Journal of Saffron Research (semi-annual)
Vol.11, No.1, Spring & Summer, 2023
p. 94-107
http://dx.doi.org/10.22077/JSR.2023.6170.1209

University of Birjand

Original Article

Comparison of Flowering and Color Parameters of Saffron Stigma Obtained from Hydroponic and Open-Field Production Systems

Hamid-Reza Fallahi[1]*, Mahsa Aghhavani-Shajari[2], Mehri Sabahi-Bajestani[3], Mahsa Meysamizadeh[4], Narges Ziba[5], Mohaddeseh Abgarmi[6], Sajjad Moradi-Moghaddam[7], Soheyla Abbasi-Avval Bohlooli[8], Seyyed Amir-Hossein Hosseini[9]

1- Associate Professor, Plant and Environmental Stresses Research Group, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
2- Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
3, 4, 5, 6 & 8- B.Sc. Student in Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
7- M.Sc. in Agroecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand; Expert in Land Affairs Management of Zirkoh Agricultural Jihad, South Khorasan Province Agricultural Jihad Organization, Zirkoh, Iran.
9- M.Sc. Student in Seed Science and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran.
*Corresponding Author Email: *hamidreza.fallahi@birjand.ac.ir*

Received 26 February 2023; Accepted 22 May 2023

Extended Abstract

Introduction: The common method of traditional saffron production is its production under open-field conditions. Recently, due to climate change outcomes attention has been paid to its production under controlled conditions (hydroponic and aeroponics). In the last two decades, decrease in precipitation, increase in temperature during flower initiation phase and consequently the abortion of some initiated flowers, delay in supplying the proper temperature for flower emergence in autumn, poor soils quality which renders difficulty the flower emergence; have led to the decline in the flowering capacity of saffron in several countries under natural conditions, progressively. Accordingly, its hydroponic production could represent a possible solution for reducing the above-mentioned problems, due to the lack of soil, the proper temperature levels, and providing appropriate water availability in this production system (Behdani & Fallahi, 2015; Aghhavani-Shajari et al., 2021). In addition, under open-field condition, the flowering period of saffron lasts for about three weeks, and during this period of time, high labor is required. To solve this problem, it is possible to extend the corms pseudo-dormancy stage and the flowering phase by using the hydroponic systems, with a controlled environment. In saffron hydroponic planting systems, the amount of water consumption is reduced considerably which is important in dry regions. In addition, flower harvesting in hydroponic system is faster, cheaper, and cleaner, because environmental factors such as wind, dust, and frost, have no effect on flowers (Behdani & Fallahi, 2015; Aghhavani-Shajari et al., 2021; Fallahi et al., 2021a). However, it is

necessary to compare the two systems of open-field and hydroponics in terms of the amount of flowering and the quality of the produced stigma.

Materials and Methods: To compare the effect of saffron corm planting systems (including 1- under controlled environment (hydroponic) and, 2- open-field environment), on flowering indices and stigma color parameters (Hunter lab color scale), an experiment was conducted in the research field and horticultural physiology laboratory of Faculty of Agriculture, University of Birjand, during 2019, with four replications. In open-field treatment, the corms were planted in soil at a depth of 10 cm and density of 100 corms per m^2, while in the hydroponic system corms were planted in trays (30×40 cm, 100 corms per tray) and were transferred to incubator (temperature: 15 ^oC, relative humidity: 75%, 8 hours light, 16 hours darkness). In this experiment, the traits of flower number, flowering rate, flower yield, mean flower weight, flower length, style length, stigma length, dry yield of stigma and petal, anther yield, and Hunter's color indices including brightness (L), redness (a) and yellowness (b) of saffron stigma were measured. The two planting systems were compared using t-student test, by SAS, 9.2.

Results and Discussion: The results of analysis of variance showed that there was a significant different between two experimental treatments, in terms of the most studied traits. Based on the mean comparison results, there was no difference between production systems for the number and yield of flowers. However, the maximum flowering rate (5.82 flowers day^{-1}) and the mean flower weight (0.34 g) were obtained in the hydroponics system. Also, planting corms under controlled conditions resulted in the maximum length of flower, style and stigma (7.38, 4.40 and 2.49 cm, respectively). In addition, the highest dry yield of saffron stigma was obtained in the controlled environment, so that this treatment was superior by almost 14% compared to the open-field environment. This finding is similar to those reported previously by Maggio et al., (2006), Aghhavani-Shajar et al., (2021) and Khan et al., (2022). The comparison of the color parameters between the two studied treatments showed that the maximum brightness (*L*) and redness (*a*) of the stigma (57.52 and 15.41, respectively) were observed in the hydroponic system. In a similar study, it was reported that stigmas obtained from soil less production system had higher *L* and crocin values, while safranal content was significantly lower in comparison to traditional production system (open-field), which means that stigma produced under open-field was some darker in appearance but had a higher aroma (Aghhavani-shajari et al., 2021).

Conclusion: In general, corm planting in a controlled environment increased stigma yield and improved partially stigma colorimetric parameters.

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

Keywords: Hunter's color parameters, Stigma, Flowering, Hydroponics, Soilless planting system.

نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)
جلد یازدهم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۲
شماره صفحه: ۱۰۷-۹۴
http://dx.doi.org/10.22077/JSR.2023.6170.1209

مقاله پژوهشی

مقایسه گلدهی و شاخص‌های رنگ کلالهٔ زعفران (*Crocus sativus* L.) بین دو سیستم کاشت هیدروپونیک و مزرعه‌ای

حمیدرضا فلاحی[۱*]، مهسا اقحوانی شجری[۲]، مهری صباحی بجستانی[۳]، مهسا میثمی‌زاده[۴]، نرگس زیبا[۵]، محدثه آبگرمی[۶]، سجاد مرادی‌مقدم[۷]، سهیلا عباسی اول بهلولی[۸]، سید امیرحسین حسینی[۹]

۱- دانشیار، گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۲- گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۳، ۴، ۵، ۶ و ۸- دانشجوی کارشناسی مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۷- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، کارشناس امور اراضی مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان زیرکوه، سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان جنوبی، زیرکوه، ایران.

۹- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۱

چکیده

به منظور مقایسه اثر کاشت بنه زعفران در محیط کنترل شده (هیدروپونیک) و محیط مزرعه (بستر خاک) بر پارامترهای گلدهی و شاخص‌های رنگ کلاله، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاه فیزیولوژی باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند در سال ۱۳۹۹ با چهار تکرار انجام شد. در این آزمایش صفات تعداد گل، سرعت گلدهی، عملکرد گل، متوسط وزن گل، طول گل، طول خامه، طول کلاله، عملکرد خشک کلاله و گلبرگ، عملکرد پرچم (خامه + کلاله) و نیز شاخص‌های رنگ هانتر شامل میزان روشنایی (*L*)، قرمزی (*a*) و زردی (*b*) کلاله زعفران اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین از نظر تعداد و عملکرد گل بین دو تیمار تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، ولی حداکثر سرعت گلدهی (۵/۸۲ گل بر روز) و متوسط وزن گل (۰/۳۴ گرم) در شرایط کاشت بنه زعفران در محیط کنترل شده بدست آمد. همچنین، کاشت بنه در شرایط کنترل شده موجب حصول بیشترین طول گل، خامه و کلاله زعفران (به ترتیب ۷/۳۸، ۴/۴۰ و ۲/۴۹ سانتی‌متر) گردید. بیشترین عملکرد خشک کلاله زعفران نیز در شرایط کشت بنه در محیط کنترل شده بدست آمد، به‌طوری‌که این تیمار تقریباً به میزان ۱۴ درصد در مقایسه با تیمار کاشت بنه در مزرعه برتری داشت. مقایسه پارامترهای رنگی بین دو تیمار مورد مطالعه بیانگر آن بود که حداکثر روشنایی و قرمزی کلاله (به‌ترتیب ۵۷/۵۲ و ۱۵/۴۱) در شرایط کنترل شده مشاهده شد. در مجموع، کاشت بنه در محیط کنترل شده موجب افزایش عملکرد کلاله و بهبود نسبی خصوصیات رنگ‌سنجی کلاله شد.

