Journal of Saffron Research (semi-annual)
Vol. 12, No. 1, Spring & summer, 2024
p. 1- 14
http://dx.doi.org/10.22077/JSR.2020.3747.1141

University of Birjand

Original Article

The Effect of Corm Storage Conditions During the Summer Dormancy Stage on Reproductive Growth and Yield of Saffron

Sajjad Moradi-Moghaddam[1&2], Hamid-Reza Fallahi [3&4*], Mohammad-Ali Behdani[5], Sohrab Mahmoodi[3]

1- Educated Student, Agroecology, Department of Plant Production & Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand; Iran.

2- Expert in Land Affairs Management of Zirkoh Agricultural Jihad, South Khorasan Province Agricultural Jihad Organization, Iran

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

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

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

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

Received 23 September 2020; Accepted 13 Novenber 2020

Extended Abstract

Introduction: Environmental factors, especially temperature, are very important in the proper occurrence of saffron flower initiation stage during summer. In areas affected by heat stress, any factor that reduces the stress intensity seems to be beneficial in improving saffron reproductive growth. Corm storage under desired environmental condition is a potential strategy, when saffron is grown as an annual crop. In perennial saffron plantation, where the corms spend the flowering stage in the soil, other solutions should be considered for the proper occurrence of the flowering stage. One of these solutions is to use plant residues in the field surface to reduce the soil temperature. The presence of plant residues causes shading on the soil surface, increases the amount of sunlight reflection, reduces evaporation from the soil, regulates the moisture content of the soil, and reduces the temperature at the depth of the corm placement. Another possible solution to adjust the soil temperature during the flower initiation phase of the corm is to carry

out summer irrigation, but there is not enough certainty about its usefulness. Therefore, the aim of the current experiment was to investigate the effect of storage conditions of corms, as well as the effect of summer irrigation and the application of plant residue mulch on saffron flowering.

Materials and Methods: To investigate the effect of corm storage conditions on saffron reproductive growth an experiment was carried out as complete randomized block design with seven treatments and three replicates during 2019 growing season, in Qaen, Iran. Experimental treatments were three types of corm storage inside the soil [corm planting in 5th June (A) with natural soil temperature as control, A + summer irrigation in 5th August and A + mulch application obtained from wheat residues at the rate of 8 ton ha^{-1})] and three types of corm storage outside the soil [Corm storage at room (ambient temperature) for three months started from 5th June + corm planting in 5th September (B), Corm storage in constant temperature (25 ^{o}C and relative humidity of ~40 %) in incubator for three months + B, three months corm storage at variable temperature in incubator (one month in 20, 25 and 20 ^{o}C) + B and corm storage in room (up to 5th August) and incubator (up to 5th September) + B.

Results and Discussion: Results showed that summer irrigation increased the number, length and weight of cataphylls compered to control. Corm storage outside the soil (room or incubator) reduced the weight and length of cataphylls. Control and summer irrigation treatments had no significant different in terms of flower number, flowering rate and flower yield, but were superior to other treatments in terms of all the mentioned traits, especially compared with the room storage treatment. The highest values of mean flower weight (0.37 g), flower length (7.6 cm) and stigma length (2.83 cm) were obtained in mulch application treatment. Mulch application failed to improve flower and stigma yields, despite decreasing the soil temperature during the flower initiation stage. The highest values of stigma yield were gained at control, summer irrigation and mulch application (8.07, 7.28 and 6.40 kg ha^{-1}, respectively), which were significantly more than those obtained at room storage (3.24 kg ha^{-1}), storage in incubator with variable temperature (3.68 kg ha^{-1}), storage in room and incubator (3.89 kg ha^{-1}) and storage in incubator with constant temperature (4.28 kg ha^{-1}).

Conclusion: Overall, the passage of saffron flower initiation stage inside the soil significantly improved the flowering of the plant compared to the passage of this period outside the soil under room or incubator conditions.

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

Keywords: Corm, Heat stress, Incubation, Mulch, Plant residues, Summer irrigation.

نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)
جلد دوازدهم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۳
شماره صفحه:۱۴ - ۱
http://dx.doi.org/10.22077/JSR.2020.3747.1141

مقاله پژوهشی

اثر شرایط نگهداری بنه در طی دورهٔ رکود تابستانه، بر رشد رویشی و زایشی زعفران

سجاد مرادی‌مقدم[۱و۲]، حمیدرضا فلاحی[۳و۴*]، محمدعلی بهدانی[۵]، سهراب محمودی[۴]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲- کارشناس امور اراضی مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان زیرکوه، سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان جنوبی، زیر کوه، بیرجند. ایران.
۳- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند. ایران.
۴- گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند. ایران.
۵- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند. ایران.
* نویسنده مسئول: *hamidreza.fallahi@birjand.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۳

چکیده

شرایط محیطی به خصوص دما از عوامل بسیار مهم در وقوع مناسب مرحلهٔ گل‌انگیزی زعفران در طی تابستان می‌باشد. در این راستا، به منظور بررسی اثر شرایط نگهداری بنه بر رشد زایشی زعفران، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هفت تیمار و سه تکرار در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه‌ای شخصی واقع در شهرستان قاینات اجرا شد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از: ۱- کشت بنه‌ها در ۱۵ خردادماه و استقرار در دمای محیط (به‌عنوان شاهد) ۲- کشت بنه‌ها در ۱۵ خردادماه همراه با مصرف بقایای گیاهی گندم به میزان ۸ تن در هکتار، ۳- کشت بنه‌ها در ۱۵ خردادماه همراه با انجام آبیاری تابستانه در مرحله گل‌انگیزی (۲۰ مردادماه)، ۴- نگهداری بنه‌ها در دمای محیط از ۱۵ خرداد (در انبار دارای تهویه مناسب و سایه) و سپس کشت آن‌ها در اواسط شهریور (بعد از سپری شدن دوره گرما)، ۵- نگهداری بنه‌ها در انکوباتور به مدت ۳ ماه از ۱۵ خرداد با دمای ثابت (۲۵ درجه سانتی‌گراد) و کشت آن‌ها در ۱۵ شهریورماه، ۶- نگهداری بنه‌ها در انکوباتور از ۱۵ خرداد با دمای متغیر مشابه با روند تغییرات دما در محیط طبیعی ولی در دامنهٔ مناسب برای گل‌انگیزیِ زعفران (به مدت یک‌ماه در هر یک از دماهای ۲۰، ۲۵ و ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد) و سپس کشت آنها در ۱۵ شهریورماه و ۷- نگهداری بنه‌ها در دمای محیط از ۱۵ خرداد و انتقال به انکوباتور در ۱۵ مردادماه (همزمان با دوره گل‌انگیزی) با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و سپس انتقال آنها به مزرعه در ۱۵ شهریورماه. در پاییز سال ۱۳۹۸ صفات مرتبط با رشد رویشی و زایشی زعفران اندازه‌گیری شدند. صفات مورد مطالعه شامل تعداد، طول و وزن خشک کاتافیل‌ها، تعداد گل، متوسط وزن و طول گل، طول کلاله، سرعت ظهور برگ و گل، عملکرد گل و عملکرد کلاله بودند. نتایج نشان داد که آبیاری تابستانه موجب افزایش نسبی تعداد، طول و وزن کاتافیل (چمچه یا برگ‌های سفید غشایی) در مقایسه با تیمار شاهد شد. نگهداری بنه‌ها در بیرون از محیط خاک (انبار یا انکوباتور) موجب کاهش وزن و طول کاتافیل شد. تیمار آبیاری تابستانه از نظر تعداد گل، سرعت گلدهی و عملکرد گل تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت، ولی سایر تیمارهای آزمایشی به خصوص نگهداری بنه در انبار باعث کاهش صفات مذکور شدند. بیشترین مقادیر متوسط طول گل و متوسط وزن تک‌گل (به‌ترتیب ۷/۶ سانتی‌متر و ۰/۳۷ گرم) و طول کلاله (۲/۸۳ سانتی‌متر) در تیمار مصرف بقایای گیاهی به‌دست آمد. تیمار مصرف بقایای گیاهی با وجود کاهش دمای حوزهٔ قرارگیری بنه در طی دورهٔ گل‌انگیزی، نتوانست موجب بهبود عملکرد گل و کلاله شود. بیشترین مقادیر عملکرد کلاله به‌ترتیب در تیمارهای شاهد، آبیاری تابستانه و مصرف بقایای گیاهی (به‌ترتیب ۸/۰۷، ۷/۲۸ و ۶/۴۰ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار این شاخص به‌ترتیب در تیمارهای نگهداری بنه در انبار، ذخیره‌سازی در دمای متغیر انکوباتور، نگهداری تلفیقی در انبار و انکوباتور و ذخیره‌سازی بنه در دمای ثابت انکوباتور (به‌ترتیب با ۳/۲۴، ۳/۶۸، ۳/۸۹ و ۴/۲۸ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. در مجموع نتایج این مطالعه نشان داد که سپری شدن دورهٔ گل‌انگیزی زعفران در درون خاک به طور قابل توجهی باعث بهبود گلدهی گیاه در مقایسه با سپری شدن این دوره در بیرون از خاک (انبار یا انکوباتور) شد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تابستانه، انکوباسیون، بقایای گیاهی، بنه، تنش گرما، مالچ.

