



## Economic Assessment of Saffron Cultivation within the Framework of Climate Change Adaptation Strategies

Vahid Kalantar<sup>1</sup>, Seyed Habibollah Mousavi<sup>2\*</sup>, Mohammad Taghi Ebadi<sup>3</sup>, Shiva Soltani<sup>4</sup> and Nima Nemati Shishehgaran<sup>5</sup>

### Article type:

Research Article

### Article history:

Submitted: 7 July 2025

Revised: 30 August 2025

Accepted: 20 September 2025

Available Online: 20 September 2025

### How to cite this article:

Kalantar, V., Mousavi, S.H., Taghi Ebadi, M., Soltani, Sh., and Nemati Shishehgaran, N. 2025. Economic Assessment of Saffron Cultivation within the Framework of Climate Change Adaptation Strategies. *Saffron Agronomy & Technology*, 13(2), 180-202.

DOI: 10.22048/jsat.2025.530222.1566

### Abstract

Climate change is one of the key challenges affecting agricultural sustainability across many plains of Iran. In recent decades, decreased precipitation and rising temperatures in Iran's arid and semi-arid climates—particularly in the Hamedan–Bahar plain—have led to reduced water resource efficiency and increased instability in agricultural production. Under these circumstances, identifying and evaluating climate-resilient cropping options is essential to enhance the adaptive capacity of regional agriculture. This study aims to assess the effectiveness of saffron cultivation as an economically viable and climate-compatible strategy in the Hamedan–Bahar plain. First, projected trends in temperature and precipitation were analyzed using climate scenario data for the synoptic station at Hamedan Airport. Subsequently, the yields of saffron and other common regional crops were simulated under these scenarios using a crop growth and yield simulation model. A mathematical programming model was then developed to maximize net agricultural profit and to examine the impact of changing crop yields on the cropping pattern under different climate scenarios. The results indicate that, under all three future climate scenarios, the average yield of major crops such as wheat, barley, and potato is expected to decline by approximately 2–4%. In contrast, saffron yield is projected to increase by an average of up to 3% across the scenarios. Furthermore, both the cultivated area and net profit from saffron exhibit an upward trend toward 2050. Notably, even under the pessimistic scenario, incorporating saffron into the cropping pattern leads to a net profit increase of more than 2% compared to the baseline. These findings underscore saffron's potential as an economically attractive, low-risk, and climate-resilient crop, highlighting its role as an effective adaptation strategy to complement previously studied measures under future climate conditions.

**Keywords:** Agricultural resilience, Economic productivity, Medicinal plants, Optimal cropping pattern, Yield simulation

- 1 -M.Sc. Student, Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
- 2 -Associate Prof., Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
- 3 -Associate Prof., Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
- 4 -Ph.D., Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
- 5 -M.Sc., Water Resources Engineering and Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.



Corresponding author email: [shamosavi@modares.ac.ir](mailto:shamosavi@modares.ac.ir)

## مقاله پژوهشی

# ارزیابی اقتصادی کشت زعفران در چارچوب راهبردهای سازگاری با تغییر اقلیم (مطالعه موردی: دشت همدان - بهار)

وحید کلانتر<sup>۱</sup>، سیدحبيب اله موسوی<sup>۲\*</sup>، محمدتقی عبادی<sup>۳</sup>، شیوا سلطانی<sup>۴</sup> و نیما نعمتی شیشه‌گران<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۱۶ تیر ۱۴۰۴

تاریخ بازنگری: ۸ شهریور ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۲۹ شهریور ۱۴۰۴

کلانتر، و.، موسوی، س.ح.، عبادی، م.ت.، سلطانی، ش.، و نعمتی شیشه‌گران، ن. ۱۴۰۴. ارزیابی اقتصادی کشت زعفران در چارچوب راهبردهای سازگاری با تغییر اقلیم (مطالعه موردی: دشت همدان - بهار). زراعت و فناوری زعفران، ۱۳(۲)، ۱۸۰-۲۰۲.

## چکیده

تغییر اقلیم یکی از چالش‌های اصلی و تأثیرگذار بر پایداری کشاورزی در بسیاری از دشت‌های ایران به شمار می‌رود. در دهه‌های اخیر، کاهش بارندگی و افزایش دما در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک ایران، به‌ویژه دشت همدان - بهار، موجب کاهش منابع آب و ناپایداری در تولیدات کشاورزی شده است. در این شرایط، شناسایی و ارزیابی گزینه‌های زراعی مقاوم به تنش‌های اقلیمی، به‌ویژه در راستای افزایش تاب‌آوری کشاورزی منطقه، ضروری به نظر می‌رسد. هدف این مطالعه، ارزیابی کارایی کشت زعفران به‌عنوان راهبردی اقتصادی و سازگار با تغییرات اقلیمی در دشت همدان - بهار است. در ابتدا، روند تغییرات پیش‌نگری‌شده دما و بارندگی در افق‌های زمانی آینده با استفاده از داده‌های سناریوهای اقلیمی برای ایستگاه سینوپتیک فرودگاه (همدان) در دشت مورد مطالعه تحلیل شد. سپس عملکرد زعفران و سایر محصولات رایج منطقه تحت این سناریوها با بهره‌گیری از مدل شبیه‌سازی رشد و عملکرد محصول برآورد گردید. در ادامه، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی با هدف حداکثرسازی سود خالص کشاورزی منطقه طراحی شد تا تأثیر تغییر عملکرد محصولات بر الگوی کشت در شرایط مختلف اقلیمی تحلیل گردد. نتایج نشان می‌دهد که در شرایط سه سناریوی اقلیمی آینده، عملکرد محصولات رایج منطقه مانند گندم، جو و سیب‌زمینی به‌طور میانگین بین ۲ تا ۴ درصد کاهش خواهد یافت. در مقابل، عملکرد زعفران در سناریوهای مختلف، افزایش یافته و به‌طور میانگین در سه سناریوی ۳ تا ۳ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. همچنین، سطح زیر کشت و سود خالص حاصل از زعفران در افق ۲۰۵۰ روندی صعودی نشان داده، به‌گونه‌ای که سود خالص حاصل از افزودن این محصول به الگوی کشت منطقه مورد مطالعه در سناریوی بدبینانه نیز با افزایش بیش از ۲ درصد نسبت به وضعیت پایه همراه خواهد بود. بنابراین یافته‌ها، موقعیت زعفران را به‌عنوان محصولی اقتصادی، کم‌ریسک و سازگار با تغییرات اقلیم نشان می‌دهد و افزودن آن به الگوی کشت را به‌عنوان راهبردی مؤثر در سازگاری با شرایط اقلیمی آینده مکملی بر راهبردهای مورد مطالعه گذشته معرفی می‌کند.

**کلمات کلیدی:** الگوی بهینه کشت، بهره‌وری اقتصادی، تاب‌آوری کشاورزی، شبیه‌سازی عملکرد، گیاهان دارویی.

۱ - دانشجو کارشناسی ارشد، اقتصاد کشاورزی، کشاورزی، تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲ - دانشیار، اقتصاد کشاورزی، کشاورزی، تربیت مدرس، تهران، ایران.

۳ - دانشیار، علوم باغبانی، کشاورزی، تربیت مدرس، تهران، ایران.

۴ - دکتری، اقتصاد کشاورزی، کشاورزی، تربیت مدرس، تهران، ایران.

۵ - کارشناسی ارشد، مهندسی و مدیریت منابع آب، کشاورزی، تربیت مدرس، تهران، ایران.

\* - نویسنده مسئول: [shamosavi@modares.ac.ir](mailto:shamosavi@modares.ac.ir)

## مقدمه

ایران نیز به‌عنوان کشوری با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، به‌شدت در معرض پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم قرار دارد. نتایج مطالعات اقلیمی متعدد نشان می‌دهد که در اغلب دشت‌های کشور، روند کاهشی در میزان بارش و روند افزایشی در میانگین دمای سالانه در حال وقوع است (Sharafi & Mir Karim, 2020; Alavinia & Zarei, 2021; Bahrami & Aqlimi, 2022; Javan & Movaghari, 2024). ایران با چالش‌هایی نظیر خشکسالی‌های شدید (Kheyruri et al., 2023)، طوفان‌های گردوغبار (Darvishi Bolorani et al., 2023) و افزایش مستمر دما (Motamedi et al., 2023) مواجه است؛ چالش‌هایی که بر اساس پیش‌نگری‌ها در آینده شدت بیشتری خواهند یافت (Asadollah et al., 2022; Niazkar et al., 2023; Akbarian et al., 2023; Rezazadeh et al., 2024; Ghazi et al., 2025). در راستای تحلیل و مواجهه با آثار مخرب تغییر اقلیم در بخش کشاورزی ایران، مطالعات متعددی انجام گرفته و راهکارهای مختلفی جهت سازگاری پیشنهاد شده است. به‌عنوان نمونه، مطالعه جوادی و همکاران (Javadi et al., 2023) بر ضرورت تغییر نوع محصول زراعی تأکید کرده است، مطالعه کریمی و همکاران (Karimi et al., 2024) افزایش بهره‌وری مصرف آب را راهبردی کلیدی دانسته‌اند، مطالعه محدودیان و همکاران (Mahdavian et al., 2024) به اصلاح الگوی دامداری و بهینه‌سازی شیوه‌های مدیریتی آن پرداخته‌اند، مطالعه کافی قائی و همکاران (Kafaie et al., 2023) تغییر تاریخ کاشت محصولات را پیشنهاد داده‌اند، مطالعه رستگارپور و همکاران (Rastegaripour et al., 2024) مدیریت زمان آبیاری و بهره‌گیری از راهبردهای پایداری منابع آب را مؤثر ارزیابی کرده‌اند، مطالعه توکلی و مختاری کارچگانی (Tavakoli &

تغییر اقلیم به‌عنوان پدیده‌ای جهانی، طی دهه‌های اخیر تأثیرات چشم‌گیری بر منابع آب، عملکرد محصولات کشاورزی و امنیت غذایی در بسیاری از مناطق جهان از خود برجای گذاشته است. بر همین اساس، بررسی دقیق و تحلیل روندهای محتمل در شاخص‌های اقلیمی، زمینه‌ساز تدوین و اجرای راهبردهای سازگاری و کاهش آثار مخرب گازهای گلخانه‌ای خواهد بود (Bruhwiler et al., 2021). در این راستا، مسئله سازگاری با تغییرات اقلیمی و مدیریت پیامدهای آن در بخش کشاورزی همواره در کانون توجه پژوهشگران و سیاست‌گذاران قرار داشته و راهکارهای گوناگونی برای سازگاری با شرایط متغیر اقلیمی ارائه شده است. به‌عنوان نمونه، مطالعه وروبل و همکاران (Wróbel et al., 2023) توسعه سامانه‌های آبی‌پروری چرخشی، مطالعه شهزاد و همکاران (Shahzad et al., 2021) و شیخ و همکاران (Sheikh et al., 2024) تغییر در الگوی کشت، مطالعه سدون و همکاران (Seddon et al., 2020) سیاست‌های مبتنی بر طبیعت، مطالعه فرلنک و همکاران (Franke et al., 2022) اصلاح تقویم زراعی، مطالعه آلن و همکاران (Allan et al., 2020) انتقال آب بین حوضه‌ای و شماری از مطالعات از جمله ریورو و همکاران (Rivero et al., 2022)، لینگ و ما (Ling & Ma, 2024)، کیم و لی (Kim & Lee, 2023)، راوشکولب و همکاران (Rauschkolb et al., 2022) و گوپتا و همکاران (Gupta et al., 2020) کشت گیاهان مقاوم به خشکی را مطرح کرده‌اند. همچنین مطالعه کالیجا-کابرا و همکاران (Calleja-Cabrera et al., 2020) استفاده از فناوری‌های نوین کشاورزی را به‌عنوان راهبردی مؤثر برای سازگاری با آثار تغییر اقلیم پیشنهاد کرده‌است.

