فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۶۰، خرداد و تیرماه ۱۴۰۳ صفحه: ۱۶۷-۱۸۴
https://doi.org/10.22034/13.60.167

مقاله پژوهشی

تأثیر تابش پرتو فرابنفش A و B بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و آنتی‌اکسیدانی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.)

سحر پیری‌نژاد، حسن مومیوند*، عبداله احتشام‌نیا و محمدرضا راجی

گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۷، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۸/۲۲)

چکیده

در دهه‌های گذشته در نتیجه فعالیت‌های صنعتی انسان، اثر بازدارندگی لایه اوزن در استراتوسفر که مانع عبور فرابنفش-ث و بخش زیادی از فرابنفش-ب به سطح زمین می‌شد به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافته است؛ در نتیجه ورود پرتوهای فرابنفش به سطح زمین افزایش یافته است. این امر آسیب‌های جدی را بر موجودات زنده به ویژه گیاهان به همراه دارد. در پژوهش حاضر، اثر تابش پرتو فرابنفش-آ و ب بر برخی از صفات مورفوفیزیولوژیکی و آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی گیاه رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) مورد بررسی قرار گرفت. این تحقیق در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای پرتو فرابنفش در سه سطح (شاهد، تابش پرتو فرابنفش-آ و تابش پرتو فرابنفش-ب) در نظر گرفته شد. پرتودهی فرابنفش توسط لامپ‌های ساخت شرکت Q-Lab آمریکا اعمال شد. تیماردهی به صورت روزانه و به مدت چهار ساعت در طول روز انجام شد. نتایج نشان دارد که تیمار فرابنفش-ب منجر به کاهش وزن خشک برگ، ارتفاع بوته و مقدار کلروفیل *a*، *b* و کل (به ترتیب به میزان ۲۹/۵۷، ۱۳/۴۴، ۱۷/۷، ۳۳/۷۷ و ۲۲/۵۱ درصد) نسبت به شاهد شد. اما باعث افزایش میزان آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی مانند کاروتنوئید، فنل و فلاونویید کل، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی مانند آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز و همچنین میزان پرولین و مالون دی‌آلدئید به ترتیب (به میزان ۲۳/۴۵، ۳۷/۵۴، ۴۱/۵۹، ۸۲/۷۵، ۴۱۲/۵، ۱۰۰، ۸۷/۵ و ۳۵۹/۳۲ درصد) نسبت به شاهد شد. میزان کلروفیل *a*، *b* و کل با تیمار فرابنفش-آ کاهش یافت. اما افزایش میزان مالون دی‌آلدئید، پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز با تیمار فرابنفش-آ مشاهده شد. در مجموع، افزایش ترکیبات جاذب فرابنفش مانند فنل، فلاونوئید و کاروتنویید باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره رزماری تحت تیمار فرابنفش-ب شد درحالی‌که عملکرد گیاه کاهش یافت. بنابراین می‌توان گفت گیاهان رزماری در معرض تابش فرابنفش-ب از زی‌توده کمتر و خواص بیولوژیک و دارویی بالاتر برخوردار خواهند بود.

واژه‌های کلیدی: فنل، فلاونوئید، مالون دی‌آلدئید، رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین

مقدمه

رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) گیاهی چند ساله و بوته‌ای متعلق به خانواده نعناعیان (Lamiaceae) است. این گیاه علفی، پایا، دارای ساقه‌های چوبی به ارتفاع نیم تا یک متر، برگ‌های سبز دائمی و بسیار معطر با آرایش متقابل و کناره برگشته، باریک و دراز است (Banjaw *et al.*, 2016). این گیاه

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: mumivand.h@lu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

به علت خواص ضدمیکروبی، ضدجهش‌زایی، ضدانقباض، ضدنفخ، و ضدتشنج در صنایع دارویی کاربرد زیادی دارد (Neto *et al*., 2006). مواد مؤثره موجود در برگ‌ها و سرشاخه‌های گیاه خواص آنتی‌اکسیدانی قوی داشته و ضدقارچ و ضدباکتری است. در حال حاضر از این گیاه و مواد مؤثره آن در صنایع آرایشی بهداشتی، عطر و ادکلن، دارویی و غذایی استفاده می‌شود. فعالیت بیولوژیکی این گیاه به‌طور عمده مربوط به ترکیبات فنولی آن مانند کارنوزول، کارنوزیک اسید و اسید رزمارینیک موجود در عصاره و آلفا- پینن، بورتیل استات، کامفور و اوکالیپتول موجود در اسانس آن می‌باشد. سایر ترکیبات طبیعی موجود در رزماری شامل فلانوئیدها مانند لوتئولین، اسیدهای فنولیک، دی و تری ترپن‌ها، تانن‌ها، مواد تلخ، رزین، ساپونین و برخی از متابولیت‌های اولیه نظیر پروتئین‌ها و چربی‌ها هستند (صالحی ساردویی و خلیلی، ۱۳۹۹).

امروزه فعالیت‌های صنعتی بشر باعث افزایش ترکیبات آلوده‌کننده اتمسفر به خصوص ترکیبات هالوژن‌دار شده است. این ترکیبات به دلیل پایداری زیاد به سطح استراتوسفر می‌رسند و باعث تخریب لایه اوزون می‌شوند. کاهش لایه اوزون باعث افزایش میزان پرتوهای فرابنفش در سطح زمین شده است و مشکلاتی را برای موجودات زنده به وجود آورده است. پرتوهای فرابنفش حدود ۹ درصد طیف خورشید را شامل می‌شوند و به سه باند فرابنفش-آ (۳۲۰ تا ۴۰۰ نانومتر)، فرابنفش-ب (۲۸۰ تا ۳۲۰ نانومتر) و فرابنفش-ث (۲۰۰ تا ۲۸۰ نانومتر) تقسیم می‌شوند (Mumivand *et al*., 2021a). در سیستم‌های گیاهی هر یک از این طیف‌ها می‌تواند اثرات بیولوژیکی متفاوتی را القا کند. در بین طیف‌های مختلف پرتو فرابنفش، کاهش ضخامت لایه اوزون بیش‌ترین تأثیر را بر فرابنفش-ب گذاشته است و افزایش فرابنفش-ب در سطح زمین مهم‌ترین نتیجه کاهش ضخامت لایه اوزون است. به‌دلیل جذب کامل فرابنفش-ث توسط لایه اوزون، معمولاً در نور رسیده به سطح زمین فرابنفش-ث وجود ندارد. فرابنفش-آ هم کم خطرترین تشعشعات فرابنفش است که در نور خورشید به‌میزان زیادی یافت می‌شود و به‌وسیله لایه اوزون قابل جذب نیست (Hollosy, 2002). پرتو فرابنفش می‌تواند به‌عنوان یک عامل تنش‌زا و یا یک عامل تنظیم‌کننده در نظر گرفته شود. این پرتو می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی رشد و نمو گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (Tsurunaga *et al*., 2013).

در میان موجودات زنده، گیاهان به دلیل احتیاج اجتناب‌ناپذیر آن‌ها به نور برای انجام فتوسنتز، بیشتر تحت تأثیر پرتوهای فرابنفش قرار می‌گیرند و آسیب‌پذیرتر هستند. گیاهان هنگام مواجه با پرتو فرابنفش از مکانیسم‌های مختلفی جهت حفاظت از خود استفاده می‌کنند. از مکانیسم‌های سازگاری گیاهان در برابر پرتو فرابنفش می‌توان تولید برگ‌های ضخیم‌تر و کوچک‌تر، مقدار بیشتر کرک‌ها، تغییر زاویه برگ‌ها نسبت به پرتو تابشی و افزایش اختصاصات منعکس‌کننده مانند موم در سطح برگ‌ها را نام برد (قناتی و همکاران، ۱۳۸۵). تغییر در شکل برگ، افزایش شاخه‌های جانبی، کاهش طول میان‌گره‌ها، کاهش بسامد روزنه‌ای و کاهش ارتفاع گیاه از دیگر تغییرات مورفولوژی است که در پاسخ به پرتو فرابنفش در گیاهان نمایان می‌شود. در گیاهان پرتوهای فرابنفش باعث اختلال در عمل کمپلکس تجزیه‌کننده آب، تخریب فتوسیستم II، پلاستوکوئینون، کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو و آنزیم ATP سنتاز می‌شود. همچنین با القای بسته‌شدن روزنه‌ها و تغییر در ضخامت و آناتومی برگ می‌تواند فتوسنتز را تحت تأثیر قرار دهد. تخریب رنگیزه‌های فتوسنتزی توسط پرتوهای فرابنفش نیز از دلایل کاهش میزان فتوسنتز است (Lutz *et al*., 2005).

از طرف دیگر، فسفولیپیدها و گلیکولیپیدها که از اجزای اصلی غشاهای سلولی هستند در حضور اکسیژن و پرتو فرابنفش تخریب می‌شوند. پرتو فرابنفش باعث تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن مانند اکسیژن منفرد، آنیون سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های هیدروکسیل در سلول‌ها می‌شود، که این رادیکال‌ها منجر به برهم زدن تعادل متابولیسمی سلول می‌شوند. برای مقابله با تنش اکسیداتیو ناشی از رادیکال‌های آزاد، در گیاهان سازوکارهای دفاعی آنزیمی و غیرآنزیمی تکامل یافته است (Hollosy, 2002). مکانیسم‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

آنزیمی شامل افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز، کاتالاز، گلوتاتیون ردوکتاز و غیره است. در حفاظت غیرآنزیمی نیز تولید آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی مانند آسکوربیک اسید، کاروتنوئیدها، فلانونوئیدها، آنتوسیانین‌ها و آلکالوئیدها افزایش می‌یابد. افزایش تولید و تجمع این ترکیبات در لایه اپیدرمی جهت دفاع و محافظت در برابر اشعه فرابنفش مؤثر است (Prasad *et al.*, 2005).

