Crop Science Research in Arid Regions

homepage: https://cropscience.uoz.ac.ir/

Research Article
Volume 7, Issue 4, 2025, P. 739-758

Effect of drought stress and stress modifier on morphophysiological traits of peppermint (*Mentha piperita* L.)

Sima Ghiyasi [a], Zahra Movahedi [*a], Majid Rostami [a]

[a] Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran

[*]Corresponding Author: zahra_movahedi_312@yahoo.com

Received: 7 August 2024 Accepted: 17 November 2024 **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.470040.1427**

How to cite this article:
Ghiyasi, S., Movahedi, Z. and Rostami, M., 2025. Effect of drought stress and stress modifier on morphophysiological traits of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Crop Science Research in Arid Regions*, *7*(4), 739-758. https://doi.org/10.22034/csrar.2024.470040.1427

Abstract

Introduction: Peppermint (*Mentha piperita* L.) from the Lamiaceae family is one of the most widely used medicinal plants. In addition to therapeutic effects, it is used as a flavoring in the production of various foods and medicinal products. Drought stress is one of the most important factors in yield loss and production of field crops, horticulture, and herbs in the world. Several
agronomic and physiological strategies have been implemented to mitigate the negative effects of drought stress and increase plant tolerance to it. Utilizing organic fertilizers is one of the realistic and promising strategies for increasing crop yields under stressful conditions. Few studies have examined the use of these substances as stress modulators in medicinal plants. Humic acid as an organic acid and ascorbate as a powerful antioxidant can be effective to improve the yield in water stress conditions. Therefore, this research was conducted with the aim of investigating the effect of foliar spraying of ascorbic acid and humic acid on some morpho-physiological traits of peppermint under drought stress conditions.

Materials and Methods: In order to evaluate adjusting drought stress by using humic acid and ascorbic acid in peppermint, factorial experiment in a completely randomized design with three replications was conducted. Experimental treatments included drought stress (control and drought stress), humic acid and ascorbic acid (0, 2 and 4 g/l humic acid, 2 and 4 g/l ascorbic acid and 2 g/l humic acid and ascorbic acid). After two month, plant height, leaf number, dry weight of shoot, relative water content (RWC), proline, electrolyte leakage (EL), antocianine, leaf area, chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoid, malondialdehyde (MDA), K and P were measured. The obtained data were analyzed using Minitab statistical software. Mean comparisons were conducted using Duncan's multiple range test at a significance level of 5%.

Results and Discussion: The results of the analysis of variance showed that the interaction effect of drought stress and stress modifier was significant for the characteristics of plant height, the number of leaves, chlorophyll a, malondialdehyde and proline. The results showed that drought stress caused a

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

significant decrease in the growth characteristics, plant height, the number of leaves, chlorophyll a and increased malondialdehyde and proline and the application humic acid and ascorbic acid could compensation this damage. The results of the analysis of variance indicated the effect of drought stress and stress modifier was significant for Chlorophyll b, carotenoid, shoot dry weight, P and K, anthocyanin. Chlorophyll b, carotenoid, shoot dry weight, P and K in drought stress were less than control and application of humic acid and the application of ascorbic acid increased these traits. Also, drought stress increased anthocyanin. Also, the results showed that only drought stress effect was significant for leaf area, electrolyte leakage and relative water content. Drought stress conditions increased electrolyte leakage and leaf area and relative water content also decreased under drought stress.

Conclusion: The results of this study showed that the increase in drought stress causes changes in the physiological and morphological traits of peppermint plant. Based on the results obtained in this experiment, it can be stated that although drought stress has negative effects on the physiological and morphological traits of peppermint plant but by using drought stress modifiers (humic acid and ascorbic acid) we can reduce the effects of drought stress on this plant.

Keywords: Abiotic stress, Ascorbic acid, Humic acid, Medicinal plant

تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد هفتم، شماره چهارم، زمستان۱۴۰۴، ص ۷۵۸-۷۳۹

مقاله پژوهشی

تاثیر تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر صفات مورفوفیزیولوژیک نعناع فلفلی (*Mentha piperita*)

سیما قیاسی[۱]، زهراموحدی*[۱]، ، مجید رستمی[۱]

۱- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

* مسئول مکاتبه: Zahra_movahedi_312@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۷ **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.470040.1427**

چکیده

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین فاکتورهای کاهش عملکرد و تولید در گیاهان زراعی، باغی و دارویی است. به‌منظور ارزیابی امکان تعدیل تنش خشکی با استفاده از اسید هیومیک و اسید آسکوربیک در گیاه دارویی نعناع فلفلی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل خشکی (شاهد و تنش خشکی) و اسید هیومیک و اسید آسکوربیک (۰، ۲ و ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک، ۲ و ۴ گرم در لیتر اسید آسکوربیک و ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک و اسید آسکوربیک به‌طور همزمان) بود. نتایج نشان داد که ارتفاع بوته، تعداد برگ و کلروفیل نوع a تحت تاثیر تنش خشکی در مقایسه با شاهد (به‌ترتیب، ۲۵، ۶۱/۲۲ و ۳۵/۲۴ درصد) کاهش یافت و کاربرد اسید هیومیک و اسید آسکوربیک تا حدودی توانست سبب جبران این خسارت شود. وزن خشک اندام هوایی (۰/۶۰۷ گرم در بوته)، مقدار کلروفیل نوع b (۰/۹۰۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، کاروتنوئید (۰/۲۸۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، غلظت فسفر (۰/۱۳۷ درصد) و پتاسیم (۱/۷۲ درصد) نیز تحت تنش خشکی به‌دست آمد و کاربرد اسید هیومیک و اسید آسکوربیک، موجب افزایش این صفات گردید. همچنین تنش خشکی موجب افزایش پرولین، آنتوسیانین، نشت الکترولیت و مالون‌دی‌آلدئید گردید. براساس نتایج به‌دست آمده در این آزمایش می‌توان بیان کرد، که هر چند تنش خشکی اثرات منفی روی صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه نعناع فلفلی دارد، اما با کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی می‌توان تا حدی اثرات سوء تنش خشکی بر این گیاه را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: اسید آسکوربیک، تنش غیرزیستی، گیاه دارویی، هیومیک

مقدمه

یکی از بزرگترین تیره‌های گیاهی، نعنائیان می‌باشند که گیاهان دارویی مختلف اعم از ریحان (*Ocimum basilicum*)، نعناع (*Mentha pulegium*)، مریم‌گلی (*Salvia santolinifolia Boiss*)، مرزه (*Satureja spicigera*)، مرزنگوش (*Origanum vulgare*)، پونه‌کوهی (*Mentha longifolia* L.)، زوفا (*Hyssopus officinalis* L.)، آویشن (*Zataria multiflora* Boiss)، اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia* Mill) و بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) را در خود جای داده است. نعناع فلفلی با نام علمی *Mentha piperita* متعلق به خانواده Lamiaceae یک نعناع هیبریدی است که از تلاقی بین گونه‌های *Mentha spicata* و *Mentha aquatic* حاصل شده است. این گیاه بومی خاورمیانه و اروپا است و به‌صورت کشت شده یا وحشی یافت می‌شود (Tafrihi *et al.*, 2021). تنش‌های متعدد محیطی رشد گیاهان را تحت تاثیر قرار می‌دهند که هر یک از آن‌ها اثرات متفاوتی بر رشد و عملکرد گیاه می‌گذارند. اولین عامل کاهش عملکرد عوامل بیماری‌زا و دومین عاملی که اثر منفی روی رشد و عملکرد گیاهان دارد، خشکی می‌باشد. در میان تنش‌های غیرزیستی نیز، خشکی و تنش گرمایی دو تهدید حیاتی برای رشد محصولات زراعی و کشاورزی پایدار در سراسر جهان هستند (Awasthi *et al.*, 2014). از دیدگاه کشاورزی خشکی عبارت است از ناکافی بودن مقدار و توزیع آب قابل استفاده در طی دوره رشد گیاه که این امر موجب کاهش بروز توان کامل ژنتیکی گیاه می‌گردد. تنش گرمایی غالباً با تنش خشکی در شرایط مزرعه همراه است. واکنش‌های بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و ژنتیکی مختلفی در اثر تنش خشکی ایجاد می‌شود که رشد محصول را به‌شدت محدود می‌کند. تغییرات در فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه که در نهایت باعث آسیب و یا مرگ می‌شود، به‌عنوان تنش گیاه در نظر گرفته

می‌شود. گیاهان با مکانیسم‌های مختلفی آسیب‌های ناشی از تنش را کاهش داده و با زندگی در شرایط تنش سازگار می‌شوند (Atkinson and Urwin, 2012). نتایج مطالعه‌ای نشان داد که تنش خشکی اثر معنی‌داری در کاهش رشد، عملکرد و کلروفیل نعناع فلفلی داشت (Kheiry *et al.*, 2017). همچنین تنش خشکی پارامترهای رشد را در گیاهان دارویی مانند زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) و ریحان کاهش داد (Esmaielpour *et al.*, 2023; Soorni *et al.*, 2020). روش‌های زیادی برای اجتناب از اثرات تنش خشکی در گیاهان وجود دارد که راهبرد سریع‌تر برای القاء تحمل خشکی گیاه، کاربرد خارجی ترکیب‌های مختلف شامل محلول‌های آلی مانند اسید هیومیک و اسید آسکوربیک است. اسید آسکوربیک یکی از ترکیباتی است که به فراوانی در گیاهان وجود دارد که یک احیاءکننده قوی و مولکولی کوچک و قابل حل در آب است که با اکسیدکننده‌ها واکنش دارد. این ماده یک ضداکسایش مهم بوده که در حذف اکسیژن فعال در مسیر کلروپلاست و سیتوسول نقش مهمی دارد. اسید آسکوربیک در بسیاری از فرآیندهای سلولی مانند فتوسنتز نقش اساسی داشته و سبب مقاومت به تنش‌های غیرزیستی می‌شود (Soha *et al.*, 2010; Horemans *et al.*, 2000). تاثیر مثبت کاربرد اسید آسکوربیک در گیاه علف بره (*Festuca ovina*) در کاهش اثرات خشکی و گیاه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L) در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Rouhi *et al.*, 2021; Pourghasemian and Moradi, 2018).

