



Effects of Temperature and Precipitation Fluctuations and Agronomic Parameters on Flowering Indices of Saffron (*Crocus sativus* L.) in Razavi Khorasan Province, Iran

Ramin Esmi¹, Soroor Khorramdel^{2*} and Atefeh Mirzaeian³

Article type:

Research Article

Article history:

Submitted: 16 December 2025

Revised: 26 February 2026

Accepted: 12 March 2026

Available Online: 21 March 2026

How to cite this article:

Esmi, R., Khorramdel, S., and Mirzaeian, A. (2026). Effects of Temperature and Precipitation Fluctuations and Agronomic Parameters on Flowering Indices of Saffron (*Crocus sativus* L.) in Razavi Khorasan Province, Iran. *Saffron Agronomy & Technology*, 13(4), 341-365. <https://doi.org/10.22048/jsat.2026.566599.1583>

Abstract

Considering the impact of climatic parameters, particularly temperature and precipitation, on the growth, yield, and quality of saffron, this study aimed to investigate the flower and stigma yield along with some quantitative traits of saffron under the influence of climatic factors and agricultural management in ten counties of Khorasan Razavi Province (including Bajestan, Bakharz, Bardaskan, Gonabad, Quchan, Mashhad, Mahvalat, Taybad, Torbat-e Heydarieh, and Zaveh) through a questionnaire survey conducted over two years (2022 and 2023). The studied traits included time to flowering onset, flowering duration, flower yield, stigma yield, and stigma harvest index in saffron. Cluster analysis was performed to group cities affected by climatic and agronomic parameters. The results indicated that the simple effects of farm age, number of irrigations, summer irrigation, climate, year, and the interaction between climate and year were significant ($p \leq 0.05$) for most flowering indices. The flowering duration ranged from 12.2 to 17.5 days in 2022 and from 8.2 to 12.1 days in 2023. The longest flowering duration in both years was recorded in Zaveh and Bakharz, while Bajestan had the shortest. The greatest and least reduction in flowering duration from the first to the second year were observed in Taybad and Zaveh, respectively. The flower yield ranged from 278.5 to 799.95 kg.ha⁻¹ in 2022 and from 152.1 to 360.8 kg.ha⁻¹ in 2023; in both years, Taybad and Bardaskan had the highest and lowest yields, respectively. The reduction in flower yield from the first to the second year ranged from 34% to 67%, with Zaveh and Bajestan showing the highest and lowest reductions, respectively. Correlation analysis between climatic parameters and saffron yield revealed a highly significant correlation between yield and the average August temperature, as well as between yield and the total February. As the average August temperature increased, yield decreased; conversely, increased February precipitation improved yield. Since replenishment of photosynthetic material occurs in daughter corms during winter, rainfall during the growing season is crucial. All flowering indices were higher in counties with cooler climates compared to those with warmer climates. Furthermore, the decline in flower and stigma yield in the second year was less pronounced in warmer counties due to lower cold damage. Overall, it is recommended to adopt ecological intensification

1- Head of the saffron desk of the Khorasan Razavi Agricultural Jihad Organization, Mashhad, Iran.

2- Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

3- Ph.D. Student of Agrotechnology, Crop Physiology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.



Corresponding author email: khorramdel@um.ac.ir

<https://doi.org/10.22048/jsat.2026.566599.1583>

strategies, such as soil shading during hot summers, planting large corms at high density per unit area, and reducing the exploitation period, to mitigate the effects of climate change.

Keywords: Climate change, Duration of flowering, Ecological intensification, Time to flowering onset

مقاله پژوهشی

اثر نوسانات دما، بارندگی و عوامل مدیریتی بر شاخص‌های گلدهی زعفران در استان خراسان رضوی

رامین اسمی^۱، سرور خرم دل^{۲*} و عاطفه میرزائیان^۳

تاریخ دریافت: ۲۵ آذر ۱۴۰۴

تاریخ بازنگری: ۷ اسفند ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۲۱ اسفند ۱۴۰۴

اسمی، ر.، خرم دل، س.، میرزائیان، ع. (۱۴۰۴). اثر نوسانات دما، بارندگی و عوامل مدیریتی بر شاخص‌های گلدهی زعفران در استان خراسان رضوی. *زراعت و فناوری زعفران*، ۱۳ (۴)، ۳۴۱-۳۶۵.

چکیده

این مطالعه به منظور بررسی عملکرد گل و کلاله و برخی ویژگی‌های کمی زعفران تحت تأثیر عوامل مهم اقلیمی و مدیریت زراعی در ۱۰ شهرستان در استان خراسان رضوی (شامل بجستان، باخرز، بردسکن، گناباد، قوچان، مشهد، مهاباد، تایباد، تربت‌حیدریه و زاوه) به صورت پرسشنامه‌ای طی دو سال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ انجام شد. صفات مورد مطالعه شامل زمان تا شروع گلدهی، طول دوره گلدهی، عملکرد گل، عملکرد کلاله و شاخص برداشت کلاله بودند. تجزیه خوشه‌ای برای گروه‌بندی شهرستان‌ها تحت تأثیر عوامل اقلیمی و مدیریتی انجام شد. نتایج نشان داد که اثر ساده سن مزرعه، تعداد آبیاری، آبیاری تابستانه، اقلیم و سال و اثر متقابل اقلیم×سال بر بیشتر شاخص‌های گلدهی معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بود. دامنه طول دوره گلدهی طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به ترتیب ۱۲/۵-۱۲/۲ و ۸/۲-۱۲/۱ روز ثبت شد. بیشترین طول دوره گلدهی در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به ترتیب مربوط به زاوه و باخرز بود و کمترین میزان نیز در هر دو سال برای بجستان مشاهده شد. بیشترین و کمترین دامنه کاهش طول دوره گلدهی در سال دوم نسبت به سال اول به ترتیب برای تایباد و زاوه ثبت گردید. دامنه عملکرد گل طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به ترتیب برابر با ۷۹۹/۹۵-۲۷۸/۵ و ۳۶۰/۸-۱۵۲/۱ کیلوگرم در هکتار بود؛ به طوری که در هر دو سال بیشترین و کمترین عملکرد به ترتیب به تایباد و بردسکن اختصاص داشت. دامنه کاهش عملکرد گل در سال دوم نسبت به سال اول برابر با ۶۷-۳۴ درصد محاسبه شد که بیشترین و کمترین میزان به ترتیب برای زاوه و بجستان ثبت شد. نتایج همبستگی بین پارامترهای اقلیمی و عملکرد نشان داد که قوی‌ترین همبستگی معنی‌دار بین عملکرد با میانگین دمای ماه مرداد و مجموع بارندگی اسفند ماه مشاهده شد. به طوری که با افزایش میانگین دما در ماه مرداد، عملکرد کاهش و با افزایش میزان بارندگی در ماه اسفند عملکرد بهبود خواهد یافت. از آنجا که طول دوره انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به بنه‌های دختری در طی فصل زمستان رخ می‌دهد، وقوع بارندگی در طی مرحله رویشی در این فصل (مانند اسفند ماه) مهم است. همچنین کلیه شاخص‌های گلدهی در شهرستان‌های دارای اقلیم سردتر نسبت به گرم‌تر بالاتر بود. از طرف دیگر، افت عملکرد گل و کلاله در سال دوم در شهرستان‌های دارای اقلیم گرم‌تر نسبت به سردتر به دلیل خسارت کمتر سرما، پایین‌تر محاسبه گردید. به طور کلی، بر اساس نتایج این مطالعه، پیشنهاد می‌شود که از راهبردهای فشرده‌سازی اکولوژیکی نظیر سایه‌اندازی سطح خاک در طی ماه‌های گرم تابستان، کاشت بنه‌های درشت و با تراکم بالا و کاهش سن مزرعه به منظور تخفیف اثر تغییر اقلیم در مدیریت پایدار زعفران بهره‌گیری نمود.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، زمان تا شروع گلدهی، فشرده‌سازی اکولوژیکی، طول دوره گلدهی.

۱- مسئول میز زعفران سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی، مشهد، ایران.

۲- دانشیار گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۳- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

(*) نویسنده مسئول: Khorramdel@um.ac.ir

مقدمه

زعفران (*Crocus sativus* L.) به عنوان گران ترین ادویه جهان، جایگاه ویژه‌ای در اقتصاد کشاورزی ایران دارد و استان خراسان رضوی یکی از مهم ترین مناطق تولیدکننده آن محسوب می شود (Kafi et al., 2006; FAO, 2024). این گیاه علاوه بر کاربردهای گسترده در صنایع غذایی و دارویی، به دلیل سازگاری با شرایط خشک و نیمه خشک، از اهمیت ویژه‌ای در کشور نیز برخوردار است (Aminifard & Amiri, 2021; Anaeigoudari et al., 2023).

چرخه زیستی زعفران شامل مراحل فنولوژیکی متمایزی است که هر یک از مراحل رشدی به شرایط محیطی خاصی وابسته می باشند. دوره خواب بنه ها و القای گلدهی در تابستان، ظهور گل در پاییز و رشد رویشی و پر شدن بنه های دختری در زمستان و اوایل بهار، مراحل اصلی این چرخه رشدی را تشکیل می دهند (Lopez-Corcoles et al., 2015; Koocheki, 2024). گزارش شده است که دما به عنوان مهم ترین عامل محیطی، نقش کلیدی در کنترل این مراحل در گیاه زعفران ایفا می کند؛ به طوری که دمای بالا در تابستان و کاهش دما در پاییز برای دو مرحله القای گلدهی و ظهور گل به ترتیب ۲۳ تا ۲۷ و حدود ۱۵ تا ۱۷ درجه سانتی گراد برای شکستن خواب و القای گلدهی و ظهور گل ضروری است (Molina et al., 2005; Koocheki et al., 2009; Koocheki et al., 2010; Jose-Sanathi et al., 2023). از سوی دیگر، بارندگی به ویژه در مرحله رشد رویشی از طریق طولانی تر شدن دوره انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به بنه های دختری (طی ماه های اسفند و فروردین) تأثیر مستقیمی بر عملکرد گل در سال بعد دارد (Khorramdel & Mirzaeian, 2025).

علاوه بر عوامل اقلیمی، مدیریت زراعی نیز نقش تعیین کننده ای در موفقیت کشت زعفران ایفا می کند؛ به طوری که عواملی نظیر سن مزرعه، تراکم و اندازه بنه، تعداد و زمان آبیاری

(نظیر آبیاری تابستانه) از جمله مهم ترین تصمیمات مدیریتی در سطح مزرعه هستند که می توانند به طور نسبی اثر شرایط اقلیمی را تعدیل کنند (Rostami & Mohammadi, 2013; Feizi et al., 2015; Zamani et al., 2024). سن مزرعه، تراکم کاشت و آبیاری تابستانه هر یک از جنبه های متفاوتی بر فرآیند گلدهی زعفران اثر می گذارند. نتایج برخی پژوهش ها نشان داده اند که آبیاری تابستانه در ماه های تیر و مرداد بیشترین تأثیر را در افزایش تعداد گل و عملکرد کلالة دارد (Feizi et al., 2015).

