Plant Prod., 2026, 49(3), 411-427
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.50107.2280
Received: 08 July 2025
Accepted: 20 November 2025

Plant Productions

Research Article

Effects of salicylic acid on morphological and biochemical traits of wild thyme (*Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen.) under salt stress

Hoshang Rahmati[1*], Hooshmand Safari[2]

1. Department of Agriculture, Technical and Engineering Faculty, Payame Noor University, Tehran, Iran
2. Department of Forests and Rangelands Research, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran

Citation: Rahmati, H., & Safari, H. (2026). Effects of salicylic acid on morphological and biochemical traits of wild thyme (*Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen.) under salt stress. *Plant Productions*, 49(3), 411-427.

Abstract

Introduction

Thyme (*Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen.) is one of the most important medicinal plants in Iran. The oil from Thyme species is used in about 288 pharmaceutical products. Essential oils of Thyme species contain many compounds with antioxidant activity. Thyme is one of the most important medicinal and culinary herbs, whose cultivation has recently increased significantly. This is why the effect of environmental factors on the herb's growth, production and biochemical composition is of special importance for the effective cultivation of this plant. Among the various environmental factors affecting crops, salinity of soil and water is a major factor reducing crop yield. Plant hormones, particularly salicylic acid, have been reported to alleviate stress effects on plants.

Materials and Methods

A two-factor factorial experiment was conducted in a greenhouse during the 2022–2023 growing season. The experiment consisted of a completely randomized design (CRD) with three replications. The first factor was NaCl concentration at four levels (0, 50, 100 and 150 mM) while the second factor was salicylic acid (SA) at two levels (0 and 2 mM). For each experimental unit five plants (five pots) were chosen to measure number of stems per plant, plant height, shoot fresh weight, root fresh weight, shoot dry weight, and leaf area. In addition, proline and total protein contents, as well as chlorophyll and carotenoid pigment concentrations, were determined for each experimental unit.

Results and Discussion

Analysis of variance revealed that salinity stress had a significant effect on all measured traits ($p < 0.01$). Salicylic acid significantly affected chlorophyll b and carotenoid contents ($p < 0.05$), while its effect on root fresh weight was not significant. All other traits were significantly affected by

* **Corresponding Author:** Hoshang Rahmati
E-mail: hoshang.rahmatipnu@pnu.ac.ir

© 2026 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

salicylic acid ($p < 0.01$). The interaction between salinity stress and salicylic acid was significant for all traits except root fresh weight ($p < 0.01$). Mean comparisons indicated that increasing salinity levels significantly reduced all agronomic traits and photosynthetic pigment contents. These reductions became significant at 50 mM NaCl, with each salinity level forming a distinct statistical group. In contrast, proline and total protein contents increased with increasing salinity up to 100 mM but declined significantly at 150 mM. Furthermore, salicylic acid application significantly increased all measured traits except root fresh weight and plant height.

Conclusion

Thyme showed moderate tolerance to salinity. Under mild salinity stress (50 mM NaCl, 6.5 dS m^{-1}), SA treatment increased agronomic and biochemical traits of thyme. In higher salinity (100 mM NaCl; approximately 9 dS m^{-1}) thyme plants salicylic acid (2 mM) was able to counteract negative effects caused by high salinity. However, under severe salinity stress (150 mM NaCl; 13 dS m^{-1}) negative effects for thyme plant's agronomic and biochemical characteristics were observed even under application of salicylic acid. In general, salicylic acid at the concentration of 2 mM is recommended to be used in salinity stress up to 9 dS m^{-1} and it moderates stress effects on thyme. The findings of this study suggest that the 2 mM salicylic acid could be used to alleviate salinity stress in thyme at salinity up to 9 dS m^{-1}.

Key words: Photosynthetic pigment, Abiotic stress tolerance, Medicinal plant, Plant hormone, Proline

تولیدات گیاهی، ۱٤۰۵، ٤۹(۳)، ٤۱۱ -٤۲۷
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.50324.2286
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۹

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

ارزیابی اثر سالیسیلیک‌اسید بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و بیوشیمیایی آویشن کوهی (*Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen.) تحت تنش شوری

هوشنگ رحمتی[1]* ، هوشمند صفری[2]

۱- گروه کشاورزی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۲- بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر سالیسیلیک‌اسید بر عملکرد و ویژگی‌های بیوشیمیایی آویشن کوهی تحت شرایط تنش شوری، به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور و سه تکرار، در شرایط گلخانه‌ای طی سال زراعی ۱٤۰٤-۱٤۰۳ در دانشگاه پیام نور استان کرمانشاه اجرا شد. فاکتور اول شامل چهار سطح شوری (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و فاکتور دوم شامل دو سطح سالیسیلیک‌اسید (۰ و ۲ میلی‌مولار) بود. صفات مورفولوژیک شامل تعداد ساقه در بوته، ارتفاع بوته، وزن تر اندام هوایی، وزن تر ریشه، وزن خشک اندام هوایی و سطح برگ و نیز صفات بیوشیمیایی شامل غلظت پرولین، پروتئین کل، رنگدانه‌های کلروفیل (a و b) و کاروتنوئید اندازه‌گیری شدند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اعمال تیمارهای شوری بر تمامی صفات مورد بررسی اثر معنی‌داری در سطح یک درصد داشت. همچنین اثر سالیسیلیک‌اسید بر صفات غلظت کاروتنوئید و کلروفیل b در سطح پنج درصد معنی‌دار و بر سایر صفات (به جز وزن تر ریشه) در سطح یک درصد معنی‌دار بود. در صفت وزن تر ریشه اثر معنی‌داری از تیمار سالیسیلیک‌اسید مشاهده نشد. برهمکنش شوری و سالیسیلیک‌اسید نیز برای تمامی صفات به جز وزن تر ریشه معنی‌دار بود؛ به‌طوری که این اثر در صفات ارتفاع بوته، غلظت پرولین، کلروفیل b و کاروتنوئید در سطح یک درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که افزایش سطوح تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار تمام صفات زراعی و رنگدانه‌های فتوسنتزی شد؛ این کاهش از سطح ۵۰ میلی‌مولار به بالا آغاز شد و هر سطح شوری در گروه آماری جداگانه‌ای قرار گرفت. در مقابل، در صفات غلظت پرولین و پروتئین، روند افزایشی تا سطح ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد و در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار کاهش معنی‌داری رخ داد. استفاده از سالیسیلیک‌اسید در تمامی صفات به جز وزن تر ریشه و ارتفاع بوته، موجب بهبود معنی‌دار واکنش گیاه شد. به طور کلی، آویشن کوهی به عنوان یک گیاه با تحمل متوسط به شوری شناسایی شد. در سطح

نویسنده مسئول: هوشنگ رحمتی
رایانامه: hoshang.rahmatipnu@pnu.ac.ir

تنش پایین (۵۰ میلی‌مولار یا ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر)، کاربرد سالیسیلیک‌اسید موجب بهبود عملکرد و ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه شد. در سطح تنش ۱۰۰ میلی‌مولار (۱/۹ دسی‌زیمنس بر متر)، استفاده از سالیسیلیک‌اسید اثرهای منفی تنش را تا حدی تعدیل کرد، اما در سطح تنش ۱۵۰ میلی‌مولار (۱۳ دسی‌زیمنس بر متر) کاهش شدید صفات زراعی و بیوشیمیایی مشاهده شد. بنابراین، کاربرد سالیسیلیک‌اسید ۲ میلی‌مولار تا سطح شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر می‌تواند به عنوان راهکاری کارآمد و مؤثر در کاهش اثرهای نامطلوب تنش شوری بر آویشن کوهی توصیه شود.

کلیدواژه‌ها: پرولین، تحمل به تنش غیرزنده، رنگدانه فتوسنتزی، گیاه دارویی، هورمون گیاهی

مقدمه

آویشن یکی از گیاهان دارای متابولیت‌های ثانویه‌ی ارزشمند است که به دلیل ویژگی‌های دارویی، اهمیت زیادی در صنایع غذایی و دارویی دارد (Rahmati and Safari, 2024). آویشن کوهی (*Thymus kotschyanus* Boiss & Hohen)، گیاهی چوبی-علفی، نسبتاً راست و کوتاه‌قد است که دارای ساقه‌هایی با انشعابات زیاد بوده و فاقد شاخه‌های قاعده‌ای خوابیده می‌باشد. رگبرگ‌های آن در سطح زیرین برگ برجسته و جام گل سفید یا صورتی کم‌رنگ است. زمان گلدهی این گونهٔ دارویی از اواخر بهار تا اواسط تابستان گزارش شده است (Jamzad, 2009).

