

## Evaluation of climate change and its effects on tomato yield in Abhar Plain

Azim Shirdeli<sup>1</sup> , Zabihollah Khani Temeliyeh<sup>2</sup> , Parisa Fakhimi<sup>3</sup>, Sakineh Khani Temeliyeh<sup>4</sup>, Rasoul Mirabbasi-Najafabadi<sup>5</sup> 

<sup>1</sup> Associate professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

<sup>2</sup> Graduated Ph.D. Student, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

<sup>3</sup> Graduated M.Sc. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

<sup>4</sup> Graduated Ph.D. Student, Department of Hydro-Meteorology, Faculty of Humanities, University of Zanjan, Zanjan, Iran

<sup>5</sup> Associate professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Shahrkord, Shahrkord, Iran

### Abstract

#### Introduction

Today, climate change is one of the issues that has always been the focus of the world. The use of general circulation models (GCM) is one of the most reliable methods for simulating climate variables in future periods. One of the influential factors in plant growth and yield is temperature. Therefore, in this study, the future temperature trend in Abhar Plain under the influence of climate change during future periods was investigated to study the effects of climate change on tomato yield.

#### Materials and Methods

The current study tried to simulate the tomato yield using the AquaCrop plant growth simulation model. We used synoptic stations of Khorramdareh which was located at a very short distance from Abhar (6 km) in the central part of the region and it had a similar climate to Abhar. The minimum, average and maximum temperatures measured at Khorramdareh Synoptic Station were used in the period of 1991-2010. LARS-WG software and A2 climate scenario and Hadcm3 model were also used for climate simulation. Then, using plant yield simulation by the AquaCrop model, plant yield was simulated and estimated in future periods and at different cultivation times. In this study, the observation period of 1991-2010, near future (2011-2030), middle future (2046-2065), and far future (2080-2099) have been considered.

#### Results and Discussion

The highest yield in tomato crop cultivation at present is related to 5 June (15 Khordad in the Solar year) cultivation with 55.57 t ha<sup>-1</sup>. Since the conventional planting time in the Abhar region is 26 May (5 Khordad in the Solar year), with 10 days of transferring the conventional cultivation time to 5 June (15 Khordad in the Solar year), the yield will increase by 0.51 t ha<sup>-1</sup>. Tomato yield will also increase over the next horizon, which may be due to the plant's C3 photosynthetic system and premature fruiting and flowering.

#### Conclusion

The LARS-WG model in predicting minimum, average, and maximum temperature, it shows an increasing trend in the future. The values of maximum and minimum temperature in the middle future will be higher than in the near future and the far future will be higher than the middle future compared to the observed period. The highest yield in tomato crop cultivation at present is related to 5 June (15 Khordad in the Solar year), cultivation with 55.57 t ha<sup>-1</sup>. Since the conventional planting time of the study region is 26 May (5 Khordad in the Solar year), with ten days of transferring the conventional cultivation time to 5 June (15 Khordad in the solar year), the yield will increase by 0.51 t ha<sup>-1</sup>. Tomato yield will also increase over the next horizon, which may be due to the plant's C3 photosynthetic system and more early ripening and flowering.

**Keywords:** AquaCrop model, Abhar plain, Climate change, Temperature, Tomato.

**Article Type:** Research Article

\*Corresponding Author, E-mail: azimshirdeli@yahoo.com

**Citation:** Shirdeli, A., Khani Temeliyeh, Z., Fakhimi, P., Khani Temeliyeh, S., & Mirabbasi-Najafabadi, R. (2022). Evaluation of climate change and its effects on tomato yield in Abhar Plain. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(1), 63-75.

DOI: 10.22098/MMWS.2022.9429.1041

DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.1.6.1

Received: 22 August 2021, Accepted: 02 November 2021

*Water and Soil Management and Modeling*, Year 2022, Vol. 2, No. 1, pp. 63-75

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





## ارزیابی تغییر اقلیم و اثرات آن بر عملکرد گوجه فرنگی در دشت ابهر

عظیم شیردلی<sup>۱\*</sup>، ذبیح الله خانی تملیه<sup>۲</sup>، پریسا فحیمی<sup>۳</sup>، سکینه خانی تملیه<sup>۴</sup>، رسول میرعباسی نجف آبادی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

<sup>۲</sup> دانش‌آموخته دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

<sup>۳</sup> دانش‌آموخته کارشناس ارشد، گروه آبیاری زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

<sup>۴</sup> دانش‌آموخته دکتری، گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

