



***Rosa damascena* cultivation as a strategy for cropping pattern optimization in the face of climate change**

Vahid Kalantar¹, Seyed Habibollah Mosavi^{2*} and Hamed Najafi Alamdarloo³

1- MSc Student, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2*- Corresponding Author, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, E-mail: shamosavi@modares.ac.ir

3- Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 29/04/2025

Revised: 08/02/2026

Accepted: 08/02/2026

Abstract

Background and objectives: Cultivating crops resilient to thermal and moisture stresses is a recognized strategy for adapting to climate change. In this context, *Rosa damascene* (Damask rose), with its notable ability to adapt to diverse environmental conditions, represents a potential solution for climate change-affected plains. This study investigated the economic feasibility of cultivating this crop to mitigate climate change-induced adverse effects in the Hamadan-Bahar plain, a region impacted by climate change in recent decades. These findings aim to guide adaptive strategies in the agricultural sector of similar regions.

Methodology: In this research, we initially projected future changes in climatic parameters (temperature and precipitation) in the Hamadan-Bahar plain under various climate change scenarios using long-term regional climate data and reputable climate prediction models. We then estimated *Rosa damascena* performance under anticipated future climatic conditions using crop growth simulation models capable of assessing temperature and moisture impacts on plant yield. We next integrated the climate projection and crop growth simulation results within an economic framework. This framework included analyzing *Rosa damascene* cultivation profitability compared with other prevalent crops in the region's cropping pattern and evaluating climate change's impact on the agricultural sector's net profit. The economic analysis considered production costs, product selling prices, and projected yields to assess economic viability and the potential to offset climate change-induced losses through *Rosa damascene* cultivation.

Results: The climate change projections for the Hamadan-Bahar plain indicated increasing temperature and decreasing precipitation trends in the coming decades. Conversely, the crop performance simulation results demonstrated that *Rosa damascena*, regarding its inherent resistance to climatic variations and environmental stresses, performed better than other common water-intensive crops in the region under altered climatic conditions. From an economic perspective, the relative increase in *Rosa damascene* yield will likely increase this crop's share in the region's optimal cropping pattern. Our economic analyses revealed that this shift in cropping pattern and enhanced *Rosa damascene* production could offset some economic losses from climate change impacts on other crops, increasing the region's agricultural sector net profit by approximately 17.091 billion Iranian Rial (IRR).

Conclusion: These findings suggest that expanding *Rosa damascena* cultivation is a recommendable climate change adaptation strategy for the Hamadan-Bahar plain. This crop



exhibits favorable growth and stable performance under anticipated adverse climatic conditions, is economically profitable, and can compensate for some economic losses the agricultural sector incurs from climate change. Therefore, promoting *Rosa damascena* cultivation can serve as a significant strategy toward sustainable agricultural development and reducing economic vulnerability in similar regions.

Keywords: Adaptability, crop yield, Hamedan-Bahar plain, medicinal plant, net income.

نقش کشت گل محمدی در بهینه‌سازی الگوی کشت تحت شرایط تغییر اقلیم

وحید کلانتر^۱، سید حبیب‌اله موسوی^{۲*} و حامد نجفی علمدارلو^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، پست الکترونیک: shamosavi@modares.ac.ir

۳- دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۹

تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۴/۱۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۹

چکیده

سابقه و هدف: تغییر اقلیم با تنش‌های حرارتی و رطوبتی فزاینده، کشاورزی را به سمت کشت گیاهان مقاوم سوق داده است. گل محمدی با سازگاری بالا به شرایط محیطی متغیر، ظرفیت ایفای نقش محوری را در دشت‌های متأثر از تغییر اقلیم داراست. این مطالعه با هدف بررسی امکان‌سنجی اقتصادی کشت گل محمدی به‌عنوان راهکاری برای کاهش آثار زیان‌بار تغییرات اقلیمی در دشت همدان - بهار، منطقه‌ای به‌شدت تحت تأثیر این پدیده در دهه‌های اخیر، طراحی و اجرا شده است. نتایج این پژوهش می‌تواند راهنمایی برای اتخاذ راهبردهای سازگارانه در بخش کشاورزی مناطق مشابه ارائه دهد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، ابتدا تغییرات آینده پارامترهای اقلیمی (دما و بارش) در دشت همدان - بهار تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم پیش‌نگری شد. برای این منظور، از داده‌های اقلیمی بلندمدت منطقه و مدل‌های پیش‌نگری اقلیمی معتبر استفاده گردید. سپس، عملکرد گیاه گل محمدی در شرایط اقلیمی محتمل آینده با بهره‌گیری از مدل‌های شبیه‌ساز رشد محصول که قادر به ارزیابی تأثیرات دما و رطوبت بر عملکرد گیاهان هستند، برآورد گردید. در ادامه، نتایج حاصل از پیش‌نگری‌های اقلیمی و شبیه‌سازی رشد محصول در یک چارچوب اقتصادی تلفیق شد. این چارچوب اقتصادی شامل تحلیل سودآوری کشت گل محمدی در مقایسه با سایر محصولات رایج در الگوی کشت منطقه و ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی بر سود خالص بخش کشاورزی بود. تحلیل اقتصادی با در نظر گرفتن هزینه‌های تولید، قیمت فروش محصول و عملکرد پیش‌نگری شده انجام شد تا امکان‌سنجی اقتصادی و پتانسیل جبران خسارت‌های ناشی از تغییر اقلیم از طریق کشت گل محمدی ارزیابی شود.

یافته‌ها: نتایج پیش‌نگری تغییرات اقلیمی در دشت همدان - بهار نشان داد که در دهه‌های آینده، دما روندی افزایشی و میزان بارش روندی کاهشی خواهد داشت. در مقابل، نتایج شبیه‌سازی عملکرد محصول نشان داد که گیاه گل محمدی، به‌دلیل مقاومت به تغییرات آب‌وهوایی و تنش‌های محیطی، عملکرد بهتری نسبت به سایر محصولات آب‌بر رایج در منطقه در شرایط اقلیمی متغیر از خود نشان می‌دهد. از منظر اقتصادی، افزایش عملکرد نسبی گل محمدی در آینده منجر به افزایش سهم این گیاه در الگوی کشت بهینه منطقه خواهد شد. براساس تحلیل‌های اقتصادی انجام شده، این تغییر در الگوی کشت و افزایش تولید گل محمدی قادر خواهد بود تا بخشی از خسارت اقتصادی ناشی از تغییرات اقلیم بر عملکرد سایر گیاهان زراعی را جبران نموده و سود خالص بخش کشاورزی منطقه را به میزان تقریبی ۱۷/۰۹۱ میلیارد تومان افزایش دهد.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش حکایت از آن دارد که گسترش کشت گیاه دارویی گل محمدی به‌عنوان یک راهکار مؤثر برای سازگاری با پدیده تغییر اقلیم در دشت همدان - بهار قابل‌توصیه است. این گیاه علاوه بر نشان دادن رشد مطلوب و عملکرد پایدار در شرایط نامساعد آب‌وهوایی پیش‌نگری شده، از نظر اقتصادی نیز سودآور بوده و پتانسیل جبران بخشی از خسارت‌های اقتصادی وارده به بخش کشاورزی ناشی از تغییرات اقلیمی را داراست؛ بنابراین، ترویج کشت گل محمدی می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد مهم در راستای توسعه پایدار کشاورزی و کاهش آسیب‌پذیری اقتصادی مناطق مشابه مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: درآمد خالص، دشت همدان-بهار، سازگاری، عملکرد محصول، گیاه دارویی.

مقدمه

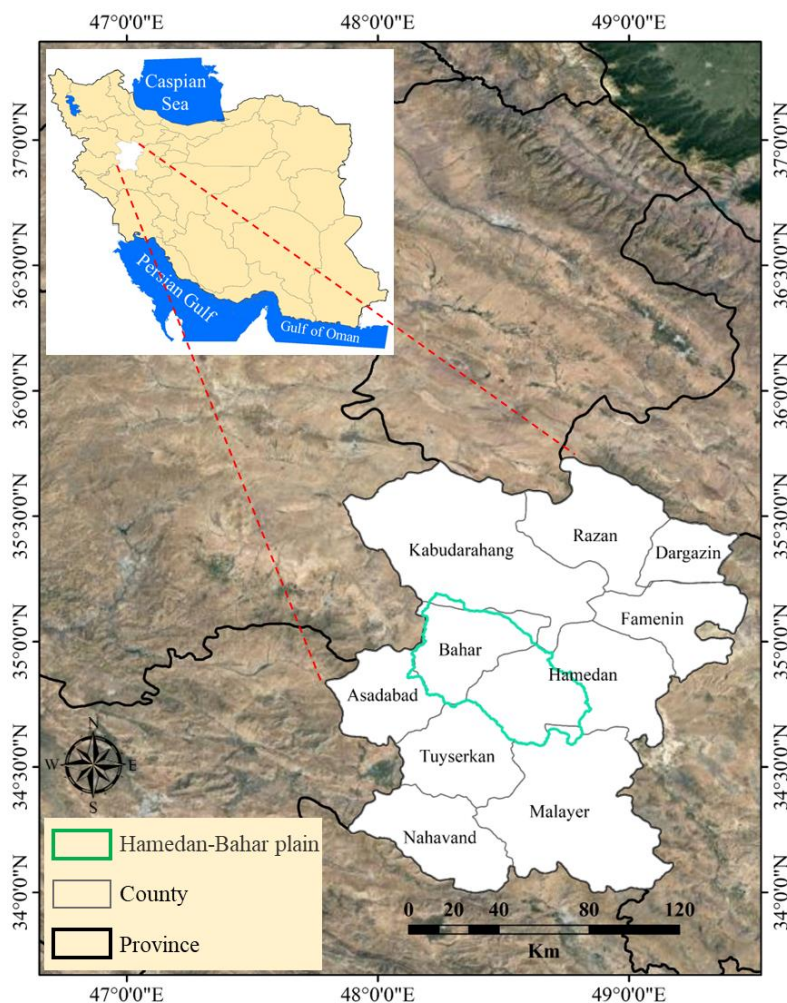
الگوی کشت به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی مدیریت منابع در بخش کشاورزی، نقش اساسی در افزایش بهره‌وری، پایداری تولید و بهینه‌سازی مصرف منابع دارد. انتخاب ترکیب مناسب از محصولات زراعی و باغی در یک منطقه، علاوه بر توجه به شرایط اقلیمی و منابع موجود، متأثر از عوامل اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است (Nakashima & Ishikawa, 2022). طراحی و بهینه‌سازی الگوی کشت می‌تواند موجب افزایش درآمد کشاورزان، کاهش فشار بر منابع آب و بهبود امنیت غذایی گردد (Soltani *et al.*, 2023). در این میان، تغییرات اقلیمی به‌عنوان یک چالش جدی، الگوی کشت فعلی بسیاری از مناطق را تحت تأثیر قرار داده و موجب تغییر در نیاز آبی، کاهش عملکرد برخی محصولات و تغییر سطح زیر کشت شده است (Bashiri *et al.*, 2021). مطالعات متعددی در سطح جهان نشان داده‌اند که افزایش دما و کاهش بارندگی به‌طور مستقیم باعث کاهش عملکرد و بازدهی محصولات زراعی شده و الگوهای کشت مرسوم را با اختلال مواجه کرده است (Zain *et al.*, 2024; Arias *et al.*, 2024). از این‌رو، بررسی اثرهای تغییر اقلیم بر الگوی کشت و شناسایی گزینه‌های سازگار، یکی از اولویت‌های اساسی در مدیریت پایدار کشاورزی محسوب می‌شود.