این گیاه همانند سایر گونه‌های جنس آویشن دارای خواص دارویی بوده و بومی ایران است. آویشن کوهی به‌صورت گیاهی خودرو در مناطق شمال و شمال‌غربی کشور رویش دارد (Bahreininejad and Razmjoo, 2014). اسانس آویشن یکی از معروف‌ترین اسانس‌های دارویی دنیا محسوب می‌شود که به دلیل دارا بودن ترکیبات آنتی‌اکسیدانی با خواص ضدباکتری، ضدقارچ و نگهدارندهٔ طبیعی مواد غذایی، کاربرد گسترده‌ای دارد. این اسانس در ترکیب بیش از ۲۸۸ داروی مختلف مورد استفاده قرار گرفته و ۲۶ نوع آنتی‌اکسیدان در عصارهٔ گونه‌های آویشن شناسایی شده است (Pourmeidani *et al.*, 2017). با وجود اهمیت اقتصادی و دارویی آویشن کوهی، تاکنون مطالعه‌های محدودی بر روی این گونه انجام شده و هنوز در مراحل اولیهٔ اهلی‌سازی قرار دارد (Bahreininejad and Razmjoo, 2014). بر همین اساس، بررسی واکنش آویشن کوهی به شرایط مختلف محیطی از جمله تنش‌های غیرزیستی نظیر خشکی و شوری، بسیار حائز اهمیت است. با توجه به مصرف روزافزون این گیاه دارویی در صنایع مختلف، شناسایی توان سازگاری و بهبود عملکرد این گیاه در شرایط تنش می‌تواند فرصت مناسبی برای توسعهٔ کشت و کار این گونهٔ دارویی ارزشمند فراهم آورد.

تنش‌های محیطی به عنوان عوامل محدودکنندهٔ تولید، باعث تغییرات کمی و کیفی در مواد مؤثره گیاهان دارویی می‌شوند (Hosseini *et al.*, 2017). برای مثال، تنش خشکی ملایم سبب افزایش بیان برخی ژن‌ها می شود و منجر به تولید بیشتر مونوترپن‌ها در آویشن زراعی می‌شود (Mirzaei *et al.*, 2019). شوری خاک و آب پس از خشکی، دومین عامل اصلی کاهش عملکرد محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می شود (Bohloli *et al.*, 2019). شوری با کاهش پتانسیل اسمزی خاک، دسترسی گیاه به آب را محدود کرده و سبب کاهش جذب عناصر غذایی، سطح برگ، فتوسنتز و مواد فتوسنتزی می‌شود (Hosseini *et al.*, 2017). شوری، سبب تغییرات فیزیولوژیک، آناتومیک و مورفولوژیک متعددی در گیاه می شود که بخشی از آن به عنوان سازوکارهای تحمل به شوری گیاه شناخته می‌شود (Khademolhosseini *et al.*, 2021). گزارش شده است که در آویشن زراعی، شوری با القای

تنش اکسیداتیو موجب آسیب به غشای سلول و افزایش فعالیت آنزیم‌های دفاعی می‌گردد (Zrig *et al*., 2021).

سالیسیلیک‌اسید در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه مانند فتوسنتز، متابولیسم نیتروژن، متابولیسم پرولین، سیستم دفاعی آنتی اکسیدانی و روابط گیاه و آب در شرایط تنش نقش حیاتی ایفا می‌کند و از این طریق رشد و نمو گیاهان و واکنش آن ها به عوامل تنش زیستی و غیر زیستی را تنظیم می‌کند (Mir *et al*., 2022; Yousefi and Karamian, 2024). به عبارتی به عنوان تنظیم کنندهٔ رشد نقش مهمی در افزایش تحمل گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی دارد (Mahmoodi Tarkhorani *et al*., 2019). در شرایط تنش رطوبتی استفاده از سالیسیلیک‌اسید سبب کاهش اثرهای منفی تنش و جلوگیری از کاهش ویژگی های رویشی چای ترش شده است (Asghari *et al*., 2023). علاوه بر این، اثر سالیسیلیک اسید بر جلوگیری از کاهش میزان کلروفیل a و b، در شرایط تنش و در نهایت ممانعت از کاهش عملکرد در آویشن دنایی گزارش شده است (Abdi *et al*., 2022)، همچنین استفاده از غلظت مناسب سالیسیلیک‌اسید سبب ممانعت از کاهش محتوای کلروفیل، کارتنوئید، پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در شرایط تنش رطوبتی در دو گوهٔ آویشن باغی و کوهی شده است (Mohammadi *et al*., 2019). همچنین نتایج نشان داده که شوری زیست توده گیاهی، تبادل گاز برگ و محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی را در گیاه ناترک کاهش می‌دهد، در مقابل اعمال سالیسیلیک‌اسید می‌تواند با اثر بر روی فرایندهای گیاه، منجر به افزایش سرعت فتوسنتز خالص شود و اختلال فتوسنتز ناشی از تنش شوری را کاهش دهد (Vasconcelos Batista *et al*., 2019). کاربرد سالیسیلیک‌اسید بر روی آویشن زراعی باعث افزایش سرعت و کارایی فتوسنتز و همچنین کارایی مصرف آب و کاهش سرعت تعرق و هدایت روزنه‌ای در گیاهان تحت تنش شوری شد. بر همین اساس گزارش شده است که اثرهای مفید سالیسیلیک‌اسید در شرایط تنش شوری شامل حفظ فعالیت فتوسنتزی و تعرق و در نتیجه رشد گیاه است و استفاده در غلظت‌های مناسب، اثرهای تنش شوری را کاهش می‌دهد (Najafian *et al*., 2009). غلظت‌های متفاوت سالیسیلیک‌اسید آثار مختلفی بر روی رشد گیاه دارد، بر همین اساس گیاه پامچال شب در غلظت‌های پایین در شرایط تنش با تحت تأثیر قرار دادن فتوسنتز و آنزیم‌های دخیل در این فرآیند، افزایش رشد دارد و آسیب‌های اکسیداتیو در گیاه رفع می‌شود، اما در صورت استفاده در غلظت‌های بالا، موجب ایجاد تنش در گیاه می‌شود (Sohrabi *et al*., 2017)، علاوه بر این عواملی مانند نوع گونهٔ گیاهی، دورهٔ رشدی و شرایط محیطی باعث آثار متفاوت این هورمون در گیاه است (Bagautdinova *et al*., 2022).

بر همین اساس، در مورد گیاه سیاهدانه که نیمه‌حساس به شوری گزارش شده است (Talei and Reyhani, 2019)، تیمارهای شوری در سطوح ۲۵ و ۷۵ میلی‌مولار همراه با غلظت‌های ۰/۷۵ و ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید مورد بررسی قرار گرفتند (Fazeli *et al*., 2018). در مورد گیاه رزماری نیز، غلظت‌های صفر، ۰/۷۲، ۱/۴۵ و ۲/۱۷ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید تحت شرایط تنش شوری با سطوح ۱۶، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار مورد آزمایش قرار گرفتند و نتایج نشان داد که تنش شوری شبیه‌سازی‌شده موجب کاهش تمامی پارامترهای رشد رویشی نظیر ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌ها و وزن تر و خشک شد. با این حال، کاربرد سالیسیلیک‌اسید، به‌ویژه در سطح ۲/۱۷ میلی‌مولار، به‌طور معنی‌داری سبب بهبود صفات رشدی و مورفولوژیک گیاه تحت شرایط تنش شوری گردید. (El-Esawi *et al*., 2017). در دو گونهٔ آویشن باغی و دنایی نیز سطوح مختلف شوری شامل صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مورد بررسی قرار گرفتند (Harati *et al*., 2015, 2017; Najafian *et al*., 2009).

از سوی دیگر، نتایج تحقیقات در مورد آویشن باغی نشان داده‌اند که تیمار ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید سبب

بهبود ویژگی‌های رشدی می‌شود(Mahmoodi Tarkhorani *et al.*, 2019). بیشتر مطالعه‌ها در زمینهٔ اثر سالیسیلیک‌اسید و نقش آن در تحمل به تنش شوری، بر روی گونه‌های آویشن باغی و آویشن دنایی متمرکز بوده‌اند. در حالی که در مورد آویشن کوهی، اثر سالیسیلیک‌اسید عمدتاً در شرایط تنش خشکی بررسی شده است. در یکی از این مطالعه‌ها، دو سطح ۰/۷۲ و ۱/۰۸ میلی مولار سالیسیلیک‌اسید استفاده شده است و نتایج بیانگر بهبود شرایط رویشی آویشن کوهی تحت شرایط تنش خشکی با اعمال ۱/۰۸ میلی مولار سالیسیلیک‌اسید بوده است (Mohammadi *et al.*, 2019). با این حال، گزارشی در زمینهٔ بررسی اثر سالیسیلیک‌اسید بر تحمل به تنش شوری در آویشن کوهی تاکنون ارائه نشده است. بر همین اساس، هدف پژوهش حاضر، ارزیابی اثر سالیسیلیک‌اسید بر ویژگی‌های زراعی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیک آویشن کوهی تحت سطوح مختلف شوری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۴۰۳ در گلخانه دانشگاه پیام نور استان کرمانشاه اجرا شد. طرح آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایهٔ طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح شوری ناشی از کلرید سدیم (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) و دو سطح سالیسیلیک اسید (۰ و ۲ میلی‌مولار) بودند. گونهٔ مورد مطالعه آویشن کوهی (*Thymus kotschyanus*) بود. بذرهای مورد نیاز از مرکز آموزش و تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه تهیه شدند.