واژه‌های کلیدی: آبکشت، شاخص‌های رنگ هانتر، کلاله، کشت بدون خاک، گلدهی.

مقدمه

گیاه دارویی زعفران (*Crocus sativus* L.) به دلیل کارکردهای بوم‌شناختی، اقتصادی و اجتماعیِ خاص خود، گیاهی راهبردی در بخش قابل توجهی از ایران به شمار می‌رود. این گیاه از نظر گیاه‌شناسی چرخه زندگی خود را در یک‌سال تمام می‌کند، اما در شرایط زراعی به‌عنوان محصولی چندساله مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد (Behdani & Fallahi, 2015). در طبیعت طول دورهٔ گلدهی زعفران حدود سه هفته طول می‌کشد و در این مدتِ محدود زمانی حجم وسیعی از کار پیش می‌آید. برای کاستن از فشار کاری و نیاز کارگری بالا در این فاصلهٔ زمانیِ کوتاه، می‌توان طولانی کردن دورهٔ خواب ظاهری و به تأخیر انداختن زمان گلدهی زعفران را با استفاده از روش کاشت هیدروپونیک (آبکشت) در محیط کنترل‌شده مورد توجه قرار داد (Sadeghi, 2013; Fallahi et al., 2021a). در سیستم‌های کاشت هیدروپونیک زعفران، میزان مصرف آب در مقایسه با زراعت این گیاه در مزرعه حدود ده برابر کاهش پیدا می‌کند (Sadeghi, 2013). این موضوع با توجه به کاهش منابع آب در کشور می‌تواند پراهمیت ارزیابی شود. افزون بر این، جمع‌آوری محصول در این روش سریع‌تر و ارزان‌تر بوده و مشکل قرارگیری زعفران در معرض عوامل محیطی مانند باد، گرد و غبار و سرمازدگی و به‌تبعِ آن کاهش کیفیت محصول نیز رفع می‌گردد (Sadeghi, 2013; Aghhavani-Shajari et al., 2021; Ebrahimi et al., 2021). افزون بر این، در برخی مناطق وقوع تغییرات اقلیمی به خصوص افزایش دما، بر توان گلدهی زعفران در طبیعت اثر گذاشته است و سیستم‌های هیدروپونیک می‌توانند در این شرایط نیز سودمند باشند (Kour et al., 2022). با وجود اینکه تاکنون امکان‌پذیریِ تولید زعفران در فضای بسته و افزایش کمیت تولید در این شیوه در مطالعات علمی مورد تأیید قرار گرفته است (Molina et al., 2005; Alonso et al., 2012; Sadeghi, 2013; Mollafilabi, 2014; Aghhavani-Shajari et al., 2021)، اما ابهامات متعددی مانند توجیه اقتصادی، کیفیت محصول تولیدی و یا تداوم رشد بنه‌های دختری پس از اتمام گلدهی، در خصوص این شیوهٔ تولیدی وجود دارد (Behdani & Fallahi, 2015; Fallahi et al., 2020).

تاکنون در برخی پژوهش‌های علمی به موضوع تولید زعفران در محیط کنترل شده و نیازهای اکولوژیکی گیاه در این محیط توجه شده است. در همین ارتباط مولینا و همکاران (Molina et al., 2004) در پژوهشی گزارش کردند که طول دورهٔ انکوباسیون بنه‌های زعفران در طی دورهٔ گل‌انگیزی بر میزان گلدهیِ این گیاه اثر قابل توجهی دارد. در تحقیق دیگری گزارش شد که انکوباسیون بنه در دمای ۲۳ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد به مدت بیش از ۵۰ روز برای دوره گل‌انگیزی زعفران مناسب است؛ هر چند که دوره انکوباسیون بیش از ۱۵۰ روز منجر به سقط گل‌ها شد (Molina et al., 2005). نتایج ملافیلابی (Mollafilabi, 2014) نشان داد که برای کاشت هیدروپونیک زعفران بهتر است بنه‌ها در نیمه دوم خردادماه از خاک خارج شده و برای این منظور از بنه‌های با وزن بیش از ۱۰ گرم استفاده شود. وی مدت زمان بهینهٔ نگهداری بنه‌ها در دمای القایی (انکوباسیون) در طی دورهٔ گل‌انگیزی را ۸۵ تا ۹۰ روز بیان کرد. صادقی (Sadeghi, 2013) در پژوهشی بیان داشت جابجایی بنه‌ها پس از نیمهٔ مرداد ماه، بر گلدهی بنه‌ها تأثیر منفی دارد. علاوه بر این، نتایج آزمایش مذکور نشان داد، طول دوره انکوباسیون نباید از ۵۵ روز کمتر و از ۱۵۰ روز بیشتر شود. سورت و ویسرز (Souret & Weathers, 2000) در پژوهشی رشد گیاه و عملکرد کمی و کیفی زعفران را در سه نوع محیط کاشت شامل هواکشت، آبکشت و خاک را مورد بررسی قرار داده و دریافتند که میزان تولید کلاله و نیز مقدار ترکیبات کیفی مهمِ موجود در کلاله زعفران در سه سیستم کاشت تقریباً مشابه بود. ماگیو و همکاران (Maggio et al., 2006) نیز گزارش کردند که کاشت زعفران در گلخانه و اتاقک رشد با محیط کنترل شده میزان گلدهی گیاه را در مقایسه با شرایط مزرعه‌ای دو برابر کرد. این موضوع توسط مولینا و همکاران (Molina et al., 2010) و آلونسو و همکاران (Alonso et al., 2012) نیز مورد تأیید قرار گرفته است.

در تحقیق دیگری روی زعفران گزارش شد که نوع سیستم هیدروپونیک می‌تواند رشد، فتوسنتز و تولید بنه‌های دختری زعفران را تحت تأثیر قرار دهد و از این

نظر سیستم غوطه‌وری[1](تماس دایم گیاهچهٔ زعفران با محلول غذایی) در مقایسه با سیستم جزر و مدی[2](در هر روز شش مرتبه تماس گیاهچه با محلول غذایی و در هر بار به مدت ۱ یا ۲ ساعت) دارای مزیت بود (Dewir et al., 2022). در مطالعات دیگری نیز نقش عوامل محیطی به خصوص کیفیت نور بر کمیت و کیفیت کلالهٔ زعفران تولید شده در شرایط هیدروپونیک مؤثر گزارش شده است (Moradi et al., 2021; Moradi et al., 2022; Eftekhari et al., 2023). یافته‌های تحقیق دیگری حاکی از آن است که کیفیت کلالهٔ زعفران در شرایط کنترل شده در مقایسه با محصول تولید شده در محیط مزرعه بیشتر بود (Khan et al., 2022). نتایج پژوهشی نشان داد درصد بنه‌های گل-دهنده در محیط کنترل شده و در طی دو سال اجرای تحقیق به ترتیب ۳۹ و ۶۵ درصد و در شرایط کشت مزرعه‌ای به‌ترتیب ۶ و ۵۶ درصد بود. همچنین، صفات زایشی مانند طول و وزن گل، طول کلاله و عملکرد گل، کلاله و گلبرگ در شرایط کشت در محیط کنترل شده به طور معنی‌داری بیشتر از کشت در محیط طبیعی بود (Fallahi et al., 2021a).