<sup>۵</sup> دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

### چکیده

دما یکی از عوامل تأثیرگذار در رشد و عملکرد گیاهان است. از این‌رو در این پژوهش، روند دمایی دوره آبی در دشت ابهر تحت تأثیر تغییر اقلیم در دوره‌های زمانی آینده و اثرات آن بر عملکرد گوجه فرنگی بررسی شد. سپس، با استفاده از شبیه‌سازی عملکرد گیاه به‌وسیله مدل AquaCrop، عملکرد گیاه در دوره‌های زمانی آبی و در زمان‌های کشت متفاوت شبیه‌سازی و برآورد شد. در این مطالعه بازه زمانی دوره مشاهداتی ۲۰۱۰-۱۹۹۱ میلادی، افق نزدیک ۲۰۳۰-۲۰۱۱، افق میانی ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و افق دور ۲۰۹۹-۲۰۸۰ در نظر گرفته شده است. به‌منظور ریزمقیاس‌نمایی نتایج مدل شبیه‌سازی گردش عمومی جو از نرم‌افزار LARS-WG با استفاده از مدل HadCM3 و سناریوی A2 استفاده شد. سپس تولید فایل سناریو برای دوره پایه انجام شد. طبق نتایج به‌دست‌آمده، بیش‌ترین عملکرد در کشت محصول گوجه‌فرنگی در زمان حال مربوط به کشت ۱۵ خرداد با ۵۵/۵۷ تن در هکتار است. با توجه به این‌که زمان کشت مرسوم منطقه ۵ خرداد است، با ده روز انتقال زمان کشت مرسوم به ۱۵ خرداد، ۰/۵۱ تن در هکتار محصول افزایش می‌یابد. همچنین، نتایج عملکرد گوجه‌فرنگی در افق‌های آبی افزایش می‌یابد که می‌توان به سیستم فتوسنتزی C3 این گیاه و زودرس شدن میوه و گل‌دهی بیش‌تر ارتباط داد. با توجه به نتایج مطالعه پیشنهاد می‌شود اثرات تغییر اقلیم بر سایر محصولات زراعی و باغی مورد مطالعه قرار گیرد و همچنین به تخصیص مناسب آب در امر کشاورزی منطقه مورد مطالعه توجه شود. از این‌رو آگاهی از اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و عملکرد محصولات زراعی می‌تواند اطلاعات لازم را در جهت مدیریت مناسب در اختیار کارشناسان و برنامه‌ریزان حوزه آب و کشاورزی قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، دشت ابهر، دما، گوجه فرنگی، مدل AquaCrop

### نوع مقاله: پژوهشی

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: azimshirdeli@yahoo.com

**استناد:** شیردلی، ع.، خانی تملیه، ذ.ا.، فحیمی، پ.، خانی تملیه، س.، و میرعباسی نجف‌آبادی، ر. (۱۴۰۱). ارزیابی تغییر اقلیم و اثرات آن بر عملکرد گوجه فرنگی در دشت ابهر. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۱)، ۶۳-۷۵.

DOI: 10.22098/MMWS.2022.9429.1041

DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.1.6.1

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۳۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۱

*مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، سال ۱۴۰۱، دوره ۲، شماره ۱، صفحه ۶۳ تا ۷۵

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



## ۱- مقدمه

امروزه پدیده تغییر اقلیم از جمله مشکلاتی هست که همواره در کانون توجه جهان قرار گرفته است (Moafimadani et al., 2015). اولین گام در بررسی اثرات تغییر اقلیم، بررسی تأثیر این پدیده بر پارامترهای اقلیمی است. بنابراین، جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم در دوره‌های آتی، باید در ابتدا متغیرهای اقلیمی در آینده شبیه‌سازی شود. استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو یکی از معتبرترین روش‌های شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی است (Ghosh and Mujumdar, 2008). در مطالعه‌ای که به بررسی اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر کشاورزی استان فارس پرداخته شد، نتایج نشان داد که درجه حرارت و بارندگی اثری معنادار و غیریکنواخت بر عملکرد محصولات بر جای می‌گذارند (Moameni and Zibae, 2013).

بررسی آثار پدیده تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی در شهرستان شیراز پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که آب مورد استفاده کشاورزی در کوتاه‌مدت و بلندمدت کم‌تر از وضعیت موجود به دست آمد. کاهش در مصرف آب باعث کاهش عملکرد و در نتیجه، درآمد کشاورزی منطقه خواهد شد؛ اما از وارد آمدن خسارت بلندمدت به سطح تولید محصولات زراعی و منابع آب زیرزمینی جلوگیری می‌کند. به منظور بررسی عملکرد مدل AquaCrop برای گندم زمستانه، مطالعه‌ای در دشت شمالی چین انجام گرفت و آزمایش‌های مزرعه‌ای در ایستگاه لان چنگ در سال‌های ۲۰۰۱-۱۹۹۸ تحت کم‌آبیاری اجرا شد و مدل AquaCrop با بخشی از تیمارها، واسنجی و با دسته دیگر اعتبارسنجی شد. مدل AquaCrop با داده‌های اندازه‌گیری شده عملکرد دانه و با در نظر گرفتن شرایط واقعی مزرعه در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ مورد اعتبارسنجی مجدد قرار گرفت. به‌طور کلی در اعتبارسنجی مدل، ریشه میانگین مربعات خطا برای عملکرد دانه ۰/۵۸ تن در هکتار، زی‌توده ۰/۸۷ تن در هکتار، تبخیر و تعرق واقعی ۳۳/۲ میلی‌متر و رطوبت حجمی خاک ۲۴/۵-۳۷/۶ میلی‌متر بود. نتایج کلی بر اساس اعتبارسنجی نشان داد که مدل AquaCrop، مدلی معتبر است و می‌توان با درجه قابل‌اطمینان از دقت و صحت مدل برای بهینه‌سازی تولید عملکرد دانه گندم زمستانه و نیاز آبی در دشت شمالی چین استفاده کرد (Darvand et al., 2021). پیش‌بینی روند تغییرات دما و بارش در دوره آتی و تأثیر آن بر بیان‌زدایی مورد مطالعه قرار دادند. بررسی تغییرات دمایی در فصل‌های مختلف دوره‌های مطالعاتی ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ نشان داد که در تمام فصل‌ها در منطقه افزایش دما اتفاق افتاده است؛ به‌طوری‌که بیش‌ترین افزایش دمای متوسط روزانه طی دوره‌های مطالعاتی به‌ترتیب مربوط به سناریوهای A2 در