ابتدا بذرها با محلول هیپوکلریت‌سدیم ۰/۵ درصد ضدعفونی و با آب مقطر شستشو داده و خشک شدند. پس از آن، با قارچ کش مانکوزب به مقدار ۲ در هزار وزنی آغشته شدند و در سینی کشت با بستر کوکوپیت و پرلیت به نسبت مساوی کشت شدند. آبیاری بذرها تا زمان جوانه‌زنی هر دو روز یکبار انجام شد. آبیاری گیاهچه‌ها پس از جوانه‌زنی هر پنج روز یکبار انجام شد. پس از گذشت ۷ هفته، گیاهچه‌های با رشد یکنواخت و در مرحلهٔ ۱۰ تا ۱۲ برگی انتخاب شدند و به گلدان‌های پلاستیکی با بستری شامل مخلوطی از خاک زراعی، ماسه و ورمی کمپوست به نسبت برابر منتقل شدند. گلدان‌ها دارای ظرفیت ۵ کیلوگرم خاک بود. در هر گلدان یک بوته منتقل شد و برای هر واحد آزمایشی، تعداد ۱۵ گلدان در نظر گرفته شد، که در نهایت ۱۰ گلدان دارای بوته‌های مستقر شده برای اعمال تیمارها انتخاب شدند.

در زمان استقرار گیاهچه‌ها، گلدان‌ها هر چهار روز یک بار با آب معمولی (چاه آب کشاورزی) و به مقدار مساوی آبیاری شدند. حجم آب مصرفی در هر نوبت آبیاری، ۱۵۰۰ میلی لیتر برای هر گلدان بود. تیمارهای شوری شامل سطوح صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به‌مدت ۱۲ هفته اعمال گردیدند. لازم به ذکر است که در گلخانه، تنها دمای محیط تنظیم شده بود؛ بر همین اساس، دمای روز در حدود ۲±۲۴ درجه سلسیوس و دمای شب در حدود ۲±۱۸ درجه سلسیوس حفظ گردید.

تیمارهای شوری شامل چهار سطح کلرید سدیم به مقادیر صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار بودند که به‌ترتیب معادل هدایت الکتریکی ۲/۲، ۶/۵، ۱/۹ و ۱۳ دسی‌زیمنس بر متر محسوب می‌شدند. حجم محلول مصرفی برای هر گلدان ۲۵۰ میلی‌لیتر بود و گیاهان به مدت ۱۲ هفته، دو بار در هفته با محلول‌های شوری آبیاری شدند. پس از هر چهار نوبت تیمار شوری، یک نوبت آبیاری با آب مقطر انجام گرفت تا از تجمع نمک در بستر کاشت جلوگیری شود. به منظور تهیه محلول سالیسیلیک اسید با غلظت ۲ میلی‌مولار، مقدار ۲/۷۶ گرم پودر سالیسیلیک اسید ابتدا در ۳ میلی‌لیتر اتانول حل و سپس به ۱۰ لیتر آب مقطر گرم اضافه و به‌خوبی مخلوط شد. محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید (برای تیمارها) و آب مقطر (برای شاهد) با حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر برای هر گلدان، به‌صورت محلول‌پاشی برگی با

اسپری، یک نوبت در هفته و به مدت ۱۲ هفته انجام شد (Andalibi *et al*., 2021).

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفولوژیک در مراحل پایانی رشد رویشی، به‌صورت تصادفی پنج بوته (پنج گلدان) از هر واحد آزمایشی انتخاب شد. سپس صفات مورفولوژیک، شامل تعداد ساقه در بوته، ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، وزن تر اندام هوایی (گرم)، وزن تر ریشه (پس از شست‌وشوی دقیق ریشه و جداسازی آن از خاک، بر حسب گرم) و وزن خشک اندام هوایی (پس از خشک‌کردن بوته‌ها در سایه، بر حسب گرم) برای هر بوته اندازه‌گیری شد. در نهایت، میانگین داده‌های پنج بوته برای هر صفت ثبت شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ، برگ‌های یک بوته از یک گلدان در هر واحد آزمایشی، در اواسط مرحلهٔ رشد رویشی و پس از اعمال تیمارها، برداشت شده و با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Light Box, ADC, UK) مورد ارزیابی قرار گرفت.

برای اندازه‌گیری ویژگی های بیوشیمیایی در اواسط مرحلهٔ رشد رویشی و پس از اعمال تیمارها از هر واحد آزمایشی نمونه‌برداری شد. محتوی کلروفیل و کاروتنوئید از روش ریچتن‌تالر و ولبورن (Lichtenthaler and Welburn, 1983) استفاده شد و با دستگاه الایزا (Bio Tek Powerwave XS2) در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۶ و ۴۷۰ نانومتر قرائت صورت گرفت و با روابط زیر میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شدند (Ranjbar *et al*., 2021).

$$Chl_a = 12.21\ (A_{663}) - 2.81\ (A_{646})$$
$$Chl_b = 20.13\ (A_{646}) - 5.1\ (A_{663})$$
$$Chl_T = Chl\ a + Chl\ b$$
$$Car = (1000(A_{470}) - 3.27[Chl_a] - 104[Chl_b]/227$$

تعیین غلظت پروتئین با روش برادفورد (Bradford, 1976) انجام شد و معرف بلو به عنوان شاهد مورد استفاده قرار گرفت. میزان جذب نوری آن در طول موج ۵۹۵ نانومتر قرائت شد و برای اندازه‌گیری غلظت پرولین از روش و باتز و همکاران (Bates *et al*., 1973) استفاده شد و طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت انجام شد. با توجه به مقادیر جذب نوری و غلظت‌های محلول ذخیره، منحنی استاندارد رسم شد و غلظت پرولین محاسبه گردید. در نهایت تجزیه واریانس، مقایسه میانگین با روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد با نرم افزار SPSS 18 و رسم نمودارها با Excel 2010 انجام شد.

نتایج وبحث

ارتفاع بوته

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تنش شوری سبب اختلاف معنی‌دار ارتفاع بوته در سطح یک درصد شد، اما اثر سالیسیلیک‌اسید معنی‌دار نبود. از طرفی برهمکنش شوری و سالیسیلیک اسید در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). با توجه به مقایسه‌ی میانگین‌ها مشاهده شد که با افزایش سطح شوری روند رشد طولی بوته‌ها کمتر شد و بیشترین ارتفاع بوته (۲۶/۰۶ سانتی‌متر) در شرایط شاهد ملاحظه شد که با سطوح شوری اختلاف معنی‌داری نشان داد و با افزایش شدت شوری از ۵۰ به ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار ارتفاع بوته به صورت معنی‌داری کاهش یافت، به گونه ای که کمترین ارتفاع بوته در شوری ۱۵۰ میلی مولار (۱۳/۰۷ سانتی‌متر) مشاهده شد (جدول ۲). اگرچه مطالعه‌های پیشین نشان داده‌اند که افزایش نسبت غلظت یون پتاسیم به سدیم تحت تنش شوری، تحمل آویشن را در برابر شوری افزایش می‌دهد (Zrig *et al*., 2021)، نتایج مشابه این پژوهش نیز نشان می‌دهد که ارتفاع بوته تحت تنش ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم کاهش می‌یابد (Fatehi and Mohammadi, 2020). همچنین، همان‌طور که در این پژوهش نیز مشاهده شد، گزارش شده است که اعمال ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در آویشن زراعی موجب کاهش معنی‌دار ویژگی های زراعی گیاه می‌شود (Hosseini *et al*., 2017).

برهم‌کنش سالیسیلیک اسید با سطوح مختلف کلرید سدیم اثر متفاوتی بر ارتفاع بوته داشت. بیشترین ارتفاع بوته (۲۶/۵۱ سانتی‌متر) در شرایط بدون تنش و با مصرف سالیسیلیک اسید مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با ارتفاع بوته در شرایط بدون تنش و بدون مصرف سالیسیلیک اسید (۲۵/۶۰ سانتی‌متر) نشان نداد. کمترین ارتفاع بوته نیز در شرایط تنش شدید (۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) با مصرف سالیسیلیک اسید (۱۱/۷۸ سانتی‌متر) مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با شرایط تنش مشابه بدون مصرف سالیسیلیک اسید (۱۴/۳۵ سانتی‌متر) نداشت.