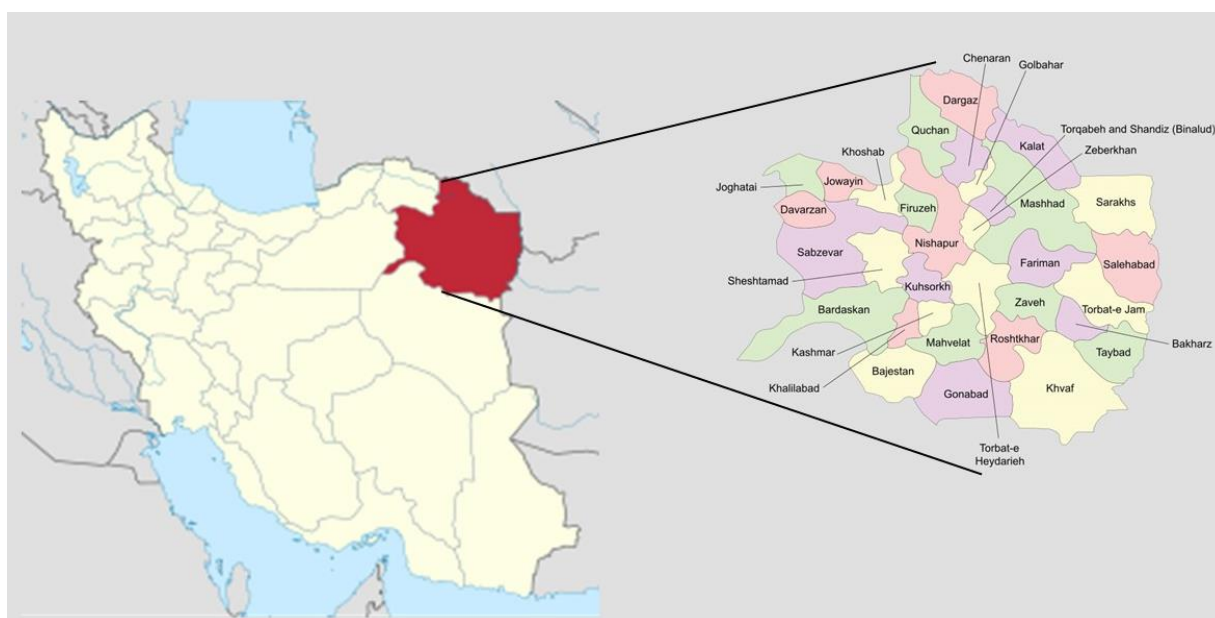
اگرچه پژوهش های متعددی به اثرات مستقل دما (Molina et al., 2010; Koocheki et al., 2005; et al.) یا مدیریت زراعی (Khorramdel et al., 2022) بر زعفران پرداخته اند، اما مطالعه جامعی که اثر همزمان و متقابل نوسانات دما، بارندگی و عوامل مدیریتی را بر شاخص های گلدهی زعفران در سطح منطقه ای و در شرایط واقعی مزرعه بررسی کند، تاکنون انجام نشده است. بر این اساس، بررسی همزمان این دو دسته عامل از چند جنبه ضروری است: نخست آنکه در عمل، کشاورزان با ترکیبی از این عوامل در شرایط واقعی مواجه هستند و اثرات اقلیمی همواره در بستری از تصمیمات مدیریتی (نظیر تراکم کاشت، سن مزرعه و مدیریت آبیاری) بروز می کنند (Pirasteh-Anosheh et al., 2023)؛ از طرفی، مدیریت زراعی می تواند به عنوان راهکاری برای تعدیل اثرات منفی تغییرات اقلیمی عمل کند، به طوری که انتخاب تراکم و اندازه مناسب بنه، مدیریت آبیاری تابستانه و کاهش سن مزرعه از جمله اقدامات زراعی هستند که کاهش خسارت های ناشی از تنش های دمایی و کم آبی را به همراه دارند (Feizi et al., 2015; Khorramdel & Mirzaeian, 2025). بنابراین، از آنجائیکه تغییرات اقلیمی به ویژه در سال های اخیر منجر به بروز نوسانات شدید دمایی و تغییر الگوی بارندگی شده، لذا درک اثرات متقابل این عوامل با مدیریت مزرعه، برای ارائه توصیه های مدیریتی دقیق و منطقه ای به کشاورزان ضروری

است (Kouzegaran et al., 2020).

مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف تجزیه و تحلیل اثر متقابل عوامل اقلیمی و مدیریتی بر شاخص‌های گلدهی و عملکرد گل زعفران در ۱۰ شهر مهم تولید این محصول در استان خراسان رضوی شامل بجستان، باخرز، بردسکن، گناباد، قوچان، مشهد، مهاباد، تایباد، تربت‌حیدریه و زاوه در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ انجام شد (شکل ۱).

بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر همزمان نوسانات دما و بارندگی (به‌عنوان مهم‌ترین عوامل اقلیمی) و تعدادی از عوامل مهم مدیریتی (شامل سن مزرعه، تراکم بنه، تعداد آبیاری و آبیاری تابستانه) بر برخی از مهمترین شاخص‌های گلدهی زعفران شامل زمان تا شروع گلدهی، طول دوره گلدهی، عملکرد گل، عملکرد کلاله و شاخص برداشت کلاله در ده شهرستان مهم تولیدکننده این محصول در استان خراسان رضوی انجام شد.



شکل ۱- موقعیت مکانی شهرهای مورد مطالعه در استان خراسان رضوی
Figure 1- Location of studied cities in Razavi Khorasan province.

البته مدیریتی کشاورز در سال قبل (شامل مراحل رشد رویشی، القای گلدهی و ظهور گل) می‌باشد (Khorramdel & Mirzaeian, 2025)، در این مطالعه داده‌های اقلیمی برای هر دو سال به صورت جداگانه از دوره یک‌ساله قبلی منتهی به آن (از آبان ماه سال قبل تا آبان ماه سال گلدهی) استخراج و مورد تحلیل قرار گرفت.

داده‌های اقلیمی شامل بارندگی ماهانه، حداقل، حداکثر و میانگین دمای ماهانه طی دو سال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ از مرکز اقلیم‌شناسی خراسان رضوی استخراج شد. مشخصات جغرافیایی و پارامترهای هواشناسی شهرستان‌های مورد مطالعه در استان خراسان رضوی در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. با توجه به اینکه گلدهی و عملکرد در زعفران تحت تأثیر شرایط اقلیمی و

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی شهرهای تولیدکننده زعفران در استان خراسان رضوی
Table 1- Geographic information of saffron-producing cities in Razavi Khorasan province

نام شهر City name	طول جغرافیایی Longitude (E)	عرض جغرافیایی Latitude (N)	ارتفاع از سطح دریا Altitude (m ASL)
باخرز Bakharz	60.31	34.99	1283
بجستان Bajestan	58.10	43.31	1250
بردسکن Bardaskan	56.14	34.42	985
تایباد Taybad	60.49	34.44	806
تربت حیدریه Torbat-e- Heydarieh	59.13	35.17	1450
زاوه Zaveh	59.46	35.27	1750
قوچان Quchan	58.30	37.06	1350
گناباد Gonabad	58.40	34.21	1105
مشهد Mashhad	59.32	36.19	995
مهولات Mahvelat	58.40	35.02	940

نیز مصاحبه انجام شود، اما به دلایلی ناخواسته نظیر تغییر الگوی کاشت مزرعه یا عدم دسترسی، حدود ۱۵ درصد از کشاورزان در سال دوم با هماهنگی مراکز جهاد کشاورزی جایگزین شدند. در این راستا، برخی کشاورزان بدون هماهنگی در سال دوم مدیریت مزرعه مورد بهره‌برداری را تغییر داده بودند.

در هر یک از شهرهای مورد مطالعه، اطلاعات زراعی مربوط به مزارع زعفران شامل سن مزرعه، مقدار بنه مصرفی در زمان کاشت، تعداد آبیاری، اعمال آبیاری تابستانه و شاخص‌های عملکرد شامل زمان تا شروع گلدهی (فاصله زمانی بر حسب تعداد روز بین اولین آبیاری پاییزه و ظهور اولین گل‌ها در پاییز)، طول دوره گلدهی و عملکرد گل و کلاله در قالب پرسشنامه از ۵۰ نفر از زعفران‌کاران خبره جمع‌آوری شد. برای تأمین روایی محتوایی، پرسشنامه‌ها بر اساس منابع معتبر طراحی و توسط کارشناسان خبره وزارت جهاد کشاورزی و همچنین مشورت با متخصصان آمار بررسی و اصلاح شدند. پشخص پایایی پرسشنامه نیز با روش بازآزمایی (تکرار برای ۱۵ کشاورز با فاصله ۲۰ روز) ارزیابی گردید. لازم به ذکر است که پژوهش به صورت پیمایش مقطعی با پیگیری حداکثری نمونه‌ها در دو سال انجام شد.

اگرچه تلاش شد تا با همان کشاورزان سال اول در سال دوم

جدول ۲- برخی اطلاعات اقلیمی در شهرهای تولیدکننده زعفران در استان خراسان رضوی در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲

Table 2- Some climatic information for saffron-producing cities in Razavi Khorasan province during 2022 and 2023

نام شهر City name	پهنه‌بندی اقلیمی* Climatic zoning	سال Year	بارندگی سالانه Annual precipitation (mm)	متوسط دما Mean temperature (°C)	متوسط بلندمدت Long-term mean temperature (°C)	دمای حداقل Min temperature (°C)	دمای حداقل بلندمدت Long-term max temperature (°C)	دمای حداکثر Max temperature (°C)	دمای حداکثر بلندمدت Long-term max temperature (°C)
باخرز Bakharz	نیمه‌خشک-فرا سرد Semi-arid-extra cold	2022 2023	170.4 180.6	9.7 15.55	8.8 14.25	-1.9 -1.6	-2.7 -3	21.3 32.7	20.3 31.5
بجستان Bajestan	خشک-سرد Dry-cold	2022 2023	136.3 136	14.45 21.2	13.65 19.1	2.7 3.9	2.2 0.8	26.2 38.5	25.1 37.4
بردسکن Bardaskan	خشک-سرد Dry-cold	2022 2023	143 145.2	14.7 21.9	13.5 20.45	2.9 4.1	1.9 2.5	26.5 39.7	25.1 38.4
تایباد Taybad	خشک-سرد Dry-cold	2022 2023	271.4 281.2	12.65 19	12.05 18	0.6 1.5	0.2 0.5	24.7 36.5	23.9 35.5
تربت حیدریه Torbat Heydarieh	نیمه‌خشک-فرا سرد Semi-arid-extra cold	2022 2023	268.8 277.6	9.05 15.25	8.25 14.25	-3.2 -2	-3.2 -3	21.3 32.5	19.7 31.5
زاوه Zaveh	نیمه‌خشک-فرا سرد Semi-arid-extra cold	2022 2023	219.7 227.4	9.35 14.65	7.85 13.7	-1.5 -2.6	-3.4 -3.1	20.2 31.9	19.1 30.5
قوچان Quehan	نیمه‌خشک-فرا سرد Semi-arid-extra cold	2022 2023	286.6 291.8	6.1 13.6	6.3 12.25	-6.1 -3.3	-5.2 -5	18.3 30.5	17.8 29.5
گناباد Gonabad	خشک-سرد Dry-cold	2022 2023	146.1 142.5	13.7 20.2	12.7 19.15	1.7 2.7	1.1 1.9	25.7 37.7	24.3 36.4
مشهد Mashhad	نیمه‌خشک-سرد Semi-arid-cold	2022 2023	225.2 227.8	10.05 16.3	9.35 15.55	-1.5 -0.5	-1.8 -1.4	21.6 33.1	20.5 32.5
مهولات Mahvelat	خشک-سرد Dry-Cold	2022 2023	168.6 167.5	14.15 21.45	13.35 20.3	2.3 3.6	2 2.3	26 39.3	24.7 38.3

* پهنه‌بندی اقلیمی بر اساس نقشه کامیابی (Kamyabi, 2016) ارائه شده است.
* Climatic zoning was reported based on the map provided by Kamyabi (2016).

این تغییرات مدیریتی که بازتابی از شرایط واقعی کشاورزان است، در مدل آماری به عنوان متغیرهای کمکی لحاظ گردید. لازم به توضیح است که کارشناسان وزارت جهاد کشاورزی صرفاً در فرآیند شناسایی و تأیید صلاحیت کشاورزان خبره همکاری داشتند و خود به عنوان نمونه آماری در پژوهش شرکت نداشتند، لذا تمامی ۵۰ نفر شرکت کننده، کشاورزان بهره‌بردار مستقیم مزارع زعفران بودند.

شاخص برداشت کلاله از نسبت عملکرد کلاله به عملکرد گل محاسبه شد. تحلیل ارتباط بین عملکرد و پارامترهای اقلیمی با استفاده از رگرسیون‌های خطی ساده و چندمتغیره انجام پذیرفت. بدین منظور، در مرحله نخست، همبستگی بین عملکرد با دماهای حداقل، حداکثر و میانگین ماهانه در شهرستان‌ها با به کارگیری رگرسیون ساده مورد ارزیابی قرار گرفت و در ادامه، با استفاده از رگرسیون چندمتغیره، تأثیر ترکیبی متغیرهای اقلیمی بر عملکرد بررسی شد. جهت انتخاب مدل بهینه، روش حذف گام‌به‌گام رو به عقب^۱ به کار گرفته شد و در نهایت، معادله رگرسیون نهایی با در نظر گرفتن مؤثرترین متغیرهای اقلیمی استخراج گردید.

