

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](https://doi.org/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 \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/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

تأثیر تنش خشکی و تعدیل کننده‌های تنش بر صفات مورفوفیزیولوژیک نعنای 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

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.470040.1427

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۷

چکیده

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین فاکتورهای کاهش عملکرد و تولید در گیاهان زراعی، باغی و دارویی است. به منظور ارزیابی امکان تعدیل تنش خشکی با استفاده از اسید هیومیک و اسید آسکوربیک در گیاه دارویی نعنای فلفلی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً 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 به طور همزمان) بود. نتایج نشان داد که ارتفاع بوته، تعداد برگ و کلروفیل نوع a تحت تأثیر تنش خشکی در مقایسه با شاهد (به ترتیب، 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 به دست 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 به دست آمده در این آزمایش می‌توان بیان کرد، که هر چند تنش خشکی اثرات منفی روی صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه نعنای فلفلی دارد، اما با کاربرد تعدیل کننده‌های 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

تأثیر 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 به شدت محدود می‌کند. تغییرات در فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه که در نهایت باعث آسیب و یا مرگ می‌شود، به عنوان تنش گیاه در نظر گرفته

یکی از بزرگترین تیره‌های گیاهی، نعنائیان می‌باشند که گیاهان دارویی مختلف اعم از ریحان (*Ocimum basilicum*)، نعنای (*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 (*Melissa officinalis L.*) و بادرنجبویه (*Mentha angustifolia Mill*) را در خود جای داده است. نعنای فلفلی با نام علمی *Mentha piperita* متعلق به خانواده Lamiaceae یک نعنای هیبریدی است که از تلاقی بین گونه‌های *Mentha spicata* و *Mentha aquatic* حاصل شده است. این گیاه بومی خاورمیانه و اروپا است و به صورت کشت شده یا وحشی یافت می‌شود (*Tafrihi et al., 2021*). تنش‌های متعدد محیطی رشد گیاهان را تحت

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 می‌تواند باعث کاهش مصرف آب و مقاومت بیشتری به خشکی شده و از طرف دیگر، نیاز به دیگر کودها را کاهش داده و عملکرد را در گیاهان افزایش دهد (Mayhew, 2004). 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 آیسون (*Pimpinella anisum* L.) نیز کاربرد اسید هیومیک به میزان 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 نعنای 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 نعنای 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

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 نعنای 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 (Esmailpour 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 ضدآکسایش 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 نترات می‌باشد که منجر

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 به مدت 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).

$$RWC = [(Fw - Dw) / (Sw - Dw)] \times 100 \quad (2)$$

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 به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند، و سپس فسفر به روش رنگ‌سنجی و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (Analytik Jena, Specord 205) و پتاسیم به روش 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 نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد، ارتفاع بوته نعنای 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 نعنای فلفلی نشان داد، بیشترین میزان ارتفاع بوته در بین تمام تیمارها، تحت تأثیر تیمار آبیاری کامل + مصرف

هیومیک بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه دارویی نعنای 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 به صورت 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.

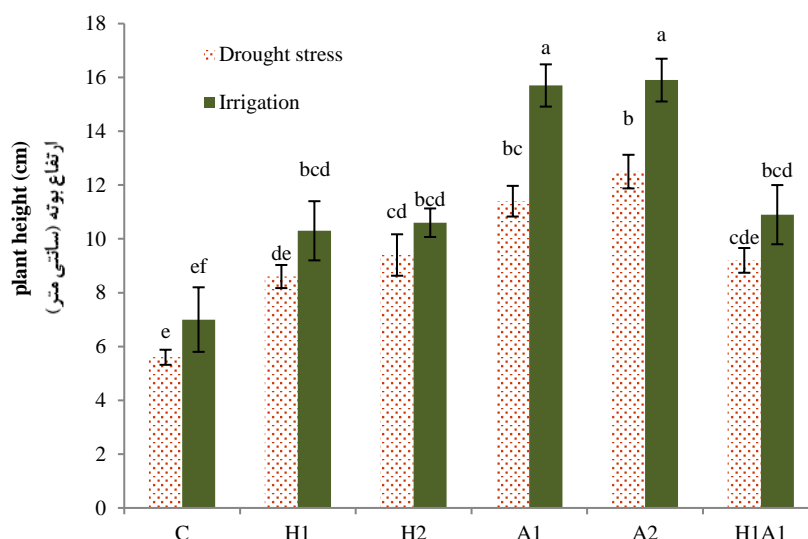
ابتدا خاک گلدان‌ها به نسبت دو قسمت خاک باغچه، یک قسمت ماسه و یک قسمت مخلوط کود دامی و ورمی کمپوست آماده شدند و سپس ۳ عدد نشاء ۴ برگی در هر گلدان کشت شد و پس از اطمینان از استقرار گیاهچه‌ها تیمارها اعمال شدند و آبیاری بر حسب ضرورت با توجه به شرایط تنش یا بدون تنش به‌روش وزنی تنظیم گردید. تیمار اسید آسکوربیک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

