

Evaluation of yield components, crocin and safranal content of saffron (*Crocus sativus* L.) cultivated in different regions of Kurdistan province

Tofigh Sajadian¹, Khosro Abdollahi¹ and Jalal Khorshidi^{2*}

1- M.Sc. student, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

2*- Corresponding author, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran, E-mail: j.khorshidi@uok.ac.ir

Received: May 2023

Revised: October 2023

Accepted: November 2023

Abstract

Background and objectives: Saffron (*Crocus sativus* L.) is one of the most expensive spices in the world, and due to the high demand for it in the world markets, its cultivation is developing strongly. In addition to genetics, the region's climate and soil characteristics also affect the quantity and quality of the product. Therefore, identifying regions, whose climatic and soil conditions are close to the optimal conditions for saffron production will help us achieve the most favorable quantitative and qualitative performance.

Materials and methods: In the present study, saffron was cultivated in six different regions of Kurdistan province (Sanandaj, Kamyaran, Ghorveh, Dehgolan, Divandarreh, and Marivan) as a randomized complete block design, and their functional and phytochemical characteristics were evaluated during three years (2020-2022). The saffron corms used in this research were prepared from Torbat-e Heydarieh city. In each region, land with an area of 25 m² was selected. After preparation, three plots with dimensions 2x2 m with 1m distances were created. Each experimental plot consisted of 10 rows, and in each row, 20 holes were made with a depth of 15 cm and a distance of 10 cm from each other, and then one corm was planted in each hole. Irrigation was done twice a year (late September and late October). During the flowering season, saffron flowers were harvested, and their functional and phytochemical characteristics (number of flowers, dry flower yield, dry stigma yield, stigma length, crocin, and safranal content of the stigma) were measured. Total monthly precipitation and average monthly temperature for each region during the research period were obtained from nearest meteorological station. The physicochemical properties of soil samples from the studied regions were evaluated in the laboratory. Finally, the mean comparison of data (using Duncan's multiple range test) and correlations between climate and soil data with functional and phytochemical traits (using the Pearson method) were obtained by SPSS software.

Results: The results indicated that the maximum stigma yield in all three years belonged to saffron cultivated in Kamyaran (0.13±0.009, 1.27±0.085 and 1.54±0.052 g/m² in 2020, 2021, and 2022, respectively). In all three years, the highest crocin content was obtained from the stigmas harvested from Divandarreh farm (53.01±15.77, 92.54±26.6 and 143.07±5.12 mg/g dry stigma in 2020, 2021 and 2022, respectively). The highest mean of safranal content in the year 2020 (4.09±0.38 mg/g dry stigma), 2021 (2.48±0.44 mg/g dry stigma), and 2022 (5.05±0.14 mg/g dry stigma), belonged to the saffron of Kamyaran (no significant difference with other regions except Marivan), Marivan (no significant difference with Dehgolan and Divandarreh) and Divandarreh (no significant difference with other regions except Kamyaran), respectively. Dry flower yield and stigma yield showed a significant negative correlation with clay ($r = -0.329^*$ and $r = -0.356^{**}$, respectively), organic matter ($r = -0.422^{**}$ and $r = -0.428^{**}$, respectively) and nitrogen ($r = -0.437^{**}$ and $r = -0.444^{**}$, respectively), and a significant positive



correlation with potassium ($r= 0.544^{**}$ and $r= 0.561^{**}$, respectively) and phosphorus ($r= 0.410^{**}$ and $r= 0.435^{**}$, respectively). The crocin content of stigma had a significant positive correlation with clay ($r= 0.557^{**}$) and pH ($r= 0.438^{**}$) and a significant negative correlation with sand ($r= -0.461^{**}$). Safranal had no significant correlation with soil characteristics and altitude. Also, significant correlations were obtained between the measured traits and average monthly temperature and total monthly precipitation.

Conclusion: Generally, regions of Kurdistan province with less rainfall in spring, summer and early autumn; more rainfall in late autumn and during winter; higher average monthly temperature; with medium-textured soils containing more phosphorus and potassium, lower nitrogen and organic matter, and slightly alkaline pH, were identified as more suitable regions for saffron production. Based on all measured quantitative and qualitative traits, among the studied regions, Kamyaran had the most suitable conditions for saffron production.

Keywords: Stigma, phytochemical, precipitation, temperature, soil.

ارزیابی اجزای عملکرد و محتوای کروسین و سافرانال زعفران (*Crocus sativus* L.) کشت شده در مناطق مختلف استان کردستان

توفیق سجادیان^۱، خسرو عبداللهی^۱ و جلال خورشیدی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران؛ مرکز پژوهشی اصلاح و توسعه گیاهان دارویی،

دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران، پست الکترونیک: j.khorshidi@uok.ac.ir

تاریخ پذیرش: آذر ۱۴۰۲

تاریخ اصلاح نهایی: مهر ۱۴۰۲

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۴۰۲

چکیده

سابقه و هدف: زعفران (*Crocus sativus* L.) یکی از گران‌ترین ادویه‌های جهان است که به دلیل تقاضای بالایی که در بازارهای جهانی برای آن وجود دارد، کشت و کار آن به شدت در حال توسعه است. کمیت و کیفیت محصول علاوه بر ژنتیک، تحت تأثیر شرایط آب و هوایی و خاکی محل کشت قرار دارد. بنابراین، شناسایی مناطقی که شرایط آب و هوایی و خاکی آنها نزدیک به شرایط بهینه تولید زعفران باشد، ما را در دستیابی به مطلوب‌ترین عملکرد کمی و کیفی یاری می‌کند.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، زعفران در شش منطقه مختلف استان کردستان (سنندج، کامیاران، قروه، دهگلان، دیواندره و مریوان) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی کشت شد و طی سه سال (۱۳۹۹ تا ۱۴۰۱) ارزیابی گردید. کورم‌های زعفران استفاده شده در این پژوهش، توده تربت‌حیدریه بودند. در هر منطقه زمینی به مساحت ۲۵ مترمربع انتخاب و پس از آماده‌سازی، سه کرت با ابعاد ۲×۲ متر با فواصل ۱ متر از هم ایجاد گردید. هر کرت آزمایشی شامل ۱۰ ردیف کشت بود و روی هر ردیف کشت، ۲۰ چاله به عمق ۱۵ سانتی‌متر و فاصله ۱۰ سانتی‌متر از همدیگر ایجاد شد و در هر چاله کشت، یک عدد کورم کشت گردید. در هر سال دو بار آبیاری (اوایل مهر و اواخر مهر) به صورت غرقابی انجام شد. در فصل گلدهی، گل‌های زعفران برداشت و ویژگی‌های عملکردی (تعداد گل، عملکرد گل خشک، عملکرد کلاله خشک و طول کلاله) و فیتوشیمیایی (محتوای کروسین و سافرانال کلاله) آنها اندازه‌گیری شد. مجموع بارش ماهانه و نیز میانگین دمای ماهانه مربوط به هر منطقه در طول دوره پژوهش از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به آن منطقه بدست آمد. نمونه خاک هر منطقه نیز در آزمایشگاه مورد آنالیز فیزیکی و شیمیایی قرار گرفت. در نهایت به کمک نرم‌افزار SPSS مقایسه میانگین داده‌ها به روش دانکن و همبستگی بین داده‌های آب و هوایی و خاکی با صفات عملکردی و فیتوشیمیایی به روش پیرسون بدست آمد.

نتایج: بیشترین میانگین عملکرد کلاله در هر سه سال متعلق به زعفران کشت شده در کامیاران بود (۰/۱۳±۰/۰۰۹، ۰/۲۷±۰/۰۸۵ و ۱/۵۴±۰/۰۵۲ گرم در مترمربع به ترتیب در سال‌های ۱۳۹۹، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱). در هر سه سال، بیشترین میانگین محتوای کروسین از کلاله‌های برداشت شده از مزرعه دیواندره بدست آمد (۵۳/۰۱±۱۵/۷۷، ۹۲/۵۴±۲۶/۶ و ۱۴۳/۰۷±۵/۱۲ میلی‌گرم در گرم کلاله خشک به ترتیب در سال‌های ۱۳۹۹، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱). بیشترین میانگین محتوای سافرانال در سال‌های ۱۳۹۹ (۴/۰۹±۰/۳۸) میلی‌گرم در گرم کلاله خشک، ۱۴۰۰ (۲/۴۸±۰/۴۴) میلی‌گرم در گرم کلاله خشک و ۱۴۰۱ (۵/۰۵±۰/۱۴) میلی‌گرم در گرم کلاله خشک، به ترتیب متعلق به کلاله زعفران‌های مزارع کامیاران (بدون تفاوت معنی‌دار با سایر مناطق غیر از مریوان)، مریوان (بدون تفاوت معنی‌دار با دهگلان و دیواندره) و دیواندره (بدون تفاوت معنی‌دار با سایر مناطق غیر از کامیاران) بود. عملکرد گل خشک و عملکرد کلاله همبستگی منفی معنی‌داری با میزان رس (به ترتیب $r = -0/329^*$ و $r = -0/356^*$)، مواد آلی (به ترتیب $r = -0/422^*$ و $r = -0/428^*$) و نیتروژن (به ترتیب $r = -0/437^*$ و $r = -0/444^*$) و همبستگی مثبت معنی‌داری با پتاسیم (به ترتیب $r = 0/544^*$ و $r = 0/561^*$) و فسفر (به ترتیب $r = 0/410^*$ و $r = 0/435^*$) نشان دادند. محتوای کروسین کلاله همبستگی مثبت معنی‌دار با میزان رس ($r = 0/557^*$) و اسیدپتیک خاک ($r = 0/438^*$) و همبستگی منفی معنی‌داری با میزان شن

خاک (***) $t = -0.461$ داشت. سافرانال با هیچ‌یک از ویژگی‌های خاک و ارتفاع از سطح دریا، همبستگی معنی‌داری نشان نداد. بین صفات اندازه‌گیری شده با میانگین دمای ماهانه و مجموع بارش ماهانه نیز همبستگی‌های قابل توجهی بدست آمد. نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، مناطقی از استان کردستان با میزان بارندگی کمتر در بهار، تابستان و اوایل پاییز، بارندگی بیشتر در اواخر پاییز و طی زمستان، متوسط دمای ماهانه بیشتر، دارای خاک‌های متوسط بافت حاوی فسفر و پتاسیم بیشتر و نیتروژن و مواد آلی کمتر و اسیدیته کمی قلیایی، برای تولید زعفران، مناسب شناخته شدند. براساس مجموع صفات کمی و کیفی اندازه‌گیری شده، از بین مناطق مورد مطالعه، کامیاران مناسب‌ترین شرایط را برای تولید زعفران داشت.