در این پژوهش، اثر اقلیم در دو سطح متفاوت بررسی شد:

(۱) در تحلیل رگرسیون، متغیرهای کمی اقلیمی (شامل دما و بارندگی ماهانه) به صورت جداگانه وارد مدل شدند تا اثر آنها بر عملکرد تعیین گردد و (۲) شهرستان‌های مهم تولیدکننده زعفران در استان خراسان رضوی بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کامیابی (Kamyabi, 2016) به عنوان سطوح عامل اقلیم در نظر گرفته شدند تا مقایسه بین آن‌ها و همچنین بررسی اثر متقابل با سال امکان‌پذیر گردد. بنابراین تأکید می‌گردد که منظور از اقلیم در

کلیه جداول و شکل‌ها، طبقه‌بندی اقلیمی شهرستان‌ها بر اساس منبع کامیابی (Kamyabi, 2016) بوده که این طبقه‌بندی بر اساس ترکیبی از پارامترهای اقلیمی بلندمدت انجام شده است.

متغیرهایی نظیر وزن بنه مصرفی در زمان کاشت (در سال اول)، سن مزرعه، تعداد آبیاری و آبیاری تابستانه به عنوان «متغیرهای مدیریتی کمی^۲» در نظر گرفته شدند. هدف از وارد کردن این متغیرها در مدل تجزیه واریانس، بررسی نقش و سهم آن‌ها به عنوان متغیرهای کمکی یا کوواریت^۳ در کنار اثرات اصلی اقلیم و سال بود. به عبارت دیگر، تحلیل داده‌ها به صورت آنکوا (آنالیز کوواریانس)^۴ انجام گرفت. برای بررسی اثر عوامل اقلیمی (اقلیم، سال و اثر متقابل) بر شاخص‌های گلدهی، از مدل خطی عمومی (GLM)^۵ استفاده شد. تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی با استفاده از نرم‌افزار Minitab Ver. 17 و با به کارگیری روش وارد^۶ و معیار فاصله اقلیدسی^۷ بر روی متغیرهای گلدهی انجام شد. تعداد خوشه‌ها بر اساس دندروگرام و در سطح تشابه ۷۵ درصد تعیین شد. داده‌ها پیش از تحلیل، به دلیل تفاوت در دامنه اندازه‌گیری متغیرها، با استفاده از روش Z-score استانداردسازی شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایشی و رگرسیون با استفاده از نرم‌افزار Minitab Ver 17 و رسم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Excel 2018 و Minitab Ver 17 انجام شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج پارامتر پایایی پرسشنامه، ضریب همبستگی بالای ۰/۸۵ برای متغیرهای اصلی محاسبه شد که پایایی

5- General Linear Model

6- Ward's Method

7- Euclidean Distance

1- Backward Stepwise Regression

2- Quantitative Management Variables

3- Covariates

4- ANCOVA (Analysis of Covariance)

مطلوب را تأیید می‌نماید.

وضعیت مدیریتی مزارع

میانگین برخی اطلاعات مدیریتی مربوط به مزارع زعفران در

شهرستان‌های مختلف در استان خراسان رضوی در دو سال

جدول ۳- برخی اطلاعات زراعی در مزارع زعفران در شهرستان‌های مختلف در استان خراسان رضوی در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲

Table 3.- Some information on saffron farms in different cities in Khorasan Razavi Province during 2022 and 2023

نام شهر	سال	سن مزرعه	روز تا اولین آبیاری*	تعداد آبیاری تابستانه	تعداد آبیاری	میزان بنه کشت شده**
City name	Year	Farm age (year)	Number of days to first-irrigation	Numbers of summer irrigation	Numbers of irrigation	Planted corn rate (t.ha ⁻¹)
باخرز	2022	4.05	195	0.3	5	6.43
Bakharz	2023	4.90	198	0.2	3	6.43
بجستان	2022	6.00	209	0.1	5	5.20
Bajestan	2023	5.2	207	0.0	4	4.71
پردسکن	2022	5.45	221	0.0	4	4.10
Bardaskan	2023	5.20	217	0.0	4	5.20
تایباد	2022	3.80	197	0.9	4	9.72
Taybad	2023	4.45	199	0.6	4	9.82
تربت‌حیدریه	2022	3.76	196	0.1	4	7.42
Torbat Heydarieh	2023	4.47	202	0.1	4	7.11
زاوه	2022	3.94	194	0.6	6	8.67
Zaveh	2023	4.33	195	0.5	4	9.00
قوچان	2022	3.95	191	0.1	4	8.04
Quchan	2023	4.80	193	0.2	3	8.05
گناباد	2022	8.45	215	0.0	4	3.99
Gonabad	2023	8.85	220	0.0	3	4.04
مشهد	2022	4.25	196	0.2	4	7.72
Mashhad	2023	5.05	197	0.4	3	7.77
مهولات	2022	5.00	217	0.1	4	7.11
Mahvelat	2023	4.7	218	0.1	3	7.47

* تاریخ اولین آبیاری بر اساس روز شمار سال میلادی گزارش شده است. برای مثال، روز شمار ۱۹۵ معادل اوایل مهرماه و روز شمار ۲۲۰ معادل اواسط آبان‌ماه می‌باشد.

**The date of first irrigation is reported based on the Julian day. For example, Julian day 195 corresponds to early October and Julian day 220 corresponds to early November.

** مقدار بنه پیاپی وزن بنه‌های کشت شده در واحد سطح (تن در هکتار) در سال اول بوده و با عملکرد بنه‌های دختری متفاوت است.

**Corm rate represents the weight of planted corms per unit area (t.ha⁻¹) in the first year and is different from daughter corm yield.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) اثر عوامل اقلیمی و متغیرهای زراعی بر شاخص‌های گلدهی زعفران در استان خراسان رضوی طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲

Table 4- Analysis of variance (ANOVA) for the effects of climatic factors and management variables on flowering indices of saffron in Razavi Khorasan province during 2022 and 2023

منابع تغییر SOV	درجه آزادی df	زمان تا شروع گلدهی Time to flowering onset	طول دوره گلدهی Duration of flowering	عملکرد گل Flower yield	عملکرد کلاله Stigma yield	شاخص برداشت Harvest index
میانگین مربعات Mean of square						
مقدار بنه (کاشته شده در سال اول) Corm rate (planted in the first year)	1	0.21 ^{ns}	0.00 ^{ns}	104844**	18.81 *	0.01 ^{ns}
سن مزرعه Farm age	1	13.32 ^{ns}	27.95 *	74617 *	7.99 ^{ns}	0.01 ^{ns}
تعداد آبیاری Irrigation numbers	1	213.98 *	125.46 **	660892 **	111.49 **	0.02 ^{ns}
آبیاری تابستانه Summer irrigation	1	958.27 **	32.62 *	78 ^{ns}	0.98 ^{ns}	0.00008 ^{ns}
اقلیم Climate	9	2128.42 **	35.18 **	272225 **	36.62 **	0.20 **
مزرعه (اقلیم) Farm (Climate)	188	69.59 **	9.71 **	28254 **	3.93 *	0.01 ^{ns}
سال Year	1	218.80 *	1284.79 **	5425222 **	819.97 **	0.05 *
اقلیم×سال Climate ×Year	9	30.32 *	12.49 *	208209 **	39.51 **	0.02 **
خطای آزمایشی Experimental error	184	42.36	5.45	18853	3.10	0.008

***، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌دار.

***, * and ns are significant at the 0.01 and 0.05 of probability level and non-significant, respectively.

تحلیل با استفاده از مدل خطی عمومی (GLM) و بر اساس مجموع مربعات نوع III انجام شد. متغیرهای زراعی شامل مقدار بنه مصرفی در زمان کاشت، سن مزرعه، تعداد آبیاری و آبیاری تابستانه به عنوان متغیرهای کمکی (کوواریت) در مدل وارد شدند.

Analysis was performed using the General Linear Model (GLM) based on Type III sum of squares. Some agronomic variables, such as corm rate, farm age, irrigation numbers, and summer irrigation, were included in the model as covariates.

شاخص‌های عملکرد گل و کلاله

نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های عملکرد گل و کلاله زعفران تحت تأثیر برخی عوامل مهم زراعی و اقلیمی در شهرستان‌های مختلف در استان خراسان رضوی در جدول ۴ نشان داده شده است.

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، اثر ساده سن مزرعه بر طول دوره گلدهی و عملکرد گل زعفران معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بود؛ به طوری که اثر ساده تعداد آبیاری، شاخص زمان تا شروع گلدهی را در سطح احتمال پنج درصد و باقی صفات

مربوط به شاخص‌های گلدهی (بجز شاخص برداشت) شامل طول دوره گلدهی، عملکرد گل و عملکرد کلاله را در سطح احتمال یک درصد به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. اقلیم تمام صفات مربوط به گلدهی بجز شاخص برداشت را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد ($p \leq 0.05$). اثر تفاوت بین دو سال نیز بر زمان شروع گلدهی و شاخص برداشت در سطح احتمال پنج درصد و بر سایر شاخص‌های گلدهی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل اقلیم×سال نیز بر دو شاخص زمان تا شروع گلدهی و طول دوره گلدهی در سطح احتمال پنج درصد

و بر دیگر صفات گلدهی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گل و کلاله زعفران در شهرهای مختلف در استان خراسان رضوی ارائه شده است. بود (جدول ۴).

در جدول ۵ مقایسه میانگین اثر اقلیم بر شاخص‌های عملکرد

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر اقلیم بر شاخص‌های عملکرد گل و کلاله زعفران در شهرهای استان خراسان رضوی طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲

Table 5- Mean comparisons for the effect of climate on flower yield and stigma yield indices of saffron in cities of Razavi Khorasan province during 2022 and 2023

نام شهر City name	روز تا شروع گلدهی* Time to flowering onset (day)	طول دوره گلدهی Duration of flowering (day)	شاخص برداشت Harvest index (%)
باخرز Bakharz	216.8cd**	14.5 ^a	1.14 ^a
بجستان Bajestan	231.3 ^{ab}	10.2 ^c	0.98 ^d
بردسکن Bardaskan	234 ^a	11 ^c	0.92 ^c
تایباد Taybad	227.2 ^b	11.9 ^b	1.09 ^b
تربت‌حیدریه Torbat-e- Heydarieh	217.3 ^{cd}	13.4 ^{ab}	1.09 ^b
زاوه Zaveh	219.3 ^c	13.3 ^{ab}	1.10 ^b
قوچان Quchan	213.7 ^c	13.4 ^{ab}	1.08 ^b
گناباد Gonabad	232.1 ^{ab}	12.0 ^b	1.03 ^c
مشهد Mashhad	218.7 ^c	13.4 ^{ab}	0.95 ^d
مه‌ولات Mahvelat	236.4 ^a	11.3 ^b	1.04 ^c

* منظور از زمان تا شروع گلدهی تعداد روز بین اولین آبیاری پاییزه و ظهور اولین گل‌ها می‌باشد.

* حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین شهرستان‌ها بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

داده‌های ارائه شده در این جدول، میانگین دو سال زراعی ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ می‌باشد.

* Time to flowering onset refers to the number of days between the first autumn irrigation and the emergence of the first flowers in the farm.

* Similar letters in each column indicate no significant difference between cities based on the Duncan's multiple range test at the 5% probability level.