$$SLA = \frac{LA}{LDM} \quad (1)$$

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 الکتروولت 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

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 به دلیل تأثیر آن بر متلبولیسیم 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).

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 (Babae *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



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: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: غلظت ۴ گرم در لیتر 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

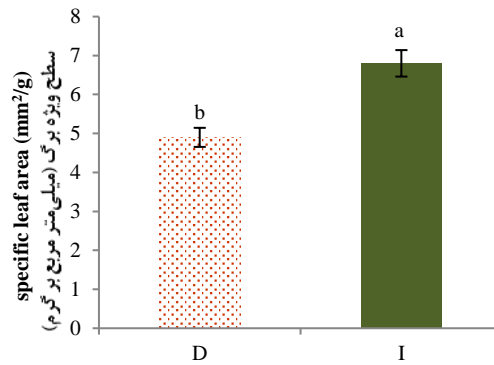
می‌شود، مطابقت دارد (Sorkhi and Fateh, 2019). احتمالاً کم آبیاری موجب کاهش رشد از طریق کاهش توسعه سلولی ناشی از کاهش فشار تورژسانس و تقسیم سلولی و کاهش فتوسنتز ناشی از بسته شدن روزنه‌ها و در نهایت موجب کاهش سطح برگ شده است. گزارش شده که تنش خشکی از طریق افزایش تنفس و کاهش فتوسنتز سبب کاهش سرعت رشد محصول می‌گردد (Tadayon and

تعداد و سطح ویژه برگ

طبق جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، اثر متقابل 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

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).

در اثر تنش خشکی، تعداد برگ به شدت کاهش یافته است و کاربرد تعدیل‌کننده‌ها به خصوص 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

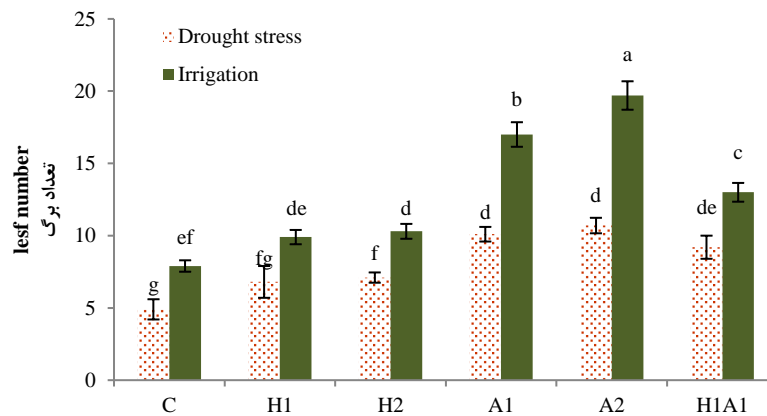


شکل ۲- اثر تنش خشکی بر سطح ویژه برگ

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: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: غلظت ۴ گرم در لیتر 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