با توجه به اهمیت رزماری به عنوان یک گیاه دارویی-زینتی، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر تابش پرتو فرابنفش آ و ب بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی و آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی رزماری انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

کاشت گیاهان و اعمال تیمارها: این مطالعه به صورت آزمایشی گلدانی در گلخانه‌های آموزشی و تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان در سال ۱۴۰۰ انجام شد. طول و عرض جغرافیایی منطقه به‌ترتیب ۴۸/۲۶ درجه شرقی و ۳۳/۴۳ درجه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۱۷۰ متر است. نشاءهای رزماری از شرکت زرین گیاه ارومیه تهیه و به گلدان‌های پنج لیتری منتقل شدند. این گلدان‌ها به وسیله مخلوطی از خاک، کود دامی پوسیده و ماسه به نسبت مساوی ۱:۱:۱ پر شده بودند. به منظور رعایت یکنواختی مواد آزمایشی در تیمارها و تکرارهای مختلف سعی شد نشاهای انتخاب‌شده از نظر اندازه تا حد امکان مشابه باشند. این مطالعه در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار (۲۰ گلدان در هر تکرار) اجرا شد. تیمارهای پرتو فرابنفش در سه سطح (شاهد، تابش پرتو فرابنفش-آ و تابش پرتو فرابنفش-ب) در نظر گرفته شد.

حدود یک ماه پس از انتقال نشاها به گلدان اصلی، گیاهان بسته به نوع تیمار آزمایشی در معرض تابش پرتو ماورابنفش آ و یا ب قرار گرفتند. برای اعمال تیمارهای پرتو فرابنفش، پایه‌های فلزی با ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر از سطح زمین آماده شد و لامپ‌های فرابنفش آ و ب (ساخت شرکت Q-lab آمریکا) روی پایه‌ها قرار گرفتند (فاصله لامپ‌ها تا گیاهان برابر با ۵۰ سانتی‌متر بود). لامپ‌های ۴۰ واتی مورد استفاده در این مطالعه باند پهن بوده و بیش‌ترین تطبیق را با فرابنفش- ب (در لامپ‌های فرابنفش-ب) و فرابنفش-آ (در لامپ‌های فرابنفش-آ) دریافتی از خورشید در سطح زمین داشتند، بنابراین بهترین شبیه‌سازی ممکن را فراهم می‌کردند. پیک تابشی لامپ‌های فرابنفش-ب برابر ۳۱۳ نانومتر و پیک تابشی لامپ‌های فرابنفش-آ برابر با ۳۵۱ نانومتر بود.

تیماردهی به صورت روزانه و به مدت چهار ساعت در طول روز (از ساعت ۱۱ تا ۱۵) انجام شد. بدین منظور از یک تایمر الکتریکی با هدف تنظیم زمان روشن و خاموش شدن لامپ‌ها استفاده شد. به منظور ایجاد فضای ایزوله و با هدف جلوگیری از تداخل تأثیر تیمارهای مختلف، فاصله بین تیمارها با استفاده از یونولیت پوشانده شد. با توجه به تغییر ارتفاع گیاهان در طول دوره رشد و به منظور تیمار یکسان پرتوی فرابنفش در طول انجام آزمایش، ارتفاع پایه‌های نگهدارنده لامپ‌های تأمین‌کننده پرتوی فرابنفش با گذشت زمان افزایش یافت. اعمال تیمار فرابنفش به مدت سه هفته صورت گرفت.

نمونه‌گیری و ارزیابی صفات موروفولوژی: یک ماه پس از اعمال تیمارهای فرابنفش نمونه‌گیری از آخرین برگ‌های توسعه‌یافته گیاهان برای صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی شامل کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، کلروفیل کل، کاروتنوئید، مالون دی‌آلدهید، نشت الکترولیتی، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، پرولین، فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره انجام گرفت (Mumivand *et al.*, 2022). نمونه‌ها پس از منجمد شدن در ازت مایع تا زمان اندازه‌گیری در فریزر (۸۰- درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. در ادامه تعداد پنج بوته از هر تیمار به صورت تصادفی انتخاب شد و صفات مورفولوژی شامل ارتفاع بوته، قطر طوقه، طول برگ و عرض برگ در آن‌ها اندازه‌گیری شد. بعد از آن گیاهان انتخابی برداشت و وزن تر بخش هوایی آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌های گیاهی در آون به مدت ۴۸ ساعت با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک و وزن خشک آن‌ها ثبت شد. پس از جداکردن برگ از ساقه، وزن خشک برگ نیز اندازه‌گیری شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

رنگیزه‌های فتوسنتزی: میزان کلروفیل و کارتنوئید برگ به روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) اندازه‌گیری شد. ابتدا ۰/۱ گرم برگ در هاون چینی با ازت مایع کاملاً ساییده شد. پس از اضافه‌کردن 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 طول‌موج‌های ۴۷۰، ۶۶۲ و ۶۴۵ نانومتر خوانده شد.

پرولین: به منظور اندازه‌گیری محتوای پرولین برگ از روش Bates (۱۹۷۳) استفاده شد. به نمونه‌های گیاهی خرد شده با نیتروژن مایع میزان ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک اضافه شد. پس از صاف‌کردن محلول و سانتریفیوژ، ۲ میلی‌لیتر از روشناور جدا و به ترتیب به آن ۲ میلی‌لیتر ناین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک خالص اضافه گردید. پس از انکوبه‌کردن نمونه‌ها در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، ۴ میلی‌لیتر تولوئن به هر یک از لوله‌های آزمایش اضافه شد. جذب روشناور توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد.

کاتالاز: فعالیت آنزیم کاتالاز به روش Chance و Maehly (۱۹۵۵) اندازه‌گیری شد. به ۰/۳ گرم از نمونه برگ خردشده 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 طول‌موج ۲۴۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. فعالیت آنزیم کاتالاز برحسب میکرومول در دقیقه بر گرم وزن تر محاسبه شد.

پراکسیداز: سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز به روش Mac-Adam و همکاران (۱۹۹۲) صورت گرفت. به ۰/۳ گرم نمونه برگ پودرشده 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 ۲ دقیقه، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در طول‌موج ۴۷۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد.

آسکوربات پراکسیداز: فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز با استفاده از روش Asada و Nakano (۱۹۸۱) محاسبه گردید. ابتدا مقدار ۰/۱ گرم از برگ پودرشده با نیتروژن مایع به یک میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم با غلظت ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷) 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 خوانده شد.

مالون دی‌آلدهید: میزان مالون دی‌آلدهید براساس روش Wang و همکاران (۲۰۰۹) اندازه‌گیری شد. بدین منظور یک گرم از برگ گیاه خردشده با ۵ میلی‌لیتر محلول تیوباربیتوریک اسید نیم درصد حل‌شده در تری‌کلرو 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 شد. میزان جذب روشناور در سه طول‌موج ۴۵۰، ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد.

نشت الکترولیتی: میزان ۰/۰۵ گرم از نمونه‌های برگی داخل آب‌مقطر 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 و همکاران، ۱۹۹۶):

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

فنل کل: مقدار یک گرم برگ خشک در فالکون‌های ۱۵ میلی‌لیتری حاوی ۱۰ سی‌سی متانول ۸۰ درصد به مدت ۴۸

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

ساعت قرار گرفت. ۰/۵ میلی‌لیتر از معرف سیوکالتیو با چهار میلی‌لیتر از محلول Na_2CO_3 یک مولار مخلوط گردید. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر 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 طول‌موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شد (Mc-Donald *et al.*, 2001).

فلاونوئید کل: به ۵۰ میکرولیتر از عصاره گیاهی، ۴۰۰ میکرولیتر محلول کلرید آلومینیوم ۲ درصد اضافه کرده، سپس ۱۲۰۰ میکرولیتر محلول استات پتاسیم ۵ درصد به آن اضافه شد. پس از ۴۰ دقیقه نگهداری در دمای اتاق، جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۴۱۵ نانومتر خوانده شد (Quettier- Deleu, 2000).

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

در انتها، تجزیه واریانس داده‌ها براساس طرح آزمایشی مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 صورت گرفت و مقایسه میانگین تیمارها نیز با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار LSD در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژی و زیست‌توده گیاهی: نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژی و زیست‌توده گیاهی (جدول ۱) نشان داد که اثر تابش پرتو فرابنفش تنها در مورد صفات ارتفاع بوته و وزن خشک برگ معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین نیز نشان داد که تابش پرتو فرابنفش-ب باعث کاهش ارتفاع بوته در مقایسه با تیمار شاهد شد. به‌نحوی‌که کمترین ارتفاع بوته (۱۳/۶۵ سانتی‌متر) در تیمار فرابنفش-ب مشاهده شد. با این حال تیمار فرابنفش-آ تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته نداشت. تیمار فرابنفش-ب باعث کاهش وزن خشک برگ نسبت به تیمار شاهد شد، درحالی‌که فرابنفش-آ تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک برگ نداشت. در مجموع بیشترین وزن خشک برگ در تیمار شاهد (۱/۴۲ گرم بر بوته) بدست آمد (شکل ۱).

