Journal of Saffron Research

Vol. 12, No. 2, p. 302-313, 2024

10.22077/jsr.2025.8455.1248

University of Birjand

Original Article

Studying the Economic Water Footprint of Saffron Crop in the Climate of Torbat Heydariyeh County

Yahya Choopan[1*], Abbas Khashei Siuki[2], Mohsen Zangane[3]

1- PhD in Irrigation and Drainage, Researcher of Saffron Institute;University of Torbat-e Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran.
2- Professor, Water Engineering Department of Birjand University and President of Torbat Heydarieh University, Torbat Heydarieh, Iran.
3- Assistant Professor, Economics Department of Ahl al-Bayt International University (AS), Tehran, Iran.

*Corresponding author: *yahyachoopan68@gmail.com*

Received: 19 November 2024, **Revised:** 23 January 2025, **Accepted:** 21 February 2025

Expanded Abstract

Introduction: Water resources in the world are limited, and due to the increase in population and food demand, water consumption for agricultural production will also increase. In our country, there are limited water resources on the one hand and low irrigation efficiency, along with the wastage of a large part of water resources on the other hand; thus, the problem is twofold. Each product in the production chain has a specific temporal and spatial process. This chain has a local to global scope in which water is consumed and disappears. In the meantime, saffron is one of the most important products of the agricultural sector in Iran's arid and semi-arid regions, which is of great importance for earning foreign exchange in order to realize development programs aimed at increasing non-oil exports, and therfore calculating the rial value of its water consumption in the production chain is important.

Materials and Methods: Torbat Heydarieh city is located at 59 degrees 12 minutes east longitude and 34 degrees 17 minutes north latitude at an altitude of 1333 meters above sea level. In this study, the water footprint in saffron production and the comparison of the cost price of saffron based on the amounts of green, blue and gray water in three important production areas- Rokh Plain of Torbat Heydariyeh (R1), Zaveh Plain (R2), and Central Plain of Torbat Heydariyeh (R3)- were calculated based on field data. The performance of the parameters (saffron yield, saffron water requirement, amount of unconventional water used in field irrigation, amount of water consumed from wells, amount of atmospheric precipitation, evapotranspiration, effective precipitation) involved in the research was calculated and collected using statistics from the Agricultural Jihad Organization, meteorological station data, farmers' information, and the country's plant water requirement system. The studied farms had a crop density of 9 to 10 tons per hectare, farm age of 3 to 4 years, and average farm cultivation area of 1 to 10 hectares. Statistical analysis of the data was done using DSTAT software and graphs were drawn using EXCEL software. Also, comparison of means was done using Duncan's test at the level of 5 percent probability.

Copyright © 2024 by the authors
Published by University of Birjand. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Results and Discussion: The saffron yield (dry stigma) in R1, R2 and R3 regions was 5.7, 3.35 and 4.1 kg per hectare respectively, and significant differences were observed between different regions. The results of this study showed that there was no significant effect on the amount of water in the studied regions, but a significant difference was observed in the statistical results of green water and gray water between different regions, such that the highest amount for green water (26%) and the lowest amount for gray water (0%) was observed in R1 region. According to the results of saffron yield in R1, R2 and R3 regions, which are 5.7, 3.35 and 1.4 kg/ha respectively and the amounts of water requirement in these regions, which are recorded as 280, 340 and 300 mm/day respectively according to field data, water use efficiency values with significant differences were observed between the regions.

Conclusion: Among the Rokh Plain regions, with a value of 5.7 kg/ha, due to more favorable climatic conditions, sufficient water and suitable seasonal rainfall and different planting management, higher yield has been shown than in other research regions. The highest value for green water (26%) and the lowest value for gray water (0%) was observed in R1 region.Water use efficiency values were observed with significant differences between the regions. The highest water use efficiency was observed in the R1 region with 2 g/m^3 according to the results.

Conflict of Interest: The author declare no potential conflict of interest related to this research.

Keywords: Dry and semi-dry, Rial value, Saffron, Virtual water.

نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)
جلد دوازدهم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۳
شماره صفحه: ۳۱۳ - ۳۰۲
http://dx.doi.org/10.22077/jsr.2025.8455.1248

مقاله پژوهشی

بررسی ردپای اقتصادی آب محصول زعفران در اقلیم شهرستان تربت حیدریه

یحیی چوپان*[۱]، عباس خاشعی سیوکی [۲]،محسن زنگنه[۳]

۱- دکتری آبیاری و زهکشی، پژوهشگر پژوهشکده زعفران، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران.
۲- استاد، گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بیرجند و رئیس دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران.
۳- استادیار، گروه اقتصاد دانشگاه بین المللی اهل بیت (ع)، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: Email: *yahyachoopan68@gmail.com*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۹؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۰۳

چکیده

هر محصول در زنجیره تولید دارای فرآیند زمانی و مکانی خاصی می‌باشد. این زنجیره وسعتی محلی تا جهانی دارد که در آن، آب مصرف و ناپدید می‌شود. در این میان زعفران یکی از مهمترین محصولات بخش کشاورزی ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که اهمیت زیادی جهت ارزآوری در راستای تحقق برنامه‌های توسعه مبنی بر افزایش صادرات غیر نفتی دارد و محاسبه ارزش ریالی آب مصرفی آن در زنجیره تولید حائز اهمیت است. در این تحقیق به محاسبه مقادیر ردپای آب در تولید زعفران و مقایسه بهای تمام شده زعفران براساس مقادیر آب سبز، آبی و خاکستری در سه منطقه مهم تولیدی شامل دشت رخ شهرستان تربت حیدریه R1، دشت زاوه R2 و دشت مرکزی تربت حیدریه R3 برپایه اطلاعات میدانی پرداخته شده است. نتایج نشان داد مقدار آب آبی در مناطق R1، R2 و R3 به ترتیب ۷۴، ۷۹/۵ و ۸۳ درصد از کل آب مصرفی بوده است. همچنین ارزش اقتصادی آب مصرفی به ازای هر کیلوگرم زعفران در مناطق R1، R2 وR3 به ترتیب ۶۹، ۱۵۸ و ۱۰۷ دلار بدست آمده است. براین‌اساس استنباط می شود که شرایط اقلیمی، مدیریت آبیاری و موجودیت منابع آب مورد نیاز جهت آبیاری به موقع سبب کاهش مصرف آب آبی و در نتیجه کاهش ارزش ریالی آب مصرفی به ازای هر کیلوگرم محصول گردیده اند.

