**Journal of Saffron Research**

**Vol. 13, No. 1, p. 1-21, 2025**

*10.22077/jsr.2025.8793.1261*

**University of Birjand**

**Original Article**

# 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.)

**Safiullah Hamdard[1], Hamid-Reza Fallahi [2,3*], Hossein Hammami [2,3], Hossein Sahabi[4,5]**

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

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

3- Member of Plant and Environmental Stresses Research Group (PESRG), University of Birjand, Birjand, Iran.

4- Assistant Professor, Department of Plant Production, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran.

5- Saffron Institute, University of Torbat Heydarieh, Iran.

*Corresponding author: *hamidreza.fallahi@birjand.ac.ir*

**Received:** 21 January 2025; **Revised:** 26 February 2025, **Accepted:** 23 April 2025

## Extended Abstract

**Introduction**: Saffron (*Crocus sativus* L.) is one of the important medicinal plants in the arid and semi-arid regions of Iran. This plant has high economic value due to its pleasant taste and aroma as well as numerous medicinal properties. Therefore, the cultivation and production of this plant in areas with suitable climatic conditions has become one of the most important economic activities. Although Iran accounts for about 90% of the global production of saffron, the yield gap of this plant in the country's fields is very high. One of the important factors in increasing the yield gap in saffron are weeds. Given the limited competitive capacity of saffron, weeds can reduce crop growth and yield if not managed well. For this reason, farmers use various methods to control weeds, including the use of herbicides. Haloxyfop R-methyl ester (super gallant) is used as a common herbicide in saffron fields to control narrow leaf weeds. However, the potential damage of this herbicide to saffron plants has not been well studied, so far. In addition, implementing strategies to increase efficiency and use lower amounts of herbicide is important for sustainable saffron production.

**Materials and Methods:** In this study, the effect of reduced levels of super gallant herbicide (0, 20, 40, 60, 80 and 100% of the recommended dose) and the application of adjuvants (arugula oil, Citogate mineral oil and no oil application) were investigated on saffron growth and flowering in a factorial experiment based on a randomized complete block design with six replications. The experiment was conducted in pots, from the beginning of autumn 2023 to the end of autumn 2024, in the open environment of the Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran.

**Results and Discussion:** The effect of experimental factors was not significant on the quantum efficiency of photosystem II (Fv/Fm). The experimental factors had no significant effect on the length and the number of leaves, but their interaction effect on leaf dry weight was significant.

Copyright © 2025 by the authors
Published by University of Birjand. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

The application of herbicide and adjuvants reduced leaf dry weight, and the highest value of this index (66.6 g $m^{-2}$) was obtained in the control treatment. The interaction effect of experimental factors was significant on the number of small (<3 g) and large (6-9 g) replacement corms and on the total number of replacement corms. The highest number of small corms and total number of corms were obtained in the control treatment (837 and 962 No. $m^{-2}$, respectively), while the lowest number was obtained by application of arugula oil × no- herbicide (375 and 465 No. $m^{-2}$, respectively) and also by the application of Citogate at a concentration of 20% herbicide (358 and 466 No. $m^{-2}$, respectively). The highest number of large replacement corms (6-9 g) with flowering potential, were obtained by application of Citogate at a concentration of 20 and 40% herbicide (25 No. $m^{-2}$), application of arugula oil at a concentration of 40% herbicide (16.6 No. $m^{-2}$), and then by no adjuvant at a concentration of 40% herbicide (3.8 No. $m^{-2}$), while there were no large corms in the other combined treatments. Similar results were observed for the yield of large corms and thereby flowering was recorded only in the mentioned treatments. The application of herbicides and adjuvants improved the mean weight of replacement corms and the weight ratio of corms to leaves.

**Conclusion:** Overall, the results of this preliminary research showed that the application of herbicide and adjuvants reduced the number of small replacement corms and increased the allocation of photoassimilates towards replacement corms and had no inhibitory effect on the photosynthetic efficiency of the plant. This potted research showed that the use of Supergallant herbicide did not have a negative effect on saffron, but conducting field experiments in the natural environment is necessary to fully understand the response of saffron to the experimental factors in order to provide applied recommendations.

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

**Keywords:** Arugula oil, Citogate, Corm, Flower number, Stigma, Supergallant.

نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)
جلد سیزدهم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۴
شماره صفحه: ۲۱-۱
10.22077/jsr.2025.8793.1261

**مقاله پژوهشی**

# اثر سطوح کاهش یافته علف‌کش هالوکسی‌فوپ آر-متیل‌استر در ترکیب با برخی مواد افزودنی بر خصوصیات رشدی و گلدهی زعفران (*Crocus sativus* L.)

**صفی‌الله همدرد[۱]، حمیدرضا فلاحی[۲و۳*]، حسین حمامی[۳و۲]، حسین صحابی[۴و۵]**

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۳- عضو گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۴- استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشگاه تربت‌حیدریه، تربت‌حیدریه، ایران.
۵- پژوهشگر پژوهشکده زعفران، دانشگاه تربت‌حیدریه، ایران.

* نویسنده مسئول: *hamidreza.fallahi@birjand.ac.ir*

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۲؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۰۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۳**

## چکیده

**تاکنون احتمال خسارت علف‌کش هالوکسی‌فوپ‌آرمتیل‌استر (سوپرگالانت) بر گیاه زعفران به‌خوبی مورد بررسی قرار نگرفته است. در این تحقیق گلدانی، اثر مقادیر کاهش یافته علف‌کش سوپرگالانت (صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰ ، ۸۰ و ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده) و کاربرد مواد افزودنی (روغن گیاهی منداب، روغن معدنی سیتوگیت و عدم کاربرد روغن) در قالب آزمایش فاکتوریل بر مبنای طرح پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی بر رشد و گلدهی زعفران بررسی شد. اثر فاکتورهای آزمایشی بر کارایی کوانتومی فتوسیستم دو (Fv/Fm) معنی‌دار نبود. فاکتورهای آزمایشی اثر معنی‌داری بر طول و تعداد برگ گیاه نداشتند، ولی مصرف علف‌کش و مواد افزودنی وزن خشک برگ را کاهش داد. بیشترین تعداد بنه‌های ریز و تعداد کل بنه‌های دختری در تیمار شاهد و کم‌ترین تعداد آن در شرایط کاربرد روغن منداب بدون علف‌کش و نیز کاربرد سیتوگیت در غلظت ۲۰ درصد علف‌کش بدست آمد. بیشترین تعداد بنه‌های دختری درشت، در تیمارهای کاربرد سیتوگیت در غلظت ۲۰ و ۴۰ درصد علف‌کش (۲۵ بنه در مترمربع)، مصرف روغن منداب در غلظت ۴۰ درصد علف‌کش (۱۶/۶ بنه در مترمربع) و سپس در تیمار عدم مصرف مادهٔ افزودنی در غلظت ۴۰ درصد علف‌کش (۸/۳ بنه در مترمربع) بدست آمد و در سایر تیمارهای ترکیبی بنهٔ درشت مشاهده نشد. نتایج مشابهی نیز برای عملکرد بنه‌های درشت مشاهده شد و از این رو گلدهی نیز فقط در تیمارهای مورد اشاره ثبت گردید. مصرف علف‌کش و روغن‌های همراه، میانگین وزن بنه‌های دختری اصلی را بطور معنی‌داری و نسبت وزنی بین اندام‌های زیرزمینی (بنه) به اندام هوایی (برگ) را بطور نسبی بهبود بخشید. در مجموع، استفاده از علف‌کش و مواد افزودنی باعث کاهش تعداد بنه‌های دختری ریز و افزایش تسهیم مواد به سمت بنه‌های دختری شد و بر کارایی فتوسنتزی گیاه اثر بازدارنده اعمال نکرد. جهت درک کامل پاسخ زعفران به فاکتورهای آزمایشی جهت ارایه توصیه مدیریتی، اجرای تحقیقات میدانی در محیط طبیعی ضروری است.**

**واژه‌های کلیدی:** بنه، تعداد گل، روغن منداب، سوپر گالانت، سیتوگیت، کلاله.

Copyright © 2025 by the authors
Published by University of Birjand. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

**مقدمه**

زعفران (*Crocus sativus* L.) یکی از گیاهان دارویی و اقتصادی مهم در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران است (Aghhavani-Shajari et al., 2017). این گیاه بدلیل طعم و عطر مطبوع و نیز خواص دارویی متعدد، ارزش اقتصادی بالایی دارد. ازاین رو، کشت و تولید این گیاه در مناطقی که شرایط اقلیمی مناسبی برای رشد این گیاه دارند، به یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های اقتصادی تبدیل شده است (Behdani & Fallahi, 2024). با وجود اینکه ایران حدود ۹۰ درصد تولید جهانی زعفران را در اختیار دارد، ولی خلاء عملکرد این گیاه در مزارع کشور بسیار بالا است (Feizi & Moradi, 2020). یکی از عوامل مهم در افزایش خلاء عملکرد در زعفران، علف‌های هرز هستند. با توجه به قدرت رقابت محدود زعفران، اگر علف‌های هرز به‌خوبی مدیریت نشوند، می‌توانند باعث کاهش رشد و عملکرد محصول شوند (Aghhavani-Shajari et al., 2017). به همین دلیل، کشاورزان برای کنترل علف‌های هرز از روش‌های مختلفی از جمله مصرف علف‌کش‌ها استفاده می‌کنند.

نتایج تحقیقی در شهرستان تربت‌حیدریه نشان داد به‌جز ۶/۷ درصد از کشاورزان معمولی که علف‌های هرز مزارع زعفران را کنترل نمی‌کنند، سایر کشاورزان معمولی، ماهر و پیشرو حداقل از یکی از روش‌های مدیریتی برای کنترل علف‌های هرز استفاده می‌کنند. رایج‌ترین روش برای کنترل علف‌های هرز در بین هر سه گروه کشاورزان، وجین دستی بود. کنترل شیمیایی علف‌های هرز نیز به‌ترتیب توسط ۲۰، ۳۶/۷ و ۱۴/۳ درصد از کشاورزان معمولی، ماهر و پیشرو مورد استفاده قرار می‌گیرد (Fallahi & Salariyan, 2023). فیضی و مرادی (Feizi & Moradi, 2020) در پژوهشی در استان خراسان گزارش کردند که ۱۳ درصد از کشاورزان علف‌های هرز مزارع زعفران را کنترل نکرده و به‌ترتیب ۴۴، ۳۵ و ۸ درصد آن‌ها از روش‌های وجین دستی، شیمیایی و مکانیکی برای این منظور بهره می‌برند. در پژوهش دیگری گزارش شد که تمامی کشاورزان شهرستان سرایان، کنترل علف‌های هرز را در جهت کسب عملکردِ بیشتر زعفران مناسب می‌دانند. همچنین، بیش از ۸۱ درصد افراد از وجین دستی و در صورت تراکم زیاد علف‌های هرز از علف‌کش‌ها (۳۹ درصد) همراه با وجین دستی استفاده می‌کنند (Fallahi et al., 2015). با این وجود، استفاده نامناسب از علف‌کش‌ها ممکن است باعث تأثیرات منفی بر رشد و عملکرد زعفران گردد، بخصوص اینکه تاکنون برای زعفران علف‌کش انتخابی معرفی نشده و از علف‌کش‌های اختصاصی سایر گیاهان در مزارع زعفران استفاده می‌شود. در همین ارتباط، نتایج فلاحی و همکاران (Fallahi et al., 2023 a, b) نشان داد اگر چه مصرف علف‌کش‌های ستوکسیدیم و کلتودیم باعث کنترل مناسب‌تر علف‌های هرز مزرعهٔ زعفران شد، ولی وجین دستی از نظر بهبود عملکرد گیاه دارای مزیت بود. در پژوهشی اثرات انواع علف‌کش بر کنترل علف‌های هرز و عملکرد زعفران بررسی شد. نتایج نشان داد تمامی علف‌کش‌های مورد بررسی باعث کاهش معنی‌دار تراکم و وزن خشک علف‌های هرز نسبت به تیمار شاهد بدون مبارزه شدند. در این میان، کارآیی علف‌کش متری‌بیوزین در کنترل علف‌های هرز بسیار مناسب بود، بطوری‌که تراکم و وزن خشک علف‌های هرز در تیمار متری‌بیوزین کاملاً مشابه تیمار شاهد وجین دستی بود. کاربرد علف‌کش متری‌بیوزین در پاییز بلافاصله پس از برداشت گل، و علف‌کش‌های هالوکسی فوپ متیل، بنتازون، اکسی فلوروفن، اکسادیازون، بن‌سولفورون متیل، آترازین و تریاسولفورون + دایکمبا در اوایل رویش علف‌های هرز در بهار ضمن کنترل مناسب علف‌های هرز باعث کاهش معنی‌دار تعداد و یا وزن تر گل زعفران نشدند (Abbaspoor, 2017). با توجه به مشکلات زیست-محیطی ناشی از کاربرد علف‌کش‌ها در مزارع نظیر انتقال به گیاهان غیر هدف، اثر بر میکروارگانیسم‌های مفید، کاهش تنوع زیستی و افزایش مقاومت علف‌های هرز به علف‌کش‌ها، امروزه راهکار بهینه‌سازی کاربرد بسیار مورد توجه قرار گرفته است. یکی از روش‌هایی که نسبتاً ارزان و دارای کاربرد نسبتاً راحت است کاربرد مواد افزودنی است که از طریق تغییر خصوصیات محلول علف‌کش و یا بهبود جذب علف‌کش باعث افزایش کارآیی می‌شود (Hammami et al., 2014a; Hosseini-Evari et al., 2021). روغن‌های گیاهی و معدنی جزو مواد افزودنی پرکاربرد بویژه به همراه علف‌کش‌های گروه بازدارنده استیل کوآنزیم‌آ کربوکسیلاز است. نتایج مطالعات پیشین، افزایش کارایی کنترلی علف‌کش‌های کلودینافوپ پروپارژیل، هالوکسی‌فوپ و دایفنزوکوات در کنترل یولاف وحشی (*Avena ludoviciana*) و دیکلوفوپ متیل،