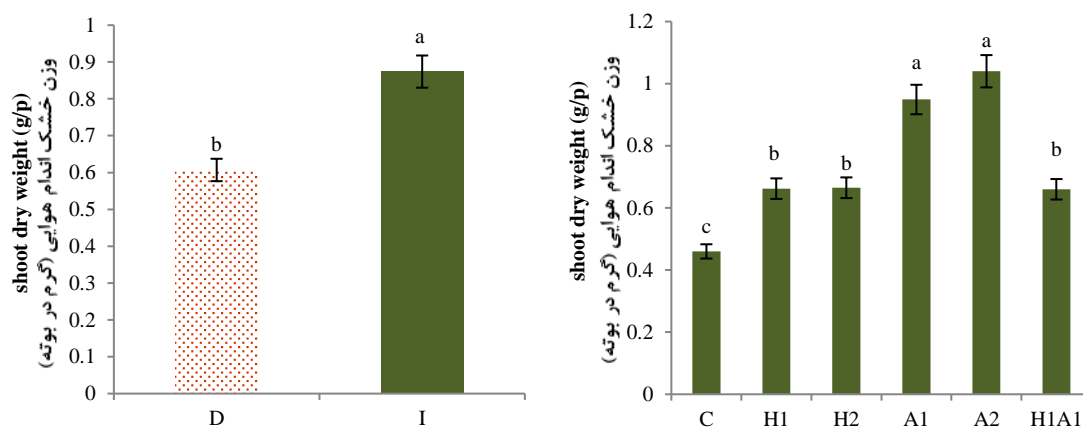
که کمترین وزن خشک اندام هوایی در شرایط عدم کاربرد اسید هیومیک و اسید آسکوربیک به دست آمد. کاربرد اسید هیومیک و اسید آسکوربیک و همچنین کاربرد همزمان این دو ماده باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی شده است، اگرچه اثر اسید آسکوربیک در مقایسه با اسید هیومیک بیشتر بوده است (شکل ۴). نتایج پژوهش حاضر با نتایج به دست آمده در تحقیقات دیگر

وزن خشک اندام هوایی

وزن خشک اندام هوایی تحت تاثیر تنش و تعدیل‌کننده‌های تنش قرار گرفت ولی اثر متقابل 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

(Pourghasemian and Moradi, 2018; *al.*, 2021). 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 به دلیل فراهمی بیشتر عناصر غذایی است. افزودن کود آلی به خاک، بسترهای کشت و محلول غذایی به افزایش رشد گیاه کمک می‌کند. کود آلی به دلیل فراهم کردن مقادیر بیشتری از عناصر مغذی، منجر به بیشتر شدن وزن گیاه می‌گردد (Yadegari, 2022).

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*



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: 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
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

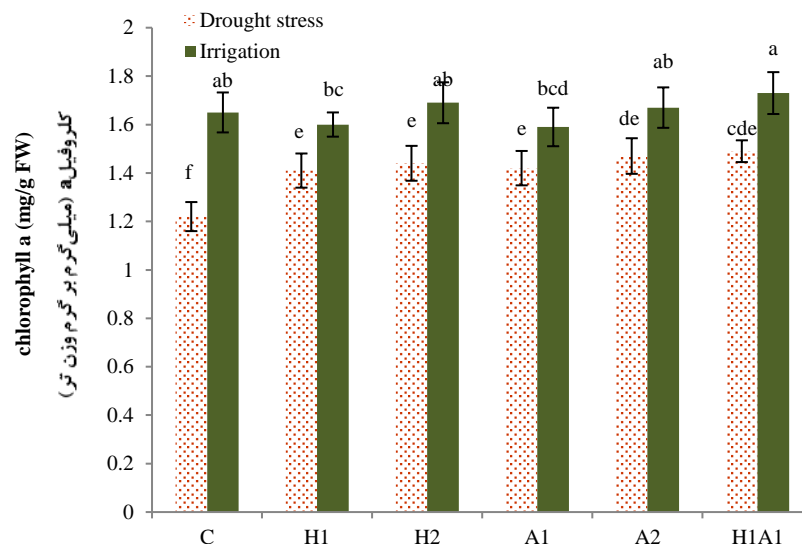
Table 1- Variance analysis of drought stress and stress modifier on morphological traits

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی	تعداد برگ	ارتفاع کل	سطح ویژه برگ
Source of variables	Degree freedom	dry weight of shoot	leaf number	plant height	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	24	0≤00000000	0.483	0.617	8452.32
Total error					
ضریب تغییرات (/)	-	6.8	6.58	7.39	19.51
Coefficient variable (%)					

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 سنتر 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).

