تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد سوم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۰، ص ۱۴۹-۱۲۷

استفاده از اشعه فرابنفش به‌عنوان راهکاری جهت بهبود کارایی فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برای تولید عملکرد مطلوب در شرایط تنش خشکی

بهنوش رسایی[۱]، سعید جلالی‌هنرمند[۱]، مجید عبدلی[۲*]

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

* مسئول مکاتبه: Majid.abdoli64@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۸ **DOI: 10.22034/csrar.2021.226242.1065**

چکیده

در مناطق خشک، کمبود آب یکی از عوامل اصلی محدودیت تولید محصول است. به‌طوری‌که در این مناطق، میزان آب در دسترس جهت کشت‌وزرع به شدت پایین است؛ بنابراین علاوه بر مدیریت آب باید با یکسری از روش‌ها بر خشکی غلبه کرده و تولید محصول داشت. علی‌رغم اینکه دزهای شدید اشعه فرابنفش بر گیاهان و جانوران دارای اثرات مضری است ولی دزهای خفیف اشعه فرابنفش راهکار مناسبی است تا حساسیت گیاه را به تنش‌های محیطی من‌جمله خشکی کاهش داد. به‌طوری‌که در اثر اعمال اشعه‌های خفیف UV-A و UV-B، سازوکارهای دفاعی اعم از آنزیمی و غیرآنزیمی نسبت به شاهد (بدون اعمال اشعه فرابنفش) افزایش می‌یابد و سبب بهبود صفات فیزیولوژیکی می‌گردد و از سویی بر صفات کمی و کیفی محصول تولیدی اثر مثبت دارد. علی‌رغم اینکه در بیشتر موارد تنش خشکی و اشعه فرابنفش به‌صورت مجزا اثرات زیان‌باری بر گیاه دارند ولی برهم‌کنش دو عامل فوق به طور هم‌افزایی عمل می‌کند تا سازوکارهای دفاعی را در گیاه القا کنند، به‌طوری‌که اعمال اشعه فرابنفش موجب شد تا آسیب‌های احتمالی وارد شده توسط تنش بعدی (مثل خشکی) بر گیاه کاهش یابد.

واژه‌های کلیدی: اشعه فرابنفش، تنش خشکی، سازوکارهای دفاعی، کیفیت محصول، گیاهان زراعی، مناطق خشک

مقدمه

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های پیش روی کشاورزی در سال‌های اخیر، تولید غذا با مصرف آب کمتر می‌باشد. این موضوع به‌خصوص در کشورهایی که با محدودیت منابع آبی (مانند ایران) روبرو هستند دارای اهمیت ویژه‌ای است. تنش خشکی از مهم‌ترین فاکتورهای تنش‌زای محیطی است که تولید و بقای گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. واکنش گیاهان به تنش خشکی بسته به گونه گیاهی، شدت و مدت تنش و همچنین مرحله نموی متفاوت است (Bohnert and Jensen, 1996; Ghorbanli *et al*., 2013). در سال‌های اخیر، بحران کم‌آبی با گرم‌تر شدن کره زمین وضعیت حادتری به خود گرفته است و به‌سرعت در حال گسترش در سطح جهان می‌باشد (Mousavi *et al*., 2010). پیش‌بینی می‌شود که یک‌سوم جمعیت جهان در سال ۲۰۲۵ میلادی با تهدید کم‌آبی و شرایط خشکی مواجه می‌شوند (Mahkouti, 2016).

پرتو فرابنفش[1]، تشعشع الکترومغناطیسی با طول موج کوتاه و در محدوده ۲۰۰ الی ۴۰۰ نانومتر می‌باشد که بین اشعه ایکس و نور مرئی قرار دارد و برای چشم انسان غیرقابل‌مشاهده می‌باشد. طیف فرابنفش به سه دسته اصلی تقسیم شده است: ۱- طول موج بلند (UV-A) (۳۱۵ تا ۴۰۰ نانومتر)، ۲- طول موج متوسط (UV-B) (۲۸۰ تا ۳۱۵ نانومتر) و ۳- طول موج کوتاه (UV-C) (۲۰۰ تا ۲۸۰ نانومتر). میزان دریافت اشعه فرابنفش در سطح زمین به فاکتورهای مختلفی من‌جمله عوامل اتمسفری، غلظت لایه اوزون، رطوبت هوا، زاویه تابش نور خورشید نسبت به زمین، غلظت ذرات گردوغبار، پوشش ابر و پستی‌وبلندی زمین بستگی دارد. همچنین با افزایش ارتفاع از سطح زمین و کاهش عرض جغرافیایی، شدت آن به مقدار زیادی افزایش می‌یابد (Zhang and Björn, 2009).

1. Ultraviolet radiation (UV)

در جدول ۱ مشخصات پرتوهای مختلف فرابنفش قابل مشاهده است. خورشید ساطع کننده هر سه نوع پرتو فرابنفش می‌باشد و پرتوی UV-C، بیشترین میزان انرژی را دارد، اما مقدار UV-C رسیده به سطح زمین خیلی کم است زیرا این طیف از فرابنفش توسط لایه اوزون در اتمسفر جذب می‌شود (Katerova *et al*., 2009)، ولی این احتمال وجود دارد که به‌خاطر اثرات مخرب زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های بشر و افزایش ترکیبات آلوده‌کننده اتمسفر به‌ویژه ترکیبات هالوژن‌دار من‌جمله گاز کلروفلوروکربن‌ها[1]، هیدروکلروفلوروکربن‌ها[2] و متیل بروماید[3] سبب نازک شدن و تخریب لایه اوزون گردد که در این صورت میزان رسیده از اشعه فوق به‌خصوص UV-C به سطح زمین افزایش می‌یابد. دراین‌بین، بررسی‌های موقری و خسروی (Movaghari and Khosravi, 2014) نشان داد که در ایران در حدود ۴، ۵۴ و ۴۲ درصد از مساحت کشور به ترتیب از شاخص پرتوی فرابنفش متوسط، زیاد و خیلی زیاد برخوردار هستند. به‌طوری‌که استان‌های حاشیه دریای خزر دارای شاخص متوسط، نیمه شمالی کشور دارای شاخص زیاد و استان‌های جنوبی کشور دارای شاخص خیلی زیاد پرتوی فرابنفش بودند. این امر نشانگر تحت تأثیر قرار گرفتن وسعت زیادی از کشور ایران در پرتوی فرابنفش است که می‌تواند باعث بیماری‌های پوستی، چشمی، تخریب ماده ژنتیکی، اختلال در سیستم ایمنی بدن و پیری زودرس در انسان گردد.

دزهای شدید اشعه فرابنفش (به‌ویژه UV-C) به‌مانند تنش‌های محیطی (مانند تنش خشکی) بر گیاهان و جانوران دارای اثرات تخریبی است. آثار اشعه فرابنفش بر گیاهان به علت نیاز دائمی آنها به نور خورشید و عدم قابلیت حرکت (جابه‌جایی) اجتناب‌ناپذیر است. مطالعات انجام شده روی گونه‌های گیاهی مختلف آشکار کرده که دزهای شدید اشعه فرابنفش باعث تولید گونه‌های فعال اکسیژن[4] مانند اکسیژن منفرد، آنیون سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های هیدروکسیل و غیره می‌شوند. این گونه‌های فعال اکسیژن قابلیت واکنش‌پذیری زیادی با بیومولکول‌های زیستی دارند به‌طوری‌که سبب تخریب پروتئین‌ها و فسفولیپیدها در غشاءهای سلولی می‌شوند که این امر منجر به برهم زدن تعادل متابولیسمی در سلول‌ها، مختل شدن اعمال طبیعی سلول‌ها و در نهایت مرگ سلول‌ها و گیاه می‌شوند (Asada, 1999; Bischof *et al*., 2002). به‌طورکلی دامنه وسیعی از پاسخ‌های بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی، آناتومیکی، فنولوژیکی و رشدی در گیاهان به اثرات اشعه فرابنفش نسبت داده شده است. در گیاهان این اشعه سبب آسیب به DNA، ازدست‌رفتن ساختار کلروپلاست، کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی، کاهش هدایت روزنه‌ای و بازده فتوسنتزی (Ranjbarfordoei *et al*., 2011)، کاهش سنتز پروتئین و تخریب آن (Kargar Khorrami *et al*., 2013) و افت تولید زیست‌توده در گیاه می‌شود (Lutz *et al*., 2005; Salama *et al*., 2011; Daeihassani *et al*., 2017). دراین‌ارتباط رنجبر و موسوی (Ranjbar and Mousavi, 2018) طی تحقیقات خود بر روی گیاه کاهو اظهار کردند که شدت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، شدت تنفس و رنگدانه‌های فتوسنتزکننده (کلروفیل‌های a و b) با قرارگرفتن در معرض اشعه فرابنفش به طور قابل‌توجهی کاهش یافت. پور اکبر و عابدزاده (Pourakbar and Abedzadeh, 2014) گزارش کردند که پرتوهای UV-B و UV-C (پس از ۶ برگی و به مدت ۱۵ روز به‌صورت یک روز در میان و هر بار به مدت ۲۰ دقیقه برای UV-B و ۸ دقیقه برای UV-C) باعث کاهش وزن تر و خشک، کاهش رشد طولی ریشه و اندام هوایی و افـزایش میـزان مالون دی‌آلدئید شدند. دراین‌بین، تغییرات ایجاد شده در مورفولوژی گیاهان توسط اشعه‌ی فرابنفش شامل تغییر در شکل برگ، افزایش شاخه‌های جانبی، کاهش میان گره‌ها، کاهش وزن، کاهش سطح برگ و کاهش ارتفاع گیاه می‌باشد (Horii *et al*., 2007) که همگی آنها در نهایت بازدهی فتوسنتزی و میزان محصول تولیدی را تحت تأثیر قرار می‌دهند و سبب کاهش عملکرد کمی و کیفی می‌شوند.

اگرچه طیف‌های شدید اشعه فرابنفش به‌عنوان یک عامل مخرب شناخته شده است، اما برخی از مطالعات نشان داده که دزهای خفیف اشعه فرابنفش (انرژی معادل با ۹-۰/۵ کیلوژول بر مترمربع بسته به نوع اشعه) حساسیت گیاه را به تنش‌های محیطی من‌جمله خشکی (Katerova and Prinsen, 2008) و شوری (Ouhibi *et al*., 2014) کاهش می‌دهد. لازم به ذکر

1. Chlorofluorocarbons (CFCs)
2. Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs)
3. methyl bromide (MeBr)
4. Reactive oxygen species (ROS)

است که دز اشعه فرابنفش به: ۱- میزان انرژی تشعشع تابیده شده (که رابطه عکس با طول موج دارد)، ۲- نوع اشعه فرابنفش (UV-A ، UV-B و UV-C) و ۳- مدت‌زمان قرارگیری در معرض تشعشع دارد. البته مرحله فنولوژیک گیاه هم هنگام تابش اشعه فرابنفش اهمیت دارد که سبب واکنش مختلف در گیاهان و به‌دست‌آمدن نتایج متفاوت در تحقیقات گوناگون می‌شود؛ بنابراین درصورتی‌که کاربرد دزهای پایین اشعه 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. باتوجه‌به موارد فوق، تأثیر دزهای خفیف پرتوهای فرابنفش به‌عنوان راهکاری جهت بهبود کارایی فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در شرایط تنش مورد بررسی قرار می‌گیرد.

جدول ۱- مشخصات انواع پرتو فرابنفش
Table 1- Specifications of UV types

نام پرتو Ray name	علامت اختصاری Symbol	طول موج Wavelength (nm)	مقدار انرژی Amount of energy (photons)
پرتو فرابنفش A	UV-A	315-400	3.10-3.94 eV
پرتو فرابنفش B	UV-B	280-315	3.94-4.43 eV
پرتو فرابنفش C†	UV-C	200-280	4.43-12.4 eV

† پرتو فرابنفش C توسط لایه اوزون جذب می شود ولی با توجه به آسیب‌های زیست محیطی بشر، این لایه در برخی از نقاط کره زمین تحلیل رفته و صدمات پرتو فوق نمایانگر می‌شود.

