The University of Tehran Press

Iranian Journal of Horticultural Science

Online ISNN: 2008-482X

Homepage: http:// ijhs.ut.ac.ir/

Evaluation of the Potential for Increasing Drought Resistance in Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) With Pre-Treatment of Ultraviolet Radiation

Sahar Pirinezhad [1], Hasan Mumivand[2]✉, Abdollah Ehtesham Nia[3], Mohammad Reza Raji[4]

1. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran. E-mail: saharpiri31a@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran. E-mail: mumivand.h@lu.ac.ir
3. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran. E-mail: ab.ehteshamnia@gmail.com
4. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran. E-mail: raji.m@lu.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 16 March 2024

Received in revised form: 28 June 2024

Accepted: 13 August 2024

Published online: Winter 2024

Keywords:

Antioxidant enzymes,

Phenols, Plant pigments,

Water deficient,

UV-B.

ABSTRACT

The pre-treatment of seeds and seedlings is an easy, low-cost, and low-risk method that improves plant growth and enhances their resistance to environmental stresses. The present research was conducted to evaluate the potential of increasing drought resistance in rosemary by seedling pre-treatment with UV radiation, as a split plots in a completely randomized design with three replications. UV radiation treatment was applied at three levels (control, UV A, and UV B) and drought stress at three levels (100±10, 75±10, and 50±10% field capacity). The results showed that leaf length, and shoot and root weight decreased with drought stress. However, internode length, plant height, shoot dry weight, leaf dry weight, leaf width, root dry weight, number of nodes, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, relative leaf water content, and carotenoid content decreased in the 50% field capacity treatment. Conversely, drought stress led to an increase in malondialdehyde, electrolyte leakage, proline, catalase, peroxidase, ascorbate peroxidase, total phenol, flavonoids, and antioxidant activity. UV B pre-treatment resulted in a significant increase in carotenoids, phenols, flavonoids, proline, and catalase, peroxidase, and ascorbate peroxidase activity. Activation of these stress resistance mechanisms by UV-B led to less increase in malondialdehyde and electrolyte leakage, as well as a smaller decrease in photosynthetic pigments in response to drought stress compared to untreated plants.Therefore, it can be concluded that pre-treatment with UV-B resulted in a better physiological response of rosemary to drought stress, but it did not have a specific effect on the growth and yield of the plants.

Cite this article: Pirinezhad, S., Mumivand, H., Ehtesham Nia, A. & Raji, M. R. (2024). Evaluation of the Potential for Increasing Drought Resistance in Rosemary (*Rosmarinus officinalis L.*) With Pre-Treatment of Ultraviolet Radiation. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 55 (4),533-553. DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.373999.2162

© The Author(s).

DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.373999.2162

Publisher: The University of Tehran Press.

Extended Abstract

Introduction

Water deficit has always been a limiting factor for cultivating agricultural and horticultural plants in Iran. Plants exhibit different responses to drought stress in terms of yield and production of active substances. It is essential to conduct extensive research on valuable plants and employ various treatments to understand these characteristics. Pre-treatment of seeds and seedlings is an easy, cost-effective, and low-risk method that improves plant growth and enhances their resistance to environmental stresses. This technique can be used to improve the quantity and quality of products, especially under adverse environmental conditions. Exposure of plants to ultraviolet radiation strengthens their defense systems against stress-inducing factors. Considering the

significant effects of ultraviolet radiation and drought stress on plants growth and development and the lack of research on their interaction on rosemary, the present study was conducted to evaluate the potential of enhancing drought tolerance through seedling pre-treatment with ultraviolet radiation under greenhouse conditions.

Materials and Methods

This study was conducted as a split plots in a completely randomized design with three replications in 2021. Ultraviolet radiation treatment was applied at three levels (control, UV-A radiation, and UV-B radiation) as the main factor, and drought stress was imposed at three levels (100±10, 75±10, and 50±10% field capacity) as the second factor. Initially, rosemary seedlings were prepared and planted in 5 kg pots containing a mixture of field soil, manure, and sand in a ratio of 1:1:1. Fully established seedlings were exposed to ultraviolet radiation based on the different treatments. The UV treatments were applied daily for 4 hours during the day time (from 11 am to 3 pm) in a period of three weeks. Then pre-treated plants were subjected to drought stress according to the experimental design. At the end of the experiment, five pots from each replication were randomly selected to measure the yield-attribute, physiological and biochemical traits.

Result and Discussion

The results showed that UV pre-treatment (UV-A and UV-B) had no significant effect on any of the yield-attribute traits studied in rosemary. However, both UV-A and UV-B pre-treatments resulted in a reduction in the levels of chlorophyll a, chlorophyll b, and total chlorophyll. Additionally, carotenoids content increased in plants under UV-B pre-treatment, but decreased in plants under UV-A pre-treatment. Pre-treatment with UV radiation resulted in an increase in the levels of malondialdehyde, catalase, peroxidase, ascorbate peroxidase, flavonoids, and antioxidant activity in rosemary. However, the increase was much higher in plants pre-treated with UV-B compared to those pre-treated with UV-A. The levels of proline and total phenols also increased in plants pre-treated with UV-B, while UV-A treatment had no significant effect on proline and total phenol.

Leaf length, shoot weight, and root weight decreased linearly with increasing drought stress. However, internode length, plant height, shoot dry weight, leaf dry weight, leaf width, root dry weight, stem diameter, node number, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and relative leaf water content showed a decrease only under severe drought stress (50% FC) compared to the control. On the other hand, malondialdehyde content and electrolyte leakage increased linearly and significantly with the intensifying of drought stress. Drought stress led to an elevation in proline content, total phenols, flavonoids, and antioxidant activity , as well as the antioxidant activity of catalase, peroxidase, and ascorbate peroxidase enzymes.

Conclusions

The present study showed that pre-treatment with UV radiation (UV-A and UV-B) had no significant effect on the yield-attribute of rosemary in water deficit stress conditions. However, pre-treatment with UV-B resulted in a significant increase in carotenoid, phenol, flavonoid, proline, catalase, peroxidase, and ascorbate peroxidase levels. In fact, it can be concluded that by activating these stress resistance mechanisms through UV-B pre-treatment, less damage has been inflicted on the photosynthetic pigments and plasma membrane of plants under drought stress. The UV-B induced resistance resulted in a better physiological response of plants to water deficit stress. Pre-treated rosemary plants with UV-B showed less reduction in chlorophyll a and total chlorophyll levels when exposed to drought stress. Additionally, the increase in malondialdehyde content in these plants in response to drought stress was much lower.

نشریه علوم باغبانی ایران، دوره ۵۵، شماره ۴

انتشارات دانشگاه تهران

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۷۹۳۰

Homepage: http://ijhs.ut.ac.ir//

ارزیابی قابلیت افزایش مقاومت به تنش خشکی رزماری (*Rosmarinus officinalis L.*) با پیش‌تیمار پرتو فرابنفش

سحر پیری‌نژاد[۱] | حسن مومیوند[۲]✉ | عبدالله احتشام‌نیا[۳] | محمدرضا راجی[۴]

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ایران، رایانامه: saharpiri31a@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ایران، رایانامه: mumivand.h@lu.ac.ir
۳. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ایران، رایانامه: ab.ehteshamnia@gmail.com
۴. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ایران، رایانامه: raji.m@lu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۳
تاریخ انتشار: زمستان ۱۴۰۳

کلیدواژه‌ها:
آنزیم‌های آنتی اکسیدان، رنگیزه‌های گیاهی ، فرابنفش B، فنول، کم آبی.

چکیده

پیش تیمار بذرها و گیاهچه‌ها روشی آسان، کم‌هزینه و کم‌خطر است که باعث بهبود رشد گیاهان و افزایش تحمل آن‌ها به تنش‌های محیطی می‌شود. این پژوهش به‌منظور ارزیابی قابلیت افزایش تحمل به تنش خشکی در رزماری با پیش تیمار پرتو فرابنفش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. تیمار پرتو فرابنفش در سه سطح (شاهد، فرابنفش A و فرابنفش B) و تنش خشکی در سه سطح (۱۰±۱۰۰، ۱۰±۷۵ و ۱۰±۵۰ درصد رطوبت خاک) اعمال شد. نتایج نشان داد که طول برگ و وزن تر بوته و ریشه با تنش خشکی کاهش یافت. اما طول میانگره، ارتفاع بوته، وزن خشک بوته، وزن خشک برگ، عرض برگ، وزن خشک ریشه، تعداد گره، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، محتوای نسبی آب برگ و کاروتنوئید در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی کاهش نشان دادند. تنش خشکی منجر به افزایش میزان مالون دی‌آلدئید، نشت الکترولیتی، پرولین، کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز، فنول، فلاونوئید و فعالیت آنتی اکسیدانی گردید. پیش تیمار فرابنفش B منجر به افزایش میزان کاروتنوئید، فنول و فلاونوئید، پرولین، کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز شد. با فعال شدن این مکانیزم‌های مقاومت به تنش توسط فرابنفش B، میزان افزایش مالون دی‌آلدهید و نشت الکترولیتی و کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی در پاسخ به تنش خشکی کمتر از گیاهان پیش تیمار نشده بود. بنابراین، پیش تیمار فرابنفش B منجر به پاسخ بهتر رزماری به تنش خشکی در بعُد فیزیولوژی گردید، اما تاثیر خاصی بر رشد و عملکرد گیاه در شرایط تنش خشکی نداشت.

استناد: پیری نژاد، سحر؛ مومیوند، حسن؛ احتشام نیا، عبدالله و راجی، محمدرضا (۱۴۰۳). ارزیابی قابلیت افزایش مقاومت به تنش خشکی رزماری (*Rosmarinus officinalis L.*) با پیش‌تیمار پرتو فرابنفش . *نشریه علوم باغبانی ایران*، ۵۵ (۴)، ۵۵۳-۵۳۳. DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.373999.2162

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.373999.2162

مقدمه

رزماری گیاهی است بوتـه‌ای و همیشه سبز به رنگ سبز و معطر که ارتفاع آن تا دو متر نیز می‌رسد (Mozaffarian, 2012). رزماری یک گیاه دارویی و زینتی است که کاربرد فراوانی در عرصه‌ها و فضاهای سبز شهری دارد. این گیاه با توجه به قدرت تحمل بالا نسبت به تشعشات خورشیدی یک گیاه متحمل به خشکی است. همچنین، به علت هرس پذیری فوق العاده آن در اغلب طراحی‌های فضای سبز مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به نیاز آبی کم این گیاه، کشت آن در فضای سبز بهمدیریت شهری کمک می‌کند (Banjaw *et al*., 2016). برگ‌ها، سرشاخه‌هـا و گـل‌های آن خاصیت ضد اسپاسم، ضد نفخ، اشتهاآور و آرام بخشی دارد (Zargari, 1996). رزماری در زمین‌های آهکی، سبک و آفتابگیر به‌خوبی رشد می‌کند و مقاومت بالایی به خشکی و شوری دارد (Neto *et al*., 2006).

