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۳).

فاضلی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی اثر تنش شوری (صفر، ۲۵ و ۷۵ میلی‌مولار NaCl) و سالیسیلیک‌اسید (صفر، ۰/۷۵ و ۱/۵ میلی‌مولار) بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه سیاه‌دانه را بررسی کردند. نتایج نشان داد تنش شوری کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ و آنتوسیانین و افزایش معنی‌دار نشت یونی، مالون‌دی‌آلدئید، پرولین، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز را باعث شد، درحالی‌که تیمار سالیسیلیک‌اسید موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ، مالون‌دی‌آلدئید، آنتوسیانین، پرولین، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز و کاهش نشت یونی شد.

کاربرد سلنیم منجر به کاهش اثرات منفی تنش شوری در گیاه بادرنجبویه شد. کاربرد سلنیم می‌تواند منجر به کاهش آسیب‌های تنش نمک یا شوری مانند توقف رشد گیاه، تخریب رنگیزه‌های فتوسنتزی و افزایش جذب مواد معدنی شود (قاسمیان<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). در پژوهشی اثر نانوذرات سلنیم (۲۵ میلی‌گرم در لیتر) و سیلیکون (۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و آب اکسیژنه (۲۰ نانومول بر لیتر) بر رشد گیاه خیار بررسی شد. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی برگی نانوذرات سلنیم به‌طور واضحی سبب افزایش پارامترهای رشد (ارتفاع و سطح برگ) گیاه شد. نانوذرات سلنیم دارای اثرات به نسبت قوی‌تری نسبت به نانوذرات سلنیم در افزایش خصوصیات آنتی‌اکسیدانی گیاه شدند. استفاده از نانوذرات سیلیسیم هم‌چنین سبب افزایش معنی‌داری در جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم شد (شالابی<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۱).

در تحقیقی اثر نانوذرات سلنیم (۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، نانوذرات سیلیسیم (۲۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و نانوذرات مس (۱۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بر که خصوصیات کمی و کیفی فلفل در شرایط تنش شوری (۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار NaCl) بررسی شد. تنش شوری سبب کاهش محتوای کلروفیل و بتاکاروتن و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، فلاونوئید و گلوکاتیون شد. نانوذرات نام‌برده سبب افزایش کلروفیل و فعالیت آنزیم کاتالاز، فنل و فلاونوئید میوه گردید (گنزالس-گارسیا<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). در بررسی اثر سلنیم بر متابولیت‌های ثانویه و خواص

1. Karimi
2. Fathi
3. Yang
4. Ghasemian
5. Shalaby
6. González-García

آنتی‌اکسیدانی گیاه بادرنجبویه، نتایج نشان داد که غلظت کم سلنیم باعث افزایش خصوصیات رشدی گیاه و بهبود صفات مورفولوژی آن شد (توکلی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۰).

### ۳. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر سالیسیلیک/اسید و سلنات سدیم در شرایط تنش شوری روی گیاه سرخارگل در سال ۱۴۰۱ در گلخانه تجاری گیاهان زینتی در استان البرز (دارای فتوپریود ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی، رطوبت نسبی ۶۵ تا ۸۰ درصد، حداکثر دما ۲۹ و حداقل دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل شوری در سه سطح (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و محلول‌پاشی با سالیسیلیک/اسید و سلنیم/سلنات سدیم در پنج سطح (شاهد، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم و ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک/اسید) بود. نشاهای چهاربرگی گیاه سرخارگل از پژوهشکده گیاهان دارویی کرج تهیه و در گلدان‌های حاوی خاک زراعی منطقه همراه با خاک‌برگ (جدول ۱) کشت شدند.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان‌ها

پارامتر	لای (درصد)	رس (درصد)	شن (درصد)	هدایت الکتریکی (میلی‌موس)	اسیدیته	نیترژن کل (درصد)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	کربن آلی (درصد)
مقدار	۴۷	۲۷	۲۶	۰/۹۹	۷/۱	۰/۱۲	۱۴/۱	۳۳۸	۰/۵۷

پس از استقرار نشا در بستر جدید، اولین محلول‌پاشی برگی با سالیسیلیک/اسید ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار و سلنات سدیم ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر در سه نوبت ۱۵ روزه و تنش شوری پس از دومین مرحله محلول‌پاشی برگی، با اعمال ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و با حجم ۲۰۰ میلی‌لیتر هر سه روز یک‌بار برای هر گلدان به‌مدت ۴۰ روز اعمال گردید. به‌منظور عدم تجمع نمک در گلدان‌ها، پس از هر چهار مرتبه آبیاری با آب شور تمامی گلدان‌ها یک‌بار با آب معمولی (بدون شوری) آبیاری شدند. در پایان مرحله گلدهی، گیاهان برداشت و صفات موردنظر ارزیابی شدند (نیکبخت و همکاران، ۱۳۹۹).

### ۳.۱. وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه

وزن تر اندام هوایی و ریشه پس از برداشت با ترازوی دیجیتال<sup>۲</sup> با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شد. پس از خشک‌کردن اندام هوایی و ریشه گیاه به‌مدت دو هفته در دمای معمولی در شرایط سایه خشک و وزن آن‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم به‌دست آمد (اینبار<sup>۳</sup> و همکاران، ۱۹۹۴).

### ۳.۲. محتوای کلروفیل برگ

اندازه‌گیری میزان محتوای کلروفیل با روش آرنون<sup>۴</sup> (۱۹۴۹) انجام شد. بدین ترتیب که ابتدا ۰/۱ گرم نمونه برگی گیاهان را در هاون چینی با ۳ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد کاملاً ساییده شد و حجم نهایی عصاره به ۱۵ میلی‌لیتر رسید. سپس

1. Tavakoli  
2. Digital scale  
3. Inbar  
4. Arnon

عصاره با استفاده از سانتریفیوژ به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت  $5000 \times g$  صاف شد. از دستگاه اسپکتروفتومتر ( Shimadzu UV-160 - کشور ژاپن) برای اندازه‌گیری میزان جذب نمونه‌ها استفاده شد. ابتدا دستگاه با استون ۸۰ درصد صفر شده و سپس میزان جذب عصاره استخراج شده در طول موج‌های ۶۴۵ نانومتر و ۶۶۳ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. سپس با استفاده از رابطه‌های زیر کلروفیل a، b و کل محاسبه شد (رابطه‌های ۱ تا ۳).

$$\text{رابطه ۱)} \quad a = [(12.7 \times A_{663}) - (2.69 \times A_{645})] \times V / 1000 \times W$$

$$\text{رابطه ۲)} \quad b = [(22.9 \times A_{645}) - (4.69 \times A_{663})] \times V / 1000 \times W$$

$$\text{رابطه ۳)} \quad \text{کل} = [(20.2 \times A_{645}) + (8.02 \times A_{663})] \times V / 1000 \times W$$

در رابطه‌های بالا، A میزان جذب در طول موج مورد نظر، V حجم نهایی استون ۸۰ درصد برحسب میلی‌لیتر و W اندازه برگ تازه برحسب گرم است.

### ۳.۳. اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم برگ

مقدار ۰/۳ گرم از نمونه‌های پودر شده برگ توزین و در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت شش ساعت خاکستر و سپس در ۵ میلی‌لیتر محلول اسید نیتریک ۲ مولار حل شدند. حجم محول در نهایت با آب دو بار تقطیر به ۲۵ میلی‌لیتر رسانده (رابطه ۴) و با کاغذ صافی واتمن شماره ۱ صاف شد. سپس سدیم و پتاسیم برگ با دستگاه فلیم‌فتومتری (مدل PFP7 ساخت کمپانی JENWAY - کشور انگلستان) اندازه‌گیری شد (چاپمن<sup>۱</sup> و پرات<sup>۲</sup>، ۱۹۶۲).

$$\text{رابطه ۴)} \quad N\% = A \times N \times 1.4 / W$$

که در آن، N نرمالیتت اسید، A حجم اسید مصرفی و W وزن نمونه می‌باشد.

### ۳.۴. اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC)

برای تعیین RWC، از برگ‌های کامل و توسعه یافته استفاده شد. پس از وزن اولیه برگ، در آب مقطر قرار داده شده و ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس وزن اشباع برگ‌ها اندازه‌گیری و ۲۴ ساعت دیگر در آن با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و وزن خشک آن‌ها کدام ثبت گردید و در نهایت RWC با رابطه (۵) محاسبه شد (ریچی<sup>۴</sup> و همکاران، ۱۹۹۰):

$$\text{رابطه ۵)} \quad RWC = (FW - DW) / (SW - DW) \times 100$$

در این رابطه FW وزن تازه برگ، SW وزن اشباع برگ و DW وزن خشک برگ است.

### ۳.۵. سنجش میزان نشت یونی

مقدار ۰/۲ گرم از بافت سالم و تازه اندام هوایی گیاه بعد از شست‌وشو با آب مقطر، درون لوله آزمایش دربار قرار داده و ۱۰ میلی‌لیتر آب یون‌گیری شده به آن اضافه گردید. سپس لوله‌های آزمایش را به مدت دو ساعت درون حمام آب گرم با دمای ۳۳ درجه سانتی‌گراد قرار داده و میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC1) با استفاده از EC متر (مدل Winlab Data Windaus - کشور چین) اندازه‌گیری شد. پس از قرارگیری لوله‌های آزمایش در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه در

1. Chapman
2. Pratt
3. Relative water content
4. Ritchie

اتوکلاو و خنک‌شدن محتوی لوله‌ها تا دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC2) اندازه‌گیری و با رابطه (۶) درصد نشت یونی محاسبه گردید (بن-حامد<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۷).

$$\text{رابطه ۶) درصد نشت یونی} = \frac{EC1}{EC2} \times 100$$

### ۳.۶. آنزیم کاتالاز<sup>۲</sup> برگ

برای استخراج آنزیم‌ها نمونه‌های گیاهی در هاون چینی با ازت مایع خرد و به‌صورت پودر درآمد. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم با pH معادل ۶ به آن اضافه و با دور ۱۳۰۰۰ سانتریفیوژ گردید. جهت اندازه‌گیری پروتئین کل و فعالیت آنزیم‌های نمونه‌ها، از محلول رویی برداشت شد. برای سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (Shimadzu UV-160- کشور ژاپن) در طول موج ۲۴۰ نانومتر در مدت ۳۰ ثانیه استفاده شد. بافر فسفات سدیم ۲۰ میلی‌مولار با pH معادل ۷ و ۲۰ میکرولیتر هیدروژن پراکساید (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ۳۰ درصد به‌عنوان پذیرنده الکترون مورد استفاده قرار گرفت. میزان فعالیت کاتالاز بر حسب واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین بیان گردید (ماکادم<sup>۳</sup> و همکاران، ۱۹۹۲).