واژه‌های کلیدی: آب مجازی، ارزش ریالی، خشک و نیمه‌خشک ، زعفران.

Copyright © 2024 by the authors
Published by University of Birjand. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

مقدمه

منابع آب در دنیا دارای محدودیت بوده و به علت افزایش جمعیت و تقاضای غذا، مصرف آب برای تولید محصولات کشاورزی نیز افزایش خواهد داشت. در کشورمان به دلایل منابع آب محدود از یک طرف و کم بودن راندمان آبیاری و هدر رفت بخش عمده‌ای از منابع آب از طرف دیگر مشکل دو چندان می باشد. طی سال‌های اخیر در اثر تغییر اقلیم کره زمین و بروز خشکسالی‌ها و از طرفی افزایش جمعیت جهان، مشکلاتی برای بشر در تامین آب و غذای مورد نیاز به وجود آمده است. بحران آب در کشورهایی همچون ایران که دارای اقلیم خشک و نیمه خشک هستند، جدی تر است. در واقع با توجه به منابع موجود و تقاضای فعلی، منابع آب موجود جواب‌گوی تامین نیاز آیندگان نخواهد بود. همچنین عدم توازن بین عرضه و تقاضای آب در کشور مدیریت منابع آب را، به خصوص در بخش کشاورزی، با چالش رو به روساخته است. در این ارتباط مبادلات بین المللی محصولات کشاورزی و جابه جایی آب نهفته در آن‌ها که به آن آب مجازی گفته می شود، می تواند یکی از راهکارهای مدیریت آب باشد (Yousefi & Khashai Siuki., 2014). عرضه و تقاضای منابع آب در کشور به‌ویژه در مناطق بسیار کم‌آب و خشک، مدیریت منابع آب را به‌خصوص در بخش کشاورزی با مشکلات جدی روبه‌رو ساخته است. علاوه برآن در مناطق خشک کشور مانند قسمت‌های جنوب تقریبا ۱۰۰ درصد تولیدات کشاورزی از کشت آبی حاصل می‌شود (Babazadeh & Saraeetabrizi., 2013). از طرفی کشاورزی برای دستیابی به منابع زمین با شهرنشینی و صنعتی سازی در کشورهای در حال توسعه رقابت می کند، که این امر باعث کمبود منابع زمین در سراسر جهان می شود. تجارت بین المللی نقش فزاینده‌ای در برقراری ارتباط کشورها جهت تعادل‌بخشی به ظرفیت‌های موجود منابع طبیعی دارد (Qiang et al., ; Qiang et al.، 2013 2020). کشورهایی که با وفور منابع طبیعی روبرو بوده، تولیدکننده و صادرکننده عمده محصولات هستند و کشورها با منابع طبیعی ضعیف، واردکننده آن می باشند. براین اساس تجارت محصولات کشاورزی برای کشورها با کمبود منابع طبیعی اهمیت فزاینده‌ای خواهند داشت (Qiang et al., 2013) چرا که تولید مواد غذایی به طور مستقیم و غیرمستقیم به زمین و آب احتیاج دارد، تجارت مواد غذایی معادل انتقال زمین و آب در بین کشورهای مختلف است. مطالعه تجارت در علم خدمات اکوسیستم به تازگی یکی از مهمترین بخش‌های تأکید شده برای تحقیق، به ویژه در رابطه با اثرات تجارت در اکوسیستم بوده است (Han et al., 2017). در نگرش جدید جهانی، آب کالایی اقتصادی- اجتماعی و به عنوان نیاز اولیه انسان محسوب می شود. هرچند آب یکی از منابع تجدیدشونده به شمار می رود، اما مقدار آن محدود است و با توجه به رشد جمعیت، گسترش صنعت، بالا رفتن سطح بهداشت عمومی، سرانه منابع تجدیدشونده رو به کاهش می باشد و آب به عنوان یک منبع کم یاب به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک تلقی می شود (Aligholinia et al., 2015). پژوهشی با هدف کمک به افزایش صادرات زعفران به تعیین عوامل موثر بر صادرات زعفران با بررسی سه عامل نرخ تورم، نرخ ارز و تولید ناخالص داخلی در بازه زمانی ۵ ساله اخیر پرداخته شد و نتایج نشان داد هر سه عامل بر صادرات زعفران تاثیر مثبت دارد. به نظر می رسد صادرات پایین زعفران ایران از ضعف بازاریابی و برند مناسب می‌باشد (Modi., 2024). مطالعه‌ای به بررسی عوامل مؤثر بر ارزش تجارت زعفران ایران با تأکید بر نقش تحریم های تجاری طی دوره زمانی ۲۰۰۷-۲۰۱۸ با استفاده از الگوی پانل دوسویه پرداخته و نتایج نشان دادند که متغیرهای حجم صادرات و واردات، اندازه اقتصاد، درآمد کشورهای واردکننده، شاخص سطح تجارت جهانی و جمعیت اثری فزاینده و معنی‌دار و متغیر تحریم‌های تجاری اتحادیه اروپا اثر منفی و معنی‌دار بر ارزش تجارت دارد (Kohansal et al., 2021).

