Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

The effects of climate change on the virtual water of some crops in Kerman province

Mohammad Saleh Ekhlasi [1] | Somayeh Soltani-Gerdefaramarzi [2]✉ | Abolfazl Azizian [3] | Morteza Gheysouri [4]

1. M.Sc. of Irrigation and Drainage, Department of Water Sciences and Engineering, Collage of Agriculture and Natural Resource, Ardakan University, Ardakan, Iran. **E-mail:** mohammadsalehekhlasi@gmail.com
2. Corresponding author, Water, Energy and Environment Research Institute, Ardakan University, P.O. Box 184, Ardakan, Iran. And Associate Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ardakan University, Ardakan, Iran. **E-mail:** ssoltani@ardakan.ac.ir
3. Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ardakan University, Ardakan, Iran. **E-mail:** aazizian@ardakan.ac.ir
4. PhD Student in Watershed Management, Department of Natural Resources, Tehran University, Tehran, Iran. **E-mail:** m.gheysouri@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received
2022/08/17
Received in revised
2022/10/12
Accepted
2022/11/22
Pre-Published
2022/11/22
Published online
2025/03/21

Keywords:
Climate change,
Evapo-transpiration,
Kerman province,
Virtual water,
Radiative forcing.

ABSTRACT

In this study, we examined the impact of climate change on the virtual water content of key crops in Kerman province for future periods. Specifically, we utilized the climatic data from the HadCM3 model under the RCP4.5 radiative forcing scenario. The model was calibrated and validated for the base period of 1991-2011. We predicted the precipitation levels, as well as the maximum and minimum temperatures, for selected stations from 2011 to 2070 using data from LARS-WG. These predictions were then compared to the base period. The virtual water content was calculated for three selected crops: alfalfa, barley, and wheat. Our findings indicate that climate change has a significant impact on evapotranspiration and the performance of these crops, consequently affecting future agricultural water productivity. As we project an increase in average temperature during the growing season due to climate change, it is worth noting that the maximum temperature parameter will be more affected by this phenomenon than the minimum temperature. This, in turn, will lead to increased water requirements and plant evaporation-transpiration during this period. Our research also reveals a decrease in precipitation during hot seasons and an increase during cold seasons across all study stations. Notably, the virtual water content for all crops studied demonstrates an upward trend, with barley and wheat showing the greatest average increase in the future period. Specifically, the Kerman station exhibits a substantial increase in virtual water content for barley and alfalfa products, at a minimum of 30% higher than the base period.

Cite this article: Ekhlasi, Mohammad Saleh; Soltani-Gerdefaramarzi, Somayeh; Azizian, Abolfazl; Gheysouri, Morteza. (2025). Investigating the effects of climate change on the virtual water of some crops in Kerman province. Journal of *Applied Researches in Geographical Sciences*, 25 (76), 210-227. DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.76.20

© The Author(s). Publisher: Kharazmi University
DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.76.20

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.20]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Extended Abstract

Introduction

Agriculture is the world's largest consumer of freshwater, accounting for approximately 70% of total resource use. Given these issues, the strategy to address water scarcity in agriculture and increase the water productivity of the product is very important. In order to combat water scarcity in agriculture and meet people's food needs, it is necessary to estimate the actual amount of water consumed by agricultural products. On the other hand, the ever-increasing increase in greenhouse gases due to industrial growth, land use change, and environmental degradation has caused the temperature of the Earth's atmosphere to rise, and in addition, has affected other climatic variables and caused the phenomenon of climate change. The term "virtual water" was first introduced by Allen. Estimation of virtual water import and export on an international and domestic (provincial) scale for optimal use of water and land resources of the country based on the potential of each region can be considered as an effective solution. Domestic virtual water trade with optimal use of internal resources and capacities can reduce national water consumption and increase the production of agricultural products. In other words, virtual water is the amount of water that a commodity or agricultural product consumes during the production process to reach the stage of development, and its amount is equal to the total amount of water consumed in the different stages of the production chain from the beginning to the end. According to the importance and results of the research, in Iran, due to the extent of climatic diversity and the prevalence of agriculture in these regions and the limitation of water resources, it is necessary to study the virtual water of agricultural products and evaluate climate change. The results of various research show that climate change will take place in Iran in the future and will certainly have consequences on the environmental, agricultural, and water resource systems. Therefore, in this article, the effects of climate variability on the amount of virtual water of agricultural products (wheat, barley, and alfalfa) in some cities of Kerman province in the future have been investigated using the LARS-WG statistical microscale model and using the outputs of the HadCM3 model under the greenhouse gas scenario RCP4.5, which has not been considered in previous research.

Material and Methods

Kerman, Bam, Sirjan, and Kahnuj were selected as the four stations for this study due to their common statistical period and cultivation of similar strategic crops. The meteorological data from these stations in Kerman Province, specifically Kerman, Bam, Sirjan, and Kahnuj, was used because it provided complete statistical data from 1991 to 2011. In order to calculate the evapotranspiration of alfalfa, barley, and wheat, the meteorological information was utilized, and the Hargreaves-Samani model was employed to determine the daily potential evapotranspiration. To evaluate the feasibility of generating and simulating future meteorological data, the LARS-WG model was utilized. The base period for this analysis, which included data from all stations, spanned from 1991 to 2011. Consequently, the years 1991 to 2000 were used for measurement, while the years 2001 to 2011 were utilized for model verification and evaluation. The LARS-WG data were then utilized to predict

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.20]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

precipitation as well as the maximum and minimum temperatures for the selected stations from 2011 to 2070. Lastly, the virtual water content for the selected crops, namely lucerne, barley, and wheat, was calculated due to their strategic importance, large cultivation areas, and the availability of comprehensive statistics in the study area.

Results and Discussion

According to the results obtained during the period of 2020, the maximum changes in precipitation, approximately 8%, occur in December, whereas the minimum changes occur in September and July. Moreover, in the period of 2060, the changes in maximum and minimum temperature compared to the observation period for the given scenario increase from June to November. Based on the obtained results, there is an increasing trend in the amount of evapotranspiration for the studied agricultural products. The largest increase in evaporation and transpiration is observed in the lucerne crop during the second projection period (15%), while the smallest increase is observed in the barley crop during the first projection period (3%) and in the wheat crop during the second projection period (7%). The amount of virtual water obtained for all the studied agricultural products also exhibits an increasing trend. However, this increase for the barley and wheat crops shows an average increase until 2070. For instance, at the Sirjan station, the amount of virtual water for the wheat crop will reach 4.8 m3/Kg. The amount of changes in the virtual water of the barley crop reaches 4.9 m3/Kg, and the maximum amount of virtual water for the lucerne crop will be equal to 1.2 m3/Kg.

Conclusion

The findings of the present study suggest that climate change has had a significant impact on the evapotranspiration and yield of alfalfa, barley, and wheat, thereby affecting future agricultural water productivity. While the average temperature during the growing season is projected to rise as a result of climate change, it is anticipated that the maximum temperature parameter will be more profoundly affected than the minimum temperature. Concurrently, plant evapotranspiration, yield, and profit are expected to increase during this period. Rainfall, based on evapotranspiration, transpiration, irrigation, and precipitation, is also predicted to increase. The virtual water content for all crops examined is expected to increase, with barley and wheat showing a greater increase on average in the future. The most substantial rise in virtual water content compared to the base period is observed at the Kerman station, with a minimum increase of 30% for barley and alfalfa. Overall, the results of this investigation indicate that climate change will have an impact on the production of alfalfa, barley, and wheat, as well as related activities in Kerman Province. It is important to acknowledge that selecting a product for optimal cropping patterns should not solely depend on low virtual water content. The specific conditions of the region and the compatibility of the product in that particular area must also be taken into consideration.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.61186/jgs.25.76.20]

تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی
شاپا چاپی: ۷۷۳۶-۲۲۲۸ شاپا الکترونیکی: ۵۱۳۸-۲۵۸۸
https://jgs.khu.ac.ir/

بررسی اثرات نوسان اقلیم بر میزان آب مجازی برخی محصولات زراعی در استان کرمان

محمدصالح اخلاصی [۱]، سمیه سلطانی گردفرامرزی [۲]✉، ابوالفضل عزیزیان [۳]، مرتضی قیصوری [۴]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران. رایانامه: mohammadsalehekhlasi@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران. رایانامه: ssoltani@ardakan.ac.ir

۳. و استادیار علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران- پژوهشکده آب، انرژی و محیط‌زیست، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران رایانامه: aazizian@ardakan.ac.ir

۴. دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: m.gheysouri@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۰۵/۲۶

تاریخ بازنگری:
۱۴۰۱/۰۷/۲۰

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۰۹/۰۱

تاریخ پیش انتشار:
۱۴۰۱/۰۹/۰۱

تاریخ انتشار آنلاین:
۱۴۰۴/۰۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:
آب مجازی،
استان کرمان،
تبخیر-تعرق،
نوسان اقلیم،
واداشت تابشی.

