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

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. پژوهش حاضر 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 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. بر خلاف این 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 بُعد فیزیولوژی گردید، اما تاثیر خاصی بر رشد و عملکرد گیاه در شرایط تنش خشکی نداشت.

کلمات کلیدی: *کم آبی، فرابنفش B، فنول، آنزیم‌های آنتی اکسیدان، رنگیزه‌های گیاهی*

مقدمه

رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) گیاهی است بوته‌ای و همیشه سبز به رنگ سبز و معطر که ارتفاع آن تا دو متر نیز می‌رسد (Mozafarian, 2012). رزماری به عنوان یک گیاه دارویی و زینتی کاربرد فراوانی در عرصه‌ها و فضاهای سبز شهری دارد. این گیاه با توجه به قدرت تحمل بالا نسبت به تشعشات خورشیدی به عنوان یک گیاه متحمل به خشکی مطرح می‌باشد. همچنین به علت هرس پذیری فوق العاده آن در اغلب طرح‌های فضای سبز مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به نیاز آبی کم این گیاه، کشت آن در فضای سبز به مدیریت شهری کمک می‌کند (Banjaw *et al*., 2016). برگ‌ها، سرشاخه‌ها و گل‌های این گیاه نیز خاصیت ضد اسپاسم، ضد نفخ، اشتهاآور و آرام بخشی دارد (زرگری، ۱۹۹۶). رزماری در زمین‌های آهکی، سبک و آفتابگیر به خوبی 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 and 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*.,2021b).

پرتو فرابنفش به عنوان یک عامل محیطی مهم، 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 and Staiger, 2003). در نتیجه به عنوان یک عامل اکولوژیک عمل می‌کند که قادر به تغییر متابولیسم گیاه با جابجایی بین متابولیت‌های اولیه و ثانویه است (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 حالت فیزیولوژیکی خاصی در گیاهان با تیمار بذرها و گیاهچه‌ها، به عنوان پیش تیمار شناخته می‌شود. پیش تیمار بذر و گیاهچه به عنوان یک فناوری موفق، قادر به القای تحمل به تنش‌های غیرزنده در گیاهان است و به گیاهان کمک می‌کند تا حتی در شرایط 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 *et al*., 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 *et al*.,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 غشای سلول‌ها در شرایط تنش شده است (García-Cela *et al*., 2015).

در مطالعه‌ی Rodríguez-Calzadaa *et al.* (2018) تیمار پرتو فرابنفش B باعث کاهش طول ساقه، وزن خشک ساقه و تعداد پریموردیاهای گل فلفل (*Capsicum annuum* L.) شد. میزان ترکیبات فلاونوئیدی، کلروژنیک اسید و آپیژنین ۸-C-هگزوزید و بیان ژن‌های فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL) و چالکون سنتاز (CHS) به طور قابل توجهی در تیمار پرتو فرابنفش B افزایش یافت. میزان لوتئولین ۶-C-پنتوزید-۸-C-هگزوسید نیز در تیمار ترکیبی پرتو فرابنفش 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 بالاتر 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 بر این، 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 (Diana Saenz *et al.*, 2021). 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 ۳۳/۴۳ درجه شمالی و ۴۸/۲۶ درجه غربی و ۱۱۷۰ متر ارتفاع از سطح دریا انجام گرفت. ابتدا نشاءهای رزماری از شرکت زرین گیاه ارومیه تهیه و در اوایل شهریور ۱۴۰۰ 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 تکرار های مختلف سعی شد گیاهچه‌های انتخاب شده از نظر اندازه تا حد امکان وضعیت مشابهی داشته باشند. گلدان‌ها در یک سازه-ی محافظت شده در دمای روز/ شب ۳۰-۲۵ / ۱۸-۱۵ درجه سلسیوس، شدت نور متوسط ۵۰۰±۵۰ $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$ و رطوبت نسبی ۷۵-۶۵٪ انکوبه 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. پس از سه هفته پیش‌تیمار فرابنفش به پایان رسیده و گیاهان پیش تیمار شده با پرتو فرابنفش بر اساس طرح آزمایشی در معرض یکی از سه سطح تنش خشکی قرار گرفتند. تنش خشکی در سه سطح (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، ۷۵ درصد ظرفیت زراعی و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و به مدت پنج ماه اعمال شد. 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 می گردید. میانگین دمای روزانه ۲۵–۱۸ درجه سانتی گراد، رطوبت ۷۰–۶۰ درصد و شدت نور ۶۰۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه بود.

