

## Stomatal characteristics, chlorophyll fluorescence, and physiological and phytochemical responses of three Cornflower cultivars (*Centaurea cyanus*) to ultraviolet A and B

Mehdi Rastegar<sup>1</sup>, Hasan Mumivand<sup>\*2</sup>, Abdolhossein Rezaeinejad<sup>3</sup>,  
Alireza Shayganefar<sup>4</sup>

1. M.Sc. Graduate of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran. E-mail: [mehdir72@yahoo.com](mailto:mehdir72@yahoo.com)
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran. E-mail: [mumivand.h@lu.ac.ir](mailto:mumivand.h@lu.ac.ir)
3. Professor, Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran. E-mail: [rezaeinejad.hosein@gmail.com](mailto:rezaeinejad.hosein@gmail.com)
4. Assistant Prof., Dept. of Horticultural and Green Space Engineering, Faculty of Agriculture, Malayer University, Iran. E-mail: [shayganfar.a.r@gmail.com](mailto:shayganfar.a.r@gmail.com)

### Article Info

**Article type:**  
Full Length Research Paper

**Article history:**  
Received: 12.18.2022  
Revised: 03.28.2023  
Accepted: 05.02.2023

**Keywords:**  
Antioxidant activity,  
Antioxidant enzymes,  
Chlorophyll fluorescence,  
Flavonoids,  
Stomata

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Nowadays, because of human industrial activities, ozone layer depletion increases the amount of ultraviolet (UV) irradiation that reaches Earth's surface; creating problems for living organisms. Since plants always need sunlight, the effects of UV radiation on plants are inescapable. The present study was conducted to evaluate the physiological, phytochemical and chlorophyll fluorescence responses and stomatal characteristics of three cornflower cultivars to UV radiation in 2018.

**Materials and Methods:** The experiment was performed as a split plot in a completely randomized design. Ultraviolet light was considered as the first factor in four levels (control, ultraviolet A, ultraviolet B and ultraviolet A + B) and three cornflower cultivars as the second factor. When seedlings had four real leaves, the UV treatments were started by ultraviolet lamps made by Q-Lab company of the USA. At the end of experiment, physiological and phytochemical traits including relative water content, electrolyte leakage, lipid peroxidation, chlorophyll a and b, carotenoid content, catalase and peroxidase activity, stomatal guard cell length and width, stomatal index, stomatal density, chlorophyll fluorescence, phenol and flavonoid contents, anthocyanin, and antioxidant activity of extract were assayed. The analysis of variance was done using Minitab software according to the experimental design. Mean comparison was performed using LSD test method at 0.05.

**Results:** The results showed that the amount of malondialdehyde, electrolyte leakage and antioxidant enzymes activity was increased under UV-B radiation. UV-B radiation decreased leaf chlorophyll content, but increased carotenoids. UV A had no significant effect on chlorophyll, while, increased carotenoids. Maximum fluorescence, variable fluorescence and maximum quantum efficiency of photosystem II were reduced under UV treatment. In contrast, UV radiation increased the minimum of fluorescence. UV-B and UV-A+B radiation increased width of stomatal guard cell, and stomatal index and density, but decreased length of stomatal guard cell in cornflower. The amount of flavonoids, total phenol, anthocyanin and antioxidant activity of cornflowers increased by UV

---

radiation. Among the cornflower cultivars studied, Kornblume blau cultivar had shown the highest values of total phenol, total flavonoids and anthocyanins as well as antioxidant activity.

**Conclusion:** In the present study, UV-B radiation and simultaneous UV-A+B radiation led to more extensive physiological and phytochemical responses in cornflower cultivars. Based on the results obtained in this study, it can be concluded that UV-B has more destructive effects than UV-A on cornflower. In the comparison between cultivars, it was found that Kornblume blau cultivar is more suitable for medicinal use due to its higher phytochemical compounds and biological activity.

---

Cite this article: Rastegar, Mehdi, Mumivand, Hasan, Rezaeinejad, Abdolhossein, Shayganefar, Alireza. 2024. Stomatal characteristics, chlorophyll fluorescence, and physiological and phytochemical responses of three Cornflower cultivars (*Centaurea cyanus*) to ultraviolet A and B. *Journal of Plant Production Research*, 31 (1), 1-22.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JOPP.2023.20703.2975

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## ویژگی‌های روزنه‌ای، فلورسانس کلروفیل و پاسخ‌های فیزیولوژیک و زیست شیمیایی سه رقم گل گندم (*Centaurea cyanus*) به تابش پرتو فرابنفش آ و ب

مهدی رستگار<sup>۱</sup>، حسن مومیوند<sup>۲\*</sup>، عبدالحسین رضایی نژاد<sup>۳</sup>، علیرضا شایگان‌فر<sup>۴</sup>

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ایران. رایانامه: [mehdir72@yahoo.com](mailto:mehdir72@yahoo.com)
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ایران. رایانامه: [mumivand.h@lu.ac.ir](mailto:mumivand.h@lu.ac.ir)
۳. استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ایران. رایانامه: [rezaeinejad.hosein@gmail.com](mailto:rezaeinejad.hosein@gmail.com)
۴. استادیار گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ایران. رایانامه: [shayganfar.a.r@gmail.com](mailto:shayganfar.a.r@gmail.com)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: امروزه کاهش ضخامت لایه اوزون به دلیل افزایش ترکیبات آلوده‌کننده اتمسفر، باعث افزایش میزان پرتو فرابنفش در سطح زیست کره شده و مشکلاتی را برای موجودات زنده به وجود آورده است. اثرات تابش فرابنفش بر گیاهان به علت نیاز دائمی آن‌ها به نور خورشید، غیرقابل اجتناب است. پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیر پرتوهای فرابنفش (آ و ب) بر ویژگی‌های روزنه‌ای، فلورسانس کلروفیل و صفات فیزیولوژیک و زیست شیمیایی سه رقم گل گندم انجام شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۷	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۱/۰۸	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۲	
واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، روزنه، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فلاونوئید، کلروفیل فلورسانس	مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی اجرا شد. پرتو فرابنفش در چهار سطح به عنوان عامل اول (شاهد، پرتو فرابنفش-آ، پرتو فرابنفش-ب و پرتو فرابنفش-آ+ب) و سه رقم گل گندم به عنوان فاکتور دوم در نظر گرفته شدند. پس از رسیدن نشاها به مرحله رشدی چهار برگ حقیقی، تیماردهی توسط لامپ‌های فرابنفش ساخت شرکت کیو لب <sup>۱</sup> آمریکا شروع شد. در اواخر دوره رشد گیاهان صفات فیزیولوژیک و زیست‌شیمیایی مختلف شامل محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیتی، پراکسیداسیون لیپیدهای غشا، میزان کلروفیل‌های آ، ب و کاروتنوئید، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز، ویژگی‌های روزنه‌ای شامل تراکم و شاخص روزنه‌ای، طول و عرض سلول‌های محافظ روزنه، فلورسانس کلروفیل در برگ‌ها و هم‌چنین صفات زیست‌شیمیایی شامل محتوای فنول و فلاونوئید کل، آنتوسیانین برگ و خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصاره مورد ارزیابی قرار

گرفتند. تجزیه واریانس داده‌ها بر اساس طرح آزمایش مورد استفاده و مقایسه میانگین تیمارها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار<sup>۱</sup> در سطح پنج درصد با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب<sup>۲</sup> انجام گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که میزان مالون‌دی‌آلدهید، نشت الکترولیتی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز تحت تأثیر پرتو فرابنفش-ب افزایش نشان داد. تابش پرتو فرابنفش-ب باعث کاهش مقدار کلروفیل برگ و افزایش کاروتنوئید شد. با این حال فرابنفش-آ هیچ تأثیری بر کلروفیل نداشت، اما باعث افزایش کاروتنوئید گردید. فلورسانس حداکثر، فلورسانس متغیر و حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II تحت تیمار فرابنفش کاهش یافت. بر خلاف این تیمار پرتو فرابنفش باعث افزایش فلورسانس حداقل شد. پرتو فرابنفش-ب و آ+ب باعث افزایش عرض سلول محافظ روزنه، تراکم روزنه و شاخص روزنه‌ای و کاهش طول سلول محافظ روزنه در گل گندم شد. میزان فلاونوئید، فنول کل، آنتوسیانین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گل گندم در نتیجه تابش پرتو فرابنفش-ب افزایش یافت. بین ارقام گل گندم مورد مطالعه، رقم کورنبلوم بلو<sup>۳</sup> دارای مقادیر بالاتر فنول کل، فلاونوئید کل و آنتوسیانین بود و از فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیش‌تری نیز برخوردار بود.

**نتیجه‌گیری:** در این مطالعه تابش فرابنفش-ب و تابش هم‌زمان فرابنفش-آ و ب منجر به پاسخ‌های فیزیولوژیک و زیست‌شیمیایی گسترده‌تری در ارقام گل گندم شد. با توجه به نتایج حاصل می‌توان گفت که پرتو فرابنفش-ب اثرات تخریبی شدیدتری نسبت به پرتو فرابنفش-آ روی گل گندم دارد. در مقایسه بین ارقام نیز مشخص گردید که رقم کورنبلوم بلو به دلیل ترکیبات زیست‌شیمیایی و فعالیت زیستی بالاتر جهت کاربرد دارویی مناسب‌تر است.