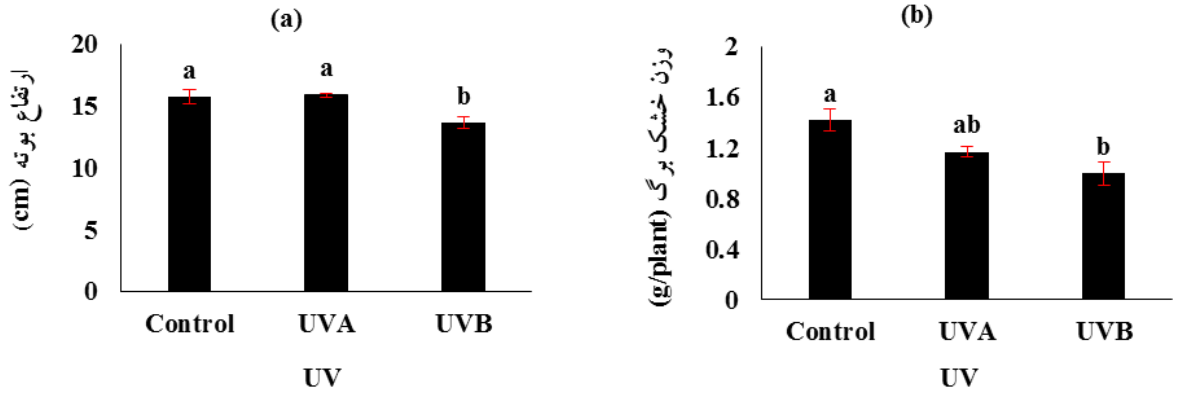
نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌دهنده آن است که صفات مورفولوژی و زیست‌توده گیاهی رزماری تحت تأثیر پرتو فرابنفش-آ قرار نگرفت. پاسخ گیاهان به پرتو فرابنفش-آ متفاوت و مطالعات موجود اغلب حاوی اطلاعات متناقضی است (Verdaguer, 2017). تعدادی از مطالعات گزارش کرده‌اند که پرتو فرابنفش-آ باعث تسریع رشد و تغییر در مورفولوژی گیاهان می‌شود. برخلاف این برخی دیگر از مطالعات هیچ‌گونه پاسخ معنی‌داری یا اثرات منفی (به عنوان مثال جلوگیری از تجمع زی‌توده یا گسترش برگ) تحت تابش پرتو فرابنفش- آ گزارش نکرده‌اند. در تطابق با نتایج تحقیق حاضر، Maffei و همکاران (۱۹۹۹) نشان دادند که گیاهان نعناع فلفلی تابش‌دهی‌شده با فرابنفش- آ به همراه نور مرئی، تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای از نظر ارتفاع بوته و سطح برگ نسبت به شاهد نشان ندادند. تیمار فرابنفش- آ هیچ تأثیری بر ارتفاع بوته، عرض برگ، وزن خشک برگ، وزن خشک گل، تعداد گل و عملکرد گل سه رقم گل گندم (*Centaurea cyanus*) نداشت (رستگار و همکاران، ۱۳۹۹). برخلاف این تابش پرتوهای فرابنفش آ و ث باعث کاهش سطح برگ شاهدانه شد. این محققان عنوان کردند که گیاه شاهدانه به پرتو فرابنفش حساس بود و این حساسیت به پرتو فرابنفش-ث بیش از پرتو فرابنفش-آ بود (قندالی و همکاران، ۱۳۸۹). در پژوهش شاهبداغلو و همکاران (۱۳۹۴) نیز اثر کاهشی پرتو فرابنفش-آ بر رشد و عملکرد آرتیشو گزارش شده است. با این حال نتایج مطالعه Shayganfar و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که تابش پرتو فرابنفش-آ باعث افزایش ارتفاع آویشن دنایی و آویشن

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر پرتو فرابنفش آ و ب بر برخی صفات مورفولوژی و زیست‌توده گیاهی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		وزن خشک برگ	وزن خشک بوته	وزن تر بوته	قطر طوقه	عرض برگ	طول برگ	ارتفاع بوته
فرابنفش	۲	۰/۱۳*	۰/۳۹ns	۰/۱۸ns	۰/۰۸۵ns	۰/۲۶ns	۰/۰۱۶ns	۴/۷۵*
خطا	۶	۰/۰۲۵	۰/۱۴	۰/۳۳	۰/۳۸	۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۸۳
ضریب تغییرات		۱۳/۲۷	۱۷/۸۹	۱۲/۰۱	۲۳/۲۲	۱۲/۱۶	۱۰/۸۹	۶/۰۵

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



شکل ۱- اثر تابش پرتو فرابنفش آ و ب بر a) ارتفاع بوته و b) وزن خشک برگ رزماری (میانگین‌های دارای حروف مشابه، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).

باغی شد. در این مطالعه پرتو فرابفش-آ تأثیری بر ارتفاع آویشن قره‌باغی نداشت، اما طول میانگره این گونه را به صورت معنی‌داری کاهش داد. این محققان پاسخ متفاوت گونه‌های مختلف آویشن به پرتو فرابنفش را به تفاوت در خصوصیات ژنتیکی گونه‌ها و شرایط اقلیمی خاستگاه آن‌ها نسبت دادند. به‌طورکلی می‌توان گفت که پاسخ گیاهان به تابش پرتوی فرابنفش-آ کاملاً مشخص نیست و بسته به نوع گونه گیاهی و شرایط اقلیمی محل آزمایش (به‌ویژه شدت نور) واکنش به فرابنفش-آ متفاوت است. در مطالعه حاضر اثر تابش پرتو فرابنفش ب بر صفات مورفولوژی و زی‌توده رزماری محدود به ارتفاع بوته و وزن خشک برگ بود و هیچ تأثیر معنی‌داری در سایر صفات مورد ارزیابی در مقایسه با شاهد نداشت. در مطالعات زیادی گزارش شده است که پرتوی فرابنفش-ب باعث کاهش رشد و زی‌توده گیاه می‌گردد. تابش پرتوی فرابنفش-ب باعث کاهش ارتفاع گیاه در آویشن باغی و آویشن دنایی شد که با نتایج حاصل از پژوهش ما مطابقت داشت (ساریخانی، ۱۳۹۲). در پژوهش حاجی‌پور و همکاران (۱۳۹۹) مشاهده شد که تابش فرابنفش-ب و تابش همزمان فرابنفش-آ و ب منجر به کاهش رشدونمو و عملکرد شنبلیله شد. برخلاف این پرتو فرابنفش-آ باعث بهبود عملکرد و صفات مورفولوژی گیاه گردید. همچنین جدیدی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی روی شمعدانی عطری نشان دادند که تیمار فرابنفش-ب باعث کاهش رشد طولی شمعدانی عطری، ایجاد حالت فشرده و متراکم در بوته و کاهش وزن خشک برگ (به عنوان اندام دارویی مصرفی) می‌گردد. درحالی‌که در تیمار فرابنفش-آ همانند تیمار فرابنفش محیط، گیاهان از برگ‌ها و شاخه‌های بلندتر و کشیده‌تری برخوردار بودند و هیچ کاهشی در وزن خشک گیاه با تیمار فرابنفش-آ مشاهده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

نگردید. تیمار پرتو فرابنفش-ب و کاربرد همزمان فرابنفش آ و ب منجر به کاهش رشدونمو گل گندم شد، اما تأثیر منفی معنی‌داری بر عملکرد گل خشک (به‌عنوان اندام دارویی اصلی گل گندم) نداشت (رستگار و همکاران، ۱۳۹۹). پرتو فرابنفش-ب به‌طور مستقیم سبب کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو و تثبیت کربن و کاهش تولید ماده خشک و نشاسته، و به‌طور غیرمستقیم باعث بسته‌شدن روزنه‌ها، تغییر ضخامت برگ و کاهش سطح کانوپی می‌شود که این موضوع می‌تواند باعث کاهش رشد گیاهان شده و از این طریق در نهایت منجر به کاهش عملکرد و وزن تر و خشک گیاه گردد (Krizek *et al.*, 1997). ارتفاع گیاه با افزایش میزان پرتو فرابنفش-ب به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد که گفته می‌شود به واسطه تخریب تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اسید ایندول استیک و تشکیل ترکیبات بازدارنده رشد در اثر تابش فرابنفش است. احتمالاً تابش پرتو فرابنفش-ب باعث کاهش تقسیم سلولی، طویل‌شدن سلول‌ها و کاهش تعداد سلول‌های در حال میتوز می‌گردد؛ از طرفی زمان تقسیم سلولی را نیز کاهش می‌دهد. بنابراین سلول‌ها فرصت کافی را برای تقسیم و گسترش سلولی پیدا نمی‌کنند. شاید این موضوع به‌خاطر محدودکردن اسید ایندول استیک به عنوان یک تنظیم‌کننده رشد کلیدی در گیاهان باشد؛ در نتیجه کاهش رشد و ارتفاع گیاه را به دنبال دارد (ساریخانی، ۱۳۹۲).

صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی: نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی نشان‌دهنده آن است که اثر پرتو فرابنفش بر میزان مالون دی‌آلدهید، کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، کلروفیل کل، کاروتنویید، پرولین، پراکسیداز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، فنل کل، فلاونویید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره رزماری معنی‌دار شد (جدول ۲).

پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء (MDA): نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تابش فرابنفش-آ و فرابنفش-ب باعث افزایش میزان مالون دی‌آلدهید شد. بیشترین میزان مالون دی‌آلدهید در تیمار فرابنفش-ب (۲/۷۱ میکرومول بر گرم وزن تر) و پس از آن در فرابنفش-آ (۱/۶۹ میکرومول بر گرم وزن تر) مشاهده گردید (شکل ۲).

یکی از مواردی که نشان‌دهنده آسیب گونه‌های فعال اکسیژن است پراکسیداسیون لیپیدهای غشاهای زیستی است. تولید مالون دی‌آلدهید به‌عنوان محصول پراکسیداسیون لیپیدی در چنین شرایطی افزایش می‌یابد (رستگار و همکاران، ۱۳۹۹). مالون دی‌آلدهید یکی از محصولات سمی حاصل از تخریب غشاهای زیستی است که به‌عنوان یک نشانگر زیستی حاصل از تخریب غشاها به‌طور وسیع برای بررسی مقاومت به تنش‌ها استفاده شده است. افزایش معنی‌دار پراکسیداسیون غشاهای سلولی در برگ بر اثر تابش فرابنفش می‌تواند به دلیل افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در شرایط تنش باشد که سبب واکنش آن‌ها با اسیدهای چرب غشاهای سلولی و اکسیداسیون آن‌ها می‌گردد (Han *et al.*, 2013). آسیب به غشاهای زیستی در نتیجه تنش‌های محیطی با افزایش مقدار مالون دی‌آلدهید همراه است که می‌تواند با افزایش میزان H_2O_2 ارتباط مستقیم داشته باشد (Posmyk *et al.*, 2008).