مواد هیومیک بخش اصلی مواد آلی تشکیل‌دهنده خاک هستند که شامل اسید هیومیک و اسید فولیک می‌باشند. اسید هیومیک نقش‌های مستقیم و غیرمستقیمی در گیاه دارد که وابسته به غلظت آن می‌باشند (Ferrara *et al.*, 2007). اسید هیومیک در نتیجه پوسیدگی مواد آلی خاک، پیت و لیگنین به‌وجود می‌آید، در واقع یک ترکیب پلیمری طبیعی و آلی است که می‌تواند جهت افزایش محصول و کیفیت آن به‌کار رود (Gad El-HAK *et al.*, 2012). اسید هیومیک نفوذپذیری غشای سلولی را افزایش داده و بدین طریق ورود پتاسیم را تسهیل می‌کند که نتیجه آن افزایش فشار داخل سلولی و تقسیم سلول است و همچنین یک فاکتور مهم در جذب نیتروژن به درون سلول و کاهش تولید نیترات می‌باشد که منجر به افزایش تولید می‌شود (Khalesro and Malekian, 2017). نتایج یک آزمایش نشان داد که کاربرد ۶۰۰ میلی‌گرم اسید هیومیک سبب افزایش شاخص‌های رشدی در گیاهان دارویی کاسنی (*Cichorium intybus* L.) و کشتوک (*Pergularia tomentosa*) گردید (Sepehri *et al.*, 2024).

از راه‌های افزایش مقابله با تنش خشکی، توسعه سیستم ریشه‌ای می‌باشد. با افزایش ریشه‌دهی آب و مواد غذایی بیشتری توسط گیاه جذب می‌شود. اسید هیومیک با افزایش ریشه می‌تواند در کاهش تنش خشکی موثر باشد. مولکول‌های اسید هیومیک با مواد ریزمغذی خاک پیوند تشکیل داده و شبکه‌ای را ایجاد می‌کنند که در نتیجه حجم بیشتری از آب را در خود ذخیره می‌کنند (Hartz and Bottoms, 2010). همچنین این ماده می‌تولند باعث کاهش مصرف آب و مقاومت بیشتر به خشکی شده و از طرف دیگر، نیاز به دیگر کودها را کاهش داده و عملکرد را در گیاهان افزایش دهد (Mayhew, 2004). در گزارشی بیان شده است که اعمال ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک در شرایط تنش خشکی و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک در شرایط تنش شدید در گیاه گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum*) موثر بوده است (Haghighi and Najafi, 2020). در گیاه دارویی آنیسون (*Pimpinella anisum* L.) نیز کاربرد اسید هیومیک به‌میزان ۴ کیلوگرم در هکتار اثرات منفی تنش خشکی را در مراحل رشد رویشی و زایشی به‌طور قابل‌توجهی کاهش داد (Babaeian *et al.*, 2021). با توجه به اینکه تنش خشکی از رایج‌ترین تنش‌های محیطی در ایران است، انجام مطالعات مورفولوژیک و فیزیولوژیک و به‌کارگیری اسید هیومیک و اسید آسکوربیک به‌منظور بررسی واکنش نعناع فلفلی، می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای شناخت نحوه سازگاری و تحمل به خشکی این گیاه مفید واقع شود. از این رو تحقیق حاضر به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک و اسید آسکوربیک بر مورفولوژی و فیزیولوژی گیاه نعناع فلفلی در شرایط تنش خشکی صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌منظور بررسی تاثیر تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی شامل اسید آسکوربیک و اسید

هیومیک بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه دارویی نعناع فلفلی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ملایر با دمای حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد، فتوپریود ۱۶ ساعت روشنایی و رطوبت حدود ۵۵ درصد در اردیبهشت سال ۱۴۰۲ اجرا شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام شد. آبیاری کامل به عنوان شاهد و آبیاری پس از رسیدن به ۵۰ درصد ظرفیت گلدانی به عنوان تیمار تنش خشکی، فاکتور اول؛ تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی (شاهد، ۲ و ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک، ۲ و ۴ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک و ۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک به‌طور همزمان)، فاکتور دوم بودند.

ابتدا خاک گلدان‌ها به نسبت دو قسمت خاک باغچه، یک قسمت ماسه و یک قسمت مخلوط کود دامی و ورمی کمپوست آماده شدند و سپس ۳ عدد نشاء ۴ برگی در هر گلدان کشت شد و پس از اطمینان از استقرار گیاهچه‌ها تیمارها اعمال شدند و آبیاری بر حسب ضرورت با توجه به شرایط تنش یا بدون تنش به‌روش وزنی تنظیم گردید. تیمار اسید آسکوربیک و اسید هیومیک در دو مرحله با فاصله دو هفته روی گیاهان مورد نظر محلول‌پاشی شد. پس از ۶۰ روز، برداشت گیاهان صورت گرفت.

در پایان آزمایش، شاخساره گیاهان از سطح خاک قطع و همچنین ریشه‌ها با دقت از خاک خارج و گل‌ولای ریشه‌ها به‌طور کامل با آب شسته شد و نمونه‌های گیاهی به آزمایشگاه منتقل شدند. وزن خشک اندام هوایی پس از قرار دادن نمونه‌ها در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت، با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم تعیین گردید. ارتفاع کل گیاه به‌وسیله خط‌کش بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. تعداد برگ‌های هر بوته به‌صورت جداگانه شمارش و پس از اندازه‌گیری سطح برگ‌ها با استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ، سطح ویژه برگ با استفاده از رابطه ۱ تعیین شد:

$$SLA = \frac{LA}{LDM} \qquad (۱)$$

که در این رابطه LA برابر است با سطح برگ گیاه بر حسب میلی‌متر مربع و LDM معادل وزن خشک برگ بر حسب گرم می‌باشد. سنجش نشت الکترولیت بر اساس روش بن حامد و همکاران انجام شد (Ben Hamed *et al.*, 2007). جهت سنجش پرولین از روش بیتس و همکاران و جهت اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی از روش آرنون استفاده شد (Bates *et al.*, 1973; Arnon, 1987). از روش واگنر جهت اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین استفاده گردید (Wagner, 1979). همچنین در این پژوهش، میزان مالون‌دی‌آلدئید و محتوای نسبی آب برگ اندازه‌گیری شد (Heath and Packer, 1968). برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، ابتدا وزن تر نمونه اندازه‌گیری شد، سپس نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار داده شد و وزن برگ اشباع شده اندازه‌گیری شد. پس از آن برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفته و وزن خشک آن اندازه‌گیری شد. محتوای نسبی آب برگ بر اساس معادله ۲ محاسبه گردید (Ritchie and Nguyen, 1990).

$$RWC = [(Fw - Dw) / (Sw - Dw)] \times 100 \qquad (۲)$$

روش اندازه‌گیری فسفر و پتاسیم

در پایان آزمایش و پس از جمع‌آوری نمونه‌های گیاهی بخشی از آن جهت تعیین میزان عناصر غذایی پرمصرف مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌های همگن ابتدا در داخل آون به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند، و سپس فسفر به‌روش رنگ‌سنجی و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (Analytik Jena, Specord 205) و پتاسیم به‌روش نشر شعله‌ای و با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتر (JENWAY, PFP7) مورد سنجش قرار گرفت (Jones, 2001).

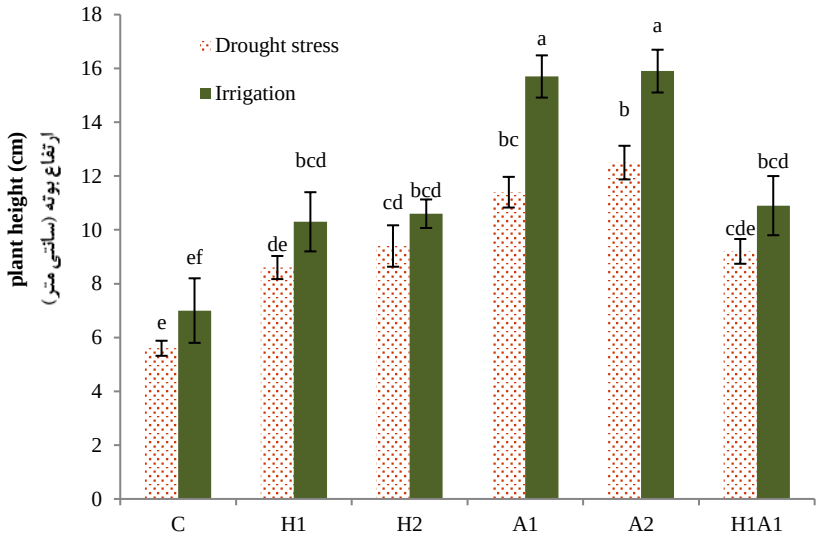
برای انجام محاسبات آماری از نرم‌افزار Minitab 21.3 و مقایسه میانگین از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. همچنین رسم نمودارها با نرم افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد، ارتفاع بوته نعناع فلفلی تحت تأثیر تنش اسید هیومیک و اسید آسکوربیک و همچنین اثرمتقابل تنش و تعدیل‌کننده‌های تنش قرار گرفت. بررسی اثرات متقابل تنش و تعدیل‌کننده‌های تنش بر ارتفاع بوته نعناع فلفلی نشان داد، بیشترین میزان ارتفاع بوته در بین تمام تیمارها، تحت تأثیر تیمار آبیاری کامل+ مصرف