**استناد:** رستگار، مهدی، مومیوند، حسن، رضایی‌نژاد، عبدالحسین، شایگان‌فر، علیرضا (۱۴۰۳). ویژگی‌های روزنه‌ای، فلورسانس کلروفیل و پاسخ‌های فیزیولوژیک و زیست‌شیمیایی سه رقم گل‌گندم (*Centaurea cyanus*) به تابش پرتو فرابنفش آ و ب. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۱ (۱)، ۲۲-۱.  
DOI: 10.22069/JOPP.2023.20703.2975



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

- 1- LSD
- 2- Minitab
- 3- Kornblume blau

## مقدمه

در دهه‌های گذشته فعالیت‌های صنعتی بشر باعث افزایش ترکیبات آلوده‌کننده اتمسفر به‌خصوص ترکیبات هالوژن‌دار شده است. این ترکیبات به دلیل پایداری بالایی که دارند به سطح استراتوسفر رسیده و باعث تخریب لایه اوزون می‌شوند. کاهش لایه اوزون سبب افزایش میزان پرتوهای فرابنفش در سطح زمین شده و مشکلاتی را برای موجودات زنده به وجود آورده است (۱). پرتو فرابنفش بخشی از طیف الکترومغناطیسی بین پرتو ایکس و نور مرئی است که به‌طور متداول به سه دسته پرتو فرابنفش-آ (۳۱۵ تا ۴۰۰ نانومتر)، فرابنفش-ب (۲۸۰ تا ۳۱۵ نانومتر) و فرابنفش-سی (۱۰۰ تا ۲۸۰ نانومتر) تقسیم می‌شود. کم‌تر از ۷ درصد از پرتو خورشید که به سطح زمین می‌رسد تقریباً در دامنه بین ۲۹۵ تا ۴۰۰ نانومتر (فرابنفش-آ تا فرابنفش-ب) قرار دارد و طول موج‌های کوتاه‌تر فرابنفش (فرابنفش-سی) به‌طور کامل به‌وسیله اوزون استراتوسفری فیلتر می‌شود (۲). پرتو فرابنفش-ب زیان‌بارترین شکل از تابش خورشید است که به سطح زمین می‌رسد، چرا که می‌تواند موجب آسیب فتوشیمیایی به مولکول DNA شود (۳). گیاهان و موجودات فتوسنتزکننده برای فتوسنتز به نور خورشید نیاز دارند. از طرفی وجود پرتو فرابنفش-ب در تابش خورشید به اجزای سلول آسیب وارد می‌کند.

حساسیت گیاهان به پرتو فرابنفش بسته به گونه گیاهی، رقم، مراحل رشد و نمو، شرایط رشد و میزان پرتو فرابنفش متفاوت است. افزایش فرابنفش-ب تغییرات فیزیولوژیک، آناتومیک، مورفولوژیک و زیست شیمیایی در گیاهان ایجاد می‌کند و بر سطوح مختلف عملکردی گیاهان که دربرگیرنده تغییرات ساختار فضایی و آسیب به مولکول‌های مختلف مانند DNA، پروتئین‌ها و لیپیدها است، اثرگذار است (۴ و ۵). از نظر ریخت‌شناسی، بررسی‌های انجام‌گرفته

روی اثرات پرتو فرابنفش-ب بر گیاهان علفی و محصولات کشاورزی دامنه گسترده‌ای از واکنش‌های فتومورفوزنز مانند کاهش گسترش سلولی، ممانعت از طولی شدن هیپوکوتیل، ضخیم شدن و کاهش سطح برگ، رنگ‌پریدگی برگ، تولید و افزایش کرک‌ها، کوتاه‌قدی گیاه، کاهش زی‌توده و کاهش باروری و بهره‌وری گیاه را در برمی‌گیرد (۶، ۷ و ۸). پرتو فرابنفش باعث اختلال در عمل آنزیم تجزیه‌کننده آب، تخریب فتوسیستم II، پلاستوکوئینون، کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو و آنزیم ATP سنتاز می‌شود. هم‌چنین با القای بسته شدن روزنه‌ها و تغییر در ضخامت و آناتومی برگ می‌تواند فتوستتزی را تحت تأثیر قرار دهد. تخریب رنگیزه‌های فتوستتزی توسط پرتوهای فرابنفش نیز از دیگر دلایل کاهش میزان فتوستتزی است (۹).

برای حفاظت از تنش پرتو فرابنفش-ب در گیاهان سازوکارهای دفاعی، شامل سازوکارهای آنزیمی و غیرآنزیمی تکامل‌یافته است (۱۰). در حفاظت غیرآنزیمی سنتز ترکیباتی چون فنل‌های محلول (مانند فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها و مشتقات هیدروکسی سینامیک اسید)، فنل‌های غیرمحلول (مانند لیگنین)، کاروتنوئیدها، آلكالوئیدها، کانیپنوئیدها، گلوکوزینولات‌ها و ایزوتیوسیانات‌ها افزایش می‌یابد. گیاهان ممکن است ترکیبات جذب‌کننده پرتو فرابنفش-ب مانند فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها را در اپیدرم برگ تولید کنند. مکانیسم‌های آنزیمی نیز شامل فعالیت آنزیم‌های فتولیز، سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، گلوکاتایون ردوکتاز و غیره است (۱۱). آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز گیاهان را در برابر تنش اکسایشی ناشی از تولید گونه‌های فعال اکسیژن<sup>۱</sup> به‌وسیله پرتو فرابنفش، با تبدیل رادیکال‌های سوپراکسید به پراکسید هیدروژن<sup>۲</sup> و در ادامه تجزیه آن به آب و اکسیژن محافظت می‌کنند (۱۲).

1- ROS

2- H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

در تابش پرتو فرابنفش همگام با تغییرات اقلیمی، دارای اهمیت زیادی است. بنابراین، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر پرتوهای فرابنفش (آ و ب) بر ویژگی‌های روزنه‌ای، فلورسانس کلروفیل و صفات فیزیولوژیک و زیست شیمیایی سه رقم گل گندم انجام شد.

### مواد و روش‌ها

**طرح آزمایشی و شرایط اجرای آزمایش:** این تحقیق در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان در تابستان و پاییز سال ۱۳۹۷ طراحی و اجرا شد. دمای گلخانه در طول دوره آزمایش در روز ۲۷-۲۵ درجه سانتی‌گراد و در شب ۱۷-۱۵ درجه سانتی‌گراد، و رطوبت نسبی نیز برابر با ۷۰ درصد تنظیم گردید. بذور ارقام گل گندم از شرکت فارماست آلمان خریداری و در سینی‌های پلاستیکی حاوی کوکوپیت و پرلیت کشت شدند. پس از رسیدن به مرحله دو برگ حقیقی، گیاهچه‌ها به گلدان‌های هشت لیتری منتقل شدند. بستر کشت گلدان‌ها شامل مخلوطی از خاک، کود دامی پوسیده و ماسه به نسبت مساوی ۱:۱:۱ بود. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان‌ها در جدول ۱ ذکر شده است. مطالعه به‌صورت آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار طراحی و اجرا شد. تابش پرتو فرابنفش در چهار سطح (شامل: شاهد یا عدم کاربرد پرتو فرابنفش، پرتو فرابنفش-آ، پرتو فرابنفش-ب و پرتو فرابنفش آ + ب) به‌عنوان کرت اصلی و نوع رقم در سه سطح (ارقام کورنبلوم پینک<sup>۱</sup>، کورنبلوم رات<sup>۲</sup> و کورنبلوم بلو<sup>۳</sup>) به‌عنوان کرت فرعی (در مجموع ۳۶ واحد آزمایشی) در نظر گرفته شدند.

از زمان کشف تخریب لایه ازن (حدود ۳۰ سال پیش)، پاسخ میکروارگانیسم‌ها، حیوانات و گیاهان به پرتو فرابنفش خورشید موضوع پژوهش‌های بسیاری بوده است. در مطالعه دیاز و همکاران (۲۰۲۰) روی زیتون مشخص شد که تیمار پرتو فرابنفش-ب باعث افزایش فعالیت سوپراکسیددیسموتاز، گایاکول پراکسیداز و کاتالاز شد (۱۳). تابش پرتو فرابنفش-ب باعث کاهش حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II در گیاهان آراییدوپسیس رشد کرده در هر دو نور سفید و قرمز شد (۱۴). تابش فرابنفش-آ منجر به افزایش ترکیبات فنلی در سه گونه آویشن گردید (۶). در مطالعه چن و همکاران (۲۰۱۹) نیز عنوان شد که پرتو فرابنفش-آ، وزن خشک ساقه و سطح برگ کاهو را کاهش و میزان آنتوسیانین و آسکوربیک اسید آن را افزایش داد (۱۵).

گل گندم با نام علمی *Centaurea cyanus* گیاهی یک‌ساله متعلق به خانواده آفتابگردان<sup>۱</sup> است (۱۶). این گیاه به‌دلیل تنوع رنگی که دارد هم در باغ‌های پرورش گل و هم به‌عنوان گل بریده برای مصارف زینتی کاربرد دارد (۱۷). هم‌چنین گل‌گندم دارای ویژگی‌های دارویی و درمانی است و از آن به‌عنوان چای و دم‌نوش استفاده می‌شود. گل‌های این گیاه قابض ملایم، محرک و قاعده‌آور است و عرق آن نیز در گذشته به‌منظور برطرف کردن ضعف بینایی به‌کار می‌رفته است (۱۶). مهم‌ترین مواد مؤثره موجود در گل‌های این گیاه شامل موسیلاژ، پروتوسیانین، مواد مومی، تانن و مقدار بسیار کمی اسانس است. در گل‌ها و پیکر رویشی آن مقادیر فراوانی پتاسیم و منگنز وجود دارد. بررسی واکنش‌های گیاهان به پرتو فرابنفش (به‌خصوص فرابنفش-ب) به علت تنوع گسترده این پرتو در محیط و در سراسر اکوسیستم‌های خشکی و هم‌چنین شبیه‌سازی شرایط تغییرات بیش‌تر

2- Kornblume pink  
3- Kornblume rot  
4- Kornblume blau

1- Asteraceae

نگهدارنده به منظور استقرار لامپ‌ها و شروع تیماردهی، قبلاً تهیه و لامپ‌ها روی آن‌ها نصب شد. از یک تایمر الکتریکی نیز جهت برنامه‌ریزی زمان خاموش و روشن شدن لامپ‌ها استفاده گردید. تیماردهی از ساعت ۱۱ تا ۱۴ که بیش‌ترین تابش پرتو فرابنفش خورشیدی وجود دارد و به صورت روزانه به مدت سه ساعت اعمال شد. فاصله بین تیمارها به منظور جلوگیری از تداخل تیمارهای مختلف، به وسیله یونولیت ایزوله گردید.

