



The Effect of Gamma Radiation on Some Growth and Phytochemical Indices of Saffron (*Crocus sativus*)

Ali Mohammad Mohit-Ardakani¹, Seyed Ebrahim Seifati^{2*}, Ali Izanloo³, Zahra Karimi-bekr⁴

Article type:

Short Communication

Article history:

Submitted: 26 January 2022

Revised: 2 April 2022

Accepted: 9 April 2022

Available Online: 6 July 2022

How to cite this article:

Mohit-Ardakani, A.M., Seifati, S.E., Izanloo, A., Karimi-bekr, Z. 2022 The Effect of Gamma Radiation on Some Growth and Phytochemical Indices of Saffron (*Crocus sativus*). Saffron Agronomy & Technology, 10(3): 273-285.

DOI: 10.22048/jsat.2022.326686.1451

Abstract

In recent years, the use of saffron spice has been increasing due to its medicinal properties and effective components. In addition to increasing crop production, increasing the quantity and quality of secondary metabolites is considered one of the most important objectives of plant breeding programs. On the other hand, the saffron plant has low genetic diversity due to the nature of vegetative propagation, and induction of variation through mutagenesis is a suitable tool to achieve the desired diversity. Gamma radiation is one of plant breeding programs most widely used physical mutagens. In order to investigate the effect of gamma-ray on some growth and phytochemical indices of saffron plants, an experiment was conducted in an unbalanced complete randomized design with three treatments (Control, 15, and 18 Gy) at Yazd University. In this experiment, 15 and 18 Gy doses of gamma irradiation (Co60) were applied at Karaj Nuclear Agricultural Research Institute to induce mutations on collected saffron corms from Qaen, South Khorasan, in August 2017. This study measured picrocrocin, safranal, and crocin in a 1% aqueous solution at 254, 330, and 440 nm wavelengths, respectively. Based on the results of this experiment, the effect of irradiation on picrocrocin and crocin was significant ($P < 0.001$), and the observed amounts of these compounds (93.77 and 263.02) at the dose of 15 Gy were significantly higher than 18 Gy (92.34 and 262.73). At the same time, the difference between radiation levels was insignificant in terms of safranal content. The leaf area index and harvest index were also significant and showed the highest amount of these two indices at 15 Gy dose (3.06 and 0.14). In this study, although gamma radiation treatment could not significantly change the number of daughter corms between different radiation levels and control, a significant reduction in relative chlorophyll content and an average weight of corms were observed compared to the control (without radiation). In general, the results of this study showed that in phytochemical traits as well as harvest index and leaf area, 15 Gy had a significant advantage over plants without radiation, but at higher levels of gamma radiation, probably due to the degradation of genetic content and its effect on some biochemical parameters, 18 Gy plants failed to show acceptable results.

Keywords: Radiation, Safranal, Harvest Index, Secondary metabolite

1 – MSc Student of Biotechnology, School of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, IRAN

2 – Assistant Professor of Biotechnology, Department of Arid Land and Desert Management, School of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, IRAN

3 – Associate Professor of Biotechnology, Department of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

4 – MSc graduate of Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

Corresponding author: seifati@yazd.ac.ir





مقاله کوتاه

تأثیر پرتو گاما بر برخی شاخص‌های رشدی و فیتوشیمیایی زعفران (*Crocus sativus*)

علی محمد محیط اردکانی^۱، سیدابراهیم سیفتی^{۲*}، علی ایزانلو^۳ و زهرا کریمی بکر^۴

تاریخ دریافت: ۶ بهمن ۱۴۰۰

تاریخ بازنگری: ۱۳ فروردین ۱۴۰۱

تاریخ پذیرش: ۲۰ فروردین ۱۴۰۱

محیط اردکانی، ع.م.، سیفتی، س.ا.، ایزانلو، ع.، کریمی بکر، ز. ۱۴۰۱. تأثیر پرتو گاما بر برخی شاخص‌های رشدی و فیتوشیمیایی زعفران (*Crocus sativus*). زراعت و فناوری زعفران، ۱۰(۳): ۲۸۵-۲۷۳.

چکیده

در سال‌های اخیر که استفاده از زعفران به دلیل خصوصیات دارویی و ترکیبات مؤثره آن رو به افزایش است، علاوه بر افزایش تولید محصول، افزایش کمی و کیفی متابولیت‌های ثانویه به عنوان یکی از مهم‌ترین اهداف به‌نژادی در این گیاه به‌شمار می‌رود. از طرفی، گیاه زعفران به خاطر ماهیت تکثیر رویشی از تنوع ژنتیکی پایینی برخوردار بوده و اصلاح از طریق جهش، می‌تواند ابزار مناسبی برای دستیابی به تنوع مدنظر به شمار آید. در این مطالعه به منظور بررسی برخی تغییرات فیتوشیمیایی و شاخص‌های رشدی بنه‌های پرتوتابی شده زعفران، بنه‌های جمع‌آوری شده در مردادماه ۱۳۹۸ از شهرستان قائن استان خراسان جنوبی در دو سطح ۱۵ و ۱۸ گری با اشعه گاما (چشمه Co^{60}) در پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای کرج تیمار و سپس به‌همراه بنه‌های شاهد (بدون پرتو) در قالب طرح کاملاً تصادفی نامتعادل در گلخانه پژوهشی دانشگاه یزد کشت شدند. در این بررسی که ترکیبات پیکروکروسین، سافرانال و کروسین برحسب جذب محلول آبی ۱٪ به ترتیب در طول موج‌های ۲۵۴، ۳۳۰ و ۴۴۰ نانومتر بر ماده خشک اندازه‌گیری شد، نتایج نشان داد که در نمونه‌های پرتوتابی شده، محتوای این سه ترکیب ($p < 0.001$) بیشتر از شاهد و در دز ۱۵ گری محتوای پیکروکروسین و کروسین (۹۳/۷۷ و ۲۶۳/۰۲) به‌طور معنی‌دار بیشتر از ۱۸ گری (۹۲/۳۴ و ۲۶۲/۷۳) بود اما درخصوص محتوای سافرانال، تفاوت بین سطوح پرتوتابی معنی‌دار نبود. همچنین شاخص سطح برگ و شاخص برداشت نیز در دز ۱۵ گری بیشترین میزان افزایش معنی‌داری (۳/۰۶ و ۰/۱۴) را نشان داد. در این مطالعه اگرچه تیمار پرتو گاما نتوانست تغییر معنی‌داری را در تعداد بنه‌های دختری بین سطوح مختلف پرتو و شاهد ایجاد کند اما نتایج حاکی از کاهش معنی‌دار محتوای کلروفیل نسبی و وزن متوسط بنه دختری پرتوتابی شده نسبت به سطح بدون پرتوتابی بود. به‌طور کلی، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در صفات فیتوشیمیایی و نیز شاخص برداشت و سطح برگ، گیاهان تیمار ۱۵ گری نسبت به گیاهان بدون پرتوتابی، برتری معنی‌داری داشتند اما در سطح بالاتر پرتو گاما، احتمالاً به دلیل تخریب محتوای ژنتیکی و نیز تأثیر بر روی برخی پارامترهای بیوشیمیایی، گیاهان تیمار ۱۸ گری، نتوانستند نتایج قابل قبولی را نشان دهند.