فصل‌های پاییز، بهار و تابستان است. مقایسه تغییرات فصلی دما در آینده نیز نشان از افزایش دما در تمام فصل‌ها، به‌ویژه بهار و تابستان دارد. همچنین، بیش‌ترین بارندگی در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ به‌ترتیب مربوط به ماه‌های فوریه در سناریوی A1B، مارس در سناریوی A2، ژانویه در سناریوی A1B و فوریه در سناریوی A2 است و فقط در ماه ژوئیه و دسامبر کاهش بارندگی در هر سه سناریو صورت گرفته است. در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ بیش‌ترین افزایش بارندگی به‌ترتیب مربوط به ماه‌های ژانویه و فوریه در سناریوی A1B، مارس در سناریوی B1 و ژانویه در سناریوی A2 است و کم‌بارش‌ترین ماه نسبت به دوره پایه، دسامبر است. در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ نیز به‌ترتیب بیش‌ترین افزایش بارندگی مربوط به ماه‌های مارس در سناریوی A1B و سناریوی B1 و ژانویه در سناریوی A2 و کم‌بارش‌ترین ماه نسبت به دوره پایه، دسامبر است. با افزایش دما و کاهش بارندگی، منطقه بیش‌تر به سمت خشکسالی می‌رود و زمینه برای بیان‌زدایی در آینده فراهم می‌شود.

(Wilby and Dettinger, 2000) به‌منظور بررسی عملکرد مدل AquaCrop بر محصول گندم زمستانه در شرایط دیم، مطالعه‌ای در فلات جنوبی چین انجام گرفت و داده‌های آزمایش مزرعه‌ای چندساله برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل در شبیه‌سازی زی‌توده، پوشش گیاهی، رطوبت خاک و عملکرد دانه استفاده شد. بر اساس نتایج، محدوده خطا (ریشه میانگین مربعات) از ۰/۱۶ تا ۰/۳۸ تن در هکتار برای شبیه‌سازی زی‌توده، ۱/۸۷ تا ۴/۱۵ درصد برای پوشش گیاهی، ۰/۵ تا ۱/۴۴ تن در هکتار برای عملکرد دانه و ۵/۷ تا ۲۲/۵۶ میلی‌متر برای رطوبت حجمی خاک به‌دست آمد. به‌طور کلی، عملکرد مدل برای شبیه‌سازی پوشش گیاهی و عملکرد از زی‌توده و رطوبت حجمی خاک دقیق‌تر بود و مدل AquaCrop قادر به شبیه‌سازی عملکرد گندم زمستانه در شرایط دیم است و برای بهبود این مدل ممکن است تغییر شیوه‌های مدیریتی مختلف از جمله سطح باروری خاک و آبیاری در این منطقه لازم باشد (Zhang et al., 2013). در مطالعه Geerts et al. (2009) مدل AquaCrop را برای تولید ذرت در شرایط متفاوت ارزیابی شد. هدف از آن پژوهش، بررسی اثر اعمال استراتژی‌های کم‌آبیاری قبل از دوران گلدهی و آبیاری کامل بعد از دوران گلدهی بر تولید محصول بود. بر اساس نتایج، حداکثر خطای عملکرد محصول بین مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی ۲۴ درصد برآورد شد. در مطالعه‌ای Almazroui et al. (2016) به ارزیابی توانایی و عدم قطعیت از تغییرات پیش‌بینی شده در دما و بارش در مدل‌های AR4 جهانی آب و هوا بر شبه‌جزیره عربستان پرداختند که در آن از مدل‌های جهانی تغییر

سناریوی RCP4.5 و در مقیاس‌های ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه به ترتیب ۱۷/۱۶، ۱۴/۷۰ و ۱۸/۷۴ از کل ماه‌ها طی دوره آماری دارای وضعیت خشک و تحت سناریوی RCP8.5 در مقیاس‌های مذکور ۱۶/۴۵، ۱۷/۰۳ و ۱۵/۲۱ درصد از ماه‌ها دارای همان وضعیت هستند. همچنین مطالعات دیگری در این زمینه صورت گرفته است (Almazroui et al., 2017; Motevalibashi Naeini et al., 2019; Shirdeli et al., 2019; Tsakmakis et al., 2019; Khayat et al., 2020; Naderi, 2020; Afsharinia and Panahi, 2021).