مقدمه

زعفران زراعی (*Crocus sativus* L.) گیاهی است تک-لپه‌ای از خانواده زنبقیان (Iridaceae) که چرخه زندگی خود را در یک سال تمام می‌کند. چرخهٔ زندگی زعفران در تمام کشورهای تولید کننده آن مشابه می‌باشد، ولی تفاوت‌های قابل توجهی در زمان وقوع مراحل مختلف آن مشاهده می‌شود (Behdani & Fallahi, 2015). ظهور گل‌های زعفران در پاییز رخ می‌دهد و سپس تا اواخر اردیبهشت‌ماه رشد رویشی گیاه تکمیل می‌گردد. پس از این مرحله تا اواسط تیرماه دورهٔ خواب حقیقی بنه ادامه می‌یابد و در ادامه تکوین برگ‌های اولیه و تشکیل جام گل و دستگاه تولیدمثلی (گل‌انگیزی[1]) رخ می‌دهد. دورهٔ خواب ظاهریِ بنه می‌تواند در خاک یا بیرون از خاک سپری شود و شرایط محیطی و اقلیمی به خصوص دما در طی این مرحله به شدت گلدهی زعفران را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Molina et al., 2005; Behdani & Fallahi, 2015; Fallahi & Mahmoodi, 2018a).

در زراعت یکسالهٔ زعفران که با استفاده از کشت پرتراکم صورت می‌گیرد و نیز در مزارع چندسالهٔ زعفران در پایان دورهٔ بهره‌برداری از زمین، بنه‌ها در حدفاصل زمانیِ اواخر بهار تا انتهای تابستان از خاک خارج شده و پس از درجه-بندی مجدداً بازکشت می‌شوند. بنه‌های خارج شده از خاک مزارع قدیمی بهتر است بدون ذخیره‌سازی در انبار، بلافاصله در مزرعهٔ جدید کشت شوند (Nassiri Mahallati et al., 2007; Behdani & Fallahi, 2015). هر چند نگهداری بنه در محیط بیرون از خاک چندان توصیه نمی‌شود، ولی افزایش دمای محیط در طی چند دههٔ اخیر تأثیری منفی بر فرآیند گل‌انگیزی زعفران در برخی از مناطق اعمال نموده است (Koocheki et al., 2009). از این‌رو، احتمالاً با خروج بنه از خاک در مرحلهٔ خواب حقیقی و نگهداری آن در محیط بیرون از خاک با شرایط اقلیمی مطلوب و سپس کاشت آن در شهریورماه بتوان اثر منفی افزایش دما بر رفتار گلدهی زعفران را کنترل نمود. بهترین دما برای وقوع مناسب مرحلهٔ گل‌انگیزی در زعفران حدود ۲۳ تا ۲۷ درجهٔ سانتی‌گراد، به مدت حداقل ۵۵ تا حداکثر ۱۵۰روز و برای وقوع گلدهی حدود ۱۵ تا ۱۷ درجهٔ سانتی‌گراد می-باشد (Molina et al., 2005). با افزایش درجه حرارت در دورهٔ گل‌انگیزی تغییرات مهمی در رفتار گلدهی زعفران بروز می‌نماید، بطوریکه در دمای ۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد بدون توجه به طول دورهٔ گرما، گلدهی انجام نخواهد شد. افزون بر این، در صورت افزایش میانگین دمای تابستان و پاییز به میزان ۲ درجه سانتی‌گراد، گلدهی این گیاه به میزان قابل توجهی به تأخیر خواهد افتاد (Koocheki et al., 2010). در پژوهشی اثر تغییر اقلیم بر رفتار گلدهی زعفران بررسی و گزارش شد که طول دوره نمو زعفران به ازای هر ۱ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش میانگین درجه حرارت نسبت به شرایط فعلی، حداقل ۳۲ و حداکثر ۳۸ روز افزایش خواهد (Koocheki et al., 2009).

مولینا و همکاران (Molina et al., 2005) گزارش کردند که اثر منفی ذخیره‌سازیِ بنه بر گلدهی زعفران در دمای بالا (بیش از ۳۰ درجه سانتی‌گراد) بیش از دماهای پایین (کمتر از ۲۱ درجه سانتی‌گراد) بود، ولی انکوباسیون در دمای ۹ درجه مانع گلدهی شد. یافته‌های آنها همچنین نشان داد که انکوباسیون پسین (استفاده از دمای حدواسط ۲۱ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت یک هفته در حدفاصل گل‌انگیزی و گلدهی) تا حدودی عملکرد زعفران را بهبود بخشید. مولینا و همکاران (Molina et al., 2004) در تحقیق دیگری دریافتند که پیش-انکوباسیونِ بنه به مدت سه هفته در دمای ۳۰ درجهٔ سانتیگراد قبل از مرحله گل‌انگیزی، موجب تسریع گلدهی و بهبود نسبی تعداد گل تولیدی در هر بنه گردید. نتایج ملافیلابی (Mollafilabi, 2014) نشان داد که ذخیره‌سازی بنه‌های زعفران در محیطی تاریک با دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۸۵ تا ۹۰ روز و رطوبت نسبی ۸۰ درصد موجب حصول عملکرد مطلوب گل و کلاله در محیط کنترل شده گردید.

صرف‌نظر از ذخیره‌سازی بنه با هدف کاهش اثرات منفی افزایش دما، در مواقعی مانند آماده نبودن زمین برای کاشت و نیز عدم دسترسیِ به موقع به تجهیرات و نیروی کارگری، ممکن است ذخیره‌سازی بنه اجتناب‌ناپذیر باشد. در این شرایط، بنه‌ها باید در محیطی خشک و سرد با دمای ۳ تا ۵ درجهٔ سانتی‌گراد و در شرایط مناسب تهویه‌ای برای تنها چند روز ذخیره شوند و این مدت به هیچ وجه نباید بیش از یک‌ماه شود (Katawazy,

1 - Flower initiation

2013; Behdani et al., 2018). در پژوهشی بنه‌های زعفران از زمان خروج از خاک در تیرماه تا زمان کاشت در اوایل مهر در یخچال با دمای ۳-۴ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شدند. نگهداری بنه‌ها در این دما منجر به رشد جوانه‌ها قبل از کاشت و نیز کاهش بسیار شدید توان گلدهی گیاه در طی دو فصل متوالیِ گلدهی شد (Nassiri Mahallati et al., 2007). کومار و همکاران (Kumar et al., 2009) بیان داشتند که بنه‌های خارج شده از خاک در ماه می (اردیبهشت‌ماه) که در جعبه‌های پوشیده شده با خاک[1] در دمای ۱۹ تا ۲۳ درجهٔ سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ تا ۷۵ درصد به مدت چهار ماه نگهداری شدند، در مقایسه با بنه‌های نگهداری شده در دمای ۲۳ تا ۲۷ درجه و بنه‌های باقی مانده در زمین، بسیار زودتر جوانه زده و گل تولید نمودند.