سیکلوکسیدیم وکلودینافوپ پروپارژیل در کنترل علف قناری و یولاف وحشی را نشان می‌دهد (Rashed Mohassel et al., 2010; Hammami et al., 2014a). در تحقیق دیگری گزارش شد که مصرف سورفاکتانت‌های سیتوگیت و فری‌گیت کارایی علف‌کش کلودینافوپ پروپارژیل را در کنترل یولاف وحشی بهبود بخشید و با تسریع در جذب علف‌کش توسط برگ‌های گیاه از شستشوی سریع آن در اثر بارندگی ممانعت نمود (Hammami et al., 2011). بر اساس نتایج تحقیق دیگری زمانی‌که علف‌کش‌های پیش‌رویشی استفاده شدند علائم گیاه‌سوزی در گیاه زعفران مشاهده نشد، اما کاربرد پس‌رویشی علف‌کش‌ها سطوح متفاوتی از گیاه‌سوزی از شدید تا خفیف را نشان داد. با این وجود، زمانی که علف‌کش‌ها در مقادیر کاهش یافته استفاده شدند، عملکرد گیاه افزایش و میزان گیاه‌سوزی کاهش یافت (Hosseini-Evari et al., 2020 a).

مصرف علف‌کش‌ها در مزارع زعفران ضمن آسیب احتمالی به رشد گیاه، می‌تواند موجب تجمع بقایای این ترکیبات در کلاله شده و این موضوع به اعتبار زعفران ایرانی در بازار جهانی آسیب وارد می‌کند. از طرفی مصرف این قبیل ترکیبات می‌تواند ضمن افزایش هزینه‌های تولید، موجب افزایش آلودگی‌های محیطی گردد. از این‌رو، در کشاورزی پایدار تأکید بر کاهش مصرف علف‌کش‌ها و افزایش کارایی مصرف آن‌هاست. بر این اساس، در تحقیق کنونی اثرات مقادیر کاهش یافته علف‌کش هالوکسی فوپ آر متیل استر به عنوان رایج‌ترین علف‌کش باریک برگ‌کش در مزارع زعفران ایران بر رشد و عملکرد زعفران بررسی شد. این علف‌کش اگرچه در مزارع زعفران به مقدار زیادی استفاده می‌شود، ولی چون اختصاصی زعفران نیست می‌تواند موجب ایجاد خسارت در گیاه شود. از آنجا که در مطالعات پیشین اثرات منفی احتمالی هالوکسی فوپ آر متیل استر بر رشد و عملکرد زعفران بخوبی بررسی نشده است، در این پژوهش این موضوع مورد تحقیق قرار گرفت. همچنین جهت کاهش اثرات منفی مصرف علف‌کش‌ها، علاوه بر استفاده از مقادیر کاهش یافتهٔ این علف‌کش، از دو نوع روغن گیاهی و معدنی نیز جهت افزایش کارایی مصرف این علف‌کش استفاده شد. اجرای این تحقیق ضمن مشخص کردن اثرات منفی احتمالی هالوکسی فوپ آر متیل استر بر گیاه زعفران، از حیث کاهش مقدار علف‌کش مصرفی و افزایش کارایی مصرف آن در شرایط مصرف روغن‌های گیاهی و معدنی نیز دارای ارزش‌های اکولوژیکی است.

## مواد و روش‌ها

### مکان اجرای تحقیق

در این پژوهش گلدانی اثر مقادیر کاهش یافته علف‌کش هالوکسی‌فوپ آرمتیل‌استر (سوپرگالانت، امولسیون شونده و محتوی ۱۰/۸ درصد مادهٔ مؤثره) در ترکیب با روغن‌های معدنی و گیاهی بر رشد و عملکرد زعفران در فصل رشد ۱۴۰۳-۱۴۰۲، در فضای باز دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند بررسی شد.

### فاکتورهای آزمایش

این تحقیق به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تکرار در درون گلدان اجرا شد. سه تکرار برای مطالعات تخریبی مربوط به رشد بنه‌های دختری مورد استفاده قرار گرفت و از سه تکرار باقی‌مانده برای اندازه‌گیری شاخص‌های گلدهی گیاه استفاده شد. فاکتورهای آزمایشی شامل مقادیر کاهش یافته علف‌کش سوپرگالانت (صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده) و کاربرد ماده افزودنی (روغن گیاهی منداب، روغن معدنی سیتوگیت و عدم کاربرد روغن) بودند.

مقدار توصیه شده علف‌کش سوپرگالانت یک لیتر در هکتار می باشد (Zand et al., 2019) که حاوی ۱۰۸ گرم ماده مؤثره می‌باشد. بر این اساس مقدار علف‌کش مصرفی در سطوح ۱۰۰، ۸۰، ۶۰، ۴۰ و ۲۰ درصد مقدار توصیه شده نیز به‌ترتیب ۱، ۰/۸، ۰/۶، ۰/۴، ۰/۲ لیتر در هکتار، معادل با ۱۰۸، ۸۶/۴، ۶۴/۸، ۴۳/۲ و ۲۱/۶ گرم مادهٔ مؤثره در هر هکتار بود. حجم محلول پاشش مصرفی از هر یک از سطوح مصرف علف‌کش (بر حسب لیتر در هکتار) از طریق کالیبراسیون محاسبه شد. برای کالیبراسیون با توجه به عرض پاشش و طی مسیر طولی ۱۰ متر با ارتفاع ثابت (۵۰ سانتی‌متر) نازل بادبزنی یکنواخت ۸۰۰۲، فشار دو بار و سرعت حرکت تا حد امکان ثابت میزان محلول خروجی محاسبه شد و برای یک هکتار حجم پاشش به میزان ۲۵۰ لیتر مشخص گردید. پاشش محلول روی سطح سبز گیاه زعفران زمانی که سطح برگ گیاه به حداکثر مقدار خود رسید، با استفاده از سمپاش شارژی پشتی دو کارهٔ مدل اسپریر صورت گرفت.

مقدار روغن مصرفی برای هر دو نوع روغن گیاهی و معدنی ۰/۵ درصد حجمی (۵ میلی‌لیتر در لیتر) منظور شد. روغن منداب با روش پرس سرد از بذر منداب تهیه شد. روغن سیتوگیت یک مویان غیریونی معدنی است (آلکیل آریل پلی گلایکول اتر) (Izadi-Darbandi et al., 2019) که از شرکت زرنگاران پارس تهیه شد. با توجه به مقاومت زعفران به تنش سرما تا حدود ۱۸- درجه سانتی‌گراد (Behdani & Fallahi, 2024)، گلدان‌های حاوی گیاه در محیط آزاد نهالستان دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند قرار گرفتند. برای کاهش اثر عوامل بیرونی به خصوص تغییرات دما بر رشد گیاهان، گلدان‌ها در درون خاک قرار گرفته و اطراف آن‌ها با خاک پوشانیده شد.

**عملیات زراعی**

کاشت گیاه در تاریخ ۱۷ مهرماه سال ۱۴۰۲، در گلدان‌هایی با ابعاد ۲۰×۲۰ سانتی‌متر با ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر که با ۵ کیلوگرم خاک هواخشک مزرعه پر شده بود، صورت گرفت. قبل از کاشت یک نمونه خاک تهیه شد و پس از تعیین درصد مادهٔ آلی آن (۰/۵ درصد)، مقدار مادهٔ آلی خاک با استفاده از کود دامی پوسیده به ۱/۵ درصد رسید. هدایت الکتریکی خاک مورد استفاده ۳/۲۱ دسی‌زیمنس بر متر، واکنش خاک (pH) برابر با ۷/۶ و بافت خاک از نوع لوم‌شنی بود. در هر گلدان تعداد شش عدد بنه با وزن ۸ تا ۹ گرم در عمق ۹ سانتی‌متری کشت شد. عملیات کشت با استفاده از بنه‌های سالم و فاقد علایم آفت و بیماری صورت گرفت. اولین آبیاری گلدان‌ها زمانی‌که متوسط دمای محیط به حدود ۱۵ درجهٔ سانتی‌گراد رسید (تقریباً در اواخر مهرماه) صورت گرفت (Behdani & Fallahi, 2024). حدود پنج روز پس از آبیاری، خاک سطح گلدان‌ها جهت تسهیل در خروج گل‌ها سله‌شکنی شد. با توجه به اینکه تیمارهای علف‌کش در این زمان اعمال نشده بودند، گلدهی سال اول مورد مطالعه قرار نگرفت. پس از پایان گلدهی، دومین آبیاری گیاه صورت گرفت و پس از آن هم در طی آذر و دی‌ماه با فواصل هر ۱۰ روز یکبار آبیاری گیاه انجام شد. از ابتدای بهمن تا انتهای فصل رشد به دلیل وقوع بارندگی کافی، با بررسی مداوم گلدان‌ها تعداد چهار نوبت آبیاری انجام شد. در طی فصل رشد علف‌های هرز سبز شده در گلدان ها وجین شدند. به‌دلیل بارندگی‌های مداوم و فراهم نبودن شرایط اقلیمی، تیمارهای آزمایشی در نیمهٔ اسفندماه سال ۱۴۰۲ و با تأخیری چند روزه نسبت به برنامه در نظر گرفته شده برای این تحقیق اعمال شدند. در ابتدای فصل دوم رشد گیاه (پاییز ۱۴۰۳) اولین آبیاری گلدان‌ها در اواخر مهرماه و سه روز پس از آن سله‌شکنی سطح گلدان‌ها انجام شد.