چکیده

در این تحقیق تأثیر نوسان اقلیم بر میزان آب مجازی برخی محصولات زراعی استراتژیک در استان کرمان برای دوره‌های آتی موردبررسی قرار گرفت. برای این منظور از داده‌های اقلیمی مدل گردش کلی HadCM3 تحت سناریوی واداشت تابشی RCP4.5 استفاده شد. جهت بررسی امکان تولید و شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی در دوره‌های آتی مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG بکار گرفته شد. برای دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۱) کالیبراسیون و راستی آزمایی مدل انجام گرفت. از طریق داده‌های مدل ریزمقیاس‌نمایی، میزان بارش، دمای بیشینه و کمینه ایستگاه‌های منتخب برای دوره‌های ۲۰۷۰-۲۰۱۱ میلادی پیش‌بینی و با دوره پایه مقایسه گردید. میزان آب مجازی برای محصولات منتخب شامل یونجه، جو و گندم محاسبه شد. نتایج پژوهش حاضر حاکی از آن است که پدیده نوسان اقلیم به‌طور معنی‌داری بر تبخیر- تعرق، عملکرد محصولات زراعی موردمطالعه اثرگذار بوده و ازاین‌رو بهره‌وری آب کشاورزی را در آینده تحت تأثیر قرار خواهد داد. در حالی که میانگین دمای فصل رشد در آینده تحت تأثیر نوسان اقلیم افزایش خواهد یافت، پارامتر بیشینه دما بیش از کمینه دما تحت تأثیر این پدیده قرار خواهد گرفت و به‌موازات این موضوع نیاز آبی و تبخیر- تعرق گیاه در این دوره افزایش می‌یابد. همچنین بررسی‌ها نشان از کاهش بارش در فصول گرم سال و افزایش آن در فصول سرد در تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی را دارد. میزان تغییرات آب مجازی به‌دست‌آمده برای همه گیاهان موردمطالعه افزایشی است و این افزایش برای محصولات جو و گندم به‌طور متوسط در دوره آینده افزایش بیشتری از خود نشان می‌دهد. بیشترین افزایش میزان آب مجازی نسبت به دوره پایه در ایستگاه کرمان مربوط به محصولات جو و یونجه به اندازه حداقل ۳۰٪ می‌باشد.

استناد: اخلاصی، محمدصالح؛ سلطانی گردفرامرزی، سمیه؛ عزیزیان، ابوالفضل و قیصوری، مرتضی (۱۴۰۴). بررسی اثرات نوسان اقلیم بر میزان آب مجازی برخی محصولات زراعی در استان کرمان. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی* ، ۲۵ (۷۶)، ۲۲۷-۲۱۰. http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.76.20

CC BY NC

ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران. © نویسندگان.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.61186/jgs.25.76.20]

مقدمه

بهبود امنیت غذایی هم‌زمان با کنترل تغییر اقلیم و حفظ اکوسیستم‌های حیاتی، نیازمند گذار به‌سوی سامانه‌های پربازده‌تر تولید محصولات کشاورزی می‌باشد که نهاده‌ها را به شکلی کاراتر مصرف کنند، نوسان کمی داشته باشد، دارای پایداری بیشتری در تولیدات باشد و در مقابل تغییرات ناگهانی و بلندمدت اقلیم انعطاف بیشتری از خود نشان دهند (روستایی و همکاران، ۱۴۰۰). کشاورزی به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب شیرین در دنیاست که حدود ۷۰ درصد از کل مصرف منابع را تشکیل می‌دهد (دوان[1] و همکاران، ۲۰۱۵). با توجه به این مسائل استراتژی برای رسیدگی به کمبود آب کشاورزی و افزایش بهره‌وری از آب محصول بسیار مهم می‌باشد. برای اینکه بتوان با کمبود آب در کشاورزی مبارزه کرد و بتوان نیاز غذایی مردم را تأمین کرد، باید میزان واقعی آب مصرفی محصولات کشاورزی را برآورد کرد. از طرف دیگر، افزایش روزافزون گازهای گلخانه‌ای به دلیل رشد صنایع، تغییر کاربری اراضی و تخریب محیط‌زیست سبب افزایش دما اتمسفر کره‌ی زمین و فراتر از آن تحت تأثیر قرار دادن دیگر متغیرهای اقلیمی گشته و موجب بروز پدیده تغییر اقلیم شده است (هیروا[2] و همکاران، ۲۰۲۱). پنجمین گزارش ارزیابی هیئت بین دولتی تغییرات آب‌وهوایی به این نتیجه رسیده است که تغییرات آب‌وهوایی تأثیرات قابل‌توجهی بر منابع آب جهانی خواهد داشت (باکی[3] و همکاران، ۲۰۱۸؛ ژائو[4] و همکاران، ۲۰۱۹). تغییر اقلیم اثرات قابل‌توجهی بر چرخه آبی و سیستم منابع آب دارد. تغییرات اقلیم باعث تغییر در مدت، شکل و زمان بارش در مناطق مختلف کره زمین و نیز باعث تغییر در حجم، مدت و زمان رواناب می‌شود که پیام این اتفاق در عرصه مدیریت منابع آب تحولات و تغییرات بسیاری به وجود خواهد آورد (ژی[5] و همکاران، ۲۰۲۲). در سال‌های اخیر توجه به تغییر اقلیم و اثرات ناشی از آن اهمیت زیادی پیداکرده است که می‌توان آن را نتیجه پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و خسارت‌های مالی و جانی مربوط به رویدادهای فرین اقلیمی دانست (حجازی زاده و همکاران، ۱۴۰۲). افزون بر این، کاهش نزولات آسمانی و عدم تغذیه صحیح آبخوان‌ها و سفره‌های آب زیرزمینی از دیگر عواملی هستند که منجر به بهره‌برداری بیش‌ازحد منابع آب شده است .پیش‌بینی‌ها در این راستا، حاکی از آن است که تا سال ۲۰۵۰ مسئله مدیریت منابع آب اصلی‌ترین موضوع موردبحث در کشورهای گوناگون جهان خواهد بود. کشور ایران نیز بر اساس پیش‌بینی‌های انجام شده تا سال ۲۰۲۵ به لیست کشورهایی که با وضعیت کمبود آب مواجه‌اند، اضافه خواهد شد (محمدرضایی و قهرمان، ۱۴۰۰).

واژه آب مجازی برای اولین بار به‌وسیله آلن[6] (۱۹۹۳) ارائه گردید. برآورد واردات و صادرات آب مجازی در مقیاس بین‌المللی و درون کشوری (استانی) برای استفاده بهینه از منابع آب‌وخاک کشور بر اساس پتانسیل هر منطقه می‌تواند به‌عنوان یک راهکار اثربخش مدنظر قرار گیرد. تجارت درون کشوری آب مجازی با استفاده بهینه از منابع و ظرفیت‌های داخلی می‌تواند از مصرف آب ملی بکاهد و میزان تولیدات محصولات کشاورزی را افزایش دهد. به‌عبارت‌دیگر آب مجازی مقدار آبی است که یک کالا یا یک فراورده کشاورزی طی فرایند تولید مصرف می‌کند تا به مرحله تکامل برسد و مقدار آن معادل جمع کل آب مصرفی در مراحل مختلف زنجیره تولید از لحظه شروع تا پایان می‌باشد. صفت مجازی در این تعریف بدان معناست که بخش عمده آب مصرف شده طی فرایند تولید، در محصول نهایی وجود فیزیکی ندارد و در حقیقت بخش بسیار ناچیزی از آب مصرفی در پایان به‌عنوان آب واقعی در بافت محصول باقی خواهد ماند. نکته مهم اینکه، صفت مجازی به معنای غیرواقعی نیست، بلکه آب واقعی، حجم راستین آبی است که پیشتر مصرف شده‌است. شرایط اقلیمی و فرهنگی، مکان تولید، مدیریت و برنامه‌ریزی در میزان و حجم آب واقعی کالا مؤثر است و مقدار آن در مورد یک کالا در مناطق مختلف جهان متفاوت می‌باشد (آلن، ۲۰۰۳).

[1] Duan
[2] Hirwa
[3] Baki
[4] Zhao
[5] Zhi
[6] Allen

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.20]