مطابق با نتایج گزارش شده در چای ترش، سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک تنظیم‌کنندهٔ رشد می‌تواند با اثر بر محتوای متابولیت ها و افزایش مقدار ترکیبات اسمولیتی مانند پرولین، منجر به افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش شود و در نهایت اثرهای نامطلوب تنش را کاهش دهد (Asghari *et al.*, 2023). این ویژگی تنظیم‌کنندگی سالیسیلیک اسید می‌تواند تا حدی از کاهش ارتفاع بوته در شرایط تنش متوسط جلوگیری کند. از سوی دیگر، کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط شوری بالا منجر به کاهش ارتفاع بوته شد، که با نتایج گزارش شده در گیاه مرزه تحت تنش شوری مطابقت داشت (Yousefi and Karamian, 2025a). تنش شوری در گیاهان موجب سمیت یونی، تنش اسمزی، کمبود عناصر معدنی و اختلالات بیوشیمیایی می‌شود و با اختلال در قابلیت جذب آب توسط ریشه‌ها، گیاهان را نیز از نظر تغذیه‌ای و فرآیندهای متابولیکی دچار مشکل می‌نماید که منجر به توقف رشد می‌گردد (Muuns and Tester, 2008).

جدول ۱-تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی آویشن کوهی تحت تنش شوری و تیمار سالیسیلیک اسید

Table 1. Variance analysis for morphological and biochemical traits of Wild thyme under salt stress and salicylic acid treatments

S.O.V.	Df	Plant height	Fresh weight	Dry weight	Fresh root weight	Leaf area	Number of branches
Salinity levels (A)	3	178.5**	204**	16.76**	8.979**	3921**	325.2**
Salicylic acid levels (B)	1	2.59^{ns}	48.31**	9.36**	0.448^{ns}	192.8**	23.74**
A × B	3	7.47*	11.24**	1.24**	0.305^{ns}	151.0**	9.92**
Error	16	2.3	1.27	0.16	0.11	20.65	0.941
C.V (%)		7.51	9.67	10.58	9.28	8.52	4.66
S.O.V.	Df	Proline content	Protein content	Chlorophyll a content	Chlorophyll b content	Total Chlorophyll content	Carotenoid content
Salinity levels (A)	3	0.0014**	915.75**	35.00**	12.17**	87.69**	9.01**
Salicylic acid levels (B)	1	0.0004**	168.06**	1.628**	0.56*	4.12**	0.27*
A × B	3	0.0013**	38.79*	1.514**	0.296*	3.10**	0.190*
Error	16	0.000024	10.698	0.066	0.089	0.118	0.043
C.V (%)		2.93	4.95	6.35	11.13	5.11	8.68

** در سطح ۱ درصد معنی‌دار، * درسطح ۵ درصد معنی‌دار، ns اختلاف معنی‌دار نیست.

** significant at 1% level, * significant at 5% level, ^{ns} not significant

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک آویشن کوهی تحت تنش شوری و تیمار سالیسیلیک اسید

Table 2. Means comparison of morphological traits of Wild thyme under salt stress and salicylic acid treatments

Salinity levels (mM NaCl)		Plant height (cm)	Fresh weight (g. plant^{-1})	Dry weight (g. plant^{-1})	Fresh root weight (g. plant^{-1})	Leaf area (cm2)	Number of branches
0		26.06^{a}	17.67^{a}	5.65^{a}	4.99^{a}	84.43^{a}	28.98^{a}
50		22.12^{b}	13.9^{b}	4.22^{b}	3.85^{b}	59.15^{b}	23.24^{b}
100		19.57^{c}	10.61^{c}	3.63^{c}	3.42^{c}	46.69^{c}	19.57^{c}
150		13.07^{d}	3.93^{d}	1.62^{d}	2.03^{d}	23.08^{d}	11.41^{d}
Salicylic acid (mM)*							
0		19.88^{a}	10.11^{b}	3.16^{b}	3.44^{a}	50.50^{b}	19.81^{b}
2		20.53^{a}	12.95^{a}	4.41^{a}	3.71^{a}	56.17^{a}	21.80^{a}
Salinity × Salicylic acid							
0	0	25.60^{ab}	15.35^{b}	4.57^{bc}	4.85^{a}	79.52^{b}	27.42^{b}
50	0	21.01^{cd}	11.42^{c}	3.41^{d}	3.55^{bc}	55.86^{cd}	21.99^{d}
100	0	18.53^{d}	9.24^{d}	3.02^{d}	3.13^{c}	39.30^{e}	17.53^{e}
150	0	14.35^{e}	4.43^{e}	1.61^{e}	2.22^{d}	27.33^{f}	12.28^{f}
0	2	26.51^{a}	19.99^{a}	6.73^{a}	5.14^{a}	89.34^{a}	30.55^{a}
50	2	23.23^{bc}	16.38^{b}	5.03^{b}	4.15^{b}	62.44^{c}	24.49^{c}
100	2	20.61^{cd}	11.98^{c}	4.23^{c}	3.71^{bc}	54.09^{d}	21.61^{d}
150	2	11.78^{e}	3.43^{e}	1.63^{e}	1.85^{d}	18.82^{g}	10.54^{g}

* میانگین با حروف مشترک اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن ندارند (p≤۰/۰۵).

* Means with common letters do not have a significant difference based on the Dunkan's test (p≤0.05)

وزن تر بوته

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، سطوح مختلف کلرید سدیم و کاربرد سالیسیلیک اسید اثر معنی‌داری بر وزن تر بوته‌ها در سطح یک درصد داشتند و همچنین برهمکنش این دو فاکتور نیز در همین سطح معنی‌دار بود (جدول ۱). اثر تنش کلرید سدیم بر وزن تر بوته نشان داد که بیشترین مقدار برای شرایط بدون استفاده از نمک (۱۷/۶۷ گرم در بوته) مشاهده شد و با سطوح دارای تنش اختلاف معنی‌دار داشت. از سطح تنش ۵۰ میلی‌مولار به بالا، وزن تر بوته ها کاهش معنی‌داری نشان داد؛ به‌طوری که کمترین وزن تر در شرایط تنش ۱۵۰ میلی‌مولار با میانگین ۳/۹۳ گرم در بوته ثبت شد (جدول ۲). نتایج پژوهش‌های پیشین نیز بیانگر آن است که وزن تر بوته آویشن دنایی در تنش کلرید سدیم با غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار به‌طور معنی‌داری کاهش می یابد که با یافته های این تحقیق همخوانی دارد (Fatehi and Mohammadi, 2020).

کاربرد سالیسیلیک اسید نیز اثر معنی‌داری بر وزن تر بوته‌ها داشت و موجب افزایش ۲۸/۰۹ درصدی وزن تر گیاه شد. بررسی برهمکنش سالیسیلیک اسید در شرایط مختلف تنش شوری نشان داد که بیشترین وزن تر (۱۹/۹۹ گرم) در شرایط بدون تنش و با مصرف سالیسیلیک اسید حاصل شد، که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. در مقابل، کمترین وزن تر (۳/۴۳ گرم) در شرایط تنش ۱۵۰ میلی‌مولار همراه با استفاده از سالیسیلیک اسید مشاهده شد که با تیمار تنش ۱۵۰ میلی‌مولار بدون سالیسیلیک اسید اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۲).

به‌طور کلی، با افزایش شدت تنش، اثر سالیسیلیک اسید بر رشد رویشی گیاه و وزن تر بوته کاهش یافت. در بررسی‌های انجام‌شده بر روی آویشن دنایی گزارش شده است که سالیسیلیک اسید نقش مهمی در سازگاری گیاهان، به‌ویژه در شرایط تنش، ایفا می‌کند و به‌عنوان محرکی برای رشد رویشی و افزایش عملکرد شناخته می‌شود (Abdi *et al*., 2022).

وزن خشک بوته

با توجه به تجزیه واریانس، اثرهای اصلی کلرید سدیم و سالیسیلیک اسید، همچنین برهم‌کنش آن‌ها، در سطح یک درصد بر روی وزن خشک بوته معنی‌دار بود (جدول ۱). بر همین اساس، وزن خشک بوته‌ها نیز در سطوح مختلف تنش، روندی کاهشی مشابه وزن تر نشان دادند و با افزایش غلظت نمک، کاهش معنی‌داری در وزن خشک مشاهده شد. بیشترین وزن خشک بوته (۵/۶۵ گرم در بوته) در شرایط بدون تنش ثبت شد که با سایر سطوح تنش اختلاف معنی‌داری داشت؛ در حالی که کمترین مقدار وزن خشک (۱/۶۲ گرم در بوته) در سطح تنش ۱۵۰ میلی‌مولار به‌دست آمد و با سایر تیمارهای تنش نیز اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ۲). تحقیقات نشان داده که وزن خشک بوته آویشن دنایی در واکنش به تنش کلرید سدیم در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار، به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد؛ که این یافته با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد (Fatehi and Mohammadi, 2020).