کلمات کلیدی: پرتوتابی، سافرانال، شاخص برداشت، متابولیت ثانویه.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

۲- استادیار بیوتکنولوژی دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

۳- دانشیار بیوتکنولوژی دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد باغبانی-گیاهان دارویی دانشگاه شاهد

*- نویسنده مسئول: seifati@yazd.ac.ir

مقدمه

زعفران (*Crocus sativus* L.) از خانواده زنبق‌یان^۱ و با فرمول کروموزومی ($2n = 3x = 24$)، تریپلوئیدی است که تنها از طریق بنه‌های رویشی زیرزمینی قابل تکثیر است (Kashtwari et al., 2018) و ابتدا در شرق و خاورمیانه و بعداً در برخی از کشورهای مدیترانه‌ای، زراعی شده است. اما وجود تنوع ژنتیکی در آن تا به امروز در سطح جهان، به صورت یک راز باقی مانده است. چنانکه یافتن منشأ، طبقه‌بندی پیچیده و شناسایی گونه‌های مادری زعفران، محققان را در سراسر دنیا به مطالعه جنبه‌های فنوتیپی، سیتولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی جنس زعفران سوق داده است (Mir et al., 2021). بسیاری از محققین بر این باورند که منشأ بیولوژیکی گونه *sativus*، گونه‌های *catwrightianus* یا *thomasi* بوده است (Ahmad et al., 2011, Beiki et al., 2010, Caiola & Canini, 2012, Poma et al., 2010) و در همین راستا در پژوهش‌های متعددی، سعی شده تا تفاوت‌های فنوتیپی شامل وزن و ارتفاع خامه یا پرچم‌ها، تعداد کلاله، شدت رنگ گلبرگ، تعداد و اندازه بنه، ویژگی‌های گل، شاخص برداشت، قابلیت زنده‌مانی در شرایط محیطی مختلف و بسیاری دیگر از خصوصیات رشدی و عملکردی آن مورد ارزیابی قرار گیرد. اگرچه گزارش‌های کمی از تنوع فنوتیپی زعفران با محوریت افزایش عملکرد و تعداد کلاله‌ها وجود دارد اما با این وجود، این تغییرات در خصوص زعفران و ماهیت خودعقیمی که دارد، همیشه ارثی نیستند. بنابراین فقدان تنوع ژنتیکی از طریق تکثیر بنه و همچنین فرسایش ژنتیکی ناشی از شهری شدن زمین‌های مستعد کشت،

تنوع ژنتیکی این گیاه دارویی ارزشمند را محدود ساخته است (Busconi et al., 2018).

از سوی دیگر، *C. sativus* یک محصول بسیار شگفت‌انگیز و منبع گران‌ترین ادویه جهان به شکل زعفران بوده که طبیعت بسیار شکننده‌ای دارد. به طوری که کوچکترین تغییر در شرایط رشدی یا محیطی این محصول، می‌تواند ترکیب بسیاری از متابولیت‌های ثانویه آن را تحت تأثیر قرار دهد (Shokrpour, 2019).

درواقع خواص دارویی، استفاده در آشپزی و ارزش افزوده بالای زعفران، منجر به مشخص شدن مشخصات فیتوشیمیایی و خصوصیات بیولوژیکی و درمانی آن در سراسر جهان شده است. زعفران سرشار از کاروتنوئیدها و ترپن‌ها است. به طوری که ترکیبات اصلی موجود در آن دارای خواص آنتی‌اکسیدانی و ضدالتهابی قوی هستند. همچنین زعفران دارای خواص دارویی دیگری از جمله ضدافسردگی و ضدتوموری است و در آن بیش از ۱۵۰ ترکیب فرار و غیرفرار گزارش شده است.

مهم‌ترین متابولیت‌های ثانویه زعفران که در صنعت دارو سازی به طور گسترده استفاده می‌شود، در بخش کلاله این گیاه شناسایی شده است (Nielsen et al., 2019). کاروتنوئیدی به نام کروسین^۲ ($C_{44}H_{64}O_{24}$) که عمده‌ترین ترکیب ایجادکننده رنگ در زعفران بوده و در طبیعت کمیاب است، گلیکوزیدی بی رنگ بنام پیکروکروسین^۳ ($C_{16}H_{26}O_7$) به‌عنوان بارزترین ترکیب ایجادکننده طعم تلخ و سافرانال^۴ ($C_{10}H_{14}O$) که از تجزیه حرارتی یا آنزیمی پیکروکروسین تولید می‌شود و عامل اصلی بو و عطر زعفران است، هر سه در کلاله آن وجود دارند

1- Iridaceae

2- Crocin

3- Picrocrocin

4- Safranal

بالا تر نسبت به پرتوهای آلفا و بتا و باعث یونیزه شدن ماده و گیاهان از طریق برهمکنش غیرمستقیم می‌شوند (Kovacs & Vandenhoef et al., 2010; Keresztes, 2002). این پرتوها با اتم‌ها یا مولکول‌های موجود در سلول، به‌ویژه با آب، تعامل می‌کنند و رادیکال‌های آزاد تولید می‌کنند که می‌توانند اجزای مهم سلول‌های گیاهی را تغییر دهند و بسته به دُز تابش، بر مورفولوژی، فیزیولوژی، آناتومی و بیوشیمی گیاهان تأثیر متفاوتی بگذارند (Heidarieh et al., 2021). به‌طور کلی، درجه حساسیت یا تحمل گیاهان به دُز پرتو و شدت تابش اعمال شده بستگی داشته به نحوی که افزایش میزان تنش می‌تواند شاخص‌هایی همچون سطح برگ، منافذ روزنه و نهایتاً شاخص‌های فتو سنتزی را کاهش می‌دهد (Koutoua et al., 2021).

تاکنون تحقیقات بسیاری در زمینه تأثیرات پرتو تابی بر خصوصیات بیوشیمیایی و فیتوشیمیایی گیاهان دارویی انجام شده است، به‌طور مثال در مطالعه‌ای که اثر پرتو گاما و کلشی سین بر تولید سیلی‌مارین در کشت‌های سو سپا سیون سلولی ماریتغال (*Silybum marianum*) بررسی گردید، نتایج نشان داد گیاهان *S. marianum* که از حاصل بذرهایی که در معرض تابش ۲۰۰ و ۶۰۰ گری اشعه گاما و همچنین کلشی سین قرار گرفتند، مقدار بیشتری سیلی‌مارین نسبت به تیمارهای دیگر تولید نمودند (El-Garhy, 2021). در همین راستا، محققین به‌منظور بررسی تأثیر اشعه گاما در توانایی تولید لوودوپا^۱ به عنوان داروی مؤثر در درمان پارکینسون در کشت درون شیشه‌ای باقلای مخملی (*Mucuna pruriens* var. *Utilis*)، بذرهایی که تحت تابش ۲۰۰ و ۳۰۰ گری اشعه گاما قرار گرفته بودند در شرایط کشت درون شیشه‌ای کشت شدند و نتایج نشان داد که گیاهان حاصل از بذرهای پرتوتابی شده، لوودوپا را به ترتیب ۳۰۰

(Alavizadeh & Hosseinzadeh, 2014).