Abedi Sarvestani et al., 2024; Motaghd & )  
 میان‌رشته‌ای و دانش‌محور تأکید داشته‌اند، مطالعه سلیمانی و همکاران (Suleimany et al., 2025) استفاده از فناوری هوش مصنوعی را جهت پیش‌نگری و تصمیم‌سازی مطرح کرده‌اند، مطالعه اکبری (Akbari, 2024) نیز اقداماتی نظیر کاهش روند بیلبان‌زایی، مدیریت پایدار جنگل‌ها و بهره‌گیری از درختان برای سازگاری با رواناب و فرسایش خاک را توصیه کرده است. افزون بر این، مطالعاتی همچون فریدونی و همکاران (Fereidooni et al., 2024)، مجیدیان و همکاران (Majidian et al., 2024) و کلاتر و همکاران (Kalantar et al., 2025) بر کشت گونه‌های مقاوم به خشکی به‌عنوان راهبردی سازگار با شرایط اقلیمی جدید تأکید کرده‌اند.

دشت همدان - بهار به‌عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی غرب کشور، با چالش‌هایی چون کاهش منابع آبی، خشکسالی‌های متعدد و بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی مواجه است؛ بنابراین، این موضوع زمینه‌ای مناسب برای تحلیل دقیق اثرات تغییر اقلیم و توسعه راهبردهای سازگاری فراهم کرده است (Jamshidi et al., 2019; Moazzezi et al., 2020; Mosavi et al., 2020; Afruzi et al., 2021; Mousavi et al., 2022; Soltani et al., 2023). به‌واسطه قرارگرفتن در اقلیم خشک و نیمه‌خشک و کاهش محسوس بارندگی در سال‌های اخیر، شرایط بوم‌شناختی آن به‌شدت آسیب‌پذیر شده است (Sarami-Foroushani et al., 2024). از سوی دیگر، محدودیت‌های شدید منابع آبی و پیش‌نگری افزایش وقوع خشکسالی، خطر کاهش رفاه اقتصادی کشاورزان منطقه را دوچندان کرده است (Soltani et al., 2023; Motaghd et al., 2024). در چنین شرایطی، کمبود آب سطحی و بهره‌برداری بالای آن برای مصارف کشاورزی، ضرورت بهره‌گیری از استراتژی‌های سازگاری با تغییر اقلیم و بهینه‌سازی مصرف آب را در مواجهه با بحران کم‌آبی و خشکسالی دوچندان می‌کند

کشت گیاهان مقاوم به خشکی به‌عنوان راهکاری مؤثر در افزایش بهره‌وری آب و مدیریت پیامدهای تغییر اقلیم، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان مانند ایران و دشت همدان - بهار شناخته شده است. با این حال، بیشتر مطالعات در ایران و جهان عمدتاً بر معرفی ارقام مقاوم به خشکی جایگزین ارقام متداول متمرکز بوده‌اند و سایر مزایای طبیعی و اقتصادی موجود کمتر موردتوجه قرار گرفته‌اند. یکی از این مزایا، وجود گستره وسیعی از گیاهان دارویی مقاوم به خشکی و شوری در ایران است که افزودن آن‌ها به الگوی کشت، همسو با تأکیدات تحقیقاتی در زمینه سازگاری با تغییر اقلیم، راهبردی مؤثر است. موقعیت جغرافیایی و اقلیمی خاص ایران، شرایط مناسبی را برای رشد گونه‌های متنوع گیاهی، از جمله گیاهان دارویی فراهم کرده است (Azizi-Khalkheili et al., 2023; Nadjafi & Schulz, 2023; Ghafouri et al., 2025). تاکنون ۸۴۲۳ گونه گیاهی در ایران شناسایی شده که ۲۳۰۰ گونه از آن‌ها خاصیت دارویی دارند و ۱۷۲۸ گونه نیز منحصراً در ایران یافت می‌شوند. از میان این گونه‌ها، زعفران، زیره سیاه، گل‌گاوزبان، بابونه، آویشن، سماق، گل محمدی و سنجد قابلیت کشت در مزرعه را دارا هستند، به‌طوری‌که سطح زیر کشت گیاهان دارویی در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ حدود ۲۹۰ هزار هکتار گزارش شده است (MAJI, 2023). در دشت همدان - بهار نیز تاکنون ۳۹۴ گونه گیاه دارویی شناسایی شده است (MAHI, 2023)؛ اما همانند

میان‌رشته‌ای و دانش‌محور تأکید داشته‌اند، مطالعه سلیمانی و همکاران (Suleimany et al., 2025) استفاده از فناوری هوش مصنوعی را جهت پیش‌نگری و تصمیم‌سازی مطرح کرده‌اند، مطالعه اکبری (Akbari, 2024) نیز اقداماتی نظیر کاهش روند بیلبان‌زایی، مدیریت پایدار جنگل‌ها و بهره‌گیری از درختان برای سازگاری با رواناب و فرسایش خاک را توصیه کرده است. افزون بر این، مطالعاتی همچون فریدونی و همکاران (Fereidooni et al., 2024)، مجیدیان و همکاران (Majidian et al., 2024) و کلاتر و همکاران (Kalantar et al., 2025) بر کشت گونه‌های مقاوم به خشکی به‌عنوان راهبردی سازگار با شرایط اقلیمی جدید تأکید کرده‌اند.

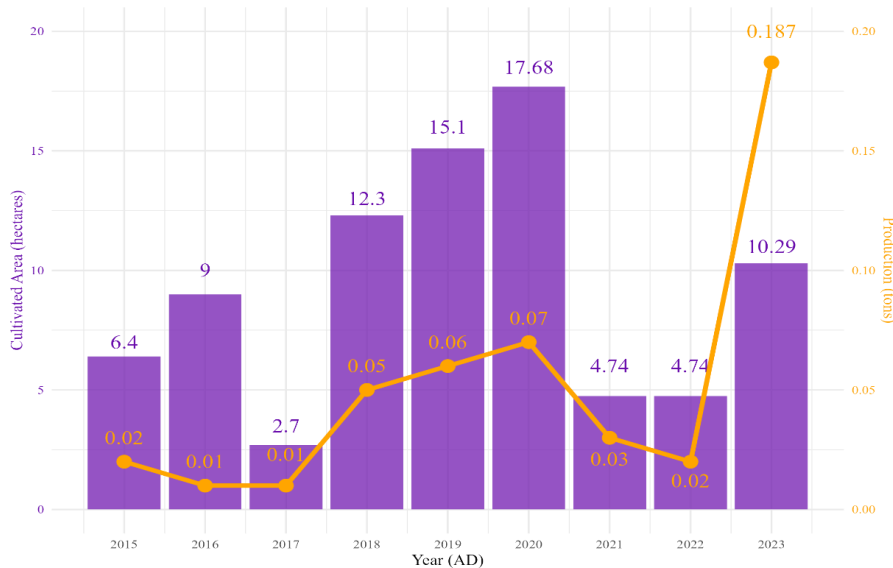
دشت همدان - بهار به‌عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی غرب کشور، با چالش‌هایی چون کاهش منابع آبی، خشکسالی‌های متعدد و بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی مواجه است؛ بنابراین، این موضوع زمینه‌ای مناسب برای تحلیل دقیق اثرات تغییر اقلیم و توسعه راهبردهای سازگاری فراهم کرده است (Jamshidi et al., 2019; Moazzezi et al., 2020; Mosavi et al., 2020; Afruzi et al., 2021; Mousavi et al., 2022; Soltani et al., 2023). به‌واسطه قرارگرفتن در اقلیم خشک و نیمه‌خشک و کاهش محسوس بارندگی در سال‌های اخیر، شرایط بوم‌شناختی آن به‌شدت آسیب‌پذیر شده است (Sarami-Foroushani et al., 2024). از سوی دیگر، محدودیت‌های شدید منابع آبی و پیش‌نگری افزایش وقوع خشکسالی، خطر کاهش رفاه اقتصادی کشاورزان منطقه را دوچندان کرده است (Soltani et al., 2023; Motaghd et al., 2024). در چنین شرایطی، کمبود آب سطحی و بهره‌برداری بالای آن برای مصارف کشاورزی، ضرورت بهره‌گیری از استراتژی‌های سازگاری با تغییر اقلیم و بهینه‌سازی مصرف آب را در مواجهه با بحران کم‌آبی و خشکسالی دوچندان می‌کند

بازار و شرایط اقتصادی قرار داشته باشد (Heydari et al., 2020). در خصوص میزان تولید نیز روندی مشابه با سطح زیر کشت دیده می‌شود؛ به طوری که تولید از ۰/۰۲ تن در سال ۱۳۹۴ به ۰/۰۷ تن در سال ۱۳۹۹ افزایش یافته و در سال ۱۴۰۲ با جهشی محسوس به ۰/۱۸۷ تن رسیده است (MAJI, 2023). این افزایش چشمگیر در تولید، علی‌رغم نوسانات سطح زیر کشت، می‌تواند نشان‌دهنده بهبود عملکرد در واحد سطح، بهره‌گیری از تکنیک‌های مدیریتی مناسب، یا شرایط اقلیمی مساعد در آن سال خاص باشد. به‌طور کلی، این روندها حاکی از آن است که تولید زعفران طی سال‌های اخیر از الگوی پایداری برخوردار نبوده و متأثر از مجموعه‌ای از متغیرهای محیطی، اقتصادی و مدیریتی قرار گرفته است (Heydari et al., 2020).  
 با این حال، مرور ادبیات تحقیق نشان می‌دهد که به کشت گیاه دارویی زعفران به‌عنوان راهبردی جهت سازگاری با تغییرات اقلیم توجه چندانی نشده است. همچنین، بررسی مطالعات مرتبط با گیاهان دارویی به‌ویژه زعفران حاکی از این است که هرچند این محصول در جنبه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته، اما به‌عنوان راهبردی جهت سازگاری تغییرات اقلیمی در سال‌های آتی کمتر مورد توجه بوده است. بر اساس این خلاصه مطالعه حاضر به دنبال پاسخ به این سؤال است که آیا کشت گیاهان دارویی مانند زعفران، علاوه بر ویژگی‌های معمولی خود از جمله سودآوری و خواص دارویی، می‌تواند به‌عنوان راهکاری پایدار برای سازگاری تغییرات اقلیم در منطقه در نظر گرفته شود؟ برای پاسخ به این سؤال و کمک به توسعه ادبیات تحقیق مرتبط با تغییرات اقلیمی و گیاهان دارویی، این مطالعه در چند مرحله طراحی شد. ابتدا، ماهیت تغییر اقلیم در منطقه بررسی شد. سپس، تغییرات عملکرد محصولات موجود در الگوی کشت منطقه تحت سناریوهای مختلف اقلیمی و در افق‌های زمانی گوناگون شبیه‌سازی گردید. در مرحله بعد، مدل شبیه‌ساز اقتصادی کشاورزی دشت توسعه یافت و تأثیر گسترش کشت