استفاده از سالیسیلیک‌اسید سبب افزایش معنی‌دار ۳۹/۵۶ درصدی وزن خشک بوته شد. از طرف دیگر برهمکنش سالیسیلیک‌اسید در شرایط متفاوت تنش کلرید سدیم نشان داد که بیشترین وزن خشک (۶/۷۳ گرم در بوته) در شرایط بدون تنش با مصرف سالیسیلیک‌اسید وجود داشت و با دیگر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت. کمترین وزن خشک (۱/۶۱ گرم در بوته) برای شرایط تنش ۱۵۰ میلی مولار بدون سالیسیلیک‌اسید حاصل شد و با شرایط تنش ۱۵۰ میلی مولار به همراه استفاده از سالیسیلیک‌اسید اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۲). استفاده از سالیسیلیک‌اسید در شرایط شوری بالا سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک بوته‌ها در مقایسه با عدم مصرف آن نشد. این نتیجه گیری با گزارش ارائه شده در زمینه اثر سالیسیلیک‌اسید تحت تنش کلرید سدیم بر ویژگی‌های رویشی آویشن زراعی (Najafian *et al*., 2009) مطابقت داشت.

وزن تر ریشه

با توجه به تجزیه واریانس، کلرید سدیم بر وزن تر ریشه‌ها اثر معنی‌دار داشت، اما استفاده از سالیسیلیک اسید و برهم‌کنش آن با کلرید سدیم اثر معنی‌دار بر روی وزن تر ریشه نشان نداد (جدول ۱).

بر اساس نتایج مقایسه‌ی میانگین‌ها، افزایش سطح تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار وزن تر ریشه شد. بیشترین مقدار وزن‌تر ریشه (۴/۹۹ گرم در هر بوته) در شرایط بدون حضور کلرید سدیم به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارهای شوری داشت. در مقابل، کمترین وزن تر ریشه (۲/۳ گرم در هر بوته) در سطح تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد.

از سوی دیگر، کاربرد سالیسیلیک‌اسید سبب افزایش ۷/۸۵ درصدی در وزن تر ریشه نسبت به تیمار شاهد شد، هرچند این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود. مقایسه‌ی میانگین برهم‌کنش سالیسیلیک‌اسید و سطوح مختلف شوری نیز نشان داد که بیشترین وزن تر ریشه (۵/۱۴ گرم در هر بوته) در شرایط بدون تنش همراه با مصرف سالیسیلیک‌اسید حاصل شد، ولی اختلاف آن با تیمار بدون تنش و بدون مصرف سالیسیلیک‌اسید از نظر آماری معنی‌دار نبود. کمترین مقدار وزن تر ریشه (۱/۸۵ گرم در هر بوته) در تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار شوری همراه با مصرف سالیسیلیک‌اسید مشاهده شد که با تیمار مشابه بدون مصرف سالیسیلیک‌اسید نیز تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۲).

سطح برگ

با توجه به تجزیه واریانس اثرهای اصلی دو فاکتور اصلی و برهمکنش آنها در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). بر اساس مقایسه میانگین‌ها، افزایش غلظت کلرید سدیم، منجر به کاهش معنی‌دار سطح برگ‌ها شد و بیشترین سطح برگ (۸۴/۴۳ سانتی‌متر مربع) متعلق به

گیاهان گروه شاهد (سطح بدون تنش) بود که با سطوح تنش تفاوت معنی‌دار داشت. کمترین سطح برگ (۲۳/۰۷ سانتی‌متر مربع) در سطح ۱۵۰ میلی مولار تنش مشاهده شد که با دیگر سطوح اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ۲).

این یافته‌ها مؤید این امر است که تنش شوری (ناشی از کلرید سدیم) به طور کلی سبب مهار و کاهش تمامی ویژگی‌های رویشی گیاه می‌شود. این کاهش رشد عمدتاً ناشی از اختلال در مکانیسم‌های کلیدی فتوسنتزی و برهم خوردن تعادل سیستم‌های بیوشیمیایی ضروری برای توسعه و رشد اندام‌های رویشی گیاه است، بر همین اساس گزارش شده است که تنش شوری در مرزه سبب کاهش تمامی ویژگی‌های رویشی گیاه می‌شود (Yousefi and Karamian, 2025b)، بنابراین رشد رویشی برگ‌ها نیز از این قاعده مستثنی نیست و مشابه نتیجه‌ی این تحقیق در آویشن دنایی نیز گزارش شده است (Golestani, 2020).

سالیسیلیک‌اسید سبب افزایش معنی‌دار سطح برگ به میزان ۱۱/۲۳ درصد شد. بررسی برهم‌کنش دو عامل شوری و سالیسیلیک‌اسید نشان داد که بیشترین سطح برگ در شرایط بدون تنش به همراه مصرف سالیسیلیک‌اسید (۸۹/۳۴ سانتی‌متر مربع) بود، که با دیگر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت و کمترین سطح برگ در شرایط تنش ۱۵۰ میلی مولار با سالیسیلیک‌اسید (۱۸/۸۲ سانتی‌متر مربع) بود و دارای اختلاف معنی‌دار با تیمارهای دیگر بود.

تعداد شاخه در بوته

نتایج تجزیه واریانس صفت تعداد شاخه در بوته نشان داد که اثرهای اصلی دو فاکتور و برهمکنش آنها در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). افزایش غلظت کلرید سدیم سبب کاهش معنی‌دار تعداد شاخه‌های گیاه در بوته شد. بر همین اساس بیشترین تعداد شاخه در بوته (۲۸/۹۸ شاخه در بوته) در سطح بدون تنش مشاهده شد که با سطوح تنش اختلاف معنی‌دار داشت. در مقابل کمترین تعداد شاخه (۱۱/۴۱ شاخه در بوته) در سطح ۱۵۰ میلی مولار بود.

سالیسیلیک‌اسید سبب افزایش ۱۰/۰۵ درصدی تعداد شاخه در بوته شد. در مجموع با توجه به برهم‌کنش نمک و سالیسیلیک‌اسید، بیشترین شاخه در بوته (۳۰/۵۵ شاخه در بوته) در سطح بدون تنش به همراه مصرف سالیسیلیک‌اسید بود و با دیگر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت. کمترین تعداد شاخه در بوته (۱۰/۵۴ شاخه در بوته) برای تیمار ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم به همراه سالیسیلیک بود و با تیمارهای مورد بررسی اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ۲). مشابهت این نتایج با یافته‌های گزارش شده در مورد گیاه داوریی مغربی، تأییدکننده اثر محافظتی و محرک رشد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری است (Rahmati, 2024).

محتوای پرولین

اثرهای اصلی دو فاکتور کلرید سدیم و سالسیلیک اسید به همراه برهم‌کنش آنها بر محتوای پرولین برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین محتوای پرولین (۰/۱۸۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در سطح ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم مشاهده شد که که از نظر آماری با سایر سطوح تنش اختلاف معنی‌داری داشت. در مقابل کمترین محتوای پرولین (۰/۱۵۶میلی‌گرم بر گرم وزن تر) برای گیاهان گروه شاهد (بدون تنش کلرید سدیم) حاصل شد و با سطح تنش ۱۵۰ میلی مولار اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۳).

از منظر فیزیولوژیک، تجمع پرولین در شرایط تنش شوری اهمیت حیاتی دارد؛ زیرا این آمینواسید به عنوان یک اسمولیت، نقش کلیدی در تنظیم اسمزی سلول، حفاظت از ساختارهای حیاتی مانند آنزیم‌ها و غشاءهای سلولی، خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد و همچنین به عنوان منبعی برای ذخیره انرژی و نیتروژن در گیاه ایفا می‌کند (Said-Al Ahl and Omer, 2011) و بر همین اساس مشاهده شد که در آویشن کوهی با اعمال تنش تا سطح ۱۰۰ میلی‌مولار، افزایش معنی‌دار در محتوای پرولین

وجود داشت و هنگامیکه شدت تنش بیشتر شد و به ۱۵۰ میلی‌مولار رسید تولید پرولین کاهش معنی‌دار داشت و به نظر می‌رسد در شرایط تنش بالا تولید پرولین نیز در گیاه کاهش می یابد. در گونه های دارویی پامچال شب (Rajabi *et al.*, 2014)، سیاهدانه (Fazeli *et al.*, 2018) و گل همیشه بهار (Abdossi and Asgarian, 2022) نیز نتایج مشابهی گزارش شده است.