در مطالعه حاضر تابش پرتو فرابنفش (به ویژه فرابنفش-ب) باعث افزایش میزان مالون دی‌آلدهید شد. افزایش مالون دی‌آلدهید در دانهال‌های برنج (*Oryza sativa* L.) تحت تابش پرتو فرابنفش گزارش شده است که با مطالعه حاضر مطابقت دارد (ShaoShan *et al.*, 2000). در مطالعه Shayganfar و همکاران (۲۰۱۸) در آویشن و رستگار و همکاران (۱۳۹۹) در گل گندم نیز تیمار فرابنفش-ب منجر به افزایش مالون دی‌آلدهید شد. درحالی‌که فرابنفش-آ هیچ تأثیری بر این صفات نداشت. نتایج حاصل از مطالعات Wang و همکاران (۲۰۰۹) نیز نشان می‌دهد که تنش اکسایشی ایجادشده توسط تابش فرابنفش میزان مالون دی‌آلدهید را افزایش داده است. در تحقیقات متعدد به کم خطر بودن پرتو فرابنفش- آ اشاره شده است و حتی اشاره شده است که فرابنفش-آ می‌تواند سبب انواع واکنش‌های رشدی در گیاه شود (Hollosy, 2002). با این وجود در این مطالعه تیمار فرابنفش-آ باعث افزایش میزان مالون دی‌آلدهید نسبت به گیاهان شاهد گردید؛ این موضوع احتمالاً ناشی از حساسیت بیشتر رزماری به پرتو فرابنفش در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر پرتو فرابنفش آ و ب بر برخی صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی

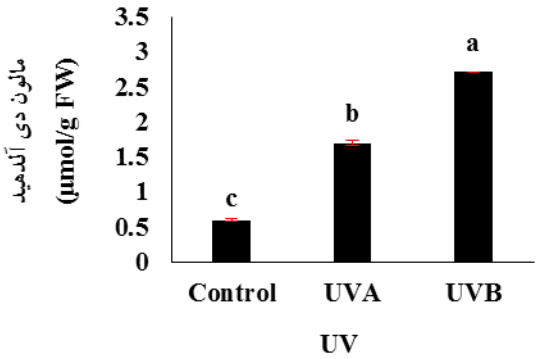
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		پرولین	کاروتنوئید	کلروفیل کل	کلروفیل *b*	کلروفیل *a*	مالون دی‌آلدهید	نشت الکترولیتی
فرابنفش	۲	۰/۰۰۰۳**	۱/۲۸**	۱۶/۵۷**	۳/۱۱**	۵/۴۶**	۳/۳۵**	۵۸/۱۹ns
خطا	۶	۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۰۹۱	۰/۷۱	۰/۲۲	۰/۴۶	۰/۰۰۳	۲۴/۰۴
ضریب تغییرات		۷/۶۰	۷/۸۱	۴/۸۷	۹/۵۲	۵/۴۲	۳/۴۵	۱۹/۶۹

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

ادامه جدول ۲-

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		کاتالاز	پراکسیداز	آسکوربات پراکسیداز	فنل کل	فلاونویید	فعالیت آنتی‌اکسیدانی
فرابنفش	۲	۰/۰۰۰۸**	۰/۰۰۰۲**	۰/۰۴۱**	۳۴۴/۲۶**	۴۸/۵۹**	۱۳۸۹۴۵,۳۳**
خطا	۶	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۷	۱۴/۱۹	۲/۷۳	۳۴۴۷,۸۸
ضریب تغییرات		۱۶/۶۹	۱۳/۹۴	۸/۵۲	۷/۹۲	۷/۲۱	۴/۸۵

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



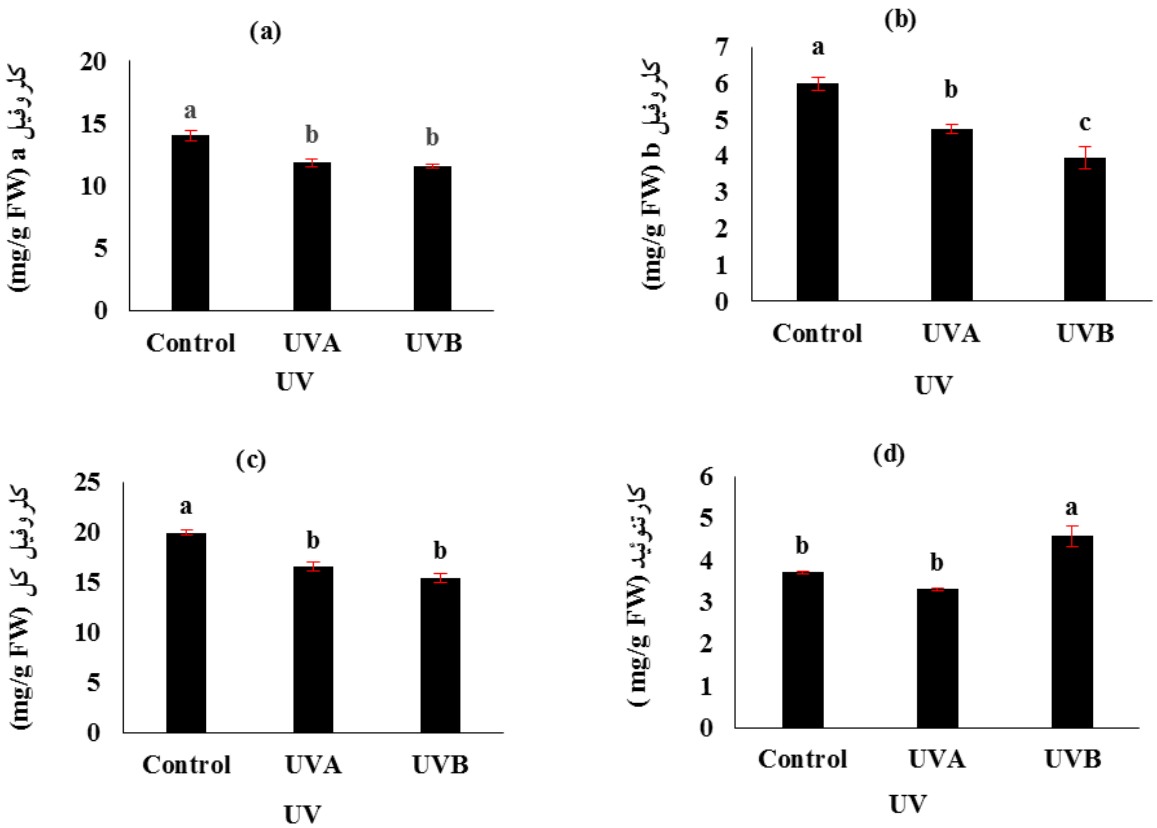
شکل ۲- اثر تابش پرتو فرابنفش آ و ب بر محتوای مالون دی‌آلدهید رزماری (میانگین‌های دارای حروف مشابه، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).

مقایسه با گیاهانی مانند آویشن و گل گندم است.

رنگیزه‌های فتوسنتزی: میزان کلروفیل-آ، کلروفیل-ب و کلروفیل کل نیز با تیمار فرابنفش-آ و با شدت بیشتر با تیمار فرابنفش-ب کاهش معنی‌داری نشان داد. بیشترین مقدار کلروفیل-آ، کلروفیل-ب و کلروفیل کل (به ترتیب ۱۴/۰۱، ۵/۹۸ و ۱۹/۹۹ میلی‌گرم بر گرم برگ تازه) در تیمار شاهد بدست آمد، درحالی‌که کمترین مقادیر مربوط به فرابنفش- ب بود. برخلاف این محتوای کاروتنویید با تیمارفرابنفش-ب در مقایسه با تیمار شاهد به میزان ۲۳/۴۵ درصد افزایش پیدا کرد. بیشترین میزان کارتنوئید (۴/۵۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار فرابنفش-ب مشاهده شد (شکل ۳).