در سال‌های اخیر، با توجه به افزایش روزافزون استقبال جوامع انسانی در استفاده از گیاهان دارویی و ترکیبات مؤثره آن‌ها در صنایع داروسازی، افزایش کمی و کیفی متابولیت‌های ثانویه، علاوه بر بهبود در خصوصیات رشدی و عملکردی، به عنوان یکی از مهم‌ترین اهداف به‌نژادی در حوزه گیاهان دارویی مبدل شده و از این جهت، پژوهشگران در تلاش هستند تا با استفاده از روش‌های مختلف، ترکیبات ارزشمند دارویی را افزایش دهند (Alsayied et al., 2015). اما درخصوص گیاه زعفران، از آنجاکه فقدان تنوع ژنتیکی، استفاده از اصلاح نباتات کلاسیک را محدود نموده و تکثیر بنه باعث ایجاد تغییرات ژنومی نمی‌شود، انتظار می‌رود که کل جمعیت زعفران دارای ساختار ژنتیکی مشابهی بوده و خویشاوندان وحشی آن، بتوانند منبع عالی ژن برای تغییر و بهبود صفات کمی و کیفی این گیاه به‌شمار روند (Kashtwari et al., 2018; Shokrpour, 2019). از این‌رو، استفاده از جهش در اصلاح نباتات، به‌ویژه در محصولاتمانند زعفران با ماهیت تکثیر رویشی، می‌تواند یک ابزار جایگزین مناسب برای دستیابی به تنوع ژنتیکی به‌شمار آید. به‌نحوی که در این روش، امکان تشخیص، انتخاب و حفظ جهش‌یافته‌های نسل M₁ به دلیل ماهیت کلونالی آن‌ها نیز امکان‌پذیر خواهد بود (Mir et al., 2015). پرتوی گاما به دلیل در دسترس بودن چشمه مولد آن (کبالت ۶۰) در بسیاری از مراکز تحقیقاتی دنیا، تعیین دُز دقیق مورد استفاده، تکرارپذیری قابل قبول، نفوذ بالا و یکنواختی در موجودات پرسلولی، از یکی از پرکاربردترین جهش‌زاهای فیزیکی در برنامه‌های اصلاح گیاهان محسوب می‌شود (Ahloowalia & Maluszynski, 2001; Ulukapi & Nasircilar, 2018). در واقع پرتوهای گاما، پرتوهای یونیزه کننده‌ای هستند که حاوی فوتون‌های انرژی بالا با ظرفیت نفوذ

باعث کاهش چشمگیر بار میکروبی و همچنین دزهای ۴ و ۶ کیلوگری، افزایش چشمگیر ترکیبات فعال زیستی^۱ را در پی داشت (Seyhoun et al., 2016).

با توجه به این که زعفران از نظر ادویه‌ای و دارویی، گیاهی ارزشمند بوده و در داروسازی توجه زیادی را به متابولیت‌های ثانویه خود جلب نموده است، افزایش این ترکیبات حائز اهمیت می‌باشد. از این رو هدف از این پژوهش بررسی تغییرات کمی ساfranال، کروسین و پیکروکروسین و برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی تحت تأثیر اشعه گاما می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده سازی بنه‌های زعفران

جهت تهیه مواد آزمایشی در مردادماه ۱۳۹۸، بنه‌های سالم و توپر زعفران از مزارع استان خراسان جنوبی، شهرستان قائن با طول "۲۳/۲۹۰' ۱۱' ۵۹°" عرض "۳۱/۲۹۰' ۳۱' ۴۳°" و با ارتفاع ۱۴۴۶ متر از سطح دریا برداشت و بر اساس اندازه مرتب شدند. سپس بنه‌های سالم ۱۲ تا ۱۵ گرمی انتخاب و پس از حذف لایه تونیکا از روی بنه، با آب شستشوی سطحی شدند. بنه‌ها، سپس با هیپوکلرید سدیم یک درصد ضدعفونی و به مدت یک ماه تحت تیمار سرمایی جهت شکستن خواب، و تحریک مریستم‌های بیشتر درون یخچال در دمای ۴°C قرار گرفتند.

اعمال تیمار پرتو گاما و کشت بنه‌ها

در مرحله بعد به منظور ایجاد تنوع، بنه‌ها به صورت تصادفی به سه بخش ۱۵۰ تایی تقسیم شدند. طبق مطالعات انجام شده برای تعیین بهترین دز (Jahandar Zaboli et al., 2022; Khan et al., 2011; Jun et al., 2006)، دو بخش از بنه‌ها جهت تیمار با اشعه گاما (چشمه Co⁶⁰) در پژوهشکده کشاورزی

و ۲۲۰ درصد بالاتر از گیاهان بدون تابش اشعه گاما تولید کردند. پژوهشگران همچنین گزارش کردند که دزهای ۲۰۰ و ۳۰۰ گری پرتو گاما، می‌تواند برای تولید لوودوپا بیشتر از شاخه‌های *Mucuna pruriens* var. *Utilis* در آزمایشگاه استفاده شود (Wachisunthon, 2021).

اما در پژوهشی که بر روی بنه‌های زعفران تحت تیمارهای ۵، ۱۵ و ۲۵ گری اشعه گاما به همراه تیمار شاهد صورت گرفت، گیاهان سه ماهه، به طور ماهانه، قبل از گلدهی با محلول کیتوزان، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسپری شدند. نتایج حاکی از آن بود که تابش ۵ و ۱۵ و محلول کیتوزان ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، تأثیر مثبت قابل توجهی بر صفات رشد (ارتفاع بوته، وزن تر گل‌ها، تعداد گل‌ها، وزن تر و خشک گل‌ها در متر مربع)، عملکرد کلاله زعفران در هکتار، متابولیت‌های ثانویه (کروسین، پیکروکروسین، ساfranال) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی داشت. در این مطالعه دز ۲۵ گری، به عنوان دز نامطلوب معرفی شد به نحوی که تأثیرات منفی قابل توجهی در صفات رشد و عملکرد نشان داد (Ahamed, 2019). همچنین در مطالعه دیگری اثر پرتو گاما بر میزان رنگیزه کارتنوئیدی کروسین، ساfranال و کامفرول در زعفران را در سه منطقه ایران بررسی شد و بر اساس نتایج به دست آمده از آن، محققین گزارش نمودند که تابش اشعه گاما با میزان کمینه ۴ کیلوگری و بیشینه ۶ کیلوگری، بدون تأثیر منفی بر گیاه باعث افزایش ترکیبات مورد نظر شده است (Seyhoun et al., 2016).

در مطالعه دیگری که با هدف بررسی پرتو گاما در دزهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ کیلوگری به همراه دز شاهد (بدون پرتو) بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی زعفران ایرانی مانند کروسین، کامفرول، ساfranال و رنگ انجام گرفت، نتایج نشان داد پرتودهی تا ۶ کیلوگری، بدون تأثیر نامطلوب در ترکیبات مؤثر زعفران،

سطح دریا منتقل و به همراه بنه‌های بدون پرتو (شاهد)، در عمق ۷ سانتی‌متری گلدان کشت گردیدند. در هر گلدان یک بنه پرتوتابی شده در سطوح ۱۵ و ۱۸ گری، به عنوان تکرار برای آن سطح پرتوتابی، در نظر گرفته شد تا تنوع ناشی از دریافت دُز پرتو گاما نیز به طور دقیق، مشاهده و یادداشت‌برداری شود. همچنین در مرحله شدت رشد از ابتدای مهرماه، دو مرتبه به فاصله هر ۲۵ روز، از کود پودری قابل حل در آب (۱۰-۵۲-۱۰ به همراه عناصر ریز مغذی) شرکت گیاه (جدول ۱) به صورت محلول در آب آبیاری و به صورت یکسان برای هر گلدان استفاده گردید.