در بین تنش‌های غیرزنده محیطی، تنش خشکی جزء مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد در گیاهان به‌شمار می‌رود. تنش خشکی زمانی در گیاه حادث می‌شود که میزان آب دریافتی گیاه کمتر از تلفات آن باشد (Tamadon Kooshki & Riasat, 2021). کمبود رطوبت گیاه را وادار به واکنش‌های مختلف مورفولوژیکی مانند خاردار شدن، خزان زودرس، کاهش رشد اندام هوایی و افزایش رشد ریشه و واکنش‌های فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی مانند کاهش فتوسنتز، افزایش تولید رادیکال‌های آزاد، تجمع ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و مواد محلول و فعالیت ژن‌های خاص می‌کند (Hughes *et al*.,1989). تنش کم آبی از طریق کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش در آبگیری کلروپلاست و سایر بخش‌های پروتوپلاسم و کاهش ساخت پروتئین و کلروفیل، سبب تقلیل فرآیند فتوسنتز می‌گردد. بدیهی است که با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی در شرایط کمبود آب، رشد گیاه و در نهایت عملکرد آن دچار نقصان می‌شود (Rezaei Nejad *et al*., 2020). از مهم‌ترین آسیب‌های تنش خشکی، پراکسیداسیون لیپیدهای غشا است که طی آن رادیکال‌های هیدروکسیل باعث تغییر در سیالیت، انسجام و نفوذپذیری غشا می‌شوند (Taiz *et al*., 2015). همچنین تنش اکسیداتیو ایجاد شده در شرایط تنش خشکی منجر به آسیب به ساختمان اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها، لیپیدها، رنگدانه‌های فتوسنتزی و ساختمان کلروپلاست می‌شود (Mumivand *et al*., 2023). گیاه برای مقابله با تنش خشکی، سطوح آنتی اکسیدان‌های مختلف (آنزیمی و غیر آنزیمی) خود را بالا می‌برد. راه‌کارهای مقابله با این شرایط شامل تولید آنتی‌اکسیدان‌ها و هم چنین افزایش تری‌هالوزها است که به سیالیت غشا و استحکام پروتئین‌های ناپایدار کمک می‌کنند (Mumivand *et al*., 2021a).

پرتو فرابنفش از جمله عوامل محیطی و مهم است که تغییرات تطبیقی متنوعی را در طول چرخه زندگی ایجاد می‌کند و می‌تواند مکانیسم‌های سازگاری گیاهان را با عوامل تنش‌زای شناخته شده تحت تأثیر قرار دهد (Kovács *et al*., 2014). پرتو فرابنفش B بر رشد، نمو، پاسخ بیوشیمیایی، فیزیولوژی و مورفولوژی گیاه تأثیرات پلیوتروپیک دارد (Frohnmeyer & Staiger, 2003). در نتیجه، این عامل اکولوژیکی می‌تواند متابولیسم گیاه را تحت تأثیر قرار داده و تعادل بین متابولیت‌های اولیه و ثانویه را تغییر دهد (Ballare *et al*., 2011). تابش فرابنفش B گونه‌های فعال اکسیژن را تولید می‌کند که به غشای سلولی، پروتئین‌ها و DNA آسیب می‌رساند و فتوسنتز را کاهش می‌دهد (Shayganfar *et al*., 2018). فرابنفش A قسمتی از فرابنفش خورشیدی است که تقریباً بدون تغییر از جو عبور می‌کند و قادر به نفوذ به بافت‌های داخلی است. اثرات مضر آن کمتر از فرابنفش B است، با این حال فرابنفش A نیز می‌تواند باعث آسیب اکسیداتیو و مهار رشد در گیاهان عالی شود. از سوی دیگر، پرتو فرابنفش A برای کاهش تأثیرات مخرب فرابنفش B گزارش شده است (Kataria *et al*., 2014).

پیشینه پژوهش

القای یک حالت فیزیولوژیک خاص در گیاهان با تیمار بذرها و گیاهچه‌ها، پیش تیمار نامیده می‌شود. پیش تیمار بذر و گیاهچه یک فناوری موفق در القای تحمل به تنش‌های غیرزنده در گیاهان است و به گیاهان کمک می‌کند تا حتی در شرایط

1. *Rosmarinus officinalis* L.

تنش‌زا تولید محصول را افزایش دهند (Jisha *et al* ., 2013). مقاومت القایی یا مقاومت در برابر تنش چندگانه، به گیاه اجازه می‌دهد به دامنه وسیعی از تنش‌ها مقاوم شود (Llorens *et al*., 2020). القای تحمل به تنش، می‌تواند به عنوان ابتکاری نو در مقابله با تنش‌های محیطی بکار گرفته شود، زیرا موجب افزایش سطح تحمل گیاه در برابر عوامل ایجادکننده تنش می‌گردد (Filippou *et al*., 2013). در مجموع قرار گرفتن گیاهان در معرض یک تنش محیطی، تحمل به تنش‌هایی که بعداً در معرض آن‌ها قرار می‌گیرند را افزایش می‌دهد (Zhang & Tsao, 2016). اگرچه دُزهای بالای پرتو فرابنفش به‌عنوان یک عامل مخرب شناخته شده است، اما برخی از مطالعات نشان داده که دُزهای خفیف پرتو فرابنفش حساسیت گیاه را به تنش‌های محیطی از جمله خشکی (Katerova & Prins*en*, 2008) و شوری (Ouhibi *et al*., 2014) کاهش می‌دهد. بنابراین درصورتی‌که کاربرد دُزهای پایین پرتو فرابنفش بر ایجاد مقاومت در برابر تنش نقش مثبت داشته باشد، می‌توان با صرف کمترین هزینه، گیاهانی تولید کرد که در طی فصل رشد در مزرعه، بیشترین مقاومت را به کمبود آب نشان دهند و به این طریق از کاهش عملکرد تا حدود زیادی جلوگیری شود (Schmidt *et al*., 2000). مطالعات نشان داده است که محتوای بیشتر دهیدرین‌ها در گیاهان رشدیافته تحت دُزهای کم فرابنفش می‌تواند از طریق تنظیم اسمزی، حفظ پایداری ماکرومولکول‌ها، پایداری وزیکول‌ها، پروتئین‌ها و غشاهای زیستی، تحمل گیاه را به شرایط تنش افزایش دهد (Poulson *et al*., 2006). بنابراین، یکی از دلایل افزایش پایداری غشاء تحت تابش پرتو فرابنفش A و B می‌تواند همین افزایش دهیدرین‌ها باشد که موجب حفظ پایداری غشاء سلول‌ها در شرایط تنش شده است (García-Cela *et al*., 2015).

در مطالعه Rodríguez-Calzadaa *et al*. (2019) تیمار پرتو فرابنفش B باعث کاهش طول ساقه، وزن خشک ساقه و تعداد پریموردیاهای گل فلفل شد. میزان ترکیبات فلاونوئیدی، کلروژنیک اسید و آپیژنین ۸-C-هگزوزید و بیان ژن‌های فنیل آلانین آمونیالیاز و چالکون سنتاز به طور قابل توّجهی در تیمار پرّتو فرابنفش B افزایش یافت. میزان لوتئولین ۶-C-پنتوزید-۸-C-هگزوسید نیز در تیمار ترکیبی پرتو فرابنفّش B و تنش خشکی حداکثر بود. محققان دیگری اظهار داشتند که بذرهای لوبیا سبز پیش تیمار شده با پرتو فرابنفش C، گیاهانی با وزن تر و خشک شاخساره و ریشه بیشتر در مقایسه با بذرهای تیمار نشده در شرایط تنش شوری ایجاد کردند (TT & Puthur, 2017). پیش تیمار گیاهان تنباکو با پرتو فرابنفش B منجر به افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی و فلاونول‌های اپیدرمی برگ شد که عامل مهمی در تحمل به تنش خشکی هستند. علاوه براین، عدم تأثیر منفی تنش خشکی بر رشد، پژمردگی برگ و محتوای آب نسبی برگ، و افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، فنیل آلانین آمونیالیاز و پراکسیداز در گیاهان پیش تیمار شده با فرابنفش مشاهده شد (Darras *et al*., 2024). با توجه به اهمیت رزماری به‌عنوان یک گیاه زینتی-دارویی مهم در فضای سبز، یافتن راهکارهای مدیریتی مناسب برای کاهش اثرات ناشی از تنش خشکی، زمینه را برای افزایش عملکرد و کیفیت گیاه فراهم می‌نماید. از طرفی، بررسی منابع نشان می‌دهد که پژوهشی در مورد تاثیر متقابل تنش خشکی و پرتو فرابنفش در رزماری وجود ندارد. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر پیش تیمار پرتو فرابنفش بر پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی رزماری به تنش خشکی صورت گرفت.

روش‌شناسی پژوهش

مواد گیاهی و شرایط آزمایش

مطالعه حاضر در قالب یک آزمایش گلخانه‌ای روی گیاه رزماری در سال ۱۴۰۰ در گلخانه‌ی پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان با مختصات جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۱۷۰ متر بالاتر از سطح دریا انجام گرفت. ابتدا نشاءهای رزماری از شرکت زرین گیاه ارومیه تهیه و در اوایل شهریور ۱۴۰۰

1. *Capsicum annuum* L.
2. Phenylalanine ammonia-lyase (PAL)
3. Chalcone synthase (CHS)
4. Luteolin 6-C-pentoside-8-C-hexoside

در گلدان‌های پنج کیلوگرمی حاوی خاک زراعی، کود دامی و ماسه بادی به نسبت ۱:۱:۱ کشت شدند. مشخصات فیزیکی و شیمیایی بستر کاشت در جدول ۱ ارائه شده است. گلدان‌ها به صورت وزنی و یکسان با مخلوط خاکی پر شدند. به منظور رعایت یکنواختی مواد آزمایشی در تیمارها و تکرارهای مختلف سعی شد گیاهچه‌های انتخاب شده از نظر اندازه تا حد امکان وضعیت مشابهی داشته باشند. گلدان‌ها در یک سازه‌ی محافظت شده در دمای روز/شب ۳۰–۱۸/۲۵–۱۵ درجه سلسیوس، شدت نور متوسط ۵۰۰ ± ۵۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه و رطوبت نسبی ۷۵–۶۵ درصد قرارداده شدند.

طرح آزمایشی و اعمال تیمارها

این مطالعه به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمار پرتو فرابنفش در سه سطح (شاهد، تابش پرتو فرابنفش A و تابش پرتو فرابنفش B) به عنوان عامل اصلی و تنش خشکی در سه سطح (۱۰±۱۰۰، ۱۰±۷۵ و ۱۰±۵۰ درصد رطوبت خاک بر پایه ظرفیت زراعی) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. برای هر واحد آزمایش تعداد ۹ گلدان در نظر گرفته شد (در مجموع ۲۴۳ گلدان). پس از استقرار کامل نشاهای رزماری، گیاهان در معرض تابش پرتوهای فرابنفش بر حسب نوع تیمار قرار گرفتند. برای اعمال پیش تیمارهای پرتو فرابنفش، پایه‌های فلزی با ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر از سطح زمین آماده شدند. پرتو مورد نیاز توسط لامپ های فرابنفش A و B اعمال شد. تیماردهی بصورت روزانه و به مدت ۴ ساعت در طول روز (از ساعت ۱۱ تا ۱۵) انجام شد. شدت پرتو فرابنفش B برابر با ۵/۹۸ کیلوژول بر متر مربع در روز و شدت پرتو فرابنفش A نیز ۲/۷۵ کیلوژول بر متر مربع در روز بود (Jadidi *et al*., 2023). از یک تایمر الکتریکی با هدف تنظیم زمان روشن و خاموش شدن لامپ‌ها استفاده گردید و به منظور ایجاد فضای ایزوله و با هدف جلوگیری از تداخل تاثیر تیمارهای مختلف، فاصله بین تیمارها با استفاده از یونولیت پوشانده شد. نشاها به مدت سه هفته در معرض تیمار فرابنفش تحت تنش خشکی قرار گرفتند. پیش‌تیمار فرابنفش مدت سه هفته ادامه داشت، سپس گیاهان پیش تیمار شده بر اساس طرح آزمایشی به مدت پنج ماه در معرض یکی از سه سطح تنش خشکی قرار گرفتند.. تنش خشکی به وسیله وزن کردن روزانه گلدان‌ها طی دوره آزمایش اعمال شد، به‌طوری‌که رطوبت گلدان‌ها در هر یک از سطوح تنش خشکی در حد درصد ظرفیت زراعی ذکر شده برای آن تیمار حفظ گردید. برای هر تیمار پنج گلدان اضافه در نظر گرفته شد که در انتهای هر ماه گیاهان یکی از گلدان‌ها برداشت می‌شد و وزن گیاه به وزن نهایی گلدان برای هر تیمار تنش خشکی اضافه می‌گردید. در طی آزمایش میانگین دمای روزانه ۲۵–۱۸ درجه سلسیوس، رطوبت ۷۰–۶۰ درصد و شدت نور ۶۰۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه بود.