دیگر مناطق ایران، کشت این گیاهان به‌ویژه زعفران عمدتاً باهدف درآمدزایی انجام شده (Karbasi & Zandi Dareh, 2022) و به‌عنوان راهبرد سازگاری با تغییر اقلیم مورد توجه قرار نگرفته است. زعفران، به‌عنوان گیاهی سازگار با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، دارای ارزش اقتصادی قابل توجه در بازارهای جهانی است (Mohammadzadeh et al., 2023; Esar et al., 2024; Mehmeti et al., 2024). بازده اقتصادی مناسبی برای کشت در مناطق نیمه‌خشک مانند ایران برخوردار است (Niroomandfad et al., 2023; Niromand Fard et al., 2024). ایران به‌عنوان بزرگ‌ترین تولیدکننده زعفران، بیش از ۹۰ درصد زعفران جهان را تأمین می‌کند؛ به‌عنوان نمونه، در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱، تولید ۴۶۰ تن زعفران در ۱۲۳ هزار هکتار اراضی بارور، معادل ۹۲/۵ درصد کل تولید جهانی ثبت شده است (FAO, 2023; MAJI, 2023). مطالعه‌های متعددی نیز جنبه‌های مختلف این گیاه از جمله تأمین نهاده‌های کاشت، داشت و برداشت، فراوری، مدیریت مصرف آب، عملکرد، مصرف، بازار و تجارت آن را مورد بررسی قرار داده‌اند (Shahnoushi et al., 2020; Mohammadzadeh et al., 2020; Rezvani-Moghaddam, 2020; Kouzegaran et al., 2020; Kianimanesh et al., 2021; Fallahi et al., 2021; Abu-Izneid et al., 2022; Pirasteh-Anosheh et al., 2022; Hatefi Farajian et al., 2023; Akbari et al., 2023; Esar et al., 2024; Ziaei et al., 2024; Nazarian et al., 2024; Eghbalfat et al., 2024; Gandomzadeh et al., 2024).  
 در شکل (۱) روند تغییرات سطح زیر کشت و میزان تولید محصول زعفران طی سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۲ (۲۰۱۵-۲۰۲۳) در الگوی کشت دشت همدان - بهار نمایش داده شده است. تغییرات سطح زیر کشت با نوسانات قابل توجهی همراه بوده، به‌گونه‌ای که از حدود ۶/۴ هکتار در سال ۱۳۹۴ به ۱۲/۳ هکتار در سال ۱۳۹۷ و نهایتاً ۱۰/۲۹ هکتار در سال ۱۴۰۲ رسیده است (MAJI, 2023). این نوسانات می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله تغییرات اقلیمی، سیاست‌های حمایتی، قیمت

پیشنهادهای سیاستی حاصل از این مطالعه در ادامه با جزئیات بیشتر ارائه خواهد شد.

زعفران در شرایط تغییر اقلیم بر الگوی کشت و سود خالص کشاورزان در افق‌های زمانی و سناریوهای متفاوت ارزیابی و تحلیل شد. مدل‌های مورد استفاده، نتایج به دست آمده و



مأخذ. وزارت جهاد کشاورزی.

Source: Ministry of Agricultural Jihad.

شکل ۱- سطح زیر کشت و میزان تولید زعفران در دشت همدان - بهار

Figure 1- Cultivated area and production amount of saffron in Hamadan-Bahar plain.

تبدیل گردید. در ادامه، عملکرد زعفران و سایر محصولات منتخب در شرایط اقلیمی آینده با استفاده از مدل AquaCrop شبیه‌سازی شد. در نهایت، نتایج حاصل در قالب توسعه مدل اقتصادی منطقه‌ای برای دشت همدان-بهار، به منظور ارزیابی اقتصادی کشت زعفران با توجه به سناریوهای اقلیمی مختلف مورد استفاده قرار گرفت.

#### مرحله اول: شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی آینده

در گام نخست و با هدف پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی در دشت همدان - بهار، عملکرد مدل مولد اقلیمی LARS-WG<sup>1</sup> ارزیابی شد. به این منظور، از داده‌های مشاهداتی ایستگاه

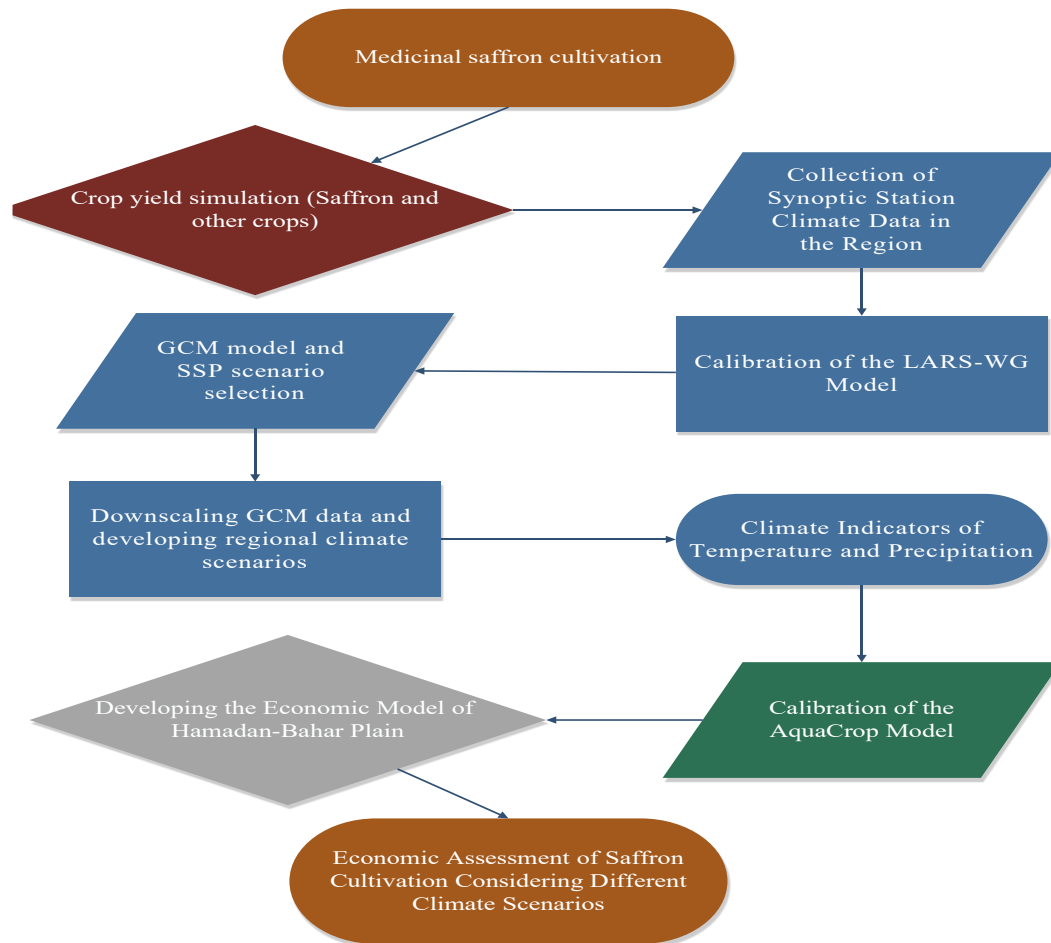
#### مواد و روش‌ها

در این مطالعه، به منظور ارزیابی اقتصادی کشت زعفران به عنوان گیاه دارویی مقاوم به خشکی جهت سازگاری با تغییر اقلیم در دشت همدان - بهار تحت تأثیر سناریوهای مختلف اقلیمی، از ترکیب مدل‌های اقلیمی، شبیه‌سازی عملکرد زراعی و تحلیل اقتصادی استفاده شده است. ابتدا اطلاعات اقلیمی ایستگاه سینوپتیک فرودگاه (همدان) در منطقه گردآوری و مدل LARS-WG برای ریزمقیاس‌سازی داده‌های اقلیمی و تولید سناریوهای دما و بارش در دوره آینده کالیبره شد. سپس با انتخاب مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) و سناریوهای اقلیمی SSP، داده‌های اقلیمی آینده تدوین و به مقیاس منطقه‌ای

1- Long Ashton Research Station Weather Generator (LARS-WG)

پیرسون<sup>۱</sup> در محیط Excel محاسبه شد.

سینوپتیک فرودگاه (همدان) استفاده و همبستگی بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده با بهره‌گیری از ضریب همبستگی



شکل ۲- فلوجارت روش‌شناسی تحقیق

Figure 2- Research methodology flowchart.

میانگین مربعات خطا<sup>۴</sup>، ضریب نش-ساتکلیف<sup>۵</sup> و میانگین انحراف خطا<sup>۶</sup> استفاده شد (روابط ۱ تا ۳). داده‌های ماهانه این مدل‌ها از پایگاه KNMI<sup>۷</sup> استخراج گردید (جدول ۱). پس از انتخاب مدل بهینه، شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی برای دوره آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۶) در یک دوره ۲۵ ساله انجام شد. داده‌های دوره پایه ۱۹۹۰-۲۰۱۴ جهت واسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت.

سپس، با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو<sup>۲</sup> درون نرم‌افزار LARS-WG، داده‌های اقلیمی آینده در قالب سه سناریوی اقلیمی (SSP3-7.0، SSP2-4.5، SSP1-2.6) برگرفته از پروژه CMIP6<sup>۳</sup> شبیه‌سازی گردید. با توجه به تنوع و تفاوت عملکرد مدل‌های GCM، برای انتخاب مناسب‌ترین مدل متناسب با شرایط اقلیمی منطقه، از سه شاخص آماری ریشه

5- Nash-Sutcliffe model efficiency coefficient (NSE)

6- Mean Bias Error (MBE)

7 - Royal Netherlands Meteorological Institute (<https://www.knmi.nl>)

1- Pearson Correlation Coefficient (PCC)

2- General Circulation Model (GCM)

3 - Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6)

4- Root Mean Square Error (RMSE)

جدول ۱- مدل‌ها و مؤسسات آماده‌سازی پروژه CMIP6  
Table 1- CMIP6 project preparation models & institutions

شماره Number	مدل Model	مؤسسات تحقیقاتی تدوین‌کننده مدل‌ها Research institutes developing models
1	ACCESS-CM2	استرالیا Australia
2	ACCESS-ESM1-5	استرالیا Australia
3	BCC-CSM2-MR	چین China
4	CNRM-CM6-1-HR	فرانسه France
5	FGOALS-g3	چین China
6	GFDL-ESM4	آمریکا USA
7	IPSL-CM6A-LR	فرانسه France
8	MIROC 6	ژاپن Japan
9	MPI-ESM1-2-HR	آلمان Germany
10	MRI-ESM2-0	ژاپن Japan

$$RMSE = \sqrt{\frac{(\sum_{t=1}^n A_t - F_t)^2}{n}} \quad (1)$$

$$MBE = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} \quad (2)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{\sum_{t=1}^n (A_t - \bar{A}_t)^2} \quad (3)$$