اثرات اشعه فرابنفش بر سازوکارهای دفاعی و فعالیت‌های بیوشیمیایی

دزهای خفیف اشعه فرابنفش سبب تحریک سازوکارهای دفاعی در گیاه می‌شود که این موضوع در جهت حفاظت گیاه در مقابل تنش می‌باشد. این سازوکارهای دفاعی که گیاه از طریق آنها قادر است بر اثرات مضر تنش‌ها غلبه کند شامل: (۱) سازوکارهای آنزیمی (فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز، کاتالاز، گلوتاتیون ردوکتاز و غیره) و (۲) سازوکارهای غیرآنزیمی (تولید آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند آسکوربیک اسید، گلوتاتیون، آلفا-توکوفرول[1]، کاروتنوئیدها، آنتوسیانین‌ها، فلاونوئیدها، آلکالوئیدها و غیره) می‌باشد (Katerova *et al.*, 2012). در شکل ۱، اثر پرتو فرابنفش بر روی مولکول‌های زیستی، اجزای
سلولی و پاسخ‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی و راهبردهای تعدیلی و مکانیسم‌های ترمیمی قابل مشاهده است. این تغییرات می‌تواند در ایجاد مقاومت در برابر انواع تنش‌های محیطی نقش داشته باشد و گیاهان از این طریق قادرند که بر اثرات مضر انواع تنش‌های محیطی غلبه کنند. به‌عبارت‌دیگر مقابله گیاه با انواع تنش‌های محیطی به مقدار زیادی بستگی به این دارد که مقدار گونه‌های فعال اکسیژن توسط سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی پایین نگه‌داشته شود و از طرفی از میزان تولید آنها کاسته شود (Katerova *et al.*, 2012; Daneshmand, 2013). بر همین اساس در ابتدا به تأثیر اشعه فرابنفش بر سازوکارهای آنزیمی و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی پرداخته می‌شود و سپس سازوکارهای غیرآنزیمی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

اثرات اشعه فرابنفش بر سازوکارهای آنزیمی

در ارتباط با تأثیر نوع اشعه فرابنفش بر روی سازوکارهای آنزیمی، نتایج تحقیقات رسایی (Rasaei, 2018) بر روی گوجه‌فرنگی نشان داد که در اثر اعمال اشعه‌های خفیف UV-A و UV-B و همچنین UV-C (۲ کیلوژول بر مترمربع در روز) سرعت فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز نسبت به شاهد (بدون اعمال اشعه فرابنفش) به ترتیب افزایش و کاهش یافت. همچنین رفیع نیا (Rafinia, 2012) در مطالعات خود گزارش کرد که میزان ترکیبات جاذب فرابنفش و

1. α-tocopherol

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و گالایکول پراکسیداز تحت تأثیر اشعه‌ی UV-B و یا تنش خشکی افزایش نشان دادند. میزان حساسیت و نوع پاسخ گیاهان به اشعه فرابنفش در هر یک از مراحل مختلف رشد و نمو گیاه ممکن است تغییر پیدا کند (Wang *et al*., 2008). بررسی‌ها نشان داد که اشعه UV-A و UV-B سبب افزایش سازوکارهای دفاعی من‌جمله افزایش سرعت فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز شده است، به‌طوری سبب کنترل یا حذف مؤثر گونه‌های فعال اکسیژن شده و میزان آسیب به غشاء را توسط این ترکیبات کم و پایداری غشاء سلولی را در پی داشته است. درحالی‌که اشعه UV-C اثرات مخربی بر سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی داشت (Rasaei, 2018). افزایش سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در معرض اشعه فرابنفش قبلاً در گیاهان زراعی و دارویی مانند سیب‌زمینی (Santos *et al*., 2004)، فلفل قلمی (Hosseini Sarghein *et al*., 2012) و بادرنجبویه (Pourakbar and Abedzadeh, 2014) گزارش شده است. حسینی سرقین و همکاران (Hosseini Sarghein *et al*., 2012) طی بررسی‌های خود بر روی فلفل قلمی عنوان کردند که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی آسکوربات پراکسیداز[1] و گایکول پراکسیداز[2] در تیمار فرابنفش با UV-A و مخصوصاً UV-C افزایش یافت. دراین‌بین تحت تأثیر اشعه UV-C سرعت فعالیت آنزیم گایکول پراکسیداز و در اثر اشعه‌های UV-A و UV-C سرعت فعالیت آسکوربات پراکسیداز به طور قابل‌توجهی افزایش یافتند. به نظر می‌رسد که پرتوهای فرابنفش بر روی ژن‌هایی که در سنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی دخیل هستند تأثیر گذاشته و رونویسی آنها را افزایش می‌دهد و از طرفی ممکن است با تحریک تولید گونه‌های فعال اکسیژن به‌عنوان سیگنالی عمل نماید که فعالیت آنزیم‌های فوق را افزایش دهد. این موارد نشان می‌دهد که دزهای اشعه فرابنفش به مانند واکسن عمل می‌کند و موجب تحریک مکانیزم‌های آنزیمی می‌شود و گیاه را در برابر تنش‌های احتمالی بعدی مانند کم‌آبی آماده می‌نماید.

اثرات اشعه فرابنفش بر سازوکارهای غیرآنزیمی

کاروتنوئیدها جزء سازوکارهای غیرآنزیمی گیاه در شرایط تنش‌های محیطی می‌باشند. گیاه به‌منظور مقابله با تنش‌های اکسیداتیو، محتوای این رنگدانه را افزایش می‌دهد. ازآنجاکه کاروتنوئیدها نقش مؤثری در حفظ غشاءهای کلروپلاستی و دیگر غشاءهای فتوسنتزی دارند، پس کاهش آن می‌تواند منجر به کاهش، کند و یا متوقف شدن فعالیت‌های فتوسنتزی در گیاه گردد (Saleh, 2007). در این مورد، خلیلی و همکاران (Khalili *et al*., 2019) گزارش کرد که تابش اشعه UV-A به مدت ۹ روز سبب افزایش ۴۲ درصدی مقدار کاروتنوئیدها در گیاه درمنه کوهی شد. همچنین ایبانز و همکاران (Ibañez *et al*., 2017) در مطالعه ارقام گوجه‌فرنگی بیان کردند که کاربرد اشعه فرابنفش UV-B سبب افزایش محتوای کاروتنوئیدها در برگ گردید. آقایی‌زاده قوشچی و همکاران (Aghaiezadeh Ghoushchi *et al*., 2015) در مطالعات خود بر روی ذرت گزارش کردند که از بین صفات فیزیولوژیک موردمطالعه فقط محتوای کاروتنوئیدها در گیاهان تحت تنش اشعه فرابنفش نسبت به گیاهان شاهد (بدون تنش فرابنفش) افزایش یافت. تأثیر اشعه فرابنفش در افزایش محتوای کاروتنوئیدها در اغلب گیاهان به اثبات رسیده است که این مورد در ارتباط با نقش آن در حفاظت از ساختارهای فتوسنتزی در برابر اثرات مضر و مخرب این اشعه می‌باشد (Balouchi *et al*., 2008; Salama *et al*., 2011; Piri *et al*., 2011; Prado *et al*., 2012).

علاوه بر کاروتنوئیدها ترکیبات دیگری مثل آنتوسیانین‌ها، ترکیبات فنولیک و فلاونوئیدها در زمره سازوکارهای غیرآنزیمی جای می‌گیرند. نقش کلیدی آنتوسیانین‌ها در محافظت گیاه در برابر تنش اکسیداتیو ثابت شده است (Gao, 2004). بر اساس نتایج بدست آمده از تحقیقات رسایی (Rasaei, 2018) محتوای آنتوسیانین‌ها در اثر اعمال اشعه‌های خفیف فرابنفش UV-A و UV-B و همچنین UV-C افزایش یافت. احتمالاً افزایش محتوای آنتوسیانین‌ها تحت شرایط فرابنفش به‌عنوان یکی از سازوکارهای دفاعی در گیاه صورت می‌گیرد. قناتی و همکاران (Ghanati *et al*., 2006) بر این عقیده هستند که افزایش مقدار آنتوسیانین و فلاونوئید در گیاه نشان‌دهنده راهبرد دفاعی گیاه در برابر پرتوهای فرابنفش باتوجه‌به خواص آنتی‌اکسیدانی این ترکیبات است. در این مورد گزارش شده است که بیان ژن‌های بیوسنتز آنتوسیانین‌ها توسط

1. Ascorbate peroxidase (APX)
2. Guaiacol peroxidase (GPOX)

اشعه فرابنفش تنظیم می‌شود به‌طوری‌که اشعه فرابنفش به‌عنوان یک محرک محیطی بر محتوای آنتوسیانین‌ها تأثیرگذار است (Wang *et al*., 2009; Guo and wang, 2010; Li *et al*., 2014). از طرفی، ترکیبات فنیل پروپانوئیدی مانند مشتقات هیدروکسی سینامیک اسید و فلاونوئیدهایی مانند فلاوون‌ها، فلاوونول‌ها و نیز آنتوسیانین‌ها باعث جذب اشعه فرابنفش می‌شوند (Hoque and Remuss, 1999). تجمع بالای این ترکیبات و رنگیزه‌ها در اپیدرم و یا واکوئل گیاهانی که در معرض اشعه فرابنفش واقع شده‌اند، از جمله پاسخ‌های گیاهی در برابر این تنش محسوب می‌شود (Buer *et al*., 2010). آنتوسیانین‌ها از ترکیبات فنولی مشتق شده از مسیر بیوسنتز فلاونوئیدها هستند. پس تحت تأثیر اشعه فرابنفش فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز[1] و آنزیم کالکون سنتاز[2] که هر دو نقش اساسی در بیوسنتز فلاونوئیدها دارند، افزایش می‌یابد (Liu, 2012; Liu *et al*., 2013; Liu *et al*., 2015)، که به طور مستقیم سبب افزایش فلاونوئیدها می‌گردد و به طور غیرمستقیم افزایش آنتوسیانین‌ها را در پی دارد که هر دو این ترکیبات خاصیت فیلتر کردن اشعه فرابنفش را دارند (Gould *et al*., 2008).

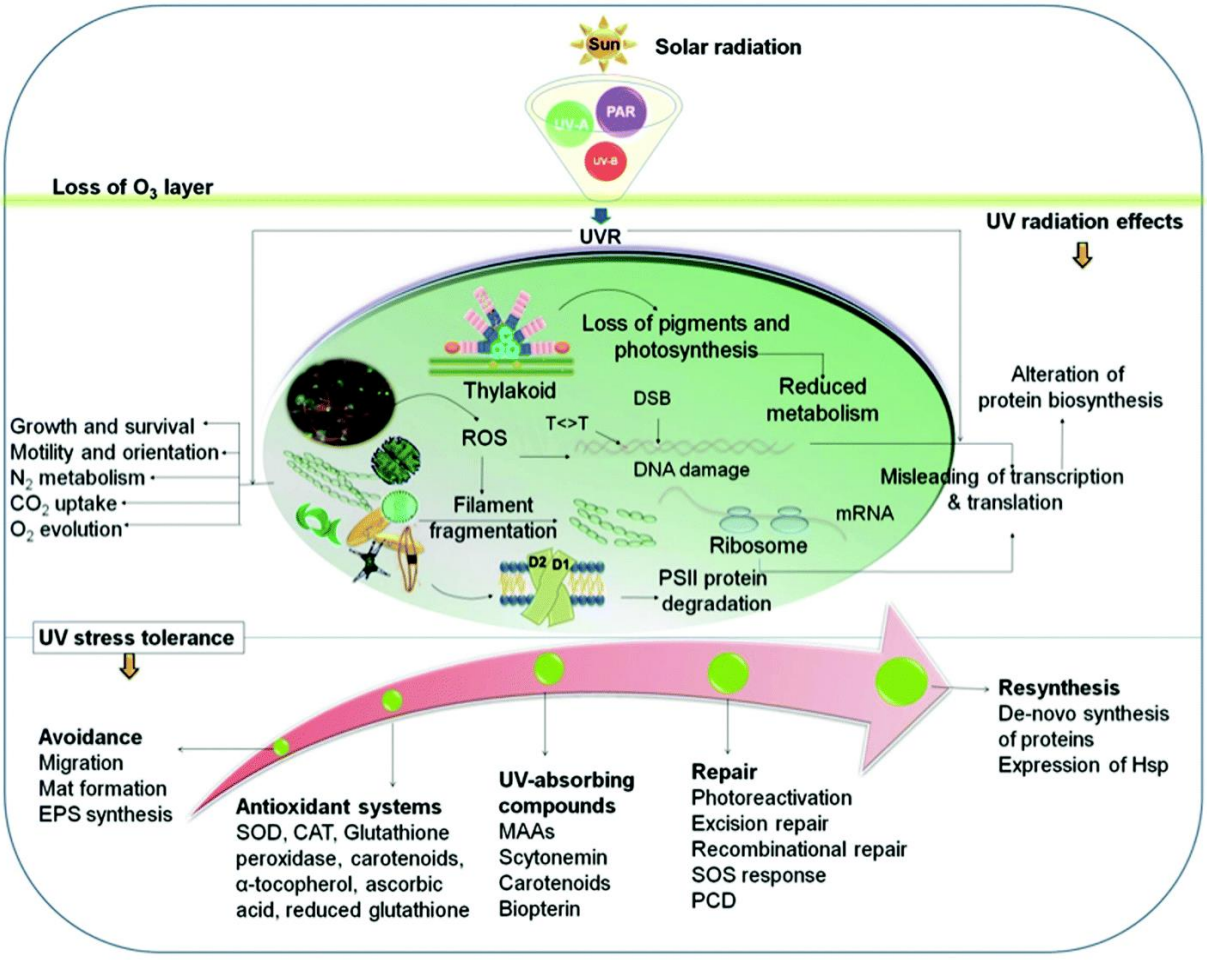
در واقع کاربرد دزهای پایین اشعه فرابنفش تغییراتی را در متابولیت‌های ثانویه مثل ترکیبات فنولیک و فلاونوئیدها ایجاد می‌کند که نقش این ترکیبات، حفاظت از گیاه در مقابل تنش‌های محیطی می‌باشد (Katerova and Prinsen, 2008). در این راستا، رنجبر و موسوی (Ranjbar and Mousavi, 2018) اعلام کردند که تراکم آنتوسیانین‌ها در برگ کاهو با اشعه فرابنفش UV-B (۶ ساعت در روز با شدت ۷/۳۵ کیلوژول بر مترمربع به مدت ۳۰ روز) و یا به‌صورت ترکیبی با کادمیوم افزایش یافت. نوری و همکاران (Noori *et al*., 2012) طی بررسی‌های خود روی یونجه تاجی بیان کردند که ایجاد تغییرات فیتوشیمیایی شامل تغییر در نوع و تعداد فلاونوئیدها، جزو واکنش‌های دفاعی گیاه در برابر پرتوی UV-C است. دایی حسنی و همکاران (Daeihassani *et al*., 2017) در بررسی تأثیر تنش اشعه فرابنفش UV-C (۳ دقیقه در روز با شدت ۱۲ کیلوژول بر مترمربع به مدت ۱۴ روز) بر پاسخ‌های مختلف فیزیولوژیک در گیاه تربچه بیان کردند که پرتوی UV-C باعث افزایش میزان فنول کل، آمینواسید کل و ترکیبات جاذب فرابنفش مانند آنتوسیانین‌ها و فلاونوئیدها شد. همچنین افزایش مقاومت به تنش شوری همراه با تجمع سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی در بذرهای کاهو پرایم شده با اشعه UV-C مشاهده شده است (Ouhibi *et al*., 2014).