واژه‌های کلیدی: کلاله، فیتوشیمیایی، بارندگی، دما، خاک.

مقدمه

زعفران با نام علمی *Crocus sativus* L. یکی از شناخته‌شده‌ترین و گرانباترین ادویه‌های جهان است که به‌دلیل کاربردهای وسیعی که در صنایع غذایی و دارویی دارد، روز به روز تقاضای جهانی برای آن در حال افزایش است (Abu-Izneid et al., 2020). بیش از ۱۵۰ ترکیب فرار و غیرفرار در زعفران شناسایی شده است که بیشتر شامل کاروتنوئیدها، پلی‌فنول‌ها، فلاونوئیدها و تری‌ن‌ها می‌باشند (El Midaoui et al., 2022). از مهمترین ترکیب‌های موجود در زعفران می‌توان به کروسین (کاروتنوئیدی)، سافرانال (مونوترپن آلدئید) و بیکروکروسین (مونوترپن گلیکوزید) اشاره کرد که به‌ترتیب از عوامل تأثیرگذار در رنگ، بو و طعم زعفران هستند (Cagliani et al., 2015). از مهمترین خواص دارویی زعفران می‌توان به ضد سرطان (Milajerdi et al., 2016)، ضد افسردگی (Hosseinzadeh et al., 2004)، ضد اضطراب (Pitsikas, 2016)، ضد جنون (Georgiadou et al., 2014)، درمان آرتروواسکلوئوزیس (Christodoulou et al., 2018)، کاهش فشار خون (Higashino et al., 2014)، کاهش چربی خون (Sheng et al., 2006)، ضد دیابت (Xi et al., 2007)، درمان بیماری آب سیاه چشم (Jabbarpoor Bonyadi et al., 2014)، بهبود ورم رنگیزه‌ای چشم (Fernández-Sánchez et al., 2012)، ضد آلزایمر (Avgerinos et al., 2020)، درمان پارکینسون (Ahmad et al., 2005)، تقویت حافظه (Hosseinzadeh et al., 2012) و ممانعت از ضعف عضلانی (Mizuma et al., 2009) اشاره کرد. بیش از ۸۰٪ زعفران جهان، در ایران تولید می‌شود. بعد از ایران؛ هند، یونان، مراکش، اسپانیا، فرانسه، سوئیس، ایتالیا، ترکیه، آذربایجان، پاکستان، افغانستان، چین، ژاپن، آمریکا، عراق و استرالیا نیز از کشورهای تولیدکننده عمده زعفران هستند (Cardone et al., 2020). این پراکنش وسیع زعفران در جهان، بیانگر قدرت تحمل و سازگاری بالای آن با بیشتر شرایط آب و هوایی است، ولی طبیعتاً میزان تولید و کیفیت آن در مناطق مختلف یکسان نیست و تحت تأثیر شرایط مختلف جغرافیایی، آب و هوایی و خاکی قرار می‌گیرد (Azizi et al., 2013). زعفران معمولاً ارتفاعات ۶۰۰ تا ۱۷۰۰ متر از سطح دریا را می‌پسندد (Kothari et al., 2021) و کشت آن معمولاً در عرض جغرافیایی ۳۰ تا ۴۵ درجه شمالی و طول جغرافیایی صفر تا ۹۰ درجه شرقی انجام می‌شود (Khan et al., 2011). زعفران نیاز آبی کمی دارد، ولی میزان کافی رطوبت خاک نقش تعیین‌کننده‌ای در تنظیم رفتار گلدهی زعفران دارد (Gresta et al., 2009؛ Behdani et al., 2008؛ Kouzegaran et al., 2014). میزان بارندگی سالیانه بعد از درجه حرارت، از مهمترین

مهمترین

؛Koozehgaran *et al.*, 2011؛Koocheki *et al.*, 2009
؛Sorkh Abadi *et al.*, 2015؛Tosan *et al.*, 2015
؛Vahdani *et al.*, 2021؛Javaheri *et al.*, 2022). سطح
زیر کشت زعفران به دلیل قدرت تحمل و سازگاری بالای آن
با بیشتر شرایط نامساعد محیطی، نیاز کم به نهاده‌ها و نیز
سوددهی اقتصادی بالای آن، در حال توسعه بوده و امروزه
در بیشتر استان‌های ایران کشت می‌گردد. در استان کردستان
نیز کشت و کار این محصول در سال‌های اخیر شروع شده و
در حال گسترش است، به طوری که سطح زیر کشت آن در
سال ۱۴۰۰، به ۲۰ هکتار رسیده است (Agricultural
Statistics, 2022). از آنجایی که استان کردستان دارای
میکروکلیم‌های مختلفی است، از این رو در راستای شناسایی
و تعیین مناسب‌ترین مناطق استان برای کشت زعفران، نیاز
به مطالعات زیادی است تا مطلوب‌ترین نتیجه بدست آید.
بنابراین، در این پژوهش عملکرد و خصوصیات فیتوشیمیایی
زعفران کشت شده در مناطق مختلف استان کردستان طی سه
سال متوالی (۱۳۹۹ تا ۱۴۰۱) ارزیابی شد تا مناسب‌ترین
شرایط آب و هوایی و خاکی برای تولید بهینه زعفران
شناسایی و معرفی گردد.

مواد و روش‌ها

انتخاب مناطق مورد کشت

در ابتدا شش منطقه در استان کردستان برای کشت
انتخاب گردید. در انتخاب مناطق مورد کشت سعی بر آن
بود که حتی‌الامکان به لحاظ ویژگی‌های جغرافیایی، آب و
هوایی و صفات خاک با هم متفاوت باشند. مناطق و
خصوصیات جغرافیایی آنها در جدول ۱ آمده است.

عوامل هواشناسی مؤثر بر عملکرد زعفران است (Hosseini
et al., 2008).

درجه حرارت از مهمترین عوامل محدودکننده رشد و
تولید زعفران است، زیرا کورم‌های زعفران به دماهای پایین
زمستان حساس بوده و برای گلدهی در اوایل پاییز و سپری
کردن دوره استراحت در تابستان نیاز به رنج دمایی خاصی
دارد تا تولید مناسبی داشته باشد (Maleki *et al.*, 2017).
نقش مؤثر درجه حرارت در گلدهی زعفران در مطالعات
زیادی به اثبات رسیده است (Molina *et al.*, 2005؛
Farajzadeh Asl & Mashayekhi *et al.*, 2006؛
Mirzabayati, 2007؛Koocheki *et al.*, 2010؛
Koozehgaran *et al.*, 2011). علاوه بر موارد مذکور، نقش
خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در رشد و نمو،
عملکرد و کیفیت زعفران را نمی‌توان نادیده گرفت. زعفران
در بیشتر خاک‌ها قابل کشت است (Azizi *et al.*, 2013)،
ولی به طور کلی، خاک‌های حاصلخیز با بافت متوسط،
اسیدیته ۷ تا ۸، هدایت الکتریکی پایین و غنی از مواد آلی،
مطلوب‌ترین خاک‌ها برای تولید زعفران گزارش شده‌اند
(Zarghani *et al.*, 2016؛Rezaian & Paseban, 2006).
اگرچه برخی محققان خاک‌های سبک بافت (Aghhavani
& Shajari *et al.*, 2014) و برخی دیگر خاک‌های سنگین
رسی (Fernández, 2004) را برای کشت زعفران مناسب
می‌دانند. شناسایی مناطقی که شرایط اکولوژیکی آنها مطابق
با نیازهای آب و هوایی و خاکی زعفران باشد و در نهایت
منجر به رشد بهینه و تولید کمی و کیفی بالای آن گردد، از
ضروریات است. در این ارتباط مطالعاتی انجام شده است که
نتایج همه آنها مؤید نقش مؤثر شرایط رویشگاه بر رشد و
عملکرد زعفران است (Shokohian & Asghari, 2008).

جدول ۱- ویژگی‌های جغرافیایی مناطق انتخاب شده از استان کردستان جهت کشت زعفران

Table 1. Geographical characteristics of selected regions from Kurdistan province for saffron cultivation

Location	Longitude	Latitude	Altitude (m)
Sanandaj	46° 55' 13" E	35° 07' 41" N	1418
Kamyaran	46° 56' 35" E	34° 53' 50" N	1750
Ghorveh	47° 47' 56" E	35° 09' 24" N	1911
Dehgolan	47° 09' 35" E	35° 17' 02" N	2248
Marivan	46° 09' 18" E	35° 26' 55" N	1331
Divandarreh	47° 05' 26" E	35° 43' 45" N	1897

(وزن تقریبی ۱۰ گرم) از کورم‌های خریداری شده، جدا گردید. در تاریخ ۱۲ شهریور ۱۳۹۹ اقدام به آماده‌سازی زمین شد. بدین ترتیب که ابتدا در هر منطقه زمینی به مساحت تقریبی ۲۵ مترمربع انتخاب و پس از شخم و تسطیح، سه کرت با ابعاد ۲×۲ متر و با فواصل ۱ متر از هم ایجاد گردید. سپس در هر کرت آزمایشی، ۱۰ ردیف کشت با فواصل ۲۰ سانتی‌متر از یکدیگر ایجاد شد. در ادامه، روی هر ردیف کشت، ۲۰ چاله به عمق ۱۵ سانتی‌متر و فاصله ۱۰ سانتی‌متر از همدیگر ایجاد شد و در هر چاله کشت، یک عدد کورم کشت گردید و روی آن با خاک پوشانده شد. بعد از کشت برای جلوگیری از آب از دست‌دهی کورم‌ها در اثر خشکی خاک و گرمای بیش از حد، بلافاصله آبیاری به صورت غرقابی انجام گردید. شایان ذکر است که در طول دوره پژوهش، هر سال دو بار آبیاری انجام شد، اولین آبیاری اوایل مهر و دومین آبیاری اواخر مهرماه انجام گردید.

