Journal of Abiotic Stress in Horticultural Crops
https://jabssh.znu.ac.ir

Research Article
Vol. 1, No. 1, Autumn and Winter 2026, p. 153-164

Effect of foliar application of salicylic acid on morphological and phytochemical characteristics of peppermint *(Mentha piperita* L.*)* in low irrigation condition

Azizollah Kheiry [1*], Hanieh Tori [2]

1 - Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of zanjan, Zanjan, Iran.

2 - Department of Horticulture, University of zanjan, Zanjan, Iran.

(*- Corresponding author's Email: kheiry@znu.ac.ir)

Received: 08 May 2024
Received in revised form: 26 August 2026
Accepted: 30 August 2026

How to cite this article: 1
Kheiry, A. & Tori, A. (2026). Effect of foliar application of salicylic acid on morphological and phytochemical characteristics of peppermint *(Mentha piperita* L.*)* in low Irrigation condition. *Journal of Abiotic Stress in Horticultural Crops, 1*(1), 153-164. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.30470/ashc.2026.742867

Introduction

Peppermint (*Mentha piperita* L.) is an important medicinal plant from the Lamiaceae family, cultivated worldwide for pharmaceutical, food, and cosmetic industries. Its essential oil, rich in menthol and menthone, is among the most widely used essential oils. However, its cultivation in Iran is severely limited by water scarcity and the plant's high sensitivity to drought stress due to its shallow root system. Drought stress disrupts key physiological processes such as transpiration, photosynthesis, cell elongation, and enzymatic activities, resulting in reduced vegetative growth and lower biomass production. Previous studies have reported that water deficit decreases leaf area, fresh and dry weight, chlorophyll content, and essential oil yield in aromatic plants. To mitigate these adverse effects, the use of plant growth regulators like salicylic acid has gained attention as an effective and low-cost strategy. Salicylic acid is a phenolic compound and a hormone like regulator that plays a key role in activating defense mechanisms against abiotic stresses, including drought. It has been shown to improve nutrient uptake, enhance photosynthesis, and stimulate secondary metabolite biosynthesis, especially essential oils, under water limited conditions. However, comprehensive information on the optimal salicylic acid concentration and its interaction with different levels of water deficit on morphophysiological and phytochemical traits of peppermint in Iran is still lacking. Therefore, this study aimed to evaluate the effects of foliar salicylic acid application on growth parameters, leaf relative water content, peroxidase activity, chlorophyll content, and essential oil percentage of peppermint under various water deficit levels.

Materials and Methods

The experiment was conducted as a one-year greenhouse study during the 2014–2015 growing season at the University of Zanjan. The factorial experiment followed a completely randomized design with three replications. Treatments included three irrigation levels (100% as control, 75%, and 50% of field capacity) and three salicylic acid concentrations (0 as control, 200, and 400 mg/L). Peppermint rhizomes were planted in plastic pots filled with a 1:1:1 mixture of sand, animal manure, and garden soil. Greenhouse conditions were maintained at 25±3 °C (day) and 18±2 °C (night), with 60±5% relative humidity. Irrigation and foliar spraying treatments started on 20 April 2015 and continued for six weeks. Salicylic acid solutions were prepared using 96% ethanol and distilled water, with 0.1% Tween 20 as a surfactant. Foliar sprays were performed three times at 14 day intervals in the early morning. Plant height was measured from soil surface to the main stem tip at full flowering. Fresh and dry weights were recorded immediately after harvest and after oven drying at 40 °C for 48 hours. Yield per unit area was calculated based on pot cross sectional area. Chlorophyll content was determined by the Arnon method using absorbance at 645 and 663 nm. Peroxidase activity was assayed by guaiacol oxidation at 436 nm, expressed as U/mg protein. Relative water content was measured by the Yamasaki and Dillenburg method. Essential oil was extracted by hydrodistillation using a Clevenger apparatus for three hours, and oil percentage

Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).
https://doi.org/10.30470/ashc.2026.742867

was calculated per gram of dry sample. Data were analyzed by ANOVA using SAS 9.0, and means were compared using Duncan's test at 5% probability.

Results and Discussion

Water deficit stress significantly reduced plant height, fresh and dry weight, yield per unit area, leaf relative water content, chlorophyll, and essential oil percentage compared to the control. The greatest reductions were observed under 50% field capacity. However, peroxidase activity increased significantly under drought, indicating enhanced antioxidant defense. Foliar application of salicylic acid, particularly at 200 and 400 mg/L, effectively alleviated the negative effects of stress on most traits. Plants treated with 200 mg/L salicylic acid showed the highest growth parameters, while the 400 mg/L concentration was more effective in improving physiological traits like peroxidase activity, relative water content, chlorophyll, and essential oil. Interactions between irrigation and salicylic acid were significant only for peroxidase and relative water content, where 400 mg/L salicylic acid combined with 75% field capacity resulted in the highest enzyme activity and better leaf water status. The beneficial effects of salicylic acid can be attributed to improved nutrient uptake, enhanced chlorophyll synthesis, delayed senescence, and increased antioxidant enzyme activity. These findings align with earlier reports on basil, marjoram, and thyme. The combination of moderate drought (75% FC) with 400 mg/L salicylic acid was the most effective for enhancing essential oil content and quality, likely due to increased secondary metabolite biosynthesis under mild stress.

Conclusions

Peppermint is highly sensitive to water deficit, leading to significant declines in growth, biomass, and essential oil production. However, foliar application of salicylic acid at 200 mg/L can improve growth traits, while 400 mg/L is more suitable for enhancing physiological responses and essential oil content under water stress. The interaction of moderate drought (75% field capacity) with salicylic acid not only maintained acceptable yields but also improved antioxidant activity and oil quality. This approach offers a practical and cost effective strategy for sustainable peppermint cultivation in water limited regions. These results provide valuable insights for managing medicinal plant production under deficit irrigation conditions.

Acknowledgement

The authors thank the University of Zanjan for providing the greenhouse and laboratory facilities.

