Field Evaluation of Haloxyfop-R-Methyl, With and Without Adjuvants, on Saffron (*Crocus sativus* L.) Stigma Quality

Extended Abstract

Mansoureh Shojaei [1], Hossein Hammami [2, 3 *], Seyed Vahid Eslami [2, 3], Sohrab Mahmoodi [2, 3]

1. MSc. Student, Department of Plant Production and Genetics engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

2. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

3. Member of the Plant and Environmental Stresses Research Group, University of Birjand, Birjand, Iran.

Corresponding Author: ***Hossein Hammami***
Email: *hhammami@birjand.ac.ir;homamihossein@gmail.com*
Hossein Hammami: https://orcid.org/0000-0002-7310-4623
Seyed Vahid Eslami: https://orcid.org/0000-0002-5266-7216
Sohrab Mahmoodi : https://orcid.org/0000-0002-7925-3259

Introduction: Saffron (*Crocus sativus* L.), commonly referred to as the "golden spice," represents one of the most valuable agricultural and medicinal crops owing to its unique flavor, color, and aroma in culinary applications, in addition to its wide-ranging health benefits. Contemporary investigations underscore saffron's robust antioxidant, anti-inflammatory, neuroprotective, and anticancer attributes, establishing it as an essential constituent in functional foods and pharmaceutical formulations. Saffron is abundant in carotenoids (crocin and crocetin, responsible for color), picrocrocin (contributing to taste), safranal (aroma), and terpenes. These carotenoids and terpenes confer hepatoprotective, antiviral, anti-inflammatory, and analgesic effects, while mitigating risks associated with cancer and cardiovascular ailments. Furthermore, saffron serves as a rich source of flavonoids, phenolic acids, and phytosterols, exhibiting enhancements in learning and memory functions, thereby qualifying it as a highly nutritious and therapeutic food commodity. In semi-arid zones, rain-fed systems intensify these challenges, as discrepancies between planting schedules and evolving climatic patterns culminate in diminished output. Weeds constitute a primary biotic limitation in saffron cultivation, profoundly affecting yields through competition for water, nutrients, and light, while also promoting pest and disease proliferation. Prevalent weeds in saffron fields, particularly narrow-leaved varieties, demand integrated management strategies to ensure enduring productivity and soil integrity. Efficient weed suppression can markedly elevate productivity. The application of polyethylene (PE) mulch diminishes weed populations by 70-90%, augments soil moisture conservation, and elevates stigma yield by up to 25% absent chemical interventions. Herbicides offer a viable approach for weed management in saffron, with contemporary analyses affirming the effectiveness of synthetic agents including haloxyfop R-methyl ester and pre-emergent formulations such as atrazine and metribuzin. Adjuvants are supplementary agents incorporated with herbicides to bolster their efficacy via improved spray retention, droplet dispersion, penetration into weed tissues, and absorption, frequently permitting reduced herbicide rates to curtail environmental impacts and crop phytotoxicity. Haloxyfop R-methyl ester with adjuvants at attenuated rates (e.g., 0.11-0.5 L/ha), merged with escalating concentrations of adjuvants like non-ionic surfactants or crop oil

concentrates, demonstrating amplified grassy weed control; Efficacy escalates markedly with elevated adjuvant proportions, yielding no detrimental impacts on saffron flowering or growth, alongside prospective yield increments via superior weed repression. Today, haven't any study about herbicide application with or without adjuvants on saffron stigma quality, therefore this study were conducted under field conditions.

Materials and Methods: To assess the response of the saffron stigma quality response to difference concentrations of the herbicide haloxyfop-R-methyl wwith or without adjuvants, a field study was carried out in a four-year-old saffron field located in the Sarayan region in 2022. The study was designed as a factorial experiment based on a randomized complete block design. Treatments included four concentrations of haloxyfop-R-methyl (0, 54, 81, and 108 g active ingredient ha^{-1}) and three adjuvant treatments: no additive, Sitogate adjuvant, and corn oil (each at 0.5% v/v). Crocin, Picrocrocin, and Safranal quality were determined after harvesting in November 2023, by spectrophotometric methods. Crocin, Picrocrocin, and Safranal absorbance was measured at 440, 257, and 330 nm by using a spectrophotometer, respectively. Data were statistically analyzed using SAS software version 9.4, and mean comparisons were performed using the FLSD test at the 5% significance level.

Results and Discussion: The experimental results indicated that the concentration of haloxyfop-R-methyl herbicide, had significant effect on crocin, picrocrocin, and safranal saffron stigma content. Results state by an experimental field study showed that the application of soil-applied herbicide effects on crocin, picrocrocin, and safranal saffron stigma content. Whereas, The highest safranal content in the stigma was recorded from metribuzin treatment with 8.00 $mg.g^{-1}$, and the lowest was in the pendimethalin+ tepraloxydim treatment with 1.26 $mg.g^{-1}$. Moreover, hand hoeing showed the highest content of saffron stigma crocin. It seems that quality response of saffron stigma to herbicide was depends to herbicide types and concentrations.

Conclusion: According Based on the findings of this study, hand hoeing had the highest effects on increase quality of saffron stigma because of weed control. By increasing haloxyfop-R-methyl herbicide concentration the crocin, picrocrocin, and safranal saffron stigma content was increased. Moreover, adjuvants application led to improved crocin, picrocrocin, and safranal saffron stigma content. Finally, it seems that application of haloxyfop-R-methyl with adjuvants led to improved quality of saffron stigma under field conditions.

Conflict of Interest: The authors declare no potential conflict of interest related to the work.

Keywords: Corn oil, Crocin, Grass weed, Safranal, Sitogate

ارزیابی مزرعه‌ای اثر کاربرد علف‌کش هالوکسی‌فوپ آر متیل با و بدون مواد افزودنی بر خصوصیات کیفی کلاله زعفران (*Crocus sativus* L.)