هسته‌ای کرج، در دو دُز ۱۵ و ۱۸ گری پرتوتابی شدند. همچنین به منظور سهولت رهگیری بنه‌های دختری در نسل‌های بعدی و نیز با توجه به تفاوت دُز دریافتی بنه‌ها در هر سطح پرتوتابی، کشت گلخانه‌ای انتخاب و برای هر بنه، گلدانی با قطر ۱۲ و ارتفاع ۱۱/۵ سانتی‌متر که با مخلوطی از خاک لومی-شنی و کود کمپوست گیاهی کاملاً پوسیده به نسبت ۱:۱ پر شده بودند، در نظر گرفته شد. بلافاصله پس از پرتو دهی، بنه‌ها به گلدان‌های آماده شده در گلخانه پژوهشی دانشگاه یزد با طول ۳۲/۰۱۴" و عرض ۵۴' ۲۱' و عرض ۴۷/۳۳۹" ۴۹' ۳۱" و ارتفاع ۱۲۶۹ متر از

جدول ۱- آنالیز تائید شده موسسه تحقیقات خاک و آب کشور درج شده بر روی بسته محتوی کود

Table 1- Approved analysis by the Soil and Water Research Institute of the country listed on the package containing fertilizer

عناصر ماکرو Macronutrients (%)						عناصر میکرو Micronutrients (mg.kg ⁻¹)						
نیترژن کل Total N	آمونیم NH ₄	نیترات NO ₃	اوره Urea	پنتا اکسید فسفر P ₂ O ₅	اکسید پتاسیم K ₂ O	آهن Fe	منگنز Mn	مس Cu	روی Zn	بور B	مولیبدن Mo	کلات آزاد FreeChelate
10	4	2	4	52	10	1000	500	500	500	200	5	10000

دختری بودند.

در تمامی مراحل رشد، پارامترهای محیطی شامل دما، نور، رطوبت و دفعات آبیاری، به طور یکنواخت برای همه گلدان‌ها اعمال گردید. در این مطالعه به دلیل محدودیت‌های مالی پژوهش، از بین گیاهان سطوح مختلف پرتوتابی به طور تصادفی ۳۰ گلدان (هر گلدان محتوی یک گیاه) برای هر سطح پرتوتابی و ۱۱ گلدان (هر گلدان محتوی یک گیاه) از سطح شاهد (بدون پرتو)، جهت یادداشت‌برداری صفات مدنظر و همچنین نمونه‌برداری کلاله، انتخاب شدند. پارامترهای اندازه‌گیری شده در این پژوهش شامل خصوصیات فیتوشیمیایی شامل کروسین، پیکروکروسین و سافرانال و شاخص‌های مورفوفیزیولوژیکی رشد شامل شاخص سطح برگ (LAI)، شاخص برداشت (HI)، محتوای کلروفیل نسبی، تعداد بنه دختری و متوسط وزن بنه

اندازه‌گیری کروسین، پیکروکروسین و سافرانال تجزیه شیمیایی کلاله شامل کروسین، پیکروکروسین و سافرانال طبق استاندارد ملی زعفران ایران (۲۵۹-۲ و ۲۵۹-۱) در آزمایشگاه فیزیولوژی و گیاه‌شناسی دانشگاه یزد انجام شد (ISIR, ۲۰۰۶). بدین منظور، ۵۰۰ میلی‌گرم نمونه پودر شده زعفران به بالن حجمی ۱۰۰۰ میلی‌لیتری انتقال داده و مقدار ۹۰۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر استریل به آن اضافه شد. نمونه‌ها توسط همزن مغناطیسی به مدت یک ساعت و با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه تکان داده شدند. سپس حجم محلول با آب دو بار تقطیر به ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسانده و به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت

تعداد بنه دختری، شمارش و متوسط وزن بنه‌ها اندازه‌گیری گردید. تجزیه‌های آماری داده‌ها با توجه به تعداد نمونه‌های انتخاب شده برای سطوح مختلف پرتو، در قالب طرح کاملاً تصادفی نامتعادل و توسط نرم‌افزار SPSS26 (تجزیه واریانس، مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن) پس از تأیید نرمال بودن با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف انجام گرفت. همچنین نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

در این پژوهش، نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) حاکی از معنی‌داری هفت صفت از صفات مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی پرتویافته‌های مختلف زعفران تحت تأثیر پرتو گاما نسبت به نمونه بدون پرتوتابی (شاهد) بود. به طوری که پرتو دیده‌های زعفران در مقایسه با بنه‌های شاهد، تنها در تعداد بنه‌های دختری، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند.

همچنین نتایج مقایسه میانگین شاخص‌های سطح برگ، برداشت و محتوای کلروفیل نسبی برگ بنه‌های پرتوتابی شده در مقایسه با شاهد نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای پرتو گاما اعمال شده در هر یک از این صفات با ژنوتیپ شاهد وجود دارد (شکل ۱). به طوری که محتوای کلروفیل نسبی برگ در اثر پرتوتابی نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد یافت اما تفاوت معنی‌داری بین دُزهای ۱۵ و ۱۸ گری در محتوای کلروفیل نسبی برگ مشاهده نشد. در تحقیقی که بروی پرتوتابی زینق ایرانی (*Iris persica* L.) انجام شد، محتوای کلروفیل نسبی تا دُز ۱۵ گری افزایش و سپس با افزایش دُز، کاهش یافت (Jozghasemi et al., 2019). در پژوهش دیگری که بر روی گندم سیاه (*Centella asiatica*) انجام گرفت، نتایج نشان داد که تابش گاما باعث کاهش

۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. پس از آن، ۲۰ میلی لیتر محلول حاصل به حجم ۲۰۰ میلی لیتر رسانده شد و جذب عصاره حاصل در طول موج‌های ۲۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر ثبت شدند. مقدار جذب در محدوده ۲۵۷، ۳۳۰ و ۴۴۰ نانومتر به ترتیب نشان دهنده پیکروکروسین، سافرانال و کروسین می‌باشد که برحسب حداکثر جذب یک درصد محلول آبی در طول موج‌های ذکر شده بر مبنای ماده خشک و با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (Molina et al., 2010).

$$E = (D * 10000) / m(100 - H) \quad (1)$$

که در این رابطه D: مقدار جذب (عدد اسپکتوفتومتر)، m: وزن نمونه زعفران به گرم و H: درصد رطوبت نمونه‌ها که ۶/۴۲ در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد

شاخص سطح برگ با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$LAI = \frac{LA}{A} \quad (2)$$

که در این فرمول A: سطح خاک گلدان برحسب سانتی‌متر، LA: سطح برگ بر حسب سانتی‌متر و براساس مطالعه شیرمحمدی و علی‌اکبرخانی (Shirmohammadi-Aliakbarkhani, 2002) با استفاده از رابطه ۳ محاسبه گردید.

