

Research Paper

**Oleaster Cultivation as a Strategy for Enhanced Water Productivity
and Agricultural Resilience in Hamadan-Bahar Plain of Iran**

*V. Kalantar*¹, *S. H. Mousavi*², *H. Najafi Alamdarloo*³

Received: 20 March, 2025 Accepted: 11 June, 2025

Introduction: Climate change is one of the most significant global challenges impacting agriculture, especially in arid and semi-arid regions where water scarcity is already a critical issue. These areas face heightened vulnerability due to increasing temperatures, declining precipitation, and the growing frequency of extreme weather events. The combined effects threaten crop productivity, water availability, and ultimately, food security. Iran's Hamadan-Bahar Plain, a semi-arid agricultural zone, exemplifies these challenges. Unsustainable groundwater extraction, inefficient water management, and expanding agricultural demand intensify water stress, threatening the sustainability of conventional cropping systems, such as wheat and barley. Therefore, identifying drought-resistant and water-efficient crops is crucial for climate adaptation and sustainable agricultural development. Oleaster (*Elaeagnus angustifolia*), a native drought-resistant shrub, has drawn attention due to its low water requirements, adaptability to harsh environments, and economic potential. This study aimed at evaluating the agronomic, economic, and environmental viability of oleaster cultivation in the Hamadan-Bahar Plain under future climate scenarios for providing a practical adaptation strategy that would enhance the water productivity and support farmers' livelihoods.

Materials and Methods: The research integrated regional climate modeling, crop simulation, and economic optimization to assess the feasibility of oleaster as a sustainable crop. The study area, located in western Iran, covered the Hamadan-

-
1. MSc. Student in Agricultural Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
 2. Corresponding Author and Associate Professor, Department of Agricultural Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (shamosavi@modares.ac.ir).
 3. Associate Professor, Department of Agricultural Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

DOI: 10.30490/acad.2025.367411.1667

Bahar plain, an important semi-arid basin characterized by limited precipitation and intensive agricultural activity dependent on irrigation. Climate projections were derived using regional climate models aligned with the latest scenarios from the IPCC Sixth Assessment Report (AR6), specifically the Shared Socioeconomic Pathways (SSPs). Three future periods of 2026-2050, 2051-2075, and 2076-2100 were considered, enabling the analysis of long-term climatic trends and their impacts on agriculture. A crop growth simulation model, calibrated for oleaster and conventional crops like wheat and barley, was applied to estimate yield responses under varying climate and water availability conditions. The Positive Mathematical Programming (PMP) framework was employed to optimize land allocation and profitability across different cropping patterns, factoring in input costs, crop prices, water requirements, and climatic constraints. This approach allowed assessment of the trade-offs and synergies between economic returns and resource use efficiency.

Results and Discussion: Climate data projections indicated a marked increase in average temperatures and a decline in annual precipitation throughout the 21st century in the studied area. These climatic trends are projected to reduce water availability, posing significant risks to the productivity of traditional crops such as wheat and barley, which are sensitive to drought and heat stress. In contrast, oleaster exhibited superior resilience, with simulated yields increasing by 4 to 7 percent across all examined climate scenarios. This improvement stems from oleaster's physiological traits, including deep root systems, efficient water use, and tolerance to temperature extremes, making it well-suited to semi-arid conditions. Economically, oleaster cultivation showed notable advantages. The model results revealed an expansion of oleaster's cultivation area by about 21 hectares under future scenarios, accompanied by a net increase in agricultural income estimated at approximately 23 billion IRI reals. These economic benefits are driven by reduced input costs, especially water and fertilizers, and improved yield stability, which together enhance profitability and reduce production risks for farmers. The integration of oleaster into existing cropping systems also contributes to diversification, lowering vulnerability to climatic shocks and market fluctuations. Water productivity—the ratio of crop output to water input—was significantly higher for oleaster, indicating a more efficient use of limited water resources, a critical factor for sustainability in water-stressed regions. The study findings showed that oleaster cultivation could be a vital adaptation strategy to climate change in semi-arid agricultural zones; in addition, its drought tolerance and economic viability might enable farmers to maintain or even increase productivity under worsening climatic conditions. Moreover, oleaster cultivation

aligns with sustainable agriculture goals by lowering pressure on scarce water resources, minimizing the need for chemical inputs, and providing stable income streams. Adopting oleaster may also contribute to ecosystem health. Its cultivation can improve soil quality, reduce erosion, and enhance carbon sequestration, delivering environmental co-benefits that complement its agricultural advantages. However, realizing these benefits requires appropriate policy support, including investment in high-quality seedlings, extension services to train farmers, infrastructure for post-harvest processing, and market development to ensure profitable sales channels. Collaborative efforts between government, research institutions, and local communities will be essential to scale up oleaster cultivation and embed it within regional agricultural development programs.

Conclusion and Suggestions: This study confirms the promising role of oleaster as a strategic crop for enhancing water productivity and sustaining agricultural livelihoods in the Hamadan-Bahar Plain. By offering a climate-resilient alternative to traditional crops, oleaster cultivation can reduce vulnerability to climate change impacts, increase farm income, and promote efficient use of limited water resources. Supporting the widespread adoption of oleaster requires integrated approaches combining agronomic research, economic incentives, and policy frameworks. Future research should focus on refining management practices, exploring value-added products, and strengthening farmer participation to maximize the benefits. In summary, oleaster represents a viable and effective pathway toward climate-smart agriculture in arid and semi-arid regions, contributing to food security, resource sustainability, and rural resilience in Iran and similar environments worldwide.

Keywords: *Climate Change, Oleaster, Hamadan-Bahar (Plain), Sustainable Agriculture, Water Scarcity.*

JEL Classification: Q15, Q18, Q54

اقتصاد کشاورزی و توسعه

سال ۳۳، شماره ۱۳۰، تابستان ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی

کشت سنجد، راهبردی کلیدی برای افزایش بهره‌وری منابع آب و حفظ پایداری کشاورزی در دشت همدان – بهار

وحید کلانتر^۱، سیدحبیب‌اله موسوی^۲، حامد نجفی علمدارلو^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۱

چکیده

تغییر اقلیم، به‌عنوان یکی از چالش‌های اساسی قرن حاضر، تأثیراتی قابل توجه (شامل کاهش بارندگی، افزایش دما و وقوع پدیده‌های اقلیمی شدید) بر بخش کشاورزی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، بر جای گذاشته است. سنجد، به‌عنوان یک گونه گیاهی ارزشمند، نسبت به تنش‌های آبی از جمله خشکسالی بسیار مقاوم است. مطالعه حاضر با هدف بررسی سازگاری سنجد در شرایط تنش آبی و ارزیابی اقتصادی توان (پتانسیل) آن به‌عنوان یک گیاه مقاوم به خشکسالی در منطقه خشک و نیمه‌خشک دشت همدان – بهار انجام گرفت؛ و بدین منظور، با پیش‌نگری تغییرات آینده اقلیمی و سپس، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP)، اثرات اقتصادی این تغییرات بر الگوی کشت و عملکرد محصولات زراعی و گیاه سنجد در سه سناریوی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP3-7.0 شبیه‌سازی شد. داده‌های مورد نیاز، از

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲- نویسنده مسؤل و دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (shamosavi@modares.ac.ir).

۳- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

DOI: 10.30490/acad.2025.367411.1667

طریق طراحی و تکمیل پرسشنامه توسط کشاورزان منطقه، در سال زراعی ۱۴۰۱-۰۲ گردآوری و اطلاعات مکمل نیز از نهادهای مرتبط نظیر جهاد کشاورزی و مرکز آمار ایران استخراج شد. نتایج پیش‌نگری اقلیمی نشان داد که دشت مورد مطالعه در آینده با کاهش بارندگی و افزایش دما مواجه خواهد شد؛ همچنین، این تغییرات اقلیمی تأثیرات متناقض بر عملکرد محصولات زراعی دارد، به گونه‌ای که عملکرد سنجد در همه سناریوهای اقلیمی یادشده به میزان چهار تا هفت درصد افزایش خواهد یافت، در حالی که سایر محصولات زراعی منطقه از این تغییرات تأثیرات منفی می‌پذیرند. بر اساس تحلیل‌های اقتصادی، افزایش عملکرد سنجد موجب گسترش ۲۱ هکتاری سطح زیر کشت این محصول و افزایش ۳/۲ میلیارد تومانی سوددهی بخش کشاورزی خواهد شد. توسعه کشت سنجد در شرایط کم‌آبی و گرمایش جهانی می‌تواند به‌عنوان یک راهکار سازگار با اقلیم، به بهبود بهره‌وری آب، افزایش درآمد کشاورزان و پایداری نظام‌های کشاورزی منطقه کمک کند.

کلیدواژه‌ها: تغییر اقلیم، سنجد، دشت همدان - بهار، کشاورزی پایدار، کم‌آبی.

طبقه‌بندی JEL: Q15, Q18, Q54

مقدمه

بخش کشاورزی، به‌عنوان یکی از ارکان کلیدی اقتصاد ملی، نقش اساسی در تأمین امنیت غذایی، افزایش سطح رفاه و ایجاد اشتغال پایدار در مناطق روستایی دارد (Ochieng et al., 2016). در چنین بستری، ضرورت توجه به برنامه‌ریزی منابع به‌ویژه در مواجهه با چالش‌هایی همچون تغییر اقلیم بیش از پیش احساس می‌شود. در اقتصادهای وابسته به کشاورزی و از آن جمله اقتصاد بسیاری از کشورهای در حال توسعه و حتی توسعه‌یافته، برنامه‌ریزی جامع برای بهینه‌سازی بهره‌برداری از منابع تولیدی کشاورزی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، در راستای دستیابی به حداکثر بازدهی اقتصادی، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است (Xue et al., 2017; O'Connor et al., 2017; Mishenin et al., 2021). تغییرات اقلیمی با تأثیرات قابل توجه بر چرخه آب و در نتیجه، بر منابع آب شیرین همراه بوده است (Amanullah et al., 2020). این اهمیت در بستر اقتصادهای وابسته به کشاورزی به‌مراتب بیشتر احساس می‌شود.

همان‌گونه که گفته شد، یکی از چالش‌های اصلی در بهینه‌سازی منابع تولید تغییر اقلیم است. تغییر اقلیم در مقیاس جهانی و منطقه‌ای را می‌توان به‌عنوان تغییرات قابل توجه و پایدار در الگوهای آب‌وهوایی یک منطقه یا کره زمین در بلندمدت تعریف کرد (Upadhyay, 2020; Masson-Delmotte et al., 2021; Ali et al., 2023; Abbass et al., 2024). تشدید رویدادهای اقلیمی ناگوار نظیر طوفان‌های سهمگین در سطح جهانی گواهی بر تغییرات گسترده اقلیمی کره زمین

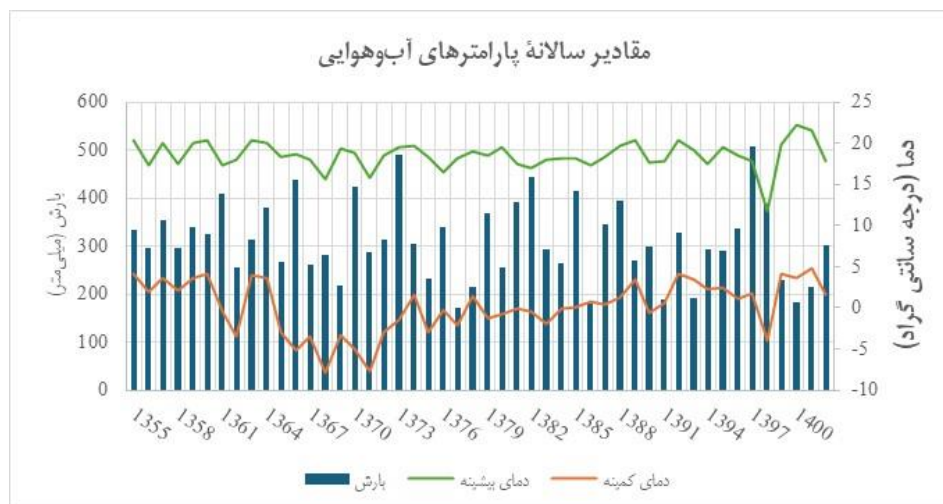
است. تغییرات اقلیمی، کاهش میزان منابع آب و افزایش دمای متوسط جهانی^۱ به همراه پیامدهای ناشی از آن تهدیدی جدی برای سامانه‌های طبیعی و رفاه اجتماعی - اقتصادی بشر محسوب می‌شوند (Stevanović et al., 2016; Sadian & Shafizadeh-Moghadam, 2025). تشدید پدیده گرمایش جهانی و نوسان‌های اقلیمی در دهه‌های اخیر به دغدغه اصلی اقلیم‌شناسان و سیاست‌گذاران جهانی در راستای حفظ منابع طبیعی موجود تبدیل شده است (van der Linden & Weber, 2021; Piontek et al., 2021; Custodio et al., 2022; Mikulčić et al., 2022; Douville et al., 2022; Malla et al., 2022; Gabric, 2023; Leddin & Montgomery, 2023; Raihan, 2023; Gilli et al., 2024; Haueis, 2024). در پاسخ بدین چالش‌ها، آنچه در اولویت پژوهش‌های اقلیمی و سیاست‌گذاری‌های کشاورزی قرار گرفته، تمرکز بر راهبردهای سازگاری به‌ویژه در مدیریت منابع آب است. از مهم‌ترین این راهکارها می‌توان به تغییر الگوی کشت به نفع کاشت گیاهان مقاوم به تنش آبی (Fan et al., 2023)، بهره‌گیری از فناوری‌های نوین مانند آبیاری هوشمند و دقیق (Ahmed et al., 2023)، استفاده از مدل‌های پیش‌نگری اقلیمی برای برنامه‌ریزی منابع آب (Herman et al., 2020) و ارتقای بهره‌وری مصرف آب (Nikolaou et al., 2020) در مزرعه اشاره کرد. این رویکردها می‌توانند در افزایش تاب‌آوری نظام‌های زراعی در برابر نوسان‌های اقلیمی، نقشی مؤثر ایفا کنند.