اشعه‌های خفیف فرابنفش سنتز پلی‌آمین‌ها و پروتئین‌های شوک حرارتی[3] که قسمتی از سیستم‌های دفاعی طبیعی در گیاه هستند را نیز فعال می‌کنند. این ترکیبات سبب می‌شوند که گیاهان در مقابل تنش‌های بعدی محافظت شوند. تحقیقات نشان داده است که اعمال اشعه فرابنفش باعث سنتز پروتئین‌های پاسخ‌دهنده به تنش می‌شود که این پروتئین‌ها از طریق ترمیم مولکول‌های آسیب‌دیده، گیاه را در شرایط تنش مقاوم می‌کنند (Casati *et al*., 2005). دراین‌ارتباط برخی از محققین بیان کردند که دزهای پایین UV-B (کمتر از یک میکرو مول بر مترمربع در ثانیه) ضمن اینکه به DNA آسیب نمی‌رساند بلکه سبب تحریک واکنش‌های حفاظتی و پاسخ‌های فتومورفوژنیک[4] می‌شود که بر افزایش مقاومت گیاه به انواع تنش‌های محیطی تأثیرگذار است (Ballare´ *et al*., 1991; Kim *et al*., 1998; Boccalandro *et al*., 2001; Suesslin and Frohnmeyer, 2003). دراین‌بین، دهیدرین‌ها گروهی از پروتئین‌ها هستند که به‌عنوان چپرون‌ها در تنظیم اسمزی، حفظ پایداری ماکرومولکول‌ها در پروتوپلاسم، پایداری وزیکول‌ها، پروتئین‌ها و ساختار غشایی تحت شرایط تنش نقش اساسی دارند (Poulson *et al*., 2006). پس افزایش این ترکیب در کاهش خسارات ناشی از تنش مهم و کلیدی است.

اثرات اشعه فرابنفش بر صفات فیزیولوژیکی

نتایج متفاوتی در مورد تأثیر اشعه فرابنفش بر صفات فیزیولوژیکی مختلف من‌جمله محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، محتوای نسبی آب برگ، حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II، پایداری غشاء سلولی و غیره بدست آمده است که به تفکیک مورد بررسی قرار می‌گیرد و به طور خلاصه نتایج تحقیقات برخی از محققین در این زمینه در جداول ۲، ۳ و ۴ ارائه شده است.

1. Phenylalanine ammonia-lyase (PAL)
2. Chalcone synthase (CHS)
3. Heat shock proteins (HSPs)
4. Photomorphogenic responses



شکل ۱- اثر پرتو فرابنفش بر روی مولکول‌های زیستی، اجزای سلولی و پاسخ‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی و راهبردهای تعدیلی و مکانیسم‌های ترمیمی (Häder *et al.*, 2015)

Figure 1- Effect of ultraviolet radiation on biological molecules, cellular components and physiological and biochemical responses and modulation strategies and restorative mechanisms (Häder *et al.*, 2015)

در ارتباط با رنگیزه‌های فتوسنتزی، ساری‌خانی (Sarikhani, 2014) طی بررسی نعناع فلفلی دریافت که تابش اشعه UV-A با شدت ۷/۵ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه به مدت ۱ و ۲ ساعت تأثیری بر محتوای کلروفیل a، b و کل نداشته و سبب کاهش آنها نشد ولی تابش اشعه فوق به مدت ۴ ساعت سبب کاهش محتوای کلروفیل a، b و کل به ترتیب به میزان ۵۹/۸، ۴۱/۹ و ۵۴/۵ درصد نسبت به شاهد شد. همچنین کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاه آرتیشو با تابش اشعه UV-A به مدت ۱، ۲ و ۴ ساعت توسط شاهبداغلو و همکاران (Shahbodaghlo *et al.*, 2017) گزارش شده است. درحالی‌که نونز-اولیورا و همکاران (Nuñez-Olivera *et al.*, 2006) دریافتند که محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها در انگور تیمار شده با UV-B افزایش یافت. در مقابل، رنجبر و موسوی (Ranjbar and Mousavi, 2018) در بررسی اثر تیمارهای اشعه UV-B و کادمیوم بر صفات فیزیولوژیک گیاه کاهو گزارش کردند که در گیاهان قرار گرفته در معرض اشعه فرابنفش، محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی مخصوصاً کلروفیل‌های a و b به طور چشمگیری کاهش یافت. ارمرود و هاله (Ormrod and Hale, 2000)، لوتز و همکاران (Lutz *et al.*, 2005) و آقایی‌زاده قوشچی و همکاران (Aghaiezadeh Ghoushchi *et al.*, 2015) نیز کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی را تحت تأثیر اشعه فرابنفش در گیاه بیان کردند. دراین‌ارتباط، نتایج تحقیقات رسایی (Rasaei, 2018) نشان داد که تحت تأثیر طیف‌های مختلف فرابنفش محتوای کلروفیل a، b و کل در برگ‌های گوجه‌فرنگی کاهش یافت. بااین‌حال برای کلروفیل کل بین شاهد و اشعه فرابنفش UV-A و UV-B اختلاف آماری وجود نداشت و

اشعه UV-C کمترین میزان صفت فوق را به خود اختصاص داد. از علل کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌توان به تخریب رنگدانه‌ها و جلوگیری از مسیرهای بیوسنتز آنها تحت اشعه فرابنفش اشاره کرد (Noori *et al.*, 2012). تحقیقات دایی حسنی و همکاران (Daeihassani *et al.*, 2017) بر روی تربچه نشان داد که میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کل)، محتوای قندها و پروتئین‌های محلول در اثر اعمال اشعه UV-C کاهش یافت. این نتایج متفاوت که از تحقیقات گوناگون بدست آمده است احتمالاً به‌خاطر نوع گیاه و پرتوی فرابنفش مورد استفاده باشد، اما به‌طورکلی اشعه UV-C اثرات مخربی بر رنگدانه‌های فتوسنتزی نسبت به اشعه‌های UV-A و UV-B دارد.

محتوای بالاتر آب نسبی برگ[1] به معنی توانایی برگ در حفظ مقادیر بیشتر آب در شرایط تنش است. محتوای نسبی آب بالاتر برگ ممکن است از طریق قابلیت تنظیم اسمزی و یا توانایی ریشه در جذب آب حاصل شود. در این مورد، نتایج حاجی حسینلو و همکاران (Hagihosseinlo *et al.*, 2016) روی گیاه کدو نشان داد که محتوای نسبی آب برگ در تنش توأم خشکی و اشعه UV-B در مقایسه با تنش خشکی بیشتر بود. پولسون و همکاران (Poulson *et al.*, 2006) طی تحقیقات خود نشان دادند که اشعه فرابنفش در محدوده UV-B اثرات خشکی را از طریق کاهش هدر روی آب گیاه تعدیل می‌کند. در مقابل، رفیع نیا (Rafinia, 2012) طی تحقیقات خود بر روی یونجه گزارش کرد که محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی، تحت تأثیر اشعه UV-B و یا ترکیب دو تنش نسبت به گیاهان شاهد کاهش یافت. بر اساس نتایج رسایی (Rasaei, 2018) مشخص شد که در شرایط آبیاری کامل کاربرد اشعه UV-A و UV-B به میزان ۲ کیلوژول بر مترمربع سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ شد، درحالی‌که در شرایط تنش کم‌آبی کاربرد اشعه UV-C با همین میزان انرژی سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ گوجه‌فرنگی نسبت به شاهد شد. این امر مؤید این مطلب است که در شرایط عدم محدودیت رطوبتی، اعمال پرتوی خفیف UV-A و UV-B بر محتوای نسبی آب برگ مثبت است ولی در شرایط تنش کم‌آبی، اعمال پرتوی UV-C اثر مضری بر صفت فوق دارد. احتمالاً اشعه UV-C به دلیل شدت خسارت باعث تخریب غشاء و خروج آب و مواد معدنی از سلول و در نتیجه کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌شود، پس در نتیجه باعث کاهش پایداری غشاء سلولی می‌گردد. باتوجه‌به اینکه در شرایط تنش کم‌آبی، میزان آب در دسترس گیاه تقلیل می‌یابد و از سوی دیگر اشعه UV-C نسبت به بقیه اشعه‌های فرابنفش دارای طول موج کوتاه و پرانرژی تر است و ممکن صدماتی را به غشاءهای سلولی وارد کند. پس ترکیب این دو عامل منجر به آسیب‌های چشمگیری در گیاه می‌گردد و تقلیل محتوای نسبی آب برگ را در پی خواهد داشت.

حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های مؤثر در بررسی بازده فتوسنتزی است. نتایج حاصل از تحقیقات رسایی (Rasaei, 2018) نشان داد که حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II در شرایط آبیاری کامل و تحت عدم تابش (شاهد) و تابش اشعه فرابنفش UV-A و UV-B بدست آمد درحالی‌که کمترین میزان آن در شرایط تنش کم‌آبی و تابش UV-C حاصل شد. با توجه به اینکه در شرایط آبیاری مطلوب شرایط فیزیولوژیکی و رشدی گیاه مطلوب است احتمالاً پرتوی خفیف UV-A و UV-B به مانند یک محرک عمل کرده که این امر در افزایش حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II مؤثر بوده ولی در شرایط تنش رطوبتی تابش پرتوی UV-C به‌خاطر نوع و خاصیت این طول موج اثرات خسارت را دوچندان کرده است. پرتوی اشعه خفیف UV-A و UV-B بر روی گشودگی روزنه‌ها تأثیر مثبت دارد که این امر سبب افزایش دسترسی گیاه به دی‌اکسیدکربن و افزایش فعالیت آنزیم رابیسکو کربوکسیلاز-اکسیژناز[2] و افزایش کارایی سیستم فتوسنتزی گیاه می‌شود و همچنین اشعه UV-A و UV-B در شرایط آبیاری مطلوب منجر به افزایش محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها می‌گردد پس ظرفیت فتوسنتزی افزایش یافته و منجر به افزایش کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II نسبت به شاهد می‌شود. تحقیقات رحیم‌زاده کاروانسرا (Rahimzadeh-Karvansara, 2019) نشان داد که اشعه UV-B سبب کاهش کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II در چغندرقند شد که افزایش شدت تشعشع فوق از ۳/۰۴۲ به ۹/۱۲۶ کیلوژول بر مترمربع موجب کاهش ۳۲ درصدی صفت فوق گردید.