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بستر کشت

فسفر (میلی‌کرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌کرم بر کیلوگرم)	نیتروژن (%)	آهن (میلی‌کرم بر کیلوگرم)	سدیم (میلی‌کرم بر کیلوگرم)	منیزیم (میلی‌کرم بر کیلوگرم)	کربن آلی(درصد)	بافت	هدایت الکتریکی (میلی زیمنس بر سانتی متر)	اسیدیته
77/6	366/54	0/19	6/22	78/4	533/7	1/17	شنی-لومی- رسی	1/48	6/22

ارزیابی صفات عملکردی و زی‌توده گیاهی

در پایان آزمایش در اواخر اسفندماه ۱۴۰۰، تعداد پنج گلدان از هر تکرار به‌صورت تصادفی انتخاب و صفات عملکردی شامل طول و عرض برگ (میانگین ۱۰ برگ بالغ از هر بوته انتخابی)، طول میانگره، ارتفاع بوته، قطر طوقه، تعدادگره، وزن‌تر بوته، وزن خشک بوته، وزن خشک برگ، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه و طول ریشه اندازه‌گیری شدند. جهت اندازه گیری وزن تر اندام هوایی، پیکر هوایی گیاه (شامل برگ و ساقه) به‌طور کامل از سطح خاک برداشت و بلافاصله وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس جهت اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌های گیاهی به‌مدت دو هفته در دمای اتاق و در پاکت‌های کاغذی به‌صورت جداگانه نگهداری و سپس وزن خشک آن‌ها ثبت شد. پس از جدا کردن برگ از ساقه، وزن خشک برگ نیز اندازه‌گیری شد.

صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی

جهت اندازه‌گیری صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی مقدار کافی نمونه (۵ گرم) از هر تیمار برداشت و با ازت مایع فریز شد و تا زمان اندازه‌گیری صفات در فریزر با دمای ۸۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند.

رنگیزه‌های فتوسنتزی

میزان کلروفیل و کاروتنوئید برگ به روش Lichtenthaler *et al.* (1987) اندازه‌گیری شد. ابتدا ۰/۱ گرم برگ در هاون چینی با ازت مایع کاملاً ساییده شد. پس از اضافه کردن ۱۰ میلی‌لیتر استون به نمونه‌ها، عصاره بدست آمده به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. جذب محلول رویی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۲، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر قرائت شد. در نهایت میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنویید، بر حسب میلی‌گرم در گرم برگ بیان شد.

پرولین

به منظور اندازه‌گیری محتوای پرولین برگ از روش Bates *et al.* (1973) استفاده شد. میزان ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک به نمونه‌های گیاهی خرد شده با نیتروژن مایع اضافه شد. پس از صاف کردن محلول و سانتریفیوژ، دو میلی‌لیتر از روشناور جدا شد و به ترتیب به آن دو میلی‌لیتر ناین هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک خالص اضافه گردید. پس از انکوبه کردن نمونه‌ها در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس چهار میلی‌لیتر تولوئن به هر یک از لوله‌های آزمایش اضافه شد. جذب روشناور با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد.

کاتالاز

فعالیت آنزیم کاتالاز به روش Chance & Maehly (1955) اندازه‌گیری شد. به ۰/۳ گرم از نمونه برگ خرد شده با نیتروژن مایع، ۱۵۰۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم حاوی EDTA و PVP اضافه شد. پس از سانتریفیوژ نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه، تغییرات جذب نور به فواصل ۱۰ ثانیه، به مدت دو دقیقه، در دمای ۲۵ درجه سلسیوس با ۴۰۰ میکرولیتر بافر و ۳۰۰ میکرولیتر آب اکسیژنه و ۳۰ میکرولیتر از روشناور در طول موج ۲۴۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. فعالیت آنزیم کاتالاز بر حسب میکرو مول در دقیقه بر گرم وزن تر محاسبه شد.

پراکسیداز

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز به روش Mc-Adam *et al.* (1992) صورت گرفت. به ۰/۳ گرم نمونه برگ پودر شده با نیتروژن مایع، ۱/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم اضافه گردید. سوسپانسیون حاصل در دستگاه سانتریفیوژ به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه قرار گرفت. تغییرات جذب نور به فواصل ۱۰ ثانیه، به مدت دو دقیقه، در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در طول‌موج ۴۷۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد.

آسکوربات پراکسیداز

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز با استفاده از روش Nakano & Asada (1981) محاسبه گردید. ابتدا مقدار ۰/۱ گرم از برگ پودر شده با نیتروژن مایع به یک میلی‌لیتر بافر فسفات‌سدیم با غلظت ۵۰ میلی‌مولار (pH=7) اضافه شد. سوسپانسیون حاصل به مدت۲۰ دقیقه با ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۱۵۰۰ میکرولیتر بافر استخراج بدون اسید آسکوربیک و ۳۰۰ میکرو لیتر بافر محتوی اسید آسکوربیک و سه میکرولیتر آب اکسیژنه با ۵۰ میکرولیتر از روشناور داخل کووت ریخته شد. تغییرات جذب نوری نمونه‌ها در طول‌موج ۲۹۰ نانومتر هر ۱۰ ثانیه و به مدت ۱۲۰ ثانیه با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد.

مالون‌دی‌آلدهید

میزان مالون دی آلدهید بر اساس روش Wang *et al*. (2009) اندازه‌گیری شد. بدین منظور یک گرم از برگ گیاه خرد شده با ۵ میلی لیتر محلول تیوباربیتیوریک اسید نیم درصد حل شده در تری کلرو استیک اسید ۲۰ درصد مخلوط گردید. سپس مخلوط حاصل به منظور انجام واکنش به مدت ۱۵ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. مخلوط به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. میزان جذب روشناور در سه طول موج ۴۵۰، ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد.

نشت الکترولیتی

میزان ۰/۰۵ گرم از نمونه‌های برگی داخل آب مقطر گذاشته شده و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفت. سپس هدایت الکتریکی اولیه (EC_1) آن اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد نمونه‌ها در اتوکلاو در دمای ۲۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفته و هدایت الکتریکی ثانویه (EC_2) اندازه‌گیری شد. در نهایت نشت الکترولیتی برگ (EL) از طریق رابطه ۱ محاسبه شد (Lutts *et al*.,1996).

$$EL\ (\%) = (EC_1/\ EC_2) \times 100$$ رابطه ۱)

محتوای نسبی آب برگ[1]

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ گیاه به روش Ritchie *et al*. (1990) انجام شد. از هر گیاه یک برگ توسعه یافته (برگ دوم از راس ساقه) جدا و وزن تر آن‌ها ثبت شد (Fw)، سپس به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار داده شدند. بعد از آن برگ‌ها از آب خارج و رطوبت آن‌ها با استفاده از دستمال کاغذی گرفته شد و وزن اشباع (Sw) آن‌ها اندازه‌گیری شد. در نهایت نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت درون آون در دمای ۸۰ درجه سلسیوس نگه‌داری شدند و وزن خشک (Dw) آن‌ها یادداشت گردید. محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد.

رابطه ۲)

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

فنل کل

مقدار یک گرم برگ خشک در فالکون‌های ۱۵ میلی‌لیتری حاوی ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت. ۰/۵ میلی لیتر از معرف سیوکالتیو با چهار میلی لیتر از محلول Na_2CO_3 یک مولار مخلوط گردید. سپس ۰/۵ میلی لیتر از محلول عصاره گیاهی به مخلوط اضافه شد و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای اتاق قرار داده شد. پس از این مدت جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. از گالیک اسید نیز به عنوان استاندارد برای رسم منحنی و محاسبه میزان فنل کل استفاده گردید (Mc-Donald *et al*., 2001).

فلاونوئید کل

به ۵۰ میکرولیتر از عصاره گیاهی، ۴۰۰ میکرولیتر محلول کلرید آلومینیوم دو درصد اضافه شد، سپس ۱۲۰۰ میکرولیتر محلول استات پتاسیم پنج درصد به آن اضافه شد. پس از ۴۰ دقیقه نگهداری در دمای اتاق، جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۱۵ نانومتر قرائت شد. از کوئرستین به عنوان استاندارد برای رسم منحنی و محاسبه میزان فلاونوئید کل استفاده گردید (Quettier-Deleu *et al*., 2000).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش FRAP

1. relative water content (RWC)

ابتدا معرف FRAP شامل ۲/۵ میلی لیتر از محلول TPTZ ۱۰ میلی مولار در اسید هیدورکلریک ۴۰ میلی مولار، به اضافه ۲/۵ میلی لیتر از کلرید آهن ($FeCl_3.6H_2O$) ۲۰ میلی مولار و ۲۵ میلی لیتر بافر استات ۳۰۰ میلی مولار با pH=۳/۶ تهیه شد. سپس ۲۸۵۰ میکرولیتر معرف FRAP تازه تهیه شده با ۱۵۰ میکرو لیتر عصاره مخلوط و ورتکس شد. بعد از ۱۵ دقیقه نگهداری در دمای آزمایشگاه جذب در ۵۹۳ نانومتر قرائت شد و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بر حسب میلی مولار $FeSO_4.7H_2O$ بیان شد (Benzie & Strain, 1996).

تجزیه تحلیل آماری

تجزیه واریانس دادهها بر اساس طرح آزمایشی مورد استفاده و با استفاده از نرم افزار SAS صورت گرفت. مقایسه میانگین تیمارها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار(LSD) در سطح پنج درصد انجام شد. برای ترسیم جداول و نمودارها از نرم افزارهای Wordو Excel استفاده گردید.

یافته‌های پژوهش

صفات عملکردی و زی‌توده گیاهی

نتایج تجزیه واریانس صفات عملکردی و زی‌توده گیاهی نشان داد که اثر پرتو فرابنفش و اثر متقابل پرتو فرابنفش و تنش خشکی بر هیچکدام از صفات معنی دار نشد. با این حال، صفات طول و عرض برگ، طول میانگره، ارتفاع بوته، قطر طوقه، تعداد گره، وزن تر و وزن خشک بوته، وزن خشک برگ، وزن تر ریشه و وزن خشک ریشه به طور معنی داری تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفتند (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین اثر تنش خشکی بر صفات عملکردی و زی‌توده رزماری (جدول ۳) نشان داد که طول برگ، وزن تر بوته و وزن تر ریشه با اعمال هر دو سطح تنش خشکی ملایم و شدید به صورت خطی کاهش یافت. بیشترین میزان طول برگ (۳/۹۶ سانتی متر)، وزن تر بوته (۱۲۸/۷ گرم بر بوته) و وزن تر ریشه (۲۸/۶۱ گرم بر بوته) در تیمار عدم تنش خشکی (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده شد. تنش خشکی ملایم (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) هیچ تاثیری بر عرض برگ، طول میانگره، ارتفاع بوته، قطر طوقه، تعداد گره، وزن خشک بوته، وزن خشک برگ و وزن خشک ریشه گیاهان در مقایسه با تیمار شاهد نداشت. با این حال، در تیمار تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) طول میانگره، ارتفاع بوته، وزن خشک بوته، وزن خشک برگ، عرض برگ، وزن خشک ریشه، قطر طوقه و تعداد گره (به ترتیب به میزان ۱۶/۴۰، ۲۶/۰۷، ۳۶/۷۲، ۴۰/۹۳، ۳۳/۳۱، ۴۵/۶۳، ۱۵/۰۶ و ۲۵/۱۱ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد کاهش پیدا کرد.

صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که پیش تیمار پرتو فرابنفش تاثیر معنی‌داری بر کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید، مالون‌دی‌آلدئید، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز، پرولین، فنول کل، فلاونوئید و فعالیت آنتی اکسیدانی داشت. میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید، مالون‌دی‌آلدئید، نشت الکترولیتی، محتوای نسبی آب، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز، پرولین، فنول کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی اکسیدانی به صورت معنی‌داری تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفت. اثر متقابل پیش تیمار پرتو فرابنفش و تنش خشکی نیز بر صفات کلروفیل a، کلروفیل کل، مالون‌دی‌آلدئید، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز معنی‌دار بود (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین اثر پیش تیمار پرتو فرابنفش بر صفات فیزیولوژیک و بیوشیمایی رزماری نشان داد که مقدار کلروفیل b در گیاهان پیش تیمار شده با فرابنفش B و A به ترتیب به میزان ۷/۳۱ درصد و ۵/۷ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت. بیشترین میزان کلروفیل b (۳/۶۵ میلی‌گرم بر گرم برگ تازه) در تیمار شاهد به دست آمد. همچنین، پیش تیمار فرابنفش

1. Ferric Reducing Antioxidant Power
2. 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine

Bباعث افزایش کاروتنوئید در مقایسه با شاهد شد، در حالی‌که، فرابنفش A منجر به کاهش میزان کاروتنوئید در مقایسه با تیمار شاهد گردید. در مجموع بالاترین میزان کاروتنوئید (۳/۹۷۵ میلی گرم بر گرم برگ تازه) در تیمار فرابنفش B مشاهده شد. بیشترین

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر پیش تیمار پرتو فرابنفش و تنش خشکی بر برخی صفات عملکردی و زی‌توده رزماری

منابع تغییرات	درجه آزادی	طول برگ	عرض برگ	طول میانگره	ارتفاع بوته	قطر طوقه	تعداد گره	وزن تر بوته	وزن خشک بوته	وزن تر ریشه	وزن خشک برگ	وزن خشک ریشه	طول ریشه
فرابنفش	۲	^{ns}۰/۴۳	^{ns}۰/۲۳	^{ns}۰/۲	^{ns}۱۱/۷۵	^{ns}۲/۸۲	^{ns}۹/۷۶	^{ns}۸۸/۱۷	^{ns}۳۵/۲۱	^{ns}۰/۶۹	^{ns}۳۴/۰۱	^{ns}۰/۵۲	^{ns}۱۴/۵۶
خطای اصلی	۶	۰/۴	۰/۳۵	۰/۱۲	۱۴/۶۱	۲/۱۵	۲۶/۴۵	۱۱۵/۸۱	۸/۴۵	۱۱/۶	۶/۵۸	۳/۰۸	۹/۸۵
تنش خشکی	۲	**۳/۳۴	**۳/۹۴	*۰/۴۵	**۱۴۲/۵۷	*۲/۵۲	*۵۳/۲۹	**۷۰۷۲/۲۶	**۵۰۷/۹۴	**۵۶۵/۱۶	**۳۰۳/۰۲	**۳۱/۱۴	^{ns}۳۳/۱۲
خشکی×فرابنفش	۴	^{ns}۰/۱۳	^{ns}۰/۳۲	^{ns}۰/۱۳	^{ns}۹/۳۸	^{ns}۰/۵۹	^{ns}۲۱/۲۳	^{ns}۸/۶۵	^{ns}۲/۰۸	^{ns}۱/۳۱	^{ns}۲/۷۴	^{ns}۰/۲۰	^{ns}۱۰/۸۵
خطای فرعی	۱۲	۰/۲	۰/۴	۰/۰۹	۱۵/۱	۰/۴۷	۱۱/۱۳	۹۵/۰۹	۱۱/۷۴	۸/۶	۶/۹۵	۱/۳۹	۲۰/۵۶
ضریب تغییرات		۱۳/۴	۱۹/۳۷	۱۵/۵۶	۱۴/۵۸	۱۰/۵۵	۱۹/۷	۹/۵۲	۱۰/۳۲	۱۳/۰۳	۱۱/۷۱	۱۸/۵۳	۱۵/۴۴

*، ** و ns: به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین اثر تنش خشکی بر صفات عملکردی و زی‌توده رزماری

تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی)	طول برگ (سانتی متر)	عرض برگ (سانتی متر)	طول میانگره (سانتی متر)	ارتفاع بوته (سانتی متر)	قطر طوقه (سانتی متر)	تعداد گره (عدد)	وزن تر بوته (گرم بر بوته)	وزن خشک بوته (گرم بر بوته)	وزن خشک برگ (گرم بر بوته)	وزن تر ریشه (گرم بر بوته)	وزن خشک ریشه (گرم بر بوته)
۱۰۰	۳/۹۶^{a}	۳/۸۳^{a}	۲/۱۰^{a}	۳۰/۴۲^{a}	۷/۰۳^{a}	۱۹/۳۷^{a}	۱۲۸/۷۰^{a}	۳۹/۰۸^{a}	۲۷/۰۱^{a}	۲۸/۶۱^{a}	۷/۹۵^{a}
۷۵	۳/۳۶^{b}	۳/۵۰^{a}	۲/۱۸^{a}	۲۷/۰۲^{a}	۶/۴۸^{ab}	۱/۹۱^{ab}	۱۰۵/۵۸^{b}	۳۵/۷۵^{a}	۲۴/۵۳^{a}	۲۵/۳۴^{b}	۶/۸۴^{a}
۵۰	۲/۷۴^{c}	۲/۵۴^{b}	۱/۷۶^{b}	۲۲/۴۸^{b}	۵/۹۷^{b}	۱۴/۵۱^{b}	۷۲/۹۰^{c}	۲۴/۷۲^{b}	۱۵/۹۵^{b}	۱۳/۵۵^{c}	۴/۳۲^{b}

میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک در ستون‌ها می‌باشند، بر اساس آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌داری هستند ($P\leq0.05$).

مقدار پرولین (۰/۰۵۳۷ میکرومول بر گرم) مربوط به تیمار فرابنفش B بود. کمترین مقدار پرولین (۰/۰۳۶۱۴۴ میکرومول بر گرم) نیز در گیاهان شاهد به دست آمد که با گیاهان تحت پیش تیمار فرابنفش A اختلاف معنی داری نداشت. پیش تیمار فرابنفش A هیچ تاثیری بر میزان فنول کل گیاهان در مقایسه با تیمار شاهد نداشت. برخلاف آن مقدار فنول کل در گیاهان پیش تیمار شده با فرابنفش B به میزان ۳۳/۳۸ درصد در مقایسه با شاهد افزایش پیدا کرد. همچنین، پیش تیمار فرابنفش B و فرابنفش A هر دو باعث افزایش میزان فلاونوئید کل و فعالیت آنتی اکسیدانی در مقایسه با تیمار شاهد شد. در مجموع بالاترین میزان فلاونوئید و فعالیت آنتی اکسیدانی (به ترتیب با ۳۰/۹۸۷ میلی گرم کوئرستین بر گرم گیاه خشک و ۱۵۵۹/۲۲ میکرومول آهن بر گرم گیاه خشک) با تیمار فرابنفش B به‌دست آمد (جدول ۵).

نتایج مقایسه میانگین اثر تنش خشکی نشان داد که میزان کلروفیل b، کاروتنوئید و محتوای نسبی آب برگ با اعمال تنش خشکی به صورت خطی کاهش یافت. کمترین مقدار کلروفیل b، کاروتنوئید و محتوای نسبی آب برگ (به ترتیب با ۳/۲ میلی گرم بر گرم برگ تازه، ۲/۸۸ میلی گرم بر گرم برگ تازه و ۶۴/۷۷ درصد) در تیمار تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد و بیشترین مقدار آن‌ها (به ترتیب با ۳/۸۴ میلی گرم بر گرم برگ تازه، ۳/۶۷ میلی گرم بر گرم برگ تازه و ۸۵/۹۹ درصد) در تیمار شاهد ثبت شد. میزان پرولین و نشت الکترولیتی با افزایش شدت تنش خشکی به صورت خطی و معنی‌دار

افزایش پیدا کرد، به نحوی که بالاترین میزان پرولین (۰/۰۵۳۶۱۱ میکرومول بر گرم) و نشت الکترولیتی (۳۰/۶۲ درصد) در تیمار تنش خشکی درسطح ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد و کمترین مقدار این صفات مربوط به شرایط عدم اعمال تنش خشکی بود. تیمار تنش خشکی در سطح ۵۰ درصد ظرفیت زراعی باعث افزایش میزان فنول کل در مقایسه با تیمار شاهد شد. در حالی‌که، تنش خشکی در سطح ۷۵ درصد ظرفیت زراعی تاثیر معنی‌داری بر فنول در مقایسه با شاهد نداشت. در مجموع بیشترین میزان فنول کل (۵۴/۹۲ میلی گرم گالیک اسید بر گرم گیاه خشک) مربوط به تیمار تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود. میزان فلاونوئید کل با افزایش شدت تنش خشکی به صورت خطی و معنی‌دار افزایش یافت و بالاترین میزان فلاونوئید (۳۰/۵۴ میلی گرم کوئرستین بر گرم وزن خشک) در تیمار تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. فعالیت آنتی اکسیدانی رزماری نیز تحت تنش خشکی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت، در حالی‌که با اعمال تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی افزایش معنی‌داری در این صفت در مقایسه با تیمار ۷۵ درصد مشاهده نشد. بالاترین مقدار فعالیت آنتی اکسیدانی (۱۳۲۰/۶۷ میکرومول آهن بر گرم گیاه خشک) در تیمار تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد که با گیاهان تحت تنش خشکی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی داری نداشت (جدول ۶).

جدول ٤. نتایج تجزیه واریانس اثر پیش تیمار پرتو فرابنفش و تنش خشکی بر برخی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی رزماری

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	مالون دی آلدئید	نشت الکترولیتی	محتوای نسبی آب
فرابنفش	۲	۵/۹۵**	۰/۱۷*	۵/۳۸**	۴/۸۱**	۵/۶۵**	۲۸/۳۷ns	۷/۰۳ns
خطای اصلی	۶	۰/۰۶	۰/۰۰۳	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۰۳	۱۳/۲۵	۱۴/۷۷
تنش خشکی	۲	۲۲/۸**	۰/۹۴**	۳۳/۷۱**	۱/۵**	۱/۷۷**	۷۹۴/۷۵**	۱۰۱۷/۶۹**
تنش خشکی × فرابنفش	۴	۳/۱۲*	۰/۰۵ns	۳/۹۷**	۰/۰۷ns	۰/۱**	۸/۲ns	۲/۵۷ns
خطای فرعی	۱۲	۰/۶۱	۰/۰۳	۰/۶۸	۰/۰۲	۰/۰۰۸	۴/۸۶	۱۹/۷۵
ضریب تغییرات (درصد)		۶/۱۴	۵/۴	۵/۰۷	۴/۷۶	۵/۲۱	۱۰/۷۹	۵/۸۶

*، ** و ns: به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

ادامه جدول ٤. نتایج تجزیه واریانس اثر پیش تیمار پرتو فرابنفش و تنش خشکی بر برخی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی رزماری