اثر تغییر اقلیم، به‌ویژه خشکسالی‌های مکرر و نوسانهای دمایی، موجب کاهش عملکرد محصولات زراعی و افزایش هزینه‌های تولید شده‌اند که این موضوع الگوی کشت منطقه را در معرض تهدید قرار داده است (Rezaei *et al.*, 2023). با توجه به وابستگی شدید کشاورزی به منابع آبی، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه که اغلب با محدودیت منابع آبی مواجه هستند، چالش‌های بزرگی برای تولید محصولات کشاورزی ایجاد شده است که می‌تواند منجر به افزایش هزینه‌های تولید و محدودیت در توسعه کشاورزی شود. این موضوع همچنین رقابت با سایر بخش‌های اقتصادی برای دسترسی به منابع آب را تشدید می‌کند (Li *et al.*, 2023; Gürkan, 2023; Saha *et al.*, 2023).

برای سازگاری با این وضعیت، راهکارهای علمی مختلفی وجود دارد. یکی از این راهکارها، استفاده از روش‌های آبیاری پیشرفته و هوشمند است که مصرف آب را به حداقل می‌رساند (Ahmed *et al.*, 2023). همچنین، کاشت گیاهانی که به کم‌آبی و شوری مقاوم هستند و با شرایط این مناطق سازگاری دارند، اهمیت زیادی دارد (Kopeć, 2024). مدیریت درست منابع آب، از جمله جمع‌آوری آب‌های بازآفتی و شیرین کردن آب‌های شور نیز می‌تواند کمک‌کننده باشد (Alodah, 2023). علاوه بر این، استفاده از روش‌های حفاظت خاک و آب مانند پوشاندن سطح خاک و کشت چند نوع گیاه در کنار هم به حفظ رطوبت خاک کمک می‌کند (Eekhout & de Vente, 2022). در نهایت، با استفاده از سیستم‌های پیش‌نگری وضعیت آب و هوا، می‌توان تصمیمات بهتری در مورد مصرف آب گرفت (Haq, 2022). توجه به این نکته ضروری است که مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل شرایط خاص خود، بیش از سایر مناطق تحت تأثیر این تغییرات قرار دارند و نیازمند توجه ویژه و اجرای این راهکارها هستند. در ایران به دلیل اقلیم خشک و نیمه‌خشک و محدودیت منابع آب، الگوی کشت نقش مهمی در مدیریت بهینه منابع و افزایش بهره‌وری کشاورزی دارد (Zeydalinjad & Nassery, 2023; Bayatavrkeshi *et al.*, 2023). انتخاب ترکیب مناسب محصولات، علاوه بر شرایط اقلیمی، تحت تأثیر عوامل اقتصادی و اجتماعی نیز می‌باشد (Rastegaripour *et al.*, 2024). ایران در آینده نزدیک، آسیب‌پذیری شدیدی را تحت تأثیر تغییرات اقلیمی تجربه خواهد کرد که می‌تواند الگوهای کشت فعلی را در بسیاری از مناطق کشور دچار اختلال کرده و موجب کاهش عملکرد محصولات و افزایش فشار بر منابع آب شود؛ به همین دلیل مطالعات بسیاری برای بررسی اثر تغییرات اقلیمی بر عملکرد گیاهان در کشور انجام شده است (Keikha *et al.*, 2021; Moradi Zarei *et al.*, 2023; Nehbandani *et al.*, 2022; & Naghizadeh, 2023). دشت همدان - بهار، گستره‌ای به مساحت ۲۴۶۰ کیلومتر مربع در غرب ایران واقع شده است.

سالانه به ترتیب ۴/۷ و ۲۱/۶ درجه سانتی‌گراد بوده و میزان بارندگی سالانه بلندمدت در این دشت، در سال ۱۴۰۲ به ۱۲۷ میلی‌متر رسیده است (Iran Meteorological Organization, 2023). طبق مطالعات قبلی در این دشت، تغییرات اقلیمی بر عملکرد گیاهان تأثیر بسزایی داشته و بر عملکرد اقتصادی دشت مذکور می‌گذارد (Soltani & Moazzezi *et al.*, 2021; Mosavi, 2015).

این دشت که در محدوده طول‌های جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی و عرض‌های ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵ دقیقه شمالی امتداد می‌یابد (شکل ۱)، میانگین ارتفاعی برابر با ۲۰۳۸ متر از سطح دریا را داراست. براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، آب و هوای این منطقه به‌عنوان نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌شود (Mostafazadeh *et al.*, 2024). تحلیل داده‌های اقلیمی نشان می‌دهد که حداقل و حداکثر متوسط دمای



شکل ۱- دشت همدان-بهار و ایستگاه‌های هواشناسی (ایستگاه مورد مطالعه: ایستگاه سینوپتیک همدان (فرودگاه))

Figure 1. Hamadan-Bahar plain and meteorological stations (Studied station: Hamadan synoptic station (Airport))

Moazzezi *et al.*, Afrouzi and Zare, 2020؛ 2020 در این بین همواره کشت محصولات مقاوم به خشکی مورد تأکید بوده است، زیرا

راهکارهای بسیاری برای مدیریت بحران تغییر اقلیم در این دشت ارزیابی شده است (Sadeghi & Mousavi, 2015؛ 2015؛ Safari Shad *et al.*, 2017؛ 2015؛ Moazzezi *et al.*,

اثرهای منفی کم‌آبی در این دوره حساس را کاهش داد که در نهایت موجب ارتقای توان سازگاری و پایداری گل محمدی در برابر تغییرات اقلیمی خواهد شد (Allahyari *et al.*, 2021).

با توجه به ویژگی‌های فیزیولوژیک و اقتصادی گل محمدی، به نظر می‌رسد که این گیاه می‌تواند به‌عنوان یک گزینه راهبردی در بهینه‌سازی الگوی کشت مناطق نیمه‌خشک، به‌ویژه در پاسخ به چالش‌های تغییر اقلیم، مورد توجه قرار گیرد. برخی مطالعات حکایت از آن دارد که تغییرات اقلیمی، به‌ویژه افزایش دما در برخی مناطق، می‌تواند بر عملکرد گل محمدی تأثیر مثبت گذاشته و منجر به ایجاد فرصت‌های اقتصادی جدید برای کشت این گیاه شود (Hokmabadi *et al.*, 2021; Thakur & Kumar, 2021). با این توصیف، این مطالعه به بررسی این پرسش می‌پردازد که آیا توسعه کشت اقتصادی گیاه دارویی گل محمدی می‌تواند اثرهای نامطلوب اقتصادی ناشی از تغییر اقلیم را در دشت همدان - بهار جبران نماید و به بهبود شاخص‌های اقتصادی کشاورزی منطقه کمک کند؟

مواد و روش‌ها

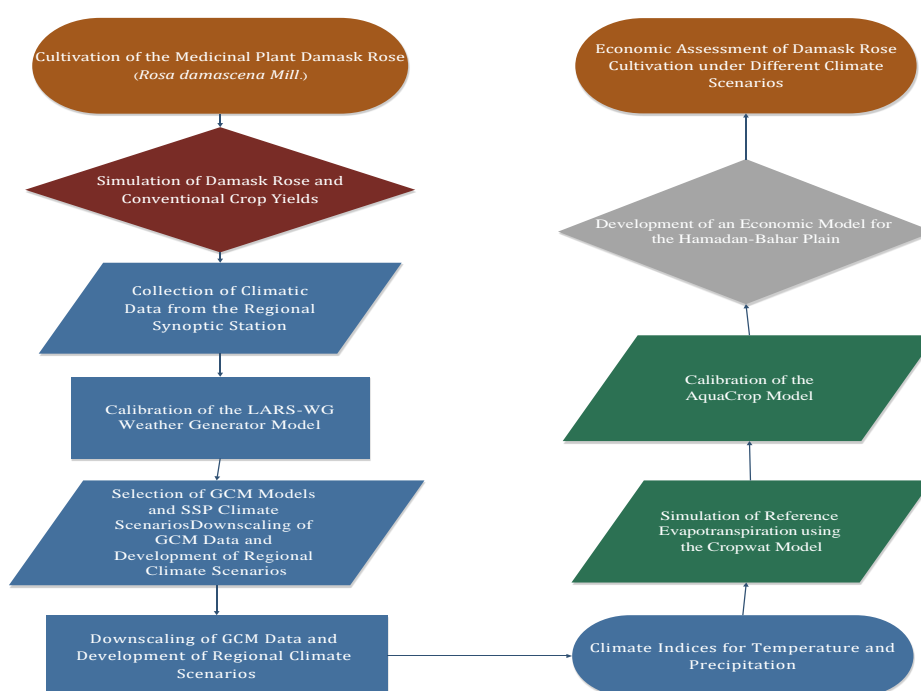
در این پژوهش، ابتدا داده‌های اقلیمی شامل بارش، دمای حداقل و حداکثر روزانه از ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه از پایگاه داده سازمان هواشناسی کشور برای دوره پایه ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ گردآوری شد. در گام نخست، به منظور کالیبراسیون مدل اقلیمی LARS-WG، داده‌های اقلیمی مشاهده‌ای با داده‌های شبیه‌سازی شده مدل در مرحله اول مقایسه گردید. بدین منظور، با استفاده از نرم‌افزار Excel، ضریب همبستگی پیرسون (Pearson Correlation Coefficient (PCC)) (رابطه ۱) بین داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه منتخب با داده‌های شبیه‌سازی شده مدل برای متغیرهای دما (حداکثر و حداقل) و بارش محاسبه شد. در مرحله دوم، به‌منظور پیش‌نگری تغییر اقلیم در دوره آینده (۲۰۲۶-۲۰۵۰)، بهترین و منطبق‌ترین مدل گردش عمومی

می‌تواند مزایای اقتصادی متعددی مانند کاهش هزینه‌های آبیاری و پایداری بیشتر درآمد کشاورزان را به همراه داشته باشد (Soltani & Mousavi, 2016; Karimi *et al.*, 2016; Kakaei, 2024).

گل محمدی (*Rosa damascena*)، گیاهی معطر و با ارزش اقتصادی بالا است و به‌عنوان یکی از مهمترین گونه‌های دارویی در ایران شناخته می‌شود (Alizadeh & Fattahi, 2021). ارزش اصلی گل محمدی در گل‌های آن نهفته است که به‌عنوان ماده اولیه در صنایع مختلف از جمله صنایع غذایی و دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرد. فراوری گل محمدی به اشکال گوناگونی مانند خشک‌کردن، تهیه مربا و تولید گلاب، علاوه بر تأمین نیاز داخلی، فرصت‌های صادراتی ارزشمندی را فراهم کرده است و منبع ارزآوری مهمی برای کشور محسوب می‌شود. همچنین، گل محمدی به دلیل ترکیب‌های ارزشمند موجود در اسانس و عصاره آن، در طب سنتی جایگاه ویژه‌ای داشته و در درمان برخی بیماری‌ها مانند افسردگی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Riazi *et al.*, 2021). گل محمدی به دلیل سازگاری برجسته نسبت به شرایط محیطی نامساعد، به‌ویژه خشکی، از سایر گیاهان دارویی متمایز می‌شود. این گیاه قابلیت تحمل تنش‌های آبی طولانی‌مدت را دارا بوده و در برخی مناطق خشک، تنها به یک یا دو نوبت آبیاری در طول سال نیازمند است. این ویژگی، ریسک‌های اقتصادی ناشی از کم‌آبی را برای کشاورزان کاهش می‌دهد. مطالعات نشان می‌دهند که نیاز آبی سالانه گل محمدی در هر هکتار، به‌طور متوسط بین ۴ تا ۶ هزار مترمکعب متغیر بوده و تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند بافت خاک و شرایط اقلیمی منطقه قرار می‌گیرد. به‌منظور حداکثر تولید گل و اسانس، دمای بهینه برای غنچه‌دهی این گیاه بین ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد و برای افزایش بازدهی اسانس‌دهی، دمای ۵ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد مناسب گزارش شده است که می‌تواند به کاهش هزینه‌های آبیاری و افزایش دوره بهره‌برداری اقتصادی منجر شود. علاوه بر این، با انتخاب تاریخ کشت مناسب می‌توان مرحله گلدهی را با شرایط مطلوب‌تری همزمان کرد و

عملکرد گیاه دارویی گل محمدی و سایر محصولات زراعی موجود در الگوی کشت منطقه شبیه‌سازی و تحلیل گردد. در گام پایانی، عملکردهای شبیه‌سازی شده به‌عنوان ورودی به مدل برنامه‌ریزی ریاضی توسعه‌یافته دشت همدان - بهار اعمال شد و امکان‌سنجی اقتصادی توسعه کشت گل محمدی تحت شرایط تغییر اقلیم در دوره آینده مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل ۲، فلوجارت مراحل انجام این پژوهش را نشان می‌دهد.