Keywords: Drought stress, essential oil, Medicinal plant, peroxidase, Relative water content, salicylic acid

نشریه تنش‌های غیر زیستی در محصولات باغبانی
https://jabssh.znu.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۱، شماره ۱، پاییز و زمستان ۱۴۰۵، ص. ۱۵۳ – ۱۶۴

تأثیر محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید بر صفات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Menth piperita* L.) در شرایط کم‌آبیاری

عزیزالله خیری* و هانیه توری

چکیده

نعناع فلفلی یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی متعلق به خانواده نعناعیان است که در بسیاری از کشورها برای استفاده در صنایع دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی کشت می‌شود. کشت این گیاه در ایران با توجه به کمبود منابع آب و حساسیت این گیاه به تنش آبیاری، با محدودیت‌هایی مواجه است که این تنش در طول دوره رشد این گیاه، اثرات نامطلوبی بر رشد و عملکرد آن می‌گذارد؛ لذا به‌منظور تعدیل تنش آبیاری، اثر محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید بر برخی صفات مورفو-فیزیولوژیکی گیاه نعناع فلفلی مورد مطالعه قرار گرفت و آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. سطوح آبیاری در سه سطح (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ (شاهد) درصد ظرفیت زراعی) و غلظت سالیسیلیک‌اسید در سه سطح (صفر، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی¬گرم بر لیتر) در نظر گرفته شد. تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی سالسیلیک‌اسید به‌صورت هم‌زمان اعمال گردید. نتایج نشان داد تنش کم¬آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی سبب کاهش معنی‌داری بر میزان ارتفاع، وزن تر و خشک، عملکرد تر و خشک، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل کل و درصد اسانس نسبت به شاهد گردید. از طرفی، فعالیت آنزیم پراکسیداز به سبب مقابله با تنش افزایش یافت. سالیسیلیک‌اسید تنظیم‌کننده‌ای شبه‌هورمونی بوده است و در مکانیزم-های دفاعی علیه تنش‌های زیستی و محیطی نقش دارد. اعمال غلظت‌های ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم سالسیلیک‌اسید هم‌زمان با تنش آبیاری توانست از اثرات منفی تنش جلوگیری کند و سبب بهبود خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و عملکردی نعناع فلفلی تحت تنش آبیاری گردد. با توجه به نتایج، کاربرد ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک‌اسید در شرایط تنش کم¬آبیاری برای بهبود رشد و عملکرد و میزان اسانس نعناع فلفلی پیشنهاد می‌گردد.

کلمات کلیدی: تنش کم¬آبیاری، پراکسیداز، درصد اسانس، سالیسیلیک‌اسید، گیاه دارویی، محتوای نسبی آب.

مقدمه

نعناع فلفلی (*Mentha piperita L.*) از تیره Lamiaceae، جزو گیاهان دارویی و معطر است که مصارف گسترده‌ای در صنایع دارویی، غذایی و بهداشتی دارد (Omidbeigi, 2009). اسانس نعناع فلفلی یکی از معروف‌ترین و رایج‌ترین روغن‌های اسانسی مورد استفاده است و این به خاطر ترکیبات اصلی آن، یعنی منتول و منتون است. نعناع فلفلی به دلیل دارا بودن ریشه‌های سطحی و افشان، یکی از حساس‌ترین گیاهان خانواده نعناعیان به کمبود رطوبت خاک محسوب می‌شود. خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که تولید و عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی را در سراسر جهان به‌شدت تهدید می‌کند. بر اساس گزارش فائو، حدود ۹۰ درصد کشور ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک قرار دارد (FAO, 2007) و این امر، کشت گیاهان حساس به کم‌آبی را با چالش جدی مواجه ساخته است (Omidbeigi, 2009). تنش آبیاری با ایجاد اختلال در فرایندهای فیزیولوژیکی نظیر تعرق، فتوسنتز، طویل شدن سلول‌ها و فعالیت آنزیم‌ها، باعث کاهش رشد رویشی، پژمردگی و در نهایت، کاهش معنی‌دار بیوماس و اسانس در گیاهان معطر می‌شود (Blum, 2005; Motiee *et al*., 2021). ازجمله اثرات فیزیولوژیکی خشکی بر گیاهان، کاهش رشد رویشی و به‌ویژه رشد اندام هوایی است (Blum, 2005). حسنی و امیدبیگی (Hassani and Omidbeigi, 2002) اظهار داشتند که تنش آبی اثر معنی‌داری بر رشد، عملکرد، مقدار کلروفیل و اسانس ریحان داشت. میسرا و همکاران (Misra and Sricastatva, 2000) مشاهده کردند که در گیاه نعناع، تنش آبی باعث کاهش معنی‌دار در سطح برگ، ماده تر و خشک، مقدار کلروفیل و عملکرد اسانس شد. از سوی دیگر، تنش خشکی با افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، سبب القای تنش اکسیداتیو و تخریب غشاهای سلولی در این گیاه می‌گردد (Sharma and Shanker, 2005).

برای مقابله با اثرات سوء تنش خشکی، روش‌های مختلفی ازجمله اصلاح ژنتیکی (به‌نژادی) و استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، مورد توجه محققان قرار گرفته است. در این میان، کاربرد ترکیبات شیمیایی نظیر سالیسیلیک‌اسید به دلیل هزینه کمتر و سهولت اجرا، راهکاری عملی‌تر محسوب می‌شود (Heydari *et al*., 2012). در مقایسه با روش‌های به‌نژادی که اغلب بلندمدت و هزینه‌بر هستند، استفاده از مواد شیمیایی مانند سالیسیلیک‌اسید آسان‌تر و ارزان‌تر است (Heydari *et al*., 2012). سالیسیلیک‌اسید یا اورتوهیدروکسی بنزوئیک‌اسید و ترکیبات مربوط، متعلق به گروه متنوع فنلیک‌های گیاهی است که به‌عنوان تنظیم‌کننده‌ای شبه‌هورمونی مورد توجه است و درمکانیزم‌های دفاعی علیه تنش‌های زیستی و محیطی نیز نقش دارد (Moharekar *et al*., 2003). در پژوهش دیگری، اثر تنش خشکی و جاسمونیک‌اسید بر صفات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی نعناع فلفلی در شرایط مشابه مورد بررسی قرار گرفت (Kheiry *et al*., 2017). بررسی پژوهش‌های جدید نشان می‌دهد که کاربرد سالیسیلیک‌اسید در شرایط تنش خشکی نه‌تنها از افت شدید شاخص‌های رشدی جلوگیری می‌کند، بلکه با تحریک مسیر بیوسنتزی متابولیت‌های ثانویه، باعث افزایش درصد اسانس در گیاهانی نظیر ریحان، مرزنجوش و نعناع شده است (Keshavarz and Modares Sanavi, 2014; Safari *et al*., 2015). با وجود این، اطلاعات جامعی درمورد غلظت بهینه و اثرات متقابل سالیسیلیک‌اسید با سطوح مختلف کم‌آبیاری بر صفات مورفو-فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی نعناع فلفلی در شرایط اقلیمی ایران در دسترس نیست؛ لذا هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی تأثیر محلول‌پاشی سطوح مختلف سالیسیلیک‌اسید بر بهبود خصوصیات رشدی، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل، فعالیت آنزیم پراکسیداز و درصد اسانس گیاه نعناع فلفلی تحت شرایط کم‌آبیاری بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت یک‌ساله و در سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۴، به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد سالیسیلیک‌اسید بر صفات مورفو-فیزیولوژیکی گیاه نعناع فلفلی در شرایط تنش کم‌آبیاری، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی علوم باغبانی دانشگاه زنجان اجرا شد. دمای گلخانه در طول روز ۲۵±۳ درجه سانتی‌گراد، در شب ۱۸±۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی محیط حدود ۶۰±۵ درصد کنترل گردید.