هدف از پژوهش حاضر بررسی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد گوجه‌فرنگی منطقه ابهر در سه افق زمانی آتی شامل افق نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۱۱)، افق میانی (۲۰۶۵-۲۰۴۶) و افق دور (۲۰۹۹-۲۰۸۰) برای اولین بار است. با توجه به این‌که منابع آبی (آب سطحی، زیرزمینی و باران مؤثر) به میزان بارندگی و درجه دما وابسته است، با توجه به شرایط تغییر اقلیم، این پارامترها تغییر کرده و موجب تغییر در منابع آبی می‌شود. از این‌رو ضرورت انجام این پژوهش بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی منطقه مورد مطالعه، تقویم کشت و پتانسیل تولید محصول است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش اثرات تغییر اقلیم بر میزان دمای حداقل، متوسط و حداکثر به‌منظور بررسی عملکرد گوجه‌فرنگی در منطقه ابهر در سه افق زمانی آتی شامل افق نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۱۱)، افق میانی (۲۰۶۵-۲۰۴۶) و افق دور (۲۰۹۹-۲۰۸۰) مورد مطالعه قرار گرفت، سپس با استفاده از مدل شبیه‌ساز رشد گیاه AquaCrop عملکرد محصول گوجه‌فرنگی در طی دوره‌های زمانی حال و آینده مورد شبیه‌سازی و بررسی قرار گرفته شد. به‌منظور انجام بررسی‌ها در این پژوهش با توجه به این‌که به داده‌های حداقل ۲۰ سال نیاز است، از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک خرمدره به‌دلیل فاصله بسیار کم تا ابهر (شش کیلومتر) در مرکزیت منطقه و همچنین اقلیم مشابه با ابهر استفاده شد. به‌منظور برآورد تغییرات میزان دمای حداقل، متوسط و حداکثر در منطقه ابهر در افق‌های آتی تحت تأثیر اثر تغییر اقلیم، نیازمند یک دوره مرجع به‌عنوان دوره پایه است. ابتدا به‌منظور بررسی روند تغییرات میزان دمای حداقل، متوسط و حداکثر در گذشته از آزمون ناپارامتری من-کندال و به‌منظور محاسبه مقدار تغییرات از شیب روند سن استفاده شد. بدین‌منظور از داده‌های ایستگاه سینوپتیک خرمدره در بازه زمانی از بدو تأسیس تا منتهی به سال ۲۰۱۴ استفاده شد. از این داده‌ها آزمون روند و دقت انجام شد. با توجه به نتایج آزمون من-کندال سری زمانی دمای حداقل در ماه‌های فروردین تا شهریور و بهمن و اسفند و همه فصل‌های سال و همچنین در مقیاس سالانه نیز دارای روند صعودی معنادار است که

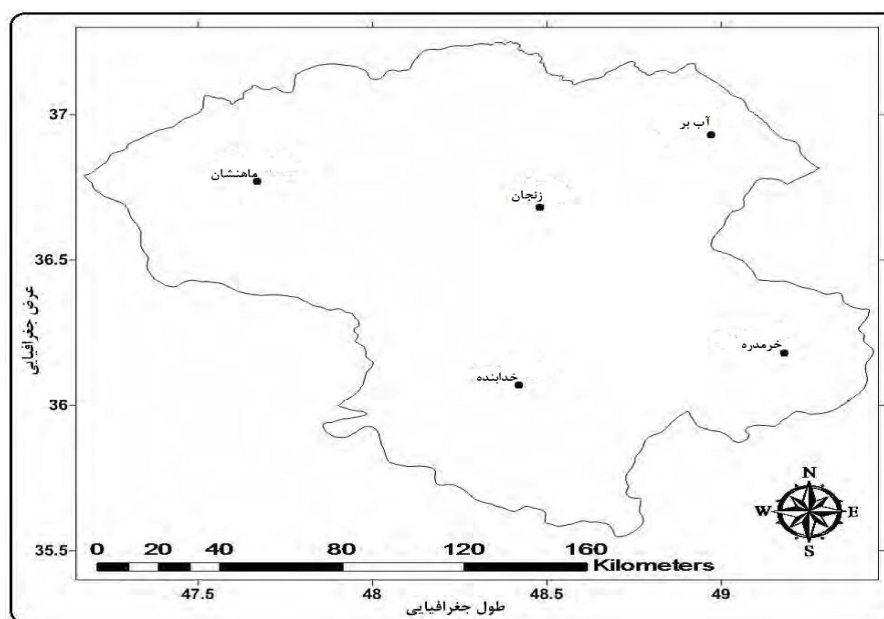
اقلیم تحت عنوان مدل دوگانه پروژه متقابل سه (CMIP3)<sup>۱</sup>، و سناریوهای A1B و A2 و B1 برای منطقه شبه‌جزیره عربستان استفاده شد. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد که افزایش درجه حرارت در حالت کلی در تابستان نسبت به زمستان بیش‌تر است و شمال شبه‌جزیره عربستان در مقایسه با جنوب آن افزایش درجه حرارت بالاتری را نسبت به زمستان در طول فصل تابستان دارد. علاوه بر این منطقه شمال شبه‌جزیره عربستان که به‌طور کلی تحت تأثیر اختلالات نشأت گرفته از منطقه دریای مدیترانه در طول فصل زمستان است، کاهش قوی در بارش در فصل زمستان نشان داده است. در مقابل منطقه جنوب شبه‌جزیره عربستان که در طول فصل زمستان خشک باقی می‌ماند و تحت تأثیر جنوب آسیا تابستان موسمی در فصل تابستان حاکم است که نشان از افزایش قوی در بارش در طول فصل تابستان است. (Nikbakht Shahbazi, 2017) در مطالعه‌ای، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر بارندگی و دما در حوزه آبریز سد کارون ۳ را مطالعه نمودند. برای این منظور شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی در دوره‌های آتی واسنجی و صحت‌سنجی مدل با استفاده از مدل LRS-WG5 انجام گرفت. نتایج نشان داد که در بهار و تابستان در حوزه آبخیز کارون ۳، اختلاف دمای حداکثر و حداقل ماهانه تحت تأثیر تغییر اقلیم کاهش پیدا می‌کند. میزان بارش‌ها در بهار افزایش یافته و در تابستان و پاییز کاهش می‌یابد. بیش‌ترین افزایش بارش در زمستان و در دی اتفاق می‌افتد. در پژوهشی پیش‌بینی تولید خالص اولیه بیوم‌های مختلف دشت جیرفت در مواجهه با تغییر اقلیم مورد مطالعه قرار گرفت. در آن پژوهش جهت کمی کردن اثرات تغییر اقلیم روی اکوسیستم‌ها، تولید خالص بیوم‌های مختلف در دشت جیرفت برای دوره‌های زمانی ۲۰۱۵-۲۰۰۱ و ۲۰۳۰-۲۰۱۶ با استفاده از مدل BIOME-BGC شبیه‌سازی شد. در آن پژوهش جهت بررسی تغییر پارامترهای اقلیمی در دوره‌های آتی از مدل LARS-WG6 استفاده شد. نتایج حاصل از مقایسه پارامترهای اقلیمی برای دو دوره مذکور حاکی از افزایش بارش، دمای کمینه و بیشینه در دوره آتی نسبت به دوره پایه است (Barkhori et al., 2020).