بررسی کارایی کاروتنوییدها در حمایت از فتوسیستم‌ها و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

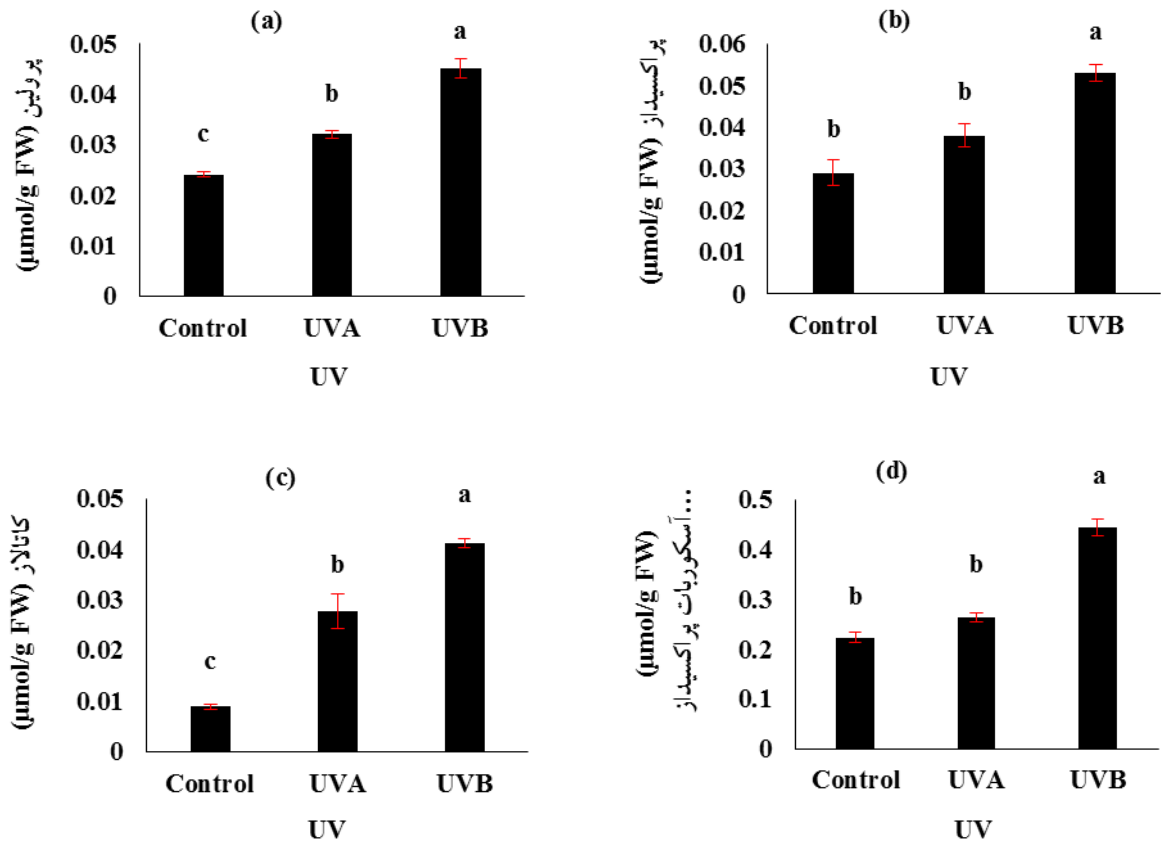


شکل ۳- اثر تابش پرتو فرابنفش آ و ب بر محتوای a) کلروفیل *a*، b) کلروفیل *b*، c) کلروفیل کل و d) کارتنوئید رزماری (میانگین‌های دارای حروف مشابه، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).

رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تابش فرابنفش نشان داده است که کاروتنوییدها می‌توانند انرژی زیاد طول‌موج‌های کوتاه را گرفته و اکسیژن منفرد را به اکسیژن سه تایی تبدیل کنند و با گرفتن رادیکال‌های اکسیژن تولیدشده نقش پاد اکسایشی خود را بروز دهند (Chaki *et al.*, 2020). در گزارش کوماری و همکاران در گیاه علف لیمو (*Cymbopogon citrates*) عنوان شد که میزان کاروتنوئیدها تحت پرتو فرابنفش-ب در ابتدا افزایش یافت؛ اما با گذشت زمان میزان این ترکیبات رو به کاهش گذاشت. این کاهش احتمالاً به‌دلیل ممانعت از سنتز یا به‌علت تخریب رنگدانه‌ها در نتیجه تماس طولانی بود. در این مطالعه دوزهای بالای پرتو فرابنفش-ب باعث کاهش ۱۷/۱ درصدی زیست‌توده گیاهی شد (Kumari and Agrawal, 2010). با این حال مشخص شده است که افزایش کاروتنوئیدها در برخی گونه‌های گیاهی یک پاسخ سازشی برای کاهش اثرات پرتو فرابنفش است، زیرا کاروتنوئیدها سبب پراکنده شدن انرژی برانگیخته شده از طریق چرخه گزانتوفیل شده و باعث حفاظت دستگاه فتوسنتزی می‌شوند. نتایج به دست آمده از مطالعه روی گیاه پنیرباد (*Withania somnifera*) نشان داد که کاروتنوییدها تحت پرتو فرابنفش-ب افزایش می‌یابند. در مطالعه حاجی‌پور و همکاران (۱۳۹۹) نیز میزان کاروتنوئید تحت پرتو فرابنفش-ب افزایش یافت. تابش پرتو فرابنفش-ب باعث کاهش مقدار کلروفیل برگ (*a*، *b* و کل) و افزایش رنگیزه کاروتنویید در سه گونه گل‌گندم شد که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد (رستگار و همکاران، ۱۳۹۹).

پرولین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی: نتایج تحقیق حاضر نشان داد که میزان پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی پراکسیداز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در اندام هوایی رزماری تحت تیمار پرتو فرابنفش-ب در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بالاترین میزان پرولین، پراکسیداز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز (به ترتیب با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]



شکل ۴- اثر تابش پرتو فرابنفش آ و ب بر محتوای a) پرولین و فعالیت آنزیم‌های b) پراکسیداز، c) کاتالاز و d) آسکوربات پراکسیداز رزماری (میانگین‌های دارای حروف مشابه، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).

۰/۰۴۵، ۰/۰۵۳، ۰/۰۴۱۳ و ۰/۴۴۴ میکرومول برگرم وزن تر) در تیمار فرابنفش-ب مشاهده شد. تیمار فرابنفش-آ نیز منجر به افزایش معنی‌دار میزان پرولین و کاتالاز در مقایسه با شاهد شد (شکل ۴).

پرولین مولکول آلی مهمی است که در بسیاری از گیاهان در تنش‌های زیست‌محیطی مانند خشکی، شوری، دمای بالا، یخ‌زدگی، پرتو فرابنفش و فلزات سنگین تجمع می‌یابد. پرولین به تنظیم اسمزی و حفاظت از ساختارهای درون سلول منجر می‌شود، به‌طوری‌که در برخی گزارش‌ها همبستگی قوی بین تجمع پرولین و مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی نشان داده شده است (Ashraf and foolad, 2007). شواهد قابل ملاحظه‌ای وجود دارد که سطوح بالای پرولین ساختار و فعالیت پروتئین‌ها را حفاظت می‌کند، تجزیه آنزیم را کاهش می‌دهد و غشاها را از آسیب ناشی از رادیکال‌های آزاد و گونه‌های شیمیایی واکنش‌پذیر دیگر حفاظت می‌کند (جدیدی و همکاران، ۱۴۰۱). نتایج Mahdavian (۲۰۰۸) نشان داد که پرتو فرابنفش ب و ث باعث افزایش غلظت پرولین در برگ‌های فلفل‌دلمه‌ای شد. پرولین در کاهش اسید سیتوزولی مرتبط با چندین تنش غیرزیستی نقش دارد. حذف H^+ اضافی که در نتیجه سنتز پرولین اتفاق می‌افتد ممکن است تأثیر مثبتی بر کاهش آسیب ناشی از پرتو فرابنفش ب و ث داشته باشد. بنابراین می‌توان اذعان کرد که تجمع پرولین ناشی از پرتو فرابنفش، از گیاهان در برابر فرآیندهای پراکسیداسیون تحریک شده توسط پرتو فرابنفش محافظت می‌کند (Mumivand *et al.*, 2022).

در برخی گزارش‌ها همبستگی مثبتی بین تجمع پرولین و مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی نشان داده شده است (Ashraf and foolad, 2007). مطالعات انجام‌شده روی گیاه بارهنگ (*Plantago major*) و پنیرک (*Malva parviflora*) نشان داده است که تحت تأثیر تابش فرابنفش میزان اسیدآمینه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

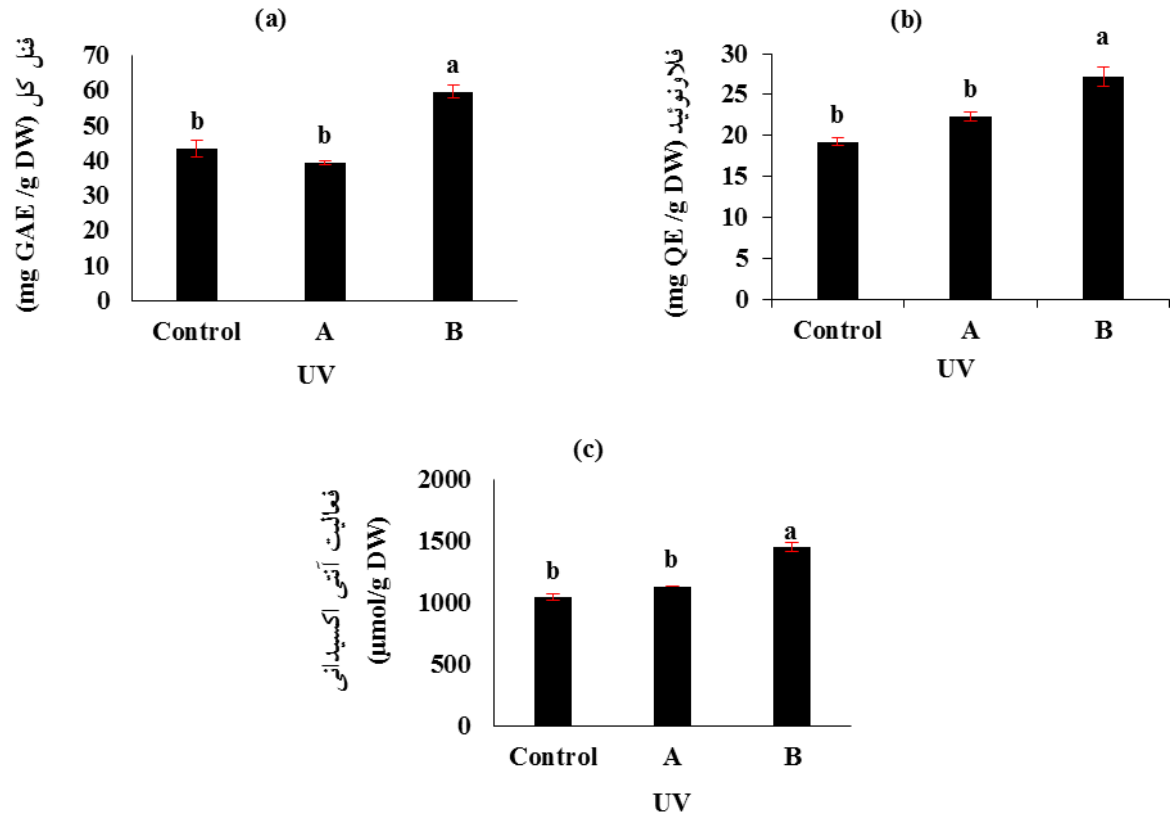
پرولین در اندام هوایی و ریشه افزایش می‌یابد (Salama *et al.*, 2011). همچنین Salama و همکاران (۲۰۱۱) علت افزایش پرولین تحت تأثیر پرتو فرابنفش را تحریک سنتز آن (در ارتباط با غلظت اسید آبسیزیک)، جلوگیری از اکسیداسیون پرولین و مهار سنتز پروتئین‌ها بیان کرده‌اند. در تحقیقی لاله‌عباسی (۱۳۹۵) نشان داد که میزان پرولین ریشه و اندام هوایی گیاه ریحان تحت تأثیر پرتو فرابنفش-ب افزایش یافت.