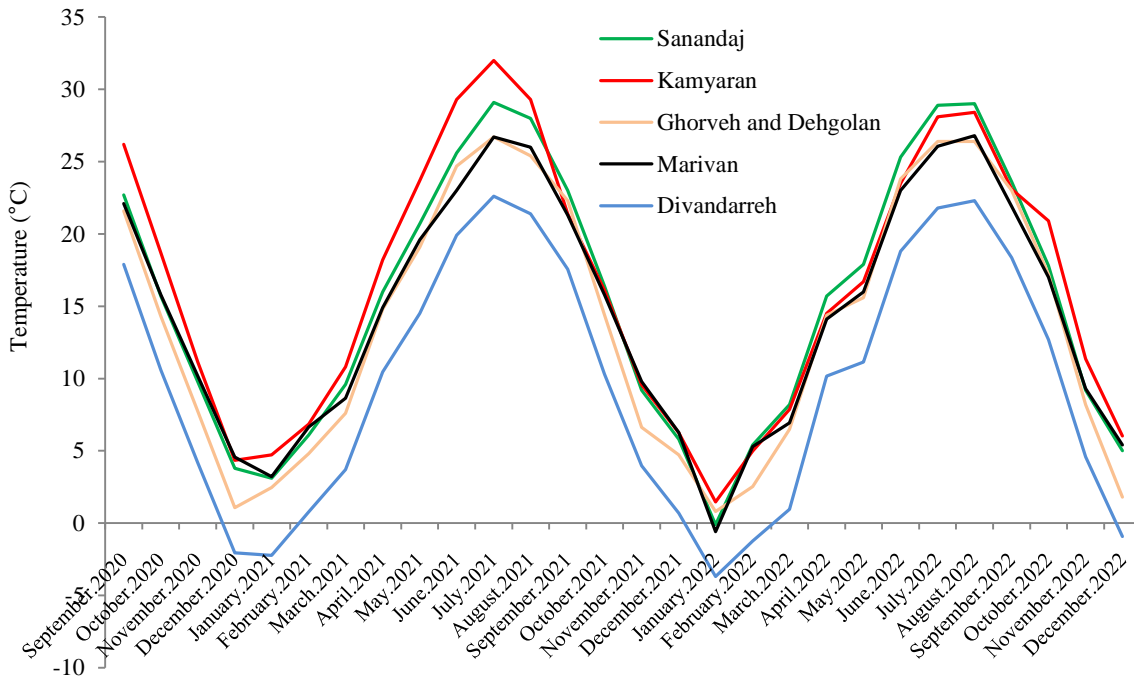
تجزیه خاک و تهیه داده‌های آب و هوایی قبل از کشت، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک هر منطقه، نمونه‌برداری خاک انجام شد و در آزمایشگاه خاک‌شناسی مورد آنالیز فیزیکی و شیمیایی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۲ آمده است. بافت خاک به روش هیدرومتری، pH گل اشباع توسط pH متر، EC گل اشباع توسط هدایت‌سنج الکتریکی، ماده آلی به روش والکی- بلک، نیتروژن به روش کج‌لدال، پتاسیم توسط دستگاه فلیم فتومتر و فسفر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. در ضمن، مجموع بارش ماهانه و نیز میانگین دمای ماهانه مربوط به هر منطقه در طول دوره پژوهش از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به آن منطقه بدست آمد (شکل‌های ۱ و ۲).

تهیه کورم، آماده‌سازی زمین و کشت کورم‌ها کورم‌های مورد استفاده در این پژوهش، از تربت‌حیدریه تهیه گردید. در ابتدا کورم‌هایی تقریباً هم اندازه و هم وزن

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مناطق انتخاب شده جهت کشت زعفران

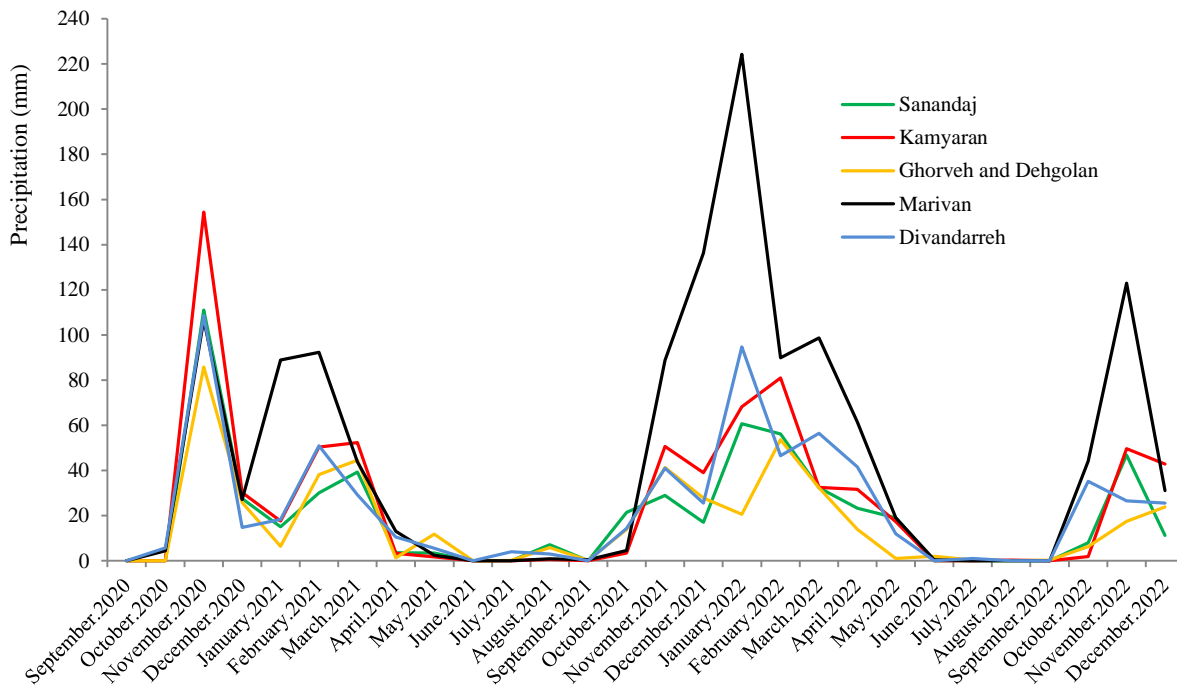
Table 2. Physicochemical properties of selected regions soils for saffron cultivation

Soil properties	Region					
	Sanandaj	Kamyaran	Ghorveh	Dehgolan	Marivan	Divandarreh
Clay (%)	18	30	10	38.56	24.56	38.56
Silt (%)	35.12	45.12	21.12	32.4	35.12	35.12
Sand (%)	46.88	24.8	68.8	29.04	40.32	26.32
Texture	Loam	Clay loam	Sandy loam	Clay loam	Loam	Clay loam
pH	7.67	7.76	7.58	7.91	7.61	7.86
EC (dS.m ⁻¹)	0.51	0.63	0.69	0.65	0.28	0.64
Organic matter (%)	0.9	0.45	2.01	1.29	1.8	1.46
Nitrogen (%)	0.09	0.04	0.2	0.13	0.18	0.15
Potassium (mg.kg ⁻¹)	375	487	197	218	176	254
Phosphorus (mg.kg ⁻¹)	7.4	32	16.9	4.8	7.3	14.2



شکل ۱- میانگین دمای ماهانه مناطق انتخاب شده از استان کردستان جهت کشت زعفران طی دوره پژوهش

Figure 1. Average monthly temperature of selected regions from Kurdistan province for saffron cultivation during research period



شکل ۲- مجموع بارش ماهانه مناطق انتخاب شده از استان کردستان جهت کشت زعفران طی دوره پژوهش

Figure 2. Total monthly precipitation of selected regions from Kurdistan province for saffron cultivation during research period

ارزیابی خصوصیات عملکردی

در طول دوره پژوهش، خصوصیتی از قبیل تعداد گل در مترمربع، عملکرد گل خشک در مترمربع، عملکرد کلاله خشک در مترمربع و میانگین طول کلاله ارزیابی گردید.

ارزیابی خصوصیات فیتوشیمیایی

عصاره‌گیری

ابتدا ۰/۱ گرم کلاله به خوبی پودر گردید و در داخل فالکون ۱۵ میلی‌لیتری ریخته شد. سپس به آن ۱۰ میلی‌لیتر متانول اضافه گردید و ۴۸ ساعت در دمای اتاق روی شیکر (GFL-3006, Germany) قرار داده شد. بعد از مدت مذکور، عصاره بدست آمده توسط کاغذ صافی واتمن صاف گردید و به منظور حذف ذرات معلق از آن، توسط سانتریفوژ (Hermle, Z206A, Germany) با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ گردید. از عصاره رویی برای اندازه‌گیری میزان کروسین و سافرانال استفاده شد (Caballero-Ortega, Jaimand et al., 2007 et al., 2007).

اندازه‌گیری میزان کروسین و سافرانال کلاله

برای اندازه‌گیری میزان کروسین و سافرانال از دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC, Smartline, Germany) استفاده گردید. مشخصات ستون دستگاه مذکور، Eurospher II 100-5 C18 به طول ۲۵ سانتی‌متر و قطر داخلی

۴/۶ میلی‌متر بود. از متانول (۵۰٪) و استونیتریل (۹۰٪) با نسبت مساوی با سرعت جریان ۱ میلی‌لیتر در دقیقه به‌عنوان فاز حامل استفاده گردید. حجم نمونه تزریق شده، ۲۰ میکرولیتر بود. برای رسم منحنی استاندارد کروسین و سافرانال از استانداردهای این ترکیب‌های تهیه شده از شرکت سیگماآلدریج استفاده گردید. جذب کروسین در طول موج ۴۴۰ نانومتر و جذب سافرانال در طول موج ۳۲۰ نانومتر بدست آمد. از غلظت‌های ۰، ۶۲/۵، ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ ppm ترکیب‌های مذکور برای رسم منحنی استاندارد آنها استفاده گردید. در نهایت میزان کروسین و سافرانال برحسب میلی‌گرم در گرم کلاله خشک محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۵) استفاده شد. آزمایش بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا گردید. مقایسه میانگین داده‌ها به روش دانکن و همبستگی بین داده‌های آب و هوایی و خاکی با صفات عملکردی و فیتوشیمیایی به روش پیرسون بدست آمد.