$$LA = 39.797 W + 112.56 \quad (3)$$

همچنین در رابطه فوق، W به عنوان وزن خشک برگ بر حسب گرم در نظر گرفته شد. همچنین شاخص برداشت بر اساس عملکرد نهایی کلاله در هر نمونه نسبت به کل ماده خشک اندام هوایی گیاه به وسیله معادله زیر محاسبه گردید:

$$100 \times \frac{\text{وزن خشک کلاله}}{\text{وزن خشک اندام هوایی گیاه}} = \text{شاخص برداشت} \quad (4)$$

اندازه‌گیری شاخص کلروفیل نسبی (عدد اسپد) برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل متر KoreaTech قابل حمل انجام و در اواخر اردیبهشت ماه وقتی گیاه وارد مرحله خواب حقیقی شد،

کلروفیل شده است، بدین صورت که اشعه گاما با تأثیر بر فعالیت آنزیم کلروفیل‌از، محتوای کلروفیل و در نهایت فعالیت فتوسنتزی گیاه را کاهش داده است (Moghaddam et al., 2011). در همین راستا، محققین مشاهده نمودند که پرتو گاما باعث کاهش محتوای کلروفیل در *Orthosiphon stamineus* می‌شود (Rashid et al., 2018).

جدول ۲- تجزیه واریانس برخی صفات فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی تیمارهای مختلف بنه زعفران تحت تأثیر پرتو گاما
Table 2- ANOVA of the some physiological and phytochemical characteristics on different treatments of saffron corm under gamma radiation

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square							
		شاخص شاخص سطح برگ Leaf area index	شاخص برداشت Harvest index	محتوای کلروفیل نسبی برگ Relative chlorophyll content	تعداد بنه دختری Number of daughter corms	متوسط وزن بنه‌های دختری Average weight of daughter corms	پیکروکروسین Picrocrocin	سافرانال Safranal	کروسین Crocinn
دز اشعه Radiation dose	2	0.007**	0.005*	47.97**	5.51 ^{ns}	67.61**	44.99**	5.72**	1.88**
خطا Error	68	0.001	0.001	10.68	2.74	4.17	3.01	0.47	0.18
C.V. (%) ضریب تغییرات		18	19	21	11	15	8	7	8

*, **, و ns به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و عدم معنی داری است.
*, **, and ns show significant probability levels at 5% and 1% and no significance, respectively.

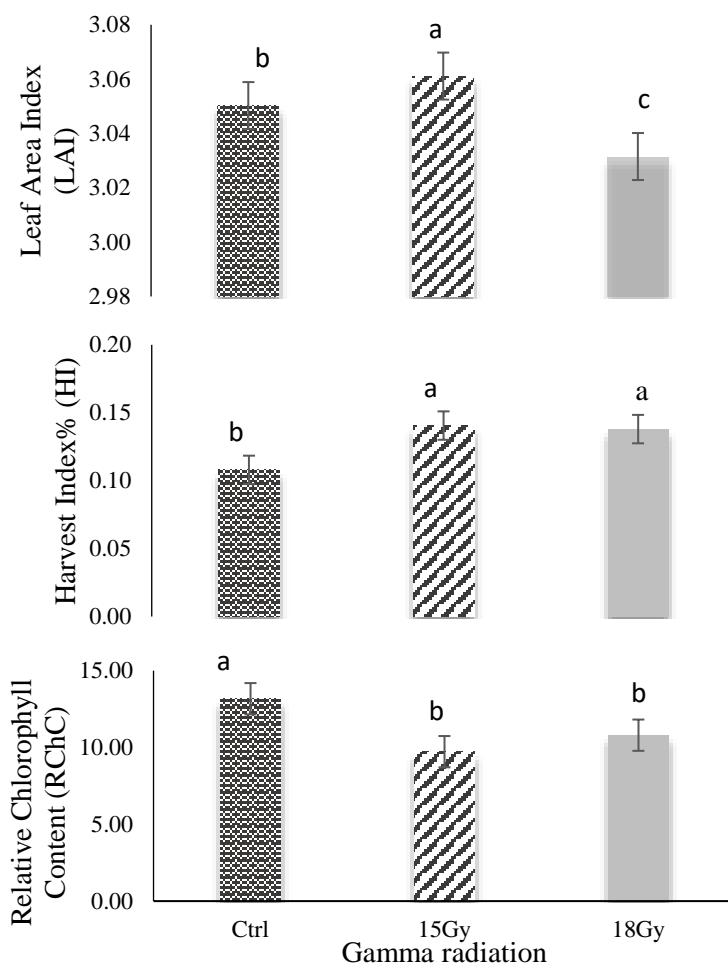
۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ گری اشعه گاما با گیاهان شاهد (بدون پرتوتابی) مقایسه شدند و نتایج نشان داد، بیشترین عملکرد دانه، وزن هزار دانه و شاخص برداشت در سطح ۱۰۰ گری پرتو گاما به دست آمد و با افزایش سطح پرتوتابی، این شاخص‌ها روند نزولی پیدا کردند (Rahimi & Bahrani, 2011). همچنین پژوهشی که به منظور ارزیابی اثر ناشی از تابش گاما بر رویش گیاه چچه، رشد گیاه، عملکرد و ویژگی‌های عملکرد ذرت (HQPM1) انجام گرفت، نتایج نشان داد که پارامترهای رشد گیاه مانند ارتفاع بوته، سرعت فتوسنتز، محتوای کلروفیل و شاخص سطح برگ در دزهای پایین‌تر (۰/۲ کیلوگری) تأثیر مثبت داشتند. همچنین عملکرد بیولوژیکی، وزن دانه و وزن صد دانه به دزهای پایین‌تر (۰/۱ کیلوگری) پرتو گاما پاسخ مثبت نشان دادند (Yadav et al., 2019).

براساس نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر، متوسط وزن

براساس نتایج بدست آمده از این پژوهش، شاخص برداشت بنه‌های تیمار شده با اشعه گاما نسبت به نمونه‌های بدون پرتوتابی، افزایش معنی‌داری در سطح پنج درصد داشت، اما بین تیمارهای دز ۱۵ و ۱۸ گری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین طبق نتایج به دست آمده، تفاوت معنی‌داری در شاخص سطح برگ بین تیمارهای اعمال شده در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد (جدول ۲)، به طوری که بیشترین شاخص سطح برگ، در گیاهان حاصل از تیمار ۱۵ گری (۳/۰۶) و کمترین آن در گیاهان حاصل از تیمار ۱۸ گری (۳/۰۳) مشاهده شد. براساس این نتایج، احتمالاً با بیشتر شدن میزان دز پرتوتابی، سطح خسارت به ساختمان ژنتیکی و فیزیولوژیکی گیاه افزایش و در نتیجه میزان سطح برگ کاهش یافته است. در مطالعه‌ای که به منظور بررسی اثر تابش گاما بر خصوصیات زراعی و کیفی کلزا (*Brassica napus* L.) صورت گرفت، جهش‌یافته‌های