تمام موجودات هوازی از جمله گیاهان، مکانیسم‌های دفاعی آنزیمی و غیرآنزیمی مختلفی را برای سم‌زدایی ROSها و کاهش تنش اکسیداتیو ایجاد کرده‌اند. سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی آنزیمی شامل آنزیم‌هایی مانند سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و پراکسیدازها (مانند گلوتاتیون پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز) است. پراکسیدازها هموپروتئین‌های مونومر هستند که با استفاده از طیف گسترده‌ای از سوبستراها، مانند زیر واحدهای لیگنین، غشاهای لیپیدی و برخی زنجیره‌های جانبی اسیدآمینه، پراکسید را کاهش می‌دهند. این آنزیم‌ها در طیف وسیعی از فرآیندهای فیزیولوژیکی، مانند اتصال متقابل اجزای دیواره سلولی، متابولیسم اکسین، پاسخ به شرایط تنش‌زا، همزیستی و افزایش طول سلول نقش دارند (Lazzarotto, 2011). در مطالعه‌ای که توسط Racz و همکاران (۲۰۱۸) روی گیاه تنباکو به انجام رسید مشخص شد که با افزایش میزان پرتو فرابنفش-ب گیاه برای مقابله با تنش ایجادشده میزان پراکسیداز را افزایش داد. همچنین افزایش فعالیت ایزوآنزیم‌های پراکسیداز در پاسخ به دوزهای بسیار بالای پرتو فرابنفش-ب در نهال‌های آفتابگردان، Yannarelli (۲۰۰۶)؛ و گندم سیاه (*Fagopyrum esculentum*)، Jovanovic (۲۰۰۶) نیز گزارش شده است که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد. در پژوهش Majer و همکاران (۲۰۱۴) مشخص شد که فعالیت فرابنفش-ب باعث افزایش فعالیت پراکسیداز در گیاهان تنباکو می‌شود، اگر چه این گیاهان در پاسخ به پرتو فرابنفش افزایش فعالیت کاتالاز را نشان ندادند. در مطالعه حاضر پرتو فرابنفش باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز شد. با این حال تیمار فرابنفش-آ تأثیر کمتری در افزایش فعالیت آنزیم‌ها داشته است. با توجه به اینکه پرتو فرابنفش-آ قسمت کم خطر پرتو فرابنفش است، این نتایج قابل انتظار است. تنش‌زا نبودن فرابنفش-آ در بسیاری از گونه‌های گیاهی قبلاً گزارش شده است (شایگان‌فر و همکاران، ۱۳۹۶؛ رستگار و همکاران، ۱۳۹۹). در تطابق با نتایج مطالعه حاضر، Santos و همکاران (۲۰۰۴) نیز عنوان کردند که پرتو فرابنفش باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سیب‌زمینی شد. همچنین رستگار و همکاران (۱۳۹۹) نیز گزارش کردند که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز در گل گندم با تیمار فرابنفش-ب افزایش یافت. بر خلاف این، با تیمار فرابنفش فعالیت آنزیم آسکوربات پروکسیداز در آفتاب‌گردان تغییری پیدا نکرد (Costa *et al.*, 2006). پرتو فرابنفش باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شامل کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در شنبلیله شد (حاجی‌پور و همکاران، ۱۳۹۹).

فنول، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی: تیمار فرابنفش-ب باعث افزایش میزان فنل کل، فلاونویید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (به ترتیب به میزان ۳۷/۵۴، ۴۱/۵۹ و ۳۹/۱۶ درصد) در مقایسه با شاهد شد. بیشترین میزان فنل کل، فلاونویید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (به ترتیب با ۵۹/۷، ۲۷/۲ و۱۴۵۲ میلی‌گرم اسید گالیک، میلی‌گرم کوئرستین، میکرومول بر گرم وزن خشک) در تیمار فرابنفش-ب مشاهده شد. درحالی‌که تیمار فرابنفش-آ هیچ تأثیری بر میزان فنل کل، فلاونویید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی رزماری نداشت (شکل ۵).

کاربرد دارویی رزماری غالباً به دلیل فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالای عصاره آن است که به ترکیبات فنلی و ترپنی آن شامل کارنوسول، اسید کارنوزیک، اسید اورسولیک، رزمارینیک اسید و کافئیک اسید مربوط می‌شود. نتایج این مطالعه نشان داد که فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره این گیاه در مواجه با پرتو فرابنفش ب افزایش یافت. میزان فنول و فلاونوئید کل گیاه نیز با تیمار فرابنفش-ب افزایش نشان داد. فلاونوئیدها ترکیبات

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]



شکل ۵- اثر پرتو فرابنفش آ و ب بر محتوای a) فنل کل، b) فلاونوئید کل و c) فعالیت آنتی‌اکسیدانی رزماری. (میانگین‌های دارای حروف مشابه، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).

کلاسیک تحت کنترل پرتو فرابنفش-ب در گیاهان هستند. فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL) و چالکون سنتاز (CHS) آنزیم‌هایی کلیدی در مسیر بیوسنتزی فلاونوئیدها هستند فعالیت آن‌ها با تابش پرتو فرابنفش-ب افزایش می‌یابد. یکی از سازوکارهای حفاظتی گیاهان تحت شرایط تنش‌های محیطی، افزایش تولید پاداکساینده‌های غیرآنزیمی از جمله اسید آسکوربیک، کاروتنوئیدها، فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها و آلکالوئیدها است. با این حال، مؤثرترین مکانیسم حفاظتی غیرآنزیمی تحریک شده توسط یک رژیم نوری، بیوسنتز فلاونوئیدها و ترکیبات فنلی جذب‌کننده پرتو فرابنفش است. علاوه‌براین، انباشت جاذب‌های نوری در اپیدرم برگ از جمله فلاونوئیدها و کاوتنوئیدها در چنین شرایطی افزایش می‌یابد (Takahashi and Badger, 2011). این ترکیبات جز آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی محسوب شده و در شرایط تنش‌های غیرزیستی در جاروب کردن رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال اکسیژن نقش فعالی ایفا می‌کنند (Dicko *et al.*, 2005).

یکی از مسیرهای متابولیکی گیاهان که تحت تأثیر پرتو فرابنفش قرار می‌گیرد مسیر بیوسنتز ترکیبات فنولی است. در این مسیر علاوه بر فلاونوئیدها، فنول‌های ساده، تانن‌ها و لیگنین‌ها نیز سنتز می‌شوند. ترکیبات فنلی باعث حفاظت سلول‌ها در برابر ROSها می‌شوند .در واقع عملکرد پاداکسایشی فنول‌ها به صورت یک تبدیل یک طرفه به رادیکال‌های فنوکسی به واسطه یک آنزیم یا به‌طور غیرمستقیم انجام می‌گیرد. این رادیکال‌های تولیدشده می‌توانند به وسیله ترکیبات دیگری مانند اسید آسکوربیک احیا شوند. در پژوهشی Erkan و همکاران (۲۰۰۸) افزایش میزان فنل کل را در میوه توت‌فرنگی تحت تأثیر پرتو فرابنفش گزارش کردند؛ آن‌ها علت این افزایش را نقش پاداکسایشی فنول‌ها عنوان کردند. همچنین مطالعات روی بامیه، کارگرخرمی و همکاران (۱۳۹۲)؛ گل کلم، Costa و همکاران (۲۰۰۶) و دو رقم جو، محمدی و همکاران (۱۳۹۹)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

نیز نشان داده است که میزان فنل کل تحت تأثیر نور فرابنفش افزایش می‌یابد. یافته‌های مطالعه ما در این زمینه همسو با نتایج مطالعات دیگر محققان در زمینه بررسی اثر پرتو فرابنفش-ب بر محتوای فنول و فلاونوئید گیاه مرزه، Abrun (۲۰۱۶) و اثر پرتو فرابنفش آ، ب و ث بر محتوای فنول و فلاونوئیدی گیاه کاهو، Lee و همکاران (۲۰۱۴) بود.