اسید آسکوربیک در هر دو غلظت ۲ و غلظت ۴ گرم در لیتر به‌دست آمد و کمترین میزان ارتفاع بوته نیز در تیمار تنش و بدون مصرف تعدیل‌کننده‌های تنش به‌دست آمد (شکل ۱). اولین اثر محسوس کم‌آبی روی گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع یا اندازه کوچک‌تر برگ‌ها تشخیص داد که در واقع کمبود آب موجب کاهش تورژسانس سلولی و در نهایت کاهش رشد و توسعه سلول می‌شود (Babaee *et al.*, 2010). کاهش ارتفاع در اثر تنش خشکی در گیاهان مختلفی گزارش شده است (Asghari *et al.*, 2023; Samadiyan-Sarbangholi *et al.*, 2024). بر اساس نتایج این آزمایش، کاربرد اسید هیومیک و اسید آسکوربیک در هر دو غلظت، ارتفاع بوته را در شرایط نرمال و تنش خشکی افزایش داده‌اند. در این بین، نقش اسید آسکوربیک نسبت به اسید هیومیک در کاهش اثر تنش خشکی بیشتر بوده است (شکل ۱). کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش جهت کاهش اثرات منفی تنش خشکی روی ارتفاع گیاهان توسط سایر پژوهشگران گزارش شده است (Ghasemi *et al.*, 2021; Pourghasemian and Moradi, 2018). یکی از دلایل افزایش رشد و ارتفاع گیاه در زمان کاربرد کودهای آلی به‌دلیل تأثیر آن بر متابولیسم سلول‌های گیاهی و نیز افزایش قدرت کلات‌کنندگی و جذب عناصر غذایی است (Nardi *et al.*, 2002). همچنین اسید آسکوربیک می‌تواند به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشدی در گیاهان نقش داشته باشد. این ماده به‌عنوان یک کوفاکتور مهم در بسیاری از تنظیم‌کننده‌ها از جمله جبرلین نقش داشته و از این طریق سبب تعدیل تنش‌های محیطی، افزایش تقسیم، گسترش سلول و رشد گیاه می‌شود (Taqi *et al.*, 2011).



شکل ۱- اثر متقابل تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر ارتفاع بوته

Figure 1- Interaction of drought stress and stress modifier on plant height

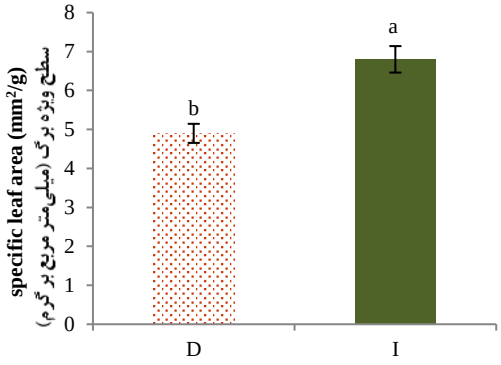
H1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک، H2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک، A1: غلظت۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: غلظت ۴ گرم در لیتر در هزار اسید آسکوربیک،A1H1: ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک و اسید آسکوربیک

H1: 2 g/l humic acid, H2: 4 g/l humic acid, A1: 2 g/l ascorbic acid, A2: 4 g/l ascorbic acid, A1H1: 2 g/l humic acid and 2 g/l ascorbic acid

تعداد و سطح ویژه برگ

طبق جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، اثرمتقابل تنش خشکی و کاربرد تعدیل‌دهنده بر تعداد برگ معنی‌دار بود ولی برای سطح ویژه برگ فقط اثر ساده تنش معنی‌دار شد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، تنش خشکی سبب کاهش سطح ویژه برگ شده است. نتایج این پژوهش با نتایج مطالعه‌ای مبنی بر اینکه تنش خشکی موجب کاهش سطح برگ می‌شود، مطابقت دارد (Sorkhi and Fateh, 2019). احتمالا کم آبیاری موجب کاهش رشد از طریق کاهش توسعه سلولی ناشی از کاهش فشار تورژسانس و تقسیم سلولی و کاهش فتوسنتز ناشی از بسته شدن روزنه‌ها و در نهایت موجب کاهش سطح برگ شده است. گزارش شده که تنش خشکی از طریق افزایش تنفس و کاهش فتوسنتز سبب کاهش سرعت رشد محصول می‌گردد (Tadayon and

Mohtashami, 2020; Jamali, 2013). در اثر تنش خشکی، تعداد برگ به‌شدت کاهش یافته است و کاربرد تعدیل‌کننده‌ها به‌خصوص اسید آسکوربیک در هر دو سطح سبب بهبود قابل توجه این صفت گردید (شکل ۳). نتایج مطالعه‌ای در دو گیاه دارویی کاسنی و کشتوک نشان داد که کاربرد اسید هیومیک تعداد برگ را افزایش داده است (Sepehri *et al.*, 2024). در پژوهشی دیگر، کاربرد اسید آسکوربیک و اسید هیومیک باعث افزایش تعداد برگ در گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) گردید (Nasiri *et al.*, 2019).

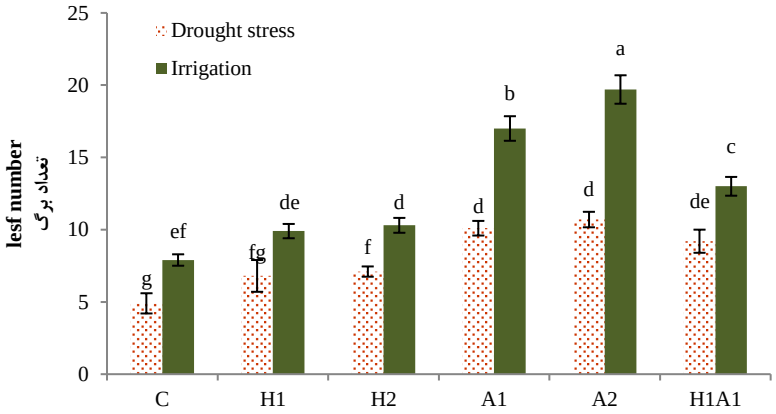


شکل ۲- اثر تنش خشکی بر سطح ویژه برگ

Figure 2- Effect of drought stress on specific leaf area

D:تنش خشکی و I:آبیاری

D:Drought stress; I:Irrigation



شکل ۳- اثر متقابل تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر تعداد برگ

Figure 3- Interaction of drought stress and stress modifier on leaf number

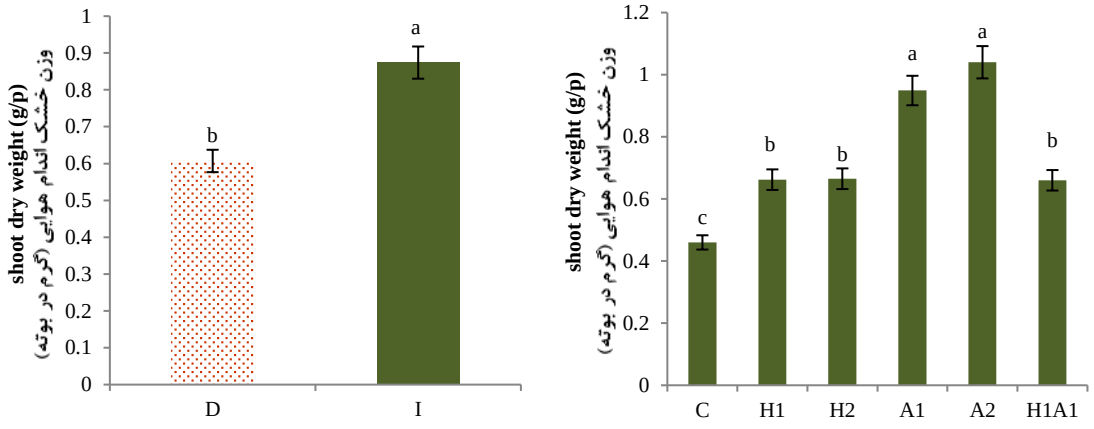
H1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک، H2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک، A1: غلظت۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: غلظت ۴ گرم در لیتر در هزار اسید آسکوربیک،A1H1: ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک و اسید آسکوربیک

H1: 2 g/l humic acid, H2: 4 g/l humic acid, A1: 2 g/l ascorbic acid, A2: 4 g/l ascorbic acid, A1H1: 2 g/l humic acid and 2 g/l ascorbic acid

وزن خشک اندام هوایی

وزن خشک اندام هوایی تحت تاثیر تنش و تعدیل‌کننده‌های تنش قرار گرفت ولی اثرمتقابل آنها معنی‌دار نبود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر تنش نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی شده است (شکل ۴). مقایسه میانگین اثر اسید هیومیک و اسید آسکوربیک نشان داد که کمترین وزن خشک اندام هوایی در شرایط عدم کاربرد اسید هیومیک و اسید آسکوربیک به‌دست آمد. کاربرد اسید هیومیک و اسید آسکوربیک و همچنین کاربرد همزمان این دو ماده باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی شده است، اگرچه اثر اسید آسکوربیک در مقایسه با اسید هیومیک بیشتر بوده است (شکل ۴). نتایج پژوهش حاضر با نتایج به‌دست آمده در تحقیقات دیگر

مطابقت دارد که با افزایش تنش خشکی وزن تر و خشک گیاه کاهش یافته است (Salehi Shanjani *et al.*, 2020). تنش خشکی می‌تواند از طریق تغییراتی که در مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاه ایجاد می‌کند و همچنین با متوقف نمودن گسترش سلول‌ها و کاهش فشار آماس، بر وزن خشک گیاه تاثیر گذاشته و موجب کاهش وزن در گیاه شود (Haghighi and Najafi, 2020). همسو با نتایج این مطالعه، سایر محققان بیان کردند که کاربرد موادی مانند اسید هیومیک و اسید آسکوربیک می‌تواند روی وزن گیاه اثر مثبتی داشته و باعث افزایش وزن در گیاه شوند (Zarei *et al.*, 2021; Pourghasemian and Moradi, 2018). گزارش‌هایی مبنی بر وجود تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در اثر کاربرد کودهای آلی و امکان بهبود رشد گیاهی تحت این شرایط وجود دارد. مزیت استفاده از این کودها در مقابل سایر کودها به‌دلیل فراهمی بیشتر عناصر غذایی است. افزودن کود آلی به خاک، بسترهای کشت و محلول غذایی به افزایش رشد گیاه کمک می‌کند. کود آلی به‌دلیل فراهم کردن مقادیر بیشتری از عناصر مغذی، منجر به بیشتر شدن وزن گیاه می‌گردد (Yadegari, 2022).