1. Relative water content (RWC)

2. Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (Rubisco)

جدول ۲- اثرات مثبت و منفی اشعه فرابنفش A بر صفات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد گیاه

Table 2- Effects of positive and negative of UV-A ray on characteristics of physiological, biochimical and plant yield

منبع Reference	اثرات Effects	نوع گیاه Plant type	مرحله رشدی Developmental stage	مدت‌زمان قرارگیری Duration of placement	شدت Intensity	طول موج (نانومتر) Wavelength (nm)	نوع اشعه Ray type
Enteshari *et al*., 2005	- عدم تأثیر بر محتوای کاروتنوئید و کلروفیل a، b و کل. - عدم تأثیر بر محتوای فلاونوئید و آنتوسیانین. - عدم تأثیر بر ترکیبات جاذب اشعه فرابنفش در برگ.	سویا (*Glycine max* L.)	پس از پهن شدن دومین برگ سه برگچه‌ای After spreading the second leaf	20 min/day (for 8 day)	2.75 V/m^2	380	UV-A
Hosseini Sarghein *et al*., 2012	- کاهش میزان پروتئین‌ها (در اندام هوایی و ریشه). - افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز.	فلفل قلمی (*Capsicum longum*)	رشد رویشی Vegetative growth	For 15 day	18.9 KJ/m^2.day	-	UV-A
Kargar Khorrami *et al*., 2013	- عدم تأثیر بر صفات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه.	بامیه (*Hibiscus esculentus* L.)	رشد رویشی Vegetative growth	20 min/day (for 12 day)	-	362	UV-A
Sarikhani, 2014	- کاهش سطح برگ و محتوای کلروفیل a، b و کل. - افزایش ترکیبات فنلی و محتوای اسانس.	نعناع فلفلی (*Mentha piperita*)	گیاهچه Seedling	4 h/day	7.5 uM/m^2.s	365	UV-A + نور خورشید
Shahbodaghlo *et al*., 2017	- کاهش وزن تر و خشک گیاه. - کاهش کلروفیل a، b و کل. - کاهش میزان سینارین برگ. - افزایش محتوای فنل کل، فلاونوئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی.	آرتیشو (*Cynara scolymus* L.)	گیاهچه Seedling	4 h/day (for 40 day)	-	360	UV-A + نور خورشید

جدول ۳- اثرات مثبت و منفی اشعه فرابنفش B بر صفات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد گیاه

Table 3- Effects of positive and negative of UV-B ray on characteristics of physiological, biochimical and plant yield

منبع Reference	اثرات Effects	نوع گیاه Plant type	مرحله رشدی Developmental stage	مدت‌زمان قرارگیری Duration of placement	شدت Intensity	طول موج (نانومتر) Wavelength (nm)	نوع اشعه Ray type
Enteshari *et al*., 2005	- عدم تأثیر بر محتوای کاروتنوئید و کلروفیل کل. - افزایش محتوای فلاونوئید و آنتوسیانین. - افزایش ترکیبات جاذب اشعه فرابنفش در برگ.	سویا (*Glycine max* L.)	پس از پهن شدن دومین برگ سه برگچه‌ای After spreading the second leaf	20 min/day (for 8 day)	1.15 V/m^2	312	UV-B
Balouchi *et al*., 2008	- کاهش کلروفیل a، b و کل. - افزایش میزان آنتوسیانین، فلاونوئید و کاروتنوئید.	گندم دوروم (*Triticum turgidum* L.)	ابتدای سنبله رفتن تا آخر گلدهی Start heading to end of flowering	60 min/day	-	-	UV-B
Kargar Khorrami *et al*., 2013	- کاهش وزن تر و خشک برگ، ساقه و ریشه. - کاهش کلروفیل a و کاروتنوئید. - کاهش محتوای پروتئین و قندهای محلول.	بامیه (*Hibiscus esculentus* L.)	رشد رویشی Vegetative growth	20 min/day (for 12 day)	-	312	UV-B
Ranjbar and Mousavi, 2018	- کاهش سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، شدت تنفس و تراکم آنتوسیانین.	کاهو (*Lactuca sativa*)	گیاهچه Seedling	6 h/day (for 30 day)	7.35 KJ/m^2.day	280-315	UV-B

ادامه جدول ۳

Table 3 continuation

منبع Reference	اثرات Effects	نوع گیاه Plant type	مرحله رشدی Developmental stage	مدت‌زمان قرارگیری Duration of placement	شدت Intensity	طول موج (نانومتر) Wavelength (nm)	نوع اشعه Ray type
Pourakbar and Abedzadeh, 2014	- کاهش طول ساقه و ریشه و وزن تر و خشک گیاه. - افزایش میزان پراکسید هیدروژن و محتوای مالون دی‌آلدئید در ساقه و ریشه. - افزایش فعالیت آنزیم‌های گایکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز در ساقه و ریشه.	بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.)	پس از مرحله ۶ برگی After the 6 leaves stage	20 min/day (for 15 day, a day in between)	-	312	UV-B
Pourakbar and Abedzadeh, 2015	- کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کاروتنوئید)، میزان قندها و پروتئین‌های محلول. - افزایش میزان فعالیت فنیل‌آلانین آمونیالیاز و ترکیبات جاذب فرابنفش.	بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.)	رشد رویشی (پس از ۶ برگی) Vegetative growth (after the 6 leaves stage)	20 min/day (for 15 day)	-	-	UV-B
Shiati *et al*., 2016	- کاهش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی، میزان قند محلول و میزان پروتئین محلول (در اندام هوایی و ریشه). - افزایش میزان مالون دی‌آلدئید و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی من‌جمله آسکوربات پراکسیداز، گایکول پراکسیداز (در اندام هوایی و ریشه).	کتان (*Linum usitatissimum* L.)	رشد رویشی Vegetative growth	1 h/day (for 14 day)	-	312	UV-B
Tohidi Moghadam *et al*., 2016	- کاهش تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و عملکرد دانه. - کاهش عملکرد روغن. - کاهش عملکرد کوانتومی فتوسیستم II. - افزایش میزان فلاونوئید و آنتوسیانین.	کلزا پاییزه (*Brassica napus* L.)	ابتدا تا اواخر گلدهی From beginning to end of flowering	60 min/day	25 uV/cm^2	-	UV-B
Rahimzadeh-Karvansara, 2019	- کاهش ارتفاع و وزن تر و خشک اندام هوایی. - کاهش سرعت فتوسنتز، محتوای کلروفیل نسبی، رنگدانه‌های فتوسنتزی، محتوای قندهای محلول و کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II. - افزایش مقدار فلاونوئیدها و ترکیبات فنلی کل. - افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، محتوای بتائین‌ها (بتانین و بتاگزانتین)، محتوای پروتئین کل، اسمولیت‌های سازگار، محتوی پرولین، گلایسین بتائین و اسیدهای آمینه آزاد. - سبب هیچگونه شکستی در DNA نشد ولی موجب تغییر الگوی الکتروفورتیکی پروتئین‌ها شد.	چغندرقند (*Beta vulgaris*)	رشد رویشی Vegetative growth	For 7 day	9.126 $KJ/m^2.day$	-	UV-B

جدول ۴- اثرات مثبت و منفی اشعه فرابنفش C بر صفات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد گیاه

Table 4- Effects of positive and negative of UV-C ray on characteristics of physiological, biochemical and plant yield

منبع Reference	اثرات Effects	نوع گیاه Plant type	مرحله رشدی Developmental stage	مدت‌زمان قرارگیری Duration of placement	شدت Intensity	طول موج Wavelength (nm)	نوع اشعه Ray type
Enteshari *et al*., 2005	- کاهش محتوای کاروتنوئید و کلروفیل a، b و کل. - افزایش مقدار فلاونوئید و آنتوسیانین. - افزایش ترکیبات جاذب اشعه فرابنفش در برگ.	سویا (Glycine max L.)	پس از پهن شدن دومین برگ سه برگچه‌ای After spreading the second leaf	3 min/day (for 4 day)	2.66 V/m^2	254	UV-C
Balouchi *et al*., 2008	- کاهش کلروفیل a، b و کل. - کاهش محتوای فلاونوئید و کاروتنوئید. - افزایش میزان آنتوسیانین.	گندم دوروم (*Triticum turgidum* L.)	ابتدای سنبله رفتن تا آخر گلدهی Start heading to end of flowering	60 min/day	-	-	UV-C
Hosseini Sarghein *et al*., 2012	- کاهش میزان پروتئین‌ها (در اندام هوایی و ریشه) و قندهای محلول (در اندام هوایی). - افزایش میزان مالون دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بویژه آسکوربات پراکسیداز و گایکول پراکسیداز.	فلفل قلمی (*Capsicum longum*)	رشد رویشی Vegetative growth	For 8 day	17.2 KJ/m^2.day	-	UV-C
Kargar Khorrami *et al*., 2013	- کاهش طول و وزن تر و خشک ریشه و ساقه. - کاهش وزن تر، خشک و سطح برگ و صفات مرفولوژیکی برگ. - کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کاروتنوئید)، محتوای پروتئین و قندهای محلول.	بامیه (*Hibiscus esculentus* L.)	رشد رویشی Vegetative growth	10 min/day (for 12 day)	-	254	UV-C
Pourakbar and Abedzadeh, 2014	- کاهش طول ساقه و ریشه و وزن تر و خشک گیاه. - افزایش میزان پراکسید هیدروژن و محتوای مالون دی‌آلدئید در ساقه و ریشه. - افزایش فعالیت آنزیم‌های گایکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز در ساقه و ریشه.	بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.)	پس از مرحله ۶ برگی After the 6 leaves stage	8 min/day (for 15 day, a day in between)	17.2 KJ/m^2.day	-	UV-C
Tohidi Moghadam *et al*., 2016	- کاهش تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و عملکرد دانه و عملکرد روغن. - کاهش عملکرد کوانتومی فتوسیستم II. - افزایش میزان فلاونوئید و آنتوسیانین.	کلزا پاییزه (*Brassica napus* L.)	ابتدا تا اواخر گلدهی From beginning to end of flowering	60 min/day	40 uV/cm^2	-	UV-C
Daeihassani *et al*., 2017	- کاهش وزن خشک ساقه و ریشه و سطح برگ. - کاهش کلروفیل a، b و کل. - کاهش میزان قندهای محلول و میزان پروتئین. - افزایش مقدار کاروتنوئید، فلاونوئید و آنتوسیانین. - افزایش میزان فنل کل، پرولین و اسیدهای آمینه آزاد.	تربچه (*Raphanus sativus* L.)	رشد رویشی Vegetative growth	3 min/day (for 14 day)	12 KJ/m^2	254	UV-C
Rasaei *et al*., 2020	- کاهش محتوای آب نسبی برگ، وزن خشک شاخساره و سطح برگ.	گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.)	۴-۵ برگی 4-5 leaves satge	3 min/day (for 3 day)	2 KJ/m^2	-	UV-C

کاهش در میزان کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II تحت اشعه‌های فرابنفش (مخصوصاً UV-C) به‌خاطر این است که اشعه UV-C باعث تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن شده و آنها باعث تخریب غشاء به ویژه غشاء تیلاکوئیدی شده‌اند که این امر سبب کاهش فتوسنتز و کاهش انتقال الکترون گشته است که پیامد آن کاهش F_m و کاهش کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II است و همچنین بخاطر تأثیر مخرب و منفی این اشعه بر روی پروتئین‌های D_1 و D_2 در فتوسیستم II است. دراین‌ارتباط، اولسن و همکاران (Olsson *et al*., 2000) و توحیدی مقدم و همکاران (Tohidi Moghadam *et al*., 2016) بیان کردند که کاهش در میزان کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II تحت اشعه فرابنفش نشان‌دهنده آسیب به پروتئین‌های D_1 و D_2 در فتوسیستم II است و با تخریب کلروفیل، ممکن است منجر به کاهش بازده کوانتومی و یا افت ظرفیت فتوسنتزی در گیاه شود. برخی از پژوهش‌ها، رابطه متقابل بین تنش خشکی و پرتوهای فرابنفش را در گیاهان ثابت کرده است به طور مثال این پرتوها می‌توانند شدت تنش خشکی را در گیاهان از طریق کاهش میزان از دست دادن آب گیاه با کاهش هدایت روزنه‌ای و سطح برگ، کاهش داده و به تأخیر بیندازند (Nogues *et al*., 1998). دراین‌بین، به‌طورکلی مطالعه روند فتوسنتز و فلورسانس کلروفیل در کنار وضعیت آبی و پایداری غشاء سلولی در شرایط تنش‌های محیطی می‌تواند دیدگاه‌های فیزیولوژیک مناسبی را برای محققین در توجیه رفتار گیاهان در مواجهه با تنش فراهم سازد.

غشاءهای سلولی یکی از اجزای مهم سلول هستند که نقش کلیدی در فرایندهای متابولیسمی دارند. بیان شده که حفظ پایداری غشاء در اندامک‌ها طی شرایط تنش، نشانه‌ای از وجود سازوکارهای کنترلی در تحمل به تنش است (Ramak *et al*., 2015). در مورد تأثیر اشعه‌های مختلف فرابنفش بر روی پایداری غشاء سلولی نتایج متفاوتی به دست آمده است، به‌طوری‌که بررسی‌های رسایی (Rasaei, 2018) مؤید این مطلب بود که پایداری غشاء سلولی در اثر اشعه UV-C کاهش یافت ولی بین اشعه فرابنفش UV-A و UV-B و همچنین شاهد اختلافی وجود نداشت. احتمالاً اشعه فرابنفش UV-C که اشعه‌ای با طول موج‌های کوتاه و پر انرژی است بر یکپارچگی غشاء سلولی تأثیر منفی گذاشته و سبب تجزیه غشاء و در نهایت نشت مواد درون سلولی شده است. در تحقیق دیگری، مهدویان و همکاران (Mahdavian *et al*., 2006) در بررسی اثر طول موج‌های مختلف اشعه فرابنفش بر جوانه‌زنی و پارامترهای رشدی گیاه فلفل عنوان کردند که اشعه UV-A نقش زیان‌باری بر رشد گیاه فوق ندارد درحالی‌که اشعه‌های UV-B و UV-C اثرات مخرب و زیان‌باری دارند. از سویی، حسینی سرقین و همکاران (Hosseini Sarghein *et al*., 2012) بیان کردند که حساسیت گیاه فلفل قلمی به اشعه‌ی UV-C بیشتر از UV-A است. در تحقیق دیگری اظهار شده که حتی پرایمینگ بذر با استفاده از دزهای پایین UV-A و UV-B می‌تواند رشد، پایداری غشاء سلولی و برخی از صفات فیزیولوژیکی (مانند وزن تر کل، محتوای نسبی آب برگ، ارتفاع ساقه و محتوای کلروفیل کل) را در گیاهچه‌های نخود فرنگی بهبود بخشد (Jalali-Honarmand *et al*., 2015).