جو (GCM) از میان مجموعه مدل‌های CMIP6 با بهره‌گیری از شاخص‌های آماری مانند MAE، MBE و SSE انتخاب گردید. سپس، داده‌های حاصل تحت سناریوهای آینده‌نگر SSP برای پیش‌نگری تغییر اقلیم استفاده شدند. در ادامه، خروجی مدل LARS-WG به مدل CROPWAT وارد گردید تا تبخیر - تعرق مرجع محاسبه و نیاز آبی محصولات در دوره آینده ارزیابی شود. نتایج به‌دست‌آمده، به همراه سایر خروجی‌های مدل اقلیمی، به مدل AquaCrop داده شد تا



شکل ۲- فلوجارت روش‌شناسی تحقیق

Figure 2. Research methodology flowchart

گوناگون پیش‌نگری خواهد شد. برای این منظور، ابتدا بهترین مدل اقلیمی از میان مدل‌های گردش عمومی جو (General Circulation Model (GCM)) انتخاب می‌شود. انتخاب یک مدل اقلیمی دقیق، مبنای قابل اعتمادتری برای تحلیل‌های اقتصادی آینده فراهم می‌کند، زیرا پیش‌نگری‌های دقیق دما و بارش به‌طور مستقیم بر برآورد عملکرد محصول و سودآوری فعالیت‌های کشاورزی تأثیرگذار خواهد بود.

به‌منظور پاسخ‌گویی به سؤال تحقیق و با توجه به ادبیات مرسوم تحقیق در زمینه تغییرات اقلیم (Ghazi & Jeihouni, 2022؛ Mollel et al., 2023؛ Abdulsahib et al., 2024؛ Semenov et al., 2024؛ Khazaei, 2024)، ابتدا تغییرات اقلیم در منطقه مورد مطالعه بررسی شده است. در این راستا، روند تغییرات پارامترهای اصلی اقلیمی، شامل دما و بارش، تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم و در بازه‌های زمانی

میزان انحراف مدل را مشخص می‌کند. SSE، مجموع مربعات تفاوت بین مقادیر پیش‌نگری شده و مقادیر واقعی را محاسبه می‌کند و نشان می‌دهد که مدل چقدر در پیش‌نگری مقادیر بزرگ خطا دارد. این سه معیار با یکدیگر اطلاعات مفیدی را در مورد عملکرد مدل ارائه می‌دهند و می‌توانند به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای مقایسه و ارزیابی مدل‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرند (روابط ۲ تا ۴). دوره پایه، بازه زمانی ۲۰۱۴-۱۹۹۰ و دوره آتی، بازه‌های زمانی ۲۰۵۰-۲۰۲۶ میلادی در نظر گرفته شد. برای انجام زیرمقیاس‌نمایی آماری متغیرهای اقلیمی، مراحل مختلفی از تحلیل داده‌ها با استفاده از روش‌های مناسب انجام شد. بدین منظور با در نظر گرفتن دوره زمانی پایه سناریوهای ایده‌آل (SSP1-2.6)، شرایط متوسط (SSP2-4.5) و بحرانی (SSP3-7.0) برای ایستگاه سینوپتیک مورد نظر در دوره‌های زمانی آینده به مدل LARS-WG معرفی گردید. سپس داده‌های اقلیمی برای دوره مطالعاتی آینده با استفاده از داده‌های اقلیمی مشاهداتی در دوره پایه و سناریوهای تغییر اقلیم تهیه شده توسط مولد اقلیمی LARS-WG تولید شد.

برای انتخاب بهترین مدل از میان پنج مدل GCM و کاهش عدم قطعیت ناشی از به‌کارگیری آنها در منطقه مورد مطالعه، داده‌های ماهانه اقلیمی از پایگاه داده Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) استخراج شد (جدول ۱). مطالعات پیشین (Zarrin and Dadashi, 2021; Rudbari, 2021; Soltani *et al.*, 2023; Saber & Salaji, 2024; Babaeian *et al.*, 2024) به‌منظور ارزیابی دقت و انتخاب مناسب‌ترین مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) ارائه‌شده در چارچوب CMIP6، از سه شاخص آماری شامل میانگین خطای مطلق (Mean Absolute Error (MAE))، میانگین انحراف خطا (Mean Bias Error (MBE)) و مجموع مربعات خطاها (Sum of Squared Errors (SSE)) استفاده گردید تا در نهایت بهترین و منطبق‌ترین مدل برای پیش‌نگری تغییر اقلیم در منطقه انتخاب شود. MAE، میانگین قدر مطلق تفاوت بین مقادیر پیش‌نگری شده (A_t) و مقادیر واقعی (F_t) را محاسبه می‌کند و نشان می‌دهد که مدل به‌طورکلی چقدر در پیش‌نگری‌ها خطا دارد. MBE، میانگین تفاوت بین مقادیر پیش‌نگری شده و مقادیر واقعی را نشان می‌دهد و جهت و

جدول ۱- مدل‌ها و مؤسسات آماده‌سازی پروژه CMIP6

Table 1. Models and institutions preparing the CMIP6 project

Number	Model	Research institutes developing models
1	BCC-CSM2-MR	China
2	MPI-ESM1-2-HR	Germany
3	GFDL-ESM4	USA
4	IPSL-CM6A-LR	France
5	MRI-ESM2-0	Japan

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

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

$$MBE = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} \quad (3)$$

$$SSE = \sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2 \quad (4)$$

خواربار جهانی (Food and Agriculture Organization (FAO) در حوزه آبیاری و زهکشی ارائه شده است، توسعه یافته است (Etedali & Ahmadi, 2021؛ Elsadek *et al.*, 2023). این مطالعه با اعمال اصلاحاتی از قبیل تفکیک تبخیر و تعرق واقعی به تبخیر از سطح خاک و تعرق و نیز عملکرد به بیوماس و شاخص برداشت، به بررسی اثر اقلیم بر عملکرد گیاهان می‌پردازد. به بیانی دیگر، مدل AquaCrop تلفیقی از اصول فیزیولوژیک رشد گیاه و هیدرولوژی خاک (NCLIF) و هواشناسی (CLIF) را به کار می‌گیرد تا عملکرد محصول را شبیه‌سازی کند. این مدل براساس مفهوم تبخیر - تعرق مرجع، تبخیر و تعرق را محاسبه و تأثیر تنش‌های آبی و غیرآبی را بر رشد و عملکرد محصول ارزیابی می‌کند. این پژوهش با استناد به یافته‌های مطالعات انجام شده و هدف آن، درک بهتر از چگونگی تأثیر عوامل محیطی بر رشد و عملکرد گیاهان در شرایط مختلف است. برای محاسبه عملکرد از بیوماس، مدل AquaCrop از رابطه ۵ استفاده می‌کند (Luo *et al.*, 2023؛ Raes *et al.*, 2023).

در ادامه، با استفاده از داده‌های اقلیمی آبی، شبیه‌سازی عملکرد گیاه دارویی گل‌محمدی با استفاده از مدل رشد گیاهی انجام شد. بدین منظور، در این مطالعه از مدل AquaCrop بهره گرفته شد. این مدل، توسط سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO)، به منظور شبیه‌سازی بازدهی محصولات زراعی در مناطق با محدودیت منابع آبی طراحی شده است. این مدل شبیه‌ساز رشد گیاه، با بهره‌گیری از اصول فیزیولوژی گیاه و هیدرولوژی، قادر است فرایندهای پیچیده رشد گیاه از جمله جذب آب، فتوسنتز و تولید محصول را تحت شرایط مختلف اقلیمی و مدیریتی شبیه‌سازی نماید. اگرچه تمرکز اصلی مدل AquaCrop بر جنبه‌های بیولوژیک و هیدرولوژیک رشد گیاه است، نتایج شبیه‌سازی عملکرد آن به عنوان ورودی کلیدی برای تحلیل‌های اقتصادی آبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل AquaCrop برای برآورد عملکرد محصول، بر مبنای رابطه‌ای که توسط دورنبوس و کسام (Doorenbos-Kassam) در انتشارات شماره ۳۳ سازمان

$$Y = WP^* \left[\frac{Tr_i}{ET_{0,i}} \right] \times HI_0 \times f_{HI} \rightarrow Y_{i,r} = f(CLIF, NCLIF) \quad (5)$$

محصولات کشاورزی در شرایط محیطی مختلف پرداخته است.

در این پژوهش، باهدف ارزیابی اعتبار مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد گل‌محمدی تحت سناریوهای مختلف، از مجموعه‌ای از شاخص‌های آماری متداول استفاده شده است.

که در رابطه ذکر شده، WP^* بهره‌وری آب مصرفی گیاه، Tr تعرق روزانه و ET_0 تبخیر - تعرق مرجع روزانه، HI_0 شاخص برداشت مرجع (طی مرحله بلوغ فیزیولوژیک)، Y عملکرد دانه و f_{HI} ضریبی است که شاخص برداشت مرجع را تنظیم می‌کند. در نهایت، در این مطالعه مدل AquaCrop با استفاده از داده‌های اقلیمی متنوع، به بررسی عملکرد

(RMSE) به‌عنوان یک معیار پراکنش، تفاوت بین داده‌های مشاهده شده و مقادیر پیش‌نگری شده را برآورد می‌کند. کاهش RMSE به معنای کاهش خطا و افزایش دقت مدل است. شاخص نش - ساتکلیف نیز، به‌عنوان یک شاخص جامع، میزان تطابق بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده را در یک بازه بین -۱ تا ۱ ارزیابی می‌کند. مقادیر نزدیک به ۱ برای این شاخص، نشان‌دهنده شباهت بسیار زیاد بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و دقت بالای مدل است (Mohamed et al., 2023; Stričević et al., 2023). با استفاده از این شاخص‌های آماری، ارزیابی کمی عملکرد شبیه‌سازی شده گل محمدی انجام شد.