### ۳.۷. سنجش فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (SOD)<sup>۴</sup>

فعالیت این آنزیم با قابلیت آن در بازدارندگی واکنش احیایی فتوشیمیایی نیتروبلوتترازولیموم (NBT<sup>۵</sup>) تعیین شد. مخلوط واکنش محتوی بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با (pH=۷)، متیونین ۱۳ میلی‌مولار، Na-EDTA ۰/۱ میلی‌مولار، نیتروبلوتترازولیموم ۷۵ میکرومول، ریبوفلاوین ۷۵ میکرومول و مقدار ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره بود. در دو لوله آزمایش ۳ میلی‌لیتر از محلول فوق بدون عصاره آنزیمی ریخته، یکی در دستگاه دور از نور و دیگری در حضور نور فلوتورسنت به‌عنوان شاهد قرار داده شد. پس از ۱۸ دقیقه هر دو دقیقه یک‌بار جذب محلول در طول موج ۵۶۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر (Shimadzu UV-160- کشور ژاپن) قرائت شد. این روش براساس تبدیل NBT به فورمازان در حضور نور و تشکیل رنگ می‌باشد. در صورتی که آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در محیط وجود داشت، از انجام واکنش مذکور ممانعت کرده و تشکیل و ظهور رنگ را کاهش داد. تفاوت بین جذب هر عصاره پس از ۱۸ دقیقه و جذب مخلوط بدون آنزیم نشان‌دهنده بازداشت واکنش خود به خود به تشکیل فورمازان توسط سوپراکسید دیسموتاز بود. فعالیت این آنزیم بر حسب واحد آنزیمی به‌ازای میلی‌گرم پروتئین محاسبه شد (جیانوپولیتیس<sup>۶</sup> و رایز<sup>۷</sup>، ۱۹۷۷).

### ۳.۸. اندازه‌گیری فنل برگ

اندازه‌گیری ترکیب‌های فنلی به‌وسیله روش‌هایی که از فولین سیوکالتو به‌عنوان معرف و اسید گالیک به‌عنوان استاندارد استفاده می‌نمایند انجام شد. محتوای فنلی به‌وسیله اسپکتروفوتومتر (Shimadzu UV-160- کشور ژاپن) اندازه‌گیری شد. در این آزمایش ۲ گرم از نمونه به‌همراه ۸ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد هموژن شده و در سانتریفیوژ ۱۲۰۰۰×g به‌مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد سپس ۰/۵ میلی‌لیتر از رو شناور با استفاده از سمپلر برداشته و درون فالكون‌های ۱۵ میلی‌لیتری ریخته شد، سپس ۵۰۰ میکرولیتر فولین- سیوکالتو به محتوی فالكون اضافه شد و پس از ۲ دقیقه، یک میلی‌لیتر کربنات

1. Ben-Hamed
2. Catalase (CAT)
3. Macadam
4. Super Oxide Dismutase
5. Nitro blue tetrazolium
6. Giannopolitis
7. Ries

سدیم ۷ درصد به مخلوط واکنش اضافه شد و حجم نهایی با استفاده از آب مقطر به ۶ میلی لیتر رسانده شد. فالكون‌ها به مدت ۹۰ دقیقه درون حمام بن‌ماری ۳۰ درجه سانتی‌گراد (شرایط تاریکی) قرار داده شدند. جذب نمونه‌ها نیز در طول موج ۷۲۵ نانومتر با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. این روش برای کلیه محلول‌های استاندارد اسید گالیک و رسم منحنی کالیبراسیون استاندارد به کار برده شد (اوچیک<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۱).

### ۹.۳. اندازه‌گیری فلاونوئید برگ

میزان فلاونوئید به روش رنگ‌سنجی آلومینیوم کلرید اندازه‌گیری شد. در این روش ۰/۵ میلی لیتر از محلول عصاره با ۱/۵ میلی لیتر اتانول ۹۵ درصد، ۰/۱ میلی لیتر آلومینیوم کلرید ۱۰ درصد، ۰/۱ میلی لیتر استات پتاسیم ۱ مولار و ۲/۸ میلی لیتر آب مقطر مخلوط شد. بعد از نگهداری نمونه‌ها در دمای اتاق به مدت ۳۰ دقیقه، جذب مخلوط در طول موج ۴۱۵ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu UV-160 - کشور ژاپن) قرائت شد. به منظور رسم منحنی از استاندارد کوئرستین استفاده شد (چانگ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۲).

### ۱۰.۳. درصد اسانس و عملکرد اسانس اندام هوایی

جهت اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی گیاه و نیز آماده‌سازی نمونه برای تهیه اسانس، گیاهان پس از برداشت به مدت دو هفته در دمای معمولی در شرایط سایه، در محیط آزمایشگاه خشک شدند. جهت محاسبه درصد اسانس موجود در گیاه ابتدا مقدار ۵۰ گرم نمونه خشک گیاه با ترازوی دیجیتال توزین گردید، سپس آن را به داخل بالن ۵۰۰ میلی لیتری انتقال داده و ۲۰ عدد پرل شیشه‌ای به همراه ۲۵۰ میلی لیتر آب به محتویات داخل بالن اضافه گردید. پس از آن بالن به دستگاه اسانس‌گیری (کلونجر) متصل گردید و برای مدت چهار ساعت عمل استخراج اسانس موجود در گیاه انجام گرفت. از حاصل ضرب درصد اسانس در وزن خشک، عملکرد اسانس به دست آمد (یو<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۳).

### ۱۱.۳. آنالیز و واریانس داده‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. کلیه داده‌های به دست آمده حاصل از اندازه‌گیری متغیرها در تحقیق، ابتدا در اکسل<sup>۴</sup> ثبت شده و سپس با نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۳) آنالیز شد. مقایسه میانگین داده‌ها در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد با آزمون چند دامنه‌ای دانکن<sup>۵</sup> بررسی شد. نمودارها در نرم‌افزار اکسل تهیه شدند.

## ۴. یافته‌های پژوهش و بحث

### ۴.۱. صفات وزنی

نتایج نشان داد اثر اصلی تنش شوری و نیز سالیسیلیک‌اسید و سلنات‌سدیم بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اگرچه اثر متقابل تیمارها فقط بر وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار نشان داد (جدول ۲).

1. Ouchikh

2. Chang

3. Yu

4. Excel

5. Duncan's multiple range test



جدول ۲. تجزیه واریانس صفات وزن سرخارگل تحت شوری و محلول‌پاشی با سالیسیلیک‌اسید و سلنات‌سدیم

میانگین مربعات				درجه آزادی	منبع تغییرات
وزن خشک	وزن تر	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر اندام هوایی		
۱/۵۶ <sup>**</sup>	۱۴/۶ <sup>**</sup>	۳/۵۱ <sup>**</sup>	۳۴/۹ <sup>**</sup>	۲	تنش شوری
۰/۰۸ <sup>**</sup>	۰/۷۸ <sup>**</sup>	۰/۱۴ <sup>**</sup>	۱/۵۶ <sup>**</sup>	۴	سالیسیلیک‌اسید و سلنات‌سدیم
۰/۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۲ <sup>o</sup>	۰/۰۶ <sup>ns</sup>	۸	تنش شوری × سالیسیلیک‌اسید و سلنات‌سدیم
۰/۰۰۵	۰/۰۴	۰/۰۰۰۸	۰/۰۵	۳۰	خطا
۳/۸۸	۳/۲	۳/۷	۲/۹۳	-	ضریب تغییرات (درصد)

\*\*، \* و ns: به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

تنش شوری سبب کاهش وزن تر اندام هوایی (۳۱/۷۷ درصد نسبت به شاهد)، وزن تر ریشه (۲۷/۳۶ درصد نسبت به شاهد) و وزن خشک ریشه (۲۸/۰۲ درصد نسبت به شاهد) شد، محلول‌پاشی برگ با سالیسیلیک‌اسید و سلنات‌سدیم سبب افزایش وزن تر اندام هوایی و ریشه و وزن خشک ریشه گیاه گردید، اگرچه بیش‌ترین میزان وزن تر اندام هوایی (۸/۶۰ گرم)، وزن تر ریشه (۶/۴۹ گرم) و وزن خشک ریشه (۲/۰۷ گرم) تحت محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید ۱ میلی‌مولار و پس از آن سلنات‌سدیم ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد (جدول ۳).

جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تنش شوری و سالیسیلیک‌اسید و سلنات‌سدیم بر خصوصیات وزن سرخارگل

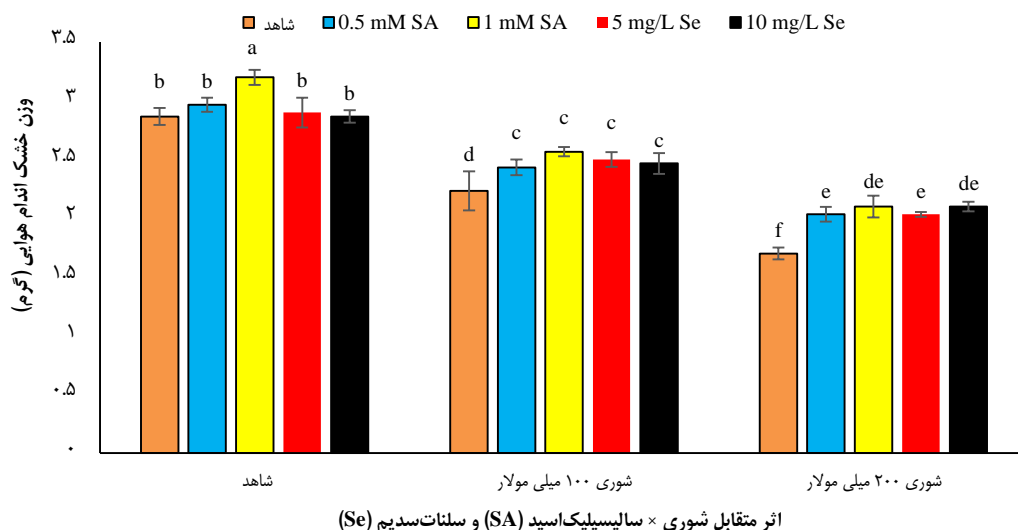
متغیرها	وزن تر اندام هوایی (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)
تیمار تنش شوری (میلی‌مولار)			
۰ (شاهد)	۹/۶۳a	۷/۲۰a	۲/۳۲a
۱۰۰	۸/۰۸b	۶/۲۶b	۱/۹۸b
۲۰۰	۶/۵۷c	۵/۲۳c	۱/۶۷c
تیمار سالیسیلیک‌اسید و سلنات‌سدیم			
عدم محلول‌پاشی	۷/۴۴c	۵/۷۴c	۱/۸۲c
سالیسیلیک‌اسید ۰/۵ میلی‌مولار	۸/۱۷b	۶/۳۸a	۲/۰۳ab
سالیسیلیک‌اسید ۱ میلی‌مولار	۸/۶۰a	۶/۴۹a	۲/۰۷a
سلنات‌سدیم ۵ میلی‌گرم بر لیتر	۸/۰۶b	۶/۱۷b	۱/۹۸b
سلنات‌سدیم ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر	۸/۲۰b	۶/۳۷a	۲/۰۵ab

در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

بیش‌ترین مقدار وزن خشک اندام هوایی در تیمار سالیسیلیک‌اسید ۱ میلی‌مولار بدون تنش شوری با ۸۸ درصد افزایش نسبت به شاهد و کم‌ترین مقدار آن در تیمار تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار بدون محلول‌پاشی گزارش شد (شکل ۱).