از طرف دیگر پدیده گرمایش جهانی در حال وقوع و اقلیم در حال تغییر است و تغییر آب‌وهوا و نوسانات اقلیمی خطر خسارت‌های بیش‌تری را به همراه دارد. تبخیر-تعرق یکی از متغیرهای مهم هواشناسی می‌باشد که تحت تأثیر مشخصه‌های گیاهی، خاک و پارامترهای هواشناسی از قبیل دما، رطوبت و تشعشع قرار می‌گیرد و در واقع ایجادکننده ارتباط ما بین المان‌های مهم کره زمین و اتمسفر محسوب می‌شود، ازاین‌رو همواره تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار خواهد گرفت. علاوه بر این تبخیر-تعرق یکی از مهم‌ترین پارامترهایی است که عملکرد محصولات را تحت تأثیر قرار می‌دهد (حیدری و خوشخو، ۱۳۹۸؛ صلاحی و صفریان زنگیر، ۱۴۰۲). با توجه به اهمیت و ضرورت موضوع و تحقیقات اندکی که در این خصوص صورت گرفته است، تأثیرات محلی و منطقه‌ای نوسانات اقلیمی بر میزان آب مجازی محصولات کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا مطالعاتی در ایران و جهان انجام شده است. برای مثال یانگ[7] و همکاران (۲۰۱۷) پاسخ عملکرد ذرت آبی به سناریوهای تغییر اقلیم را در پرتغال موردبررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش، کاهش ۱۷ درصدی عملکرد ذرت را نشان داد. همچنین، فولی و همکاران[8] (۲۰۱۹) با آنالیز جامعی پیرامون بهره‌وری آب غلات سه محصول برتر جهان (گندم، ذرت و برنج) در ۳۱ کشور دنیا به این نتیجه دست یافتند که بالاترین مصرف‌کنندگان آب برای تولید محصولات زراعی، از بیشترین پتانسیل پس‌انداز آب نیز برخوردارند؛ کشورهای ایالات‌متحده آمریکا، هند و چین برای گندم؛ ایالات‌متحده آمریکا، چین و برزیل برای ذرت؛ هند، چین و پاکستان برای برنج چنین ویژگی‌هایی دارند. نیکولای[9] و همکاران (۲۰۲۱) ردپای آب محصول کشاورزی خیار و گوجه‌فرنگی در منطقه را بررسی کردند. نتیجه تحقیق نشان داد کاشت گلخانه‌ای این محصولات می‌تواند به‌عنوان یک اقدام کاهشی برای مبارزه با تغییرات آب‌وهوایی و کمبود آب در این منطقه باشد. ژانگ[10] و همکاران (۲۰۲۱) حجم آب مجازی در تجارت بین دلتای رودخانه زرد و سایر استان‌ها در چین را بررسی و میزان وابستگی دلتای رود زرد را به منابع آب خارجی ارزیابی کردند. نتایج تحقیقات نشان داد که تجارت آب مجازی کمبود منابع آبی را در دلتای رودخانه زرد تشدید می‌کند؛ زیرا صادرات آب مجازی بیشتر از واردات بوده است و بخش کشاورزی مهم‌ترین بخش صادرات آب مجازی شناخته شد. یو و دینگ[11] (۲۰۲۱) نشان داد که ردپای آب پکن از ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ کاهش یافته است و به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری شبکه ردپای آب، پکن باید محصولات و خدمات مجازی مرتبط با آب را از مناطقی که تنش آبی کمتری دارند وارد کند و درعین‌حال باید بهره‌وری مصرف آب را در تولید و مصرف خود بهبود بخشد. لی[12] و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که استراتژی توسعه پایدار و تغییرات محیطی، ویژگی و پیچیدگی چندبعدی مدیریت آب کشاورزی و منابع زمین را افزایش می‌دهد و مدلی را ارائه کردند که بیشتر به کاهش کمبود آب کشاورزی و ارتقای توسعه پایدار کشاورزی کمک می‌کند. نیکبخت شهبازی (۱۳۹۷) در ارزیابی اثرات نوسانات اقلیم بر میزان آب مجازی محصولات کشاورزی استان خوزستان تحت سناریوهای واداشت تابشی، نتیجه گرفت؛ میزان دما به‌طور میانگین در همه ایستگاه‌های منتخب و در همه سناریوها افزایش می‌یابد و میزان میانگین بارش نیز در دوره‌های آتی کاهش می‌یابد. میزان آب مجازی به‌دست‌آمده برای تمامی محصولات کشاورزی موردمطالعه روند افزایشی دارد. رحیمی‌پور انارکی و همکاران (۱۳۹۹) به ارزیابی آب مجازی و ردپای آب محصولات کشاورزی در شهرستان قلعه گنج استان کرمان پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که در مجموع، بیش از نیمی از سطح ۴۸۰۰۰ هکتاری زمین‌های زیر کشت، بیش از ۶۰ درصد مجموع ردپای آب را شامل می‌شود، اما عملکرد آن‌ها پایین بوده و با ارائه‌ی خدمات تخصصی به‌منظور تشویق کشاورزان در استفاده از روش‌های آبیاری نوین و جایگزینی محصولات آب با محصولات دارای بهره‌وری بیش‌تر، شاید ردپای کلی آب در شهرستان را بتوان کاهش داد. علیقلی نیا و همکاران (۱۳۹۹) نشان دادند که طی دوره‌های آتی دما در بین ۶ منطقه موردمطالعه در ایران از ۰/۵ درجه تا ۲/۰۳ درجه افزایش پیدا می‌کند و تغییرات بارندگی نیز از ۱۶- میلی‌متر کاهش تا ۱۰۰/۲ میلی‌متر افزایش خواهد داشت و این سبب

[7] Yang
[8] Foley
[9] Nikolaou
[10] Zhang
[11] Yu and Ding
[12] Li

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.20]

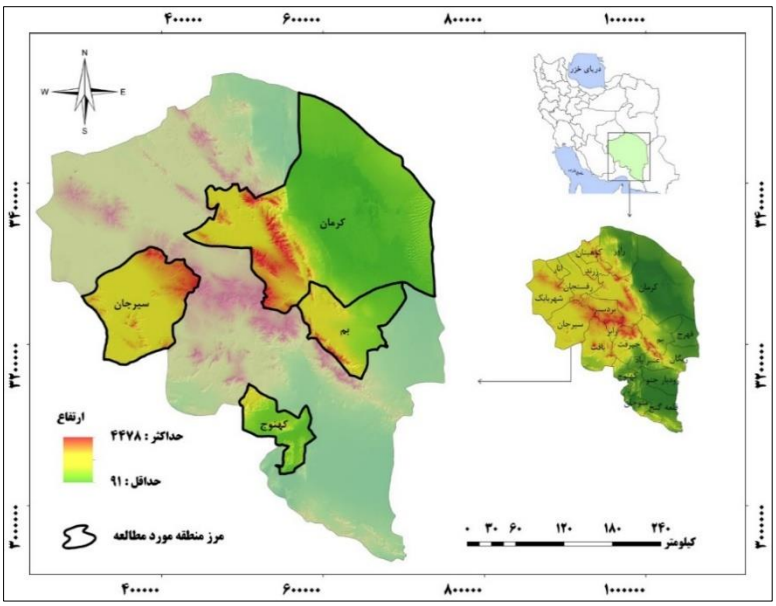
تغییرات ردپای آب سبز و آبی محصولات در اقلیم‌های مختلف ایران می‌گردد. جعفری گدنه و همکاران (۱۴۰۰) تأثیر سناریوهای مختلف تغییر اقلیم بر نوسانات آب زیرزمینی در دشت کرمان را بررسی کردند. نتایج حاصل از سناریوهای اقلیمی در دوره آتی (۱۴۰۹-۱۳۸۵) نشان داد که دما به میزان ۱/۱۲، ۱/۲۳ و ۱/۳۷ درجه سانتی‌گراد، بارش به میزان ۱۴/۶۹، ۱۹ و ۲۹/۲۶ درصد در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 افزایش و متوسط تراز سطح آب زیرزمینی در این سناریوها در دوره آتی نسبت به تراز سطح آب به ترتیب به میزان ۷/۱۹ و ۷/۲۶ و ۷/۳۳ متر کاهش می‌یابد. زارعیان (۱۴۰۰) نشان داد که به‌طور متوسط، دمای حوضه آبخیز زاینده‌رود در طی ۲۰ سال آینده حدود ۰/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش و بارندگی حوضه نیز حدود ۱۳/۳ درصد کاهش پیدا خواهد نمود و از میان معیارهای منتخب جهت سازگاری با تغییر اقلیم بر اساس رویکرد پدافند غیرعامل، معیار «عدم آسیب به معیشت کشاورزان»، بالاترین امتیاز را به خود اختصاص داد.

با توجه به اهمیت و نتایج تحقیق‌های صورت گرفته، ایران نیز با توجه به گستردگی تنوع اقلیمی و رواج کشاورزی در این مناطق و محدودیت منابع آبی، بررسی آب مجازی محصولات کشاورزی و ارزیابی تغییر اقلیم لازم می‌باشد. نتایج تحقیقات مختلف نشان می‌دهد تغییر اقلیم در آینده در ایران صورت خواهد گرفت و مسلماً موجب بروز پیامدهایی در سیستم‌های زیست‌محیطی، کشاورزی و منابع آب خواهد شد؛ بنابراین در این مقاله به بررسی اثرات نوسانات اقلیمی بر میزان آب مجازی محصولات کشاورزی (گندم، جو و یونجه) در چند شهرستان استان کرمان در آینده با استفاده از مدل ریزمقیاس نمائی آماری LARS-WG و با به‌کارگیری خروجی‌های مدل HadCM3 تحت سناریوی (گاز گلخانه‌ای) RCP4.5 موردبررسی قرار گرفت که تاکنون در تحقیقات قبلی موردتوجه قرار نگرفته است.

روش‌شناسی

موقعیت منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه چهار ایستگاه استان کرمان شامل کرمان، بم، سیرجان و کهنوج است. دلیل انتخاب این چهار ایستگاه دارا بودن طول دوره آماری مشترک و کاشت محصولات استراتژیک زراعی مشابه بوده است. استان کرمان در محدوده جغرافیایی جنوب شرقی فلات مرکزی و بین ۵۳ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی و ۲۵ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۲ درجه عرض شمالی قرار دارد. شکل (۱) موقعیت استان کرمان در ایران و شهرستان‌های موردمطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۱). موقعیت استان کرمان در ایران و شهرستان‌های موردمطالعه

منبع: *نگارندگان*

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.61186/jgs.25.76.20]