تیمارهای تنش کم‌آبیاری شامل سه سطح ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد) بودند. پس از تهیه ریزوم‌های نعناع فلفلی از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان، در گلدان‌های پلاستیکی حاوی مخلوط ماسه، کود حیوانی و خاک باغچه (با نسبت ۱:۱:۱) کشت شدند. گلدان‌ها تا زمان سبز شدن و استقرار کامل گیاهان، با آبیاری کامل و یکسان نگهداری شدند. میزان رطوبت خاک در سطح ظرفیت مزرعه، قبل از کشت اندازه‌گیری شد و آبیاری بر اساس تغییرات وزن گلدان‌ها و نیاز به آبشویی انجام گرفت. تیمارهای تنش کم-

آبیاری و سالیسیلیک‌اسید به‌صورت هم‌زمان از ۲۰ فروردین ماه سال ۱۳۹۴ به مدت ۶ هفته اعمال گردیدند؛ به‌طوری که برای اعمال تیمارهای آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، به‌ترتیب ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب به هر گلدان تعلق گرفت.

محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید در سه غلظت صفر (شاهد)، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر انجام گرفت. بدین منظور، ابتدا مقدار مورد نیاز از پودر سالیسیلیک‌اسید (با خلوص ۹۹٪، ساخت شرکت مرک آلمان) در حجم کمی از اتانول ۹۶٪ حل و سپس با آب مقطر به حجم نهایی رسانده شد. به‌منظور افزایش قدرت نفوذ و جذب محلول، از ماده فعال سطحی توئین ۲۰ (Tween 20) به میزان ۰/۱ درصد (حجمی/ حجمی) استفاده گردید.

محلول‌پاشی در سه نوبت با فواصل زمانی ۱۴ روزه (هم‌زمان با شروع اعمال تنش کم‌آبیاری در ۲۰ فروردین ماه و سپس در ۴ و ۱۸ اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۴) انجام شد. در هر نوبت، محلول‌پاشی در ساعات اولیه صبح و به‌صورت یکنواخت بر کل اندام هوایی گیاهان (شامل برگ‌ها و ساقه‌ها) با استفاده از سمپاش دستی انجام گرفت تا سطح برگ‌ها کاملاً خیس شود و از رواناب محلول جلوگیری به عمل آید. میزان محلول مصرفی در هر نوبت به‌گونه‌ای تنظیم گردید که کلیه سطوح برگ‌ها به‌طور کامل پوشیده شوند (حدود ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول به‌ازای هر ۱۰ گلدان). آبیاری تمام تیمارها در طول دوره آزمایش به‌صورت دستی و با استفاده از آب‌پاش (فشارپاش دستی) و یکنواخت بر سطح هر گلدان انجام گرفت تا از ایجاد رواناب سطحی جلوگیری شود. آبیاری هفته‌ای دو بار (فاصله ۳-۴ روز) و بر اساس توزین روزانه گلدان‌ها انجام شد. دما (۲۵±۳ درجه روز، ۱۸±۲ درجه شب) و رطوبت (۶۰±۵٪) برای کلیه تیمارها یکسان بود. برداشت گیاهان در مرحله گل‌دهی، زمانی که حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد از جوانه‌های گل‌دهنده در هر بوته به‌طور کامل باز شده بودند، انجام شد.

برای اندازه‌گیری وزن تر، بوته‌ها از ارتفاع ۵ سانتی‌متری سطح خاک برداشت و بلافاصله با ترازوی دقیق (با دقت ۰/۰۱ گرم) توزین شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و وزن خشک آن‌ها ثبت گردید. عملکرد وزن تر و خشک در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار) بر اساس سطح مقطع گلدان‌ها محاسبه شد. ارتفاع بوته‌ها در مرحله گل‌دهی کامل، با استفاده از خط‌کش مدرج، از سطح خاک تا انتهای جوانه انتهایی ساقه اصلی اندازه‌گیری و ثبت گردید. اندازه‌گیری‌ها برای هر گلدان به‌صورت جداگانه انجام و میانگین سه تکرار برای هر تیمار محاسبه گردید.

محتوای کلروفیل کل

برای اندازه‌گیری کلروفیل، ۰/۵ گرم از بافت تر برگ به همراه ۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد کاملاً هموژنیزه شد. سپس عصاره حاصل با استفاده از سانتریفیوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ و محلول رویی (عصاره کلروفیل) جدا گردید. جذب نوری عصاره در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر خوانده شد. میزان کلروفیل کل برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ، با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (Arnon, 1967):

رابطه (۱)

$$\text{کلروفیل کل (mg/g FW)} = [(۲۰/۲ \times A_{645}) + (۸/۰۲ \times A_{663})] \times (V / ۱۰۰۰ \times W)$$

که در این رابطه: A_{645} و A_{663} = جذب نوری خوانده‌شده در طول موج‌های مربوط، V = حجم نهایی عصاره استونی (میلی‌لیتر) و W = وزن تازه نمونه برگ (گرم)

فعالیت آنزیم پراکسیداز

برای سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز، از عصاره‌های خام استخراج‌شده با بافر فسفات (با pH=7) استفاده شد. مخلوط واکنش شامل ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات (۱/۰ مولار)، ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیم، ۵/۰ میلی‌لیتر محلول گایکول (۲۰ میلی‌مولار) و ۳/۰ میلی‌لیتر محلول پراکسید هیدروژن (۳۰ میلی‌مولار) بود. تغییرات جذب نوری ناشی از اکسیداسیون گایکول در طول موج ۴۳۶ نانومتر، طی ۳ دقیقه و در فواصل ۳۰ ثانیه توسط اسپکتروفتومتر ثبت گردید (Rabiei and Jozqasemy, 2014). یک واحد فعالیت آنزیم پراکسیداز، به‌عنوان مقدار آنزیمی تعریف شد که باعث افزایش ۱/۰ واحد جذب در دقیقه به‌ازای هر میلی‌گرم پروتئین محلول می‌گردد. فعالیت آنزیم برحسب $U\ mg^{-1}$ protein محاسبه گردید.

