

Assessing the photosynthetic system responses of saffron plant (*Crocus sativus* L.) to the application of haloxyfop R-methyl herbicide with and without adjuvants

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; homamihosseini@gmail.com

Introduction: Saffron (*Crocus sativus* L.) is an important crop in Iran but is highly vulnerable to weeds due to its weak vegetative growth. Both annual and perennial weeds, are known as problematic weed in saffron fields. The primary weed control method in saffron fields is hand weeding, supplemented by other approaches, including chemical methods, due to the labor-intensive, costly, and time-consuming nature of manual weeding. The addition of adjuvants to herbicides can improve their efficiency in a cost-effective and environmentally sustainable approach. Haloxyfop-R-methyl, an ACCase inhibitor, effectively suppresses grass weed growth. Recent studies have indicated that incorporating adjuvants can enhance the performance of grass-selective herbicides that inhibit acetyl-CoA carboxylase. However, limited research has investigated the efficacy of herbicides combined with adjuvants in saffron cultivation. Previous findings have shown that ACCase inhibitors can reduce photosynthetic activity. Therefore, this study was conducted to assess the response of the saffron photosynthetic system to haloxyfop-R-methyl application, both with and without adjuvants.

Materials and Methods: A field experiment was conducted in a four-year-old saffron field in Sarayan (2023) to evaluate how different concentrations of haloxyfop-R-methyl affect saffron's photosynthetic system. The factorial experiment, arranged in a randomized complete block design, tested four herbicide rates (0, 54, 81, 108 g ai ha⁻¹) and three adjuvants (none, Sitogate oil, and corn oil at 0.5% v/v). Chlorophyll fluorescence was measured 2, 4, 6, 8, and 10 days after herbicide application. Visual injury of saffron leaves was evaluated 7, 10, 13, 16, 19, 22, and 25 days after application. Chlorophyll a, chlorophyll b, and carotenoid contents were determined 25 days after treatment. Data were statistically analyzed using SAS software version 9.4, and mean comparisons were performed using the FLSD test at the 5% significance level. Graphs were prepared using Microsoft Excel.

Results and Discussion: The experimental results indicated that the concentration of haloxyfop-R-methyl herbicide, the type of adjuvant, and their interaction had no significant effect on chlorophyll fluorescence. Among the combined treatments, a significant difference was observed only on the tenth day after application at the 5% significance level. The absence of significant

effects from the herbicide treatments suggests that saffron (*Crocus sativus* L.) possesses high tolerance to haloxyfop-R-methyl. This observation is consistent with the herbicide's mode of action as an acetyl-CoA carboxylase (ACCase) inhibitor, which primarily targets grassy weeds without directly interfering with photosynthesis. Similar results were reported by Abbaspoor and Streibig (2005), who found that ACCase inhibitors such as clodinafop-propargyl caused minimal and delayed impacts on quantum efficiency in barley and oat. Therefore, haloxyfop-R-methyl can be considered physiologically safe for saffron under the tested conditions. Visual assessments showed no visible injury or only minor damage to saffron leaves at 7, 10, 13, 16, 19, 22, and 25 days after herbicide application, with differences remaining statistically insignificant. These findings confirm that haloxyfop-R-methyl is safe for use in saffron and that the inclusion of adjuvants such as corn oil or Sitogate does not alter the crop's tolerance. The results are consistent with those of Dear et al. (2003), who emphasized the reliability of visual injury assessments for evaluating herbicide selectivity. The absence of phytotoxic symptoms up to 25 days after spraying indicates that haloxyfop-R-methyl can be used safely in established saffron fields for controlling grass weeds. According to Table 8, increasing the herbicide concentration led to higher pigment content. The highest chlorophyll *a* (10.11 mg/g FW) and chlorophyll *b* (7.37 mg/g FW) values were obtained at the full recommended rate, representing increases of 63.2% and 50.6% compared with the untreated control. Carotenoid content also increased by 67% at the full rate, although it did not differ significantly from the 75% treatment. These increases likely reflect improved weed control, resulting in greater light capture and nutrient availability for saffron. Effective weed management reduces interspecific competition and enhances photosynthetic performance, leading to higher pigment accumulation (Christensen et al., 2003).

Conclusion: Overall, haloxyfop-R-methyl, at 50%, 75%, and 100% of the recommended rate, either alone or in combination with Sitogit or corn oil, produced no adverse effects on Fv/Fm or visual injury. Instead, the treatments enhanced chlorophyll and carotenoid contents due to improved weed control. The strong agreement among fluorescence, visual assessment, and pigment data demonstrates the robustness of these physiological indicators in evaluating herbicide safety for saffron. These results clearly demonstrate saffron's tolerance to haloxyfop-R-methyl and confirm the herbicide's selectivity and safety for the crop. The findings also support the use of chlorophyll fluorescence and pigment analyses as rapid, non-destructive, and cost-effective tools for assessing crop-herbicide interactions (Abbaspoor & Streibig, 2005). Incorporating haloxyfop-R-methyl into saffron's weed management strategy can therefore improve grass weed control without compromising crop health. Future research should investigate long-term effects on corn growth and saffron yield under various environmental conditions to confirm the consistency of these results.

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

Keywords: Adjuvant, Chlorophyll, Herbicide, Injury, Photosynthesis

ارزیابی واکنش‌های سیستم فتوسنتزی گیاه زعفران (*Crocus sativus* L.) به کاربرد

علف‌کش هالوکسی‌فوپ آر متیل با و بدون مواد افزودنی

منصوره شجاعی^۱، حسین حمای^{*۲}، سید وحید اسلامی^۳، سهراب محمودی^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