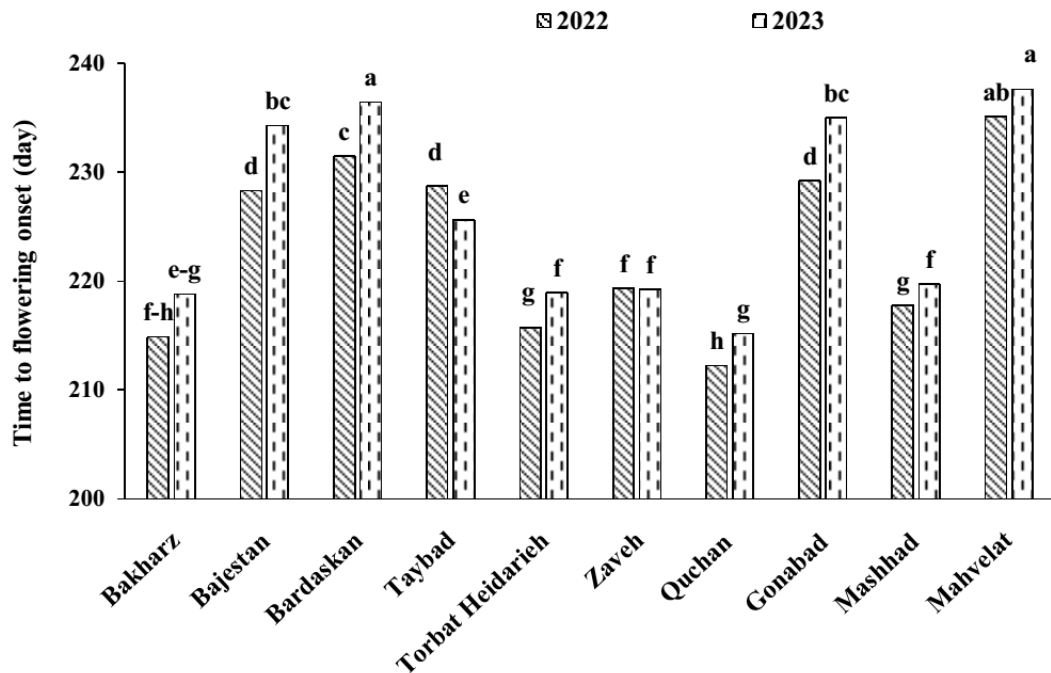
The data presented in this table are the averages of the two cropping years (2022 and 2023).

الف) زمان تا شروع گلدهی: میانگین زمان تا شروع

گلدهی زعفران در شهرستان‌های مختلف ۲۲۴/۷ روز محاسبه شد. همچنین کمترین و بیشترین زمان تا شروع گلدهی به ترتیب به قوچان و مه‌ولات با ۲۱۳/۷ و ۲۳۶/۴ روز اختصاص داشت (جدول ۵).

دامنه تغییرات زمان تا شروع گلدهی در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به ترتیب برابر با ۲۱۲/۲-۲۳۵/۱ و ۲۱۵/۲-۲۳۷/۶ روز

محاسبه شد. در هر دو سال، کمترین و بیشترین زمان تا شروع گلدهی به ترتیب برای قوچان و مه‌ولات ثبت شد. دامنه تأخیر در شروع گلدهی در شهرستان‌های مختلف از ۲/۶۳- تا ۰/۸۹- درصد به ترتیب برای بجستان و مشهد متغیر بود. البته در سال دوم در مقایسه با سال اول، زمان تا شروع گلدهی در دو شهرستان تایباد و زاوه اندکی تسریع شد (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل اقلیم و سال بر شاخص زمان تا شروع گلدهی زعفران در شهرهای مختلف در استان خراسان رضوی طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲

Figure 2- Mean comparisons for the interactions of climate and year on time to flowering onset of saffron in different cities of Razavi Khorasan province during 2022 and 2023.

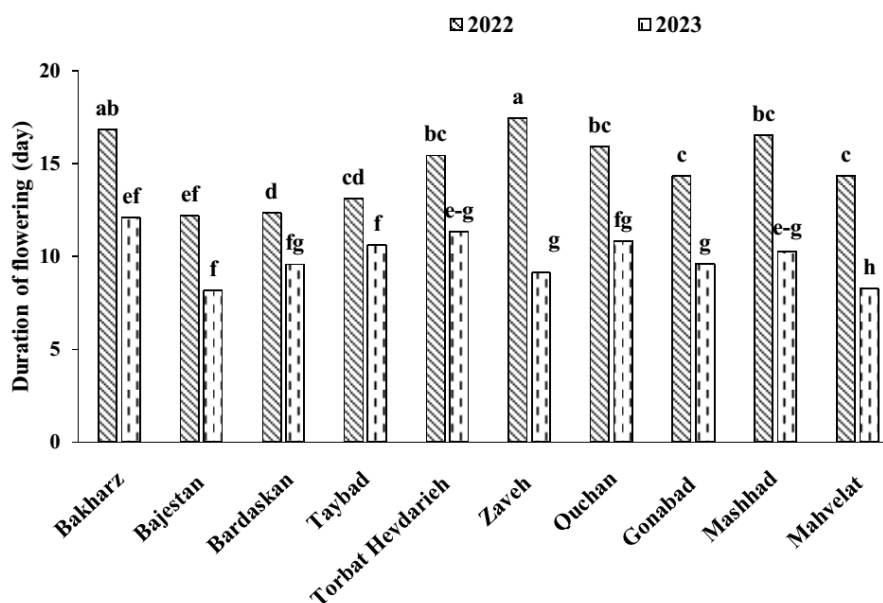
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.
Means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.05$).

گلدهی در سال دوم نسبت به سال اول برابر با ۱۹/۲-۴۷/۸ درصد بود که کمترین و بیشترین میزان به ترتیب برای شهرستان‌های تایباد و زاوه محاسبه گردید (شکل ۳).

ج) عملکرد گل و کاله: دامنه عملکرد گل زعفران در شهرستان‌های مختلف در استان خراسان رضوی طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به ترتیب برابر با ۲۷۸/۵-۷۹۹/۹۵ و ۳۶۰/۸-۱۵۲/۱ کیلوگرم در هکتار گزارش شد؛ به طوری که در هر دو سال بیشترین و کمترین عملکرد به ترتیب به شهرستان‌های تایباد و بردسکن اختصاص داشت. دامنه کاهش عملکرد گل در سال دوم نسبت به سال اول برابر با ۳۴-۶۷ درصد محاسبه شد که بیشترین میزان مربوط به زاوه بود و کمترین میزان برای بجستان ثبت شد (شکل ۴).

ب) طول دوره گلدهی: میانگین طول دوره گلدهی

زعفران در شهرستان‌های مختلف در استان خراسان رضوی برابر با ۱۲/۴ روز محاسبه شد. بیشترین طول دوره گلدهی برای باخرز برابر با ۱۴/۵ روز بدست آمد که البته با شهرهای مشهد، قوچان، زاوه و تربت حیدریه تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین کمترین میزان این صفت برای بجستان با ۱۰/۲ روز ثبت شد (جدول ۵). دامنه طول دوره گلدهی زعفران در شهرستان‌های مختلف در استان خراسان رضوی طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به ترتیب برابر با ۱۲/۲-۱۷/۵ و ۸/۲-۱۲/۱ روز محاسبه شد؛ به طوری که بیشترین طول دوره گلدهی در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به ترتیب برای زاوه و باخرز ثبت شد و کمترین میزان نیز در هر دو سال به بجستان اختصاص داشت. دامنه کاهش طول دوره

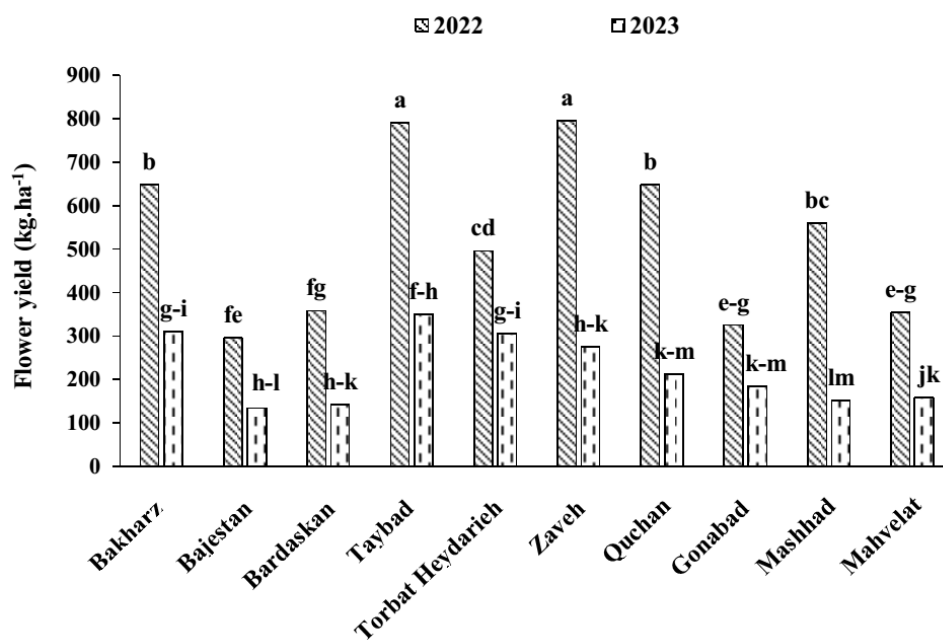


شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل اقلیم و سال بر طول دوره گلدهی زعفران در شهرهای مختلف در استان خراسان رضوی طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲

Figure 3- Mean comparisons for the interactions of climate and year on duration of saffron flowering in different cities of Razavi Khorasan province during 2022 and 2023.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.05$).



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل اقلیم و سال بر عملکرد گل زعفران در شهرهای مختلف در استان خراسان رضوی طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲

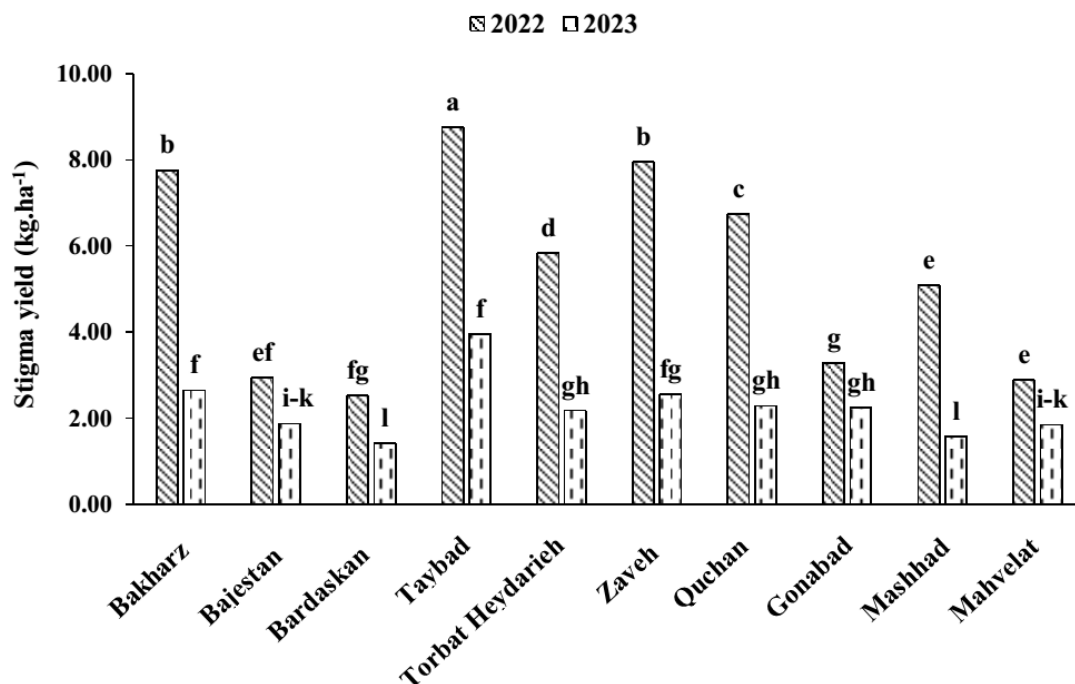
Figure 4- Mean comparisons for the interactions of climate and year on yield flower of saffron in different cities of Razavi Khorasan province during 2022 and 2023.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.05$).

شهرستان‌های تایباد و بردسکن بود. همچنین دامنه کاهش عملکرد کلاله در سال دوم در مقایسه با سال اول برابر با ۶۹-۳۱/۴ درصد محاسبه شد که کمترین میزان مربوط به گناباد و بالاترین درصد افت عملکرد کلاله برای مشهد ثبت گردید (شکل ۵).

دامنه عملکرد کلاله زعفران در شهرستان‌های مختلف در استان خراسان رضوی طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به ترتیب برابر با ۲/۵-۸/۸ و ۱/۴-۳/۹۵ کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید؛ به طوری که مشابه با تغییرات عملکرد گل در هر دو سال (شکل ۴)، بالاترین و پایین‌ترین عملکرد کلاله به ترتیب مربوط به



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل اقلیم و سال بر عملکرد کلاله زعفران در شهرهای مختلف در استان خراسان رضوی طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲

Figure 5- Mean comparisons for the interactions of climate and year on stigma yield of saffron in different cities of Razavi Khorasan province during 2022 and 2023.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.05$).