بر اساس نتایج اثر اصلی تنش شوری و نیز سالیسیلیک‌اسید و سلنات‌سدیم بر محتوای کلروفیل (a، b و کل) و انباشت سدیم و پتاسیم در برگ گیاه سرخارگل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اگرچه اثر متقابل تیمارها فقط بر میزان سدیم و پتاسیم در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار نشان داد (جدول ۴).

با افزایش شدت تنش شوری، محتوای کلروفیل (a، b و کل) کاهش معنی‌دار پیدا کرد، به طوری که در تنش ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم این کاهش در میزان رنگی‌ه‌های فتوسنتزی بیش‌تر بود. تمامی سطوح سالیسیلیک‌اسید و سلنات‌سدیم سبب افزایش کلروفیل برگ سرخارگل گردید، به طوری که بیش‌ترین مقدار آن در سالیسیلیک‌اسید ۱ میلی‌مولار گزارش شد (جدول ۵).



شکل ۱. اثر متقابل شوری و سالیسیلیک اسید و سلنات سدیم تنش شوری بر وزن خشک اندام هوایی سرخارگل

جدول ۴. تجزیه واریانس کلروفیل، سدیم و پتاسیم برگ سرخارگل تحت شوری و محلول پاشی با سالیسیلیک اسید و سلنات سدیم

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		پتاسیم	سدیم	کلروفیل کل	کلروفیل b
تنش شوری	۲	۳۲۵/۴**	۱۰۱**	۰/۴۸**	۰/۰۷۷**
سالیسیلیک اسید و سلنات سدیم	۴	۲۵/۷**	۶/۷**	۰/۰۴**	۰/۰۰۳**
تنش شوری × سالیسیلیک اسید و سلنات سدیم	۸	۲/۸**	۲/۶**	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۳ <sup>ns</sup>
خطا	۳۰	۰/۵۴	۰/۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۷
ضریب تغییرات (درصد)	-	۲/۶	۴/۲۱	۲/۱۵	۳/۲۷

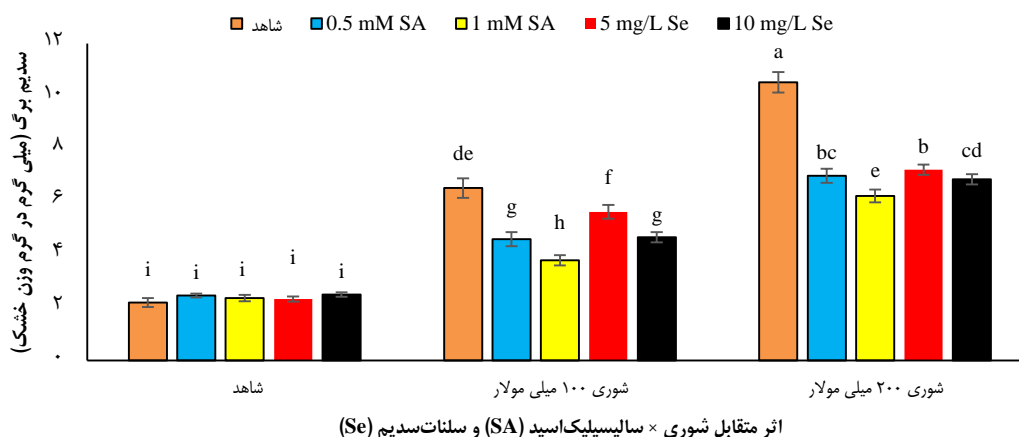
\*\*، \*، ns: به ترتیب وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و بدون اختلاف معنی دار.

جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تنش شوری و سالیسیلیک اسید و سلنات سدیم بر محتوای کلروفیل، آب نسبی برگ و عملکرد اسانس سرخارگل

متغیرها	کلروفیل a (میلی گرم در گرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی گرم در گرم وزن تر)	کلروفیل کل (میلی گرم در گرم وزن تر)	محتوای نسبی آب برگ (درصد)	عملکرد اسانس (میلی گرم در بوته)
تیمار تنش شوری (میلی مولار)					
صفر (شاهد)	۱/۱۸a	۰/۴۵a	۱/۷۸a	۸۹/۶۰a	۱۰/۳۹a
۱۰۰	۱/۰۵b	۰/۳۷b	۱/۵۷b	۸۲/۴۷b	۸/۹۹b
۲۰۰	۰/۹۶c	۰/۳۱c	۱/۴۲c	۷۴/۴۰c	۶/۴۸c
تیمار سالیسیلیک اسید و سلنات سدیم					
عدم محلول پاشی	۰/۹۹c	۰/۳۵d	۱/۴۹d	۷۸/۴۴c	۷/۵۴c
سالیسیلیک اسید ۰/۵ میلی مولار	۱/۰۸b	۰/۳۹b	۱/۶۲b	۸۲/۳۳b	۸/۶۲b
سالیسیلیک اسید ۱ میلی مولار	۱/۱۲a	۰/۴۰a	۱/۶۷a	۸۳/۸۹a	۹/۶۲a
سلنات سدیم ۵ میلی گرم بر لیتر	۱/۰۶b	۰/۳۶c	۱/۵۷c	۸۲/۳۳b	۸/۵۶b
سلنات سدیم ۱۰ میلی گرم بر لیتر	۱/۰۷b	۰/۳۸b	۱/۶۰bc	۸۳/۷۹a	۸/۷۶b

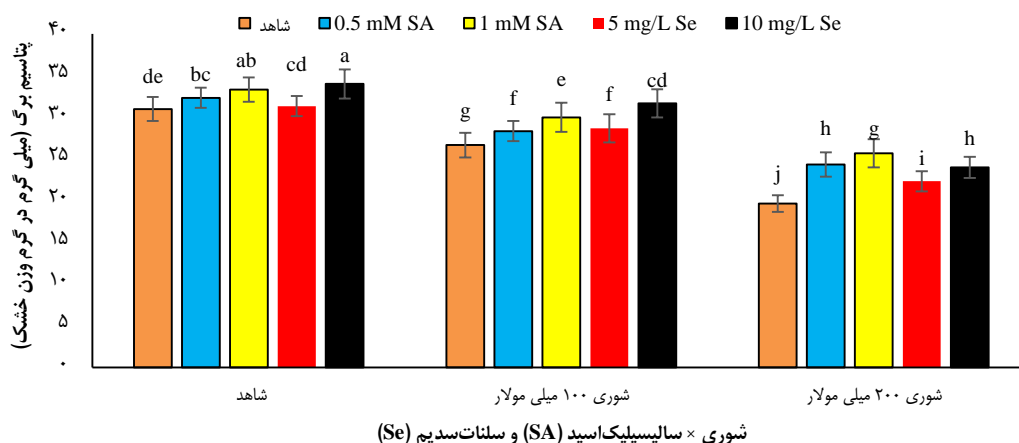
در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

بیشترین مقدار سدیم برگ در تنش شوری ۲۰۰ میلی مولار بدون محلول پاشی برگ مشاهده شد (شکل ۲).



شکل ۲. اثر متقابل شوری و سالیسیلیک‌اسید و سلنات‌سدیم تنش شوری بر سدیم برگ سرخارگل

در شرایط بدون محلول‌پاشی، شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار سبب کاهش ۱۳ و ۳۲ درصدی پتاسیم برگ شد. در شرایط تنش شوری شدید، محلول‌پاشی برگ با سالیسیلیک‌اسید ۱ میلی‌مولار سبب افزایش ۳۰ درصدی پتاسیم برگ نسبت به شرایط بدون محلول‌پاشی شد (شکل ۳).



شکل ۳. اثر متقابل شوری و سالیسیلیک‌اسید و سلنات‌سدیم تنش شوری بر پتاسیم برگ سرخارگل

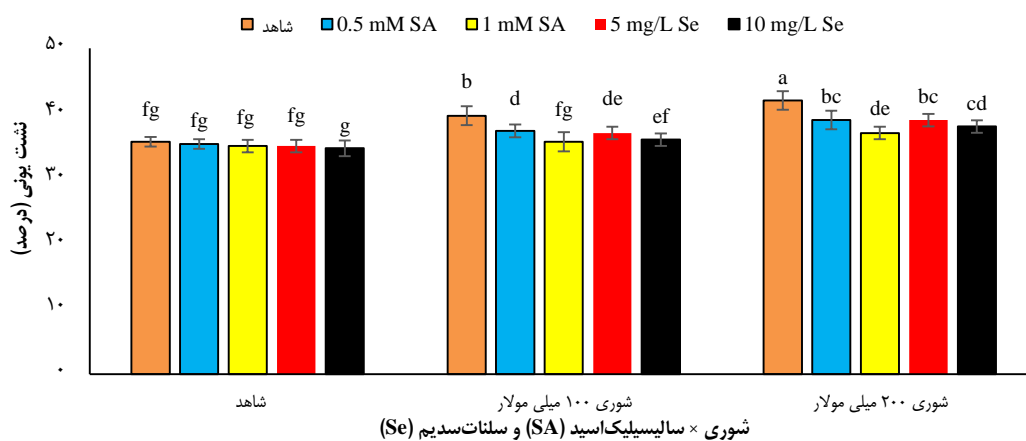
اثر اصلی تنش شوری و نیز سالیسیلیک‌اسید و سلنات‌سدیم بر محتوای نسبی آب برگ، میزان نشت یونی، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود، هم‌چنین اثر متقابل تیمارها بر میزان نشت یونی و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار نشان داد (جدول ۶). گیاهان تحت تنش شوری دارای محتوای نسبی آب برگ کم‌تری نسبت به شاهد بودند، به‌طوری‌که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار آن به‌ترتیب در تیمار شاهد و شوری ۲۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم حاصل شد. محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید و سلنات‌سدیم سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ شد، بیش‌ترین مقدار آن در تیمار ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید (۸۳/۸ درصد) و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر سلنات‌سدیم (۸۳/۷ درصد) به‌دست آمد و کم‌ترین مقدار آن در تیمار شاهد (۷۸/۴ درصد) مشاهده شد (جدول ۷).