منصوره شجاعی[۱]، حسین حمامی*[۲،۳]، سید وحید اسلامی [۲،۳]، سهراب محمودی[۲،۳]

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند

۲. دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند

۳. عضو گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند

***نویسندهٔ مسئول** hhammami@birjand.ac.ir; homamihossein@gmail.com

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کاربرد غلظت‌های مختلف علف‌کش هالوکسی‌فوپ آر متیل همراه با مواد افزودنی بر خصوصیات کیفی کلاله زعفران، آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در یک مزرعه چهار ساله زعفران در منطقه سرایان طی سال ۱۴۰۱ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح غلظت علف‌کش هالوکسی‌فوپ آر متیل (۰، ۵۴، ۸۱ و ۱۰۸ گرم ماده مؤثره در هکتار) و سه سطح ماده افزودنی (بدون افزودنی، مویان سیتوگیت و روغن ذرت به میزان ۵/۰ درصد حجمی) بودند. اعمال تیمارها در بهمن‌ماه ۱۴۰۱ انجام شد و اندازه‌گیری خصوصیات کیفی زعفران در آبان‌ماه ۱۴۰۲ پس از برداشت و خشک‌کردن کلاله‌ها صورت گرفت. نتایج نشان داد که غلظت‌های مختلف علف‌کش هالوکسی‌فوپ آر متیل تأثیر معنی‌داری بر محتوای ترکیبات کیفی کلاله زعفران شامل کروسین، پیکروکروسین و سافرانال داشت. با این حال، نوع ماده افزودنی و همچنین اثر متقابل آن با غلظت علف‌کش تأثیر معنی‌داری بر این صفات نشان نداد. بیشترین مقدار کروسین، پیکروکروسین و سافرانال در تیمار وجین کامل علف‌های هرز مشاهده شد، اگرچه در برخی تیمارهای علف‌کشی اختلاف معنی‌داری با وجین دستی در خصوصیات کیفی کلاله وجود نداشت. مقایسه تیمارهای مختلف نشان داد که کاربرد علف‌کش در غلظت‌های ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد مقدار توصیه‌شده موجب افزایش به‌ترتیب ۱۱/۰۶، ۲۰/۳۹، و ۲۱/۲۰ درصدی کروسین ، ۷/۷۴، ۱۵/۱۷، و ۱۷/۰۱ درصدی پیکروکروسین ، ۵/۶۵، ۲۶/۲۲، و ۲۳/۵۶ درصدی سافرانال نسبت به شاهد بدون علف‌کش شد. کاربرد علف‌کش هالوکسی‌فوپ آر متیل نه تنها اثر منفی بر خصوصیات کیفی زعفران نداشته بلکه با کنترل علف‌های هرز باریک‌برگ منجر به بهبود خصوصیات کیفی زعفران می‌گردد.

کلمات کلیدی: باریک برگ، روغن ذرت، سافرانال، سیتوگیت، کروسین

پذیرفته شده نهایی - پیش از انتشار

مقدمه

زعفران (*Crocus sativus* L.) به عنوان یکی از گران‌بهاترین ادویه‌های جهان، نه تنها به دلیل رنگ، طعم و عطر منحصر به فرد خود در صنایع غذایی و آرایشی مورد استفاده قرار می‌گیرد، بلکه به عنوان منبع غنی از ترکیبات فعال زیستی با خواص درمانی شناخته می‌شود (Ziani et al., 2025; Semeniuc et al., 2024; Nanda & Madan, 2021). کلاله زعفران، بخش اصلی تجاری و با ارزش گیاه زعفران است که حاوی ترکیباتی مانند کروسین (عامل ایجاد رنگ)، پیکروکروسین (عامل ایجاد طعم تلخ) و سافرانال (عامل ایجاد عطر) می‌باشد. این ترکیبات نه تنها کیفیت تجاری زعفران را تعیین می‌کنند، بلکه خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی، ضدسرطانی و ضدافسردگی را نیز فراهم می‌کنند (Ziani et al., 2025; Semeniuc et al., 2024; Nanda & Madan, 2021). با توجه به اهمیت اقتصادی زعفران، به ویژه در کشورهایی مانند ایران، اسپانیا، هند، مراکش و آمریکا که عمده تولیدکنندگان جهانی هستند (Ziani et al., 2025)، درک عوامل مؤثر بر محتوای این ترکیبات ضروری است. تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که تنش‌های زنده و غیرزنده به طور قابل توجهی بر تولید، تجمع و پایداری این مواد تأثیر می‌گذارند، که این امر می‌تواند کیفیت محصول نهایی را تحت تأثیر قرار دهد (Ziaei et al., 2024; Feizi et al., 2021; Nanda & Madan, 2021).