در مزارع چندسالهٔ زعفران که بنه‌ها مرحلهٔ گل‌انگیزی را در درون خاک سپری می‌کنند، در صورت وقوع تنش گرماییِ تابستانه بایستی راهکارهای دیگری را برای وقوع مناسب مرحلهٔ گل‌انگیزی در نظر گرفت. یکی از این راهکارها استفاده از بقایای گیاهی در سطح مزرعه جهت کاهش دمای خاک می‌باشد. وجود بقایای گیاهی باعث سایه‌اندازی در سطح خاک، افزایش میزان بازتاب نور خورشید، کاهش تبخیر از خاک، تنظیم محتوای رطوبتی خاک و کاهش دما در عمق قرارگیریِ بنه می‌شود (Behdani & Fallahi, 2015). گلوی و همکاران (Galavi et al, 2008) بیان نمودند که کنترل درجه حرارت خاک از طریق مصرف مالچ بدلیل مناسب‌تر ساختن شرایط برای رشد بنه‌های زعفران، باعث بهبود رشد رویشی و زایشی گیاه می‌شود. نتایج تحقیق دیگری نشان داد که مصرف مالچ بقایای گیاهی، عملکرد گل و بنهٔ زعفران را بهبود بخشید (Rezvani Moghaddam et al, 2013). یافته‌های پژوهش دیگری نیز حاکی از آن است که مصرف ۸ تن در هکتار مالچ بقایای گیاهی در اول خردادماه در مقایسه با اول شهریورماه بیشترین اثر را در بهبود گلدهی زعفران داشت (Harivandi et al., 2019).

راه‌حل احتمالی دیگر برای تنظیم دمای خاک در مرحلهٔ گل‌انگیزی بنه، انجام آبیاری تابستانه می‌باشد. رطوبت خاک باعث می‌شود تا بخشی از انرژی گرمایی خورشید صرف تبخیر آب شود. همچنین با توجه به ظرفیت گرمایی بالاتر آب در مقایسه با خاک، افزایش محتوای رطوبت خاک باعث می‌شود تا برای افزایش هر واحد به دمای خاک، نیاز به انرژی گرمایی بیشتری باشد. ضمن اینکه در خاک مرطوب به دلیل بالاتر بودن ظرفیت هدایت گرماییِ آب، بخشی از انرژی گرمایی به عمق خاک منتقل می‌شود. مجموعهٔ این عوامل باعث می‌شود تا انجام آبیاری در مرحلهٔ گل‌انگیزی باعث کاهش دمای خاک شود. در همین ارتباط صادقی (Sadeghi, 1997) نقش آبیاری تابستانه بر بهبود گلدهی زعفران را بسته به زمانِ آبیاری، متغیر ارزیابی کرد. کریمی سه‌قلعه و همکاران (Karimi Se-Qala et al, 2015) نیز بیان داشتند که آبیاری تابستانه در اواخر مردادماه احتمالاً به دلیل کاهش دمای حوزهٔ فعالیت بنه باعث افزایش گلدهی زعفران می‌شود. با این وجود، اجرای آبیاری تابستانه در شرایطی که خطر شیوع عوامل بیماری‌زای قارچی یا کنهٔ زعفران وجود داشته باشد، قابل توصیه نمی‌باشد (Behdani et al, 2018).

با توجه به نقش کلیدی عوامل محیطی به‌خصوص دما بر فرآیند گل‌انگیزی زعفران (چه در خاک و چه در بیرون از خاک سپری شود)، در این تحقیق اثر برخی شرایط نگهداری بنه در طی این دوره، بر رفتار گلدهی زعفران بررسی شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر شرایط نگهداری بنه در طی دورهٔ رکود تابستانه بر رشد زایشی زعفران، پژوهشی در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه‌ای شخصی واقع در شهر قاین واقع در استان خراسان جنوبی با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی در ارتفاع ۱۴۴۰ متری از سطح دریا انجام شد. قاین دارای اقلیم خشک است و میانگین دما و بارندگی سالیانه آن به‌ترتیب ۱۴ درجهٔ سانتی‌گراد و ۱۷۳ میلی‌متر می‌باشد. میانگین رطوبت سالانه این منطقه ۳۸ درصد، میانگین رطوبت تابستان ۲۵ درصد و میانگین پتانسیل تبخیر سالیانه ۲۶۴۵ میلی‌متر است.

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۷ تیمار و ۳ تکرار (بلوک) اجرا شد. تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از: ۱- کشت بنه‌ها در ۱۵ خردادماه و استقرار در بستر خاک در دمای محیط (به‌عنوان شاهد) ۲- کشت

1 -Stored in boxes covered with soil

بنه‌ها در ۱۵ خردادماه همراه با مصرف بقایای گیاهی، ۳- کشت بنه‌ها در ۱۵ خردادماه همراه با انجام آبیاری تابستانه در مرحله گل‌انگیزی (اواسط مردادماه)، ۴- نگهداری بنه‌ها در دمای محیط از ۱۵ خرداد (در انبار دارای تهویه مناسب، سایه و توام با زیر و رو کردن متناوب بنه‌ها) و سپس کشت آن‌ها در ۱۵ شهریور (بعد از سپری شدن دورهٔ گرمای شدید تابستان)، ۵- نگهداری بنه‌ها در انکوباتور به مدت ۳ ماه از ۱۵ خرداد با دمای ثابت (۲۵ درجه سانتی‌گراد) وکشت آن‌ها در ۱۵ شهریور ماه، ۶- نگهداری بنه‌ها در انکوباتور از ۱۵ خرداد با دمای متغیر (به مدت یک‌ماه در هر یک از دماهای ۲۰ ،۲۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد متناسب با روند تغییرات دما در محیط طبیعی) و سپس کشت آن‌ها در ۱۵ شهریورماه و ۷- نگهداری بنه‌ها در دمای محیط (انبار دارای تهویه و محیط سایه) از ۱۵ خرداد و انتقال به انکوباتور در ۱۵ مردادماه (همزمان با دوره گل‌انگیزی) با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و سپس کشت آنها در مزرعه در ۱۵ شهریورماه.

با توجه به اثر منفیِ دمای بالا بر گل‌انگیزی زعفران (Molina et al., 2005) تیمارهای آزمایشی به نحوی طراحی گردید تا دمای اطراف بنه در این دوره در حد بهینه باشد. در تمامی تیمارهای ذخیره‌سازیِ بنه در انکوباتور دما متناسب با هر تیمار (قبلاً ذکر گردید) بود و بنه‌ها در شرایط تاریکی و رطوبت نسبی محیط (۳۰ تا ۴۰ درصد) قرار داده شدند. در تیمار نگهداری بنه‌ها در انبار، ارتفاع ذخیره‌سازی ۱۵ سانتی‌متر و دمای محیط (در ارتفاع ۲۰ سانتی‌متریِ سطح بنه‌ها و در ساعت ۱۶ عصر) بین ۳۰ تا ۳۲ درجهٔ سانتی‌گراد بود و نور طبیعی (سایه) در محیط وجود داشت. در تیمار مصرف مالچ، بقایای گندم به مقدار ۸ تن در هکتار مطابق با توصیهٔ رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al, 2013) در ۱۵ خردادماه و بلافاصله پس از کاشت بنه، مصرف شد.

خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش قبل از اجرای طرح اندازه‌گیری شد (جدول ۱). عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم اولیه زمین در اردیبهشت‌ماه سال۱۳۹۸ انجام شد. در تمامی تیمارها از بنه‌هایی با وزن متوسط ۱۵ گرم، از اکوتیپ قاین با تراکم ۳۵۰ بنه در مترمربع (فواصل بین ردیفی ۱۰ سانتی‌متر و روی ردیف بدون فاصله بصورت دانه تسبیحی) استفاده شد. بنه‌ها در تاریخ ۱۰ خردادماه (پنج روز قبل از کاشت یا انتقال به انبار و انکوباتور) از مزرعهٔ مادری خارج شدند و پس از حذف بنه‌های ریز و آسیب‌دیده، برای اجرای آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند. در این آزمایش زعفران به‌عنوان یک گیاه یک‌ساله در نظر گرفته شد که خصوصاً در تیمارهای انکوباسیون هرساله در پایان فصل رشد باید بنه‌ها از خاک خارج شده و پس از گذراندن مرحله گل‌انگیزی در محیط کنترل شده، مجدد به زمین اصلی منتقل شوند. کاشت پرتراکم زعفران در شرایط کاهش سن بهره‌برداری از مزرعه به یک یا دو سال در مطالعات دیگری نیز مورد تأیید قرار گرفته است (Koocheki et al., 2015). کاشت بنه‌ها در کرت‌هایی به ابعاد ۲×۱/۵ متر بصورت دستی و در عمق ۱۵ سانتی‌متری صورت گرفت. به منظور ارزیابی اثر مصرف مالچ و آبیاری تابستانه بر کاهش دمای خاک، دما در عمق قرارگیریِ بنه‌های مادری در دورهٔ گل‌انگیزی در طی تابستان با استفاده از دماسنج دیجیتال خاک به طور روزانه اندازه‌گیری شد (شکل ۱).

اولین آبیاری پاییزه با توجه به شرایط اقلیمی خصوصاً دمای محیط (زمانی‌که میانگین دمای محیط به حدود ۱۵ درجهٔ سانتی‌گراد رسید) در تاریخ ۱۵ مهرماه سال ۱۳۹۸ انجام شد. پنج روز پس از آبیاری، از هرکرت تعداد ۱۰ بنه (از سطحی معادل با ۲۸۵ سانتی‌مترمربع) از خاک خارج شد و رشد کاتافیل‌ها بررسی شد. برای این منظور صفات تعداد، طول و وزن خشک کاتافیل‌ها اندازه-گیری شد. یک هفته پس از آبیاری پاییزه عمل سله‌شکنی با عمق کمتر از ۵ سانتی‌متر بصورت دستی صورت گرفت. همزمان با شروع دورهٔ گلدهی برداشت گل‌ها بصورت روزانه انجام گرفت. گلدهی از نهم آبان‌ماه تا چهارم آذرماه ادامه داشت. در هر تاریخ برداشت تعداد گل در هر کرت به طور جداگانه شمارش شد و پس از انتقال به آزمایشگاه میانگین وزن گل و عملکرد گل اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد کلاله و گلبرگ‌ها جداسازی شده و هر یک بطور جداگانه در سایه و در دمای آزمایشگاه (حدود ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد) خشک شدند. در انتهای دورهٔ گلدهی عملکرد کلاله و گلبرگ خشک تعیین گردید. عملکرد گل نیز از مجموع عملکردهای روزانهٔ گلها محاسبه گردید. افزون بر این، اثر تیمارهای آزمایشی بر سرعت گلدهی و سرعت ظهور برگ‌ها ارزیابی شد. در زراعت زعفران خروج گل‌ها قبل از برگ‌ها باعث تسهیل در عملیات برداشت و حفظ کیفیت گل‌ها می‌شود.

بنابراین، برای ارزیابی اثر تیمارهای آزمایش بر سرعت خروج برگها، تعداد بوته‌های سبز شده در هر کرت (خروج برگ به میزان یک سانتی‌متر از خاک) به‌طور روزانه در طول دورهٔ گلدهی ثبت شد. برای محاسبه سرعت گلدهی و سرعت ظهور برگ‌ها از معادلاتی که اولین بار توسط کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2016a) ارایه شدند، استفاده شد.

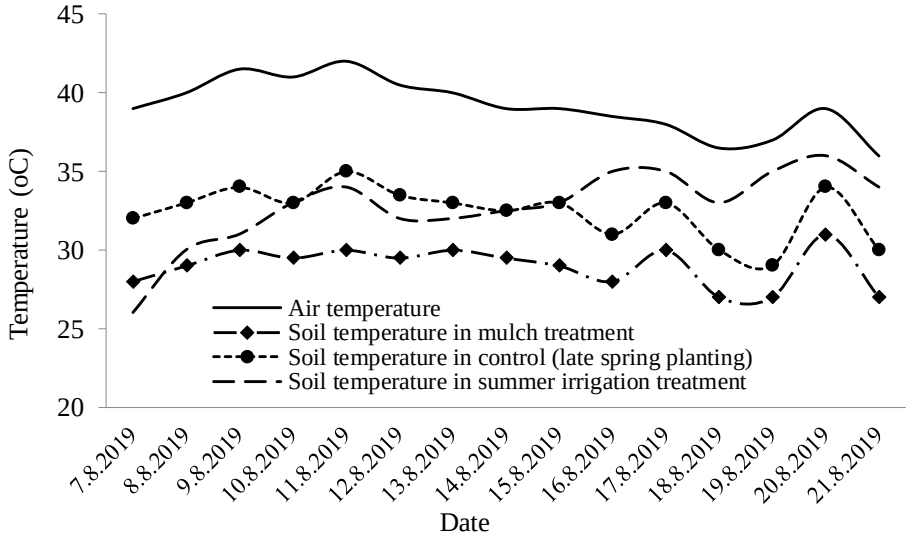
آنالیز آماریِ داده‌های حاصل از آزمایش، توسط نرم‌افزار SASنسخهٔ ۹/۲ انجام شد و میانگین‌ها نیز توسط آزمون FLSD در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

جدول ۱. خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Soil properties in experimental field

عمق نمونه-برداری Sampling depth (cm)	شاخص واکنش pH	هدایت الکتریکی EC_e (ds. m^{-1})	پتاسیم قابل جذب K_{ava} (mg kg^{-1})	نیتروژن Nitrogen (%)	فسفر Phosphorous (mg kg^{-1})	منیزیم محلول Soluble Mg	کلسیم محلول Soluble Ca	پتاسیم محلول Soluble K	سدیم محلول Soluble Na
						Meq l^{-1}			
0-30	8	2.46	190	0.027	7	1.21	3.98	0.078	19.32

رطوبت اشباع SP (%)	وزن مخصوص ظاهری Soil bulk density (g cm^3)	ماده آلی Organic matter (%)	نسبت جذب سدیم SAR (%)	سنگریزه Gravel	آهک Lime	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	بافت Soil texture
						%			
30	1.6	0.54	12	8.33	15	54	22	24	Sandy clay loam



شکل ۱. اثر شرایط نگهداری بنهٔ زعفران در درون خاک، بر تغییرات دمای حوزهٔ قرارگیریِ بنه در طی دورهٔ گل‌انگیزی