نتایج

در جدول ۳ نتایج تأثیر منطقه و سال کشت بر اجزای عملکرد و محتوای کروسین و سافرانال زعفران آورده شده است که در ادامه به صورت مجزا به هر یک از صفات پرداخته می‌شود.

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر منطقه و سال کشت بر اجزای عملکرد و محتوای کروسین و سافرانال زعفران

Table 3. ANOVA of location and year of cultivation on yield components and crocin and safranal content in saffron

S.O.V.	d.f.	Number of flowers	Dry flower yield	Dry stigma yield	Stigma length	Crocin	Safranal
Location (L)	5	10.79**	11.54**	13.08**	0.012 ^{ns}	3.82**	1.59*
Error	12	0.077	0.091	0.086	0.007	0.149	0.482
Year (Y)	2	21.01**	21.52**	21.78**	0.023**	3.11**	8.96**
Y × L	10	0.354**	0.459**	0.354**	0.01**	0.302 ^{ns}	2.1**
Total experimental error	24	0.076	0.085	0.07	0.002	0.282	0.126
C.V. (%)		37.12	38.4	45.5	2.56	23.9	28.8

n.s., *, and **: non-significant, significant at 5, and 1% probability levels, respectively.

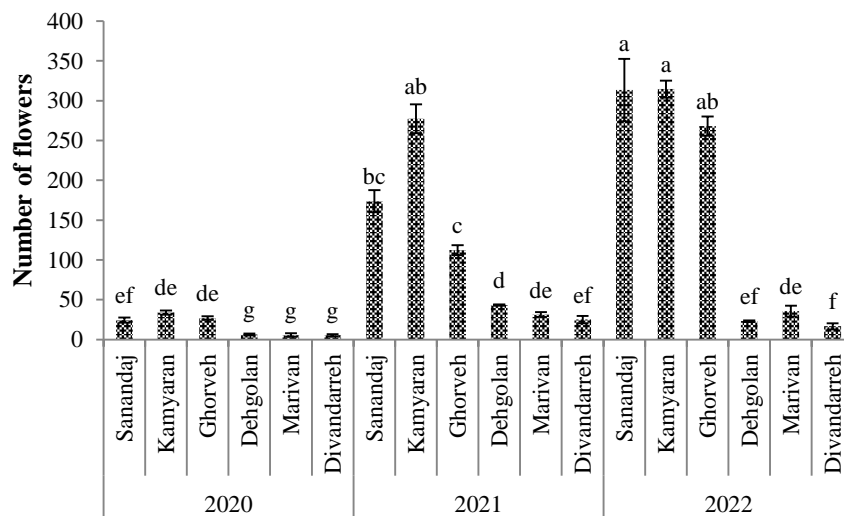
تعداد گل

سه سال پژوهش، بیشترین میانگین تعداد گل از مزارع زعفران کامیاران و سنندج بدست آمد (شکل ۳).

عملکرد گل خشک

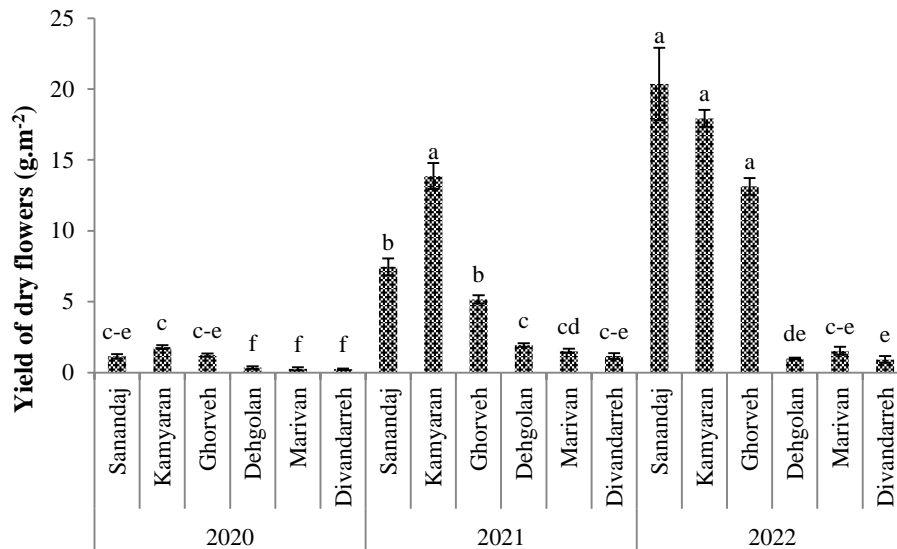
در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰، بیشترین میانگین عملکرد گل خشک (به ترتیب $۱/۸ \pm ۰/۱۴$ و $۱/۸ \pm ۰/۹۱$ گرم در مترمربع) از زعفران‌های کشت شده در کامیاران بدست آمد، البته در سال ۱۳۹۹ تفاوت معنی‌داری با سنندج و قروه نداشت ولی در سال ۱۴۰۰ تفاوت معنی‌دار بود. در سال ۱۴۰۱، مزرعه زعفران سنندج بیشترین میانگین عملکرد گل خشک را تولید کرد ($۲/۰ \pm ۲/۵۵$ گرم در مترمربع)، البته از این نظر با کامیاران و قروه اختلاف معنی‌داری نداشت. در هر سه سال پژوهش، زعفران‌های کشت شده در دیواندره، کمترین میانگین عملکرد گل خشک را تولید کردند (به ترتیب $۰/۲۳ \pm ۰/۰۷$ ، $۱/۱۷ \pm ۰/۲۱$ و $۰/۹۳ \pm ۰/۲۳$ گرم در مترمربع)، البته در هر سه سال بین دیواندره با شهرهای دهگلان و مریوان تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴).

در سال ۱۳۹۹، بیشترین میانگین تعداد گل ($۳۴ \pm ۲/۵۶$ عدد در مترمربع) از زعفران‌های کشت شده در کامیاران بدست آمد، البته از این نظر تفاوت معنی‌داری با سنندج و قروه نداشت و کمترین میانگین تعداد گل در همان سال ($۵/۳۳ \pm ۱/۴۵$ عدد در مترمربع) از مزرعه زعفران دیواندره حاصل شد، البته آنهم اختلاف معنی‌داری (در سطح آماری ۵٪) با مریوان و دهگلان نداشت. در سال ۱۴۰۰، بیشترین میانگین تعداد گل در کامیاران برداشت گردید (البته بدون اختلاف معنی‌دار با سنندج) و کمترین میانگین تعداد گل ($۲۵ \pm ۴/۵۸$ عدد در مترمربع) مربوط به مزرعه زعفران دیواندره بود که البته با مزرعه مریوان تفاوت معنی‌داری نداشت. در سال ۱۴۰۱ نیز همانند دو سال قبل، بیشترین میانگین تعداد گل ($۳۱۴/۶۷ \pm ۱۰/۶۸$ عدد در مترمربع) متعلق به مزرعه زعفران کامیاران (بدون تفاوت معنی‌دار با سنندج) و کمترین میانگین تعداد گل ($۱۶/۶۷ \pm ۳/۸۴$ عدد در مترمربع) باز هم مربوط به دیواندره بود که البته با دهگلان اختلاف معنی‌داری نشان نداد. به‌طور کلی در مجموع



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل منطقه و سال کشت بر تعداد گل زعفران

Figure 3. Means comparison of location \times year of cultivation interaction on number of saffron flowers
Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).



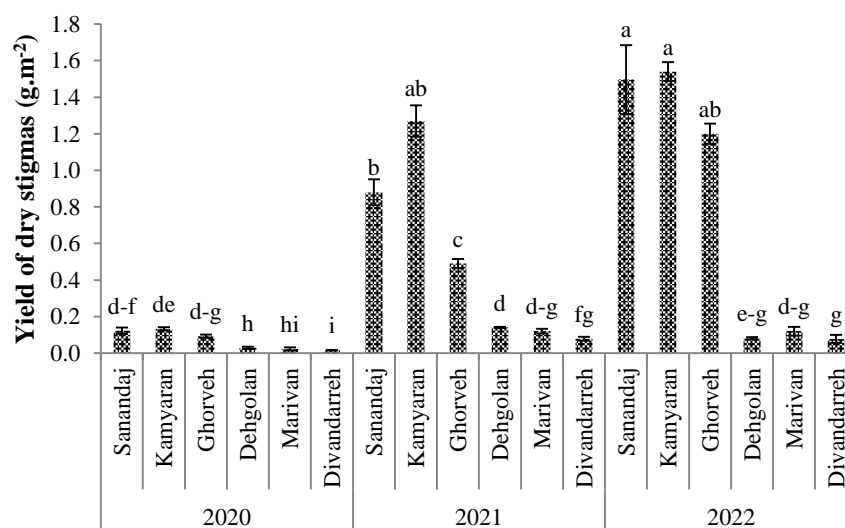
شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل منطقه و سال کشت بر عملکرد گل خشک زعفران

Figure 4. Means comparison of location × year of cultivation interaction on dry saffron flower yield
Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

عملکرد کلاله خشک در هر سه سال مربوط به مزرعه زعفران دیواندره بود (0.02 ± 0.002 ، 0.01 ± 0.001 و 0.02 ± 0.002 گرم در مترمربع به ترتیب در سال‌های ۱۳۹۹، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱) که البته آن هم در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ با مریوان و در سال ۱۴۰۱ با دهگلان و مریوان اختلاف معنی‌داری نشان نداد (شکل ۵).