*نویسنده مسئول homamihosseini@gmail.com; hhammami@birjand.ac.ir

چکیده

به منظور ارزیابی واکنش سیستم فتوسنتزی گیاه زعفران به کاربرد علف‌کش هالوکسی‌فوپ آر متیل، آزمایشی در مزرعه چهارساله زعفران در منطقه سرایان در سال ۱۴۰۱ به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل غلظت علف‌کش در چهار سطح (صفر، ۵۴، ۸۱ و ۱۰۸ گرم ماده مؤثره در هکتار) و ماده افزودنی در سه سطح (بدون ماده افزودنی، روغن سی‌توگیت و روغن ذرت) بود. پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل کلروفیل فلورسانس (۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ روز بعد از کاربرد علف‌کش)، ارزیابی خسارت چشمی (۷، ۱۰، ۱۳، ۱۶، ۱۹، ۲۲ و ۲۵ روز بعد از کاربرد علف‌کش) و مقدار کلروفیل a و b و کارتنوئیدها (۲۵ روز بعد از کاربرد علف‌کش) بود. نتایج نشان داد که غلظت علف‌کش، ماده افزودنی و اثر متقابل آن‌ها اثر معنی‌داری بر کلروفیل فلورسانس نداشتند و تنها در اندازه‌گیری روز دهم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد مشاهده شد. ارزیابی خسارت چشمی نیز خسارت بسیار خفیف یا عدم خسارت را در تمام روزها نشان داد که این اختلاف معنی‌دار نبود. بیش‌ترین میزان کلروفیل a و b و کارتنوئیدها در تیمار ۱۰۰ درصد توصیه‌شده علف‌کش به ترتیب ۶۳/۲، ۵۰/۵۵ و ۶۶/۹۸ درصد افزایش نسبت به شاهد عدم کاربرد مشاهده شد. به‌طور کلی، کاربرد این علف‌کش در غلظت توصیه‌شده نه تنها باعث کاهش رنگدانه‌ها نشد، بلکه به‌دلیل کنترل علف‌های هرز و کاهش رقابت، منجر به افزایش محتوای رنگدانه‌ها شد. اگرچه مکانیسم این علف‌کش بازدارنده سنتز اسیدهای چرب است، ولی از واکنش‌های سیستم فتوسنتزی می‌توان برای ارزیابی خسارت این علف‌کش بر زعفران استفاده کرد.

کلمات کلیدی: خسارت، علف‌کش، فتوسنتز، کلروفیل، ماده افزودنی

زعفران (*Crocus sativus* L.) به عنوان گیاهی باارزش و سازگار با مناطق خشک و نیمه خشک، به عنوان یکی از محصولات بسیار مهم مورد کشت و کار در نقاط مختلف ایران تبدیل شده است (Behdani & Fallahi, 2024). با توجه به رشد نسبتاً کم گیاه زعفران از نظر ارتفاع (رقیب ضعیف در رقابت برای نور) و همچنین ریشه (رقیب ضعیف در رقابت برای جذب آب و عناصر غذایی)، این گیاه دارای قدرت رقابت اندکی در مقابل علف‌های هرز است (Fallahi & Salariyan, 2023; Choopan et al., 2024; Acharya et al., 2025; Zare Hosseini et al., 2014). به طوری که یکی از عوامل مهم در خلاء عملکرد بالای عملکرد کلاله خشک زعفران (حدود ۲۰ کیلوگرم در هکتار) در شرایط مدیریت بسیار مطلوب مزارع زعفران در مقابل مدیریت مرسوم مزارع زعفران، علف‌های هرز هستند (Feizi & Moradi, 2020). با توجه به چند ساله بودن گیاه زعفران از نظر زراعی، تنوع علف‌های هرز مشاهده شده در مزارع زعفران بسیار زیاد است به طوری که حضور علف‌های هرز مختلف همچون شاهی وحشی (*Cardaria draba*) (Rashed Mohassel, 1992; Padarloo et al., 2018)، هفت بند (*Polygonum aviculare*) (Padarloo et al., 2018)، خارشتر (*Alhaji pseudalhagi*) (Padarloo et al., 2018)، تلخه (*Acroptilon repens*) (Padarloo et al., 2018)، گل گندم (*Centaurea cyanus*) (Padarloo et al., 2018)، بومادران (*Achillea millefolium*) (Padarloo et al., 2018)، درشتوک (*Malcolmia africana*) (Padarloo et al., 2018)، جو موشی (*Hordeum murinum*) (Zare Hosseini et al., 2014; Rajae et al., 1991; Acharya et al., 2025) (Izadi- *Bromus tectorum*)، علف پشمکی (*Bromus tectorum*) (Darbandi & Hosseini Evvari et al., 2017; Padarloo et al., 2018; Acharya et al., 2025) (*Hordeum spontaneum*) (Rashed Mohassel, 1992; Hosseini Evvari, 2017; Padarloo et al., 2018; Acharya et al., 2025)، شال تسبیحی (*Aegilops geniculata*)، و چچم (*Lolium rigidum*) (Sadrabadi Haghighi & Ghanad Toosi, 2016; Acharya et al., 2025) گزارش شده است.

روش شیمیایی به همراه سایر روش‌های مدیریت علف‌های هرز به منظور مدیریت مطلوب‌تر و کم هزینه‌تر علف‌های هرز، در مزارع زعفران مورد استفاده قرار می‌گیرد (Fallahi & Salariyan; 2023; Bazoobandi at al., 2020). البته به دلیل کوچک بودن اغلب مزارع زعفران، مدیریت علف‌های هرز عمدتاً به صورت وجین دستی انجام می‌شود (Fallahi & Salariyan; 2023; Bazoobandi at al., 2020). اگرچه تاکنون علف‌کش اختصاصی برای زعفران ثبت نشده است، ولی علف‌کش‌های ایوکسینیل، متری بیوزین، تری بنورون متیل، سیکلوکسیدیم و هالوکسی فوپ آر متیل برای مصرف در مزارع زعفران توصیه شده است (Zand et al., 2019).

علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل یکی از علف‌کش‌های دارای کاربرد بسیار زیاد در مزارع زعفران است که برای کنترل علف‌های هرز باریک‌برگ، در مزارع زعفران مورد استفاده قرار می‌گیرد (Sadrabadi Haghighi & Ghanad Toosi, 2016). نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که برخی از علف‌کش‌های باریک‌برگ کش نظیر هالوکسی فوپ آر متیل استر، فلوآزیفوپ پی بوتیل، کوپیزالوفوپ پی اتیل و

سیکلوکسیدیم کارایی مطلوب در کنترل علف‌های هرز مزارع زعفران داشته و خسارتی نیز در زعفران ایجاد نمی‌کند (Behravan et al., 2016; Zand et al., 2019; Hamdard et al., 2025).