عوامل غیرزنده، که شامل شرایط محیطی مانند دما، رطوبت، ارتفاع از سطح دریا، خصوصیات خاک، تنش‌های آبی (مانند خشکی) و تنش‌های شوری می‌شوند، نقش کلیدی در تنظیم بیان ژن‌های مرتبط با مسیرهای بیوسنتزی این ترکیبات ایفا می‌کنند (Ziaei et al., 2024; Feizi et al., 2021;). برای مثال، ارتفاع از سطح دریای بیشتر، می‌تواند منجر به افزایش محتوای کروسین شود، زیرا شرایط سردتر و تابش خورشیدی بیشتر، سنتز متابولیت‌های حفاظتی را تحریک می‌کند (Lage & Cantrell., 2009). همچنین، ترکیب خاک، از جمله سطوح مواد مغذی مانند نیتروژن و فسفر، و pH خاک، مستقیماً بر جذب عناصر و تولید متابولیت‌ها تأثیرگذار است؛ مطالعات نشان داده‌اند که خاک‌های غنی از مواد آلی و همچنین کاربرد کودهای شیمیایی و آلی می‌توانند محتوای پیکروکروسین و سافرانال را افزایش دهند (Askari et al., 2024; Naik et al., 2024; Esmaeilian et al., 2022). تنش خشکی، یکی از شایع‌ترین عوامل غیر زنده در مناطق کشت زعفران است که منجر به افزایش سطوح متابولیت‌های ثانویه مانند کروسین و پیکروکروسین می‌شود، زیرا گیاه برای مقابله با استرس اکسیداتیو، تولید این ترکیبات را افزایش می‌دهد، هرچند که ممکن است عملکرد کلی کاهش یابد (Ziaei et al., 2024). تنش شوری نیز مشابه عمل می‌کند و می‌تواند محتوای کروسین را تا حد قابل توجهی افزایش دهد، اما در سطوح بالا ممکن است به کاهش کیفیت منجر شود (Feizi et al., 2021). علاوه بر این، عوامل آب و هوایی مانند بارندگی، دمای سالانه و طول دوره رشد، بر محتوای سافرانال تأثیر می‌گذارند، جایی که شرایط گرم‌تر ممکن است تجزیه این ترکیب را تسریع کند (Khorramdel & Mirzaeian., 2025). این تنش‌ها نه تنها بر کمیت، بلکه بر کیفیت کلی زعفران تأثیر می‌گذارند و نیاز به مدیریت بهینه کشاورزی را برجسته می‌کنند.

پژوهشگاه نهال - پیش از انتشار

از سوی دیگر، عوامل زنده مانند پاتوژن‌ها (قارچ‌ها و باکتری‌ها)، آفات، و روابط همزیستی مانند میکوریزا، می‌توانند مسیرهای متابولیکی را تغییر دهند (Naik et al., 2024; Malik Al-Saadi et al., 2025). برای نمونه، بیماری‌های قارچی می‌تواند تنش‌های اکسیداتیو را افزایش دهد و در نتیجه تولید کروسین و سافرانال را به عنوان مکانیسم دفاعی تحریک کند، هرچند که ممکن است به کاهش عملکرد منجر شود (Naik et al., 2024). محتوای کروسین زعفران در نتیجه فعالیت نوعی نماتد کاهش می یابد (Shakeel & Ashraf., 2025). نتایج یک بررسی نشان داد که کاربرد قارچ مایکوریزا منجر به کاهش بیان ژن‌های مرتبط با تولید کروسین و افزایش بیان ژن های مرتبط با تولید پیکروکروسین و نیز افزایش تولید پیکروکروسین شد (Stelluti et al., 2024). بهبود عناصر غذایی در نتیجه رابطه قارچ های میکوریزا با ریشه گیاهان می‌تواند جذب مواد مغذی را بهبود بخشیده و محتوای متابولیت‌ها را افزایش دهد، که این امر به‌ویژه در شرایط تنش مفید است (Naik et al., 2024). از آنجا که گیاه زعفران دارای قدرت رقابتی کمی در برابر علف‌های هرز است، کاهش شدید عملکرد کمی و کیفی زعفران در شرایط رقابت با علف‌های هرز مشاهده می‌شود (Fallahi & Salariyan, 2023; Acharya et al., 2025). بنابراین با توجه به تاثیر زیاد علف‌های هرز در خلاء عملکرد زعفران (Feizi & Moradi, 2020) مدیریت این گیاهان ضروری است. امروزه یکی از روش‌های رایج، مطلوب و کم هزینه برای مدیریت علف‌های هرز در مزارع زعفران مدیریت شیمیایی و استفاده از علف‌کش‌ها است (Fallahi & Salariyan; 2023; Bazoobandi at al., 2020). علاوه بر این کاربرد مواد افزودنی به همراه علف‌کش‌ها به عنوان یک رهیافت اکولوژیکی و کم هزینه مورد توجه قرار گرفته است. افزایش کارآیی علف‌کش‌های مختلف در نتیجه کاربرد مواد افزودنی در تحقیقات مختلف گزارش شده است (Hammami et al., 2014; Hamdard et al., 2025). رقابت با علف‌های هرز و همچنین کاربرد علف‌کش‌ها بر میزان ترکیبات زیستی موجود در کلاله زعفران اثر می‌گذارد. نتایج یک بررسی نشان داد که بیشترین و کمترین میزان سافرانال به ترتیب در تیمارهای علف‌کش متریبیوزین و پندیمتالین + پترالوکسیدیم مشاهده شد. در حالی که بیشترین و کمترین میزان کروسین به ترتیب در تیمارهای متولاکلر + بنوکساکر و پندیمتالین + پترالوکسیدیم مشاهده شد (Asil et al., 2022). علف‌کش هالوکسی فوپ متیل آرمتیل یکی از علف‌کش‌های دارای کاربرد گسترده جهت کنترل علف‌های هرز باریک‌برگ در مزارع زعفران است که توصیه به استفاده از آن به همراه مواد افزودنی جهت افزایش کارآیی کنترل علف‌های هرز باریک‌برگ شده است (Shojaei et al., 2025). تاکنون مطالعه‌ای در زمینه تاثیر این علف‌کش در حضور و عدم حضور مواد افزودنی بر خصوصیات کیفی کلاله زعفران شامل محتوای کروسین، پیکروکروسین و سافرانال انجام نشده است. لذا این مطالعه جهت ارزیابی اثر علف‌کش هالوکسی فوپ متیل آرمتیل به همراه برخی افزودنی‌ها بر محتوای کروسین، پیکروکروسین و سافرانال در شرایط مزرعه چهارساله زعفران انجام شد.