رنگیزه‌های فتوسنتزی

بر اساس نتایج به‌دست آمده (جدول ۲) برای میزان کلروفیل نوع a، اثر متقابل 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 اثر متقابل 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

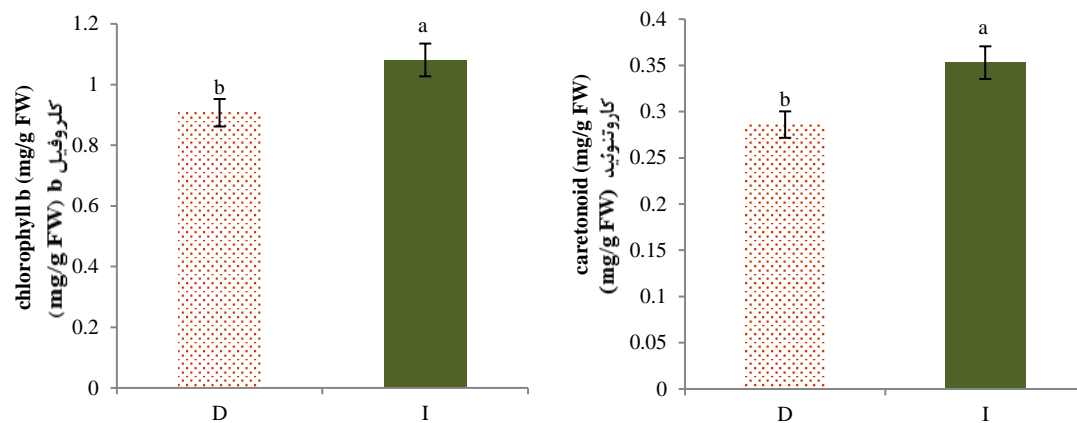


شکل ۵- اثر متقابل تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر میزان رنگیزه کلروفیل a

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: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: غلظت ۴ گرم در لیتر 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

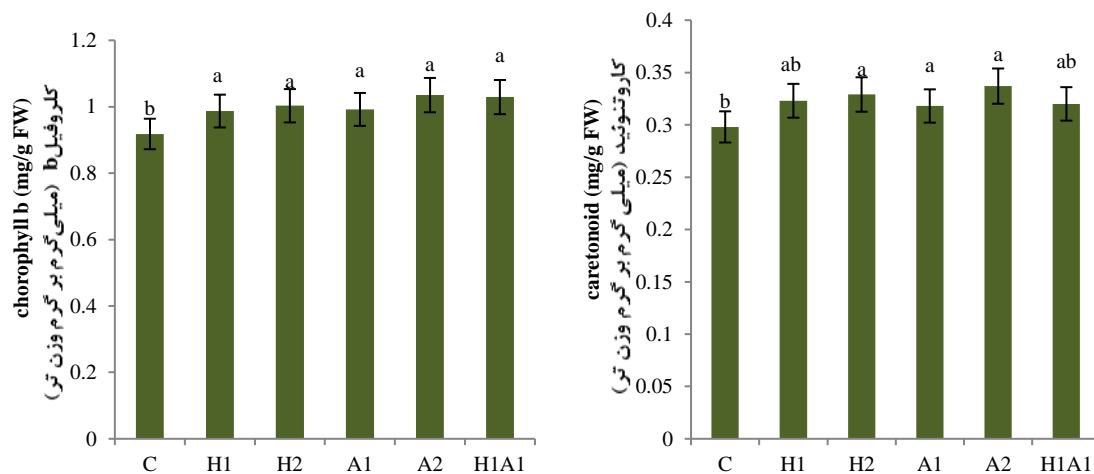


شکل ۶- اثر تنش خشکی بر کلروفیل b و کاروتنوئید

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 تعدیل کننده‌های 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: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: غلظت ۴ گرم در لیتر 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 تعدیل کننده‌های تنش بر رنگه‌های فتوسنتزی