روش تحقیق

از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی در سطح استان کرمان، از جمله ایستگاه کرمان، بم، سیرجان و کهنوج به دلیل کامل بودن طول دوره آماری ۲۰ ساله از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۱ استفاده گردید. به‌منظور محاسبه تبخیر و تعرق محصولات کشاورزی یونجه، جو و گندم تولید شده در این چهار شهرستان از اطلاعات هواشناسی استفاده شد و از مدل تبخیر و تعرق هارگریوز-سامانی برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه استفاده گردید. جهت بررسی امکان تولید و شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی در دوره‌های آتی از مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG، استفاده شد. دوره پایه براساس داده‌های موجود همه ایستگاه‌ها، سال‌های ۱۹۹۱ الی ۲۰۱۱ است. از این‌رو سال‌های آماری ۱۹۹۱ الی ۲۰۰۰ برای واسنجی و سال‌های آماری ۲۰۰۱ الی ۲۰۱۱ برای راستی آزمایی و ارزیابی مدل استفاده شد. از طریق داده‌های LARS-WG میزان بارش و دمای بیشینه و کمینه ایستگاه‌های منتخب برای دوره‌های ۲۰۷۰-۲۰۱۱ میلادی پیش‌بینی گردید. میزان آب مجازی برای محصولات منتخب شامل یونجه، جو و گندم به دلیل اهمیت استراتژیک، میزان بالای سطح زیر کشت این محصولات و موجود بودن آمار کامل و کافی در منطقه موردمطالعه محاسبه شد. جهت بررسی دقت و ارزیابی مدل در مرحله واسنجی و راستی آزمایی مدل از جذر میانگین مربعات خطای نرمال[13]، میانگین قدر مطلق خطا[14] و ضریب همبستگی[15] بر اساس مقادیر میانگین متغیرها استفاده شده است.

$$NRMSE=\frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i-P_i)^2}{n}}}{O}\times 100$$ رابطه (۱)

$$MAE=\frac{\sum_{i=1}^{n}|P_i-O_i|}{n}$$ رابطه (۲)

$$R^2=\frac{[\sum_{i=1}^{n}(P_i-P)(O_i-O)]^2}{\sum_{i=1}^{n}(P_i-P)^2\sum_{i=1}^{n}(O_i-O)^2}$$ رابطه (۳)

که در آن o_i میزان مقادیر مشاهده‌شده، P_i میزان مقادیر پیش‌بینی شده، O میانگین مشاهدات و n تعداد داده‌هاست. از طریق داده‌های مدل تغییر اقلیم، داده‌های بارش و دمای بیشینه و کمینه ایستگاه‌های منتخب برای دو دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ (متوسط ۲۰۲۰) و ۲۰۵۰-۲۰۷۰ (متوسط ۲۰۶۰) میلادی پیش‌بینی شد. پس از به دست آمدن داده‌های هواشناسی برای دوره‌های آتی، از دمای پیش‌بینی شده برای تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل موردنظر در دوره‌های آتی از مدل هارگریوز-سامانی استفاده گردید. سپس با توجه به رابطه رگرسیونی تبخیر و تعرق و عملکرد محصول در دوره پایه رابطه (۴)، میزان عملکرد محصول در دوره آتی در هر شهرستان به ازای تبخیر و تعرق دوره آتی به دست آمد و نهایتاً میزان آب مجازی محصولات مختلف در دوره‌های آتی محاسبه گردید.

$$Y=aET_c+b$$ رابطه (۴)

در رابطه(۴) Y عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار)، ET تبخیر و تعرق محصول (میلی‌متر) و a و b ضرایب ثابت معادله هستند.

مدل هارگریوز و سامانی و آب مجازی

این مدل تبخیر و تعرق برای محاسبه تبخیر و تعرق روزانه نیازی به اطلاعات گسترده ندارد و به همین دلیل برای محاسبه تبخیر و تعرق محصولات کشاورزی در این تحقیق انتخاب شده است. مدل هارگریوز سامانی به‌صورت رابطه زیر تعیین می‌شود:

[13] Normalized Root Mean Square Error (NRMSE)
[14] Mean Absolute Error (MAE)
[15] Correlation Coefficient (R^2)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.20]

$$ET_O = 0.135K_T R_a TD^{0.5}(T + 17.8)$$ رابطه (۵)

$$K_T = 0.00185TD^{0.5} - 0.0433TD + 0.4023$$ رابطه (۶)

$$TD = T_{max} - T_{min}$$ رابطه (۷)

$$ET_C = K_C ET_O$$ رابطه (۸)

در روابط (۵ تا ۸) Tmax و Tmin به ترتیب حداکثر و حداقل دمای هوا در دوره موردنظر بر حسب درجه سانتی‌گراد، Ra تابش فرازمینی بر حسب مگاژول بر مترمربع بر روز که با روابط موجود به‌صورت روزانه قابل‌محاسبه است، K_T ضریب تصحیح است، K_C ضریب گیاهی است و برای محصولات مختلف از نشریه شماره ۵۶ فائو به دست می‌آید. به‌منظور محاسبه آب مجازی محصولات کشاورزی در این تحقیق از رابطه زیر استفاده شد (ژائو[16] و همکاران، ۲۰۱۴).

$$VWC = \frac{CWU}{P} = 10\frac{ET}{Y}$$ رابطه (۹)

در رابطه (۹) VCW میزان آب مجازی محصول بر حسب مترمکعب بر کیلوگرم، CWU میزان آب مصرفی محصول بر حسب مترمکعب، P میزان تولید محصول بر حسب کیلوگرم، ET میزان تبخیر و تعرق محصول در فصل کشت و Y میزان تولید محصول در واحد سطح بر حسب کیلوگرم بر هکتار است. میزان تولید محصولات به‌طور متوسط از جهاد کشاورزی استان کرمان اخذ گردید و میزان آب مجازی هر یک از محصولات در سال‌های آماری محاسبه گردید.

سناریوی واداشت تابشی تغییر اقلیم

جهت آشکارسازی تغییر اقلیم از شاخص‌های اقلیمی متنوعی می‌توان استفاده کرد که غالباً دما و بارش مدنظر قرار گرفته است. به‌منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر میزان آب مجازی محصولات کشاورزی، شبیه‌سازی مقدار دما برای سه دوره بر اساس مدلHadCM3 و از مدل ریزمقیاس‌نمائی LARS-WG استفاده گردید. مدل‌های گردش عمومی جو[17] مدل‌های عددی هستند که فرایندهای فیزیکی داخل اتمسفر، اقیانوس و سطح زمین را بیان می‌کنند. این مدل‌ها پیشرفته‌ترین ابزار برای شبیه‌سازی واکنش سیستم اقلیم جهانی نسبت به افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای هستند. HadCM3 از نوع مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی- اقیانوس است و در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس طراحی و توسعه یافته است. توصیف این مدل توسط گوردن[18] و همکاران (۲۰۰۰) و پوپ[19] و همکاران (۲۰۰۰) انجام شده است. پس از اطمینان از صحت نتایج ارزیابی مدل و قابلیت آن در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی، این مدل برای ریزمقیاس کردن داده‌های مدل گردش کلیHadCM3 و تولید داده یا شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در دوره‌های آتی با استفاده از سناریوی اقلیمی مورد تأیید هیئت بین دولتی تغییرات آب‌وهوایی اجرا شد. مدل‌های اقلیمی از نتایج سناریوهای RCPs برای نشان دادن غلظت و انتشار گازهای گلخانه‌ای و میزان آلودگی‌ها و تغییرات کاربری اراضی استفاده می‌کنند. سناریوی خانواده RCP شامل چهار سناریوی مختلف است که این سناریوها عبارت‌اند از: ۸/۵، ۶، ۴/۵ و ۲/۶ که بر اساس مشخصات متفاوت سطح تکنولوژی، وضعیت اجتماعی و اقتصادی، خط‌مشی‌ها در آینده است که در هر شرایط می‌تواند منجر به سطح انتشار متفاوت گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی گردد. این سناریوها بر اساس نتایج حاصل از برخی فراسنجه‌های اجتماعی- اقتصادی، تکنولوژی و همچنین میزان غلظت برخی گازها برای دهه‌های آینده در طراحی شده‌اند. در سناریوی RCP4.5 که

[16] -Zhao
[17] General Circulation Model (GCM)
[18] Gordon
[19] pope

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.20]

در این تحقیق به کار رفته است، میزان غلظت دی‌اکسید کربن تا سال ۲۱۰۰، ۶۵۰ پی‌پی‌ام تخمین زده شده است و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی را ۴/۵ وات بر مترمربع تخمین زده است.

نتایج و بحث

نتایج مدل Lars-WG5

نتایج غربالگری متغیرهای بارش و دما با توجه به سطح اعتماد ۱۰ درصد و مقادیر P-value و کای اسکور توسط مدل LARS-WG برای پارامترهای بارش، کمینه و بیشینه دما و تابش خورشیدی در جدول (۱) برای نمونه در ایستگاه کرمان در بازه ۲۰۱۱-۲۰۳۰ نشان داده شده‌است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقایسه توزیع‌های احتمالاتی برای داده‌های تخمین زده شده و مشاهده‌ای تابش خورشیدی، دمای حداقل و حداکثر و بارش بر مبنای آزمون نیکویی برازش کای اسکور حاکی از عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین توزیع احتمالاتی داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های مشاهده شده در ایستگاه موردمطالعه است. در واقع مقادیر خیکی کوچک p (مقادیر کوچک‌تر از ۰/۰۱ و ۰/۰۵) به این معناست که احتمالاً داده‌های اقلیمی شبیه‌سازی شده با داده‌های اقلیمی واقعی مشابه نیست و احتمالاً عملکرد مدل ضعیف است (سمنوف[20] و همکاران، ۱۹۹۸).