**شاخص‌های مورد مطالعه**

دو روز پس از اعمال تیمارها، در تاریخ ۱۷ اسفندماه سال ۱۴۰۲، کارایی فتوسنتزی فتوسیستم دو (Fv/Fm) برگ زعفران با استفاده از دستگاه فلوری‌متر (Handy-PEA, Hansatech Instruments, King's Lynn, Norfolk, UK) در شرایط تابش با طول موج ۶۵۰ نانومتر با شدت ۳۰۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع در ثانیه برای مدت ۱۰ ثانیه از برگ‌های سازگار شده به تاریکی به کمک کلیپس به مدت ۳۰ دقیقه اندازه‌گیری شد (Hammami et al., 2014b). از نسبت Fv/Fm (فلورسانس متغیر تقسیم بر فلورسانس حداکثر) برای تعیین میزان تنش احتمالی ناشی از مصرف علف‌کش در گیاه استفاده شد. در انتهای فصل رشد (اواسط فروردین ۱۴۰۳) تعداد برگ در بوته و متوسط طول برگ‌های گیاه اندازه‌گیری شده و پس از زرد شدن برگ‌ها (اواخر فروردین‌ماه سال ۱۴۰۳)، وزن خشک آن‌ها نیز تعیین شد. در ادامه به دلیل انجام نمونه‌برداری تخریبی جهت بررسی وضعیت رشدی بنه‌های دختری، در هر تیمار تعداد سه گلدان (تکرار) برای ارزیابی رشد بنه و تعداد سه گلدان نیز برای ارزیابی شاخص‌های گلدهی گیاه مورد استفاده قرار گرفت. به منظور بررسی خسارت احتمالی مصرف علف‌کش بر رشد بنه‌های دختری، پس از زرد شدن برگ‌ها در اوایل مرحلهٔ خواب حقیقی بنه (ابتدای اردیبهشت‌ماه سال ۱۴۰۳)، بوته‌های موجود در سه گلدان از هر تیمار از خاک خارج شده و صفات تعداد بنه دختری، وزن (عملکرد) کل بنه‌های دختری، متوسط وزن بنه‌های دختری (وزن کل بنه‌های دختری تقسیم بر تعداد کل بنه‌های دختری) و متوسط وزن بنه دختری اصلی (درشت‌ترین بنهٔ دختری) اندازه‌گیری شد. همچنین تعداد و عملکرد بنه‌های دختری در گروه‌های وزنی کمتر از ۳، ۳ تا ۶ و ۶ تا ۹ گرم تعیین شد. در پاییز سال ۱۴۰۳ آبیاری و سله‌شکنی گلدان‌های باقی‌مانده (سه گلدان برای هر تیمار) مطابق با سال اول انجام شد. به منظور بررسی اثر علف‌کش بر گلدهی گیاه، با شروع ظهور گل‌ها برداشت آن‌ها بصورت روزانه انجام شد.

گل‌های هر گلدان پس از برداشت شمارش شده و وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس کلاله‌ها بصورت دستی از دیگر بخش‌های گل جدا شده و در محیط آزمایشگاه (در سایه و دمای حدود ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد) خشک شدند. در انتهای دورهٔ گلدهی، مجموع وزن تر گل‌ها در طول دورهٔ گلدهی به عنوان عملکرد گل و وزن خشک کلاله در کل دوهٔ گلدهی به عنوان عملکرد خشک کلاله مورد محاسبه قرار گرفت.

**تجزیه و تحلیل آماری**

آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD محافظت شده در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

**فلورسانس کلروفیل**

اثرات ساده و متقابل سطوح مختلف علف‌کش سوپرگالانت و مصرف روغن‌های گیاهی و معدنی بر نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر (Fv/Fm)، سه روز پس از اعمال تیمارهای آزمایشی معنی‌دار نبود (جدول ۱). مقدار این شاخص در تیمارهای مختلف تقریباً یکسان و بین عدد ۰/۷۲ تا ۰/۷۳ متغیر بود (جداول ۲ و ۳). کاهش در مقدار Fv/Fm به این مفهوم است که قسمتی از مرکز واکنش فتوسیستم دچار اشکال شده و به عبارتی ممانعت نوری رخ داده است، که این موضوع معمولاً در گیاهان تحت تنش رخ می‌دهد (Avarseji & Mohammadvand, 2018; Hammami et al., 2014b). عدم کاهش مقدار این شاخص به عنوان معیار ارزیابی کارایی کوانتومی فتوسیستم دو، در مقایسه با تیمار شاهد نشان می‌دهد که مصرف علف‌کش سوپرگالانت در غلظت‌های مختلف، باعث وقوع تنش و بازدارندگی نوری در گیاه زعفران نشده است.

**رشد اندام هوایی**

اثرات ساده و متقابل فاکتورهای آزمایشی بر صفات تعداد برگ و طول برگ زعفران معنی‌دار نبود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نیز مؤید این موضوع بود که اعمال فاکتورهای آزمایشی بر صفات مذکور اثر منفی نداشت (جداول ۲ و ۳). نتایج تحقیق مشابهی نشان داد که کاربرد علف‌کش سوپرگالانت در مزرعه زعفران با غلظت توصیه شده در فواصل زمانی ۷، ۱۴، ۲۸ و ۴۲ روز پس از مصرف به‌جز در روز ۱۴اُم که اندکی خسارت مشاهده شد (کد ۲ بر اساس دستورالعمل EWRC[1]) در سایر زمان‌ها علامتی از خسارت نداشت (کد ۱)، در حالی‌که مقدار کاهش یافته این علف‌کش در هیچ یک از زمان‌های مذکور موجب ایجاد خسارت در اندام هوایی زعفران نشد (Hosseini-Evari et al., 2020 a). بهروان و همکاران (Behravan et al., 2016) نیز در فواصل ۱۵ و ۳۰ روز پس از مصرف علف‌کش سوپرگالانت علائمی از خسارت در گیاه زعفران مشاهده نکردند. در تحقیق آن‌ها و در شرایط عدم اختلاط کود مایع به همراه علف‌کش، طول برگ زعفران در تیمار مصرف سوپرگالانت در مقایسه با تیمار عدم مصرف علف‌کش افزایش یافت و وزن خشک برگ کاهش معنی‌داری نشان نداد که با نتایج آزمایش کنونی همخوانی دارد.

اثر متقابل مصرف علف‌کش و روغن‌های همراه بر صفت وزن خشک برگ معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین مقدار وزن خشک برگ در تیمار شاهد (عدم مصرف علف‌کش و روغن) به دست آمد و مصرف روغن و علف‌کش موجب کاهش نسبی مقدار این شاخص شد. در سطوح پایین‌تر غلظت علف‌کش (صفر، ۲۰ و ۶۰ درصد مقدار توصیه شده) روغن‌های گیاهی مقدار وزن خشک برگ را کاهش دادند، در حالی‌که در سطوح ۸۰ و ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده، مصرف سیتوگیت وزن خشک برگ را افزایش داد (شکل ۱). در مجموع، مصرف سیتوگیت و روغن منداب به‌ترتیب باعث کاهش ۱۱/۲ و ۲۲/۹ درصدی وزن خشک برگ در مقایسه با تیمار شاهد (مصرف آب مقطر) شد و تمامی سطوح علف‌کش نیز کاهش نسبی مقدار این شاخص را در پی داشتند (جداول ۲ و ۳). در آزمایشی استفاده از سطح کاهش یافته علف‌کش‌های اکسی‌فلورفن، اگزادیازون و ریم‌سولفورون در مقایسه با مقدار توصیه شده علف‌کش‌های مذکور، وزن برگ‌های زعفران را افزایش داد (Hosseini-Evari et al., 2020 b) که با نتایج آزمایش کنونی همخوانی دارد.

**تعداد بنه‌های دختری**

اثر متقابل فاکتورهای آزمایشی بر تعداد بنه‌های دختری ریز (دارای وزن کمتر از سه گرم) معنی‌دار بود (جدول ۴). در شرایط عدم مصرف علف‌کش، کاربرد روغن منداب

[1] European Weed Research Council

و سیتوگیت به‌ترتیب موجب کاهش ۱۲۳ و ۵۹ درصدی تعداد بنه‌های ریز شد. در سطوح ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد کاربرد علف‌کش بین سطوح کاربرد روغن تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت و در سطح ۲۰ درصد مصرف علف‌کش، کاربرد سیتوگیت در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد روغن) در همین سطح از مصرف علف‌کش باعث کاهش معنی‌دار تعداد بنه‌های ریز شد. در بین تمامی تیمارهای آزمایشی بیشترین تعداد بنه‌های ریز در شرایط عدم مصرف علف‌کش و روغن به دست آمد. در شرایط عدم مصرف روغن، با افزایش غلظت علف‌کش، تعداد بنه‌های ریز روندی کاهشی نشان داد. استفاده از سیتوگیت تا سطح ۲۰ درصد غلظت علف‌کش موجب کاهش تعداد بنه‌های ریز شد، ولی پس از آن دارای اثر افزاینده بود (شکل ۲). در مجموع، کاربرد سیتوگیت و منداب در مقایسه با عدم مصرف روغن، تعداد بنه‌های ریز با وزن کمتر از سه گرم را به‌ترتیب ۱۰/۱ و ۱۸/۴ درصد کاهش داد (جدول ۵). با توجه به اینکه بنه‌های دختری ریز (Koocheki et al., 2019) فاقد توان گلدهی هستند، کاهش تعداد این گروه از بنه‌ها به عنوان یک مزیت تلقی می‌شود.

اثرات ساده و متقابل سطوح مختلف علف‌کش و مصرف روغن بر تعداد بنه‌های دختری درشت با وزن ۶ تا ۹ گرم معنی‌دار بود (جدول ۴). در بین ۱۸ ترکیب تیماری مختلف تنها در سه ترکیب تیماری بنه درشت مشاهده گردید. در سطح کاربرد علف‌کش به میزان ۲۰ درصد غلظت توصیه شده، تنها کاربرد سیتوگیت باعث تولید ۲۵ بنه دختری در هر مترمربع در این گروه وزنی شد. در شرایط کاربرد علف‌کش با غلظت ۴۰ درصد مقدار توصیه شده نیز استفاده از روغن سیتوگیت و منداب به‌ترتیب موجب افزایش سه و دو برابری تعداد بنه‌های دختری درشت در مقایسه با تیمار شاهد در همین سطح از کاربرد علف‌کش، شد. در سایر سطوح کاربرد علف‌کش، هیچ بنه دختری در این گروه وزنی مشاهده نشد (شکل ۳). بر این اساس، کاربرد روغن‌های گیاهی به‌خصوص سیتوگیت (جدول ۵) موجب افزایش تولید بنه‌های دختری درشت شد و استفاده از علف‌کش با غلظت بیش از ۴۰ درصد مقدار توصیه شده نیز مانع از تولید بنه در این گروه وزنی گردید (جدول ۶). با این وجود، بنظر می‌رسد علت اصلی عدم مشاهده بنه‌های دختری درشت در بسیاری از تیمارها از یک‌طرف ناشی از تکثیر بیش از حد بنه‌های دختری در فضای محدود گلدان (شکل ۲) و در نتیجه ایجاد رقابت بین آن‌ها بر سر منابع و از طرفی دیگر ناشی از سطح برگ محدود گیاه (جدول ۲) بوده است که نتوانسته مواد غذایی کافی برای انتقال به بنه‌ها را تولید نماید. بنابراین، انجام آزمایش در محیط مزرعه و رفع محدودیت‌های مذکور برای درک پاسخ دقیق گیاه زعفران به سطوح مختلف علف‌کش سوپرگالانت توصیه می‌شود. نتایج تجزیه واریانس بیانگر معنی‌دار بودن اثر متقابل سطوح مصرف علف‌کش و کاربرد روغن بر تعداد کل بنه‌های دختری زعفران بود (جدول ۴). بیشترین تعداد کل بنه‌های دختری در شرایط عدم کاربرد روغن و علف‌کش (تیمار شاهد) و کمترین مقدار آن در تیمارهای کاربرد روغن منداب بدون استفاده از علف‌کش و نیز کابرد سیتوگیت در غلظت ۲۰ درصد علف‌کش مشاهده شد که اختلاف حدود دو برابری را داشتند. در شرایط عدم مصرف روغن با افزایش غلظت علف‌کش، تعداد بنه‌های دختری روندی کاهشی داشت. با این وجود، در شرایط استفاده از روغن سیتوگیت، در غلظت‌های بیش از ۲۰ درصد مصرف علف‌کش بر تعداد بنه‌های دختری افزوده شد. در سطوح ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد مصرف علف‌کش بین تیمارهای کاربرد روغن تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت و فقط در سطح صفر درصد غلظت علف‌کش مصرف هر دو نوع روغن و در سطح ۲۰ درصد غلظت علف‌کش کاربرد سیتوگیت باعث کاهش معنی‌دار تعداد بنه‌های دختری زعفران شد (شکل ۴). بر اساس نتایج اثرات ساده مصرف روغن باعث کاهش تعداد کل بنه‌های دختری شد (جدول ۵) و افزایش غلظت علف‌کش تعداد بنه‌های دختری را افزایش داد (جدول ۶). در تحقیق مشابهی تعداد بنه دختری در تیمار شاهد (عدم مبارزه) ۱۹۰ عدد و در تیمارهای مصرف منفرد سوپرگالانت و مصرف تلفیقی آن با سیتوگیت به‌ترتیب ۱۹۱ و ۲۱۷ بنه در مترمربع بود (Hosseini-Evari et al., 2021). در آزمایشی مزرعه‌ای دیگری تعداد بنه‌های دختری در هر بوته در شرایط عدم مصرف علف‌کش و نیز کاربرد علف‌کش سوپرگالانت در مقادیر کاهش یافته و توصیه شده به‌ترتیب ۸/۹، ۸/۸ و ۸/۶ بنه بود که تفاوت آن‌ها معنی‌دار نبود (Hosseini-Evari et al., 2020 a).