همچنین نتایج مطالعات نشان می‌دهد که کاربرد مواد افزودنی به همراه برخی از علف‌کش‌ها نظیر کلودینافوپ پروپارژیل، هالوکسی فوپ و دایفنزوکوات (Hammami et al., 2014)، دیکلوفوپ متیل، سیکلوکسیدیم و کلودینافوپ پروپارژیل (Rashed-Mohassel et al., 2010)، ایمازامتابنزمیتیل، ستوکسیدیم و سولفوسولفورون (Izadi Darbandi et al., 2013) منجر به افزایش کارایی کنترل علف‌های هرز می‌شود. نتایج بررسی‌ها نشان داده است که کاربرد مواد افزودنی به همراه علف‌کش‌های هالوکسی فوپ، کلتودیم و سیکلوکسیدیم در مزارع زعفران می‌تواند تا حدود زیادی منجر به افزایش کارایی کنترل علف‌های هرز باریک برگ بدون اثر منفی بر زعفران و در نتیجه افزایش عملکرد زعفران گردد (Hosseini Evari et al., 2020a). البته گزارش‌ها نشان می‌دهد که کاربرد برخی علف‌کش‌ها نظیر دای کامبا + تریتوسولفورون و ریم سولفورون با و بدون مواد افزودنی حتی در غلظت‌های کمتر از توصیه شده منجر به خسارت در زعفران و کاهش عملکرد آن می‌شوند (Hosseini Evari et al., 2020b). لذا کاربرد علف‌کش‌ها و مواد افزودنی به همراه آنها باید با دقت و وسواس بیشتری انجام شود. نتایج یک پژوهش اخیر نشان داده است که کاربرد علف‌کش هالوکسی فوپ اثر منفی بر زعفران ندارد (Hamdard et al., 2025).

فتوستنتر مهم‌ترین واکنش متابولیکی گیاهان است که رشد و عملکرد گیاهان زراعی به آن وابسته است. گزارش‌ها نشان‌دهنده تأثیر مستقیم علف‌کش‌های بازدارنده فتوستنتر نظیر پاراکوات، آترازین، دیورون، بازدارنده رنگدانه نظیر نورفلورازون و کلومازون و غیر مستقیم علف‌کش‌های مختلف نظیر ایمازتاپیر (بازدارنده سنتز اسیدهای آمینه)، فلازاسولفورون (بازدارنده سنتز اسیدهای آمینه)، کلودینافوپ پروپارژیل (بازدارنده سنتز اسیدهای چرب)، تو فور دی + ام سی پی ای (تنظیم کننده رشد) است، بر کارایی فتوستنتری و فلورسانس کلروفیل است (Sun et al., 2016; Avarseji et al., 2012; Abbaspoor & Streibig, 2005; Frankart et al., 2003; Avarsaji et al., 2006). شدت اثر علف‌کش‌ها بر گیاهان زراعی و علف‌های هرز اندازه‌گیری کلروفیل فلورسانس است (Avarsaji et al., 2012; Abbaspoor & Streibig, 2006). آن‌ها است (Dayan & Zaccaro, 2012). بنابراین ارزیابی واکنش‌های کلروفیل فلورسانس و سیستم فتوستنتری گیاه تیمار شده با علف‌کش‌های مختلف می‌تواند نشان‌دهنده واکنش کلی گیاه باشد. علاوه بر این، کاربرد این روش‌ها می‌تواند نشان‌دهنده افزایش سمیت علف‌کش‌ها در نتیجه کاربرد مواد افزودنی یا عدم تأثیر آن‌ها باشد. لذا این مطالعه با هدف بررسی واکنش‌های سیستم فتوستنتری گیاه زعفران شامل کلروفیل فلورسانس، و محتوای رنگدانه‌های فتوستنتری و همچنین ارزیابی چشمی خسارت به کاربرد غلظت‌های مختلف علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل با و بدون مواد افزودنی انجام شد.

مواد و روش‌ها

مکان و زمان اجرای تحقیق

آزمایش در سال ۱۴۰۱ در مزرعه چهارساله زعفران در منطقه سرایان واقع در شمال غربی استان خراسان جنوبی (31°51'N, 58°31'E, Altitude 1458 m) اجرا گردید. این مزرعه تا زمان اجرای آزمایش سابقه استفاده از علف‌کش برای مدیریت علف‌های هرز را نداشت.

طرح آزمایشی و تیمارها

آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه چهار ساله زعفران انجام شد. عامل‌های 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 مؤثره در هکتار و ماده افزودنی در سه سطح بدون ماده افزودنی، روغن سیتوگیت و روغن ذرت (۵/۰ درصد حجمی) بود. روغن ذرت با روش پرس سرد تهیه شده و روغن سیتوگیت (الکیل آریل پلی گلیکول اتر) از شرکت زرنگاران پارس تهیه شد. از پوشش پلاستیکی اطراف کرت‌های مجاور با کرت در حال سمپاشی به منظور کاهش بادبردگی علف‌کش استفاده شد. پاشش تیمارهای علف‌کشی به وسیله سمپاش ماتابی پشتی شارژی مجهز به نازل بادبزی یکنواخت ۸۰۲ در فشار دو بار پس از کالیبراسیون برای ۲۰ مترمربع (کالیبراسیون پنج مرتبه تکرار شده و میزان پاشش در واحد سطح تعیین شد) در تاریخ ۲۶ بهمن‌ماه ۱۴۰۱ که برگ‌های زعفران توسعه یافته و علف‌های هرز باریک‌برگ در مرحله چهار برگی کامل بودند انجام شد. ۶ خط کاشت با فاصله ۲۰ سانتی‌متری در طول ۱۰ متر برای هر واحد آزمایشی انتخاب شد. علف‌های هرز پهن‌برگ در واحدهای آزمایشی حاوی تیمارهای علف‌کشی سه مرحله از قبل از سمپاشی تا پایان آزمایش از طریق وجین حذف شدند. سه واحد آزمایشی به عنوان شاهد عدم وجین علف‌های هرز و سه واحد آزمایشی به عنوان شاهد وجین کامل علف‌های هرز در نظر گرفته شد. هر بلوک آزمایشی شامل ۱۴ واحد آزمایشی بود. بین واحدهای آزمایشی داخل یک بلوک ۸۰ سانتی‌متر و بین بلوک‌ها ۲ متر فاصله به منظور کاهش بادبردگی علف‌کش در نظر گرفته شد. در ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ روز پس از سمپاشی، میزان کلروفیل فلورسانس با استفاده از دستگاه Handy pea در ساعت ۱۰ صبح از برگ‌های کامل توسعه‌یافته زعفران پس از قرار دادن ۳۰ دقیقه در شرایط تاریکی بوسیله کلیپس‌های مخصوص دستگاه اندازه‌گیری شد (شکل ۱).