Nodeh Farahani et al. (2018) بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دما، بارش و خشکسالی‌های دوره آتی حوضه شادگان مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها در این پژوهش از خروجی سه مدل گردش کلی MPI-ESM-LR، BCC-CSM1-1 و NORESM1-M تحت سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 استفاده کردند. سپس خروجی‌های مدل‌ها با استفاده از نرم‌افزار LARS-WG ریزمقیاس شد. نتایج حاصل از پژوهش ایشان نشان داد تحت

<sup>۱</sup>Couple Model Inter comparison Project 3

روند صعودی معنادار بوده‌اند که درصد اطمینان معناداری در فصل تابستان در سطح ۹۹ درصد بوده است. دمای بیشینه تیر و بهمن در سطح اطمینان ۹۵ درصد و اسفند در سطح اطمینان ۹۹ درصد، دارای روند صعودی معنادار بوده‌اند. فصل‌های تابستان و زمستان در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند صعودی معنادار بوده‌اند و دمای حداکثر سالانه نیز در سطح اطمینان ۹۹ درصد دارای روند صعودی است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

به‌غیر از ماه بهمن و فصل پاییز که دارای روند معنادار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند، بقیه ماه‌ها و فصول دارای روند صعودی معنادار در سطح اطمینان ۹۹ درصد هستند. متوسط دمای ماهانه سری‌های زمانی ماه‌های تیر، شهریور، بهمن و اسفند دارای روند صعودی معنادار هستند که ماه‌های بهمن و شهریور در سطح اطمینان ۹۰ درصد و تیر و اسفند در سطح ۹۹ درصد دارای روند معنادار هستند. در مقیاس فصلی نیز به‌جز فصل پاییز سایر فصل‌ها دارای



شکل ۱- موقعیت منطقه و ایستگاه‌های مورد مطالعه  
Figure 1- Location of study area and stations

پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ مقیاس به پیش‌بینی شونده‌ها در مقیاس محلی اطلاق می‌شود (Wilby and Dettinger, 2000). خروجی مدل‌های گردش عمومی جو، عموماً بر اساس سناریوهای پخش گازهای گلخانه‌ای موجود تولید می‌شوند. مدل‌های سه‌بعدی جفت شده اقیانوس-اتمسفر (AOGCMs) به‌عنوان پرکاربردترین خروجی‌های اقلیمی مورد استفاده محققان قرار گرفته‌اند. در میان این سناریوها، سناریوی پخش گازهای گلخانه‌ای A2، به لحاظ نزدیک بودن به شرایط واقعی و موجود جهان، دارای دامنه کاربرد مطالعاتی وسیعی است. مدل LARS در DataBase خود خروجی مدل HadCM3 و تحت سناریوی A2 را دارا بوده و با تعیین طول، عرض و ارتفاع جغرافیایی محل مورد مطالعه، این داده‌ها را فراخوانی می‌کند (Xu, 1999).

**۲-۳- شبیه‌سازی دوره رشد توسط برنامه AquaCrop**  
AquaCrop مدلی است که جهت بررسی بهره‌وری مصرف آب گیاه، توسط بخش آب و خاک سازمان خواربار جهانی (فائو) با تجدید نظر در نشریه شماره ۳۳ سازمان FAO طراحی شده است.