جدول (۱). مقادیر کای اسکور و P-value حاصل از مقایسه توزیع‌های احتمالاتی داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده برای دوره‌ی ۲۰۳۰- ۲۰۱۱ ایستگاه کرمان

ماه	کمینه دما		بیشینه دما		بارش		تابش	
	Chisquare	P- value	Chisquare	P- value	Chisquare	P- value	Chisquare	P- value
ژانویه	۰/۰۱۹	۱	۰/۰۹۵	۰/۹۸۹	۰/۰۸۳	۰/۹۸۹	۰/۰۳۷	۱
فوریه	۰/۰۲	۱	۰/۰۸۸	۰/۹۸۹	۰/۰۸۳	۰/۹۸۹	۰/۰۴۹	۱
مارس	۰/۰۵۶	۱	۰/۰۲۸	۱	۰/۰۲۸	۱	۰/۱۲۷	۰/۹۶۲
آپریل	۰/۱۸۶	۰/۹۸۹	۰/۰۲۸	۱	۰/۰۲۸	۱	۰/۰۴۹	۱
می	۰/۰۴۴	۱	۰/۰۲۸	۱	۰/۰۲۸	۱	۰/۰۴۹	۱
جون	۰/۱۵۶	۰/۸۱۹	۰/۰۲۸	۱	۰/۰۸۳	۰/۹۸۹	۰/۰۳۷	۱
جولای	۰/۰۳۱	۱	۰/۰۹۸	۰/۹۸۹	۰/۰۸۳	۰/۹۸۹	۰/۰۳۷	۱
آگوست	۰/۰۱	۰/۸۴۲	۰/۰۹۸	۰/۹۸۹	۰/۰۸۳	۰/۹۸۹	۰/۰۴۹	۱
سپتامبر	۰/۱۳۹	۰/۸۴۲	۰/۰۹۸	۰/۹۸۹	۰/۰۸۳	۰/۹۸۹	۰/۱۲۷	۰/۹۶۲
اکتبر	۰/۰۲۷	۱	۰/۰۲۸	۱	۰/۰۲۸	۱	۰/۱۲۷	۰/۹۶۲
نوامبر	۰/۰۲۷	۱	۰/۰۲۸	۱	۰/۰۲۸	۱	۰/۱۲۷	۰/۹۶۲
دسامبر	۰/۰۲۷	۱	۰/۰۲۸	۱	۰/۰۲۸	۱	۰/۱۳۹	۰/۸۹۴

واسنجی و ارزیابی مدل

نتایج واسنجی و راستی آزمایی مدل برای بارش در جدول (۲) آورده شده است. ضریب همبستگی، میانگین خطای مطلق و جذر مربعات خطای نرمال شده بر اساس مقادیر میانگین متغیرها در هر ماه محاسبه شد. این مقادیر با توجه به بارش و دمای روزانه تولید شده توسط مدل و مقادیر مشاهده شده برای داده‌های واسنجی و راستی آزمایی به دست آمد. نتایج نشان داد با توجه به میزان NRMSE میزان خطا در برآورد بارش و دما قابل‌قبول (کمتر از ۱۰ درصد) و در همه ایستگاه‌ها تقریباً یکسان است. هرچه مقدار NRMSE، MAE کمتر باشد نشان دهنده کارآیی بیشتر مدل در برآورد متغیرهاست. برای بررسی دقیق‌تر آزمون برازش رگرسیون خطی بین داده‌های مشاهداتی و چشم‌انداز آتی بارش و دمای متوسط، صورت گرفت. نتایج نشان داد با توجه به ضریب همبستگی بالای ۰/۷۵ عملکرد مدل مورد تأیید است.

[20] Semenov

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.61186/jgs.25.76.20]

جدول (۲). نتایج واسنجی و راستی آزمایی بارش ماهانه و دمای متوسط ماهانه

ایستگاه	NRMSE		MAE		R^2	
	نتایج واسنجی و راستی آزمایی بارش ماهانه					
	واسنجی	راستی آزمایی	واسنجی	راستی آزمایی	واسنجی	راستی آزمایی
کرمان	۵	۴	۰/۵	۰/۲	۰/۷	۰/۷۱
سیرجان	۳	۲	۰/۶	۰/۴	۰/۶۷	۰/۷۴
بم	۲	۱	۰/۴	۰/۳	۰/۷۴	۰/۷۲
کهنوج	۲	۲	۰/۲	۰/۱	۰/۶۹	۰/۶۸
	نتایج واسنجی و راستی آزمایی دمای متوسط ماهانه					
کرمان	۳/۲	۲/۶	۲/۲	۱/۲	۰/۷۱	۰/۸۲
سیرجان	۳/۲	۲/۱	۳/۱	۲/۳	۰/۸۱	۰/۸۶
بم	۳/۴	۲/۳	۳/۵	۳/۲	۰/۸۲	۰/۸۴
کهنوج	۴/۱	۲/۵	۴/۲	۴/۱	۰/۷	۰/۸۱

نتایج سناریوی واداشت تابشی در دوره‌های آتی

نتایج متوسط درصد تغییرات بارش و درصد تغییرات تبخیر و تعرق تحت سناریوی RCP4.5 در جدول (۳) نشان داده شده‌است. مطابق جدول، دمای متوسط در همه دوره‌ها افزایش داشته است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در دوره ۲۰۲۰ حداکثر تغییرات بارش به میزان حدوداً ۸ درصد در ماه دسامبر و حداقل تغییرات در ماه‌های سپتامبر و جولای واقع می‌شود. همچنین در دوره ۲۰۶۰ میزان تغییرات دمای بیشینه و کمینه نسبت به دوره دیدبانی برای سناریو در ماه‌های جون تا نوامبر روند افزایشی دارد. این روند افزایشی تغییرات دما نسبت دوره پایه، با نتایج یانگ و همکاران (۲۰۱۷) و صلاحی و صفریان زنگیر (۱۴۰۲) کاملاً منطبق بود. آن‌ها این نتیجه رسیدند که دما تأثیر مهمی در تغییرات اقلیمی داراست و افزایش قدرت تبخیر جو ناشی از افزایش دما را به‌عنوان تنها عاملی که تأثیر منفی بر افزایش عملکرد گیاه دارد و با کاهش میزان آب در دسترس گیاه بر روی عملکرد تأثیر منفی می‌گذارد، شناسایی کردند.

جدول (۳). میزان متوسط تغییرات دما ($\Delta T(°C)$)، درصد تغییر بارش ($\Delta P(\%)$) و تبخیر و تعرق ($\Delta ET(\%)$) تحت سناریوی RCP4.5 در ایستگاه‌های منتخب

ایستگاه	۲۰۳۰-۲۰۱۱			۲۰۷۰-۲۰۵۰		
	متوسط (۲۰۲۰)			متوسط (۲۰۶۰)		
	$\Delta ET(\%)$	$\Delta P(\%)$	$\Delta T(°C)$	$\Delta ET(\%)$	$\Delta P(\%)$	$\Delta T(°C)$
کرمان	۳/۵	-۱/۹	۱	۴	-۲	۱
سیرجان	۳/۶	-۲/۱	۱/۱	۵	-۲/۵	۱/۱
بم	۲/۸	-۱/۲	۰/۹	۶	-۲/۲	۱/۱
کهنوج	۲/۶	-۱/۴	۰/۸	۳/۵	-۱/۸	۱/۵

میزان تغییرات تبخیر- تعرق محصولات کشاورزی نسبت به دوره پایه

تبخیر و تعرق گیاه مرجع با توجه به چشم‌انداز متغیرهای هواشناسی بارش، دمای بیشینه و کمینه و دمای متوسط ماهانه در دوره‌های آتی از روش هارگریوز- سامانی محاسبه شد. سپس با توجه به ضریب گیاهی میانگین محاسبه شده از نشریه شماره ۵۶ فائو میزان تبخیر و تعرق محصولات موردبررسی شامل گندم، جو و یونجه به دست آمد. چشم‌انداز متوسط میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع برای سناریو RCP4.5 در دو دوره آتی در کل ایستگاه‌های موردمطالعه در جدول (۴) آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، میزان تبخیر و تعرق به‌دست‌آمده برای محصولات کشاورزی موردمطالعه روند افزایشی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.20]

دارد. بیشترین افزایش تبخیر و تعرق برای محصول یونجه و در دوره دوم پیش‌بینی (۱۵ درصد) و کمترین افزایش مربوط به محصول جو در دوره اول پیش‌بینی (۳ درصد) و برای محصول گندم در دوره دوم پیش‌بینی به میزان ۷ درصد می‌باشد.

جدول (۴). میزان متوسط تغییرات تبخیر و تعرق محصولات کشاورزی منتخب در کل ایستگاه‌ها

ΔET(%)		
محصولات	۲۰۲۰	۲۰۶۰
گندم	۵	۷
جو	۳	۱۳
یونجه	۸	۱۵

با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده از سازمان جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت و میزان تولید محصولات ثبت شدند و با توجه به روابط موجود، میزان آب مجازی محصولات مختلف کشت شده در مناطق موردمطالعه در بازه‌ی زمانی ۲۰ ساله ۱۳۷۲ الی ۱۳۹۲ محاسبه شده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از جدول (۵)، در شهرستان کهنوج، سیرجان و کرمان بیشترین سطح زیرکشت مربوط گندم (۴۰٪) و در مقایسه آب مجازی و عملکرد بهترین وضعیت برای یونجه در این شهرستان‌ها ثبت شد. چراکه با کمترین میزان آب مجازی عملکرد بهتری داشته است. در حالی که در شهرستان بم، بیشترین سطح زیرکشت در اختیار یونجه (۴۰٪) گزارش شد و در مقایسه آب مجازی و عملکرد بهترین وضعیت برای این محصول زراعی گزارش گردید.