شکل ۱. اندازه‌گیری کلروفیل فلورسانس با استفاده از دستگاه Handy pea
Figure 1. Chlorophyll fluorescence measurement using the Handy pea device

ارزیابی خسارت چشمی در برگ‌های زعفران به ترتیب ۷، ۱۰، ۱۳، ۱۶، ۱۹، ۲۲ و ۲۵ روز بعد از کاربرد علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل بر اساس

جدول ۱ انجام شد (Mahzari & Baghestani, 2018; Sandral et al., 1997).

جدول ۱. مقیاس رتبه‌بندی مورد استفاده برای امتیازدهی به سطح تحمل زعفران پس از کاربرد تیمارهای علف‌کشی

Table 1. The rating scale used to score the level of crop tolerance following application of herbicide treatments

نمره ارزیابی شورای تحقیقات علف‌های هرز اروپا	درصد خسارت	تحمل گیاه زراعی
EWRC score	Damage %	Crop tolerance
1	0	بدون خسارت No effect
2	1-3.5	خسارت یا رنگ‌پریدگی بسیار کم یا علائم خفیف مشابه Very slight effects; some stunting and yellowing just visible
3	3.5-7	خسارت کمی شدیدتر ولی ناپایدار Slight effects; stunting and yellowing obvious; effects reversible
4	7-12.5	خسارت متوسط و پایدارتر Substantial chlorosis and or stunting; most effects probably reversible
5	12.5-20	خسارت متوسط و پایدار Strong chlorosis/stunting; thinning of stand; reversible
6	20-30	خسارت سنگین Increasing severity of damage
7	30-50	خسارت بسیار سنگین Increasing high severity of damage
8	50-99	خسارت در حد نابودی کامل Near total loss of plants and yield
9	100	نابودی کامل Total loss of plants and yield

کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها ۲۵ روز بعد از کاربرد علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل اندازه‌گیری شد. ابتدا ۵/۵ گرم از بافت تازه برگ توزین شد، سپس در هاون چینی با ۱۰ میلی لیتر استون ۸۰ درصد ساییده و پس از صاف کردن به لوله آزمایش منتقل شدند. سپس فالكون‌ها در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفتند. عصاره جدا شده فوقانی، در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر (Model Unico 2100, china) قرائت شد (شکل ۲) و در نهایت با استفاده از روابط زیر (روابط ۱، ۲ و ۳) میزان کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر نمونه به دست آمد (آرنون و همکاران، ۱۹۷۴).

$$a \text{ کلروفیل} = [(19.3 \times A663) - (0.86 \times A645)] \times V / 100 \times W \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$b \text{ کلروفیل} = [(19.3 \times A645) - (3.6 \times A663)] \times V / 100 \times W \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\text{کاروتنوئیدها} = [(100 \times A470) - (3.27 \times A663) - (104 \times A645)] / 227 \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در این روابط V ، حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ) و A ، جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر، W ، وزن تر نمونه بر حسب گرم است.



شکل ۲. اندازه‌گیری رنگدانه‌های برگ
Figure 2. Measuring leaf pigments

تجزیه و تحلیل آماری

برای آنالیز آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD محافظت‌شده در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

کلروفیل فلورسانس (حداکثر عملکرد کوانتومی F_v/F_m)

براساس نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده شامل غلظت علف‌کش و ماده افزودنی و اثر متقابل این دو، تأثیر معنی‌داری بر فلورسانس کلروفیل برگ زعفران در هر ۵ نوبت ارزیابی مشاهده نشد (جدول ۲). اما در بررسی ترکیبات تیماری در مراحل اول تا چهارم نمونه‌برداری، اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید در حالی که در مرحله پنجم نمونه‌برداری، عدم وجین علف‌های هرز تأثیر معنی‌دار ($P \leq 0.05$) بر صفت مذکور داشت (جدول ۳). نتایج ارائه‌شده در جدول ۳ نشان می‌دهد که در مرحله اول، دوم، سوم و چهارم نمونه‌برداری به ترتیب ۲، ۴، ۶ و ۸ روز پس از کاربرد علف‌کش بین ترکیبات تیماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما در نمونه‌برداری پنجم (۱۰ روز پس از پاشش علف‌کش) بیشترین فلورسانس کلروفیل در تیمار وجین کامل علف‌های هرز به میزان ۰/۸۴۱ مشاهده شد که با سایر ترکیبات تیماری تفاوت معنی‌داری نداشت اما کمترین آن در تیمار عدم وجین و در حضور با علف‌های هرز به میزان ۰/۵۰۱ مشاهده گردید که با تمام ترکیبات تیماری دارای تفاوت معنی‌دار بود. عدم تأثیر غلظت‌های مختلف هالوکسی فوپ آر متیل و ماده افزودنی بر کلروفیل فلورسانس برگ زعفران نشان‌دهنده عدم تأثیر و یا تأثیر اندک این تیمارها بر زعفران است. از آنجا که اثر علف‌کش‌های بازدارنده استیل کوآنزیم آ کرپوکسیلاز معمولاً نسبت به سایر علف‌کش‌ها دیرتر مشاهده می‌شود این تأخیر در مشاهده

اثر علف کش بر کلروفیل فلورسانس بین تیمارها قابل انتظار است (Zand et al., 2007; Abbaspour & Streibig, 2005). نتایج بررسی انجام شده در مورد اثر علف کش کلودینافوپ پروپارژیل (بازدارنده استیل کوآنزیم آ کربوکسیلاز) بر کلروفیل فلورسانس نشان داد که اگر چه این علف کش بازدارنده مستقیم فتوسنتز نیست ولی باعث کاهش حداکثر عملکرد کوانتومی در جو (*Hordeum vulgare*) و یولاف (*Avena sativa*) شد (Abbaspour & Streibig, 2005).