**۲-۲- تهیه و جمع‌آوری نتایج مدل‌های شبیه‌سازی گردش عمومی جو بر اساس سناریوهای محتمل از اقلیم آینده**  
مدل‌های گردش عمومی جو مدل‌های سه‌بعدی هستند که بر اساس سناریوهای مختلف اقلیمی به‌منظور شبیه‌سازی اثر گازهای گلخانه‌ای بر اقلیم حاضر کره زمین توسعه داده شده‌اند و قادر هستند که تغییرات اقلیم آینده کره زمین را پیش‌بینی کنند (Xu, 1999). مدل‌های چرخه عمومی جو، بهترین مطالعات درباره تغییرات جو با توجه به افزایش گازهای گلخانه‌ای را فراهم می‌نمایند. از جمله محدودیت‌های اصلی در استفاده از خروجی‌های اقلیمی مدل‌های چرخه عمومی این است که دقت تجزیه مکانی و زمانی آن‌ها با دقت مورد نیاز مدل‌های منطقه‌ای و هیدرولوژیکی مطابقت ندارد. دقت مکانی این مدل‌ها در حدود شبکه‌هایی به طول ۲۰۰ کیلومتر است، که این دقت خصوصاً برای بررسی مناطق کوهستانی و پارامترهای اقلیمی نظیر بارش و دما مناسب نیست. با استفاده از روش کوچک‌مقیاس کردن، می‌توان خروجی‌های این مدل‌ها را به متغیرهای سطحی در مقیاس حوضه مورد مطالعه تبدیل نمود. کوچک مقیاس کردن در حقیقت به فرآیند حرکت از

محصول و زمان کشت و داده‌های نرم‌افزار NETWAT برای گیاه گوجه فرنگی استفاده شد.

## ۲-۵ تقویم دوره کشت

به دلیل نیاز به دخالت دادن شرایط تغییر اقلیم در مراحل رشد گیاه، از واحد (درجه-روز) استفاده شد. برخی از این مقادیر با استفاده از داده‌های سایر پژوهش‌ها اصلاح شد و با استفاده از زمان کاشت و برداشت در منطقه ابهر واسنجی شد و مقادیر سایر پارامترهای زمان رشد گیاه به نسبت این مقادیر تغییر پیدا کرد. به عنوان مثال، اگر زمان برداشت محصول ده روز افزایش یافته باشد، فاصله زمان گلدهی محصول پس از کشت به نسبت زمان واسنجی شده برداشت تقسیم بر زمان قبلی برداشت در مدل افزایش می‌یابد. به دلیل استفاده از بالاترین عملکرد و همچنین عدم تداخل با کاشت دوم محصول دیگر، حداکثر یک هفته به زمان برداشت مرسوم منطقه اضافه شد.

## ۲-۶ نیاز آبی محصول

به منظور واسنجی دقیق نیاز آبی محصول در شرایط واقعی منطقه از داده‌های موجود در نرم‌افزار NETWAT استفاده شد. بدین منظور از دو پارامتر  $K_{CTR}$  (ضریب تعرق) و  $WP^*$  (بهره‌وری آب که توسط تبخیر و تعرق مرجع و غلظت دی‌اکسید کربن اصلاح و نرمال شده است) می‌توان استفاده کرد. از ضریب تعرق به دلیل سادگی ضریب استفاده شد. از پارامتر  $WP^*$  به دلیل محدودیت مقدار پارامتر و همچنین دخیل بودن عامل دی‌اکسید کربن و غذاسازی استفاده نشده است.

## ۲-۷ عملکرد محصول

به منظور واسنجی دقیق مقدار محصول تولیدی از داده‌های جهاد سازندگی شهرستان ابهر برای یک دوره ۲۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۹۱) استفاده شد. برای این منظور نیز از دو پارامتر  $WP^*$  و  $HI$  (شاخص برداشت) می‌توان استفاده کرد. به دلیل ثابت فرض کردن پارامتر  $WP^*$  در مرحله قبل، از شاخص برداشت استفاده شد. به دلیل تأثیرپذیری مقدار عملکرد محصول از نیاز آبی، ابتدا باید نیاز آبی واسنجی شده و سپس عملکرد محصول واسنجی شود.

## ۲-۸ تغییر زمان کشت

در این پژوهش به دلیل این که هدف علاوه بر مطالعه تغییرات ایجاد شده در عملکرد محصول طی دوره‌های زمانی آبی، مطالعه تغییرات عملکرد در تغییر زمان کشت نیز است، بدین منظور زمان کشت محصول در منطقه را علاوه بر همان روز، ده و بیست روز

مدل AquaCrop یک مدل شبیه‌سازی رشد گیاه بر اساس مقدار آب مصرفی است که نسبت به مدل‌های دیگر به پارامترهای کم‌تری برای شبیه‌سازی نیاز دارد که از بازنگری در معادله به کار رفته در نشریه شماره ۳۳ سازمان خواربار جهانی (FAO) (رابطه ۱) استفاده می‌کند (Doorenbos and Kassam, 1979).