Fig 1. The effect of saffron corm storage conditions inside the soil on temperature changes in the planting depth, during the flower initiation period

نتایج و بحث

رشد کاتافیل و سرعت ظهور برگ

اثر شرایط نگهداری بنه بر رشد کاتافیل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). انجام آبیاری تابستانه و نیز نگهداری بنه‌ها در انبار از نیمهٔ خرداد تا نیمهٔ شهریورماه موجب افزایش تعداد کاتافیل در هر بنه شد، در حالی‌که بین سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. طول و وزن خشک کاتافیل نیز فقط در تیمار آبیاری تابستانه در مقایسه با تیمار کاشت بنه در خاک در خردادماه (شاهد) افزایش یافت و سایر تیمارها مقدار این شاخص‌ها را در مقایسه با تیمار شاهد کاهش دادند (جدول ۳). انجام آبیاری تابستانه با افزایش محتوای رطوبتیِ خاک موجب تحریک رشد جوانه‌های روی بنه و در نتیجه بهبود رشد کاتافیل می‌شود و بر همین اساس بیان شده است در صورت انجام آبیاری تابستانه، اولین آبیاری پاییزه بهتر است زودتر صورت پذیرد (Koocheki et al., 2020).

کاشت بنه در خردادماه و استقرار آن‌ها در دمای طبیعیِ خاک باعث شد تا شاخص‌های مرتبط با رشد کاتافیل در مقایسه با تیمارهای انبارداری در محیط و انکوباتور بهبود پیدا کند (جدول ۳). با توجه به اینکه در طی تابستان (دورهٔ خواب ظاهریِ بنه) بسیاری از فعالیت‌های حیاتی در درون بنه آغاز می‌شود، کاشت بنه در اواخر بهار و قبل از اتمام دورهٔ خواب حقیقیِ بنه، موجب استقرار مناسب بنه در بستر خاک و بهبود رشد جوانه‌ها می‌شود (Koocheki et al., 2016b). کاهش نسبی شاخص‌های مرتبط با رشد کاتافیل در تیمار مصرف بقایا در مقایسه با تیمار کاشت بنه در خردادماه بدون مصرف بقایای گیاهی (جدول ۳) نیز می‌تواند ناشی از کاهش نسبیِ دمای محل استقرار بنه در خاک در شرایط مصرف بقایا باشد (شکل ۱). این موضوع، باعث کاهش سرعت ظهور برگ‌ها نیز در این تیمار گردید (جدول ۳).

در ارتباط به انبارداری بنه‌ها، نصیری‌محلاتی و همکاران (Nassiri Mahallati et al., 2007) بیان کردند که به حدقل رساندن فاصلهٔ زمانیِ خروج بنه از خاک و کاشت آن برای زعفران سودمند است. در پژوهش مذکور، انبارداری بنه‌ها در طی تابستان در دمای ۳ تا ۴ درجهٔ سانتی‌گراد، باعث تحریک رشد جوانه‌ها شد، به طوری که در زمان کاشت بنه‌ها در مهرماه طول کاتافیل‌ها بین ۳ تا ۴ سانتی‌متر بود که موجب آسیب دیدن جوانه‌ها در حین کاشت گردید. در آزمایش کنونی که انبارداری بنه‌ها در دمای محیط و یا انکوباتور با دمای ۲۰ تا ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد صورت گرفت این مشکل وجود نداشت و در ۲۰ مهرماه و حتی پس از آبیاری پاییزه، طول کاتاقیل‌ها در تیمارهای انبارداری کمتر از سایر تیمارها بود (جدول ۳). رشد کاتافیل قبل از کاشتِ بنه می‌تواند به دلیل آسیب مکانیکی به جوانه‌های رشد یافته موجب خسارت گردد، در حالی‌که رشد کاتافیل پس از کاشت مشابه آنچه در آزمایش کنونی مطالعه شد، احتمالاً سودمند واقع گردد. بنابراین، به نظر می‌رسد انبارداری در دمای سرد موجب تحریک بیش از حد رشد کاتافیل می‌گردد، در حالی‌که انبارداری در دمای ۲۰ تا ۲۵ درجه نیز موجب تأخیر در رشد جوانه‌ها پس از کاشت می‌شود. جهت ارایهٔ نتایج قطعی‌تر در مورد اثر دمای انبارداری بر رشد جوانه‌ها، بهتر است در پژوهش‌های آتی اثر دماهای واقع در دامنهٔ ۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد نیز مورد مطالعه قرار گیرد.

رشد زایشی

اثر شرایط نگهداری بنه در طی دورهٔ رکود تابستانه، بر صفات مرتبط با رشد زایشی زعفران شامل تعداد گل، طول و وزن گل، سرعت گلدهی و عملکرد گل معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد گل در تیمارهای کاشت بنه در خردادماه و استقرار در دمای طبیعیِ خاک (شاهد) و اعمال آبیاری تابستانه به دست آمد و بعد از آن تیمار مصرف بقایا قرار داشت. بین سایر تیمارهای آزمایشی (ذخیره‌سازی بنه در انبار و انکوباتور) از حیث صفت تعداد گل در مترمربع تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). مصرف بقایای گیاهی منجر به افزایش معنی‌دار طول گل‌های زعفران شد و پس از آن نگهداری بنه در دمای ثابت انکوباتور بیشترین مقدار این صفت را ایجاد کرد و سایر تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۴). بیشترین مقدار میانگین وزن گل نیز در تیمار کاربرد بقایای گیاهی و نیز ذخیره‌سازیِ بنه در دمای متغیر انکوباتور مشاهده شد و سایر تیمارهای آزمایشی از حیث این صفت دارای تفاوت آماریِ معنی‌داری نبودند (جدول ۴).

جدول ۲. میانگین مربعات مربوط به اثر شرایط نگهداری بنه بر رشد کاتافیل و گلدهی زعفران

Table 2. Mean of square for the effect of corm storage condition on cataphyll growth and flowering of saffron

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد کاتافیل در بنه Number of cataphyll per corm	متوسط طول کاتافیل Mean length of cataphyll	متوسط وزن خشک کاتافیل Mean dry weight of cataphyll	سرعت ظهور برگ Leaf emergence rate	تعداد گل در واحد سطح Number of flower per unit area	طول گل Flower length	متوسط وزن هر گل Mean flower weight
تکرار Replication	2	0.042^{ns}	0.28^{ns}	0.011^{ns}	5.72^{ns}	32.86^{ns}	0.28^{ns}	0.0036*
تیمار Treatment	6	0.19**	2.38**	0.17**	40.48**	14901.33**	0.74*	0.0029*
خطا Error	12	0.037	0.19	0.016	3.38	284.05	0.19	0.00074
ضریب تغییرات C.V (%)	-	13.83	10.50	17.21	14.89	11.30	6.44	8.55

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	سرعت گلدهی Flowering rate	عملکرد گل Flower yield	طول کلاله Stigma length	عملکرد کلاله Stigma yield	عملکرد خامه Style yield	عملکرد گلبرگ Petal yield
تکرار Replication	2	9.88*	2456.10^{ns}	0.013^{ns}	0.37^{ns}	0.0028^{ns}	95.78^{ns}
تیمار Treatment	6	31.18**	112534.88**	0.041**	11.33**	0.033**	1617.40**
خطا Error	12	1.88	5291.29	0.0080	0.84	0.0042	120.96
ضریب تغییرات C.V (%)	-	18.34	15.57	3.38	17.45	24.99	18.65

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

* and ** are significant at 5 and 1% probability levels respectively. ns: non-significant.