جدول (۵). میانگین سطح زیر کشت، عملکرد و آب مجازی محصولات موردبررسی در بازه‌ی زمانی ۲۰ ساله از ۱۳۷۲ الی ۱۳۹۲ (سازمان جهاد کشاورزی استان کرمان)

منطقه موردمطالعه	محصول	سطح زیرکشت (هکتار)	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)	آب مجازی (لیتر بر کیلوگرم)
شهرستان کهنوج	گندم	۸۱۱۶۶۱/۲	۵۰۸۵۷/۹	۵۴۲۳۲/۷
	جو	۱۵۱۶۹۳/۵	۴۱۹۹۸/۷	۶۲۵۷۳/۸
	یونجه	۱۷۷۱۷۶/۶	۲۲۲۲۲۱/۹	۲۸۶۹۶/۲
شهرستان بم	گندم	۸۹۱۱۱/۵	۳۱۰۴۹/۸	۷۲۷۶۰/۰
	جو	۱۶۹۷۳/۵	۳۴۲۱۱/۷	۶۵۵۲۵/۲
	یونجه	۱۸۸۳۷۶/۱	۲۳۶۱۵۹/۴	۲۱۶۶۴/۷
شهرستان سیرجان	گندم	۱۰۸۱۰۵/۳	۵۵۶۶۵/۲	۴۰۷۵۸/۷
	جو	۵۴۲۱۸/۶	۵۰۱۲۶/۳	۴۴۲۱۲/۹
	یونجه	۵۷۹۵۲/۴	۱۶۷۶۸۷/۶	۳۰۷۱۹/۳
شهرستان کرمان	گندم	۱۲۱۸۴۶۴/۵	۶۰۷۶۴/۹	۳۷۳۷۶/۲
	جو	۳۵۴۳۱۲/۶	۴۴۷۴۲/۱	۴۸۸۶۷/۹
	یونجه	۶۴۰۴۱۱/۶	۲۰۷۰۷۵/۳	۲۴۷۳۲/۴

رابطه عملکرد محصول و میزان تبخیر و تعرق محصول

رابطه بین تبخیر و تعرق محصولات منتخب و عملکرد آن‌ها در دوره پایه در هر شهرستان به دست آمد و سپس میزان آب مجازی محصولات موردنظر در دوره آتی با توجه به میزان تبخیر و تعرق در دوره آتی با استفاده از رابطه رگرسیونی محاسبه گردید. نتایج آماری به‌دست‌آمده در جدول (۶) برای شهرستان‌های موردمطالعه نشان داده شده است. با توجه به ضرایب تعیین مناسب (مقادیر بیشتر از ۰/۵ و نزدیک به ۱) به‌دست‌آمده برای هر معادله رگرسیونی در هر شهرستان، می‌توان برای پیش‌بینی و تخمین مقدار عملکرد بر اساس میزان تبخیر و تعرق محصولات کشاورزی از این معادلات استفاده کرد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

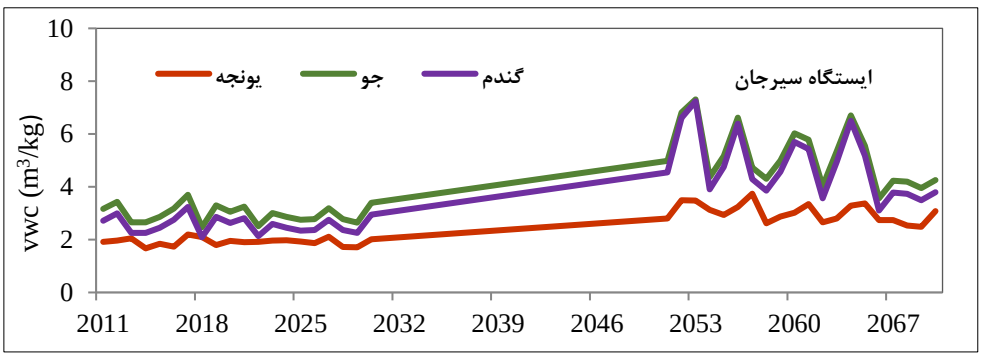
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.20]

جدول (۶). معادله رگرسیونی بین عملکرد محصول Y (کیلوگرم بر هکتار) و تبخیر و تعرق محصول ETc (میلی‌متر) در دوره پایه در شهرستان‌های موردمطالعه

منطقه موردمطالعه	نوع محصول	معادله رگرسیونی	ضریب همبستگی (R^2)
شهرستان کرمان	گندم	Y= 4.47 ETc +4381	۰/۷۹
	جو	Y= 4.31 ETc -548	۰/۷۲
	یونجه	Y= 5.32 ETc +3218	۰/۷۸
شهرستان سیرجان	گندم	Y= 4.02 ETc +1512	۰/۸
	جو	Y= 4.65 ETc -1024	۰/۷۶
	یونجه	Y= 5.12 ETc +4231	۰/۷۳
شهرستان بم	گندم	Y= 2.68 ETc +745	۰/۷۵
	جو	Y= 3.89 ETc -459	۰/۸۱
	یونجه	Y= 7.45 ETc +2154	۰/۷۵
شهرستان کهنوج	گندم	Y= 3.78 ETc +1512	۰/۷۲
	جو	Y= 4.04 ETc +1349	۰/۷۴
	یونجه	Y= 6.32 ETc +8024	۰/۷۶

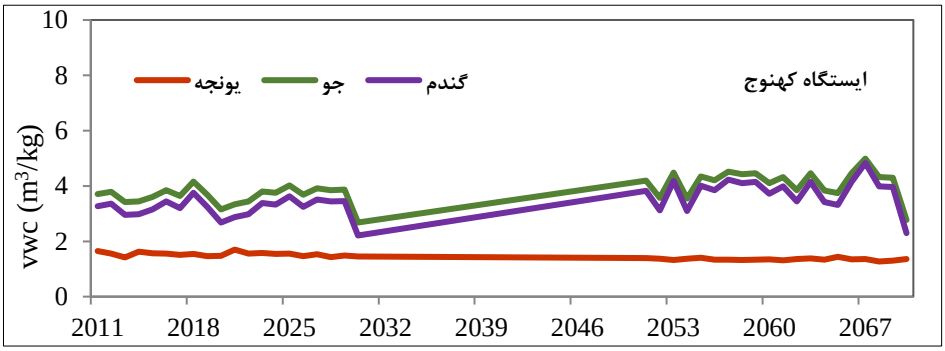
میزان تغییرات آب مجازی محصولات کشاورزی نسبت به دوره پایه

چشم‌انداز متوسط میزان آب مجازی برای سناریوی RCP4.5 در دو دوره آتی برای محصولات گندم، جو و یونجه در هر یک از ایستگاه‌های سیرجان، کهنوج، بم و کرمان در اشکال (۲ تا ۵) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل‌ها ملاحظه می‌شود، میزان آب مجازی به‌دست‌آمده برای همه محصولات کشاورزی موردمطالعه روند افزایشی دارد؛ اما این افزایش برای محصول جو و گندم به‌طور متوسط در دوره ۲۰۷۰ افزایش بیشتری از خود نشان می‌دهد. به‌طوری‌که مثلاً در ایستگاه سیرجان شکل (۲) میزان آب مجازی برای محصول گندم به ۴/۸ مترمکعب بر کیلوگرم خواهد رسید. میزان تغییرات آب مجازی محصول جو حداکثر به ۴/۹ مترمکعب بر کیلوگرم می‌رسد و میزان حداکثر آب مجازی محصول یونجه برابر با ۲/۱ مترمکعب بر کیلوگرم خواهد بود. در ایستگاه کهنوج شکل (۳) میزان آب مجازی برای محصول گندم ۴/۹ مترمکعب بر کیلوگرم خواهد بود. همچنین در این ایستگاه میزان تغییرات آب مجازی محصول جو حداکثر به ۵/۱ مترمکعب بر کیلوگرم می‌رسد و میزان حداکثر آب مجازی محصول یونجه برابر است با ۱/۷ مترمکعب بر کیلوگرم است. در ایستگاه بم شکل (۴) میزان آب مجازی برای محصول جو و گندم به ۳/۲ مترمکعب بر کیلوگرم می‌رسد. این مقدار برای محصول یونجه به ۱/۳ مترمکعب بر کیلوگرم می‌رسد. در ایستگاه کرمان شکل (۵) در دوره ۲۰۶۰ به ۱۰ مترمکعب بر کیلوگرم محصول می‌رسد. بیشترین افزایش میزان آب مجازی نسبت به دوره پایه در ایستگاه کرمان مربوط به هر یک از محصولات در دوره ۲۰۷۰ رخ می‌دهد و بیشترین درصد افزایش مربوط به محصول جو و گندم است. در این ایستگاه میزان آب مجازی محصولات گندم، جو و یونجه حداکثر به ترتیب به میزان ۷/۱، ۷/۳ و ۱/۲ مترمکعب بر کیلوگرم در دوره‌های آتی خواهد رسید.