محتوای نسبی آب برگ

برای تعیین محتوای نسبی آب برگ بر اساس روش یاماساکی و دیلنبورگ (Yamasaki and Dillenburg, 1999)، از برگ‌های جوان توسعه‌یافته نمونه‌هایی انتخاب و بعد از اندازه‌گیری وزن تر (FW)، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر غوطه‌ور شدند. سپس وزن تورژسانس (TW) آن‌ها

اندازه‌گیری و برای سنجش وزن خشک (DW)، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. در نهایت، محتوای نسبی آب (RWC) برگ برحسب درصد با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید:

رابطه (۲)

$$\%RWC = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100$$

استخراج اسانس و محاسبه درصد آن

برای استخراج اسانس، نمونه‌های خشک‌شده سرشاخه‌های گل‌دار نعناع فلفلی به‌صورت پودر درشت آسیاب و مقدار ۵۰ گرم از هر نمونه، به همراه ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر، درون بالون دستگاه تقطیر با آب (کلونجر) قرار داده شد. فرایند تقطیر به مدت ۳ ساعت انجام گرفت و اسانس استخراج‌شده، پس از خنک شدن، با استفاده از حلال اتیل‌اتر جداسازی گردید. سپس اسانس خالص‌شده در ویال‌های شیشه‌ای تیره جمع‌آوری و به همراه ماده بی‌آب سدیم سولفات (برای جذب رطوبت باقی‌مانده) نگهداری شد. درصد اسانس بر اساس نسبت حجم اسانس به‌دست‌آمده (میلی‌لیتر) به وزن خشک نمونه (گرم) و طبق رابطه ۳ محاسبه گردید:

رابطه (۳)

درصد اسانس = حجم اسانس (ml) / وزن خشک نمونه (gr) × ۱۰۰

کلیه استخراج‌ها در سه تکرار انجام شد و میانگین درصد اسانس برای هر تیمار گزارش گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌ها با کمک نرم‌افزار SAS9.0 تجزیه و تحلیل شدند و مقایسات میانگین با کمک آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام گرفت. رسم نمودار به کمک نرم‌افزار Excel 2007 انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج نشان داد که اثر تنش کم‌آبیاری بر ارتفاع گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش تنش کم‌آبیاری، ارتفاع گیاه کاهش یافت؛ به‌طوری که بیشترین میزان ارتفاع گیاه مربوط به آبیاری شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) به میزان ۵۳/۹۹ سانتی‌متر بود (جدول ۲). کاربرد سالیسیلیک‌اسید به‌طور معنی‌داری ($P\leq 0.01$) موجب افزایش ارتفاع گیاه گردید؛ به‌نحوی که بیشترین میزان ارتفاع گیاه مربوط به غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سالیسیلیک‌اسید بود (جدول ۳). بین سطوح خشکی و سالیسیلیک‌اسید، تفاوت معنی‌داری از نظر آماری مشاهده نشد و این با نتایج کرمی و عبدی (Karami and Abdi, 2020) مطابقت دارد. شرایط محیطی، ازجمله تنش آبیاری، به میزان زیادی ارتفاع بوته را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به همین دلیل، اولین اثر محسوس کم‌آبی روی گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع یا اندازه کوچک‌تر برگ‌ها تشخیص داد (Blum, 2005). احتمال داده می‌شود سالیسیلیک‌اسید بتواند سبب بهبود جذب عناصر غذایی، به‌خصوص در شرایط تنش شود که این خود می‌تواند افزایش رشد را به همراه داشته باشد و افزایش ارتفاع گیاهچه یکی از این موارد است (Ahmadian *et al.*, 2011). از طرفی، به نظر می‌رسد سالیسیلیک‌اسید با افزایش میزان کلروفیل در برگ‌هایی که در آغاز فرایند پیری هستند، می‌تواند سبب افزایش مجدد فتوسنتز و در نتیجه، افزایش رشد گردد (Moradi Marjane and Goldani, 2012). در یک بررسی، سالیسلیک‌اسید از طریق افزایش فعالیت‌های فتوسنتزی، رشد و ارتفاع گیاهان ریحان و مرزنجوش را افزایش داد (Keshavarz and Modares Sanavi, 2014). در تحقیقی دیگر، سالیسلیک‌اسید در شرایط تنش آبیاری سبب افزایش ارتفاع گیاه زیره سبز کاغذی گردید (Rezaei-Nejad and Khademi, 2001).

وزن تر و خشک بوته

نتایج نشان داد که اثر تنش آبیاری بر وزن تر و خشک گیاه در سطح یک درصد از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین‌های این صفت نشان داد که بیشترین میزان وزن تر در تیمار آبیاری شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) با ۹۳/۶ گرم و بیشترین میزان وزن خشک در تیمار آبیاری شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) با ۲۳/۸ گرم و همچنین کمترین میزان وزن تر و خشک نیز در تیمار تنش کم‌آبیاری شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) به‌ترتیب با ۶۰/۵ و ۱۷/۳ گرم به دست آمد (جدول ۲). با توجه به نتایج مقایسه میانگین مشاهده شد تنش آبیاری تأثیر قابل توجهی بر این صفت داشته است. تنش خشکی با محدودیت‌هایی که در جذب آب توسط گیاه و همچنین جذب عناصر غذایی برای گیاه ایجاد می‌کند، باعث کاهش بیوماس تولیدی می‌شود (Ebrahimi Asburzi et al., 2021). به عقیده بسیاری از محققین، نخستین و حساس‌ترین واکنش نسبت به کمبود آب، کاهش در آماس سلول و در نتیجه، کاهش رشد است (Tawfik, 2008). به نظر