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای علف کشی بر کلروفیل فلورسانس برگ زعفران (*Crocus sativus*)

Table 2. Analysis of variance results effect of herbicidal treatments on chlorophyll fluorescence of saffron (*Crocus sativus*)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی D.F	Means of Square (MS)				
		روز دوم بعد از سمپاشی Second day after spraying	روز چهارم بعد از سمپاشی Fourth day after spraying	روز ششم بعد از سمپاشی Sixth day after spraying	روز هشتم بعد از سمپاشی Eighth day after spraying	روز دهم بعد از سمپاشی Tenth day after spraying
بلوک Block	2	0.0044 ^{ns}	0.0024 ^{ns}	0.0011 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	0.0068 ^{ns}
غلظت علف کش Herbicide concentration	3	0.0003 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	0.00004 ^{ns}	0.0004 ^{ns}
ماده افزودنی Adjuvant	2	0.0003 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	0.00006 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.0046 ^{ns}
غلظت علف کش × ماده افزودنی HC×A	6	0.0003 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.00002 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.0004 ^{ns}
خطا Error	22	0.0063	0.0043	0.0052	0.0066	0.0093
ضریب تغییرات (%) C.V		10.43	8.61	9.44	10.64	12.82

ns : عدم معنی داری در سطح احتمال پنج است.
ns, non-significant at 5% probability levels.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای علف کشی بر کلروفیل فلورسانس برگ زعفران (*Crocus sativus*)

Table 3. Analysis of variance results effect of herbicidal treatments on chlorophyll fluorescence of saffron (*Crocus sativus*)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی D.F	Means of Square (MS)				
		روز دوم بعد از سمپاشی Second day after spraying	روز چهارم بعد از سمپاشی Fourth day after spraying	روز ششم بعد از سمپاشی Sixth day after spraying	روز هشتم بعد از سمپاشی Eighth day after spraying	روز دهم بعد از سمپاشی Tenth day after spraying
بلوک Block	2	0.0034 ^{ns}	0.0021 ^{ns}	0.0013 ^{ns}	0.0007 ^{ns}	0.0059 ^{ns}
تیمار Treatment	13	0.0010 ^{ns}	0.0012 ^{ns}	0.0012 ^{ns}	0.0071 ^{ns}	0.017 [*]
خطا Error	26	0.0055	0.0041	0.0044	0.0063	0.0080
ضریب تغییرات (%) C.V		9.78	8.39	8.74	10.49	12.05

^{ns} و ^{*}: به ترتیب عدم معنی داری و معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد است.
^{ns} and ^{*}: non-significant and significant at 5% probability levels, respectively.

ارزیابی خسارت چشمی

نتایج ارزیابی خسارت چشمی ناشی از کاربرد غلظت‌های مختلف هالوکسی فوپ آر متیل و ماده افزودنی در برگ زعفران در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که اثر غلظت علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل، ماده افزودنی و اثر متقابل غلظت علف‌کش در ماده افزودنی بر ارزیابی خسارت چشمی در ۷، ۱۰، ۱۳، ۱۶، ۱۹، ۲۲ و ۲۵ روز بعد از پاشش معنی‌دار نبود. نتایج مقایسه میانگین ارزیابی خسارت چشمی ناشی از کاربرد هالوکسی فوپ آر متیل در برگ زعفران در جدول ۵ نشان داده شده است. خسارت بسیار جزئی در غلظت ۱۰۰ درصد مقدار توصیه‌شده مشاهده شد. در مراحل انتهایی نمونه‌برداری نیز تمامی سطوح علف‌کش خسارت جزئی بر زعفران داشتند که معنی‌دار نبوده است. ارزیابی خسارت چشمی به عنوان یک روش کم هزینه و رایج برای بررسی تحمل گونه‌های زراعی به علف‌کش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Dear et al., 2003).

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای علف‌کشی بر ارزیابی خسارت چشمی برگ زعفران (*Crocus sativus*)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی D.F	Means of Square (Days after spraying)						
		هفتم seventh	دهم Tenth	سیزدهم Thirteenth	شانزدهم Sixteenth	نوزدهم Nineteenth	بیست و دوم Twenty-second	بیست و پنجم Twenty-fifth
بلوک Block	2	0.11 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.33 ^{ns}	0.36 ^{ns}	0.36 ^{ns}
غلظت علف‌کش Herbicide concentration	3	0.11 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.18 ^{ns}
ماده افزودنی Adjuvant	2	0.03 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.33 ^{ns}	0.36 ^{ns}	0.36 ^{ns}
غلظت علف‌کش × ماده افزودنی HC×A	6	0.03 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.06 ^{ns}
خطا Error	22	0.05	0.07	0.10	0.10	0.12	0.15	0.15
ضریب تغییرات (%) C.V		21.29	24.10	28.96	28.96	29.84	32.32	32.32

^{ns}: عدم معنی‌داری در سطح احتمال پنج است.

^{ns}, non-significant at 5% probability levels.

جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف علف‌کش بر ارزیابی خسارت چشمی برگ زعفران (*Crocus sativus*)

تیمار علف‌کش Herbicide treatment	Means of Square (Days after spraying)						
	هفتم seventh	دهم Tenth	سیزدهم Thirteenth	شانزدهم Sixteenth	نوزدهم Nineteenth	بیست و دوم Twenty-second	بیست و پنجم Twenty-fifth
عدم کاربرد علف‌کش Without herbicide	1.00 ^a	1.00 ^a	1.00 ^a	1.00 ^a	1.00 ^a	1.00 ^a	1.00 ^a
۵۰ درصد مقدار توصیه‌شده 50 % recommended concentration	1.00 ^a	1.00 ^a	1.00 ^a	1.00 ^a	1.11 ^a	1.22 ^a	1.22 ^a
۷۵ درصد مقدار توصیه‌شده 75 % recommended concentration	1.00 ^a	1.11 ^a	1.22 ^a	1.22 ^a	1.22 ^a	1.22 ^a	1.22 ^a
کاربرد ۱۰۰ درصد مقدار توصیه‌شده 100 % recommended concentration	1.22 ^a	1.22 ^a	1.22 ^a	1.22 ^a	1.33 ^a	1.33 ^a	1.33 ^a

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.

محتوای رنگدانه های برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایشی نشان داد که اثر غلظت علف‌کش بر درصد تغییرات کلروفیل a، کاروتنوئیدها ($p \leq 0.05$) و کلروفیل b ($p \leq 0.01$)، معنی‌دار بود. تأثیر ماده افزودنی تنها بر محتوای کاروتنوئیدهای برگ زعفران معنی‌دار ($p \leq 0.01$) گردید همچنین اثر متقابل غلظت علف‌کش و ماده افزودنی تأثیر معنی‌داری بر صفات مذکور نداشتند (جدول ۶). ترکیبات تیماری نیز جهت مقایسه با تیمارهای شاهد وجین کامل و عدم وجین علف‌های هرز، بر هر سه صفت مورد بررسی تأثیر معنی‌داری داشتند که این تأثیر بر کلروفیل a در سطح احتمال ۵ درصد و در کلروفیل b و کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۷).

جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر محتوای رنگدانه برگ زعفران (*Crocus sativus*)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی D.F	Means of Square		
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کاروتنوئیدها Carotenoids
بلوک Block	2	12.10 ^{ns}	0.88 ^{ns}	5.90 ^{ns}
غلظت علف‌کش Herbicide concentration	3	39.87 [*]	5.04 ^{**}	6.60 [*]
ماده افزودنی Adjuvant	2	11.64 ^{ns}	1.64 ^{ns}	11.35 ^{**}
غلظت علف‌کش × ماده افزودنی HC×A	6	8.37 ^{ns}	1.20 ^{ns}	0.79 ^{ns}
خطا Error	22	11.64	0.59	1.73
ضریب تغییرات (%) C.V		18.29	11.60	14.59

^{ns}, * و **: به ترتیب 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.

جدول ۷. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای علف‌کشی بر محتوای رنگدانه برگ زعفران (*Crocus sativus*)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی D.F	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کاروتنوئیدها Carotenoids
بلوک Block	2	11.35 ^{ns}	1.13 ^{ns}	6.82 ^{ns}
تیمار Treatment	13	24.38 [*]	3.99 ^{**}	6.92 ^{**}
خطا Error	26	10.45	0.54	1.50
ضریب تغییرات (%) C.V		13.60	11.01	17.37

^{ns}, * و **: به ترتیب 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.

براساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین درصد افزایش کلروفیل a در زمان کاربرد ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده علف کش به میزان ۶۳/۲۲ درصد مشاهده شد که تفاوت معنی داری با کاربرد ۷۵ و ۵۰ درصد علف کش نداشت (جدول ۸). براساس نتایج ارائه شده در جدول ۸، بین سطوح ۷۵ و ۱۰۰ درصد کاربرد علف کش، اختلاف معنی داری وجود نداشت و در این دو سطح، بالاترین درصد افزایش محتوای کلروفیل b به ترتیب به میزان ۴۴/۷۶ و ۵۰/۵۵ درصد مشاهده شد. بین سطوح عدم کاربرد و کاربرد ۵۰ درصد علف کش نیز این اختلاف معنی دار نبود (جدول ۸). کاربرد ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده علف کش منجر به افزایش ۶۶/۹۸ درصدی محتوای کاروتنوئیدهای برگ زعفران گردید اما از لحاظ آماری با تیمار ۷۵ درصد کاربرد اختلاف معنی داری نداشت. در صورت مقایسه تیمارهای ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نسبت به شاهد بدون کاربرد علف کش، می توان بیان نمود که میزان افزایش محتوای کاروتنوئیدها به ترتیب ۷/۵۴، ۱۱/۹۱ و ۳۵/۰۵ درصد بود (جدول ۸).

جدول ۸. نتایج مقایسه میانگین اثر غلظت های مختلف علف کش بر محتوای رنگدانه برگ زعفران (*Crocus sativus*)

Table 8. Analysis of variance results effect of herbicidal treatments on pigment volume of saffron (*Crocus sativus*)

تیمار علف کش Herbicide treatment	کاروتنوئیدها (میلی گرم بر گرم وزن تر) Carotenoids (mg/g FW)	کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll b (mg/g FW)	کلروفیل a (میلی گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll a (mg/g FW)
عدم کاربرد علف کش Without herbicide	16.23 ^b	5.82 ^b	8.11 ^b
۵۰ درصد مقدار توصیه شده 50 % recommended concentration	17.95 ^{ab}	6.20 ^b	8.66 ^b
۷۵ درصد مقدار توصیه شده 75 % recommended concentration	19.18 ^{ab}	7.16 ^a	9.23 ^{ab}
۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده 100 % recommended concentration	21.23 ^a	7.37 ^a	10.11 ^a

میانگین های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵٪ با توجه به آزمون حداقل اختلاف معنی دار 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.

افزایش محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها در حضور غلظت بالای علف کش ناشی از کنترل کامل علف های هرز پهن برگ و کنترل باریک برگ ها در نتیجه کاربرد علف کش است. از سوی دیگر نتایج مربوط به محتوای رنگدانه ها تایید کننده نتایج مربوط به کلروفیل فلورسانس و ارزیابی چشمی خسارت است که روشی ارزان، سریع و غیر تخریبی برای ارزیابی اثر علف کش ها بر سیستم فتوسنتزی گیاه است (Abbaspour & Streibig, 2005; Christensen et al., 2003).

در مقایسه ترکیبات تیماری با تیمارهای شاهد وجین کامل و عدم وجین علف های هرز می توان بیان نمود که بیشترین درصد افزایش محتوای کلروفیل a در تیمار وجین کامل مشاهده شد که از لحاظ آماری با سطوح ۱۰۰ و ۷۵ درصد کاربرد علف کش به همراه سیتوگیت، اختلاف معنی داری نداشت. عدم وجین علف های هرز منجر به کاهش ۱۲/۰۹ درصدی کلروفیل a گردید. سایر تیمارهای آزمایشی نیز اختلاف معنی داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۹). نتایج نشان داد که بیشترین درصد کاهش کلروفیل b در تیمار وجین کامل (۸۵/۰۱ درصد) بدست آمد که از لحاظ آماری با تیمار کاربرد ۷۵ درصد علف کش به همراه سیتوگیت (۵۸/۴۰ درصد) نداشت. در هر سطح از غلظت علف کش بین مواد افزودنی اختلاف معنی داری مشاهده نشد. عدم وجین علف های هرز نیز ۱۸/۵۱ درصد محتوای کلروفیل b را کاهش داد (جدول ۹). در بررسی اثر ترکیبات تیماری بر محتوای

کاروتنوئیدهای برگ زعفران می‌توان بیان نمود که بالاترین درصد افزایش در تیمار وجین کامل مشاهده شد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با کاربرد ۱۰۰ درصد علف‌کش به همراه سیتوگیت نداشت. سایر ترکیبات تیماری، از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف نداشتند و تنها عدم وجین علف‌های هرز منجر به کاهش ۲/۸۳ درصدی محتوای کاروتنوئیدهای برگ گردید (جدول ۹).