بهبود گلدهی زعفران در محیط کنترل شده علاوه بر تأمین مناسب نیازهای اکولوژیکی خصوصاً دما، به حذف مقاومت فیزیکی بستر کاشت مرتبط می‌باشد (Fallahi et al., 2021b). در محدود مطالعات پیشین مربوط به مقایسه گلدهی زعفران بین دو سیستم مزرعه‌ای و کنترل‌شده مقاومت فیزیکی خاک در برابر خروج گل‌ها به عنوان یکی از عوامل بسیار مهم در کاهش گلدهی بنه در محیط مزرعه گزارش شده است (Aghhavani-Shajari et al., 2021). از این رو، در این پژوهش با کاهش عمق کاشت و اصلاح خصوصیات خاک از طریق افزایش مادهٔ آلی و سبک‌تر کردن بافت خاک سعی شد تا حدودی مقاومت فیزیکی بر سر خروج گل‌ها از خاک کاهش داده شود تا نقش عوامل اکولوژیکی خصوصاً کنترل دما (در محیط کنترل‌شده) بر گلدهی زعفران با دقت بیشتری مشخص گردد. بنابراین، هدف از اجرای این آزمایش مقایسه میزان گلدهی و خصوصیات ظاهری کلاله زعفران بین دو سیستم کشت مزرعه‌ای و هیدروپونیک در شرایط کاهش مقاومت فیزیکی بستر کاشت در محیط طبیعی (مزرعه) بود.

مواد و روش‌ها

مکان و زمان اجرای آزمایش

این پژوهش در پاییز سال ۱۳۹۹ در آزمایشگاه فیزیولوژی باغبانی و مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند صورت گرفت. شهر بیرجند در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۲ دقیقه شرقی قرار گرفته و حدود ۱۴۹۱ متر از سطح دریا ارتفاع دارد.

تیمارهای آزمایش

در این تحقیق دو تیمار کاشتِ بنهٔ زعفران در مزرعه (محیط طبیعی و در بستر خاک) و کاشت بنه در محیط کنترل شده (هیدروپونیک، بدون بستر کاشت) هر کدام در چهار تکرار از نظر گلدهی و خصوصیات ظاهری کلاله مورد مقایسه قرار گرفت. در هر دو محیطِ مورد بررسی هر تکرار حاوی ۱۰۰ بنهٔ مادری با وزن ۸ تا ۱۲ گرم بود، با این تفاوت که در محیط مزرعه بنه‌ها در بستر خاک کاشت شد، ولی در محیط تحت کنترل از سینی‌های کاشت استفاده شد که در آن بنه‌ها با تراکم زیاد و بدون فاصله در کنار هم چیده شد. خصوصیات خاک مورد استفاده برای سیستم کاشت بنه در محیط مزرعه در جدول ۱ ارایه شده است.

عملیات زراعی

در سیستم کاشت بنه در محیط طبیعی (خاک مزرعه)، بنه‌ها در تاریخ چهارم آبان‌ماه در بستر خاک در عمق ۱۰ سانتی‌متر و فاصله بین و روی ردیفیِ ۱۰ سانتی‌متر کشت شدند (۱۰۰ بنه در مترمربع). با هدف کاهش اثر مقاومت فیزیکی خاک در مسیر خروج گل‌ها، بنه‌های زعفران در عمق کم کشت شدند (Fallahi et al., 2021a). جهت کمک به این هدف، کاشت بنه‌ها در خاک دارای بافت سبک با محتوای مادهٔ آلی نسبتاً مناسب (جدول ۱) صورت گرفت. بدین وسیله اثر مقاومت فیزیکی خاک در مقایسه گلدهی دو سیستم به حداقل کاهش یافت و اثر فراهمی مناسب شرایط اکولوژیکی به‌خصوص دما در محیط کنترل شده (۱۵ درجهٔ سانتی‌گراد که منطبق بر نیاز مرحلهٔ گلدهی است،

1 - Continuous immersion system
2- Ebb-and-flow system

در مقایسه با دمای محیط طبیعی برای کشت مزرعه-ای)، بر اختلاف میزان گلدهی دو سیستم به شکل دقیق‌تری مورد بررسی قرار گرفت.

در سیستم کاشت هیدروپونیک، بنه‌ها در سینی‌های کاشت با ابعاد ۴۰×۳۰ سانتی‌متر چیده شده (۱۰۰ بنه در هر سینی) و در داخل انکوباتور قرار گرفتند. در کف سینی‌های کاشت جهت نگهداری مناسب رطوبت از یک اسفنج استفاده شد. همزمان با سرد شدن دمای هوا و مساعد شدن شرایط برای گلدهیِ بنه‌ها در مزرعه (اواسط آبان)، شرایط نوری، دمایی و رطوبتی برای وقوع گلدهی در محیط تحت کنترل (انکوباتور) فراهم شد. برای این منظور از دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی حدود ۷۵ درصد استفاده شد. فراهمی نور نیز به صورت ۸ ساعت نور و ۱۶ ساعت تاریکی بود (Mollafilabi, 2014). در این محیط آبیاری روزانهٔ سینی‌های کاشت به‌صورت دستی با استفاده از اسپری انجام شد و برای این منظور به طور متناوب از آب مقطر و محلول غذایی حاوی عناصر ارایه شده در جدول ۲، استفاده شد.

صفات اندازه‌گیری شده

در طی دورهٔ گلدهی (۲۰ آبان تا ۱۰ آذرماه)، برداشت گل‌ها به طور روزانه در هر دو محیط کاشت صورت گرفت و در ادامه صفاتی مانند تعداد گل، عملکرد گل، متوسط وزن گل (عملکرد گل تقسیم بر تعداد گل)، طول گل، طول کلاله و طول خامه مورد سنجش قرار گرفت. هر روز طول تمام گل‌های برداشت شده و نیز طول کلاله و خامه (پس از جداسازی دستی اجزای مختلف گل از یکدیگر) برای تمامی گل‌ها با خط‌کش اندازه‌گیری شد و در پایان دورهٔ گلدهی، میانگین طول هر یک از اجزاء، محاسبه شد. همچنین، جهت محاسبه سرعت گلدهی از معادلهٔ ۱ استفاده شد (Koocheki et al., 2016) که در آن، FR: سرعت گلدهی، NFA: تعداد گل ظاهر شده در روز n ام، DHID: فاصله روز n ام از روز آبیاری و n شماره روز می‌باشد.

$$FR = \sum_{i=1}^{n} \frac{NFA}{DHID} \qquad \text{معادلهٔ (۱)}$$

پس از برداشت‌گل‌ها، کلاله‌ها به‌عنوان اصلی‌ترین جزء گل و نیز گلبرگ و پرچم به‌عنوان اجزای فرعی گل که می‌توانند در صنایع غذایی و دارویی مورد استفاده باشند (Askary et al., 2023) بطور جداگانه در سایه و در دمای آزمایشگاه (حدود ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد) خشک شدند و در انتهای دورهٔ گلدهی وزن آن‌ها با ترازوی ۰/۰۱ تعیین و به‌عنوان عملکرد هر یک از این اجزاء گزارش شد.

جدول ۱. خصوصیات خاک مورد استفاده برای تیمار کاشت بنه در بستر خاک در محیط طبیعی (مزرعه).

Table 1. Soil properties used for corm planting is soil, under natural condition.

درصد اشباع Saturation percentage	واکنش خاک pH	هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})	نیتروژن Nitrogen (%)	فسفر P (ppm)	پتاسیم K_{ava} (ppm)
22	7.7	1.46	0.035	8	340
وزن مخصوص ظاهری **Bulk density (g cm^3)**	**ماده آلی** **Organic matter (%)**	**شن** **Sand (%)**	**سیلت** **Silt (%)**	**رس** **Clay (%)**	**بافت خاک** **Soil texture**
1.57	0.7	64	28	8	شنی لومی Sandy loam

جدول ۲.خصوصیات کود مورد استفاده (با نام تجاری تاباک ساخت شرکت آریا شیمی) در تیمار کاشت بنه در محیط بدون خاک در شرایط کنترل شده.