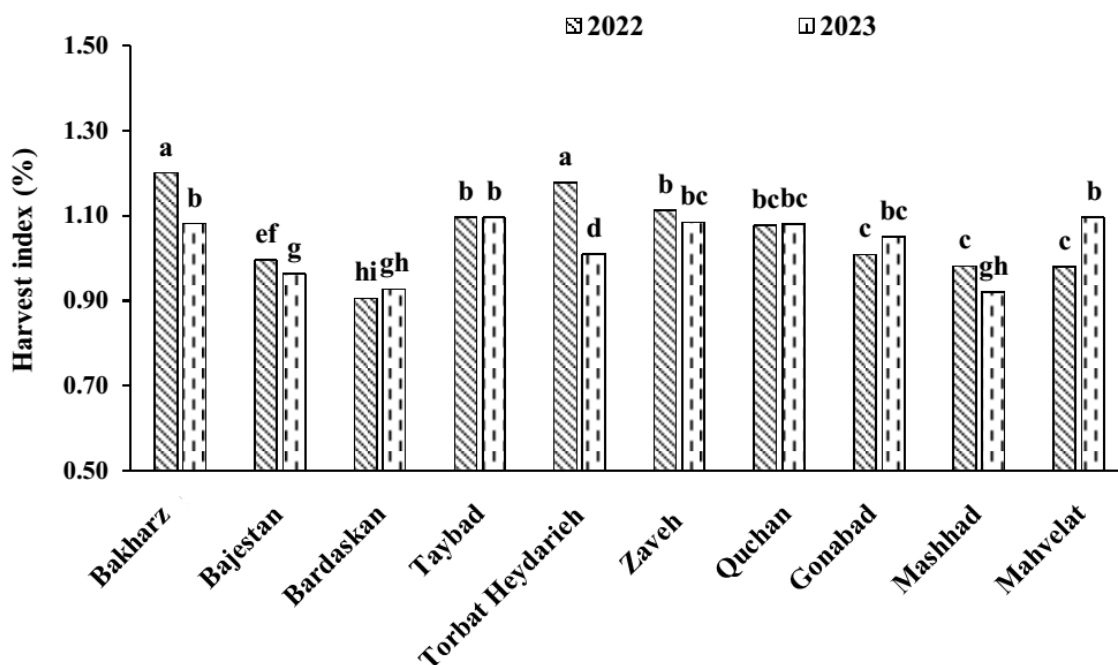
در سال اول، بالاترین شاخص برداشت به تربت حیدریه و باخرز تعلق داشت و کمترین میزان برای بردسکن ثبت شد. در سال دوم کمترین میزان شاخص برداشت مربوط به مشهد بود و بیشترین میزان به م‌ه‌ولات اختصاص داشت. همچنین دامنه کاهش این صفت در سال دوم نسبت به سال اول برابر با ۰/۱۴-۰/۴۲ درصد محاسبه شد که کمترین میزان مربوط به تایباد بود و بالاترین درصد افت به تربت حیدریه اختصاص

(د) شاخص برداشت کلاله: میانگین شاخص برداشت

کلاله زعفران در شهرهای مختلف برابر با ۱/۱۴ درصد محاسبه شد. همچنین بیشترین و کمترین مقدار به ترتیب به شهرهای زاوه (۱/۱۴ درصد) و بردسکن (۰/۹۲ درصد) اختصاص داشت (جدول ۵).

دامنه تغییرات شاخص برداشت در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به ترتیب با ۱/۱۸-۰/۹ درصد و ۱/۱۰-۰/۹۲ درصد محاسبه شد.

داشت. البته در سال دوم نسبت به سال اول، افزایش جزئی برای شاخص برداشت برای برخی از شهرستان‌ها شامل بردسکن، مهاباد و گناباد افزایش جزئی برای شاخص برداشت مشاهده شد (شکل ۶).



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل اقلیم و سال بر شاخص برداشت زعفران در شهرهای مختلف در استان خراسان رضوی طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲

Figure 6- Mean comparisons for the interactions of climate and year on harvest index of saffron in different cities of Razavi Khorasan province during 2022 and 2023.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.
Means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.05$).

مستقل شهرستان‌ها (بر اساس Kamyabi, 2016) که در جدول ۲ ارائه شده، متفاوت می‌باشد. لازم به ذکر است که مقایسه این دو گروه‌بندی نشان‌دهنده همبستگی بین شرایط اقلیمی و عملکرد زعفران می‌باشد.

همبستگی بین پارامترهای اقلیمی و عملکرد

نتایج تجزیه و تحلیل همبستگی بین پارامترهای اقلیمی و عملکرد زعفران نشان داد که قوی‌ترین همبستگی معنی‌دار بین عملکرد با مجموع بارندگی در ماه اسفند (X_1) و میانگین دمای هوا در ماه مرداد (X_2) محاسبه شد. معادله رگرسیون خطی حاصل از این تحلیل در معادله ۱ آورده شده است.

گروه‌بندی تیمارها

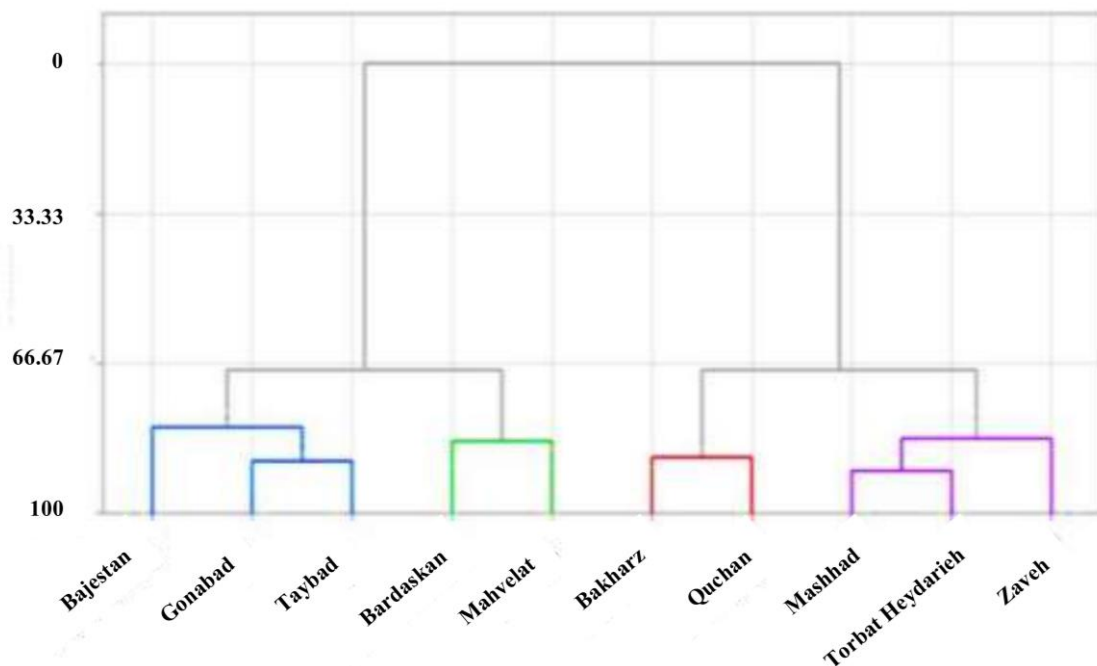
همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده شده است، بر اساس نتایج دندروگرام تجزیه خوشه‌ای برای شاخص‌های مختلف عملکرد گل و کلاله و خصوصیات فنولوژیک در شهرستان‌های مختلف تولیدکننده زعفران در استان خراسان رضوی در سطح تشابه ۷۵ درصد به چهار خوشه متمایز تقسیم‌بندی شدند؛ به طوری که خوشه اول شامل شهرستان‌های بجستان، گناباد و تایباد، خوشه دوم متشکل از شهرستان‌های بردسکن و مهاباد، خوشه سوم شامل شهرستان‌های باخرز و قوچان و خوشه آخر نیز شامل شهرستان‌های مشهد، تربت حیدریه و زاهد بود (شکل ۷). لازم به توضیح است که این گروه‌بندی با طبقه‌بندی اقلیمی

در ماه مرداد، عملکرد کاهش و با افزایش میزان بارندگی در اسفند ماه عملکرد گل و کلاله بهبود خواهد یافت (شکل ۸).

$$Y = 12.7 + 0.0854X_1 - 0.387X_2 \quad (۱)$$

بر اساس نتایج، این مدل قادر به تبیین ۷۲ درصد از تغییرات عملکرد گل و کلاله زعفران در شهرستان‌های مختلف در استان خراسان رضوی می‌باشد ($R^2 = 0.72^*$). با افزایش میانگین دما

Similarity level



شکل ۷- تجزیه خوشه‌ای شهرهای مختلف تولیدکننده زعفران در استان خراسان رضوی
Figure 7- Cluster analysis of the most important saffron producing cities in Razavi Khorasan province

در این پژوهش، اثر اقلیم بر شاخص‌های گلدهی زعفران در دو سطح مورد بررسی قرار گرفت:

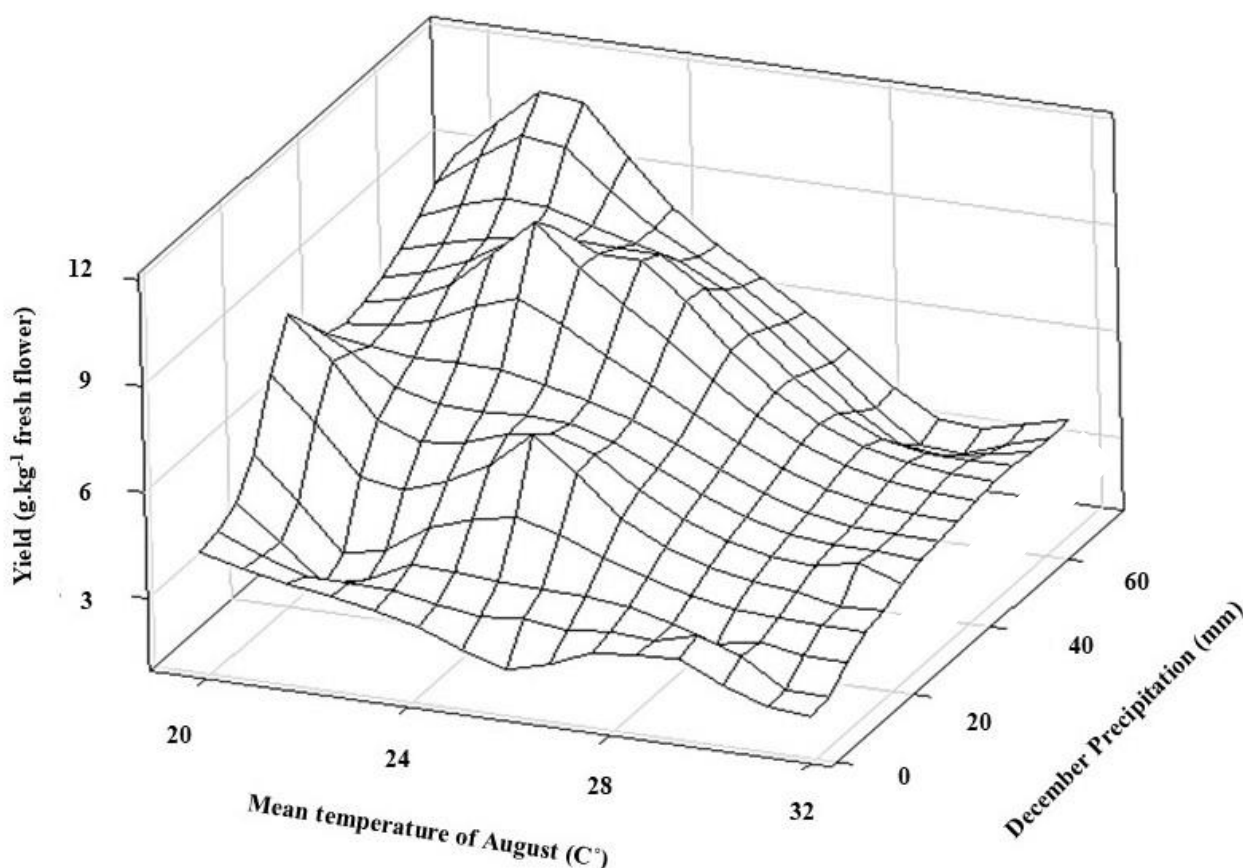
۱) به‌صورت کیفی و طبقه‌ای با استفاده از عامل «نوع اقلیم» بر اساس طبقه‌بندی کامیابی (Kamyabi, 2016) برای مقایسه بین شهرستان‌ها (جدول ۴ و شکل‌های ۲ تا ۶) و ۲) به صورت کمی با استفاده از متغیرهای عددی دما و بارندگی ماهانه برای تعیین رابطه دقیق با عملکرد (معادله ۱ و شکل ۸). در ادامه بحث، با استناد به هر دو سطح تحلیل، به تبیین نتایج پرداخته شده است.