#### مرحله دوم: شبیه‌سازی عملکرد محصول با مدل AquaCrop

در مرحله دوم، عملکرد زراعی محصولات عمده منطقه از جمله، جو، جو دیم، چغندر قند، خیار، ذرت علوفه‌ای، سیب‌زمینی، سیر، شبدر، عدس دیم، کلزا، گندم، گندم دیم، گوجه‌فرنگی، لوبیا، نخود، هندوانه، هندوانه دیم و یونجه و همچنین گیاه دارویی زعفران تحت سناریوهای اقلیمی مختلف و در افق‌های زمانی آینده، با استفاده از مدل AquaCrop شبیه‌سازی شد. این مدل

همان‌طور که در بالا گفته شد در این مطالعه، برای ارزیابی عملکرد مدل‌های GCM و انتخاب مدل مناسب برای دشت مورد مطالعه، از سه شاخص آماری کلیدی استفاده شد: ۱. ریشه میانگین مربعات خطا که میزان انحراف بین مقادیر پیش‌نگری شده ( $F_t$ ) و واقعی ( $A_t$ ) را نشان می‌دهد و هر چه مقدار آن کمتر باشد، دقت مدل بیشتر است. ۲. ضریب نش ساتکلیف که میزان تطابق بین مقادیر پیش‌نگری شده ( $F_t$ ) و واقعی ( $A_t$ ) را نشان می‌دهد و مقادیر نزدیک به ۱ نشان‌دهنده تطابق بهتر مدل است. ۳. میانگین انحراف خطا این شاخص، میانگین اختلاف بین مقادیر پیش‌نگری شده ( $F_t$ ) و واقعی ( $A_t$ ) را نشان می‌دهد. MBE مثبت نشان‌دهنده پیش‌نگری بیش از حد و MBE منفی نشان‌دهنده پیش‌نگری کمتر از حد مدل است. MBE نزدیک به صفر نشان‌دهنده دقت بالاتر مدل است (Nemati et al., 2024).

$$\text{Maximize } \omega = (P \circ Y - C) \cdot X^T \quad (۳)$$

$$X = \begin{bmatrix} X_i \\ X_s \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{(N+S) \times 1}$$

$$P = \begin{bmatrix} P_i \\ P_s \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{(N+S) \times 1}$$

$$Y = \begin{bmatrix} Y_i \\ Y_s \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{(N+S) \times 1}$$

$$C = \begin{bmatrix} C_i \\ C_s \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{(N+S) \times 1}$$

st:

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_N \\ Y_{1S} \\ \vdots \\ Y_{SS} \end{bmatrix} \quad (۴)$$

$$Y_i = i \forall, f(CLIF, NCLIF) \in N$$

$$Y_s = s \forall, f(CLIF, NCLIF) \in S$$

$$AX \leq b \quad (۵)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \dots & 1 & 1 & \dots & 1 \\ W_{S_s} & \dots & W_{S_1} & W_N & \dots & W_1 \\ L_{S_s} & \dots & L_{S_1} & L_N & \dots & L_1 \\ M_{S_s} & \dots & M_{S_1} & M_N & \dots & M_1 \\ F_{S_s} & \dots & F_{S_1} & F_N & \dots & F_1 \\ I_{S_s} & \dots & I_{S_1} & I_N & \dots & I_1 \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} T_{Lan} \\ T_{Wat} \\ T_{Lab} \\ T_{Mac} \\ T_{Fert} \\ T_{Inv} \end{bmatrix}$$

$$C = \varphi + P_W \cdot W + P_L \cdot L + P_M \cdot M + P_F \cdot F + P_I \cdot I \quad (۶)$$

$$X \geq 0 \quad (۷)$$

در این مدل، اندیس  $i$  برای محصولات عمده منطقه و  $s$  برای گیاه دارویی زعفران در نظر گرفته شده است. دقت مدل به کیفیت داده‌های ورودی و ساختار محدودیت‌ها وابسته است.

که توسط سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد<sup>۱</sup> (FAO) توسعه یافته، بر مبنای فرآیندهای کلیدی گیاهی از جمله جذب آب، فتوسنتز و رشد عمل می‌کند و برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد محصول و نیاز آبی بسیار مناسب است.

ورودی‌های مدل شامل دو دسته شاخص بودند: ۱. شاخص‌های اقلیمی (CLIF) نظیر بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر، تبخیر-تعرق و CO<sub>2</sub> و ۲. شاخص‌های غیر اقلیمی (NCLIF) شامل اطلاعات مربوط به گیاه، مدیریت آبیاری و خاک. عملکرد محصول (Y) به صورت تابعی از این دو گروه متغیر در رابطه (۲) تعریف شد (Li et al., 2024):

$$Y = f(CLIF, NCLIF) \quad (۲)$$

مرحله سوم: بهینه‌سازی اقتصادی الگوی کشت با مدل برنامه‌ریزی ریاضی

در مرحله سوم، به منظور شبیه‌سازی رفتار کشاورزان در شرایط تغییر اقلیم، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی طراحی گردید. در این مدل، کشاورزان تصمیم‌گیرانی عقلایی فرض شدند که با هدف حداکثرسازی بازده خالص سالانه، اقدام به انتخاب ترکیب بهینه‌ای از محصولات می‌کنند. تابع هدف مدل در رابطه ۳ نمایش داده شده و ترکیب درآمد حاصل از فروش محصولات و هزینه‌های تولید را دربرمی‌گیرد. عملکرد محصولات (رابطه ۴) از خروجی‌های مرحله دوم استخراج شد. محدودیت‌های موجود در منابع تولیدی (زمین، آب، نیروی کار، ماشین‌آلات، کود و سرمایه) به صورت نابرابری‌های خطی در رابطه ۵ بیان شدند. همچنین، رابطه ۷ محدودیت غیرمنفی بودن سطح زیرکشت را اعمال می‌کند. هزینه تولید هر محصول (رابطه ۶) نیز از مجموع هزینه‌های ثابت و متغیر محاسبه شد. مدل مذکور به صورت زیر تعریف می‌شود:

از طریق مشاهدات میدانی در مزارع زیر کشت زعفران و سایر محصولات زراعی و با بهره‌گیری از روش نمونه‌گیری خوشه‌ای دومرحله‌ای جمع‌آوری گردید. در مرحله نخست، چهار بخش همدان، لاله‌جین، صالح‌آباد و مرکزی بهار با توجه به قرارگیری در محدوده‌های هم‌دما و هم‌بارش مشابه و دارا بودن شرایط اقلیمی یکسان، به‌عنوان خوشه‌های اصلی انتخاب شدند. در مرحله دوم، روستاهای واقع در هر بخش با توجه به یکنواختی در شرایط خاک و توپوگرافی، خوشه‌بندی شدند. در هر دو مرحله، نمونه‌گیری به‌صورت تصادفی ساده انجام گرفت تا نمایندگی مناسبی از جامعه آماری حاصل شود.

$$n = \frac{N\sigma^2}{(N-1)\frac{B^2}{4} + \sigma^2} \quad (8)$$

$$\Rightarrow \frac{1000 \times 0.351}{(1000-1) \times \frac{0.05^2}{4} + 0.351} = 360$$

در رابطه (۸)، نمادهای به‌کاررفته به این صورت تعریف می‌شوند:  $n$  بیانگر حجم نمونه موردنیاز،  $N$  تعداد کل بهره‌برداران زراعی در دشت،  $\sigma^2$  واریانس سود خالص و سطح زیرکشت محصولات (به‌ترتیب بر حسب تومان و هکتار) و  $B$  میزان خطای مجاز در برآورد میانگین جامعه با سطح اطمینان تقریبی ۹۵ درصد است. با استفاده از این روش، ۳۶۰ پرسش‌نامه از کشاورزان منطقه تکمیل گردید. نمونه انتخاب‌شده به‌گونه‌ای طراحی شد که تمامی محصولات زراعی منطقه را پوشش داده و تصویری جامع از ساختار تولید کشاورزی در منطقه ارائه دهد.

### نتایج و بحث

نتایج اولیه شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی با استفاده از مدل LARS-WG نشان داد که این مدل توانایی مطلوبی در بازتولید روند تغییرات بارش و دما در مقیاس منطقه‌ای دارد. به‌منظور اعتبارسنجی عملکرد مدل، آزمون همبستگی پیرسون میان داده‌های مشاهداتی ایستگاه سینوپتیک و مقادیر شبیه‌سازی شده

به‌منظور بهینه‌سازی الگوی کشت، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی با هدف حداکثرسازی سود خالص ( $w$ ) تدوین شد. در این مدل،  $X$  به‌عنوان متغیر تصمیم نشان‌دهنده سطح زیرکشت محصولات (هکتار) است،  $Y$  عملکرد محصولات (کیلوگرم در هکتار)،  $P$  قیمت فروش (تومان بر تن) و  $C$  هزینه تولید هر محصول (تومان در هکتار) را بیان می‌کند. تابع هدف مدل، سود خالص حاصل از تفاضل درآمد ( $P \circ Y$ ) و هزینه‌ها ( $C$ ) در سطح زیرکشت محصولات است. محدودیت‌های موجود شامل کل منابع زمین ( $T_{Lan}$ )، آب ( $T_{Wat}$ )، نیروی کار ( $T_{Lab}$ )، ماشین‌آلات ( $T_{Mac}$ )، کود و سم ( $T_{Fert}$ ) و سرمایه ( $T_{Inv}$ ) می‌باشند که در قالب رابطه  $AX \leq b$  اعمال گردیدند. این چارچوب امکان تحلیل اثر محدودیت منابع و تغییرات اقلیمی بر عملکرد و سودآوری کشاورزی منطقه را فراهم می‌سازد. با وجود تلاش در جهت بازنمایی واقع‌گرایانه فرآیند تصمیم‌گیری کشاورزان، مدل نمی‌تواند تمامی پیچیدگی‌های رفتار انسانی را در نظر گیرد. با این حال، چارچوب ارائه‌شده ابزار تحلیلی مناسبی برای بررسی پیامدهای اقتصادی تغییر اقلیم و سناریوهای بهینه‌سازی الگوی کشت در منطقه مورد مطالعه فراهم می‌آورد (Soltani et al., 2023).

جامعه آماری این تحقیق شامل اراضی واقع در دشت همدان - بهار، واقع در استان همدان است. این منطقه از نظر تقسیمات کشوری شامل دو شهرستان، چهار بخش و ۳۴ روستا بوده و با دارا بودن بیش از ۴۶ هزار هکتار اراضی زراعی، نقشی کلیدی در تولیدات کشاورزی استان ایفا می‌کند. همچنین، در زمینه برخی محصولات، سهم قابل توجهی در کشور دارد. برای گردآوری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز در این مطالعه، از پرسش‌نامه‌های طراحی‌شده که توسط کشاورزان دشت همدان - بهار در سال زراعی ۱۴۰۱-۰۲ تکمیل شد، استفاده گردید. همچنین بخشی از داده‌ها از طریق مراجعه به سازمان‌ها و نهادهای ذی‌ربط تأمین شد. اطلاعات مربوط به روابط فنی میان نهاده‌ها و محصولات،

اقليمی فاز ششم را با مقادير مشاهداتی ثبت شده در ايستگاه فرودگاه (همدان) مقايسه می کند. شاخص های آماری شامل خطای میانگین اریبی، ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب نش سانتکلیف برای پارامترهای بارش و دمای متوسط محاسبه شده اند. نتایج حاصل، نشان دهنده تطابق مناسب و خطای نسبتاً کم بین داده های شبیه سازی شده و مقادير مشاهداتی هستند. براین اساس، انتخاب مدل اقليمي مناسب برای دشت همدان با درجه اطمینان بالایی امکان پذیر خواهد بود.