عملکرد کلاله خشک

بیشترین میانگین عملکرد کلاله خشک در هر سه سال پژوهش متعلق به زعفران کشت شده در کامیاران بود (0.13 ± 0.009 ، 0.27 ± 0.085 و 0.54 ± 0.052 گرم در مترمربع به ترتیب در سال‌های ۱۳۹۹، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱)، البته از این نظر در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۱ با سنندج و قروه و در سال ۱۴۰۰ با سنندج تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین



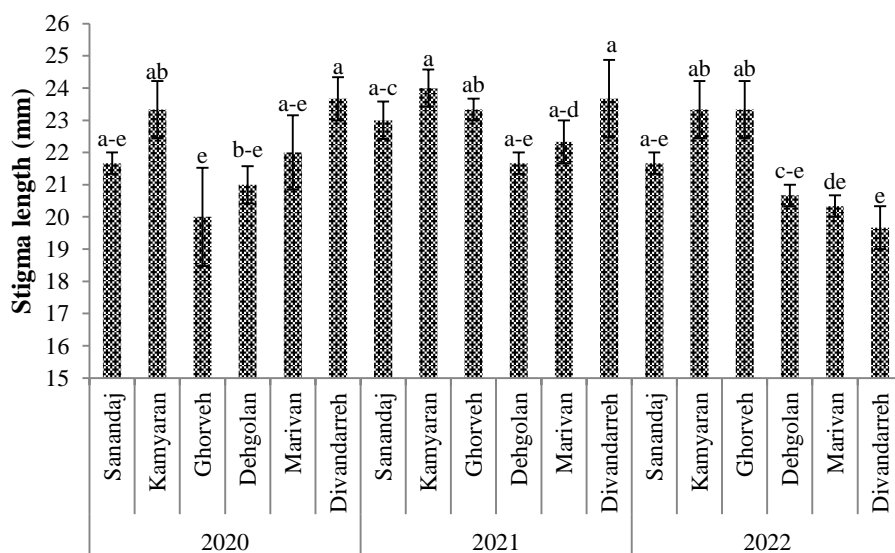
شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل منطقه و سال کشت بر عملکرد کلاله خشک زعفران

Figure 5. Means comparison of location × year of cultivation interaction on dry saffron stigma yield
Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

طول کلاله

میانگین طول کلاله زعفران در یک منطقه خاص در بیشتر مناطق (غیر از قروه و دیواندره)، تحت تأثیر معنی‌دار سال قرار نگرفت. در مورد قروه، میانگین طول کلاله‌های برداشت شده در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ (به ترتیب $23/33 \pm 0/33$ و $23/33 \pm 0/88$ میلی‌متر) به طور معنی‌داری بیشتر از میانگین طول کلاله‌های برداشت شده در سال ۱۳۹۹ ($20 \pm 1/53$ میلی‌متر) بود و در مورد دیواندره میانگین طول کلاله‌های زعفران سال ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ (به ترتیب $23/67 \pm 0/67$ و $23/67 \pm 1/2$ میلی‌متر) به طور

معنی‌داری بیشتر از میانگین طول کلاله‌های برداشت شده در سال ۱۴۰۱ ($19/67 \pm 0/67$ میلی‌متر) بود. بیشترین میانگین طول کلاله در سال ۱۳۹۹ متعلق به زعفران‌های مزرعه دیواندره ($23/67 \pm 0/67$ میلی‌متر) (البته بدون اختلاف معنی‌دار با مریوان، کامیاران و سنندج)، در سال ۱۴۰۰ متعلق به کامیاران ($24 \pm 0/58$ میلی‌متر) (البته بدون تفاوت معنی‌دار با سایر مناطق) و در سال ۱۴۰۱ متعلق به قروه و کامیاران ($23/33 \pm 0/88$ میلی‌متر) (بدون تفاوت معنی‌دار با سنندج) بود (شکل ۶).



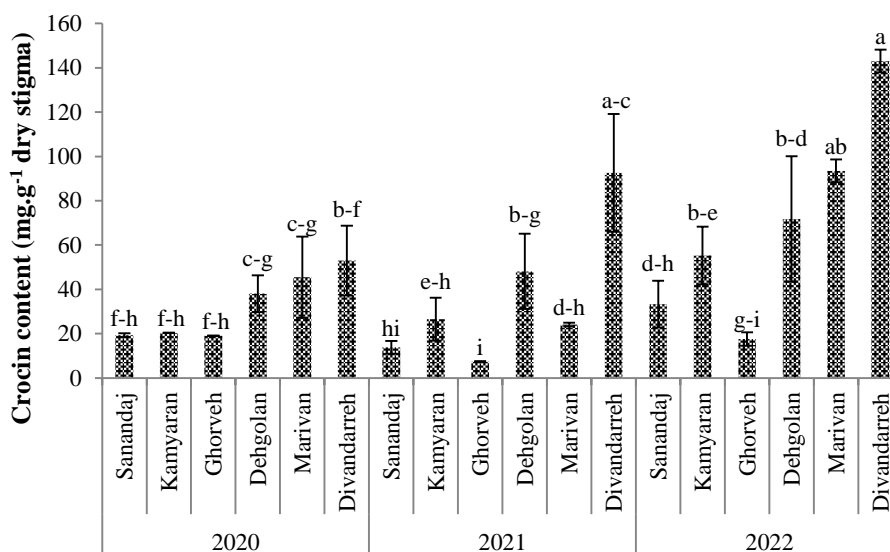
شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل منطقه و سال کشت بر طول کلاله زعفران

Figure 6. Means comparison of location \times year of cultivation interaction on saffron stigma length
Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

محتوای کروسین کلاله

در بیشتر مناطق مورد مطالعه (غیر از قروه)، بیشترین میزان کروسین از کلاله‌های برداشت شده در سال سوم بدست آمد، هر چند گاهی تفاوت معنی‌داری (در سطح آماری ۵٪) با سال‌های دیگر مشاهده نشد. در هر سه سال پژوهش، بیشترین میانگین میزان کروسین از کلاله‌های

برداشت شده از مزرعه دیواندره بدست آمد ($53/01 \pm 15/77$ ، $92/54 \pm 26/6$ و $143/07 \pm 5/12$ میلی‌گرم در گرم کلاله به ترتیب در سال‌های ۱۳۹۹، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱) (شکل ۷).



شکل ۷- محتوای کروسین کلاله زعفران در مناطق کشت مورد مطالعه

Figure 7. Crocin content of saffron stigma in cultivation regions studied
Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

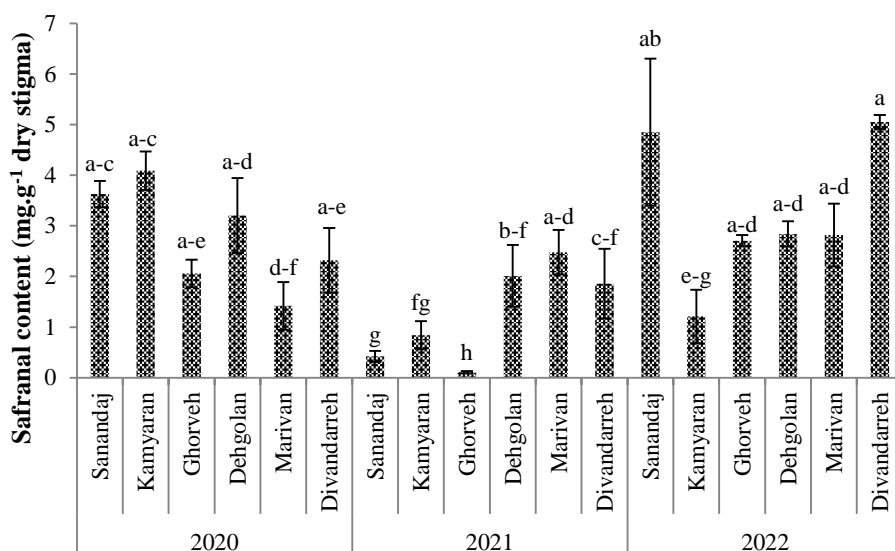
محتوای سافرانال کلاله

در سال ۱۳۹۹، بیشترین میانگین سافرانال (۴/۰۹±۰/۳۸ میلی‌گرم در گرم کلاله) متعلق به زعفران کشت شده در کامیاران بود، که البته با سایر مناطق (غیر از مریوان) تفاوت معنی‌داری نداشت. در سال ۱۴۰۰، زعفران‌های کشت شده در مریوان بیشترین میانگین سافرانال را داشتند (۲/۴۸±۰/۴۴ میلی‌گرم در گرم کلاله)، که البته با دیواندره و دهگلان اختلاف معنی‌داری نداشت. در سال ۱۴۰۱، میانگین سافرانال زعفران‌های دیواندره (۵/۰۵±۰/۱۴ میلی‌گرم در گرم کلاله) بیشتر از سایر مناطق بود، هر چند با سایر مناطق (غیر از کامیاران)، تفاوت معنی‌داری نداشت. در بیشتر مناطق مورد مطالعه (غیر از کامیاران)، بیشترین میانگین سافرانال از زعفران‌های برداشت شده در سال سوم بدست آمد که البته با سال اول تفاوت معنی‌داری نداشتند. اما در کامیاران، بیشترین میانگین سافرانال از زعفران‌های برداشت شده در سال اول بدست آمد (شکل ۸).

همبستگی صفات اندازه‌گیری شده با مجموع بارش و

میانگین دمای ماهانه مناطق مورد مطالعه

نوع و میزان همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده با مجموع بارش و میانگین دمای ماهانه در سال‌های مختلف مطالعه شده، تا حدودی متفاوت بود. در سال ۱۳۹۹، تعداد گل، عملکرد گل خشک و عملکرد کلاله همبستگی مثبت معنی‌دار با میانگین دمای ماهانه شهر یور (به ترتیب $r=694^{**}$ ، $r=744^{**}$ و $r=720^{**}$)، مهر (به ترتیب $r=630^{**}$ ، $r=677^{**}$ و $r=667^{**}$) و آبان (به ترتیب $r=590^{**}$ ، $r=633^{**}$ و $r=630^{**}$) داشتند و همبستگی منفی معنی‌داری با مجموع بارش مهر (به ترتیب $r=-673^{**}$ ، $r=-675^{**}$ و $r=-706^{**}$) نشان دادند. طول کلاله با مجموع بارش آبان و محتوای کروسین کلاله با مجموع بارش مهر همبستگی مثبت معنی‌داری داشتند (به ترتیب $r=526^*$ و $r=597^{**}$). همچنین کروسین کلاله با میانگین دمای شهر یور و سافرانال با مجموع بارش مهر همبستگی منفی معنی‌داری نشان دادند (به ترتیب $r=-477^*$ و $r=-523^*$).