اثرات اشعه فرابنفش بر تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی

علاوه بر تأثیر اشعه فرابنفش بر صفات فیزیولوژیکی و فعالیت‌های بیوشیمیایی، برخی از تحقیقات نشان می‌دهد که این اشعه بر تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی نیز اثرگذار است. به‌طوری‌که کاتروا و پرینسن (Katerova and Prinsen, 2008) دریافتند که تابش ۴/۴ و ۱۳/۳ کیلوژول بر مترمربع از اشعه UV-B سبب افزایش غلظت اکسین در گیاه نخود می‌شود؛ بنابراین قرارگرفتن گیاهان در معرض دزهای پایین اشعه فرابنفش باعث افزایش تقسیم سلولی و میزان زنده ماندن سلول‌ها در شرایط تنش می‌شود (Casati *et al*., 2005). همچنین صادقی و همکاران (Sadeghi *et al*., 2010) طی بررسی‌های خود گزارش کردند که در کشت درون شیشه‌ای آلوئه‌ورا، به‌منظور تحریک تولید شاخساره بیشتر می‌توان از اشعه UV-C استفاده کرد و از این طریق شاخساره‌های بیشتری تولید می‌شود.

اثرات اشعه فرابنفش بر کاهش اثرات مخرب تنش کم‌آبی

در بررسی‌های مختلف، نتایج متفاوتی در مورد برهم‌کنش اشعه فرابنفش و تنش کم‌آبی گزارش شده است. این اثرات متفاوت احتمالاً در ارتباط با گونه، شرایط آزمایش و تنش اعمال شده می‌باشد (Conner *et al*., 2002). اثر تنش خشکی و اشعه

فرابنفش بسته به شدت تنش، مدت تنش و مرحله رشدی گیاه متفاوت است. به‌طوری‌که در مواردی تابش اشعه فرابنفش سبب افزایش مقاومت گیاه به تنش کم‌آبی می‌شود و در برخی دیگر نیز سبب حساسیت گیاه می‌گردد. احتمالاً افزایش مقاومت در نتیجه‌ی افزایش سازوکارهای اجتناب و تحمل در گیاه می‌باشد (Bandurska *et al*., 2013). به‌طوری‌که، براوو و همکاران (Bravo *et al*., 2012) نشان دادند که تیمار گوجه‌فرنگی با اشعه UV-C بطور معنی‌داری محتوای آنتی‌اکسیدان و فنول را در مقایسه با شاهد افزایش داد که این افزایش در نتیجه‌ی فعال‌شدن مسیرهای بیوسنتز فنولیک می‌باشد. از طرفی، تولید پروتئین‌هایی مشابه با پروتئین‌های شوک حرارتی در واکنش به اشعه UV-B در گیاهچه‌های لوبیا، نشان می‌دهد که تابش اشعه UV-B می‌تواند تحمل به تنش دمای بالا را تحریک کند (Nedunchezhian *et al*., 1992). در تحقیق دیگری مشخص گردید که در شرایط آبیاری کامل تابش اشعه فرابنفش UV-A و UV-B بیشترین و در شرایط تنش کم‌آبی در مرحله رویشی تابش اشعه UV-C کمترین پایداری غشاء سلولی را در پی داشتند (Rasaei, 2018). این امر مؤید واکنش متفاوت طیف-های خفیف فرابنفش در شرایط مختلف رطوبتی است. میزان نشت الکترولیت‌ها، خسارت ناشی از تنش‌های محیطی مخصوصاً خشکی را به غشاء سلولی نشان می‌دهد و میزان پایداری غشاء سلولی به‌عنوان شاخصی از تحمل به تنش ارائه شده است (Shiferaw and Baker, 1996). دراین‌ارتباط، محمودنیا میمند و همکاران (Mahmoudnia Meymand *et al*., 2013) گزارش کردند که میزان نشت الکترولیت در شرایط تنش خشکی نسبت به عدم تنش افزایش معنی‌داری داشت که این امر نشانگر آسیب‌های ناشی از تنش بر غشاءهای سلولی است. اسچمیدت و همکاران (Schmidt *et al*., 2000) محتوای بیشتر دهیدرین‌ها را در گیاهان رشدیافته تحت دزهای کم فرابنفش نشان دادند که در تنظیم اسمزی، حفظ پایداری ماکرومولکول‌ها در پروتوپلاسم، پایداری وزیکول‌ها، پروتئین‌ها و ساختار غشایی تحت شرایط تنش نقش اساسی دارند (Wise and Tunnacliffe, 2004; Poulson *et al*., 2006)؛ بنابراین یکی از دلایل افزایش پایداری غشاء تحت تابش اشعه UV-A و UV-B می‌تواند همین افزایش دهیدرین‌ها باشد که موجب حفظ پایداری غشاء سلول‌ها در شرایط تنش شده است. پولسون و همکاران (Poulson *et al*., 2006) در بررسی آرابیدوبسیس رشد یافته تحت تابش UV-B (۶ کیلوژول بر مترمربع) دریافتند که این گیاهان نسبت به گیاهانی که تحت تابش UV-B نبودند، به خشکی متحمل‌تر بوده همچنین سرعت فتوسنتز آنها دوبرابر بیشتر و محتوای نسبی آب در آنها ۱۲ درصد بیشتر بود. آنها همچنین بیان کردند که 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 است که در مجموع تحمل گیاه را به خشکی افزایش می‌دهند. نوگوس و همکاران (Nogues *et al*., 1998) نیز دریافتند که تابش اشعه‌ی UV-B شدت تنش خشکی را در گیاه نخود کم می‌کند که این کاهش در ارتباط با کاهش سرعت هدر روی آب است. نتایج بررسی‌های نژاد علیمرادی و منوچهری کلانتری (Nezhad Alimoradi and Manouchehri Kalantari, 2008) نشان داد که جوانه‌زنی بذور گندم در شرایط تنش، تحت تأثیر پیش تیمار اشعه فرابنفش (اشعه UV-C به مدت ۳ روز و هر روز ۱۰ دقیقه) افزایش پیدا می‌کند. آنها اشاره کردند که احتمالاً اشعه UV-C با اثر بر آنزیم بتا ۱ و ۳ گلوکوناز[1] (یکی از آنزیم‌های ضروری برای جوانه‌زنی) و گسستگی پوست، افزایش جذب آب و تبادلات گازی در نهایت جوانه‌زنی را بهبود می‌بخشد. همچنین نتایج آنها نشان داد که اشعه UV-C، محتوای مواد مؤثر در تنظیم اسمزی را افزایش داده و از میزان نشت یونی در سطوح متوسط و بالای شوری می‌کاهد. به‌طوری‌که کاهش نشت یونی از طریق اثر بر ساختار و عملکرد غشاء می‌باشد. در آزمایشی دیگر هنگامی‌که بذرهای لوبیا قرمز در معرض اشعه فرابنفش در محدوده ۲۲۰ تا ۴۰۰ نانومتر (همه اشعه‌های فرابنفش شامل UV-A، UV-B و UV-C) قرار گرفتند میزان وزن تر و وزن خشک گیاهچه‌های حاصل از آنها افزایش یافت (Peykarestan and Seify, 2012). نتایج حاصل از تحقیقات رضوی زاده و احسان پور (Razavizadeh and Ehsanpour, 2004) نشان داد که تابش پرتوی UV-C به مدت ۶۰ دقیقه تحمل به تنش اسموتیک را افزایش داده و از اثرات تنش خشکی در محیط‌های کشت حاوی ۱۰ و ۲۰ درصد پلی‌اتیلن گلایکول[2] می‌کاهد و آنها این اثر را به

1. β-1,3-glucanase
2. Polyethylene glycol (PEG)

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 پرایم شده با اشعه UV-C گزارش شده است (Ouhibi *et al*., 2014). مشخص شده که زیست‌توده گیاهانی که اشعه فرابنفش را قبل از اینکه تحت تنش خشکی قرار بگیرند دریافت نموده‌اند، نسبت به گیاهانی که مستقیماً تحت تنش قرار داشته‌اند کاهش کمتری را در سطح برگ و هدایت روزنه‌ای نشان می‌دهند (Nogues *et al*., 1998)؛ بنابراین دزهای خفیف اشعه فرابنفش به‌عنوان یک عامل مهم در افزایش مقاومت به تنش‌ها از جمله مقاومت به تنش خشکی در نظر گرفته می‌شود (Poulson *et al*., 2006). تمامی موارد بیان شده مؤید این مطلب است که دزهای با شدت کم اشعه‌های فرابنفش در فعال‌کردن سازوکارهای آنزیمی و غیرآنزیمی مؤثر هستند که این سازوکارها سبب حذف بهتر گونه‌های فعال اکسیژن در گیاه می‌گردند و از سویی در بهبود صفات فیزیولوژیکی مؤثر هستند که تمامی این موارد سبب مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی می‌گردد و در ثانی تولید مطلوب عملکرد در این شرایط در پی دارد. جهت درک بهتر در ادامه به تأثیر اشعه‌های فرابنفش بر عملکرد کمی و کیفی پرداخته می‌شود.

اثرات اشعه فرابنفش بر عملکرد کمی و کیفی

نتایج متفاوتی در مورد برهم‌کنش اشعه فرابنفش و تنش‌های محیطی من‌جمله تنش خشکی بر بیوماس تولیدی گزارش شده است. به‌طوری‌که اثر مثبت بر رشد و زیست‌توده تولیدی (Bogenrieder and Doute, 1982; Bogenrieder and Klein, 1982; Hanns and Dorothee, 2003)، اثر منفی بر رشد (Murali and Teramura, 1986; Rafinia, 2012; Tohidi Moghadam *et al*., 2016) و عدم وجود برهم‌کنش بین اشعه فرابنفش و تنش (Teramura *et al*., 1983; Teramura *et al*., 1990; Mohammadzadeh, 2013; Hagihosseinlo *et al*., 2016) در بین نتایج تحقیقات مشاهده می‌گردد. احتمالاً این اثرات متفاوت در ارتباط با گونه گیاهی، شرایط آزمایش و تنش اعمال شده می‌باشد (Conner *et al*., 2002). گزارش شده که تابش اشعه فرابنفش با دزهای کم در برخی از گیاهان (مثل خردل و گوجه‌فرنگی) باعث تحریک رشد می‌شود که این امر در ارتباط با سازوکارهای محافظتی گیاه مثل تغییراتی در متابولیت‌های ثانویه مانند ترکیبات فنولیک و فلاونوئیدها (Katerova and Prinsen, 2008)، افزایش تجمع آنتوسیانین‌ها (Guo and Wang, 2010; Li *et al*., 2014)، افزایش سنتز مواد جاذب فرابنفش، بازتابش فرابنفش و افزایش ضخامت کوتیکول برگ است (Buchholz *et al*., 1995). از طرفی، کاساتی و همکاران (Casati *et al*., 2005) و کاتروا و پرینسن (Katerova and Prinsen, 2008) بیان کردند که تابش خفیف اشعه UV-B سبب افزایش غلظت اکسین می‌شود، بنابراین قرارگرفتن گیاهان در معرض دزهای پایین فرابنفش باعث افزایش تقسیم سلول و میزان زنده ماندن سلول‌ها در شرایط تنش می‌شود. باتوجه‌به موارد بیان شده احتمالاً از عوامل مؤثر در افزایش وزن شاخساره تحت اشعه UV-A و UV-B، تحریک سازوکارهای محافظتی و افزایش غلظت اکسین است که متقابلاً از صدمات جانبی تنش کاسته و افزایش تقسیم سلولی را در پی دارد که منجر به افزایش وزن شاخساره گیاهان می‌گردد. بر طبق تحقیقات سوزوکی و همکاران (Suzuki *et al*., 1988) تابش کوتاه‌مدت اشعه فرابنفش به گیاهچه‌های هندوانه، رشد را سرعت می‌بخشد. در مقابل، صادقی و همکاران (Sadeghi *et al*., 2010) بیان کردند که اشعه UV-C (طول موج ۲۸۰-۱۰۰ نانومتر با شدت ۴۰ میکرو وات بر سانتی‌متر مربع) باعث کاهش تعداد و طول ریشه شد بنابراین استفاده از این اشعه در مرحله ریشه‌زایی و طویل شدن اندام‌های هوایی در گیاه آلوئه‌ورا توصیه نمی‌شود ولی در شرایطی که گیاه استقرار یافته است اشعه UV-C می‌تواند به‌عنوان عاملی برای تحریک تولید شاخساره بیشتر در کشت درون شیشه‌ای باشد. دایی حسنی و همکاران (Daeihassani *et al*., 2017) در بررسی تأثیر تنش اشعه فرابنفش UV-C بر گیاه تربچه بیان کردند که پرتوی UV-C باعث کاهش وزن خشک ساقه و ریشه و کاهش سطح برگ شد. از علل تأثیر منفی UV-C می‌توان به این مطلب اشاره کرد که اشعه‌ی فرابنفش (مخصوصاً طول موج‌های کوتاه و پرانرژی) باعث تولید گونه‌های فعال اکسیژن مانند اکسیژن منفرد[1]، آنیون سوپراکسید[2]، پراکسید هیدروژن[3] و رادیکال‌های هیدروکسیل[4] می‌شود که این گونه‌های فعال اکسیژن سبب تخریب غشاء سلولی و

1. Singlet oxygen ($^1O_2$)
2. Superoxide anion (O_2^-)
3. Hydrogen peroxide (H_2O_2)
4. Hydroxyl radical ($^{\cdot}OH$)

به برهم زدن تعادل متابولیسمی در سلول‌ها می‌شوند (Asada, 1999) که پیامد نهایی آنها افت ماده خشک تولیدی گیاه می‌باشد.