در این میان، کشور ایران نیز از تأثیرات مستقیم تغییرات اقلیمی مستثنی نبوده است. ایران، به‌عنوان کشوری با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، از تغییرات اقلیمی به‌شدت تأثیر می‌پذیرد (Zarrin & Dadashi-Roudbari, 2021; Kadkhoda et al., 2024; Allahvirdipour et al., 2024). افزایش دما، تغییر در الگوهای بارش و وقوع خشکسالی‌های مکرر به‌شدت بر منابع آبی کشور فشار وارد کرده است. از یک‌سو، کاهش بارندگی، افزایش دمای هوا، کاهش ذخایر برفی ارتفاعات و پس‌روی یخچال‌های طبیعی کوهستانی و از سوی دیگر، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، رشد فزاینده جمعیت، توسعه ناپایدار کشاورزی، و ضعف در حکمرانی منابع آب از مهم‌ترین عوامل طبیعی و انسانی به‌شمار می‌روند که به کاهش منابع آب تجدیدپذیر و تشدید بحران آب در بسیاری از مناطق کشور منجر شده‌اند (Asif et al., 2023; Azizian & Hosseini, 2023). این شرایط نه‌تنها بر بخش کشاورزی و تأمین آب آشامیدنی تأثیر گذاشته، بلکه بر زیست‌بوم‌های آبی و تنوع زیستی نیز اثرات مخرب داشته است.

1. Global Mean Temperature (GMT)

یکی از نمونه‌های بارز تأثیر تغییرات اقلیمی در سطح منطقه‌ای «دشت همدان - بهار» است که به‌عنوان یکی از دشت‌های مهم کشاورزی ایران، اقلیمی سرد و نیمه‌خشک دارد و میانگین دمای این دشت سیزده درجه سانتی‌گراد و بارش سالانه آن نیز ۲۹۰ میلی‌متر گزارش شده است (HPMO, 2023). با این همه، تحلیل روندهای اقلیمی چند دهه اخیر حاکی از افزایش تدریجی دما و کاهش محسوس بارش در این منطقه است. شکل ۱ تغییرات میانگین دمایی و بارندگی سالانه دشت همدان - بهار را طی دوره آماری ۱۳۵۵ تا ۱۴۰۲ به تصویر کشیده، که نشان‌دهنده افزایش تدریجی دمای حداقل و حداکثر سالانه و کاهش محسوس بارندگی است. این روند بیانگر اثرات قابل توجه تغییر اقلیم در منطقه بوده، که موجب افزایش تبخیر، کاهش رطوبت خاک، کاهش منابع آب تجدیدپذیر و در نتیجه، تشدید تنش‌های آبی شده است. دشت مورد مطالعه که به‌عنوان یکی از زیرحوضه‌های مهم حوضه آبریز سیمینه‌رود شناخته می‌شود، با وسعتی در حدود ۲۴۵۹ کیلومتر مربع در دامنه شمالی ارتفاعات الوند واقع شده است. از این مساحت، حدود ۸۸۰ کیلومتر مربع به دشت آبرفتی اختصاص دارد، که بیشترین فعالیت‌های کشاورزی در این بخش متمرکز است. مطابق آمارهای موجود، حدود ۱۳۴ هزار هکتار از اراضی این دشت به کشت محصولات زراعی اختصاص یافته، که ۶۸/۴ درصد آن زیر کشت دیم است. سطح گسترش آبخوان اصلی دشت همدان - بهار حدود ۴۶۸ کیلومتر مربع برآورد شده و این پهنه دارای ارتباط آب - زمین‌شناختی (هیدروژئولوژیکی) با دشت‌های مجاور از جمله کبودرآهنگ و قهقوند است (MAJ, 2023). دشت همدان - بهار، به‌عنوان یکی از مناطق مستعد به اثرات ناگوار تغییرات اقلیمی، در سال‌های اخیر، دستخوش تغییرات قابل توجه در الگوهای بارندگی و دما شده است. پژوهشگران مختلف، با هدف سازگاری با این تغییرات و کاهش آسیب‌پذیری بخش کشاورزی در این منطقه، راهبردهای متعدد را پیشنهاد کرده‌اند، از جمله این راهبردها می‌توان به کشت ارقام مقاوم به خشکی، اعمال مدیریت بهینه برداشت آب، ارتقای فناوری‌های آبیاری و اصلاح الگوی کشت اشاره کرد. با این همه، برای دستیابی به یک راهکار جامع و پایدار، ضرورت دارد تا مطالعات بیشتری در این زمینه انجام شده، ترکیبی از این راهکارها در نظر گرفته شود (Soltani & Mousavi, 2015; Salami et al., 2015; Soltani & Mousavi, 2016; Safri Shad et al., 2017; Moazzezi et al., 2020; Afruzi & Zare Abyaneh, 2020; Moazzezi et al., 2021; Soltani et al., 2023b).

کشت سنجد، راهبردی کلیدی برای افزایش.....



شکل ۱- مقادیر سالانه پارامترهای آب‌وهوایی دشت همدان- بهار طی سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۴۰۲ (ایستگاه سینوپتیک فرودگاه همدان)

در شرایط، یادشده استفاده از گونه‌های مقاوم به خشکی از جمله سنجد^۱ می‌تواند به‌عنوان راهکاری سازگار مطرح شود. سنجد، به‌عنوان گونه‌ای بومی و مقاوم به خشکی، یکی از گیاهان شاخص زیر کشت در دشت همدان- بهار به‌شمار می‌رود. با توجه به پراکنش طبیعی سنجد در مناطق خشک و نیمه‌خشک آسیا و اروپا، به‌دلیل توانایی بالای آن در سازگاری با شرایط محیطی نامساعد، از این گیاه به‌گونه‌ای گسترده در زمین‌های دشت همدان- بهار نیز استفاده شده است (Khadivi et al., 2021; Zare et al., 2023; Al-Mohamed et al., 2023; Say et al., 2024). از مهم‌ترین مزایای کشت سنجد در این منطقه می‌توان به نقش آن در تثبیت خاک، افزایش پوشش گیاهی، عملکرد آن به‌عنوان بادشکن، و احیای اراضی کم‌بازده اشاره کرد (Tuttle, 2017; Karimian & Farashi, 2021). افزون بر این، به‌دلیل خواص دارویی فراوان و کاربردهای گسترده سنجد در صنایع غذایی، آرایشی و دارویی، طی دهه‌های اخیر، این گیاه مورد توجه پژوهشگران و بهره‌برداران قرار گرفته است (Raj & Sharma, 2017; Abaas et al., 2017; Dincă & Timiș-Gânsac, 2020; Darvishzadeh Boroojeni, 2021). با توجه به سازگاری بالای سنجد با شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک ایران،

1. *Elaeagnus angustifolia*

توسعه کشت این گیاه نه تنها می تواند به افزایش تاب آوری کشاورزی کمک کند، بلکه با توجه به تقاضای بین المللی، ظرفیت بالای صادرات سنجد ایران به کشورهای منطقه و اروپا نیز وجود دارد. با توجه به ویژگی های منحصر به فرد سنجد، این گیاه از منظر پایداری و سازگاری اقلیمی شایسته توجه ویژه است. با وجود ظرفیت های متنوع اقتصادی، زیست محیطی و بوم شناختی سنجد، در ادبیات پژوهشی داخلی و بین المللی، کمتر به نقش آن به عنوان یک راهبرد برای سازگاری با تغییرات اقلیمی پرداخته شده است. این در حالی است که ویژگی هایی همچون مقاومت به خشکی، نیاز آبی پایین و قابلیت رشد در اراضی کمپارده، این گیاه را به گزینه ای مناسب برای افزایش تاب آوری الگوهای بهره برداری کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک تبدیل می کند. بر همین اساس، پژوهش حاضر، با نگاهی تحلیلی، به بررسی نقش کشت سنجد در مقابله با اثرات اقلیم پرداخته و هدف آن ارزیابی این موضوع بوده است که «آیا کشت سنجد، علاوه بر مزایای اقتصادی و دارویی، می تواند به عنوان یک راهبرد پایدار برای مقابله با اثرات زیانبار تغییرات اقلیمی در نظر گرفته شود؟». برای پاسخ بدین پرسش، نخست، روند تغییرات اقلیمی منطقه بررسی شده است؛ سپس، با استفاده از شبیه سازی عملکرد محصولات رایج در شرایط اقلیمی آینده و توسعه یک مدل اقتصادی کشاورزی، تحلیلی بر آثار گسترش کشت سنجد بر الگوی کشت و درآمد بهره برداران صورت گرفته و یافته های تحلیل به همراه پیشنهادهای سیاستی کاربردی ارائه شده است.

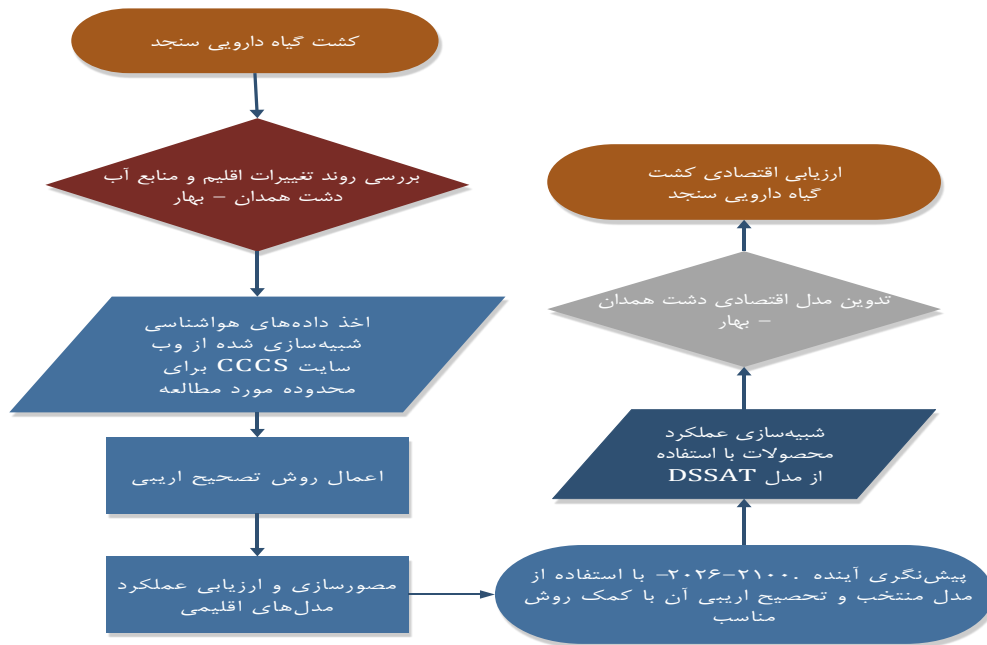
مواد و روش شناسی پژوهش

در راستای پاسخ به سؤالات پژوهش و بر اساس چارچوب مفهومی ارائه شده در شکل ۲، مسیر تحقیق در قالب یک فرآیند مرحله ای و تلفیقی طراحی شده است. در مرحله اول، کشت گیاه دارویی سنجد به عنوان گزینه ای بالقوه برای انطباق با شرایط جدید اقلیمی در منطقه دشت همدان - بهار در کانون توجه قرار گرفته و سپس، در مرحله دوم، با هدف تحلیل دقیق تر اثرات تغییر اقلیم، روند تغییرات اقلیم و منابع آب در این دشت بررسی شده است. آنگاه در مرحله سوم، داده های شبیه سازی شده اقلیمی از وبگاه معتبر کمیسیون رقابت و مصرف کننده سنگاپور^۱ برای منطقه مورد مطالعه استخراج شده و در مرحله چهارم، به منظور کاهش خطاهای نظام مند و افزایش دقت پیش نگری ها، این داده ها در قالب روش های مناسب تصحیح اربیبی^۲ ارزیابی شده است. در مرحله پنجم، سنجش عملکرد مدل های اقلیمی با استفاده از شاخص های ارزیابی آماری و بصری صورت گرفته و نتایج به صورت نمودار مصورسازی شده است. در مرحله ششم، با بهره گیری از مدل اقلیمی منتخب و داده های

1. Competition and Consumer Commission of Singapore (CCCS)
2. bias correction

کشت سنجد، راهبردی کلیدی برای افزایش.....