از سال ۲۰۰۲ میلادی که شاخص ردپای آب مطرح شد، تاکنون مطالعات فراوانی برای ارزیابی این شاخص در حوزه های مختلف انجام شده است. در ابتدا اکثر مطالعات برای تخمین هر سه جزء ردپای آب (ردپای آب آبی، سبز و خاکستری) در مقیاس کل جهان صورت می گرفت ولی سپس با توجه به اهمیت روزافزون مدیریت منابع آب در مقیاس کوچکتر، ارزیابی این شاخص به صورت محلی دارای اهمیت شد (Lovarell et al., 2017). ردپای آب از سه جزء تشکیل شده‌است یا به عبارتی سه نوع مختلف ردپای آب وجود دارد که از هم متمایز می‌شود؛ آبی، سبز، خاکستری. ردپای آبی: مقدار آب زیرزمینی یا آب‌های

سطحی برای تولید محصول است یا به عبارت دیگر آب‌های زیرزمینی وارد محصولات شده و به محیط بازگردانده می‌شود. ردپای آب سبز: مقدار آب باران برای تولید محصول است یا به عبارت دیگر آب تبخیر شده ناشی از باران و رطوبت است. ردپای آب خاکستری: آلودگی که در اثر فعالیت‌های بشر از جمله فعالیت صنایع یا فعالیت‌های کشاورزی به‌وجود می‌آید یا به عبارت دیگر آب آلوده به تولید کالاها و خدمات است (Hung & Hoekstra., 2002). سهم هریک از اجزای ردپای آب شامل آب سبز، آب آبی و آب خاکستری در محصول زعفران در ایران به ترتیب ۲۰، ۷۰ و ۱۰ درصد است که متوسط ردپای آب مجازی ناشی از آن ۲۷۶۴ مترمکعب بر کیلوگرم تخمین زده شد (Bazrafshan & Gerkani Nezhad Moshizi., 2019). در تحقیقی سعی شده تا با بررسی دو پارامتر مهم مصرف آب در بخش کشاورزی یعنی بهره‌وری فیزیکی و بهره‌وری اقتصادی شرایط موجود در شهرستان باخرز در مورد کشت محصول زعفران بررسی و ارزیابی شود. در این راستا برای بهره‌وری فیزیکی از شاخص مقدار محصول خشک زعفران در ازای مقدار مشخص آب مصرف شده (متر مکعب) و نیز مقدار ارزش ناخالص ایجاد شده در ازای مقدار مشخص آب مصرف شده است. نتایج این تحقیق نشان می دهد که میزان بهره‌وری فیزیکی آب ۱/۸۴۶ گرم بر متر مکعب و میزان بهره‌وری اقتصادی آب ۱۰۰۹۷۰ ریال بر هر متر مکعب می باشد (Shamsabadi et al., 2015). اصطلاح منابع مجازی به طور مستقیم در منابع اصلی همانند آب و زمین استفاده شده که ارتباط با تجارت محصولات کشاورزی را نشان می دهد (Chen Vanham., 2013 & Han., 2015;) و نقش مهمی در زنجیره تامین مواد غذایی جهانی، اکوسیستم (Rully et al., 2013) و سیاست‌گذاری‌ها (Wurtenberger et al., 2006) دارد. در پژوهشی به بررسی و مقایسه شاخص ردپای آب محصولات منتخب در استان‌های اصفهان، خراسان رضوی و کرمان پرداخته شد. نتایج نشان داد در بین محصولات یونجه، هندوانه، ذرت علوفه‌ای، گندم، کلزا، خیار و پیاز، در استان‌های اصفهان، کرمان و خراسان رضوی، بیشترین شاخص ردپای آب متعلق به محصول کلزا بوده است. همچنین نتایج مقایسه شاخص ردپای آب در هر سه استان حاکی از این بود که سهم ردپای آبی نسبت به ردپای سبز و خاکستری در تولید محصولات منتخب بیشتر بوده است (Naghavi & Bani Asadi., 2023).

به دلایل کمبود منابع آب، برنامه کاهش صادرات آب مجازی در بخش کشاورزی در اولویت است ولی این مقدار کافی نبوده و نیاز به مدیریت بیشتری در جهت کاهش صادرات آب می باشد، زیرا منابع موجود آب در ایران با افت شدید در سال های اخیر به جهت برداشت بی رویه و کاهش راندمان مطلوب در کشاورزی همراه بوده است. از طرفی نیز در بخش کشاورزی به خصوص محصولات با نیاز آبی کم و ارزش افزوده ریالی بالا همجون زعفران باید در زمره محصولات قرار گیرند تا اثرات صادرات آب مجازی با بازگشت ریالی چشمگیر مورد توجه باشند (Iran Customs., 2021؛ Mohammadzadeh et al., 2023).

در تحقیقی بررسی آب مجازی به عنوان راهکاری جهت مقابله با بحران آب بیان شد که با محاسبه آب مجازی موجود در دو محصول پسته و زعفران درشهرستان خور و بیابانک استان اصفهان و مقایسه بین این دو محصول و همچنین محاسبه بهره‌وری آب به این نتیجه رسیدند که کشت محصول زعفران با میزان آب مجازی کمتر برای کشت در این منطقه به صرفه‌تر از محصول پسته است (Yousefi & Khashai Siuki., 2014). براساس آمارهای جهانی کشور ایران با تولید ۸۵ درصد از زعفران مصرفی کل دنیا، به عنوان بزرگترین تولیدکننده زعفران در جهان شناخته می‌شود و اهمیت زیادی جهت ارزآوری در راستای تحقق برنامه‌های توسعه مبنی بر افزایش صادرات غیر نفتی دارد (FAO., 2019). میانگین وزنی ردپای آب کل زعفران در خراسان ۲۸۳۳ مترمکعب بر کیلوگرم است که سهم ردپای آبی و سبز به‌ترتیب ۱۱/۱۸، ۸۸/۸۱و سهم ردپای آب خاکستری بسیار ناچیز و در حدود ۰/۰۰۵ درصد است (Bazrafshan et al., 2022). یکی از روش‌های مقابله با کم‌آبی و تأمین و ذخیره آب به ویژه در کشورهای دارای مناطق خشک و نیمه‌خشک که امروزه مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند، آب مجازی و ردپای آب است (Bazrafshan & Gerkani Nezhad Moshizi., 2019). ردپای آب شاخصی چندبعدی برای استفاده از آب شیرین که تنها به مصرف مستقیم آب توسط مصرف‌کننده یا تولیدکننده محصور نمی‌شود بلکه در این شاخص استفاده غیرمستقیم از آب نیز در نظر گرفته می‌شود. در واقع