مدل در دوره پایه اجرا شد. یافته ها حاکی از وجود همبستگی بسیار بالا و معنادار (در سطح ۱ درصد) بین داده های مشاهداتی و مقادير شبیه سازی شده بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر است. ضریب همبستگی برای بارش برابر ۰/۹۶ و برای دماهای حداقل و حداکثر برابر ۰/۹۸ به دست آمد؛ که نشان دهنده عملکرد قابل قبول مدل در شبیه سازی داده های اقليمي منطقه است. این نتایج، صحت و اعتبار خروجی های مدل LARS-WG را برای شرایط اقليمي دشت همدان - بهار به خوبی نشان داد. جدول ۲ نتایج ریزمقیاس نمایی داده های مشاهداتی مدل های

جدول ۲- مدل سازگار با متغیرهای اقليمي در ايستگاه فرودگاه (همدان) براساس شاخص های MBE، RMSE و NSE در دشت همدان - بهار

Table 2- A model compatible with climate variables at the airport station (Hamadan) based on MBE, RMSE & NSE indices in the Hamedan Plain - Spring

مدل گردش عمومی جو Model GCM	MBE	RMSE	NSE
ACCESS-CM2	6.68	8.96	0.62
ACCESS-ESM	14.60	19.11	-0.71
BCC-CSM2-MR	5.28	7.56	0.73
CNRM-CM6-1-HR	4.90	5.89	0.84
FGOALS-g3	7.20	10.19	0.51
GFDL-ESM4	2.87	3.31	0.95
IPSL-CM6A-LR	11.41	15.11	-0.07
MIROC 6	8.06	11.52	0.38
MPI-ESM1-2-HR	3.07	3.82	0.93
MRI-ESM2-0	6.77	8.47	0.66

مأخذ: یافته های تحقیق.

Source: Research findings.

همدان - بهار تحت تمامی سناریوهای اقليمي، در سال های آتی روندی کاهش می؛ درحالی که دمای حداقل و حداکثر در تمامی سناریوها نسبت به دوره پایه روندی افزایشی خواهد داشت. بیشترین کاهش بارش تحت سناریوی SSP3-7.0 مشاهده شده است. میزان کاهش بارش نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP3-7.0 به ترتیب برابر با ۳/۵۸، ۶/۴۵ و ۹/۶۴ درصد برآورد شده است. همچنین، افزایش دمای حداقل در این سناریوها به ترتیب برابر با ۰/۴۴، ۰/۸۱ و ۱/۲۶ درجه سانتی گراد و افزایش دمای حداکثر به ترتیب برابر با ۰/۵۳،

نتایج ارزیابی مدل های GCM با شاخص های MBE، RMSE و NSE نشان داد که مدل GFDL-ESM4 بیشترین تطابق را با داده های مشاهده ای منطقه مورد مطالعه دارد. مقدار بالا در شاخص NSE و مقادير پایین در شاخص های MBE و RMSE، بیانگر دقت بالای مدل GFDL-ESM4 در شبیه سازی داده های اقليمي منطقه است؛ بنابراین، مدل GFDL-ESM4 به عنوان مناسب ترین مدل برای پیش نگری تغییرات اقليمي آینده در منطقه انتخاب شد. بر اساس نتایج جداول ارائه شده، مجموع بارش در دشت

۰/۶۸ و ۰/۸۱ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. در گام بعد، خروجی‌های اقلیمی تولیدشده توسط مدل اقلیمی مورد استفاده برای شبیه‌سازی عملکرد محصولات زراعی موجود در الگوی کشت و زعفران با استفاده از مدل AquaCrop به کار گرفته شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که روند کاهش بارندگی و افزایش دما در آینده تأثیر منفی بر عملکرد محصولات زراعی

خواهد داشت، به طوری که کاهش عملکرد در سناریوی SSP3-7.0 نسبت به سناریوهای SSP1-2.6 و SSP2-4.5 چشمگیرتر است. با این حال، عملکرد زعفران در تمامی سناریوها افزایشی خواهد بود (جدول ۶)، که می‌تواند ناشی از سازگاری این گیاه با دمای بالا و نیاز آبی کم آن باشد.

جدول ۳- مقادیر ماهانه بلندمدت بارش پیش‌نگری شده با مدل منتخب در سناریوهای مختلف (میلی‌متر)

Table 3- Projected long-term monthly precipitation values with the selected model in different scenarios (mm)

ماه (میلادی) Month	مشاهداتی Obs.	سناریو SSP1-2.6 Scenario SSP1-2.6	سناریو SSP2-4.5 Scenario SSP2-4.5	سناریو SSP3-7.0 Scenario SSP3-7.0
1	29.98	30.74	31.57	31.03
2	38.87	39.18	36.53	36.60
3	51.04	47.03	50.76	39.53
4	47.81	47.06	42.66	41.18
5	22.52	27.25	24.86	24.77
6	3.31	6.47	4.91	3.64
7	3.38	3.51	4.61	4.20
8	2.09	1.25	1.96	0.95
9	1.36	1.20	2.87	2.48
10	21.67	20.30	19.62	16.74
11	41.86	30.35	27.87	29.15
12	38.49	38.85	35.96	39.49
مجموع Sum.	302.38	293.20	284.17	269.76
درصد تغییرات Percentage of changes (%)	-	-3.58	-6.45	-9.64

مأخذ: یافته‌های تحقیق.

Source: Research findings.

جدول ۴- مقادیر ماهانه بلندمدت دمای حداکثری پیش‌نگری شده با مدل منتخب در سناریوهای مختلف (سانتی‌گراد)

Table 4- Projected long-term monthly maximum temperature values with the selected model in different scenarios (Celsius)

ماه (میلادی) Month	مشاهداتی Obs	سناریو SSP1-2.6 Scenario SSP1-2.6	سناریو SSP2-4.5 Scenario SSP2-4.5	سناریو SSP3-7.0 Scenario SSP3-7.0
1	1.68	2.50	2.36	3.57
2	4.20	5.41	5.58	6.60
3	9.88	11.36	11.37	12.31
4	16.21	17.40	17.29	18.03
5	23.51	23.24	23.86	24.10
6	30.71	29.45	30.04	30.38
7	34.69	33.97	34.12	34.33
8	33.86	34.05	34.51	34.33
9	29.38	29.27	29.88	29.97
10	21.53	21.15	22.73	22.25
11	11.11	12.45	12.56	13.36
12	4.18	6.02	6.38	6.77
میانگین Average	18.41	18.85	19.22	19.67
میزان تغییرات The amount of changes	-	0.44	0.81	1.26

مأخذ: یافته‌های تحقیق.

Source: Research findings.

جدول ۵- مقادیر ماهانه بلندمدت دمای حداقلی پیش‌نگری شده با مدل منتخب در سناریوهای مختلف

Table 5- Projected long-term monthly minimum temperature values with the selected model in different scenarios (Celsius)

ماه (میلادی) Month	مشاهداتی Obs	سناریو SSP1-2.6 Scenario SSP1-2.6	سناریو SSP2-4.5 Scenario SSP2-4.5	سناریو SSP3-7.0 Scenario SSP3-7.0
1	-19.65	-11.19	-11.57	-10.97
2	-16.28	-7.76	-8.63	-8.22
3	-5.71	-3.70	-3.28	-3.64
4	2.72	0.83	0.93	1.02
5	7.27	3.90	4.25	4.40
6	10.94	7.40	7.81	7.70
7	14.88	11.36	11.81	11.85
8	13.69	10.84	10.39	10.90
9	8.90	6.00	5.98	6.15
10	3.61	0.69	1.39	1.29
11	-5.19	-4.68	-3.97	-3.55
12	-15.40	-7.59	-7.15	-7.41
میانگین Average	-0.02	0.51	0.66	0.79
میزان تغییرات The amount of changes	-	0.53	0.68	0.81

مأخذ: یافته‌های تحقیق.

Source: Research findings.

زیر کشت محصولات موجود در الگوی کشت و همچنین سودآوری کشاورزی دشت در سناریوهای مختلف فراهم شد. بررسی سطح زیر کشت محصولات موردبررسی و گیاه دارویی زعفران، نخستین مرحله از بخش شرایط تولید کشاورزی است. از این رو، سطح زیر کشت ۱۹ محصول منتخب تحت شرایط سه سناریوی اقلیمی طی ۲۵ سال آتی و دوره پایه در جدول ۷ آمده است.

بر اساس یافته‌های مطالعه و مطابق جدول ۷، طی ۲۵ سال موردبررسی در سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP3-7.0 به ترتیب بیشترین و کمترین سطح زیر کشت مربوط به محصول سیب‌زمینی و سیر خواهد بود. کاهش سطح زیر کشت سیر در سناریو SSP3-7.0 نسبت به حالت پایه ۹۹/۵۹ درصد خواهد بود. افزایش دما و کاهش بارش موجب تغییر الگوی کشت محصولات زراعی دشت همدان - بهار در سال‌های آتی می‌شود؛ در نتیجه سطح زیر کشت اغلب محصولات کاهش خواهد یافت؛ که این کاهش برای محصولات لوبیا و شبدر قابل توجه است و این محصولات تا سال ۲۰۵۰ سهم اندکی در کشاورزی منطقه

بر اساس شبیه‌سازی عملکرد محصولات تحت سناریوهای اقلیمی پیش‌نگری شده در دوره ۲۰۲۶ تا ۲۰۵۰، نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که عملکرد اغلب محصولات زراعی روند کاهشی دارند. این کاهش عمدتاً به دلیل کاهش بارندگی و افزایش دمای متوسط در سناریوهای مختلف (SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP3-7.0) است. با این حال، چغندر قند برخلاف این روند، اندکی افزایش عملکرد نشان می‌دهد، گرچه این افزایش نیز نسبت به دوره پایه محدود است. محصولات دیم به دلیل وابستگی بیشتر به شرایط جوی، کاهش عملکرد بیشتری را تجربه می‌کنند. در مقابل، زعفران به‌عنوان گیاهی مقاوم به خشکی، افزایش عملکرد نشان می‌دهد و این موضوع توانمندی آن را به‌عنوان یک گزینه جایگزین در شرایط تغییر اقلیم تأیید می‌کند.

در مرحله بعد، خروجی‌های شبیه‌سازی شده عملکرد، تحت سناریوهای مختلف اقلیمی، همان‌طور که پیش‌تر شرح داده شد، به‌عنوان پارامترهای ورودی در مدل اقتصادی توسعه یافته دشت به کار گرفته شدند. با این روش، امکان ارزیابی تغییرات سطح

خواهند داشت و محصول سیر از الگوی کشت حذف خواهد شد. پتانسیل اقتصادی قابل توجه برای تداوم و حتی گسترش کشت با توجه به اهمیت گندم و سیب‌زمینی به‌عنوان دو محصول راهبردی، تحلیل تغییرات سطح زیر کشت آن‌ها نشان‌دهنده این دو محصول است.