عملکرد محصول در برگیرنده تعداد و وزن دانه (یا میوه) در واحد سطح است که جهت رسیدن به عملکرد مطلوب افزایش میزان آنها ضروری است. بررسی مطالعات مختلف از جمله رسایی (Rasaei, 2018) نشان می‌دهد که تابش اشعه UV-A و UV-B و همچنین UV-C به ترتیب سبب افزایش ۶/۲ و ۵/۱۹ درصدی و کاهش ۱۴/۱ و ۸/۳۹ درصدی تعداد میوه در بوته و وزن تازه میوه گوجه‌فرنگی شدند. به نظر می‌رسد که کاربرد اشعه فرابنفش مخصوصاً UV-C سبب کاهش رشد ریشه و ساقه در اثر افزایش میزان اتیلن و در نهایت کاهش تعداد میوه و دانه تشکیل شده در گیاه می‌شود. اشعه UV-A و UV-B در بهبود سازوکارهای آنزیمی و غیرآنزیمی در مراحل گیاهچه‌ای و رویشی مؤثر است که از این نظر بر کارکرد مطلوب فرآیندهای درونی گیاه تأثیر می‌گذارد و افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دو از انتظار نیست ولی اشعه UV-C به‌خاطر پرانرژی بودن نسبت به UV-B، احتمالاً در تشدید تولید گونه‌های فعال اکسیژن نقش دارد که در پی خسارات به یکپارچگی غشاءهای سلولی و کاهش فعالیت آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز، در نهایت میزان مواد فتوسنتزی افت یافته و مواد موردنیاز برای پرشدن میوه‌های تشکیل شده کمتر می‌گردد و یا حتی گل‌های بوجود آمده عقیم می‌شوند که این موارد در نهایت کاهش تعداد میوه و دانه در بوته و عملکرد نهایی را در پی دارد.

جلوگیری از ریزش میوه‌های گوجه‌فرنگی (Maharaj, 1999) و کاهش زوال گلچه‌های بروکلی (Costa *et al*., 2006) از اثرات مفید کاربرد دزهای پایین اشعه فرابنفش بیان شده است. در این راستا، ماهاراج (Maharaj, 1999) جلوگیری از ریزش میوه‌ها را تحت کاربرد اشعه خفیف فرابنفش گزارش کردند که این امر در افزایش تعداد میوه برداشت شده مؤثر است. در تحقیق دیگری، پولیاکو (Polyakov, 2010) در بررسی اثر اشعه فرابنفش بر رشد و نمو نخود دریافت که در گیاهانی که به‌وسیله اشعه فرابنفش تیمار نشده بودند حتی بعد از سپری شدن دو نسل، گیاهان حاصل دارای بذرهای کوچک‌تر بودند و همچنین بذر کمتری تولید کردند و علائمی از بیماری در مراحل اولیه نمو آنها مشاهده شد؛ بنابراین این محقق دریافت که اعمال اشعه فرابنفش می‌تواند اثرات مثبتی بر گیاه داشته باشد. از سویی دیگر، توحیدی مقدم و همکاران (Tohidi Moghadam *et al*., 2016) در بررسی اثر اشعه فرابنفش بر خصوصیات کمی و کیفی کلزا گزارش کردند که اشعه‌های پرانرژی طیف فرابنفش من‌جمله UV-C منجر به عقیم شدن گل‌ها و افزایش ریزش آنها شده که به نوبه خود سبب کاهش تعداد خورجین در بوته شده است. اشعه UV-C دارای انرژی زیاد هستند که باعث افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌شوند و موجبات آسیب به غشاءهای سلولی و احتمالاً مختل شدن زنجیره انتقال الکترون و فرآیند فتوسنتز شده‌اند که سبب کاهش تقسیم سلولی در میوه و کاهش آسیمیلات لازم برای پرشدن میوه‌ها گشته‌اند که پیامد آن افت ماده خشک میوه است. دراین‌ارتباط، توحیدی مقدم و همکاران (Tohidi Moghadam *et al*., 2016) بیان کردند که کاهش میزان فتوسنتز به‌خاطر کاهش سطح برگ و محتوای کلروفیل در گیاهانی که در معرض تابش اشعه‌های UV-B و UV-C بودند سبب کاهش تولید مواد فتوسنتزی و انتقال آنها به سمت دانه‌های شده که در نهایت سبب کاهش وزن دانه‌ها می‌شود. تحقیقات لیو و همکاران (Liu et al., 2013) نیز نشان داد که اشعه شدید فرابنفش سبب کاهش وزن میوه از طریق کاهش رشد و دوره پرشدن میوه می‌گردد. رسایی و همکاران (Rasaei *et al*., 2019) گزارش کردند که بیشترین میزان عملکرد میوه گوجه‌فرنگی با تابش اشعه خفیف فرابنفش به‌ویژه UV-A و UV-B بدست آمد. آنها اظهار کردند که اعمال این طیف از اشعه فرابنفش توانسته در استقرار مناسب گیاهچه‌ها در زمان پس از انتقال نشاء اثر مثبت داشته باشد و در استفاده بهتر گیاهان از منابع محیطی در طی رشد و نمو مؤثر باشد که پیامد آن بهبود عملکرد تولیدی است. از سویی مطالعات زیادی اثرات زیان‌بار اشعه فرابنفش مخصوصاً طیف‌های کوتاه و پرانرژی (UV-C) را بر روی گیاهان مختلف گزارش کرده‌اند به‌طوری‌که این پرتو از طریق کاهش خصوصیات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی (Kumar and Pandey, 2017)، اختلال در بیوسنتز و انتقال تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مثل اکسین و اسید جیبرلیک (Hassan *et al*., 2012) ، کاهش سطح برگ، ظرفیت فتوسنتز و تبادلات گازی (Balouchi *et al*., 2009) و در نهایت کاهش زیست‌توده و محصول تولیدی گزارش کرده‌اند (Milchunas *et al*., 2004; Mahdavian *et al*., 2006).

علاوه بر کمیت محصول تولیدی برای کشاورزان در بحث بازارپسندی محصول، کیفیت میوه از اهمیت خاصی برخوردار است. کیفیت محصول بسته به نوع محصول حاصل از گیاه متفاوت است به‌طوری‌که در گیاهانی صیفی و جالیزی (فلفل، بادمجان، گوجه‌فرنگی و غیره) کیفیت میوه اعم از اندازه میوه، رنگ، عطر و در غلات و گیاهان دانه‌ریز کیفیت دانه مهم است. در این مورد، هافمن (Hofmann, 2014) طی پژوهشی بر روی گیاهان مختلف من‌جمله شبدر سفید بیان کرد که این گیاه به‌خوبی با اشعه فرابنفش سازش پیدا می‌کند بنابراین از این ویژگی می‌توان برای افزایش کیفیت محصول تولیدی استفاده کرد. همچنین نتایج مطالعات رسایی (Rasaei, 2018) مؤید این مطلب بود که تابش اشعه فرابنفش UV-A و UV-B سبب افزایش قطر و اندازه میوه گوجه‌فرنگی شد ولی تابش اشعه UV-C سبب کاهش قطر میوه شد. اشعه UV-C به علت داشتن طول موج‌های کوتاه‌تر، دارای انرژی زیادتری نسبت به بقیه پرتوهای UV-A و UV-B می‌باشد که احتمالاً این امر به‌خاطر تأثیر منفی و مخرب این اشعه بر جثه بوته است به‌طوری‌که منجر به تولید بوته‌های کوچک با سطح برگ کمتر می‌گردد که این امر سبب کاهش میزان مواد فتوسنتزی (به‌خاطر کاهش سطح برگ) و همچنین در دسترسی فتوآسیمیلات تولیدی برای دانه‌ها و میوه‌ها می‌شود که در نهایت بر کیفیت میوه به‌خصوص اندازه و قطر میوه تأثیر گذاشته و میزان آن کاهش می‌یابد. نتایج تحقیقات برخی از محققین در مورد اثرات مثبت و منفی اشعه‌های مختلف فرابنفش بر کیفیت میوه در جدول ۵ قابل‌مشاهده است.

پاتانئا و همکاران (Patanèa *et al*., 2011) بیان کردند که تأثیر تنش‌های محیطی بر شاخص‌های کمی و کیفی محصول گوجه‌فرنگی کاملاً متفاوت و برعکس است، به‌طوری‌که با اعمال تنش از کمیت میوه کاسته و بر کیفیت آن افزوده می‌شود. زمردی و همکاران (Zomorodi *et al*., 2006) گزارش کردند که کاهش اسیدیته میوه گوجه‌فرنگی در بهبود طعم میوه مؤثر است و بنابراین تنش‌های جزئی (مثل تنش آبی و یا پرتوی خفیف فرابنفش) باعث خوش طعم شدن میوه گوجه‌فرنگی می‌شود. تجمع اسید کربوکسیلیک، اسید سیتریک، پتاسیم و کلر در سلول که به‌عنوان راهکاری برای غلبه بر تنش کم‌آبی یا تعدیل فشار اسمزی در نظر گرفته می‌شود موجب می‌گردد که در شرایط تنش میزان اسیدیته عصاره میوه کاهش پیدا کند (Mitchell *et al*., 1991). از طرفی بیان شده که هر چه میزان اسیدیته عصاره میوه گوجه‌فرنگی پایین‌تر باشد سبب افزایش بازارپسندی و خاصیت تازه‌خوری آن می‌گردد و همچنین فسادپذیری آن کمتر و ماندگاری آن بیشتر خواهد بود (Antherton and Rudich, 1986)؛ بنابراین، نه تنهای پرتوهای خفیف فرابنفش می‌تواند بر صفات زراعی و عملکرد محصول نقش مثبتی ایفاء کنند بلکه می‌توانند در بهبود کیفیت آن نیز اثرگذار باشند.

جدول ۵- اثرات مثبت و منفی اشعه‌های مختلف فرابنفش بر کیفیت محصول تولیدی

Table 5- Effects of positive and negative of different UV rays on product quality

منبع Reference	اثرات Effects	نوع گیاه Plant type	مرحله رشدی Developmental stage	مدت‌زمان قرارگیری Duration of placement	شدت Intensity	طول موج Wavelength (nm)	نوع اشعه Ray type
Sarikhani, 2014	- افزایش ترکیبات فنلی و محتوای اسانس.	نعناع فلفلی (*Mentha piperita*)	گیاهچه Seedling	For 4 h/day	7.5 $uM/m^2.s$	365	UV-A + نور خورشید
Bijami *et al*., 2010	- کاهش میزان پروتئین کل. - افزایش محتوای آنتوسیانین، فلاونوئید، لیکوپن و ترکیبات فنلی کل. - افزایش فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز.	گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.)	میوه‌های رسیده (پس از برداشت) Ripe fruits (after harvest)	4 h/day (for 14 day)	28.8 KJ/m^2	312	UV-B
Rasaei, 2018	- کاهش هدایت الکتریکی عصاره میوه. - افزایش اسیدیته عصاره میوه.	گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.)	۵-۴ برگی 4-5 leaves satge	3 min/day (for 3 day)	2 KJ/m^2	-	UV-C

نتیجه‌گیری کلی

باتوجه‌به موارد بیان شده، در اثر اعمال اشعه‌های خفیف UV-A و UV-B، سازوکارهای دفاعی اعم از آنزیمی و غیرآنزیمی نسبت به شاهد (بدون اعمال اشعه فرابنفش) افزایش می‌یابد و سبب بهبود صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی می‌شود ولی در دز شدید اشعه UV-C فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و بیوشیمیایی کاهش می‌یابد. اشعه‌های فرابنفش به طور مستقیم و غیرمستقیم، صفات فیزیولوژیک را در گیاهان تحت تأثیر قرار می‌دهند. همچنین استفاده از اشعه خفیف فرابنفش می‌تواند بسیاری از صفات کمی و کیفی میوه را بهبود بخشد. میزان حساسیت و نوع پاسخ گیاهان به اشعه فرابنفش در هر یک از مراحل مختلف رشد و نمو گیاه ممکن است تغییر پیدا کند. از سویی در بیشتر موارد تنش خشکی و اشعه فرابنفش اثرات زیان‌باری بر گیاه دارند ولی برهم‌کنش دو عامل فوق به طور هم‌افزایی عمل می‌کند تا سازوکارهای حفاظتی و سیستم دفاعی را القا کنند، به‌طوری‌که اعمال اشعه فرابنفش موجب شد تا آسیب‌های احتمالی وارد شده توسط تنش بعدی (مثل خشکی) بر گیاه کاهش یابد.