Table 2. The characteristics of ®Tabak fertilizer (produced by AriaShimi Co.) used for soilless treatment under controlled condition.

نیتروژن N	فسفر P_2O_5	پتاسیم K_2O	آهن Fe	روی Zn	منگنز Mn	مس Cu	بور B
%							
19	19	19	0.2	0.1	0.1	0.07	0.03

پارامترهای مربوط به رنگ کلاله‌های خشک‌شده با استفاده از رنگ‌سنج (TES 135, Shenzhen Youfu Tools Co., Ltd., Taiwan) مورد سنجش قرار گرفت. نتایج به‌صورت شاخص‌های رنگ هانتر[1] (L = روشنایی[2]، a= نماد سبزی تا قرمزی وb = نماد آبی تا زردی) بیان شد (Aghhavani-Shajari & Rezvani-Moghaddam, 2022). شاخص L نماد روشنایی رنگ است و از صفر برای رنگ سیاه تا ۱۰۰ برای رنگ سفید متغیر می‌باشد. حوزه تغییرات نماد a از مقادیر- برای رنگ سبز تا + برای رنگ قرمز (از ۶۰+ برای قرمز تا ۶۰- برای سبز) و نماد b از مقادیر- برای رنگ آبی تا + برای رنگ زرد (از ۶۰+ برای زرد تا ۶۰- برای آبی) تعیین شده است (Kortei et al., 2015; Khayyat et al., 2018; Fallahi et al., 2021a).

آنالیز آماری

آنالیز آماریِ داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 صورت گرفت. با توجه به محدود بودن تعداد تیمارها و جهت پرهیز از کاهش درجه آزادی خطای آزمایش، مقایسه تیمارها به کمک آزمون t در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

بر اساس مقادیر P_{value}، از نظر صفات تعداد گل و عملکرد گل، دو سیستم کاشت زعفران در محیط طبیعی (مزرعه) و محیط کنترل شده (هیدروپونیک) تفاوت آماری معنی‌داری نداشتند (جدول ۳). با این وجود در مطالعات پیشین میزان عملکرد گل در سیستم هیدروپونیک بیشتر از شرایط کاشت بنه در محیط مزرعه گزارش شده است (Maggio et al., 2006). بهبود گلدهی زعفران در محیط مزرعه در آزمایش کنونی، احتمالاً ناشی از به حداقل رساندن مقاومت فیزیکی خاک در برابر خروج گل‌ها از طریق کاهش عمق کاشت، انتخاب خاک دارای بافت سبک با محتوای مادۀ آلی نسبتاً مناسب (جدول ۱) می‌باشد که باعث شد درصد گلدهی بنه‌ها در محیط مزرعه با محیط هیدروپونیک تفاوتی نداشته باشد. هم‌راستا با این مشاهدات، نتایج پژوهش مشابهی نیز نشان داد که در شرایط کاشت بنه در خاک دارای بافت نامناسب درصد گلدهی در سیستم‌های کاشت مزرعه‌ای و هیدروپونیک حدود ۳۳ درصد و در شرایط کاشت بنه در خاک دارای بافت سبک‌تر با مادۀ آلی بیشتر تنها حدود ۹ درصد تفاوت داشت (Aghhavani-Shajari et al., 2021). فلاحی و همکاران (Fallahi et al., 2018) نیز بیان داشتند وجود خاک سبک‌تر و مقدار ماده آلی بیشتر باعث تسهیل خروج گل‌های زعفران از خاک می‌شود و درصد گلدهی را بهبود می‌بخشد.

در پژوهش رازان و همکاران (Razan et al., 2023) گزارش شد که گلدهی زعفران در دو سیستم کاشت در بستر خاکِ دارای بافت مناسب (لومی در عمق ۱۵ سانتی‌متر) و کاشت در بستر پیت‌موس + پرلیت در دمای محیط، مشابه بود و هر دو سیستم در قیاس با تکنیک لایه نازک مواد غذایی[3] دارای برتری بودند. آن‌ها گزارش کردند کشت زعفران در بستر سبک (چه خاک سبک و چه ترکیبی از پیت‌موس و پرلیت) می‌تواند از نظر تهویه و نگهداری آب و عناصر غذایی شرایط مناسبی را فراهم نماید. عدم تفاوت بین میزان گلدهی در این شرایط ناشی از آن است که گلدهی عمدتاً به ذخایر بنه مرتبط است و در شرایطی که مقاومت فیزیکی دو سیستم در برابر خروج گل مشابه باشد، گلدهی دو سیستم نیز تفاوتی نخواهد داشت. نتایج پژوهش نردی و همکاران (Nardi et al., 2022) نشان داد که سیستم هیدروپونیک تنها در شرایطی می‌تواند موجب بهبود گلدهی زعفران در مقایسه با سیستم کشت مزرعه‌ای شود که در محیط تحت کنترل شرایط محیطی مناسبی مانند دما، طول دورۀ انکوباسیون، شدت و کیفیت نور، طول دورۀ روشنایی، تناوب دمای شب و روز، فراهمی رطوبت و غیره به‌خوبی تأمین شود؛ بطوریکه با فراهم‌سازی مطلوب تمام فاکتورها تا حدود ۱۶ برابر می‌توان گلدهی را در سیستم هیدروپونیک بهبود بخشید.

1. Hunter color values= Hunter parameters
2. Lightness

3 - NFT: nutrient film technique

جدول ۳. مقایسه شاخص‌های گلدهی زعفران در دو محیط طبیعی (مزرعه) و کنترل شده (انکوباتور= هیدروپونیک).

Table 3. Comparing the flowering parameters of saffron between natural (open-filed) and controlled (incubator) production systems.

تیمارهای آزمایش Treatments	تعداد گل Number of flower per100 croms	سرعت گلدهی Flowering rate (day^{-1})	عملکرد گل Flower yield (g)	متوسط وزن گل Mean flower weight (g)	طول گل Flower length (cm)	طول خامه Style length (cm)	طول کلاله Stigma length (cm)
کشت بنه در مزرعه Field	77.50	5.10	23.18	0.29	5.52	2.70	2.31
کشت بنه در محیط کنترل‌شده (انکوباتور) Incubator	72.00	5.82	23.91	0.34	7.38	4.40	2.49
T*value*	0.86	-2.73	-0.39	-2.61	-7.71	-11.54	-5.55
Pvalue	0.423	0.034	0.711	0.040	0.0003	0.0001	0.0015

تعداد گل به ازای ۱۰۰ بنه کاشته شده در هر کرت یا سینی‌کاشت و عملکردها هم بر حسب گرم در گل‌های تولید شده از همان ۱۰۰ بنه می باشد (این ۱۰۰ بنه در سیستم‌های کشت هیدروپونیک و مزرعه‌ای به ترتیب در ۰/۱۲ و ۱ مترمربع کشت شدند).

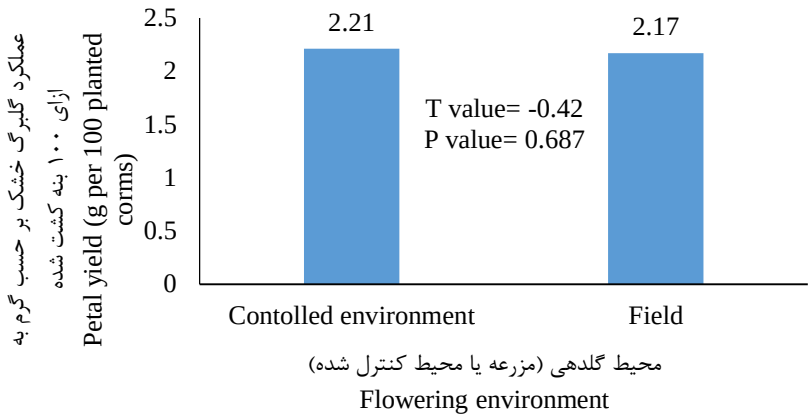
Yields are based on g per 100 planted corms (These 100 corms were sown in hydroponic and open-field systems in 0.12 and 1 m^2, respectively).

