Saffron Agronomy & Technology
Homepage: http://saffron.torbath.ac.ir
Vol. 13, No. 4, 2026, p. 341-365

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

Ramin Esmi[1], Soroor Khorramdel[2*] and Atefeh Mirzaeian[3]

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. 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 in 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 strategies, such as soil

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

© 2026, University of Torbat Heydarieh. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial License (CC BY NC 4.0)
(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0).

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

نشریه زراعت و فناوری زعفران
جلد۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴ ص. ۳۶۵-۳۴۱
Homepage: http://saffron.torbath.ac.ir

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)، ۳۶۵-۳۴۱.

چکیده

این مطالعه به‌منظور 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، مه‌ولات، تایباد، تربت‌حیدریه و زاوه) به‌صورت 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 تیمارها 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$۰/۰۵) بود. دامنه طول دوره گلدهی طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به ترتیب ۱۷/۵-۱۲/۲ و ۱۲/۱-۸/۲ 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 طوری‌که 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 طوری‌که با افزایش میانگین دما در ماه مرداد، عملکرد کاهش و با افزایش میزان بارندگی در ماه اسفند عملکرد بهبود خواهد یافت. از آنجا که دوره انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به بنه‌های دختری در زمستان رخ می‌دهد، وقوع بارندگی در طی مرحله رویشی در فصل زمستان (مانند اسفند) مهم است. 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 گرم‌تر نسبت به سردتر به دلیل خسارت کمتر سرما پایین‌تر (تفاوت ۳۳ درصدی عملکرد گل بین گرم‌ترین و سردترین شهرستان) بود. به طور کلی، بر اساس نتایج این مطالعه پیشنهاد می‌شود از راهبردهای فشرده‌سازی اکولوژیک 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 اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Khorramdel@um.ac.ir)

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

مقدمه

زعفران (*Crocus sativus* L.) به‌عنوان گران‌ترین ادویه جهان، جایگاه ویژه‌ای در اقتصاد کشاورزی ایران دارد و استان خراسان رضوی یکی از مهم‌ترین مناطق تولیدکننده آن محسوب می‌شود (Kafi et al., 2006; FAO, 2024). این گیاه علاوه بر کاربردهای گسترده در صنایع غذایی و دارویی، به دلیل سازگاری با شرایط خشک و نیمه‌خشک، 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 به شرایط محیطی خاصی وابسته می‌باشند. دوره خواب بنه‌ها در تابستان، القای گلدهی، ظهور گل در پاییز و رشد رویشی و پر شدن بنه‌های دختری در زمستان و اوایل بهار، مراحل اصلی این چرخه را تشکیل می‌دهند (Lopez-Corcoles et al., 2015; Koocheki, 2024). گزارش شده است که دما به‌عنوان مهم‌ترین عامل محیطی، نقش کلیدی در کنترل این مراحل در گیاه زعفران ایفا می‌کند؛ به طوری‌که 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 سانتی‌گراد برای شکستن خواب و القای گلدهی و ظهور گل ضروری است (Molina et al., 2005; Koocheki et al., 2009; Koocheki et al., 2010; Jose-Santhi et al., 2023). از سوی دیگر، بارندگی به‌ویژه در مرحله رشد رویشی از طریق طولانی‌تر شدن دوره انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به بنه‌های دختری (طی ماه‌های اسفند و فروردین) تأثیر مستقیمی بر عملکرد گل در سال بعد دارد (Khorramdel & Mirzaeian, 2025).

علاوه بر عوامل اقلیمی، مدیریت زراعی نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در موفقیت کشت زعفران ایفا می‌کند؛ به طوری‌که عواملی نظیر سن مزرعه، تراکم و اندازه بنه، تعداد و زمان آبیاری (نظیر آبیاری تابستانه) از مهم‌ترین تصمیمات مدیریتی هستند که می‌توانند 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 جنبه‌های متفاوتی بر فرآیند گلدهی اثر می‌گذارند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که آبیاری تابستانه در ماه‌های تیر و مرداد بیشترین تأثیر را در افزایش تعداد گل و عملکرد کلاله دارد (Feizi et al., 2015).

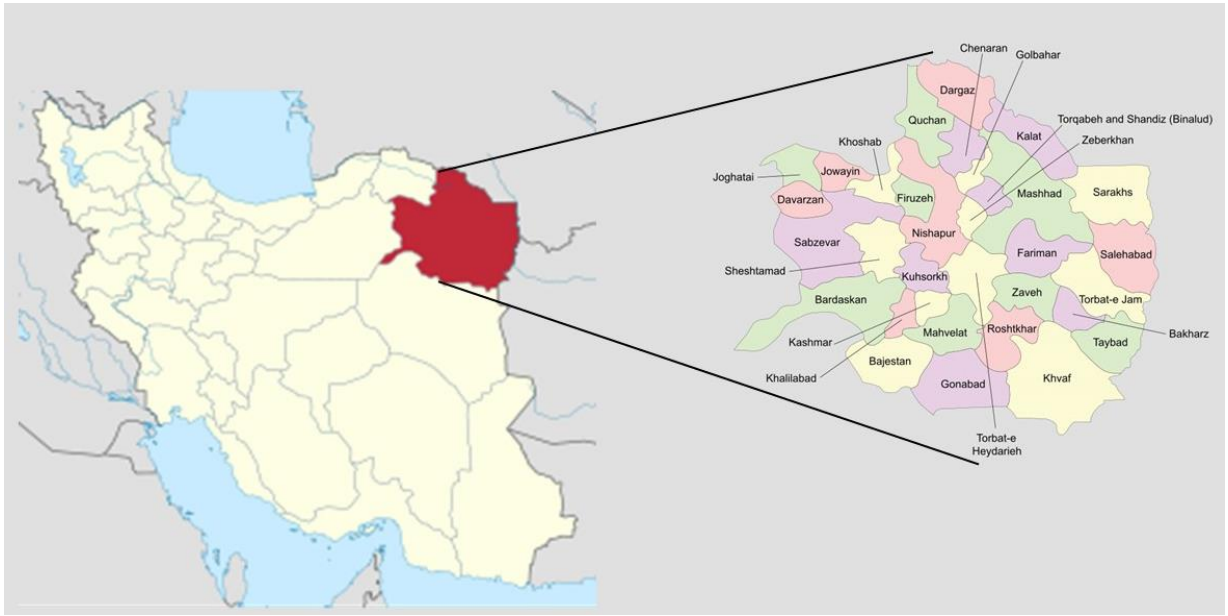
اگرچه پژوهش‌های متعددی به اثرات مستقل دما (Molina et al., 2005; Koocheki et al., 2010) یا مدیریت زراعی (Khorramdel et al., 2022) بر زعفران پرداخته‌اند، اما مطالعه جامعی که اثر همزمان و متقابل نوسانات دما، بارندگی و عوامل مدیریتی را بر شاخص‌های گلدهی در سطح منطقه‌ای و در شرایط واقعی مزرعه بررسی کند، تاکنون انجام نشده است. بررسی همزمان این دو دسته عامل از چند جنبه ضروری است: نخست آنکه در عمل، کشاورزان با ترکیبی از این عوامل مواجه هستند و اثرات اقلیمی همواره در بستری از تصمیمات مدیریتی (نظیر تراکم کاشت، سن مزرعه و مدیریت آبیاری) بروز می‌کنند (Pirasteh-Anosheh et al., 2023)؛ از طرفی، مدیریت زراعی می‌تواند به‌عنوان راهکاری برای تعدیل اثرات منفی تغییرات اقلیمی عمل کند، به‌طوری که انتخاب تراکم و اندازه مناسب بنه، مدیریت آبیاری تابستانه و کاهش سن مزرعه از جمله اقداماتی هستند که کاهش خسارت‌های ناشی از تنش‌های دمایی و کم‌آبی را به همراه دارند (Feizi et al., 2015; Khorramdel & Mirzaeian, 2025). بنابراین، از آنجاییکه تغییرات اقلیمی به ویژه در سال‌های اخیر منجر به بروز نوسانات شدید دمایی و تغییر الگوی بارندگی شده، لذا درک اثرات متقابل این عوامل با مدیریت مزرعه، برای ارائه توصیه‌های مدیریتی دقیق و منطقه‌ای به کشاورزان ضروری است (Kouzegaran et al., 2020).