اعمال تیمارهای فرابنفش: پس از رسیدن نشاها به مرحله رشدی چهار برگ حقیقی، تیماردهی توسط لامپ‌های فرابنفش ساخت شرکت کیولب<sup>۱</sup> آمریکا شروع شد. لامپ‌های ۴۰ واتی مورد استفاده در این مطالعه باند پهن<sup>۲</sup> بوده و بیش‌ترین تطبیق را با فرابنفش-ب (در لامپ‌های فرابنفش-ب) و فرابنفش-آ (در لامپ‌های فرابنفش-آ) دریافتی از نور خورشید در سطح زمین داشتند، بنابراین بهترین شبیه‌سازی ممکن را فراهم می‌کردند. تعدادی پایه فلزی

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک.

Table 1. Some physical and chemical properties of soil.

پی اچ pH	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	کربن C (%)	پتاسیم K (ppm)	نیتروژن N (%)	بافت خاک Soil texture (%)
7.9	2.02	2.81	362.55	0.242	شنی - رسی - لومی Sandy - clay - loam

شد. مقدار کلروفیل آ، ب و کل بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ به روش محاسبه شد (۲۱). برای سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ابتدا ۰/۵ گرم برگ برای هر تیمار در هاون با نیتروژن مایع بخوبی ساییده شد. سپس با ۱۰ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷) همگن شد. در ادامه نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در سانتی‌فیوژ با ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از سانتی‌فیوژ نمونه‌ها، از محلول شفاف رویی برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌ها استفاده شد (۲۲ و ۲۳). فعالیت آنزیم کاتالاز بر اساس میزان کاهش جذب نور ناشی از تجزیه ملکول پراکسید هیدروژن در طول موج ۲۴۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر ارزیابی شد (۲۴). فعالیت پراکسیداز بر اساس میزان افزایش جذب نور در طول موج ۴۷۰ نانومتر ناشی از اکسیداسیون گایاکول توسط اسپکتروفتومتر ارزیابی شد (۲۵).

ارزیابی صفات فیزیولوژیک و زیست شیمیایی: در اواخر دوره رشد گیاهان صفات فیزیولوژیک و زیست شیمیایی مختلف ارزیابی گردید. محتوای نسبی آب برگ بر اساس روش یاماساکی و دیلنبرگ (۱۹۹۹) اندازه‌گیری شد (۱۸). میزان نشت الکترولیتی طبق روش لوتس و همکاران (۱۹۹۶) و با استفاده از رابطه ریاضی  $EL = \frac{EL1}{EL2} * 100$  محاسبه گردید (۱۹). سنجش پراکسیداسیون لیپیدهای غشا بر اساس تشکیل مالون دی‌آلدئید حاصل از پراکسیداسیون لیپیدهای غشا با تیوباریتوریک اسید انجام شد (۲۰). برای اندازه‌گیری کلروفیل‌های آ، ب و کاروتنوئید، ۰/۱ گرم از برگ تازه با ۱۰ میلی‌لیتر استون ساییده شد. عصاره حاصل برای ۱۵ دقیقه در دستگاه سانتی‌فیوژ با دور ۴۰۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد. از محلول رویی مقدار سه میلی‌لیتر به داخل کووت اسپکتروفتومتر ریخته شد و مقدار جذب در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۲ به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت

1- Q-Lab

2- Broad Band

چهار میلی‌لیتر محلول  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  یک مولار مخلوط و سپس ۰/۵ میلی‌لیتر محلول عصاره به آن اضافه شد. پس از ۱۵ دقیقه نگهداری در دمای اتاق، جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. فلاونوئید کل به روش رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم اندازه‌گیری شد (۲۸). ابتدا به ۵۰ میکرولیتر از نمونه‌های عصاره گیاهی، ۴۰۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم دو درصد و سپس ۱۲۰۰ میکرولیتر محلول استات پتاسیم پنج درصد اضافه شد. پس از ۴۰ دقیقه نگهداری در دمای اتاق جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۱۵ نانومتر قرائت شد. به منظور اندازه‌گیری آنتوسیانین برگ از روش واگنر (۱۹۷۹) استفاده شد (۲۶). نمونه‌های برگ در هاون چینی حاوی محلول متانول اسیدی کاملاً ساییده شد و عصاره به دست آمده به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی قرار گرفت. پس از گذشت ۲۴ ساعت جذب محلول رویی با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۵۰ نانومتر قرائت شد. در پایان خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصاره به دو روش اف‌آرای پی و دی‌پی‌پی‌اچ اندازه‌گیری شد (۲۲ و ۲۳).

**تجزیه و تحلیل داده‌ها:** برای تجزیه واریانس داده‌ها و بر اساس طرح آزمایشی مورد مطالعه از نرم‌افزار مینی تب<sup>۱</sup> استفاده شد. مقایسه میانگین تیمارها نیز با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار<sup>۲</sup> در سطح پنج درصد انجام گرفت. برای ترسیم جداول از نرم‌افزارهای ورد<sup>۳</sup> و اکسل<sup>۴</sup> استفاده گردید.

**ویژگی‌های روزنه‌ای و فلورسانس کلروفیل:** ویژگی‌های روزنه‌ای با استفاده از اپیدرم تحتانی برگ‌های بالغ اندازه‌گیری شد. برای این کار از روش عکس‌برداری میکروسکوپی با بزرگنمایی‌های ۲۰، ۴۰ و ۱۰۰ و نرم‌افزار Image tools استفاده شد. تراکم و شاخص روزنه‌ای و طول و عرض سلول‌های محافظ روزنه اندازه‌گیری و محاسبه شد (۲۶). برای حداقل ۱۰ روزنه به صورت تصادفی از هر اسلاید مربوط به اپیدرم یک برگ عکس‌برداری شد و میانگین آن‌ها در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری تراکم روزنه‌ای نیز از هر اسلاید دو عکس به‌طور تصادفی تهیه و میانگین آن‌ها به عنوان تراکم روزنه‌ای بر حسب میلی‌متر مربع در نظر گرفته شد.

برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل یا بیشینه عملکرد کوانتومی سیستم نوری (Fv/Fm) II در برگ‌ها، از دستگاه فلورسانس سنج (فلوریمتر) مدل OS\_30p ساخت شرکت Opti\_Sciences کشور آمریکا استفاده شد. به منظور جلوگیری از انجام فلورسانس، فلوریمتری در برگ‌ها کاملاً توسعه یافته بالای بوته در تاریکی و در ساعات نیمه شب انجام شد. برای این منظور کمینه فلورسانس (F0)، بیشینه فلورسانس (Fm)، فلورسانس متغیر (Fv) و بیشینه عملکرد کوانتومی سیستم نوری (Fv/Fm) II محاسبه شد.

#### ارزیابی صفات زیست شیمیایی

**صفات زیست شیمیایی:** جهت اندازه‌گیری محتوای فنول کل از معرف فولین سیوکالتیو استفاده شد (۲۷). ابتدا به یک گرم از نمونه گل خشک ۱۰ سی‌سی متانول ۸۰ درصد اضافه و ۴۸ ساعت در دمای اتاق نگهداری شد. ۰/۵ میلی‌لیتر از معرف سیوکالتیو با

1- Minitab  
2- LSD  
3- Word  
4- Excel



**نتایج و بحث**

معنی‌دار بود. بین ارقام گل گندم نیز از نظر محتوای نسبی آب اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. اما اثر متقابل فرابنفش و رقم بر هیچ‌یک از صفات مورد مطالعه معنی‌دار نشد (جدول ۲).

صفات فیزیولوژیک و زیست شیمیایی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر پرتو فرابنفش بر نشت الکترولیت، مالون دی آلدئید، کاتالاز، پراکسیداز، کلروفیل آ، کلروفیل ب، کلروفیل کل و کاروتنوئید

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر پرتو فرابنفش بر برخی صفات فیزیولوژیک و زیست شیمیایی سه رقم گل گندم.

**Table 2. Analysis of variance of the effect of UV radiation on some physiological and biochemical traits of three Cornflower cultivars.**

میانگین مربعات Mean of square				
کاتالاز Catalase	مالون دی آلدئید Malon dialdehyde	نشت الکترولیتی Electrolyte leakage	محتوای نسبی آب RWC	منابع تغییرات Source of variation
1.4207*	0.053**	632.61**	130.38 <sup>ns</sup>	فرابنفش UV
0.0987	0.00015	2.65	135.09	خطای اصلی Main error
0.029 <sup>ns</sup>	0.00008 <sup>ns</sup>	1.411 <sup>ns</sup>	260.40*	رقم Cultivar
0.3076 <sup>ns</sup>	0.00118 <sup>ns</sup>	10.552 <sup>ns</sup>	30.34 <sup>n</sup>	رقم×فرابنفش UV×Cultivar
0.033	0.00079	0.7878	55.88	خطای کل Sub error
12.4	12.27	9.2	11.16	ضریب تغییرات (درصد) CV%

ns, \*, \*\* به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و عدم تأثیر معنی‌دار هستند

ns, \*, \*\* Show significant differences at 1% and 5% levels and no significant difference, respectively

**ادامه جدول ۲-**

**Continue Table 2.**

میانگین مربعات Mean of square					
کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل کل Total chlorophyll	کلروفیل ب Chlorophyll b	کلروفیل آ Chlorophyll a	پراکسیداز Peroxidase	منابع تغییرات Source of variation
113089**	7.91*	3.1747*	13.524*	1.488*	فرابنفش UV
1202.9	0.66	0.0547	0.083	0.0046	خطای اصلی Main error
5772.7 <sup>ns</sup>	1.242 <sup>ns</sup>	0.704 <sup>ns</sup>	4.27 <sup>ns</sup>	0.3217 <sup>ns</sup>	رقم Cultivar
14384.4 <sup>ns</sup>	1.3517 <sup>ns</sup>	0.2249 <sup>ns</sup>	0.839 <sup>ns</sup>	0.2937 <sup>ns</sup>	رقم×فرابنفش UV×Cultivar
2393.9	0.9239	0.166	0.119	0.0043	خطای کل Sub error
5.2	7.3	10.7	9.3	9.69	ضریب تغییرات (درصد) CV%

ns, \*, \*\* به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و عدم تأثیر معنی‌دار هستند

ns, \*, \*\* Show significant differences at 1% and 5% levels and no significant difference, respectively

آ، کلروفیل ب و کلروفیل کل در تیمار شاهد و تابش پرتو فرابنفش-آ مشاهده گردید و کم‌ترین مقادیر این صفات در پرتو فرابنفش-آ+ب به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار فرابنفش-ب نداشت. هم‌چنین بالاترین مقدار کارتنوئید (۹۷۰/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در پرتو فرابنفش-آ+ب و کم‌ترین مقدار آن در تیمار شاهد مشاهده گردید (جدول ۳).