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل منطقه و سال کشت بر محتوی سافرانال کلاله زعفران

Figure 8. Means comparison of location × year of cultivation interaction on safranal content of saffron stigma
Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

در سال ۱۴۰۱، تعداد گل، عملکرد گل خشک و عملکرد کلاله همبستگی منفی معنی داری با بارش مهر (به ترتیب $r = -0.620^{**}$ ، $r = -0.618^{**}$ و $r = -0.634^{**}$)، فروردین (به ترتیب $r = -0.737^{**}$ ، $r = -0.758^{**}$ و $r = -0.751^{**}$) و تیر (به ترتیب $r = -0.579^{**}$ ، $r = -0.563^{**}$ و $r = -0.564^{**}$) داشتند و همبستگی مثبت معنی داری با میانگین دمای ماهانه تمام ماه‌های سال نشان دادند. عملکرد گل خشک و عملکرد کلاله با بارش شهریور نیز همبستگی منفی معنی داری داشتند (به ترتیب $r = -0.511^{**}$ و $r = -0.479^{**}$). طول کلاله با بارش مهر، فروردین و تیر همبستگی منفی معنی دار (به ترتیب $r = -0.509^{**}$ ، $r = -0.539^{**}$ و $r = -0.545^{**}$) و با میانگین دمای ماهانه تمام ماه‌های سال غیر از آذر و اسفند، همبستگی مثبت معنی داری داشت. محتوای کروسین کلاله همبستگی مثبت معنی داری با بارش آبان ($r = 0.527^{**}$)، فروردین ($r = 0.562^{**}$) و تیر ($r = 0.780^{**}$) داشت و با میانگین دمای ماهانه تمام ماه‌های سال همبستگی منفی قابل توجهی نشان داد. میزان سافرانال کلاله با بارش شهریور، مهر، دی و بهمن همبستگی مثبت معنی داری داشت (به ترتیب $r = 0.477^{**}$ ، $r = 0.544^{**}$ ، $r = 0.471^{**}$ و $r = 0.534^{**}$).

در سال ۱۴۰۰، صفات تعداد گل و عملکرد کلاله همبستگی منفی معنی داری با بارش شهریور (به ترتیب $r = -0.486^{**}$ و $r = -0.487^{**}$)، مهر (به ترتیب $r = -0.637^{**}$ و $r = -0.632^{**}$)، فروردین (به ترتیب $r = -0.729^{**}$ و $r = -0.761^{**}$) و اردیبهشت (به ترتیب $r = -0.671^{**}$ و $r = -0.625^{**}$) داشتند و همبستگی مثبت معنی داری با میانگین دمای ماهانه تمام ماه‌های سال نشان دادند. همبستگی‌های عملکرد گل خشک با دما و بارش، مشابه با همبستگی‌های تعداد گل بود، با این تفاوت که عملکرد گل خشک با بارش شهریور همبستگی معنی داری نداشت. طول کلاله همبستگی معنی داری با بارش و دمای ماهانه نشان نداد. میزان کروسین با بارش مهر، فروردین، اردیبهشت و تیر همبستگی مثبت معنی دار (به ترتیب $r = 0.575^{**}$ ، $r = 0.648^{**}$ و $r = 0.491^{**}$) و با بارش اسفند و میانگین دمای ماهانه تمام ماه‌های سال، همبستگی منفی معنی داری داشت. میزان سافرانال کلاله با بارش شهریور، مهر، دی و بهمن همبستگی مثبت معنی داری داشت (به ترتیب $r = 0.477^{**}$ ، $r = 0.544^{**}$ ، $r = 0.471^{**}$ و $r = 0.534^{**}$).

موجب افزایش عملکرد زعفران می‌گردد (Behdani *et al.*, 2008)، ولی در مقابل، نتایج برخی تحقیقات حکایت از آن دارد که در تابستان که مصادف با دوره استراحت کورم‌ها می‌باشد، هر گونه بارش یا آبیاری موجب برهم زدن چرخه فیزیولوژیکی گیاه و نهایتاً کاهش عملکرد می‌شود (Mosaferi Ziauddin *et al.*, 2008). زعفران‌های مناطق با بارش‌های بیشتر در اواخر پاییز و طول فصل زمستان در سال دوم ارزیابی، تعداد و عملکرد گل خشک و کلاله بیشتری داشتند، ولی بارش‌های مذکور در سال سوم ارزیابی، تأثیر معنی‌داری بر صفات مذکور نداشت. گزارش شده است که بارندگی‌های فصول پاییز و زمستان بر رشد و عملکرد سال آینده زعفران بسیار مؤثر است، زیرا کورم‌های زعفران قبل از به خواب رفتن، نیاز آبی بالایی دارند و حتی در سال‌هایی که در این فصول بارندگی کم می‌باشد، کشاورزان اقدام به آبیاری می‌کنند (Alizadeh *et al.*, 2009). پاییز و زمستان مصادف با دوره رویشی زعفران بوده و طی این دوره برگ‌های گیاه برای رشد، فتوسنتز و تقویت کورم‌ها برای گلدهی سال بعد، نیاز آبی بالایی دارند. بنابراین، طبیعی است مناطقی با بارندگی بیشتر در پاییز و زمستان، کورم‌های قوی‌تر و نهایتاً عملکرد کلاله بیشتری تولید کنند (Kouzegaran *et al.*, 2014). در مناطقی که اوایل بهار و اوایل تابستان از میزان بارندگی بیشتری برخوردار بودند، تعداد گل، عملکرد گل خشک و کلاله کمتر بود، ولی کلاله‌ها از میزان کروسین بیشتری برخوردار بودند. کورم‌های زعفران در فصل بهار تا اوایل تیرماه به تدریج خود را برای خواب تابستانه آماده می‌کنند و طی این زمان، نیاز آبی زیادی ندارند، حتی نتایج برخی مطالعات نشان داده که آبیاری در این زمان تأثیر منفی بر عملکرد زعفران دارد (Sadeghi, 1996). به‌طور کلی، زعفران‌های کشت شده در مناطقی که از

($r=-0.479^*$) و میانگین دمای ماهانه مهر ($r=-0.475^*$)، آبان ($r=-0.522^*$)، دی ($r=-0.560^*$) و بهمن ($r=-0.521^*$) نشان داد. همبستگی صفات اندازه‌گیری شده با ارتفاع از سطح دریا و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مناطق مورد مطالعه صفات تعداد گل، عملکرد گل خشک و عملکرد کلاله همبستگی منفی معنی‌داری با میزان رس (به ترتیب $r=-0.363^*$ ، $r=-0.329^*$ و $r=-0.356^*$)، مواد آلی (به ترتیب $r=-0.404^*$ ، $r=-0.422^*$ و $r=-0.428^*$) و نیتروژن خاک (به ترتیب $r=-0.420^*$ ، $r=-0.437^*$ و $r=-0.444^*$) داشتند و همبستگی مثبت معنی‌داری با پتاسیم (به ترتیب $r=0.541^*$ ، $r=0.544^*$ و $r=0.561^*$) و فسفر (به ترتیب $r=0.442^*$ ، $r=0.410^*$ و $r=0.435^*$) خاک نشان دادند. طول کلاله دارای همبستگی مثبت معنی‌داری با میزان پتاسیم ($r=0.350^*$) و فسفر ($r=0.414^*$) خاک بود. همبستگی مثبت قابل توجهی بین میزان کروسین کلاله با میزان رس ($r=0.557^*$) و اسیدیته ($r=0.438^*$) بود و همبستگی منفی معنی‌داری بین صفت مذکور با میزان شن خاک ($r=-0.461^*$) بدست آمد. سافرانال با هیچ‌یک از ویژگی‌های خاک و نیز ارتفاع از سطح دریا، همبستگی معنی‌داری نشان نداد.

بحث

بررسی همبستگی‌ها در مجموع سه سال ارزیابی بیانگر آن بود که در مناطقی که میزان بارش‌های اواخر تابستان و اوایل پاییز در آنها بیشتر بود، محتوای کروسین کلاله بیشتر بود، ولی تعداد گل، عملکرد گل خشک و کلاله کمتر بود. در ارتباط با تأثیر بارندگی یا آبیاری در فصل تابستان بر ویژگی‌های عملکردی زعفران، گزارش‌های مختلفی وجود دارد. برخی بر این باورند که بارندگی یا آبیاری در تابستان از طریق کاهش درجه حرارت خاک و کمک به رشد بنه‌ها،

زعفران، گزارش‌های متنوعی وجود دارد، ولی نتایج بیشتر آنها بیانگر آنست که خاک‌های با بافت سبک تا متوسط، خاک‌های مناسب‌تری برای کشت زعفران هستند (Gresta *et al.*, 2009; Azizi *et al.*, 2013; Aghhavan Shajari *et al.*, 2014; Khorramdel *et al.*, 2014). بافت خاک با تأثیر بر نفوذ، جذب و نگهداری آب و نیز تأثیر بر توسعه اندام‌های زیرزمینی، رشد عمومی گیاه و نهایتاً گلدهی و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Gresta *et al.*, 2008). در خاک‌های سبک بافت، کورم‌ها انرژی کمتری صرف خروج برگ و گل کرده، از این رو بخش اصلی انرژی خود را صرف تولید گل خواهند کرد (Khorramdel *et al.*, 2014). در خاک‌های سنگین بافت، تولید و توسعه کورم‌های دختری کاهش می‌یابد و همین موضوع منجر به کاهش تولید گل در زعفران می‌گردد. همچنین در خاک‌های سنگین بافت به دلیل فشردگی خاک و تشکیل سله، خروج گل‌ها با مشکل مواجه می‌گردد (Azizi *et al.*, 2013). گزارش شده است که ۱۶٪ تا ۸۰٪ عملکرد گل زعفران به متغیرهای ماده آلی، فسفر، نیتروژن و پتاسیم وابسته است (Temperini *et al.*, 2009). در پژوهشی دیگر، مهمترین عوامل شیمیایی تأثیرگذار بر عملکرد کلاله زعفران را پتاسیم، فسفر، هدایت الکتریکی و نیتروژن خاک معرفی کرده‌اند (Rezvani *et al.*, 2015; Moghaddam *et al.*, 2015). فسفر در تقسیم سلولی، تولید مولکول‌های پر انرژی و سنتز کلروفیل در گیاه نقش دارد (Schachtman *et al.*, 1998) و نیز گزارش شده که موجب بهبود عملکرد کمی و کیفی زعفران می‌گردد (Naghdi Badi *et al.*, 2011). عنصر فسفر با تأثیر مثبت بر رشد رویشی، منجر به بهبود رشد زایشی می‌گردد (Marschner, 2011). پتاسیم در بیشتر فرایندهای داخل گیاه از جمله تنظیم ظرفیت اسمزی، فعالیت آنزیم‌ها، تنظیم اسیدپتیک، سنتز پروتئین، باز و بسته شدن روزنه‌ها، فتوسنتز و رشد سلول‌ها نقش دارد