فلاونوییدها و دیگر فنولیک‌ها، آنتوسیانین‌ها، اسانس‌ها، ترپنوییدها، کانابینوییدها، گلوکوزینولات‌ها، ایزوتیوسیانات‌ها و ترکیبات دارای فعالیت هورمونی تولیدشده در گیاهان دارویی، فعالیت‌های مختلفی به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های رشد، آنتی‌اکسیدان، بازدارنده‌های آنزیمی، سیگنال‌ها و هم‌چنین غربال پرتوهای فرابنفش را بر عهده دارند که در اپیدرم برگ‌ها و دیگر اندام‌های هوایی جایابی می‌شوند (Ravishankara, 2010). فلاونوئیدها یکی از ترکیباتی هستند که بیان ژن‌های آن‌ها تحت تأثیر پرتو فرابنفش افزایش می‌یابد. در بین متابولیت‌های ثانویه، فلاونوئیدها دارای بیش‌ترین تعداد گروه‌های هیدروکسیل هستند و با این ویژگی می‌توانند در حذف ROSها نقش مؤثرتری داشته باشند. فلاونوئیدها می‌توانند به‌صورت باندشده به دیواره سلولی و یا به صورت آزاد در واکوئل سلول‌های مزوفیل وجود داشته باشند. فلاونوئیدهای موجود در دیواره و متصل به کوتیکول می‌توانند به‌عنوان جاذب پرتو فرابنفش عمل کنند و از نفوذ آن به قسمت‌های داخلی جلوگیری نمایند. اما فلاونوئیدهای موجود در واکوئل نقش پاداکسایندگی دارند، این نوع فلاونوئیدها سبب کاهش گسترش سلولی و در نهایت کاهش سطح برگ می‌شوند (Mumivand *et al.*, 2021b).

افزایش مقدار فلاونوییدها در تیمار با پرتو فرابنفش از خصوصیات دفاعی برخی گیاهان در برابر پرتو فرابنفش است. این ترکیب‌ها با فیلترکردن 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. همچنین Germ و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که با افزایش پرتو فرابنفش-ب مقدار فلاونوئیدها در برگ‌ها و گل‌های گیاه گل راعی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. افزایش محتوای فلاونوئیدها تحت تأثیر نور فرابنفش در زغال اخته، Gonzalez -Villagra و همکاران (۲۰۲۰)؛ و سیب‌زمینی، Santos و همکاران (۲۰۰۴) نیز گزارش شده است که با نتایج ما در این پژوهش همخوانی دارد. در تطابق با نتایج مطالعه ما تابش پرتو فرابنفش-ب در گیاه سوسن صغیر منجر به افزایش معنی‌دار کاروتنوییدها و فلاونوییدها گردید (Kumari and Agrawal, 2010).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که پرتو فرابنفش-ب باعث وارد آمدن آسیب‌هایی به گیاه رزماری شد و گیاه از لحاظ مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دچار تغییراتی شد. کاهش وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع بوته و مقدار کلروفیل *a*، *b* و کل تحت تیمار فرابنفش-ب مشاهده گردید. درحالی‌که تیمار فرابنفش-آ اثرات مخرب کمتری بر گیاه داشت و تنها منجر به کاهش میزان کلروفیل *a*، *b* و کل شد. میزان مالون دی‌آلدئید نیز با تیمار فرابنفش آ و ب افزایش نشان داد. در چنین شرایطی گیاه با افزایش میزان آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی مانند کاروتنوئید، فنل و فلاونویید کل، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی مانند آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز و همچنین تولید مقادیر بیشتر پرولین، در برابر آسیب‌های ناشی از فرابنفش-ب به عنوان مکانیسم دفاعی واکنش نشان داد.درحالی‌که فرابنفش-آ تنها منجر به افزایش میزان پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز گردید.در پایان، افزایش ترکیبات جاذب فرابنفش مانند فنل، فلاونوئید و کاروتنویید باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره رزماری شد. بنابراین می‌توان گفت گیاهان رزماری در معرض تابش فرابنفش-ب از نظر خاصیت دارویی و بیولوژیکی از کیفیت بالاتری برخوردار خواهند بود.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

منابع

جدیدی، مریم، مومیوند، حسن، احتشام‌نیا، عبدالله، و شایگان‌فر، علیرضا (۱۴۰۱). تأثیر پرتو فرابنفش و شدت نور بر خصوصیات مورفو- فیزیولوژی و زیتوده گیاهی شمعدانی عطری (*Pelargonium graveolens* L. Heritier). *مجله فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۸۴، ۳۱۳-۲۹۹. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1401.11.48.19.0

حاجی‌پور، زهرا، مومیوند، حسن، شایگان‌فر، علیرضا، و ابراهیمی، امین (۱۳۹۹). تأثیر تابش پرتوی فرابنفش و محلول‌پاشی برخی از تنظیم‌کننده‌های رشد بر ویژگی‌های عملکردی و ظاهری شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.). *مجله پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۲۹، ۱۵۴-۱۳۳. https://doi.org/10.22069/jopp.2021.18867.2785

رستگار، مهدی، مومیوند، حسن، رضایی‌نژاد، عبدالحسین، و شایگان‌فر، علیرضا (۱۳۹۹). ارزیابی پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیکی، فنولوژیکی و فیتوشیمیایی سه رقم گل گندم (*Centaurea cyanus*) تحت تابش پرتو فرابنفش (UV-A و UV-B). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

ساریخانی، حسن (۱۳۹۲). تأثیر نور فرابنفش A بر رشد و برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی نعناع فلفلی (*Mentha piperita*). *مجله فناوری تولیدات گیاهی*، ۱۳، ۳-۴۴.

شاهبداغلو، علیرضا، عزیزی، علی، ساریخانی، حسن، و رجبی، محسن (۱۳۹۴). پیامدهای پرتودهی با نور فرابنفش A بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، سینارین و برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک سه رقم آرتیشو (*Cynara scolymus* L.). *مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای*، ۲۸، ۱۰۹-۹۷. http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.ejgcst.7.4.97

شایگان‌فر، علیرضا، عزیزی ارانی، مجید، و رسولی، موسی (۱۳۹۶). بررسی تأثیرات سطوح متفاوت پرتو فرابنفش همراه با کاربرد ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مختلف بر واکنش‌های مرفولوژی، فنولوژی، فیزیولوژی و فیتوشیمیایی سه گونه آویشن. رساله دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

صالحی ساردویی، علی، و خلیلی، حلیمه (۱۳۹۹). فیتوشیمی گیاهان دارویی. جلد ۱، انتشارات نوروزی، گرگان.

قناتی، فائزه، احمدی، زهرا، و عبدالمالکی، پرویز (۱۳۸۵). تأثیر پرتوفرابنفش C بر برخی از پارامترهای فیزیولوژیکی در گیاه صبر زرد (*Aloe vera* L.). *فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۲۲، ۳۱۵-۳۳۱.

قندالی دوست، زهرا، حسینی، سیاوش، و جامعی، رشید (۱۳۸۹). بررسی پارامترهای رشد و عوامل فیزیولوژیکی گیاه شاهدانه *Cannabis indica* تحت اثر باندهای مختلف اشعه ماوراءبنفش، همایش ملی تنوع زیستی و تأثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست، ارومیه، ایران.

کارگرخرمی، سروش، جامعی، رشید، و حسینی سرقین، سیاوش (۱۳۹۲). تغییرات در پارامترهای فیزیولوژیکی و آناتومیکی گیاه بامیه (*Hibiscus esculentus* L.) تحت باندهای مختلف اشعه فرابنفش. *مجله زیست‌شناسی گیاهی*، ۱۶، ۲۶-۱۳. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20088264.1392.5.16.3.1

لاله‌عباسی، نرمین (۱۳۹۵). تأثیر همزیستی قارچ‌های میکوریز آربوسکوالر بر شاخص‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) تحت تنش UV-B. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

محمدی، وحید احمد، زارعی، حسین، و موسوی‌زاده، جواد (۱۳۹۹). پاسخ‌های مورفولوژیک و بیوشیمیایی گیاه ریحان تحت تیمار نور ماورای‌بنفش B و کم‌آبیاری در شرایط گلخانه، *مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای*، ۱۱، ۸۵-۱۰۱. http://dx.doi.org/10.47176/jspi.11.1.18841

Abrun, A., Fattahi, M., Hassani, A., & Avestan, S. (2016). Salicylic acid and UV-B/C radiation effects on growth and physiological traits of *Satureja hortensis* L. *Notulae Scientia Biologicae*, *8*, 170-175. https://doi.org/10.15835/nsb829784.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

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

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. https://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. https://doi.org/10.1007/BF00018060

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. https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292

Chaki, M., Begara-Morales, J. C., & Barroso, J. B. (2020). Oxidative stress in plants. *Antioxidants*, *9*(6), 481. https://doi.org/10.3390/antiox9060481

Chance, B. & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalases and peroxidases. *Methods in Enzymologist, 11*, 764-755. http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879(55)02300-8

Costa, L., Vicente, A. R., Civello, P. M., Chaves, A. R., & Martinez, G. A. (2006). UV-C treatment delays postharvest senescence in broccoli florets. *Postharvest Biology and Technology*, *39*, 204-210. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.10.012

Dicko, M. H., Gruppen, H., Barro, C., Traore, A. S., van Berkel, W. J., & Voragen, A. G. (2005). Impact of phenolic compounds and related enzymes in sorghum varieties for resistance and susceptibility to biotic and abiotic stresses. *Journal of Chemical Ecology*, *31*, 2671-2688. https://doi.10.1007/s10886-005-7619-5

Erkan, M., Wang, S. Y., & Wang, C. Y. (2008). Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and decay in strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *48*(2), 163-171. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.09.028

Germ, M., Stibilj, V., Kreft, S., Gaberscik, A., & Kreft, I. (2010). Flavonoid, tannin and hypericin concentrations in the leaves of St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.) are affected by UV-B radiation levels. *Food Chemistry, 122*, 471-474. https://doi.10.1016/j.foodchem.2010.03.008

Gonzalez-Villagra, J., Marjorie, R. D., Alberdi, M., Acevedo, P., Loyola, R., Tighe-Neira, R., & Inostroza-Blancheteau, C. (2020). Solar UV irradiation effects on photosynthetic performance, biochemical markers, and gene expression in highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, *259*, 108816. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108816

Han, D., Li, X., Xiong, S., Tu, S., Chen, Z., Li, J., & Xie, Z. (2013). Selenium uptake, speciation and stressed response of *Nicotiana tabacum* L. *Environmental and Experimental Botany*, *95*, 6-14. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.07.001.