جدول ۶. تجزیه واریانس برخی صفات فیزیولوژیک و آنزیم آنتی‌اکسیدانی تحت شوری و محلول‌پاشی با سالیسیلیک‌اسید و سلنات سدیم

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		RWC	نشت یونی	کاتالاز
تنش شوری	۲	۸۶۷/۴**	۵۶/۰۸**	۰/۳۹**
سالیسیلیک‌اسید و سلنات سدیم	۴	۴۳/۸**	۱۴/۱۸**	۰/۰۱۱**
تنش شوری × سالیسیلیک‌اسید و سلنات سدیم	۸	۳/۳۳ <sup>ns</sup>	۲/۰۸**	۰/۰۰۹**
خطا	۳۰	۲/۰۱	۰/۳۶	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱/۷۲	۱/۶۳	۴/۲۲
سوپراکسید دیسموتاز				۵۵/۹۱**
				۰/۸۲**
				۰/۶۰**
				۰/۰۲۳
				۳/۶۷

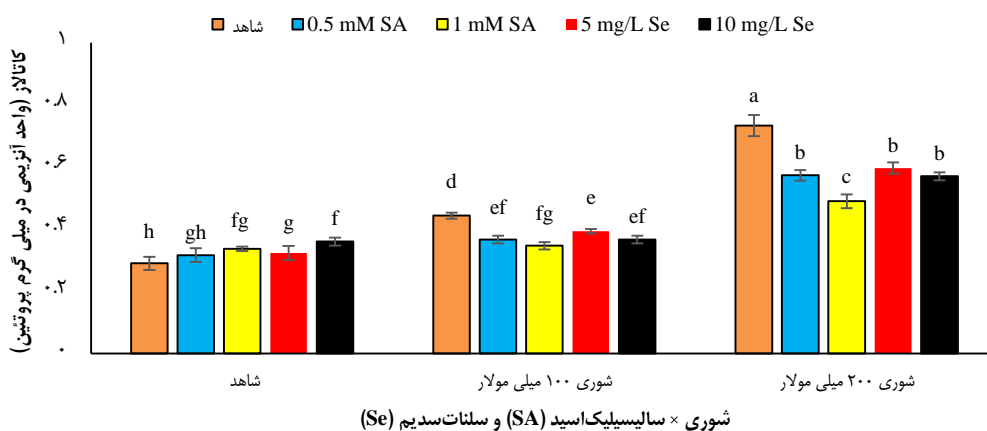
\*\*، \* و ns به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

بیش‌ترین مقدار نشت یونی در تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار بدون محلول‌پاشی با ۱۵/۰۷ درصد افزایش نسبت به شاهد (عدم تنش شوری و عدم محلول‌پاشی) گزارش شد (شکل ۴).



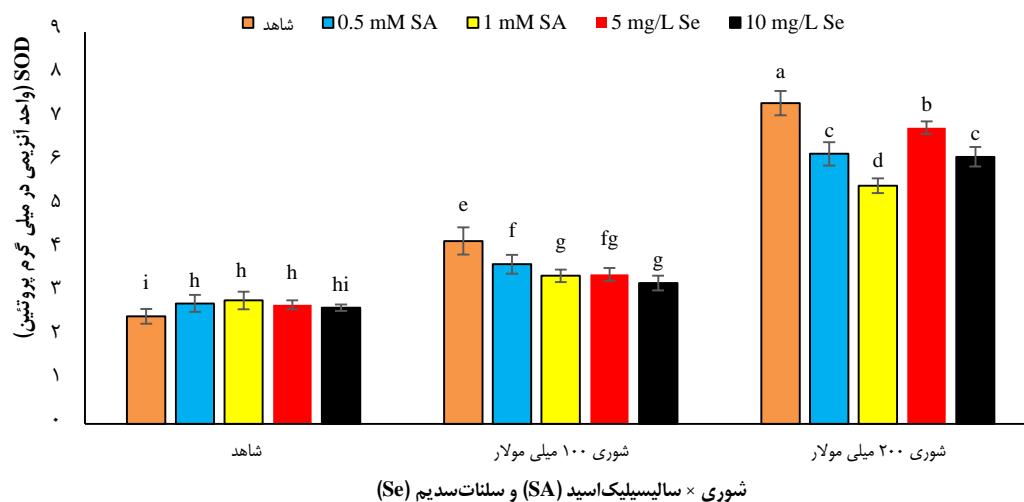
شکل ۴. اثر متقابل شوری و سالیسیلیک‌اسید و سلنات سدیم تنش شوری بر نشت یونی سرخارگل

بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز در تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار بدون محلول‌پاشی با ۶۰/۲۷ درصد افزایش نسبت به شاهد گزارش شد (شکل ۵).



شکل ۵. اثر متقابل شوری و سالیسیلیک‌اسید و سلنات سدیم تنش شوری بر فعالیت کاتالاز سرخارگل

بیش‌ترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار بدون محلول‌پاشی با ۶۶/۴۹ درصد افزایش نسبت به شاهد گزارش شد. در شرایط تنش شوری شدید، همه سطوح محلول‌پاشی سالیسیلیک/اسید و سلنات سدیم سبب کاهش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به‌طوری‌که بیش‌ترین کاهش در سالیسیلیک/اسید ۱ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل ۶).



شکل ۶. اثر متقابل شوری و سالیسیلیک/اسید و سلنات سدیم تنش شوری بر فعالیت سوپراکسید دیسموتاز سرخارگل

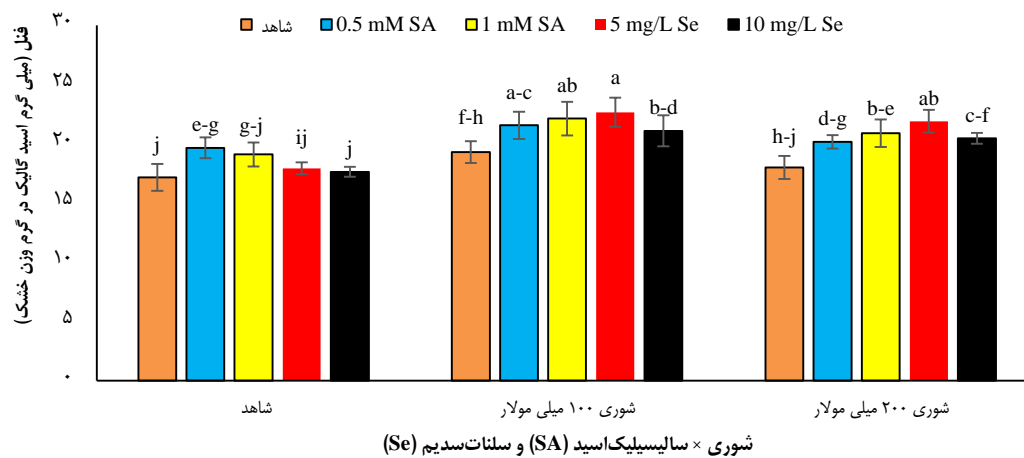
نتایج نشان داد اثر اصلی تنش شوری و نیز سالیسیلیک/اسید و سلنات سدیم بر فنل و فلاونوئید کل، درصد و عملکرد اسانس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، هم‌چنین اثر متقابل تیمارها بر میزان فنل و فلاونوئید کل و درصد اسانس در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار نشان داد (جدول ۲).

جدول ۷. تجزیه واریانس فنل، فلاونوئید و اسانس تحت شوری و محلول‌پاشی با سالیسیلیک/اسید و سلنات سدیم

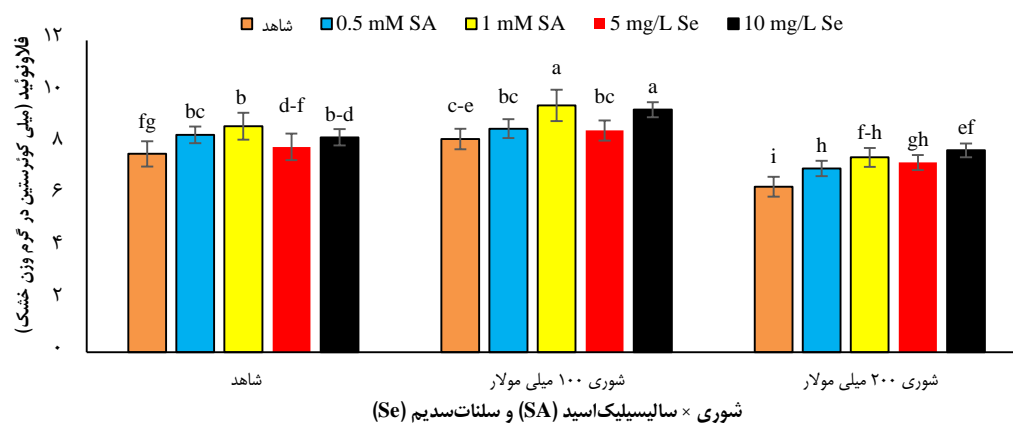
منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		فنل کل	فلاونوئید کل	درصد اسانس
تنش شوری	۲	۳۶/۰۱**	۱۰/۱۳**	۰/۰۰۷**
سالیسیلیک/اسید و سلنات سدیم	۴	۱۱/۰۱**	۱/۹۶**	۰/۰۰۱**
تنش شوری × سالیسیلیک/اسید و سلنات سدیم	۸	۱/۷۳*	۰/۱۶*	۰/۰۰۰۲*
خطا	۳۰	۰/۶۷	۰/۰۶	۰/۰۰۰۱
ضریب تغییرات (درصد)	-	۳/۹۹	۳/۲۴	۲/۸۳

\*\*، \* و ns: به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

بیش‌ترین فنل کل برگ در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار با محلول‌پاشی با سلنات سدیم ۵ میلی‌گرم در لیتر (۲۲/۶۷ میلی‌گرم اسید گالیک در گرم وزن خشک) به‌دست آمد (شکل ۷).  
بیش‌ترین فلاونوئید کل برگ در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار با محلول‌پاشی با سلنات سدیم ۵ میلی‌گرم در لیتر و تنش ۱۰۰ میلی‌مولار با سالیسیلیک/اسید ۱ میلی‌مولار به ترتیب با ۲۲ و ۲۴ درصد نسبت به شاهد حاصل شد (شکل ۸).

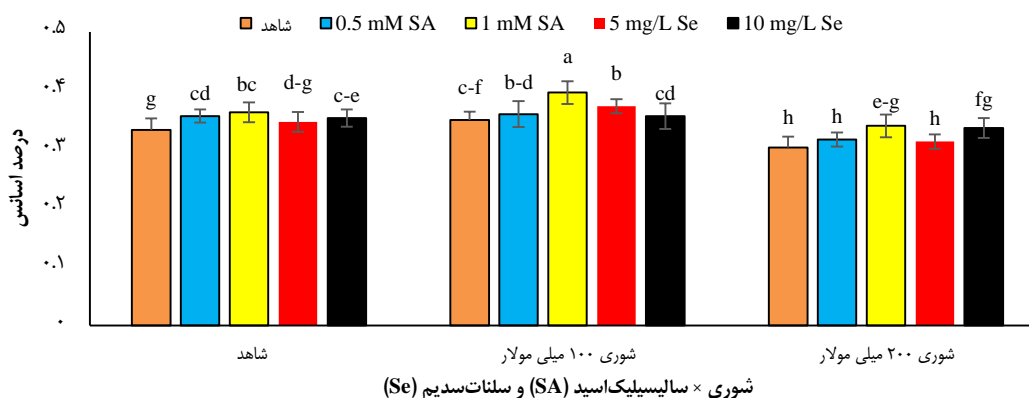


شکل ۷. اثر متقابل شوری و سالیسیلیک‌اسید و سلنات‌سدیم تنش شوری بر فنل کل سرخارگل



شکل ۸. اثر متقابل شوری و سالیسیلیک‌اسید و سلنات‌سدیم تنش شوری بر فلاونوئید کل سرخارگل

بیشترین درصد اسانس در تنش شوری ۱۰۰ میلی مولار و سالیسیلیک‌اسید ۱ میلی مولار ۰/۴۰ درصد مشاهده شد که نسبت به شاهد ۲۱/۲۱ درصد افزایش نشان داد (شکل ۹).