**عملکرد بنه‌های دختری**

اثرات ساده و متقابل فاکتورهای آزمایشی بر عملکرد بنه‌های ریز با وزن کمتر از سه گرم معنی‌دار بود (جدول

۷). بر اساس نتایج اثر متقابل، در شرایط عدم استفاده از علف‌کش، کاربرد هر دو نوع روغن گیاهی و معدنی به خصوص روغن منداب عملکرد بنه‌های ریز را کاهش داد. در تیمار عدم کاربرد روغن، با افزایش غلظت علف‌کش از صفر به ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده از عملکرد بنه‌های ریز کاسته شد. با افزایش غلظت علف‌کش از صفر به ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد مقدار توصیه شده، کاربرد روغن منداب باعث افزایش عملکرد بنه‌های ریز شد، ولی در سطوح بالای غلظت علف‌کش (۸۰ و ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده) کاربرد روغن منداب مقدار این صفت را کاهش داد. بیشترین عملکرد بنه‌های ریز در شرایط عدم کاربرد روغن و علف‌کش و کمترین مقدار آن در تیمارهای عدم مصرف علف‌کش × کاربرد روغن منداب و غلظت ۸۰ درصد علف‌کش × مصرف روغن منداب بدست آمد که حدود ۲/۷ برابر اختلاف داشتند (شکل ۵). صرفنظر از غلظت علف‌کش، استفاده از روغن منداب به میزان ۲۶/۷ درصد و استفاده از سیتوگیت به مقدار ۴/۶ درصد، در مقایسه با عدم کاربرد ماده افزودنی عملکرد بنه‌های ریز را کاهش داد (جدول ۸). همچنین در سطوح بالاتر کاربرد علف‌کش (۶۰ تا ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده)، مقدار عملکرد بنه‌های ریز کاهش پیدا کرد (جدول ۹). با توجه به اینکه بنه‌های دختری ریز با وزن کمتر از شش گرم تقریباً فاقد توان گلدهی هستند (Koocheki et al., 2019; Fallahi, 2022)، کاهش تعداد و عملکرد این بنه‌ها در زراعت زعفران مفید ارزیابی می‌شود.

در بین اثرات اصلی و متقابل فاکتورهای آزمایشی، تنها اثر غلظت علف‌کش بر عملکرد بنه‌های دختری متوسط با وزن ۳ تا ۶ گرم معنی‌دار بود (جدول ۷). با افزایش غلظت علف‌کش، عملکرد بنه‌های دختری در این گروه وزنی روندی افزایشی نشان داد. بیشترین و کمترین عملکرد بنه‌های دختری متوسط به‌ترتیب در سطوح ۱۰۰ و صفر درصد غلظت توصیه شدهٔ علف‌کش حاصل شد که ۶۳/۴ درصد اختلاف داشتند (جدول ۹). در آزمایشی مزرعه‌ای استفاده از علف‌کش متری‌بیوزین باعث افزایش عملکرد بنه‌های دختری زعفران در گروه وزنی ۳ تا ۶ گرم و نیز وزن کل بنه‌های دختری حتی در مقایسه با تیمار وجین دستی علف‌های هرز شد، در حالی که برخی دیگر از علف‌کش‌ها این مقادیر را کاهش دادند (Sadrabadi Haghighi & Ghanad Tosi, 2016). عملکرد بنه‌های دختری درشت در گروه وزنی ۶ تا ۹ گرم، بطور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات اصلی و متقابل فاکتورهای آزمایشی قرار گرفت (جدول ۷). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، تنها در سطوح ۲۰ و ۴۰ درصد علف‌کش، برای بنه‌های دختری درشت عملکرد ثبت شد (جدول ۹). بر اساس نتایج اثر متقابل، بیشترین مقدار این شاخص در شرایط کاربرد سیتوگیت و در غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ درصد علف‌کش مشاهده شد. همچنین، در غلظت ۴۰ درصد علف‌کش، استفاده از روغن منداب به‌عنوان مادهٔ افزودنی به میزان ۸۵/۸ درصد عملکرد بنه‌های دختری درشت را در مقایسه با عدم کاربرد مادهٔ افزودنی در همین سطح از مصرف علف‌کش، افزایش داد (شکل ۶). عملکرد کل بنه‌های دختری مشابه با نتایج آزمایش حسینی‌ایوری و همکاران (Hosseini-Evari et al., 2020 a) از مقادیر توصیه شده و کاهش یافته علف‌کش سوپرگالانت اثر معنی‌داری نپذیرفت.

**میانگین وزن بنه**

میانگین وزن بنه‌های دختری زعفران از فاکتورهای آزمایشی اثر معنی‌داری نپذیرفت (جدول ۱۰). با این وجود، مصرف سیتوگیت و روغن منداب به‌ترتیب موجب افزایش ۱۵/۴ و ۵/۴ درصدی این شاخص در مقایسه با عدم کاربرد مادهٔ افزودنی شدند (جدول ۱۱). همچنین، مقدار این شاخص در تمامی سطوح مصرف علف‌کش بطور نسبی بیشتر از تیمار شاهد (عدم کاربرد علف‌کش) بود (جدول ۱۲). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سادهٔ سطوح علف‌کش بر میانگین وزن بنهٔ دختری اصلی دارای تأثیر معنی‌دار بود (جدول ۱۰). افزایش در غلظت علف‌کش سوپرگالانت موجب افزایش میانگین وزن بنه دختری اصلی شد، هر چند بین مقادیر ۱۰ تا ۱۰۰ درصد غلظت توصیه شده تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت. مقدار این شاخص در سطح ۱۰۰ درصد غلظت توصیه شده، به میزان ۵۷/۶ درصد بیشتر از تیمار عدم مصرف علف‌کش بود (جدول ۱۲). سوپرگالانت یک علف‌کش انتخابی و پس‌رویشی است که بر فعالیت استیل‌کوانزیم کربوکسیلاز[۲] اثر بازدارنده دارد و با ایجاد علایم نکروز و کلروز در گیاهان حساس باعث مرگ آن‌ها می‌شود (Dehghan & Khara, 2021). با این وجود، نتایج آزمایش کنونی نشان داد زعفران حساسیت زیادی به مصرف این علف‌کش ندارد و حتی مصرف این علف‌کش

[2] ACCase activity

برخی از صفات مربوط به رشد اندام زیرزمینی (بنه) مانند متوسط وزن بنه را بهبود بخشید. البته این احتمال نیز وجود دارد که مصرف این علف‌کش با ایجاد تنش در گیاه زعفران، واکنش دفاعی گیاه در جهت تمرکز بر اندام تکثیر (بنه) جهت حفظ بقاء را موجب شده است و با کاهش وزن برگ (جدول ۳) و انتقال مواد از برگ به بنه-های دختری موجبات افزایش رشد اندام تکثیر گیاه را فراهم کرده است. ذکر این نکته ضروری است که در آزمایش کنونی بدلیل تداوم بارندگی‌ها در اسفندماه، علف‌کش سوپرگالانت در فاصلهٔ حدود سه هفته مانده به اتمام فصل رشد زعفران مصرف شد و ممکن است در طی این بازه زمانی تمامی اثرات آن بر اندام هوایی و زیرزمینی گیاه قابل ردیابی نباشد. مقادیر متوسط وزن بنه‌های دختری در این پژوهش به مراتب پایین‌تر از مقادیر بدست آمده در آزمایشات مزرعه‌ای (Aghhavani-Shajari et al., 2017; Koocheki et al., 2019; Hosseini Evari et al., 2020 b) که از بنه‌های مادری با وزنی مشابه با آزمایش کنونی استفاده کرده‌اند، بود. این موضوع ناشی از تکثیر بیش از حد بنه (شکل ۴) در آزمایش کنونی در مقایسه با آزمایشات مزرعه‌ای مذکور می‌باشد. بنظر می‌رسد چون آزمایش کنونی در محیط محدود گلدان اجرا شده است، درک محدودیت فضایی توسط گیاه منجر به تکثیر و بنه‌زایی بیش از حد گیاه شده باشد که پیامد آن کاهش متوسط وزن بنه‌ها بدلیل ایجاد رقابت بین آن‌ها می‌باشد. همچنین کاشت گیاه در محیط گلدان موجب کاهش قابل توجه طول برگ‌ها (جداول ۲ و ۳) در مقایسه با آزمایشات مزرعه‌ای (Behravan et al., 2016; Sadrabadi Haghighi & Ghanad Tosi, 2016) شد و از آنجا که رشد بنه‌ها به مواد فتوسنتزی برگ‌ها وابستگی زیادی دارد، متوسط وزن بنه‌ها در آزمایش کنونی بسیار کاهش یافت. از این‌رو، برای شناخت کامل پاسخ گیاه زعفران به علفکش سوپرگالانت و مواد افزودنی در شرایط محیط طبیعی، لازم است آزمایشات تکمیلی در محیط مزرعه اجرا شده و سپس توصیه کاربردی صورت گیرد.از نظر نسبت بین وزن بنه‌های دختری به وزن اندام هوایی اثر معنی‌داری از فاکتورهای آزمایشی مشاهده نشد (جدول ۱۰). با این وجود، مصرف روغن (جدول ۱۱) و علف‌کش (جدول ۱۲) مقدار این شاخص را بطور نسبی افزایش داد که نشان می‌دهد کاربرد این مواد احتمالاً بر انتقال مجدد مواد ذخیره شده در برگ، در انتهای فصل رشد به سمت بنه‌های دختری اثر مثبتی داشته است که نتیجهٔ آن کاهش وزن برگ (جداول ۲ و ۳) در اثر کاربرد روغن و علف‌کش و افزایش عملکرد و وزن متوسط بنه‌های دختری (جداول ۹ و ۱۱) بوده است. در آزمایش مشابهی در محیط مزرعه نسبت بین وزن بنه به برگ‌های زعفران در تیمارهای مصرف منفرد سوپرگالانت، مصرف تلفیقی سوپرگالانت و سیتوگیت، شاهد بدون کنترل علف‌های هرز و تیمار وجین دستی به‌ترتیب ۶/۸۱، ۷/۹۱، ۵/۸۸ و ۷/۸۸ بود (Hosseini-Evari et al., 2021) که روند آن مبنی بر افزایش سهم وزنی بنه در شرایط مصرف علف‌کش سوپرگالانت با آزمایش کنونی همخوانی دارد. نتایج تحقیقی بر روی سویا نشان داد که در ارقام ساری و کلارک در اثر مصرف علف‌کش سوپرگالانت با وجود کاهش رشد کلی گیاه، نسبت وزن اندام زیرزمینی به اندام هوایی افزایش پیدا کرد (Hammami et al., 2015) که با نتایج آزمایش کنونی مبنی بر افزایش نسبت وزن بنه به برگ در پاسخ به مصرف علف‌کش، همخوانی دارد.

**جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح کاهش یافته علف‌کش سوپرگالانت در تلفیق با روغن‌های گیاهی و معدنی بر فلورسانس کلروفیل و رشد اندام هوایی زعفران**

**Table 1. Analysis of variance (Mean of square) of the effect of reduced levels of super gallant herbicide in combination with vegetable and mineral oils on chlorophyll fluorescence and aerial part growth of saffron**

| منابع تغییرات S.O.V | درجه آزادی D.F | نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر Fv/Fm | تعداد برگ Leaf number | طول برگ Leaf length | وزن خشک برگ Leaf dry weight |
|---|---|---|---|---|---|
| تکرار Replication | 2 | 0.000010$^{ns}$ | 1.17$^{ns}$ | 4.84$^{ns}$ | 218.86$^{ns}$ |
| مصرف روغن (A) Oil application | 2 | 0.000041$^{ns}$ | 4.92$^{ns}$ | 0.51$^{ns}$ | 302.89$^{ns}$ |
| سطوح علف‌کش (B) Herbicide levels | 5 | 0.000070$^{ns}$ | 4.63$^{ns}$ | 1.18$^{ns}$ | 215.39$^{ns}$ |
| اثر متقابل A×B | 10 | 0.000060$^{ns}$ | 2.40$^{ns}$ | 1.46$^{ns}$ | 511.36$^{**}$ |
| خطا Error | 34 | 0.000042 | 2.05 | 2.14 | 139.45 |
| ضریب تغییرات (٪) C.V. | - | 0.89 | 30.66 | 12.27 | 29.76 |

** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و عدم معنی‌دار

** and ns are significant at the 1% probability levels and not significant, respectively.

**جدول ۲. نتایج مقایسه میانگین مربوط به اثر ساده مصرف روغن بر فلورسانس کلروفیل و رشد اندام هوایی زعفران**

**Table 2. mean comparison of the simple effect of oil application on chlorophyll fluorescence and aerial part growth of saffron**

| تیمار<br>Treatment | نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر<br>Fv/fm | تعداد برگ<br>Leaf number (No. per plant) | طول برگ<br>Leaf length (cm) | وزن خشک برگ<br>Leaf dry weight ($g\ m^{-2}$) |
|---|---|---|---|---|
| سیتوگیت<br>Sitogate | 0.726[a] | 5.28[a] | 12.06[a] | 39.44[ab] |
| روغن مناب<br>Arugula oil | 0.729[a] | 4.37[a] | 12.00[a] | 35.69[b] |
| شاهد (آب مقطر)<br>Control (Distilled water) | 0.729[a] | 4.36[a] | 11.74[a] | 43.88[a] |

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) هستند.

In each column, the means with at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level using LSD test.

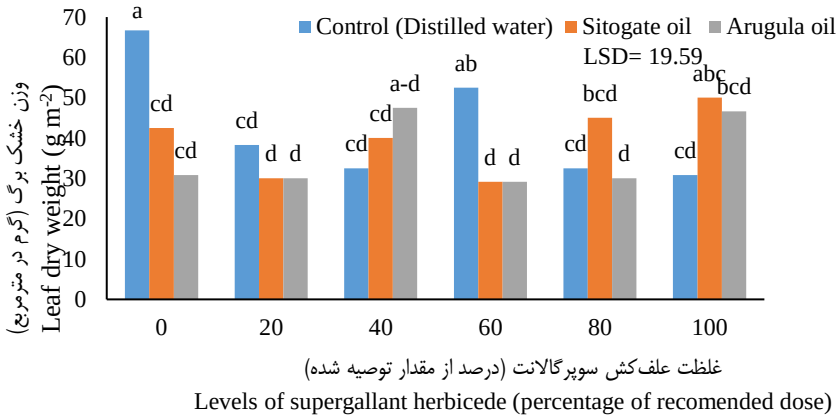
**جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین مربوط به اثر ساده سطوح علف‌کش سوپرگالانت بر فلورسانس کلروفیل و رشد اندام هوایی زعفران**

**Table 3. mean comparison of the simple effect of different levels of super gallant herbicide application on chlorophyll fluorescence and aerial part growth of saffron**

| تیمار (درصد از مقدار توصیه شده)<br>Treatment (Percentage of recommended dose) | نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر<br>Fv/fm | تعداد برگ<br>Leaf number (No. per plant) | طول برگ<br>Leaf length (cm) | وزن خشک برگ<br>Leaf dry weight ($g\ m^{-2}$) |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.728[ab] | 4.22[bc] | 11.71[a] | 46.66[a] |
| 20 | 0.727[b] | 4.20[c] | 11.57[a] | 32.77[b] |
| 40 | 0.727[ab] | 4.04[c] | 11.78[a] | 40.00[ab] |
| 60 | 0.734[a] | 5.60[a] | 12.53[a] | 40.27[ab] |
| 80 | 0.726[b] | 4.40[abc] | 11.80[a] | 35.83[ab] |
| 100 | 0.726[b] | 5.57[ab] | 12.20[a] | 42.50[ab] |

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) هستند.

In each column, the means with at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level using LSD test.




**شکل ۱. اثر متقابل سطوح علف‌کش سوپرگالانت و روغن‌های گیاهی و معدنی بر وزن خشک برگ زعفران**

**Fig 1. Interaction effect of Supergallant herbicide levels and natural and mineral oils on saffron leaf dry weight**

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) هستند.

Means with at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level using LSD test.

**جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح کاهش یافته علف‌کش سوپرگالانت در تلفیق با روغن‌های گیاهی و معدنی بر تعداد بنه‌های دختری زعفران در گروه‌های وزنی محتلف**

**Table 4. Analysis of variance (Mean of square) of the effect of reduced levels of super gallant herbicide in combination with natural and mineral oils on the number of replacement corms of saffron in different weight groups**

| منابع تغییرات S.O.V | درجه آزادی Df | تعداد بنه های دختری در گروه‌های وزنی مختلف Number of replacement corms in different weight groups | | | تعداد کل بنه‌های دختری Total number of replacement corms |
|---|---|---|---|---|---|
| | | <3 g | 3-6 g | 6-9 g | |
| تکرار Replication | 2 | 2369.79$^{ns}$ | 2638.88$^{ns}$ | 4.16$^{ns}$ | 11050.34$^{ns}$ |
| مصرف روغن (A) Oil application | 2 | 47421.87$^{ns}$ | 555.55$^{ns}$ | 243.05$^{**}$ | 51588.54$^{ns}$ |
| سطوح علفکش (B) Herbicide levels | 5 | 5845.48$^{ns}$ | 2361.11$^{ns}$ | 437.50$^{**}$ | 6637.15$^{ns}$ |
| اثر متقابل A×B | 10 | 66657.98$^{**}$ | 1166.66$^{ns}$ | 118.05$^{**}$ | 68803.81$^{**}$ |
| خطا Error | 34 | 18754.59 | 1168.30 | 3.79 | 18525.83 |
| ضریب تغییرات C.V. (%) | - | 22.74 | 33.25 | 46.74 | 19.19 |

** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و عدم معنی‌دار

** and ns are significant at the 1% probability levels and not significant, respectively.

**جدول ۵. نتایج مقایسه میانیگن مربوط به اثر ساده مصرف روغن بر تعداد بنه‌های دختری زعفران در گروه‌های وزنی مختلف**

**Table 5. Mean comparison of the simple effect of oil application on the number of saffron replacement corms in different weight groups**

| تیمار Treatment | تعداد بنه‌های دختری در گروه‌های وزنی مختلف Number of replacement corms in different weight groups (No. m$^{-2}$) | | | تعداد کل بنه‌های دختری Total number of replacement corms (No. m$^{-2}$) |
|---|---|---|---|---|
| | <3 g | 3-6 g | 6-9 g | |
| سیتوگیت Sitogate | 595.83$^{ab}$ | 97.22$^{a}$ | 8.33$^{a}$ | 701.39$^{ab}$ |
| روغن منداب Arugula oil | 554.17$^{b}$ | 102.78$^{a}$ | 2.77$^{b}$ | 659.72$^{b}$ |
| شاهد (آب مقطر) Control (Distilled water) | 656.25$^{a}$ | 108.33$^{a}$ | 1.38$^{c}$ | 765.97$^{a}$ |

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) هستند.

In each column, the means with at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level using LSD test.

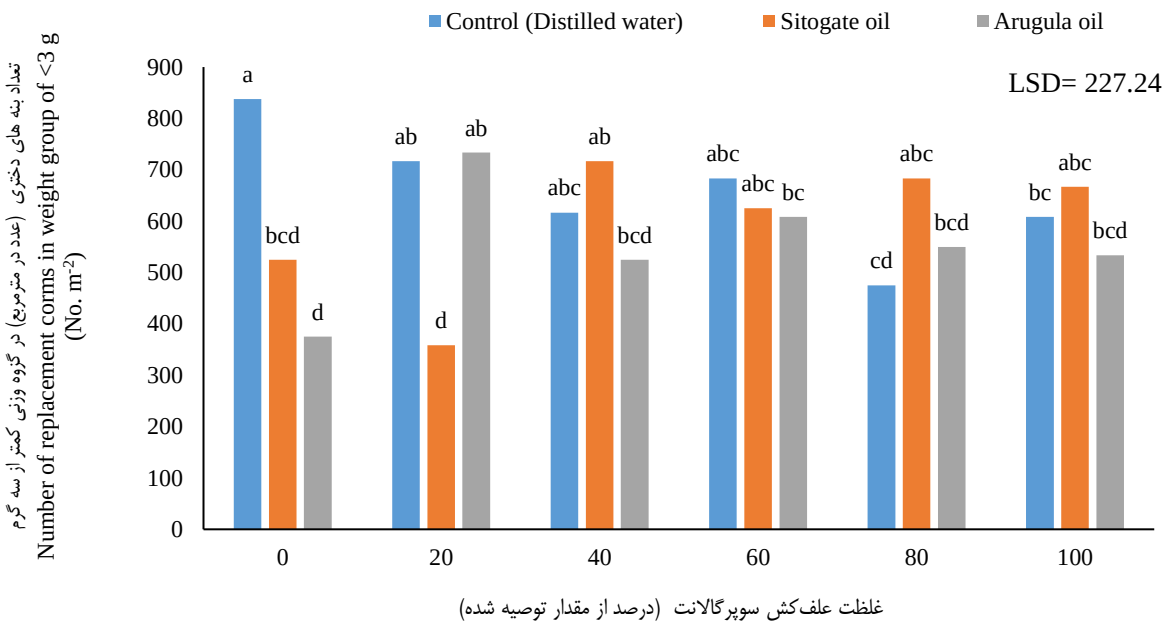
**جدول ۶. نتایج مقایسه میانگین مربوط به اثر ساده سطوح علف‌کش سوپرگالانت بر تعداد بنه‌های دختری زعفران در گروه‌های وزنی مختلف**

**Table 6- Mean comparison of the simple effect of different levels of super gallant herbicide application on the number of saffron replacement corms in different weight groups**

| تیمار (درصد از مقدار توصیه شده) Treatment (Percentage of recommended dose) | تعداد بنه‌های دختری در گروه‌های وزنی مختلف Number of replacement corms in different weight groups (No. m$^{-2}$) | | | تعداد کل بنه‌های دختری Total number of replacement corms (No. m$^{-2}$) |
|---|---|---|---|---|
| | <3 g | 3-6 g | 6-9 g | |
| 0 | 579.17$^{a}$ | 94.44$^{ab}$ | 0.00$^{c}$ | 673.61$^{a}$ |
| 20 | 602.78$^{a}$ | 86.11$^{b}$ | 8.33$^{b}$ | 697.22$^{a}$ |
| 40 | 619.44$^{a}$ | 86.11$^{b}$ | 16.65$^{a}$ | 722.22$^{a}$ |
| 60 | 638.89$^{a}$ | 108.33$^{ab}$ | 0.00$^{c}$ | 747.22$^{a}$ |
| 80 | 569.44$^{a}$ | 119.44$^{a}$ | 0.00$^{c}$ | 688.89$^{a}$ |
| 100 | 602.78$^{a}$ | 122.22$^{a}$ | 0.00$^{c}$ | 725.00$^{a}$ |

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) هستند.

In each column, the means with at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level using LSD test.