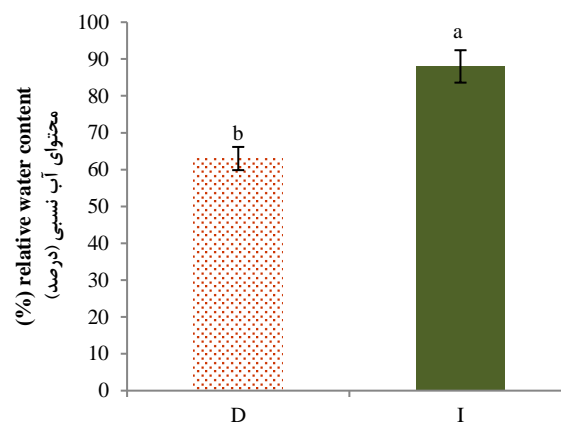
Table 2- Variance analysis of drought stress and stress modifier on photosynthetic pigments

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

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 به‌دست 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

فراگیری 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

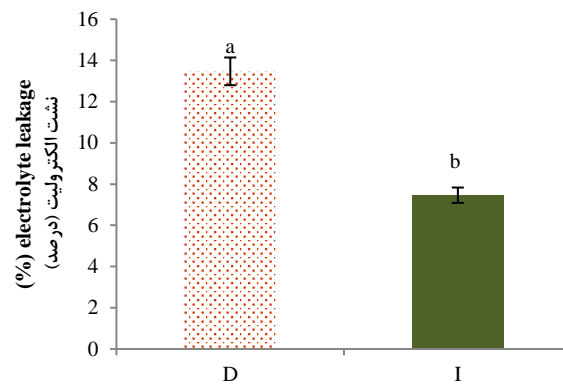
مالون‌دی‌آلدئید و نشت الکترولیت

همچنین بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر متقابل 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 نعنای 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).

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 et al., 2020; Khodamoradi et al., 2018).

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

کمترین میزان مالون‌دی‌آلدئید با میانگین $mmol/g$ FW مربوط به شرایط نرمال آبیاری و ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک می‌باشد و بیشترین مقدار در شرایط تنش و کاربرد ۴

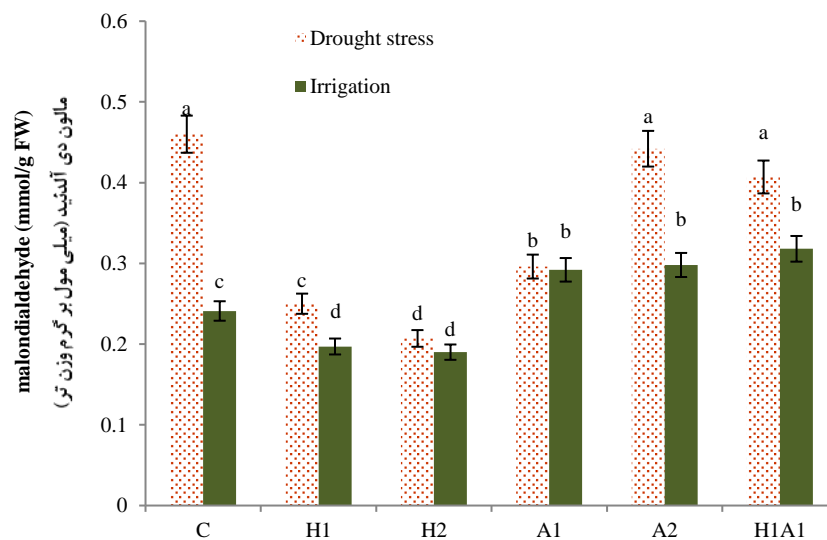


شکل ۹- اثر تنش خشکی بر نشت الکترولیت

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: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: غلظت ۴ گرم در لیتر 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

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 به کار 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

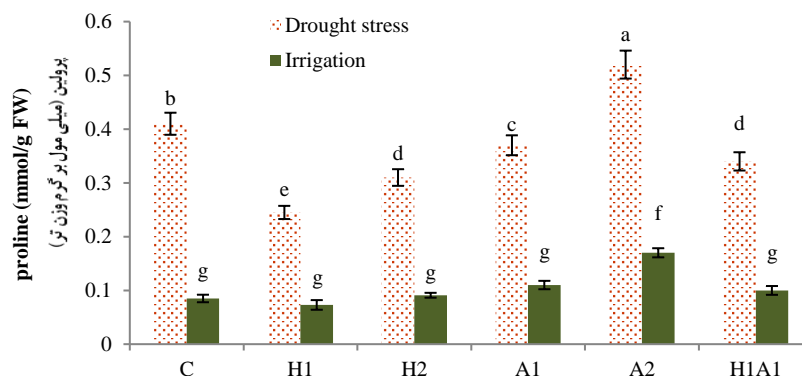
پرولین و آنتوسیانین

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر ساده تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های رشد و همچنین اثر متقابل 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 نعنای 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