شکل ۹. اثر متقابل شوری و سالیسیلیک‌اسید و سلنات‌سدیم تنش شوری بر درصد اسانس سرخارگل

تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم سبب کاهش ۳۷ درصدی عملکرد اسانس شد. محلول‌پاشی برگی با سالیسیلیک‌اسید و سلنات سدیم سبب افزایش عملکرد اسانس شد (جدول ۵).

## ۵. بحث

سمیت یون‌های نمک سدیم و کلر می‌تواند بر فتوسنتز، فیتوهورمون‌ها، تعادل وضعیت آب گیاه و هموستاز مواد مغذی تأثیر منفی بگذارد که سبب کاهش رشد می‌شود. به‌نظر می‌رسد توقف رشد طولی گیاه با افزایش شوری به سبب اثرات مخرب سدیم و جلوگیری از تأمین عناصر ضروری باشد. اثرهای منفی شوری بر رشد گیاه، به‌علت پتانسیل اسمزی پایین محلول خاک (تنش اسمزی)، عدم تعادل عناصر غذایی یا مجموعه این عوامل ایجاد می‌شود، لذا هنگامی که گیاه در شرایط شور رشد می‌کند فعالیت فتوسنتزی آن کاهش یافته و منجر به کاهش رشد می‌گردد. با افزایش غلظت املاح، فشار اسمزی محلول خاک زیاد می‌شود، در نتیجه مقدار انرژی که گیاه باید صرف جذب آب از خاک نماید افزایش می‌یابد که این عمل باعث کاهش جذب آب، افزایش تنفس و کاهش رشد گیاه می‌شود (امیری‌پور<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). در این مطالعه، سالیسیلیک‌اسید و سلنات سدیم اثر مثبتی بر بیوماس گیاه سرخارگل داشتند که نقش سالیسیلیک‌اسید ۱ میلی‌مولار پررنگ‌تر بود. نتایج حاصل از تیمار سالیسیلیک‌اسید بر پارامترهای رشدی حاکی از تأثیر مثبت و معنی‌دار این ماده بر بهبود شرایط رشد گیاه است. سالیسیلیک‌اسید یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی می‌باشد که در مقادیر کم و زیاد اثرات متفاوتی بر رشد و فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه می‌گذارد. سالیسیلیک‌اسید سبب افزایش تقسیم سلولی مریستم انتهایی گیاه شده و از این طریق رشد و عملکرد گیاه افزایش یافته است. در شرایط تنش شوری، سالیسیلیک‌اسید نقش مهمی در کاهش جذب عناصر سدیم و کلر، افزایش میزان فتوسنتز و حفظ تعادل اسمزی در گیاه دارد (سوری<sup>۲</sup> و توحیدلو<sup>۳</sup>، ۲۰۱۹). افزایش بیوماس گیاهی در شرایط تنش شوری توسط سالیسیلیک‌اسید در گیاهان باقلا (داوود<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۲)، خرفه (فتحی<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۹) و شنبلله (محمد<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۹) گزارش شد که همسو با نتایج پژوهش حاضر است. در پژوهش‌های پیشین نشان داده شد که سلنیم در گیاهان دارای محدوده حساسی بین مقدار ضروری و سمی آن است. در مقادیر کم، می‌تواند رشد گیاه را از طریق ارتقای کارایی فتوسنتز و تقویت سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی کلروپلاست افزایش دهد. سلنیم در سطوح بهینه می‌تواند رشد گیاه را تحریک کرده و تحمل نمک را در گیاه افزایش دهد. در مقابل، سطوح بالای سلنیم می‌تواند باعث مهار قابل توجهی برای رشد گیاه و ویژگی‌های مختلف بیوشیمیایی مانند فتوسنتز و هموستاز یونی شود. پژوهش‌ها نشان داده است که سلنیم می‌تواند رشدونمو گیاهان تحت تنش شوری را با مکانیسم‌های مختلف افزایش دهند (ذوالفقار<sup>۷</sup> و اشرف<sup>۸</sup>، ۲۰۲۱؛ علی<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). هم‌چنین کاربرد سلنیم در افزایش وزن گیاه گیاه توت‌فرنگی در شرایط تنش شوری گزارش شد (پورابراهیمی<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۲۳) که تأییدکننده نتایج پژوهش حاضر است. میزان کلروفیل در گیاهان زنده یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی به‌شمار می‌رود. از عوامل کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش شوری می‌توان به تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی،

1. Amiripour
2. Souri
3. Tohidloo
4. Dawood
5. Fathi
6. Mohammad
7. Zulfqar
8. Ashraf
9. Ali
10. Pourebrahimi

فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها، واکنش آن‌ها با رادیکال اکسیژن، تخریب پیش ماده‌های سنتز کلروفیل و ممانعت از بیوسنتز کلروفیل‌های جدید و فعال شدن آنزیم‌های تجزیه‌کننده کلروفیل از جمله کلروفیل‌از و اختلالات هورمونی اشاره کرد. محتوای کلروفیل برگ به‌عنوان یک عامل مهم در تعیین ظرفیت فتوسنتزی برگ محسوب می‌شود و کاهش محتوای کلروفیل به‌عنوان یک عامل غیرروزی می‌تواند منجر به کاهش ظرفیت فتوسنتزی برگ شود (حمید<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۳). علاوه بر این، تنش شوری در جذب برخی عناصر ضروری نظیر آهن و منیزیم اختلال ایجاد می‌کند که این عناصر در سنتز کلروفیل ضروری می‌باشند (وانگرامفا<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). تنش شوری باعث پیری زودرس برگ‌ها، شکسته‌شدن کلروپلاست و کاهش میزان کلروفیل می‌شود. کاهش کلروفیل منجر به کاهش فتوسنتز می‌شود و گیاهانی که در زمان تنش میزان کلروفیل بیش‌تری را حفظ کنند، کارایی فتوسنتز بیش‌تری دارند و در برابر تنش مقاوم هستند (رادوان<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۳). کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش شوری به‌دلیل فعالیت بیش‌تر کلروفیل‌از است. بعضی از مواد تنظیم‌کننده رشد مانند آبسازیک‌اسید و اتیلن که میزان آن‌ها در شرایط تنش افزایش می‌یابد موجب تحریک فعالیت این آنزیم می‌شود. هم‌چنین کاهش میزان سبزینه می‌تواند به‌دلیل تغییر سوخت‌وساز نیتروژن در رابطه با ساخت ترکیب‌هایی اسید آمینه پرولین باشد که در شرایط تنش برای تحقق تنظیم اسمزی تولید می‌شود (امیری‌پور<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). کاهش کلروفیل b به مراتب بیش‌تر از کلروفیل a بود. در شرایط تنش، کمپلکس‌های دریافت‌کننده نور بیش‌تر به کلروپلاست و کلروفیل b آسیب می‌بینند که باعث کاهش شدید کلروفیل تحت تنش خواهد شد (لو<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۳). سالیسیلیک‌اسید سبب افزایش ظرفیت فتوسنتزی و افزایش نرخ فتوسنتز در گیاهان می‌شود. سالیسیلیک‌اسید یک مولکول سیگنال‌دهی است که در مقاومت اکتسابی موضعی و سیستمیک در برابر پاتوژن‌ها و هم‌چنین در سازگاری با برخی عوامل استرس‌زای غیرزیستی نقش دارد، ممکن است به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر فرایندهای فیزیولوژیکی مختلف از جمله فتوسنتز تأثیر بگذارد. اثرات سالیسیلیک‌اسید بر روی فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه تحت شرایط محیطی بهینه مورد بحث است. نحوه عملکرد آن تا حد زیادی به عوامل مختلفی مانند گونه گیاهی، شرایط محیطی (نور، دما و غیره) و غلظت بستگی دارد. سالیسیلیک‌اسید بستگی دارد. کاربرد خارجی سالیسیلیک‌اسید ممکن است اثرات مخرب عوامل استرسی مختلف را کاهش دهد و این محافظت ممکن است به‌عنوان ظرفیت فتوسنتزی بالاتر نیز آشکار شود (کاتور<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۲۲). در پژوهشی مشابه روی گشنیز به نقش مهم سالیسیلیک‌اسید در افزایش محتوای فتوسنتزی اشاره شد (افشاری<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۲۱) که همسو با نتایج پژوهش حاضر است. افزایش محتوای فتوسنتزی تحت تأثیر نانوذرات سلنیم در شرایط تنش شوری برای گیاهان خیار گزارش شد (موسوی<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۲۲) گزارش شد که همسو با نتایج پژوهش حاضر است. هم‌چنین نقش مهم سلنات‌سدیم در افزایش محتوای فتوسنتزی گیاه برنج در شرایط تنش شوری گزارش شد (سابرامانیام<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۹).