منابع تغییرات	درجه آزادی	پراکسیداز	کاتالاز	آسکوربات پراکسیداز	پرولین	فنول کل	فلاونوئید	فعالیت آنتی اکسیدانی
فرابنفش	۲	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۳**	۰/۰۵**	۰/۰۰۰۸**	۸۲۹/۵**	۱۴۸/۳۵**	۵۷۹۵۹/۷**
خطای اصلی	۴	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۰۶	۱۱/۷۶	۴/۶۵	۲۴۵۱/۰۹
تنش خشکی	۲	۰/۰۰۰۷**	۰/۰۰۱**	۵/۱۷**	۰/۰۰۱**	۱۲۴/۷۴**	۱۳۰/۵۵**	۲۹۲۸۱/۸۱**
تنش خشکی × فرابنفش	۴	۰/۰۰۰۰۵**	۰/۰۰۰۰۶**	۰/۰۰۲*	۰/۰۰۰۰۰۴ns	۴/۷۵ns	۲/۲۲ns	۳۸۴۷/۰۳ns
خطای فرعی	۱۲	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۱	۱۱/۶۲	۸/۰۴	۳۸۵۴/۵۷
ضریب تغییرات (درصد)		۵/۱۸	۴/۹۸	۴/۷۳	۸/۲۸	۶/۶۸	۱۰/۵۹	۴/۸۸

*، ** و ns: به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل پیش تیمار پرتو فرانبفش و تنش خشکی (جدول ۷) نشان داد بیشترین مقدار کلروفیل aو کلروفیل کل (به ترتیب با ۱۵/۱۳ و ۱۹/۴۸ میلی‌گرم بر گرم برگ تازه) در گیاهان بدون پیش تیمار فرابنفش و تنش خشکی

۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. بررسی نتایج نشان می‌دهد که در گیاهان پیش تیمار شده با فرابنفش B، در مواجهه با تنش خشکی کاهش کمتری در میزان کلروفیل a و کلروفیل کل نشان دادند، به نحوی که در گیاهان پیش تیمار شده با فرابنفشB، بین تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری از نظر کلروفیل a و کلروفیل کل مشاهده نشد. بر خلاف این در گیاهان بدون پیش تیمار فرابنفش و گیاهان پیش تیمار شده با فرابنفش A، میزان کلروفیل a و کلروفیل کل با اعمال تنش خشکی به صورت معنی‌داری کاهش یافت. بیش ترین مقدار مالون دی آلدهید (۲/۷۹ میکرومول بر گرم) مربوط به گیاهان تحت پیش تیمار فرابنفش B و تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود که با گیاهان تحت پیش تیمار فرابنفش B و تنش خشکی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری نداشت. کم ترین مقدار مالون دی آلدهید (۰/۴۸۸ میکرومول بر گرم) در گیاهان بدون پیش تیمار فرابنفش و تنش خشکی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. در مجموع در هر سه گروه از گیاهان تیمار شده با پرتو فرابنفش (عدم پیش تیمار، پیش تیمار با فرابنفش A و پیش تیمار با فرابنفش B)، اعمال تنش خشکی منجر به افزایش میزان مالون دی آلدهید شد. با این حال نتایج نشان داد که در گیاهان پیش تیمار شده با فرابنفش B، میزان افزایش مالون دی‌آلدهید در پاسخ به تنش خشکی بسیار کمتر بود (جدول ۷). بالاترین میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز (به ترتیب با ۰/۰۶۸۷ و ۰/۶۳۸ میکرومول بر گرم) در گیاهان تحت پیش تیمار فرابنفش B و تنش خشکی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد که با گیاهان تحت پیش تیمار فرابنفش B و تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین، کمترین مقدار فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز (به ترتیب ۰/۰۲۶۷ و ۰/۲۳۲۶

جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین اثر پیش تیمار پرتو فرابنفش بر صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی رزماری

پرتو فرابنفش	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم برگ تازه)	کاروتنوئید (میلی‌گرم بر گرم برگ تازه)	پرولین (میکرومول بر گرم)	فنول کل (میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم گیاه خشک)	فلاونوئید (میلی‌گرم کوئرستین بر گرم گیاه خشک)	فعالیت آنتی اکسیدانی (میکرومول آهن بر گرم گیاه خشک)
شاهد	۳/۶۵^{a}	۳/۱۵^{b}	۰/۰۳۶^{b}	۴۶/۴۸^{b}	۲۲/۸۸^{c}	۱۰۸۱/۸۹^{c}
فرابنفش A	۳/۴۴^{b}	۲/۵۱^{c}	۰/۰۳۸^{b}	۴۴/۴۴^{b}	۲۶/۴۱^{b}	۱۱۷۱/۶۷^{b}
فرابنفش B	۳/۳۹^{b}	۳/۹۷^{a}	۰/۰۵۳^{a}	۶۱/۹۹^{a}	۳۰/۹۸^{a}	۱۵۵۹/۲۲^{a}

مقادیر میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) می باشد.

جدول ٦. نتایج مقایسه میانگین اثر تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی رزماری

تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم برگ تازه)	کاروتنوئید (میلی‌گرم بر گرم برگ تازه)	نشت الکترولیتی (درصد)	محتوای نسبی آب (درصد)	پرولین (میکرومول بر گرم برگ تازه)	فنول کل (میلی گرم اسید گالیک بر گرم گیاه خشک)	فلاونوئید (میلی‌گرم کوئرستین بر گرم گیاه خشک)	فعالیت آنتی اکسیدانی (میکرومول آهن بر گرم گیاه خشک)
۱۰۰	۳/۸۴^{a}	۳/۶۷^{a}	۱۲/۱۱^{c}	۸۵/۹۹^{a}	۰/۰۳۱^{c}	۴۷/۵۳^{b}	۲۲/۹۲^{c}	۱۲۰۸/۶۷^{b}
۷۵	۳/۴۵^{b}	۳/۰۹^{b}	۱۸/۵۳^{b}	۷۶/۵۸^{b}	۰/۰۴۲^{b}	۵۰/۴۵^{b}	۲۶/۸۲^{b}	۱۲۸۳/۴۴^{a}
۵۰	۳/۲۰^{c}	۲/۸۸^{c}	۳۰/۶۲^{a}	۶۴/۷۷^{c}	۰/۰۵۳^{a}	۵۴/۹۲^{a}	۳۰/۵۴^{a}	۱۳۲۰/۶۷^{a}

مقادیر میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) می باشد.

میکرومول بر گرم) در گیاهان بدون پیش تیمار فرابنفش و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به دست آمد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۰۶۹ میکرومول بر گرم) مربوط به پیش تیمار فرابنفش B و تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود که با

گیاهان تحت پیش تیمار فرابنفش B و تنش خشکی ۷۰ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار آنزیم کاتالاز نیز (۰/۰۰۹۲ میکرومول بر گرم) در گیاهان بدون پیش تیمار فرابنفش و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. در مجموع پیش تیمار گیاهان با پرتو فرابنفش B منجر به افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان گردید. علاوه براین تیمار تنش خشکی نیز در همه سطوح پیش تیمار فرابنفش منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان شد (جدول ۷).

بحث

در این مطالعه ، تیمار تابش پرتو فرابنفش تاثیر معنی‌داری بر هیچ یک از صفات مورفولوژی و عملکرد مورد مطالعه رزماری نداشت. به عبارتی هیچ‌گونه کاهشی در رشد و عملکرد رزماری تحت تیمار پرتو فرابنفش مشاهده نشد. بر خلاف این در مطالعه Hajipour *et al.* (2022) مشاهده شد که تابش فرابنفش B و تابش همزمان فرابنفش A و B منجر به کاهش رشد و نمو و عملکرد شنبلیله گردید. اما پرتو فرابنفش A باعث بهبود عملکرد و صفات مورفولوژی شنبلیله شد. Jadidi *et al*., (2023) نیز گزارش کردند که تیمار فرابنفش B باعث کاهش رشد طولی شمعدانی عطری، ایجاد حالت فشرده و متراکم در بوته و کاهش وزن خشک برگ گردید، در حالی‌که در تیمار فرابنفش A همانند تیمار فرابنفش محیط، گیاهان از برگ‌ها و شاخه‌های بلندتر و کشیده‌تری برخوردار بودند. عدم تاثیر منفی پرتو فرابنفش (به ویژه فرابنفش B) بر رشد و عملکرد گیاه رزماری در مطالعه حاضر می‌تواند به دلیل طول دوره کوتاه تیمار فرابنفش در این گیاه باشد. ضمن اینکه در این مطالعه بعد از اعمال پیش تیمار تابش فرابنفش، گیاهان به مدت طولانی در شرایط نرمال محیطی از نظر فرابنفش قرار داشته‌اند و اثرات احتمالی تابش فرابنفش بر رشد و نمو آن‌ها نیز از بین رفته است.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش رشد و نمو گیاه رزماری (طول و عرض برگ، ارتفاع بوته، طول و تعداد میانگره، وزن تر و خشک بوته و وزن خشک برگ) شد. این نتایج با نتایج Mumivand *et al.* (2021a) در ترخون مطابقت داشت. رشد رویشی در گیاهان تحت تأثیر عوامل متعددی قرار می‌گیرد که از مهمترین این عوامل میزان آب در دسترس است. یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش آماس و درنتیجه کاهش تقسیم و توسعه سلول‌ها به‌ویژه در ساقه و برگ‌ها است. به همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم‌آبی روی گیاهان را می‌توان از اندازه کوچک‌تر برگ‌ها یا ارتفاع گیاهان تشخیص داد (Salahvarzi, 2008). زمانی که در شرایط تنش خشکی ارتفاع گیاه و تعداد برگ‌ها کاهش می‌یابد، وزن خشک اندام هوایی نیز به دنبال آن کم می‌شود. کاهش سطح برگ سبب می‌شود تا توانایی گیاه برای جذب نور و در نهایت تولید مواد فتوسنتزی کاهش یابد که خود دلیلی بر کاهش وزن اندام‌هاست. کاهش رشد رویشی می‌تواند ناشی از استراتژی سازشی گیاه به منظور کاهش ازدست‌دهی آب تحت شرایط خشکی نیز باشد (Beiranvandi *et al*., 2022). نتایج Van Iersel *et al.* (2004) نشان داد که تنش کم‌آبی در گل جعفری می‌تواند باعث کاهش پارامترهای رشدی از جمله وزن خشک شاخساره، سطح برگ، تعداد برگ و ارتفاع گیاه شود.

در مطالعه حاضر وزن‌تر و خشک ریشه رزماری با تنش خشکی روند کاهشی داشت، اما طول ریشه تحت تاثیر تنش خشکی تغییر نکرد. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که گیاه رزماری با تولید ریشه‌های نازک‌تر و فعال‌تر در جذب آب و مواد غذایی، به تنش خشکی واکنش نشان داده است. کاهش وزن تر ریشه یک استراتژی مناسب برای گسترش ریشه‌های فعال و جذب بهتر آب و عناصر غذایی است. اسید آبسزیک که در زمان تنش خشکی در گیاهان تجمع پیدا می‌کند دلیل اصلی کاهش ضخامت و وزن‌تر ریشه و تولید تارهای کشنده است (Jafari *et al*., 2022). مشابه نتایج تحقیق حاضر، کاهش وزن‌تر ریشه در تاغ در مطالعه Rad *et al.* (2009) و کاهش ۵۴ درصدی ضخامت ریشه و وزن تر ریشه با تنش خشکی در دو رقم فستوکا در مطالعه Salahvarzi (2008) گزارش شده است.