این شاخص‌ها که شامل خطای مطلق میانگین (MAE)، میانگین خطای اریب (MBE)، جذر میانگین مربعات خطا (Root-Mean-Square deviation (RMSE)) و ضریب نش - ساتکلیف (Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)) هستند، به‌عنوان معیارهایی دقیق برای سنجش تطابق بین مقادیر شبیه‌سازی شده و داده‌های مشاهده‌ای استفاده می‌شوند (Akol et al., 2023; Gebeyhu & Markos, 2023; Reta et al., 2024). شاخص خطای مطلق میانگین (MAE) به‌طور میانگین میزان انحراف پیش‌نگری‌های مدل از مقادیر مشاهده شده را نشان می‌دهد. شاخص بایاس میانگین (MBE) نیز برای تعیین جهت‌گیری کلی خطا، یعنی دست بالا یا پایین تخمین‌زدن مقادیر توسط مدل، به‌کار می‌رود. از سوی دیگر، ریشه دوم میانگین مربعات خطا

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (F_t - A_t)^2}{n}} \quad (6)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{\sum_{t=1}^n (A_t - \bar{A}_t)^2} \quad (7)$$

در یک مدل اقتصادی به شرح زیر تلفیق شدند. ساختار ریاضی مدل اقتصادی توسعه‌یافته منطقه مورد مطالعه به شرح زیر ارائه می‌شود.

$$\text{Max } \omega = \sum_{i=1}^N X_i (P_i Y_i - C_i) + \sum_{s=1}^r X_r (P_r Y_r - C_r) \quad (8)$$

Sub to:

$$C_i = \varphi_i + P_W W_i + P_L L_i + P_M M_i + P_F F_i + P_I I_i \quad (9)$$

$$C_r = \varphi_r + P_W W_r + P_L L_r + P_M M_r + P_F F_r + P_I I_r \quad (10)$$

$$Y_{i,r} = f(\text{CLIF}, \text{NCLIF}) \quad (11)$$

$$Ax \leq b \quad (12)$$

$$X_i, X_r \geq 0 \quad (13)$$

در ادامه و پس از شبیه‌سازی عملکرد گل محمدی در سناریوهای اقلیمی مختلف در دوره آتی ۲۰۲۶ تا ۲۰۵۰، نتایج عملکرد شبیه‌سازی شده به عنوان ورودی‌های اساسی

محصول) نیز به مدل افزوده شده است تا از لحاظ اقتصادی و عملی معنادار باشد. در واقع، مدل مذکور با تخصیص بهینه منابع محدود، به دنبال یافتن ترکیبی از محصولات کشاورزی است که منجر به بیشینه شدن سود کل سیستم شود.

مدل اقتصادی بسط‌یافته نیز همانند مدل‌های اقلیمی و مدل شبیه‌ساز زراعی، نیازمند ارزیابی اعتبار نتایج است. بدین منظور و برای حصول نتایجی معتبر جهت شبیه‌سازی و متعاقب آن سیاست‌گذاری، از رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی برای کالبراسیون مدل استفاده شد. هدف از این روش، افزایش قابلیت اطمینان مدل در پیش‌نگری واکنش کشاورزان به تغییرات در شرایط اقتصادی و اقلیمی آینده با شبیه‌سازی دقیق الگوی کشت مشاهده شده در دوره پایه است. براساس این رهیافت قید جدیدی به مدل اضافه می‌شود تا جواب بهینه حاصل از مدل، سطوح فعالیت مشاهده شده در سال پایه را دقیقاً بازتولید نماید. سپس با استفاده از متغیر دوگان این قید تابع هزینه و یا عملکردی درجه دوم بسط می‌یابد و مدل به فرم غیرخطی تبدیل می‌شود. مدل حاصل شده توانایی شبیه‌سازی دقیق الگوی کشت پایه را برای شبیه‌سازی خواهد داشت (Nakashima & Bashiri et al., 2021؛ Fadaei Fard؛ Wang et al., 2023؛ Ishikawa, 2022 et al., 2025).

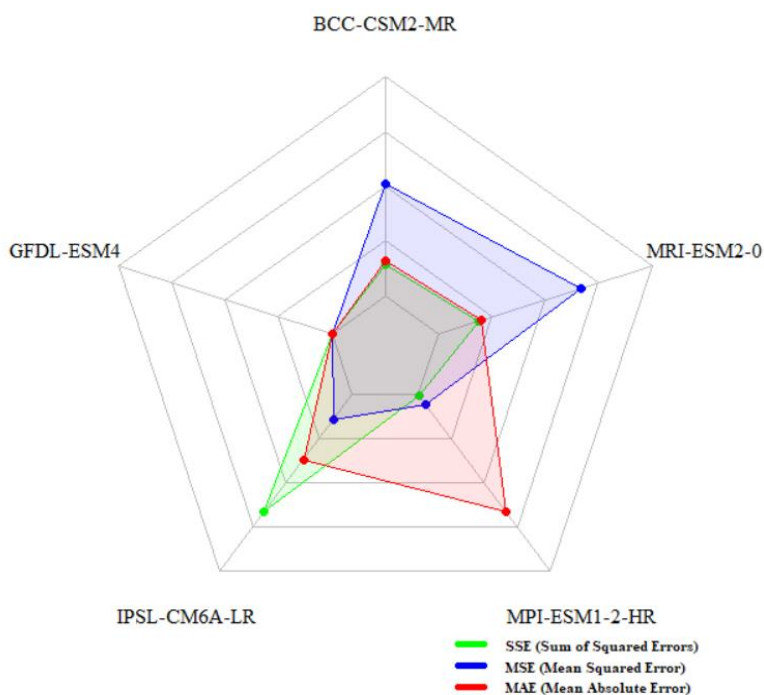
به‌منظور گردآوری داده‌های اولیه این پژوهش، روش پیمایشی و ابزار پرسش‌نامه مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور، مصاحبه‌گران با مراجعه به کشاورزان منطقه و برگزاری گفتگوهای رودررو، پرسش‌نامه‌ها را تکمیل کردند. پرسش‌نامه‌ها شامل سؤالاتی در مورد سطح زیر کشت محصولات مختلف، عملکرد آنها، هزینه‌های تولید (شامل هزینه نهاده‌ها، آبیاری، نیروی کار، ماشین‌آلات و غیره)، قیمت‌های فروش محصولات، دسترسی به منابع (آب، زمین، نیروی کار، سرمایه) و محدودیت‌های اقتصادی موجود برای کشاورزان بوده است. برای طراحی پرسش‌نامه، از نمونه‌های مشابه موجود در مطالعات پیشین بهره‌برداری شد و با اعمال تغییرات لازم با توجه

مدل توسعه‌یافته، باهدف بهینه‌سازی بازده خالص سالانه (ω) کل فعالیت‌های زراعی در منطقه مورد مطالعه، فرمول‌بندی گردید. اندیس‌های i و x به ترتیب مربوط به محصولات موجود در الگوی کشت منطقه و گیاه دارویی گل محمدی است. متغیر تصمیم‌گیری اصلی در این مدل، میزان سطح زیر کشت محصولات کشاورزی (X) برحسب هکتار تابعی از عوامل تولید و تکنولوژی، عملکرد هر محصول (Y) برحسب کیلوگرم بر هکتار که تابعی از متغیرهای اقلیمی و غیر اقلیمی است که به‌صورت ضرایب فنی در مدل لحاظ شده‌اند. قیمت هر محصول (P) نیز در محاسبه بازده خالص مؤثر است. قیمت محصولات (P_r, P_i) براساس میانگین قیمت‌های بازار محلی در دوره پایه و با در نظر گرفتن روندهای آتی و پیش‌نگری‌های موجود برای دوره مطالعه تعیین شده‌اند. هزینه‌های تولید (C) شامل هزینه ثابت زمین (ϕ) و هزینه‌های متغیر (هزینه‌های مربوط به آب (W)، نیروی کار (L)، ماشین‌آلات (M)، کود (F) و سرمایه (I)) است. هزینه‌های متغیر برای هر محصول شامل هزینه‌های مربوط به نهاده‌ها (کود، بذر، سم)، آبیاری (با در نظر گرفتن قیمت آب)، نیروی کار (هزینه استخدام کارگر برای مراحل مختلف کشت و برداشت)، ماشین‌آلات (هزینه اجاره یا استهلاک) و سرمایه (هزینه فرصت سرمایه در گردش) می‌باشد. مدل توسعه‌یافته با در نظر گرفتن محدودیت‌های فیزیکی و اقتصادی منطقه، به‌صورت یک برنامه‌ریزی ریاضی خطی فرموله شده است. محدودیت‌های منابع شامل زمین، آب، نیروی کار، ماشین‌آلات، کود و سرمایه به‌عنوان نابرابری‌های خطی در مدل گنجانده شده‌اند تا اطمینان حاصل شود که میزان مصرف هر یک از این منابع در فرایند تولید از ظرفیت موجود تجاوز نکند. ماهیت اقتصادی این محدودیت‌ها شامل محدودیت در میزان زمین قابل کشت، سهمیه یا هزینه دسترسی به آب، میزان نیروی کار فصلی و دائمی موجود، ظرفیت و هزینه اجاره ماشین‌آلات، بودجه قابل تخصیص برای خرید نهاده‌ها و میزان سرمایه در دسترس کشاورزان می‌باشد. علاوه بر این، شرط غیرمنفی بودن متغیرهای تصمیم (سطح زیر کشت هر

نتایج

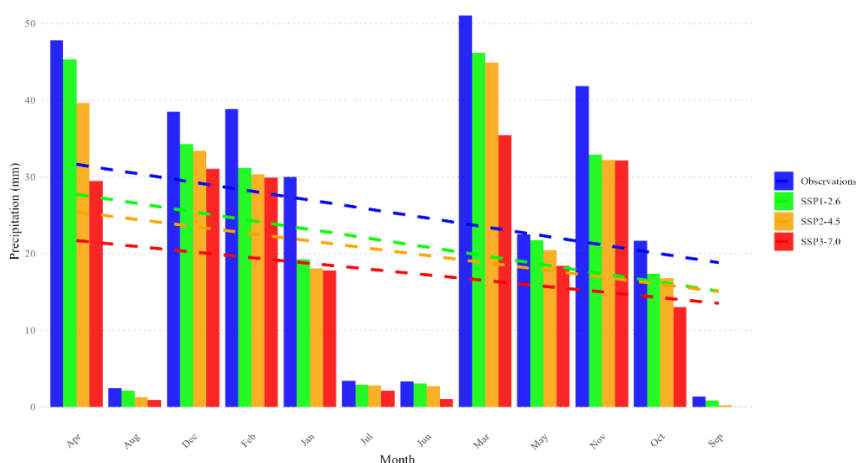
نتایج حاصل از تحلیل همبستگی پیرسون، بیانگر وجود ارتباط بسیار قوی و معنادار بین داده‌های مشاهداتی ایستگاه سینوپتیک فرودگاه (همدان) و خروجی‌های شبیه‌سازی شده توسط مولد اقلیمی LARS-WG برای متغیرهای اقلیمی بارش، دمای حداقل و حداکثر است. ضریب همبستگی محاسبه شده برای بارش ۰/۹۶ و برای دماهای حداقل و حداکثر ۰/۹۸ محاسبه شد که نشان‌دهنده انطباق مناسب داده‌های مدل با داده‌های مشاهداتی است. به طوری که اعتبار استفاده از خروجی‌های اولیه این مدل را برای پیش‌نگری پارامترهای اقلیمی در دوره‌های آتی، افزایش داده است.

به ویژگی‌های خاص منطقه مورد مطالعه و موضوع پژوهش، پرسش‌نامه نهایی تدوین گردید. علاوه بر اطلاعات حاصل از پرسش‌نامه، داده‌های مکمل از طریق مشورت با کارشناسان مراکز مرتبط و استانداری همدان نیز گردآوری شد. به منظور تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده، از نرم‌افزار GAMS استفاده گردید و با به‌کارگیری الگوریتم حل برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی CONOPT3 که یک ابزار قدرتمند برای حل مدل‌های بهینه‌سازی پیچیده در اقتصاد کشاورزی است و امکان بررسی تخصیص بهینه منابع تحت محدودیت‌های مختلف را فراهم می‌کند، مدل تجربی بسط‌یافته حل شد.