تصحیح شده، پیش‌نگری وضعیت اقلیم در دوره ۲۰۲۶-۲۱۰۰ بر اساس سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای انجام شده و در مرحله هفتم، به منظور ارزیابی تأثیرات اقلیم آینده بر عملکرد زراعی، از مدل زیستی سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری برای انتقال فناوری کشاورزی^۱ استفاده شده است. در مرحله هشتم، یک مدل اقتصادی در سطح دشت همدان - بهار توسعه داده شده است تا از این رهگذر، تغییرات الگوی کشت و درآمد بهره‌برداران در شرایط جدید اقلیمی و سناریوهای کشت سنجد تحلیل شود. سرانجام، در مرحله نهم، پیامدهای اقتصادی کشت گیاه دارویی سنجد در مقایسه با الگوی فعلی کشاورزی منطقه بررسی شده است. این چارچوب تحلیلی دربرگیرنده ترکیبی از مدل‌سازی اقلیمی، شبیه‌سازی عملکرد زراعی و تحلیل اقتصادی بوده و بر مبنای جدیدترین مطالعات علمی شکل گرفته است (Mollet et al., 2023; Abdulsahib et al., 2024; Khazaee, 2024; Semenov, 2024).



شکل ۲- فرآیند روش‌شناسی پژوهش

1. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT)

مدل گردش عمومی جو^۱ به‌عنوان یکی از منابع اصلی داده در پژوهش‌های تغییرات آب‌وهوایی شناخته می‌شود. این مدل‌ها ابزارهایی پیشرفته‌اند که به‌طور گسترده، برای شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی گذشته و پیش‌نگری سناریوهای آینده به‌کار می‌روند (He et al., 2019). این مدل‌ها، پس از واسنجی و اعتبارسنجی با داده‌های اقلیمی مشاهداتی، امکان تحلیل دقیق مخاطرات اقلیمی در مقیاس‌های منطقه‌ای و جهانی را فراهم می‌سازند. در پژوهش حاضر، با هدف ارزیابی تغییرات اقلیمی آینده در دشت همدان - بهار، خروجی‌های نه مدل گردش عمومی جو از ششمین مرحله پروژه مقایسه مدل‌های جفت‌شده اقلیمی^۲ که جدیدترین و به‌روزترین مرحله این پروژه جهانی محسوب می‌شود، استخراج شده است (جدول ۱). این مدل‌ها توسط مراکز تحقیقاتی معتبر در کشورهای مختلف توسعه یافته‌اند و توانایی شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی مانند دما و بارش را در مقیاس جهانی دارند. وضوح مکانی (درجه تفکیک) هر مدل با مدل دیگر در همین مجموعه مدل‌ها متفاوت است، که بر دقت پیش‌نگری آنها تأثیر می‌گذارد. جدول ۱ نام مدل‌ها و نیز کشور توسعه‌دهنده و درجه تفکیک مکانی آنها را نشان می‌دهد. این مرحله توسط برنامه تحقیقات اقلیم جهانی^۳ با هدف بهبود درک علمی از تغییرات اقلیم و ارزیابی سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای طراحی شده است. برای ارزیابی تغییرات اقلیمی، داده‌های روزانه بارش، حداقل دما و حداکثر دما در ایستگاه سینوپتیک همدان (فرودگاه)، برای دوره پایه ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴، از پایگاه داده خدمات تغییرات اقلیمی کوپرنیک^۴ استخراج شده و از این داده‌ها در سه سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای معرف مسیرهای اجتماعی - اقتصادی مشترک^۵ استفاده شده است، که عبارت‌اند از: SSP1-2.6 (سناریوی خوش‌بینانه با کاهش شدید انتشار گازهای گلخانه‌ای و حرکت به سوی توسعه پایدار)، SSP2-4.5 (سناریوی میانه با روند متوسط توسعه و کاهش محدود انتشار گازهای گلخانه‌ای) و SSP3-7.0 (سناریوی بدبینانه با افزایش قابل توجه انتشار گازهای گلخانه‌ای و همکاری‌های بین‌المللی محدود). انتخاب این مدل‌ها بر اساس مطالعات پیشین (Zarrin & Dadashi-Roudbari, 2021; Zarrin et al., 2022; Soltani et al., 2023a; Babaeian et al., 2023; Nemati Shishehgaran et al., 2024; Saber & Salahi, 2024; Babaeian et al., 2024) و تنوع مؤسسات تحقیقاتی آماده‌سازی (تدوین‌کننده/ ارائه‌دهنده) مدل‌ها در ششمین مرحله پروژه مقایسه مدل‌های جفت‌شده اقلیمی (CMIP6) صورت پذیرفت. همچنین،

1. General Circulation Model (GCM)
2. Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMP6)
3. World Climate Research Programme (WCRP)
4. Copernicus Climate Change Service (C3S)
5. Shared Socioeconomic Pathways (SSP)

کشت سنجد، راهبردی کلیدی برای افزایش.....

داده‌های خروجی مدل‌ها (با فرمت NetCDF)، پس از پردازش‌های لازم برای تطبیق با محیط نرم‌افزار ArcGIS، به‌منظور تحلیل‌های بعدی آماده شدند. مشخصات فنی هر کدام از مدل‌های یادشده در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مدل‌ها و مؤسسات آماده‌سازی پروژه CMIP6

درجه تفکیک	مدل	مؤسسات تحقیقاتی تدوین‌کننده مدل‌ها
درجه ۱/۲۵×۱/۰۰	ACCESS-CM2	Australia
درجه ۱/۲۵×۱/۰۰	ACCESS-ESM1-5	Australia
درجه ۱/۱۱×۱/۰۰	BCC-CSM2-MR	China
درجه ۱/۴۰×۱/۰۰	CNRM-CM6-1-HR	France
درجه ۰/۹۰×۰/۴۰	MPI-ESM1-2-HR	Germany
درجه ۱/۰۰×۰/۲۵	GFDL-ESM4	USA
درجه ۱/۲۵×۱/۰۰	IPSL-CM6A-LR	France
درجه ۱/۴۰×۱/۰۰	MIROC 6	Japan
درجه ۱/۱۰×۰/۵۰	MRI-ESM2-0	Japan

مأخذ: یافته‌های پژوهش

تصحیح اریبی

در پژوهش حاضر، به‌منظور ارتقای دقت پیش‌نگری‌های حاصل از مدل‌های گردش عمومی جو (GCMs)، از روش نگاشت چندک^۱ بهره گرفته شد. این روش آماری کارآمد، با تطبیق توابع توزیع تجمعی مشاهدات و خروجی مدل، قادر به تصحیح گشتاورهای آماری اول و دوم مدل‌هاست. به‌طور مشخص، روش نگاشت چندک (QM)، با استقرار توابع توزیع تجمعی مجزا برای روزهای بارانی و خشک، به هم‌گراسازی توزیع بارش، حداقل دما و حداکثر دمای شبیه‌سازی‌شده توسط مدل با توزیع مشاهدات می‌پردازد. اساس این روش بر مبنای تبدیل تجربی توابع توزیع استوار بوده و کارایی آن در اصلاح اریب‌های موجود در خروجی مدل‌های GCM به‌طور گسترده اثبات‌شده است. در مطالعه حاضر، با اعمال یک تابع تبدیل ریاضی در قالب رابطه (۱)، توابع توزیع متغیرهای شبیه‌سازی‌شده به توابع توزیع متناظر در مشاهدات نگاشت شده و بدین ترتیب، توزیع خروجی مدل‌ها با شرایط واقعی همخوانی یافته است:

1. Quantile Mapping (QM)

$$X_0 = f(X_m) \quad (1)$$

در پژوهش حاضر، به منظور همسان‌سازی توزیع خروجی مدل‌های اقلیمی با داده‌های مشاهده‌ای، از روش نگاشت چندک (QM) بهره گرفته شد. روش QM مبتنی بر این فرض است که تابع توزیع تجمعی متغیر مورد مطالعه (مانند بارش یا دما) شناخته می‌شود. در این روش، با اعمال یک نگاشت ریاضی (f) بر روی مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل (X_m)، توزیع این مقادیر به توزیع داده‌های مشاهده‌ای (X_0) نزدیک می‌شود. به بیان دقیق‌تر، طراحی تابع تبدیل f به گونه‌ای صورت می‌گیرد که تابع توزیع تجمعی مقادیر [وارد] مدل شده پس از اعمال نگاشت با تابع توزیع تجمعی مشاهدات هم‌ارز شود. این رویکرد امکان برآورد دقیق‌تر و قابل اطمینان‌تر کمیت‌های هیدروکلیمایی [هیدروکلیماتیک] یا همان آب-اقلیمی^۱ را فراهم می‌آورد.

هدف از اعمال این نگاشت، انطباق تابع توزیع تجمعی خروجی مدل با تابع توزیع داده‌های مشاهده‌شده است؛ به گونه‌ای که اختلافات آماری میان مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر واقعی کاهش و دقت برآورد متغیرهای اقلیمی افزایش یابد. شکل عمومی این تبدیل به صورت رابطه زیر است:

$$P_o = F_o^{-1}(F_m(P_m)) = F_o^{-1}(Q_n) \quad (2)$$

برای ارزیابی دقت پیش‌نگری‌ها، از روش نگاشت چندک (QM) بهره گرفته شد. در این روش، تابع توزیع تجمعی مشاهدات (F_o) با تابع توزیع تجمعی پیش‌نگری‌ها (F_m) مقایسه می‌شود. همچنین، تعیین چندک مقدار پیش‌نگری (Q_n) در تابع توزیع تجمعی پیش‌نگری تصحیح‌شده (F_m) صورت می‌گیرد. آنگاه مقدار پیش‌نگری تصحیح‌شده اریبی (P_o) با مقدار پیش‌نگری اولیه (P_m) مقایسه می‌شود^۲.

با توجه به اهمیت این شاخص‌ها در مطالعات هیدرولوژی یا همان آب‌شناسی و نیز اقلیم‌شناسی، نتایج حاصل از ارزیابی با این روش قابلیت تعمیم به طیف گسترده کاربردهای مدل‌های اقلیمی را داراست. شاخص‌های به‌کاررفته در پژوهش حاضر عبارت‌اند از میانگین خطای مطلق^۳،

1. hydroclimatic quantities

^۲- برای آشنایی بیشتر با جزئیات فنی این روش، به مطالعات مارئون (Maraun, 2016) و نعمتی شیشه‌گران و همکاران (Nemati Shishehgaran et al., 2024) مراجعه شود.

3. Mean Absolute Error (MAE)

کشت سنجد، راهبردی کلیدی برای افزایش.....

میانگین خطای اریب^۱، انحراف/ خطای جذر میانگین مربعات^۲ و کارآیی (راندمان) نش- ساتکلیف^۳، که از آنها در مطالعات اقلیمی برای سنجش دقت مدل‌ها به‌گونه‌ای گسترده استفاده می‌شود (Londhe et al., 2023; Nigussie et al., 2023; Rajput et al., 2024; Nemati) (Shishehgaran et al., 2024).

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^n F_t - A_t}{n} \quad (۳)$$

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} \quad (۴)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (۵)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{\sum_{t=1}^n (A_t - \bar{A})^2} \quad (۶)$$

در پژوهش حاضر، با هدف ارزیابی دقت مدل‌های پیش‌نگری اقلیم، مقایسه‌ای بین مقادیر پیش‌نگری شده (F_t) و مشاهده‌شده (A_t) هر متغیر اقلیمی در هر ایستگاه سینوپتیک، با تکیه بر حجم داده‌های موجود (n)، صورت پذیرفت. به‌منظور سنجش کارآیی مدل‌ها، از شاخص‌های ضریب تعیین (R^2)، میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین خطای اریب (MBE)، انحراف/ خطای جذر میانگین مربعات (RMSD/RMSE) و ضریب کارآیی (راندمان) نش- ساتکلیف (NSE)، که همگی از واحد متغیر اقلیمی برخوردارند، استفاده شده است. در ادامه، به‌منظور تحلیل روندهای بلندمدت اقلیمی، تغییرات احتمالی شاخص‌های مورد بررسی در سه بازه زمانی آینده شامل ۲۰۲۶-۲۰۵۰، ۲۰۲۶-۲۰۷۵، ۲۰۲۶-۲۰۵۱ و ۲۰۲۶-۲۱۰۰ ارزیابی شده است.

شبیه‌سازی عملکرد محصولات

در مرحله بعدی، به‌منظور شبیه‌سازی رشد و عملکرد محصولات کشاورزی در شرایط مختلف اقلیمی و مدیریتی، از مدل شبیه‌ساز سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری برای انتقال فناوری کشاورزی (DSSAT) استفاده شده است. این مدل یک ابزار جامع در ارزیابی واکنش محصولات زراعی نسبت

1. Mean Bias Error (MBE)
2. Root-Mean-Square Error/Deviation (RMSE/RMSD)
3. Nash-Sutcliffe Efficiency

به تغییرات تبخیر و تعرق، شرایط محیطی و سناریوهای مختلف مدیریت زراعی به شمار می‌رود (Mubeen et al., 2020; Arshad Awan et al., 2021; Gunawat et al., 2022; Verma et al., 2023; Ajilogba & Walker, 2023). این مدل با استفاده از معادلات ریاضی پیچیده، فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه از جمله فتوسنتز، تنفس، رشد رویشی و زایشی، مصرف آب و نیتروژن را شبیه‌سازی می‌کند. به‌طور کلی، رابطه مدل سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری برای انتقال فناوری کشاورزی (DSSAT) به‌صورت زیر تدوین می‌شود:

$$Y = f(C, M, G) \quad (7)$$

که در آن، Y عملکرد محصول، C شرایط آب‌وهوایی، M مدیریت کشاورزی و G ژنوتیپ گیاه را نشان می‌دهد. در این مدل شبیه‌سازی، مدیریت کشاورزی به‌صورت کمی شامل زمان‌بندی و میزان آبیاری، نوع و مقدار کوددهی، تاریخ کاشت و برداشت، و روش‌های کنترل آفات تعریف شده است تا تأثیر تغییرات در این عوامل بر عملکرد محصول بررسی شود. در پژوهش حاضر، از مدل DSSAT برای شبیه‌سازی عملکرد محصولات الگوی کشت دشت همدان - بهار و همچنین، گیاه دارویی مقاوم به خشکی سنجد در سه دوره آبی استفاده شده است. با بهره‌گیری از این مدل، می‌توان تغییرات عملکرد محصولات در الگوی کشت و همچنین، گیاه دارویی سنجد را در دوره‌های آینده شبیه‌سازی و تحلیل کرد.