میانگین دمای ماهانه بیشتری برخوردار بودند، تعداد گل، عملکرد گل خشک و کلاله بیشتر، ولی محتوای کروسین کمتری تولید کردند. زعفران برای تکمیل خواب و بعد گل‌انگیزی در فصول بهار و تابستان (Koocheki & Seyyedi, 2015) میانگین دمای ۲۳ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد را می‌پسندد و برای ظهور گل در آبان‌ماه، میانگین دمای ۱۲/۲ تا ۱۴/۲ درجه سانتی‌گراد را ترجیح می‌دهد (Maleki *et al.*, 2007; Farajzadeh Asl & Mirzabayati, 2017). از آنجایی که استان کردستان جزو استان‌های سردسیر می‌باشد، از این رو شرایط دمایی مناطقی از آن که نسبتاً گرم‌تر هستند، نزدیک به شرایط بهینه تولید زعفران است. شرایط دمایی مطلوب در فصول بهار و تابستان برای زعفران در بیشتر مناطق استان کردستان فراهم است (غیر از دیواندره که تا حدودی سردتر است)، اما در آبان‌ماه درجه حرارت بیشتر مناطق استان کردستان کمی پایین‌تر از درجه حرارت‌های مورد نیاز زعفران بوده و از این نظر، شهرهای کامیاران، سنندج و مریوان، مطلوب‌ترین شرایط را دارند. کروسین جزو ترکیب‌های کاروتنوئیدی است و نتایج تحقیقات نشان داده است که تولید و تجمع این ترکیب‌ها در دماهای نسبتاً پایین در مقایسه با دماهای بالا، افزایش پیدا می‌کند (Wang *et al.*, 2022). البته کاهش محتوای کروسین زعفران در اثر افزایش درجه حرارت محیط، در مطالعات قبلی نیز گزارش شده است (Alizadeh-Salteh & Amani, 2022). زعفران مناطقی که خاک آنها از میزان رس، مواد آلی و نیتروژن کمتر، ولی فسفر و پتاسیم بیشتری برخوردار بود، تعداد گل، عملکرد گل خشک و کلاله بیشتری داشتند. در مقابل، زعفران مناطقی که خاک آنها از میزان رس بیشتری برخوردار بود، محتوای کروسین بیشتری داشتند. در ارتباط با بافت مناسب خاک برای دستیابی به رشد و عملکرد بهینه

درشت مغذی با افزایش اسیدپتیه در این دامنه افزایش می‌یابد، همین موضوع می‌تواند موجب افزایش تولید کروسین گردد. خاک‌های با اسیدپتیه خیلی کم و خیلی زیاد، برای کشت زعفران مناسب نیستند و اسیدپتیه $6/8$ تا $7/8$ را برای زعفران مناسب گزارش کرده‌اند (Dhar, 2000). هر چند در این مطالعه همبستگی معنی‌داری بین ویژگی‌های عملکردی زعفران با اسیدپتیه مشاهده نشد، اما در مطالعات قبلی مشاهده شده که با افزایش اسیدپتیه از $7/5$ تا $7/8$ ، عملکرد گل و کلاله زعفران افزایش داشته است (Azizi et al., 2013). به‌طور کلی و براساس مجموع شرایط آب و هوایی و خاکی مناطق مطالعه شده و نیز صفات ارزیابی شده، از بین مناطق مورد مطالعه در استان کردستان، کامیاران مناسب‌ترین منطقه برای کشت زعفران شناخته شد.

سیاسگزاری

این پژوهش با حمایت‌های مالی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کردستان انجام شد، بدین‌وسیله تشکر و سپاس خود را از مسئولان سازمان مذکور اعلام می‌دارم.

References

- Abu-Izneid, T., Rauf, A., Ahmed Khalil, A., Olatunde, A., Khalid, A., Alhumaydhi, F.A., Aljohani, A.S.M., Uddin, M.S., Heydari, M., Khayrullin, M., Shariati, M.A., Aremu, A.O., Alafnan, A. and Rengasamy, K.R.R., 2020. Nutritional and health beneficial properties of saffron (*Crocus sativus* L.): a comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(10): 2683-2706.
- Aghavani Shajari, M., Rezvani Moghaddam, P., Koocheki, A., Fallahi, H.R. and Taherpour Kalantari, R., 2014. Evaluation of the effects of soil texture on yield and growth of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy and Technology*, 2(4): 311-322.
- Agricultural Statistics, 2022. Ministry of Agriculture Jihad, Iran, 307p.
- Ahmad, A.S., Ansari, M.A., Ahmad, M., Saleem, S., Yousuf, S., Hoda, M.N. and Islam, F., 2005. Neuroprotection by crocetin in a hemiparkinsonian rat model. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 81(4): 805-813.
- Alizadeh, A., Sayari, N., Ahmadian, J. and Mohamadian, A., 2009. Study for zoning the most

appropriate time of irrigation of saffron (*Crocus sativus*) in Khorasan Razavi, north and southern provinces. *Journal of Water and Soil*, 23(1): 109-118.

- Alizadeh-Salteh, S. and Amani, M., 2022. Evaluation of climate effect on saffron's metabolites (crocin, picrocrocin and safranal) in Bonab region of Marand. *Journal of Horticultural Science*, 35(4): 578-590.

- Arvin, P., 2019. Study of different levels of nitrogen, phosphorus and potassium on physiological and morphological parameters and essential oils in savory plant (*Satureja hortensis* L.). *Journal of Plant Research*, 32(2): 260-279.

- Avgerinos, K.I., Vrysis, C., Chaitidis, N., Kolotsiou, K., Myserlis, P.G. and Kapogiannis, D., 2020. Effects of saffron (*Crocus sativus* L.) on cognitive function. A systematic review of RCTs. *Neurological Sciences*, 41: 2747-2754.

- Azizi, E., Jahani Kondori, M. and Divan, R., 2013. The effect of soil physiochemical characteristics and field age on agronomic traits of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Agroecology*, 5(2): 134-142.

(Arvin, 2019). نیتروژن از عناصری است که رشد رویشی گیاه را بیش از رشد زایشی تحت تأثیر قرار می‌دهد. مقادیر بهینه نیتروژن موجب افزایش رشد کورم‌های دخترتی و نهایتاً افزایش عملکرد زعفران می‌گردد، ولی مقادیر بالای آن باعث کاهش عملکرد زعفران می‌گردد (Kafi, 2002). در پژوهشی دیگر، افزایش رشد رویشی و تعداد کورم‌های دخترتی و از سوی دیگر کاهش وزن کورم‌های دخترتی در اثر مصرف کود نیتروژنه گزارش شده است (Chaji et al., 2013). در ارتباط با همبستگی منفی مواد آلی خاک با عملکرد زعفران، می‌توان گفت که مواد آلی بیشتر در خاک موجب حفظ بیشتر رطوبت خاک و نهایتاً رشد رویشی بیشتر برگ‌ها و کورم‌ها می‌گردد و از آنجایی که بین رشد رویشی و زایشی گیاه رقابت وجود دارد، بنابراین همین موضوع موجب کاهش گلدهی و عملکرد زعفران شده است (Behdani et al., 2005). مناطق با خاک‌های با اسیدپتیه بالاتر، زعفران‌هایی با محتوای کروسین بیشتر تولید کردند. اسیدپتیه خاک مناطق مورد مطالعه بین $7/58$ تا $7/91$ بود که دامنه مطلوبی برای زعفران است و جذب بیشتر عناصر