شکل ۳- ارزیابی شاخص‌های صحت‌سنجی مدل‌های اقلیمی

Figure 3. Results of the evaluation of climate model validation indicators

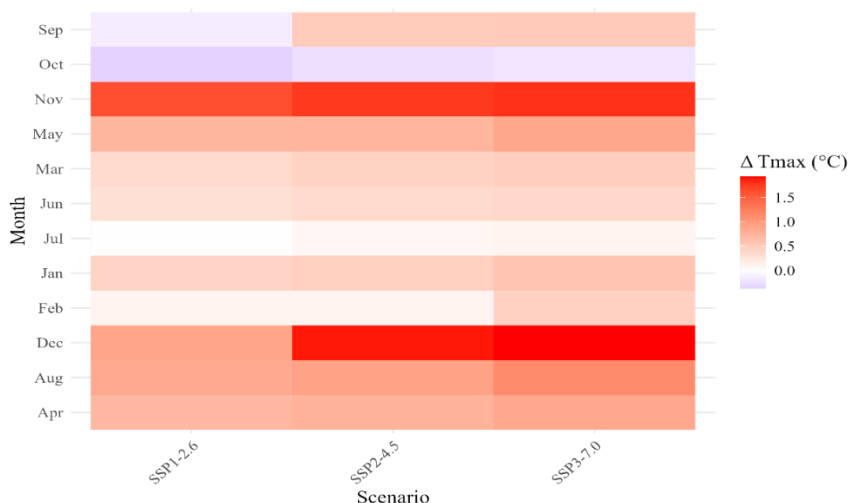


شکل ۴- تغییرات بارش آینده دشت همدان-بهار برای سناریوهای مختلف اقلیمی آینده نسبت به دوره تاریخی

Figure 4. Future precipitation changes of Hamadan-Bahar plain under different climate scenarios relative to the historical period

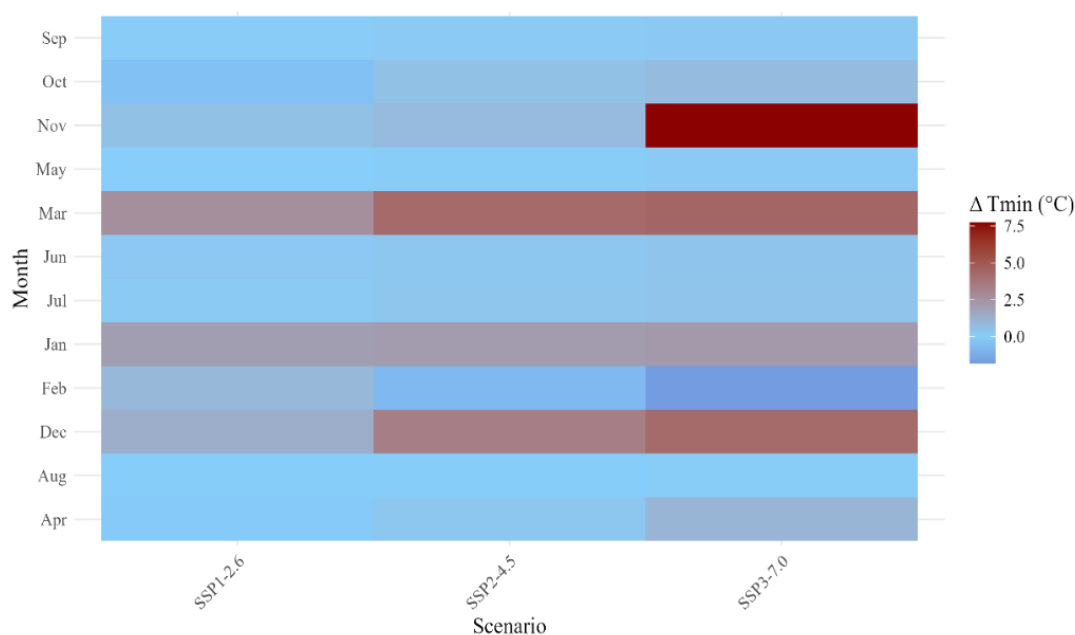
حاصل از این مدل به صورت شکل (۳) ارائه شده است. براساس یافته‌ها، در تمام سناریوهای اقلیمی بررسی شده (SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP3-7.0)، کاهش بارندگی و افزایش دماهای حداقل و حداکثر در آینده پیش‌نگری شده است (شکل‌های ۴، ۵ و ۶).

در این مطالعه، مدل گردش عمومی جو GFDL-ESM4، به دلیل دقت بالای خروجی‌ها در بازه آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ برای ایستگاه سینوپتیک، به عنوان مدل منتخب برای تحلیل‌های آتی انتخاب شد. این مدل کمترین میزان انحراف از داده‌های مشاهداتی را داشته و در پیش‌نگری تغییرات اقلیمی آتی (۲۰۲۶-۲۰۵۰) مورد استفاده قرار گرفت. نتایج



شکل ۵- تغییرات دمای حداکثر آینده دشت همدان-بهار برای سناریوهای مختلف اقلیمی آینده نسبت به دوره تاریخی

Figure 5. Future maximum temperature changes of Hamadan-Bahar plain under different climate scenarios relative to the historical period



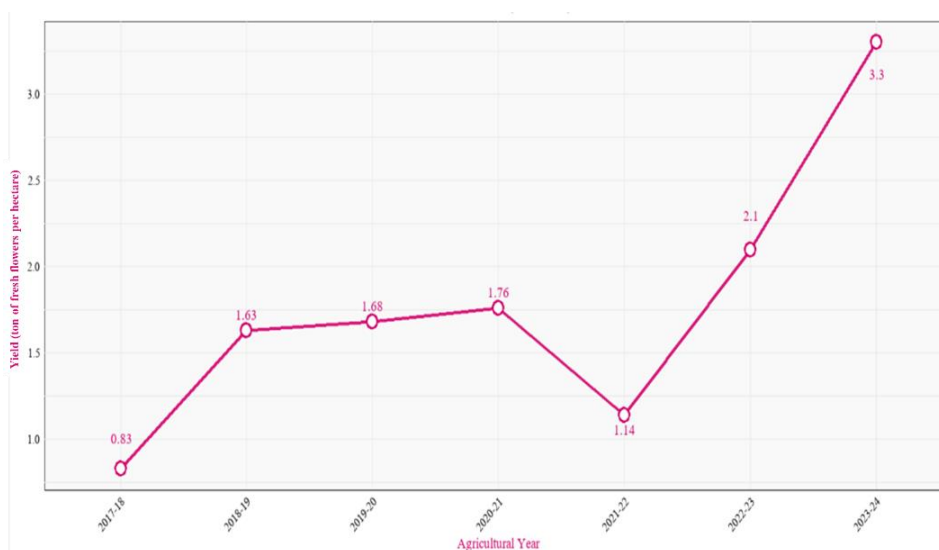
شکل ۶- تغییرات دمای حداقل آینده دشت همدان-بهار برای سناریوهای مختلف اقلیمی آینده نسبت به دوره تاریخی

Figure 6. Future minimum temperature changes of Hamadan-Bahar plain under different climate scenarios relative to the historical period

شبیه‌سازی عملکرد گیاه ارائه شد. این داده‌ها به صورت ماهانه و بلندمدت در مدل شبیه‌سازی عملکرد گیاه لحاظ شدند. مدل AquaCrop با بهره‌گیری از ورودی‌های اقلیمی جدید، عملکرد گل محمدی را شبیه‌سازی کرد.

عملکرد گل محمدی در دشت همدان - بهار در بازه ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۲ به صورت افزایشی گزارش شد که میانگین آن برابر با ۱/۶۳ تن در هکتار و بیشینه آن ۳/۳۰ تن در هکتار بود (شکل ۷). این روند مثبت ناشی از بهبود روش‌های زراعی و توسعه مکانیزاسیون گزارش شده است (Ministry of Agriculture Jihad Statistics Yearbook, 2023).

براساس نتایج حاصل از تحلیل داده‌های اقلیمی، پیش‌نگری می‌شود که در دوره آتی (۲۰۲۶-۲۰۵۰)، پارامترهای اقلیمی بارش، دمای حداقل و حداکثر در مقایسه با دوره تاریخی، تغییراتی را تجربه کنند. مدل‌های اقلیمی حکایت از آن دارند که بارش در هر سه سناریو (ایده‌آل، میانه و بحرانی) روندی کاهشی را در بلندمدت نشان می‌دهد، با این تفاوت که این کاهش در سناریو بحرانی به مراتب شدیدتر است. در مقابل، دماهای حداکثر و حداقل، روندی افزایشی را در منطقه مورد مطالعه پیش‌نگری می‌کنند. داده‌های پیش‌نگری شده برای این متغیرهای اقلیمی، به صورت ماهانه و بلندمدت، به عنوان ورودی به مدل



شکل ۷- روند تغییرات عملکرد گل محمدی طی سال زراعی ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۲

Figure 7. Trend of *Rosa damascena* yield changes during the crop years 2017-2023

همدان-بهار، چرخه فنولوژیکی کامل گیاه گل محمدی از پاییز سال اول تا بهار سال دوم به شرح زیر طی شد (جدول ۲). جوانه‌زنی در اواسط مهر (اکتبر) آغاز گردید. پس از طی مرحله سبز شدن و تشکیل برگ اولیه در بهار سال بعد، گیاه وارد مراحل رویشی کلیدی شامل تشکیل روزت و طویل شدن ساقه در اردیبهشت شد. گلدهی زود هنگام و تشکیل غوزه (میوه اولیه) در ماه‌های اسفند و فروردین رخ داد و نهایتاً مرحله رسیدگی کامل در پایان خرداد (می) محقق گردید.

بررسی‌ها نشان داد که تاریخ کاشت مناسب گل محمدی در این دشت، بیستم شهریورماه است. با توجه به اقلیم نیمه‌خشک استان همدان، شرایط کاشت از نظر دمایی در این تاریخ مهیاست (Ministry of Agriculture Jihad (Statistics Yearbook, 2023). دلیل انتخاب این تاریخ در دشت همدان - بهار بالا بودن میانگین دمای شهریور این دشت، تفاوت اقلیم و تأخیر در آماده‌بودن شرایط کاشت از نظر دمایی بود. براساس تاریخ کشت بهینه (۲۰ شهریور) در دشت

جدول ۲- زمان وقوع مراحل فنولوژی گل محمدی براساس تاریخ کشت در دشت همدان-بهار

Table 2. Phenological stages timing of *Rosa damascena* based on planting date in Hamadan-Bahar plain

Phenological stage	Date (2023-2024)
Germination	October 16
Emergence	April 16
One-leaf stage	April 26
Rosette stage	May 10
Stem elongation	May 16
Flowering	March 1
Pod formation	March 31
Maturity	May 31

توجه به کمبود آب در منطقه مورد مطالعه از گل محمدی می‌توان در تناوب کشت استفاده کرد (Rusanov *et al.*, 2020; Önder *et al.*, 2022).