در مطالعه حاضر پیش تیمار پرتو فرابنفش A و B و تیمار تنش خشکی هر یک به تنهایی باعث کاهش میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل رزماری شدند. مقدار کاروتنوئید با تنش خشکی کاهش یافت اما تحت پیش تیمار فرابنفش B

افزایش نشان داد. تابش پرتو فرابنفش B باعث کاهش مقدار کلروفیل برگ و افزایش کاروتنویید در سه گونه گل گندم (Rastegar *et al*., 2021) و شمعدانی عطری (Jadidi *et al*., 2023) شد که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد. کاهش محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل تحت تنش خشکی نیز در مطالعات متعددی گزارش شده است (Beiranvandi *et al*., 2022; Mumivand *et al*., 2021b). کاهش غلظت کلروفیل برگ‌ها در شرایط تنش‌های غیر زیستی را می‌توان ناشی از تخریب این رنگدانه و غشای کلروپلاست‌ها در اثر تنش اکسایشی و همچنین ممانعت از سنتز آن عنوان نمود (Piri *et al*.,2011). علاوه بر این، افزایش سطح اتیلن در نتیجه پراکسیداسیون لیپیدها منجر به کاهش کلروفیل می‌شود، زیرا اتیلن نیز تخریب کلروفیل را تحریک می‌کند (Zhang & Kirkham, 1996). کاروتنویيدها می‌توانند انرژی زیاد طول موج‌های کوتاه را گرفته و اکسیژن منفرد را به اکسیژن سه تایی تبدیل کنند و با گرفتن رادیکال‌های اکسیژن تولید شده نقش پاد اکسایشی خود را بروز دهند. به همین دلیل افزایش میزان این ترکیبات با تیمار فرابنفش منطقی است (Chaki *et al*., 2020).

اگرچه پرولین عمدتاً در سندرم تنش کم آبی دخیل است، اما طبق گزارش‌های قبلی در شاخه‌های برنج، خردل و نهال‌های ماش که در معرض پرتو فرابنفش قرار گرفته‌اند، تجمع آن افزایش می‌یابد (Saradhi *et al*., 1995). نتایج مطالعه حاضر نیز نشان داد که میزان پرولین در گیاهان رزماری نه تنها تحت تأثیر تنش کم آبی، بلکه با پیش تیمار فرابنفش B به صورت معنی‌داری افزایش یافت. نتایج Mahdavian *et al*. (2008) نیز نشان دادند که پرتو فرابنفش B و C باعث افزایش غلظت پرولین در برگ‌های فلفل دلمه‌ای شد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تجمع پرولین ناشی از پرتو فرابنفش، از گیاهان در برابر فرآیندهای پراکسیداسیون تحریک شده توسط پرتو فرابنفش محافظت می‌کند. رایج‌ترین مسیر برای سنتز پرولین در گیاهان، مسیر گلوتامات است و طی تنش خشکی، مقدار گلوتامات بیشتری به پرولین تبدیل می‌شود. کاهش تجزیه پرولین نیز در پتانسیل پایین آب، در افزایش پرولین نقش دارد. پرولین علاوه بر اینکه سبب افزایش فشار اسمزی شیره سلولی می‌گردد، باعث ثبات و پایداری غشاها و ماکرومولکول‌ها (به‌ویژه پروتئین‌ها) شده و از این طریق به حفظ شکل و ساختار طبیعی آن‌ها تحت شرایط تنش کمک می‌کند (Rahimzadeh & Razavi , 2019).

قرارگیری گیاهان در معرض انواع مختلفی از تنش‌های زیستی و غیر زیستی، باعث اختلال در زنجیره انتقال الکترون می‌شود که تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن (نظیر رادیکال آنیونی سوپراکسید، هیدروکسیل، پراکسید هیدروژن و ...) را به دنبال دارد (Xu & Tina, 2008). گونه‌های اکسیژن فعال فرآیندهای اکسیداتیو مخرب نظیر پراکسیداسیون لیپید، اکسیداسیون پروتئین و آسیب اسیدهای نوکلئیک را راه اندازی می‌کنند. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که پیش تیمار پرتو فرابنفش و تیمار تنش خشکی منجر به افزایش میزان مالون دی‌آلدئید در رزماری شدند. میزان افزایش مالون دی‌آلدئید در گیاهان پیش تیمار شده با فرابنش B نسبت به فرابنفش A بسیار بیشتر بود. در مطالعه Shayganfar *et al*. (2018) در آویشن و Rastegar *et al*. (2021) در گل گندم نیز تیمار فرابنفش B منجر به افزایش مالون دی‌آلدهید گردید. در حالی‌که فرابنفش A هیچ تاثیری بر این صفات نداشت. نتایج Mumivand *et al*. (2021c) نشان داد که میزان مالون‌دی‌آلدهید در تمام ژنوتیپ‌های ترخون مورد مطالعه تحت تنش خشکی افزایش یافت. مکانیسم گیاهان برای دفاع در برابر گونه‌های فعال اکسیژن، استفاده از آنتی اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی است که می‌توانند ROS را حذف و سلول‌ها را از خسارت اکسیداتیو محافظت کنند. در مطالعه حاضر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز با تنش خشکی افزایش یافت. در تطابق با نتایج مطالعه حاضر، در تحقیق Rezaei Far *et al*. (2018) نیز تنش خشکی باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز در سه رقم گندم شد. هچنین تنش خشکی در دو رقم بابونه فعالیت آنزیم کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز را افزایش داد (Nazarli *et al*., 2015). در مطالعه حاضر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز با پیش تیمار پرتو فرابنفش افزایش یافت. میزان افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان رزماری در پیش تیمار فرابنش B بیشتر از فرابنفش A بود. مطابق با نتایج پژوهش ما، تابش پرتو فرابنفش B منجر به افزایش قابل ملاحظه

1. *Triticum aestivum* L.

فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی در گیاه چغندر قند شد (Rahimzadeh & Razavi, 2019). Mahdavian *et al*. (2008) نشان دادند که تابش فرابنفش B و C موجب تولید مواد آنتی اکسیدانی در فلفل شد که می‌توانند گیاه را در برابر[1] این تابش محافظت نمایند. نتایج آن‌ها نشان داد که آسکوربات پراکسیداز در معرض تابش فرابنفش افزایش معنی‌داری یافت. افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز تحت تاثیر تابش پرتو فرابنفش در شمعدانی عطری (Jadidi *et al*., 2023)، گل گندم (Rastegar *et al*., 2021) و شنبلیله (Hajipour *et al*., 2022) نیز گزارش شده است.

افزایش ترکیبات پلی فنولی در شرایط تنش بخشی از ساختار ژنتیکی و محیط رشد گیاهان است (Beiranvandi *et al*., 2022). ترکیبات فنولی دارای قدرت احیاکنندگی هستند. به بیان دیگر این ترکیبات با اهدای الکترون واکنش‌های زنجیری تشکیل رادیکال‌های آزاد را قطع کرده، با پیش‌سازهای پراکسید واکنش داده و از تشکیل پراکسید جلوگیری می‌کنند (Kumaran & Joel Karunakaran , 2007). نتایج Mumivand *et al*. (2021b) افزایش میزان ترکیبات فنولی را در ژنوتیپ‌های مختلف ترخون تحت تنش خشکی نشان داد. در مطالعه حاضر پیش تیمار فرابنفش B منجر به افزایش فنول کل، فلاونوئید و فعالیت آنتی اکسیدانی غیر آنزیمی رزماری گردید. تیمار فرابنفش A تاثیری بر میزان فنول کل نداشت، اما منجر به افزایش میزان فلاونوئید گردید. محققان افزایش میزان ترکیب‌های فنولی کل میوه گوجه فرنگی در تیمار با پرتو فرابنفش B را ناشی از افزایش بیان ژن‌های درگیر در مسیر فنیل پروپانوئیدها و به ویژه افزایش بیان ژن مسئول سنتز آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز بیان کرده‌اند (Chang *et al*., 2008). مطالعات روی گل کلم (Costa *et al*., 2006) و سه رقم سویا (Nouri *et al*., 2015) نیز نشان داده است که میزان فنول کل تحت تاثیر پرتو فرابنفش افزایش یافت. افزایش مقدار فلاونوییدها در تیمار با پرتو فرابنفش از خصوصیات دفاعی اغلب گیاهان در برابر پرتو فرابنفش است. این ترکیب‌ها با فیلتر کردن پرتو فرابنفش و جلوگیری از نفوذ آن به درون بافت‌های حساس از ایجاد خسارت جلوگیری می‌کنند و یا نقش آنتی‌اکسیدانی در برابر رادیکال‌های آزاد ناشی از تنش پرتو فرابنفش در گیاه ایفا نموده و تنش اکسیداتیو را تخفیف می‌دهند (Mumivand *et al*., 2021c).

در تطابق با نتایج مطالعه ما، تابش پرتو فرابنفش B در گیاه سوسن صغیر منجر به افزایش معنی‌دار کاروتنوییدها و فلاونوییدها گردید (Kumari *et al*., 2009). Rastegar *et al*. (2021) نیز افزایش میزان فلاونویید و فنول کل را درنتیجه تابش پرتو فرابنفش B در سه گونه گل گندم گزارش کردند. در مطالعه حاضر، نتایج اثر متقابل پیش تیمار فرابنفش و تنش خشکی نشان داد که گیاهان رزماری پیش تیمار شده با فرابنفش B، در مواجهه با تنش خشکی کاهش کمتری در میزان کلروفیل a و کلروفیل کل نشان دادند. علاوه بر این، میزان افزایش مالون دی‌آلدهید نیز در این گیاهان در پاسخ به تنش خشکی بسیار کمتر بود. از آنجا که پیش تیمار فرابنفش B منجر به افزایش قابل توجه میزان کاروتنوئید، فنول و فلاونوئید، پرولین و آنزیم‌های آنتی اکسیدانی کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در رزماری شد، می‌توان گفت که با فعال شدن این مکانیزم‌های مقاومت به تنش توسط فرابنفش B، آسیب کمتری به رنگیزه‌های فتوسنتزی و غشای پلاسمایی گیاهان در مواجهه با تنش خشکی اتفاق افتاده است. به نحوی مقاومت القایی ایجاد شده توسط پیش تیمار فرابنفش، منجر به پاسخ بهتر گیاهان به تنش خشکی گردیده است. در مطالعه Mosadegh (2018) روی دو رقم ریحان[2] شخص شد که بر هم‌کنش تنش‌های خشکی و فرابنفش B طوری عمل کرده تا مکانیسم‌های حفاظتی و دفاعی را القاء کند و شدت آسیب وارد شده توسط تنش بعدی را روی گیاه کاهش دهد. کاهش در شاخص‌های رشد، رنگدانه‌های فتوسنتزی، محتوای پروتئینی و افزایش آمینو اسید، پرولین، مالون‌دی‌آلدئید، متابولیت‌های ثانویه و فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده از مکانیسم‌های دفاعی این گیاه به شمار می‌رود.

در تطابق با نتایج مطالعه حاضر، Poulson *et al*. (2006) دریافتند که گیاهان آرابیدوبسیس پیش تیمار شده با پرتو فرابنفش B نسبت به گیاهان شاهد، به خشکی متحمل‌تر بودند. همچنین سرعت فتوسنتز آن‌ها دو برابر بیشتر و محتوای نسبی آب در آن‌ها ۱۰ درصد بیشتر بود. این گیاهان دارای سه برابر محتوای پرولین بیشتر بودند و تحمل به تنش خشکی در آن‌ها، در ارتباط

1. *Capsicum annum*
2. *Ocimum basilicum Var. Genovese*

با کاهش هدایت روزنه‌ای، افزایش محتوای پرولین، سنتز دهیدرین‌ها، اسمولیت‌ها یا ترکیبات بود. Nogués *et al*. (1998) نیز دریافتند که تابش پرتو فرابنفش B، اثرات منفی تنش خشکی را در گیاه نخود کم کرد که این کاهش را در ارتباط با کاهش سرعت هدر روی آب عنوان کردند.