شوری یکی از تنش‌های اصلی محیط به حضور غلظت زیاد نمک‌های محلول در خاک اطراف ریشه مربوط می‌شود. غلظت‌های زیاد نمک‌های محلول با افزایش فشار اسمزی، سمیت یونی و محدودکردن جذب آب از ریشه بر رشد گیاهان

1. Hameed
2. Wungrampha
3. Radwan
4. Amiripour
5. Lu
6. Kaur
7. Afshari
8. Mousavi
9. Subramanyam



و در نتیجه تولید کشاورزی اثر می‌گذارند. بخش اصلی بازدارندگی رشد، با تجمع سدیم اضافی در خاک ایجاد می‌شود (فو<sup>۱</sup> و یانگ<sup>۲</sup>، ۲۰۲۳). مقدار کاهش رشد گیاه در شرایط شوری به ترکیب و غلظت نمک، مرحله فیزیولوژیک گیاه و گونه گیاهی بستگی دارد (جلیلی<sup>۳</sup> و انصاری<sup>۴</sup>، ۲۰۱۹). غلظت بالای سدیم در گیاه می‌تواند منجر به آسیب اسمزی و استرس اکسیداتیو شود و متابولیسم‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را تحت تأثیر قرار دهد و در نتیجه باعث کاهش رشد گیاه شود (باترا<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۳). در پژوهشی مشابه کاهش عناصر پتاسیم، کلسیم و منیزیم و افزایش کلر و سدیم تحت تنش شوری در گیاهان آویشن باغی<sup>۶</sup> و آویشن دناهی<sup>۷</sup> گزارش شد (امامی بیستگانی<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). در شرایط تنش شوری، سطوح بالای سدیم نه تنها از جذب پتاسیم توسط ریشه جلوگیری می‌کند و محتوای پتاسیم را کاهش می‌دهد، بلکه یکپارچگی غشای ریشه را مختل می‌کند و بر نفوذپذیری انتخابی آن تأثیر می‌گذارد. در نتیجه، پراکسیداسیون لیپیدی با فعال کردن کانال‌های جریان پتاسیم باعث نشت پتاسیم می‌شود (ژانگ<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۲۳). نسبت سدیم به پتاسیم غشای سلولی نقش مهمی در باز و بسته شدن منافذ روزنه و کنترل فرایند فتوسنتز دارند. بنابراین، تنظیم غلظت عناصر در روزنه‌ها برای حفظ ظرفیت فتوسنتزی بهینه در شرایط تنش شوری مورد نیاز است. بنابراین حفظ نسبت سدیم به پتاسیم مهم‌ترین عامل در تحمل به شوری است. مشخص شده است که سلنیم، رشد گیاه را با افزایش تولید اکسین درون‌زا بهبود می‌بخشد. بنابراین، تقسیم سلولی را فعال می‌کند، یکپارچگی غشاء را حفظ می‌کند، فسفولیپیدها را ذخیره می‌کند، سنتز پروتئین را بهبود می‌بخشد، محتوای کلروفیل را افزایش می‌دهد، رادیکال‌های آزاد را از بین می‌برد و در نهایت مواد مغذی را منتقل می‌کند (باباش پور-اصل<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۲۲). سلنیم مانع تجمع سدیم و کلر در اندام هوایی گیاه بادرنجبویه در شرایط تنش شوری شد (قاسمیان<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۱).

تغییر محتوای نسبی آب برگ یک راه کارآمد برای تنظیم فشار اسمزی و حفظ تورژسانس سلولی است. محتوای نسبی آب برگ را می‌توان به‌عنوان نشانگر شرایط تنش استفاده کرد، زیرا با حجم سلول و شاخص خوبی از وضعیت آب در گیاهان و مقدار تعرق است (باباش پور-اصل<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۲). در شرایط افزایش محتوای نسبی آب برگ، گیاه تورژسانس سلولی خود را حفظ می‌کند و به رشد خود ادامه می‌دهد. در مطالعه حاضر سالیسیلیک/اسید و سلنیم باعث افزایش در محتوای نسبی آب برگ شد، که همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، هر دو ماده سبب تقویت سیستم ریشه‌ای گیاه و افزایش ظرفیت نگهداری آب در گیاه می‌شود (موسوی<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۲). افزایش محتوای نسبی آب برگ با سلنیم در شرایط تنش شوری در انگور<sup>۱۴</sup> گزارش شد (کریمی<sup>۱۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۰) که تأییدکننده نتایج پژوهش حاضر است. در پژوهشی روی شش وارپته کلز، سالیسیلیک/اسید نقش مهمی در افزایش محتوای نسبی آب برگ داشت (مرادی<sup>۱۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۳).

1. Fu
2. Yang
3. Jalil
4. Ansari
5. Batra
6. *Thymus vulgaris*
7. *Thymus daenensis*
8. Emami Bistgani
9. Zhang
10. Babashpour-Asl
11. Ghasemian
12. Babashpour-Asl
13. Mousavi
14. *Vitis vinifera*
15. Karimi
16. Moradi

بیش‌ترین مقدار نشت یونی در تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار بدون محلول‌پاشی با ۱۸ درصد افزایش نسبت به شاهد گزارش شد. نشت یونی از پارامترهای مهم و اساسی در بررسی آسیب‌های غشایی در گیاه می‌باشد که در شرایط تنش آسیب‌های غشایی رخ می‌دهد و گیاه با بحران روبه‌رو می‌شود. وقتی که شدت تنش زیاد باشد، میزان آسیب‌های غشایی و نشت یونی افزایش و گیاه به سمت نابودی پیش می‌رود. در پژوهشی افزایش نشت یونی تحت تنش خشکی و کادمیم و کاهش آن با کاربرد نانوذره سیلیکون گزارش شد (خان<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). در مطالعه‌ای، تأثیر سالیسیلیک‌اسید بر افزایش یکپارچگی غشای سلولی که توسط شاخص پایداری غشا ارزیابی می‌شود، بیان شد (سیلوا<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۳). افزایش نشت یونی در شرایط تنش با کاربرد سلنیم روی کاهو گزارش شد (توفیل<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۳).

وقتی گیاه در شرایط تنش قرار می‌گیرد، رادیکال آزاد اکسیژن افزایش و سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه برای خنثی کردن مقدار رادیکال آزاد اکسیژن فعالیت خود را افزایش می‌دهند. اجزای آنزیمی ممکن است به‌طور مستقیم رادیکال آزاد اکسیژن را از بین ببرند یا با تولید آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی عمل کنند. آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی برای حفظ یکپارچگی غشاهای فتوسنتز تحت فشار اکسیداتیو همکاری می‌کنند (کیثاوات<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۳). سیلیکون با کاهش تجمع گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر و پراکسیداسیون لیپیدها، آسیب اکسیداتیو ناشی از استرس را خنثی می‌کنند (خان<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). عمده فعالیت‌های آنزیم دفاعی آنتی‌اکسیدان‌ها تا حد زیادی توسط سیلیکون تحریک شدند. سیلیکون به‌عنوان علامتی برای واکنش‌های دفاعی گیاه در برابر تنش‌ها می‌باشد. این عنصر با اتصال به گروه‌های هیدروکسیل پروتئین‌ها در برابر تنش نقش داشته و سبب تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر کیتیناز می‌شود (یان<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). تخریب کارآمد  $O_2^-$  و  $H_2O_2$  در سلول‌های گیاهی به عملکرد هماهنگ آنتی‌اکسیدان‌ها نیاز دارد.  $O_2^-$  می‌تواند توسط سوپراکسید دیسموتاز در کلروپلاست، میتوکندری، سیتوپلاسم و پراکسیزوم به  $H_2O_2$  تبدیل شود تا از آسیب سلول جلوگیری کند و  $H_2O_2$  یک گونه سمی، هم‌چنین باید با تبدیل به  $H_2O$  در واکنش‌های بعدی شامل پراکسیداز که سطح  $H_2O_2$  را در گیاهان تنظیم می‌کنند، حذف شود (دکراس<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). در پژوهشی مشابه، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در شرایط تنش شوری برای مقابله با ROS افزایش یافت (اورعی<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۹).

ترکیبات فنلی در جذب و مقابله با رادیکال‌های آزاد، کاهش اکسیژن منفرد و تجزیه پراکسید کاربرد مؤثری دارند (احمد<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). شرایط تنش منجر به کنترل فعالیت‌های آنزیمی درگیر در سنتز پلی‌فنل‌ها می‌شود و باعث مهار مؤثر رادیکال‌های سمی و افزایش رشد گیاه می‌شود (افشاری<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). ترکیبات فنلی در گیاهان ممکن است نیازهای مختلفی را برای جلوگیری از تنش‌ها نشان دهد. در شرایط تنش‌زا، سنتز فنل برای حفظ ساختار سلولی در تقابل با تنش اکسیداتیو بهبود می‌یابد (روحانی<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). تجمع فنل کل تحت تنش کادمیوم نشان داد که ترکیبات فنلی ممکن است ناشی از تنش باشند. یافته‌های این مطالعه مطابق با نتایج پژوهش‌ها در مورد شاهدانه (احمد<sup>۱۲</sup> و همکاران،

1. Khan
2. Silva
3. Tufail
4. Kesawat
5. Khan
6. Yan
7. Decros
8. Oraei
9. Ahmed
10. Afshari
11. Rohani
12. Ahmad

۲۰۱۵) و پسته (روحانی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۹) است که حاکی از افزایش محتوای فنلی کل در شرایط تنش است. در شرایط تنش در گیاهان، ROS بیش از حد تولید می‌شود که بسیار واکنش‌پذیر و سمی است و به کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها آسیب می‌رساند. بنابراین گیاهان سیستم‌های مهار اکسیژن فعال را برای جلوگیری از این آسیب‌ها تقویت می‌کنند. بنابراین افزایش محتوای فنلی به دلیل پتانسیل کاهش رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS) احتمالاً دارای یک استراتژی محافظتی است (کریسارجیریس<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). افزایش محتوای فنلی در شرایط تنش متوسط (۴ دسی‌زیمنس بر متر) در گیاه بادرنجبویه گزارش شد و مقدار آن در تنش شدید (۸ دسی‌زیمنس بر متر) به نسبت روند کاهشی داشت و احتمال می‌رود که با افزایش شوری مقدار آن کم‌تر از مقدار شاهد شود. سلنیم سبب افزایش تولید آمینواسیدها و بهبود مسیرهای تولید فنل مانند مسیر اسید شیکمیک می‌شود و سبب افزایش تجمع این متابولیت ثانویه در گیاه می‌شود. همچنین، در پژوهشی دیگر افزایش بیش‌ترین محتوای فنلی در گیاه مریم‌گلی در شرایط تنش متوسط با کاربرد نانوذرات سلنیم گزارش شد (بختیاری<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۳) که تأییدکننده نتایج پژوهش حاضر است. در پژوهشی اثر نانوذرات سلنیم در کاهش اثر تنش غیرزیستی کادمیم بررسی شد و نتایج نشان داد که سلنیم نقش مهمی در افزایش محتوای فنلی داشت (علاوامله<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۳). در شرایط تنش شوری، ترکیبات فلاونوئیدی نقش مهمی در کاهش اثرات تنش بازی می‌کنند (عظیم<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۳). افزایش محتوای فنل و فلاونوئید در گیاه برنج تحت تنش شوری گزارش شد (ژوان<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۲۲). در پژوهشی مشابه، افزایش محتوای فلاونوئیدی با کاربرد سلنیم در شرایط تنش شوری در گیاه مریم‌گلی گزارش شد (بختیاری<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۲۳) که همسو با نتایج پژوهش حاضر است.