شکل ۴- اثر تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر وزن خشک اندام هوایی

Figure 4- Effect of drought stress and stress modifier on dry weight of shoot

H1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک، H2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک، A1: غلظت۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: غلظت ۴ گرم در لیتر در هزار اسید آسکوربیک،A1H1: ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک و اسید آسکوربیک

D:تنش خشکی و I:آبیاری

H1: 2 g/l humic acid, H2: 4 g/l humic acid, A1: 2 g/l ascorbic acid, A2: 4 g/l ascorbic acid, A1H1: 2 g/l humic acid and 2 g/l ascorbic acid

D:Drought stress; I:Irrigation

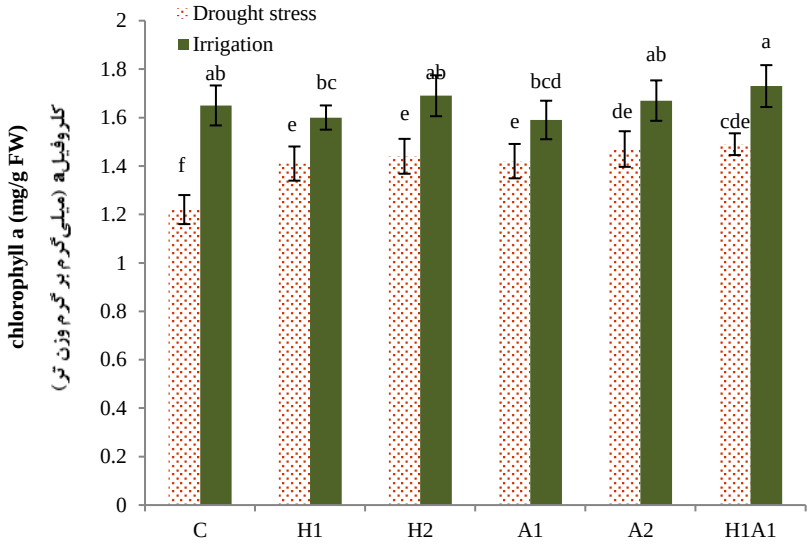
جدول ۱- تجزیه واریانس تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر صفات مورفولوژیک

Table 1- Variance analysis of drought stress and stress modifier on morphological traits

منابع تغییر Source of variables	درجه آزادی Degree freedom	وزن خشک اندام هوایی dry weight of shoot	تعداد برگ leaf number	ارتفاع کل plant height	سطح ویژه برگ specific leaf area
تنش خشکی (A) drought stress (A)	1	0.003**	210.25**	47.3**	377221.7**
تخفیف دهنده تنش (B) stress modifier (B)	5	0.001**	67.49**	51.19**	5158.9 $^{n.s}$
A×B	5	0≤00000000$^{n.s}$	9.47**	2.25*	673.45 $^{n.s}$
خطای کل Total error	24	0≤00000000	0.483	0.617	8452.32
ضریب تغییرات (٪) Coefficient variable (%)	-	6.8	6.58	7.39	19.51

رنگیزه‌های فتوسنتزی

بر اساس نتایج به‌دست آمده (جدول ۲) برای میزان کلروفیل نوع a، اثرمتقابل تیمارهای مختلف اسید هیومیک و اسید آسکوربیک با تنش خشکی معنی‌دار بود. در اثر اعمال تنش خشکی میزان کلروفیل نوع a در همه تیمارهای آزمایشی به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت که این امر بیانگر اثرات مخرب تنش خشکی بر تولید یا حفظ رنگیزه‌های فتوسنتزی است. در شرایط بدون تنش هیچ یک از تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت، در حالی‌که در شرایط تنش خشکی همه تیمارها با شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند و این نکته بیانگر آن است که در شرایط تنش، استفاده از ترکیبات اسید هیومیک و اسید آسکوربیک می‌تواند به‌صورت معنی‌داری باعث افزایش میزان این رنگیزه شود (شکل ۵). برای صفات کلروفیل نوع b و کاروتنوئید نیز اثرات ساده تنش و اثر ساده تعدیل‌کننده‌های تنش (اسید آسکوربیک و اسید هیومیک) معنی‌دار گردید ولی اثرمتقابل آنها معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج اثر ساده تنش خشکی (شکل ۶)، کاهش میزان کاروتنوئید و کلروفیل نوع b تحت شرایط تنش خشکی را نشان داد. همچنین نتایج نشان داد (شکل ۷)، که کاربرد اسید هیومیک و اسید آسکوربیک باعث افزایش میزان کاروتنوئید و کلروفیل نوع b شده است. نتایج تحقیقی در گیاه آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) نشان داد که با کاربرد اسید آسکوربیک مقادیر رنگیزه‌های فتوسنتزی افزایش یافته است. این نشان می‌دهد که اسید آسکوربیک به‌عنوان ضداکسایش قوی توانسته است از فعالیت رادیکال‌های آزاد اکسیژن ناشی از تنش و به‌دنبال آن تخریب غشای کلروپلاستی جلوگیری کرده و محتوای کلروفیل گیاه را حفظ کند (Ghaderi *et al.*, 2018). یکی از دلایل کاهش در میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت شرایط تنش خشکی، تخریب بیشتر کلروفیل نسبت به سنتز آن است (Thalooth *et al.*, 2006). تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، تخریب پیش‌ماده‌های سنتزکننده کلروفیل و ممانعت از بیوسنتز کلروفیل‌های جدید و فعال شدن آنزیم‌های تجزیه‌کننده کلروفیل از جمله کلروفیلاز و اختلالات هورمونی می‌تواند از دیگر دلایل کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی در اثر تنش خشکی باشد (Neocleous and Vasilakakis, 2007). کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی در اثر تنش خشکی در گیاه دارویی مرزه، سرخارگل (*Echinacea purpurea*) و سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) گزارش شده است (Hosseinian *et al.*, 2020; Tavosi *et al.*, 2024; Kiani *et al.*, 2024).

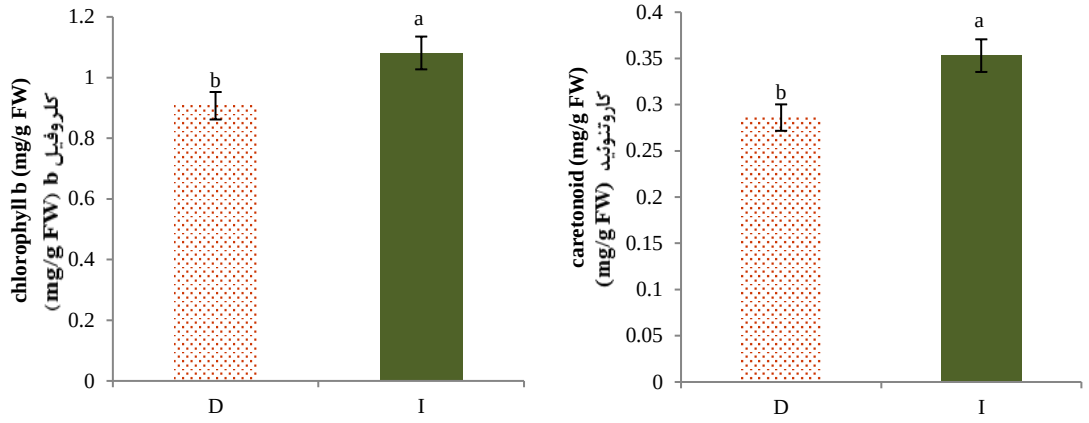


شکل ۵- اثر متقابل تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر میزان رنگیزه کلروفیل a

Figure 5- Interaction of drought stress and stress modifier on chlorophyll a

H1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک، H2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک، A1: غلظت۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: غلظت ۴ گرم در لیتر در هزار اسید آسکوربیک،A1H1: ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک و اسید آسکوربیک

H1: 2 g/l humic acid, H2: 4 g/l humic acid, A1: 2 g/l ascorbic acid, A2: 4 g/l ascorbic acid, A1H1: 2 g/l humic acid and 2 g/l ascorbic acid