جدول ۳. اثر شرایط نگهداری بنه زعفران در طی دورهٔ رکود تابستانه، بر رشد کاتافیل (برگهای کاذب) و سرعت ظهور برگها

Table 3. Effect of saffron corm storage conditions during dormancy period, on cataphyll growth and leaf emergence rate

تیمارها Treatments	تعداد کاتافیل ها در هر بنه Number of cataphyll per corm	میانگین طول کاتافیل Mean length of cataphyll (cm)	میانگین وزن خشک کاتافیل Mean dry weight of cataphyll (g)	سرعت ظهور برگ Leaf emergence rate (day^{-1})
کاشت بنه در خردادماه و استقرار بنه در دمای طبیعی خاک Corm planting in 5th June, under natural soil temperature	1.29^{bc}	4.63^{b}	0.99^{ab}	14.21^{b}
کاشت بنه در خردادماه همراه با آبیاری تابستانه Corm planting in 5th June, under natural soil temperature + Summer irrigation	1.87^{a}	5.90^{a}	1.12^{a}	14.11^{b}
کاشت بنه در خردادماه همراه با مصرف بقایای گیاهی Corm planting in 5th June under natural soil temperature + Mulch application	1.20^{c}	4.01^{bc}	0.77^{bc}	9.00^{c}
نگهداری بنه در انبار و کاشت در ۱۵ شهریورماه Corm storage at room (ambient temperature) + planting in 5th September	1.62^{ab}	3.33^{c}	0.48^{d}	17.65^{a}
نگهداری بنه در دمای ثابت ۲۵ درجهٔ انکوباتور و کاشت در ۱۵ شهریورماه Corm storage in constant temperature (25 °C) in incubator + planting on 5th September	1.16^{c}	3.36^{c}	0.56^{cd}	7.57^{c}
نگهداری بنه در دمای متغیر انکوباتور و کاشت در شهریورماه Corm storage at variable temperature in incubator (20-25-20 °C) + planting in 5th September	1.33^{bc}	4.06^{bc}	0.67^{cd}	9.49^{c}
نگهداری تلفیقی بنه‌ها در انبار و انکوباتور و و کاشت در ۱۵ شهریورماه Corm storage in room (up to 5th August) and incubator (up to 5th September) + planting in 5th September	1.37^{bc}	3.76^{c}	0.58^{cd}	14.39^{ab}
LSD	0.34	0.77	0.22	3.27

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

In each column, means with the same letter are not significantly different at 5% probability level.

آبیاری تابستانه و تیمار شاهد (کاشت بنه در خردادماه و استقرار آن در دمایِ طبیعیِ خاک) از حیث سرعت گلدهی در یک گروه آماری قرار داشتند و سایر تیمارهای آزمایشی منجر به کاهش مقدار این صفت در مقایسه با شاهد شدند. بالاتر بودن سرعت گلدهی در تیمار آبیاری تابستانه را می‌توان با تحریک رشد جوانه‌های بنه در شرایط فراهمی رطوبت مرتبط دانست (Asadi et al., 2019) که در این آزمایش نیز به‌صورت تسریع در رشد کاتافیل مشاهده شد (جدول ۳). کمترین مقدار سرعت گلدهی در تیمار نگهداری بنه‌ها در انبار به دست آمد (جدول ۴). بیشترین مقدار عملکرد گل، در تیمارهای کاشت بنه در خردادماه و استقرار در شرایط دماییِ طبیعی (شاهد) و اعمال آبیاری تابستانه مشاهده شد و پس از آن تیمار مصرف بقایای گیاهی قرار داشت. سایر تیمارهای آزمایشی که شامل ذخیره‌سازیِ بنه در بیرون از محیط خاک بودند (ذخیره‌سازی در انبار یا انکوباتور) از حیث این صفت تفاوت آماریِ معنی‌داری نداشتند. در بین تمامی تیمارهای مورد بررسی، کمترین عملکرد گل در تیمار نگهداری بنه در انبار حاصل شد (جدول ۴). تمامی تیمارهای کاشت خردادماه در مقایسه با کاشت شهریورماه از حیث میزان گلدهی زعفران دارای برتری بودند. در تحقیقات دیگری نیز اواخر بهار و حداکثر تا اواسط تیرماه، به‌عنوان بهترین تاریخ کاشت زعفران معرفی شده است (Ghobadi et al., 2015; Bayat et al, 2016) و دلیل آن به استقرار گیاه در خاک در طی دورهٔ خواب حقیقی نسبت داده شده است (Alavi Siney et al., 2020). در دورهٔ خواب حقیقی، بنه‌ها تحت تأثیر هورمون‌های بازدارنده، دارای خواب کامل هستند، در حالی‌که در طی تابستان اگرچه بنه‌ها ظاهراً در حال خواب هستند، اما تحت تأثیر هورمون‌های رشد، دارای فعالیت‌های گستردهٔ تکوین و تمایز اندام‌ها می‌باشند و هر گونه جابجایی بنه‌ها موجب کاهش رشد و عملکرد زعفران می‌شود (Koocheki et al., 2016b). تنش گرمایی تابستانه اثر منفیِ قابل ملاحظه‌ای بر گل‌انگیزی زعفران دارد و به‌عنوان یکی از دلایل مهم کاهش میانگین عملکرد مزارع ایران در طی دو دههٔ گذشته شناخته می‌شود (Koocheki et al., 2009). استفاده از بقایای گیاهی در سطح مزرعه و آبیاری تابستانه به عنوان راه‌کارهایی برای کاهش اثرات منفی تنش گرما بر گلدهی زعفران پیشنهاد شده‌اند. در همین راستا در پژوهشی گزارش شد که مصرف مالچ گیاهی در سطح مزارع زعفران موجب کنترل درجه حرارت خاک و بهبود گلدهی زعفران می شود (Galavi et al, 2008). این موضوع توسط جعفری‌مقدم و همکاران (Jafarimoghadam et al., 2018) و هریوندی و همکاران (Harivandi et al., 2019) نیز مورد تأیید قرار گرفته است. همچنین اثر مثبت آبیاری تابستانه در طی دورهٔ گل‌انگیزی بر بهبود رشد زایشی زعفران در آزمایشات فیضی و همکاران (Feizi et al., 2015) و اسدی و همکاران (Asadi et al., 2019) گزارش شده است. با این وجود، در آزمایش کنونی آبیاری تابستانه با وجود بهبود رشد کاتافیل، اثر مثبتی بر بهبود گلدهیِ گیاه نداشت و مصرف بقایای گیاهی با وجود کاهش دادن دمای خاک در طی دورهٔ گل‌انگیزی (شکل ۱)، در مقایسه با تیمار عدم استفاده از مالچ (کاشت در خردادماه و استقرار در دمای طبیعیِ خاک) باعث کاهش عملکرد شد. دما و رطوبت خاک از عوامل مهم موثر بر گل‌انگیزی زعفران می‌باشند (Molina et al., 2004; Molina et al., 2005; Koocheki et al., 2010) و به‌نظر می‌رسد توجه همزمان به این دو فاکتور محیطی بتواند موجب بهبود گلدهی زعفران شود. در تیمار آبیاری تابستانه با وجود افزایش رطوبتِ در دسترس برای بنه، اما در بخشی از دورهٔ گل‌انگیزی دمای خاک اطراف بنه بیشتر از تیمار شاهد شد (شکل ۱) و در تیمار مصرف بقایای گیاهی نیز با وجود اینکه در کل دورهٔ گل‌انگیزی دمای خاک اطراف بنه‌ها کمتر از تیمار شاهد بود (شکل ۱)، ولی احتمالاً رطوبت کافی برای وقوع مناسب گل‌انگیزی فراهم نبوده است. بنابراین، به‌نظر می‌رسد استفاده همزمان بقایای گیاهی و آبیاری سبکِ تابستانه بتواند با تنظیم دما و رطوبت در اطراف بنه، سودمندی بیشتری را ایجاد نماید که بایستی در تحقیقات آتی به آن پرداخته شود.