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 شاخص‌های گلدهی زعفران شامل زمان تا شروع گلدهی، طول دوره گلدهی، عملکرد گل، عملکرد کلاله و شاخص برداشت در ده شهرستان مهم تولیدکننده این محصول در استان خراسان رضوی انجام شد.

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

مواد و روش‌ها



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

داده‌های اقلیمی شامل بارندگی ماهانه، حداقل، حداکثر و میانگین دمای ماهانه طی دو سال مورد مطالعه 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 در زعفران تحت تأثیر شرایط اقلیمی در سال قبل (شامل مراحل رشد رویشی، القای گلدهی و ظهور گل) می‌باشد، در این مطالعه داده‌های اقلیمی برای هر سال (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲) از دوره یک‌ساله قبلی منتهی به آن (از آبان سال قبل تا آبان سال گلدهی) استخراج و مورد تحلیل قرار گرفت.

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 Altitute (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
تربت‌حیدریه 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

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. پایایی پرسشنامه با روش بازآزمایی (تکرار برای ۱۵ کشاورز با فاصله ۲۰ روز) ارزیابی گردید و ضریب همبستگی بالای ۰/۸۵ برای متغیرهای اصلی، پایایی مطلوب را تأیید نمود. لاز م به ذکر است که پژوهش به‌صورت پیمایش مقطعی با پیگیری حداکثری نمونه‌ها در دو سال انجام شد.

اگرچه تلاش شد با همان کشاورزان سال اول در سال دوم نیز مصاحبه 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.

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)	دمای 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	نیمه‌خشک-فراسرد	2022	170.4	9.7	8.8	-1.9	-2.7	21.3	20.3
Bakharz	Semi-arid-extra cold	2023	180.6	15.55	14.25	-1.6	-3	32.7	31.5
بجستان	خشک-سرد	2022	136.3	14.45	13.65	2.7	2.2	26.2	25.1
Bajestan	Dry-cold	2023	136	21.2	19.1	3.9	0.8	38.5	37.4
بردسکن	خشک-سرد	2022	143	14.7	13.5	2.9	1.9	26.5	25.1
Bardaskan	Dry-cold	2023	145.2	21.9	20.45	4.1	2.5	39.7	38.4
تایباد	خشک-سرد	2022	271.4	12.65	12.05	0.6	0.2	24.7	23.9
Taybad	Dry-cold	2023	281.2	19	18	1.5	0.5	36.5	35.5
تربت‌حیدریه	نیمه‌خشک-فراسرد	2022	268.8	9.05	8.25	-3.2	-3.2	21.3	19.7
Torbat Heydarieh	Semi-arid-extra cold	2023	277.6	15.25	14.25	-2	-3	32.5	31.5
زاوه	نیمه‌خشک-فراسرد	2022	219.7	9.35	7.85	-1.5	-3.4	20.2	19.1
Zaveh	Semi-arid-extra cold	2023	227.4	14.65	13.7	-2.6	-3.1	31.9	30.5
قوچان	نیمه‌خشک-فراسرد	2022	286.6	6.1	6.3	-6.1	-5.2	18.3	17.8
Quchan	Semi-arid-extra cold	2023	291.8	13.6	12.25	-3.3	-5	30.5	29.5
گناباد	خشک-سرد	2022	146.1	13.7	12.7	1.7	1.1	25.7	24.3
Gonabad	Dry-cold	2023	142.5	20.2	19.15	2.7	1.9	37.7	36.4
مشهد	نیمه‌خشک-سرد	2022	225.2	10.05	9.35	-1.5	-1.8	21.6	20.5
Mashhad	Semi-arid-cold	2023	227.8	16.3	15.55	-0.5	-1.4	33.1	32.5
مه‌ولات	خشک-سرد	2022	168.6	14.15	13.35	2.3	2	26	24.7
Mahvelat	Dry-Cold	2023	167.5	21.45	20.3	3.6	2.3	39.3	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 به‌عنوان 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 به‌عنوان نمونه آماری در پژوهش شرکت نداشتند، لذا تمامی ۵۰ نفر شرکت‌کننده، 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 به‌کارگیری 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[1] 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) به‌صورت 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) به‌عنوان سطوح یک 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 می‌باشد.