شبیه‌سازی اقتصادی منطقه

در پژوهش حاضر، با استفاده از رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی^۱ که نخستین بار توسط هاویت معرفی و به‌عنوان جایگزینی کارآمدتر برای رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی هنجاری^۳ مطرح شد (Wilke, 2024; Baldi et al., 2024; Mimoun et al., 2025)، طراحی مدل اقتصادی برای منطقه مورد مطالعه صورت گرفت. فرمول‌بندی ریاضی مدل توسعه‌یافته به‌صورت روابط زیر است (Soltani & Mousavi, 2015; Soltani et al., 2016; Moazzezi et al., 2020; Moulogianni & Bournaris, 2021; Nakashima & Ishikawa, 2023; Ghaffari et al., 2022; Asadi et al., 2025):

1. Positive Mathematical Programming (PMP)
2. Howitt
3. Normative Mathematical Programming (NMP)

کشت سنجد، راهبردی کلیدی برای افزایش.....

$$\text{Max } \omega = \sum_{i=1}^{18} X_i(P_i Y_i - C_i) + X_o(P_o Y_o - C_o) \quad (8)$$

st:

$$\sum_{i=1}^{19} X_{i,o} \leq 143142 \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^{19} W_{i,o} X_{i,o} \leq 3648866.13 \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^{19} L_{i,o} X_{i,o} \leq 2323396 \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^{19} T_{i,o} X_{i,o} \leq 19667801 \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^{19} N_{i,o} X_{i,o} \leq 26155172 \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^{19} Ph_{i,o} X_{i,o} \leq 17384944 \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^{19} Po_{i,o} X_{i,o} \leq 3649230.002 \quad (15)$$

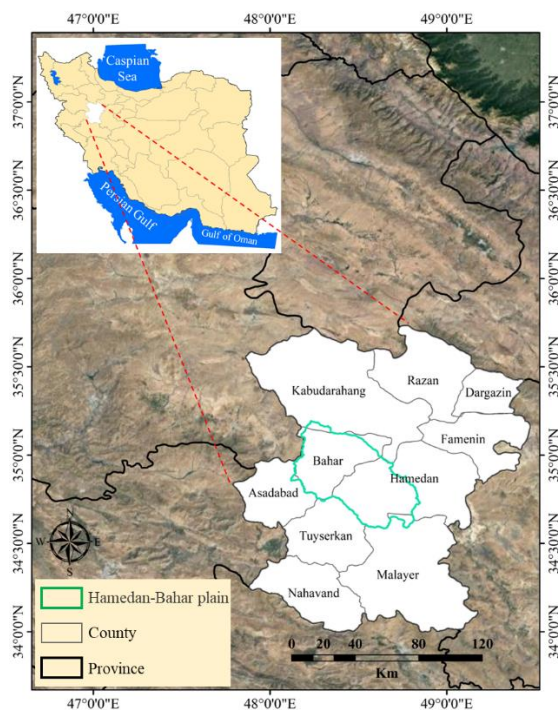
$$\sum_{i=1}^{19} K_{i,o} X_{i,o} \geq 125040428 \quad (16)$$

$$X_{i,o} \geq 0 \quad (17)$$

که در این روابط، ω بازده ناخالص حاصل از کل فعالیت‌های زراعی منطقه در یک دوره زمانی مشخص (۲۵ساله) بر حسب میلیارد تومان است. همچنین، مدل ارائه‌شده یک مدل ایستای چندسناریویی است که در آن، اثر تغییرات اقلیمی و اقتصادی بر سود ناخالص کشاورزی در سه دوره آتی ۲۵ساله شبیه‌سازی و تحلیل شده است؛ و در این مدل، X سطح زیر کشت محصولات کشاورزی بر حسب هکتار، P قیمت هر کیلوگرم محصولات کشاورزی بر حسب تومان، Y عملکرد محصولات کشاورزی بر حسب کیلوگرم بر هکتار (kg/ha)، C کل هزینه‌های تولید برای هر محصول بر حسب هکتار را اندازه‌گیری می‌کند. علاوه بر این، اندیس i مربوط به محصولات کشاورزی کشت‌شده در

منطقه مورد مطالعه شامل یونجه، جو، لوبیا، خیار، سیر، نخود، سیب‌زمینی، شبدر، کلزا، چغندر، گوجه‌فرنگی، هندوانه، گندم، جو دیم، عدس دیم، هندوانه دیم و گندم دیم است. همچنین، اندیس ۰ مربوط به گیاه دارویی سنجد است.

در مطالعه حاضر، پارامترهای W, L, T, Ni, Ph, Po و K ، به ترتیب، نشان‌دهنده میزان نیاز به آب، نیروی کار، ساعات کار ماشین‌آلات و مقدار مصرف کودهای نیتروژن، فسفر و پتاس و همچنین، سرمایه نقدی مورد نیاز برای تأمین نهاده‌ها و هزینه‌های جاری تولید در واحد سطح است. محدودیت‌های ارائه‌شده در مدل بیانگر منابع در دسترس برای این نهاده‌ها در منطقه مورد مطالعه بوده و به‌گونه‌ای تدوین شده‌اند که مجموع مصرف این منابع برای تمام محصولات، از مقادیر کل موجود فراتر نرود. در روابط (۹) تا (۱۶)، میزان مصرف هر نهاده برای هر هکتار سطح زیر کشت در نظر گرفته و توازن استفاده از منابع در بین محصولات مختلف، از جمله سنجد، برقرار می‌شود. همچنین، رابطه (۱۷) شرط غیرمنفی بودن متغیرهای تصمیم را تضمین می‌کند.



شکل ۳- دشت همدان- بهار و ایستگاه‌های هواشناسی، ایستگاه سینوپتیک همدان (فرودگاه)

محدوده مطالعاتی پژوهش حاضر دربرگیرنده اراضی کشاورزی دشت همدان - بهار بوده که با داشتن بیش از ۴۶۰۰۰ هکتار اراضی زراعی در قالب دو شهرستان، چهار بخش و ۳۴ روستا، از جایگاهی ویژه در تولیدات کشاورزی استان همدان و کشور برخوردار است. در نقشه ارائه شده، موقعیت جغرافیایی دشت همدان - بهار و محدوده مورد مطالعه نمایش داده شده است (شکل ۳). در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱، برای گردآوری داده‌های مورد نیاز پژوهش حاضر، یک پرسشنامه ساختاریافته طراحی و با مراجعه میدانی، توسط کشاورزان منطقه تکمیل شد. گردآوری و استخراج داده‌های مربوط به سطح زیر کشت، عملکرد، درآمد حاصل از فروش محصولات، قیمت بازار، میزان مصرف نهاده‌هایی مانند کود و سم و نحوه به‌کارگیری ماشین‌آلات کشاورزی از طریق این پرسشنامه‌ها صورت گرفت. همچنین، اطلاعات اقلیمی نظیر دما، بارش، و تبخیر- تعرق از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. برای اعتبارسنجی و تکمیل داده‌های گردآوری‌شده، اطلاعات آماری مرتبط از مراجع رسمی نظیر سازمان جهاد کشاورزی کشور و استان همدان، و نیز مرکز آمار ایران استخراج و با داده‌های میدانی تطبیق داده شد تا دقت نتایج تحلیل‌ها افزایش یابد. همچنین، برای تعیین روابط فنی میان محصولات و نهاده‌ها، از روش نمونه‌گیری خوشه‌ای دومرحله‌ای استفاده شد، به‌گونه‌ای که در مرحله نخست، چهار بخش منطقه به‌دلیل همگنی اقلیمی به‌عنوان خوشه‌های اصلی انتخاب شدند و سپس، روستاهای هر بخش، بر اساس مشابهت‌های خاک و توپوگرافی، خوشه‌بندی و به‌صورت تصادفی ساده انتخاب شدند (Li et al., 2023; Soam et al., 2023). سطح زیر کشت سنجد از طریق داده‌های میدانی و تطبیق آن با اطلاعات ثبتی جهاد کشاورزی برآورد شد و در مورد مزارعی که به‌صورت ترکیبی سنجد و سایر محصولات را کشت می‌کردند، سهم سنجد بر اساس میانگین مساحت اعلامی کشاورزان و تأیید محلی محاسبه و در داده‌های نهایی لحاظ شد.

$$n = \frac{N\sigma^2}{(N-1)\frac{B^2}{4} + \sigma^2} \quad (18)$$

در رابطه (۱۸)، n حجم نمونه لازم، N تعداد کل بهره‌برداران زراعی دشت، σ^2 واریانس عملکرد محصولات کشت‌شده در دشت (بر حسب کیلوگرم در هکتار) و B خطای برآورد میانگین جامعه با احتمال تقریبی ۰/۹۵ است. با استفاده از روش یادشده، تعداد نمونه، در مجموع، ۳۶۰ تعیین و اطلاعات مورد نیاز با تکمیل پرسشنامه از کشاورزان منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری شد. شایان ذکر

است که، این نمونه آماری به‌گونه‌ای انتخاب شد که کلیه محصولات زراعی موجود در منطقه را پوشش دهد و نماینده کامل جامعه آماری مورد مطالعه باشد.

نتایج و بحث

ارزیابی مدل‌های اقلیمی

برای ارزیابی کارایی مدل‌های اقلیمی در بازتولید مشاهدات اقلیمی پس از اعمال روش تصحیح اریبی در دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۴)، خروجی‌های مدل‌ها با داده‌های مشاهده‌ای مقایسه شد. با بهره‌گیری از شاخص‌های آماری پیش‌گفته، توانایی هر کدام از مدل‌ها در شبیه‌سازی دقیق متغیرهای اقلیمی مورد مطالعه ارزیابی شد.

درستی پیش‌نگری بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر در مدل CMIP6 و مدل همدادی تولیدشده با روش نگاشت چندک (QM) در دشت همدان - بهار طی دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ برای ایستگاه سینوپتیک فرودگاه همدان و با به‌کارگیری چهار سنجه آماری شامل میانگین خطای مطلق (MAE)، ضریب کارایی نش - ساتکلیف (NSE)، خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و میانگین خطای اریب (MBE) مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۲ عملکرد هر کدام از مدل‌های منتخب در برآورد داده‌های اقلیمی بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر در برابر مقادیر مشاهداتی را بر حسب معیارهای یادشده نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، بهترین عملکرد متعلق به مدل GFDL-ESM4 بوده که در برابر سایر مدل‌ها، مناسب‌ترین مقادیر برای معیارهای ارزیابی آن به‌دست آمده است. برای مدل GFDL-ESM4 در این دوره، مقادیر MAE، MBE، RMSE و NSE، به‌ترتیب، برابر با ۰/۰۷، ۲/۸۷، ۳/۳۱ و ۰/۹۵ است. برخلاف مدل GFDL-ESM4 که عملکردی مناسب در برآورد مقادیر بارش، دمای حداقل و حداکثر شبیه‌سازی شده در دوره تاریخی مورد نظر دارد، مدل IPSL-CM6A-LR نسبت به سایر مدل‌ها از عملکردی ضعیف در این دوره برخوردار است، به‌گونه‌ای که کمترین مقادیر MBE و RMSE و با رتبه نسبتاً خوب MAE و بیشترین مقدار NSE برای مدل GFDL-ESM4 محاسبه شده است. از این‌رو، نتایج نشان داد که از بین نه مدل مورد بررسی، مدل GFDL-ESM4 با کمترین خطای شاخص‌های ارزیابی به‌عنوان بهترین مدل منطبق بر منطقه انتخاب شده و بنابراین، از این مدل برای پیش‌نگری سه دوره ۲۵ ساله (۲۰۲۶-۲۱۰۰) استفاده شده است.