می‌رسد کاهش رشد و در نتیجه، کاهش وزن تر و خشک گیاه نعناع فلفلی تحت تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی)، در نتیجه محدودیت آبی ناشی از اعمال تیمار تنش باشد که رشد و توسعه سلول‌ها را کاهش می‌دهد و در نهایت، رشد گیاه را محدود می‌کند (Sairam *et al.*, 1998). کاهش وزن تک‌بوته طی افزایش تنش می‌تواند مربوط به کاهش ارتفاع گیاه، کاهش سطح برگ تولیدی و افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت به بخش هوایی گیاه باشد (Sreevalli et al., 2001). سایر محققین نیز کاهش وزن تر و خشک گیاه را با افزایش شدت تنش گزارش کرده‌اند (Akbarzadeh et al., 2021; Tawfik, 2008). تأثیر کاربرد سالیسیلیک‌اسید بر وزن تر و خشک در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین میزان وزن تر و خشک با کاربرد سالسیلیک‌اسید ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، به‌ترتیب ۸۱/۸ و ۲۱/۷ و کمترین میزان نیز در تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۳). مطابق برخی پژوهش‌ها، محلول‌پاشی Mm ۵-۲ سالیسیلیک‌اسید، وزن تر و خشک را در گیاه وتیور افزایش داد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد (Safari et al, 2015).

جدول ۱. تجزیه واریانس صفات مورفو-فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی نعناع فلفلی تحت تأثیر تنش آبیاری و محلول پاشی سالیسیلیک اسید

Table 1. Analysis of variance for morphophysiological and phytochemical traits of peppermint (*Mentha piperita* L.) under the influence of drought stress and salicylic acid foliar application.

Sources of variation	df	Plant height	Fresh weight	Dry weight	Fresh yield	Dry yield	Peroxidase	Total chlorophyll	Leaf relative water content	Essential oil
Irrigation	2	5.2 **	912.2 **	327.9 **	1950818.5 **	1029526.2 **	0.0483 **	6.1 **	48.03 **	0.061 **
Salicylic acid	2	1.2 **	141.9 ns	21.03 *	2316572.1 *	15146.1 *	0.032 **	4.83 *	16.8 **	0.31 **
Salicylic acid × Irrigation	4	16.3 ns	71.73 ns	850.8 ns	467994.7 ns	57731.9 ns	0.017 **	0.067 ns	6.7 **	0.005 ns
Error	18	50.8	164.76	592.5	676867.02	40660.90	0.00034	0.951	2.28	0.006
CV (%)	-	14.6	17.1	11.7	13.8	11.5	8.8	14.4	9.1	12.45

ns: Non-significant *: Significant at the 5% probability level **: Significant at the 1% probability level

ns غیرمعنی‌دار ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ * معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪

عملکرد تر و خشک بوته

نتایج جدول ۱ نشان داد که اثر تنش آبیاری بر عملکرد تر و خشک گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. با افزایش تنش کم‌آبیاری، عملکرد تر و خشک کاهش یافت؛ به‌طوری که بیشترین میزان عملکرد تر و خشک گیاه مربوط به آبیاری شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) بود (جدول ۲). کاربرد سالیسیلیک‌اسید به‌طور معنی‌داری موجب افزایش وزن گیاه گردید؛ به‌نحوی که بیشترین میزان عملکرد وزن تر و خشک گیاه مربوط به غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سالیسیلیک‌اسید بود (جدول ۳). بین سطوح آبیاری و سالیسیلیک‌اسید، تفاوت معنی‌داری از نظر آماری مشاهده نشد.

اسریولی و همکاران بیان کردند که کاهش عملکرد و رشد گیاه گشنیز تحت تنش شدید ناشی از محدودیت آبی است که رشد و توسعه سلول‌ها را کاهش می‌دهد و در نهایت، رشد گیاه را محدود می‌کند (Sreevalli et al., 2001). کاهش وزن تک‌بوته طی افزایش سطح تنش خشکی می‌تواند مربوط به کاهش ارتفاع گیاه، کاهش سطح برگ تولیدی و افزایش تخصیص مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت به بخش هوایی گیاه باشد. سایر محققین نیز کاهش عملکرد گیاه را با افزایش شدت تنش گزارش کرده‌اند (Tawfik, 2008; Akbarzadeh et al., 2021).

کلروفیل کل

طبق نتایج، اثر تنش کم‌آبیاری بر کلروفیل کل در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل کل در تیمار شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) با میانگین ۸/۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و کمترین آن نیز در تیمار تنش کم‌آبیاری شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) با میانگین ۶/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر حاصل شد (جدول ۲). میزان کلروفیل در گیاهان، یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است (Sharma and Shanker, 2005). انواع گونه‌های فعال اکسیژن که طی تنش خشکی تولید می‌شود، باعث کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌گردد (Ashraf and Foolad, 2007). به نظر می‌رسد این کاهش در اثر تنش خشکی، به علت افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن باشد که این

رادیکال‌های آزاد باعث پراکسیداسیون و در نتیجه، تجزیه این رنگیزه می‌گردد (Sharma and Shanker, 2005). تایب (Tayeb, 2005) معتقد است کاهش کلروفیل ممکن است در اثر افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز و یا ممانعت از بیوسنتز کلروفیل و یا هر دو باشد. تنش خشکی، یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که می‌تواند رشد و نمو گیاهان را محدود کند؛ همچنین باعث انباشتگی گونه‌های اکسیژن واکنشگر و منجر به ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاهان شود (Keshavarz and Modares Sanavi, 2014). کاهش محتوای کلروفیل در تنش‌های خشکی و شوری می‌تواند به علت تحریک تنش یونی، کاهش سطح فتوسنتزی، افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن، پراکسیداسیون این رنگیزه‌ها و تجزیه شیمیایی ژن‌های مربوط به مسیر بیوسنتزی آن‌ها باشد (Safari *et al*., 2015). دانشمند و همکاران (Daneshmand *et al*., 2009) بیان کردند که بیشترین میزان کلروفیل (۴۰/۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) نعناع مربوط به شرایط آبیاری نرمال است و کمترین میزان (۳۳/۵۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تنش است. تأثیر کاربرد سالسیلیک‌اسید بر کلروفیل کل در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین میزان کلروفیل با کاربرد ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سالیسیلیک‌اسید به میزان ۸/۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و کمترین آن نیز در تیمار شاهد بود (جدول ۳). تیمار سالیسیلیک‌اسید در شرایط غیرتنش باعث کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود که مؤید نتایج حاضر است. این کاهش می‌تواند به این دلیل باشد که سالیسیلیک‌اسید به‌عنوان ترکیبی فنلی عمل می‌کند و در شرایط غیرتنش، احتمالاً با فعال‌سازی رادیکال سوپراکسید، سبب خسارت به پروتئین‌های کلروپلاست و پراکسیداسیون لیپیدهای غشای تیلاکوئیدها و سرانجام کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌شود. در مطالعه حاضر، کاربرد سالیسلیک‌اسید در غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تحت تنش کم‌آبیاری ۷۵ درصد، باعث افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل شد (جدول ۳). اثرات متقابل تنش آبیاری و سالیسیلک‌اسید بر محتوای کلروفیل کل معنی‌دار نبود (جدول ۱).