مواد و روش‌ها

مکان و زمان اجرای تحقیق

مزرعه چهار ساله زعفران واقع در منطقه سرایان که فاقد سابقه کاربرد علف‌کش برای مدیریت علف‌های هرز بود برای اجرای طرح انتخاب شد. آزمایش در سال ۱۴۰۱ به منظور اعمال تیمارها و در سال ۱۴۰۲ اندازه‌گیری خصوصیات کیفی زعفران اجرا شد.

طرح آزمایشی و تیمارها

طرح آزمایشی بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه چهار ساله زعفران اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل غلظت علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل (سوپرگالانت، امولسیون ۱۰/۸ ٪، شرکت گل سم گرگان، ایران) در چهار سطح شامل صفر، ۵۴، ۸۱ و ۱۰۸ گرم ماده موثره در هکتار و ماده افزودنی در سه سطح بدون ماده افزودنی، روغن سیتوگیت و روغن ذرت (۰/۵ درصد حجمی) بود. روغن ذرت با روش پرس سرد تهیه شده و مویان سیتوگیت (آلکیل آریل پلی گلایکول اتر) از شرکت زرنگاران پارس تهیه شد. به منظور کاهش بادبردگی علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل، از پوشش پلاستیکی اطراف کرت‌های مجاور در زمان سمپاشی استفاده شد. از سم‌پاش ماتابی پشتی شارژی مجهز به نازل بادبزنی یکنواخت ۸۰۰۲ در فشار دو بار (پس از کالیبراسیون)، برای اعمال تیمارها استفاده شد. سم‌پاشی در شرایط توسعه کامل برگ زعفران و چهاربرگی کامل علف‌های هرز باریک برگ در ۲۶ بهمن‌ماه ۱۴۰۱ انجام شد. ابعاد هر کرت ۱/۲ در ۱۰ متر (شامل ۶ ردیف کاشت) بود که برای هر کرت نیمی از هر کرت به عنوان شاهد متناظر با هر تیمار مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱).

شکل ۱. نقشه طرح آزمایشی

Figure 1. Experimental design map

در کرت هایی که تیمار علف‌کشی اعمال شد طی سه مرتبه علف‌های هرز پهن برگ با وجین حذف شدند. در هر بلوک یک واحد آزمایشی به عنوان شاهد عدم وجین علف‌های هرز و یکی دیگر به عنوان شاهد وجین کامل علف‌های هرز در نظر گرفته شد. بنابراین هر بلوک شامل ۱۴ کرت یا واحد آزمایشی بود. بین واحدهای آزمایشی داخل یک بلوک ۸۰ سانتی‌متر و بین بلوک‌ها ۲ متر فاصله لحاظ شد. در پاییز سال ۱۴۰۲ گل‌های زعفران به تفکیک برای هر واحد آزمایش جدا شده و پس از خشک کردن کلاله ها اندازه گیری خصوصیات کیفی کلاله شامل کروسین، پیکروکروسین و سافرانال طبق روش استاندارد ملی ایران (INSO 259-2, 2013) انجام شد. مقدار ۵۰۰ میلی گرم از کلاله خشک شده (دارای رطوبت ۸ تا ۱۰ درصد) پودر شده و سپس با آب مقطر به حجم یک لیتر رسانده شد. محلول آماده شده به مدت ۲۰ دقیقه در تاریکی با همزن مغناطیسی در دور متوسط حل شد. میزان جذب محلول آبی یک درصد در طول موج های ۲۵۷ (پیکروکروسین)، ۳۳۰ (سافرانال) و ۴۴۰ (کروسین) نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV–Vis spectrophotometer, UNICO, 2000, Germany) اندازه گیری شد و سپس با استفاده از رابطه ۱ میزان پیکروکروسین، سافرانال و کروسین تعیین شد.

رابطه ۱

$$E_{1cm}^{1\%} = \frac{A \times 100}{M(100-H)}$$

$E_{1cm}^{1\%}$: مقدار جذب محاسبه شده بر اساس ماده خشک، A: مقدار جذب قرائت شده توسط دستگاه در طول موج های ۲۵۷ (پیکروکروسین)، ۳۳۰ (سافرانال) و ۴۴۰ (کروسین) نانومتر، M : میزان رطوبت کلاله (۸ تا ۱۰ درصد)

تجزیه‌وتحلیل آماری

در این پژوهش، آزمایش اصلی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۲ ترکیب تیماری از دو عامل (غلظت علف‌کش و نوع ماده افزودنی) طراحی شد. علاوه بر این، دو تیمار شاهد شامل وجین کامل و وجین پهن‌برگ‌ها به‌منظور مقایسه عملکرد تیمارهای فاکتوریلی با شرایط کنترل شده در نظر گرفته شدند. بنابراین، برای تجزیه داده‌ها از دو نوع تحلیل استفاده گردید: تجزیه فاکتوریلی جهت بررسی اثرات اصلی و متقابل عوامل علف‌کش و ماده افزودنی و تجزیه طرح کاملاً تصادفی با ۱۴ تیمار مستقل برای مقایسه کلی تیمارهای فاکتوریلی با تیمارهای شاهد. این رویکرد امکان ارزیابی هم‌زمان ساختار علمی فاکتوریل و نیز مقایسه مستقیم تیمارها با تیمارهای شاهد را فراهم می‌کند. قبل از انجام تجزیه واریانس نرمال بودن داده ها با استفاده از آزمون شاپیرو ویلکاکس و کولموگراف اسمیرنوف تایید شد. آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD محافظت‌شده در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