از این‌رو، با مقایسه روش کار بکارگیری شده در این آزمایش با مطالعهٔ مذکور، می‌توان یکی از دلایل بالاتر نبودن گلدهی در سیستم هیدروپونیک اجرا شده در آزمایش کنونی را به عدم فراهم نمودن تمامی شرایط مطلوب گلدهی به‌خصوص طی نشدن مرحلهٔ گل‌انگیزی در شرایط کنترل شده نسبت داد. مطالعات مزرعه‌ای نشان داده است که درصد بنه‌هایی که در سال اول کاشت در بستر خاک تولید گل می‌کنند، پایین است (Behdani & Fallahi, 2015). در همین خصوص، در پژوهشی در شرایط کاشت بنه‌های ۸ تا ۱۲ گرمی در خاک لومی که به آن مقداری نیز ماسه بادی اضافه شد، حدود ۳۳ درصد بنه‌ها در سال اول گل تولید نمودند (Fallahi et al., 2018). نتایج مشابهی توسط خندان-ده‌ارباب و همکاران (Khandan Deh Arbab et al., 2020) در خاکی با بافت لومی مشاهده شد که در آن بطور متوسط بسته به وزن بنه‌ها حدود ۳۰ درصد بنه‌ها در سال اول تولید گل کردند. با این وجود در آزمایش کنونی، در تیمار کاشت بنه در محیط مزرعه بطور میانگین در حدود ۷۷ درصد بنه‌ها یک عدد گل تولید شد (جدول ۱). این موضوع اهمیت اصلاح بافت خاک و عمق کاشت را جهت حصول عملکرد مطلوب در زراعت زعفران نشان می‌دهد که پیش از این توسط اقحوانی-شجری و همکاران (Aghhavani-Shajari et al., 2015) نیز مورد تأیید قرار گرفته است. آن‌ها بیان داشتند با کاشت زعفران در زمین‌های دارای بافت مناسب و یا از طریق اصلاح خاک و سبک‌تر کردن بافت خاک مزرعه، می‌توان عملکرد گل و بنه را افزایش داد. نتایج پژوهش دیگری نیز نشان داد در شرایط کاشت گیاه زعفران در خاکی با بافت سبک، کاهش عمق کاشت از ۲۵ به ۱۵ سانتی‌متر موجب افزایش تعداد گل از ۲۸ به ۶۳ عدد در مترمربع شد (Sharifi et al., 2021). ذکر این نکته ضروری است که کاهش عمق کاشت بنه، در مناطقی که زمستان خیلی سرد ندارند و در شرایط بهره‌برداری از مزرعه به مدت یک تا حداکثر دو سال، عملیاتی می‌باشد (Behdani & Fallahi, 2015).

در آزمایش کنونی در محیط هیدروپونیک حدود ۰/۷۲ گل به ازای هر بنه (وزن متوسط ۱۰ گرم) تولید شد (جدول ۳). در آزمایش ملافیلابی (Mollafilabi, 2014) این مقدار ۱/۳۸ گل به ازای هر بنه (با متوسط وزن ۱۵/۵ گرم) بود. پاگی و همکارن (Poggi et al., 2010) نیز بنه‌های زعفران را تحت شرایط کنترل شده نگهداری کردند و سپس به‌ازای هر بنهٔ کشت شده با وزن ۱۰ و ۲۰ گرم به‌ترتیب ۱/۰۸ و ۳/۰۱ عدد گل برداشت کردند. نتایج تحقیق دیگری نیز نشان داد درصد گلدهی بنه‌های زعفران در گروه‌های وزنی ۲ تا ۴، ۴ تا ۶، ۶ تا ۸ و ۸ تا ۱۰ گرم در شرایط هیدروپونیک به‌ترتیب صفر، ۱۱/۲، ۳۸/۷ و ۸۵ درصد بود (Fallahi, 2023). بر این اساس، در سیستم کاشت هیدروپونیک جهت افزایش توجیه اقتصادی و درصد گلدهی بنه‌ها،

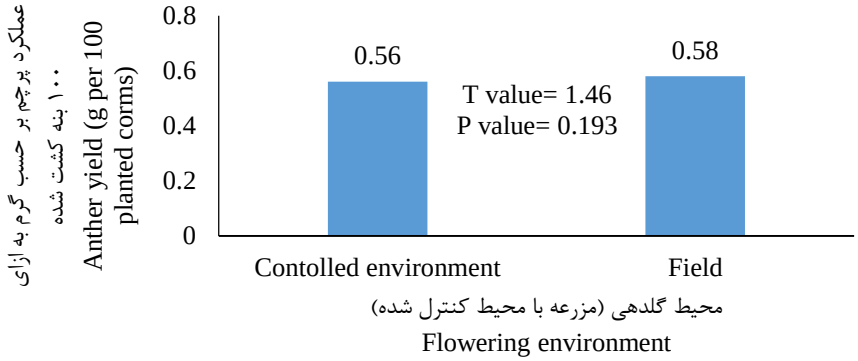
بایستی از بنه‌های با وزن بیشتر استفاده نمود. در پژوهش کنونی در سیستم هیدروپونیک کمتر از یک گل به ازای هر بنه تولید شد که کمتر از مقدار مورد انتظار و نتایج آزمایشات مشابه (Poggi et al., 2010) است. این موضوع ناشی از آن است که در این آزمایش مرحله گل‌انگیزی بنه در محیط طبیعی سپری شد و تنها مرحلهٔ ظهور گل در شرایط کنترل شده طی شد. دمای مناسب جهت گل‌انگیزی حدود ۲۳ تا ۲۷ درجهٔ سانتی‌گراد است و دماهای بالاتر می‌تواند منجر به سقط برخی از گل‌ها شود (Molina et al., 2005). از آنجا که افزایش دمای تابستان در سالیان اخیر تشدید شده است، این موضوع می‌تواند مرحلهٔ گل‌انگیزی بنه‌های زعفران را دچار اشکال نماید (Moradi Moghaddam et al., 2023). از این‌رو، اگر در آزمایش کنونی این مرحله نیز در شرایط کنترل شده سپری می‌شد، احتمالاً تعداد گل تولید شده به ازای هر بنه افزایش می‌یافت. این موضوع توسط اقحوانی شجری و همکاران (Aghhavai-Shajari et al. 2021) نیز مورد تأیید قرار گرفته است. در تحقیق دیگری نیز بیان شد زمانی‌که بنه‌ها در اواسط خردادماه از خاک خارج شده و هر دو مرحلهٔ گل‌انگیزی و ظهور گل بطور کامل تحت شرایط کنترل شده سپری شود، بیشترین عملکرد گل قابل حصول است (Mollafilabi, 2014). در همین ارتباط در پژوهشی سهم مراحل گل‌انگیزی و ظهور گل در افزایش گلدهی زعفران به‌ترتیب ۷۰ تا ۹۰ و ۱۰ تا ۳۰ درصد برآورد شد (Fallahi et al., 2021a) که نشان می‌دهد نگهداری بنه تحت شرایط مطلوب در مرحلهٔ گل‌انگیزی اثر بسیار زیادی بر بهبود گلدهی زعفران دارد. با وجود عدم اختلاف معنی‌دار بین دو سیستم کاشت از نظر تعداد و عملکرد گل، سرعت گلدهی در سیستم کنترل شده ۱۴/۱ درصد بیشتر از سیستم کشت مزرعه‌ای بود (جدول ۳). به همین ترتیب گل‌های حاصل از محیط کنترل شده دارای وزن بیشتری بودند، به طوری که متوسط وزن هر گل در سیستم مزرعه‌ای ۰/۲۹ گرم و در محیط کنترل شده ۰/۳۴ گرم بود. همچنین بین تیمارهای آزمایشی از نظر طول گل، طول کلاله و طول خامه تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. سیستم کاشت در محیط کنترل شده موجب شد تا طول گل به میزان ۳۳/۷ درصد، طول خامه ۶۲/۹ درصد و طول کلالهٔ زعفران ۷/۸ درصد در مقایسه با کاشت بنه در مزرعه افزایش پیدا کند (جدول ۳). فراهمی مناسب عوامل محیطی شامل دما، نور و رطوبت نسبی در محیط کنترل شده از عوامل مهم مؤثر بر افزایش رشد گل و اجزای آن می‌باشند (Fallahi et al., 2021a). در آزمایش دیگری نیز افزایش طول و وزن گل‌های زعفران در شرایط کاشت بنه در محیط هیدروپونیک در مقایسه با سیستم مزرعه‌ای گزارش شد (Aghhavani-Shakari et al., 2021). یافته‌های این تحقیق با نتایج خان و همکاران (Khan et al., 2022) نیز همخوانی دارد. بهبود وزن و طول گل در محیط هیدروپونیک ناشی از عدم وجود مقاومت در برابر خروج گل و افزایش طول کاتافیل (اندامی که گل‌ها در درون آن به سطح خاک می‌رسند) می‌باشد (Fallahi et al., 2021a). افزایش طول خامهٔ گل در سیستم هیدروپونیک می‌تواند به برداشت کامل گل هم مرتبط باشد، زیرا در این شرایط به دلیل عدم وجود بستر کاشت، برداشت گل تسهیل می‌شود، در حالی‌که در حین برداشت گل‌های تولید شده در محیط مزرعه بخشی از دمگل و خامهٔ درون آن در درون خاک باقی می‌ماند. همچنین، رشد گل و وزن آن به میزان ذخایر بنه و سرعت تجزیهٔ و انتقال ذخایر به جوانه‌های گل‌دهنده بستگی دارد (Behdani & Fallahi, 2015) و بنظر می‌رسد این فرآیند در سیستم هیدروپونیک به شکل مناسب‌تری بوقوع پیوسته و موجب افزایش طول و وزن گل‌ها شده است.