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right) \quad (1)$$

$Y_a$ : عملکرد واقعی ( $\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ ),  $Y_m$ : حداکثر عملکرد ( $\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ ),  $K_y$ : فاکتور واکنش عملکرد (بی‌بعد),  $ET_a$ : تبخیر و تعرق واقعی (Cm) و  $ET_m$ : تبخیر و تعرق حداکثر (Cm). پارامترهای مورد نیاز این مدل به دو دسته پارامترهای ثابت و متغیر تقسیم می‌شوند. اطلاعات ورودی این مدل اطلاعات اقلیم، خاک، مدیریت و خصوصیات گیاه هستند. پارامترهای مهم مورد بررسی در این مدل عملکرد محصول، بهره‌وری مصرف آب (WP) و شاخص برداشت (HI) است (رابطه‌های ۲ تا ۴).

$$WP = \frac{Yield}{ET} \quad (2)$$

$$HI = \frac{Yield}{Biomass} \quad (3)$$

$$Biomass = WP * \sum_{i=1}^n \left( \frac{T_c}{ET_o} \right)_i \quad (4)$$

$WP$ : بهره‌وری مصرف آب ( $\text{gm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ ),  $TC$ : تعرق گیاه ( $\text{mm} \cdot \text{day}^{-1}$ ),  $ET_0$ : تبخیر و تعرق مرجع ( $\text{mm} \cdot \text{day}^{-1}$ ) و  $\sum_{i=1}^n$ : بیان‌گر گام‌های روزانه این معادله است.  $Yield$  و  $Biomass$  به ترتیب عملکرد و زی‌توده (کیلوگرم) و  $ET$  آب مصرفی (مترمکعب) است. رابطه ۴ هسته اصلی مدل AquaCrop در برآورد عملکرد است.

## ۲-۴- واسنجی مدل نسبت به منطقه مورد مطالعه

با توجه به این نکته که داده‌های گیاهی مدل AquaCrop برای ارقام خاصی از محصولات و مناطق محدودی از جهان موجود است و در مناطق متفاوت، رقم خاصی از محصول ممکن است واکنش‌های متفاوتی از خود نشان دهند و همچنین هر محصولی ارقام متفاوتی دارد، نیاز به واسنجی داده‌های گیاهی در منطقه مورد مطالعه با ارقام و عملکردهای واقعی آن‌ها در منطقه است. بدین منظور از داده‌های گیاهی موجود در پژوهش‌های مشابه در اقلیم‌های نزدیک به شرایط اقلیمی منطقه که در داخل کشور و مناطق نزدیک‌تر به شهرستان ابهر موجود است، استفاده شد و سپس برای واسنجی دقیق مدل، از داده‌های موجود در سازمان جهاد کشاورزی شهرستان ابهر اعم از تراکم کشت، عملکرد

جدول ۲- ضریب‌های اصلاح‌شده فایل سناریوی دوره زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵

Table 2 - Modified coefficients of the scenario file of the period 2046-2065

پارامتر	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
فروردین	1.00	1.01	1.00	0.91	0.98	0.97	1.00
اردیبهشت	1.01	1.01	1.00	0.98	0.99	1.04	1.02
خرداد	1	1.01	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02
تیر	1.01	1.4	1.17	0.98	0.99	1.02	1.01
مرداد	1.10	1.04	0.98	1.00	1.00	1.02	1.00
شهریور	1.01	1.54	1.16	1.00	1.00	1.02	0.99
مهر	1.00	1.02	1.02	0.95	0.99	1.03	0.97
آبان	1.01	1.00	0.99	0.77	0.98	1.01	0.97
آذر	1.00	1.00	1.00	1.26	0.92	1.02	0.97
دی	1.00	0.99	1.00	1.37	0.74	1.00	0.98
بهمن	1.00	1.01	0.99	1.43	0.92	1.06	0.99
اسفند	1	1.01	1	1.64	0.97	1.04	0.99

جدول ۳- ضریب‌های اصلاح‌شده فایل سناریوی دوره زمانی ۲۰۸۰-۲۰۹۹

Table 3- Modified coefficients of the scenario file of the period 2080-2099

پارامتر	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
فروردین	1.01	1.01	1.01	0.85	0.97	1.00	1.07
اردیبهشت	1.00	1.01	1.00	0.95	0.98	1.09	1.09
خرداد	1.00	1.01	1.00	0.97	0.99	1.02	1.07
تیر	0.90	1.40	1.02	0.98	0.99	1.05	1.03
مرداد	0.99	1.04	0.98	0.98	0.99	0.98	1.01
شهریور	1.02	1	1.02	0.97	0.99	1.05	1.01
مهر	1.00	1.01	1.01	0.91	0.98	1.06	0.98
آبان	1.00	0.99	1.01	0.61	0.95	1.04	0.95
آذر	1.00	1.00	0.99	2.94	0.87	1.05	0.94
دی	1.00	1.00	1.01	2.75	0.65	0.93	0.97
بهمن	1.00	1.01	1.01	2.99	0.86	1.03	1.01
اسفند	0.98	0.99	1.01	3.42	0.93	1.08	1.04

همان‌طور که از جدول‌های ۴ و ۵ مشاهده می‌شود که کمیته متوسط دما در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه برای افق نزدیک برابر با ۱/۱۱، برای افق میانی برابر با ۱/۳۱ و برای افق دور (۱/۵۸) است. همان‌طور که از نتایج فوق استنباط می‌شود در دوره‌های آتی کمیته منطقه مورد مطالعه افزایش یافته، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان افزایش متوسط دمای کمیته مربوط به افق دور خواهد بود. نتایج تغییرات فصلی در جدول ۵ نشان می‌دهد که در تمام فصل‌های سال برای سه افق نزدیک، میانی و دور، افزایش دما اتفاق خواهد افتاد که این امر به نوبه خود مؤید تغییرات اقلیمی و افزایش دما در دوره‌های آتی خواهد بود.