پذیرفته شده نهایی - پیش از انتشار

کروسین

براساس نتایج تجزیه واریانس آزمایش به صورت فاکتوریل، محتوای کروسین کلاله زعفران فقط تحت تاثیر معنی‌دار اثرات ساده غلظت علف‌کش قرار گرفت ($p\leq ۰/۰۵$) (جدول ۱). نتایج بررسی ترکیبات تیماری آزمایش بر محتوای کروسین اثر معنی‌دار را نشان داد ($p\leq ۰/۰۵$) (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر غلظت ساده علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل بر محتوای کروسین در جدول ۳ نشان داده شده است. اختلاف بین غلظت‌های ۷۵ و ۱۰۰ درصد توصیه‌شده علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل در مقایسه با تیمار عدم کاربرد علف‌کش افزایش معنی‌دار محتوای کروسین را نشان دادند. در حالی که بین غلظت ۵۰ درصد توصیه شده و عدم کاربرد علف‌کش اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). بین غلظت‌های ۷۵ و ۱۰۰ درصد توصیه‌شده علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل اختلاف معنی‌داری در محتوای کروسین مشاهده نشد. به ترتیب در غلظت‌های ۵۰، ۷۵، و ۱۰۰ درصد توصیه‌شده علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل، محتوای کروسین نسبت به تیمار شاهد به میزان ۱۱/۰۶، ۲۰/۳۹، و ۲۱/۲۰ درصد افزایش یافت (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین ترکیبات تیماری نشان داد که وجین کامل علف‌های هرز منجر به افزایش ۶۴/۷۸ درصدی محتوای کروسین در مقایسه با عدم وجین علف‌های هرز شد (جدول ۴). علاوه بر این کاربرد علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل در غلظت های مختلف و ماده افزودنی باعث بهبود محتوای کروسین شد. همچنین کاربرد روغن ذرت و مویان سیتوگیت به تنهایی در مقایسه با تیمار عدم کاربرد علف‌کش (وجین پهن‌برگ ها) منجر به تغییرات معنی‌داری در محتوای کروسین نشد (جدول ۴). به طور کلی نتایج نشان داد که کاربرد تیمارهای علف‌کشی باعث بهبود محتوای کروسین در مقایسه با تیمارهای عدم وجین و همچنین وجین پهن‌برگ‌ها شد (جدول ۴).

جدول ۱. تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آزمایشی بر محتوای آپوکارتنوئیدهای کلاله زعفران

Table 1. Analysis of variance of the effect of experimental treatments on the content of apocarotenoids in saffron stigma

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی D.F	Means of Square (MS)		
		کروسین Crocin	پیکروکروسین Picrocrocin	سافرانال Safranal
بلوک Block	2	575.95 ^{ns}	55.19 ^{ns}	4.69 ^{ns}
غلظت علف‌کش Herbicide concentration	3	2736.92 *	290.84 *	71.22 **
ماده افزودنی Adjuvant	2	1004.98 ^{ns}	52.11 ^{ns}	34.19 ^{ns}
غلظت علف‌کش × ماده افزودنی HC×A	6	45.10 ^{ns}	58.26 ^{ns}	5.19 ^{ns}
خطا Error	22	705.67	80.56	14.22
ضریب تغییرات (٪) C.V		13.34	11.15	14.42

^{NS}، * و ** : به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

^{NS}, * and **: non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

افزایش جذب عناصر غذایی توسط علف‌های هرز یکی از عوامل اصلی کاهش عملکرد کمی و کیفی کلاله زعفران است. نتایج بررسی ها نشان داده است که کاربرد کود دامی و کمپوست منجر به بهبود عملکرد کلاله و همچنین محتوای کروسین کلاله زعفران شد (Daneshmandi at al., 2024; Jami et al., 2019). کاربرد کود گاوی به میزان ۴۵ تن در هکتار باعث مشاهده بیشترین میزان کروسین کلاله زعفران در مقایسه با عدم کاربرد و همچنین کاربرد کودهای شیمیایی گردید (Askary et al., 2024). بنابراین به نظر می‌رسد همراستا با نتایج این بررسی بهبود دسترسی گیاه زعفران به عناصر غذایی در تیمارهای کاربرد علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل به دلیل کنترل علف‌های‌هرز باریک‌برگ (به همراه وجین علف‌های هرز پهن‌برگ)، محتوای کروسین افزایش یافت (جدول ۴). نتایج یک بررسی نشان داد که کاربرد پندیمتالین + تپرالوکسیدیم، بنفلورالین+ تپرالوکسیدیم و متریبوزین در مقایسه با تیمار شاهد عدم کاربرد علف‌کش منجر به افزایش محتوای کروسین شد (Asil et al., 2022). درحالی که کمترین محتوای کروسین در تیمار علف‌کش تپرالوکسیدیم و نمک ۲ و ۴ دی متیل آمین مشاهده شد (Asil et al., 2022).

جدول۲- تجزیه واریانس تأثیر ترکیبات تیماری بر محتوای آپوکارتنوئیدهای کلاله زعفران

Table 2 - Analysis of variance of the effect of treatment compounds on the content of apocarotenoids in saffron stigma

منابع تغییرات	S.O.V	درجه آزادی df	Means of Square (MS)		
			کروسین Crocin	پیکروکروسین Picrocrocin	سافرانال Safranal
بلوک	Block	2	407.52 ^{ns}	52.17 ^{ns}	5.45 ^{ns}
تیمار	Treatment	13	1834.90 *	213.39 **	36.73 *
خطا	Error	26	671.81	69.91	12.91
ضریب تغییرات (٪)	%C.V		13.15	10.49	13.44