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بستر کشت

pH	EC (ms/cm)	بافت	کربن آلی(٪)	منیزیم (mg/kg)	سدیم (mg/kg)	آهن Fe (mg/kg)	نیتروژن (%)	پتاسیم (mg/kg)	فسفر (mg/kg)
6.22	1.48	شنی-لومی- رسی	1.17	533.7	78.4	6.22	0.19	366.54	77.6

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 برگ 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 یخچال فریزر با دمای ۸۰– درجه سانتی‌گراد 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 اسپکتوفتومتر در طول موج‌های ۴۷۰/۶۶۲ و ۶۴۵

ویراستاری نشده

نانومتر قرائت شد. در نهایت میزان کلروفیل a (Chla)، کلروفیل b (Chlb)، کلروفیل کل (Chla+b) و کاروتنویید (Car)، 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 سانتی‌گراد، 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 and 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، تغییرات جذب نور به فواصل ۱۰ ثانیه، به مدت دو دقیقه، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد 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 سانتی گراد 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 تیوباربیتوریک 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 سانتی‌گراد 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 سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفته و هدایت الکتریکی ثانویه (EC_2) اندازه‌گیری شد. در نهایت نشت الکترولیتی برگ (EL) از طریق رابطه زیر محاسبه شد (Lutts *et al*.,1996).

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

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ گیاه به روش (Ritchie *et al*., 1990)، از هر گیاه (برگ‌های توسعه یافته بالایی) یک برگ (برگ دوم از بالا) جدا و وزن تر آن‌ها یادداشت شد (Fw) و در لیوان حاوی آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. سپس برگ‌ها از آب خارج و رطوبت آن‌ها با استفاده از دستمال کاغذی گرفته شد و وزن تر یا وزن اشباع (Sw) آن‌ها اندازه‌گیری شد. در نهایت برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت درون آون در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و وزن خشک (Dw) آن‌ها یادداشت گردید و از طریق فرمول زیر محتوای نسبی آب برگ محاسبات شد.

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

فنل کل

مقدار یک گرم برگ خشک در فالکون‌های ۱۵ میلی‌لیتری حاوی ۱۰ سی‌سی 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 کرده، 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, 2000).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش FRAP

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 and Strain, 1996).

تجزیه تحلیل آماری

در انتها، 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 Word و 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 همچنین اثر متقابل پرتو فرابنفش و تنش خشکی در مورد 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 بیوشیمیایی رزماری نشان داد که مقدار کلروفیل b در گیاهان پیش تیمار شده با فرابنفش B و آ 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 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 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

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 خشک برگ	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	طول ریشه
فرابنفش	۲	۰/۴۳^{ns}	۰/۲۳^{ns}	۰/۲^{ns}	۱۱/۷۵^{ns}	۲/۸۲^{ns}	۹/۷۶^{ns}	۸۸/۱۷^{ns}	۳۵/۲۱^{ns}	۲۴/۰۱^{ns}	۰/۶۹^{ns}	۰/۵۲^{ns}	۱۴/۵۶^{ns}
خطای اصلی	۶	۰/۴	۰/۳۵	۰/۱۲	۱۴/۶۱	۲/۱۵	۲۶/۴۵	۱۱۵/۸۱	۸/۴۵	۶/۵۸	۱۱/۶	۳/۰۸	۹/۸۵
تنش خشکی	۲	۳/۳۴**	۳/۹۴**	۰/۴۵*	۱۴۲/۵۷**	۲/۵۲*	۵۳/۲۹*	۷۰۷۲/۲۶**	۵۰۷/۹۴**	۳۰۳/۰۲**	۵۶۵/۱۶**	۳۱/۱۴**	۳۳/۱۲^{ns}
خشکی×فرابنفش	۴	۰/۱۳^{ns}	۰/۳۲^{ns}	۰/۱۳^{ns}	۹/۳۸^{ns}	۰/۵۹^{ns}	۲۱/۲۳^{ns}	۸/۶۵^{ns}	۲/۰۸^{ns}	۲/۷۴^{ns}	۱/۳۱^{ns}	۰/۲۰^{ns}	۱۰/۸۵^{ns}
خطای فرعی	۱۲	۰/۲	۰/۴	۰/۰۹	۱۵/۱	۰/۴۷	۱۱/۱۳	۹۵/۰۹	۱۱/۷۴	۶/۹۵	۸/۶	۱/۳۹	۲۰/۵۶
ضریب تغییرات		۱۳/۴	۱۹/۳۷	۱۵/۵۶	۱۴/۵۸	۱۰/۵۵	۱۹/۷	۹/۵۲	۱۰/۳۲	۱۱/۷۱	۱۳/۰۳	۱۸/۵۳	۱۵/۴۴