جدول ۹. مقایسه میانگین تأثیر ترکیبات تیماری بر محتوای رنگدانه برگ زعفران (*Crocus sativus*)

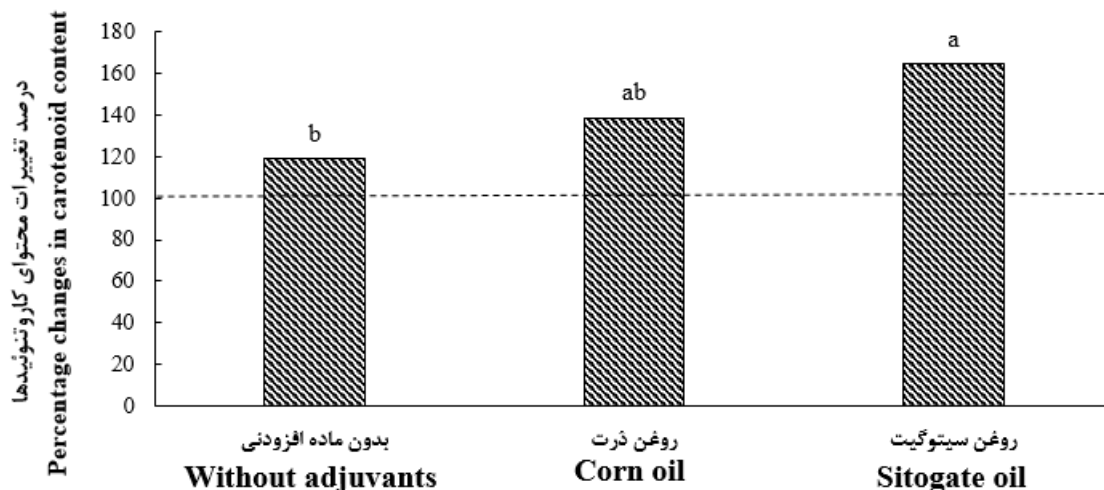
Table 9. Means comparison effect of treatments on pigment volume of saffron (*Crocus sativus*)

تیمارها Treatments	کلروفیل a (میلی گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll a (mg/g FW)	کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll b (mg/g FW)	کاروتنوئیدها (میلی گرم بر گرم وزن تر) Carotenoids (mg/g FW)
بدون کاربرد علف‌کش + بدون ماده افزودنی Without herbicide application + without adjuvant	14.27 ^{cd}	5.27 ^{fg}	6.78 ^{de}
بدون کاربرد علف‌کش + روغن ذرت Without herbicide application + corn oil	17.42 ^{bcd}	5.57 ^{efg}	8.61 ^{bcd}
بدون کاربرد علف‌کش + سیتوگیت Without herbicide + without sitogate	17.00 ^{bcd}	6.61 ^{cde}	8.93 ^{bc}
۵۰ درصد مقدار توصیه‌شده علف‌کش + بدون ماده افزودنی 50 % recommended dose + without adjuvant	18.42 ^{a-d}	6.17 ^{c-f}	8.06 ^{cde}
۵۰ درصد مقدار توصیه‌شده علف‌کش + روغن ذرت 50 % recommended dose + corn oil	17.79 ^{a-d}	6.06 ^{d-g}	8.37 ^{bcd}
۵۰ درصد مقدار توصیه‌شده علف‌کش + سیتوگیت 50 % recommended dose + sitogate	17.62 ^{a-d}	6.39 ^{c-f}	9.53 ^{abc}
۷۵ درصد مقدار توصیه‌شده علف‌کش + بدون ماده افزودنی 75 % recommended dose + without adjuvant	17.66 ^{a-d}	7.36 ^{bc}	7.79 ^{cde}
۷۵ درصد مقدار توصیه‌شده علف‌کش + روغن ذرت 75 % recommended dose + corn oil	17.62 ^{a-d}	6.08 ^{d-g}	9.69 ^{abc}
۷۵ درصد مقدار توصیه‌شده علف‌کش + سیتوگیت 75 % recommended dose + sitogate	22.27 ^{ab}	8.05 ^{ab}	10.02 ^{ab}
۱۰۰ درصد مقدار توصیه‌شده علف‌کش + بدون ماده افزودنی 100 % recommended dose + without adjuvant	21.83 ^{ab}	7.86 ^{ab}	9.53 ^{abc}
۱۰۰ درصد مقدار توصیه‌شده علف‌کش + روغن ذرت 100 % recommended dose + corn oil	19.62 ^{abc}	7.33 ^{bc}	9.53 ^{abc}
۱۰۰ درصد مقدار توصیه‌شده علف‌کش + سیتوگیت 100 % recommended dose + sitogate	22.25 ^{ab}	6.93 ^{bcd}	11.28 ^{bcd}
شاهد وجین کامل علف‌های هرز Control (complete Hand hoeing)	22.94 ^a	9.07 ^a	11.52 ^a
شاهد عدم وجین علف‌های هرز Control (Without hand hoeing)	13.86 ^d	4.93 ^g	6.20 ^e

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.

همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، کاربرد سیتوگیت منجر به افزایش محتوای کاروتنوئیدهای برگ زعفران گردید که از لحاظ آماری با کاربرد روغن ذرت اختلاف معنی‌داری نداشت. در صورت مقایسه محتوای کاروتنوئیدها با تیمار بدون افزودنی، کاربرد سیتوگیت و روغن ذرت به ترتیب ۳۸/۳۳ و ۱۶/۴۱ درصد افزایش یافت.



شکل ۳. اثر کاربرد ماده افزودنی بر درصد تغییرات محتوای کاروتنوئید برگ زعفران (در صورتی که میزان تغییرات بیشتر از عدد ۱۰۰ باشد به میزان تفاضل آن عدد با عدد ۱۰۰ افزایش و در صورتی که کمتر از ۱۰۰ باشد به میزان تفاضل آن عدد با ۱۰۰ کاهش یافته است). میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ با توجه به آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار ندارند.

Figure 3. Effect of additive application on percentage changes in carotenoid content of saffron leaves (If the change rate is greater than 100, it is increased by the difference of that number with 100, and if it is less than 100, it is decreased by the difference of that number with 100). 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.