^{NS}، * و ** : به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

^{NS}, * and **: non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

پیکروکروسین

براساس نتایج تجزیه واریانس تیمارهای علف‌کشی، اثرات ساده ماده افزودنی و همچنین اثرات متقابل غلظت علف‌کش در ماده افزودنی اثر معنی‌داری بر محتوای پیکروکروسین کلاله زعفران نداشت ($p\leq$۰/۰۵)؛ در حالی که اثرات ساده غلظت علف‌کش اثر معنی‌داری بر محتوای پیکروکروسین کلاله زعفران نشان داد (جدول ۱). نتایج بررسی ترکیبات تیماری آزمایش نیز بر محتوای پیکروکروسین اثرمعنی داری را نشان داد ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر ساده غلظت علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل بر محتوای پیکروکروسین در جدول ۳ نشان داده شده است. اختلاف بین غلظت‌های ۷۵ و ۱۰۰ درصد توصیه‌شده علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل در مقایسه با تیمار عدم کاربرد علف‌کش افزایش معنی‌دار را در محتوای پیکروکروسین نشان دادند. در حالی که بین غلظت ۵۰ درصد توصیه شده و عدم کاربرد علف‌کش اختلاف چندان معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). به ترتیب در غلظت‌های ۵۰، ۷۵، و ۱۰۰ درصد توصیه‌شده علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل افزایش ۷/۷۴، ۱۵/۱۷، و ۱۷/۰۱ درصدی محتوای پیکروکروسین در مقایسه با شاهد عدم کاربرد علف‌کش شدند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین ترکیبات تیماری نشان

داد که وجین کامل علف‌های هرز منجر به افزایش ۴۸/۶۳ درصدی محتوای پیکروکروسین در مقایسه با عدم وجین علف‌های هرز شد (جدول ۴). علاوه بر این کاربرد علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل در غلظت‌های مختلف به همراه ماده افزودنی باعث بهبود محتوای پیکروکروسین شد. همچنین کاربرد روغن ذرت و مویان سیتوگیت به تنهایی و کاربرد ۵۰ درصد علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل بدون مواد افزودنی، در مقایسه با تیمار عدم کاربرد علف‌کش (وجین پهن‌برگ ها) منجر به تغییرات معنی‌داری در محتوای پیکروکروسین نشد (جدول ۴). به طور کلی کاربرد علف‌کش به استثنای غلظت ۵۰ درصد توصیه‌شده بدون ماده افزودنی، باعث بهبود محتوای پیکروکروسین شد (جدول ۴). نتایج یک مطالعه نشان داد که بهبود وضعیت عناصر غذایی و اصلاح خصوصیات خاک در نتیجه استفاده از ورمی کمپوست با توجه به بهبود شرایط رشد زعفران منجر به افزایش معنی‌دار محتوای پیکروکروسین در کلاله زعفران شده است (Jami et al., 2019).

سافرانال

براساس نتایج تجزیه واریانس تیمارهای محتوای سافرانال کلاله زعفران فقط تحت تاثیر معنی دار اثرات ساده غلظت علف‌کش قرار گرفت و اثرات ساده ماده افزودنی و همچنین اثرات متقابل غلظت علف‌کش در ماده افزودنی اثر معنی‌داری بر محتوای سافرانال کلاله زعفران نداشت ($p\leq ۰/۰۱$) (جدول ۱). نتایج بررسی ترکیبات تیماری آزمایش بر محتوای سافرانال اثر معنی‌دار را نشان داد ($p\leq ۰/۰۵$) (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر غلظت ساده علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل بر محتوای سافرانال در جدول ۳ نشان داده شده است. اختلاف بین غلظت‌های ۷۵ و ۱۰۰ درصد توصیه‌شده علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل در مقایسه با تیمار عدم کاربرد علف‌کش افزایش معنی‌دار را نشان دادند. در حالی که بین غلظت ۵۰ درصد توصیه شده و عدم کاربرد علف‌کش اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). بین غلظت های ۵۰ درصد و ۷۵ و ۱۰۰ درصد توصیه‌شده علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. به ترتیب در غلظت‌های ۵۰، ۷۵، و ۱۰۰ درصد توصیه‌شده علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل افزایش معنی‌دار ۵/۶۴، ۲۲/۶۲، و ۲۳/۵۶ درصدی محتوای سافرانال در مقایسه با شاهد عدم کاربرد علف‌کش شدند (جدول ۳).

جدول۳- مقایسه میانگین اثر ساده غلظت علف‌کش بر محتوای آپوکارتنوئیدهای کلاله زعفران

Table 3- Comparison of the mean of the simple effect of herbicide concentration on the content of apocarotenoids in saffron stigma

اثر غلظت علف‌کش هالوکسی فوپ دی متیل استر	کروسین Crocin	پیکروکروسین Picrocrocin	سافرانال Safranal
عدم کاربرد علف‌کش Without herbicide	176.00 b	73.22 b	23.56 b
کاربرد ۵۰ درصد مقدار توصیه شده 50 % recommended dose	195.46 ab	78.89 ab	24.89 b
کاربرد ۷۵ درصد مقدار توصیه شده 75 % recommended dose	211.89 a	84.33 a	28.89 a
کاربرد ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده 100 % recommended dose	213.31 a	85.67 a	29.11 a

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد

Common letters in each column indicate no significant difference at the 5% probability level.

نتایج مقایسه میانگین ترکیبات تیماری نشان داد که وجین کامل علف‌های هرز منجر به افزایش ۴۶/۳۱ درصدی محتوای سافرانال در مقایسه با عدم وجین علف‌های هرز شد (جدول ۴). علاوه بر این کاربرد علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل در غلظت‌های ۱۰۰ درصد در حضور و عدم حضور ماده افزودنی و ۷۵ درصد در شرایط کاربرد روغن ذرت و مویان سیتوگیت باعث افزایش معنی‌دار محتوای سافرانال در مقایسه با تیمارهای عدم وجین علف‌های هرز شدند. همچنین بین تیمارهای کاربرد روغن ذرت و مویان سیتوگیت به تنهایی، کاربرد ۵۰ درصد علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل با و بدون مواد افزودنی، کاربرد ۷۵ درصد علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل بدون مواد افزودنی و عدم وجین علف های هرز اختلاف معنی‌داری در محتوای سافرانال مشاهده نشد (جدول ۴). ب