اسید سالسیلیک سبب افزایش معنی‌دار ۴/۹۱ درصدی محتوای پرولین شد. در مجموع بر اساس برهمکنش دو فاکتور مشاهده شد که بیشترین محتوای پرولین (۰/۱۹۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم همراه با مصرف سالیسیلیک‌اسید بود که با همین تیمار تنش و شرایط بدون سالیسیلیک‌اسید اختلاف معنی‌دار نداشت. کمترین محتوای پرولین (۰/۱۴۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) نیز مربوط به تیمارهای ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم همراه با مصرف سالیسیلیک اسید و تیمار بدون تنش همراه با مصرف سالیسیلیک‌اسید حاصل شد که با دیگر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشتند. نتایج تحقیقات بر روی گیاه روزماری نشان داده است که استفاده از سالیسیلیک‌اسید از طریق افزایش محتوای پرولین بر تنظیم فشار اسمزی گیاه اثر داشته و تحمل در مقابل تنش شوری را افزایش می‌دهد (El-Esawi *et al.*, 2017).

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات بیوشیمیایی آویشن کوهی تحت تنش شوری و تیمار سالیسیلیک اسید

Table 3. Means comparison for biochemical traits of wild thyme under salinity stress and salicylic acid treatment

Salinity levels (mM NaCl)		Proline content (mg. g^{-1} FW)	Protein content (mg. g^{-1} FW)	Chlorophyll a content (mg. g^{-1} FW)	Chlorophyll b content (mg. g^{-1} FW)	Total Chlorophyll content (mg. g^{-1} FW)	Carotenoid content (mg. g^{-1} FW)
0		0.156^{c}	71.25^{a}	6.89^{a}	4.18^{a}	11.07^{a}	3.85^{a}
50		0.165^{b}	72.34^{a}	5.03^{b}	3.31^{b}	8.33^{b}	2.75^{b}
100		0.189^{a}	73.25^{a}	2.92^{c}	2.39^{c}	5.30^{c}	2.01^{c}
150		0.157^{c}	47.63^{b}	1.36^{d}	0.85^{d}	2.21^{d}	0.94^{d}
Salicylic acid (mM)*							
0		0.163 ^{b}	63.47 ^{b}	3.79 ^{b}	2.53 ^{b}	6.31 ^{b}	2.28 ^{b}
2		0.171 ^{a}	68.76 ^{a}	4.31 ^{a}	2.83 ^{a}	7.14 ^{a}	2.50 ^{a}
Salinity × Salicylic acid							
0	0	0.141^{d}	68.43^{cd}	6.43^{b}	3.88^{b}	10.31^{b}	3.52^{b}
50	0	0.151^{c}	66.48^{d}	4.23^{d}	2.94^{c}	7.17^{d}	2.59^{c}
100	0	0.187^{a}	71.01^{b-d}	2.74^{e}	2.34^{d}	5.08^{e}	2.03^{d}
150	0	0.173^{b}	47.96^{e}	1.75^{f}	0.95^{e}	2.71^{f}	1.00^{e}
0	2	0.172^{b}	74.06^{a-c}	7.34^{a}	4.48^{a}	11.83^{a}	4.18^{a}
50	2	0.178^{b}	78.20^{a}	5.83^{c}	3.67^{b}	9.50^{c}	2.92^{c}
100	2	0.192^{a}	75.49^{ab}	3.09^{e}	2.43^{cd}	5.53^{e}	2.00^{d}
150	2	0.141^{d}	47.29^{e}	0.97^{g}	0.74^{e}	1.71^{g}	0.89^{e}

میانگین با حروف مشترک اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن ندارند (p≤۰/۰۵)

Means with common letters do not have a significant difference based on the Dunkan test (p≤0.05)

محتوای پروتئین کل برگ

براساس نتایج تجزیه واریانس، محتوای پروتئین کل برگ تحت تأثیر دو فاکتور اصلی مورد بررسی قرار گرفت و در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری نشان داد. همچنین، برهم‌کنش دو فاکتور نیز در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

مقایسه میانگین سطوح شوری نشان داد که بیشترین محتوای پروتئین کل برگ (۷۳/۲۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد. این سطح با سطوح ۵۰ میلی‌مولار و شرایط بدون تنش اختلاف معنی‌داری نداشت، هرچند به‌طور کلی روند تغییرات محتوای پروتئین برگ از سطح بدون تنش تا ۱۰۰ میلی‌مولار افزایشی بود. در مقابل، کمترین محتوای پروتئین برگ (۶۳/۴۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به دست آمد که با سایر سطوح اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۳).

تنش شوری جنبه‌های مختلف رشد و متابولیسم گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، واکنش ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه نسبت به شوری می‌تواند متفاوت باشد. مطالعه‌های بیوشیمیایی بر روی گونه آویشن دنایی نشان داده است که در اثر تنش کلرید سدیم، تعدادی از ترکیبات آلی سازگارکننده مانند اسیدآمینه‌ها، پرولین و گلایسین‌بتائین در گیاه تجمع می‌یابند. این ترکیبات بدون ایجاد اختلال در فرآیندهای بیوشیمیایی، نقش مهمی در تنظیم اسمزی و افزایش تحمل گیاه به تنش دارند (Harati *et al.*, 2017). در پژوهشی بر روی گندم پاییزه گزارش شده است که افزایش محتوای پروتئین در شرایط تنش شوری، بخشی از سازوکارهای دفاعی گیاه برای سازگاری با شرایط تنشی است (Tasgin *et al.*, 2006). از سوی دیگر، در گونه دارویی پامچال شب مشاهده شده که در شدت‌های بالای تنش، فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه کاهش می‌یابد و در نتیجه، سنتز پروتئین نیز کمتر می‌شود (Goldani and Keshmiri, 2015)، یافته‌های این پژوهش نیز با این گزارش همخوانی دارد.

از سوی دیگر، سالیسیلیک‌اسید موجب افزایش معنی‌دار ۸/۳۳ درصدی در محتوای پروتئین برگ شد. بررسی برهمکنش دو عامل تنش شوری و سالیسیلیک‌اسید نشان داد که بیشترین مقدار پروتئین برگ (۷۸/۲۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تیمار تنش ۵۰ میلی‌مولار همراه با سالیسیلیک‌اسید مشاهده گردید. این تیمار با تیمارهای بدون تنش همراه با سالیسیلیک‌اسید و نیز تنش ۱۰۰ میلی‌مولار همراه با سالیسیلیک‌اسید اختلاف معنی‌داری نداشت.

کمترین میزان پروتئین برگ (۲۹/۴۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر) مربوط به تیمار تنش ۱۵۰ میلی‌مولار همراه با سالیسیلیک‌اسید بود، که با تیمار تنش ۱۵۰ میلی‌مولار بدون سالیسیلیک‌اسید نیز اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳).به‌طور کلی، کاربرد سالیسیلیک‌اسید منجر به افزایش سنتز پروتئین‌های مختلف درگیر در سازوکارهای مقابله با تنش شوری در گیاه دارویی پامچال شب شد. این امر در نهایت باعث افزایش محتوای کلی پروتئین برگ گردید (Harati *et al.*, 2017).

محتوای کلروفیل

تجزیه واریانس برای محتوای کلروفیل نشان داد که اثرهای اصلی دو فاکتور و اثر متقابل آنها برای کلروفیل a و b به همراه کلروفیل کل در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۱). با افزایش شدت تنش محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل کاهش معنی‌دار داشت. بیشترین محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل در سطح بدون تنش به ترتیب با میانگین ۶/۸۹، ۴/۱۸ و ۱۱/۰۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود که با سطوح تنش اختلاف معنی‌دار داشت. ازطرفی کمترین محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل در سطح تنش ۱۵۰ میلی مولار به ترتیب با میانگین ۱/۳۶، ۰/۸۵ و ۲/۲۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود که با دیگر سطوح اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ۳). در راستای نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق، در پژوهش‌های انجام‌شده بر روی گونه‌ی آویشن دنایی نیز با افزایش تنش شوری، کاهش معنی‌داری در میزان کلروفیل‌های a و b مشاهده شده است (Golestani, 2020). تنش شوری از طریق آسیب به ساختار کلروپلاست‌ها

و افزایش اکسیداسیون، منجر به کاهش غلظت کلروفیل می‌شود. این کاهش، به نوبه خود، به دلیل القای تنش اکسیداتیو، کاهش نرخ فتوسنتز را در پی دارد. نتایج حاصله در گیاه مرزه نیز مشابه نتایج این تحقیق بوده است (Yousefi and Karamian, 2024). بر این اساس، در گیاه مرزه، غلظت کلروفیل برگ می‌تواند به عنوان شاخصی معتبر برای ارزیابی میزان تحمل گیاه به شوری تلقی شود (Yousefi and Karamian, 2025b). علاوه بر این، تنش شوری با ایجاد اختلال در تعادل مواد مغذی و اختلال در حمل یون‌های ضروری درون گیاه، بر غلظت قندهای محلول، اسیدهای چرب و محتوای پروتئین نیز اثر گذاشته و در نتیجه نرخ فتوسنتز را کاهش می‌دهد (Muuns and Tester, 2008).