- Behdani, M.A., Koocheki, A., Nasiri Mahalati, M. and Rezvani Moghaddam, P., 2005. Evaluation of quantitative relationships between saffron yield and nutrition (on farm trial). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 3(1): 1-14.
- Behdani, M.A., Nassiri Mahallati, M. and Koocheki, A., 2008. Evaluation of irrigation management of saffron at agro ecosystem scale in dry regions of Iran. *Asian Journal of Plant Sciences*, 7(1): 22-25.
- Caballero-Ortega, H., Pereda-Miranda, R. and I. Abdullaev, F., 2007. HPLC quantification of major active components from 11 different saffron (*Crocus sativus* L.) sources. *Food Chemistry*, 100: 1126-1131.
- Cagliani, L.R., Culeddu, N., Chessa, M. and Consonni, R., 2015. NMR investigations for a quality assessment of Italian PDO saffron (*Crocus sativus* L.). *Food Control*, 50: 342-348.
- Cardone, L., Castronuovo, D., Perniola, M., Cicco, N. and Candido, V., 2020. Saffron (*Crocus sativus* L.), the king of spices: an overview. *Scientia Horticulturae*, 272: 109560.
- Chaji, N., Khorassani, R., Astaraei, A.R. and Lakzian, A., 2013. Effect of phosphorous and nitrogen on vegetative growth and production of daughter corms of saffron. *Journal of Saffron Research*, 1(1): 1-12.
- Christodoulou, E., Kadoglou, N.P.E., Stasinopoulou, M., Konstandi, O.A., Kenoutis, C., Kakazanis, Z.I., Rizakou, A., Kostomitsopoulos, N. and Valsami, G., 2018. *Crocus sativus* L. aqueous extract reduces atherogenesis, increases atherosclerotic plaque stability and improves glucose control in diabetic atherosclerotic animals. *Atherosclerosis*, 268: 207-214.
- Dhar, A.K., 2000. Saffron: biology, utilization, agriculture, production and quality. *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences*, 22: 355-360.
- El Midaoui, A., Ghzaïel, I., Vervandier-Fasseur, D., Ksila, M., Zarrouk, A., Nury, T., Khallouki, F., El Hessni, A., Ibrahim, S.O., Latruffe, N., Couture, R., Kharoubi, O., Brahmi, F., Hammami, S., Masmoudi-Kouki, O., Hammami, M., Ghraïri, T., Vejux, A. and Lizard, G., 2022. Saffron (*Crocus sativus* L.): A source of nutrients for health and for the treatment of neuropsychiatric and age-related diseases. *Nutrients*, 14(3): 597.
- Farajzadeh Asl, M. and Mirzabayati, R., 2007. Possibility study of areas with potential cultivation of saffron in Nishabor plain using GIS. *The Journal of Spatial Planning*, 11(1): 67-91.
- Fernández, J.A., 2004. Biology, biotechnology and biomedicine of saffron. *Recent Research Developments in Plant Science*, 2: 127-159.
- Fernández-Sánchez, L., Lax, P., Esquivá, G., Martín-Nieto, J., Pinilla, I. and Cuenca, N., 2012. Safranal, a saffron constituent, attenuates retinal degeneration in P23H rats. *PLoS ONE*, 7(8): e43074.
- Georgiadou, G., Grivas, V., Tarantilis, P.A. and Pitsikas, N., 2014. Crocins, the active constituents of *Crocus sativus* L., counteracted ketamine-induced behavioural deficits in rats. *Psychopharmacology*, 231: 717-726.
- Gresta, F., Avola, G., Lombardo, G.M., Siracusa, L. and Ruberto, G., 2009. Analysis of flowering, stigmas yield and qualitative traits of saffron (*Crocus sativus* L.) as affected by environmental conditions. *Scientia Horticulturae*, 119: 320-324.
- Gresta, F., Lombardo, G.M., Siracusa, L. and Ruberto, G., 2008. Saffron, an alternative crop for sustainable agricultural systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28: 95-112.
- Higashino, S., Sasaki, Y., Giddings, J.C., Hyodo, K., Sakata, S.F., Matsuda, K., Horikawa, Y. and Yamamoto, J., 2014. Crocetin, a carotenoid from *Gardenia jasminoides* Ellis, protects against hypertension and cerebral thrombogenesis in stroke-prone spontaneously hypertensive rats. *Phytotherapy Research*, 28: 1315-1319.
- Hosseini, M., Mollafilabi, A. and Nassiri, M., 2008. Spatial and temporal patterns in saffron (*Crocus sativus* L.) yield of Khorasan province and their relationship with long term weather variation. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 6(1): 79-88.
- Hosseinzadeh, H., Karimi, G. and Niapoor, M., 2004. Antidepressant effect of *Crocus sativus* L. stigma extracts and their constituents, crocin and safranal, in mice. *Acta Horticulturae*, 650: 435-445.
- Hosseinzadeh, H., Sadeghnia, H.R., Ghaeni, F.A., Motamedshariaty, V.S. and Mohajeri, S.A., 2012. Effects of saffron (*Crocus sativus* L.) and its active constituent, crocin, on recognition and spatial memory after chronic cerebral hypoperfusion in rats. *Phytotherapy Research*, 26: 381-386.
- Jabbarpoor Bonyadi, M.H., Yazdani, S. and Saadat, S., 2014. The ocular hypotensive effect of saffron extract in primary open angle glaucoma: A pilot study. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 14(1): 399.
- Jaimand, K., Rezaee, M.B. and Najafi Ashtiany, A., 2007. The effect of storing period of *Crocus sativus* L. stigma on crocin content. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 23(2): 262-268.
- Javaheri, M.A., Najafinezhad, H. and Nadi, M., 2022. AHP-based climatic zoning for saffron cultivation in the water-deficient Kerman province. *Journal of Land Management*, 10(2): 259-275.
- Kafi, M., 2002. Saffron (*Crocus sativus*) Production and Processing. *Zaban o Adab, Mashhad*, 280p.
- Khan, M.A., Naseer, S., Nagoo, S. and Nehvi, F.A., 2011. Behaviour of saffron (*Crocus sativus* L.) corms for daughter corm production. *Journal of Phytology*, 3(7): 47-49.
- Khorramdel, S., Gheshm, R., Amin Ghafari, A. and Esmailpour, B., 2014. Evaluation of soil texture and superabsorbent polymer impacts on agronomical characteristics and yield of saffron. *Journal of Saffron Research*, 1(2): 120-135.
- Koocheki, A. and Seyyedi, S.M., 2015. Phonological stages and formation of replacement corms of saffron (*Crocus sativus* L.) during growing period. *Journal of Saffron Research*, 3(2): 134-154.

- Koocheki, A., Alizadeh, A. and 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.
- Koocheki, A., Nassiri, M., Alizadeh, A. and 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.
- Koozehgaran, S., Mousavi Baygi, M., Sanaeinejad, S.H. and Behdani, M.A., 2011. Study of the minimum, average and maximum temperature in South Khorasan to identify relevant areas for saffron cultivation using GIS. Journal of Water and Soil, 25(4): 892-904.
- Kothari, D., Thakur, R. and Kumar, R., 2021. Saffron (*Crocus sativus* L.): gold of the spices-a comprehensive review. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 62: 661-677.
- Kouzegaran, S., Mousavi Baygi, M., Sanaeinejad, H. and Behdani, M.A., 2014. Identification relevant areas for saffron cultivation according to precipitation and relative humidity in South Khorasan using GIS. Journal of Saffron Research, 1(2): 85-96.
- Maleki, F., Kazemi, H., Siahmarguee, A. and Kamkar, B., 2017. Development of a land use suitability model for saffron (*Crocus sativus* L.) cultivation by multi-criteria evaluation and spatial analysis. Ecological Engineering, 106(1): 140-153.
- Marschner, P., 2011. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, 672p.
- Mashayekhi, K., Kamkar, B. and Soltani, A., 2006. The effect of corm weight and environmental temperature on flowering behavior of saffron (*Crocus sativus*). 2nd International Symposium on Saffron Biology and Technology. Mashhad, Iran, 28-30 October.
- Milajerdi, A., Djafarian, K. and Hosseini, B., 2016. The toxicity of saffron (*Crocus sativus* L.) and its constituents against normal and cancer cells. Journal of Nutrition & Intermediary Metabolism, 3: 23-32.
- Mizuma, H., Tanaka, M., Nozaki, S., Mizuno, K., Tahara, T., Ataka, S., Sugino, T., Shirai, T., Kajimoto, Y., Kuratsune, H., Kajimoto, O. and Watanabe, Y., 2009. Daily oral administration of crocetin attenuates physical fatigue in human subjects. Nutrition Research, 29(3): 145-150.
- Molina, R.V., Valero, M., Navarro, Y., Guardiola, J.L. and García-Luis, A., 2005. Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus*). Scientia Horticulturae, 103(3): 361-379.
- Mosafieri Ziauddin, H., Alizadeh, A. and Mousavi, S.J., 2008. The effect of summer irrigation on yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Agricultural Sciences and Technology, 21(2): 163-169.
- Naghdi Badi, H., Omidi, H., Golzad, A., Torabi, H. and Fotookian, M.H., 2011. Change in crocin, safranin and picrocrocin content and agronomical characters of saffron (*Crocus sativus* L.) under biological and chemical of phosphorous fertilizers. Journal of Medicinal Plants, 10(40): 58-68.
- Pitsikas, N., 2016. Constituents of saffron (*Crocus sativus* L.) as potential candidates for the treatment of anxiety disorders and schizophrenia. Molecules, 21(3): 303-314.
- Rezaian, S. and Paseban, M., 2006. The effect of micronutrient and manure fertilizers on the quantity and quality of Khorasan saffron. 2nd International Symposium on Saffron Biology and Technology. Mashhad, Iran, 28-30 October.
- Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S. and Mollafilabi, A., 2015. Evaluation of soil physical and chemical characteristics impacts on morphological criteria and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Saffron Research, 3(2): 188-203.
- Sadeghi, B., 1996. The effect of summer irrigation on saffron yield. Iranian Research Organization for Science and Technology, Khorasan Center, Research Report.
- Schachtman, D.P., Reid, R.J. and Ayling, S.M., 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. Indian Journal of Plant Physiology, 116: 447- 453.
- Sheng, L., Qian, Z., Zheng, S. and Xi, L., 2006. Mechanism of hypolipidemic effect of crocin in rats: Crocin inhibits pancreatic lipase. European Journal of Pharmacology, 543(1-3): 116-122.
- Shokohian, A.A. and Asghari, A., 2008. A study of saffron ecotype adaptability to the climate of Ardebil region. Iranian Journal of Agricultural Science, 38(4): 563-570.
- Sorkh Abadi, M.R., Khashei-Siuki, A. and Shahidi, A., 2015. An spatial zoning of saffron cultivation based on climatic factors using hierarchical analysis process method (case study: Torbate Hydariyeh city). Journal of Agroecology, 7(2): 225-236.
- Temperini, O., Rea, R., Temperini, A., Colla, G. and Rouphael, Y., 2009. Evaluation of saffron (*Crocus sativus* L.) production in Italy: Effect of the age of saffron field and plant density. Journal of Food Agriculture and Environment, 7(1): 19-23.
- Tosan, M., Alizadeh, A., Ansari, H. and Rezvani Moghaddam, P., 2015. Evaluation of yield and identifying potential regions for saffron (*Crocus sativus* L.) cultivation in Khorasan Razavi province according to temperature parameters. Saffron Agronomy and Technology, 3(1): 1-12.
- Vahdani, E., Mohammadi, H. and Asadian, F., 2021. Feasibility study of saffron cultivation in rural areas of Kurdistan province. Journal of Space Economy & Rural Development, 10(36): 163-182.
- Wang, Y., Zhang, C., Xu, B., Fu, J., Du, Y., Fang, Q., Dong, B. and Zhao, H., 2022. Temperature regulation of carotenoid accumulation in the petals of sweet osmanthus via modulating expression of carotenoid biosynthesis and degradation genes. BMC Genomics, 23(1): 418- 429.
- Xi, L., Qian, Z., Xu, G., Zheng, S., Sun, S., Wen, N., Sheng, L., Shi, Y. and Zhang, Y., 2007. Beneficial impact of crocetin, a carotenoid from saffron, on

insulin sensitivity in fructose-fed rats. The Journal of Nutritional Biochemistry, 18: 64-72.

- Zarghani, F., Karimi, A., Khorasani, R. and Lakzian, A., 2016. To evaluate the effect of soil physical and chemical characteristics on the growth characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.) corms in Tornbat-e Heydariyeh area. Journal of Agroecology, 8(1): 120-133.