گلبرگ و پرچم به‌عنوان محصولات فرعی در فرآیند تولید زعفران به شمار می‌آیند که تاکنون کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند و دارای کاربردهای دارویی و غذایی هستند (Askary et al., 2023). بر اساس نتایج آزمایش، عملکرد گلبرگ خشک بین دو سیستم کاشت زعفران در مزرعه و کاشت در محیط کنترل‌شده تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۱). نتایج مشابهی در مورد عملکرد پرچم (میله + بساک) بدست آمد و هر دو سیستم کاشت در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۲). با این وجود، دو سیستم کاشت از نظر عملکرد مادگی (خامه + کلاله) به‌عنوان مهم‌ترین شاخص گلدهی و اقتصادی در زعفران دارای تفاوت آماری معنی‌داری بودند و کاشت زعفران در محیط کنترل شده موجب بهبود ۱۴/۲ درصدی مقدار این شاخص در مقایسه با سیستم کاشت بنه در مزرعه شد (شکل ۳).



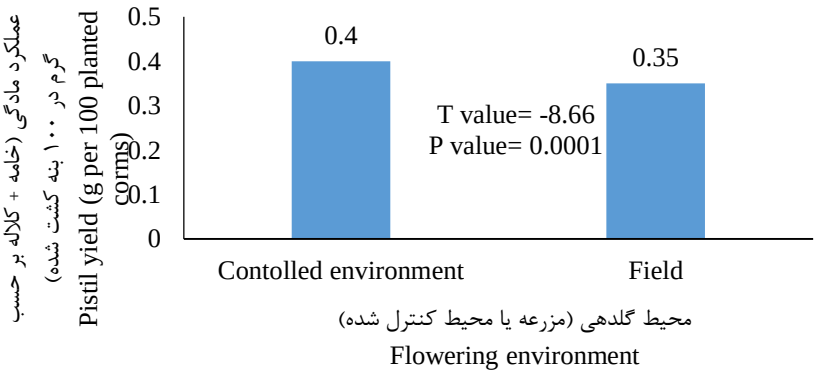
شکل ۱. اثر محیط کاشت بنه (مزرعه یا انکوباتور) بر عملکرد خشک گلبرگ زعفران.

Fig 1. Effect of production system (field and incubator) on dry petal yield of saffron.



شکل ۲. اثر محیط کاشت بنه (مزرعه یا انکوباتور) بر عملکرد پرچم (میله + بساک) در زعفران.

Fig 2. Effect of production system (field and incubator) on dry anther yield of saffron.



شکل ۳. اثر سیستم تولید (مزرعه یا انکوباتور) بر عملکرد کلاله خشک زعفران.

Fig 3. Effect of production system (field and incubator) on dry stigma yield of saffron.

جدول ۴ . مقایسه شاخص‌های رنگ کلالهٔ زعفران به دست آمده از محیط طبیعی (مزرعه) و کنترل شده (انکوباتور).
Table 4. Comparing the colorimetric parameters of saffron stigma obtained from natural (filed) and controlled (incubator) production systems.

تیمارهای آزمایش Treatments	درخشندگی L	قرمزی a	زردی b	a/b
کشت بنه در مزرعه Field	54.32	13.41	10.07	1.33
کشت بنه در محیط کنترل‌شده (انکوباتور) Incubator	57.52	15.41	11.52	1.33
T*value*	-1.60	-2.66	-2.47	-0.05
Pvalue	0.160	0.037	0.048	0.960

بهبود عملکرد زعفران تحت شرایط هیدروپونیک به مدیریت بهتر میکروکلیما به‌خصوص دما و نور، حذف مقاومت فیزیکی خاک و تغذیه بهتر گیاهان مرتبط است (Mollafilabi, 2014). در تأیید نتایج این آزمایش، در پژوهشی گزارش شد که گلدهی زعفران در سیستم بدون خاک، ۶/۶ مرتبه بیشتر از کشت در مزرعه بود (Fallahi et al., 2017). در آزمایش اقحوانی شجری و همکاران (Aghhavani-Shajari et al., 2021) نیز میزان عملکرد مادگی در سیستم هیدروپونیک در طی دو سال آزمایش بطور متوسط ۰/۳۴ گرم و در سیستم کاشت مزرعه‌ای ۰/۱۷ گرم به ازای هر ۱۰۰ بنهٔ کشت شده بود. خان و همکاران (Khan et al., 2022) نیز افزایش معنی‌دار عملکرد مادگی زعفران در محیط کنترل شده در مقایسه با محیط مزرعه‌ای آزاد را گزارش کرده‌اند. با توجه به اینکه در پژوهش کنونی تعداد گل از نوع سیستم کاشت اثر معنی‌داری نپذیرفت (جدول ۳)، به نظر می‌رسد بهبود عملکرد کلاله در سیستم هیدروپونیک ناشی از افزایش طول و وزن کلاله بوده است، زیرا تعداد کلاله (وابسته به تعداد گل) در شرایط هیدروپونیک افزایش نیافت، ولی طول آن افزایش پیدا نمود (جدول ۳) و احتمال می‌رود که در سیستم هیدروپونیک قطر کلاله و در نهایت وزن آن نیز بهبود یافته باشد. در تحقیق دیگری نیز افزایش طول کلاله به‌عنوان یکی از عوامل مهم مؤثر در بهبود عملکرد کلاله در سیستم هیدروپونیک بیان گردید (Fallahi et al., 2021a).