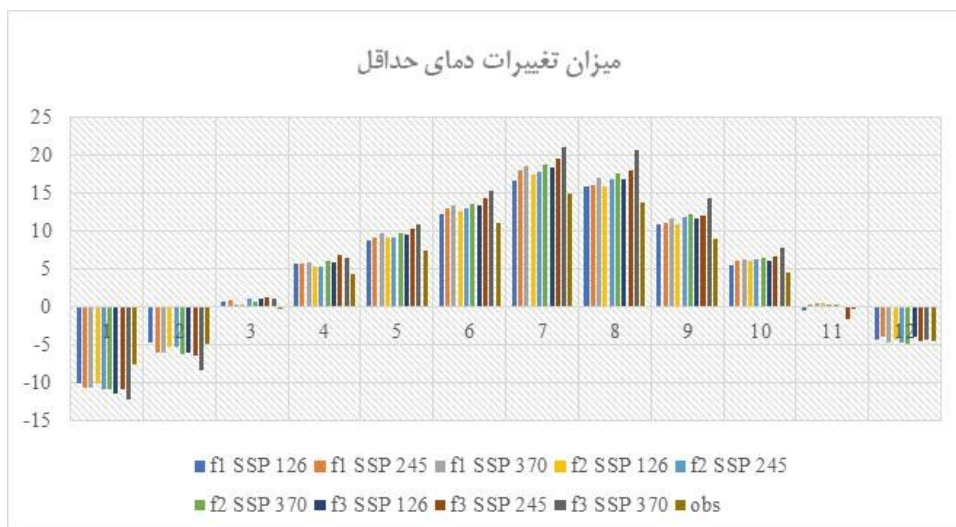
جدول ۲- نتایج ارزیابی شاخص‌های صحت‌سنجی مدل‌های اقلیمی

مدل‌ها	MAE	MBE	RMSE	NSE
ACCESS-CM2	۰/۰۲۴	۶/۶۸۲	۸/۹۶۴	۰/۶۳۴
ACCESS-ESM	۰/۰۰۲	۱۴/۵۹۶	۱۹/۱۱۴	-۰/۷۰۸
BCC-CSM2-MR	۰/۰۲۰	۵/۲۷۶	۷/۵۵۵	۰/۷۳۳
CNRM-CM6-1-HR	۰/۰۱۴	۴/۸۹۶	۵/۸۹۳	۰/۸۳۷
GFDL-ESM4	۰/۰۷۱	۲/۸۷۰	۳/۳۰۹	۰/۹۴۸
IPSL-CM6A-LR	۰/۰۴۱	۱۱/۴۰۸	۱۵/۱۰۶	-۰/۰۶۶
MIROC 6	۰/۰۲۷	۸/۰۵۶	۱۱/۵۱۸	۰/۳۷۹
MPI-ESM1-2-HR	۰/۰۰۴	۳/۰۶۷	۳/۸۲۰	۰/۹۳۱
MRI-ESM2-0	۰/۰۲۴	۶/۷۷۱	۸/۴۷۰	۰/۶۶۴

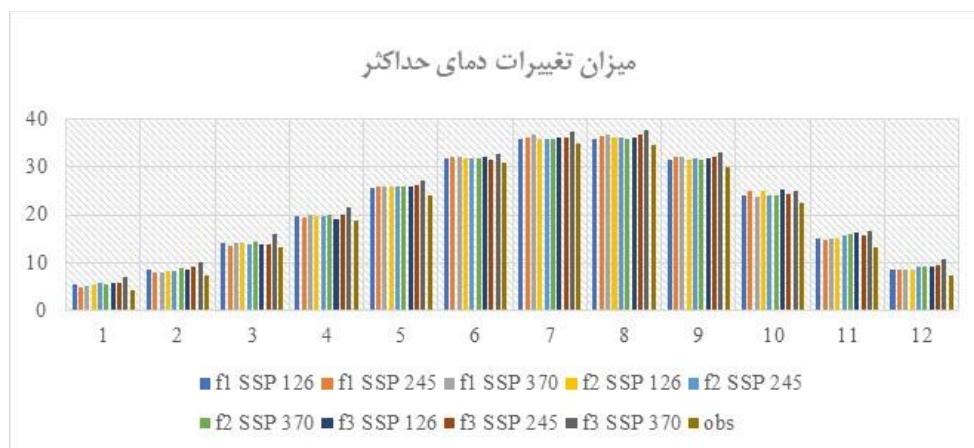
مأخذ: یافته‌های پژوهش

پیش‌نگری دوره آتی

با استفاده از مدل GFDL-ESM4 که بهترین مدل منطبق با دشت مورد مطالعه انتخاب شد، خروجی‌های مدل بر اساس سناریوهای اقلیمی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP3-7.0، با استفاده از روش نگاشت چندک، برای دوره آتی اعمال شد و مطابق نتایج مدل‌سازی شکل‌های ۴ تا ۶، میزان بارندگی در دوره‌های ۲۰۲۶ تا ۲۰۵۰، ۲۰۵۱ تا ۲۰۷۵ و ۲۰۷۶ تا ۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه کاهش یافته است (شکل ۶). این کاهش بارندگی در تمامی سناریوها و در طول دوره‌های مورد مطالعه مشاهده شده است؛ می‌توان انتظار داشت که منطقه مورد مطالعه با چالش جدی کم‌آبی مواجه شود. در مقابل، دماهای حداکثر و حداقل در هر سه سناریو و در تمام دوره‌های مورد نظر روند افزایشی را نشان می‌دهند (شکل‌های ۴ و ۵). این بدان معنی است که در طول سال‌های آینده و با تشدید تغییرات اقلیمی، منطقه مورد مطالعه شاهد کاهش بارندگی و افزایش دما خواهد بود، حتی در سناریوی ایده‌آل SSP1-2.6. کم‌آبی می‌تواند بر همه جوانب زندگی از جمله کشاورزی، صنعت و تأمین آب آشامیدنی تأثیر بگذارد، که ممکن است به کاهش تولید محصولات کشاورزی، افت سطح آب‌های زیرزمینی، خشک شدن تالاب‌ها و رودخانه‌ها، و در نهایت، تهدید تنوع زیستی منطقه منجر شود. در سناریوی بحرانی (SSP3-7.0)، با توجه به افزایش شدید دما و کاهش شدید بارندگی، احتمال وقوع خشکسالی‌های طولانی‌مدت و شدیدتر وجود دارد، که می‌تواند عواقب جبران‌ناپذیر برای منابع آب و عملکرد محصولات منطقه به‌همراه داشته باشد.

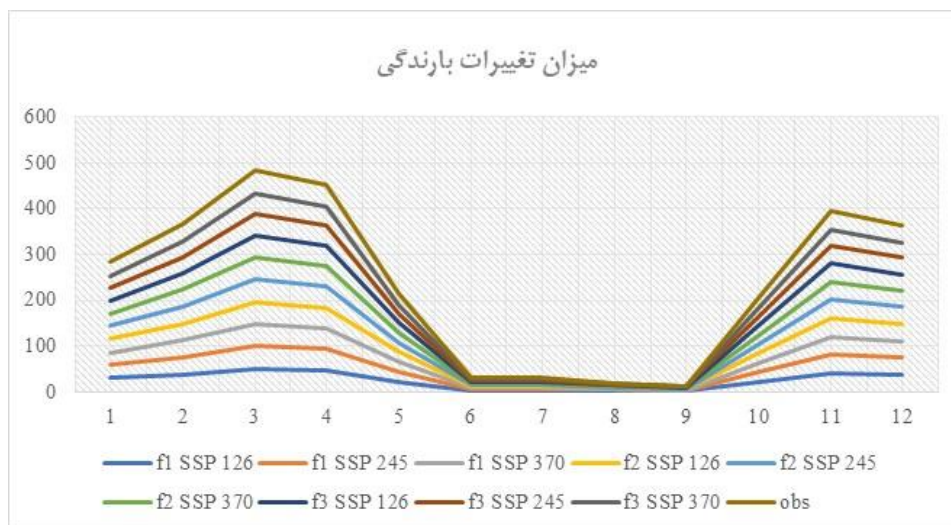


شکل ۴- میزان تغییرات دمای حداقل در دوره‌های آتی طبق سناریوهای اقلیمی نسبت به دوره تاریخی (سانتی‌گراد)



شکل ۵- میزان تغییرات دمای حداکثر در دوره‌های آتی طبق سناریوهای اقلیمی نسبت به دوره تاریخی (سانتی‌گراد)

کشت سنجد، راهبردی کلیدی برای افزایش.....



شکل ۶- میزان تغییرات بارندگی در دوره‌های آتی طبق سناریوهای اقلیمی نسبت به دوره تاریخی (میلی‌متر)

به‌منظور پیش‌نگری تغییرات اقلیمی در سه دوره آتی، داده‌های ماهانه بلندمدت به‌عنوان ورودی به مدل شبیه‌سازی عملکرد گیاه وارد شدند. مدل، با در نظر گرفتن پارامترهای اقلیمی متغیر در دوره‌های آتی، به شبیه‌سازی عملکرد محصولات زراعی پرداخت. جدول ۶ (نتایج حاصل از شبیه‌سازی) تغییرات عملکرد محصولات را در پاسخ به سناریوهای مختلف اقلیمی نشان می‌دهد.

شبیه‌سازی عملکرد محصولات در دوره آتی

بر اساس نتایج تحلیل داده‌های جدول ۳، عملکرد اغلب محصولات الگوی کشت در دشت همدان - بهار در سه دوره آتی ۲۵ساله، با تأثیرپذیری از سه سناریوی اقلیمی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP3-7.0، روند کاهشی نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهد. تحلیل عمیق‌تر داده‌ها حاکی از آن است که تغییرات اقلیمی، به‌ویژه کاهش بارندگی و افزایش تبخیر- تعرق، به‌عنوان عوامل اصلی کاهش عملکرد محصولات زراعی در این منطقه عمل کرده‌اند. کاهش بارندگی منجر به محدودیت در دسترسی گیاهان به آب مورد نیاز شده و افزایش تبخیر- تعرق نیز دوره رشد گیاهان را کوتاه‌تر کرده است. با این همه، نتایج نشان می‌دهد که گیاه دارویی سنجد، به‌دلیل مقاومت بالای آن نسبت به تنش‌های آبی و حرارتی، عملکرد افزایشی داشته است. این یافته‌ها تأیید می‌کند که تغییرات اقلیمی

به‌طور قابل توجه بر الگوی کشت و عملکرد محصولات زراعی در منطقه مورد مطالعه تأثیرگذار است و ضرورت اتخاذ راهکارهای سازگاری با تغییرات اقلیمی را بیش از پیش آشکار می‌سازد. به‌طور کلی، بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، متغیرهای دما و بارندگی با عملکرد محصولات زراعی در الگوی کشت منطقه رابطه معکوس و با عملکرد محصول سنجد رابطه مستقیم دارند.

جدول ۳- متوسط عملکرد محصولات الگوی کشت و سنجد در دوره آتی ۲۰۲۶-۲۱۰۰

(تن بر هکتار)

محصول	پایه	سناریوی SSP1-2.6	سناریوی SSP2-4.5	سناریوی SSP3-7.0
یونجه	۱۰/۲۰	۱۰/۱۷	۱۰/۱۵	۱۰/۱۲
جو	۳/۷۶	۳/۶۷	۳/۶۵	۳/۶۲
لوبیا	۱/۳۹	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۴
خیار	۲۱/۰۶	۲۰/۶۳	۲۰/۵۶	۲۰/۴۳
سیر	۴/۵۰	۴/۴۷	۴/۴۶	۴/۴۵
نخود	۱/۱۵	۱/۱۱	۱/۱۰	۱/۰۹
سیب‌زمینی	۳۸/۹۹	۳۸/۹۸	۳۸/۸۳	۳۸/۶۰
شیدر	۳/۶۷	۳/۶۷	۳/۶۶	۳/۶۵
کلزا	۱/۶۹	۱/۶۷	۱/۶۷	۱/۶۷
چغندر قند	۴۸/۱۵	۴۸/۰۶	۴۸/۱۲	۴۸/۰۹
گوجه‌فرنگی	۳۵/۵۲	۳۴/۶۲	۳۴/۵۰	۳۴/۲۹
هندوانه	۴۷/۳۷	۴۶/۲۸	۴۶/۲۲	۴۶/۰۸
گندم	۲/۶۳	۲/۵۸	۲/۵۷	۲/۵۶
جو دیم	۱/۸۳	۱/۷۹	۱/۷۸	۱/۷۷
عدس دیم	۰/۴۳	۰/۴۰	۰/۳۸	۰/۳۲
هندوانه دیم	۰/۷۴	۰/۷۱	۰/۶۵	۰/۵۹
گندم دیم	۰/۴۵	۰/۴۲	۰/۴۰	۰/۳۸
سنجد	۳/۴۲	۳/۵۵	۳/۵۸	۳/۶۶

مأخذ: یافته‌های پژوهش

شبیه‌سازی اقتصادی الگوی کشت منطقه در دوره آتی

سطح زیر کشت، تولید و عملکرد محصول سنجد و مصرف نهاده‌ها به‌تفکیک در سال زراعی ۲۰۲۳-۲۰۲۳ (۲۰۲۱-۱۴۰۱) در جدول ۴ آمده است. سنجد، به‌عنوان گیاهی مقاوم به خشکی، در مقایسه با گیاهان موجود در الگوی کشت پایه، با هزینه کمتر، میزان درآمد بیشتری ایجاد می‌کند. همچنین،

کشت سنجد، راهبردی کلیدی برای افزایش.....

افزایش سطح زیر کشت این محصول باعث افزایش درآمد خالص بخش کشاورزی دشت همدان- بهار خواهد شد.