این توالی زمانی، انطباق فیزیولوژیک گیاه را با شرایط اقلیمی نیمه‌خشک منطقه و استفاده از بارش‌های پاییزه و ذخیره رطوبتی زمستانه نشان می‌دهد (جدول ۲). زمان وقوع مراحل فنولوژی تقریباً همزمان با غلات است؛ بنابراین با

جدول ۳- عملکرد محصولات الگوی کشت و گل محمدی طی سال‌های ۲۰۲۵ تا ۲۰۵۰ تحت سناریوهای مختلف اقلیمی (تن در هکتار)

Table 3. Cultivated pattern products yield and *Rosa damascena* during years 2025-2050 under different climate scenarios (ton.ha⁻¹)

Crop	Baseline	Scenario SSP1-2.6	Scenario SSP2-4.5	Scenario SSP3-7.0
Alfalfa	10.20	10.17	10.15	10.12
Barley	3.77	3.67	3.65	3.62
Bean	1.39	1.35	1.35	1.34
Cucumber	21.06	20.63	20.56	20.43
Garlic	4.50	4.47	4.46	4.45
Chickpea	1.15	1.11	1.10	1.09
Potato	38.99	38.98	38.83	38.60
Clover	3.67	3.67	3.66	3.65
Canola	1.69	1.67	1.67	1.67
Sugar beet	48.15	48.06	48.12	48.09
Tomato	35.52	34.62	34.50	34.29
Watermelon	47.37	46.28	46.22	46.08
Wheat	2.63	2.58	2.57	2.56
Dryland barley	1.83	1.79	1.78	1.77
Dryland lentil	0.41	0.40	0.38	0.32
Dryland watermelon	0.72	0.71	0.65	0.59
Dryland wheat	0.43	0.42	0.40	0.38
Damask rose	3.30	3.34	3.35	3.35

Source: Research Findings

برخلاف سایر محصولات، روند صعودی داشته و پایداری بیشتری در مواجهه با تنش‌های ناشی از تغییر اقلیم از خود نشان داده است که این پایداری عملکرد، مزیت اقتصادی مهمی برای کشت گل محمدی در شرایط ناپایدار اقلیمی فراهم می‌کند.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در دوره پایه، عملکرد متوسط گل محمدی به میزان ۳/۳ تن در هکتار برآورد شده است. تحلیل روند تغییرات عملکرد محصولات زراعی در منطقه نشان می‌دهد که در بیشتر سناریوهای تغییر اقلیم آینده، عملکرد اغلب محصولات زراعی روند کاهشی را طی خواهد کرد (جدول ۳). با این حال، عملکرد گل محمدی

جدول ۴- شاخص‌های آماری برای ارزیابی کارایی مدل AquaCrop در دشت همدان-بهار

Table 5. Statistical indicators for evaluating AquaCrop model efficiency in Hamadan-Bahar plain

Parameter	NSe	RMSE	MBE	MAE
Crop yield	0.99	0.82	0.67	0.43

Source: Research Findings

۵، در نتیجه تغییرات دما و بارش، درآمد خالص بخش کشاورزی در سال‌های آتی در دشت همدان - بهار افزایش خواهد یافت که میزان جبران خسارت یادشده تا سال ۲۰۵۰ در سناریوهای ایده‌آل (SSP1-2.6)، شرایط متوسط (-SSP2) 4.5) و بحرانی (SSP3-7.0) به ترتیب برابر ۱۷/۹۰۱، ۱۷/۹۰۷ و ۱۷/۹۲۳ میلیارد تومان خواهد بود. این افزایش درآمد خالص نشان‌دهنده ظرفیت بخش کشاورزی منطقه برای سازگاری با تغییر اقلیم و حتی بهبود وضعیت اقتصادی با تغییر الگوی کشت است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که در تمامی سناریوهای اقلیمی پیش‌نگری شده، روند افزایشی دما و کاهش بارندگی به‌طور همزمان رخ خواهد داد. این تغییرات اقلیمی اثرهای متفاوتی بر الگوی کشت و سودآوری بخش کشاورزی منطقه خواهد داشت. براساس نتایج، درآمد خالص بخش کشاورزی طی دوره آتی تحت شرایط تغییر اقلیم مورد بررسی روند صعودی داشته است.

براساس مقادیر و حدود بهینه شاخص‌های آماری ذکرشده، می‌توان گفت که شبیه‌سازی مدل AquaCrop در رده خوب ارزیابی می‌شود. از این رو، کاربرد مدل در شرایط اقلیمی پیش‌نگری شده منطقه مناسب است. این اعتبار بالای مدل، اطمینان از نتایج عملکرد شبیه‌سازی شده گیاه دارویی گل محمدی را برای استفاده در تحلیل اقتصادی افزایش داده است.

در گام نهایی به منظور دسترسی به اهداف تحقیق، با توجه به حساسیت عملکرد محصولات نسبت به تغییرات دما و بارش، تغییرات عملکرد محصولات در مدل PMP لحاظ گردید و پس از اجرای مدل، میزان تغییر در درآمد خالص بخش کشاورزی نسبت به سال ۲۰۲۳ (معادل ۱۴۰۲-۱۴۰۳) که بهترین و معتبرترین اطلاعات مربوط به منطقه مورد بررسی، مربوط به این سال است و به‌عنوان سال پایه در نظر گرفته شد، محاسبه گردید. نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی‌های یادشده در قالب سناریوهای مختلف اقلیمی در ادامه ارائه شده است. براساس نتایج ارائه شده در جدول

جدول ۵- پیش‌نگری میزان تغییر درآمد خالص کشاورزی دشت همدان-بهار تحت سناریوهای مختلف اقلیمی (میلیارد تومان)

Table 6. Projection of net agricultural income change of Hamadan-Bahar plain under different climate scenarios (Billion Iranian Rial)

Scenario	Baseline period	Future period (2025-2050)	Net income change
SSP1-2.6	864.15	882.051	17.901
SSP2-4.5	864.15	882.057	17.907
SSP3-7.0	864.15	882.073	17.923

Source: Research Findings

سمت کشت محصولات با سودآوری بالاتر، کارایی بیشتر در مصرف آب و مقاومت نسبی در برابر تغییرات اقلیمی است. از سوی دیگر، نتایج حکایت از حذف کامل محصول سیر از الگوی کشت منطقه است؛ رخدادی که می‌تواند ناشی از پایین بودن سود خالص این محصول در مقایسه با سایر گزینه‌های زراعی و حساسیت بالای آن به نوسانهای اقلیمی باشد. به‌طورکلی، تغییرات ایجاد شده در سطح زیرکشت را می‌توان نوعی سازگاری فعال کشاورزان با شرایط جدید اقلیمی و اقتصادی دانست؛ به این معنا که انتخاب محصولات در راستای کاهش خطر تولید و افزایش بهره‌وری منابع محدود آب و زمین انجام شده است.

بررسی نتایج تغییرات سطح زیرکشت محصولات کشاورزی در جدول ۶ نشان می‌دهد که الگوی کشت منطقه در دوره آتی تحت تأثیر شرایط تغییر اقلیم و عوامل اقتصادی تغییرات قابل توجهی خواهد داشت. تحلیل داده‌ها بیانگر آن است که در آینده بخشی از محصولات دیم شامل یونجه، جو، لوبیا و شبدر با کاهش سطح زیرکشت مواجه می‌شوند؛ موضوعی که می‌تواند ناشی از حساسیت بالای این محصولات به تنش‌های ناشی از کاهش بارش و افزایش دما باشد. در مقابل، افزایش سطح زیرکشت در محصولاتی مانند خیار، ذرت علوفه‌ای، نخود، سیب‌زمینی، کلزا، چغندرقد، گوجه‌فرنگی، هندوانه، گندم و به‌ویژه گل‌محمدی مشاهده می‌شود. این روند افزایشی نشان‌دهنده تمایل کشاورزان به

جدول ۶- مقایسه اقتصادی الگوی کشت موجود و الگوی بهینه حاصل از مدل PMP از نظر سطح زیرکشت (مبنای مقایسه: تفاوت در

سطوح زیرکشت پیشنهادی مدل بهینه‌ساز اقتصادی با وضع موجود)

Table 6. Economic comparison of the existing cropping pattern versus the optimal (income-maximizing) pattern derived from the PMP model in terms of cultivated area

Crop	Current cultivated area	Proposed cultivated area	Change Amount
Alfalfa	14302	13888	-404
Barley	7666	6450	-1216
Bean	104	68	-36
Cucumber	812	524	-288
Garlic	1510	6	-1504
Silage corn	570	856	286
Chickpea	1550	3166	1616
Potato	13247	24117	10870
Clover	521	136	-385
Rapeseed	125	197	72
Sugar beet	48	65	17
Tomato	66	47	-19
Watermelon	482	360	-122
Wheat	16788	21750	4962
Rainfed barley	11235	4494	-6662
Rainfed lentil	282	98	-184
Rainfed watermelon	473	142	-327
Rainfed wheat	73358	66647	-6711
Damask rose	33	68	35

Source: Research Findings

داده‌های مشاهداتی، موجب شد تحلیل تغییرات اقلیمی بادقت بیشتری انجام شود. بررسی خروجی‌های این مدل برای دوره ۲۰۲۶ تا ۲۰۵۰ نشان داد که اقلیم منطقه بارش روندی کاهشی و دماهای حداقل و حداکثر روندی افزایشی خواهند داشت؛ روندی که اگرچه در همه سناریوها دیده می‌شود، اما در سناریوی بحرانی شدت بیشتری دارد. چنین الگوهایی نشان‌دهنده تغییر جدی در تعادل آبی و حرارتی دشت همدان - بهار است، به گونه‌ای که انتظار می‌رود فشار مضاعفی بر منابع آب و نظام تولید کشاورزی منطقه وارد خواهد شد. کاهش بارش در کنار افزایش دما به‌طور همزمان می‌تواند تبخیر - تعرق را افزایش داده و کارایی مصرف آب را کاهش دهد، به‌ویژه در فصل‌های گرم سال که نیاز آبی گیاهان در اوج قرار دارد. بنابراین، نتایج این مطالعه نشان‌دهنده این است که بایستی بازنگری در راهبردهای مدیریتی کشاورزی منطقه تحت شرایط تغییر اقلیم انجام شود؛ زیرا ادامه روند فعلی می‌تواند پایداری تولید محصولات آب‌بر را به شدت تهدید کند و اهمیت کشت گیاهان مقاوم به خشکی و فناوری‌های نوین آبیاری را نشان دهد. مطالعات انجام‌شده در منطقه مورد مطالعه نیز همسو با یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی عمدتاً به شکل افزایش میانگین دما و کاهش میزان بارش بروز یافته و این روند پیامدهای منفی قابل توجهی بر عملکرد محصولات زراعی، به‌ویژه گونه‌های پرمصرف آب، برجای خواهد گذاشت. استمرار این شرایط می‌تواند علاوه بر کاهش بهره‌وری محصولات اصلی، فشار مضاعفی بر منابع آبی محدود منطقه وارد نماید و در نهایت پایداری نظام کشاورزی را با چالش مواجه کند (Moazzei *et al.*, 2021; Kalanatr; Soltani *et al.*, 2023; Soltani *et al.*, 2023 *et al.*, 2025).

گل محمدی به‌عنوان یک گیاه دارویی و معطر، دارای

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، گیاه دارویی گل محمدی، به‌عنوان گونه‌ای مقاوم به تغییرات اقلیمی و با پتانسیل اقتصادی بالا، می‌تواند در شرایط اقلیمی پیش‌نگری شده برای دشت در دوره آتی، به کاهش اثر منفی این تغییرات کمک نماید. کشت این گیاه، با توجه به سازگاری آن با شرایط جدید، می‌تواند تا حدودی به جبران خسارتهای ناشی از تغییرات اقلیمی و افزایش سود خالص بخش کشاورزی منطقه در دوره آتی منجر شود. افزایش سطح زیر کشت گل محمدی در الگوی کشت پیشنهادی، نشان‌دهنده جذابیت اقتصادی این گیاه برای کشاورزان در مواجهه با تغییر اقلیم است.

بحث

گیاه دارویی گل محمدی علاوه بر کاربرد گسترده در صنایع غذایی، دارویی و آرایشی، به دلیل مقاومت نسبی به خشکی و سودآوری بالا، می‌تواند به‌عنوان یک محصول اقتصادی و پایدار برای کشاورزان مطرح باشد. کشت این گیاه با توجه به کمبود منابع آبی و تغییرات اقلیمی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و می‌تواند به توسعه پایدار کشاورزی و ایجاد ارزش افزوده اقتصادی کمک کند. در این مطالعه با استفاده از مدل LARS-WG و سناریوهای اقلیمی SSP، تغییرات اقلیم آینده در دشت همدان - بهار بررسی شد. نتایج نشان داد که تغییرات اقلیمی بر عملکرد گل محمدی و برخی محصولات پرآب اثر قابل توجهی داشته و در مدل اقتصادی منطقه‌ای منجر به تغییر سطح زیرکشت و سود خالص بخش کشاورزی در دوره آتی می‌شود.