کلاله‌های زعفران حاصل از دو سیستم کاشت در محیط طبیعی (مزرعه) و محیط کنترل‌شده از نظر شاخص درخشندگی و نسبت a/b تفاوت آماری معنی‌داری نداشتند (جدول ۴). با این وجود، از نظر مقدار شاخص‌های a و b، سیستم کاشت بنه در محیط کنترل شده دارای برتری معنی‌داری بود و به‌ترتیب مقادیر این دو شاخص را به میزان ۱۴/۹ و ۱۴/۴ درصد در مقایسه با سیستم کاشت مزرعه‌ای افزایش داد (جدول ۴).

پی بردن به دلیل بالاتر بودن مقدار قرمزی (شاخص *a*) در نمونه‌های کلالهٔ حاصل از کشت هیدروپونیک نیازمند تحقیقات بیشتری است، ولی احتمالاً کیفیت نور از عوامل اثرگذار بر این شاخص باشد که در محیط‌های تحت کنترل قابل مدیریت است. در پژوهش مشابهی روی زعفران، کلاله‌های تولید شده در محیط طبیعی (مزرعه) ظاهری تیره‌تر (درخشندگی کمتر) و عطر (سافرانال) بیشتری داشتند، در حالی‌که کشت بنه در محیط هیدروپونیک موجب بهبود محتوای کروسین (بیانگر میزان رنگ کلاله) و تا حدودی شاخص‌های رنگ a وb شد (Aghhavani-Shajari et al., 2021). پژوهش نردی و همکاران (Nardi et al., 2022) نیز نشان داد در شرایطی که تمامی فاکتورهای محیطی مانند مقدار و نوسانات دما، شدت، کیفیت و مدت نور، فراهمی رطوبت و غیره در محیط کنترل شده مطلوب باشد، می‌توان کلاله‌هایی با کیفیت به مراتب بالاتری در مقایسه با نمونه‌های مزرعه‌ای به دست آورد. در مطالعات دیگری (Moradi et al., 2021; Eftekhari et al., 2023) نیز نقش طول موج نور بر کیفیت و کمیت کلاله در سیستم کشت هیدروپونیک مورد تأیید قرار گرفته است. از این‌رو، با توجه به اینکه موضوع تولید زعفران در محیط کنترل‌شده در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته و هنوز تحقیقات کافی در خصوص این شیوهٔ تولید صورت نگرفته است؛ برای بهینه‌سازی شرایط جهت کسب کلالهٔ با کیفیت نیاز به انجام مطالعات بیشتری است.

در مطالعه گارسیا-رودیگز و همکاران (García-Rodríguez et al., 2017) گزارش شد که ذخیره-سازی بنه در محیط سرد دارای اکسیژن کم و متعاقب آن انکوباسیون بنه‌ها بر پارامترهای کیفی شامل سافرانال، کروسین و پیکروکروسین در مقایسه با تیمار شاهد (کشت بنه در اتاق گل‌دهی با اکسیژن طبیعی و بدون انکوباسیون) دارای اثر منفی بود. آن‌ها همچنین بیان داشتند محتوای پیکروکروسین کلاله‌های حاصل از کشت هیدروپونیک مشابه با کشت سنتی (مزرعه‌ای) بود و محتوای سافرانال کلاله از آزمایش‌های مزرعه‌ای بیشتر بود. آن‌ها دریافتند که برخی تیمارهای مربوط به کشت در محیط کنترل شده قادر بودند تا کلاله‌هایی با کیفیت بالا بر اساس استاندارد ISO تولید کنند.

نتایج ملافیلابی (Mollafilabi, 2014) نشان داد که زعفرانی که در بستر پشم‌سنگ و پیت‌ماس تحت شرایط کنترل شده، تولید شد بر طبق استانداردهای ملی ایران از بالاترین سطح کیفیت کلاله برخوردار بود. خان و همکاران (Khan et al., 2022) نیز دریافتند که محتوای کروسین، پیکروکروسین و سافرانال کلاله زعفران در شرایط کشت گیاه در محیط تحت کنترل بیشتر از مزارع آزاد بود. پاگی و همکاران (Poggi et al., 2010) کیفیت کلاله تولید شده تحت شرایط گلخانه و مزرعه را با یکدیگر مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که محتوای کروسین، پیکروکروسین و سافرانال زعفران در محیط کنترل شده بر طبق استاندارد ۱-۳۶۳۲، حدود ۲۰ درصد بیشتر بود. در پژوهش فلاحی و همکاران (Fallahi et al., 2021a) بر اساس هنجار ایزو کلاله‌های تولید شده در هر دو محیط طبیعی و کنترل شده از حیث محتوای کروسین و سافرانال به-ترتیب در طبقات دو و یک قرار گرفتند. آن‌ها بیان داشتند که تولید زعفران تحت شرایط کنترل شده احتمالاً می‌تواند شاخص‌های کیفیِ تعریف شده در استانداردهای کیفیت زعفران را تأمین نماید، اگرچه در این خصوص به مطالعات بیشتری نیاز است و بایستی کیفیت زعفران تولید شده در محیط طبیعی با استفاده از روش‌های آنالیز دقیق مانند HPLC با کلالهٔ حاصل از کشت هیدروپونیک مورد مقایسه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد با کاشت بنه‌های زعفران با وزن بیشتر از ۸ گرم، در عمق کم (حدود ۱۰ سانتی‌متر) و نیز با اصلاح خصوصیات بستر کاشت می‌توان گلدهی سیستم کاشت مزرعه‌ای را افزایش داد، به طوری که با میزان عملکرد گل در سیستم کاشت هیدروپونیک برابری نماید. با این وجود، به دلیل افزایش متوسط وزن گل و نیز طول گل و کلاله مقدار عملکرد کلاله در سیستم کاشت هیدروپونیک حدود ۱۴ درصد بیشتر بود. همچنین از نظر خصوصیات ظاهری (شاخص‌های رنگ هانتر) کلاله بدست آمده از محیط کنترل شده دارای میزان a و b بیشتری بود که بیان‌گر قرمزتر بودن کلالهٔ حاصل از محیط هیدروپونیک می‌باشد.

قدردانی

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی دانشجویی به شماره ابلاغیه ۱۳۹۹/د/۱۲۷۷۳ مورخ ۱۳۹۹/۸/۲۰ (صورتجلسه شورای کارآفرینی پردیس کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست) و با استفاده از امکانات پژوهشی دانشگاه بیرجند انجام شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

Aghhavani-Shajari, M., Rezvani Moghaddam, P., Koocheki, A., Fallahi, H.R., & Taherpour Kalantari, R. (2015). Evaluation of the effects of soil texture on yield and growth of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy and Technology*, 2(4), 311-322. [in Persian].

Aghhavani-Shajari, M., Fallahi, H.R., Sahabi, H., Kaveh, H., & Branca, F. (2021). Production systems and methods affect the quality and the quantity of saffron (*Crocus sativus* L.). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 19(1), e0901.

Aghhavani Shajari, M., & Rezvani Moghaddam, M. (2022). Are the apocarotenoids content and colorimetric traits of saffron (*Crocus sativus* L.) affected by some post harvesting operations?. *Journal of Stored Products Research*, 97, 101967.

Alonso, G.L., Zalacain, A., & Carmona, M. (2012). Saffron. In: Handbook of herbs and spices (Eds: Peter, K.V.). Woodhead Publishing.

Askary, M., Behdani, M. A., Mollaei, H., & Fallahi, H.R. (2023). Evaluation of the effects of organic and conventional cultivation practices on phytochemical and anti-cancer activities of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 25(1), 139-154.

Behdani, M.A., & Fallahi, H.R., 2015. *Saffron: Technical Knowledge Based on Research Approaches*. University of Birjand Press, Birjand, Iran. [in Persian].

Dewir, Y.H., Alsadon, A., Ibrahim, A., & El-Mahrouk, M. (2022). Effects of growing substrate, mode of nutrient supply, and saffron corm size on flowering, growth, photosynthetic competence, and cormlet formation in hydroponics. *Horticulture Technology*, 32(2), 234-240.