اگرچه زعفران به‌عنوان گیاهی سازگار و با ارزش اقتصادی بالا در مناطق مختلف جغرافیایی و اقلیمی در دنیا کشت می‌شود،

البته مجدداً تأکید می‌گردد که از میان تمام متغیرهای ماهانه دما و بارندگی (طی ۱۲ ماه)، تنها دو متغیر میانگین دما در مرداد ماه و مجموع بارندگی در اسفند ماه همبستگی معنی‌داری با عملکرد زعفران نشان دادند ($p \leq 0.01$). بر این اساس، سایر ماه‌ها فاقد همبستگی معنی‌داری بودند. همچنین بر اساس نتایج مدل رگرسیون گام‌به‌گام نیز این دو متغیر به‌عنوان مهم‌ترین پیش‌بینی‌کننده‌های عملکرد معرفی شدند. بررسی مراحل فنولوژیکی زعفران تأیید نمود که طی مرداد ماه، بنه‌ها در مرحله خواب و در اسفند ماه بنه‌ها در فاز رشد رویشی هستند (Lopez-Corcoles et al., 2015).

با این حال، اقلیم یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید این گیاه بوده که توسعه کشت آن را در نقاط مختلف جهان تحت‌تأثیر قرار داده (Pirasteh-Anosheh, 2023) و نقش بسزایی بر عملکرد کمی و کیفی این محصول ارزشمند دارد (Molina et al., 2005; Koocheki et al., 2010; Husaini, 2014; Koocheki et al., 2018; Koozehgaran et al., 2020; Chourak et al., 2021; Farrokhi et al., 2021; Sahabi & Moallem, 2021; Pirasteh-Anosheh, 2023; Koocheki, 2024; Khorramdel, 2024; Moradi, 2024). در این میان، محققان مختلف تأکید می‌نمایند که دما به‌عنوان مهم‌ترین عامل محیطی مؤثر بر شاخص‌های گلدهی و عملکرد گل و کلاله زعفران، نقش کلیدی در القای این مرحله ایفا می‌کند (Molina et al., 2005; Koocheki et al., 2010; Kumar et al., 2022; Khorramdel, 2024; Khorramdel & Mirzaeian, 2025).

نتایج این مطالعه نشان داد که طول دوره گلدهی و به تبع آن عملکرد گل و کلاله در اقلیم‌های سرد در استان خراسان رضوی بالاتر بود. همچنین با توجه به نتایج، متوسط عملکرد گل و کلاله در استان خراسان رضوی در سال اول (۱۴۰۱) بالاتر از



شکل ۸- رابطه میانگین دما در مرداد و بارندگی در اسفند ماه با عملکرد زعفران در شهرستان‌های مختلف در استان خراسان رضوی طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲

Figure 8- Relationship between August mean temperature in August and precipitation in February with saffron yield of the most important saffron producing cities in Razavi Khorasan province during 2022-2023.

سال دوم (۱۴۰۲) بود که می‌توان دلیل آن را به دوره گلدهی طولانی‌تر به ویژه در اکثر شهرستان‌های دارای اقلیم سردتر در این سال مرتبط دانست. از طرفی، وقوع سرما و یخبندان در دی ماه سال ۱۴۰۱ در مناطق سردتر اثر منفی بیشتری بر رشد و

نتایج این مطالعه نشان داد که طول دوره گلدهی و به تبع آن عملکرد گل و کلاله در اقلیم‌های سرد در استان خراسان رضوی بالاتر بود. همچنین با توجه به نتایج، متوسط عملکرد گل و کلاله در استان خراسان رضوی در سال اول (۱۴۰۱) بالاتر از

عملکرد در سال دوم داشت؛ به طوری که افت عملکرد گل و کلاله در سال دوم در مناطق گرمسیری نسبت به سردسیری کمتر بود. همچنین درصد افت عملکرد در شهرستان‌های با اقلیم سردتر (مانند باخرز و زاوه) به دلیل وقوع یخبندان‌های شدید زمستانه در سال دوم در مقایسه با سال اول، به ترتیب حدود ۶۲ و ۶۷ درصد ثبت شد. این در حالی است که در شهرستان‌های گرم‌تر (مانند بجستان و گناباد)، احتمالاً به دلیل ملایم‌تر بودن دمای هوا طی مرحله رشد رویشی زعفران در زمستان و عدم وقوع مراحل رویشی زعفران با آستانه بحرانی خسارت سرمازدگی بنه، این درصد افت عملکرد بین ۳۴ تا ۴۱ درصد محدود بود. به عبارت دیگر، مناطق گرم‌تر حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد افت کمتری را نسبت به مناطق سردتر تجربه کردند. در این راستا، کاردون و همکاران (Cardone et al., 2020) گزارش کردند که گلدهی زودتر و افزایش طول دوره گلدهی تحت تأثیر دمای مناسب سبب افزایش عملکرد کلاله و تعداد گل در واحد سطح شد. خرم‌دل و میرزائیان (Khorramdel & Mirzaeian, 2025) نیز برخی راهکارهای کاربردی مؤثر در بهبود سازگاری و کاهش اثرات نوسانات دمایی به واسطه وقوع تغییر اقلیم را بهره‌گیری از اصول فشرده‌سازی اکولوژیکی کشت زعفران شامل کاربرد حاصلخیزکننده‌های آلی و سوپرچادها، تلقیح با میکوریزا و باکتری‌های محرک رشد، تغییر در تراکم و عمق کاشت، تناوب زراعی، مدیریت آبیاری، کشت مخلوط، کاشت گیاهان پوششی، حفظ بقایای گیاهان هرز بر سطح خاک، استفاده از سوپرچادها و مدیریت سن مزرعه معرفی نمودند.

با توجه به مطالعات انجام شده، وقوع دمای بهینه برای شکستن خواب و ظهور گل زعفران از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است (Ahrazem et al., 2010). همچنین ارتباط مستقیمی بین دمای پایین و آغاز مرحله گلدهی در زعفران وجود دارد؛ به طوری که مرحله ظهور گل در پاییز با سرد شدن هوا آغاز می‌شود (Khorramdel & Mirzaeian, 2025)، به همین دلیل

گلدهی زودتر در شهرستان‌های شمالی در استان خراسان، مانند قوچان با اقلیم نیمه‌خشک-فراسرد و همچنین ارتفاع بالاتر از سطح دریا، می‌تولند به دلیل کاهش زودهنگام دما اتفاق بیافتد که فرآیند تمایز گل را تسریع می‌کند. در مقابل، تأخیر در مرحله گلدهی در شهرستان‌های با اقلیم گرم مانند مهاباد، بردسکن و گناباد ناشی از دمای نسبتاً بالاتر در ابتدای فصل پاییز و همچنین ارتفاع از سطح دریای پایین‌تر می‌باشد.

بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کامیابی (Kamyabi, 2016) (جدول ۲)، شهرستان‌های زاوه و تربت حیدریه در گروه اقلیم نیمه‌خشک-فراسرد قرار دارند. وقوع سرمای سخت در زمستان سال ۱۴۰۱ (همراه با کاهش شدید دمای حداقل) (جدول ۲) باعث افت عملکرد در این شهرستان‌ها و سایر مناطق با اقلیم مشابه گردید. به نظر می‌رسد که کاهش دمای زمستان از طریق یخ‌زدگی بنه‌ها، نشت الکترولیت‌ها و توقف فتوسنتز (Koocheki & Seyyedi, 2019a)، طول دوره انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به بنه‌های دختری و به تبع آن عملکرد را به طور معنی‌داری کاهش داده است. با این حال، مشاهدات میدانی نشان داد که کشاورزان در زاوه به دلیل مدیریت برتر زراعی (از جمله سن کمتر مزرعه، تراکم بالاتر بنه و مدیریت بقایای گیاهی)، توانستند درصد افت عملکرد کمتری را در مقایسه با تربت حیدریه تجربه کنند. این موضوع بیانگر نقش تعدیل‌کنندگی اثر عوامل مدیریتی بر جبران افت عملکرد در برابر نوسانات اقلیمی می‌باشد. بر اساس اطلاعات مدیریتی ارائه شده در جدول ۳، شهرستان تایباد در مقایسه با گناباد، بجستان و بردسکن دارای سن مزرعه کمتر (حدود چهار سال در مقابل هشت سال)، مقدار بنه مصرفی بیشتر (حدود ۸/۹ تن در هکتار در مقابل ۴ تن) و آبیاری تابستانه می‌باشد. نتایج جدول ۴ نشان داد که کاهش سن مزرعه، افزایش مقدار بنه و انجام آبیاری تابستانه اثر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد دارند. می‌توان چنین نتیجه گرفت که مدیریت زراعی در تایباد از نظر این شاخص‌ها بهینه‌تر از سایر شهرستان‌های مورد

دمای محیط قرار دارد. این فرآیند در سه مرحله کلیدی زیر صورت می‌گیرد:

مرحله اول: دوره پیش-آغازش که پس از خشک شدن برگ‌ها در بهار، مریستم‌های موجود در جوانه‌های بنه در حالت رویشی هستند. در این مرحله، وقوع دماهای ملایم در اواخر بهار و اوایل تابستان (حدود ۲۳ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد) زمینه‌ساز تغییرات هورمونی (افزایش نسبت سیتوکنین به ژبیرلین) در مریستم انتهایی می‌شوند.

مرحله دوم: آغازش گل که برخلاف اکثر گیاهان، انگیزش گل در زعفران، در فصل گرم سال (ماه‌های تیر و مرداد) انجام می‌شود. مریستم‌های رویشی که تا پیش از این تولید برگ می‌کردند، تحت تأثیر سیگنال‌های حرارتی به مریستم زایشی تبدیل می‌شوند. در این مرحله، پهن و برجسته شدن گنبد مریستمی اولین نشانه میکروسکوپی تبدیل جوانه رویشی به زایشی است.

مرحله سوم: دوره تمایز اندام‌های گل بوده که پس از آغازش، قطعات گل (شامل کاسبرگ، گلبرگ، پرچم و کلاله) تشکیل می‌شوند. نتایج برخی تحقیقات نشان داده است که دمای بهینه برای این مرحله حدود ۲۳ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. وقوع دماهای بسیار بالا (بالتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد) در مرداد ماه منجر به سقط جنین گل یا تبدیل جوانه‌های زایشی به رویشی (برگ‌دهی صرف) می‌شود (Khorramdel & Mirzaeian, 2010; Kafi, 2006; 2025). که توجیه‌کننده کاهش عملکرد در سال‌های با تابستان‌های بسیار گرم (مانند سال ۱۴۰۲) است.

خرمدل و میرزائیان (Khorramdel & Mirzaeian, 2025) نتیجه گرفتند که زمان حداکثر تخصیص مواد فتوسنتزی به بنه‌های دختری (طی ماه‌های اسفند و فروردین) و القای گلدهی (در تابستان) دو مرحله حساس و بحرانی در رشد رویشی و زایشی زعفران نسبت به تغییرات دمایی محسوب می‌شود. بر این

مطالعه در استان خراسان رضوی بوده است. تأثیر مثبت تراکم بنه بر عملکرد گل و کلاله در مطالعات مختلف توسط رستمی و محمدی (Rostami & Mohammadi, 2013) و زمانی و همکاران (Zamani et al., 2024) نیز گزارش شده است. فیضی و همکاران (Feizi et al., 2015) نیز گزارش کردند که آبیاری تابستانه طی ماه‌های تیر و مرداد بیش‌ترین تأثیر را در افزایش تعداد گل، عملکرد گل و وزن خشک کلاله زعفران داشت. بر این اساس، از آنجا که مدیریت زراعی می‌تواند بخشی از افت عملکرد تحت تأثیر تغییرات اقلیمی را جبران نماید، بر اساس مشاهدات میدانی، جوان‌سازی و کاهش سن مزارع و راهبردهای فشرده‌سازی اکولوژیکی را می‌توان به عنوان راهکارهایی پایدار و البته کاربردی برای مقابله با تغییر اقلیم در سیستم‌های تولید زعفران به کشاورزان پیشنهاد نمود.