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.*, 2018; Hinojosa- Gómez *et al.*, 2014; *al.*). 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.) اثر متقابل محلول‌پاشی سه ترکیب اسیدسالیسیلیک، اسید هیومیک و سولفات روی و تنش خشکی بر مقدار آنتوسیانین گیاه لحاظ آماری معنی‌دار نبود. در حالی که هریک از این ترکیبات به تنهایی اثر معنی‌داری بر مقدار آنتوسیانین این گیاه داشتند (Fathi and Bahamin, 2018).

(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



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

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

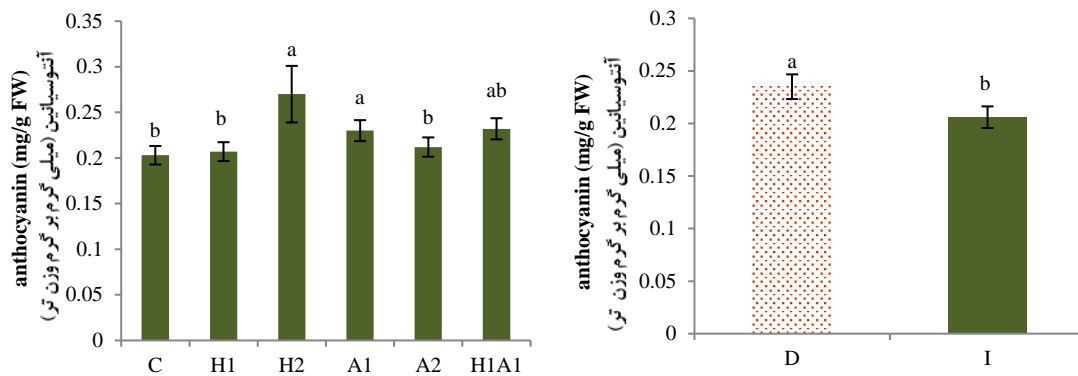
H1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک، H2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک، A1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، H1A1: ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک و اسید آسکوربیک

H1: 2 g/l humic acid, H2: 4 g/l humic acid, A1: 2 g/l ascorbic acid, A2: 4 g/l ascorbic acid, H1A1: 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	درجه آزادی	محتوای آب نسبی	آنتوسیانین	پرولین	نشت الکترولیت	مالون دی آلدئید
Source of variables	Degree freedom	relative water content	anthocyanin	proline	electrolyte leakage	malondialdehyde
تنش خشکی (A)	1	5731.7**	0.007**	0.621**	273.79**	0.001 ^{n.s}
drought stress (A)	1	5731.7**	0.007**	0.621**	273.79**	0.001 ^{n.s}
تخفیف دهنده تنش (B)	5	21.63 ^{n.s}	0.009**	0.025**	20.18 ^{n.s}	0.032**
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	24	0.002	0.002	0.003	10.59	0.003
Total error	24	0.002	0.002	0.003	10.59	0.003
ضریب تغییرات (/)	-	20.32	20.32	22.8	30.86	18.15
Coefficient variable (%)	-	20.32	20.32	22.8	30.86	18.15