سالیسیلیک‌اسید به طور معنی‌داری بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی اثر مثبت گذاشت، به طوری که غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل به ترتیب ۷۲٪/۱۳، ۸۶٪/۱۱ و ۵۴٪/۱۳ افزایش یافت. تحلیل برهمکنش سطوح شوری و سالیسیلیک‌اسید بر محتوای کلروفیل، نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a، b و کل (به ترتیب با میانگین‌های ۷/۳۴، ۴۸/۴ و ۸۳/۱۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار بدون کلرید سدیم (بدون تنش) همراه با مصرف سالیسیلیک‌اسید مشاهده شد که از نظر آماری با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. در مقابل، کمترین میزان کلروفیل a، b و کل (به ترتیب با میانگین‌های ۹۷/۰، ۷۴/۰ و ۷۱/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به تیمار تنش ۱۵۰ میلی‌مولار همراه با سالیسیلیک‌اسید اختصاص یافت (جدول ۳). این یافته‌ها با نتایج تحقیقات پیشین در گیاه شاه‌پسند (Dehestani-Ardakani *et al.*, 2021) و گیاه مرزه (Yousefi and Karamian, 2025b) همخوانی دارد که نشان‌دهنده اثر مثبت سالیسیلیک‌اسید در افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی تحت شرایط تنش است.

محتوای کاروتنوئید

فاکتور کلرید سدیم اثر معنی‌دار در سطح یک درصد و فاکتور سالیسیلیک اسید اثر معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر محتوای کاروتنوئید داشت. از طرفی برهمکنش دو فاکتور مورد بررسی نیز در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین محتوای کارتنوئید (۳/۸۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در سطح بدون تنش بود که با سطوح تنش اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ۳). مشابه با نتیجه این تحقیق در گونه‌ی آویشن زراعی نیز روند کاهشی معنی‌دار کاروتنوئید با افزایش سطوح کلرید سدیم گزارش شده است (Hosseini *et al.*, 2017). تجمع یون‌های سمی ناشی از تنش شوری، از طریق ایجاد تنش اکسیداتیو، پایداری رنگدانه‌های فتوسنتزی را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این رو، میزان پایداری رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش شوری می‌تواند به عنوان معیاری کلیدی برای ارزیابی تحمل گیاه به این تنش در نظر گرفته شود (Golestani, 2020).

سالیسیلیک‌اسید موجب کاهش معنی‌دار ۹/۶۵ درصدی محتوای کاروتنوئید گردید. بررسی برهم‌کنش کلرید سدیم و سالیسیلیک‌اسید نشان داد که بیشترین محتوای کاروتنوئید (۱۸/۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در گیاهان رشد کرده در شرایط بدون تنش همراه با مصرف سالیسیلیک‌اسید بود که از نظر آماری با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت. در مقابل، کمترین محتوای کاروتنوئید (۸۹/۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در گیاهان تحت تنش ۱۵۰ میلی‌مولار همراه با سالیسیلیک‌اسید مشاهده شد که این سطح، از نظر آماری با تیمار تنش ۱۵۰ میلی‌مولار بدون سالیسیلیک‌اسید اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی شوری سبب کاهش تمام ویژگی‌های ریخت‌شناسی آویشن کوهی شد، ولی استفاده از سالیسیلیک‌اسید ۲ میلی‌مولار موجب بهبود معنی‌دار صفات زراعی گردید. بر این اساس، ارتفاع بوته، وزن تر، وزن خشک، وزن ریشه، سطح برگ و تعداد شاخه به‌ترتیب ۲۷/۳، ۲۸/۰۹، ۳۹/۵۶، ۷/۸۵، ۱۱/۲۳ و ۱۰/۳۰ درصد افزایش یافت.

برای ویژگی‌های بیوشیمیایی، با افزایش شوری، رنگدانه‌های فتوسنتزی کاهش یافتند، اما پروتئین کل و پرولین تا سطح ۱۰۰ میلی‌مولار افزایش نشان دادند و در ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم کاهش معنی‌داری داشتند.

در بررسی برهم‌کنش شوری و سالیسیلیک‌اسید مشخص شد که در شرایط بدون تنش، اسید سالیسیلیک بهترین اثر را بر صفات زراعی داشت. در شوری ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، سالیسیلیک‌اسید سبب بهبود وزن خشک، وزن تر و ارتفاع شد، ولی بر وزن ریشه، سطح برگ و تعداد شاخه تأثیری نداشت. در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، سالیسیلیک‌اسید اثرهای منفی شوری را تعدیل کرد و عملکرد گیاه مشابه تیمار ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بدون اسید سالیسیلیک بود. اما در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، اسید سالیسیلیک نه‌تنها مؤثر نبود بلکه اثر منفی داشت. برای پرولین، بیشترین مقدار در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم با اسید سالیسیلیک مشاهده شد، ولی در تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم کاهش شدید در محتوای پرولین مشاهده شد.

بنابراین باتوجه به آنچه بیان شد بنظر می‌رسد که آویشن کوهی تحمل نسبتاً متوسطی به شوری داشته باشد و در سطوح تنشی پایین سالیسیلیک‌اسید باعث بهبود ویژگی های زراعی و بیوشیمیایی گیاه می‌شود.

References

Abdi, L., Asghari, H. R., Tolyat Abolhasani, M., Amerian, M. R., & Naghdi Badi, H. (2022). Effect of salicylic acid on growth and phytochemical characteristics of *Thymus daenensis* under drought irrigation. *Plant Process and Function*, 11(48), 195-210. https://doi.org/20.1001.1.23222727.1401.11.48.13.4 [In Persian].

Andalibi, L., Ghorbani, A., Moameri, M., Hazbavi, Z., Nothdurft, A., Jafari R., & Dadjou, F. (2021). Leaf area index variations in ecoregions of Ardabil province. *Iranian Journal of Remote Sensing*, 13, 2879. https://doi.org/10.3390/rs13152879

Abdossi, V., & Asgarian, H. (2022). Study of phytochemical compounds and essential oil function of Marigold (*Calendula officinalis* L.) plant under the salinity stress by Nacl with the application of Humic acid and Selenium. *Iranian Plant and Biotechnology*, 16(4), 33-44. https://doi.org/20.1001.1.17355028.1400.16.4.4.3 [In Persian].

Asghari, B., Mafakheri, S., & Zarrabi, M. M. (2023). Effects of salicylic acid on physiological and phytochemical parameters of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under water shortage stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 39(3), 367-386. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2023.360963.3269 [In Persian].

Bagautdinova, Z.Z., Omelyanchuk, N., Tyapkin, A.V., Kovrizhnykh, V.V., Lavrekha, V.V., & Zemlyanskaya, E.V. (2022). Salicylic acid in root growth and development. *International Journal of Molecular Sciences*, 23, 2228. https://doi.org/10.3390/ijms23042228

Bahreininejad, B., & Razmjoo, J. (2014). Effects of water stress on physiological growth indices and phonological traits in *Thymus kotschyanus* Boiss. *Plant Process and Function*, 3(7), 67-80. https://doi.org/20.1001.1.23222727.1393.3.7.6.9 [In Persian].

Bates, L., Waldren, R., & Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060.

Bohloli, M., Dehestani-Ardakani, M., Shirmardi, M., & Razmjoo, J. (2019). Effect of humic acid, mycorrhizal fungi and madder residue on some growth characteristics and nutrient uptake of evening primrose (*Oenothera biennis* L.) under salt stress. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 20(2), 221-234. https://doi.org/20.1001.1.16807154.1398.20.2.1.0 [In Persian].

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantites of protein utilizing the principles of protein dyebinding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3

Dehestani-Ardakani, M., Ghatei, P., Gholamnezhad, J., Momenpour, A., & Fakharipour, Z. (2021). Improving growth and physiological chracteristics in salt stressed lantana (*Lantana camara* Linn.) by application of exogenous salicylic acid. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(4), 95-115. https:// doi.org/10.22034/saps.2021.43284.2587 [In Persian].

El-Esawi, M. A., Elansary, H.O., El-Shanhorey, N. A., Abdel-Hamid, A. M. E., Ali, H. M., & Elshikh, M. S. (2017). Salicylic acid-regulated antioxidant mechanisms and gene expression enhance rosemary performance under saline conditions. *Frontiers in Physiology*, 21(8), 716. https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00716.