نتایج Nezhad Alimoradi & Kalantari (2008) نشان داد که جوانه‌زنی بذور گندم در شرایط تنش، تحت تأثیر پیش تیمار پرتو فرابنفش افزایش پیدا کرد. آن‌ها اشاره کردند که احتمالاً پرتو فرابنفش C با تاثیر بر آنزیم بتا ۱ و ۳ گلوکوناز و گسستگی پوست، افزایش جذب آب و تبادلات گازی، در نهایت جوانه‌زنی بذر را بهبود بخشید. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که پرتو فرابنفش C، محتوای مواد مؤثره را جهت تنظیم اسمزی افزایش داده و میزان نشت یونی را در سطوح متوسط و بالای شوری کاهش داد. Ehsanpour & Razavizadeh (2005) نشان دادند که تابش پرتو فرابنفش C به مدت ۶۰ دقیقه تحمل به تنش اسمزی را افزایش داد و از اثرات تنش خشکی در محیط‌های کشت حاوی پلی‌اتیلن گلایکول کم کرد. آن‌ها این اثر را به فعال شدن سیستم دفاعی داخلی گیاه و القاء بیان ژن‌های مشخص در مسیر سنتز مشتقات فنولی مرتبط دانستند. از طرفی افزایش مقاومت به تنش شوری همراه با تجمع سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی در بذرهای کاهو پیش تیمار شده شده با پرتو فرابنفش C گزارش شده است (Ouhibi *et al*., 2014). به طور کلی، نتایج این مطالعه نشان داد که تابش پرتو فرابنفش B همراه با شرایط خشکی می‌تواند منجر به بهبود پاسخ آنتی‌اکسیدانی رزماری از طریق افزایش فعالیت مهار کنندگی گیاه گردد.

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر پیش تیمار پرتو فرابنفش تاثیر مشخصی بر پاسخ‌های مورفولوژیکی رزماری به تنش خشکی نداشت. بر خلاف این، پیش تیمار فرابنفش B منجر به افزایش قابل توجه میزان کاروتنوئید، فنول و فلاونوئید، پرولین و آنزیم‌های آنتی اکسیدانی کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در رزماری شد. در واقع با فعال شدن این مکانیزم‌های مقاومت به تنش توسط فرابنفش B، آسیب کمتری به رنگیزه‌های فتوسنتزی و غشای پلاسمایی گیاهان در مواجهه با تنش خشکی وارد شده است. به نحوی مقاومت القایی ایجاد شده توسط پیش تیمار فرابنفش، منجر به پاسخ بهتر گیاهان به تنش خشکی از جنبه فیزیولوژی گردیده است. به نحوی که گیاهان رزماری پیش تیمار شده با فرابنفش B، در مواجهه با تنش خشکی کاهش کمتری در میزان کلروفیل a و کلروفیل کل نشان دادند. علاوه بر این، میزان افزایش مالون دی‌آلدهید نیز در این گیاهان در پاسخ به تنش خشکی بسیار کمتر بود. با توجه به این‌که پیش تیمار پرتو فرابنفش B تاثیر قابل توجهی بر پاسخ‌های مورفولوژیکی رزماری به تنش خشکی نداشت، پیشنهاد می‌گردد طول دوره پیش تیمار فرابنفش B و شدت تابش در مطالعات بعدی مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

تمدن کوشکی، لیلا و ریاست، مهرناز (۱۴۰۰). تاثیر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک، میزان پرولین و ترکیبات فنولی گیاه دارویی رزماری. *تنش های محیطی در علوم زراعی*، ۱۴(۲)، ۴۳۹-۴۴۸. https://doi.org/10.22077/escs.2019.2610.1682

حاجی پور، زهرا؛ مومیوند، حسن؛ شایگان‌فر، علیرضا و ابراهیمی، امین (۱۴۰۰). تأثیر تابش پرتو فرابنفش (UV-A و UV-B) و کاربرد ملاتونین و آسکوربیک اسید بر برخی فاکتورهای مورفو-فیزیولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه شنبلیله (Trigonella foenum-greacum L.). *نشریه پژوهش های تولید گیاهی*، ۲۹(۱)، ۱۳۳-۱۵۴. 10.22069/JOPP.2021.18867.2785

رحیم‌زاده کاروانسرا، پریسا و رضوی، سید مهدی (۱۳۹۷). تغییرات فیتوشیمیایی‌گیاه چغندرقند (Beta vulgaris L.) در پاسخ به پرتو فرابنفشB. *چغندرقند*، ۳۴(۲)، ۲۱۵-۲۲۶.

رستگار، مهدی؛ مومیوند، حسن؛ شایگان فر، علیرضا و رضایی نژاد، عبدالحسین (۱۴۰۰). تأثیر پرتو فرابنفش بر رشد، مورفولوژی و فنولوژی سه رقم گل گندم (*Centaurea cyanus*). *نشریه علوم باغبانی*، ۳۵(۳)، ۴۱۳-۴۲۵. https://doi.org/10.22067/jhs.2021.61939.0

رضایی‌فر، زینب؛ فلاحی، سیامک و قلی نژاد، اسماعیل (۱۳۹۷). تاثیر تنش خشکی و اشعه ماورا بنفش (UV-C) بر سیستم دفاع آنتی

اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی در سه رقم گندم (*Triticum aestivum* L.). *فرایند و کارکرد گیاهی*، ۲۴(۷)، ۱۵۵-۱۷۱. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1397.7.24.16.1

زرگری، علی (۱۳۷۵). *گیاهان دارویی*. انتشارات دانشگاه تهران. جلد چهارم .

سلاح ورزی، یحیی؛ تهرانی فر، علی و گرانچیان، علی (۱۳۸۷). بررسی تغییرهای فیزیومورفولوژیک سبز فرش‌های بومی و خارجی در تنش خشکی و آبیاری دوباره. *مجله علوم و فنون باغبانی ایران*، ۹، ۱۹۳-۲۰۴.

مظفریان، ولی الله (۱۳۹۱). *شناخت گیاهان دارویی و معطر ایران*. انتشارات فرهنگ معاصر، تهران.

نژادعلیمرادی، حوا و منوچهری کلانتری، خسرو (۱۳۸۷). بررسی اثر پیش تیمار پرتو فرا بنفش C بر جوانه زنی بذر و برخی از پارامترهای بیوشیمیایی دو رقم گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تنش شوری. *مجله علمی پژوهشی اصفهان*، ۳۶ (۶)، ۸۹-۱۰۲.

نظرلی، حسین؛ احمدی، علی و هادیان جواد (۱۳۹۳). ارزیابی تاثیر پوتریسین در القای تحمل به خشکی و تغییر فعالیت آنزیم های ضداکسنده در گیاه بابونه آلمانی (*Matricaria Chamomilla* L.) . *علوم گیاهان زراعی ایران*. ۴۶(۲)، ۲۲۷-۲۳۵.

نوری، فرین؛ حسینی سرقین، سیاوش و جامعی، رشید (۱۳۹۱). تاثیر پرتو UV-B بر فعالیت برخی آنزیم‌های پاداکسایشی در سه رقم از گیاه سویا (*Glycine max* L.). *دومین همایش ملی تنوع زیستی و تاثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست*. DOI: 20.1001.1.20088264.1392.5.16.3.1

REFERENCES

Ballare, C. L., Caldwell, M. M., Flint, S. D., Robinson, S. A., & Bornman, J. F. (2011). Effects of solar ultraviolet radiation on terrestrial ecosystems. Patterns, mechanisms, and interactions with climate change. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 10(2), 226-241.

Banjaw, D., Wolde, T. G., Gebre, A., & Mengesha, B. (2016). Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) variety verification trial at Wondogenet, South Ethiopia. *Med Aromat Plants (Los Angel)*, 5(267), 2167-0412. DOI: 10.4172/2167-0412.1000267

Bates, L.S., Waldren, R.A., & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and soil*, 39, 205-207.

Beiranvandi, M., Akbari, N., Ahmadi, A., Mumivand, H., & Nazarian, F. (2022). Biochar and super absorbent polymer improved growth, yield, and phytochemical characteristics of *Satureja rechingeri* Jamzad in water-deficiency conditions. *Industrial Crops and Products*, 183, 114959. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114959

Benzie, I.F., & Strain, J.J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power, the FRAP assay. *Analytical biochemistry*, 239(1), 70-76.

Chaki, M., Begara-Morales, J. C., & Barroso, J. B. (2020). Oxidative stress in plants. *Antioxidants*, 9(6), 481.

Chance, B., & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalases and peroxidases. *Methods in Enzymology*, 2, 764-755.

Chang, A., Lim, M. H., Lee, S.W., Robb, E.J. & Nazar, R.N. (2008). Tomato PAL gene family: highly redundant but strongly underutilized. *Journal of Biology and Chemistry*, 283, 33591-33601. DOI 10.1074/jbc.M804428200

Costa, L., Vicente, A. R., Civello, P.M., Chaves, A.R., & Martinez, G.A. (2006). UV-C Treatment Delays Postharvest Senescence in Broccoli florets. *Journal of Biology and Technology*, 39(2), 204-210. doi:10.1016/j.postharvbio.2005.10.012

Darras, A. I., Kostriva, A., Dimiza, K., Apostolou, M., Malamas, I., Kargakou, V., & Kartsonas, E. (2024). Improvement of Drought Resistance of Osteospermum ecklonis Plants as a Physiological and Biochemical Response to Low Doses of UV-C Irradiation. *Horticulturae*. https://doi.org/10.3390/horticulturae10020189

Ehsanpour, A. A., & Razavizadeh, R. (2005). Effect of UV-C on drought tolerance of alfalfa (*Medicago sativa*) callus. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 1(2), 107-110.

DOI: 10.3844/ajbbsp.2005.107.110

Filippou, P.,Tanou, G., Molassiotis, A., & Fotopoulos, V. (2013). Plant acclimation to environmental stress using priming agents. In N Tuteja & S Singh Gill (Eds.), *Plant acclimation to environmental stress* (pp. 1-27). Springer, New York.

Frohnmeyer, H., & Staiger, D. (2003). Ultraviolet-B radiation-mediated responses in plants. Balancing damage and protection. *Plant physiology*, 133(4), 1420-1428. https://doi.org/10.1104/pp.103.030049

García-Cela, E., Marin, S., Sanchis, V., Crespo-Sempere, A., & Ramos, A. J. (2015). Effect of ultraviolet radiation A and B on growth and mycotoxin production by *Aspergillus carbonarius* and *Aspergillus parasiticus* in grape and pistachio media. *Fungal Biology*, 119(1), 67-78. https://doi.org/10.1016/j.funbio.2014.11.004

Hajipour, Z., Mumivand, H., Shayganfar, A., & Ebrahimi, A. (2022). Effect of ultraviolet irradiation and foliar application of some plant growth regulators on biomass and morphological characteristics of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Journal of Plant Production Research*, 29(1), 133-154. (In Persian). DOI: 10.22069/JOPP.2021.18867.2785

Hughes, S. G., Bryant, J. A., & Smirnoff, N. I. C. H. O. L. A. S. (1989). *Molecular biology, application to studies of stress tolerance*. *Plants under stress. Biochemistry, physiology and ecology and their application to plant improvement*, Cambridge University Press.

Jadidi, M., Mumivand, H., Nia, A. E., Shayganfar, A., & Maggi, F. (2023). UV-A and UV-B combined with photosynthetically active radiation change plant growth, antioxidant capacity and essential oil composition of Pelargonium graveolens. *BMC Plant Biology*, 23(1), 555.

Jafari, S., Mousavi-Fard, S., Rezaei Nejad, A., Mumivand, H., Sorkheh, K., Nikoloudakis, N., & Fanourakis, D. (2022). Chitosan and titanium dioxide are more effective in improving seed yield and quality in nanoparticle compared to non-structured form: a case study in five milk thistle ecotypes (*Silybum marianum* (L.) Gaertn.). *Agronomy*, 12(8), 1827. https://doi.org/10.3390/agronomy12081827

Jisha, K. C., Vijayakumari, K., & Puthur, J. T. (2013). Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35, 1381-1396.