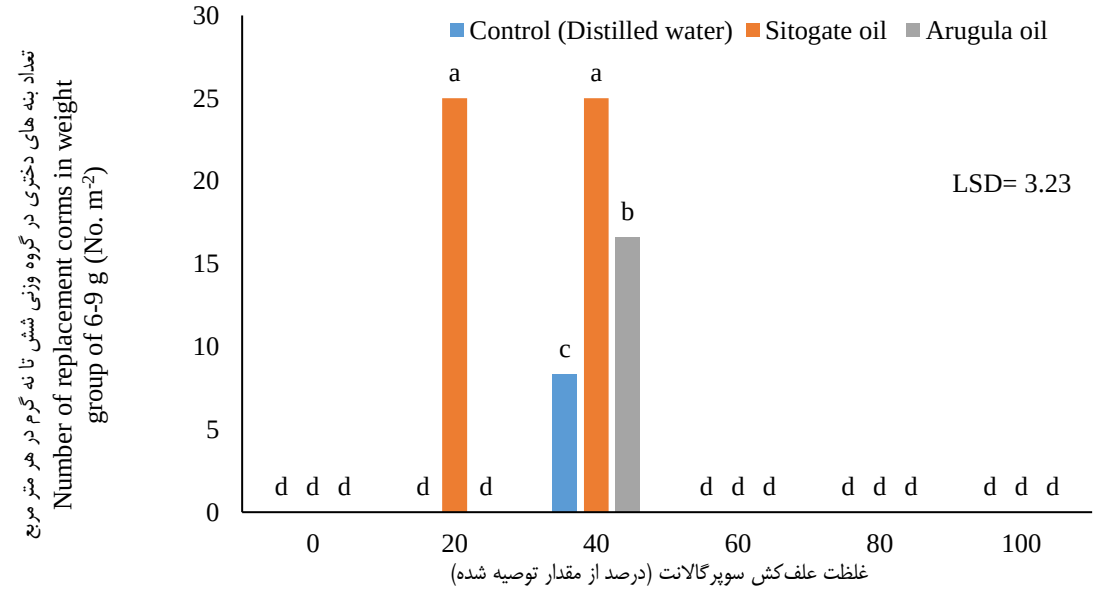



**شکل ۲. اثر متقابل سطوح علف‌کش سوپرگالانت و روغن‌های گیاهی و معدنی بر تعداد بنه‌های دختری زعفران در گروه وزنی کمتر از ۳ گرم**

**Fig 2. Interaction effect of Supergallant herbicide levels, and natural and mineral oils on the number of replacement corms of saffron in the weight group of lower than 3 g.**

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) هستند.

Means with at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level using LSD test.

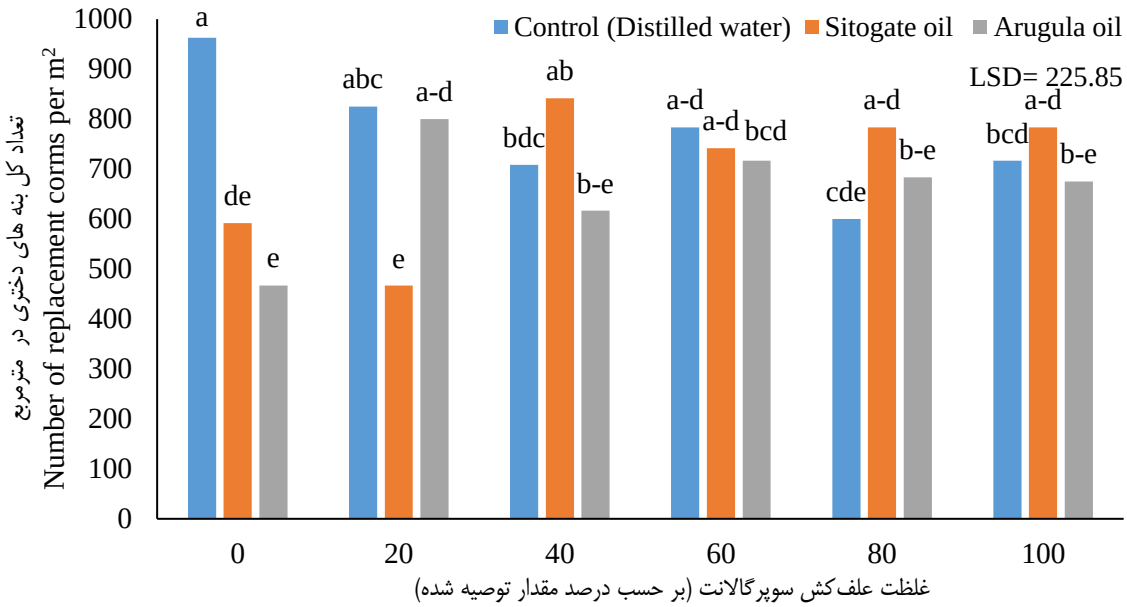



**شکل ۳. اثر متقابل سطوح علف‌کش سوپرگالانت و روغن‌های گیاهی و معدنی بر تعداد بنه‌های دختری زعفران در گروه وزنی ۶ تا ۹ گرم**

**Fig 3. Interaction effect of Supergallant herbicide levels and natural and mineral oils on the number of replacement corms of saffron in the weight group of 3-6 g**

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) هستند.

Means with at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level using LSD test.




**شکل ۴. اثر متقابل سطوح علف‌کش سوپرگالانت و روغن‌های گیاهی و معدنی بر تعداد کل بنه‌های دختری زعفران**

**Fig 4. Interaction effect of Supergallant herbicide levels and natural and mineral oils on the total number of replacement corms of saffron**

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) هستند.

Means with at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level using LSD test

**جدول ۷. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح کاهش یافته علف‌کش سوپرگالانت در تلفیق با روغن‌های گیاهی و معدنی بر عملکرد بنه‌های دختری زعفران در گروه‌های وزنی مختلف**

**Table 7. Analysis of variance (Mean of square) of the effect of reduced levels of super gallant herbicide in combination with natural and mineral oils on the yield of replacement corms of saffron in different weight groups**

| منابع تغییرات S.O.V | درجه آزادی d.f | عملکرد بنه‌های دختری در گروه‌های وزنی مختلف Yield of replacement corms in different weight groups | | | عملکرد کل بنه‌های دختری Total yield of replacement corms |
|---|---|---|---|---|---|
| | | <3 g | 3-6 g | 6-9 g | |
| تکرار Replication | 2 | 8727.57$^{ns}$ | 18089.32$^{ns}$ | 3.58$^{ns}$ | 71604.94$^{ns}$ |
| مصرف روغن (A) Oil application | 2 | 36920.42$^{ns}$ | 1932.03$^{ns}$ | 13032.06$^{**}$ | 40290.71$^{ns}$ |
| سطوح علف‌کش (B) Herbicide levels | 5 | 33777.89$^{*}$ | 54715.48$^{**}$ | 23624.00$^{**}$ | 45450.26$^{ns}$ |
| اثر متقابل A×B | 10 | 36301.47$^{*}$ | 144400.17$^{ns}$ | 6471.78$^{**}$ | 43415.71$^{ns}$ |
| خطا Error | 34 | 12132.67 | 16226.67 | 25.76 | 43133.86 |
| ضریب تغییرات C.V. (%) | - | 29.43 | 31.65 | 16.48 | 25.72 |

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌دار

*, ** and ns are significant at the 5 and 1% probability levels and not significant, respectively.

جدول ۸. نتایج مقایسه میانگین مربوط به اثر ساده مصرف روغن بر عملکرد بنه‌های دختری زعفران در گروه‌های وزنی مختلف

**Table 8. Mean comparison of the simple effect of oil application on the yield of saffron replacement corms in different weight groups**

| تیمار Treatment | عملکرد بنه‌های دختری در گروه‌های وزنی مختلف Yield of replacement corms in different weight groups (g m$^{-2}$) | | | عملکرد کل بنه‌های دختری Total yield of replacement corms (g m$^{-2}$) |
|---|---|---|---|---|
| | <3 g | 3-6 g | 6-9 g | |
| سیتوگیت Sitogate | 390.83$^{ab}$ | 390.69$^{a}$ | 61.38$^{a}$ | 843.06$^{a}$ |
| روغن منداب Arugula oil | 322.92$^{b}$ | 410.49$^{a}$ | 20.13$^{b}$ | 753.75$^{a}$ |
| شاهد (آب مقطر) Control (Distilled water) | 408.78$^{a}$ | 405.90$^{a}$ | 10.83$^{c}$ | 825.49$^{a}$ |

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) هستند.

In each column, the means with at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level using LSD test.

جدول ۹. نتایج مقایسه میانگین مربوط به اثر ساده سطوح علف‌کش سوپرگالانت بر عملکرد بنه‌های دختری زعفران در گروه‌های وزنی مختلف

**Table 9. mean comparison of the simple effect of different levels of super gallant herbicide application on the yield of saffron replacement corms in different weight groups**

| تیمار (درصد از مقدار توصیه شده) Treatment (Percentage of recommended dose) | عملکرد بنه‌های دختری در گروه‌های وزنی مختلف Yield of replacement corms in different weight groups (g m$^{-2}$) | | | عملکرد کل بنه‌های دختری Total yield of replacement corms (g m$^{-2}$) |
|---|---|---|---|---|
| | <3 g | 3-6 g | 6-9 g | |
| 0 | 425.28$^{a}$ | 297.78$^{d}$ | 0.00$^{c}$ | 723.06$^{a}$ |
| 20 | 407.22$^{ab}$ | 343.06$^{dc}$ | 62.77$^{b}$ | 813.33$^{a}$ |
| 40 | 425.00$^{a}$ | 362.78$^{bcd}$ | 121.94$^{a}$ | 909.72$^{a}$ |
| 60 | 394.22$^{abc}$ | 471.11$^{ab}$ | 0.00$^{c}$ | 865.00$^{a}$ |
| 80 | 291.11$^{c}$ | 452.78$^{abc}$ | 0.00$^{c}$ | 744.31$^{a}$ |
| 100 | 302.22$^{bc}$ | 486.67$^{a}$ | 0.00$^{c}$ | 789.17$^{a}$ |

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) هستند.

In each column, the means with at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level using LSD test.

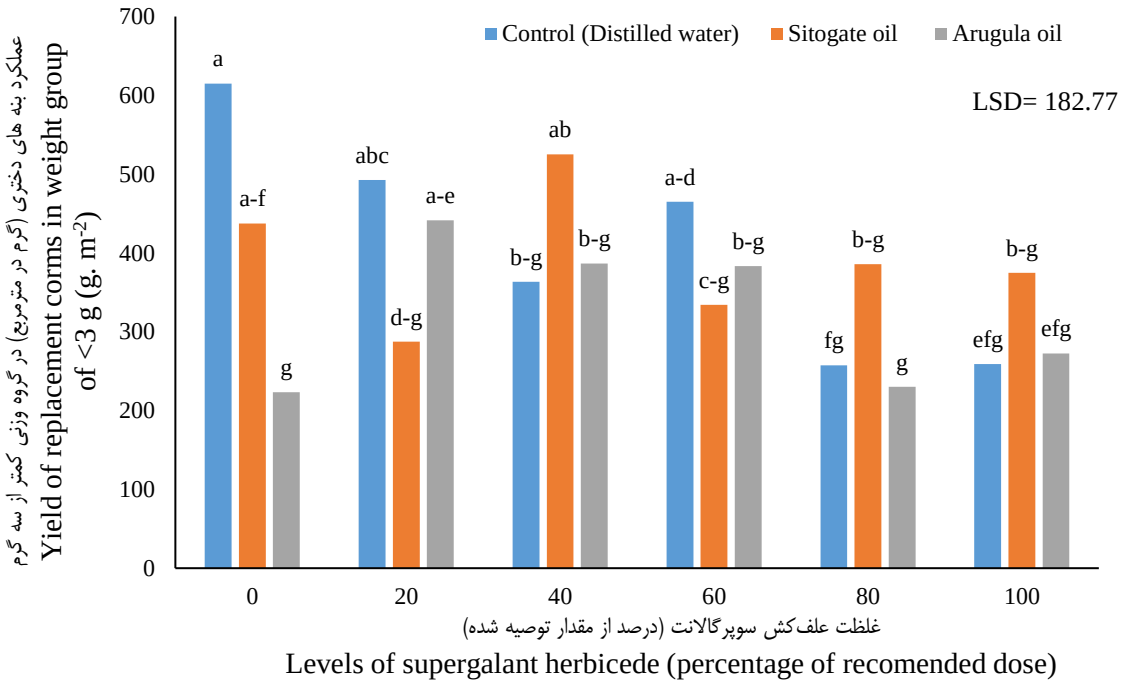
جدول ۱۰. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح کاهش یافته علف‌کش سوپرگالانت در تلفیق با روغن‌های گیاهی و معدنی بر میانگین وزن بنه، وزن خشک کل و نسبت وزن بنه‌های دختری به برگ در زعفران