متغیرهایی نظیر وزن بنه مصرفی در زمان کاشت (در سال اول)، سن مزرعه، تعداد آبیاری و آبیاری تابستانه به‌عنوان «متغیرهای مدیریتی کمّی[2]» در نظر گرفته شدند. هدف از وارد کردن این متغیرها در مدل تجزیه واریانس، بررسی نقش و سهم آن‌ها به‌عنوان متغیرهای کمکی یا کوواریت[3] در کنار اثرات اصلی اقلیم و سال بود. به عبارت دیگر، تحلیل داده‌ها به‌صورت آنکوا[4] انجام گرفت. برای بررسی اثر عوامل اقلیمی (اقلیم، سال و اثر متقابل) بر شاخص‌های گلدهی، از مدل خطی عمومی (GLM) استفاده شد. تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی با استفاده از نرم‌افزار Minitab Ver. 17 و با به‌کارگیری روش وارد[5] و معیار فاصله اقلیدسی[6] 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

وضعیت مدیریتی مزارع

میانگین برخی اطلاعات مربوط به مزارع زعفران در شهرستان‌های مختلف در استان خراسان رضوی در دو سال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ در جدول ۳ آورده شده است.

1- Backward Stepwise Regression
2- Quantitative Management Variables
3- Covariates
4- ANCOVA (Analysis of Covariance)
5- Ward's Method
6- Euclidean Distance

جدول ۳- برخی اطلاعات زراعی در مزارع زعفران در شهرهای 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 City name	سال Year	سن مزرعه Farm age (year)	روز تا اولین آبیاری* Number of days to first-irrigation	تعداد آبیاری تابستانه Numbers of summer irrigation	تعداد آبیاری Numbers of irrigation	میزان بنه کشت شده** Planted corm 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
بردسکن	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 بیانگر 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 ٤- 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 به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم‌معنی‌دار.

**, * 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 به‌عنوان 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 شـــاخص‌های عملکرد گل و کلاله زعفران تحـت تـأثیر برخی عوامـل مهم زراعی و اقلیمی در شـهرسـتان‌های مختلف در اسـتان خراسـان رضـوی در جدول ۴ نشان داده شده است.

همان‌طور که در جدول ۴ مشـاهده می‌شـود، اثر سـاده سـن مزرعـه بر طول دوره گلـدهی و عملکرد گـل زعفران معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود؛ به طوری‌که اثر ساده تعداد آبیاری، شاخص زمان تا شـروع گلدهی را در سـطح احتمال پنج درصـد و باقی صـفات مربوط به شاخص‌های گلدهی (بجز شاخص برداشت) چون طول دوره گلدهی، عملکرد گل و عملکرد کلاله را در ســـطح احتمال یک درصـــد به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. اقلیم تمام شـاخص‌های گلدهی بجز شـاخص برداشـت را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد ($p\leq$۰/۰۵). اثر تفاوت بین دو ســـال نیز بر زمان شـروع گلدهی و شـاخص برداشـت در سـطح احتمال پنج درصد و بر سایر شاخص‌های گلدهی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل اقلیم×ســـال نیز بر دو شـــاخص زمان تا

شروع گلدهی و طول دوره گلدهی در سطح احتمال پنج درصد و بر دیگر صفات گلدهی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

در جدول ۵ مقایسه میانگین اثر اقلیم بر شاخص‌های عملکرد گل و کلاله زعفران در شهرهای مختلف در استان خراسان رضوی ارائه شده است.

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^{e}
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^{e}	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}	0.95d^{e}
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.

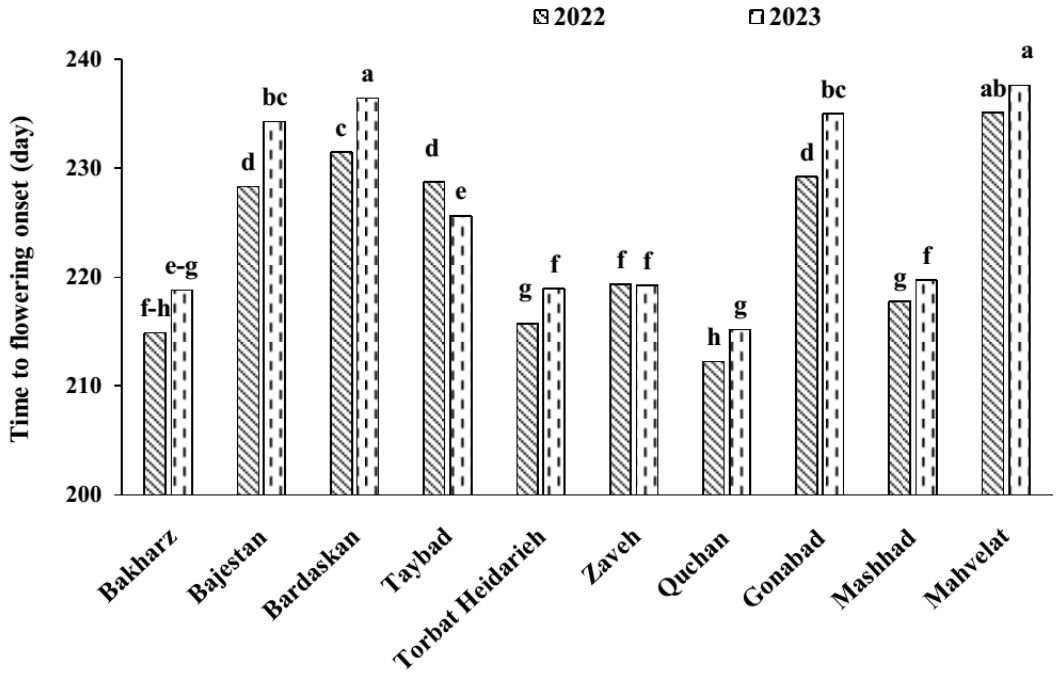
* مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین شهرستان‌ها می‌باشد. داده‌های ارائه شده در این جدول، میانگین دو سال زراعی ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ می‌باشد.

* 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.

* Mean comparisons were performed using Duncan's multiple range test at the 5% probability level. Similar letters in each column indicate no significant difference between cities.
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 ۲۳۵/۱-۲۱۲/۲ و ۲۳۷/۶-۲۱۵/۲ 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.