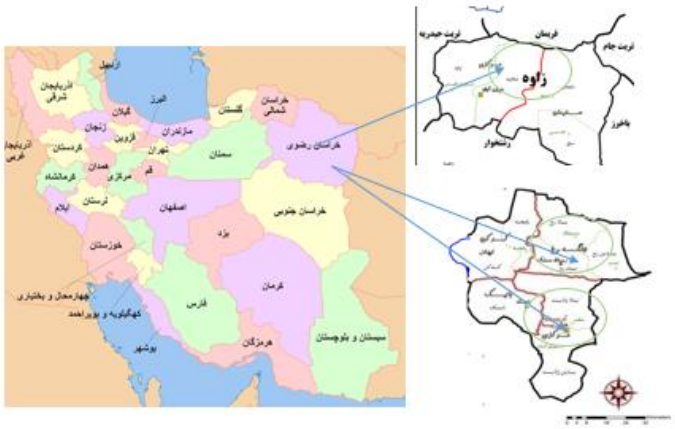
می‌توان به این موضوع اشاره کرد که ردپای آب قادر است ارتباط بین مصارف انسانی از آب شیرین و میزان استفاده از آب در ساخت نوع خاصی از کالا را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد (Hoekstra et al., 2011). محققان بیان کردند که افزایش عملکرد زعفران در سال ۱۳۹۶ نسبت به سال ۱۳۹۸ به دلایل اقلیمی (بارندگی بیشتر) و مدیریتی (تغذیه، به زراعی، آموزش، آبیاری، تاریخ کشت مناسب، استفاده از بنه با وزن مناسب، ضد عفونی بنه در زمان کاشت، آبیاری تابستانه، مبارزه با علفهای هرز) بوده است (Naseri, & Abbasian., 2021).

بررسی تحقیقات میدانی و اجرا شده بیانگر نگرانی‌های جدی متخصصین منابع آب از افزایش تقاضای آب در بخش کشاورزی و اعمال تنش به منابع آب شیرین در نقاط مختلف دنیا به دلیل بالارفتن تقاضای محصولات کشاورزی تغییر اقلیم بوده و ضرورت نگرش نو در معیار ردپای آب را برای تعیین مقدار واقعی آب مصرفی محصولات کشاورزی بیان می‌کند لذا هدف از این مطالعه در مناطق مورد مطالعه تحقیق حاضر (بخش مرکزی زاوه، بخش رخ تربت حیدریه و بخش مرکزی تربت حیدریه) که در آنها کشت زعفران رواج روز افزونی یافته می‌باشد.

مواد و روش ها

در این تحقیق به محاسبه مقادیر ردپای آب در تولید زعفران و مقایسه بهای تمام شده زعفران برپایه اطلاعات میدانی پرداخته شده است که سه منطقه مهم از لحاظ کشت زعفران شامل ۵ مزرعه بخش جلگه رخ در شمال شرقی تربت حیدریه (R1)، ۵ مزرعه شهرستان زاوه در ۲۰ کیلومتری تربت حیدریه است (R2) و ۷ مزرعه بخش مرکزی تربت حیدریه می باشند (R3) که به صورت تصادفی انتخاب شده اند (شکل ۱). براساس آخرین آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی در سال ۱۴۰۰، زعفران در ۳۰ استان کشور کشت می شود که استان خراسان رضوی با سطح کشت ۷۶۶۱۳ هکتار، رتبه اول کشت زعفران در کشور را دارد. به‌طوریکه ۷۵ درصد کشت زعفران کشور مربوط به خراسان رضوی است.

شهرستان تربت حیدریه در مدار ۵۹ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی در ارتفاع ۱۳۳۳ متر از سطح دریا قرار دارد. وضعیت اقلیمی این ایستگاه بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه، اقلیم خشک سرد و براساس طبقه‌بندی دکتر کریمی دارای اقلیم نیمه خشک می باشد. بیشترین دمای این شهر در تابستان‌ها حدود ۴۰ درجه سانتیگراد، کمترین آن در زمستان‌ها حدود ۱۰- درجه سانتیگراد و میانگین بارش سالانهٔ آن حدود ۲۵۰ میلیمتر است. دشت زاوه از مهمترین دشت هـای خراسان رضوی بوده و در شرق شهرسـتان تربـت حیدریه و جنوب دولت آباد واقع شده است و از نظر آب و هوایی این منطقه دارای اقلیم نیمه خشک می‌باشـد . میانگین بارندگی سالانه محدوده‌ی دشـت ۲۷۵ میلـی-متـر (تقریباً یک‌سوم میانگین بارندگی جهانی) است. در شکل ۱موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه آمده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه

Fig 1. Geographical location of the study areas

ردپای آب در یک محصول به صورت حجمی از آب که در تولید آن محصول مصرف شده است تعریف می‌شود این پژوهش با هدف محاسبه ردپای آب زعفران در ۳ دشت استان خراسان رضوی برای سال زراعی ۱۴۰۲ انجام شد. عملکرد پارامترهایی (عملکرد زعفران، نیاز آبی زعفران، مقدار آب نامتعارف مورد استفاده در آبیاری مزارع، مقدار آب مصرفی از چاه‌ها، میزان بارش‌های جوی، تبخیر و تعرق، بارش مؤثر) که در تحقیق دخالت داشتند با استفاده از آمارهای سازمان جهاد کشاورزی، داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، اطلاعات کشاورزان و سامانه نیاز آبی گیاهان کشور محاسبه و گردآوری شد. مزارع مورد بررسی دارای تراکم کشت (۹ تا ۱۰ تن در هکتار)، سن مزارع (۳ تا ۴ سال) و متوسط سطح کشت مزارع (۱ تا ۱۰ هکتار) بودند.

ردپای آب هر محصول از حاصل جمع سه جزء آب آبی، آب سبز و آب خاکستری به دست می آید (رابطه ۱).

رابطه (۱)

$$WFi = WFi\ green + WFi\ blue + WFi\ grey$$

که در آن WFi ،ردپای آب کل محصول i می باشد. WFblue ردپای آب آبی است که برای آب های مورد استفاده از منابع سطحی و زیرزمینی محاسبه می گردد. WFgreen ،ردپای آب سبز می باشد که شامل حجمی از آب باران است که به صورت رطوبت در خاک ذخیره می شود. WFgrey نیز به عنوان آب خاکستری تعریف می شود و به حجم آبی اطلاق می شود که برای رقیق سازی کودهای کشاورزی هدررفته با استفاده رواناب یا نفوذ عمقی مورد استفاده قرار می گیرد (Gorgin paveh et al., 2016) که در این تحقیق آب آبی از منابع زیرزمینی، آب سبز از بارش‌های جوی و آب خاکستری از منابع آب نامتعارف شامل فاضلاب شهری تصفیه شده یا نشده برای محاسبات ردپای آب محصول زعفران استفاده شده است. شاخص کارایی مصرف آب به مقدار محصول تولیده شده از هر واحد حجم آب آبیاری در مزرعه اطلاق می‌شود و در این تحقیق با واحد گرم بر مترمکعب ارائه شده است.