Fatehi, F., & Mohammadi, H. (2020). Effects of salinity stress on the growth, physiological parameters and genes expression of thymol and carvacrol in *Thymus daenensis*. *Genetic Engineering and Biosafety Journal*, 9(2), 248-260. https://doi.org/20.1001.1.25885073.1399.9.2.9.4 [In Persian].

Fazeli, A., Zarei, B., & Tahmasebi, Z. (2018). 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), 68-83. https://doi.org/10.22108/ijpb.2018.104605.1029 [In Persian].

Goldani, M., & Keshmiri, E. (2015). The effect of potassium on the controlling of salt in Evening primrose (*Oenothera macrocarpa*). *Journal of Horticultural Science*, 29(4), 528-536. https://doi.org/10.22067/JHORTS4.V29I4.25222 [In Persian].

Golestani, M. (2020). Salt stress effect on some agronomical and physiological traits in *Thymus daenensis* subsp. daenensis ecotypes. *Journal of Plant Process and Function*, 9(38), 459-477. https://doi.org/20.1001.1.23222727.1399.9.38.27.4 [In Persian].

Harati, E., Kashefi, B., & Matinzadeh. M. (2015). Investigation reducing detrimental effects of salt stress on morphological and physiological traits of (*Thymus vulgaris*) by application of salicylic acid. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 5(3), 1383-1391. https://doi.org/10.30495/ijpp.2015.539666

Harati, E., Kashefi, B., & Matinizadeh, M. (2017). Investigation of reducing detrimantal effects of salt stress on morphological and physiological traits of (*Thymus daenensis* Celak.) through salicylic acid application, *Plant production Tecnology*, 8(2), 111-125. https://doi.org/10.22084/ppt.2016.1859 [In Persian].

Hosseini, H., Mousavi Fard, S., Fatehi, F., & Qaderi, A. (2017). Changes in phytochemical and morpho-physilogical traits of Thyme (*Thymus vulgaris* cv Varico 3) under different salinity levels. *Journal of Medicinal Plants*,16(10), 22-33. https://doi.org/20.1001.1.2717204.2017.16.61.18.9 [In Persian].

Jamzad, Z. (2009). Thymus and Satureja Species of Iran. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran. 171. [In Persian].

Khademolhosseini, Z., Jafarian, Z., Rowshan, V., & Ranjbar, G. (2021). The effect of salinity levels of irrigation water on some biochemical characteristics of medicinal plant of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Plant Process and Function*, 10(41), 97-113. https://doi.org/20.1001.1.23222727.1400.10.41.1.1 [In Persian].

Lichtenthaler, H.K., & Wellburn, A.R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11(5), 591–92. https://doi.org/10.1042/bst0110591

Mahmoodi Tarkhorani, S., Sanjarian Dehaghani, F., & Monsef Shokri, M. (2019). The effect of salicylic acid treatment on the antioxidant enzyme activities in *Thymus vulgaris* seedlings. *Journal of Biotechnology*, 10(1), 37-44.

Mir, Y., Khosravi, H., Daneshvar, M., & Ismaili, A. (2022). Effect of foliar application of micronutrients and salicylic acid on seed and oil yield of canola (*Brassica napus* L. cv. Neptune) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences.* 24(3), 285-301.URL: http://agrobreedjournal.ir/article-1-1250-fa.html [In Persian].

Mirzaei, F., Ismaili, A., Fatehi, F., Ghaderi, A., & Afkar, S. (2019). The study on gene expression of 3-hydroxy-3-methylglutaryl-coa reductase (HMGR) and γ-terpinene synthesis in *Thymus vulgaris* L. under water deficit stress, *Plant Productions*. 42(2), 165-180. https://doi.org/10.22055/ppd.2019.20928.1436 [In Persian].

Mohammadi, H., Amirikia, F., Ghorbanpour, M., Fatehi, F., & Hashempour, H. (2019). Salicylic acid induced changes in physiological traits and essential oil constituents in different ecotypes of *Thymus kotschyanus* and *Thymus vulgaris* under well-watered and water stress conditions. *Industrial Crops and Products*, 129, 561-574. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.046

Muuns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651 -681. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911

Najafian, S., Khoshkhui, M., Tavallali, V., & Saharkhiz, M. (2009). Effect of salicylic acid and salinity in Thyme (*Thymus Vulgaris* L.): investigation on changes in gas exchange, water relations, and membrane stabilization and biomass accumulation. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3, 2620-2626.

Pourmeidani, A., Jafari A.A. & Mirza, M. (2017). Studying drought tolerance in *Thymus kotschyanus* accessions for cultivation in dryland farming and low efficient grassland. *Journal of Rangeland Science*, 7(4), 331-340.

Rahmati, H. (2024). Effects of salicylic acid on some agronomic and physiological characteristics of evening primrose (*Oenothera biennis* L.) under salt stress, *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 40(4), 839-854. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2024.364773.3417

Rahmati, H., & Safari, H. (2024) Evaluating the effect of organic fertilizer in different crop densities on agromorphological characteristics and essential oil yield of *Thymus daenensis* Celak in rainfed conditions. *Plant Productions*, 47(3), 323-336. https://doi.org/10.22055/ppd.2024.46887.2167 [In Persian].

Rajabi, M., Gurbanli, M. L., & Jafari Mofidabadi, A. (2014). Investigating the effect of drought stress on the amount of proline, soluble sugars and the antioxidant enzymes activity in medicinal plant of Oenothera biennis L. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 9(1), 205-215. https://doi.org/20.1001.1.76712423.1393.9.0.21.8 [In Persian].

Ranjbar, S., Ghobadi, M. E., & Ghobadi, M. (2021). Influence of dust deposition and light intensity on yield and some agro-physiologic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in dry conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, 12(2), 69-84. https://doi.org/10.22067/ijpr.v12i2.86464 [In Persian].

Said-Al Ahl, H. A. H., & Omer, E. A. (2011). Medicinal and aromatic plants production under salt stress. A Review. *Herba Polonica*, 57(1), 72-86.

Sohrabi, O., Ghasemnejad, A., Nadimi, A., & Shahbazi, M. (2017). Study the effect of salicylic acid, harvest method and pollinator (Bee) on seed yield of evening primrose (*Oenothera biennis* L.). *Journal of Plant Production Research*, 24(1), 47-60. https://doi.org/10.22069/JOPP.2017.10441.1992 [In Persian].

Talei, D., & Reyhani, A. (2019). Morphophysiological responses of *Nigella sativa* L. to salicylic acid under salinity stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(3), 949-960. https://doi.org/10.22077/escs.2019.1422.1318 [In Persian].

Tasgin, E., Atici, O., Nalbantoglou, B., & L. Popova, P. (2006). Effects of salicylic acid and cold treatments on protein levels and on the activities of antioxidants enzymes in the apoplast of winter wheat leaves. *Phytochemistry*, 67, 710-15. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.01.022

Vasconcelos Batista, V.C., Costa Pereira, I. M., Paula-Marinho, S. O., Canuto, K. M., Alves Pereira, R. C., Soares Rodrigues, T. H., Daloso, D. M., Gomes-Filho, E., & Henrique de Carvalho, H. (2019). Salicylic acid modulates primary and volatile metabolites to alleviate salt stress-induced photosynthesis impairment on medicinal plant *Egletes viscosa*. *Environmental and Experimental Botany*, 167, 103870, https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103870

Yousefi, B., & Karamian, R. (2024). Ameliorating effect of salicylic acid on physiological and biochemical characteristics of *Satureja spicigera* (C. Koch) Boiss. under NaCl stress. *Agrotechniques in Industrial Crops*, 4(3), 147-159. https://doi.org/10.22126/ATIC.2024.9598.1112

Yousefi, B., & Karamian, R. (2025a). Effect of salinity stress and salicylic acid on morpho-physiological and growth characteristics *Satureja mutica* Fisch. & C. A. Mey. *Journal of Rangeland Science*, 15(1), 1-9. https://doi.org/10.57647/j.jrs.2025.1501.04

Yousefi, B., & Karamian, R. (2025b). Effects of salicylic acid on photosynthetic pigments, osmolytes, and antioxidant enzyme activities in White savory (*Satureja mutica* Fisch.) exposed to various salt levels, *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 12(1), 69-82. https://doi.org/10.22059/ijhst.2024.365136.693

Zrig, A., Abd Elgawad, H., Touneckti, T., Ben Mohamed, H., Hamouda, F., & Khemira, H. (2021). Potassium and calcium improve salt tolerance of *Thymus vulgaris* by activating the antioxidant systems. *Scientia Horticulturae*, 277, 109812. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109812