References

Aghaiezadeh Ghoushchi, V., Hosseini Sarghein, S. and Khara, J. 2015. Investigation of the effect of UV radiation on some physiological factors and photosynthetic pigments of corn plant (*Zea mays*). The First National Conference on Passive Defense in Agriculture, Natural Resources and Environment with Sustainable Development Approach. Strategic Center for Sustainable Development, Tehran, Iran. (In Persian).

Antherton, J.G. and Rudich, J. 1986. The Tomato Crop. Chapma and Hill. London. 661 p.

Asada, K. 1999. The water-water cycle in chloroplasts: Scavenging of active oxygen and dissipation of excess photons. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50: 601-639.

Ballare, C., Barnes, P.W. and Kendsrick, R.E. 1991. Photomorphogenic effects of UV-B radiation on hypocotyls elongation in de-etiolating tomato seedlings: I. The photoreceptor. *Plant Physiology*, 93: 584-658.

Balouchi, H.R., Modarres Sanavy, S.A.M., Emam, Y. and BarzeGar, M. 2008. Effect of water deficit, ultraviolet radiation and carbon dioxide enrichment on leaf qualitative characters of durum wheat (*Triticum turgidum* L.). *Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 12(45): 167-181. (In Persian)

Balouchi, H.R., Sanavy, S.A.M., Emam, Y. and Dolatabadian, A. 2009. UV radiation, elevated CO_2 and water stress effect on growth and photosynthetic characteristics in durum wheat. *Plant, Soil and Environment*, 55: 443-453.

Bandurska, H., Niedziela, J. and Chadzinikolau, T. 2013. Separate and combined responses to water deficit and UV-B radiation. *Plant Science*, 213: 98-105.

Bijami, A. Rezanejad, F. and Sasan, H.A. 2010. The effects of post-harvest UV-B radiation on some antioxidant compounds, PAL activity and total protein contents of ripe red tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Journal of Plant Biology*, 2(6): 29-38. (In Persian).

Bischof, K., Peralta, G., Krabs, G., Van de Poll, W.H., PerezLIore´ns, J.L. and Anneke, M. 2002. Effects of solar UV-B radiation on canopy structure of *Ulva communities* from southern Spain. *Journal of Experimental Botany*, 53(379): 2411-2421.

Boccalandro, H., Mazza, C., Mazzella, M., Casal, J. and Ballare´, C. 2001. Ultraviolet B radiation enhances a phytochrome-B-mediated photomorphogenic response in Arabidopsis. *Plant Physiology*, 126: 780-788.

Bogenrieder, A. and Doute, Y. 1982. The effect of UV on photosynthesis and growth in dependence of mineral nutrition (*Lactuca sativa* L. and *Rumex alpinus* L.). In: Bauer, H., Caldwell, M.M., Tevini, M. and Worrest,

R.C. (eds.), Biological effects of UV-B radiation, pp. 164-168. Gesellschaft fur Strahlen- und Umweltforschung mbH, Munchen, Germany.

Bogenrieder, A. and Klein, R. 1982. Does solar UV influence the competitive relationship in higher plants?. In: Calkins, J. (ed.), The role of solar ultraviolet radiation in marine ecosystems, pp. 641-649. Plenum Press, New York, New York, USA.

Bohnert, H.J. and Jensen, R.G. 1996. Strategies for engineering water stress tolerance in plants. *Trends in Biotechnology*, 14: 89-97.

Bravo, S., Garcia-Alonso, J., Martin-Pozuelo, G., Gomez, V., Santaella, M., Navarro-Gonzalez, I. and Periago, J.M. 2012. The influence of post-harvest UV-C hormesis on lycopen, ß-carotene and phenolic content and antioxidant activity of breaker tomatoes. *Food Research International*, 49(1): 296-302.

Buchholz, G., Ehmann, B. and Wellman, E. 1995. Ultraviolet light inhibition of phytochorome induced flavonoid biosynthesis and DNA photolyase formation in mustard cotyledons (*Synapis alba* L.). *Plant Physiology*, 108: 227-234.

Buer, C.S, Imin, N. and Djordjevic, M.A. 2010. Flavonoids: New roles for old molecules. *Journal of Integrative Plant Biology*, 52: 98-111.

Casati, P., Zhang, X., Burlingame, A.L. and Walbot, V. 2005. Analysis of leaf proteome after UV-B irradiation in maize lines differing in sensitivity. *Molecular and Cellular Proteomics*, 4: 1673-1685.

Conner, J.K. and Neumeier, R. 2002. The effects of ultraviolet-B radiation and intraspecific competition on growth, pollination success, and lifetime female fitness in *Phacelia campanularia* and *P. purshii* (Hydrophyllaceae). *American Journal of Botany*, 89(1): 103-110.

Costa, L., Vicente, A.R., Civello, P.M., Chaves, A.R. and Artinez, G.A. 2006. UV-C treatment delays postharvest senescence in broccoli floret. *Postharvest Biology and Technology*, 39: 204-210.

Daeihassani, B., Abedini, M., Hemmati, A. and Fallahi, S. 2017. Effect of ultraviolet radiation on physiological responses in the different varieties of radish (*Raphanus sativus* L.). *Journal of Plant Process and Function*, 6(21): 55-64. (In Persian).

Daneshmand, F. 2013. The effect of ascorbate pre-treatment on tomato plant under drought stress: oxidative stress, osmolytes, phenolics and protein. *Iranian Journal of Plant Biology*, 18: 53-66. (In Persian).

Enteshari, Sh., Kalantari, kh., Ghorbanli, M. and Torkzadeh, M. 2005. The effect of different bands of ultraviolet radiation on pigments content in *Glycine max* L. *Iranian Journal of Biology*, 18(1): 77-84. (In Persian).

Gao, W. 2004. Effects of supplementary ultraviolet-B irradiance on maize yield and qualities: a field experiment. *Photochemistry and Photobiology*, 80: 127-1231.

Ghanati, F., Ahmadi, Z. and Abdolmaleki, P. 2006. The effects of ultraviolet C radiation on some physiological parameters of *Aloe vera* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 22(4): 315-331. (In Persian).

Ghorbanli, M., Gafarabad, M., Amirkian, T. and Allahverdi Mamaghani, B. 2013. Investigation of proline, total protein, chlorophyll, ascorbat and dehydro ascorbate changes under drought stress in Akria and Mobil tomato cultivars. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 3(2): 651-658.

Gould, K., Davies, K.M. and Winefield, C. 2008. Anthociyanin - Biosynthesis, Functions, and Applications. Springer-Verlag New York. pp: 117-231.

Guo, J. and Wang, M.H. 2010. Ultraviolet A-specific induction of anthocyanin biosynthesis and PAL expression in tomato. *Journal of Plant Growth Regulation*, 62: 1-8.

Häder, D.P., Williamson, C.E., Wängberg, S.Å., Rautio, M., Rose, K.C., Gao, K., Walter Helbling, E., Sinha, R.P. and Worrest, R. 2015. Effects of UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with other environmental factors. *Photochemical and Photobiological Sciences*, 14: 108-126.

Hagihosseinlo, N., Hosseini Sarghein, S. and Jamei, R. 2016. The study of interactive effects of UV-B radiation and drought stress on some physiological traits of two cultivar of gourd (*Cucurbita pepo* L.). *Iranian Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 1(2): 16-26. (In Persian).

Hanns, F. and Dorothee, S. 2003. Ultraviolet-B radiation-mediated responses in plants: Balancing damage and protection. *Plant Physiology*, 133: 1420-1428.

Hassan, I.A., Basahi, J.M. and Kadi, M.W. 2012. Physiological and biochemical impairment in bean plants due to supplementary ultraviolet radiation and water stress: Possible protective roles of secondary metabolites. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6: 552-563.

Hofmann, R.W. 2014. UV effects in plants-case studies from New Zealand with a northern hemisphere twist. In: Effects on Human Health and the Environment. Proceeding of NIWA UV Workshop, Auckland, New Zealand.

Hoque, E. and Remus, G. 1999. Natural UV screening mechanisms of Norway spruce (*Picea abies* L. karts) needles. *Photochemistry and Photobiology*, 69: 177-192.

Horii, A., Mccup, P. and Shetty, K. 2007. Enhancement of seed vigour following insecticide and phenolic elicitor treatment. *Bioresource Technology*, 98: 623-632.

Hosseini Sarghein, S., Karaptian, Zh. and Khara, J. 2012. Effects of UV-radiation on some physiological parameters in *Capsicum longum* L. *Journal of Plant Productions*, 34(3): 27-40. (In Persian).

Ibañez, V.N., Berli, F.J., Masuelli, R.W., Bottini, R.A. and Marfil, C.F. 2017. Influence of altitude and enhanced ultraviolet-B radiation on tuber production, seed viability, leaf pigments and morphology in the wild potato species *Solanum kurtzianum* Bitter and Wittm collected from an elevational gradient. *Plant Science*, 261: 60-68.

Jalali-Honarmand, S., Rasaei, B. and Rasaei, A. 2015. Effects of ultra-violet radiations priming on some physiological traits of pea (*Pisium sativum* L.) seedling. Plant Physiology Meeting. 31 October. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Science, Nanjing, China.

Kargar Khorrami, S., Jamei, R. and Hosseini Sarghein, S. 2013. Changes in physiological anatomical and parameters of okra (*Hibiscus esculentus* L.) under different ultraviolet radiation. *Iranian Journal of Plant Biology*, 16: 13-26. (In Persian).

Katerova, Z. and 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.

Katerova, Z., Ivanov, S., Prinsen, E., Van Onckelen, H., Alexieva, V. and Azmi, A. 2009. Low doses of ultraviolet-B or ultraviolet-C radiation affect ACC, ABA and IAA levels in young pea plants. *Biologia Plantarum*, 53(2): 365-368.

Katerova, Z., Shopova, E., Geirgieva, N., Nikolova, A., Sergiev, I. and Todorova, D. 2012. Meia acts as protector against UV-C irradiation in young wheat plants. *Comptes Rendus De l'Academie Bulgare Des Sciences*, 65(10): 1373-1378.

Khalili, M., Razavizadeh, R. and Forghani, A.H. 2019. Changes in pigments and secondary metabolites of *Artemisia aucheri* seedlings in response to in-vitro UV radiation and time. *Iranian Journal of Plant Biology*, 11(2): 1-22. (In Persian).

Kim, B.C., Tenessen, D. and Last, R. 1998. UV-B-induced photomorphogenesis in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Journal*, 15: 667-674.

Kumar, G. and Pandey, A. 2017. Effect of UV-B radiation on chromosomal organisation and biochemical constituents of *Coriandrum sativum* L. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 10: 85-93.

Li, D., Luo, Z., Mou, W., Wang, Y., Ying, T. and Mao, L. 2014. ABA and UV-C effects on quality, antioxidant capacity and anthocyanin content of strawberry fruit (*Fragaria ananassa* Duch.). *Postharvest Biology and Technology*, 90: 56-62.

Liu, B., Liu, X.B., Li, Y.S. and Herbert, S.J. 2013. Effects of enhanced UV-B radiation on seed growth characteristics and yield components in soybean. *Field Crops Research*, 154: 158-163.

Liu, L., Shao, Z., Zhang, M. and Wang, Q. 2015. Regulation of carotenoid metabolism in tomato. *Molecular Plant*, 8: 28-39.

Liu, M. 2012. Responses of the flavonoid pathway to UV radiation stress and the correlation with the lipid antioxidant characteristics in the desert plant *Caryopteris mongolica*. *Acta Ecologica Sinica*, 32: 150-155.

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

Maharaj, R., Arul, J. and Nadeau, P. 1999. Effect of photochemical treatment in the preservation of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Capello) by delaying senescence. *Postharvest Biology and Technology*, 15: 13-23.

Mahdavian, K., Ghorbanli, M., Kalantari, Kh.M. and Mohamadi, Gh. 2006. The effect of different bands of ultraviolet radiation on morphological and physiological parameters in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Iranian Journal of Biology*. 19(1): 43-53. (In Persian).