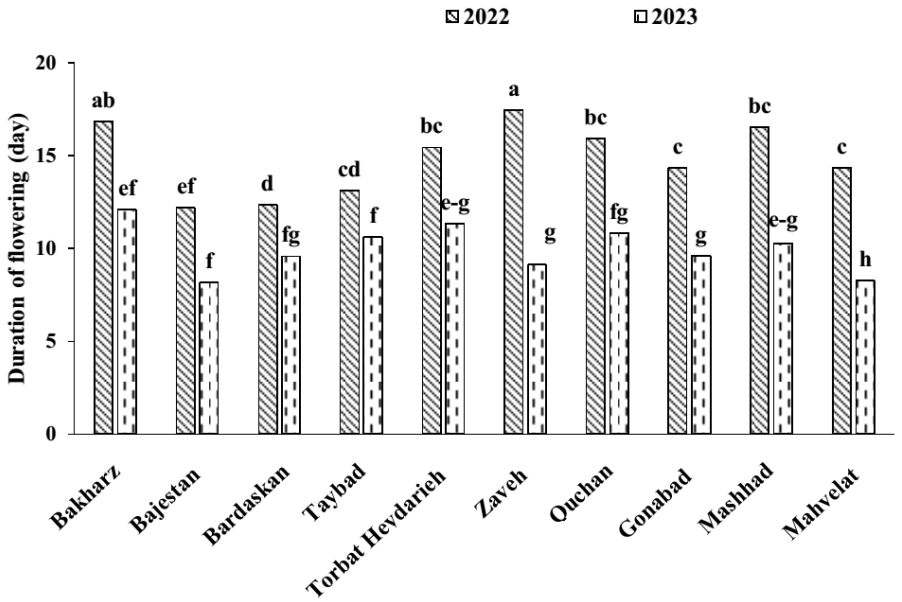
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letters are not significantly different ($p\leq0.05$).

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 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 ۱۷/۵-۱۲/۲ و ۱۲/۱-۸/۲ روز بود؛ به طوری‌که 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 گلدهی در سال دوم نسبت به سال اول برابر با ۴۷/۸-۱۹/۲ درصد بود که کمترین و بیشترین میزان به ترتیب برای شهرستان‌های تایباد و زاوه محاسبه گردید (شکل ۳).

ج) عملکرد گل و کلاله: دامنه عملکرد گل زعفران در شهرستان‌های مختلف در استان خراسان رضوی طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به ترتیب برابر با ۷۹۹/۹۵-۲۷۸/۵ و ۳۶۰/۸-۱۵۲/۱ کیلوگرم در هکتار گزارش شد؛ به طوری‌که 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 ۶۷-۳۴ درصد محاسبه شد که بیشترین میزان مربوط به زاوه بود و کمترین میزان برای بجستان ثبت شد (شکل ۴).

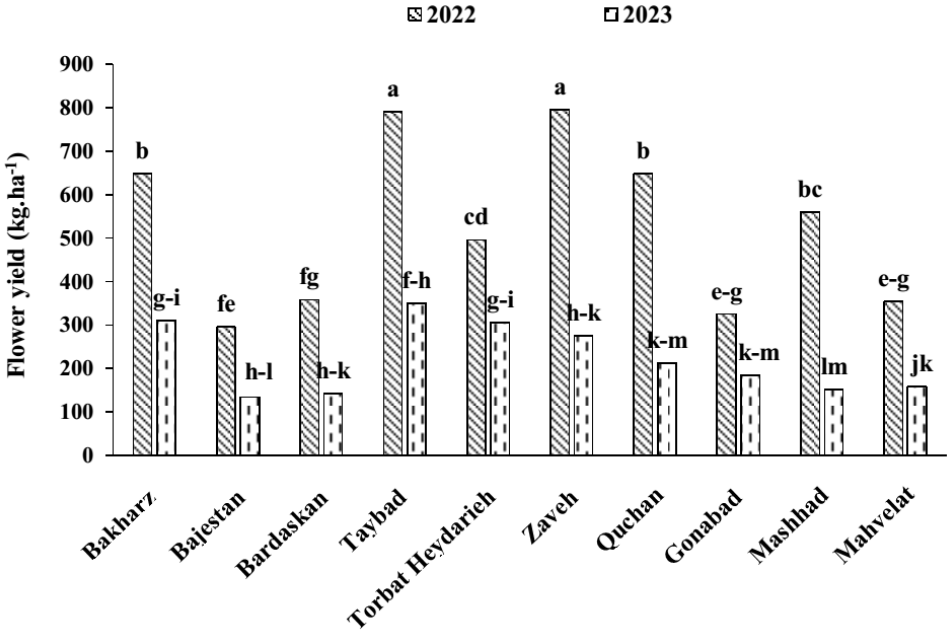


شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل اقلیم و سال بر طول دوره گلدهی زعفران در شهرهای مختلف در استان خراسان رضوی طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲

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 ($p \leq 0.05$).



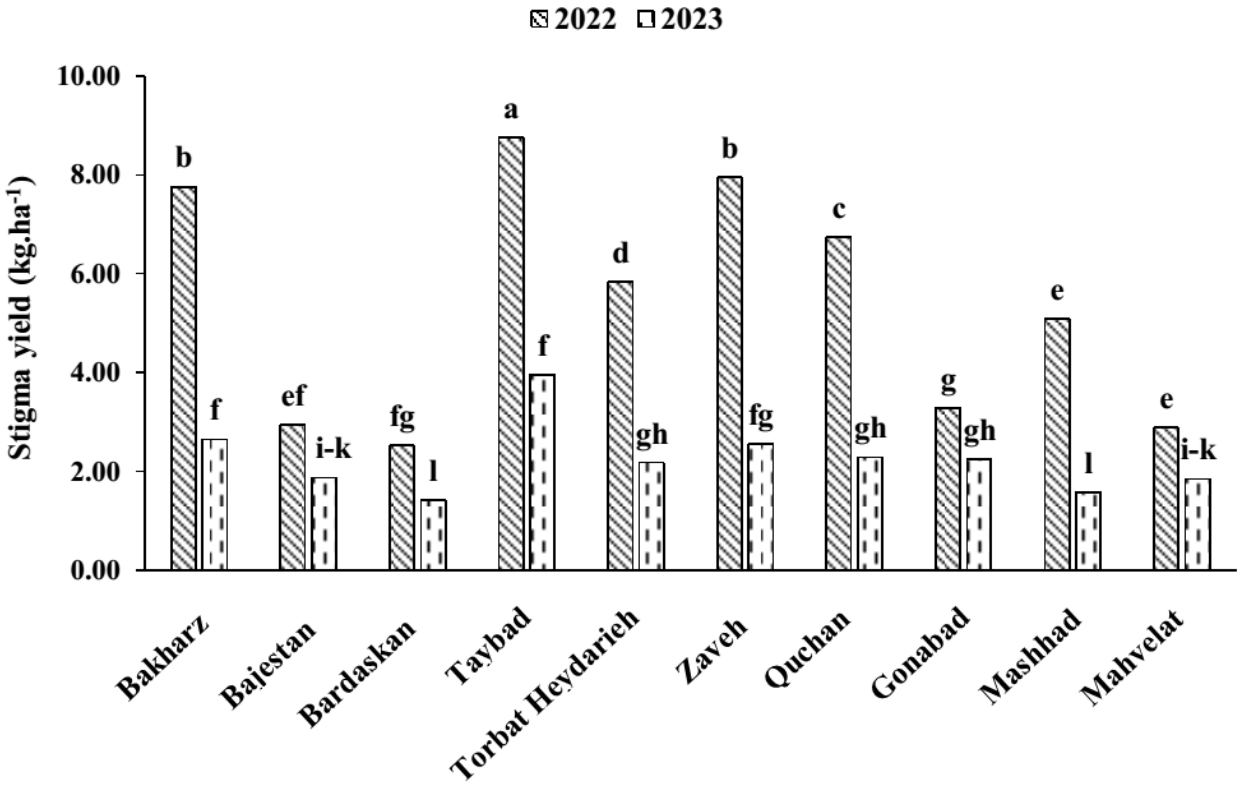
شکل ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل اقلیم و سال بر عملکرد گل زعفران در شهرهای مختلف در استان خراسان رضوی طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲

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 ($p \leq 0.05$).

دامنه عملکرد کلاله زعفران در شـهرسـتان‌های مختلف در استان خراسان رضوی طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به ترتیب برابر با ۸/۸–۲/۵ و ۳/۹۵–۱/۴ کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید؛ به طوری‌که مشابه با تغییرات عملکرد گل در هر دو سال (شکل ۴)، بالاترین و پایین‌ترین عملکرد کلاله به ترتیب مربوط به شـهرسـتان‌های تایباد و بردسـکن بود. همچنین دامنه کاهش عملکرد کلاله در سال ۱۴۰۲ در مقایسه با سال ۱۴۰۱ برابر با ۴–۳۱/۶۹ درصد محاسبه شد که کمترین میزان مربوط به گناباد و بالاترین درصـد افت عملکرد کلاله برای مشـهد ثبت گردید (شکل ۵).



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.

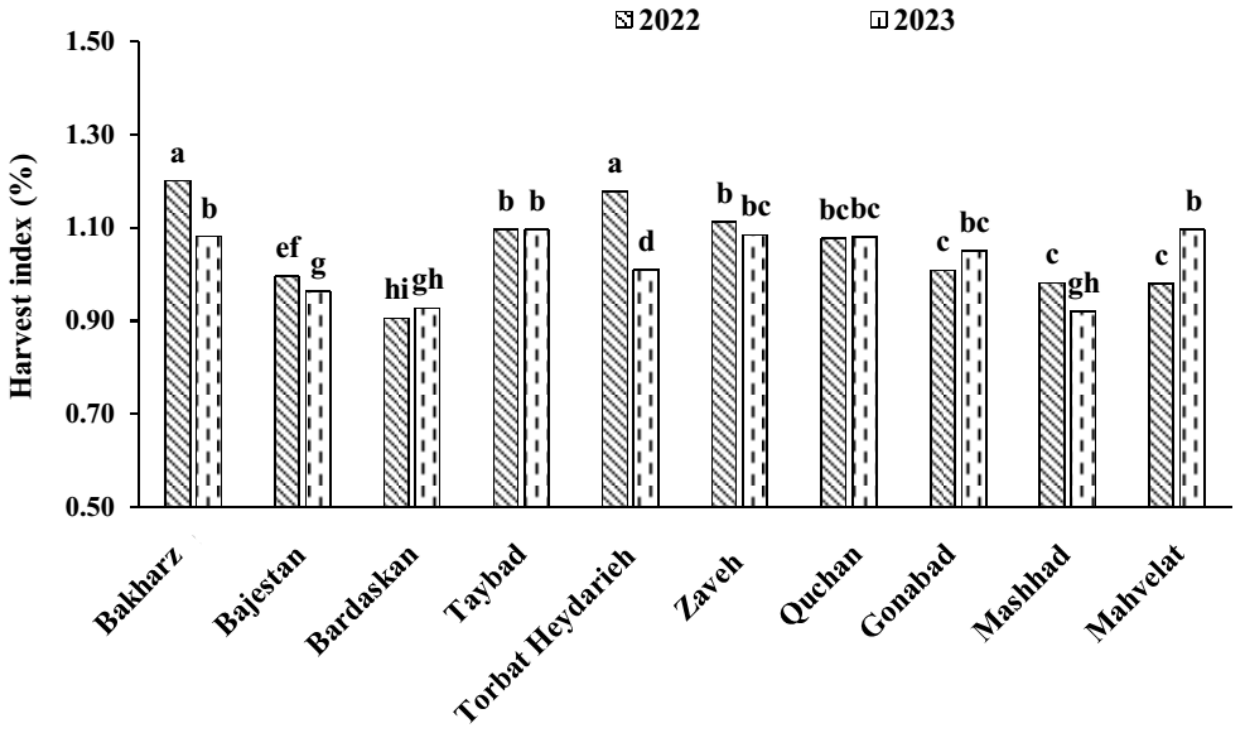
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letters are not significantly different ($p\leq0.05$).

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. در سال اول، بالاترین شاخص برداشت به تربت حیدریه و باخرز تعلق داشت و کمترین میزان برای بردسکن ثبت شد. در سال دوم کمترین شاخص برداشت مربوط به مشهد بود و بیشترین میزان به مه‌ولات اختصـاص داشـت. همچنین دامنه کاهش عملکرد کلاله در سـال ۱۴۰۲ نسـبت به سـال ۱۴۰۱ برابر با

۰/۱۴-۰۴/۲ درصد محاسبه شد که کمترین میزان مربوط به تایباد بود و بالاترین درصد افت به تربت حیدریه اختصاص داشت. البته در سال دوم نسبت به سال اول در برخی از شهرستان‌ها شامل بردسکن، مه‌ولات و گناباد افزایش جزئی برای شاخص برداشت مشاهده شد (شکل ۶).