جدول ۶- شبیه‌سازی عملکرد محصولات الگوی کشت و زعفران در دوره آتی (۲۰۵۰-۲۰۲۶) بر اساس سناریوهای اقلیمی  
Table 6 – Projected yields of cropping pattern products and medicinal plants under climate scenarios for the period 2026–2050 (tons.ha<sup>-1</sup>)

محصول Crop	پایه Base	سناریو SSP1-2.6 Scenario SSP3-7.0	سناریو SSP2-4.5 Scenario SSP2-4.5	سناریو SSP3-7.0 Scenario SSP1-2.6
یونجه Alfalfa	10.20	10.17	10.15	10.12
جو Barley	3.77	3.67	3.65	3.62
لوبیا Beans	1.39	1.35	1.35	1.34
خیار Cucumber	21.06	20.63	20.56	20.43
سیر Garlic	4.50	4.47	4.46	4.45
ذرت علوفه‌ای Fodder corn	45.74	46.43	46.53	46.72
نخود Pea	1.15	1.11	1.10	1.09
سیب‌زمینی Potato	38.99	38.98	38.8	38.60
شیدر Clover	3.67	3.67	3.66	3.65
کلزا Canola	1.69	1.67	1.67	1.671
چغندر قند Sugar beet	48.15	48.06	48.01	48.00
گوجه‌فرنگی Tomato	35.52	34.62	34.50	34.29
هندوانه Watermelon	47.37	46.28	46.22	46.08
گندم Wheat	2.63	2.58	2.57	2.56
جو دیم Rain-fed barley	1.83	1.79	1.78	1.77
عدس دیم Rain-fed lentil	0.41	0.40	0.40	0.40
هندوانه دیم Rain-fed watermelon	0.72	0.71	0.71	0.71
گندم دیم Rain-fed wheat	0.43	0.42	0.42	0.42
زعفران* Saffron	0.007	0.00709	0.00710	0.00711

مأخذ: یافته‌های تحقیق.

Source: Research findings.

جدول ۷- پیش‌بینی تغییرات سطح زیر کشت محصولات منتخب در سه سناریوی اقلیمی طی دوره 2026-2050  
 Table 7- Projected changes in cultivation area of selected crops under three climate scenarios (2026-2050) (Hectares)

محصول Crop	پایه Base	سناریو SSP1-2.6 Scenario SSP3-7.0	سناریو SSP2-4.5 Scenario SSP2-4.5	سناریو SSP3-7.0 Scenario SSP1-2.6
یونجه Alfalfa	14302	-440	-423	-388
جو Barley	7666	-1176	-1204	-1268
لوبیا Beans	104	-37	-36	-36
خیار Cucumber	812	-284	-287	-292
سیر Garlic	1510	-1504	-1504	-1504
ذرت علوفه‌ای Fodder corn	570	286	289	292
نخود Pea	1550	1616	1616	1616
سیب‌زمینی Potato	13247	10874	10871	10866
شیدر Clover	521	-386	-386	-384
کلزا Canola	125	72	72	73
چغندر قند Sugar beet	48	17	17	17
گوجه‌فرنگی Tomato	66	-20	-19	-18
هندوانه Watermelon	482	-121	-122	-125
گندم Wheat	16788	4962	4962	4962
جو دیم Rain-fed barley	11235	-6741	-6741	-6741
عدس دیم Rain-fed lentil	282	-188	-186	-181
هندوانه دیم Rain-fed watermelon	473	-331	-331	-331
گندم دیم Rain-fed wheat	73358	-6728	-6716	-6689
زعفران Saffron	8	127	128	130

مأخذ: یافته‌های تحقیق.

Source: Research findings.

بارندگی و افزایش دما، سطح زیر کشت محصولات دیم شامل گندم، جو، هندولنه و عدس در تمامی سناریوها کاهش خواهد یافت که این امر بیانگر تمایل کشاورزان منطقه به کشت محصولات مقاوم به خشکی به جای محصولات دیم خواهند

در بین صیفی‌جات، هندوانه (آبی و دیم) کمترین میزان کاهش در سطح زیر کشت را خواهد داشت به طوری که متوسط کاهش تا سال ۲۰۵۰ در تمامی سناریوها حدود ۴۵۳ هکتار پیش‌نگری شده است. نتایج نشان می‌دهد که در صورت کاهش

بهره برد. سود کشاورزان تحت تأثیر شرایط اقلیمی در ادامه بررسی شده است. به عبارت دیگر، تأثیر تغییرات اقلیمی بر سود کشاورزان طی ۲۵ سال مورد مطالعه در سناریوهای مختلف اقلیمی ارزیابی شده است که نتایج آن در جدول ۸ ارائه شده است.

داشت. همچنین در خصوص محصول زعفران، سطح زیر کشت در سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP3-7.0 به ترتیب برابر ۱۳۵، ۱۳۶ و ۱۳۸ هکتار خواهد بود. در نهایت، محصول زعفران با افزایش بسیار قابل توجهی در سطح زیر کشت مواجه خواهد شد که نشان می‌دهد می‌توان از زعفران به عنوان کشت جایگزین برای جبران کاهش سطح زیر کشت محصولات دیم

جدول ۸- پیش‌بینی تغییرات سود خالص کشاورزی دشت همدان-بهار تحت سناریوهای اقلیمی با و بدون زعفران  
Table 8- Forecasted changes in the net agricultural profit of Hamadan-Bahar plain under climate scenarios with and without saffron (Billion tomans)

سناریو Scenario	پایه Base	دوره آتی ۲۰۲۶-۲۰۵۰ Future period 2026-2050		تفاوت سود خالص شبیه‌سازی شده Simulated net profit difference
		حذف زعفران از الگوی کشت Removal of saffron from the cultivation pattern	افزودن زعفران به الگوی کشت Adding saffron to the cultivation pattern	
SSP1-2.6	864.15	863.85	869.97	6.12
SSP2-4.5	864.15	860.82	866.93	6.10
SSP3-7.0	864.15	856.04	862.12	6.07

مأخذ: یافته‌های تحقیق.  
Source: Research findings.

حدود ۶ میلیارد تومان از این خسارت جبران خواهد شد. در سناریوی SSP2-4.5، با افزودن زعفران به الگوی کشت منطقه حدود ۳ میلیارد تومان افزایش سود خالص در دوره آتی به همراه خواهد داشت. همچنین در سناریوی SSP1-2.6، مطابق شرایط سناریوی SSP2-4.5، افزایش سود خالص به میزان ۶ میلیارد تومان پیش‌بینی شده است.

### نتیجه‌گیری

زعفران، این طلای سرخ، علاوه بر صنایع غذایی، در طب سنتی و داروسازی نیز کاربرد گسترده‌ای دارد. این گیاه با ارزش که بومی ایران است، به‌طور عمده در استان‌های خراسان رضوی، خراسان جنوبی، اصفهان و فارس کشت می‌شود که به دلیل خواص دارویی، طعم و رنگ منحصر به فرد، همواره مورد توجه بوده است و از دیرباز به‌عنوان کالای صادراتی مهم ایران شناخته شده است. کشت زعفران نیازمند شرایط آب‌وهوایی خاص و

در این پژوهش، به‌منظور تحلیل تأثیر افزودن زعفران به الگوی کشت، سود خالص بخش کشاورزی در دو حالت افزودن زعفران و حذف زعفران برای هر یک از سناریوهای اقلیمی شبیه‌سازی شد. سپس اختلاف بین این دو حالت به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی نقش اقتصادی زعفران در شرایط تغییر اقلیم محاسبه گردید. این شاخص نشان می‌دهد که افزودن زعفران تا چه میزان می‌تواند کاهش سود ناشی از تغییرات اقلیمی را جبران کرده و یا حتی به بهبود وضعیت اقتصادی کشاورزی منطقه کمک نماید. بر اساس جدول مذکور، در شرایط تغییرات اقلیمی، کشاورزان با افزودن زعفران به الگوی کشت، افزایش سود محسوسی را در سناریوهای SSP2-4.5 و SSP1-2.6 تجربه می‌کنند، اما در سناریوی SSP3-7.0 کاهش سود خواهند داشت. به‌طوری‌که در سناریوی SSP3-7.0، نسبت به دو سناریوی دیگر، ۹ میلیارد تومان کاهش سود خالص در دوره آتی پیش‌بینی شده است، اما با افزودن زعفران به الگوی کشت،

کشاورزان خواهد داشت. میزان بارندگی در این سناریو ۵۱/۶ میلی‌متر کمتر از دو سناریوی دیگر است که این یافته‌ها با نتایج مطالعات قبلی ( Moazzezi et al., 2020; Soltani et al., 2025; Kalantar et al., 2023) همخوانی دارد و تأثیرگذاری تغییرات اقلیم بر بخش کشاورزی در منطقه را تأیید می‌کند. در حالی که تغییرات اقلیمی تأثیر منفی بر عملکرد سایر محصولات زراعی داشته، عملکرد زعفران بهبود یافته است. زعفران به دلیل مقاومت به خشکی و ارزش اقتصادی و دارویی، جایگاه ویژه‌ای در میان محصولات جایگزین یافته است. شبیه‌سازی عملکرد محصولات نشان می‌دهد که افزایش سطح زیر کشت زعفران می‌تواند به‌طور متوسط سود خالصی معادل ۷ میلیارد تومان ایجاد کند که تا حدودی جبران خسارات ناشی از تغییرات اقلیمی را ممکن می‌سازد. از آنجایی که اثرات تغییر اقلیم اصولاً غیرقابل اجتناب است، سازگاری با این شرایط و کاهش خسارات این بخش نیازمند برنامه‌ریزی مبتنی بر شرایط جدید است؛ حتی در بدترین سناریوهای اقلیمی، می‌توان با بهره‌گیری از راهبردهای پیشنهادی در مطالعات پیشین و کشت زعفران، بخشی از خسارات را جبران کرد و بهره‌گیری از سایر گیاهان دارویی مقاوم به خشکی نیز می‌تواند در غنی‌سازی الگوی کشت منطقه مؤثر باشد.

مراقبت دقیق است و برداشت آن باید به‌صورت دستی و در زمان مناسب صورت گیرد تا کیفیت محصول حفظ گردد. باتوجه‌به اهمیت اقتصادی و فرهنگی زعفران، توسعه کشت این گیاه و حمایت از کشاورزان زعفران‌کار می‌تواند نقش مهمی در توسعه پایدار بخش کشاورزی و اقتصاد کشور ایفا کند. تغییرات اقلیمی، پدیده‌ای اجتناب‌ناپذیر در سطح جهان است که تأثیرات قابل‌توجهی بر کشورهای ایران با اقلیم خشک و نیمه‌خشک داشته است. بخش کشاورزی که یکی از بخش‌های مهم اقتصاد کشور است، از این تغییرات تأثیر پذیرفته و با کاهش تولید و سود خالص کشاورزان و افزایش قیمت محصولات مواجه شده است که چالش‌های جدی در مسیر توسعه کشاورزی ایجاد کرده است. این مطالعه به بررسی کشت زعفران به‌عنوان راهکاری جهت سازگار با تغییرات اقلیمی در دشت همدان - بهار، طی دوره زمانی ۲۰۲۶ تا ۲۰۵۰ پرداخته است. در این مطالعه، تأثیر سناریوهای اقلیمی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP3-7.0 بر بارندگی، دما، سطح زیر کشت و سود خالص بررسی شده و نقش زعفران به‌عنوان محصول جایگزین در این شرایط ارزیابی شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که سناریوی بحرانی SSP3-7.0 بیشترین تأثیر را بر کاهش بارندگی، افزایش دما و کاهش سطح زیر کشت و سود خالص