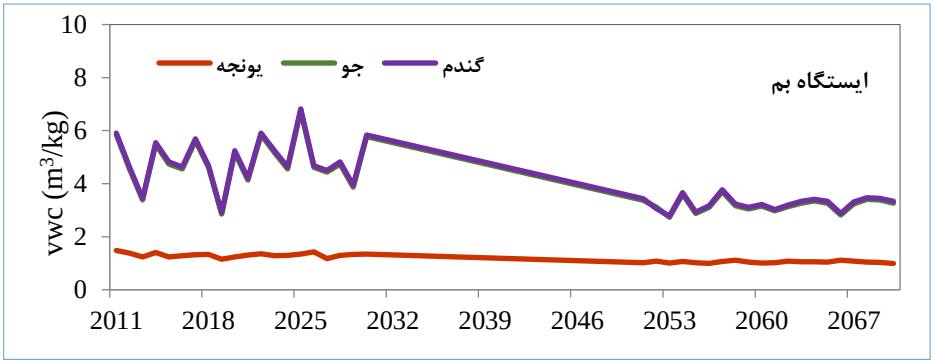


شکل (۲). میزان تغییرات آب مجازی (مترمکعب بر کیلوگرم) محصولات کشاورزی مختلف در دوره‌های آتی ایستگاه سیرجان

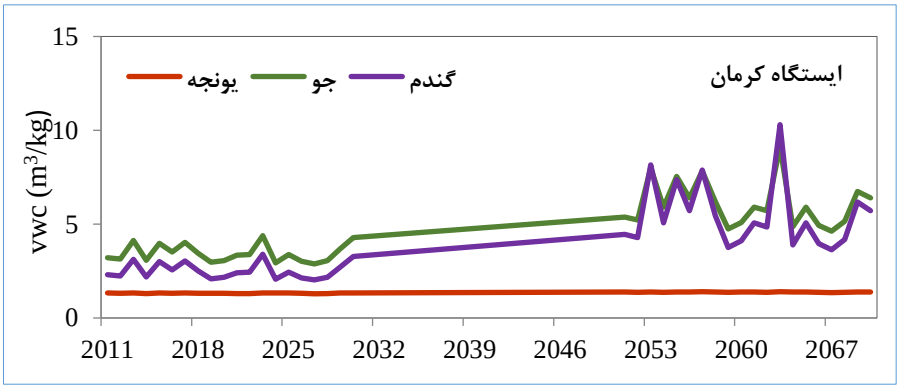
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.20]



شکل (۳). میزان تغییرات آب مجازی (مترمکعب بر کیلوگرم) محصولات کشاورزی مختلف در دوره‌های آتی ایستگاه کهنوج



شکل (۴). میزان تغییرات آب مجازی (مترمکعب بر کیلوگرم) محصولات کشاورزی مختلف در دوره‌های آتی ایستگاه بم



شکل (۵). میزان تغییرات آب مجازی (مترمکعب بر کیلوگرم) محصولات کشاورزی مختلف در دوره‌های آتی ایستگاه کرمان

نتیجه‌گیری

مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر تولیدات و فعالیت‌های کشاورزی از دیدگاه مدیریت نهاده‌ها در آینده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این تحقیق استان کرمان به‌عنوان منطقه‌ای با پتانسیل بالای تولید محصولات کشاورزی به‌عنوان نمونه موردمطالعه انتخاب شده است. نخست وضعیت استان از منظر تغییرات اقلیمی بررسی شد که نتایج، افزایش دما و کاهش بارندگی را در سال‌های آتی نشان می‌دهد و طبق بررسی صورت گرفته در این تحقیق و صحت‌سنجی نتایج حاصله با آمار و گزارش‌های سازمان هواشناسی استان نتایج شبیه‌سازی دمای متوسط در ایستگاه‌های بم، سیرجان، کهنوج و کرمان در دوره ۲۰۱۱-۲۰۷۰ تحت سناریو RCP4.5 و مقایسه آن با میانگین دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۷۲) حاکی از افزایش دمای متوسط در تمامی ماه‌ها است و این افزایش دما در ماه‌های گرم سال بیشتر و در ماه‌های سرد سال کمتر خواهد بود. همچنین بررسی‌ها نشان

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.20]

از کاهش بارش در فصول گرم سال و افزایش آن در فصول سرد در تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی را دارد. در این راستا وضعیت تولید بر اساس سطح زیر کشت بررسی شد و میزان آب مجازی برای تولید این محصولات (گندم، جو و یونجه) محاسبه شد. نتایج پژوهش حاضر حاکی از آن است که پدیده تغییر اقلیم به‌طور معنی‌داری بر تبخیر- تعرق و عملکرد محصول یونجه، جو و گندم اثرگذار بوده، ازاین‌رو بهره‌وری آب کشاورزی را در آینده تحت تأثیر خود قرار خواهد داد، در حالی که میانگین دمای فصل رشد در آینده تحت تأثیر تغییر اقلیم افزایش خواهد یافت، پارامتر بیشینه دما بیش از کمینه دما تحت تأثیر این پدیده قرار خواهد گرفت و به‌موازات این موضوع تبخیر و تعرق گیاه در این دوره افزایش و نیز عملکرد و بهره‌وری (براساس تبخیر- تعرق، براساس تعرق و براساس آبیاری و بارندگی) افزایش می‌یابد. میزان تغییرات آب مجازی به‌دست‌آمده برای همه گیاهان موردمطالعه افزایشی است که این افزایش برای جو و گندم به‌طور متوسط در دوره آینده افزایش بیشتری از خود نشان می‌دهد و بیشترین افزایش میزان آب مجازی نسبت به دوره پایه در ایستگاه کرمان مربوط به جو و یونجه به اندازه حداقل ۳۰٪ می‌باشد. نتایج این تحقیق با نتایج نیکبخت شهبازی (۱۳۹۷)، غلامحسین پور جعفری نژاد و همکاران (۱۳۹۲)، دهقانی و همکاران (۱۳۹۷)، محمدرضایی و قهرمان (۱۴۰۰)، کنار[21] و همکاران (۲۰۱۳)، ژائو و همکاران (۲۰۱۴) و (۲۰۱۹)، یانگ و همکاران (۲۰۱۷)، رحیمی پور انارکی و همکاران (۱۳۹۹) و هیروا و همکاران (۲۰۲۱) منطبق می‌باشد. این محققین در نقاط مختلف جهان یا ایران تحت سناریوهای مختلف و روش‌های مختلف افزایش دما و تبخیر و تعرق در آینده را با مدل‌های مختلف تغییر اقلیم پیش‌بینی و بر ارائه الگوی کشت مناسب و افزایش بهره‌وری آب توصیه می‌کنند.

به‌طورکلی نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش بیانگر این است که تولید یونجه، جو و گندم و فعالیت‌های مرتبط با آن در استان کرمان تحت تأثیر تغییرات اقلیم قرار خواهند گرفت. با توجه به اینکه آب مجازی کم همیشه دلیل بر انتخاب آن محصول برای الگوی کشت بهینه نبوده و باید شرایط منطقه و سازگاری محصول در آن منطقه توجه کرد. در واقع استان کرمان روی کمربند آب‌وهوایی خشک و نیمه‌خشک زمین واقع شده است و کمبود میزان بارندگی و توزیع نامناسب زمانی و مکانی بارش‌ها، تبخیر بالا، بادهای شدید موقتی و نوسان درجه حرارت شرایط اقلیمی نامناسبی را در استان ایجاد کرده است. نتایج حاصل از دو بخش تغییرات اقلیمی و آب مجازی مصرفی در محصولات کشاورزی در استان لزوم مدیریت منابع آب در این بخش را دوچندان کرده است. در این راستا الگوهای کشت همساز با اقلیم ارائه شده توسط سازمان جهاد کشاورزی و تشویق کشاورزان به استفاده از آن می‌تواند گامی مؤثر در زمینه مدیریت آب در این مناطق باشد. راه برون‌رفت از وضع موجود، گفتمان مشترک بین تمام بخش‌های کشور درباره مدیریت آب است تا مدیریت آب در جامعه به‌ویژه در بخش کشاورزی با رویکرد علمی متحول شود. لذا پیشنهاد می‌گردد مسئولین تمهیداتی را در مقابله با گرمایش جهانی حاصل از تغییرات اقلیمی و بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع آب زیرزمینی از طریق اصلاح الگوی کشت، روش‌های نوین آبیاری اتخاذ نمایند.

[21] Konar

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.61186/jgs.25.76.20]

منابع

جعفری گدنه، میثم؛ سلاجقه، علی؛ ملکیان، آرش؛ (۱۴۰۰). بررسی تأثیر سناریوهای مختلف تغییر اقلیم بر نوسانات آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک (مطالعه موردی: دشت کرمان). مجله مهندسی آبیاری و آب ایران. ۴۴(۲): ۲۵۲-۲۷۵.

حجازی زاده، زهرا؛ زارعی، شریفه؛ صیاد، وحیده؛ (۱۴۰۲). بررسی چشم‌انداز تغییرات شاخص‌های حدی دما و بارش در استان کردستان بر اساس سناریوهای واداشت تابشی (RCP). مجله تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۲۳ (۶۹) : ۱۴-۱.

حیدری تاشه کبود، شادیه؛ خوشخو، یونس؛ (۱۳۹۸). تصویرسازی و پیش‌بینی تغییرات آتی تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس‌های فصلی و سالانه در غرب ایران بر اساس سناریوهای انتشار RCP. مجله تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۹(۵۳): ۱۵۷-۱۷۶.

دهقانی، طیبه؛ سلیقه، محمد؛ علیجانی، بهلول؛ (۱۳۹۷). اثر تغییر اقلیم بر میزان آب قابل بارش در سواحل شمالی خلیج‌فارس. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸(۴۹): ۷۵-۹۱.

رحیمی پور انارکی، محمدرضا؛ محمدی، علی؛ رفیعیان، مجتبی؛ ارجمندی، رضا؛ کریمی، سعید؛ (۱۳۹۹). ارزیابی آب مجازی و ردپای آب محصولات کشاورزی (شهرستان، قلعه گنج). فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. ۱۱(۴۱): ۵۲-۶۸.