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌های بدست آمده از نرم افزار DSTAT و برای رسم نمودارها از نرم افزار 2013 Excel استفاده شد. میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج میانگین مربعات نشان دادند مناطق تحت کشت زعفران در واکنش به عملکرد، مقدار آب مصرفی، ردپای آب مجازی و کارآیی مصرف آب دارای تفاوت معنی‌دار شده و این نشان دهنده اثرات متفاوت عملکرد، مقدار آب مصرفی برای دستیابی به عملکرد، تفاوت آشکار بین اجزای ردپای آب (آب آبی، سبز و خاکستری) و همچنین کارآیی مصرف آب بین مناطق مختلف در این مطالعه می باشد (جدول ۱).

عملکرد زعفران

مقدار عملکرد زعفران (کلاله خشک) در مناطق R1، R2 وR3 به ترتیب ۵/۷، ۳/۳۵ و ۴/۱ کیلوگرم در هکتار به دست آمده است و بین مناطق مختلف تفاوت معنی‌دار مشاهده شده است. در بین مناطق جلگه رخ با مقدار ۵/۷ کیلوگرم در هکتار، به دلیل شرایط اقلیمی مطلوب تر، وجود آب کافی و بارش های مناسب فصلی و مدیریت کاشت متفاوت تر از مناطق دیگر تحقیق عملکرد بالاتری نشان داده است.

جدول ۱. تجزیه واریانس مناطق تحت کشت زعفران در واکنش به عملکرد، مقدار آب مصرفی، ردپای آب مجازی و کارآیی مصرف آب

Table 1. Variance analysis of saffron cultivated areas in response to yield, water consumption, Virtual water footprint and water consumption efficiency

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	عملکرد yield	مقدار آب مصرفی water consumption	کارآیی مصرف آب water consumption efficiency	ردپای آب مجازی Virtual water footprint
مناطق تحت کشت cultivated areas	16	*		**	**
ضریب تغییرات cv	-	22	12	24	16

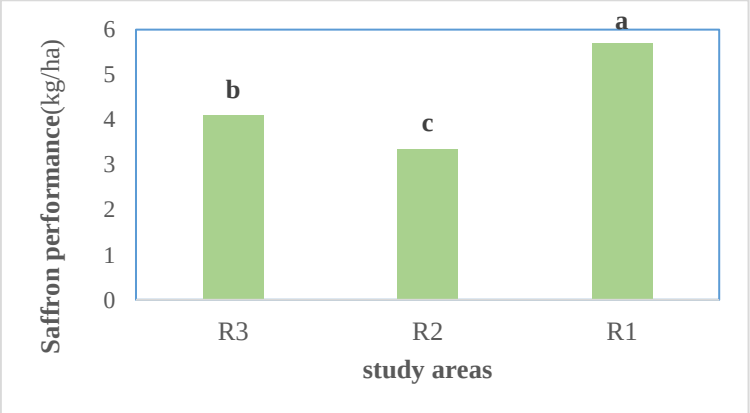
* و ** : به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد.

* and **: significant at 1% and 5% probability level, respectively

میانگین عملکرد زعفران در کشور ۲/۷۲ و استان خراسان رضوی ۲/۷۰ کیلوگرم در هکتار می باشد. در میان شهرستان های مختلف استان خراسان رضوی، شهرستان‌های تربت حیدریه و زاوه با سطح زیر کشت حدود ۲۱۰۰۰ هکتار از ۷۶۱۲۴ هکتار کل استان، سطحی معادل حدود ۲۸ درصد از کل سطح کشت استان خراسان رضوی را به خود اختصاص داده است. برخلاف سطح کشت، میانگین عملکرد در استان خراسان رضوی ۳/۴ کیلوگرم در هکتار است که ۰/۷ کیلوگرم در هکتار از میانگین کشور بالاتر است. کوچکی و همکاران (Koocheki et al, 2017) گزارش کردند که عملکرد زعفران طی ۳۰ سال گذشته (از سال ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۶) از ۵/۱ به ۳/۲ کیلوگرم در هکتار رسیده است. آنها از جمله مهمترین عوامل مؤثر بر این موضوع را افزایش سطح زیر کشت، خشکسالی و عدم تامین نیاز آبی و کاهش کیفیت منابع آب دانستند. در این تحقیق نیز مطابق گزارشات مختلف در بازه زمانی سال ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۲ مقدار عملکرد زعفران با بررسی نتایج، به دلیل سرمای شدید زمستان ۱۴۰۱ همراه با خشکسالی باعث شد میزان برداشت زعفران همچنان کاهشی باشد (isna.ir, 2023).