نقش اسانس‌ها در شرایط تنش محافظت از گیاه می‌باشد. افزایش محتوای اسانس گیاهان مختلف تحت تأثیر محرک‌های بیرونی ناشی از تغییر در اندازه و تعداد غده‌های ترشحی اسانس در واحد سطح می‌باشد که سبب تغییر در مقدار اسانس می‌شود (میرزایی<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). در پژوهشی مشابه، افزایش محتوای اسانس بومادران با کاربرد سالیسیلیک‌اسید گزارش شد (گرنی<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). افزایش درصد اسانس در شرایط تنش متوسط با کاربرد سلنیم در گیاه بادرنجبویه (قاسمیان<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۲۱) و گشنیز (باباش‌پور-اصل<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۲) گزارش شده است که تأییدکننده نتایج پژوهش حاضر است. سالیسیلیک‌اسید و سلنیم با تعدیل اثرات مضر تنش شوری سبب بهبود عملکرد اسانس شد. تنش‌های غیرزیستی می‌توانند بر تولید اسانس در گیاهان معطر تأثیر بگذارند (معماری-تبریزی<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). تولید اسانس می‌تواند تحت تأثیر تنش‌های غیرزیستی مختلف از طریق تغییرات در تراکم غدد اسانس قرار گیرد (اس-سبیهی<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). کاهش سطح برگ و افزایش تعداد غدد اسانس در سطح برگ منجر به افزایش تولید اسانس می‌شود (میرزایی<sup>۱۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). در پژوهشی مشابه، افزایش عملکرد اسانس مریم‌گلی با کاربرد سالیسیلیک‌اسید گزارش شد (اس-سبیهی<sup>۱۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۰).

1. Rohani
2. Chrysargyris
3. Bakhtiari
4. Alawamleh
5. Azeem
6. Xuan
7. akhtiari
8. Mirzaie
9. Gorni
10. Ghasemian
11. Babashpour-Asl
12. Memari-Tabrizi
13. Es-sbihi
14. Mirzaie
15. Es-sbihi

## ۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر تفاوت معنی‌دار اثر تنش شوری و سالیسیلیک‌اسید و سلنات‌سدیم بر تمامی صفات مورد مطالعه شامل خصوصیات وزن بوته سرخارگل بود. هم‌چنین میزان فعالیت آنزیم‌های اکسیدان و ترکیباتی چون فنل و فلاونوئید تحت اثر اصلی تیمارها تفاوت معنی‌دار نشان دادند. با افزایش شدت تنش شوری، وزن ریشه و اندام هوایی کاهش پیدا کرد. اگرچه سالیسیلیک‌اسید و سلنات‌سدیم شدت اثر منفی تنش شوری را کم کرد، اما سالیسیلیک‌اسید ۱ میلی‌مولار نسبت به سلنات‌سدیم مؤثرتر بود. افزایش شدت تنش موجب کاهش انباشت پتاسیم و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز و استفاده از سلنات‌سدیم و سالیسیلیک‌اسید موجب بهبود آن شد. در اثر افزایش شدت تنش شوری میزان رنگیزه‌های فتوستزی کاهش و با کاربرد محرک‌های زیستی (به‌ویژه سالیسیلیک‌اسید ۱ میلی‌مولار و سلنات‌سدیم ۵ میلی‌مولار) افزایش یافت. در تیمار تنش شوری ملایم (۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم) فنل و فلاونوئید بیش‌تری در گیاه سنتز شد که سلنات‌سدیم و سالیسیلیک‌اسید موجب هم‌افزایی آن شدند. با افزایش شدت تنش از میزان اسانس گیاه سرخارگل کاسته شد که به موجب استفاده از ترکیبات محرک رشد تا حدودی جبران گردید. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت با توجه به این‌که شوری امروزه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی محسوب می‌شود استفاده از ترکیباتی چون سالیسیلیک‌اسید و سلنات‌سدیم که سبب کاهش اثر منفی تنش در گیاه و حفظ نسبی عملکرد گیاه خواهد شد، قابل توصیه می‌باشد.

## ۷. تشکر و قدردانی

از همکاری ارزشمند دکتر اسماعیل خسروپور دانش‌آموخته دکترای تخصصی رشته جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل دانشگاه تهران در مراحل انجام کار، تشکر و قدردانی می‌گردد.

## ۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

## ۹. منابع

زارع، فرشاد؛ خراسانی‌نژاد، سارا و همتی، خدایار (۱۳۹۷). اثر سیلیسیم در برخی صفات مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) در تنش شوری. *نشریه زیست‌شناسی گیاهی ایران*، ۱۰(۳)، ۶۸-۵۵.

فاضلی، آرش؛ زارعی، بتول و طهماسبی، زهرا (۱۳۹۶). تأثیر تنش شوری و سالیسیلیک‌اسید بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.). *نشریه زیست‌شناسی گیاهی ایران*، ۹(۴)، ۸۴-۶۹.

نیک‌بخت، جعفر؛ محمدی، ابراهیم و برزگر، طاهر (۱۳۹۹). تأثیر محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید در شرایط کم آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب خیار (*Cucumis sativus* cv. Kish F1). *تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)*، ۵۱(۳)، ۵۶۱-۵۵۳.

## References

- Afshari, M., Pazoki, A., & Sadeghipour, O. (2021). Foliar-applied Silicon and its Nanoparticles Stimulates Physio-chemical Changes to Improve Growth, Yield and Active Constituents of Coriander (*Coriandrum sativum* L.) Essential oil Under Different Irrigation Regimes. *Silicon*, 13, 4177-4188.
- Ahmad, Z., Anjum, S., Skalicky, M., Waraich, E.A., Muhammad Sabir Tariq, R., Ayub, M.A., Hossain, A., Hassan, M.M., Brestic, M., Sohikul Islam, M., & Habib-Ur-Rahman, M. (2021). Selenium Alleviates the Adverse Effect of Drought in Oilseed Crops Camelina (*Camelina sativa* L.) and Canola (*Brassica napus* L.). *Molecules*, 26(6), 1699.

- Ahmed, I.A., Mikail, M.A., Bin Ibrahim, M., Bin Hazali, N., Rasad, M.S., Ghani, R.A., Wahab, R. A., Arief, S. J., & Yahya, M. N. (2015). Antioxidant activity and phenolic profile of various morphological parts of underutilized *Baccaurea angulata* fruit. *Food Chemistry*, 172, 778-87.
- Alawamleh, H. S. K., Jabbari, H., Moradkhani, S., & Babashpour-Asl, M. (2023). Cold plasma and foliar-applied selenium nanoparticles modulated cadmium toxicity through changes in physio-biochemical properties and essential oil profile of Sage (*Salvia officinalis* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23, 1-15.
- Ali, M., Afzal, S., Parveen, A., Kamran, M., Javed, M. R., Abbasi, G. H., & Ali, S. (2021). Silicon mediated improvement in the growth and ion homeostasis by decreasing  $\text{Na}^+$  uptake in maize (*Zea mays* L.) cultivars exposed to salinity stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 158, 208-218.
- Amiripour, A., Ghanbari Jahromi, M., Soori, M. K., & Mohammadi Torkashvand, A. (2021). Changes in essential oil composition and fatty acid profile of coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves under salinity and foliar-applied silicon. *Industrial Crops and Products*, 168, 113599.
- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1.
- Azeem, M., Pirjan, K., Qasim, M., Mahmood, A., Javed, T., Muhammad, H., & Rahimi, M. (2023). Salinity stress improves antioxidant potential by modulating physio-biochemical responses in *Moringa oleifera* Lam. *Scientific Reports*, 13(1), 2895.
- Babashpour-Asl, M., Farajzadeh-Memari-Tabrizi, E., & Yousefpour-Dokhanieh, A. (2022). Foliar-applied selenium nanoparticles alleviate cadmium stress through changes in physio-biochemical status and essential oil profile of coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(53), 80021-80031.
- Bakhtiari, M., Sadati, F., & Sadati, S. (2023). Foliar application of silicon, selenium, and zinc nanoparticles can modulate lead and cadmium toxicity in sage (*Salvia officinalis* L.) plants by optimizing growth and biochemical status. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 1-11.
- Batra, N., Kumari, N., & Sharma, V. (2023). Salt stress in plants and amelioration strategies: alleviation of agriculture and livelihood risks after the Covid-19 pandemic. *Vegetos*, 36, 268-274.
- Ben-Hamed, K., Castagna, A., Salem, E., Ranieri, A., & Abdelly, C. (2007) Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions: a comparison of leaf and root antioxidant responses. *Plant Growth Regulation*, 53, 185-194.
- Burlou-Nagy, C., Bănică, F., Jurca, T., Vicaș, L.G., Marian, E., Muresan, M. E., & Pallag, A. (2022). *Echinacea purpurea* (L.) Moench: Biological and Pharmacological Properties. A Review. *Plants*, 11(9), 1244.
- Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3).
- Chapman, H. D., & Pratt, P. F. (1962) Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters. *Soil Science*, 93, 68.
- Chrysargyris, A., Michailidi, E., & Tzortzakis, N. (2018). Physiological and biochemical responses of *Lavandula angustifolia* to salinity under mineral foliar application. *Frontiers in Plant Science*, 9, 489.
- Dawood, M. F., Zaid, A., & Latef, A. A. H. A. (2022). Salicylic acid spraying-induced resilience strategies against the damaging impacts of drought and/or salinity stress in two varieties of *Vicia faba* L. seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41(5), 1919-1942.
- Decros, G., Baldet, P., Beauvoit, B., Stevens, R., Flandin, A., Colombié, S., Gibon, Y., & Pétriacq, P. (2019). Get the balance right: ROS homeostasis and redox signalling in fruit. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1091.
- Dehestani-Ardakani, M., Gholamnezhad, J., Alizadeh, S., Meftahizadeh, H., & Ghorbanpour, M. (2022). Salicylic acid and herbal extracts prolong vase life and improve quality of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) flower. *South African Journal of Botany*, 150, 1192-1204.
- Emami Bistgani, Z., Siadat, A., Bakhshandeh, A. M., Ghasemi Pirbalouti, A., Hashemi, M., Maggi, F., & Morshedloo, M. R. (2018). Application of combined fertilizers improves biomass, essential oil yield, aroma profile, and antioxidant properties of *Thymus daenensis* Celak. *Industrial Crops and Products*, 121(1), 434-440.
- Es-sbihi, F. Z., Hazzoumi, Z., & Amrani Joutei, K. (2020). Effect of salicylic acid foliar application on growth, glandular hairs and essential oil yield in *Salvia officinalis* L. grown under zinc stress. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 7, 1-11.