شکل ۱۲- اثر تنش خشکی و تعدیل کننده‌های تنش بر آنتوسیانین

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

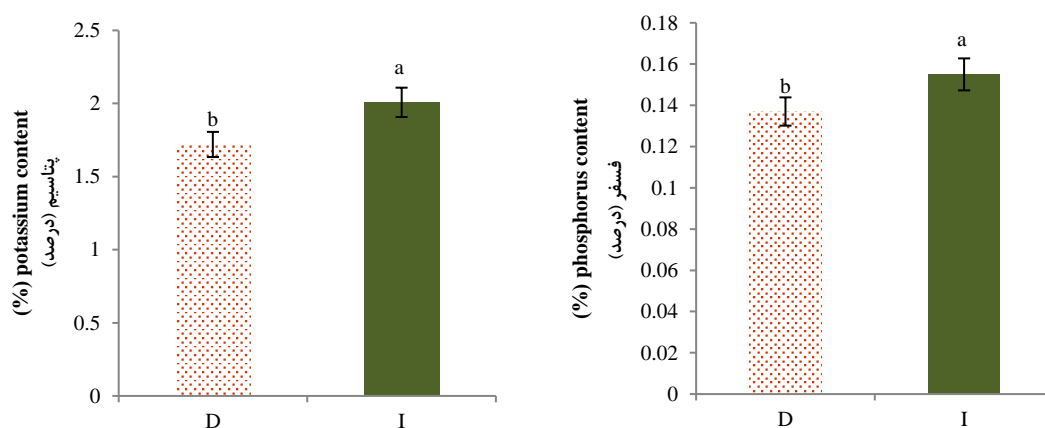
H1: 2 گرم در لیتر اسید هیومیک، H2: 4 گرم در لیتر اسید هیومیک، A1: 2 گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: 4 گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A1H1: 2 گرم در لیتر اسید هیومیک و اسید آسکوربیک، D: تنش خشکی و I: آبیاری

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

عنصر فسفر می‌باشد. در هنگام تنش، سرعت انتشار افت پیدا کرده و در نتیجه فسفر کمتری به سطح ریشه منتقل و جذب می‌شود که به دنبال آن غلظت فسفر در بافت‌های گیاهی کاهش می‌یابد (Azizabadi et al., 2014; Mirnia and Habibzadeh, 2006). کاهش غلظت فسفر و پتاسیم در گیاه نعنای فلفلی در اثر تنش خشکی با نتایج آزمایش در گیاه مریم لوله‌ای (*Salvia macrosiphon*) مطابقت دارد (Sodaeizadeh and Mansouri, 2014).

فسفر و پتاسیم

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان داد، اثر ساده تنش خشکی و تعدیل کننده‌های تنش بر غلظت فسفر و پتاسیم معنی دار بود، ولی اثر متقابل تنش خشکی و تعدیل کننده‌های تنش برای این صفات تاثیر معنی داری 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،

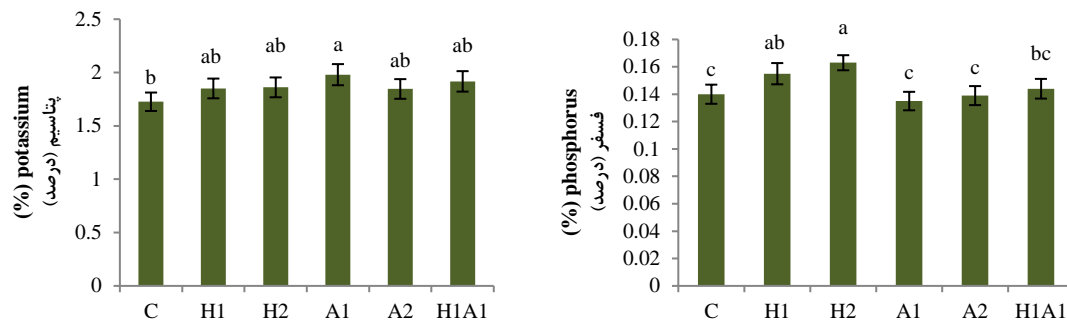


شکل ۱۳- اثر تنش خشکی بر غلظت فسفر و پتاسیم

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

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.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش، تنش خشکی و محلول‌پاشی اسید آسکوربیک 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

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].
- Babae, K., Amini Dehaghi, M., Modares Sanavi, S. and Jabbari, R., 2010. Water deficit effect on morphology, proline 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., Khairkhan, 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., Lovisolò, C., Ruffoni, B., Pistelli, L. and Scariot, V., 2018. Ecophysiological 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>
- Esmailpour, 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 (*Lycopersicon 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](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1)
- Hinojosa-Gómez, J., San Martín-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](https://doi.org/10.1016/s0981-9428(00)00782-8)
- Hosseini, S.H., Saedinia, 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](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 (*Dracocephalum 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.org/10.1016/j.scienta.2006.12.025>
- Pamungkas, S.S.T., Suwanto, 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/ijssst.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>