بر اساس ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه زعفران، دوره انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به بنه‌های دختری در اواخر زمستان (ماه‌های اسفند و فروردین) رخ می‌دهد (Khorramdel & Mirzaeian, 2025). نتایج تحلیل رگرسیون (معادله ۱) نیز اهمیت بارندگی را در دوره رشد رویشی و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به بنه‌های دختری تأیید کرد؛ به‌طوری‌که بارندگی در اسفند ماه به عنوان یکی از دو متغیر اصلی تأثیرگذار بر عملکرد شناسایی شد (شکل ۸). نتایج بازبینی و مشاهدات میدانی نیز این یافته‌ها را تأیید نمود؛ به این معنا که در مناطقی با مجموع بارندگی زمستانه بیشتر (طی اسفند ماه) نظیر قوچان (جدول ۲)، عملکرد بالاتری مشاهده شد. این یافته‌ها با مبانی فیزیولوژیک گیاه زعفران که دوره انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به بنه‌های دختری را در اواخر زمستان معرفی می‌کنند (Lopez-Corcoles et al., 2015)، همخوانی دارد. اگرچه این مشاهدات به تنهایی مبنای نتیجه‌گیری نیستند، اما یافته‌های آماری را به صورت کیفی تأیید می‌کنند. در زعفران، انتقال از مرحله رویشی به زایشی فرآیندی پیچیده است که به طور مستقیم تحت کنترل

اساس، این محققان پیشنهاد نمودند که از راهکارهای زراعی اکولوژیکی زراعی برای سایه‌اندازی و خنک‌سازی سطح خاک در تابستان (نظیر مدیریت بقایای گیاهی) و همچنین انجام آبیاری تابستانه به صورت سطحی -البته با توجه به اقلیم منطقه و خصوصیات خاک- و آبیاری تکمیلی (در صورت عدم بارش کافی در مراحل رشد رویشی به منظور جلوگیری از خزان زودرس) بهره‌گیری گردد.

دمای محیط عامل مهمی برای تحریک گلدهی در گیاهان دارای دوره رکود و خواب فصلی مانند زعفران، گل نرگس، لاله و زنبق محسوب می‌شود؛ بر اساس نتایج پهنه‌بندی اقلیمی، شهرستان‌های استان خراسان رضوی از نظر اقلیمی دارای شرایط متفاوتی هستند و به دلیل این تفاوت، صفات مربوط به تعداد زمان تا اولین گلدهی، شاخص‌های عملکرد گل و کلاله زعفران نیز اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان دادند. در این راستا، وانگ و همکاران (Wang et al., 2021) نیز گزارش نمودند که قرارگیری بنه‌های زعفران در دوره خواب در دماهای بالاتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت کافی و سپس انتقال به دماهای پایین‌تر از ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد برای وقوع گلدهی لازم است. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2010) نیز گزارش کردند که دماهای بالاتر از ۲۳ و کمتر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد در پاییز مرحله ظهور گل در زعفران را متوقف می‌نماید. این محققان همچنین اظهار داشتند که القای گلدهی در تابستان در دماهای بالاتر از ۳۰ و پایین‌تر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد متوقف می‌گردد.

برخی تحقیقات نشان داده است که عوامل اقلیمی، وقوع پدیده‌های حدی و تنش‌های محیطی، وضعیت توپوگرافی و موقعیت جغرافیایی، مدیریت زراعی و خصوصیات بنه تأثیر بسزایی بر ویژگی‌های رشدی، عملکرد کلاله، اجزای عملکرد و خصوصیات کیفی زعفران ایفا می‌کنند (Siracusa et al., 2010; Pirasteh-Anosheh, 2023; Khorramdel & Mirzaeian, 2025; Koocheki et al., 2010; 2025)، با این‌وجود، کیفیت و کمیت

زعفران بیشتر تحت تأثیر شرایط اقلیمی به ویژه دمای هوا است (Molina et al., 2005; Koocheki et al., 2010; Kumar et al., 2022; Khorramdel, 2024; Khorramdel & Mirzaeian, 2025)؛ به‌طوری‌که تغییرات دمایی با تأثیر بر طول دوره رشد به‌ویژه گلدهی به‌طور قابل‌توجهی عملکرد زعفران را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Koocheki & Khajeh-Hosseini, 2020). عملکرد گل و کلاله زعفران تابع طول دوره گلدهی بوده و این شاخص نیز تحت تأثیر زمان ظهور گل در پاییز است (Koocheki, 2024; Khorramdel & Mirzaeian, 2025)، به‌طوری‌که با تأخیر در زمان ظهور گل، طول دوره گلدهی به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد. در این راستا، نتایج مطالعه‌ای نشان داد که به ازای هر یک درجه سانتی‌گراد افزایش دما در مرحله ظهور گل، طول دوره گلدهی حداقل ۳۲ و حداکثر ۳۸ روز به تأخیر می‌افتد (Koocheki et al., 2009).

همان‌طور که پیشتر نیز تأکید گردید، سه دوره بحرانی حساس در گیاه زعفران شامل حداکثر تخصیص مواد فتوسنتزی به بنه‌های دختری (در طی ماه‌های اسفند و فروردین)، القای گلدهی (در فصل تابستان) و ظهور گل (از اواخر فصل تابستان تا آبان ماه) هستند (Khorramdel & Mirzaeian, 2025) که عوامل اقلیمی به ویژه بارندگی (طی اسفند) و دما (طی مرداد) تأثیر بسزایی بر این مراحل و در نتیجه عملکرد گل و کلاله ایفا می‌کنند (شکل ۸).

بر اساس نتایج این مطالعه، طول دوره گلدهی، عملکرد گل و کلاله در سال ۱۴۰۲ در مقایسه با سال ۱۴۰۱ کاهش یافت (شکل‌های ۳، ۴ و ۵) و این شرایط را می‌توان به افزایش میانگین دما در تابستان سال ۱۴۰۲ و همچنین وقوع یخبندان در زمستان سال ۱۴۰۱ (جدول ۲) نسبت داد. طول دوره گلدهی یکی از شاخص‌های گلدهی زعفران بوده که به‌طور مستقیم عملکرد گل را تحت تأثیر قرار می‌دهد. عملکرد گل تابعی از اثر اقلیم و مدیریت زراعی می‌باشد. تغییرات اقلیمی نه تنها بر کمیت، بلکه بر

2019ab; Salteh & Amani, 2021; Azari et al., 2023; Jose-Santhi et al., 2023; Sanaei Nejad et al., 2024 نیز تأکید نمودند که وقوع دمای پایین در طی فصل زمستان از جمله پارامترهای اقلیمی محدودکننده رشد زعفران می‌باشد. از این‌رو، کاهش طول دوره گلدهی، عملکرد گل و کلاله زعفران در سال دوم مطالعه را می‌توان به وقوع سرمای زمستان ۱۴۰۱ و متوسط دمای بالاتر سال ۱۴۰۲ (جدول ۲) نسبت داد. افت دما طی زمستان به‌عنوان یکی از تبعات تغییر اقلیم، بخش قابل‌توجهی از مزارع زعفران در استان خراسان رضوی را تحت تأثیر قرار داده و خسارات قابل‌توجهی به عملکرد گل این گیاه در سال ۱۴۰۲ وارد نمود (شکل ۴). البته همان‌طور که پیشتر نیز تأکید گردید، عمده تحقیقات بر تأثیر گرمای تابستان بر عملکرد متمرکز بوده (Molina et al., 2005; Koocheki et al., 2009; Koocheki et al., 2010; Jose-Santhi et al., 2023) و داده‌های دقیقی در مورد سهم این سرمای بی‌سابقه بر عملکرد زعفران وجود ندارد (Sanaei Nejad et al., 2024)، اما شواهد موجود حاکی از کاهش چشمگیر عملکرد در مناطق مختلف نسبت به میانگین عملکرد چند ساله است.

نتایج تجزیه خوشه‌ای مربوط به شهرستان‌های مختلف در تولید زعفران در استان خراسان رضوی نشان داد که شهرهایی با اقلیم مشابه در یک سطح تشابه قرار گرفتند. همچنین شهرهای بجستان، گناباد و تایباد در خوشه اول با اقلیم مشابه قرار گرفتند (شکل ۷). این شهرستان‌ها بر اساس پهنه‌بندی کامیابی (Kamyabi, 2016)، دارای اقلیم سرد و خشک هستند. اگرچه مشهود به لحاظ جغرافیایی ممکن است با زاوه و تربت‌حیدریه متفاوت باشد، اما احتمالاً ویژگی‌های اقلیمی مشترک عامل قرارگیری آن‌ها در یک خوشه است. شهرهای باخرز و قوچان دارای اقلیم فراسرد نیمه‌خشک بوده و در خوشه سوم واقع شدند. دو شهرستان مهولات و بردسکن نیز در سرد و خشک دسته‌بندی شدند.

کیفیت زعفران نیز تأثیر می‌گذارد (Khorramdel, 2024; Khorramdel & Mirzaeian, 2025). در این راستا، مولینا و همکاران (Molina et al., 2005) گزارش نمودند که دما به‌طور مؤثری بر مراحل رشد رویشی و زایشی زعفران تأثیرگذار است. شاخص برداشت بالا در شهرستان‌های با اقلیم سرد مانند زاوه و باخرز نشان‌دهنده نسبت بهینه کلاله به گل است (شکل ۶). سرد شدن هوا در زمان گلدهی باعث می‌شود که گل‌ها در شرایط مطلوب‌تری رشد کرده و احتمالاً وزن گل و طول کلاله بلندتر شود. تأثیر مستقیم و مثبت کاهش دما بر شاخص زمان گلدهی و به تبع آن عملکرد زعفران در برخی پژوهش‌های پیشین نیز گزارش شده است (Molina et al., 2005; Khorramdel & Mirzaeian, 2025; Koocheki et al., 2010). در این راستا، تحقیقات مؤید آن است که دما مهم‌ترین عامل اقلیمی تأثیرگذار بر کشت زعفران بوده و تغییرات دمایی با تأثیر بر طول دوره رشد به‌ویژه در مرحله گلدهی می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی عملکرد را تحت تأثیر قرار دهد؛ البته علاوه بر دما، عوامل دیگری مانند محتوی رطوبتی خاک، میزان بارندگی، میزان حاصلخیزی خاک، سن مزرعه و تراکم کاشت بنه نیز بر عملکرد این محصول مؤثر هستند (Koocheki & Khajeh-Hosseini, 2020). کوچکی و خواجه‌حسینی (Koocheki & Khajeh-Hosseini, 2020) زعفران را گیاهی مناسب برای اقلیم‌های مختلف گرم و سرد دانستند، اما بیان داشتند که این گیاه در اقلیم‌های سرد عملکرد بیشتری دارد. اگرچه عمده تحقیقات مرتبط با اثر تغییرات اقلیمی بر رشد و عملکرد گیاه زعفران، عمدتاً بر تأثیر دمای بالا در تابستان متمرکز است، با این‌وجود، خرم‌دل و میرزائی‌ان (Khorramdel & Mirzaeian, 2025) گزارش نمودند که قرارگیری گیاه زعفران در معرض تنش یخ‌زدگی نیز موجب آسیب به اندام‌های هوایی و زیرزمینی شده و عملکرد آن‌را کاهش می‌دهد. در این راستا، برخی دیگر از محققان (Kafi et al., 2006; Koocheki & Seyyedi, 2006) نیز

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه روی تجزیه و تحلیل اثر عوامل اقلیمی و مدیریتی بر شاخص‌های گلدهی و عملکرد گل زعفران در شهرستان‌های مختلف در استان خراسان رضوی در دو سال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ نشان داد که اثر ساده و متقابل عوامل اقلیمی و مدیریتی بر بیشتر صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد گل در شهرستان تایباد و بیشترین عملکرد کلالة در شهرستان‌های تایباد، باخرز و قوچان مشاهده شد. همچنین در سال ۱۴۰۱ کلیه شاخص‌های گلدهی مورد مطالعه نسبت به سال ۱۴۰۲ بالاتر بود.