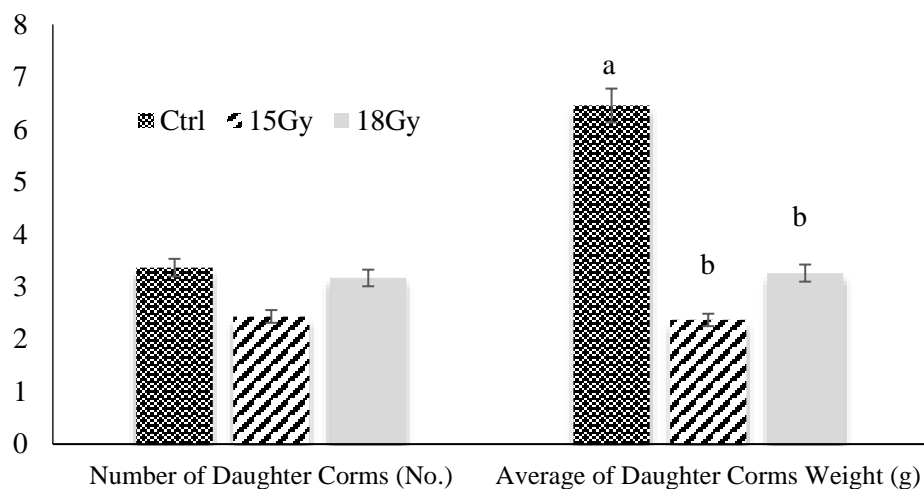
خصوص تعداد بنه دختری، هرچند تعداد بنه‌های دختری کاهش نسبی نسبت به شاهد نشان دادند، اما معنی‌داری بین گیاهان شاهد و گیاهان حاصل از بنه‌های تیمار شده با دز ۱۵ و ۱۸ گری در خصوص این صفت مشاهده نشد (شکل ۲).

بنه دختری بنه‌های تیمار شده با اشعه گاما نسبت به ژنوتیپ شاهد (۶/۴۵) در اثر پرتو گاما کاهش معنی‌داری یافت (شکل ۲) اما در تیمار ۱۸ گری (۳/۲۶) نسبت به تیمار ۱۵ گری (۲/۳۷)، کاهش کمتر و غیرمعنی‌داری مشاهده شد. با این وجود، طبق نتایج جدول تجزیه واریانس و نمودار مقایسه میانگین در



شکل ۱- مقایسه میانگین شاخص‌های سطح برگ، برداشت و محتوای کلروفیل نسبی برگ گیاهان حاصل از بنه‌های تیمار شده با اشعه گاما در مقایسه با ژنوتیپ شاهد

Figure 1- Mean comparison of Leaf Area Index (LAI), Harvest Index (HI) and Leaf Relative Chlorophyll Content (RChC) of plants obtained from gamma radiation of saffron corms in comparison with control.



شکل ۲- مقایسه میانگین خصوصیات تعداد بانه دختری و متوسط وزن بانه دختری (گرم) در هر بوته حاصل از پرتوتابی بانه‌های زعفران در مقایسه با شاهد

Figure 1- Mean comparison of the number of daughter corms and average weight (g) of daughter corms per plant obtained from gamma radiation of saffron corms compared with control.

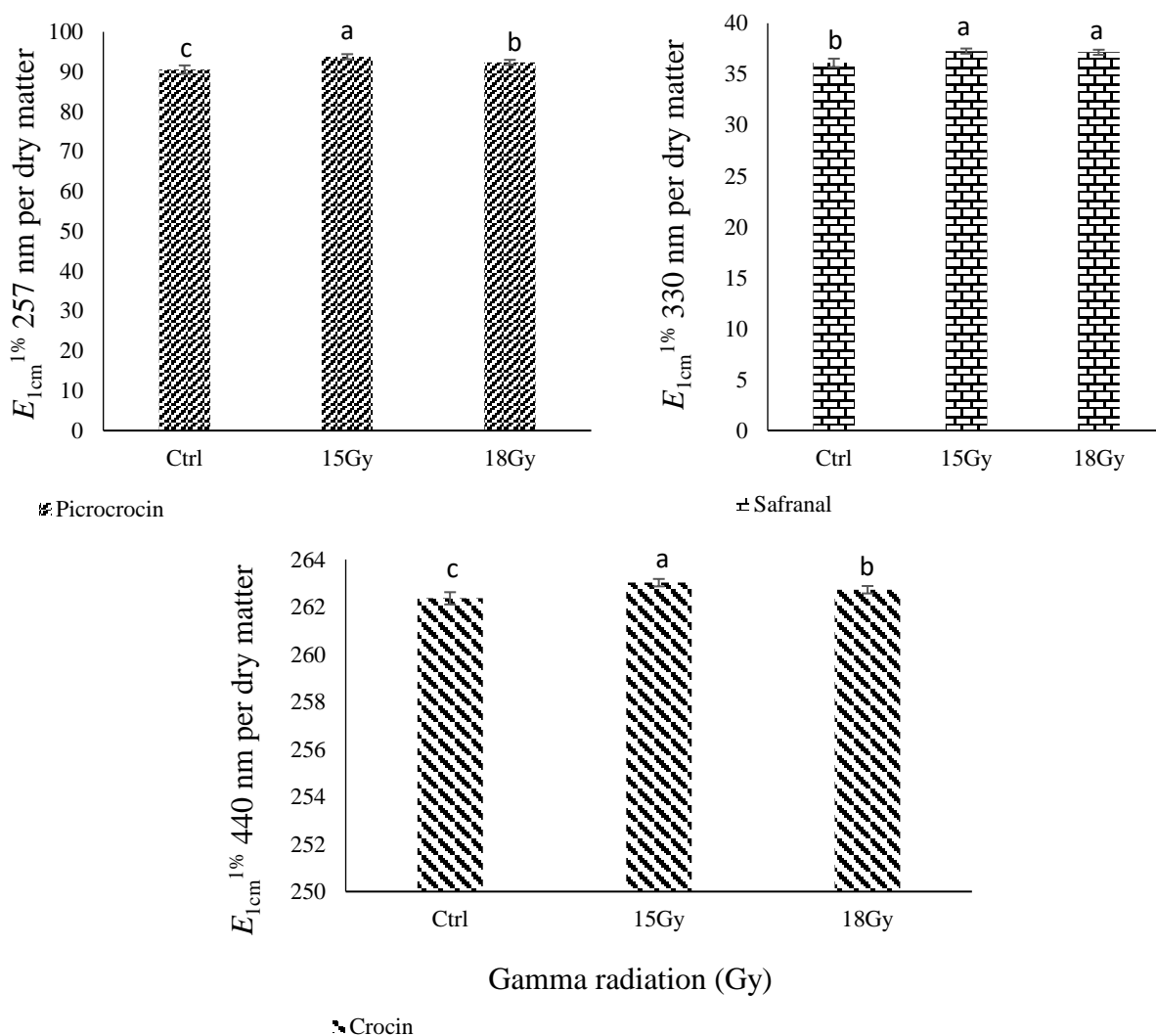
جهش‌یافته‌ها و شاهد تفاوت معنی‌داری داشت و با افزایش سطح پرتو، روند کاهش معنی‌داری در صفات یادداشت‌برداری شده مشاهده گردید (Seifati et al., 2021).