Kataria, S., Baroniya, S. S., Kanungo, M., & Bhaghel, L. (2014). Effect of exclusion of solar UV radiation on plants. *Plant Science Today*, 1(4), 224-232. doi:10.14719/pst.2014.1.4.61

Katerova, Z. & Prinsen, E. (2008). Alterations in Indole acetic acid, Abscisic acid and aminocyclopropane carboxylic acid in pea plants after prolonged influence of low levels ultraviolet-B and ultraviolet-C radiation. *Plant Physiology*, 34(3-4), 377-388. https://www.researchgate.net/publication/237327856

Kovács, V., Gondor, O. K., Szalai, G., Majláth, I., Janda, T., & Pál, M. (2014). UV-B radiation modifies the acclimation processes to drought or cadmium in wheat. *Environmental and Experimental Botany*, 100, 122-131. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.12.019

Kumaran, A., & Joel Karunakaran, R. (2007). In vitro antioxidant activities of methanol extracts of five *Phyllanthus* species from India. *Food Science and Technology*, 40, 344-352. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.09.011

Kumari, R., Singh, S., & Agrawal, S. B. (2009). Effects of supplemental ultraviolet-B radiation on growth and physiology of *Acorus calamus* L. (sweet flag). *Acta Biologica Cracoviensia. Series Botanica*, 51(2), 19-27.

Lichtenthaler, H. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382. https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1

Llorens, E., Gonzalez-Hernandez, A. I., Scalschi, L., Fernandez-Crespo, E., Camanes, G., Vicedo, B., & Garcia-Agustin, P. (2020). Priming mediated stress and cross-stress tolerance in plants: Concepts and opportunities. In M. A. Hossain, F. Liu, ... B. Huang, (Eds.), *Priming-mediated stress and cross-stress tolerance in crop plants*. (pp. 1-20). Academin Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817892-8.00001-5

Mahdavian, K., Ghorbanli, M., & Kalantari, K. (2008). The effects of ultraviolet radiation on some

antioxidant compounds and enzymes in *Capsicum annuum* L. *Turkish Journal of Botany*, 32(2), 129-134.

Mc-Adam, J.W., Nelson, C.J., & Sharp, R.E. (1992). Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue. *Plant Physiology*, 99, 872-878. https://doi.org/10.1104/pp.99.3.872

Mc-Donald, S., Prenzler, P. D., Antolovich, M., & Robards, K. (2001). Phenolic content and antioxidant activity of olive extracts. *Food chemistry*, 73(1),73-84. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00288-0

Mozaffarian, V. (2012*). Identification of medicinal and aromatic plants of Iran*. Farhang Moaser Farhang Moaser Publishers. Tehran. 10.22091/ETHC.2024.10934.1029

Mosadegh, H. (2018). Secondary metabolite regulation and UV-B tolerance mechanisms in Ocimum basilicum Var. Genovese.

Mumivand, H., Ebrahimi, A., Shayganfar, A., & Khoshro, H. H. (2021a). Screening of tarragon accessions based on physiological and phytochemical responses under water deficit. *Scientific Reports*, 11(1), 17839. https://doi.org/10.1038/s41598-021-97388-z

Mumivand, H., Ebrahimi, A., Morshedloo, M. R., & Shayganfar, A. (2021b). Water deficit stress changes in drug yield, antioxidant enzymes activity and essential oil quality and quantity of Tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). *Industrial Crops and Products*, 164, 113381. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113381

Mumivand, H., Shayganfar, A., Tsaniklidis, G., Emami Bistgani, Z., Fanourakis, D., & Nicola, S. (2021c). Pheno-morphological and essential oil composition responses to UVA radiation and protectants: A case study in three Thymus species. *Horticulturae*, 8(1), 31. https://doi.org/10.3390/horticulturae8010031

Mumivand, H., Izadi, Z., Amirizadeh, F., Maggi, F., & Morshedloo, M. R. (2023). Biochar amendment improves growth and the essential oil quality and quantity of peppermint (*Mentha*× *piperita* L.) grown under waste water and reduces environmental contamination from waste water disposal. *Journal of Hazardous Materials*, 446, 130674. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130674

Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell physiology*, 22(5), 867-880. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232

Nazarli, H., Ahmadi, A. & Hadian, J. (2015). Putrescine induces drought tolerance and alters the activities of antioxidant enzymes in growing chamomile plants (*Matricaria Chamomilla* L.). *Iranian Journal of Field Crop Sciences*, 46(2), 227-235. (In Persian). 10.22059/IJFCS.2015.54870

Neto, A. D. A., Prisco, J. T., Filho, J. E., Abreu, C. E. B., & Filho, E. G. (2006). Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant salt-sensitive maize genotypes. *Environmental and Experimental Botany*, 56, 87-94. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.01.008

Nezhad Alimoradi, H., & Manouchehri Kalantari, K.H. (2008) The effect of pre-treatment with ultraviolet radiation-C on seed germination and some biochemical parameters of two wheat cultivars under salt stress. *Research Journal of University of Isfahan* ", *Science*", 35(6),89-102. (In Persian).

Nogués, S., Allen, D. J., Morison, J. I., & Baker, N. R. (1998). Ultraviolet-B radiation effects on water relations, leaf development, and photosynthesis in droughted pea plants. *Plant physiology*, 117(1), 173-181. https://doi.org/10.1104/pp.117.1.173

Nouri, F., Hosseini Sarghein, S., & Jamei, R. (2015). Effect of UV-B radiation on photosynthetic pigments and UV-absorbing compounds of three different soybean cultivars (*Glycine max* L.). *Iranian Journal of Plant Physiology*, 6(1), 1597-1602. (In Persian).

Ouhibi, Ch., Attia, H., Rebah, F., Msilini, N., Chebbi, M., Aarrouf, J., Urban, L. & Lachaal, M. (2014). Salt stress mitigation by seed priming with UV-C in lettuce plants: growth, antioxidant

activity and phenolic compounds. *Plant Physiology and Biochemistry*, 83, 126-133. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.07.019

Piri, E., Babaeian, M., Tavassoli, A., & Esmaeilian, Y. (2011). Effects of UV irradiation on plants. *African Journal of Microbiology Research*, 5, 1710-1716. DOI: 10.5897/AJMR11.263

Poulson, M.E., Boeger, M.R.T. & Donahue, R.A. (2006). Response of photosynthesis to high light and drought for Arabidopsis thaliana grown under a UV-B enhanced light regime. *Photosynthesis Research*, 90, 79-90.

Quettier-Deleu, C., Gressier, B., Vasseur, J., Dine, T., Brunet, C., & Luyckx, M. (2000). Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour. *Journal Ethnopharmacol.,* 72, 35-42. https://doi.org/10.1016/S0378-8741(00)00196-3

Rad, M.H., Meshkat, M.A., Soltani, M. (2009). The effects of drought stress on some saxual's (*Haloxylon aphyllum*) morphological characteristics. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 16, 34-43.

Rahimzadeh, P., & Razavi, S. M. (2019). Phytochemical variations in sugar beet (*Beta vulgaris* L) in response to ultraviolet-B radiation. *Journal of Sugar Beet*, 34(2). (in Persian). DOI: 10.22092/jsb.2019.121369.1185

Rastegar, M., Mumivand, H., Shayganfar, A., & Rezaei Nejad, A. H. (2021). Effect of UV Radiation on Growth, Morphology and Phenology of Three Cornflower Cultivars (*Centaurea cyanus*). *Journal Of Horticultural Science*, 35(3), 413-425. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jhs.2021.61939.0

Rezaei Far, Z., Fallahi, S., & Gholinezhad, E. (2018). The effect of drought stress and Ultraviolet on antioxidant defensive system of enzyme and non-enzyme in three varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Plant Process and Function*, 7 (24): 155-171. (In Persian). DOI**:** 20.1001.1.23222727.1397.7.24.16.1

Rezaei Nejad, A., Izadi, Z., Sepahvand, K., Mumivand, H., & Mousavifard, S. (2020). Changes in total phenol and some enzymatic and non-enzymatic antioxidant activities of rose-scented geranium (*Pelargonium graveolens*) in response to exogenous ascorbic acid and iron nutrition. *Journal of Ornamental Plants*, 10(1), 27-36.

Ritchie, S. W., Nguyen, H. T., & Holaday, A. S. (1990). Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop science*, 30(1), 105-111. https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025**x**

Rodríguez-Calzada, T., Qian, M., Strid, Å., Neugart, S., Schreiner, M., Torres-Pacheco, I., & Guevara-González, R. G. (2019). Effect of UV-B radiation on morphology, phenolic compound production, gene expression, and subsequent drought stress responses in chili pepper (*Capsicum annuum* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 134, 94-102. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.06.025

Sáenz-de la O, D., Morales, L. O., Strid, Å., Torres-Pacheco, I., & Guevara-González, R. G. (2021). Ultraviolet-B exposure and exogenous hydrogen peroxide application lead to cross-tolerance toward drought in *Nicotiana tabacum* L. *Physiologia Plantarum*, 173(3), 666-679. https://doi.org/10.1111/ppl.13448

Salahvarzi, Y., Tehrani, A., & Gazanchian, A. (2008). Physiomorphological changes under drought stress and rewatering in endemic and exotic turfgrasses. *Journal of Iranian Horticultural Science and Technology*, 9, 193- 204. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1387i2.1080

Saradhi, P.P., AliaArora S., & Prasad, K. (1995). Proline accumulates in plants exposed to UV radiation and protects them against UV-induced peroxidation. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 209(1), 1-5. https://doi.org/10.1006/bbrc.1995.1461

Schmidt, A. M., Ormrod, D.P., Livingston, N.J. & Misra, S. (2000). The interaction of ultraviolet-B radiation and water deficit in two Arabidopsis thaliana genotypes. *Annals of Botany*, 85, 571-575. https://doi.org/10.1006/bbrc.1995.1461

Shayganfar, A., Azizi, M., & Rasouli, M. (2018). Various strategies elicited and modulated by

elevated UV-B radiation and protectant compounds in Thymus species: Differences in response over treatments, acclimation and interaction. *Industrial Crops and Products*, 113, 298-307. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.01.056

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development*. Sinauer Associates, Sunderland, CT.

Tamadon Kooshki, L., & Riasat, M., (2021). Effect of drought stress on morphological traits, proline content and phenolic compounds of rosemary medicinal plant. *Environmental Stress in Agricultural Sciences*, 14(2), 439-448. (In Persian).

TT, D. T., & Puthur, J. T. (2017). UV radiation priming: A means of amplifying the inherent potential for abiotic stress tolerance in crop plants. *Environmental and Experimental Botany*, 138, 57-66. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.03.003

Van Iersel, M. W., & Nemali, K. S. (2004). Drought stress can produce small but not compact marigolds. *HortScience*, 39(6), 1298-1301. DOI: https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.6.1298

Wang, W. B., Kim, Y. H., Lee, H. S., Kim, K. Y., Deng, X. P., & Kwak, S. S. (2009). Analysis of antioxidant enzyme activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*, 47(7), 570-577. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2009.02.009

Xu, X., & Tina, S. (2008). Salicylic acid alleviated pathogen-induced oxidative stress in harvested sweet cherry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 49, 379-385. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.02.003

Zhang, J., & Kirkham, M. B. (1996). Antioxidant responses to drought in sunflower and sorghum seedlings. *New phytologist*, 132(3), 361-373. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1996.tb01856.x

Zhang, H., & Tsao, R. (2016). Dietary polyphenols, oxidative stress and antioxidant and anti-inflammatory effects. *Current Opinion in Food Science*, 8, 33-42. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.02.002.