جدول۴- مقایسه میانگین تأثیر ترکیبات تیماری بر محتوای آپوکاروتنوئیدهای کلاله زعفران

Table 4 - Comparison of the means effect of treatment compounds on the content of apocarotenoids in saffron stigma

تیمارها Treatments	کروسین **Crocin**	پیکروکروسین **Picrocrocin**	سافرانال **Safranal**
بدون کاربرد علف‌کش - بدون ماده افزودنی **Without herbicide + without adjuvant**	172.667 cd	74.00 bc	22.33 c
بدون کاربرد علف‌کش - روغن ذرت **Without herbicide + corn oil**	173.67 cd	72.00 bc	22.00 c
بدون کاربرد علف‌کش – سیتوگیت **Without herbicide + sitogate**	181.67 bcd	73.67 bc	26.33 bc
کاربرد ۵۰ درصد مقدار توصیه‌شده علف‌کش - بدون ماده افزودنی **50 % recommended dose + without adjuvant**	189.41 abc	73.33 bc	22.33 c
کاربرد ۵۰ درصد مقدار توصیه‌شده علف‌کش - روغن ذرت **50 % recommended dose + corn oil**	190.0 abc	78.00 ab	25.00 bc
کاربرد ۵۰ درصد مقدار توصیه‌شده علف‌کش – سیتوگیت **50 % recommended dose + sitogate**	206.96 abc	85.33 ab	27.33 abc
کاربرد ۷۵ درصد مقدار توصیه‌شده علف‌کش - بدون ماده افزودنی **75 % recommended dose + without adjuvant**	201.00 abc	80.33 ab	27.00 abc
کاربرد ۷۵ درصد مقدار توصیه‌شده علف‌کش - روغن ذرت **75 % recommended dose + corn oil**	208.37 abc	83.00 ab	29.67 ab
کاربرد ۷۵ درصد مقدار توصیه‌شده علف‌کش – سیتوگیت **75 % recommended dose + sitogate**	226.30 a	89.67 a	30.00 ab
کاربرد ۱۰۰ درصد مقدار توصیه‌شده علف‌کش - بدون ماده افزودنی **100 % recommended dose + without adjuvant**	204.00 abc	86.00 ab	29.33 ab
کاربرد ۱۰۰ درصد مقدار توصیه‌شده علف‌کش - روغن ذرت **100 % recommended dose + corn oil**	213.26 abc	89.33 a	28.67 ab
کاربرد ۱۰۰ درصد مقدار توصیه‌شده علف‌کش – سیتوگیت **100 % recommended dose + sitogate**	222.67 ab	81.67 ab	30.33 ab
شاهد وجین کامل علف‌های هرز **Complete weed control**	230.33 a	89.67 a	32.67 a
شاهد عدم وجین علف‌های هرز **Incomplete weeding control**	139.67 d	60.33 c	22.33 c

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ ٪ با توجه به آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار ندارند.

The means with the same letter in each column are not significantly different at the 0.05 level of probability according to the LSD test.

ه طور کلی کاربرد علف‌کش در غلظت‌های ۱۰۰ درصد و ۷۵ درصد با ماده افزودنی، باعث افزایش معنی‌دار محتوای سافرانال شد (جدول ۴). افزایش تراکم زعفران و همچنین افزایش حاصلخیزی خاک توسط کودها بر وزن علف‌های هرز تاثیرگذار بوده و وزن آن‌ها را افزایش می‌دهد. در حالی که در این شرایط وزن علف‌های هرز افزایش یافته ولی میزان کلاله تولیدی زعفران به دلیل افزایش عناصر غذایی در دسترس، افزایش یافته است. علاوه بر این افزایش محتوای آپوکارتنوئیدهای زعفران شامل کروسین، پیکروکروسین و سافرانال با افزایش تراکم زعفران و استفاده از کود دامی مشاهده شده است (Esmaeilian et al., 2022). کاربرد علف‌کش‌های متریبیوزین و تپرالوکسیدیم منجر به بیشترین افزایش در میزان سافرانال در مقایسه با تیمار عدم کاربرد علف‌کش شد (Asil et al., 2022).

نتیجه‌گیری

نتایج این بررسی نشان داد که وجین کامل علف‌های هرز منجر به افزایش معنی‌دار محتوای آپوکارتنوئیدهای زعفران شامل کروسین، پیکروکروسین و سافرانال شد. در نتیجه کنترل علف‌های هرز منجر به بهبود خصوصیات کیفی کلاله زعفران می‌شود. با افزایش غلظت کاربرد علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل محتوای آپوکارتنوئیدهای زعفران به دلیل افزایش کنترل علف‌های هرز افزایش یافت. همچنین کاربرد مواد افزودنی با افزایش کارایی کنترلی علف‌های هرز توسط علف‌کش منجر به بهبود محتوای آپوکارتنوئیدهای زعفران می‌شود. در نهایت به نظر می‌رسد که کاربرد علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل با و بدون ماده افزودنی منجر به بهبود خصوصیات کیفی زعفران در شرایط مزرعه می‌گردد.

سپاسگزاری

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی (پایان‌نامه کارشناسی ارشد) به شماره ابلاغیه ۹۷۵۴ مورخ ۱۴۰۱/۱۲/۲۲ و با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه بیرجند انجام شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین، این تحقیق در قالب طرح پژوهشی به شماره ابلاغیه ۵۴۴۱/د/ ۱۴۰۲ مورخ ۱۴۰۲/۰۳/۲۲ با استفاده از اعتبارات گروه پژوهشی گیاه و تنش های محیطی دانشگاه بیرجند انجام شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

پذیرفته شده نهایی - پیش از انتشار

منابع

Asil, H., Soylu, S., Kara, M., Çelik, M., Taşgın, S., Çelik, F., & Üremiş, İ. (2022). The Effect of Different Weed Control Treatments On Pharmacological Components of Stigma Quality of Saffron and Diversity of the Microbial Population in Soil. *Gesunde Pflanzen*, 74(4), 905-913.