روستایی، مریم؛ اسدی، علی؛ کلانتری، خلیل؛ (۱۴۰۰). بررسی روابط متقابل مؤلفه‌های کشاورزی اقلیم هوشمند با استفاده از تکنیک DEMATEL. فصلنامه تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران. ۵۲(۳): ۵۶۹-۵۸۹.

زارعیان، محمدجواد؛ (۱۴۰۰). شناسایی اولویت‌های بخش آب جهت سازگاری با تغییر اقلیم در حوضه زاینده‌رود با رویکرد پدافند غیرعامل. مجله مدیریت آب و آبیاری، ۱۱(۲): ۲۹۱-۳۰۰.

صلاحی، برومند؛ صفریان زنگیر، وحید؛ (۱۴۰۲). پایش تأثیر گرمایش جهانی برکشت گندم در دشت مغان (گرمی) با کاربرد مدل گردش عمومی جوی. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۲۳(۶۸): ۹۹-۱۱۳.

علیقلی نیا، توحید؛ قربانی، خلیل؛ رضایی، حسین؛ قربانی نصرآباد، قربان؛ (۱۳۹۹). ارزیابی و شبیه‌سازی ردپای آب محصولات کشاورزی در اقلیم‌های مختلف ایران با لحاظ سناریوهای تغییر اقلیم. مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۵۴(۳): ۸۰-۹۷.

غلامحسین پورجعفری نژاد، ابوالفضل؛ علیزاده، امین؛ نشاط، علی؛ (۱۳۹۲). بررسی ردپای اکولوژیک آب و شاخص‌های آب مجازی در محصولات پسته و خرما در استان کرمان. مجله مهندسی آبیاری و آب، شماره ۱۳: ۸۰-۸۹.

محمدرضایی، مژده؛ قهرمان، نوذر؛ (۱۴۰۰). چشم‌انداز آب مجازی گیاهان عمده زراعی تحت سناریوهای واداشت تابشی تغییر اقلیم (مطالعه موردی استان کرمان). نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی،۴۵: ۸۰-۶۷

نیکبخت شهبازی، علیرضا؛ (۱۳۹۷). ارزیابی اثرات نوسانات اقلیم بر میزان آب مجازی محصولات کشاورزی استان خوزستان تحت سناریوهای واداشت تابشی، نشریه فیزیک زمین و فضا، ۴۴(۲): ۳۶۳-۳۷۸.

Aligholi Nia T. Ghorbani Kh. Rezai H. Ghorbani Nasr Abad Gh. 2020. Evaluation and simulation of water footprints of agricultural products in different climates of Iran in terms of climate change scenarios. *Journal of Iranian Water Resources Research*. 54(3): 80-97. [In Persian]

Allan JA. 1993. Fortunately there are substitutes for water otherwise, our hydropolitical futures would be impossible' In: Proceedings of Priorities for water resources allocation and management, ODA, London, 13-26.

Allan JA. 2003. Virtual water-the water, food, and trade nexus. Useful concept or misleading metaphor? *Water international*. 28(1):106-13.

Baki S. Rozos E. and Makropoulos C. 2018. Designing water demand management schemes using a socio-technical modelling approach. *Science of the Total Environment*, 622,1590e1602.

Dehghani T. Saligheh M. Alijani B. 2017. The effect of climate change on the amount of precipitable water in the northern coasts of the Persian Gulf. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 18(49): 75-91. [In Persian]

Duan P. Qin L. Wang Y. and He H. 2015. Spatial pattern characteristics of water footprint for maize production in Northeast China. *Journal of the Science of Food Agriculture* 96(2): 561- 568. DOI: 10.1002/jsfa.7124.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.61186/jgs.25.76.20]

Foley D. Thenkabail P. S. Aneece I. P. Teluguntla P. G. and Oliphant A. J. 2019. A meta-analysis of global crop water productivity of three leading world crops (wheat, corn, and rice) in the irrigated areas over three decades. *International Journal of Digital Earth*, 13(8): 939-975.

Gholamhossein Pourjafarinejad A. Alizadeh A. and Neshat A. 2013. Investigation of water ecological footprint and virtual water indicators in pistachio and date crops in Kerman province, *Irrigation and Water Engineering Research Quarterly*, No. 13, 80-89. [In Persian]

Gordon C. Cooper C. Senior C.A. Banks H. Gregory J.M. Johns T.C. Mitchell J.F.B. and Wood R.A. 2000. The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate Dynamics*,16: 147–168.

Hejazizadeh Z. Zarei S. Sayad V. 2023. Investigation of Changes of Temperature and Rainfall Indicators in Kurdistan Province Based on Radiation Injection Scenarios (RCP). *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*. 23 (69):1-14. [In Persian]

Heydari-Tasheh-Kaboud S. Khoshkhue Y. 2019. Projection and prediction of the annual and seasonal future reference evapotranspiration time scales in the West of Iran under RCP emission scenarios. *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*.19 (53):157-176. [In Persian]

Hirwa H. Zhang Q. Qiao Y. Peng Y. Leng P. Tian C. Khasanov S. Li F. Kayiranga A. Muhirwa F. and Itangishaka A.C. 2021. Insights on water and climate change in the greater horn of Africa: Connecting virtual water and water-energy-food-biodiversity-health nexus. *Sustainability*, 13(11), p.6483.

Jafari Gadneh M. Salajegheh A. Malekian A. 2021. The effect of different climate change scenarios on groundwater fluctuations in arid and semi -arid regions (Case Study: Kerman Plain). *Journal of Iranian Irrigation and Water Engineering*. 44(2): 252-275. [In Persian]

Kiani qale sard S. Shahraki J. Akbari A. Sardar Shahraki A. 2019. Investigating the effect of climate change on agricultural water consumption and Iranian water resources reserves. *Journal of Iranian Irrigation and Water Engineering*. 37(3): 109-120. [In Persian]

Konar M. Hussein Z. Hanasaki N. Mauzerall D.L. and Rodriguez-Iturbe I. 2013. Virtual water trade flows and savings under climate change. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(8): 3219-3234.

Li M. Cao X. Liu D. Fu Q. Li T. and Shang R. 2022. Sustainable management of agricultural water and land resources under changing climate and socio-economic conditions: A multi-dimensional optimization approach. *Agricultural Water Management*, 259:107235.

Mohammad Rezaei M. Khaherman N. 2021. The virtual water landscape of major crops under radiative forcing scenarios of climate change (case study of Kerman province). *Climatology Research Journal*, 45: 67-80. [In Persian]

Nikbakht Shahbazi A.R. 2017. Evaluating the effects of climate fluctuations on the virtual water content of agricultural products in Khuzestan province under radiative forcing scenarios, *Journal of Earth and Space Physics*, 44(2): 363-378. [In Persian]

Nikolaou G. Neocleous D. Christou A. Polycarpou P. Kitta E. and Katsoulas N. 2021. Energy and Water Related Parameters in Tomato and Cucumber Greenhouse Crops in Semiarid Mediterranean Regions. A Review, Part I: Increasing Energy Efficiency. *Horticulturae*, 7(12): 521.

Pope V.D. Gallani M.L. Rowntree P.R. and Stratton R.A. 2000. The impact of new physical parametrizations in the Hadley Centre climate model HadAM3. *Climate Dynamics*, 16: 123-146.

Rahimipour Anarki M. R. Mohammadi A. Rafiyan M. Arjamandi R. and Karimi S. 2019. Evaluation of virtual water and water footprint of agricultural products (Shaherstan, Qalaganj). *Quarterly Journal of Geographical Studies of Arid Regions*, 11(41): 52-68. [In Persian]

Roustaie M. Asadi A. and Kalantari Kh. 2021. Investigating the interactions of intelligent agricultural components using Dematel technique. *Journal of Iranian Agricultural Economics and Development Research*. 52(3): 569-589. [In Persian]

Salahi B, safarian zangir V. 2023. Monitoring the impact of global warming on wheat cultivation in the Mughan Plain (Germi) Using the atmospheric circulation model. *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*. 23(68): 99-113. [In Persian]

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.61186/jgs.25.76.20]

Semenov MA. Brooks RJ. Barrow EM. and Richardson CW. 1998. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Research*, 10: 95–107.

Yang C. Fraga H. Van Ieperen W. and Santos J.A. 2017. Assessment of irrigated maize yield response to climate change scenarios in Potugal. *Agricultural Water Management*. 184: 178-190.

Yu D. and Ding T. 2021. Assessment on the flow and vulnerability of water footprint network of Beijing city, China. *Journal of Cleaner Production*, 293:126126.

Zareian J. 2021. Identify the priorities of the water sector to adapt to climate change in the Zayandehrood Basin with passive defense approach. *Journal of Water and Irrigation Management*, 11 (2): 291-300. [In Persian]

Zhang F. Jin G. and Liu G. 2021. Evaluation of virtual water trade in the Yellow River Delta, China. *Science of the Total Environment*, 784:147285.

Zhao H. Qu S. Guo S. Zhao H. Liang S. and Xu, M. 2019. Virtual water scarcity risk to global trade under climate change. *Journal of cleaner production*, 230: 1013-1026.

Zhao Q. Junguo L. Nikolay Kh. Obersteiner M. and Westphal M. 2014. Impacts of climate change on virtual water content of crops in China. *Ecological Informatics*, 19, 26–34.

Zhi Y. Hamilton P.B. Wu G. Hong N. Liang L. Xiong D. and Sun Y. 2022. Virtual water indicator for comprehensive water pressures: Model and case studies. *Journal of Hydrology*, 608: 127664.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.61186/jgs.25.76.20]