- Fathi, S., Kharazmi, M., & Najafian, S. (2019). Effects of salicylic acid foliar application on morpho-physiological traits of purslane (*Portulaca oleracea* L.) under salinity stress conditions. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 9(2), 1-9.
- Fazeli, A., Zarei, B., & Tahmasebi, Z. (2017). The effect of salinity stress and salicylic acid on some physiological and biochemical traits of Black cumin (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Plant Biology*, 9(4), 69-84. (In Persian).
- Fu, H., & Yang, Y. (2023). How Plants Tolerate Salt Stress. *Curr. Issues Mol. Biol.* 45, 5914-5934.
- Ghasemian, S., Masoudian, N., Saeid Nematpour, F., & Safipour Afshar, A. (2021). Selenium nanoparticles stimulate growth, physiology, and gene expression to alleviate salt stress in *Melissa officinalis*. *Biologia*, 76(10), 2879-2888.
- Giannopolitis, C. N., & Ries, S. K. (1977) Superoxide Dismutases I. Occurrence in Higher Plants. *Plant Physiology*, 59, 309-314.
- González-García, M., Álvarez, J. C., Pérez, E. Z., Fernandez-Carriba, S., & López, J. G. (2021). Feasibility of a Brief Online Mindfulness and Compassion-Based Intervention to Promote Mental Health Among University Students During the COVID-19 Pandemic. *Mindfulness* (N Y), 12(7), 1685-1695.
- Gorni, P. H., Pacheco, A. C., Moro, A. L., Silva, J. F. A., Moreli, R.R., de Miranda, G. R., & da Silva, R. M. G. (2020). Salicylic acid foliar application increases biomass, nutrient assimilation, primary metabolites and essential oil content in *Achillea millefolium* L. *Scientia Horticulturae*, 270, 109436.
- Hameed, A., Ahmed, M. Z., Hussain, T., Aziz, I., Ahmad, N., Gul, B., & Nielsen, B. L. (2021). Effects of Salinity Stress on Chloroplast Structure and Function. *Cells*, 10(8), 2023.
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. B., Raza, A., Hawrylak-Nowak, B., Matraszek-Gawron, R., Al Mahmud, J., & Fujita, M. (2020). Selenium in plants: Boon or bane? *Environmental and Experimental Botany*, 178, 104170.
- Hosseinfard, M., Stefaniak, S., Ghorbani Javid, M., Soltani, E., Wojtyla, L., & Garnczarska, M. (2022). Contribution of exogenous proline to abiotic stresses tolerance in plants: a review. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(9), 5186.
- Inbar, J., Abramsky, M., Cohen, D., & Chet, I. (1994). Plant growth enhancement and disease control by *Trichoderma harzianum* in vegetable seedlings grown under commercial conditions. *European Journal of Plant Pathology*, 100(5), 337-346.
- Jalil, S. U., & Ansari, M. I. (2019). Nanoparticles and abiotic stress tolerance in plants: synthesis, action, and signaling mechanisms. *Plant Signaling Molecules*, 549-561.
- Karimi, R., Ghabooli, M., Rahimi, J., & Amerian, M. (2020). Effects of foliar selenium application on some physiological and phytochemical parameters of *Vitis vinifera* L. cv. Sultana under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 43(14), 2226-2242.
- Kaur, G., Tak, Y., & Asthir, B. (2022). Salicylic acid: A key signal molecule ameliorating plant stresses. *Cereal Research Communications*, 1-10.
- Kesawat, M. S., Satheesh, N., Kherawat, B. S., Kumar, A., Kim, H. U., Chung, S. M., & Kumar, M. (2023). Regulation of Reactive Oxygen Species during Salt Stress in Plants and Their Crosstalk with Other Signaling Molecules-Current Perspectives and Future Directions. *Plants (Basel)*, 12(4), 864.
- Khan, A., Khan, A. L., Muneer, S., Kim, Y. H., Al-Rawahi, A., & Al-Harrasi, A. (2019). Silicon and Salinity: Crosstalk in Crop-Mediated Stress Tolerance Mechanisms. *Frontiers in Plant Science*, 7(10), 1429.
- Khan, A. Z., Ding, X., Khan, S., Ayaz, T., Fidel, R., & Khan, M. A. (2020). Biochar efficacy for reducing heavy metals uptake by Cilantro (*Coriandrum sativum*) and spinach (*Spinacia oleracea*) to minimize human health risk. *Chemosphere*, 244, 125543.
- Lu, C., Li, L., Liu, X., Chen, M., Wan, S., & Li, G. (2023). Salt Stress Inhibits Photosynthesis and Destroys Chloroplast Structure by Downregulating Chloroplast Development-Related Genes in *Robinia pseudoacacia* Seedlings. *Plants*, 12, 1283.
- MacAdam, J. W., Nelson, C. J., & Sharp, R. E. (1992). Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue. I. Spatial distribution of ionically bound peroxidase activity in genotypes differing in length of elongation zone. *Plant Physiology*, 99, 872-878.
- Memari-Tabrizi, E. F., Yousefpour-Dokhanieh, A., & Babashpour-Asl, M. (2021). Foliar-applied silicon nanoparticles mitigate cadmium stress through physio-chemical changes to improve growth, antioxidant capacity, and essential oil profile of summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 165, 71-79.

- Mirzaie, M., Ladanmoghadam, A. R., Hakimi, L., & Danaee, E. (2020). Water stress modifies essential oil yield and composition, glandular trichomes and stomatal features of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 22(6), 1575-1585.
- Mohammad, F., Wajid, M. A., & Bhat, M. A. (2019). Effect of Salicylic Acid Sprays on the Performance of Fenugreek Grown with Graded Levels of Salinity. *Haya: The Saudi Journal of Life Sciences*, 4, 346-354.
- Moradi, S., Sajedi, N. A., Madani, H., Gomarian, M., & Chavoshi, S. (2023). Integrated effects of nitrogen fertilizer, biochar, and salicylic acid on yield and fatty acid profile of six rapeseed cultivars. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(1), 380-397.
- Mousavi, S.A., Roosta, H.R., Esmailizadeh, M., & Eshghi, S. (2022). Alleviating the adverse effects of salinity and alkalinity stresses on some physiological traits by selenium and silicon foliar applications on cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants. *Journal of Plant Nutrition*, 46(4), 556-573.
- Nikbakht, J., Mohammadi, E., & Barzegar, T. (2020). Effect of salicylic acid foliar application under deficit irrigation conditions on yield and water use efficiency in Cucumber (*Cucumis sativus* cv. Kish F1). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(3), 553-561. (In Persian).
- Oraei, M., Gohari, G., Panahirad, S., Zareei, E., & Zaare-Nahandi, F. (2019). Effect of salicylic acid foliar application on *Vitis vinifera* L. cv. 'sultana' under salinity stress. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 18(2), 159-169.
- Ouchikh, O., Chahed, T., Ksouri, R., Taarit, M. B., Faleh, H., Abdelly, C., & Marzouk, B. (2011). The effects of extraction method on the measured tocopherol level and antioxidant activity of *L. nobilis* vegetative organs. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(1), 103-110.
- Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P., & Prasad, S. M. (2015). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(6), 4056-4075.
- Pourebrahimi, M., Eshghi, S., Ramezani, A., & Faghhi, S. (2023). Selenium and Hydrogen Sulfide Mitigate the Adverse Effects of Salinity on Growth, Yield, and Mineral Nutrient Status in Strawberry. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23, 4218-4232.
- Radwan, A. M., Ahmed, E. A., & Donia, A. M. *et al.* (2023). Priming of *Citrullus lanatus* var. Colocynthoides seeds in seaweed extract improved seed germination, plant growth and performance under salinity conditions. *Scientific Reports*, 13, 11884.
- Rasheed, F., Anjum, N. A., Masood, A., Sofu, A., & Khan, N.A. (2020). The key roles of salicylic acid and sulfur in plant salinity stress tolerance. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-14.
- Ritchie, S. W., Nguyen, H. T., & Holaday, A. S. (1990). Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30(1), 105-111.
- Rohani, N., Daneshmand, F., Vaziri, A., Mahmoudi, M., & Saber-Mahani, F. (2019). Growth and some physiological characteristics of *Pistacia vera* L. cv Ahmad Aghaei in response to cadmium stress and *Glomus mosseae* symbiosis. *South African Journal of Botany*, 124, 499-507.
- Shalaby, T. A., Abd-Elkarim, E., El-Aidy, F., Hamed, E. S., Sharaf-Eldin, M., Taha, N., El-Ramady, H., Bayoumi, Y., & Dos Reis, A. R. (2021). Nano-selenium, silicon and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> boost growth and productivity of cucumber under combined salinity and heat stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 212, 111962.
- Silva, J. M., da Silva Júnior, G. B., Bonifácio, A., Dutra, A. F., de Mello Prado, R., de Alcântara Neto, F., & de Sousa, R. S. (2023). Exogenous salicylic acid alleviates water stress in watermelon plants. *Annals of Applied Biology*, 182(1), 121-130.
- Souri, M. K., & Tohidloo, G. (2019). Effectiveness of different methods of salicylic acid application on growth characteristics of tomato seedlings under salinity. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 6(1), 1-7.
- Subramanyam, K., Du Laing, G., & Van Damme, E. J. (2019). Sodium selenate treatment using a combination of seed priming and foliar spray alleviates salinity stress in rice. *Frontiers in Plant Science*, 10, 116.
- Tavakoli, S., Enteshari, S., & Yousefifard, M. (2020). Investigation of the effect of selenium on growth, antioxidant capacity and secondary metabolites in *Melissa officinalis*. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 10, 3125-3134.
- Tufail, B., Ashraf, K., Abbasi, A., Ali, H. M., Sultan, K., Munir, T., & Zaman, Q. (2023). Effect of Selenium on Growth, Physio-Biochemical and Yield Traits of Lettuce under Limited Water Regimes. *Sustainability*, 15(8), 6804.

- Tyub, S., Dar, S. A., Lone, I. M., Mir, A.H., & Kamili, A. N. (2021). A robust in-vitro protocol for shoot multiplication of *Echinacea angustifolia*. *Current Plant Biology*, 28, 100221.
- Wungrampha, S., Joshi, R., Singla-Pareek, S., & Pareek, A. (2018). Photosynthesis and salinity: are they mutually exclusive? *Photosynthetica*, 56, 366-381.
- Xuan, T. D., Huong, C. T., Quan, N. V., Anh, L. H., Khanh, T. D., & Rayee, R. (2022). Improvement of Salinity Tolerance in Rice Seedlings by Exogenous Magnesium Sulfate Application. *Soil Systems*, 6(3), 69.
- Yan, G., Fan, X., Peng, M., Yin, C., Xiao, Z., & Liang, Y. (2020) Silicon Improves Rice Salinity Resistance by Alleviating Ionic Toxicity and Osmotic Constraint in an Organ-Specific Pattern. *Frontiers in Plant Science*, 11, 260.
- Yang, H., Fang, R., Luo, L., Yang, W., Huang, Q., Yang, C., Hui, W., Gong, W., & Wang, J. (2023) Uncovering the mechanisms of salicylic acid-mediated abiotic stress tolerance in horticultural crops. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1226041.
- Yu, D., Yuan, Y., Jiang, L., Tai, Y., Yang, X., Hu, F., & Xie, Z. (2013). Anti-inflammatory effects of essential oil in *Echinacea purpurea* L. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 26(2), 403-8.
- Zare, F., Khorasaninejad, S., & Hemmati, K. (2018). The effect of silicon on some morpho-physiological and phytochemical traits of Purple Coneflower (*Echinacea purpurea* L.) under salinity stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, 10(3), 55-68. (In Persian).
- Zhang, M., Li, X., Wang, X., Feng, J., & Zhu, S. (2023) Potassium fulvic acid alleviates salt stress of citrus by regulating rhizosphere microbial community, osmotic substances and enzyme activities. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1161469.
- Zulfiqar, F., & Ashraf, M. (2021). Nanoparticles potentially mediate salt stress tolerance in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 160, 257-268.