**Table 10. Analysis of variance (Mean of square) of the effect of reduced levels of super gallant herbicide in combination with natural and mineral oils on the mean weight of replacement corms, total dry weight and corm to leaf weight ratio in saffron**

| منابع تغییرات S.O.V | درجه آزادی d.f | میانگین وزن هر بنه دختری Mean weight of replacement corms | میانگین وزن بنه دختری اصلی Mean weight of main replacement corm | نسبت وزن بنه‌های دختری به برگ Replacement corms to leaves weight ratio | وزن خشک کل (بنه‌های دختری و برگ) Total dry weight (replacement corms and leaves) |
|---|---|---|---|---|---|
| تکرار Replication | 2 | 0.030$^{ns}$ | 0.211$^{ns}$ | 512.72$^{ns}$ | 67510.09$^{ns}$ |
| مصرف روغن (A) Oil application | 2 | 0.133$^{ns}$ | 0.417$^{ns}$ | 119.77$^{ns}$ | 45661.48$^{ns}$ |
| سطوح علفکش (B) Herbicide levels | 5 | 0.028$^{ns}$ | 1.689$^{*}$ | 207.85$^{ns}$ | 44327.25$^{ns}$ |
| اثر متقابل A×B | 10 | 0.149$^{ns}$ | 1.037$^{ns}$ | 157.90$^{ns}$ | 50108.08$^{ns}$ |
| خطا Error | 34 | 0.110 | 19.25 | 173.15 | 44190.49 |
| ضریب تغییرات C.V (%) | - | 28.15 | 25.58 | 55.48 | 24.81 |

* و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و عدم معنی‌دار

* and ns are significant at the 5% probability levels and not significant, respectively.

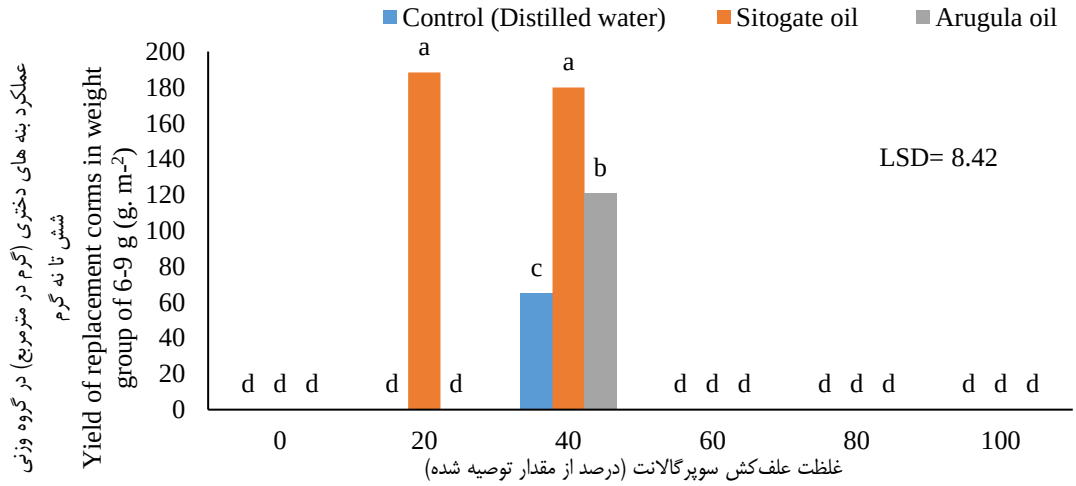



**شکل ۵. اثر متقابل سطوح علف‌کش سوپرگالانت و روغن‌های گیاهی و معدنی بر عملکرد بنه‌های دختری زعفران در گروه وزنی کمتر از ۳ گرم**

**Fig 5. Interaction effect of Super gallant herbicide levels and natural and mineral oils on the yield of replacement corms of saffron in the weight group of lower than 3 g**

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) هستند.

Means with at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level using LSD test.




**شکل ۶. اثر متقابل سطوح علفکش سوپرگالانت و روغن‌های گیاهی و معدنی بر عملکرد بنه‌های دختری زعفران در گروه وزنی ۶ تا ۹ گرم**

**Fig 6. Interaction effect of Supergallant herbicide levels and natural and mineral oils on the yield of replacement corms of saffron in the weight group of 6-9 g**

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) هستند.

Means with at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level using LSD test.

**جدول ۱۱. مقایسه میانگین اثر ساده روغن‌های گیاهی و معدنی بر میانگین وزن بنه، وزن خشک کل و نسبت وزن بنه‌های دختری به برگ در زعفران**

**Table 11. Means comparison of the simple effect of natural and mineral oils on the mean weight of replacement corms, total dry weight and corm to leaf weight ratio in saffron**

| تیمار Treatment | میانگین وزن هر بنه دختری Mean weight of replacement corms (g) | میانگین وزن بنه دختری اصلی Mean weight of main replacement corm (g) | نسبت وزن بنه‌های دختری به برگ Replacement corms to leaves weight ratio | وزن خشک کل (بنه‌های دختری و برگ) Total dry weight (replacement corms and leaves) (g m$^{-2}$) |
|---|---|---|---|---|
| سیتوگیت Sitogate | 1.27$^{a}$ | 3.10$^{a}$ | 25.60$^{a}$ | 882.50$^{a}$ |
| روغن منداب Arugula oil | 1.16$^{a}$ | 2.93$^{a}$ | 24.76$^{a}$ | 789.44$^{a}$ |
| شاهد (آب مقطر) Control (Distilled water) | 1.10$^{a}$ | 2.79$^{a}$ | 20.77$^{a}$ | 869.38$^{a}$ |

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) هستند.
In each column, the means with at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level using LSD test.

**جدول ۱۲. مقایسه میانگین اثر ساده سطوح علف‌کش سوپرگالانت بر میانگین وزن بنه، وزن خشک کل و نسبت وزن بنه‌های دختری به برگ در زعفران**

**Table 12. Means comparison of the simple effect of reduced levels of super gallant herbicide on the mean weight of replacement corms, total dry weight and corm to leaf weight ratio in saffron**

| تیمار (درصد از مقدار توصیه شده) Treatment (Percentage of recommended dose) | میانگین وزن هر بنه دختری Mean weight of replacement corms (g) | میانگین وزن بنه دختری اصلی Mean weight of main replacement corm (g) | نسبت وزن بنه‌های دختری به برگ Replacement corms to leaves weight ratio | وزن خشک کل (بنه‌های دختری و برگ) Total dry weight (replacement corms and leaves) (g m$^{-2}$) |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 1.11$^{a}$ | 2.15$^{b}$ | 16.68$^{a}$ | 769.72$^{a}$ |
| 20 | 1.25$^{a}$ | 2.78$^{ab}$ | 28.88$^{a}$ | 846.11$^{a}$ |
| 40 | 1.24$^{a}$ | 3.07$^{a}$ | 23.48$^{a}$ | 949.72$^{a}$ |
| 60 | 1.18$^{a}$ | 3.12$^{a}$ | 29.18$^{a}$ | 905.28$^{a}$ |
| 80 | 1.14$^{a}$ | 3.11$^{a}$ | 23.40$^{a}$ | 780.14$^{a}$ |
| 100 | 1.15$^{a}$ | 3.39$^{a}$ | 20.65$^{a}$ | 831.67$^{a}$ |

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) هستند.
In each column, the means with at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level using LSD test.

**عملکرد گل و کلاله**

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی و متقابل مصرف مادهٔ افزودنی و سطوح علف‌کش سوپرگالانت بر تمامی شاخص‌های مربوط به گلدهی زعفران شامل تعداد گل، عملکرد گل و عملکرد کلاله معنی‌دار بود (جدول ۱۳). مصرف مواد افزودنی به خصوص سیتوگیت (جدول ۱۴) و نیز کاربرد علف‌کش با غلظت ۲۰ و ۴۰ درصد مقدار توصیه شده (جدول ۱۵) موجب افزایش گلدهی زعفران گردید. بر اساس نتایج اثر متقابل، در شرایط کاربرد سیتوگیت در غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ درصد علف‌کش و در شرایط کاربرد روغن منداب و عدم استفاده از مادهٔ افزودنی در غلظت ۴۰ درصد علف‌کش، گلدهی رخ داد. بیشترین تعداد گل، عملکرد گل و عملکرد کلاله در تیمار ترکیبی کاربرد سیتوگیت به همراه غلظت ۲۰ یا ۴۰ درصد علف‌کش بدست آمد. همچنین در سطح استفاده از ۴۰ درصد مقدار توصیه شدهٔ علف‌کش، کاربرد روغن منداب در مقایسه با عدم کاربرد مادهٔ افزودنی مقادیر تعداد گل، عملکرد گل و عملکرد کلاله را به ترتیب ۹۶/۲، ۱۰۶/۲ و ۱۰۰ درصد افزایش داد (جدول ۱۶).

در آزمایشی مزرعه‌ای مقدار عملکرد گل زعفران در شرایط عدم مصرف علف‌کش و نیز کاربرد سطوح توصیه شده و کاهش یافته علف‌کش سوپرگالانت به‌ترتیب ۴۸/۰، ۴۷/۹ و ۴۵/۴ گرم در مترمربع بود که بین آن‌ها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (Hosseini-Evari et al., 2020 a). در پژوهش بهروان و همکاران (Behravan et al., 2016) مصرف علف‌کش سوپرگالانت در مزرعهٔ زعفران به خصوص در شرایط اختلاط با کود مایع، موجب افزایش نسبی عملکرد کلاله شد، در حالی‌که استفاده از علف‌کش فوکوس بر عملکرد گیاه اثر منفی اعمال کرد. نتایج تحقیق دیگری نشان داد کاربرد مواد افزودنی شامل اسپری‌پلاس، سولفات آمونیوم، سیتوگیت و هیومکس با علف‌کش سوپرگالانت باعث افزایش عملکرد گل و کلاله در مقایسه با تیمار فاقد مواد افزودنی شد (Hosseini-Evari et al., 2021). زارع حسینی و همکاران (Zare Hosseini et al., 2014) گزارش کردند اگرچه علف‌کش سوپرگالانت در مقایسه با تیمار عدم کنترل علف‌های هرز باعث افزایش عملکرد گل و کلالهٔ زعفران شد، ولی در مقایسه با تیمار وجین دستی عملکرد کمتری را تولید نمود. نتایج مشابهی در مورد اثرات مصرف علف‌کش‌های ستوکسیدیم و کلتودیم نیز در مزارع زعفران گزارش شده است (Fallahi et al., 2023 a, b). ارتباط نزدیکی بین مقادیر وزن بنه‌های دختری تولید شده در فصل اول رشد گیاه (پاییز ۱۴۰۲ تا بهار ۱۴۰۳) و گلدهی زعفران در ابتدای فصل دوم رشد گیاه (پاییز ۱۴۰۳) مشاهده شد، بطوریکه تنها در تیمارهایی گلدهی حادث شد که در آن‌ها بنه‌های دختری با وزن ۶ تا ۹ گرم ثبت شده بود (شکل‌های ۳ و ۶).

در سایر تیمارهای آزمایشی بنه‌های دختری وزنی کمتر از ۶ گرم داشتند و از این‌رو فاقد توان گلدهی بودند. در آزمایشی در محیط کنترل شده و بستر بدون خاک گزارش شد که در صورت استفاده از بنه‌های مادری با وزن کمتر از ۴ گرم درصد گلدهی صفر بود و در شرایط استفاده از بنه‌های مادری دارای وزن ۴ تا ۶ گرم نیز فقط حدود ۱۱ درصد بنه‌ها تولید گل نمودند (Fallahi, 2022). انتظار می‌رود این مقدار در محیط طبیعی مزرعه که عوامل نامساعدی مانند مقاومت فیزیکی خاک در برابر خروج گل وجود دارد، به مراتب کاهش یابد (Behdani & Fallahi, 2024). در آزمایش کنونی، محدودیت فضای گلدان و همینطور تکثیر بیش از حد بنه‌های دختری (شکل ۴) باعث کاهش شدید میانگین وزن بنه‌ها (جدول ۱۲) و تولید بنه‌های فاقد توان گلدهی شد. بنابراین، ارزیابی دقیق پاسخ گلدهی زعفران به سطوح علف‌کش سوپرگالانت و کاربرد مواد افزودنی مستلزم اجرای آزمایشات مزرعه‌ای است.