**جدول ۴- سطح زیر کشت، تولید و عملکرد محصول منتخب سنجد و مصرف نهاده‌ها
به تفکیک در سال زراعی ۱۴۰۱-۰۲**

سنجد	محصول نهاده
۳	سطح زیر کشت (هکتار)
۳/۴۲	عملکرد (تن در هکتار)
۱۰/۴۶	تولید (تن)
۶۵۰۰۰۰	جمع کل هزینه تولید (میلیون تومان)
۱۳۳۳۸۰۰	درآمد ناخالص کل (میلیون تومان)
۹۷۴/۴	آب مورد نیاز (متر مکعب در هکتار)
۴۱۰	کود شیمیایی نترات مورد نیاز (کیلوگرم در هکتار)
۱۸۵	کود شیمیایی فسفر مورد نیاز (کیلوگرم در هکتار)
۲۵۰	کود شیمیایی پتاس مورد نیاز (کیلوگرم در هکتار)
۴۲	نیروی کار (نفر- روز- هکتار)
۲۱۰	ماشین‌آلات (ساعت در هکتار)

مأخذ: یافته‌های پژوهش

شکل ۷ ترکیب نسبی سطح زیر کشت محصولات مختلف در الگوی کشت فعلی دشت همدان- بهار را نشان می‌دهد. گندم دیم، با سهم ۵۱/۵ درصد، بیشترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده و بیانگر وابستگی بالای منطقه بدین محصول است. پس از آن، گندم آبی (۱۱/۷۸ درصد)، سیب‌زمینی (۹/۳ درصد)، یونجه (۱۰/۰۳ درصد) و جو دیم (۷/۸۹ درصد) در رتبه‌های بعدی قرار دارند. سایر محصولات مانند نخود، سیر، جو، شبدر، خیار، هندوانه و ذرت علوفه‌ای هر کدام بین ۰/۳ تا پنج درصد سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده‌اند. در مقابل، محصولاتمانند لوبیا، گوجه‌فرنگی، چغندر قند، عدس دیم، هندوانه دیم و به‌ویژه سنجد کمتر از ۰/۵ درصد سطح زیر کشت را شامل می‌شوند، به‌گونه‌ای که سهم سنجد تنها ۰/۰۲ درصد بوده، که این توزیع بیانگر حضور بسیار محدود گیاهان مقاوم به خشکی و کم‌آب‌بر مانند سنجد در الگوی کشت فعلی است؛ و ضرورت بازننگری در انتخاب محصولات زراعی برای سازگاری با تغییر اقلیم و کم‌آبی را نشان می‌دهد.



شکل ۷- ترکیب نسبی سطح زیر کشت محصولات زراعی در الگوی کشت فعلی دشت همدان - بهار

نتایج پارامترهای تابع هدف به‌منظور واسنجی (کالیبراسیون) مدل بر مبنای رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP)، از راه تبدیل تابع هدف برنامه‌ریزی خطی به برنامه‌ریزی غیرخطی مشخص کرد که میان تعداد سطح زیر کشت قابل رؤیت در سال پایه و مقادیر حاصل از واسنجی روش برنامه‌ریزی موجود تفاوت چشمگیر وجود ندارد؛ بنابراین، واسنجی مدل با دقت زیادی انجام شده است (جدول ۵). پارامترهای غیرخطی به‌گونه‌ای برآورد شده‌اند که بازتولید صحیح از وضعیت پایه را به‌همراه داشته باشند. این موضوع حاکی از توانایی مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی در تولید دوباره مقادیر سال پایه و افزایش اطمینان در اجتناب از تفاوت بین موقعیت پایه فعلی و موقعیت فعلی شبیه‌سازی شده است. این مزیت کمک می‌کند تا شبیه‌سازی رفتار بهره‌برداران واقع‌گرایانه و قابل انعطاف باشد و در این شرایط، می‌توان با تغییر شرایط و تعریف سناریوهای مختلف، به شبیه‌سازی و تحلیل سیاست‌های مختلف کشاورزان پرداخت. در نهایت، با توجه به مقایسه سطوح فعالیت‌ها و مقادیر تابع هدف در دو وضعیت یادشده، می‌توان گفت که توانایی روش به‌کاررفته در تولید وضعیت پایه بالا بوده و در مجموع، نتایج حاصل از واسنجی مدل قابل قبول است؛ بنابراین، در ادامه، می‌توان از مدل واسنجی شده برای شبیه‌سازی و تحلیل شرایط اقلیمی پیش‌نگری شده استفاده کرد. با توجه به

سناریوهای تغییر اقلیم پیش‌نگری شده، تأثیر توسعه کشت سنجد بر منابع آب منطقه در طول دوره رشد گیاه (از کاشت تا برداشت) مورد ارزیابی قرار گرفت. داده‌های اقلیمی پیش‌نگری شده در مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاه لحاظ شد تا تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم تغییر اقلیم بر الگوی مصرف آب در این دشت مشخص شود. نتایج این تحلیل نشان‌دهنده تغییرات احتمالی در نیاز آبی گیاه، راندمان آبیاری و در نهایت، تأثیر بر منابع آب زیرزمینی و سطحی منطقه خواهد بود.

نتایج بررسی تغییرات سطح زیر کشت در سه سناریوی اقلیمی (ایده‌آل، متوسط و بحرانی) بیانگر تغییرات قابل توجه در الگوی کشت محصولات کشاورزی بوده و تأثیرات تغییرات آب‌وهوایی بر عملکرد محصولات منجر به کاهش سطح زیر کشت گیاهانی نظیر یونجه، جو، لوبیا، خیار، سیر، شبدر، گوجه‌فرنگی و هندوانه به‌ویژه در محصولات دیم شده است. در مقابل، سایر محصولات با افزایش سطح زیر کشت مواجه شده‌اند. در این میان، سنجد، به‌عنوان محصول راهبردی مورد مطالعه، برخلاف سایر محصولات، با افزایش عملکرد روبه‌رو شده که به دلیل صرفه اقتصادی، سطح زیر کشت آن افزایشی چشمگیر یافته است. لازم به ذکر است که در صورت تداوم روند کنونی، محصول سیر از الگوی کشت حذف خواهد شد. این تغییرات، در نهایت، منجر به روند افزایشی سود خالص در طول زمان شده است؛ برای نمونه، در سناریوی SSP1-2.6، سود خالص از ۸۶۴/۱۵ میلیارد تومان در دوره پایه به ۸۶۶/۲۱ میلیارد تومان در دوره ۲۰۹۷-۲۰۷۳ افزایش یافته است. اگرچه این میزان رشد کمتر از یک درصد است، اما با توجه به آثار منفی تغییرات اقلیمی بر عملکرد و بازده بسیاری از محصولات زراعی، انتظار می‌رفت که این شرایط با کاهش سود یا حتی زیان همراه باشد. در چنین شرایطی که تغییرات اقلیمی منجر به کاهش سطح زیر کشت و افت عملکرد بسیاری از محصولات زراعی در دشت همدان - بهار شده است، یافته‌ها نشان می‌دهد که افزایش تدریجی سطح زیر کشت گیاه دارویی سنجد، هرچند محدود، نقشی مؤثر در کاهش آثار منفی اقتصادی این تغییرات ایفا کرده است. این افزایش، ضمن جبران بخشی از افت سود ناشی از عملکرد سایر محصولات، موجب بهبود نسبی بازده اقتصادی نیز شده است. بر این اساس، سنجد، به‌عنوان گونه‌ای مقاوم به تنش‌های اقلیمی، می‌تواند در راستای ارتقای تاب‌آوری الگوی کشت منطقه و تطابق با شرایط اقلیمی آتی مورد توجه قرار گیرد (جدول ۶). این افزایش از عواملی همچون صعود دما و تغییر الگوی بارش تأثیر پذیرفته بود که بهبود عملکرد و شرایط رشد سنجد را در پی داشت. میانگین اختلافات نیز مؤید این روند افزایشی است، به‌گونه‌ای که از ۰/۹ میلیارد تومان در دوره ۲۰۴۷-۲۰۲۳ به ۲/۲۸ میلیارد تومان در دوره ۲۰۹۷-۲۰۷۳ افزایش یافت. این داده‌ها نشان می‌دهد که با وجود تغییرات اقلیمی، توسعه کشت سنجد می‌تواند سودآوری بخش کشاورزی را تقویت کند،

مشروط بر آنکه مدیریت منابع و سازگاری با تغییرات اقلیمی به طور مؤثر صورت پذیرد. نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های برخی از مطالعات پیشین (Soltani & Mousavi, 2015; Soltani & Mousavi, 2016; Soltani et al., 2016; Shakeri Bostanabad et al., 2019; Ashrafi et al., 2019; Keikha et al., 2021; Deylami et al., 2019; Moazzezi et al., 2020; Karimian & Farashi, 2021; Moazzezi et al., 2021; Aligholinia et al., 2021; Zarei et al., 2022; Yousefdoust et al., 2022) مطابقت دارد.

جدول ۵- میزان تغییرات سطح زیر کشت محصولات برای متوسط سه دوره آبی دشت همدان - بهار (هکتار)

سناریوی SSP3-7.0	سناریوی SSP2-4.5	سناریوی SSP1-2.6	پایه	محصول
-۳۸۳	-۴۲۴	-۴۴۲	۱۴۳۰۲	یونجه
-۱۲۶۸	-۱۲۰۴	-۱۱۷۶	۷۶۶۶	جو
-۳۶	-۳۵	-۳۵	۱۰۴	لوبیا
-۲۹۱	-۲۸۷	-۲۸۴	۸۱۲	خیار
-۱۵۰۴	۱۵۰۴	-۱۵۰۴	۱۵۱۰	سیر
۲۹۲	۲۸۹	۲۸۶	۵۷۰	ذرت علوفه‌ای
۱۶۰۷	۱۶۰۹	۱۶۱۰	۱۵۵۰	نخود
۱۰۹۱۶	۱۰۹۲۰	۱۰۹۲۴	۱۳۲۴۷	سیب‌زمینی
-۳۹۱	-۳۸۷	-۳۸۵	۵۲۱	شیدر
۷۳	۷۲	۷۲	۱۲۵	کلزا
۱۷	۱۷	۱۷	۴۸	چغندر قند
-۱۸	-۱۹	-۲۰	۶۶	گوجه‌فرنگی
-۱۲۵	-۱۲۲	-۱۲۰	۴۸۲	هندوانه
۵۰۵۳	۵۰۴۹	۵۰۴۲	۱۶۷۸۸	گندم
-۶۷۴۱	-۶۷۴۱	-۶۷۴۱	۱۱۲۳۵	جو دیم
-۱۸۴	-۱۸۱	-۱۷۷	۲۸۲	عدس دیم
-۳۳۱	-۳۳۱	-۳۳۱	۴۷۳	هندوانه دیم
-۶۶۷۹	-۶۷۰۸	-۶۷۲۰	۷۳۳۵۸	گندم دیم
۲۳	۱۷	۱۴	۳	سنجد
۳۵۹۳۲	۳۵۹۱۶	۳۵۹۰۰	۱۴۳۱۴۲	مجموع سطح زیر کشت

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۶- پیش‌بینی میزان تغییر درآمد خالص کشاورزی دشت همدان- بهار در سناریوهای اقلیمی (میلیارد تومان)

سناریو	دوره پایه	دوره آتی ۲۰۲۳-۲۰۴۷	دوره آتی ۲۰۴۸-۲۰۷۲	دوره آتی ۲۰۷۳-۲۰۹۷
SSP1-2.6	۸۶۴/۱۵	۸۶۴/۹۰	۸۶۵/۵۵	۸۶۶/۲۱
SSP2-4.5	۸۶۴/۱۵	۸۶۵/۰۷	۸۶۵/۷۷	۸۶۶/۴۳
SSP3-7.0	۸۶۴/۱۵	۸۶۵/۳۵	۸۶۵/۹۹	۸۶۶/۶۵
متوسط اختلاف		۰/۹	۱/۹۵	۲/۲۸

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر اساس گزارش‌های هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم، افزایش دمای جهانی و وقوع پدیده تغییر اقلیم، با استناد به داده‌های مشاهده‌شده از دمای سطح خشکی‌ها و اقیانوس‌ها، به‌طور گسترده تأیید شده و مورد اجماع علمی قرار گرفته است. در فرآیند ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی، از روش‌های آماری، به‌دلیل سادگی، سرعت اجرا و دسترسی‌پذیری آنها، بیش از سایر روش‌ها استفاده می‌شود. یکی از علت‌های استفاده از این روش‌ها، مثل روش به‌کاررفته در پژوهش حاضر، عملکرد سریع و قابل دسترس آنها نسبت به بقیه روش‌هاست. بنابراین، در پژوهش حاضر، نخست، به بررسی رابطه پارامترهای اقلیمی دما و میزان بارندگی و اثرگذاری‌های آنها بر میانگین عملکرد محصولات منتخب دشت همدان - بهار پرداخته شده و آنگاه پیش‌نگری تغییرپذیری‌های متغیرهای اقلیمی، با بهره‌گیری از داده‌های سناریوهای مسیری‌های اجتماعی - اقتصادی مشترک^۱ انجام پذیرفته است. در مرحله بعد، با کمک مدل شبیه‌ساز رشد گیاهی، تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات زراعی و گیاه سنجد که یک گیاه مقاوم به خشکی است، در دشت همدان - بهار بررسی شده است. در ادامه، تأثیرات این سناریوها بر عملکرد و الگوی کشت موجود با بهره‌گیری از مدل اقتصادی توسعه‌یافته در منطقه مورد مطالعه، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. سنجد، به‌عنوان یک گونه گیاهی مقاوم به خشکی، از دیرباز در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان مورد توجه بوده است. این گیاه با ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود، از جمله دستگاه ریشه‌ای عمیق و گسترده، توانایی تحمل شرایط سخت محیطی و کم‌آبی را دارد. به لحاظ اقتصادی، سنجد به‌دلیل میوه‌های مغذی و خواص دارویی آن، از ارزش بالای غذایی و دارویی برخوردار است. از نظر مقاومت به تغییرات آب‌وهوایی و خشکی، سنجد با ساختار