تجزیه آماری صفات فیتوشیمیایی یادداشت‌برداری شده نشان داد که هر دو دُز پرتو دهی اشعه گاما، به‌طور قابل توجهی بر میزان کرو سین، پیکروکرو سین و سافرانال تأثیرگذار بودند. این ترکیبات در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری در تیمارهای اعمال شده نشان دادند (جدول ۲). طبق نتایج به دست آمده، مقدار کروسین در دو دُز ۱۵ و ۱۸ گری (به ترتیب ۲۶۳/۰۲ و ۲۶۲/۷۳) نسبت به نمونه شاهد (۲۶۲/۳۶) افزایش یافت اما مقدار این ترکیب در تیمار ۱۵ گری به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار ۱۸ گری مشاهده شد (شکل ۳). در گزارش سایر محققان نیز منطبق با نتایج این مطالعه، مقدار کروسین تا دُز ۱۵ گری افزایش یافته و در تابش‌های بیشتر از ۱۵ گری این ماده روند کاهش نشان داده است (Ahamed, 2019; Seyhoon et al., 2016). در رابطه با همین صفات فیتوشیمیایی، میزان

به‌طور کلی، پرتو گاما در دُزهای بالا به ترکیبات ماکرومولکول سلول آسیب وارد می‌کند و همین امر می‌تواند منجر به کاهش تدریجی پارامترهای رشدی شود (Hong et al., 2018). در مطالعه‌ای که بر روی گلابول (*Gladiolus spp*) به جهت ارزیابی برخی خصوصیات رویشی نیز انجام گرفت، محققین ضمن تأیید نتایج این پژوهش، گزارش نمودند که بیشترین تعداد بانه در دُز ۲۵ گری مشاهده شد، در حالی که گیاهان شاهد تیمار نشده با پرتو گاما، حداکثر تعداد بانه دختری را در نسل M2 تولید نمودند (Tiwari & Singh, 2018). در پژوهشی مشخص شده است که عملکرد بانه دختری زعفران در ۵ و ۱۵ گری افزایش یافته و با افزایش دُز پرتوتابی تا ۲۵ گری، این عملکرد، روند کاهش پیدا کرده است که احتمالاً به خاطر آسیب به محتوای مولکولی بانه‌های پرتوتابی شده بوده است (Ahamed, 2019). در همین راستا، در خصوص پرتوتابی بانه‌های زعفران ایرانی، پژوهشگران گزارش نمودند که برخی خصوصیات مورفولوژیک و محتوای کلروفیل و کارتنوئید در

تحقیقات دیگر نیز گزارش شده است که میزان پیکروکروسین با افزایش دز پرتو گاما تا ۱۵ گری افزایش داشته و در دز بیشتر مقدار آن کاهش یافته است (Ahamed, 2019).

پیکروکروسین نیز در اثر تابش گاما افزایش یافت به طوری که مقدار این ترکیب در دزهای ۱۵ و ۱۸ گری از پرتو گاما نسبت به نمونه پرتوتابی نشده بیشتر بود (شکل ۳). مقدار پیکروکروسین در ۱۵ گری بیشتر از ۱۸ گری نشان داده شد که این موضوع در



شکل ۳- مقایسه میانگین خصوصیات فیتوشیمیایی گیاهان حاصل از بنه‌های تیمار شده با اشعه گاما در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب پیکروکروسین (بالاچپ)، سافرانال (بالاراست) و کروسین (پایین)

Figure 1- Mean comparison of phytochemical characteristics on plants obtained from gamma radiation of saffron corms in comparison with control, respectively, picrocrocin (up-left), safranal (up-right), and crocin (down).

شاهد (۳۶/۱۱) افزایش یافت، این در حالی است که مقدار این ترکیب در تابش ۱۵ گری بیشتر از ۱۸ گری بود (شکل ۳). در

مقدار سافرانال اندازه‌گیری شده در این بررسی نیز در دو دز ۱۵ و ۱۸ گری (به ترتیب ۳۷/۲۶ و ۳۷/۱۵) نسبت به نمونه

شاخص برداشت، پیکروکروسین، سافرانال و کروسین در نمونه‌های پرتوتابی شده نسبت به شاهد افزایش و متوسط وزن بنه دختری و محتوای کلروفیل نسبی نسبت به شاهد، کاهش یافتند. به طور کلی گیاهان حاصل از بنه‌های پرتوتابی شده با اشعه گاما به صورت مناسبی جهش پیدا کرده و صفات و ترکیبات مورد توجه در زعفران را بهبود می‌بخشند. انتخاب دُز پرتوتابی بسیار حائز اهمیت می‌باشد زیرا صفات مورد نظر تا دُز معینی افزایش می‌یابند در حالی که افزایش دُز از سطح بهینه، باعث کاهش صفات و عملکرد می‌شود. در این پژوهش دو دُز از پرتو گاما و گیاهان نسل اول حاصل از پرتوتابی بنه‌های زعفران، مورد بررسی قرار گرفتند. پیشنهاد می‌شود مطالعه در نسل‌های بعدی جهت بررسی تثبیت صفات بهبودیافته مورد مطالعه قرار گیرند.

قدردانی

بدین وسیله از پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای کرج به دلیل همکاری در انجام این پژوهش، قدردانی و سپاسگزاری می‌شود.

مقالات دیگر نیز همانند پژوهش ما افزایش سافرانال در پرتوتابی اشعه گاما تا ۱۵ گری تأیید شده اما در دُزهای بالاتر از ۱۵ گری میزان این ماده کاهش یافته است (Ahamed, 2019). همچنین در پژوهشی دیگر مقدار سافرانال در اثر اشعه گاما افزایش یافت و میزان این ماده وابسته به دُز پرتو گاما گزارش شد (Seyhoon et al., 2016). در تحقیقی که از پرتو گاما با دُزهای ۱ تا ۶ کیلوگری استفاده شد تغییر معنی‌داری در ترکیبات کروسین و سافرانال مشاهده شد (Seyhoon et al., 2017).

نتیجه‌گیری

طبق نتایج به دست آمده از این پژوهش، بین هفت صفت از صفات مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاهان حاصل از تیمار مختلف بنه‌های زعفران تحت تأثیر پرتو گاما نسبت به نمونه بدون پرتوتابی، تفاوت معنی‌داری وجود داشت. گیاهان حاصل از بنه‌های تیمار شده در مقایسه با گیاهان بدون پرتوتابی (شاهد)، تنها در تعداد بنه‌های دختری، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند. مطابق مشاهدات انجام شده، شاخص سطح برگ،

منابع

- Ahamed, T.E.S. 2019. Bioprospecting elicitation with gamma irradiation combine with chitosan to enhance, yield production, bioactive secondary metabolites and antioxidant activity for saffron. *Journal of Plant Sciences* 7 (6): 137-143.
- Ahloowalia, B.S., and Maluszynski, M. 2001. Induced mutations—A new paradigm in plant breeding. *Euphytica* 118 (2): 167-173.
- Ahmad, M., Zaffar, G., Mir, S.D., Razvi, S.M., Rather, M.A., and Mir, M.R. 2011. Saffron (*Crocus sativus* L.) strategies for enhancing productivity. *Research Journal of Medicinal Plant* 5 (6): 630-649.
- Alavizadeh, S.H., and Hosseinzadeh, H. 2014. Bioactivity assessment and toxicity of crocin: a comprehensive review. *Food and Chemical Toxicology* (64): 65-80.
- Alsayed, N.A.F.A. 2015. Molecular diversity and relationships of saffron and wild *Crocus* species. Ph.D. Dissertation, Department of Biology, University of Leicester, United Kingdom.
- Beiki, A.H., Keifi, F., and Mozafari, J. 2010. Genetic differentiation of *Crocus* species by random amplified polymorphic DNA. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology* 18: 1-10.
- Busconi, M., Soffritti, G., Stagnati, L., Marocco, A., Martínez, J.M., Pascual, M.D.L.M., and Fernandez, J.A. 2018. Epigenetic stability in