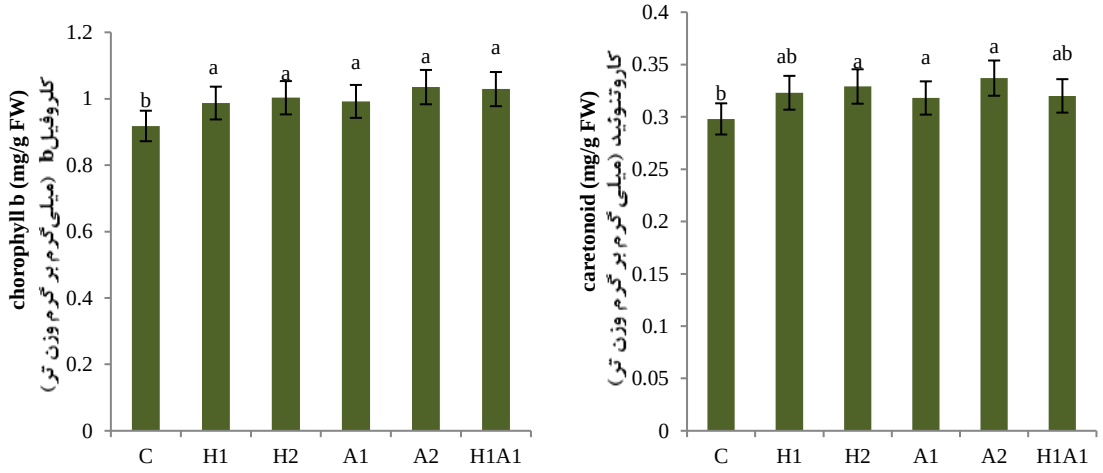


شکل۶- اثر تنش خشکی بر کلروفیل b و کاروتنوئید

Figure 6- Effect of drought stress on chlorophyll b and carotenoid

D: تنش خشکی و I: آبیاری

D: Drought stress; I: Irrigation



شکل ۷- اثر تعدیل‌کننده‌های تنش بر کلروفیل b و کاروتنوئید

Figure 7- Effect of stress modifier on chlorophyll b and carotenoid

H1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک، H2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک، A1: غلظت۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: غلظت ۴ گرم در لیتر در هزار اسید آسکوربیک،A1H1: ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک و اسید آسکوربیک

H1: 2 g/l humic acid, H2: 4 g/l humic acid, A1: 2 g/l ascorbic acid, A2: 4 g/l ascorbic acid, A1H1: 2 g/l humic acid and 2 g/l ascorbic acid

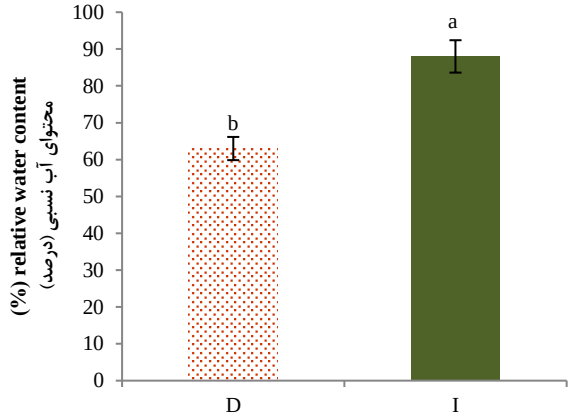
جدول ۲- تجزیه واریانس تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر رنگیزه‌های فتوسنتزی

Table 2- Variance analysis of drought stress and stress modifier on photosynthetic pigments

منابع تغییر Source of variables	درجه آزادی Degree freedom	کلروفیل a chlorophyll a	کلروفیل b chlorophyll b	کاروتنوئید carotenoid
تنش خشکی (A) drought stress (A)	1	0.558**	0.276**	0.039**
تخفیف دهنده تنش (B) stress modifier (B)	5	0.029**	0.011**	51.19*
A×B	5	0.008**	0.0005$^{n.s}$	2.25*
خطای کل Total error	24	0.002	0.001	0.617
ضریب تغییرات (٪) Coefficient variable (%)	-	2.91	3.19	7.39

محتوای آب نسبی

در آزمایش حاضر تنش خشکی تا ۳۹/۷ درصد محتوای آب نسبی را نسبت به شاهد کاهش داد، که نشان از اثر سوء تنش خشکی دارد (شکل ۸). در گیاه زیره سبز تنش خشکی موجب کاهش محتوای آب نسبی شده است که در تطابق با نتایج بدست آمده از این مطالعه می‌باشد (Shojaei Baghini and Naghizadeh, 2024). یکی از شاخص‌های مناسب برای بیان وضعیت آب در گیاهان، محتوای نسبی برگ بوده و وضعیت فراگیرتری از تعادل بین میزان عرضه آب نسبی برگ و میزان تعرق را نشان می‌دهد (Kumar *et al.*, 1992). چنانچه محتوای نسبی آب برگ بالا باشد گیاه تورم سلولی خود را حفظ کرده، رشد آن تداوم می‌یابد (Rao *et al.*, 1991). در مقابل، تنش خشکی با کاهش محتوای نسبی آب برگ، بسته شدن روزنه و به‌دنبال آن کاهش فتوسنتز و تحت تأثیر قرار دادن فعالیت‌های آنزیمی و فرآیندهای متابولیسمی مربوط، موجب کاهش عملکرد گیاه می‌شود (Haddad *et al.*, 2022).



شکل ۸- اثر تنش خشکی بر محتوای آب نسبی

Figure 8- Effect of drought stress on Relative Water Content (RWC)

D:تنش خشکی و I:آبیاری

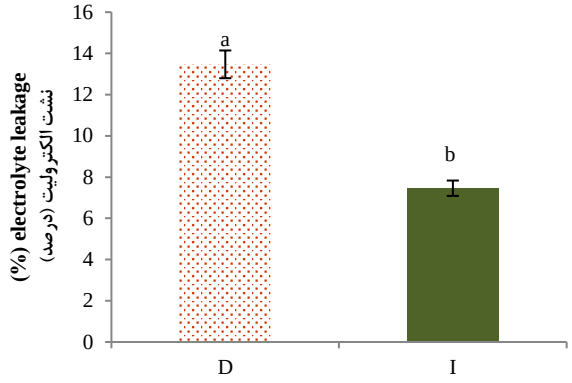
D: Drought stress; I:Irrigation

مالون‌دی‌آلدئید و نشت الکترولیت

همچنین بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثرمتقابل تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر میزان مالون‌دی‌آلدئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، غلظت مالون‌دی‌آلدئید در گیاه نعناع فلفلی تحت تنش خشکی افزایش یافت که به‌دنبال این افزایش، غشا سلولی تخریب و میزان نشت یونی در مقایسه با گیاهان شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۹). در مطالعات دیگر نیز افزایش مالون‌دی‌آلدئید و به‌دنبال آن افزایش نشت یونی تحت شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Pamungkas *et al.*, 2022; Shojaei Baghini and Naghizadeh, 2024).

کمترین میزان مالون‌دی‌آلدئید با میانگین mmol/g FW ۰/۱۹ مربوط به شرایط نرمال آبیاری و ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک می‌باشد و بیشترین مقدار در شرایط تنش و کاربرد ۴ گرم در لیتر اسید آسکوربیک و همچنین در شرایط تنش و بدون کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش مشاهده شد (شکل ۱۰). کاربرد اسید هیومیک و غلظت ۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک باعث کاهش میزان مالون‌دی‌آلدئید در شرایط تنش شده که نشان‌دهنده اثر آنها در کاهش اثرات منفی ناشی از تنش خشکی می‌باشد. نتایج گزارش‌های متعددی نشان داده است که استفاده از اسیدهای آلی مانند اسید هیومیک در گیاهان تحت تنش‌های غیرزیستی می‌تواند سبب کاهش آسیب به غشا و در نتیجه کاهش میزان مالون‌دی‌آلدئید در این شرایط گردد (Sharifiasl Khodamoradi *et al.*, 2018; *et al.*, 2020).

به‌نظر می‌رسد حفظ ساختار غشا و جلوگیری از افزایش میزان مالون‌دی‌آلدئید در گیاه نعناع فلفلی تحت تنش خشکی با کاربرد اسید هیومیک و غلظت پایین اسید آسکوربیک، بیانگر فعال شدن مکانیسم‌های دفاعی گیاه باشد.

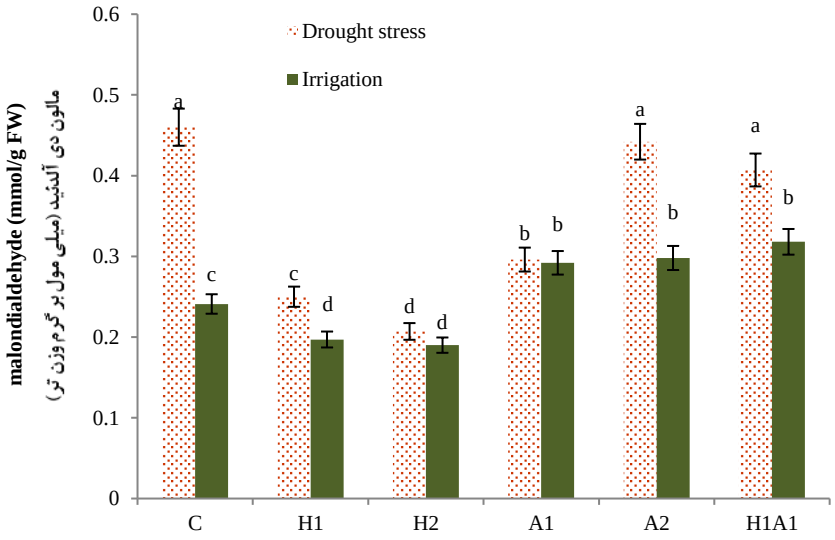


شکل ۹- اثر تنش خشکی بر نشت الکترولیت

Figure 9- Effect of drought stress on electrolyte leakage

D: تنش خشکی و I: آبیاری

D: Drought stress; I: Irrigation



شکل ۱۰- اثر متقابل تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر میزان مالون دی آلدئید

Figure 10- Interaction of drought stress and stress modifier on malondialdehyde

H1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک، H2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک، A1: غلظت۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: غلظت ۴ گرم در لیتر در هزار اسید آسکوربیک،A1H1: ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک و اسید آسکوربیک