**، * و ns: به‌ترتیب نشان دهنده معنی‌داری در سطح ۱٪، ۵٪ و عدم معنی‌داری هستند.

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

تنش خشکی (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}	۳/۸۲^{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}	۱۶/۹۱^{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 ($P\leq0.05$).

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) مربوط به تیمار فرابنفش B بود (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 به دست آمد و بیشترین آن‌ها (به ترتیب با ۳/۸۴ میلی گرم بر گرم برگ تازه، ۳/۶۷ میلی گرم بر گرم برگ تازه و ۸۵/۹۹ درصد) مربوط به تیمار شاهد بود. 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 ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد و کمترین مقدار این صفات مربوط به شرایط عدم اعمال تنش خشکی بود. تیمار تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی باعث افزایش میزان فنول کل در مقایسه با تیمار شاهد شد. در حالی که تنش خشکی 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 به دست 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		۶/۱۴	۵/۴	۵/۰۷	۴/۷۶	۵/۲۱	۱۰/۷۹	۵/۸۶

**، * و ns: به‌ترتیب نشان دهنده معنی‌داری در سطح ۱٪، ۵٪ و عدم معنی‌داری هستند.

ویراستاری نشده

ادامه‌ی 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		۵/۱۸	۴/۹۸	۴/۷۳	۸/۲۸	۶/۶۸	۱۰/۵۹	۴/۸۸

**، * و ns: به‌ترتیب نشان دهنده معنی‌داری در سطح ۱٪، ۵٪ و عدم معنی‌داری هستند.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل پیش تیمار پرتو فرابنفش و تنش خشکی (جدول ۷) نشان داد بیش ترین مقدار کلروفیل a و 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 فرابنفش B، 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 با ۰/۰۲۶۷ و ۰/۲۳۲۶ میکرومول بر گرم) در گیاهان بدون پیش تیمار فرابنفش و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به دست آمد. بیش ترین 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

ویراستاری نشده

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 مطالعه حاضر، 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 ب منجر به کاهش رشدونمو 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.* (2021b) 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 اندام‌ها می‌باشد. 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. بنابراین 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.*, 2021). 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 که با نتایج آزمایش حاضر همسو است.

جدول۵: 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 (میلی گرم 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}

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

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

تنش خشکی (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}

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

جدول۷: نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و پیش تیمار پرتو فرانبفش بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی رزماری