مقایسه میانگین اثر پرتو فرابنفش بر صفات فیزیولوژیک و زیست شیمیایی نشان داد که بالاترین میزان نشت الکترولیت (۳۱/۰۸ درصد)، مالون دی آلدیید (۰/۳۱ میکرومول بر گرم وزن تر)، فعالیت آنزیم کاتالاز (۲/۱ میکرومول بر گرم وزن تر) و فعالیت آنزیم پراکسیداز (۱/۷ میکرومول بر گرم وزن تر) در فرابنفش-آ+ب و کم‌ترین آن‌ها در تیمار شاهد و فرابنفش-آ به دست آمد. بیش‌ترین مقادیر کلروفیل

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر پرتو فرابنفش بر برخی صفات فیزیولوژیک و زیست شیمیایی سه رقم گل گندم.

**Table 3. Comparison of the effect of UV radiation on some physiological and biochemical traits of three Cornflower cultivars.**

پراکسیداز Peroxidase ( $\mu\text{M/g FW}$ )	کاتالاز Catalase ( $\mu\text{M/g FW}$ )	مالون دی آلدیید Malon dialdehyde ( $\mu\text{M/g FW}$ )	نشت الکترولیت Electrolyte leakage (%)	فرابنفش UV
0.810 <sup>b</sup>	1.292 <sup>c</sup>	0.157 <sup>b</sup>	13.486 <sup>c</sup>	شاهد 0
0.886 <sup>b</sup>	1.432 <sup>c</sup>	0.184 <sup>b</sup>	13.317 <sup>c</sup>	فرابنفش آ UV A
1.321 <sup>ab</sup>	1.820 <sup>b</sup>	0.302 <sup>a</sup>	17.827 <sup>b</sup>	فرابنفش ب UV B
1.709 <sup>a</sup>	2.172 <sup>a</sup>	0.318 <sup>a</sup>	31.080 <sup>a</sup>	فرابنفش آ+ب UV A+ B

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

Values within the same column followed by the same letter are not significantly different at the 5% probability level

ادامه جدول ۳-

**Continue Table 3.**

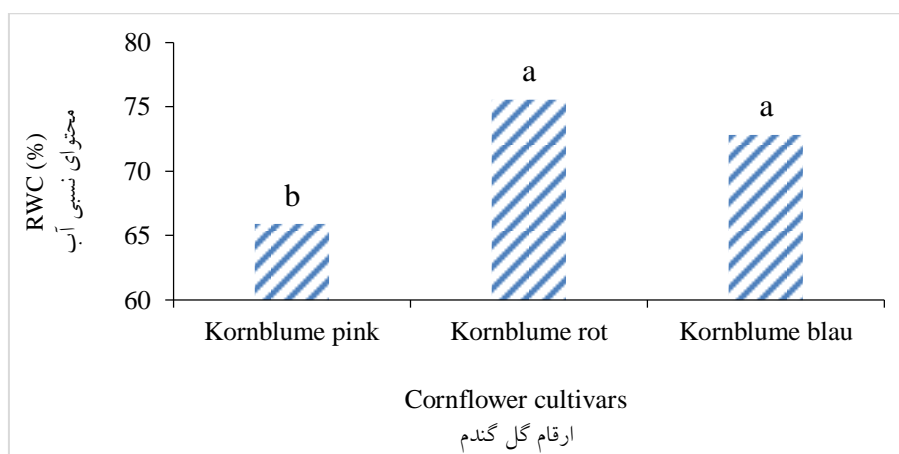
کاروتنوئید Carotenoid (Mg/g FW)	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg/g FW)	کلروفیل ب Chlorophyll b (mg/g FW)	کلروفیل آ Chlorophyll a (mg/g FW)	فرابنفش UV
730.659 <sup>c</sup>	12.450 <sup>a</sup>	5.351 <sup>a</sup>	7.648 <sup>a</sup>	شاهد 0
8.8.068 <sup>b</sup>	12.478 <sup>a</sup>	5.092 <sup>a</sup>	7.506 <sup>a</sup>	فرابنفش آ UV A
947.626 <sup>a</sup>	11.123 <sup>ab</sup>	4.814 <sup>ab</sup>	5.609 <sup>b</sup>	فرابنفش ب UV B
970.812 <sup>a</sup>	10.435 <sup>b</sup>	3.993 <sup>b</sup>	5.369 <sup>b</sup>	فرابنفش آ+ب UV A+ B

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

Values within the same column followed by the same letter are not significantly different at the 5% probability level

کرونبلوم روت و کم‌ترین آن (۶۵/۹ درصد) در رقم کرونبلوم پینک مشاهده گردید (شکل ۱).

نتایج مقایسه میانگین اثر رقم نشان داد که بالاترین مقدار محتوای نسبی آب (۷۵/۵ درصد) نیز در رقم



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر رقم بر محتوای نسبی آب برگ گل گندم.

Fig. 1. Mean comparison of the effect of cultivar on relative water content of leaf of Cornflower.

پرتوهای فرابنفش باعث افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌شوند که یکی از موارد آسیب آن‌ها پراکسیداسیون لیپیدهای غشای پلاسمایی و سایر غشاهای درونی اندامک‌هایی مانند کلروپلاست و میتوکندری است. وقوع پراکسیداسیون در لیپیدهای غشا باعث می‌شود ساختار غشا منفذدار شده که خود کاهش شاخص پایداری غشای سلولی و نشت مواد را به همراه دارد (۳۱). گیاهان به‌واسطه سازوکار تکاملی خود، برای جلوگیری از اثرات نامطلوب پرتو فرابنفش-ب روش‌های محافظتی مختلفی را کسب کرده‌اند. یکی از این روش‌ها دفاع در برابر رادیکال‌های آزاد با سیستم آنزیمی (آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز) و سیستم غیرآنزیمی (آسکوربیک اسید، کاروتنوئیدها، فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها) است (۳۲). آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان با تبدیل رادیکال‌های سوپر اکسید به پراکسید هیدروژن و تجزیه آن به آب و اکسیژن، گیاهان را در برابر تنش اکسایشی محافظت می‌کنند. در این فرایند سوپر اکسید دیسموتاز باعث تبدیل رادیکال‌های سوپر اکسید به پراکسید هیدروژن

نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که میزان مالون‌دی‌آلدهید، نشت الکترولیتی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تحت‌تأثیر پرتو فرابنفش-ب افزایش معنی‌داری نشان دادند. درحالی‌که روند افزایشی این صفات در اثر فرابنفش-آ از نظر آماری معنی‌دار نبود، که احتمالاً به دلیل تنش‌زا نبودن پرتو فرابنفش-آ بر ارقام گل گندم مورد مطالعه است. پرتو فرابنفش-آ قسمت کم‌خطر پرتو فرابنفش است و حتی می‌تواند سبب انواع واکنش‌های رشدی در گیاهان شود (۱۰). در تطابق با نتایج مطالعه حاضر، در سه گونه آویشن دناپی، قره‌باغی و باغی نیز مقدار مالون‌دی‌آلدهید، نشت الکترولیتی و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، گلوکاتایون ردوکتاز و آسکوربات پروکسیداز در تیمار فرابنفش-ب افزایش نشان داد (۲۹). تیمار گیاهان جعفری با پرتو فرابنفش-ب باعث افزایش مقدار پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید در گیاه شد که موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز و کاهش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز گردید (۳۰).

بر نقشی که در فتوسنتز (جذب نور) دارند، به‌عنوان محافظین کلروفیل نیز عمل می‌کنند. کاروتنوئیدها از ترکیب‌های دفاعی با نقش آنتی‌اکسیدانی هستند که در شرایط تنش، اثر مضر گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن را خنثی می‌سازند (۳۷). نتایج به دست آمده از یک مطالعه روی گیاه پنیرباد *Withania sonnifera* نشان داد که کاروتنوئیدها تحت پرتو فرابنفش-ب افزایش می‌یابند. به نظر می‌رسد این ترکیبات گیاه را از آسیب پرتو فرابنفش-ب مازاد حفاظت می‌کنند (۳۸).

**ویژگی‌های روزنه و فلورسانس کلروفیل:** نتایج تجزیه واریانس صفات روزنه‌ای و کلروفیل فلورسانس نشان‌دهنده اثر معنی‌دار پرتو فرابنفش بر طول و عرض سلول محافظ روزنه، تراکم و شاخص روزنه‌ای، تراکم سلول‌های اپیدرمی، فلورسانس حداقل، فلورسانس حداکثر، فلورسانس متغیر و حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II بود. اثر رقم بر صفات تراکم اپیدرم و فلورسانس حداقل معنی‌دار شد. اثر متقابل پرتو فرابنفش و رقم نیز در مورد تراکم روزنه، شاخص روزنه‌ای و تراکم سلول‌های اپیدرمی معنی‌دار بود (جدول ۴).

و کاتالاز و پراکسیدازها باعث تجزیه پراکسید هیدروژن به آب می‌شوند. بنابراین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به‌شدت تحت تأثیر پرتوهای فرابنفش قرار می‌گیرد (۳۳ و ۳۴).

نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که تابش پرتو فرابنفش-ب باعث کاهش مقدار کلروفیل برگ (آ، ب و کل) و افزایش رنگیزه کاروتنوئید در سه رقم گل گندم شد. با این حال فرابنفش-آ هیچ تأثیری بر کلروفیل نداشت اما باعث افزایش کاروتنوئید گردید. در مجموع میزان کلروفیل (آ، ب و کل) در تیمارهای فرابنفش-ب و کاربرد همزمان فرابنفش-آ و ب کم‌ترین مقدار بود. چرایی این امر به‌احتمال زیاد به تنش تابش پرتو فرابنفش-ب و تخریب رنگدانه‌های گیرنده نور (کلروفیل) بر اثر برانگیختگی زیاد تحت این شرایط برمی‌گردد. در ارتباط با کلروفیل، نتایج مشابه در پژوهش‌های شایگانفر و همکاران (۲۰۱۷) در گیاه آویشن، کارگر خرمی و همکاران (۲۰۱۳) در گیاه بامیه و نصیبی و همکاران (۲۰۰۳) در گیاه کلزا گزارش شده است (۲۹، ۳۵ و ۳۶). کاروتنوئیدها دومین گروه مهم رنگیزه‌های گیاهی هستند که علاوه

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر پرتو فرابنفش بر برخی ویژگی‌های روزنه‌ای و کلروفیل فلورسانس سه رقم گل گندم.

**Table 4. Analysis of variance of the effect of UV radiation on some stomatal characteristics and fluorescence chlorophyll traits of three Cornflower cultivars.**

میانگین مربعات					
Mean of square					
تراکم سلول‌های اپیدرمی	شاخص روزنه	تراکم روزنه	عرض سلول محافظ روزنه	طول سلول محافظ روزنه	منابع تغییرات
Density of epidermal cells	Stomatal index	Stomatal density	Width of stomatal guard cell	Length of stomatal guard cell	Source of variation
36150*	53.962**	1737.96*	11.301**	93.88**	فرابنفش UV
8038	0.168	29.86	0.501	1.8	خطای اصلی Main error
52607*	0.109 <sup>ns</sup>	0.694*	0.182 <sup>ns</sup>	1.079 <sup>ns</sup>	رقم Cultivar
33011*	12.845*	894.21*	0.981 <sup>ns</sup>	6.255 <sup>ns</sup>	رقم×فرابنفش UV×Cultivar
10612	0.268	3.935	1.258	3.412	خطای کل Sub error
11.21	10.72	10.5	8.810	6.174	ضریب تغییرات (درصد) CV%

\*\*\*، \*\*، \* به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و عدم تأثیر معنی‌دار هستند

\*\*\*, \*\*, \* Show significant differences at 1% and 5% levels and no significant difference, respectively

ادامه جدول ۴-

Continue Table 4.

میانگین مربعات Mean of square				
فلورسانس متغیر/فلورسانس حداکثر Fv/Fm	فلورسانس متغیر Fv	فلورسانس حداکثر Fm	فلورسانس حداقل F0	منابع تغییرات Source of variation
0.056681**	1405080009**	1151552459**	135619**	فرابنفش UV
0.000254	3893800	2941549	263406	خطای اصلی Main error
0.000194 <sup>ns</sup>	16014273 <sup>ns</sup>	18676693 <sup>ns</sup>	140009*	رقم Cultivar
0.000241 <sup>ns</sup>	15921727 <sup>ns</sup>	18106365 <sup>ns</sup>	640897 <sup>ns</sup>	رقم×فرابنفش UV×Cultivar
0.000211	7222532	7702976	316829	خطای کل Sub error
1.852	7.249	5.905	5.168	ضریب تغییرات (درصد) CV%

\*\*، \*، <sup>ns</sup> به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و عدم تأثیر معنی‌دار هستند؛ Fv/Fm حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II  
\*\*، \*، <sup>ns</sup> Show significant differences at 1% and 5% levels and no significant difference, respectively; Fv / Fm: Maximum quantum efficiency of photosystem II

فرابنفش-آب و کم‌ترین مقدار آن در تیمار پرتو فرابنفش-آ مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت. هم‌چنین بالاترین فلورسانس حداکثر (۶۱۷۳۱/۸ درصد)، فلورسانس متغیر و حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (۸۳۲۴۷۴) در تیمار شاهد و کم‌ترین آن‌ها (به ترتیب با ۳۸۴۳۹/۸، ۲۵۷۹۷/۷ و ۰/۶۷۰۴۳۷) در تیمار فرابنفش-آب حاصل شد (جدول ۵).

مقایسه میانگین صفات نشان داد که بیش‌ترین طول سلول محافظ روزنه (۳۲/۶۵ میکرومتر) در تیمار شاهد و کم‌ترین آن (۲۵/۴ میکرومتر) در فرابنفش-آب به دست آمد. بالاترین عرض سلول محافظ روزنه (۱۳/۷ میکرومتر) در تیمار فرابنفش-ب مشاهده شد که اختلاف آن با تیمار فرابنفش-آ و آب معنی‌دار نبود. کم‌ترین عرض سلول محافظ روزنه نیز در تیمار شاهد (۱۱/۲ میکرومتر) مشاهده گردید. بیش‌ترین میزان فلورسانس حداقل در تیمار پرتو

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین اثر پرتو فرابنفش بر برخی ویژگی‌های روزنه‌ای و کلروفیل فلورسانس سه رقم گل گندم.

**Table 5. Comparison of the effect of UV radiation on some stomatal characteristics and fluorescence chlorophyll traits of three Cornflower cultivars.**

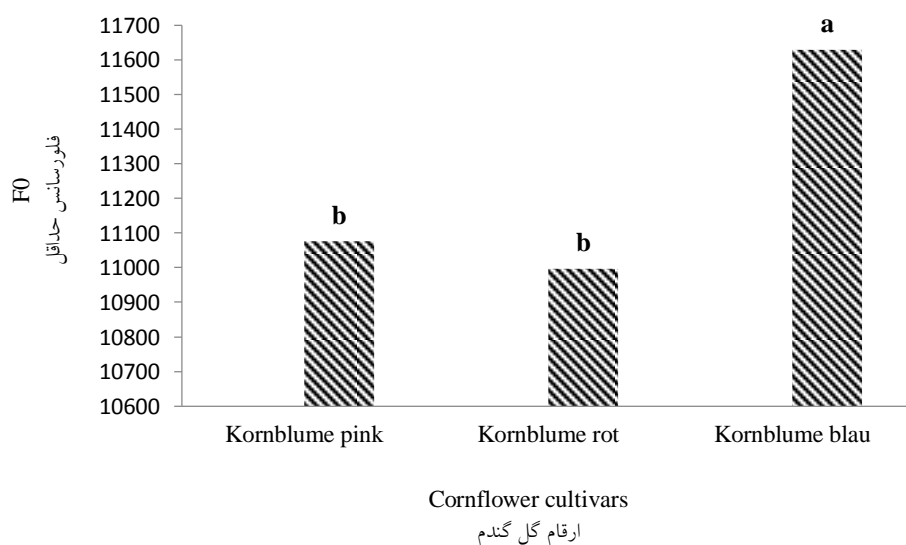
فلورسانس متغیر/فلورسانس حداکثر Fv/Fm	فلورسانس متغیر Fv	فلورسانس حداکثر Fm	فلورسانس حداقل F0	عرض سلول محافظ روزنه Width of Stomatal guard cell (μm)	طول سلول محافظ روزنه Length of Stomatal guard cell (μm)	فرابنفش UV
0.832474 <sup>a</sup>	51439.3 <sup>a</sup>	61731.8 <sup>a</sup>	10292.5 <sup>c</sup>	11.257 <sup>b</sup>	32.654 <sup>a</sup>	شاهد 0
0.82237 <sup>a</sup>	46652.9 <sup>b</sup>	56694.9 <sup>b</sup>	10042 <sup>c</sup>	12.533 <sup>a</sup>	31.972 <sup>ab</sup>	فرابنفش آ UV A
0.708914 <sup>b</sup>	29106.7 <sup>c</sup>	41068.7 <sup>c</sup>	11962 <sup>b</sup>	13.521 <sup>a</sup>	30.095 <sup>b</sup>	فرابنفش ب UV B
0.670437 <sup>c</sup>	25797.7 <sup>d</sup>	38439.8 <sup>c</sup>	12642.2 <sup>a</sup>	13.702 <sup>a</sup>	25.401 <sup>c</sup>	فرابنفش آ+ب UV A+ B

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند؛ Fv/Fm حداکثر کارایی کوانتومی فتوسنتز II

Values within the same column followed by the same letter are not significantly different at the 5% probability level; Fv / Fm: Maximum quantum efficiency of photosystem II

پینک و فرابنفش-آ مشاهده شد. بیش‌ترین شاخص روزنه‌ای (۱۱/۶ درصد) مربوط به رقم کورنبلوم پینک و فرابنفش-ب و کم‌ترین آن (۳/۴ درصد) مربوط به رقم کورنبلوم پینک و تیمار شاهد بود. هم‌چنین بیش‌ترین تراکم سلول‌های اپیدرمی (۸۶۰ میلی‌متر مربع) در رقم کورنبلوم بلو و تیمار شاهد و کم‌ترین آن (۵۱۳/۳ میلی‌متر مربع) در رقم کورنبلوم بلو و پرتو فرابنفش-ب به دست آمد (جدول ۶).

نتایج مقایسه میانگین اثر رقم بر فلورسانس حداقل (F0) نشان داد که بیش‌ترین (۱۱۶۳۰) و کم‌ترین (۱۰۹۹۷/۶) مقدار فلورسانس حداقل به ترتیب مربوط به رقم کورنبلوم بلو و کورنبلوم رات بود (شکل ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل پرتو فرابنفش و رقم نشان داد که بیش‌ترین تراکم روزنه (۷۸/۳ میلی‌متر مربع) در تیمار پرتو فرابنفش-آ+ب و رقم کورنبلوم رات و کم‌ترین آن (۲۳/۳ میلی‌متر مربع) در رقم کورنبلوم



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر رقم بر کلروفیل فلورسانس حداقل (F0) گل گندم.

**Fig. 2. Mean comparison of the effect of cultivar on chlorophyll fluorescence minimum (F0) of Cornflower.**

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل پرتو فرابنفش و رقم بر برخی ویژگی‌های روزنه‌ای سه رقم گل گندم.