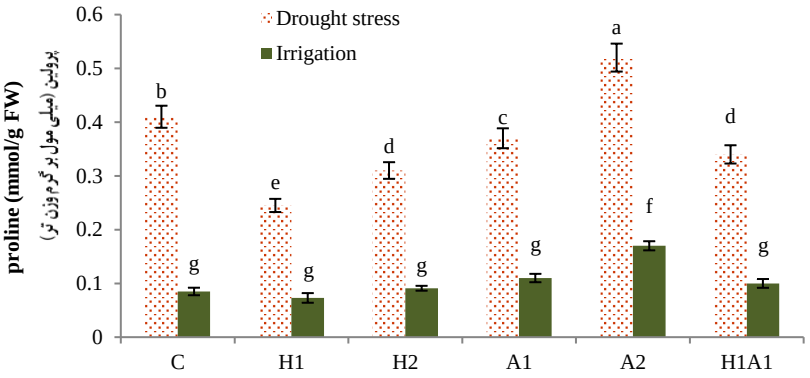
H1: 2 g/l humic acid, H2: 4 g/l humic acid, A1: 2 g/l ascorbic acid, A2: 4 g/l ascorbic acid, A1H1: 2 g/l humic acid and 2 g/l ascorbic acid

پرولین و آنتوسیانین

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر ساده تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های رشد و همچنین اثرمتقابل تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های رشد بر میزان پرولین معنی‌دار بود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین (شکل ۱۱)، تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار میزان پرولین در گیاه نعناع فلفلی گردید. کاربرد اسید هیومیک و اسید آسکوربیک در غلظت پایین و کاربرد به‌طور همزمان این دو اسید آلی میزان پرولین را در شرایط تنش خشکی کاهش داده که نشان‌دهنده اثر اسیدهای آلی بر کاهش اثرات منفی ناشی از تنش خشکی می‌باشد. تاثیر مثبت کاربرد اسید هیومیک بر کاهش اثرات منفی ناشی از تنش خشکی و کاهش میزان پرولین در مقایسه با شاهد در گیاه ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.) گزارش شده است (Ghasemi *et al.*, 2022). یکی از راه‌کارهایی که گیاه در شرایط تنش‌های غیرزیستی برای حفظ تورژسانس سلولی به‌کار می‌برد، تنظیم اسمزی با تجمع اسمولیت‌هایی مانند پرولین است که در نتیجه آن ظرفیت اسمزی سلول‌های تنش دیده کاهش می‌یابد و در نتیجه جذب آب به‌وسیله گیاه انجام می‌شود

(Parviz and Satyawati, 2008). علاوه بر این پرولین می‌تواند به‌عنوان یک منبع کربن و نیتروژن جهت استفاده برای رشد در دوران تنش محسوب شود (Jain *et al.*, 2001). مطابق با نتایج این تحقیق، تاثیر معنی‌دار تنش خشکی روی میزان پرولین در گیاه دارویی خارمریم (*Silybum Marianum* L.) و مریم‌گلی گزارش شده است (Sarani Mallak *et al.*, 2024; Caser *et al.*, 2018).

برای میزان آنتوسیانین اثرات ساده تنش و اثر ساده تعدیل‌کننده‌های تنش معنی‌دار گردید ولی اثر متقابل آنها معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر ساده تعدیل‌کننده‌های تنش نشان داد که بیشترین میزان آنتوسیانین در کاربرد ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک به‌دست آمد. همچنین نتایج اثر ساده تنش خشکی افزایش میزان آنتوسیانین تحت تنش خشکی را نشان داد (شکل ۱۲). آنتوسیانین نیز از جمله مهمترین ترکیبات فنولی موجود در برخی گیاهان هستند که اثرهای بیولوژیکی مختلفی از آنها گزارش شده است (Sindi *et al.*, 2014; Hinojosa- Gómez *et al.*, 2018). تاثیر عوامل محیطی و تیمارهای اعمالی بر مقدار محتوای آنتوسیانینی گیاهان دارویی در مطالعات دیگری نیز بررسی شده است. برای نمونه، در مطالعه‌ای در گیاه چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) اثرمتقابل محلول‌پاشی سه ترکیب اسیدسالیسیلیک، اسید هیومیک و سولفات روی و تنش خشکی بر مقدار آنتوسیانین گیاه لحاظ آماری معنی‌دار نبود. در حالی‌که هریک از این ترکیبات به تنهایی اثر معنی‌داری بر مقدار آنتوسیانین این گیاه داشتند (Fathi and Bahamin, 2018).



شکل ۱۱- اثر متقابل تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر میزان پرولین

Figure 11- Interaction of drought stress and stress modifier on proline

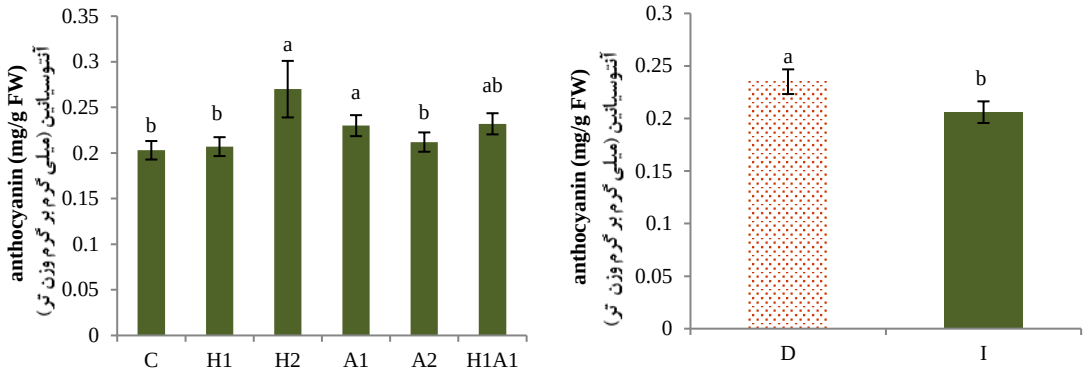
H1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک، H2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک، A1: غلظت۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: غلظت ۴ گرم در لیتر در هزار اسید آسکوربیک،A1H1: ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک و اسید آسکوربیک

H1: 2 g/l humic acid, H2: 4 g/l humic acid, A1: 2 g/l ascorbic acid, A2: 4 g/l ascorbic acid, A1H1: 2 g/l humic acid and 2 g/l ascorbic **acid**

جدول ۳- تجزیه واریانس تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر صفات فیزیولوژیکی

Table 3- Variance analysis of drought stress and stress modifier on physiological traits

منابع تغییر Source of variables	درجه آزادی Degree freedom	محتوای آب نسبی relative water content	آنتوسیانین anthocyanin	پرولین proline	نشت الکترولیت electrolyte leakage	مالون دی آلدئید malondialdehyde
تنش خشکی (A) drought stress (A)	1	5731.7^{**}	0.007^{**}	0.621^{**}	273.79^{**}	$0.001^{n.s}$
تخفیف دهنده تنش (B) stress modifier (B)	5	$21.63^{n.s}$	0.009^{**}	0.025^{**}	$20.18^{n.s}$	0.032^{**}
A×B	5	$16.12^{n.s}$	$0.0001^{n.s}$	0.0094^{**}	$5.32^{n.s}$	0.024^{**}
خطای کل Total error	24	0.002	0.002	0.003	10.59	0.003
ضریب تغییرات (٪) Coefficient variable (%)	-	20.32	20.32	22.8	30.86	18.15



شکل ۱۲- اثر تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر آنتوسیانین

Figure 12- Effect of drought stress and stress modifier on anthocyanin

H1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک، H2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک، A1: غلظت۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: غلظت ۴ گرم در لیتر در هزار اسید آسکوربیک،A1H1: ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک و اسید آسکوربیک

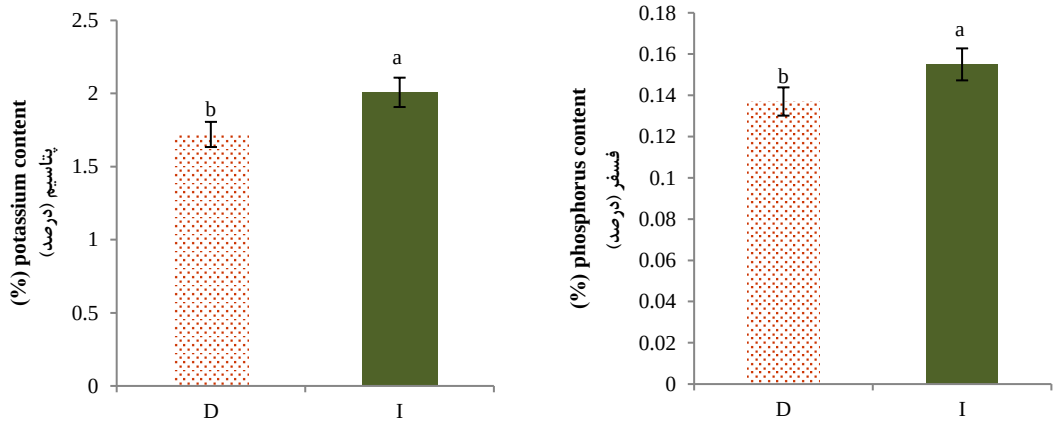
D: تنش خشکی و I: آبیاری

H1: 2 g/l humic acid, H2: 4 g/l humic acid, A1: 2 g/l ascorbic acid, A2: 4 g/l ascorbic acid, A1H1: 2 g/l humic acid and 2 g/l ascorbic acid

D:Drought stress; I:Irrigation

فسفر و پتاسیم

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان داد، اثر ساده تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر غلظت فسفر و پتاسیم معنی‌دار بود، ولی اثرمتقابل تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش برای این صفات تاثیر معنی‌داری نداشتند. با توجه به نتایج، تنش خشکی سبب کاهش غلظت فسفر و پتاسیم گردید (شکل ۱۳). یکی از عناصری که عمدتاً از طریق فرآیند انتشار به سطح ریشه گیاه منتقل و جذب می‌شود، عنصر فسفر می‌باشد. در هنگام تنش، سرعت انتشار افت پیدا کرده و در نتیجه فسفر کمتری به سطح ریشه منتقل و جذب می‌شود که به‌دنبال آن غلظت فسفر در بافت‌های گیاهی کاهش می‌یابد (Azizabadi *et al.*, 2014; Mirnia and Habibzadeh, 2006). کاهش غلظت فسفر و پتاسیم در گیاه نعناع فلفلی در اثر تنش خشکی با نتایج آزمایش در گیاه مریم لوله‌ای (*Salvia macrosiphon*) مطابقت دارد (Sodaeizadeh and Mansouri, 2014).