پرتو فرابنفش	تنش خشکی (ظرفیت زراعی)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم برگ تازه)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم برگ تازه)	مالون دی آلدئید (میکرومول بر گرم برگ تازه)	پراکسیداز (میکرومول بر گرم برگ تازه)	کاتالاز (میکرومول بر گرم برگ تازه)	آسکوربات پراکسیداز (میکرومول بر گرم برگ تازه)
	٪۱۰۰	۱۵/۱۳^{a}	۱۹/۴۸^{a}	۰/۴۸۸۶^{f}	۰/۰۲۶۷^{e}	۰/۰۰۹۲^{f}	۰/۲۳۲۶^{f}
شاهد	٪۷۵	۱۲/۳۴^{c}	۱۶/۰۲^{d}	۱/۱۰۳۰^{e}	۰/۰۳۷۱^{d}	۰/۰۱۹۸^{e}	۰/۴۳۵۶^{c}
	٪۵۰	۱۰/۸۵^{d}	۱۴/۱۵^{e}	۱/۵۰۵۰^{d}	۰/۰۳۸۷^{d}	۰/۰۲۸۷^{d}	۰/۴۵۹۰^{bc}
	٪۱۰۰	۱۴/۳۲^{ab}	۱۸/۲۰^{b}	۱/۰۸۵۳^{e}	۰/۰۳۵۱^{d}	۰/۰۲۴۵^{de}	۰/۲۸۲۰^{e}
فرابنفش A	٪۷۵	۱۰/۹۸^{d}	۱۴/۴۴^{e}	۱/۹۲۳۳^{c}	۰/۰۴۴۵^{c}	۰/۰۳۸۸^{c}	۰/۴۹۸۰^{b}
	٪۵۰	۱۰/۳۸^{d}	۱۳/۶۴^{e}	۲/۱۹۷۰^{b}	۰/۰۵۰۹^{b}	۰/۰۴۸۰^{b}	۰/۴۹۹۶^{b}
	٪۱۰۰	۱۴/۱۹^{ab}	۱۷/۷۹^{bc}	۲/۳۳۲۶^{b}	۰/۰۴۵۴^{c}	۰/۰۳۷۸^{c}	۰/۳۴۱۳^{d}
فرابنفش B	٪۷۵	۱۲/۸۳^{c}	۱۶/۲۱^{d}	۲/۷۱۹۳^{a}	۰/۰۶۸۷^{a}	۰/۰۶۵۹^{a}	۰/۶۳۸۰^{a}
	٪۵۰	۱۳/۵۳^{bc}	۱۶/۷۲^{cd}	۲/۷۹۰۰^{a}	۰/۰۶۸۶^{a}	۰/ ۰۶۹۰^{a}	۰/۶۱۸۰^{a}

میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک در ستون‌ها می‌باشند، بر اساس آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌داری هستند ($P<0.05$).

ویرایش شده

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.*, 2021a). 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 *et al.*,1996). کاروتنوییدها 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 داد که پرتو فرابنفش B و C باعث افزایش غلظت پرولین در برگ های فلفل دلمه‌ای شد. بنابراین می‌توان اذعان کرد 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 *et al.*, 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 *et al.*, 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-ب 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 (*Triticum aestivum* L.) 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 ب بیشتر از فرابنفش A بود. مطابق با نتایج پژوهش ما، تابش پرتو فرابنفش B منجر به افزایش قابل ملاحظه 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 (*Capsicum annum*) شد که می‌توانند گیاه را در برابر 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 می‌گسلند، با پیش‌سازهای پراکسید واکنش داده و از تشکیل پراکسید جلوگیری می‌کنند (Kumaran *et al.*, 2007). نتایج Mumivand *et al.* (2021a) 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 عنوان کردند که افزایش میزان ترکیب‌های فنولی کل میوه گوجه فرنگی در تیمار با پرتو فرابنفش B می‌تواند ناشی از افزایش بیان ژن‌های درگیر در مسیر فنیل پروپانوئیدها و به ویژه افزایش بیان ژن مسئول سنتز آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز باشد (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، در واقع 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 Mohamadzadeh (2013) روی دو رقم گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) مشخص 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 با کاهش هدایت روزنه‌ای، افزایش محتوای پرولین، سنتز دهیدرین‌ها، اسمولیت‌ها یا ترکیبات بیوشیمیایی 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 (2006) 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 داد 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 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 خاصی 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 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 وارد شده است. به نحوی مقاومت القایی ایجاد شده توسط پیش تیمار فرابنفش، منجر به پاسخ بهتر گیاهان به تنش خشکی در بعُد 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 خاصی بر پاسخ‌های مورفولوژیکی رزماری به

ویراستاری نشده

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.

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.

رحیم‌زاده کاروانسرا، پریسا و رضوی، سید مهدی (۱۳۹۷). تغییرات فیتوشیمیایی‌گیاه چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) در پاسخ به پرتو فرابنفش*B*. *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.

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.

زرگری، علی (۱۳۷۵). گیاهان دارویی. *انتشارات دانشگاه تهران*. جلد چهارم .صفحه ۱۳۶

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، ۱۴۴۴ صفحه.