جدول ۲. مقایسه میانگین صفات مورفو-فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی نعناع فلفلی در سطوح مختلف تنش آبیاری (درصد ظرفیت زراعی)

Table 2. Mean comparison of morphophysiological and phytochemical traits of peppermint (*Mentha piperita* L.) at different levels of drought stress (percentage of field capacity).

Irrigation level (% FC)	Plant height (cm)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Fresh yield (kg ha^{-1})	Dry yield (kg ha^{-1})	Relative water content (%)	Total chlorophyll (mg g^{-1} FW)	Peroxidase (U mg^{-1} protein)	Essential oil (%)
100	53.99 ^{a}	92.25 ^{a}	23.8 ^{a}	8287.0 ^{a}	2105.45 ^{a}	50.7 ^{a}	8.57 ^{a}	0.23 ^{b}	0.56 ^{b}
75	41.18 ^{ab}	72.56 ^{b}	19.1 ^{b}	6546.4 ^{b}	1693.11 ^{b}	48.1 ^{b}	8.01 ^{a}	0.36 ^{a}	0.72 ^{a}
50	42.86 ^{b}	59.60 ^{c}	17.3 ^{b}	5360.0 ^{c}	1434.89 ^{b}	46.1 ^{c}	6.94 ^{b}	0.35 ^{a}	0.61 ^{b}

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه نعناع فلفلی در سطوح مختلف محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید (میلی‌گرم بر لیتر)

Table 3. Mean comparison of studied traits of peppermint (Mentha piperita L.) at different levels of salicylic acid foliar application (mg/L).

Salicylic acid level (mg L^{-1})	Plant height (cm)	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)	Fresh yield (kg ha^{-1})	Dry yield (kg ha^{-1})	Relative water content (%)	Total chlorophyll (mg g^{-1} FW)	Peroxidase (U mg^{-1} protein)	Essential oil (%)
0	44.06 ^{b}	70.13 ^{a}	18.73 ^{b}	6223.3 ^{b}	1618.80 ^{b}	49.00 ^{a}	7.22 ^{b}	0.272 ^{C}	0.443 ^{C}
200	55.09 ^{a}	77.96 ^{a}	21/75 ^{a}	7237.9 ^{a}	1880.75 ^{a}	47.06 ^{b}	7.66 ^{ab}	0.296 ^{b}	0.633 ^{b}
400	46.86 ^{b}	70.10 ^{a}	19.82 ^{ab}	6732.1 ^{ab}	1733.90 ^{ab}	49.71 ^{a}	8.65 ^{a}	0.385 ^{a}	0.816 ^{a}

Means followed by the same letter within each column are not significantly different at the 5% probability level based on Duncan's multiple range test.

حروف مشابه لاتین نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است.

آنزیم پراکسیداز

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش کم‌آبیاری بر فعالیت آنزیم پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین میزان آنزیم پراکسیداز مربوط به تنش کم‌آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت زراعی با کاربرد ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سالیسیلیک‌اسید، در پی تنش اکسایشی در گیاهان گونه‌های فعال اکسیژن تولید می‌شود و یا میزان آن‌ها در گیاه افزایش می‌یابد. سیستم‌های دفاعی گیاهان در برابر این گروه‌های فعال اکسیژن، شامل آنزیم‌هایی است که قادر به جابه‌جا کردن، جاروب کردن و یا خنثی کردن رادیکال‌های آزاد و واسطه‌های دارای اکسیژن هستند. آنزیم‌هایی مثل پراکسیداز می‌توانند این گروه‌های فعال اکسیژن را خنثی کنند (Eraslan et al., 2007). پراکسیدازها در سطح وسیعی در گیاهان توزیع شده‌اند. تغییر در تولید پراکسیدازها ممکن است توسط زخم، استرس‌های فیزیولوژیکی و آلودگی‌ها ایجاد شود. بسیاری از واکنش‌ها به‌وسیله پراکسیدازها تقویت می‌شوند و در حضور مقادیر کمی پراکسید هیدروژن، این آنزیم می‌تواند مقداری از ترکیبات فنلی را که در سطح گسترده‌ای تولید می‌شوند، اکسید نماید (Sharma and Shanker, 2005). تنش خشکی موجب افزایش تولید انواع اکسیژن واکنشگر و در نتیجه، افزایش دفاع آنتی‌اکسیدانی می‌شود. پراکسیدازها نقش بسیار مهمی در غیرفعال کردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول گیاه دارند و بسته به گونه گیاهی و شدت تنش، میزان فعالیت آن‌ها در گیاه تغییر می‌کند (Blum, 2005). پراکسیداز مسئول حذف مقادیر H_2O_2 است. SA به‌عنوان دهنده الکترون برای پراکسیداز عمل می‌کند که باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌شود (Tawfik, 2008). نتایج آزمایش کشاورز و مدرس‌ثانوی (Keshavarz and Modares Sanavi, 2014) نشان داد که با افزایش غلظت سالسیلیک‌اسید از ۲۰۰ میکرومولار به ۴۰۰ میکرومولار، بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز افزوده شد؛ به‌طوری که بیشترین میزان فعالیت این آنزیم در غلظت ۴۰۰ میکرومولار سالسیلیک‌اسید به دست آمد که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد. همسو با یافته‌های پژوهش حاضر، خیری و همکاران (Kheiry et al., 2017) نیز گزارش کردند که تنش خشکی باعث افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز و کاهش کلروفیل کل در نعناع فلفلی شد.