اگرچه میانگین شاخص‌های گلدهی نظیر طول دوره گلدهی و عملکرد گل و کلالة در اقلیم‌های سرد بالاتر از شهرستان‌های دارای اقلیم‌های گرم بود، ولی وقوع سرما و یخبندان در سال دوم اثر منفی بر رشد و عملکرد داشت، البته مدیریت زراعی بخشی از افت عملکرد را جبران نمود. علاوه بر این، مدیریت زراعی مناسب

بکارگرفته شده توسط برخی زعفران‌کاران پیشرو در طی تابستان نظیر خنک‌سازی سطح خاک، کاهش سن مزرعه و تراکم بالاتر بنه در زمان کاشت نیز نقش بسزایی بر جبران عملکرد در شرایط تغییرات اقلیمی ایفا می‌کنند. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود که از راهبردهای فشرده‌سازی اکولوژیکی در کشت زعفران شامل کاشت بنه‌های درشت، تغییر در تراکم و عمق کاشت، کاهش سن مزرعه، مدیریت آبیاری (اعمال آبیاری تابستانه به صورت سطحی - البته با در نظر گرفتن اقلیم منطقه و خصوصیات خاک - و آبیاری تکمیلی در صورت افزایش دما طی مراحل رشد رویشی گیاه به منظور جلوگیری از خزان زودرس)، سایه‌اندازی خاک در طی ماه‌های گرم تابستان (از طریق حفظ بقایای گیاهان هرز و کلش گیاهی، کشت مخلوط و کاشت گیاهان پوششی)، استفاده از سوپر جاذب‌ها، حاصلخیزکننده‌های آلی و تلقیح با میکوریزا و باکتری‌های محرک رشد برای تخفیف اثرات اقلیمی و سازگاری نسبی گیاه زعفران بهره‌گیری نمود.

Reference

- Ahrazem, O., Rubio-Moraga, A., Nebauer, S. G., Molina, R. V., & Gomez-Gomez, L. (2015). Saffron: Its phytochemistry, developmental processes, and biotechnological prospects. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 63 (40), 8751-8764. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b03194>
- Aminifard, M. H., & Amiri, M. B. (2021). Growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L.) affected by different levels of fulvic acid and cow manure in the second growing season. *Journal of Horticulture & Postharvest Research*, 4 (Special Issue - Recent Advances in Saffron), 57-68. <https://doi.org/10.22077/jhpr.2021.4039.1191>
- Anaeigoudari, F., Anaeigoudari, A., & Kheirikhah-Vakilabad, A. (2023). A review of therapeutic impacts of saffron (*Crocus sativus* L.) and its constituents. *Physiological Reports*, 11 (15), e15785. <https://doi.org/10.14814/phy2.15785>
- Azari, S. J., Sorooshzadeh, A., Nabati, J., & Oskoueian, E. (2023). Relationship between fertilization and planting depths on antioxidant activity in saffron (*Crocus sativus* L.). *Industrial Crops & Products*, 191, 116004. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116004>
- Cardone, L., Castronuovo, D., Perniola, M., Scrano, L., Cicco, N., & Candido, V. (2020). The influence of soil physical and chemical properties on saffron (*Crocus sativus* L.) growth, yield and quality. *Agronomy*, 10 (8), 1154. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081154>
- Chourak, Y., Belarbi, E. H., Martínez-Rivera, E. Y., da Cunha-Chiamolera, T. P. L., Peña-Fernández, A. A., Guil-Guerrero, J. L., & Urrestarazu, M. (2021). Fertigation temperature adjustment enhances the yield and quality of saffron grown in a soilless culture system. *HortScience*, 56 (10), 1191-1194.

- <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16005-21>
- FAO. (2024). FAO, Iran sign new project to enhance saffron authenticity:<
<https://www.fao.org/iran/news/detail-events/en/c/1681772/>>.
- Farrokhi, H., Asgharzadeh, A., & Samadi, M. K. (2021). Yield and qualitative and biochemical characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.) cultivated in different soil, water, and climate conditions. *Italian Journal of Agrometeorology*, (2), 43-55. <http://doi.org/10.36253/ijam-1324>
- Feizi, H., Mollafilabi, A., Sahabi, H. and 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 abstract).
<http://doi.org/10.22048/jsat.2015.8619>
- Husaini, A. M. (2014). Challenges of climate change: Omics-based biology of saffron plants and organic agricultural biotechnology for sustainable saffron production. *GM Crops & Food*, 5 (2), 97-105.
<https://doi.org/10.4161/gmcr.29436>
- Jose-Santhi, J., Sheikh, F. R., Kalia, D., & Singh, R. K. (2023). Sugar metabolism mediates temperature-dependent flowering induction in saffron (*Crocus sativus* L.). *Environmental & Experimental Botany*, 206, 105150.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.105150>
- Kafi, M., Koocheki, A., Rashed-Mohassel, M. H., & Nassiri, M. (2006). *Saffron, Production and Processing*. Science Publishers, New Hampshire, USA.
- Kamyabi, S. (2016). Implementing climate classification system architecture in Khorasan Razavi. *Territory*, 50 (13), 91-105.
- Khorramdel, S. (2024). The effect of climate change and agro-ecological zoning on quality of saffron in Iran. Webinars series on Sustainability of *Crocus sativus* L. Cultivation in the World in the Era of Climatic Change. Organised by Ferdowsi University of Mashhad, Iran and Aristotel University of Thessaloniki, Greece.
- Khorramdel, S., & Mirzaeian, A. (2025). Impact of climate change on saffron production in Iran: issues, challenges, and opportunities. *Journal of Saffron Research*, (In Press). (In Persian with English Abstract)
- Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., & Moallem, F. (2022). Effect of agronomic management on flower and daughter yield of saffron (*Crocus sativus* L.) on-farm trials. *Saffron Agronomy & Technology*, 10 (1), 169-182. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22077/JSR.2022.4866.1174>
- Koocheki, A. (2024). Saffron: Yesterday, now and days ahead. Webinars series on Sustainability of *Crocus sativus* L. Cultivation in the World in the Era of Climatic Change. Organised by Ferdowsi University of Mashhad, Iran and Aristotel University of Thessaloniki, Greece.
- Koocheki, A. R., Nassiri, 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 abstract).
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20081472.1388.7.2.25.5>
- Koocheki, A., & Khajeh-Hosseini, M. (Eds.). (2020). *Saffron: Science, Technology and Health*. Woodhead Publishing. Elsevier: Amsterdam, The Netherlands
- Koocheki, A., & Seyyedi, S. M. (2019b). Mother corm origin and planting depth affect physiological responses in saffron (*Crocus sativus* L.) under controlled freezing conditions. *Industrial Crops & Products*, 138, 111468.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111468>
- Koocheki, A., & Seyyedi, S. M. (2020). Saffron “seed”, the corm. In *Saffron* (pp. 93-118). Woodhead Publishing.

- <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818638-1.00007-1>
- Koocheki, A., & Seyyedi, S. M. (2019b). Relationship between nitrogen and phosphorus use efficiency in saffron (*Crocus sativus* L.) as affected by mother corm size and fertilization. *Industrial Crops & Products*, 71, 128–137. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.085>
- Koocheki, A., Alizadeh, A., & Ganjeali, A. (2010). The effect of increased temperature on flowering behaviour of saffron (*Crocus sativus* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8 (2), 324-335. (In Persian with English Abstract) <http://doi.org/10.22067/gsc.v8i2.7530>
- Koocheki, A., Asadi, G. A., Bagheri Shirvan, M., & Bicharanlou, B. (2018). The possibility of replacing chemical fertilizer with organic manure in saffron cultivation at different levels of corm density under Northern Khorasan climatic conditions. *Saffron Agronomy & Technology*, 6 (2), 125-145. (In Persian with English Abstract) <https://doi.org/10.22048/jsat.2017.75396.1214>
- Koozehgaran, S., Mousavi Baygi, M., Sanaei-Nejad, S. H., & Behdani, M. A. (2011). Study of the minimum, average and maximum temperature in South Khorasan to identify relevant areas for saffron cultivation using GIS. *Water & Soil*, 25 (4). <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.10257>
- Kouzegaran, S., Mousavi Baygi, M., Babaeian, I., & Khashei-Siuki, A. (2020). Future projection of the effects of climate change on saffron yield and spatial-temporal distribution of cultivation by incorporating the effect of extreme climate indices. *Theoretical & Applied Climatology*, 141 (3), 1109-1118. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03241-0>
- Kumar, L., Chhogyel, N., Gopalakrishnan, T., Hasan, M. K., Jayasinghe, S. L., Kariyawasam, C. S., Kogo, B. K., & Ratnayake, S. (2022). Climate Change and Future of Agri-Food Production. In *Future foods* (pp. 49-79). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91001-9.00009-8>
- Molina, R. V., Valero, M., Navarro, Y., Guardiola, J. L., & Garcia-Luis, A. J. S. H. (2005). Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L.). *Scientia Horticulture*, 103 (3), 361-379. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.06.005>
- Moradi, R., Pourghasemian, N., & Najarzadeh, A. (2017). Reaction of saffron qualitative properties to the time of flower harvest during the day. The 7th National Conference on Novel Ideas in Agriculture, Isfahan. <https://civilica.com/doc/762888>
- Moradi, S. (2024). Trends of the past and future impacts of climate change on saffron production in Iran. Webinars series on Sustainability of *Crocus sativus* L. Cultivation in the World in the Era of Climatic Change. Organized by Ferdowsi University of Mashhad, Iran and Aristotel University of Thessaloniki, Greece.
- Pirasteh-Anosheh, H., Babaie-Zarch, M. J., Nasrabadi, M., Parnian, A., Alavi-Siney, S. M., Beyrami, H., Kaveh, H., Hashemi, S. E., Durrer, U., McDonald, K., & Race, M. (2023). Climate and management factors influence saffron yield in different environments. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 6 (3), e20418. <https://doi.org/10.1002/agg2.20418>
- Rostami, M., & Mohammadi, H. (2013). Effects of planting date and corm density on growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L.) under Malayer climatic conditions. *Journal of Agroecology*, 5 (1), 27-38. (In Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/jag.v5i1.21383>
- Sahabi, H., & Moallem Banhangi, F. (2021). Evaluation the impact Climatic parameters on flowering behaviour and yield of Saffron (*Crocus sativus* L.) in Razavi and Southern Khorasan Provinces. *Saffron Agronomy & Technology*, 9 (4), 357-373. (In Persian with

- English abstract).
<https://doi.org/10.22048/jsat.2021.283088.1423>
- Salteh, S. A., & Amani, M. (2021). Evaluation of climate effect on saffron's metabolites (*Crocin*, *Picrocrocin* and *Safranal*) in Bonab region of Marand. *Journal of Horticultural Science*, 35 (4), 579-590. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jhs.2021.61978.0>
- Sanaei Nejad, S. H., Salari, K., & Khorramdel, S. (2024). Synoptic analysis of sudden drop in temperature and its effect on saffron yield in 2023. Webinars series on *Sustainability of Crocus sativus L. Cultivation in the World in the Era of Climatic Change*. Organised by Ferdowsi University of Mashhad, Iran and Aristotel University of Thessaloniki, Greece.
- Siracusa, L., Gresta, F., Avola, G., Lombardo, G. M., & Ruberto, G. (2010). Influence of corm provenance and environmental condition on yield and apocarotenoid profiles in saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Food Composition & Analysis*, 23 (5), 394-400.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.02.007>
- Wang, Z., Li, X., Xu, J., Yang, Z., & Zhang, Y. (2021). Effects of ambient temperature on flower initiation and flowering in saffron (*Crocus sativus* L.). *Scientia Horticulturae*, 279, 109859.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109859>
- Zamani, E., Salari, H., & Mehrkish, M. (2024). Investigating flower yield and corm behavior of saffron under different dense planting systems in Kermanshah, western Iran. *Iran Agricultural Research*, 42 (2), 93-99.
<https://doi.org/10.22099/iar.2024.50291.1604>