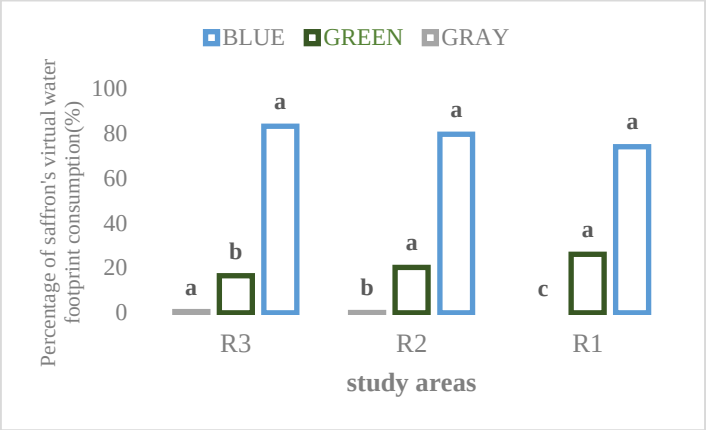
آب مصرفی زعفران

نتایج این تحقیق نشان دادند که در مقدار آب آبی در مناطق مورد مطالعه تاثیر معنی‌دار مشاهده نشده ولی در نتایج آماری آب سبز و آب خاکستری تفاوت معنی¬دار بین مناطق مختلف مشاهده شد به طوریکه بیشترین مقدار برای آب سبز (۲۶٪) و کمترین مقدار برای آب خاکستری (۰٪) در منطقه R1 مشاهده شد. این نتایج می تواند به دلیل نبود منابع آب خاکستری در منطقه R1 و استفاده بیشتر از آب سبز جهت برآورده کردن نیاز آبی زعفران باشد. همچنین برای منطقه R3 نتایج برخلاف شرایط منطقه R1 می باشد. درصد مصرف ردپای آب زعفران در مناطق مورد مطالعه در شکل ۳ آمده است. استفاده از کشاورزی با توسعه کشت‌های کم آب و با ارزش اقتصادی مناسب می‌تواند مدیریتی بر بحران آب باشد. بنابراین، می‌توان گیاه زعفران را به عنوان یک گیاه مناسب در سیستم‌های کشاورزی با بهره‌وری کم به شمار آورد (Temperini et al., 2009). نیاز آبی کم ۳۰۰۰ تا ۳۵۰۰ متر مکعب (۳ تا ۵ مرحله آبیاری در فصل رشد)، قرار داشتن بخش زیادی از دوره رشد در فصل مرطوب سال، زمان آبیاری مناسب، اقلیم خشک و نیمه خشک و همچنین قدرت انطباق بالای زعفران برای رشد در مناطق خشک و نیمه‌خشک از مزیت‌های بسیار کلیدی این گیاه می‌باشد (Yarami et al., 2011). محققین نیاز آبی زعفران، سالانه حدود ۳۰۰۰ متر مکعب در خراسان عنوان کردند (Mosaferi-ziaodini, 2001).



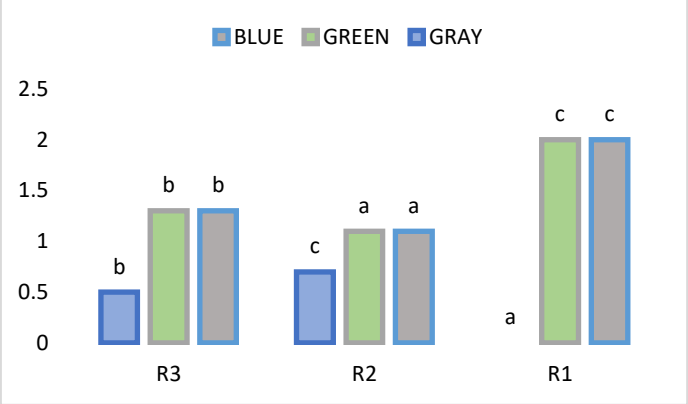
شکل ۲. عملکرد زعفران در مناطق مورد مطالعه

Fig 2. Saffron performance in the study areas



شکل ۳. درصد مصرف ردپای آب مجازی زعفران در مناطق مورد مطالعه

Fig 3. The percentage of consumption of saffron water footprint in the study areas



شکل ۴. کارآیی آب مصرفی زعفران در مناطق مورد مطالعه

Fig 4. Saffron performance in the study areas

کارآیی آب مصرفی زعفران

با توجه به نتایج عملکرد زعفران در مناطق R1، R2 وR3 به ترتیب که ۵/۷، ۳/۳۵ و ۴/۱ کیلوگرم در هکتار است و مقدار نیاز آبی در این مناطق که با به ترتیب ۲۸۰، ۳۴۰ و ۳۰۰ میلیمتر در روز طبق اطلاعات میدانی ثبت گردیده است مقادیر کارآیی مصرف آب با تفاوت های معنی‌داری بین مناطق مشاهده شدند. بیشترین و کمترین مقادیر برای کارآیی مصرف آب در مناطق R1 و R2 به ترتیب با ۲ و ۱۱ گرم بر مترمکعب طبق نتایج مشاهده شدند. بررسی ها نشان می دهد که بهبود شیوه های مدیریتی آب و خاک در سال های اخیر، شرایط اقلیمی مطلوب تر، وجود آب کافی و بارش های مناسب فصلی باعث افزایش مقادیر کارآیی مصرف آب شده است. کاربرد روش های جدید آبیاری از جمله آبیاری بارانی و قطره ای، با توجه به بهبود مدیریت آبیاری در مزرعه، کارآیی مصرف آب را به میزان قابل توجهی در منطقه R1 افزایش داده است. کارآیی آب مصرفی زعفران در مناطق مورد مطالعه در شکل ۴ آمده است. از شاخص های اساسی در تعیین کارآیی استفاده از آب جهت تولید محصولات کشاورزی، شاخص کارآیی مصرف آب می باشد. کارآیی مصرف آب نسبت عملکرد اقتصادی (عملکرد ارائه شده به بازار) به تبخیر و تعرق واقعی گیاه تعریف می گردد. با توجه به افزایش تولید و افزایش کارآیی تابع یکدیگر هستند.

ارزش اقتصادی ردپای آب

مطابق نتایج، ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب آبی مصرف شده به ازای محصول تولیدی زعفران در مناطق R1، R2 وR3 به ترتیب ۶۹، ۱۵۸ و ۱۰۷ دلار بدست آمده است که تفاوت چمشگیری را بین مناطق نشان می دهد و منطقه R1 با توجه به ذخایر آب آبی بیشتر و