## منابع

- Abedi Sarvestani, A., Ezzati Sarvary, N., & Abdollahzadeh, G. H. (2021). Water conflict and Its management strategies among users of shared water wells: The case study of farmers in bahar county of Hamadan province. *Water Resources Engineering*, 14 (49), 1-12. <https://doi.org/10.30495/wej.2021.20612.2126>
- Abu-Izneid, T., Rauf, A., Khalil, A. A., Olatunde, A., Khalid, A., Alhumaydhi, F. A., & Rengasamy, K. R. (2022). Nutritional and health beneficial properties of saffron (*Crocus sativus* L.): a Comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 62 (10), 2683-2706. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1857682>
- Afruzi, A., Zare Abyaneh, H., & Abdolabadi, H. (2021). Local strategies to manage groundwater depletion under climate change scenarios—a case study: Hamedan-Bahar plain (Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, 14 (15), 1548. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07773-1>

- Akbari, A., Ziaei, A., Naghedifar, S. M., Rezvani Moghaddam, P., & Gholami Sharafkhane, M. (2023). Improving saffron irrigation scheduling using field measurements and plant modeling. *Saffron Agronomy & Technology*, *11* (1), 53-69. (In Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22048/jsat.2023.386578.1481>
- Akbari, M., Talebanfard, A., Pakdin, M., & Shahrokhi, M. (2024). Developing and prioritizing desertification risk management strategies using scenario planning in Khorasan Razavi Province. *Desert Ecosystem Engineering*, *12* (39), 1-22. <https://doi.org/10.22052/deej.2024.253646.1023>
- Akbarian, M., Saghafian, B., & Golian, S. (2023). Monthly streamflow forecasting by machine learning methods using dynamic weather prediction model outputs over Iran. *Journal of Hydrology*, *620*, 129480. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129480>
- Alavinia, S. H., & Zarei, M. (2021). Analysis of spatial changes of extreme precipitation and temperature in Iran over a 50-year period. *International Journal of Climatology*, *41* (1), 2269-2289.
- Allan, R. P., Barlow, M., Byrne, M. P., Cherchi, A., Douville, H., Fowler, H. J., & Zolina, O. (2020). Advances in understanding large-scale responses of the water cycle to climate change. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1472* (1), 49-75. <https://doi.org/10.1111/nyas.14337>
- Asadollah, S. B. H. S., Sharafati, A., & Shahid, S. (2022). Application of ensemble machine learning model in downscaling and projecting climate variables over different climate regions in Iran. *Environmental Science & Pollution Research*, 1-20. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16964-y>
- Azizi-Khalkheili, T., Razzaghi Borkhani, F., Khasti, M., & Farhadi, F. (2023). Explaining the factors related to the development of medicinal plant cultivation and the improvement of the employment status of farmers from the experts' perspective in Mazandaran province. *Journal of Entrepreneurship & Agriculture*, *10* (2), 61-72. <https://doi.org/10.61186/jea.10.20.57>
- Bahrami, M., & Mahmoudi, M. R. (2022). Long-term temporal trend analysis of climatic parameters using polynomial regression analysis over the Fasa Plain, southern Iran. *Meteorology & Atmospheric Physics*, *134* (2), 42. <https://doi.org/10.1007/s00703-022-00875-9>
- Bruhwieler, L., Basu, S., Butler, J. H., Chatterjee, A., Dlugokencky, E., Kenney, M. A., & Stanitski, D. (2021). Observations of greenhouse gases as climate indicators. *Climatic Change*, *165* (1), 12. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03001-7>
- Calleja-Cabrera, J., Boter, M., Oñate-Sánchez, L., & Pernas, M. (2020). Root growth adaptation to climate change in crops. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 544. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00544>
- Darvishi Bolorani, A., Soleimani, M., Neysani Samany, N., Bakhtiari, M., Qareqani, M., Papi, R., & Mirzaei, S. (2023). Assessment of rural vulnerability to sand and dust storms in Iran. *Atmosphere*, *14* (2), 281. <https://doi.org/10.3390/atmos14020281>
- Eghbalsefat, F., Mojaverian, M., Asadpoor, H., & Shirzadi Laskookalayeh, S. (2024). Determining the efficiency of saffron export target markets according to Iran's policy approach. *Agricultural Economics*, *18* (2), 65-92. <https://doi.org/10.22034/iaes.2023.2007780.2008>
- Esar, B. A., Singh, G., & Younisi, H. (2024). Afghanistan saffron and potential for the economy: An overview of international trade and domestic well being. *Agricultural Reviews*, *45* (2), 297-303. <https://doi.org/10.18805/ag.RF-290>
- Fallahi, H. R., Aghhavani-Shajari, M., Sahabi, H., Behdani, M. A., Sayyari-Zohan, M. H., & Vatandoost, S. (2021). Influence of some pre and

- post-harvest practices on quality of saffron stigmata. *Scientia Horticulturae*, 278, 109846. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109846>
- FAO (2023). *Qanat-based Saffron Farming System in Gonabad, Iran*. Retrieved June 17, 2023, Retrieved from <https://www.fao.org/giahs/giahsaroundtheworld/designated-sites/asia-and-the-pacific/qanat-based-saffron-farming-system-in-gonabad-iran/en/>
- Fereidooni, L., Tahmasebi, Z., Kahrizi, D., Safari, H., & Arminian, A. (2024). Evaluation of drought resistance of Camelina (*Camelina sativa L.*) doubled haploid lines in the climate conditions of Kermanshah province. *Agrotechniques in Industrial Crops*, 4 (3), 134-146. <https://doi.org/10.22126/atic.2023.9570.1111>
- Franke, J. A., Müller, C., Minoli, S., Elliott, J., Folberth, C., Gardner, C., & Moyer, E. J. (2022). Agricultural breadbaskets shift poleward given adaptive farmer behavior under climate change. *Global Change Biology*, 28 (1), 167-181. <https://doi.org/10.1111/gcb.15868>
- Gandomzadeh, D., Saeidirad, M. H., Sabeghi, Y., Rohani, A., Azarpazhooh, E., Saeidirad, Y., & Ramaswamy, H. S. (2024). A comprehensive review of drying techniques and quality for saffron. *Journal of Food Measurement & Characterisation*, 18 (10), 8218-8232. <https://doi.org/10.1007/s11694-024-02795-1>
- Ghafouri, S., Safaeian, R., Ghanbarian, G., Lautenschläger, T., & Ghafouri, E. (2025). Medicinal plants used by local communities in southern Fars Province, Iran. *Scientific Reports*, 15 (1), 5742. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-88341-5>
- Ghazi, B., Salehi, H., Cheshami, M., Zeydilinejad, N., & Linh, N. T. T. (2025). Projection of climate change impact on main climate variables and assessment of the future of Köppen–Geiger climate classification in Iran. *Acta Geophysica*, 73 (2), 2017-2027. <https://doi.org/10.1007/s11600-024-01457-6>
- Ghobadi, A., Cheraghi, M., Sobhanardakani, S., Lorestani, B., & Merrikhpour, H. (2020). Hydrogeochemical characteristics, temporal, and spatial variations for evaluation of groundwater quality of Hamedan–Bahar Plain as a major agricultural region, West of Iran. *Environmental Earth Sciences*, 79 (18), 428. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09177-y>
- Gupta, A., Rico-Medina, A., & Caño-Delgado, A. I. (2020). The physiology of plant responses to drought. *Science*, 368 (6488), 266-269. <https://doi.org/10.1126/science.aaz7614>
- Hatefi Farajian, M. H., Rezvani Moghaddam, P., & Khorramdel, S. (2023). Investigating the situation of saffron farmers and agricultural factors effective in saffron yield in Khorasan provinces. *Journal of Saffron Research*, 11 (2), 362-380. (In Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22077/jsr.2023.6859.1228>
- Heydari, M., Yousefi, A., Rostami, F., & Hosseini Sedigh, S. M. (2020). Agro-climate zoning of saffron cultivation in Hamedan province: An approach to change the pattern of cultivation. *Geography & Environmental Planning*, 30 (4), 99-114. <https://doi.org/10.22108/gep.2020.120482.1239>
- Jamshidi, O., Asadi, A., Kalantari, K., Azadi, H., & Scheffran, J. (2019). Vulnerability to climate change of smallholder farmers in the Hamadan province, Iran. *Climate Risk Management*, 23, 146-159. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2018.06.002>
- Javadi, A., Ghahremanzadeh, M., Sassi, M., Javanbakht, O., & Hayati, B. (2023). Economic evaluation of the climate changes on food security in Iran: application of CGE model. *Theoretical & Applied Climatology*, 151 (1), 567-585. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04289-w>
- Javan, K., & Movaghari, A. (2024). Trend analysis of temperature changes in Northwest of Iran using extreme indices and its relation to

- atmospheric circulation. *Water & Soil*, 38 (5), 629-647.  
<https://doi.org/10.22067/jsw.2024.86169.1366>
- Kafaie Ghaeini, A., Soltani, A., Deihimfard, R., & Ajam Norouzi, H. (2023). Modifying sowing date as an adaptation strategy to climate change in grain maize (*Zea mays* L.) under mild-arid climates as simulated by the SSM-Maize Model. *International Journal of Plant Production*, 17 (3), 437-447. <https://doi.org/10.1007/s42106-023-00252-5>
- Karbasi, A., & Zandi Dareh Gharibi, B. (2022). Economic aspects of saffron in the world. In *The Saffron Genome* (pp. 275-287). Cham: Springer International Publishing.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-031-10000-0\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-031-10000-0_16)
- Karimi, M., Tabiee, M., Karami, S., Karimi, V., & Karamidehkordi, E. (2024). Climate change and water scarcity impacts on sustainability in semi-arid areas: Lessons from the South of Iran. *Groundwater for Sustainable Development*, 24, 101075.  
<https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.101075>
- Kalantar, V., Mousavi, S. H., & Najafi Alamdarloo, H. (2025). Russian olive and improving water resource productivity: A strategic approach for agricultural sustainability in arid regions. *Agricultural Economics & Development*. [In Press].  
<https://doi.org/10.30490/aead.2025.367411.1667>
- Kalantar, V., Mousavi, S. H., & Najafi Alamdarloo, H. (2025). Assessing the economic potential of sumac cultivation as a drought adaptation strategy in agriculture. *Agricultural Economics*.  
<https://doi.org/10.22034/iaes.2025.2058542.2122>
- Kheyruri, Y., Sharafati, A., & Neshat, A. (2023). The socioeconomic impact of severe droughts on agricultural lands over different provinces of Iran. *Agricultural Water Management*, 289 (30), 21-33.
- Kianimanesh, K., Jaimand, K., Lebaschi, M. H., Tabaei-Aghdaei, S. R., & Karimi, S. (2021). Essential oils from flower petals of saffron (*Crocus sativus*). *Journal of Ethno-Pharmaceutical Products*, 2 (2), 78-84.
- Kim, K. H., & Lee, B. M. (2023). Effects of climate change and drought tolerance on maize growth. *Plants*, 12 (20), 3548.  
<https://doi.org/10.3390/plants12203548>
- Kouzegaran, S., Mousavi Baygi, M., Babaeian, I., & Khashei-Siuki, A. (2020). Modeling of the saffron yield in Central Khorasan region based on meteorological extreme events. *Theoretical & Applied Climatology*, 139, 1207-1217.  
<https://doi.org/10.1007/s00704-019-03028-y>
- Li, Y., Li, N., Javed, T., Pulatov, A. S., & Yang, Q. (2024). Cotton yield responses to climate change and adaptability of sowing date simulated by AquaCrop model. *Industrial Crops & Products*, 212, 118319.  
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118319>
- Ling, X., & Ma, J. (2024). Future research trends and directions in breeding drought-resistant agricultural varieties. *Geographical Research Bulletin*, 3, 179-182.  
[https://doi.org/10.50908/grb.3.0\\_179](https://doi.org/10.50908/grb.3.0_179)
- Mahdavian, S. M., Askari, F., Kioumars, H., Naseri Harsini, R., Dehghanzadeh, H., & Saboori, B. (2024). Modeling the linkage between climate change, CH4 emissions, and land use with Iran's livestock production: A food security perspective. In *Natural Resources Forum*. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.  
<https://doi.org/10.1111/1477-8947.12532>
- Majidian, P., Ghorbani, H. R., & Farajpour, M. (2024). Achieving agricultural sustainability through soybean production in Iran: Potential and challenges. *Heliyon*, 10 (4).
- Mehmeti, A., C&ido, V., Canaj, K., Castronuovo, D., Perniola, M., D'Antonio, P., & Cardone, L. (2024). Energy, environmental, & economic sustainability of saffron cultivation: insights from the first European (Italian) case study. *Sustainability*, 16 (3), 1179.