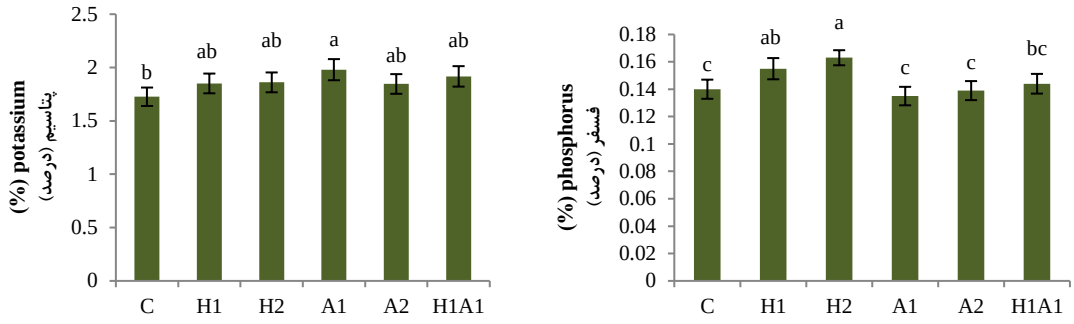


شکل ۱۳- اثر تنش خشکی بر غلظت فسفر و پتاسیم

Figure 13- Effect of drought stress on potassium and phosphorus

D: تنش خشکی و I: آبیاری

D: Drought stress; I: Irrigation



شکل ۱۴- اثر تعدیل‌کننده‌های تنش بر غلظت فسفر و پتاسیم

Figure 14- Effect of stress modifier on K and P

H1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک، H2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک، A1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: غلظت ۴ گرم در لیتر در هزار اسید آسکوربیک،A1H1: ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک و اسید آسکوربیک

H1: 2 g/l humic acid, H2: 4 g/l humic acid, A1: 2 g/l ascorbic acid, A2: 4 g/l ascorbic acid, A1H1: 2 g/l humic acid and 2 g/l ascorbic acid

جدول ۴- تجزیه واریانس تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر فسفر و پتاسیم

Table 4- Variance analysis of drought stress and stress modifier on P and K

منابع تغییر Source of variables	درجه آزادی Degree freedom	پتاسیم K	فسفر P
تنش خشکی (A) drought stress (A)	1	0.731**	0.003**
تخفیف دهنده تنش (B) stress modifier (B)	5	0.045**	0.001**
A×B	5	0.001n.s	0.000006n.s
خطای کل Total error	24	0.003	0.00001
ضریب تغییرات (٪) Coefficient variable (%)	-	2.94	2.11

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش، تنش خشکی و محلول‌پاشی اسید اسکوربیک و اسید هیومیک بر ویژگی‌های کمی و کیفی نعناع فلفلی بسیار مؤثر بود و آنها را به‌شدت تحت تأثیر قرار داده است. اعمال تنش خشکی آثار منفی بر رشد این گیاه داشته است. از سوی دیگر محلول‌پاشی اسید هیومیک و به‌خصوص اسید آسکوربیک آثار مثبتی در افزایش صفات ارزیابی شده و کاهش آثار سوء تنش خشکی و سبب افزایش تحمل این گیاه به شرایط تنش شده است. البته کاربرد همزمان اسید هیومیک و اسید آسکوربیک اثر کمتری داشت. بنابراین با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان کاربرد اسید آسکوربیک و اسید هیومیک را به‌صورت محلول پاشی برای افزایش رشد گیاه و عملکرد نعناع فلفلی پیشنهاد کرد.

References

Arnon, A.N., 1987. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, *23*, pp.112-121.

Asghari, B., Mafakheri, S. and 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), pp.367-386. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2023.360963.3269

Atkinson, N.J. and Urwin, P.E., 2012. The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. *Journal of experimental botany*, *63*(10), pp.3523-3543. Atkinson, N.J. and Urwin, P.E., 2012. The interaction

of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. *Journal of experimental botany*, *63*(10), pp.3523-3543. https://doi.org/10.1093/jxb/ers100

Awasthi, R., Kaushal, N., Vadez, V., Turner, N.C., Berger, J., Siddique, K.H. and Nayyar, H., 2014. Individual and combined effects of transient drought and heat stress on carbon assimilation and seed filling in chickpea. *Functional Plant Biology*, *41*(11), pp.1148-1167. https://doi.org/10.1071/fp13340

Azizabadi, E., Golchin, A. and Delavar, M.A., 2014. Effect of potassium and drought stress on growth indices and mineral content of safflower leaf. *Journal of Soil and Plant Interactions*, *5*(3), pp.65-79. [In Persian].

Babaee, K., Amini Dehaghi, M., Modares Sanavi, S. and Jabbari, R., 2010. Water deficit effect on morphology, prolin content and thymol percentage of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *26*(2), pp.239-251. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2010.6939

Babaeian, M., Taghdisi, J., Khairkhah, M. and Jafarian, M., 2021. Investigating the role of humic acid in reducing the effects of drought stress of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Crop Science Research in Arid Regions*, *3*(2), pp.189-206. [In Persian]. https://doi.org/10.22034/csrar.2021.296682.1107

Bates L.S., Waldern R.P. and Teave, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and soil*, *39*, pp.107-205. https://doi.org/10.1007/bf00018060

Ben Hamed, K., Castagna, A., Salem, E., Ranieri, A. and Abdelly, C., 2007. Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions, a comparison of leaf and root antioxidant responses. *Plant Growth Regulators*, *53*, pp.185-194. https://doi.org/10.1007/s10725-007-9217-8

Caser, M., Angiolillo, F., Chitarra, W., Lovisolo, C., Ruffoni, B., Pistelli, L. and Scariot, V., 2018Ecophysiological and phytochemical responses of Salvia sinaloensis Fern. to drought stress. *Plant Growth Regulation*, *84*, pp.383-394. https://doi.org/10.1007/s10725-017-0349-1

Esmaielpour, B., Moradi, M., Torabi Giglou, M. and Ahadzadeh, M., 2023. Effects of ascorbic acid on some morpho-physiological traits of basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *39*(4), pp.568-588. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2023.358741.3171

Fathi, A. and Bahamin, S., 2018. The effect of irrigation levels and foliar application (zinc, humic acid and salicylic acid) on growth characteristics yield and yield components of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *11*(3), pp.661-674. https://doi.org/10.22077/escs.2017.720.1146

Ferrara, G., Pacifico, A., Simeone, P. and Ferrara, E., 2007. Preliminary study on the effects of foliar applications of humic acids on 'Italia'table grape. In Proc. of the World Congress of Vine and Wine (Vol. 165).

Gad El-Hak, S.H., Ahmed, A.M. and Moustafa, Y.M.M., 2012. Effect of foliar application with two antioxidants and humic acid on growth, yield and yield components of peas (*Pisum sativum L.*). *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*, *4*, pp.318-328. https://doi.org/10.5829/idosi.jhsop.2012.4.3.262

Ghaderi, A.A., Fakheri, B.A. and Mahdi Nezhad, N., 2018. Evaluation of the morphological and physiological traits of thyme under water deficit stress and foliar application of ascorbic acid. *Journal of Crops Improvement*, *19*(4), pp.817-835. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/jci.2017.60460

Ghasemi, Z., Jahanbin, S. and Latifmanesh, H., 2022. Effects of humic acid foliar application on millet (*Panicum miliaceum* L.) yield and some of the biochemical and physiological parameters under drought stress condition in Ramjerd region of Fars. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *15*(1), pp.137-147. [In Persian]. https://doi.org/10.22077/escs.2020.3666.1890

Ghasemi, A., Farzaneh, S. and Moharramnejad, S., 2021. Effect of ascorbic acid foliar application on grain yield and morphophysiological traits in corn under water deficit stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *31*(4), pp.177-188. [In Persian]. https://doi.org/10.22034/saps.2021.43675.2598

Haddad, N., Choukri, H., Ghanem, M.E., Smouni, A., Mentag, R., Rajendran, K., Hejjaoui, K., Maalouf, F. and Kumar, S., 2022. High temperature and drought stress effects on growth, yield and nutritional quality with transpiration response to vapor pressure deficit in lentil. *Plants*, *11*, pp.95-112. https://doi.org/10.3390/plants11010095

Haghighi, M. and Najafi, H., 2020. The effect of humic acid on alleviating drought stress effects in tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *Journal of Vegetables Sciences*, *3*(2), pp.147-158. [In Persian]. https://doi.org/10.22034/iuvs.2020.63701.1016

Hartz, T.K. and Bottoms, T.G., 2010. Humic substances generally ineffective in improving vegetable crop nutrient uptake or productivity. *Horticulture Science*, *45*(6), pp.906-910. https://doi.org/10.21273/hortsci.45.6.906

Heath, R.L. and Packer, L., 1968. Photo peroxidation in isolated chloroplasts, I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, *125*, pp.189.-198. https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1

Hinojosa-Gómez, J., San Martin-Hernández, C., Heredia, J.B., León-Félix, J., Osuna-Enciso, T. and Muy-Rangel, M.D., 2018. Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivars calyx produced hydroponically: physicochemical and nutritional quality. *Chilean Journal of Agricultural Research*, *78*, pp.478-485. https://doi.org/10.4067/s0718-58392018000400478

Horemans, N., Foyer, C.H., Potters, G. and Asard, H., 2000. Ascorbate function and associated transport system in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *38*, pp.531-540. https://doi.org/10.1016/s0981-9428(00)00782-8

Hosseinian, S.H., Saeedinia, M. and Beiranvand, F., 2020. Investigation of the drought stress on some photosynthetic and morphological indicators of summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *13*(4), pp.1115-1124. [In Persian]. https://doi.org/10.22077/escs.2020.2394.1623

Jain, M., Mathur, G., Koul, S. and Sarin, N., 2001. Ameliorative effects of proline on salt stress-induced lipid peroxidation in cell lines of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Plant Cell Reports*, *20*(5), pp.463-468. https://doi.org/10.1007/s002990100353

Jamali, M.M., 2013. Investigate the effect of drought stress and different amount of chemical fertilizers on some physiological characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *International Journal of Farming and Allied Sciences*, *2*, pp.872-879.