محتوای نسبی آب برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای آبیاری، سالیسیلیک‌اسید و اثر متقابل آن‌ها بر محتوای نسبی آب برگ در سطح یک درصد از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش تنش خشکی، محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت؛ به‌طوری که بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ مربوط به تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با کاربرد ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سالیسیلیک‌اسید بود. حیدری و همکاران (Heydari et al., 2012) بیان کردند با اعمال تنش خشکی، وضعیت آب در گیاه دچار تغییرات معنی‌دار شد؛ به‌طوری که محتوای نسبی آب در انیسون کاهش یافت و پس از آبیاری مجدد، بازیافت محتوای نسبی آب تا حدودی بهبود یافت؛ ولی باز هم با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری داشت و بازیافت به‌طور کامل نبود. کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نسبت به شاهد (آبیاری ۱۰۰ درصد) نشان‌دهنده اثر منفی تنش خشکی بر وضعیت آبی گیاه نعناع فلفلی است که با افزایش شدت تنش، این کاهش تشدید گردید. در تحقیق حاضر نیز با اعمال تنش خشکی، محتوای نسبی آب همه تیمارها کاهش یافت. اختلاف در میزان این صفت ممکن است به دلیل افزایش ذخایر آبی گیاه به‌وسیله استخراج زیاد آب در نواحی ریشه و یا افزایش طول ریشه برای افزایش ذخیره آب باشد؛ زیرا یکی از تأثیرات شناخته‌شده سالسیلیک‌اسید، افزایش حجم و طول ریشه است. گزارش شده است که محتوای آب نسبی بالا، مکانیزم مقاومت به خشکی است تا فرار از خشکی و اعتقاد بر این است که محتوای آب نسبی بالا، نتیجه تنظیم اسمزی بیشتر با کشش کمتر بافت است (Hayat et al., 2010). رمودی و خمر (Ramodi and Khamr, 2013) در بررسی اثرات متقابل محلول‌پاشی سالسیلیک‌اسید و تیمارهای مختلف آبیاری بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی تنظیم‌کننده‌های اسمزی ریحان گزارش کردند که اثر محلول‌پاشی سالسیلیک‌اسید در سطوح ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار نسبت به شاهد بیشتر بود که حاکی از تأثیر مثبت سالسیلیک‌اسید بر محتوای رطوبت نسبی برگ ریحان است.

درصد اسانس

طبق نتایج اثر تنش آبیاری بر درصد اسانس در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین درصد اسانس در تیمار آبی (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) با میانگین ۰/۷۲۳ درصد و کمترین آن نیز در تیمار شاهد

(۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) با میانگین ۰/۵۶ درصد است (جدول ۲). کاربرد سالیسیلیک‌اسید به‌طور معنی‌داری موجب افزایش اسانس گردید؛ به‌نحوی که بیشترین میزان اسانس مربوط به غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سالیسیلیک‌اسید بود (جدول ۳). اثر متقابل بین سطوح خشکی و سالیسیلیک‌اسید از نظر آماری معنی‌دار نشد. گیاهان بسته به گونه گیاهی و ژنوتیپ، به تنش آبیاری واکنش‌های متفاوتی نشان می‌دهند؛ بنابراین، تنظیم و مدیریت آب در گیاهان دارویی و معطر از نظر تولید اسانس حائز اهمیت است. در مطالعه اثر تنش آبیاری بدون تنش، تنش متوسط و تنش شدید روی زیره سبز نشان دادند که گیاهان تحت تنش متوسط نسبت به دو تیمار (بدون تنش شاهد و تنش شدید) از اسانس بالاتری برخوردار بودند (Safari et al., 2015). در تحقیقی دیگر، آبیاری بهینه در طول توسعه گیاهچه و رشد طولی ساقه و محدودیت دسترسی به آب در مراحل پس از شروع گل‌دهی، درصد اسانس مرزنجوش و کیفیت آن را بهبود بخشید (Fattahi Siahkamari *et al*., 2022). به‌طور کلی، هر کمبودی که رشد اندام هوایی را کاهش ولی فتوسنتز را افزایش دهد، تولید متابولیت‌های ثانویه را افزایش می‌دهد. افزایش مواد مؤثره گیاه دارویی استویا (Sanikhani *et al*., 2020)، مرزنگوش (Rezaei Alulu *et al*., 2019)، آویشن، اسطوخدوس، بابونه و افسنطین تحت تنش آبیاری نیز تأییدکننده مطلب فوق است (Ashraf and Foolad, 2007).

نتیجه‌گیری کلی

نعناع فلفلی گیاهی است دارویی که نسبت به کاهش میزان رطوبت خاک حساس است و این امر کشت گیاه را در مناطق مختلف، با توجه به کاهش نزولات جوی، محدود می‌کند. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان توسط تیمار گیاه از طریق محلول‌پاشی با سالیسیلیک‌اسید، به‌خصوص در غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر، از کاهش شاخص‌های رشدی در شرایط تنش جلوگیری کرد و شاخص‌هایی مانند وزن تر و خشک و همچنین با محلول‌پاشی در غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، میزان آنزیم پراکسیداز و محتوای نسبی آب و رنگیزه‌های فتوسنتزی از قبیل کلروفیل و همچنین درصد اسانس را در شرایط تنش آبیاری بهبود بخشید.

References

Ahmadian, A., Ghanbari, A., Siahsar, B., Haydari, M., Ramroodi, M., and Mousavinik, S.M., 2011. Study of chamomile's yield and its components under drought stress and organic and inorganic fertilizers usage and their residue. *Journal of Microbiology and Antimicrobials*, 3(1), 23-28. Akbarzadeh, A., Sadeghi, H., Gholami, M., and Mohammadi, K., 2021. The effect of deficit irrigation strategies on the efficiency from plant to essential oil production in peppermint (*Mentha piperita* L.). *Frontiers in Water*, 3, 682640. https://doi.org/10.3389/frwa.2021.682640

Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23(1), 112-121.

Ashraf, M., and Foolad, M.R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), 206-216. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006

Blum, A., 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential-are they compatible, dissonant, or mutually exclusive. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(11), 1159-1168. https://doi.org/10.1071/AR05069

Daneshmand, F., Arvin, M.J., and Kalantari, K.M., 2009. Effect of acetylsalicylic acid (Aspirin) on salt and osmotic stress tolerance in *Solanum bulbocastanum* in vitro: enzymatic antioxidants. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 6(1), 92-99. [In Persian]

Ebrahimi Asburzi, M., Khosravi, S., Rezaei, A., and Moradi, P., 2021. Evaluation of morphophysiological traits and quantitative and qualitative yield of peppermint under deficit irrigation stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(2), 421-436. [In Persian with English summary]

Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A., and Alpaslan, M., 2007. Impact of exogenous salicylic acid on growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. *Scientia Horticulturae*, 113(2), 120-128. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.03.012

Fatma, A.E., and Gharib, L., 2007. Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and majoram. *International Journal of Agriculture and Biology*, 9(4), 485-492.