Mahkouti, H. 2016. A look at hydropolitics or the state of water in the world. *Political and Economic Ettelaat*, 305: 180-197. (In Persian).

Mahmoudnia Meymand, M., Farsi, M., Marashi, S.H. and Ebadi, P. 2013. Physiological responses to drought stress in four species of tomato. *Journal of Horticulture Science (Agricultural Sciences and Technology)*, 26(4): 409-416. (In Persian).

Milchunas, D.G., King, J.Y., Mosier, A.R., Moore, J.C., Morgan, J.A., Quirk, M.H. and Slusser, J.R. 2004. UV radiation effects on plant growth and forage quality in a shortgrass steppe ecosystem. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 79: 404-410.

Mitchell, J.P., C. Shannan, S.R. Grattan, and D.M. May. 1991. Tomato fruit yields and quality under water deficit and salinity. *Journal of American Horticultural Science*, 16: 215-221.

Mohammadzadeh, S. 2012. Study of the interactions of UV-B and drought on some physiological, biochemical and morphological processes of two cultivars of coriander (*Coriandrum sativum* L.). M.Sc. Thesis, Department of Biology, Faculty of Science, Urmia University, West Azarbaijan, Iran. (In Persian).

Mousavi, S.N., Akbari, S.M.R., Soltani, G.R. and Zareh Mehrjerdi, M. 2010. New solutions to deal with the water crisis. National Conference on Water Crisis Management. Islamic Azad University, Marvdasht Branch, Shiraz, Iran. pp: 1-21. (In Persian).

Movaghari, A.R. and Khosravi, M. 2014. Calculation, evaluation and analysis of the spatial distribution of the ultraviolet index (UVI) in the Iran. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 34: 195-213. (In Persian).

Murali, N.S. and Teramura, A.H. 1986. Effectiveness of UV-B radiation on the growth and physiology of field-grown soybean modified by water stress. *Photochemistry and Photobiology*, 44: 215-219.

Nedunchezhian, N., Annamalianthan, K. and Kulandaivelu, G. 1992. Induction of head shock-like proteins in vigna sinensis seedling growing under ultraviolet-B (280-320 nm) enhanced radiation. *Plant Physiology*, 85: 503-506.

Nezhad Alimoradi, H. and 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).

Nogues, S., Allen, D.J., Merison, J.I.L. and Baker, N.R. 1998. Ultraviolet-B radiation effects on water relations, leaf development, and photosynthesis in drought pea plants. *Plant Physiology*, 117: 175-181.

Noori, M., Poorimani, R. amd Khodaee, M. 2012. Studies of UV-C effects on *Coronilla varia* L. chlorophyll and flavonoids. *Journal of Cell and Tissue*, 3(1): 43-53. (In Persian).

Nuñez-Olivera, E., Martínez-Abaigar, J., Tomás, R., Otero, S. and Arróniz-Crespo, M. 2006. Physiological effects of solar ultraviolet-B exclusion on two cultivars of *Vitis vinifera* L. from La Rioja, Spain. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57: 441-448.

Olsson, L.C., Fraysee, L. and Bornman, J.F. 2000. Influence of high light and UVB radiation on photosynthesis and D_1 turnover in atrazine-tolerant and sensitive cultivars of *Brassica napus* L. *Journal of Experimental Botany*, 51: 265-274.

Ormrod, D.P. and Hale, B.A. 2000. Physiological responses of plants and crops to ultraviolet-B radiation stress. *Air Pollution*, 761-770.

Ouhibi, Ch., Attia, H., Rebah, F., Msilini, N., Chebbi, M., Aarrouf, J., Urban, L. and 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.

Patanèa, C., Tringali, S. and Sortinob, O. 2011. Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. *Scientia Horticulturae*, 129: 590-596.

Peykarestan, B. and Seify, M. 2012. UV irradiation effects on seed germination and growth, protein content, peroxidase and protease activity in redbean. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 3(1): 92-102.

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

Polyakov, D.L. 2010. Effect of ultraviolet light on plant development and fruit production. California State Seience Fair. Project Number: S2015.

Poulson, M.E., Boeger, M.R.T. and 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.

Pourakbar, L. and Abedzadeh, M. 2014. Effects of UV-B and UV-C radiation on antioxidative enzymes activity of *Melissa officinalis* and influences of salicylic acid in UV-stress ameliorations. *Iranian Journal of Plant Biology*, 6(3): 23-34. (In Persian).

Pourakbar, L. and Abedzadeh, M. 2015. Investigating the effects of magnetic field and salicylic acid on Melissa officinalis (Lamiaceae) under UV-B stress. *Nova Biologica Reperta*. 1(2): 40-56. (In Persian).

Prado, F.E., Rosa, M., Prado, C., Podazza, G., Interdonato, R., Gonzalez, J.A. and Hilal, M. 2012. UV-B Radiation, Its Effects and Defense Mechanism in Terrestrial Plants. In: Ahmad, P.Y. and Prasad, M.N.V.

(eds.), Environmental Adaption and Stress Tolerance of Plants in Era of Climate Change. ISBN: 978-1-4614-0814-7.

Rafinia, N. 2012. Physiological, biochemical and anatomical responses of two varieties of alfalfa (*Medicago sativa* L.) under drought stress and UV-B radiation. M.Sc. Thesis, Department of Biology, Faculty of Science, Urmia University, West Azarbaijan, Iran. (In Persian).

Rahimzadeh-Karvansara, P. 2019. Effects of UV-B radiation on physiological, phytochemical and biochemical features of sugar beet (*Beta vulgaris*). Ph.D. Thesis of Plant Physiology. Department of Biology, Faculty of Science, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. 84 p. (In Persian).

Ramak, P., Mehrnia, M. and Esmaeilzadeh Bahabadi, S. 2015. Effects of water stress on some compatible solutes and membrane stability in two species of sainfoin (*Onobrychis radiata* and *Onobrychis viciifolia*). *Iranian Journal of Plant Physiology and Biochemistry*. 1(1): 1-16. (In Persian).

Ranjbar, A. and Mousavi, S.A. 2018. The effects of enhanced ultraviolet-B radiation and heavy metal cadmium on some physiological parameters of lettuce (*Lactuca sativa*). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 30(4): 978-989. (In Persian).

Ranjbarfordoei, A., Samson, R. and Van damme, P. 2011. Photosynthesis performance in sweet almond [*Prunus dulcis* (Mill) D. Webb] exposed to supplemental UV-B radiation. *Photosynthetica*, 49(1): 107-111.

Rasaei, B. 2018. Effect of low doses of UV radiation and exogenous application of abscisic acid on quantity and quality of yield of tomato under drought stress. Ph.D. Thesis of Agronomy (Crop Physiology). Department of Plant Production Engineering and Genetics, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Razi University, Iran. 142 pages. (In Persian).

Rasaei, B., Jalali-Honarmand, S., Ghobadi, M. and Zhou, G. 2019. Changes of yield and yield components of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under the effects of ultraviolet radiation and abscisic acid application in water deficit stress conditions. *Journal of Plant Production Research*, 25(4): 101-117. (In Persian).

Rasaei, B., Jalali-Honarmand, S., Ghobadi, M. and Zhou, G. 2020. Effect of ultraviolet radiation and abscisic acid on activity of antioxidant enzymes and physiological and morphological traits of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under different irrigation intervals. *Journal of Plant Ecophysiology*, 12(1): 53-71. (In Persian).

Razavizadeh, R. and Ehsanpour, A.A. 2004. Evaluation of drought tolerance of alfalfa plant (*Medicago sativa* L.) callus under UV-C radiation. *Iranian Journal of Biology*, 17(2): 1-12. (In Persian).

Sadeghi, N., Shafiee Hajiabad, M. and Shokati, A.M. 2010. A Study of UV-C and plant growth regulators effects on plantlets of *Aloe vera* line. *Journal of Herbal Drugs*, 2(2): 37-46. (In Persian).

Salama, H.M.H., Al-Watban, A.A. and 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: 79-86.

Saleh, A.A.H. 2007. Influence of UVA+B radiation and heavy metals on growth, some metabolic activities and antioxidant systems in pea plant. *American Journal of Plant Physiology*, 2(2): 139-154.

Santos, I., Fidalgo, F., Almeida, J.M. and Salema, R. 2004. Biochemical and ultrastructural changes in leaves of potato plants grown under supplementary UV-B radiation. *Plant Science*, 167: 925-935.

Sarikhani, H. 2014. Effect of UV-A radiation on growth and some physiological properties of peppermint (*Mentha piperita*). *Plant Production Technology*, 5(2): 35-44. (In Persian).

Schmidt, A.M., Ormrod, D.P., Livingston, N.J. and Misra, S. 2000. The interaction of ultraviolet-B radiation and water deficit in two *Arabidopsis thaliana* genotypes. *Annals of Botany*, 85: 571-575.

Shahbodaghlo, A., Azizi, A., Sarikhani, H. and Rajabi, M. 2017. Influences of UV-A radiation on antioxidant capacity, cynarin content and some morphophysiological properties of three genotypes of artichoke (*Cynara scolymus* L.). *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 7(4): 97-110. (In Persian).

Shiati, S., Khara, J. and Hassanzade Ghort Tapeh, A. 2016. Application effects of mycorrhiza on physiological traits of flax (*Linum usitatissimum* L.) under UV stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 32(5): 880-899. (In Persian).

Shiferaw, B. and Baker, D.A. 1996. An evaluation of drought screening techniques for *Eragrostis tef*. *Tropical Science*, 36: 74-85.

Suesslin, C. and Frohnmeyer, H. 2003. An Arabidopsis mutant defective in UV-B light-mediated responses. *The Plant Journal*, 33: 1-11.

Suzuki, Y., Takano, E., Hayakawa, S. and Aoki, M. 1988. Promotion of acclimatization of plant seedlings by ultra-violet irradiation. *Acta Horticulturae*, 230: 413-418.

Teramura, A.H., Sullivan, J.H. and Lydon, J. 1990. Effects of UV-B radiation on soybean yield and seed quality: A 6-year study. *Physiologia Plantarum*, 80: 5-11.

Teramura, A.H., Tevini, M. and Iwanzik, W. 1983. Effects of ultraviolet-B irradiation on plants during mild water stress: I. Effects on diurnal stomatal resistance. *Physiologia Plantarum*, 57: 175-180.

Tohidi Moghadam, H.R., Sani, B., Sheybani, H.A. and Modarres Sanavy, S.M.A. 2016. Effect of elevated CO_2, drought stress and ultra violet on quantity and quality characteristics in two autumn cultivars of canola (*Brassica napus* L.). *Environmental Sciences*. 14(3): 57-72. (In Persian).

Wang, C.Y., Chen, C.T. and Wang, S.Y. 2009. Change of flavonoid content and antioxidant capacity inblueberries after illumination with UV-C. *Food Chemistry*, 117: 426-431.

Wang, Y., Qiu, N., Wang, X., Ma, Z. and Du, G. 2008. Effects of enhanced UVB radiation on fitness of an alpine species *Cerastium glomeratum* Thuill. *Journal of Plant Ecology*, 1(3): 197-202.

Wise, M.J. and Tunnacliffe, A. 2004. POPP the question: what do LEA proteins do?. *Trends in Plant Science*, 9: 13-17.

Zhang, W.J. and Björn, L.O. 2009. The effect of ultraviolet radiation on the accumulation of medicinal compounds in plants. *Fitoterapia*, 80(4): 207-218.

Zomorodi, Sh., Nourjou, A. and Emami, A. 2006. Study the effects of deficit irrigation on the yield, quality and storability of tomato. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 27: 19-30. (In Persian).

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 3, Issue 1, Spring and Summer 2021, P. 127-149

The use of ultraviolet radiation as a way to improve the efficiency of physiological and biochemical processes to produce optimal yield in drought stress conditions

Behnoush Rasaei[1], Saeid Jalali-Honarmand[1], Majid Abdoli[2]*

[1]Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran.
[2]Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran.

*Corresponding Author: Majid.abdoli64@yahoo.com

Received: 9 April 2020 Accepted: 18 August 2020 **DOI: 10.22034/csrar.2021.226242.1065**

Abstract

In arid regions, water scarcity is one of the main factors limiting production of crops, so that in these areas, the available water is very low for cultivation. Therefore, in addition to water management, it has to overcome dryness with a series of methods and produce crops. Despite the fact that heavy doses of ultraviolet radiation on plants and animals has harmful effects, but mild doses of ultraviolet radiation are a good way to reduce the sensitivity of the plant to environmental stresses, including drought. So that by applying mild doses of UV-A and UV-B rays, defense mechanisms such as enzymes and non-enzymes increase relative to the control (without ultraviolet radiation) and it improves the physiological traits. On the other hand, it has a positive effect on the qualitative and quantitative characteristics of the product. Despite the fact that in most cases, drought stress and ultraviolet radiation alone have adverse effects on the plant, the interaction of the two factors causes the plant to develop defense mechanisms. As a result, the damage caused by subsequent stress (such as dryness) on the plant was reduced by ultraviolet radiation.

Keywords: Arid regions, Crops, Defense mechanisms, Drought stress, Product quality, Ultraviolet radiation