1. Shared Socioeconomic Pathways (SSPs)

فیزیولوژیکی خاص خود، قادر به حفظ آب و تحمل شرایط کم‌آبی است. این گیاه با کاهش سطح برگ‌ها و افزایش تراکم بافت‌های خود، از تبخیر زیاد آب جلوگیری می‌کند. همچنین، دستگاه ریشه‌ای عمیق سنجد بدان این امکان را می‌دهد تا به منابع آب زیرزمینی دسترسی داشته باشد و در شرایط خشکسالی نیز به حیات خود ادامه دهد. این ویژگی‌ها سنجد را به یک گزینه مناسب برای کاشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک تبدیل کرده است و می‌تواند به حفظ منابع آب‌و خاک در این مناطق کمک کند. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که تغییرات اقلیمی، به‌ویژه افزایش دما و کاهش بارندگی، تأثیر منفی بر عملکرد محصولات زراعی در دشت همدان - بهار داشته‌اند؛ با این همه، این تغییرات آب‌وهوایی تأثیر مثبت بر عملکرد گیاه سنجد خواهد گذاشت. در پژوهش حاضر، به‌منظور بررسی اثر تغییرات اقلیمی بر الگوی کشت، خروجی‌های مدل گردش عمومی جو GFDL-ESM4 در سه سناریوی اقلیمی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP3-7.0 برای دوره‌های زمانی ۲۰۲۵-۲۰۵۰، ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۶ به الگوی کشت اعمال شد تا تغییرات پیش رو در سطح زیر کشت محصولات منتخب مورد تحلیل قرار گیرد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر و اثبات تأثیرگذاری شرایط اقلیمی بر عملکرد محصولات و همچنین، پرهیزناپذیر بودن رخداد تغییرپذیری‌های اقلیمی به علت تأثیرگذاری بر منابع آب، شایسته است که برای استفاده از اثرگذاری‌های مثبت و نیز کاهش اثرگذاری‌های منفی این پدیده و رویارویی با آن، سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران بخش کشاورزی از پیش‌نگری‌های دوره‌های اقلیمی مورد بررسی در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های خود استفاده کنند. با وجود سهم ناچیز کنونی گیاه سنجد در الگوی کشت منطقه، نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که در مواجهه با تغییرات اقلیمی و محدودیت منابع آبی، این گیاه، به‌دلیل مقاومت بالا به خشکی و نیاز آبی کم، می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای مکمل و سازگار با شرایط آینده مد نظر قرار گیرد. اگرچه سودآوری سنجد در حال حاضر نتوانسته کشاورزان را به توسعه کشت آن ترغیب کند، اما در سناریوهای آینده، با کاهش عملکرد و سودآوری سایر محصولات پرمصرف از نظر مصرف آب و افزایش فشار ناشی از کم‌آبی، مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی سنجد می‌تواند نمود بیشتری پیدا کند؛ بنابراین، توسعه محدود و هدفمند کشت سنجد نه به‌عنوان جایگزینی کامل، بلکه به‌عنوان بخشی از یک راهبرد تنوع‌بخشی به الگوی کشت در شرایط اقلیمی پیش رو، می‌تواند نقشی مؤثر در کاهش مخاطرات تولید و افزایش تاب‌آوری نظام کشاورزی ایفا کند.

منابع

1. Abaas, I. S., Jasiem, T. M., & AL-Bazaz, H. K. (2017). Pharmacognostical and preliminary investigation of active compounds of Iraqi oleaster (*Elaeagnus angustifolia* L) by using different solvents. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 9(5), 78-82.
2. Abbass, Q., Han, J., Bakhsh, K., & Kousar, R. (2024). Estimating impact of climate change adaptation on productivity and earnings of dairy farmers: evidence from Pakistani Punjab. *Environment, Development and Sustainability*, 26(5), 13017-13039. DOI: 10.1007/s10668-023-04068-1.
3. Abdulsahib, S. M., Zubaidi, S. L., Almamalachy, Y., & Dulaimi, A. (2024). Temperature and precipitation change assessment in the north of Iraq using LARS-WG and CMIP6 models. *Water*, 16(19), 2869. DOI: 10.3390/w16192869.
4. Afruz, A., & 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 Hamadan-Bahar Plain. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 14(1), 61-75. [In Persian]
5. Ahmed, Z., Gui, D., Murtaza, G., Yunfei, L., & Ali, S. (2023). An overview of smart irrigation management for improving water productivity under climate change in drylands. *Agronomy*, 13(8), 2113. DOI: 10.3390/agronomy13082113.
6. Ajilogba, C. F., & Walker, S. (2023). Modeling climate change impact on dryland wheat production for increased crop yield in the Free State, South Africa, using GCM projections and the DSSAT model. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1067008. DOI: 10.3389/fenvs.2023.1067008.
7. Ali, M. A., Shah, Y. R., Din, S., & Saqib, M. (2023). Climatic variability's influence on cereal harvests in Punjab, Pakistan: a comprehensive analysis and mitigation strategies. *Journal of Food and Agricultural Technology Research*, 2(01), 92-104. DOI: 10.69501/8a6kv925.

8. Aligholinia, T., Ghorbani, Kh., Rezaei, H., & Ghorbani Nasrabad, Gh. (2021). Optimization Of crop pattern based on water footprint index in different climates of Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(1), 53-66. DOI: 10.22059/ijswr.2020.300709.668574. [In Persian]
9. Allahvirdipour, P. , Ghorbani, M. A., & Asadi, E. (2024). Evaluating the effects of climate change on the climatic classification in Iran. *Water and Soil Management and Modelling*, 4(3), 95-112. DOI: 10.22098/mmws.2023.12755.1271. [In Persian]
10. Al-Mohamed, R., Majar, A., Fahed, K., Dagar, J. C., & Sileshi, G. W. (2023). Agroforestry for plant diversity and livelihood security in Southwest Asia. In: *Agroforestry for Sustainable Intensification of Agriculture in Asia and Africa* (pp. 387-428). Springer Nature Singapore. DOI: 10.1007/978-981-19-7318-3_16.
11. Amanullah, Khalid, S., Imran, Khan, H. A., Arif, M., Altawaha, A. R., ... & Parmar, B. (2020). Effects of climate change on irrigation water quality. In: *Environment, climate, plant and vegetation growth*, pp. 123-132. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-49732-3_6.
12. Arshad Awan, Z., Khaliq, T., Masood Akhtar, M., Imran, A., Irfan, M., Jarrar Ahmed, M., & Ahmad, A. (2021). Building climate-resilient cotton production system for changing climate scenarios using the DSSAT model. *Sustainability*, 13(19), 10495. DOI: 10.3390/su131910495.
13. Asadi, E., Keramatzadeh, A., & Eshraghi, F. (2025). The Allocation of Groundwater Resources and Managing Conflict between Stakeholders: Evidence from Iran. *Iranian Economic Review*, 29(1), 360-387. DOI: DOI: 10.22059/ier.2025.348605.1007538.
14. Ashrafi, M., Hooshmand, M., Lotfalipour, M. R., & Davary, K. (2019). Investigation of saffron cultivation development policy to reduce water consumption in Mashhad Plain. *Saffron Agronomy and Technology*, 7(1), 111-123. DOI: 10.22048/jsat.2018.92655.1247. [In Persian]
15. Asif, Z., Chen, Z., Sadiq, R., & Zhu, Y. (2023). Climate change impacts on water resources and sustainable water management strategies in North

-
- America. *Water Resources Management*, 37(6), 2771-2786. DOI: 10.1007/s11269-023-03534-9.
16. Azizian, A., & Hosseini, S. (2023). Studying the effect of climate change on drought conditions and climate regions of Iran using aridity index. *Water and Soil Resources Conservation*, 13(1), 111-129. DOI: 10.30495/wsrcj.2023.71949.11357. [In Persian]
17. Babaeian, I., Modirian, R., Khazanedari, L., Karimian, M., Kouzegaran, S., Kouhi, M., Falamarzi, Y., & 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. DOI: 10.22059/jesphys.2023.332410.1007436. [In Persian]
18. Babaeian, I., Javanshiri, Z., Modirian, R., Khazanedari, L., Falamarzi, Y., Malbusi, S., Karimian, M., Pakdaman, M., & Kouhi, M. (2024). Multi-annual prediction of precipitation and temperature over Iran and neighboring countries during 2022-2026 using DCCP models. *Journal of the Earth and Space Physics*, 50(1), 199-215. DOI: 10.22059/jesphys.2023.356693.1007510. [In Persian]
19. Baldi, L., Calzolari, S., Arfini, F., & Donati, M. (2024). Predicting the effect of the common agricultural policy post-2020 using an agent-based model based on PMP methodology. *Bio-Based & Applied Economics*, 13(4), 333-351. DOI: 10.36253/bae-14592.
20. Custodio, C., Ferreira, M. A., Garcia-Appendini, E., & Lam, A. (2022). Economic impact of climate change. Nova SBE Working Paper Series, 645. DOI: 10.2139/ssrn.4205144.
21. Darvishzadeh Boroojeni, P. (2021). Russian olive as a functional food ingredient - post harvest processing development and optimization. PhD Thesis, Bioresource Engineering, McGill University, Canada. Available at <https://escholarship.mcgill.ca/concern/theses/hq37vt34b>.
22. Deylami, A., Joolaie, R., Rezaee, A., & Keramatzadeh, A. (2019). Investigating the effects of climate change on the yield, gross margin and

- cropping pattern of Gorgan County. *Agricultural Economics*, 13(2), 137-160. DOI: 10.22034/iaes.2019.111696.1712 . [In Persian]
23. Dincă, L., & Timiș-Gânsac, V. (2020). Oleaster (*Eleagnus angustifolia* L.) – a constituent element of the biodiversity from Dobrogea Plateau. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 24(1), 17-22.
24. Douville, H., Allan, R. P., Arias, P. A., Betts, R. A., Caretta, M. A., Cherchi, A., ... & Renwick, J. (2022). Water remains a blind spot in climate change policies. *PLoS Water*, 1(12), e0000058. DOI: 10.1371/journal.pwat.0000058.
25. Fan, T. L., Li, S. Z., Gang, Z. H. A. O., Wang, S. Y., Zhang, J. J., Lei, W. A. N. G., ... & Cheng, W. L. (2023). Response of dryland crops to climate change and drought-resistant and water-suitable planting technology: a case of spring maize. *Journal of Integrative Agriculture*, 22(7), 2067-2079. DOI: 10.1016/j.jia.2022.08.044.
26. Gabric, A. J. (2023). The climate change crisis: a review of its causes and possible responses. *Atmosphere*, 14(7), 1081. DOI: 10.3390/atmos14071081.
27. Ghaffari, A., Nasser, M., & Pasebani Someeh, A. (2022). Assessing the economic effects of drought using Positive Mathematical Planning model under climate change scenarios. *Heliyon*, 8(12), e11941. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e11941.
28. Gilli, M., Calcaterra, M., Emmerling, J., & Granella, F. (2024). Climate change impacts on the within-country income distributions. *Journal of Environmental Economics and Management*, 127, 103012. DOI: 10.1016/j.jeem.2024.103012.
29. Gunawat, A., Sharma, D., Sharma, A., & Dubey, S. K. (2022). Assessment of climate change impact and potential adaptation measures on wheat yield using the DSSAT model in the semi-arid environment. *Natural Hazards; Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards* Springer; International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards, 111(2), 2077-2096. DOI: 10.1007/s11069-021-05130-9.