Fattahi Siahkamari, S., Azad Ghujebigloo, H., Salehi Sardoei, A., Motamedi Sharak, H., and Babaei, K., 2022. Effect of drought stress and salicylic acid on some of growth traits, photosynthetic pigments and yield essential oil of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Cellular, Molecular and Biomedical Reports*, 2(1), 15-28. [In Persian]

Food and Agriculture Organization (FAO), 2007. *Crop Production Statistics*. Rome: FAO.

Hassani, E., and Omidbeigi, R., 2002. Effects of water stress on some morphological, physiological and

metabolic basil. *Journal of Agricultural Knowledge*, 12(3). [In Persian]

Hayat, Q., Hayata, S.H., Irfan, M., and Ahmad, A., 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 68(1), 14-25. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.08.005

Heydari, N., Poryusuf, M., Tavakoli, A., and Saba, J., 2012. The impact of water stress and harvest time on yield and essential oil of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 28(1), 78-92. [In Persian]

Idrees, M., Khan, M.M.A., Aftab, T., Naeem, M., and Hashmi, N., 2010. Salicylic acid-induced physiological and biochemical changes in lemongrass varieties under water stress. *Journal of Plant Interactions*, 5(4), 293-303. https://doi.org/10.1080/17429141003731449

Jahani, F., Tohidi-Moghadam, H., Mousavi, S.A., and Amini, R., 2021. Enzymatic activity and quality of peppermint under the influence of salicylic acid and drought stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 52(3), 175-189. [In Persian with English summary]

Karami, L., and Abdi, G., 2020. Effect of salicylic acid on some physicochemical properties and accumulation of secondary metabolites in peppermint (*Mentha piperita* L.) under water deficit stress. *Journal of Plant Interactions*, 15(1), 45-55. [In Persian]

Keshavarz, A., and Modares Sanavi, M., 2014. Effects of salicylic acid on chlorophyll, some growth characteristics and yield of two cultivars of rapeseed. *Crop Production Journal*, 7(4), 161-171. [In Persian]

Kheiry, A., Touri, H., and Mortazavi, N., 2017. Effect of drought stress and jasmonic acid on morphological and phytochemical traits of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 33(2), 268-280. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.106481.1783 [In Persian with English summary]

Misra, A., and Sricastatva, N.K., 2000. Influence of water stress on Japanese mint. *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants*, 7(1), 51-58. https://doi.org/10.1300/J044v07n01_06

Moharekar, S.T., Lokhande, S.D., Hara, T., Tanaka, R., Tanaka, A., and Chavan, P.D., 2003. Effect of salicylic acid on chlorophyll and carotenoid contents of wheat and moong seedlings. *Photosynthetica*, 41(2), 315-317. https://doi.org/10.1023/B:PHOT.0000011970.62116.06

Moradi Marjane, A., and Goldani, M., 2012. Assessment of different levels of salicylic acid on some growth characteristics of evergreen under water stress conditions. *Journal of Environmental Stress on Crop Science*, 33-45. [In Persian]

Motiee, M., Naseri, B., Fathi, M., and Karimi, A., 2021. Changes in essential oil components of peppermint under the influence of salicylic acid foliar application. *Journal of Medicinal Plants*, 20(78), 45-58. [In Persian with English summary]

Omidbeigi, R., 2009. *Production and Processing of Medicinal Plants* (Vol. 2, 5th ed.). Astan Quds Razavi Press. [In Persian]

Rabiei, V., and Jzqasmy, S., 2014. *Laboratory Methods in Horticultural and Agricultural Sciences*. West Azerbaijan Publication. [In Persian]

Ramodi, M., and Khamr, A., 2013. The interaction of salicylic acid spraying and irrigation treatments on some characteristics of quality, quantity and Osmotic Adjustment in basil. *Ecophysiology Journal*, 1(1). [In Persian]

Rezaei Alulu, A., Kheiry, A., Sani Khani, M., and Arghavani, M., 2019. Effect of salicylic acid and glycine betaine foliar application on morpho-physiological characteristics of Carla (*Momordica charantia* L.) under water deficit stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(1), 93-108. [In Persian with English summary]

Rezaei-Nejad, A., and Khademi, K., 2001. Effect of irrigation frequency and row spacing on grain yield and Cumin in Khorramabad. *First National Conference on Medicinal Plants*. [In Persian]

Sairam, R.K., Deshmukh, P.S., and Saxena, D.C., 1998. Role of antioxidant systems in wheat genotypes tolerance to water stress. *Biologia Plantarum*, 41(3), 387-394. https://doi.org/10.1023/A:1001898310321

Safari, M., Arghavani, M., and Kheiri, A., 2015. Effect of salicylic acid on morphological and physiological characteristics of vetiver grass under water deficit stress conditions. Journal of Crops Improvement, 17(3), 1-15. [In Persian with English summary]

Sharma, P., and Shanker, R., 2005. Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. *Plant Growth Regulation*, 46, 209-221. https://doi.org/10.1007/s10725-005-0003-9

Simon, J.E., Reiss-Buhenheinra, D., Joly, R.J., and Charles, D.J., 1992. Water stress induced alterations in essential oil content and composition of sweet basil. *Journal of Essential Oil Research*, 4(1), 71-75. https://doi.org/10.1080/10412905.1992.9698011

Sanikhani M, rastgoo A, Kheiry A, Aelaei M. Effect of foliar elicitor's salicylic acid and proline on steviol glycosides and phenolic contents of Stevia rebaudiana (Bert.). Plant Process and Function 2020; 9 (36):1-16. 20.1001.1.23222727.1399.9.36.10.3

Sreevalli Y, K. Baskaran, R, Chandrashekara, R Kuikkarni, S. Sushil Hasan, D. Samresh, J. Kukre, A. Ashok, K.Sharmr Singh, S. Srikant and T. Rakesh. 2001. Preliminary observations on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in periwinkle. *Medicinal and Aromatic Plant Science* 22: 356-358.

Tawfik, K.M., 2008. Effect of water stress in addition to potassium application on Mungbean. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2(1), 42-52.

Tayeb, M.A., 2005. Response of barley grain to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation*, 42(3), 215-224. https://doi.org/10.1007/s10725-004-1856-z