Ebrahimi, M., Pouyan, M., Hosseini, S., Shahi, T., & Ragh Ara, H. (2021). Effect of mother corm weight on the yield, reproductive growth, apocarotenoid content and production of daughter corms in saffron aeroponic cultivation. *Journal of Saffron Research*, 9(2), 335-351. . [in Persian].

Eftekhari, M., Ghorbani Javid, M., Aliniaeifard, S., & Nicola, S. (2023). Alteration of flower yield and phytochemical compounds of saffron (*Crocus sativus* L.) by application of different light qualities and growth regulators. *Horticulturae*, 9, 169

Fallahi, H.R., Zamani, G., Aghhavani-Shajari, M., & Samadzadeh, A. (2017). Comparison of flowering and growth of saffron in natural and controlled culture systems. 6th National Congress of Medicinal Plants. 9-10 May, Tehran. Pp 3.

Fallahi, H.R., Aghhavani-Shajari, M., Sahabi, H., & Feizi, H. (2018). *Possibility of increasing the weight of saffron corm through integrated and timed management of agricultural inputs*. Final report of research project. Saffron Institute, Torbat Heydarieh, Iran. 108 pp. [in Persian].

Fallahi, H.R., Abbasi Aval Bohlooli, S., Noferesti, E., Hosseini, S.M., Seddigh Makoo, S., Moodi, M., & Khezri, M. (2020). Evaluation the possibility of saffron transplanting and corm production in soilless planting system. *Journal of Saffron Research*, 8(2), 79-84. [In Persian].

Fallahi, H.R., Aghhavani-Shajari, M., Sahabi, H., Kaveh, H., & Branca, F. (2021a). *Quantitative and qualitative comparison of saffron produced under field or controlled environment and assessment of stigma quality in response to flower harvesting time*. Final report of research project. Saffron Institute, University of Torbat Heydarieh. [in Persian.

Fallahi, H.R., Abbasi Aval Bohlooli, S., Pahlavan, Z., Hosseini, S.M., Hosseini, S.A.H., & Ghohestani-Bojd, P. (2021b). Saffron vegetative growth as affected by transplanting and direct corm planting under field conditions. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 4, 1-10.

Fallahi, H.R. (2023). Evaluation of flowering potential of saffron corms in different weight groups under hydroponic conditions. *Journal of Saffron Research*, 10(2), 331-344. [in Persian with English Summary].

García-Rodríguez, M.V., López-Córcoles, H., & Alonso, G.L. (2017). Effect of the hydroponic growing of forced *Crocus sativus* L. on the saffron quality. *Acta Horticulturae*, 1184, 287-292.

Khan, M.H., Alie, B.A., Dar, S.A., Hassan, G., Lone, A.A., Dar, N.A., Qureshi, A.M.I., Dar, Z.A., Gulzar, S., Ali, M.T., Mushtaq, N., & Amin, A. (2022). Morpho-biochemical studies of saffron under cold arid regions of Ladakh. *The Pharma Innovation Journal*, 11(3), 1299-1304.

Khandan Deh Arbab, S., Aminifard, M.H., Fallahi, H.R., & Kaveh, H. (2020). Effect of different levels of novafol bio-fertilizer and mother corm weight on vegetative growth, flowering and chlorophyll content of saffron. *Saffron Agronomy & Technology*, 7(4), 441-455. [in Persian].

Khayyat, M., Jabbari, M., Fallahi, H.R., & Samadzadeh, A. (2018). Effects of corm dipping in salicylic acid or potassium nitrate on growth, flowering, and quality of saffron. *Journal of Horticultural Research*, 26(1), 13-21.

Kortei, N.K., Odamtten, G.T., Obodai, M., Appiah, V., & Akonor, P.T. (2015). Determination of color parameters of gamma irradiated fresh and dried mushrooms during storage. *Croatian Journal of Food Tecchnology and Biotechnology*, 10(1-2), 66-71.

Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., & Fallahi, H.R. (2016). Effects of planting dates, irrigation management and cover crops on growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Agroecology*, 8(3): 435-451. [in Persian].

Kour, K., Gupta, D., Gupta, K., Dhiman, G., Juneja, S., Viriyasitavat, W., Mohafez, H., & Islam, M.A. (2022). Smart-hydroponic-based framework for saffron cultivation: A precision smart agriculture perspective. *Sustainability*, 14, 1120.

Maggio, A., Raimondi, G., Martino, A., & De Pascale, S. (2006). Soilless cultivation of saffron in Mediterranean environment. *Acta Horticulture*, 718, 515-522.

Mollafilabi, A. (2014). *Effect of new cropping technologies on growth characteristics, yield, yield components of flower and corm criteria of saffron* (*Crocus sativus* L.). PhD.

Dissertation. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. [in Persian].

Molina, R.V., Valero, M. Navarro, Y., Garcia-Luis, A., & Guardiola, J.L. (2004). The effect of time of crom lifting and duration of incubation at inductive temperature on flowering in the saffron plant (*Crocus sativus L.*). *Scientia Horticulturae*, 103(1), 79-91.

Molina, R.V., Valero, M., Navarro, Y., Guardiola, J.L., & Garcia-Luice, A. (2005). Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L.). *Scientia Horticulture*, 103, 361-379.

Moradi, S., Kafi, M., Aliniaeifard, S., Salami, S.A., Shokrpour, M., Pedersen, C., Moosavi-Nezhad, M., Wróbel, J., & Kalaji. H.M. (2021). Blue light improves photosynthetic performance and biomass partitioning toward harvestable organs in saffron (*Crocus sativus* L.). *Cell*, 10, 1994.

Moradi, S., Kafi, M., Aliniaeifard, S., Moosavi-Nezhad, M., Pedersen, C., Gruda, N.S.., & Salami, S.A. (2022). Monochromatic blue light enhances crocin and picrocrocin content by upregulating the expression of underlying biosynthetic pathway genes in saffron (*Crocus sativus* L.). *Frontiers in Horticulture*, 1, 960423.

Moradi Moghaddam, S., Fallahi, H.R., Behdani, M.A., & Mahmoodi, S. (2023). The effect of corm storage conditions during the summer dormancy stage on reproductive growth and yield of saffron. *Journal of Saffron Research*. In Press. [in Persian].

Nardi, L., Metelli, G., Garegnani, M., Villani, M.E., Massa, S., Bennici, E., Lamanna, R., Catellani, M., Bisti, S., Maggi, M.A., Demurtas, O., Benvenuto, E., & Desiderio, A. (2022). Farming for pharming: Novel hydroponic process in contained environment for efficient pharma-grade production of saffron. *Molecules*, 27, 8972.

Poggi, L.M., Portela, A.J., Pontin, M.A., & Molina, R.V. (2010). Corm size and incubation effects on time to flowering and threads yield and quality in saffron production in Argentina. *Acta Hortculturae*, 850, 193-198.

Razan, K., Aziz, R., Al-Maari, K., & Al-biski, F. (2023). Studying the growth and productivity of saffron under different agriculture techniques. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 54(1), 242- 252.

Sadeghi, B. (2013). *Effect of hydroponics methods on saffron flowering*. Scientific and Industrial Research Organization of Iran. 40p. [in Persian].

Sharifi, H., Nabipour, Z., & Tavakkoli Kakhki, H.R. (2021). Evaluation the effect of compensatory behavior of planting density, mother corm weight and planting depth on vegetative characteristics and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy & Technology*, 9(3), 227-248. [in Persian].

Souret, F.F., & Weathers, P.J. (2000). The growth of saffron (*Crocus sativus* L.) in aeroponics and hydroponics. *Journal of Herb Spices & Medicinal Plants*, 7(3), 25-35.

COPYRIGHTS

© 2023 by the authors. Published by University of Birjand – Saffron Research Group. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)