**Table 6. Comparison of the mean interaction of ultraviolet radiation and cultivar on some stomatal characteristics of three Cornflower cultivars.**

تراکم سلول‌های اپیدرمی Density of epidermal cells (mm <sup>2</sup> )	شاخص روزنه Stomatal index (%)	تراکم روزنه Stomatal density (mm <sup>2</sup> )	رقم Cultivar	فرابنفش UV
526.667 <sup>cd</sup>	3.418 <sup>e</sup>	50 <sup>bcd</sup>	Kornblume pink	شاهد 0
706.667 <sup>a</sup>	6.992 <sup>cd</sup>	33.33 <sup>de</sup>	Kornblume rot	
860 <sup>a</sup>	4.640 <sup>de</sup>	33.33 <sup>de</sup>	Kornblume blau	
581.667 <sup>bcd</sup>	4.779 <sup>de</sup>	22.33 <sup>e</sup>	Kornblume pink	فرابنفش آ UV A
686.667 <sup>abcd</sup>	4.137 <sup>de</sup>	60 <sup>ab</sup>	Kornblume rot	
696.667 <sup>abc</sup>	7.5 <sup>bcd</sup>	36.66 <sup>cde</sup>	Kornblume blau	
633.333 <sup>bcd</sup>	11.666 <sup>a</sup>	55 <sup>bc</sup>	Kornblume pink	فرابنفش ب UV B
750 <sup>ab</sup>	7.666 <sup>bcd</sup>	33.33 <sup>de</sup>	Kornblume rot	
513.333 <sup>d</sup>	7.666 <sup>bcd</sup>	76.66 <sup>a</sup>	Kornblume blau	
693.333 <sup>abcd</sup>	9.339 <sup>abc</sup>	70 <sup>ab</sup>	Kornblume pink	فرابنفش آ+ب UV A+ UV B
853.333 <sup>a</sup>	10.752 <sup>ab</sup>	78.33 <sup>a</sup>	Kornblume rot	
783.333 <sup>ab</sup>	9.191 <sup>abc</sup>	60 <sup>ab</sup>	Kornblume blau	

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

Values within the same column followed by the same letter are not significantly different at the 5% probability level

نشان داد که میزان فتوسنتز، تعرق و بازدهی مصرف آب در این گونه‌ها تحت تابش فرابنفش-ب کاهش یافت. این تغییرات با کاهش چشم‌گیر در تراکم روزنه، هدایت روزنه‌ای و راندمان مصرف آب همراه بود (۴۳). پژوهش‌گران تغییرات ایجادشده در ویژگی‌های روزنه‌ای مثل تراکم روزنه را نتیجه تغییر در تبدلات گازی و افزایش کارایی مصرف آب در برگ عنوان کردند.

فلورسانس کلروفیل، یکی از شاخص‌های تهییج انرژی در ساختارهای فتوسنتزی برگ است که یک سیستم تشخیصی غیر مخرب و سریع برای ارزیابی مقاومت و تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی است. از طریق اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل، می‌توان اطلاعاتی در مورد تغییرات در کارایی فتوشیمیایی و هدررفت گرمایی به دست آورد (۴۴). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که بالاترین فلورسانس حداکثر، فلورسانس متغیر و حداکثر کارایی کوانتومی فتوسنتز II در تیمار شاهد حاصل شد. پس از آن تیمارهای فرابنفش-آ و سپس فرابنفش-ب در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. کم‌ترین میزان این صفات نیز در تیمار فرابنفش-آ+ب مشاهده شد. بر خلاف این، تحت تیمار پرتو فرابنفش فلورسانس حداقل افزایش یافت.

در آزمایش حاضر، پرتو فرابنفش-ب و آ+ب باعث افزایش عرض سلول محافظ روزنه، تراکم روزنه و شاخص روزنه‌ای و کاهش طول سلول محافظ روزنه در گل گندم شد. در همخوانی با نتایج این مطالعه، افزایش اندازه (طول) و تراکم روزنه‌ای تحت تأثیر پرتو فرابنفش در فلفل قلمی حسینی سرقرین (۲۰۰۹)، پنبه کاکانی و همکاران (۲۰۰۳) و اوکالپتوس و آکاسیا لی یو و همکاران (۲۰۰۵) گزارش شده است (۳۹، ۸ و ۴۰). در مقابل و برخلاف این نتایج، پرتو فرابنفش-ب در گیاه سویا سبب کاهش تراکم روزنه و هدایت روزنه‌ای گردید (۴۱). در گیاه نخود پرتو فرابنفش-ب روی تراکم روزنه تغییری ایجاد نکرد، اما اندازه روزنه را کاهش داد. هر چند مکانیزم نحوه اثر پرتو فرابنفش بر صفات روزنه‌ای به‌طور دقیق مشخص نیست ولی احتمالاً ناشی از اثر مستقیم فرابنفش بر سلول‌های محافظ روزنه و سیستم پمپ و انتقال یونی در این سلول‌های محافظ است (۴۲). تابش طولانی‌مدت پرتو فرابنفش-ب روی پنج گونه درخت پهن‌برگ شامل زبان‌گنجشک *Fraxinus excelsior*، توس نقره‌ای *Betula pendula*، نمدار *Tilia cordata*، بلوط قرمز اروپایی *Quercus robur* و افرای شبه‌چناری *Acer pseudoplatanus*

بیشینه فلورسانس می‌رسد که نتیجه آن کاهش فلورسانس متغیر خواهد بود و کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II کاهش می‌یابد. کاهش پذیرنده‌های الکترون ممکن است باعث افزایش احتمال تولید رادیکال‌های واکنش‌پذیر شود که این رادیکال‌های آزاد می‌توانند به اجزای فتوسیستم آسیب وارد نمایند. کاهش عملکرد کوانتومی نشانه افزایش مقدار حفاظت نوری نیز هست. کارایی کوانتوم فتوسیستم II، سالم بودن غشای تیلاکوئید را نشان می‌دهد (۴۴).

**صفات زیست شیمیایی:** نتایج پژوهش حاضر نشان داد که پرتو فرابنفش اثر معنی‌داری بر صفات فنول کل، فلاونوئید کل، آنتوسیانین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گل‌گندم در هر دو آزمون اف آر ای پی<sup>۱</sup> و دی پی پی اچ<sup>۲</sup> داشت. اثر رقم بر صفات فنول کل، فلاونوئید کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی در آزمون اف آر ای پی و آنتوسیانین معنی‌دار شد. اما اثر متقابل پرتو فرابنفش و رقم بر هیچ یک از صفات مورد نظر معنی‌دار نبود (جدول ۷).

افزایش فلورسانس کمینه می‌تواند نشان از آسیب به زنجیره انتقال الکترون فتوسیستم II در اثر کاهش ظرفیت Q<sub>A</sub> و عدم اکسیداسیون کامل آن به دلیل جریان کند الکترون در طول مسیر فتوسیستم II و در مجموع غیرفعال شدن فتوسیستم II باشد (۴۵). مکانیسم اثر پرتو فرابنفش بر فلورسانس کلروفیل گیاهان، مشابه اثر سایر تنش‌های محیطی مثل گرما، سرما و شوری است. برای مثال در گیاه همیشه بهار با افزایش سطح شوری فلورسانس بیشینه و عملکرد کوانتومی کاهش و فلورسانس کمینه افزایش یافت. همچنین افزایش میزان فلورسانس کمینه در ریحان بنفش و کاهو در اثر تنش سرما روستا و سجاد نیا (۲۰۱۰) و در گیاه ذرت در اثر تنش خشکی گزارش شده است (۴۶ و ۴۷). به نظر می‌رسد تابش پرتو فرابنفش به‌ویژه فرابنفش-B، به دلیل آسیب به دستگاه فتوسنتزی به‌خصوص فتوسیستم II، و جدا نمودن و تجزیه برخی پلی‌پپتیدها از آن منجر به مسدود شدن زنجیره انتقال الکترون و کاهش ظرفیت پذیرش و انتقال الکترون می‌گردد. در نتیجه سیستم به‌سرعت به

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس اثر پرتو فرابنفش بر برخی صفات زیست شیمیایی سه رقم گل‌گندم.

**Table 7. Analysis of variance of the effect of UV radiation on some phytochemical traits of three Cornflower cultivars.**

میانگین مربعات					
Mean of square					
آنتوسیانین	فعالیت آنتی‌اکسیدانی	فعالیت آنتی‌اکسیدانی	فلاونوئید	فنول کل	منابع تغییرات
Anthocyanin	DPPH	FRAP	Flavonoids	Total phenol	Source of variation
589.40**	0.000152*	5528.4*	431.58**	339.26**	فرابنفش UV
18.5	0.000016	1048.2	61.29	76.04	خطای اصلی Main error
272.53**	0.00212 <sup>ns</sup>	71958.5**	1542.37**	2462.81**	رقم Cultivar
21.37 <sup>ns</sup>	0.00006 <sup>ns</sup>	1219.1 <sup>ns</sup>	21.60 <sup>ns</sup>	106.83 <sup>ns</sup>	رقم×فرابنفش UV×Cultivar
18.21	0.000045	952.7	37.29	57.21	خطای کل Sub error
10.202	10.507	4.374	5.002	3.537	ضریب تغییرات (درصد) CV%

\*\*، \*، <sup>ns</sup> به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و عدم تأثیر معنی‌دار هستند

\*\*، \*، <sup>ns</sup> Show significant differences at 1% and 5% levels and no significant difference, respectively

1- FRAP

2- DPPH



در تیمار شاهد مشاهده گردید. در آزمون دی پی پی اچ، IC50 عصاره متانولی گل گندم تحت تابش پرتو فرابنفش کاهش یافت، بدین معنی که تابش فرابنفش منجر به کاهش غلظتی از عصاره شد که موجب ۵۰ درصد بازدارندگی رادیکال‌های آزاد می‌گردد (۴۸). بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار پرتو فرابنفش-آب (IC50=۰/۰۵۷۸۲۳۷) و کم‌ترین آن در تیمار شاهد (IC50=۰/۰۶۷۳۸۲۵) مشاهده گردید (جدول ۸).