شکل ٦- 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 ($p \leq 0.05$).

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 طوری‌که خوشه اول شامل شهرستان‌های بجستان، گناباد و تایباد، خوشه دوم متشکل از شهرستان‌های بردسکن و مه‌ولات، خوشه سوم شامل شهرستان‌های باخرز و قوچان و خوشه آخر نیز شامل شهرستان‌های مشهد، تربت‌حیدریه و زاوه بود (شکل ۷). لازم به توضیح است که این گروه‌بندی با طبقه‌بندی اقلیمی مستقل شهرستان‌ها (بر اساس Kamyabi, 2016) که در جدول ۲ ارائه شده، متفاوت می‌باشد. مقایسه این دو گروه‌بندی نشان‌دهنده همبستگی بین شرایط اقلیمی و عملکرد زعفران می‌باشد.

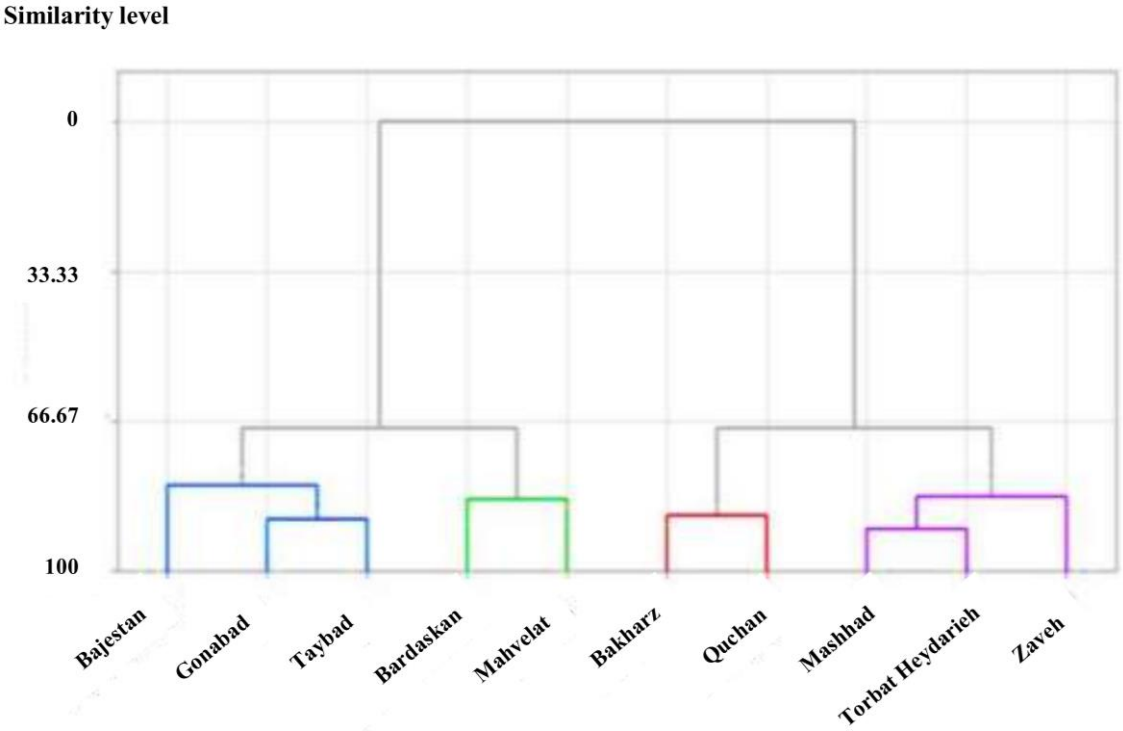
همبستگی بین پارامترهای اقلیمی و عملکرد

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.

$$Y= 12.7+0.0854X_1 - 0.387X_2 \quad \text{معادله (۱)}$$

بر اساس نتایج، این مدل قادر به تبیین ۷۲ درصد از تغییرات عملکرد زعفران در شهرستان‌های مختلف در استان خراسان رضوی می‌باشد (R^2= ۰/۷۲*). با افزایش میانگین دما در ماه مرداد، عملکرد کاهش و با افزایش میزان بارندگی در اسفند ماه عملکرد گل و کلاله بهبود خواهد یافت (شکل ۸).



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

البته مجددا 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$۰/۰۱). 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، گیاه در مرحله خواب و در اسفند ماه در فاز رشد رویشی هستند (Lopez-Corcoles et al., 2015).

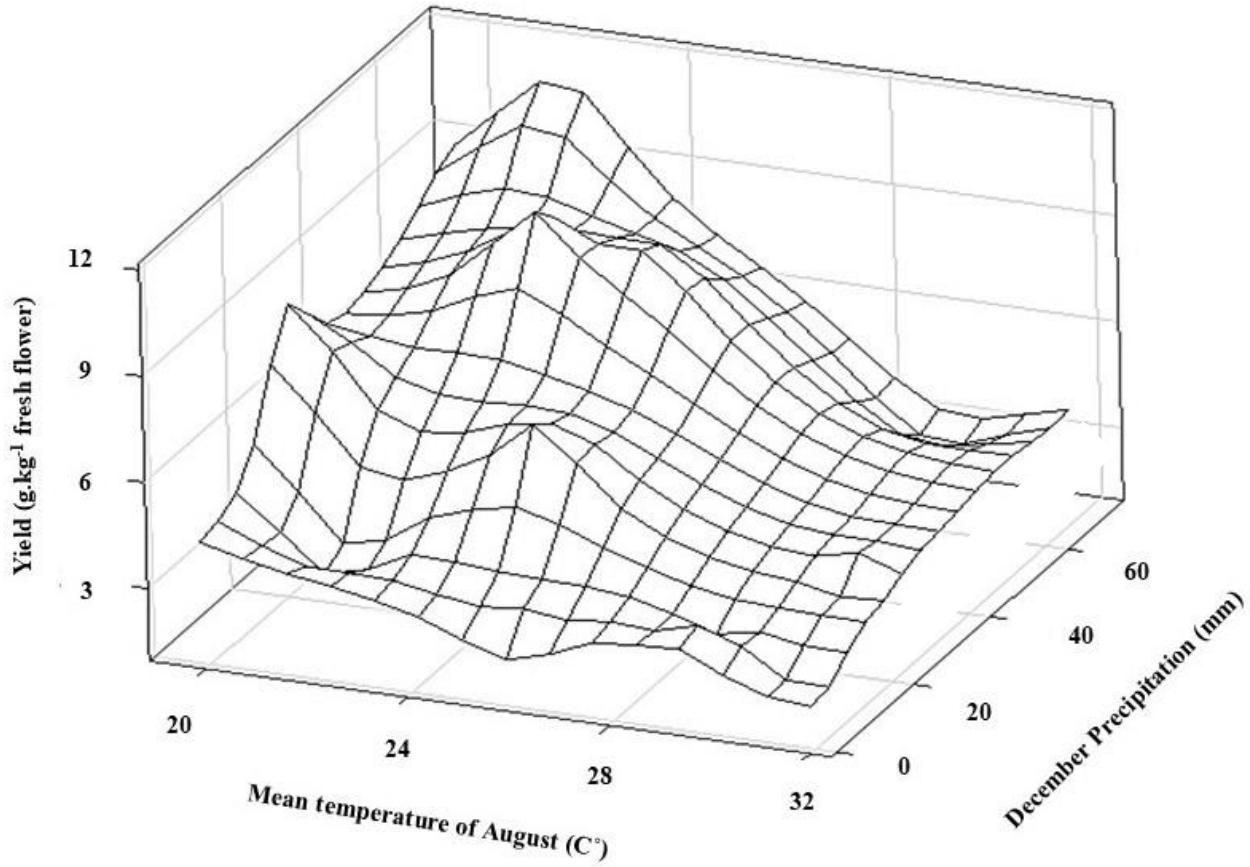
در این پژوهش، اثر اقلیم بر شاخص‌های گلدهی زعفران در دو سطح مورد بررسی قرار گرفت:

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، 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 گلدهی 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).



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

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

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 ۱۴۰۱ بالاتر از سال 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 عملکرد در سال دوم داشت؛ به طوری‌که افت عملکرد گل و کلاله در سال دوم در مناطق گرمسیری نسبت به سردسیری کمتر بود. همچنین افت عملکرد در شهرستان‌های با اقلیم سرد (مانند باخرز و زاوه) به دلیل یخبندان‌های شدید زمستانه در سال دوم، به ترتیب حدود ۶۲ و ۶۷ درصد ثبت شد. این در حالی است که در شهرستان‌های گرم‌تر (مانند بجستان و گناباد)، احتمالا به دلیل ملایم‌تر بودن دمای زمستان و عدم وقوع مراحل رویشی زعفران با آستانه بحرانی خسارت سرمازدگی بنه، این 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 سردسیر تجربه کردند. در این راستا، کاردون و همکاران (Cardone et al., 2020) گزارش کردند که گلدهی زودتر و افزایش طول دوره گلدهی 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 تغییر اقلیم بر مبنای اصول فشرده‌سازی اکولوژیک کشت زعفران شامل کاربرد حاصلخیزکننده‌های آلی، سوپرجاذب‌ها، 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 سوپرجاذب‌ها و مدیریت سن مزرعه را 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 پاییز و آغاز گلدهی وجود دارد و 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، می‌تواند به دلیل کاهش زودهنگام دما اتفاق بیافتد که فرآیند تمایز گل را تسریع می‌کند. در مقابل، تأخیر در گلدهی در شهرستان‌های با اقلیم گرم مانند مه‌ولات، 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 نیمه خشک–فراسرد قرار دارند. وقوع سرمای سخت در زمستان ۱۴۰۱ (همراه با کاهش شدید دمای حداقل) 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)، مرحله 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 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 عوامل مدیریتی 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 مطالعه در استان‌های خراسان رضوی بوده است. تأثیر مثبت

تراکم بنه بر عملکرد گل و کلاله 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، جوان‌سازی و کاهش سن مزارع و فشرده‌سازی اکولوژیک را می‌توان به عنوان راهکاری برای مقابله با تغییر اقلیم در سیستم‌های تولید زعفران پیشنهاد نمود.

بر اساس مبانی فیزیولوژیک 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 این دوره تأیید کرد؛ به‌طوری‌که بارندگی در اسفند ماه به‌عنوان یکی از دو متغیر اصلی تأثیرگذار بر عملکرد شناسایی شد. نتایج بازدیدها و مشاهدات میدانی نیز به‌صورت کیفی این یافته را تأیید نمود؛ به این معنا که در مناطقی با مجموع بارندگی زمستانه بیشتر (طی اسفند ماه) نظیر قوچان، عملکرد بالاتری مشاهده شد. این یافته‌ها با مبانی فیزیولوژیک گیاه زعفران که دوره انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به بنه‌های دختری را در اواخر زمستان می‌دانند (Lopez- Corcoles et al., 2015)، همخوانی دارد. اگرچه این مشاهدات به‌تنهایی مبنای نتیجه‌گیری نیستند، اما یافته‌های آماری را به‌صورت کیفی تأیید می‌کنند. در زعفران، انتقال از مرحله رویشی به زایشی فرآیندی پیچیده است که به طور مستقیم تحت کنترل دمای محیط قرار دارد. این فرآیند در سه مرحله کلیدی زیر صورت می‌گیرد: دوره پیش–آغازش که پس از خشک شدن برگ‌ها در بهار، مریستم‌های موجود در جوانه‌های بنه در حالت رویشی هستند. در این مرحله، دماهای ملایم در اواخر بهار و اوایل تابستان (حدود ۲۳ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد) زمینه‌ساز تغییرات هورمونی (افزایش نسبت سیتوکنین به ژیبرلین) در مریستم انتهایی می‌شوند. 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 و در نهایت، تمایز اندام‌های گل که پس از آغازش، قطعات گل (شامل کاسبرگ، گلبرگ، پرچم و کلاله) به ترتیب 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 (بالاتر از ۳۰ درجه‌سانتی‌گراد) در مرداد ماه منجر به سقط جنین گل یا تبدیل جوانه‌های زایشی به رویشی (برگ‌دهی صرف) می‌شود (Khorramdel & Mirzaeian, 2025; Kafi, 2006; Koocheki et al., 2010) 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 اساس، این محققان پیشنهاد نمودند که از راهکارهای اکولوژیک 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 تفاوت در شرایط اقلیمی شهرستان‌های مورد مطالعه در این پژوهش، صفات مربوط به تعداد روز 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) 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 ۲۰-۱۵ 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.