- saffron (*Crocus sativus* L.) accessions during four consecutive years of cultivation and vegetative propagation under open field conditions. *Plant Science* 277: 1-10.
- Caiola, M.G., and Canini, A. 2010. Looking for saffron's (*Crocus sativus* L.) parents. *Functional Plant Science and Biotechnology* 4 (2): 1-14.
- El-Garhy, H.A., Sherif, H.S., Soliman, S.M., Haredy, S.A., and Bonfill, M. 2021. Effect of gamma rays and colchicine on silymarin production in cell suspension cultures of *Silybum marianum*: A transcriptomic study of key genes involved in the biosynthetic pathway. *Gene* 790: 145700.
- Heidarieh, N., Najafifard, M., Rohani, A.H., and Eidi, A. 2021. Effects of tarragon hydroalcoholic extract and coumarin on memory, tissue index and GABAA receptor gene Expression in the hippocampus of male rats. *Research Square*.
- Hong, M.J., Kim, D.Y., Ahn, J.W., Kang, S.Y., Seo, Y.W., and Kim, J.B. 2018. Comparison of radiosensitivity response to acute and chronic gamma irradiation in colored wheat. *Genetics and Molecular Biology* 41: 611-623.
- Jahandar Zaboli, F.A., Izanloo, M.G.G., and Rahimi, M. 2022. Radio-sensitivity test to determine the suitable dose to induce mutation in saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research* 9 (2): 243-259. (In Persian with English Summary).
- Jozghasemi, S., and Rabiei, V. 2019. The assessment and feasibility of breeding study in *Iris persica* by gamma-ray. *Applied Crop Breeding* 4 (1): 75-89.
- Jun, Z., Xiaobin, C., and Fang, C. 2006. The effects of ^{60}Co γ -Irradiation on development of *Crocus sativus* L. In II International Symposium on Saffron Biology and Technology 739: 307-311.
- Khan, M.A., Nagoo, S., Naseer, S., Nehvi, F.A., and Zargar, S.M. 2011. Induced mutation as a tool for improving corm multiplication in saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Phytochemistry* 3: 8-10.
- Koutoua, A., N'guessan, K., Dognim S., Soumaïla, O., Blaise, K.A.E.E., Nadia, K.A., and Justin, K.Y. 2021. Impact of drought on the foliar physiology of maize plants irradiated with gamma radiation. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry* 13 (2): 30-37.
- Kovacs, E., and Keresztes, A. 2002. Effect of gamma and UV-B/C radiation on plant cells. *Micron* 33 (2): 199-210.
- Mir, M.A., Mansoor, S., Sugapriya, M., Alyemeni, M.N., Wijaya, L., and Ahmad, P. 2021. Deciphering genetic diversity analysis of saffron (*Crocus sativus* L.) using RAPD and ISSR markers. *Saudi Journal of Biological Sciences* 28 (2): 1308-1317.
- Moghaddam, S.S., Jaafar, H., Ibrahim, R., Rahmat, A., Aziz, M.A., and Philip, E. 2011. Effects of acute gamma irradiation on physiological traits and flavonoid accumulation of *Centella asiatica*. *Molecules* 16 (6): 4994-5007.
- Molina, R.V., Renav Morata, B., Nebauer, S.G., Garcia Luis, A., and Guardiola, J.L. 2010. Greenhouse saffron culture temperature effects on flower emergence and vegetative growth the plants. *Acta Horticulturae* 850: 91-94.
- Nielsen, E., Temporiti, M.E.E., and Cella, R. 2019. Improvement of phytochemical production by plant cells and organ culture and by genetic engineering. *Plant Cell Reports* 38 (10): 1199-1215.
- Poma, A., Fontecchio, G., Carlucci, G., and Chichiricco, G. 2012. Anti-inflammatory properties of drugs from saffron crocus. *Anti-Inflammatory and Anti-Allergy Agents in Medicinal Chemistry (Formerly Current Medicinal Chemistry-Anti-Inflammatory and Anti-Allergy Agents)* 11 (1): 37-51.
- Rahimi, M.M., and Bahrani, A. 2011. Effect of gamma irradiation on qualitative and

- quantitative characteristics of canola (*Brassica napus* L.). Middle-East Journal of Scientific Research 8 (2): 519-525.
- Rashid, K.A., Jamaludin, M.I., Farzinebrahimi, R., Nezhadahmadi, A., Taha, R.M., Abd Aziz, N.A., and Mamat, M. 2018. Effect of gamma-ray radiation on morphological development of *Orthosiphon stamineus* (Cat Whisker). Life Science Journal 15 (11): 45-50.
- Seifati, S.E., Mohit Ardakani, A.M., Izanloo, A., and Borzoei, A. 2021. Induced morpho-physiological variation in saffron (*Crocus sativus* L.) using gamma radiation. Journal of Saffron Research 9 (1): 115-129.
- Seyhoon, M. 2017. Effect of gamma irradiation on quantification of crocin, kaempferol and safranal components of saffron (*Crocus sativus* L.) in Ghaen, Torbat Heydarieh and Kalat regions. Journal of Food Processing and Preservation 9 (1): 97-104.
- Shirmohammadi-Aliakbarkhani, Z. 2002. Using crop water stress index to determine crop water stress and irrigation scheduling of saffron. Irrigation and Drainage, Irrigation Department, Shiraz University, M. Sc. Thesis, 168.
- Shokrpour, M. 2019. Saffron (*Crocus sativus* L.) breeding: opportunities and challenges. Advances in plant breeding strategies: Industrial and Food Crops 675-706.
- Tiwari, A., and Singh, A.K. 2018. Influence of gamma irradiation (^{60}Co) on vegetative and propagule parameters in gladiolus varieties. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 7 (6): 1097-1103.
- Ulukapi, K., and Nasircilar, A.G. 2018. Induced mutation: creating genetic diversity in plants. In Genetic Diversity in Plant Species-Characterization and Conservation. IntechOpen. 41-55
- Vandenhove, H., Vanhoudt, N., Cuypers, A., van Hees, M., Wannijn, J., and Horemans, N. 2010. Life-cycle chronic gamma exposure of *Arabidopsis thaliana* induces growth effects but no discernable effects on oxidative stress pathways. Plant Physiology and Biochemistry 48 (9): 778-786.
- Wachisunthon, D., Marsud, S., Poonsatha, S., Jetawattana, S., and Sitthithaworn, W. 2021. Productivity of L-DOPA in *in vitro* shoots of *Mucuna pruriens* var. utilis enhanced by gamma radiation. Journal of Applied Pharmaceutical Science 11 (01): 084-088.
- Yadav, A., Singh, B., and Singh, S.D. 2019. Impact of gamma irradiation on growth, yield and physiological attributes of maize. Indian Journal of Experimental Biology (57): 116-122.