مقایسه میانگین اثر پرتو فرابنفش بر صفات زیست‌شیمیایی نشان داد که بالاترین مقدار فنول کل (۲۱۶/۱ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم وزن خشک گل)، فلاونوئید کل (۱۲۷/۴ میلی‌گرم روتین بر گرم گل خشک)، فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش اف آر ای پی (۷۱۲/۱ میکرومول آهن بر گرم گل خشک) و آنتوسیانین (۵۰/۲ میکرومول بر گرم وزن خشک گل) در تیمار پرتو فرابنفش-آب و کم‌ترین مقادیر آن‌ها

جدول ۸- نتایج مقایسه میانگین اثر پرتو فرابنفش بر برخی صفات زیست‌شیمیایی سه رقم گل گندم.

**Table 8. Comparison of the effect of UV radiation on some phytochemical traits of three Cornflower cultivars.**

UV	فنول کل Total phenol (mg GAE/g DW)	فلاونوئید Flavonoids (mg Rutin/g DW)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی FRAP ( $\mu\text{M Fe}^{2+}$ /g DW)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی DPPH (IC50)	آنتوسیانین Anthocyanin ( $\mu\text{M/g DW}$ )
شاهد 0	202.395 <sup>b</sup>	111.499 <sup>c</sup>	656.869 <sup>c</sup>	0.0673825 <sup>a</sup>	31.3224 <sup>d</sup>
فرابنفش آ UV A	203.983 <sup>b</sup>	115.488 <sup>bc</sup>	668.7 <sup>bc</sup>	0.0641406 <sup>ab</sup>	40.0785 <sup>c</sup>
فرابنفش ب UV B	209.663 <sup>ab</sup>	121.581 <sup>ab</sup>	695.156 <sup>ab</sup>	0.0607893 <sup>ab</sup>	45.3997 <sup>b</sup>
فرابنفش آب UV A+B	216.139 <sup>a</sup>	127.438 <sup>a</sup>	712.196 <sup>a</sup>	0.0578237 <sup>b</sup>	50.2480 <sup>a</sup>

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

Values within the same column followed by the same letter are not significantly different at the 5% probability level

خشک گل) بود. کم‌ترین مقادیر صفات مورد نظر نیز در رقم کورنبلوم پینک مشاهده شد. هم‌چنین بیش‌ترین مقدار آنتوسیانین (۴۷ میکرومول بر گرم وزن خشک گل) نیز مربوط به رقم کورنبلوم بلو بود اما کم‌ترین مقدار آن در رقم کورنبلوم رات مشاهده شد (جدول ۹).

مقایسه میانگین اثر رقم بر صفات زیست‌شیمیایی نشان داد که رقم کورنبلوم بلو دارای بالاترین مقدار فنول کل (۲۲۴ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم وزن خشک گل)، فلاونوئید کل (۱۳۱/۵ میلی‌گرم روتین بر گرم وزن خشک گل) و خاصیت آنتی‌اکسیدانی به روش اف آر ای پی (۷۶۸ میکرومول آهن بر گرم وزن

جدول ۹- نتایج مقایسه میانگین اثر رقم بر برخی صفات زیست‌شیمیایی سه رقم گل گندم.

**Table 9. Comparison of the effect of cultivar on some phytochemical traits of three Cornflower cultivars.**

رقم Cultivar	فنول کل Total phenol (mg GAE/g DW)	فلاونوئید Flavonoids (mg Rutin/g DW)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی FRAP ( $\mu\text{M Fe}^{2+}$ /g FW)	آنتوسیانین Anthocyanin ( $\mu\text{M/g DW}$ )
Kornblume pink	194.692 <sup>c</sup>	108.171 <sup>c</sup>	608.076 <sup>c</sup>	40.6016 <sup>b</sup>
Kornblume rot	205.492 <sup>b</sup>	117.322 <sup>b</sup>	673.572 <sup>b</sup>	37.672 <sup>b</sup>
Kornblume blau	224.015 <sup>a</sup>	131.511 <sup>a</sup>	768.042 <sup>a</sup>	47.0129 <sup>a</sup>

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

Values within the same column followed by the same letter are not significantly different at the 5% probability level

### نتیجه‌گیری

افزایش تابش پرتو فرابنفش (به‌ویژه فرابنفش-ب) روی زمین، به‌عنوان یکی از پیامدهای تغییر شرایط اقلیمی، شیب تندی در طی سال‌های اخیر تجربه کرده است. این پدیده زندگی موجودات زنده و به‌ویژه گیاهان را تحت‌تأثیر قرار داده است. همان‌طور که نتایج این پژوهش نشان داد پرتو فرابنفش (به‌خصوص فرابنفش-ب) می‌تواند به‌عنوان یک تنش غیرزنده (محیطی) روی گیاه گل‌گندم عمل نماید و هر سه رقم مورد مطالعه برای کاهش اثرات زیان‌بار پرتو فرابنفش، ناگزیر به تغییرات در بُعد فیزیولوژی و زیست‌شیمی‌گردیدند. میزان مالون‌دی‌آلدهید، نشت الکترولیتی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تحت‌تأثیر پرتو فرابنفش-ب افزایش نشان داد. تابش پرتو فرابنفش-ب باعث کاهش مقدار کلروفیل برگ و افزایش رنگیزه کاروتنوئید شد. با این حال فرابنفش-آ هیچ تأثیری بر کلروفیل نداشت، اما باعث افزایش کاروتنوئید گردید. فلورسانس حداکثر، فلورسانس متغیر و حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II تحت تیمار فرابنفش کاهش یافت. بر خلاف این تیمار پرتو فرابنفش باعث افزایش فلورسانس حداقل شد. میزان فلاونوئید، فنول کل، آنتوسیانین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گل‌گندم در نتیجه تابش پرتو فرابنفش-ب افزایش یافت. با توجه به نتایج حاصل می‌توان گفت که پرتو فرابنفش-ب دارای آثار تخریبی شدیدتری نسبت به پرتو فرابنفش-آ روی گل‌گندم است. بین ارقام گل‌گندم مورد مطالعه نیز اختلاف معنی‌داری از نظر واکنش به پرتو فرابنفش مشاهده نگردید. با این حال، رقم کورنبلوم بلو دارای مقادیر بالاتر فنول کل، فلاونوئید کل و آنتوسیانین بود و از فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیش‌تری نیز برخوردار بود. بنابراین کشت این رقم جهت کاربرد دارویی مناسب‌تر است.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که میزان فلاونوئید، فنول کل، آنتوسیانین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه گل‌گندم در نتیجه تابش پرتو فرابنفش-ب افزایش یافت. در تطابق با نتایج مطالعه ما تابش پرتو فرابنفش-ب در گیاه سوسن صغیر منجر به افزایش معنی‌دار کاروتنوئیدها و فلاونوئیدها گردید (۴۹). نتایج حاصل از آزمایش شایگانفر و همکاران (۲۰۱۷) در سه گونه آویشن نیز نشان داد که میزان کل ترکیبات فنولی تحت تیمار پرتو فرابنفش-ب افزایش یافت و علاوه بر این سایر ترکیبات محافظتی تحت‌تأثیر تیمار پرتو فرابنفش-ب افزایش یافتند (۲۹). افزایش فلاونوئیدها تحت تنش پرتو فرابنفش-ب در برگ‌ها و ریشه‌های گیاه پنیرباد (*Withania somnifera*) نیز گزارش گردیده است. در این مطالعه میزان آنتوسیانین‌ها و کاروتنوئیدها نیز توسط تحریک آنزیم‌های گوناگون مسیر فنیل پروپانوئید افزایش یافت. این پژوهش‌گران عنوان کردند که این ترکیبات گیاه را از آسیب پرتو فرابنفش-ب مازاد حفاظت می‌کنند (۳۸). به نظر می‌رسد که پرتو فرابنفش-ب، آنزیم‌های کلیدی در مسیر فنیل پروپانوئیدها را تحریک می‌کند (۵۰). آنتوسیانین‌ها از ترکیب‌های فنولی مشتق شده از مسیر بیوستنز فلاونونوئیدها هستند که خاصیت فیلتراسیون پرتو فرابنفش را دارند (۵۱). پارک و همکاران (۲۰۰۷) همبستگی مثبتی بین تجمع آنتوسیانین و فعالیت آنزیم‌های *DFR*، *CHS* و *F<sub>3</sub>H* (آنزیم‌های مهم در مسیر تولید زیستی آنتوسیانین از فنیل آلانین) در برگ‌های کاهوی تحت تیمار با پرتو فرابنفش-ب نشان دادند. نتایج فعالیت جاروب‌کنندگی رادیکال‌های آزاد گل‌گندم با استفاده از روش دی پی پی اچ و اف آر ای پی نشان‌دهنده افزایش خاصیت آنتی‌اکسیدانی گل تحت‌تأثیر تابش فرابنفش-ب بود. در حالی‌که پرتو فرابنفش-آ تأثیری بر این صفت نداشت (۵۲).