Askary, M., Behdani, M. A., Mollaei, H., Fallahi, H. R., Azarmi-Atajan, F., & Macinaei, H. M. (2024). Bioactive compounds and apoptotic effects of saffron (*Crocus sativus* L.) in different fertilizer conditions. *Biochemical Systematics and Ecology*, 114, 104806.

Acharya, B.S., Ghale, A., Hamido, S., Zinati, G., Bozzolo, A., Archer, L., Wendelberger K., Das, S., Thapa, R., & Panday, D. (2025). Saffron (*Crocus sativus* L.): The Golden Spice—Management, Challenges, and Opportunities for Sustainable Production in the United States. *Journal of Agriculture and Food Research*, 101970.

Bazoobandi, M., Rahimi, H., & Karimi-Shahri, M.R. (2020). Saffron crop protection. In Saffron (chapter10: pp. 169-185). Woodhead Publishing.

Daneshmandi, M.S., Damghani, A.M., Yazdi, M.A., & Seyyedi, S.M. (2024). The subsurface application of pistachio waste compost and foliar spraying of organic matter can induce the flower yield and the quality of saffron (*Crocus sativus* L.) corms affected by restricted nutrient conditions. *Scientia Horticulturae*, 326, 112768.

Esmaeilian, Y., Amiri, M. B., & Neamatollahi, E. (2022). High density planting and manure affect flower yield, corm characteristics, and volatile compounds of saffron (Crocus sativus L.). *Industrial crops and products*, 176, 114363.

Fallahi, H.R, & Salariyan, A. (2023). Analysis and description of the most important agronomic factors affecting yield gap of saffron fields in Torbat-Heydariyeh. *Saffron Agronomy & Technology*, *11*(1), 23-51. [In Persian with English Summary].

Feizi, H., Moradi, R., Pourghasemian, N., & Sahabi, H. (2021). Assessing saffron response to salinity stress and alleviating potential of gamma amino butyric acid, salicylic acid and vermicompost extract on salt damage. *South African Journal of Botany*, 141, 330-343.

Feizi, H., & Moradi, R. (2020). Assessing involved managing factors in gap yield between traditional and ideal saffron cultivating Systems in Razavi and South Khorasan provinces. *Journal of Saffron Research*, *7*(2), 283-298. [In Persian with English Summary]

Khorramdel, S. & Mirzaeian, A. (2025). Impact of Climate Change on Saffron Production: Issues, Challenges, and Opportunities. *Journal of Saffron Research*, *13*(1), 173-197.

Hamdard, S. , Fallahi, H. R. , Hammami, H. & Sahabi, H. (2025). Effect of Reduced Levels of the Herbicide Haloxyfop R-methyl ester in Combination with Some Adjuvants on the Growth and Flowering of Saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research*, *13*(1), 1-21.

Hammami, H., Aliverdi, A., & Parsa, M. (2014). Effectiveness of clodinafop-propargyl, haloxyfop-p-methyl and difenzoquat-methyl-sulfate plus Adigor® and Propel™ adjuvants in controlling *Avena ludoviciana* Durieu. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *16*(2), 291-299.

Jami, N., Rahimi, A., Naghizadeh, M., & Sedaghati, E. (2020). Investigating the use of different levels of Mycorrhiza and Vermicompost on quantitative and qualitative yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Scientia Horticulturae*, 262, 109027.

Naik, S., Bharti, N., Mir, S.A., Nehvi, F.A., & Husaini, A.M. (2024). Microbial interactions modify saffron traits selectively and modulate immunity through adaptive antioxidative strategy: Organic cultivation modules should be trait and crop-specific. *Industrial Crops and Products*, 222, 119521.

Nanda, S., & Madan, K. (2021). The role of Safranal and saffron stigma extracts in oxidative stress, diseases and photoaging: A systematic review. *Heliyon*, 7(2).

Semeniuc, C.A., Mandrioli, M., Urs, M.J., & Toschi, T.G. (2024). Quality and authenticity of saffron and sensory aspects. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 38, 101067.

Shakeel, A., & Ashraf, N. (2025). Pathogenesis and defense gene response in *Crocus sativus* (saffron) against the root-lesion nematode *Pratylenchus penetrans*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 110357.

Shojaei, M. , Hammami, H. , Eslami, S. V. & Mahmoodi, S. (2025). Evaluation of the Effect of Additive Application on the Efficacy of Haloxyfop R-Methyl Herbicide on Narrow-Leaved Weeds in Saffron (*Crocus sativus* L.) Fields. *Journal of Saffron Research*, *13*(2), 252-237.

Stelluti, S., Grasso, G., Nebauer, S.G., Alonso, G.L., Renau-Morata, B., Caser, M., Demasi, S., Lumini, E., Gómez-Gómez, M.L., Molina, R.V. & Bianciotto, V. (2024). Arbuscular mycorrhizal symbiosis modulates the apocarotenoid biosynthetic pathway in saffron. *Scientia Horticulturae*, 323, p.112441.

Ziani, A., Bekkouch, O., Ouahhoud, S., Baddaoui, S., Ben'Mbarek, S., Bekkouch, A., Khoulati, A., Jaouadi, B., Choi, J., Choi, M. & Kim, H.J. (2025). Phytochemistry, Biological Activities, Molecular Mechanisms, and Toxicity of Saffron (*Crocus sativus* L.): A Comprehensive Overview. *Antioxidants*, 14(12), p.1433.

از انتشار