نتیجه‌گیری

نتایج این بررسی نشان داد که کاربرد علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل در زعفران در غلظت‌های ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد توصیه‌شده به ترتیب معادل ۵۴، ۸۱ و ۱۰۸ گرم ماده مؤثره در هکتار با و بدون ماده افزودنی روغن ذرت و سیتوگیت منجر به تغییر حداکثر عملکرد کوانتومی برگ زعفران نشد. در تأیید نتایج این بررسی ارزیابی خسارت چشمی نیز نشان داد که تا ۲۵ روز بعد از اعمال تیمارهای علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل با و بدون ماده افزودنی روغن ذرت و سیتوگیت خسارتی در برگ‌های زعفران مشاهده نشد. علاوه بر این به دلیل کنترل علف‌های هرز مزرعه زعفران، افزایش محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدهای برگ زعفران در مقایسه با تیمار عدم کنترل علف‌های هرز مشاهده شد. در نهایت با توجه به نتایج این مطالعه بر روی برگ زعفران و همچنین سایر مطالعات در گیاهان دیگر به نظر می‌رسد ارزیابی واکنش‌های سیستم فتوسنتزی می‌تواند برای ارزیابی اثر علف‌کش‌ها بر روی گیاهان زراعی و همچنین علف‌های هرز با توجه به سرعت بالا، ارزان بودن و همچنین در دسترس بودن مواد و وسایل مورد نیاز برای اندازه‌گیری این صفت‌ها، مورد توجه قرار گیرد.

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.

- Abbaspoor, M., & Streibig, J.C. (2005). Clodinafop changes the chlorophyll fluorescence induction curve. *Weed science*, 53(1), 1-9.
- Avarseji, Z., Rashed Mohassel, M.H., Nezami, A., Abbaspoor, M., & Mahallati, M.N. (2012). Dicamba+ 2, 4-D affects the shape of the Kautsky curves in wild mustard (*Sinapis arvensis*). *Plant Knowledge Journal*, 1(2), 41-45.
- 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.
- Behdani, M.A., & Fallahi, H.R. (2024). Saffron: Technical Knowledge Based on Research Approaches. University of Birjand Press. Second Edition. [In Persian]
- Choopan, Y., Khashei, A., & Zangane, M. (2024). Studying the Economic Water Footprint of Saffron Crop in the Climate of Torbat Heydariyeh County. *Journal of Saffron Research*, 12(2), 302-313. [In Persian with English Summary].
- Dear, B.S., Sandral, G.A., Spencer, D., Khan, M.R.I., & Higgins, T.J.V. (2003). The tolerance of three transgenic subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) lines with the bxn gene to herbicides containing bromoxynil. *Australian Journal of Agricultural Research*, 54(2), 203-210.
- 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. (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]
- Frankart, C., Eullaffroy, P., & Vernet, G. (2003). Comparative effects of four herbicides on non-photochemical fluorescence quenching in *Lemna minor*. *Environmental and Experimental Botany*, 49(2), 159-168.
- 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.
- Hosseini Evari, Z., Izadi Darbandi, E., Kafi, M., & Makarian, H. (2020a). Improving the efficacy of aome ACCase inhibitor herbicides against weeds in saffron (*Crocus sativus* L.) using adjuvants. *Journal of Saffron Research*, 8(2), 223-239. [In Persian with English Summary]
- Hosseini Evari, Z., Izadi-Darbandi, E., Kafi, M., & Makarian, H. (2020b). Evaluation of the possibility of herbicides use with adjuvants to control broadleaf weeds in saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy & Technology*, 8(3): 339-359.
- Izadi-Darbandi, E., Aliverdi, A., & Hammami, H. (2013). Behavior of vegetable oils in relation to their influence on herbicides' effectiveness. *Industrial Crops and Products*, 44, 712-717.

- Izadi-Darbandi, E., & Hosseini Evari, Z. (2017). Study of Flora and structure of weed communities of saffron fields in Kashmar and KhalilAbad counties. *Journal of Saffron Research*, 4(2), 249-265. [In Persian with English Summary]
- Mahzari, S., & Baghestani, M.A. (2018). Investigating the Effect of Chemical Management on Weeds Population, Agronomical Traits and Yield of Garlic (*Allium sativum* L.) in Mazandaran Province. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 31(4), 558-567.
- Padarloo, A.A., Izadi Darbandi, E., Rashed Mohassel, M.H., & Feizi, H. 2018. Study of flora and structure of weed communities of saffron (*Crocus sativus* L.) fields in the Khorasan Razavi province. *Saffron Agronomy & Technology*, 6(3): 339-353.
- Rashed Mohassel, M.H. (1992). Weeds of South Khorasan saffron fields. *Agriculture Science and Technology*, 6, 118-135. [In Persian with English Summary].
- Rashed-Mohassel, M.H., Aliverdi, A., Hammami, H., & Zand, E. (2010). Optimizing the performance of diclofop-methyl, cycloxydim, and clodinafop-propargyl on littleseed canarygrass (*Phalaris minor*) and wild oat (*Avena ludoviciana*) control with adjuvants. *Weed Biology and Management*, 10, 57–63.
- Sadrabadi Haghighi, R., & Ghanad Toosi, M.B. (2016). The Effect of Pre-emergence Application of some Common Herbicides on Weed Population, Vegetative Growth, Flower and Corm Characteristics of Saffron (*Crocus sativus* L.). *Iranian Plant Protection Research*, 30(1), 118-126. [In Persian with English Summary].
- Sandral, G.A., Dear, B.S., Pratley, J.E., & Cullis, B.R. (1997). Herbicide dose rate response curves in subterranean clover determined by a bioassay. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 37(1), 67-74.
- Sun, C., Chen, S., Jin, Y., Song, H., Ruan, S., Fu, Z., Asad, M.A.U., & Qian, H. (2016). Effects of the herbicide imazethapyr on photosynthesis in PGR5-and NDH-deficient Arabidopsis thaliana at the biochemical, transcriptomic, and proteomic levels. *Journal of agricultural and food chemistry*, 64(22), 4497-4504.
- Zand, E., Baghestani, M.A., Shimi, P., NezamAbadi, N., Moosavi, M.R., & Moosavi, S.K. (2019). A Guide to Chemical Control of Weeds in Iran, Jahad-e Danaeshgahi Press, Mashhad, Iran. 216p [In Persian with English Summary].
- Zand, E., Baghestani, M.A., Shimi, P., & Phaghih, A. (2007). Analysis of herbicides management in Iran. A Report for Agricultural Research and Education Organization, Ministry of Jihad-e-Agriculture, Tehran.
- Zare Hosseini, H., Ghorbani, R., Rashed Mohassel, M.H., & Rahimi, H. (2014). Effects of weed management strategies on weed density and biomass and saffron (*Crocus sativus*) yield. *Saffron Agronomy & Technology*, 2(1), 45-58. [In Persian with English Summary].