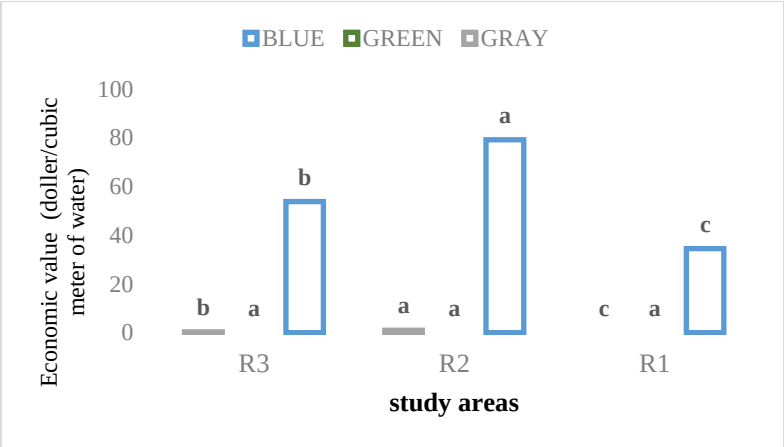
قیمت کمتر آب، هزینه کمتری را شامل شده است ولی در منطقه R2 وضعیت منابع و قیمت آب آبی نسبت به مناطق دیگر بیشتر بوده و به همین دلیل مقدار ارزش ریالی آب مصرفی با افزایش معنی‌داری مشاهده شده است. میانگین قیمت هر مترمکعب آب آبی ۰/۳۳ دلار، آب سبز صفر دلار و آب خاکستری ۱/۳۴ دلار مقدار ارزش اقتصادی آب مصرفی برای زعفران درمحاسبات لحاظ گردیده است (اطلاعات میدانی از کشاورزان منطقه، جدول ۲). ارزش ریالی زعفران در مناطق مورد مطالعه در شکل ۵ آمده است. طی سال های اخیر مطالعات مفیدی با هدف بازبینی و بررسی ردپا و بهره وری اقتصادی آب کشاورزی در ایران و نقاط مختلف جهان به انجام رسیده است که در سال‌های اخیر به دلیل بحرانی ترشدن کمبود منابع آب این موضوع با اهمیت بیشتری دنبال شده است. (Bazrafshan & Gerkani Nezhad Moshizi, 2019)، به بررسی میانگین و سهم اجزای ردپای آب از جمله ردپای آب سبز، آب آبی، آب خاکستری و سفید در محصول زعفران طی دوره زمانی (۲۰۱۴-۲۰۰۸) در سطح استانی و ملی پرداختند که نتایج آنها نشان داد که میزان ردپای آب سبز، آبی، سفید و خاکستری به ترتیب ۱۲، ۴۲، ۴۰ و ۶ درصد است. از آنجایی که سهم ردپای آبی بیشترین سهم مصرفی گیاهان و کمترین هزینه دسترسی در بین اجزای آب مجازی دارد و ردپای آب خاکستری با توجه به دسترس نبودن یا بالا بودن قرآیند دسترسی به آن هزینه قابل توجهی را شامل می شود بیشترین هزینه را در میان اجزای آب مجازی متحمل می شود.

با توجه به قیمت فروش زعفران در این بازه و به دلیل اینکه کیفیت زعفران در بین کشاورزان متفاوت می باشد، در این مطالعه قیمت متوسط (۲۰۰ دلار) به عنوان معیار ارزش ریالی در محاسبات لحاظ می گردد.

جدول ۲. قیمت خرید زعفران در بازه زمانی سه ماهه (بهمن ۱۴۰۲ تا فروردین ۱۴۰۳)

Table 2. The purchase price of saffron in the period of three months

نام محصول Product Name	قیمت عمده کیلویی (دلار) Wholesale price per kilo (Dollar)
زعفران سوپر نگین درجه یک first grade super negin saffron	210
زعفران نگین درجه یک first class negin saffron	200
زعفران سرگل درجه یک first grade Sargol saffron	192



شکل ۵. ارزش اقتصادی زعفران در مناطق مورد مطالعه

Fig 5. Economic value Saffron (doller /cubic meter of water) in the study areas

نتیجه گیری

مطالعه حاضر به برآورد ردپای آب محصول زعفران، ارزش اقتصادی و بیلان آب مجازی آن در سه منطقه مهم تولیدی شامل دشت رخ شهرستان تربت حیدریه R1، دشت زاوه R2 و دشت مرکزی تربت حیدریه R3 پرداخته شده است.

۱- در بین مناطق جلگه رخ با مقدار ۵/۷ کیلوگرم در هکتار، به دلیل شرایط اقلیمی مطلوب‌تر، وجود آب کافی و بارش های مناسب فصلی و مدیریت کاشت متفاوت‌تر از مناطق دیگر تحقیق عملکرد بالاتری نشان داده است.

۲- بیشترین مقدار برای آب سبز (٪۲۶) و کمترین مقدار برای آب خاکستری (٪۰) در منطقه R1 مشاهده شد. همچنین برای منطقه R3 نتایج برخلاف شرایط منطقه R1 می باشد به عبارت بهتر، آبیاری مستقیم و منابع آب سطحی و زیرزمینی، نقش مهمتری را نسبت به بارش برای تولید این محصولات در این مناطق ایفا کرده است.

۳- مقادیر کارآیی مصرف آب با تفاوت‌های معنی‌داری بین مناطق مشاهده شدند. بیشترین کارآیی مصرف آب در منطقه R1 با ۲ گرم بر مترمکعب طبق نتایج مشاهده شد.

۴- منطقه R1 با توجه به ذخایر آب آبی بیشتر و قیمت کمتر آب، هزینه کمتر دلاری هر مترمکعب آب آبی مصرف شده به ازای محصول تولیدی زعفران را شامل شده است. همچنین ارزش دلاری هر مترمکعب آب آبی مصرف شده به ازای محصول تولیدی زعفران با تفاوت‌های معنی‌داری بین مناطق مشاهده شدند.

منابع

Aligholinia, T. Rezaie, H. Bahmanesh, J. and Montaseri M. (2015), *Sustainable management of water resources in order to maximize water extraction with a water footprint approach*. Master's thesis, Faculty of Agriculture, Urmia University (In Persian).