### منابع

- Buchholz, G., Ehmann, B. & Wellman, E. (1995). Ultraviolet light inhibition of phytochrome-induced flavonoid biosynthesis and DNA photolyase formation in mustard cotyledones (*Synapis alba* L.). *Plant physiology*, 108, 227-234.
- Paul, N. D. & Gwynn-Jones, D. (2003). Ecological roles of solar ultraviolet radiation: towards an integrated approach. *Trends in Ecology and Evolution*, 18, 48-55.
- Ulm, R. & Jenkins, G. (2015). Q & A: How do plants sense and respond to UV-B radiation? *BMC Biology*, 13, 1-6.
- Li, F. R., Peng, S. L., Chen, B. M. & Hou, Y. P. (2010). A meta-analysis of the responses of woody and herbaceous plants to elevated ultraviolet-B radiation. *Acta Oecologica*, 36, 1-9.
- Searles, P. S., Flint, S. D. & Caldwell, M. M. (2001). A meta analysis of plant field studies simulating stratospheric ozone depletion. *Oecologia*, 127, 1-10.
- 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, 31.
- Kataria, S. & Guruprasad, K. N. (2014). Exclusion of solar UV components improves growth and performance of *Amaranthus tricolor* varieties. *Scientia Horticulturae*, 174, 36-45.
- Kakani, V. G., Reddy, K. R., Zhao, D. & Sailaja, K. (2003). Field crop responses to ultraviolet-B radiation: a review. *Agricultural and Forest Meteorology*, 120, 191-218.
- Lutz, C., Schonauer, E. & Neuner, G. (2005). Physiological adaptation to early spring conditions in green overwintering leaves of some alpine plants. *Phyton; annales rei botanicae*, 45 (3), 139-156.
- Hollosoy, F. (2002). Effects of ultraviolet radiation on plant cells. *Micron*, 33, 179-197.
- Foyer, C. H., Delgado, H., Dat, J. F. & Scott, I. (1997). Hydrogen peroxide and glutathione-associated mechanisms of acclamatory stress tolerance and signaling. *Physiologia plantarum*, 100, 240-254.
- 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.
- Dias, M. C., Pinto, D. C., Freitas, H., Santos, C. & Silva, A. M. (2020). The antioxidant system in *Olea europaea* to enhanced UV-B radiation also depends on flavonoids and secoiridoids. *Phytochemistry*, 170, 112199.
- Khudyakova, A. Y., Kreslavski, V. D., Shmarev, A. N., Lyubimov, V. Y., Shirshikova, G. N., Pashkovskiy, P. P., Kuznetsov, V. V. & Allakhverdiev, S. I. (2019). Impact of UV-B radiation on the photosystem II activity, pro-antioxidant balance and expression of light-activated genes in *Arabidopsis thaliana* hy4 mutants grown under light of different spectral composition. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 194, 14-20.
- Chen, Y., Li, T., Yang, Q., Zhang, Y., Zou, J., Bian, Z. & Wen, X. (2019). UVA radiation is beneficial for yield and quality of indoor cultivated lettuce. *Frontiers in plant science*, 10, 1563.
- Mozaffarian, V. (2015). *Recognition of medicinal and aromatic plants of Iran*. Farhang Moaser Publications. [In Farsi]
- Kus, P. M., Jerkovic, I., Tuberoso, C. I., Marijanovic, Z. & Congiu, F. (2014). Corn-flower (*Centaurea cyanus* L.) honey quality parameter s: chromatographic fingerprints, chemical biomarkers, antioxidant capacity and others. *Food Chem.* 142, 8-12.
- Yamasaki, S. & Dillenburger, L. C. (1999). Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. *Revista Brasileira Fisiologia Vegetal*, 11, 69-75.

19. 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, 389-398.
20. Buege, J. A. & Aust, S. D. (1978). Microsomal lipid peroxidation. *Methods Enzyme*, 52, 302-310.
21. Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods Enzymol.* 148, 350-382.
22. Burits, M., Asres, K. & Bucar, F. (2001). The antioxidant activity of the essential oils of *Artemisia afra*, *Artemisia abyssinica* and *Juniperus procera*. *Phytotherapy Research*, 15, 103-108.
23. Benzie, I. & Strain, J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*; 239, 70-76.
24. Chance, B. & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalases and peroxidases" *Methods in Enzymologist*, 11, 764-775.
25. Mc-Adam, J. W., Nelson, C. J. & Sharp, R. E. (1992). Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue. *Plant Physiol.* 99, 872-878.
26. Wagner, G. J. (1979). Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanins in protoplast. *Plant Physiology*, 64, 88-93.
27. Mc-Donald, S., Prenzler, P. D., Autolovich, M. & Robards, K. (2001). Phenolic Content and Antioxidant activity of olive Extracts. *Food Chemistry*, 73, 73-84.
28. Quettier-Deleu, C., Gressier, B., Vasseur, J., Dine, T., Brunet, C. & Luyckx, M. (2000). Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour. *Journal of Ethnopharmacology*, 72, 35-42.
29. Shayganafar, A., Azizi, M. & Rasouli, M. (2017). Investigation of the effects of different levels of ultraviolet light with the application of different antioxidant compounds on the morphological, phenological, physiological and phytochemical reactions of three species of thyme. PhD thesis. Horticultural Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad. [In Farsi]
30. Mollai, Sh., Abedini, M. & Daei Hassani, B. (2014). The effect of UV radiation on some physiological parameters of parsley (*Petroselinum crispum*). Thesis for Master's Degree. Plant Science, Plant Physiology, Payame Noor University of Tabriz. [in Farsi]
31. Eraslan, F., Inal, A., David, J. & Gunes, A. (2008). Interactive effects of salicylic acid and silicon on oxidative damage and antioxidant activity in spinach (*Spinacia oleracea* L. cv. Matador) grown under boron toxicity and salinity. *Plant Growth Regulation*, 55, 207-219.
32. Booji-James, I. S., Dube, S. K., Jansen, M. A. K., Edelman, M. & Mattoo, A. K. (2000). Ultraviolet-B radiation impacts light-mediated turnover of the photosystem II reaction center heterodimer in Arabidopsis mutant altered in phenolic metabolism. *Plant physiology*, 124, 1275-1284.
33. Rao, M. V., Paliyath, G. & Ormrod, D. P. (1996). Ultraviolet-B and ozone-induced biochemical changes in antioxidant enzymes of Arabidopsis thaliana. *Plant Physiology*, 110, 125-136.
34. Scandalios, J. G. (1993). Oxygen stress and superoxide dismutases. *Plant Physiology*, 101, 7-12.
35. Kargar-Khorrami, S., Jamei, R. & Hosseini-sarghin, S. (2013). Changes in physiological and anatomical characteristics of okra (*Hibiscus esculentus* L.) under different bands of ultraviolet radiations. *Iranian Plant Biology*, 5, 13-26. [In Farsi]
36. Nasibi, F., Manouchehri-Kalantari, K. & Rashidi-Ravari, M. (2003). Investigation of physiological and morphological changes in some growth parameters due to UV-A, UV-B and UV-C ultraviolet radiation in rapeseed (*Brassica napus*). *Journal of Research and Construction in Agriculture and Horticulture*, 60, 97-103. [In Farsi]

37. Mumivand, H., Ebrahimi, A., Shayganfar, A. & Khoshro, H. H. (2021b). Screening of tarragon accessions based on physiological and phytochemical responses under water deficit. *Scientific reports*, 11, 1-12.
38. Takshak, S. & Agrawal, S. B. (2014). Secondary metabolites and phenylpropanoid pathway enzymes as influenced under supplemental ultraviolet-B radiation in *Withania somnifera* Dunal, an indigenous medicinal plant. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 140, 332-343.
39. Hosseini-Sarghin, S., Karaptian, J. & Khara, J. (2009). Investigation of the effect of UV radiation on some structural and ultrastructural parameters in *Capsicum Longum*. *Kharazmi University Journal of Science*, 9, 485-502. [In Farsi]
40. Liu, L. X., Shou-Min, X. & Woo, K. C. (2005). Solar UV-B radiation on growth photosynthesis and the xanthophyll cycle in tropical *Acacias* and *Eucalyptus*. *Environmental and Experimental Botany*, 54, 121-130.
41. Dai, Q., Peng, S., Chavez, A. Q. & Vergara, B. S. (1995). Effects of UVB radiation on stomatal density and opening in rice (*Oryza sativa* L.). *Annals of botany*, 76, 65-70.
42. Noguez, S., Allen, D. J., Morison, J. I. & Baker, N. R. (1999). Characterization of stomatal closure caused by ultraviolet-B radiation. *Plant Physiology*, 121, 489-496.
43. Keiller, D. R. & Holmes, M. G. (2001). Effects of long-term exposure to elevated UV-B radiation on the photosynthetic performance of five broad-leaved tree species. *Photosynthesis Research*, 67, 229-40.
44. Dehghan-Nayeri, F., Saffari, V. R. & Maghsoudmood, A. A. (2016). The effect of salicylic acid on photosynthetic and fluorescence pigments of chlorophyll in marigold under salinity stress. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 17, 77-88. [In Farsi]
45. Hassani, Z., Pir Dashti, H., Yaghoobian, Y. & Nouri, M. (2014). Application of chlorophyll fluorescence technique to identify cold and water tolerant genotypes in rice plant (*Oryza sativa* L.). *Journal of Cell and Tissue (Scientific-Research)*, 5, 195-206. [in Farsi]
46. Roosta, H. R. & Sajjadinia, A. (2010). Studying the effect of cold stress on green basil, violet basil, tomato and lettuce using chlorophyll fluorescence technique. *Environmental Stresses In Crop Sciences*, 3, 1-8. [In Farsi]
47. Darvish Balouchi, M., Paknejad, F., Kashani, A., Ardakani, M. *et al.* (2010). Effect of water stress and foliar spraying of trace elements on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content, relative water content, membrane stability and yield of corn. *Iranian Journal of Crop Science (Iranian Agricultural Sciences)*, 41, 531-543. [In Farsi]
48. Mumivand, H., Khanizadeh, P., Morshedloo, M. R., Sierka, E., Żuk-Gólaszewska, K., Horaczek, T. & Kalaji, H. M. (2021). Improvement of growth, yield, seed production and phytochemical properties of *Satureja khuzistanica* jamzad by foliar application of boron and zinc. *Plants*, 10(11), 2469.
49. Kumari, R., Singh, S. & Agrawal, S. B. (2009). Effects of supplemental ultraviolet-B radiation on growth and physiology of *Acorus calamus* L. (sweet flag). *Acta Biol. Cracoviensia, Series botanica*, 51, 19-27.
50. Morshedloo, M. R., Amani Machiani, M., Mohammadi, A., Maggi, F., Aghdam, M. S., Mumivand, H. & Javanmard, A. (2021). Comparison of drying methods for the extraction of essential oil from dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L., Lamiaceae). *Journal of Essential Oil Research*, 33(2), 162-170.

51. Mumivand, H., Izadi, Z., Amirizadeh, F., Maggi, F. & Morshedloo, M. R. (2023). Biochar amendment improves growth and the essential oil quality and quantity of peppermint (*Mentha × piperita* L.) grown under waste water and reduces environmental contamination from waste water disposal. *Journal of Hazardous Materials*, 446, 130674.
52. Park, J. S., Choung, M. G., Kim, J. B., Hahn, B. S., Kim, J. B., Bae, S. C., Roh, K. H., Kim, Y. H., Cheon, C. I., Sung, M. K. & Cho, K. J. (2007). Genes up-regulated during red coloration in UV-B irradiated lettuce leaves. *Plant Cell Report*. 26, 507-516.