Jones, J., 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press, LLC. USA, 363p.

Khalesro, S. and Malekian, H. (2017). Effects of vermicompost and humic acid on morphological traits, yield, essential oil content and component in organic farming of Ajwan (*Trachyspermum ammi* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *32*(6), 968-980. https://doi.org/10.1201/9781420025293

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

Khodamoradi, P., Amiri, J. and Dovlati, B., 2018. Effect of humic acid on some morphological and physiological characteristics of strawberry (Fragaria × ananassa Duch. cv. Sabrina) under salinity stress. *Research in Pomology*, *2*(2), pp.109-135. [In Persian].

Kiani, H., Khalesro, S., Sharifi, Z. and Mokhtassi-Bidgoli, A., 2024. Morphological and physiological responses of black cumin to biochar and different irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *17*(1), pp.73-86. [In Persian]. https://doi.org/10.22077/escs.2023.5430.214

Kumar, A. and Elston, J., 1992. Genotypic differences in leaf water relations between *Brassica juncea* and *B. napus*. *Annals of Botany*, *70*(1), pp.3-9. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a088436

Mayhew, L., 2004. Humic substances in biological agriculture. *Review ACRES*, *34*(1-2), pp.80-88.

Mirnia S. Kh. and Habibzadeh, F., 2006. Plant nutrition guide. Tak Rang publications, Tehran, 117 p.

Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A. and Vianello, A., 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biological Biochemistry*, *34*, pp.1527-1536. https://doi.org/10.1016/s0038-0717(02)00174-8

Nasiri, Y., Baghban Akbari, P., Nouraein, M. and Amini, R., 2019. Evaluation of farmyard and vermicompost application and spray of ascorbic acid and humic substances on dragonhead production (*Dracocephalam moldavica* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *29*(4), pp.83-101. [In Persian]

Neocleous, D. and Vasilakakis, M., 2007. Effects of NaCl stress on red raspberry (*Rubus idaeus* L. "Autumn Bliss"). *Scientia Horticulturae*, *112*(3), pp.282-289. https://doi:10.1016/j.scienta.2006.12.025

Pamungkas, S.S.T., Suwarto, S. and Farid, N., 2022. Drought stress: responses and mechanism in plants. *Reviews in Agricultural Science*, 10, pp.168-185. https://doi.org/10.7831/ras.10.0_168

Parviz, A. and Satyawati, S., 2008. Salt stress phyto-biochemical responses of plants. *Plant, soil and environment*, *54*, pp.89-99. https://doi.org/10.17221/2774-pse

Pourghasemian, N. and Moradi, R., 2018. Assessing effect of drought stress and ascorbic acid application on some growth and bio-chemical parameters of marigold (*Calendula officinalis* L). *Plant Process and Function*, *6* (19), pp.77-88. [In Persian]. https://doi.org/jispp.iut.ac.ir/article-1-395-en.html

Rao, M.S.S. and Mendham, N.J., 1991. Soil– plant–water relations of oilseed rape (*Brassica napus* and *B. campestris*). *The Journal of Agricultural Science*, *117*(2), pp.197-205. https://doi.org/10.1017/S002185960006528x

Ritchie, S.W. and Nguyen, H.T., 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, *30*, pp.105-111. https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183x003000010025x

Rouhi, H.R., vafaei, M.H., Saman, M. and Shahbodaghlo, A., 2021. Study of ascorbic acid priming on germination and biochemical indexes of sheep fescue (*Festuca ovina*) seeds under drought stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *10*(1), pp.29-42. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/ijsst.2020.128242.1303

Salehi Shanjani, P., Rasoulzadeh, L., Fallah Hoseini, L., Ramezani Yeganeh, M., Amirkhani, M., Pahlavani, M. R., Seyedian, S.E. and Javadi, H., 2020. Morpho-physiological responses of four chamomile species to rainfed conditions and drought stress under greenhouse conditions. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, *28*(1), pp.51-66. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/ijrfpbgr.2019.124781.1330

Samadiyan-Sarbangholi, V., Abaszadeh, B., Sefidkon, F. and Yarnia, M., 2024. Biofertilizers effect on Satureja bachtiarica Bunge. traits under irrigation stress at various growth stages. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *40*(1), pp.142-154. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.352328.2887

Sarani Mallak, M., Allahdou, M., Mehravaran, L. and Piri, H., 2024) Effects of drought stress on biochemical traits and its relationship with growth stage in milk thistle (*Silybum Marianum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *40*(1), pp.191-205. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2023.361669.3301

Sepehri, Z., Movahedi, Z. and Ayyari, M., 2024. Effects of humic acid on quantitative characteristics of pergularia and chicory in aeroponic system. *Plant Production and Genetics*, *4*(2), pp.279-290. [In Persian]. https://doi.org/10.22034/plant.2024.140991.1089

Shafitali, A., Khorasaninejad, S. and Shahbazi, A., 2023. Effect of silicone on yield components, some morphophysiological and phytochemical properties of Hyssopus officinalis under irrigation regimes. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, *31*(1), pp.132-149. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/ijrfpbgr.2023.357948.1421

Sharifiasl, R., Kafi, M., Saidi, M. and Kalatejari, S., 2020. The effect of humic acid on growth and some physiological responses in bermuda grass subjected to salinity stress. *Iranian Journal of Horticultural Science, 51*(2), pp.415-425. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.249383.1375

Shojaei Baghini, M.H. and Naghizadeh, M., 2024. Evaluation of the effect of foliar application of brassinosteroid and melatonin on some physiological, grain yield and cumin (*Cuminum cyminum* L.) essential oil under drought stress conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 40*(1), 155-173. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2023.362048.3310

Sindi, H.A., Marshall, L.J. and Morgan, M.R.A., 2014. Comparative chemical and biochemical analysis of extracts of Hibiscus sabdariffa. *Food Chemistry*, *164*, pp.23-29. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.097

Sodaeizadeh, H. and Mansouri, F., 2014. Effects of drought stress on dry matter accumulation, nutrient concentration and soluble carbohydrate of *Salvia macrosiphon* as a medicinal plant. *Journal of Arid Biome*, *4*(1), pp.1-9. [In Persian]. https://doi.org/sid.ir/paper/199775/en

Soha, E., Nahed, G. and Bedour, H., 2010. Effect of water stress, Ascorbic acid and spraying time on some morphological and biochemical composition of *Ocimum basilicum* plant. *Journal of American Science*, *6*, pp.33-44.

Soorni, J., Roustakhiz, J., Salimi, K. and Noori, M., 2020. Effects of drought stress on yield and yield-related traits, antioxidant enzymes and essential oil content of some Cumin (*Cuminum cyminum* L.) ecotypes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *13*(4), pp.1125-1134. [In Persian]. https://doi.org/10.22077/escs.2020.2395.1624

Sorkhi, F. and Fateh, M., 2019. Effect of drought stress on leaf area index, photosynthesis, stomatal conductance and proline content in two pinto bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *12*(2), pp.389-399. [In Persian]. https://doi.org/10.22077/escs.2018.1373.1294

Tadayon, M. and Mohtashami, M., 2020. Evaluation of the effect of jasmonic acid and ascorbic acid on some morphophysiological traits of safflower genotypes Under deficit irrigation regimes. *Plant Process and Function*, *9* (35), pp.39-56. [In Persian].

Tafrihi, M., Imran, M., Tufail, T., Gondal, T.A., Caruso, G., Sharma, S., Sharma, R., Atanassova, M., Atanassov, L., Valere Tsouh Fokou, P. and Pezzani, R., 2021. The wonderful activities of the genus Mentha: Not only antioxidant properties. *Molecules*, *26*(4), p.1118. https://doi.org/10.3390/molecules26041118

Taqi, A.K., Mazid, M. and Firoz, M., 2011. A review of ascorbic acid potentialities against oxidative stress induced in plants. *Journal of Agrobiology*, *28* (2), pp.97-111. https://doi.org/10.2478/v10146-011-0011-x

Tavosi, R., Sayyari, M. and Azizi, A., (2024). Impact of drought stress on some growth and phytochemical characteristics of the coneflower (*Echinacea purpurea* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *13*(3), No.836. [In Persian]. https://doi.org/10.22077/escs.2024.6308.2204

Thalooth, A.T., Tawfik, M.M. and Magda Mohamed, H., 2006. A comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants grown under water stress conditions. *World Journal Agricultur Sciences*, *2*(1), pp.37-46.

Wagner, G.J., 1979. Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplasts. *Plant Physiology*, *64*(1), pp.88–93. https://doi.org/10.1104/pp.64.1.88

Yadegari, M., 2022. Effects of NPK complete fertilizer, botamisol, and humic acid on morphophysiological characteristics and essential oil in three Thymus species under drought stress conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *38*(2), pp.301-321. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2022.357303.3119

Zarei, F., Hezarjaribi, A., Khorasaninejad, S. and Zakerinia, M., 2021. The effect of foliar application of humic acid on increasing Stevia rebaudiana tolerance under different irrigation regimes. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, *28*(2), pp.281-297. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/ijrfpbgr.2021.351485.1371