Hollosy, F. (2002). Effects of ultraviolet radiation on plant cells. *Micron*, *33*(2), 179-197. https://doi.org/10.1016/S0968-4328(01)00011-7

Jovanovic, Z. S., Milosevic, J. D., & Radovic, S. R. (2006). Antioxidative enzymes in the response of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) to ultraviolet B radiation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *54*(25), 9472-9478. https://doi.10.1021/jf061324v

Krizek, D. T., Mirecki, R. M., & Britz, S. J. (1997). Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of cucumber. *Physiologia Plantarum*, *100*(4), 886-893. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1997.tb00014.x

Kumari, R. & Agrawal, S. B. (2010). Supplemental UV-B induced changes in leaf morphology, physiology and secondary metabolites of an Indian aromatic plant *Cymbopogon citratus* (DC) Staph under natural field conditions. *International Journal of Environmental Studies*, *67*(5), 655-675. https://doi.org/10.1080/00207233.2010.513828

Lazzarotto, F., Teixeira, F. K., Rosa, S. B., Dunand, C., Fernandes, C. L., de Vasconcelos Fontenele, A., ... & Margis-Pinheiro, M. (2011). Ascorbate peroxidase-related (APx-R) is a new heme-containing protein functionally associated with ascorbate peroxidase but evolutionarily divergent. *New Phytologist*, *191*(1), 234-250. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03659.x

Lee, M. J., Son, J. E., & Oh, M. M. (2014). Growth and phenolic compounds of *Lactuca sativa* L. grown in a closed-type plant production system with UV-A,-B, or-C lamp. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *94*(2), 197-204. https://doi.10.1002/jsfa.6227

Lichtenthaler, H. K. (1987). [34] Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, *148*, 350-382. https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1

Lutts, S., Kinet, J. M., & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, *78*(3), 389-398. https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134

Lutz, C., Schonauer, E., & Neuner, G. (2005). Physiological adaption to early spring conditions in green overwintering leaves of some alpine plants. *Phyton*, *45*, 139-156.

Mac-Adam, J. W., Nelson, C. J., & Sharp, R. E. (1992). Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue: I.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

Spatial distribution of ionically bound peroxidase activity in genotypes differing in length of the elongation zone. *Plant Physiology*, *99*(3), 872-878. https://doi.org/10.1104/pp.99.3.872

Maffei, M., Canova, D., Bertea, C. M., & Scannerini, S. (1999). UV-A effects on photomorphogenesis and essential-oil composition in *Mentha piperita*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, *52*(1-3), 105-110. https://doi.org/10.1016/S1011-1344(99)00110-4

Mahdavian, K., Ghorbanli, M., & Kalantari, K. (2008). The effects of ultraviolet radiation on the contents of chlorophyll, flavonoid, anthocyanin and proline in *Capsicum annuum* L. *Turkish Journal of Botany*, *32*(1), 25-33. https://doi.journals.tubitak.gov.tr/ botany/vol32/iss1/4

Majer, P., Czegeny, G., Sandor, G., Dix, P. J., & Hideg, E. (2014). Antioxidant defence in UV-irradiated tobacco leaves is centred on hydrogen-peroxide neutralization. *Plant Physiology and Biochemistry*, *82*, 239-243. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.06.011

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

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. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113381

Mumivand, H., Khanizadeh, P., Morshedloo, M. R., Sierka, E., Zuk-Gołaszewska, K., Horaczek, T., & Kalaji, H. M. (2021b). Improvement of growth, yield, seed production and phytochemical properties of *Satureja khuzistanica* jamzad by foliar application of boron and zinc. *Plants*, *10*(11), 2469. https://doi.org/10.3390/plants10112469

Mumivand, H., Shayganfar, A., Tsaniklidis, G., Emami Bistgani, Z., Fanourakis, D., & Nicola, S. (2022). 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

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

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. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.01.008

Posmyk, M. M., Kuran, H., Marciniak, K., & Janas, K. M. (2008). Presowing seed treatment with melatonin protects red cabbage seedlings against toxic copper ion concentrations. *Journal of Pineal Research*, *45*(1), 24-31. https://doi.10.1111/j.1600-079X.2007.00552. x

Prasad, S. M., Dwivedi, R., & Zeeshan, M. (2005). Growth, photosynthetic electron transport, and antioxidant responses of young soybean seedlings to simultaneous exposure of nickel and UV-B stress. *Photosynthetica*, *43*, 177-185. https://doi.org/10.1007/s11099-005-0031-0

Quettier-Deleu, C., Gressier, B., Vasseur, J., Dine, T., Brunet, C., Luyckx, M., ... & Trotin, F. (2000). Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour. *Journal of Ethnopharmacology*, *72*(1-2), 35-42. https://doi.org/10.1016/S0378-8741(00)00196-3

Racz, A., Hideg, E., & Czegeny, G. (2018). Selective responses of class III plant peroxidase isoforms to environmentally relevant UV-B doses. *Journal of Plant Physiology*, *221*, 101-106. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.12.010

Ravishankara, A. R., Paul, A., Newman, J., Pyle, A., & Ayite-Lo, A. (2010). Scientific assessment of Ozone Depletion. Executive summary. Prepared by the scientific assessment panel of the Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer. United Nations Environmental Protection Agency.

Salama, H. M., Al Watban, A. A., & Al-Fughom, A. T. (2011). Effect of ultraviolet radiation on chlorophyll, carotenoid, protein and proline contents of some annual desert plants. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *18*(1), 79-86. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2010.10.002

Santos, I., Fidalgo, F., Almeida, J. M., & Salema, R. (2004). Biochemical and ultrastructural changes in leaves of potato plants grown under supplementary UV-B radiation. *Plant Science*, *167*(4), 925-935. https://doi.10.1016/j.plantsci.2004.05.035

Shaoshan, L., Yan, W., & Songhao, L. (2000). Effects of UV-B radiation on lipid peroxidation in rice seedlings. *Acta Laser Biology Sinica*, *9*(1), 23-26.

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

Takahashi, S. & Badger, M. R. (2011). Photoprotection in plants: A new light on photosystem II damage. *Trends in Plant Science*, *16*(1), 53-60. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.10.001

Tsurunaga, Y., Takahashi, T., Katsube, T., Kudo, A., Kuramitsu, O., Ishiwata, M., & Matsumoto, S. (2013). Effects of UV-B irradiation on the levels of anthocyanin, rutin and radical scavenging activity of buckwheat sprouts. *Food Chemistry*, *141*(1), 552-556. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.032

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

Verdaguer, D., Jansen, M. A., Llorens, L., Morales, L. O., & Neugart, S. (2017). UV-A radiation effects on higher plants: Exploring the known unknown. *Plant Science*, *255*, 72-81. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.11.014

Wang, Q. F., Hou, Y. H., Miao, J. L., & Li, G. Y. (2009). Effect of UV-B radiation on the growth and antioxidant enzymes of Antarctic sea ice microalgae Chlamydomonas sp. ICE-L. *Acta Physiologiae Plantarum*, *31*, 1097-1102. https://doi:10.1016/S0076-6879(84)05016-3

Yannarelli, G. G., Gallego, S. M., & Tomaro, M. L. (2006). Effect of UV-B radiation on the activity and isoforms of enzymes with peroxidase activity in sunflower cotyledons. *Environmental and Experimental Botany*, *56*(2), 174-181. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.01.015

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

The effect of ultraviolet A and B radiation on morpho-physiological and antioxidants characteristics of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.)

Sahar Pirinezhad, Hasan Mumivand*, Abdollah Ehtsham Nia, Mohammad Reza Raji

Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran
(Received: 2023/08/29, Accepted: 2023/11/13)

Abstract

Over the past few decades, human industrial activities have significantly reduced the blocking effect of the ozone layer in the stratosphere. As a consequence, there has been an increase in the penetration of ultraviolet (UV) radiation to the Earth's surface. This amplified exposure to UV rays poses a serious threat to living organisms, particularly plants. In our study, we investigated the impact of UV-A and UV-B radiation on some morpho-physiological traits as well as enzymatic and non-enzymatic antioxidants of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). The study was conducted using a completely randomized design with three replications. UV radiation treatments were applied at three levels: control (no UV radiation), UV-A radiation, and UV-B radiation. The UV radiation was administered using broadband lamps manufactured by Q-Lab in the USA. These 40-watt lamps were employed for a duration of four hours per day. Our findings reveal that exposure to UV-B radiation resulted in a decrease in leaf dry weight, plant height, and the levels of chlorophyll a, b, and total chlorophyll by 29.57%, 13.44%, 17.7%, 33.77%, and 22.51%, respectively, compared to the control. Conversely, UV-B radiation led to an increase in the levels of non-enzymatic antioxidants such as carotenoids, phenols, and total flavonoids. Additionally, the activity of enzymatic antioxidants, including peroxidase, catalase, and ascorbate peroxidase enzymes, as well as the levels of proline and malondialdehyde, exhibited significant increases of 23.45%, 37.54%, 41.59%, 82.75%, 412.5%, 100%, 87.5%, and 359.32%, respectively, compared to the control. Regarding UV-A treatment, the levels of chlorophyll a, b, and total chlorophyll decreased. However, there was an increase in the levels of malondialdehyde, proline, and the activity of antioxidant enzymes catalase and peroxidase. Overall, the rosemary plants exposed to UV-B radiation exhibited higher quality in terms of medicinal and biological properties due to the increased presence of UV-absorbing compounds such as phenols, flavonoids, and carotenoids. However, it is worth noting that the yield of the plant decreased under UV-B treatment.

Keywords: Phenol, Flavonoid, Malondialdehyde, Photosynthetic pigments, Proline

Corresponding author, Email: mumivand.h@lu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]