**جدول ۱۳. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح کاهش یافته علف‌کش سوپرگالانت در تلفیق با روغن‌های گیاهی و معدنی بر گلدهی زعفران**

**Table 13. Analysis of variance (Mean of square) of the effect of reduced levels of super gallant herbicide in combination with natural and mineral oils on the flowering of saffron**

| منابع تغییرات<br>S.O.V | درجه آزادی<br>D.F | تعداد گل<br>Number of flowers | عملکرد گل تر<br>Fresh flower yield | عملکرد کلاله خشک<br>Dry stigma yield |
|---|---|---|---|---|
| تکرار<br>Replication | 2 | 2.05$^{ns}$ | 0.22$^{ns}$ | 0.00004$^{ns}$ |
| مصرف روغن (A)<br>Oil application | 2 | 95.55$^{**}$ | 10.28$^{**}$ | 0.00154$^{**}$ |
| سطوح علفکش (B)<br>Herbicide levels | 5 | 179.20$^{**}$ | 17.80$^{**}$ | 0.00293$^{**}$ |
| اثر متقابل<br>A×B | 10 | 48.35$^{**}$ | 4.94$^{**}$ | 0.00076$^{**}$ |
| خطا<br>Error | 34 | 2.33 | 0.18 | 0.00003 |
| ضریب تغییرات<br>C.V. (%) | - | 57.24 | 50.66 | 54.68 |

** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و عدم معنی‌دار

** and ns are significant at the 1% probability levels and not significant, respectively.

جدول ۱۴. مقایسه میانگین اثر ساده روغن‌های گیاهی و معدنی بر گلدهی زعفران

**Table 14. means comparison of the simple effect of natural and mineral oils on the flowering of saffron**

| تیمار<br>Treatment | تعداد گل<br>Number of flowers (No. $m^{-2}$) | عملکرد گل تر<br>Fresh flower yield (g $m^{-2}$) | عملکرد کلاله خشک<br>Dry stigma yield (g $m^{-2}$) |
|---|---|---|---|
| سیتوگیت<br>Sitogate | 5.33a | 1.70a | 0.0212a |
| روغن منداب<br>Arugula oil | 1.77b | 0.55b | 0.0073b |
| شاهد (آب مقطر)<br>Control (Distilled water) | 0.88b | 0.27b | 0.0036b |

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD هستند.

In each column, the means with at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level using LSD test

جدول ۱۵. مقایسه میانگین اثر ساده سطوح علف‌کش سوپرگالانت بر گلدهی زعفران

**Table 15. means comparison of the simple effect of reduced levels of super gallant herbicide on the flowering saffron**

| تیمار (درصد از مقدار توصیه شده)<br>Treatment (Percentage of recommended dose) | تعداد گل<br>Number of flowers (No. $m^{-2}$) | عملکرد گل تر<br>Fresh flower yield (g $m^{-2}$) | عملکرد کلاله خشک<br>Dry stigma yield (g $m^{-2}$) |
|---|---|---|---|
| 0 | $0.00^{c}$ | $0.00^{c}$ | $0.00^{c}$ |
| 20 | $5.33^{b}$ | $1.70^{b}$ | $0.021^{b}$ |
| 40 | $10.67^{a}$ | $3.35^{a}$ | $0.043^{a}$ |
| 60 | $0.00^{c}$ | $0.00^{c}$ | $0.00^{c}$ |
| 80 | $0.00^{c}$ | $0.00^{c}$ | $0.00^{c}$ |
| 100 | $0.00^{c}$ | $0.00^{c}$ | $0.00^{c}$ |

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) هستند.

In each column, the means with at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level using LSD test.

مساحت هر گلدان ۴۰۰ سانتی‌مترمربع بود، بنابراین برای تبدیل اعداد عملکرد به واحد گرم در گلدان، اعداد بر ۲۵ تقسیم شود.

The area of each pot was 400 $cm^2$, so to convert the yields to g per pot, divide the yield numbers by 25.

جدول ۱۶. نتایج مقایسات میانگین مربوط به اثر متقابل سطوح کاهش یافته علفکش سوپرگالانت در تلفیق با روغن‌های گیاهی و معدنی بر گلدهی زعفران

**Table 16. Means comparison of the interaction effect of reduced levels of super gallant herbicide in combination with natural and mineral oils on the flowering of saffron**

| نوع روغن<br>Oil type | سطوح علفکش (درصد از مقدار توصیه شده)<br>Herbicide levels (Percentage of recommended dose) | تعداد گل<br>Number of flower (No. $m^{-2}$) | عملکرد گل تر<br>Fresh flower yield (g $m^{-2}$) | عملکرد کلاله خشک<br>Dry stigma yield (g $m^{-2}$) |
|---|---|---|---|---|
| ستوگیت<br>Sitogate | 0 | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ |
| | 20 | $16.0^{a}$ | $5.1^{a}$ | $0.064^{a}$ |
| | 40 | $16.0^{a}$ | $5.1^{a}$ | $0.063^{a}$ |
| | 60 | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ |
| | 80 | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ |
| | 100 | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ |
| روغن منداب<br>Arugula oil | 0 | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ |
| | 20 | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ |
| | 40 | $10.6^{b}$ | $3.3^{b}$ | $0.044^{b}$ |
| | 60 | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ |
| | 80 | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ |
| | 100 | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ |
| شاهد (آب مقطر)<br>Control | 0 | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ |
| | 20 | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ |
| | 40 | $5.4^{c}$ | $1.6^{c}$ | $0.022^{c}$ |
| | 60 | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ |
| | 80 | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ |
| | 100 | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ | $0.0^{d}$ |

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) هستند.

In each column, the means with at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level using LSD test.

## نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان داد کارایی کوانتومی فتوسیستم دو در گیاه زعفران از مصرف سطوح مختلف علف‌کش سوپرگالانت و مواد افزودنی (سیتوگیت و روعن منداب) اثر منفی نپذیرفت. از طرفی فاکتورهای آزمایشی بر بیشتر مؤلفه‌های رشدی اندام هوایی (تعداد و طول برگ-ها) گیاه اثر بازدارنده نداشتند و با اثرگذاری بر تسهیم مواد فتوسنتزی باعث کاهش وزن برگ‌ها در انتهای فصل رشد و افزایش بنه‌های دختری درشت شدند که پیامد آن افزایش گلدهی در همین تیمارها بود. تکثیر بیش از اندازهٔ بنه‌های دختری در محیط گلدان، باعث کاهش متوسط وزن بنه‌ها و عدم وقوع گلدهی در بسیاری از تیمارهای آزمایشی شد. در مجموع، بنظر می‌رسد علف‌کش سوپرگالانت به عنوان یکی از رایج‌ترین علف‌کش‌های مورد استفاده در مزارع زعفران، فاقد اثرات منفی بر گیاه زعفران است. با این وجود، درک پاسخ دقیق گیاه زعفران به عوامل آزمایشی نیازمند تکرار این مطالعه در محیط مزرعه می‌باشد.

## قدردانی

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی (پایان‌نامه کارشناسی ارشد) به شماره ابلاغیه ۱۰۶۹۲ مورخ ۱۴۰۲/۰۷/۱۶ و با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه بیرجند انجام شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع

Abbaspoor, M. (2017). Chemical weed control in saffron (*Crocus sativus*) Fields. *Journal of Plant Protection*, 31(3), 409-419

Aghhavani-Shajari, M., Rezvani Moghaddam, P., Ghorbani, R., & Koocheki, A.R. (2017). Effects of cover crops on weeds population, agronomic characteristics, flower and corm yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy & Technology*, 5(1), 3-19. [In Persian].

Avarseji, Z., & Mohammadvand, E. (2018). Studying the effect of mesosulfuron methyl + iodosulfuron methyl on chlorophyll fluorescence parameters of *Phalaris minor*. *Journal of Plant Productions*, 41(3), 63-72. [In Persian with English Summary].

Behdani, M.A., & Fallahi, H.R. (2024). Saffron: Technical Knowledge Based on Research Approaches. University of Birjand Press. Second Edition. [In Persian]

Behravan, R., Eslami, S.V., Behdani, M.A., & Zand, E. (2016). Evaluation of mixing some ACCase inhibitor herbicides with liquid fertilizer PROLEX on growth characteristics and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research*, 4(1), 42-52. [In Persian].

Dehghan, Z., & Khara, J. (2021). AcetylCoA carboxylase and antioxidant enzymes activity of sunflower under influence of Super Gallant herbicide by magnetic water. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 11(5), 3847-3854.

Fallahi, H.R., Alami, S., Behdani, M.A., & Aghhavani Shajari, M. (2015). Evaluation of local and scientific knowledge in saffron agronomy (Case study: Sarayan). *Journal of Saffron Research*, 3(1), 31-50. [In Persian].

Fallahi, H.R. (2022). Evaluation of flowering potential of saffron corms in different weight groups under hydroponic conditions. *Journal of Saffron Research*, 10(2), 331-344. [In Persian].

Fallahi, H.R., Behdani, M.A., Hammami, H., Hosseini, S.A.H., Rezghi, M., & Aghhavani-Shajari, M. (2023a). Impact of ACCase inhibitor herbicides on saffron (*Crocus sativus* L.) yield. 10th National Congress on Medicinal Plants. 12 & 13 July, Urmia, Iran. p6.

Fallahi, H.R., Behdani, M.A., Hammami, H., Hosseini, S.A.H., & Hosseini, S.M. (2023b). Effect of weed management practices on weed population and saffron flowering. 10th National Congress on Medicinal Plants. 12 & 13 July, Urmia, Iran. p7.

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].

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].

Hammami, H., Rashed Mohassel, M.H., & Aliverdi, A. (2011). Surfactant and rainfall influenced clodinafop-propargyl efficacy to control wild oat (*Avena ludoviciana* Durieu.). *Australian Journal of Crop Science*, 5(1), 39-43.

Hammami, H., Aliverdi, A., & Parsa, M. (2014a). 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.

Hammami, H., Mohassel, M. H. R., Parsa, M., Bannayan-aval, M., & E, Zand. (2014b). Behavior of sethoxydim alone or in combination with turnip oils on chlorophyll fluorescence parameter. *Notulae Scientia Biologicae*, 6(1), 112-118.

Hammami, H., Aliverdi, A., & Parsa, M. (2015). Evaluating the effect of recommended and optimized doses of haloxyfop-R-methyl ester on biological properties soybean-*Bradyrhizobium japonicum* symbiosis. The 6th Iranian Weed Science Conference. 1-3 September, Birjand, Iran, [In Persian].

Hosseini-Evari, Z., Izadi Darbandi, E., Kafi, M., & Makarian, H. (2020 a). Saffron *Crocus sativus* L. tolerance to some herbicides. *Journal of Crop Protection*, 9(4), 721-731.

Hosseini-Evari, Z., Izadi Darbandi, E., Kafi, M., & Makarian, H. (2020 b). 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. [In Persian].

Hosseini-Evari, Z., Izadi Darbandi, E., Kafi, M., & Makarian, H. (2021). 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].

Izadi-Darbandi, E., Aliverdi, A., Anabestani, M., & Shamsabadi, A. (2019). Adjuvants to improve phenmedipham+ desmedipham+ ethofumesate efficacy against weeds in sugar beet (*Beta vulgaris*). *Planta daninha*, 37, e019185430.

Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., Aghhavani-Shajari, M., & Fallahi, H.R. (2019). Corm weight or number per unit of land: which one is more effective when planting corm, based on the age of the field from which corms were selected? *Industrial Crops and Products*, 131, 78-84.

Rashed Mohassel, M. H., Aliverdi, A., Hamami, 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(1), 57-63.

Sadrabadi Haghighi, R., & Ghanad Tosi, 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].

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].

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].