- MAJI. (2023). Ministry of Agriculture Jihad Iran. Agricultural statistics yearbook (2022–2023). <https://pbiamar.maj.ir/managementreport/powerbi/DataBank/GardenBIRreport?rs:embed=true>
- MAHI. (2023). Ministry of Agriculture of Hamadan Province Iran. Agricultural statistics yearbook (2022–2023). <https://hm.agri-jahad.ir/cultivation-pattern>
- Moazzezi, F., Mosavi, S. H., Yavari, G., & Bagheri, M. (2021). Assessing the impact of climate change on food security and economic welfare: case study Hamedan-Bahar plain. *Quarterly Journal of Agricultural Economics & Development*, 29 (114), 249-292. <https://doi.org/10.30490/aead.2021.352780.1288>
- Moazzezi, F., Yavari, G. R., Mosavi, S. H., & Bagheri, M. (2020). Assessing the impact of climate change on agriculture in Hamedan-Bahar plain with emphasis on water productivity and food security. *Journal of Agricultural Economics & Development*, 34 (49), 305-323. <https://doi.org/10.22067/jead.2020.17793.0>
- Mohammadzadeh, S. H., Karbasi, A., & Mohammadi, H. (2020). Analysis of competitiveness of Iran's saffron exporting companies in global markets. *Saffron Agronomy & Technology*, 8 (2), 261-276. (In Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22048/jsat.2019.174203.1337>
- Mosavi, S. H., Soltani, S., & Khalilian, S. (2020). Coping with climate change in agriculture: Evidence from Hamadan-Bahar plain in Iran. *Agricultural Water Management*, 241, 106332. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106332>
- Motaghed, M., & Choobchian, S. (2024). Investigating and identifying indicators of water security in agricultural farming units of Hamedan province. *Iranian Journal of Agricultural Economics & Development Research*, 55 (2), 331-349. <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2023.358622.669217>
- Motaghed, M., Shabanali Fami, H., Asadi, A., & Kalantari, K. (2024). Factors affecting small farm resilience to climate change in Hamedan Province, Iran: a structural model analysis. *Regional Environmental Change*, 24 (3), 134. <https://doi.org/10.1007/s10113-024-02295-4>
- Motamedi, A., Gohari, A., & Haghghi, A. T. (2023). Three-decade assessment of dry and wet spells change across Iran, a fingerprint of climate change. *Scientific Reports*, 13 (1), 2888. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30040-0>
- Mousavi, S. A., Porhaghighat, S., Amini, J., & Janjani, H. (2022). Study of the drought status and its impact on groundwater resources: case study, Hamadan, Iran. *Environmental Quality Management*, 31 (4), 177-182. <https://doi.org/10.1002/tqem.21794>
- Nadjafi, F., & Schulz, H. (2023). The current situation of medicinal and aromatic plants' industry, research, education, and standardization in Iran. How can traditional persian medicine products be successfully adapted to the needs of the European market?. *In Medicinal Plants used in Traditional Persian Medicine*, 435-450. GB: CABI. <https://doi.org/10.1079/9781800621671.0015>
- Nazarian, R., Mahalati, M. N., Sahabi, H., & Feizi, H. (2024). Comparison quality parameters of saffron (*Crocus sativus* L.) produced in Herat, Afghanistan and Torbat Heydarieh, Iran. *Advances in Horticultural Science*, 38 (1), 75-81. <https://doi.org/10.36253/ahsc-14920>
- Nemati Shishehgaran, N., Babaeian, F., & Mianabadi, H. (2024). Comparison of CMIP6 climate models and quantile mapping bias correction methods in the simulation of precipitation. *Iranian Journal of Soil & Water Research*, 54 (12), 1843-1862. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.362445.669538>
- Niazkar, M., Goodarzi, M. R., Fatehifar, A., & Abedi, M. J. (2023). Machine learning-based downscaling: Application of multi-gene genetic

- programming for downscaling daily temperature at Dogonbadan, Iran, under CMIP6 scenarios. *Theoretical & Applied Climatology*, 151 (1), 153-168. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04274-3>
- Niromand Fard, F., Khashei Siuki, A., Hashemi, S. R., & Ghorbani, K. (2024). Assessment of the effect of climate change on the yields and water footprint of crops in arid area. *Journal of Water & Climate Change*, 15 (8), 3888-3901. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.149>
- Niroomandfad, F., Khashei Siuki, A., Hashemi, S. R., & Ghorbani, K. (2023). Investigating the water footprint of saffron production in Birjand plain under climate change conditions. *Saffron Agronomy & Technology*, 11 (3), 301-320. (In Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22048/jsat.2023.413847.1506>
- Pirasteh-Anosheh, H., Hashemi, S. E., Del Borghi, A., Spasiano, D., Rad, M., & Race, M. (2022). Feasibility study of saffron cultivation using a semi-saline water by managing planting date, a new statement. *Environmental Research*, 203, 111853. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111853>
- Rafiemehr, H., & Kaleji, L. K. (2021). Analyzing the spatio-temporal correlation between the changes in land use and groundwater quantity in Hamedan-Bahar Plain (Iran). *Advanced Environmental Sciences*, 19 (1), 259-276. <http://dx.doi.org/10.52547/envs.29307>
- Rastegaripour, F., Tavassoli, A., Babaeian, M., Fernández-Gálvez, J., & Caballero-Calvo, A. (2024). Assessing the impacts of climate change on water resource management and crop patterns in Eastern Iran. *Agricultural Water Management*, 295, 108774. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108774>
- Rauschkolb, R., Li, Z., Godefroid, S., Dixon, L., Durka, W., Majekova, M., ... & Scheepens, J. F. (2022). Evolution of plant drought strategies and herbivore tolerance after two decades of climate change. *New Phytologist*, 235 (2), 773-785. <https://doi.org/10.1111/nph.18125>
- Rezazadeh, A. A., Avami, A., & Baghshah, M. S. (2024). Climatic scenario-based integrated recurrent ensemble model for energy demand forecasting. *Energy & Buildings*, 310, 114103. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114103>
- Rezvani-Moghaddam, P. (2020). Ecophysiology of saffron. In Saffron (pp. 119-137). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818638-1.00008-3>
- Rivero, R. M., Mittler, R., Blumwald, E., & Zandalinas, S. I. (2022). Developing climate-resilient crops: improving plant tolerance to stress combination. *The Plant Journal*, 109 (2), 373-389. <https://doi.org/10.1111/tpj.15483>
- Sarami-Foroushani, T., Balali, H., Movahedi, R., & Partelow, S. (2024). Indicator assessment of groundwater resource sustainability: Using the framework of socio-ecological systems in Hamedan-Bahar Plain, Iran. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 54, 101889. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101889>
- Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C. A., Smith, A., & Turner, B. (2020). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375 (1794), 20190120. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>
- Shahnoushi, N., Abolhassani, L., Kavakebi, V., Reed, M., & Saghaian, S. (2020). Economic analysis of saffron production. In Saffron (pp. 337-356). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818638-1.00021-6>
- Shahzad, A., Ullah, S., Dar, A. A., Sardar, M. F., Mehmood, T., Tufail, M. A., & Haris, M. (2021). Nexus on climate change: Agriculture and possible solution to cope future climate change stresses. *Environmental Science & Pollution Research*, 28, 14211-14232. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12649-8>
- Sharafi, S., & Mir Karim, N. (2020). Investigating

- trend changes of annual mean temperature and precipitation in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05695-y>
- Sheikh, Z. A., Ashraf, S., Weesakul, S., Ali, M., & Hanh, N. C. (2024). Impact of climate change on farmers and adaptation strategies in Rangsit, Thailand. *Environmental Challenges*, 15, 100902. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100902>
- Soltani, S., Mosavi, S. H., Khalilian, S., & Najafi Alamdarlo, H. (2023). The effects of climate change and climate variability on economic surplus of producers and consumers in the agricultural sector of Hamadan–Bahar plain. *Iranian Journal of Agricultural Economics & Development Research*, 54 (1), 53-72. . <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2022.341524.669140>
- Soltani, S., Mosavi, S. H., Khalilian, S., & Najafi Alamdarlo, H. (2023). The effects of climate change and climate variability on economic surplus of producers and consumers in the agricultural sector of Hamadan–Bahar plain. *Iranian Journal of Agricultural Economics & Development Research*, 54 (1), 53-72. <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2022.341524.669140>
- Soltani, S., Mosavi, S. H., Saghaian, S. H., Azhdari, S., Alamdarlo, H. N., & Khalilian, S. (2023). Climate change and energy use efficiency in arid and semiarid agricultural areas: A case study of Hamadan-Bahar plain in Iran. *Energy*, 268, 126553. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126553>
- Spalevic, V., Janmohammadi, M., Sabaghnia, N., & Kader, S. (2025). Adapting to climate change in semiarid regions via conservation measures: climate-smart crop rotations of food legumes in cool seasons. *Turkish Journal of Agriculture & Forestry*, 49 (2), 242-259. <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3262>
- Suleimany, M., Gonbad, M. R. S., Naghibizadeh, S., & Niri, S. D. (2025). Artificial intelligence as a tool for building more resilient cities in the climate change era: A systematic literature review. *Artificial Intelligence & Machine Learning Applications for Sustainable Development*, 60-81.
- Tavakoli, M., & Mokhtari Karchegani, A. (2024). Analysis of the effectiveness of indigenous knowledge in the coastal villages of Chabahar County in reducing flood risk. *International Journal of Coastal, Offshore & Environmental Engineering (ijcoe)*, 9 (3), 24-42. <https://doi.org/10.22034/ijcoe.2024.459937.1084>
- Wróbel, J., Gałczyńska, M., Tański, A., Korzelecka-Orkisz, A., & Formicki, K. (2023). The challenges of aquaculture in protecting the aquatic ecosystems in the context of climate changes. *Journal of Water & Land Development*, 57 (IV–VI), 231-241. <https://doi.org/10.24425/jwld.2023.145354>
- Ziaei, S. M., Feizi, H., Siuki, A. K., & Sahabi, H. (2024). Yield and quality of saffron (*Crocus sativus* L.) in response to priming treatments and water deficit. *Italian Journal of Agronomy*, 19 (3), 100020. <https://doi.org/10.1016/j.ijagro.2024.100020>