Babazadeh, H., & Saraeetabrizi, M. (2013). Calibration of SWAP Model for Simulating Crop Yield, Biological Yield and Soybean Water Use Efficiency. *Irrigation Sciences and Engineering*, 35(4), 83-96. 20.1001.1.25885952.1391.35.4.9.9

Bazarafshan, O., and Gerkani Nejadhmashizi, Z. (2018). Evaluation of water consumption efficiency and water footprint in saffron product in Iran. *Saffron Agriculture and Technology*, 7(4). 505-519. 20.1001.1.23831529.1398.7.4.6.5

Bazrafshan, O., and Gerkani Nezhad Moshizi, Z. (2019). Assessment of Water Use Efficiency and Water Footprint of Saffron Production in Iran. *Saffron agronomy and technology*, 7(4), pp.505-519. (In Persian). https://doi.org/10.22048/jsat.2019.141824.1311

Bazrafshan, O., Etedali, H. R., Moshizi, Z. G. N ,. &Shamili, M. (2019). Virtual water trade and water footprint accounting of Saffron production in Iran. *Agricultural water management*, 213, 368-374. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.034

Chen, G. Q., & Han, M. Y. (2015). Virtual land use change in China 2002–2010: internal transition and trade imbalance. Land Use Policy, 47, 55-65.

FAO. (2019). Food and Agriculture Organization of the United Nations.Available at www.fao.org.

Gerkanejad Mashizi, Z, Bazarafshan, O, Ramadani, H, Esmailpour, Y, & Collins. (2022). Investigating the effect of past climate change on the water footprint of saffron in homogeneous agroclimatic areas of Khorasan. *Journal of Saffron Research*, 10(2), 295-311. doi: 10.22077/jsr.2022.5742.1199

Gorgin paveh, F. Ramzani etedal, H. and Ababaie, B. (2016), Estimating the gray water footprint in important cereal producing countries in provincial and national scale. *The Second National Congress of Irrigation and Drainage of Iran, Isfahan University of Technology* (In Persian) doi:10.1088/1755-1315/1215/1/012053

Han, M., Dunford, M., Chen, G., Liu, W., Li, Y., & Liu, S. (2017). Global water transfers embodied in Mainland China's foreign trade: production-and consumption-based perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 161,188-199. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.024

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M & ,.Mekonnen, M. M. (2011). The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Routledge.

Hoekstra, A.Y., and Hung, P.Q. (2002). Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. *Value if the Water Research Report Series*. No. 11, UNESCO-IHE, Delft.

Sciences, 35(4), 549-560. doi: 10.22067/jhs.2021.61942.0

Qiang, W., Liu, A., Cheng, S., Kastner, T& ,. Xie, G. (2013). Agricultural trade and virtual land use: The case of China's crop trade. *Land Use Policy*, 33, 141- 150. doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.12.017

Qiang, W., Niu, S., Liu, A., Kastner, T., Bie, Q., Wang, X., & Cheng, S. (2020). Trends in global virtual land trade in relation to agricultural products. *Land Use Policy*, 92, 104439.

Rully, M. C., Saviori, A., & Odorico, P. (2013). Global land and water grabbing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(3), 892-897.

Shamsabadi, Vahid and Mohammadian Far, Afsana and Abdi, Saeed, (2014). investigation of water consumption efficiency in saffron crop (case study of Bakharz city), *the first national conference on agricultural management using agricultural pattern*, Hamedan.

Temperini, O., Rea, R., Temperini, A., Colla, G., Rouphael, Y., (2009). Evaluation of saffron (*Crocus sativus L.)* production in Italy: effects of the age of saffron fields and plant density. *Journal of Food, Agriculture & Environment.* 7(1), 19-23.

Vanham, D. (2013). An assessment of the virtual water balance for agricultural products in EU river basins. *Water Resources and Industry*, 1-2, 49-59.

Wurtenberger, L., Koellner, T., & Binder, C. R. (2006). Virtual land use and agricultural trade: Estimating environmental and socio-economic impacts. *Ecological Economics*, 57(4), 679-697. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.06.004

Yarami, N., Kamgar-Haghighi, A.A., Sepaskhah, A.R., Zand-Parsa, S., (2011). Determination of the potential evapotranspiration and crop coefficient for saffron using a water-balance lysimeter. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 57(7), 727-740. doi.org/10.1080/03650340.2010.485985

Yousefi, Maryam and Khashai Seyuki, Abbas, (2014). comparison and investigation of water value and virtual water amount of two export products, pistachio and saffron (case study: Khor and Biyabank cities), *National conference on optimal water use in industry*, challenges and solutions, Isfahan

Iran's water resources reports. (2014). *Iran Water Resources Management Company*: www.wrm.ir

Karimi, Alireza and Soltanian, Ardeshir and Karimi., Mehbobeh and Babaei, Saideh, (2014). evaluation of water price with regard to environmental economics, *national survey of optimal water consumption in industry*, challenges and solutions, Isfahan.

Kohansal, Mohammad Reza, Hendizadeh, Hengameh and Sahabi, Hossein. (2021). Investigating the factors affecting the growth of Iranian saffron trade with emphasis on the role of trade sanctions. *Journal of Saffron Research*, 9(2), 322-310. doi: 10.22077/jsr.2021.3837.1145.

Koocheki, A., Karbasi, A., & Seyyedi, M. (2017). 'Some reasons for saffron yield loss over the last 30 years period 1114 (Review Article)'. *Saffron Agronomy and Technology*, 5(2), 107-122. (In Persian). https://doi.org/10.22048/jsat.2016.38669

Lovarelli, D. Bacenetti, J. and Fiala, M. (2017), Water Footprint of crop productions: A review. *Science of the Total Environmen*t. 548: 236-251.

Modi, Mahdieh. (2024). Study and prediction of economic factors affecting saffron exports with emphasis on its branding. *Journal of Saffron Research*,. doi: 10.22077/jsr.2025.8537.1259.

Mohammadzadeh, S.H., Karbasi, A., and Mohammadi, H. (2023). Estimation of saffron export development index and factors affecting it, a case study: Khorasan Razavi, *Saffron Agriculture and Technology*, 11(1):116-99. doi.org/10.22048/jsat.2023.371104.1476

Mosaferi, Z., 2001. *The effect of different irrigation regimes on saffron yield. Master Thesis in Irrigation and Drainage*. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran. [in Persian].

Naghavi, Somayeh and Bani Asadi, Neda. (2023). Evaluation and comparison of water footprint index of crops in Khorasan Razavi, Kerman and Isfahan provinces. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, 14(1), 232-246. doi: 10.22125/iwe.2023.413388.1741.

Naseri, Mehbobeh, & Abbasian, Abbas. (2021). Investigating the relationship between cultivation area and saffron yield in Kadkan *district of Torbat Heydarieh. Horticultural*