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*.

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.

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.

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 Enzymologist, 11, 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.

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.

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.

Filippou, P.,Tanou, G., Molassiotis, A., & Fotopoulos, V. (2013). Plant acclimation to environmental stress using priming agents, In Plant acclimation to environmental stress, 1-27. Springer, New York, NY.

Frohnmeyer, H., & Staiger, D. (2003). Ultraviolet-B radiation-mediated responses in plants. Balancing damage and protection. *Plant physiology*, 133(4), 1420-1428.

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.

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).

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, 131-155.

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.

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.

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.

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.

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.

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 Biol. *Cracoviensia, Ser. Bot*, 51, 19-27.

Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In Methods in enzymology (Vol. 148, pp. 350-382). Academic Press.

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 Priming-mediated stress and cross-stress tolerance in crop plants. 1-20.

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.

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.

Mozaffarian, V. (2012). Identification of Medicinal and Aromatic Plants of Iran. *Farhang Moaser Farhang Moaser Publishers*. Tehran 1444 pp.

Mumivand, H., Ebrahimi, A., Morshedloo, M. R., & Shayganfar, A. (2021a). 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.

Mumivand, H., Ebrahimi, A., Shayganfar, A., & Khoshro, H. H. (2021b). Screening of tarragon accessions based on physiological and phytochemical responses under water deficit. Scientific Reports, 11(1), 17839.

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.

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.

Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and cell physiology*, 22(5), 867-880.

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).

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- tolerantant salt sensitive maize genotypes. *Environmental and Experimental Botany*, 56, 87-94.

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.

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.

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

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.

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)

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)

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).

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.

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.

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.

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).

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.

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.

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.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). Plant physiology and Development. 761-pp.

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.

van Iersel, M. W., & Nemali, K. S. (2004). Drought stress can produce small but not compact marigolds. *HortScience*, 39(6), 1298-1301.

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.

Xu, X., & Tina, S. (2008). Salicylic acid alleviated pathogen-induced oxidative stress in harvested sweet cherry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 49, 379-385.

Zhang, H., & Tsao, R. (2016). Dietary polyphenols, oxidative stress and antioxidant and anti-inflammatory effects. *Current Opinion in Food Science*, 8, 33-42.

Zhang, J., & Kirkham, M. B. (1996). Antioxidant responses to drought in sunflower and sorghum seedlings. *New phytologist*, 132(3), 361-373.

Evaluation of the potential for increasing drought resistance in rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) with pre-treatment of ultraviolet radiation

Extended Abstract:

Introduction:

Water deficiet has always been a limiting factor for agricultural and horticultural plants cultivation in Iran. Medicinal and ornamental plants exhibit different responses to drought stress in terms of yield and production of active substances. Extensive research on valuable plants and the application of various treatments are necessary 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 and the lack of research on the interaction effect of drought stress and ultraviolet radiation in rosemary, the present study was conducted in 2021 to evaluate the potential of enhancing drought tolerance in rosemary through 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. 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. After the rosemary seedlings were fully established, they were exposed to ultraviolet radiation based on the different treatments. The treatment was applied daily for 4 hours during the day (from 11 am to 3 pm). After three weeks of pre-treatment with ultraviolet radiation, the pre-treated plants were subjected to one of the three levels of drought stress according to the experimental design. At the end of the experiment, five pots from each replication were randomly selected, and yield-attribute, physiological, and biochemical traits were measured.

Result and Discusion:

The results showed that pre-treatment with UV radiation (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, the amount of carotenoids increased in plants under UV-B pre-treatment, while UV-A pre-treatment led to a decrease in carotenoid content. 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 increase in proline content, the activity of antioxidant enzymes catalase, peroxidase, and ascorbate peroxidase, total phenols, flavonoids, and antioxidant activity.

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 led to a significant increase in carotenoid, phenol, flavonoid, proline, catalase, peroxidase, and ascorbate peroxidase levels. In fact, it can be said 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 has 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.

ویراستاری نشده

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 with pre-treatment of 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 said that pre-treatment with UV-B has 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 plant.

Keywords: *Water deficient, UVB, Phenols, Antioxidant enzymes, Plant pigments.*