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 رشد، عملکرد کلاله، اجزای عملکرد و خصوصیات کیفی زعفران ایفا می‌کنند (Pirasteh-Anosheh, Siracusa et al., 2010 Koocheki et 2023; Khorramdel & Mirzaeian, 2025 al., 2010;)، 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)، به‌طوری که با تأخیر در زمان ظهور گل، طول دوره گلدهی به طور 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 تابستان) و ظهور گل (از اواخر تابستان تا آبان) هستند (Khorramdel & Mirzaeian, 2025) که عوامل اقلیمی به ویژه بارندگی (طی اسفند) و دما (طی مرداد) تاثیر بسزایی بر این مراحل و در نتیجه عملکرد ایفا می‌کنند (شکل ۸).

بر اساس نتایج، طول دوره گلدهی، عملکرد گل و کلاله در سال ۱۴۰۲ در مقایسه با سال ۱۴۰۱ کاهش یافت و این شرایط را می‌توان به افزایش میانگین دما در تابستان سال ۱۴۰۲ و همچنین وقوع یخبندان در زمستان سال ۱۴۰۱ نسبت داد. طول دوره گلدهی یکی از شاخص‌های گلدهی زعفران بوده که به طور مستقیم عملکرد گل را تحت تأثیر قرار می‌دهد. عملکرد گل تابعی از اثر اقلیم و مدیریت زراعی می‌باشد. تغییرات اقلیمی نه‌تنها بر کمیت، بلکه بر 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. سرد شدن هوا در زمان گلدهی باعث می‌شود که گل‌ها در شرایط مطلوب‌تری رشد کرده و احتمالا وزن گل و طول کلاله بلندتر

شـود. تأثیر کاهش دما در زمان گلدهی بر بهبود عملکرد زعفران در برخی پژوهش‌های پیشین نیز گزارش شده است (Molina et al., 2005; Khorramdel & Mirzaeian, 2025; Koocheki et al., 2010). در این راسـتا، تحقیقات مؤید آن اسـت که دما مهم‌ترین عامل اقلیمی تأثیرگذار بر کشـت 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 رطوبت خاک، میزان بارندگی، میزان حاصلخیزی، سن مزرعه و تراکم کاشت بنه نیز بر عملکرد این محصـول مؤثر هسـتند (Koocheki & Khajeh-Hosseini, 2020). کوچکی و خواجه‌حسـینی (Koocheki & Khajeh-Hosseini, 2020) زعفران را گیاهی مناسـب برای اقلیم‌های مختلف گرم و سـرد دانسـتند، اما بیان داشتند این گیاه در اقلیم‌های سرد عملکرد بیشتری دارد. اگرچه عمده تحقیقات مرتبط با تغییرات اقلیمی بر زعفران، عمدتا بر اثر دمای بالا در تابسـتان بر عملکرد این گیاه متمرکز اسـت، با این‌وجود، خرم‌دل و میرزائیان (Khorramdel & Mirzaeian, 2025) گزارش نمودند که قرارگیری گیاه زعفران در معرض تنش یخ‌زدگی موجب آسیب به اندام‌های هوایی و زیرزمینی شده و عملکرد آن را کاهش می‌دهد. همچنین برخی دیگر از از محققان (Kafi et al., 2006; Koocheki & Seyyedi, 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 نسبت داد. افت دما طی زمستان به‌عنوان یکی از تبعات تغییر اقلیم، بخش قابل‌توجهی از مزارع زعفران در اسـتان خراسـان رضـوی را تحت تأثیر قرار داده و خسارات قابل‌توجهی به عملکرد گل این گیاه در سال ۱۴۰۲ وارد نمود. البته همان‌طور که پیشـتر نیز تأکید گردید، عمده تحقیقات بر تأثیر گرمای تابسـتان بر عملکرد متمرکز بوده و داده‌های دقیقی در مورد سـهم این سـرمای بی‌سـابقه بر عملکرد زعفران وجود ندارد (Sanaei Nejad et al., 2024)، اما شـواهد موجود حاکی از کاهش چشـمگیر عملکرد در مناطق مختلف نسـبت به میانگین عملکرد چند ساله است.

نتایج تجزیه خوشه‌ای مربوط به شـهرسـتان‌های مختلف در تولید زعفران در استان خراسان رضوی نشان داد که شهرهایی با اقلیم مشابه در یک سطح تشابه قرار گرفتند. همان‌طور که قبلاً هم بیان شد، شهرهای بجستان، گناباد و تایباد در خوشه اول با اقلیم مشابه قرار گرفتند. این شـهرسـتان‌ها بر اسـاس پهنه‌بندی کامیابی (Kamyabi, 2016)، دارای اقلیم سرد و خشک هستند. اگرچه مشـهد به لحاظ جغرافیایی ممکن اسـت با زاوه و تربت‌حیدریه متفاوت باشـد، اما احتمالاً ویژگی‌های اقلیمی مشـترک عامل قرارگیری آن‌ها در یک خوشـه اسـت. شـهرهای 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.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه روی تجزیه و تحلیل اثر عوامل اقلیمی و مدیریتی بر شـاخص‌های گلدهی و عملکرد گل زعفران در شـهرسـتان‌های مختلف در اسـتان خراسـان رضـوی در دو سـال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ نشـان داد که اثر سـاده و متقابل عوامل اقلیمی و مدیریتی بر بیشـتر صـفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. بیشـترین عملکرد گل در شـهرسـتان تایباد و بیشـترین عملکرد کلاله در شـهرسـتان‌های تایباد، باخرز و قوچان مشـاهده شـد. همچنین در سال ۱۴۰۱ کلیه شاخص‌های گلدهی مورد مطالعه نسبت به سال ۱۴۰۲ بالاتر بود.

اگرچه میانگین شـاخص‌های گلدهی نظیر طول دوره گلدهی

و عملکرد گل و کلاله در اقلیم‌های سرد بالاتر از 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 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 از راهبردهای فشرده‌سازی اکولوژیک 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 ماه‌های زمستان طی مراحل رشد رویشی گیاه به منظور جلوگیری از خزان زودرس)، سایه‌اندازی خاک در طی ماه‌های گرم تابستان (از طریق حفظ باقی‌مانده بقایای گیاهان هرز و کلش گیاهی، کشت مخلوط و کاشت گیاهان پوششی)، استفاده از سوپرجاذب‌ها، 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., & Kheirkhah-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