جدول ۴. اثر شرایط نگهداری بنه در طی دورهٔ رکود تابستانه، بر گلدهی زعفران

Table 4. effect of corm storage conditions during summer dormancy period, on saffron flowering

تیمارها Treatments	تعداد گل Number of flower (No. m^{-2})	طول گل Flower length (cm)	وزن هر گل Flower weight (g)	سرعت گلدهی Flowering rate (day^{-1})	عملکرد گل Flower yield (kg ha^{-1})
کاشت بنه در خردادماه و استقرار بنه در دمای طبیعیِ خاک Corm planting in 5th June, under natural soil temperature	251.41^{a}	6.77^{bc}	0.30^{c}	11.68^{a}	756.77^{a}
کاشت بنه در خردادماه همراه با آبیاری تابستانه Corm planting in 5th June, under natural soil temperature + Summer irrigation	246.67^{a}	6.43^{c}	0.29^{c}	11.18^{ab}	701.73^{a}
کاشت بنه در خردادماه همراه با مصرف بقایای گیاهی Corm planting in 5th June under natural soil temperature + Mulch application	143.11^{b}	7.60^{a}	0.37^{a}	8.88^{bc}	527.57^{b}
نگهداری بنه در انبار و کاشت در شهریورماه Corm storage at room (ambient temperature) + planting on 5th September	86.45^{c}	6.43^{c}	0.314^{bc}	3.73^{d}	272.85^{c}
نگهداری بنه در دمای ثابت انکوباتور و کاشت در شهریورماه Corm storage in constant temperature (25 ^{o}C) in incubator + planting on 5th September	110.37^{c}	7.32^{ab}	0.303^{c}	4.74^{d}	336.87^{c}
نگهداری بنه در دمای متغیر انکوباتور و کاشت در شهریورماه Corm storage at variable temperature in incubator (20-25-20 ^{o}C) + planting on 5th September	98.22^{c}	6.25^{c}	0.35^{ab}	7.33^{c}	344.93^{c}
نگهداری تلفیقی بنه‌ها در انبار و انکوباتور و و کاشت در شهریورماه Corm storage in room (up to 5th August) and incubator (up to 5th September) + planting on 5th September	107.07^{c}	6.77^{bc}	0.312^{bc}	4.75^{d}	336.80^{c}

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

In each column, means with the same letter are not significantly different at 5% probability level.

عملکرد کلاله و گلبرگ

شرایط نگهداری بنهٔ زعفران در طی دورهٔ رکود تابستانه، اثر معنی‌داری بر صفات طول کلاله، عملکرد کلاله و نیز عملکرد گلبرگ و خامه داشت (جدول ۲). در بین تمامی تیمارهای آزمایشی، مصرف بقایای گیاهی در سطح مزرعه باعث حصول بیشترین طول کلاله شد. کاشت بنه در خردادماه و استقرار آن در دمای طبیعیِ خاک (تیمار شاهد) موجب حصول بیشترین عملکرد کلاله شد و پس از آن تیمارهای آبیاری تابستانه و کاربرد مالچ به‌ترتیب با ۱۰/۸ و ۲۶/۱ درصد کاهش نسبت به شاهد قرار داشتند. تیمارهای نگهداری بنه در بیرون از محیط خاک به شدت موجب کاهش عملکرد کلاله شدند، به طوریکه در تیمار ذخیره‌سازی بنه در انبار عملکرد کلاله ۱۵۰ درصد در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت (جدول ۵). از نظر عملکرد خشک خامه تیمارهای مصرف مالچ و آبیاری تابستانه با تیمار شاهد در یک گروه آماری قرار گرفتند و به مراتب دارای مقادیر بیشتری در مقایسه با تیمارهای ذخیره‌سازی بنه در انبار یا انکوباتور بودند (جدول ۵). روند مشابهی نیز در مورد عملکرد گلبرگ مشاهده شد، به‌طوری که نگهداری بنه در انبار یا انکوباتور و سپس کشت آنها در شهریورماه به طور معنی‌داری باعث کاهش عملکرد در مقایسه با کاشت خردادماه و سپری شدن دورهٔ گل‌انگیزی در درون خاک شد (جدول ۵).

کاهش شدید عملکرد گل و کلالهٔ زعفران در تیمار ذخیره‌سازی بنه در دمای انبار احتمالاً ناشی از وقوع تنش گرمایی از یک‌طرف (دماهای بیش از ۳۰ درجهٔ سانتی-گراد) و نیز کاهش قابل ملاحظهٔ محتوای آب بنه در این دوره بود. با این وجود، در تیمار ذخیره‌سازی بنه در انکوباتور که دما از ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد نیز بالاتر نرفت، گلدهی زعفران کاهش قابل توجهی نشان داد. در این تیمارها نیز فقط دمای محیط کنترل شد، ولی به دلیل قرارگیری بنه‌ها در رطوبت نسبیِ محیط (۳۰ تا ۴۰

درصد) در پایان دورهٔ انکوباسیون بخش قابل توجهی از محتوای آب بنه‌ها کاهش پیدا کرد. بنابراین، به‌نظر می‌رسد در مطالعات آتی مطابق با توصیه مولینا و همکاران (Molina et al., 2005) و ملافیلابی (Mollafilabi, 2014) با استفاده از رطوبت نسبی حدود ۸۰ درصد در طی دورهٔ انکوباسیون، بتوان نتایج مناسب‌تری را به دست آورد.

جدول ۵. اثر شرایط نگهداری بنه در طی دورهٔ رکود تابستانه، بر عملکرد کلاله، خامه و گلبرگ زعفران

Table 5. Effect of corms storage conditions during summer dormancy period on stigma, style and petal yields of saffron

تیمارها **Treatments**	طول کلاله **Stigma length (mm)**	عملکرد کلاله **Stigma yield (kg ha^{-1})**	عملکرد خامه **Style yield (kg ha^{-1})**	عملکرد گلبرگ **Petal yield (kg ha^{-1})**
کاشت بنه در خردادماه و استقرار بنه در دمای طبیعیِ خاک Corm planting in 5th June, under natural soil temperature	25.3^{cd}	8.07^{a}	0.39^{a}	93.60^{a}
کاشت بنه در خردادماه همراه با آبیاری تابستانه Corm planting in 5th June, under natural soil temperature + Summer irrigation	25.1^{d}	7.28^{ab}	0.34^{a}	85.26^{ab}
کاشت بنه در خردادماه همراه با مصرف بقایای گیاهی Corm planting in 5th June under natural soil temperature + Mulch application	28.3^{a}	6.40^{b}	0.37^{a}	67.53^{b}
نگهداری بنه در انبار و کاشت در شهریورماه Corm storage at room (ambient temperature) + planting on 5th September	26.3^{bcd}	3.24^{c}	0.16^{b}	35.45^{c}
نگهداری بنه در دمای ثابت انکوباتور و کاشت در شهریورماه Corm storage in constant temperature (25 ^{o}C) in incubator + planting on 5th September	27.4^{ab}	4.28^{c}	0.203^{b}	44.06^{c}
نگهداری بنه در دمای متغیر انکوباتور و کاشت در شهریورماه Corm storage at variable temperature in incubator (20-25-20 ^{o}C) + planting on 5th September	25.4^{cd}	3.68^{c}	0.15^{b}	41.20^{c}
نگهداری تلفیقی بنه‌ها در انبار و انکوباتور و و کاشت در شهریورماه Corm storage in room (up to 5th August) and incubator (up to 5th September) + planting on 5th September	27.0^{abc}	3.89^{c}	0.20^{b}	45.56^{c}
LSD	1.59	1.63	0.11	19.56

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

In each column, means with the same letter are not significantly different at 5% probability level.