اعتبارسنجی مدل LARS-WG با داده‌های مشاهداتی نشان داد که این مدل توانایی بالایی در بازنمایی شرایط اقلیمی منطقه دارد و همین موضوع موجب شده که استفاده از آن در پیش‌نگری‌های آینده قابل استفاده باشد. انتخاب مدل GFDL-ESM4 نیز به دلیل انحراف کمتر آن از

ویژگی‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک خاصی است که آن را نسبت به تنش‌های محیطی، به‌ویژه کم‌آبی و نوسانهای دمایی، مقاوم‌تر می‌کند. این گیاه به‌دلیل دارا بودن سیستم ریشه‌ای عمیق و گسترده، توانایی بالایی در دسترسی به رطوبت ذخیره‌شده در اعماق خاک دارد و با بهره‌گیری از سازوکارهایی مانند کاهش تعرق و افزایش کارایی مصرف آب، توانسته است در شرایط کمبود بارش و افزایش دما بقا و عملکرد نسبی خود را حفظ کند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی عملکرد گل‌محمدی و مقایسه آن با محصولات زراعی آب‌بر منطقه نشان داد در حالی که تغییر اقلیم اثر منفی بر عملکرد و سطح زیرکشت محصولات زراعی الگوی کشت بر جای گذاشته است، گل‌محمدی توانسته در برابر تغییرات اقلیمی آبی مقاومت نسبی از خود نشان دهد. این یافته بیانگر آن است که گل‌محمدی به‌دلیل ویژگی‌های اکوفیزیولوژیک، گزینه‌ای پایدار برای کشت در شرایط اقلیمی آینده منطقه به‌شمار می‌رود. تحلیل اقتصادی منطقه حکایت از آن دارد که سطح زیر کشت محصولات زراعی و آب‌بر کاهش‌یافته و به سطح زیر کشت گل‌محمدی افزوده می‌شود. این افزایش سطح زیر کشت به دلیل سودآوری بالای این گیاه، تا حدودی (به میزان ۱۷/۹۱ میلیارد تومان) خسارت‌های ناشی از تغییر اقلیم بر عملکرد گیاهان زراعی آب‌بر را جبران خواهد کرد. این میزان جبران خسارت، حدود ۳ درصد از کل خسارت‌های احتمالی ناشی از کاهش عملکرد محصولات با نیاز آبی بالا را پوشش می‌دهد. یادآوری می‌شود که این میزان جبران خسارت، بدون در نظر گرفتن ارزش افزوده ناشی از صنایع تبدیلی و صادرات گل‌محمدی است و در صورت لحاظ شدن آنها، تأثیر

اقتصادی این گیاه می‌تواند به مراتب بیشتر باشد. در مجموع، یافته‌های این پژوهش حکایت از آن دارد که توسعه کشت گل‌محمدی می‌تواند به‌عنوان راهکاری مؤثر برای تطبیق با تغییرات اقلیمی و بهینه‌سازی الگوی کشت در دشت همدان - بهار مدنظر قرار گیرد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که در سیاست‌های کشاورزی منطقه، توجه بیشتری به کشت گیاهان دارویی مقاوم به خشکی، از جمله گل‌محمدی معطوف گردد. همچنین، معرفی و توسعه سایر گیاهان دارویی با نیاز آبی کمتر می‌تواند در راستای افزایش تنوع، پایداری سیستم کشاورزی و کاهش آثار منفی تغییر اقلیم، مورد توجه برنامه‌ریزان بخش کشاورزی قرار گیرد. به منظور ترویج کشت گل‌محمدی و سایر گیاهان مقاوم، پیشنهاد می‌شود سیاست‌های اقتصادی حمایتی زیر در منطقه مورد توجه قرار گیرد.

- ارائه تسهیلات و مشوق‌های مالی برای تغییر الگوی کشت به سمت گیاهان کم‌آب و مقاوم؛
- حمایت از ایجاد صنایع فراوری و بسته‌بندی گل‌محمدی در منطقه برای افزایش ارزش افزوده و ایجاد اشتغال؛
- تسهیل دسترسی کشاورزان به بازارهای داخلی و خارجی برای فروش محصولات گل‌محمدی از طریق ایجاد زیرساخت‌های بازاریابی و صادراتی؛
- ارائه آموزش‌های تخصصی و ترویجی به کشاورزان در زمینه کشت بهینه، فراوری و بازاریابی گل‌محمدی؛
- حمایت از تحقیقات بیشتر در زمینه شناسایی و معرفی ارقام پربازده و مقاوم گل‌محمدی و سایر گیاهان دارویی مناسب برای شرایط اقلیمی منطقه.

References

- Abdulsahib, S.M., Zubaidi, S.L., Almamalachy, Y. and Dulaimi, A., 2024. Temperature and precipitation change assessment in the north of Iraq using LARS-WG and CMIP6 models. *Water*, 16(19): 2869. <https://doi.org/10.3390/w16192869>
- Afruz, A. and Zare Abyaneh, H., 2020. Investigation of agricultural water demand under the combination scenarios of climate change, irrigation efficiency enhancement, cropping pattern changes, and the development of early-maturing cultivars: A case study of Hamedan-Bahar plain. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 14(1): 61-75. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20087942.1399.14.1.6.9>
- Ahmed, Z., Gui, D., Murtaza, G., Yunfei, L. and Ali, S., 2023. An overview of smart irrigation management for improving water productivity under climate change in drylands. *Agronomy*, 13(8): 2113. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082113>
- Akol, A.M., Hassan, D.F., Mohammed, R.J., Al Janaby, Z.A.A., Kadium Abed, M.A., Hussain, S. and Razzaq, H.K., 2024. Optimizing wheat yield and water use efficiency using AquaCrop model calibration and validation in various irrigation and tillage systems under climate change. *Soil Science Annual*, 75(3): 75-78. <https://doi.org/10.37501/soilsa/195823>
- Alizadeh, Z. and Fattahi, M., 2021. The study of active compounds and antioxidant activity of waste residues obtained during essential oil and rose water production in 24 damask rose populations of east and west Azerbaijan: By-product. *Journal of Plant Research*, 34(4): 1015-1026. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1400.34.4.3.6>
- Allahyari, A., Masoum, S., Akhbari, M., Hamedi, S. and Mazoochi, A., 2021. Experimental design approach in optimization of some effective variables on quantity and quality extraction of essential oil from *Rosa damascena* mill. *Journal of the Iranian Chemical Society*, 18: 2437-2445. <https://doi.org/10.1007/s13738-021-02204-0>
- Alodah, A., 2023. Towards sustainable water resources management considering climate change in the case of Saudi Arabia. *Sustainability*, 15(20): 14674. <https://doi.org/10.3390/su152014674>
- Alvar-Beltrán, J., Soldan, R., Vanuytrecht, E., Heureux, A., Shrestha, N., Manzanar, R. and Franceschini, G., 2023. An FAO model comparison: python agroecological zoning (PyAEZ) and AquaCrop to assess climate change impacts on crop yields in Nepal. *Environmental Development*, 47: 100882. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2023.100882>
- Arias, P.A., Rivera, J.A., Sörensson, A.A., Zachariah, M., Barnes, C., Philip, S. and Otto, F.E., 2024. Interplay between climate change and climate variability: The 2022 drought in central South America. *Climatic Change*, 177(1): 6. <https://doi.org/10.1007/s10584-023-03664-4>
- Naserzadeh, M.H., Alijani, B. and Payari, M., 2020. The effect of climate change on the yield of rice in the Rasht county. *Water and Soil Science*, 24(2): 41-54. (In persian) <http://dx.doi.org/10.47176/jwss.24.2.39601>
- Babaeian, I., Modirian, R., Khazanedari, L., Karimian, M., Kouzegaran, S., Kouhi, M., Falamarzi, Y. and Malbusi, Sh., 2023. Projection of Iran's precipitation in 21st century using downscaling of selected CMIP6 models by CMHyd. *Journal of the Earth and Space Physics*, 49(2): 431-449. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2023.332410.1007436>
- Bashiri, H.R., Mousavi, S.N. and Najafi, B., 2021. An analysis of the effects of the policies of water demand management in Marvdasht: An application of the positive mathematical programming (PMP). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 52(3): 441-455. <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2019.287458.668800>
- Bayatavrkeshi, M., Imteaz, M.A., Kisi, O., Farahani, M., Ghabaei, M., Al-Janabi, A.M.S. and Yaseen, Z.M., 2023. Drought trends projection under future climate change scenarios for Iran region. *Plos One*, 18(11): e0290698. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290698>
- Charoimek, N., Phusuwan, S., Petcharak, C., Huanhong, K., Prasad, S.K., Junmahasathien, T. and Sunanta, P., 2023. Do abiotic stresses affect the aroma of damask roses?. *Plants*, 12(19): 3428. <https://doi.org/10.3390/plants12193428>
- Eekhout, J.P. and de Vente, J., 2022. Global impact of climate change on soil erosion and potential for adaptation through soil conservation. *Earth-Science Reviews*, 226: 103921. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103921>
- Elsadek, E., Zhang, K., Mousa, A., Ezaz, G.T., Tola, T.L., Shaghaleh, H. and Alhaj Hamoud, Y., 2023. Study on the in-field water balance of direct-seeded rice with various irrigation regimes under arid climatic conditions in Egypt using the AquaCrop model. *Agronomy*, 13(2): 609. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020609>
- Etedali, H.R. and Ahmadi, M., 2021. Evaluation of various meteorological datasets in estimation yield and actual evapotranspiration of wheat and maize (Case study: Qazvin plain). *Agricultural Water Management*, 256: 107080. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107080>
- Fadaei Fard, M.N., Ebrahimi, K. and Behzadpour, M., 2025. The role of water market in improving the