30. Haueis, P. (2024). Climate concepts for supporting political goals of mitigation and adaptation: the case for “climate crisis”. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, e893. DOI: 10.1002/wcc.893.
31. He, S., Yang, J., Bao, Q., Wang, L., & Wang, B. (2019). Fidelity of the observational/reanalysis datasets and global climate models in representation of extreme precipitation in East China. *Journal of Climate*, 32(1), 195-212. DOI: 10.1175/JCLI-D-18-0285.1.
32. Herman, J. D., Quinn, J. D., Steinschneider, S., Giuliani, M., & Fletcher, S. (2020). Climate adaptation as a control problem: review and perspectives on dynamic water resources planning under uncertainty. *Water Resources Research*, 56(2), e24389. DOI: 10.1029/2019WR025502.
33. HPMO (2023). Average temperature and annual precipitation in Hamadan-Bahar Platn of Iran. Hamadan Province Meteorological Organization (HPMO), Hanadan, Iran. [In Persian]
34. Kadkhoda, E., Omidvar, K., Zarrin, A., Mazidi, A., & Dadashi-Roudbari, A. (2024). The impacts of climate change on the Essential Climate Variables (ECVs) in Iran. *Iranian Journal of Geophysics*, 18(2), 1-17. DOI: 10.30499/ijg.2023.405016.1526. [In Persian]
35. Karimian, Z., & Farashi, A. (2021). Predicting the potential habitat of Russian-olive (*Elaeagnus angustifolia*) in urban landscapes. *Italian Journal of Agrometeorology*, (1), 3-19.
36. Keikha, A., Khanlary, A., Keikha, A. A., & 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. [In Persian]
37. Khadivi, A., Mirheidari, F., Moradi, Y., & Paryan, S. (2020). Phenotypic variability of oleaster (*Elaeagnus angustifolia* L.) as revealed by morphological characteristics. *Industrial Crops and Products*, 149, 112322. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112322.
38. 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. DOI: 10.2166/wcc.2024.083.
39. Leddin, D., & Montgomery, H. (2023). The fundamentals: understanding the climate change crisis. *Gut*, 72(12), 2196-2198. DOI: 10.1136/gutjnl-2023-331008.
40. Li, H., Song, X. P., Hansen, M. C., Becker-Reshef, I., Adusei, B., Pickering, J., ... & Justice, C. (2023). Development of a 10-m resolution maize and soybean map over China: matching satellite-based crop classification with sample-based area estimation. *Remote Sensing of Environment*, 294, 113623. DOI: 10.1016/j.rse.2023.113623.
41. Londhe, D. S., Katpatal, Y. B., & Bokde, N. D. (2023). Performance assessment of bias correction methods for precipitation and temperature from CMIP5 model simulation. *Applied Sciences*, 13(16), 9142. DOI: 10.3390/app13169142.
42. MAJ (2023). The main aquifer expansion area of Hamadan-Bahar Plain. Ministry of Agriculture-Jahad (MAJ), Tehran, Iran. [In Persian]
43. Malla, F. A., Mushtaq, A., Bandh, S. A., Qayoom, I., & Hoang, A. T. (2022). Understanding climate change: scientific opinion and public perspective. In: *Climate change: the social and scientific construct* (pp. 1-20). Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-98357-5_1.
44. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., ... & Zhu, B. (2021). Summary for policymakers. DOI: 10.1017/9781009157896.001.
45. Mikulčić, H., Baleta, J., Wang, X., Duić, N., & Dewil, R. (2022). Sustainable development in period of climate crisis. *Journal of Environmental Management*, 303, 114271. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.114271.
46. Mimoun, A. B., Mazhoud, H., & Chemak, F. (2025). A mathematical programming approach for assessing the impact of climate change on Mediterranean farming systems: a Tunisian case study. *Scientific African*, 27, e02528. DOI: 10.1016/j.sciaf.2024.e02528.

47. Mishenin, Y., Yarova, I., & Koblianska, I. (2021). Ecologically harmonized agricultural management for global food security. *Ecological Intensification of Natural Resources for Sustainable Agriculture*, 29-76. DOI: 10.1007/978-3-030-74744-3_2.
48. Moazzezi, F., Mousavi, S. H., Yavari, G., & Bagheri, M. (2021). Assessing the impact of climate change on food security and economic welfare: case study Hamadan-Bahar Plain. *Agricultural Economics and Development*, 29(2), 249-292. DOI: 10.30490/aead.2021.352780.1288. [In Persian]
49. Moazzezi, F., Yavari, G., Mousavi, S., & Bagheri, M. (2020). Assessing the impact of climate change on agriculture in Hamadan-Bahar Plain with emphasis on water productivity and food security. *Journal of Agricultural Economics & Development*, 34(3), 305-323. DOI: 10.22067/jead.2020.17793.0. [In Persian]
50. Mollé, G. R., Mulungu, D. M., Nobert, J., & 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. DOI: 10.2166/wcc.2023.238.
51. Moulogianni, C., & Bournaris, T. (2021). Assessing the impacts of rural development plan measures on the sustainability of agricultural holdings using a PMP model. *Land*, 10(5), 446. DOI: 10.3390/land10050446.
52. Mubeen, M., Ahmad, A., Hammad, H. M., Awais, M., Farid, H. U., Saleem, M., ... & Nasim, W. (2020). Evaluating the climate change impact on water use efficiency of cotton-wheat in semi-arid conditions using DSSAT model. *Journal of Water and Climate Change*, 11(4), 1661-1675. DOI: 10.2166/wcc.2020.211.
53. Nakashima, T., & Ishikawa, S. (2023). Exploring farmers' expectation toward farm-gate price of rice in Japan by positive mathematical programming. *Sustainability*, 15(1), 621. DOI: 10.3390/su15010621.
54. 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 and Water*

- Research*, 54(12), 1843-1862. DOI: 10.22059/ijswr.2023.362445.669538. [In Persian]
55. Nigussie, A. B., Tenfie, H. W., Zimale, F. A., Endalew, A., & Wudiye, G. (2023). Evaluation of multiple bias correction methods with different satellite rainfall products in the Main Beles Watershed, Upper Blue Nile (Abbay) Basin, Ethiopia. *Journal of Water and Climate Change*, 14(1), 156-174. DOI: 10.2166/wcc.2022.381.
56. Nikolaou, G., Neocleous, D., Christou, A., Kitta, E., & Katsoulas, N. (2020). Implementing sustainable irrigation in water-scarce regions under the impact of climate change. *Agronomy*, 10(8), 1120. DOI: 10.3390/agronomy10081120.
57. O'Connor, D., Boyle, P., Ilcan, S., & Oliver, M. (2017). Living with insecurity: food security, resilience, and the World Food Programme (WFP). *Global Social Policy*, 17(1), 3-20. DOI: 10.1177/1468018116681024.
58. Ochieng, J., Kirimi, L., & Mathenge, M. (2016). Effects of climate variability and change on agricultural production: the case of small scale farmers in Kenya. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 77, 71-78. DOI: 10.1016/j.njas.2016.03.007.
59. Piontek, F., Drouet, L., Emmerling, J., Kompas, T., Méjean, A., Otto, C., ... & Tavoni, M. (2021). Integrated perspective on translating biophysical to economic impacts of climate change. *Nature Climate Change*, 11(7), 563-572. DOI: 10.1038/s41558-021-01073-4.
60. Raihan, A. (2023). A review of the global climate change impacts, adaptation strategies, and mitigation options in the socio-economic and environmental sectors. *Journal of Environmental Science and Economics*, 2(3), 36-58. DOI: 10.55299/jese.v2i3.411.
61. Raj, A., & Sharma, O. C. (2017). Ethnomedicinal usage, phytochemicals and biological activities of oleaster: an underutilized fruit. *Journal of Hill Agriculture*, 8(1), 1-9. DOI: 10.5958/2230-7338.2017.00001.5.
62. Rajput, J., Kushwaha, N. L., Srivastava, A., Pande, C. B., Suna, T., Sena, D. R., ... & Elbeltagi, A. (2024). Development of machine learning models for estimation of daily evaporation and mean temperature: a case study in New

- Delhi, India. *Water Practice and Technology*, 19(7), 2655-2672. DOI: 10.2166/wpt.2024.144.
63. Saber, M., & Salahi, B. (2024). Simulating and drawing the prospect of drought in the Aras River Basin. *Journal of Geography and Planning*, (Accepted for Online Publication: 27 November, 2024). DOI: 10.22034/gp.2024.63747.3308. [In Persian]
64. Sadian, A., & Shafizadeh-Moghadam, H. (2025). The future of agricultural lands under the combined influence of shared socioeconomic pathways and urban expansion by 2050. *Agricultural Systems*, 224, 104234. DOI: 10.1016/j.agsy.2024.104234.
65. Safri Shad, M., Habibnejad Roshan, M., Soleimani, K., Ildoromi, A., & Zeinvand, H. (2017). Potential impact of climate change on river flow in Hamadan-Bahar watershed. *Hydrogeomorphology*, 3(10), 81-98. [In Persian]
66. Salami, H., Nassery, H. R., & Massah Bavani, A. (2015). Probabilistic forecast of climate change effects on Hamadan-Bahar aquifer. *Water and Irrigation Management*, 5(1), 27-41. DOI: 10.22059/jwim.2015.55215. [In Persian]
67. Say, A., Sümbül, A., Dirim, E., Yaman, M., & Yildiz, E. (2024). Unravelling the genetic diversity of oleaster (*Elaeagnus Angustifolia* L.) with multivariate analysis. *Applied Fruit Science*, 66(2), 719-730. DOI: 10.1007/s10343-024-00994-5.
68. Semenov, S. M. (2024). Intergovernmental panel on climate change: results, problems, and prospects. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 60(Suppl 3), S323-S330. DOI: 10.1134/S0001433824700816.
69. Shakeri Bostanabad, R., Rafiee, H., & Haji Mirza, H. (2019). Investigating the role of risk grouping in analyzing the effects of government policies on the cultivation pattern of Nahavand and Bahar in Hamadan province. *Iranian Journal Of Agricultural Economics and Development Research*, 49(4), 607-619. [In Persian]
70. Soam, S. K., Rathore, S., Yashavanth, B. S., Dhumantarao, T. R. S. R., & Balasani, R. (2023). Students' perspectives on entrepreneurship and its intention in India. *Sustainability*, 15(13), 10488. DOI: 10.3390/su151310488.

71. Soltani, K., Masoompour Samakosh, J., Mojarrad, F., Hadipour, S., & Jalilian, A. (2023a). Analysis of the trend and spatial variation of aridity in the future climate of Iran. *Physical Geography Research*, 55(2), 25-50. DOI: 10.22059/jphgr.2023.361339.1007777. [In Persian]
72. Soltani, Sh., Mousavi, S. H., Khalilian, S., & Najafi Alamdarloo, H. (2023b). Reducing the waste of agricultural products; an optimal strategy to improve food security. *Agricultural Economics*, 17(3), 35-66. DOI: 10.22034/iaes.2023.1985804.1965. [In Persian]
73. Soltani, Sh., & Mousavi, S. H. (2015). Evaluating the potential effects of climate changes on yield and value-added of agricultural sector in Hamadan-Bahar Plain. *Agricultural Economics*, 9(1), 95-115. [In Persian]
74. Soltani, Sh., & Mousavi, S. H. (2016). Downscaled analysis of nature of climate changes and determining the climatic scenarios of agricultural sector in Hamadan-Bahar Plain. *Agricultural Economics*, 10(3), 155-174. [In Persian]
75. Soltani, Sh., Mousavi, S. H., & Khalilian, S. (2016). Effects of CO₂ emissions on crop pattern in Hamedan-Bahar Plain. *Agricultural Economics and Development*, 24(1), 137-165. DOI: 10.30490/aead.2016.59025. [In Persian]
76. Stevanović, M., Popp, A., Lotze-Campen, H., Dietrich, J. P., Müller, C., Bonsch, M., ... & Weindl, I. (2016). The impact of high-end climate change on agricultural welfare. *Science Advances*, 2(8), e1501452. DOI: 10.1126/sciadv.1501452.
77. Tuttle, G. (2017). Impacts and management of the invasive Russian olive (*Elaeagnus angustifolia* L.) in a hereogenous riparian ecosystem. Colorado State University.
78. Upadhyay, R. K. (2020). Markers for global climate change and its impact on social, biological and ecological systems: a review. *American Journal of Climate Change*, 9(03), 159. DOI: 10.4236/ajcc.2020.93011.
79. van der Linden, S., & Weber, E. U. (2021). Editorial overview: Can behavioral science solve the climate crisis. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 42, iii-viii. DOI: 10.1016/j.cobeha.2021.07.001.

80. Verma, A. K., Garg, P. K., Prasad, K. H., & Dadhwal, V. K. (2023). Variety-specific sugarcane yield simulations and climate change impacts on sugarcane yield using DSSAT-CSM-CANEGRO model. *Agricultural Water Management*, 275, 108034. DOI: 10.1016/j.agwat.2022.108034.
81. Wilke, D. N. (2024). Robust optimization of discontinuous loss functions. In: Kulkarni, A. J., & Gandomi, A. H. (eds) Handbook of formal optimization. Springer, Singapore. DOI: 10.1007/978-981-97-3820-5_1.
82. Xue, L., Liu, G., Parfitt, J., Liu, X., Van Herpen, E., Stenmarck, Å., ... & Cheng, S. (2017). Missing food, missing data? A critical review of global food losses and food waste data. *Environmental Science & Technology*, 51(12), 6618-6633. DOI: 10.1021/acs.est.7b00401.
83. Yousefdoust, A., Khashei Siuki, A., & Salari, A. (2022). Optimization of cultivation pattern and density under climate change conditions (case study of Damaneh-Daran Plain). *Journal of Ecohydrology*, 9(1), 227-242. DOI: 10.22059/ije.2022.330665.1552. [In Persian]
84. Zare, A., Khorshidi, J. & Vafae, Y. (2023). Natural biochemical and morphological diversity of oleaster (*Elaeagnus angustifolia* L.) genotypes from the west of Iran: applicable for conservation, domestication, and breeding. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 70(8), 2575-2592. DOI: 10.1007/s10722-023-01588-7.
85. zareii, N., Dourandish, A., Alibakhshi, H., & Sabouhi, M. (2022). The effect of climate change on the yield of major cereals in Iran. *Agricultural Economics*, 16(2), 27-46. DOI: 10.22034/iaes.2022.539359.1871. [In Persian]
86. Zarrin, A., & Dadashi-Roudbari, A. A. (2021). Projected consecutive dry and wet days in Iran based on CMIP6 bias-corrected Multi-Model Ensemble (MME). *Journal of the Earth and Space Physics*, 47(3), 561-578. DOI: 10.22059/jesphys.2021.319270.1007295. [In Persian]
87. Zarrin, A., Dadashi-Roudbari, A. A., & Hassani, S. (2022). Near term (2021-2028) climate prediction of monthly temperature in Iran using Decadal

Climate Prediction Project (DCPP). *Journal of the Earth and Space Physics*,
48(1), 189-211. DOI: 10.22059/jesphys.2022.327886.1007340. [In Persian]