نتیجه‌گیری

کاشت بنه‌ها در خردادماه و استقرار آن‌ها در درون خاک باعث بهبود رشد زایشی زعفران شد. تیمارهای قرارگیری بنه در دمای طبیعی خاک (تیمار شاهد) و اعمال آبیاری تابستانه تقریباً بهترین شرایط را برای گلدهی گیاه ایجاد کردند و پس از آن‌ها تیمار مصرف بقایای گیاهی در سطح خاک، قرار داشت که با وجود کاهش دمای اطراف بنه، نتوانست منجر به بهبود عملکرد گل در مقایسه با تیمار شاهد شود. ذخیره‌سازی بنه‌ها در بیرون از خاک به‌ویژه نگهداری آن‌ها در انبار با دمای کنترل نشده، باعث کاهش قابل توجه شاخص‌های مرتبط با رشد زایشی زعفران شد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی استفادهٔ همزمان مالچ و آبیاری تابستانه و نیز کنترل میزان رطوبت نسبی در انکوباتور در طی دورهٔ ذخیره‌سازی بنه مورد توجه قرار گیرد.

سپاسگزاری

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی (پایان‌نامه کارشناسی ارشد) به شماره ابلاغیه ۷۹۱۵/د/۱۳۹۸ مورخ ۱۳۹۸/۴/۱۱ و با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه بیرجند انجام شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی میشود.

منابع

Alavi Siney, S. M., Ahmadpour Jolgeh, A., Behroozeh, M., & Soltani, M. (2020). Evaluation of planting date and corm weight effects on flower, stigma and daughter corms characters of saffron (*Crocus sativus* L.) under the south Kerman climatic conditions. *Saffron Agronomy & Technology*, 8(1), 59-73. (In Persian with English Summary).

Asadi, Gh.A., Khorramdel, S., Ghorbani, R., & Bicharanlou, B. (2019). Evaluation of the effect of soil fertilizers and summer irrigation on corm and flower yield of saffron. *Saffron Agronomy & Technology*, 6(4), 393-414. (In Persian with English Summary).

Bayat, M., Rahimi, M., & Ramezani, M. (2016). Determining the most effective traits to improve saffron (*Crocus sativus* L.) yield. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 22(1), 153-161.

Behdani, M.A., Fallahi, H.R., & Sardar, M. (2018). *Technical Knowledge of Saffron Production*. Haft-Rang Press. 58 p. (In Persian)

Behdani, M.A., & Fallahi, H.R. (2015). *Saffron: Technical Knowledge Based on Research Approaches*. University of Birjand Publication. (In Persian).

Galavi, M., Soloki, M., Mousavi, S.R., & Ziyaie, M. (2008). Effect of planting depth and soil summer temperature control on growth and yield of safrron (*Crocus sativus* L.). *Asian Journal of Plant Sciences*, 7(8), 747-751.

Ghobadi, F., Ghorbani Javid, M., & Sorooshzadeh, A. (2015). Effects of planting date and corm size on flower yield and physiological traits of saffron (*Crocus sativus* L.) under Varamin plain climatic conditions. *Saffron Agronomy & Technology*, 2(4), 265-276. (In Persian with English Summary).

Fallahi, H., & Mahmoodi, S. (2018). Impact of water availability and fertilization management on saffron (*Crocus sativus* L.) biomass allocation. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 1(2), 131-146.

Feizi, H., Mollafilabi, A., Sahabi, H., & Ahmadian, A. (2015). Effect of summer irrigation and conservation tillage on flower yield and qualitative characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy & Technology*, 2(4), 255-263. (In Persian with English Summary).

Jafarimoghadam, M., Ghasemi, E., & Khalesi, N. (2018). Soil temperature and moisture as affected by mulching and cover crop management in saffron (*Corocus sativus* L.). 21st Conference of International Soil Tillage Research Organization (ISTRO). 24-27th September, Paris, France.

Karimi Se-Qala, H., Ansari, H., & Beizai, A.N. (2015). The effect of summer irrigation and mulch cover on saffron stigma yield. The first national congress for the development and promotion of agricultural engineering and soil sciences in Iran. 28th January, Tehran, Iran. (In Persian).

Katawazy, A.S. (2013). *A Comprehensive Study of Afghan Saffron.* Research Planning and Policy Directorate, Afghanistan Investment Support Agency (AISA) 46P.

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Alizadeh, A., & Ganjali, A. (2009). Modelling the impact of climate change on flowering behaviour of Saffron (*Crocus sativus* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 7(2), 583-594. (In Persian with English Summary).

Koocheki, A., Alizadeh, A., & Ganjali, A. (2010). Effect of temperature increase on flowering behavior of saffron (*Crocus sativus* L). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(2), 324-335. (In Persian with English Summary).

Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., Mollafilabi, A., & Seyyedi, S.M. (2015). Effects of corm planting density and manure rates on flower and corm yields of saffron (*Crocus sativus* L.) in the first year after planting. *Journal of Agroecology*, 6(4), 719-729. (In Persian with English Summary).

Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., & Fallahi, H.R. (2016a). Effects of planting dates, irrigation management and cover crops on growth and yield of saffron (*Crocus sativa* L.). *Journal of Agroecology*, 8(3), 435-451. (In Persian with English Summary).

Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., Fallahi, H.R., & Aghhavani Shajari, M. (2016b). The study of saffron (*Crocus sativus* L.) replacement corms growth in response to planting date, irrigation management and companion crops. *Saffron Agronomy and Technology*, 4(1), 3-18. (In Persian with English Summary).

Koocheki, A., Fallahi, H.R., & Jami Al-Ahmadi, M. (2020). *Saffron Water Requirement*. In: Saffron: Science, Technology and Health

(Eds: Koocheki, A., Khajeh-Hosseini, M). Woodhead Publishing.

Kumar, R., Singh, V., Devi, K., Sharma, M., Singh, M.K., & Ahuja, P.S. (2009). State of art of saffron (*Crocus sativus* L.) agronomy: a comprehensive review. *Food Reviews International*, 25, 44-85.

Harivandi, M.R., Rezvani Moghaddam, P., Khoramdel, S., & Moayedi, A.A. (2019). Effect of amount and time of wheat straw application as mulch on flowering and morphological characteristics of replacement corms of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy & Technology*, 7(3), 301-318. (In Persian with English Summary).

Molina, R.V., Valero, M., Navarro, Y., García-Luis, A. & Guardiola, J.L. (2004). The effect of time of corm 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., & García-Luis, A. (2005). Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L.). *Scientia Horticulturae*, 103, 361-379.

Mollafilabi, A. (2014). Effect of new cropping technologies on growth characteristics, yield, yield components of flower and corm criteria of saffron (*Crocus sativus* L.). Ph. D Dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi Univesity of Mashhad. (In Persian with English Summary).

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Boroumand Rezazadeh, Z., & Tabrizi, L. (2007). Effects of corm size and storage period on allocation of assimilates in different parts of saffron plant (*Crocus sativus* L.). *Iranian Journal of Field Crop Research*, 5(1), 155-166. (In Persian with English Summary).

Rezvani Moghaddam, P., Koocheki, A., Mallafilabi, A., & Seyyedi, S.M. (2013). The effects of different levels of applied wheat straw in different dates on saffron (*Crocus sativus* L.) daughter corms and flower initiation criteria in the second year. *Saffron Agronomy and Technology*, 1(1), 55-70. (In Persian with English Summary).

Sadeghi, B. (1997). *The effect of summer irrigation on saffron yield*. Publications of Iran Scientific and Industrial Research Organization. (In Persian).

COPYRIGHTS

© 2024 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/)