- economic value of agricultural water resources. *Water and Irrigation Management*, 15(1): 55-73. (In persian)
<https://doi.org/10.22059/jwim.2025.378080.1167%E2%80%8E>
- Gebeyhu, B. and Markos, G., 2023. Assessment of soil mulching field management, and deficit irrigation effect on productivity of watermelon varieties, and AquaCrop model validation. *Heliyon*, 9(11): e21632
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21632>
 - Ghazi, B. and Jeihouni, E., 2022. Projection of temperature and precipitation under climate change in Tabriz, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(7): 621. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-09848-z>
 - Gürkan, H., 2023. Evaluation of the impacts of climate change on sunflower with aquacrop model. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(4): 933-947. <https://doi.org/10.33462/jotaf.1240401>
 - Hamadan Province Agricultural Organization., 2023. Data for Hamadan province, Hamadan airport station. Unpublished raw data or specify the type of data, e.g., Meteorological data. <https://www.irimo.ir/eng/index.php>
 - Haq, M.A., 2022. CDLSTM: A novel model for climate change forecasting. *Computers, Materials & Continua*, 71(2): 2363-2381. <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.023059>
 - Hokmabadi, A.A., Tatari, M., Bagherzadeh, A. and Rahimizadeh, M., 2022. Applying multivariate factor analysis approach in land suitability evaluation for medicinal-ornamental plant damask rose in Northeast of Iran. *Journal of Ornamental Plants*, 12(3): 223-233. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.28210093.2022.12.3.8.6>
 - IPCC., 2023. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf
 - Iran Meteorological Organization., 2023. Data for Hamadan province, Hamadan airport station. Unpublished raw data or specify the type of data, e.g., meteorological data. <https://www.irimo.ir/eng/index.php>
 - Kakai, M., 2024. The study of drought resistance in different ecotypes of garlic based on tolerance indices in Hamedan weather conditions. *Horticultural Sciences*, 38(3): 537-549. <https://doi.org/10.22067/jhs.2024.85395.1303>
 - Kalantar, V., Mosavi, S.H. and Najafi Alamdarlo, H., 2025. A strategic approach to water resource efficiency and sustainable agriculture in arid regions: The role of oleaster. *Agricultural Economics and Development*, 33(2): 197-238. <https://doi.org/10.30490/aead.2025.367411.1667>
 - Kalantar, V., Mosavi, S.H. and Najafi Alamdarlo, H., 2025. Assessing the economic potential of sumac cultivation as a drought adaptation strategy in agriculture. *Agricultural Economics*, e729057. <https://doi.org/10.22034/iaes.2025.2058542.2122>
 - Kalantar, V., Mosavi, S.H., Ebadi, M.T., Soltani, S. and Nemati Shishehgaran, N., 2025. Economic assessment of saffron cultivation within the framework of climate change adaptation strategies. *Saffron Agronomy and Technology*, 13(2): 125-139. <https://doi.org/10.22048/jsat.2025.530222.1566>
 - Kalantar, V., Mosavi, S.H., Najafi Alamdarlo, H. and Saberali, S.F., 2025. Economic analysis of cropping date adjustment strategy for climate change adaptation in agriculture. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 57-2(1): 167-192. <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2025.392275.669367>
 - Karimi, E., Tadayyon, A. and Tadayyon, M.R., 2016. Effect of humic acid on yield, yield components and proline content of safflower leaves at different irrigation levels. *Journal of Crops Improvement*, 18(3): 609-623. <https://doi.org/10.22059/jci.2016.56624>
 - Keikha, A., Khanlary, A., Keikha, A.A. and Sabouhi, M., 2021. The effect of climate change on land usage and agricultural sector performance in Mazandaran province. *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(10): 93-104. <https://www.magiran.com/p2285037>
 - Khazaei, M.R., 2024. Performance comparison of four daily weather generators for historical period and downscaling future GCM scenarios. *Journal of Water and Climate Change*, 15(10), 5258-5271. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.356>
 - Kopeć, P., 2024. Climate change: The rise of climate-resilient crops. *Plants*, 13(4): 490. <https://doi.org/10.3390/plants13040490>
 - Li, N., Li, Y., Yang, Q., Biswas, A. and Dong, H., 2024. Simulating climate change impacts on cotton using AquaCrop model in China. *Agricultural Systems*, 216, 103897. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.103897>
 - Luo, L., Sun, S., Xue, J., Gao, Z., Zhao, J., Yin, Y. and Luan, X., 2023. Crop yield estimation based on assimilation of crop models and remote sensing data: A systematic evaluation. *Agricultural Systems*, 210, 103711. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103711>
 - Ministry of Agriculture Jihad Statistics Yearbook., 2023. Iran Agricultural Statistics Yearbook, Volume III: Horticultural Products. Statistical Center of Iran, Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision of the President of Iran. Retrieved from www.pbi.maj.ir

- Moazzezi, F., Mosavi, S.H., Yavari, Gh. and Bagheri, M., 2021. Assessing the impact of climate change on food security and economic welfare: Case study Hamedan-Bahar plain. *Eqtesad-E Keshavarzi Va Towse'e*, 29(114): 249-284. (In persian) <https://doi.org/10.30490/aead.2021.352780.1288>
- Moazzezi, F., Yavari, Gh.R., Mosavi, S.H. and 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 Economics and Agriculture Development*, 34(3): 305-323. (In persian) <https://doi.org/10.22067/jead.2020.17793.0>
- Mohamed, A., Abuarab, M., Al-Ansari, N., Sayed, H., Kassem, M.A., Elbeltagi, A. and Mokhtar, A., 2023. Estimation of potato water footprint using machine learning algorithms models in arid regions. 67: 1755-1774. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2452434/v1>
- Mollel, G.R., Mulungu, D.M., Nobert, J. and Alexander, A.C., 2023. Assessment of climate change impacts on hydrological processes in the Usangu catchment of Tanzania under CMIP6 scenarios. *Journal of Water and Climate Change*, 14(11): 4162-4182. <https://doi.org/10.2166/wcc.2023.542>
- Moradi, R. and Naghizadeh, M., 2023. Growth and yield response of wheat (Mihan variety) to future climate change in Kerman and Ardebil. *Agroecology*, 15(1): 1-16. (In persian) <https://doi.org/10.22067/agry.2021.70099.1043>
- Mostafazadeh, R., Talebi Khiavi, H., Esmali Ouri, A., Asgari, E. and Golshan, M., 2024. Plot-size runoff and sediment yield affected by the type of geological formations and implications for water erosion in a semi-arid region. *Modeling Earth Systems and Environment*, 10(1): 869-882. <https://doi.org/10.1007/s40808-023-01813-3>
- Nakashima, T. and Ishikawa, S., 2022. Exploring farmers' expectation toward farm-gate price of rice in Japan by positive mathematical programming. *Sustainability*, 15(1): 621. <https://doi.org/10.3390/su15010621>
- Nehbandani, A., Saadati, M., Goodarzi, M. and Soltani, A., 2022. The impact of climate change on Iran's food security: Predicting the potential yield and production of strategic crops based on SSM-iCrop2 model. *Journal of Crops Improvement*, 23(4): 871-882. <https://doi.org/10.22059/jci.2021.320843.2531>
- Önder, S., Tonguç, M., Erbaş, S., Önder, D. and Mutlucan, M., 2022. Investigation of phenological, primary and secondary metabolites changes during flower developmental of *Rosa damascena*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 192, 20-34. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.09.032>
- Onyekuru, N.A., Marchant, R., Touza, J.M., Ume, C., Chiemela, C., Onyia, C. and Eze, C.C., 2024. A-Z of cost-effective adaptation strategies to the impact of climate change among crop farmers in west Africa. *Environment, Development and Sustainability*, 26(8): 20311-20332. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03474-9>
- Pankaj, P.K., Gaur, M.K., Nirmala, G., Maruthi, V., Pushpanjali, Samuel, J. and Reddy, K.S., 2020. Diversification and land use management practices for food and nutritional security under the climate change scenario in arid and semi-arid regions of India. *Food Security and Land Use Change under Conditions of Climatic Variability: A Multidimensional Perspective*, 281-309. https://doi.org/10.1007/978-3-030-36762-6_15
- Raes, D., Fereres, E., Vila, M.G., Curnel, Y., Knoden, D., Çelik, S.K., Ucar, Y., Turk, M. and Wellens, J., 2023. Simulation of alfalfa yield with AquaCrop. *Agricultural Water Management*, 284: 108341. <https://doi:10.1016/j.agwat.2023.108341>
- Rai, A. and Fulekar, M.H., 2023. Climate change-global environmental concern: 1-10. In: Fulekar, M.H. and Dubey, R.SH., (Eds.). *Climate Change and Sustainable Development*. CRC Press, Boca Raton, 272p. <https://doi.org/10.1201/9781003205548>
- Rastegaripour, F., Tavassoli, A., Babaeian, M., Fernández-Gálvez, J. and 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>
- Reta, B.G., Yohannise, G.M. and Birhan, T.S., 2025. Dual crop coefficient of watermelon under deficit irrigation, mulching, and AquaCrop Model performance in Arba Minch, Ethiopia. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 151(1), 04024036. <https://doi.org/10.1061/JIEDDH.IRENG-10336>
- Rezaei, E.E., Webber, H., Asseng, S., Boote, K., Durand, J.L., Ewert, F., Martre, P. and MacCarthy, D.S., 2023. Climate change impacts on crop yields. *Nature Reviews Earth and Environment*, 4(12): 831-846. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00491-0>
- Riazi, Q., Simbar, M., Amir Ali AKbari, S., Mojab, F. and Shakeri, N., 2021. Effect of *Rosa damascena* on the severity of depression and anxiety in postmenopausal women: A randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. *Evidence Based Care*, 11(1): 35-43. <https://doi.org/10.22038/ebcj.2021.57608.2506>
- Rusanov, K., Kovacheva, N., Dobрева, A. and Atanassov, I., 2020. *Rosa x damascena* Mill. (Rose). *Medicinal, Aromatic and Stimulant Plants*, 467-500. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38792-1_14
- Saber, M. and Salaji, B., 2024. Simulating and drawing the prospect of drought in the Aras River

- catchment area. *Geography and Planning*, 30(95): 137-155.
<http://doi.org/10.22034/gp.2024.63747.3308>
- Safri Shad, M., Habibnejad Roshan, M., Soleimani, K., Ildoromi, A. and Zeinvand, H., 2017. Potential impact of climate change on river flow in Hamadan-Bahar watershed. *Hydrogeomorphology*, 4(10): 81-98.
https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_6381_8b8dd9dd2ac90853f7c02b242f2e99dc.pdf
 - Saha, A., Pal, S.C., Chowdhuri, I., Roy, P., Chakraborty, R. and Shit, M., 2023. Vulnerability assessment of drought in India: Insights from meteorological, hydrological, agricultural and socio-economic perspectives. *Gondwana Research*, 123: 68-88. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2022.11.006>
 - Semenov, M.A., Senapati, N., Coleman, K. and Collins, A.L., 2024. A dataset of CMIP6-based climate scenarios for climate change impact assessment in Great Britain. *Data in Brief*, 55: 110709. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110709>
 - Soltani, Sh. and Mousavi, S.H.A., 2015. Assessment of the potential effects of climate change on the underground water resources of the Hamadan-Bahar plain. *Agricultural Economics Research*, 8(30): 95-112.
https://jae.marvdasht.iau.ir/article_1990_2eed262c3a98a250c70ddec19cf7a2f5.pdf
 - Soltani, Sh., Mousavi, S.H.A., Khalilian, P. and Najafi Alamdarlu, H., 2023. Reducing the waste of agricultural products; Optimum strategy to improve food security. *Agricultural Economics*, 17(3): 35-66. (In persian) <https://www.magiran.com/p2661807>
 - Stričević, R., Lipovac, A., Djurović, N., Sotonica, D. and Čosić, M., 2023. AquaCrop model performance in yield, biomass, and water requirement simulations of common bean grown under different irrigation treatments and sowing periods. *Horticulturae*, 9(4): 507. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040507>
 - Thakur, M. and Kumar, R., 2021. Light conditions and mulch modulates the damask rose (*Rosa damascena* Mill.) yield, quality, and soil environment under mid hill conditions of the western Himalaya. *Industrial Crops and Products*, 163: 113317. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113317>
 - Wang, S., Tan, Q., Yang, P., Zhang, T. and Zhang, T., 2023. Development of an inexact simulation-evaluation model for the joint analysis of water pricing and groundwater allocation policies. *Journal of Environmental Management*, 329: 116996. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116996>
 - Zain, A., Yeo, I., Wong, L. and Shek, L.P., 2024. Climate change from the Asia-Pacific perspective: what an allergist needs to know and do. *Pediatric Allergy and Immunology*, 35(8): e14216. <https://doi.org/10.1111/pai.14216>
 - Zarei, A.R., Mahmoudi, M.R. and Moghimi, M.M., 2023. Determining the most appropriate drought index using the random forest algorithm with an emphasis on agricultural drought. *Natural Hazards*, 115(1): 923-946. (In persian) <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05579-2>
 - Zarrin, A. and Dadashi Rudbari, A.A., 2021. Prediction of successive dry and wet periods in Iran based on Hammadi output of CMIP6 bias corrected models. *Earth and Space Physics*, 47(3): 561-578. (In persian) <https://doi.org/10.22059/jesphys.2021.319270.1007295>
 - Zeydalinejad, N. and Nassery, H.R., 2023. A review on the climate-induced depletion of Iran's aquifers. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 37(2): 467-490. <https://doi.org/10.1007/s00477-022-02278-z>