با توجه شکل‌های ۲ تا ۵ مشاهده می‌شود که مدل LARS در پیش‌بینی حداقل، متوسط و حداکثر دما، روندی افزایشی در آینده نشان می‌دهد. به‌طوری‌که مقادیر افزایش افق میانی بیش‌تر

زودتر و دیرتر از زمان موجود به مدل وارد کرده و در واقع برای محصول، پنج تاریخ کشت مختلف در نظر گرفته شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- ضریب‌های اصلاحی تولید فایل سناریو

ضریب‌های اصلاحی به‌منظور تولید فایل سناریوی تغییر اقلیم مورد نیاز مدل LARS-WG، برای سناریوهای تغییر اقلیم و برای متغیرهای آب‌وهوایی در ستون‌های ۱- تغییرات نسبی میانگین بارش ماهانه، ۲- تغییرات نسبی طی دوره خشک، ۳- تغییرات نسبی طی دوره تر، ۴- تغییرات مطلق میانگین دمای حداقل ماهانه، ۵- تغییرات مطلق میانگین دمای حداکثر ماهانه، ۶- تغییرات نسبی انحراف از معیار میانگین دمای روزانه و ۷- تغییرات نسبی میانگین تابش ماهانه، در جدول‌های ۱ تا ۳ آمده است. اعداد جدول‌های ۱ تا ۳ بیان‌گر نسبت تغییرات پارامترهای بارش، دمای حداقل، حداکثر، تغییرات طول دوره تر و خشک، تغییر نسبی انحراف از میانگین دمای روزانه و تغییرات مطلق تابش دوره آتی نسبت دوره پایه می‌باشد.

جدول ۱- ضریب‌های اصلاح‌شده فایل سناریوی دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۳۰

Table 1- Modified coefficients of the scenario file of the period 2011-2030

پارامتر	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
فروردین	1.01	1.01	0.99	0.96	0.99	0.97	1.00
اردیبهشت	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00	1.02	1.01
خرداد	1.00	1.01	1.00	1.02	1.02	1.00	1.01
تیر	1.01	1.38	1.17	1.01	1.00	1.01	1.01
مرداد	1.10	1.04	0.99	1.00	1.00	1.02	1.01
شهریور	1.01	1.54	1.16	1.01	1.01	1.00	1.00
مهر	1.00	1.01	1.03	0.98	1.00	1.00	0.98
آبان	1.01	1.00	1.01	0.89	0.99	1.02	0.97
آذر	1.00	0.99	1.00	1.93	0.98	1.03	0.98
دی	1.00	0.99	1.02	0.94	0.89	1.00	0.99
بهمن	1.00	0.99	0.99	2.18	0.97	1.06	1.00
اسفند	1.01	0.99	1.01	1.00	0.98	1.03	1.00

#### ۳-۲- ضریب‌های اصلاحی تولید فایل سناریو

پس از بررسی کیفیت مدل در شبیه‌سازی دوره پایه، اقدام به تولید داده‌های شبیه‌سازی شده، برای دوره‌های آتی در سه افق نزدیک (۲۰۱۱-۲۰۳۰)، افق میانی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) و افق دور (۲۰۸۰-۲۰۹۹) شد. داده‌های شبیه‌سازی شده دما در دوره‌های زمانی آتی در مقایسه با مقادیر مشاهداتی دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۱۰) ایستگاه خرمدره در جدول‌های ۴ و ۵ و شکل‌های ۲ تا ۴ نمایش داده شده است.

و  $1/42$  درجه سانتی‌گراد خواهد بود. روند صعودی دمای بیشینه نیز همچون دمای متوسط در تعداد محدودی از ماه‌ها رخ خواهد داد. تنها سه ماه تیر، بهمن و اسفند شاهد افزایش دمای بیشینه در دوره‌های آتی خواهند بود. ماه تیر بیش‌ترین افزایش دمای میانی و دور به‌ترتیب  $1/36$ ،  $3/44$  و  $6/51$  درجه سانتی‌گراد خواهد بود. مقدار افزایش دمای بیشینه سالانه نیز در افق‌های نزدیک، میانی و دور به‌ترتیب  $0/32$ ،  $0/55$  و  $1/08$  درجه سانتی‌گراد خواهد بود.

### ۳-۳ - واسنجی مدل AquaCrop

مدل AquaCrop برای بررسی عملکرد و شبیه‌سازی دوره رشد گوجه‌فرنگی در پنج زمان کشت مختلف و در چهار دوره زمانی دوره پایه، افق نزدیک، افق میانی و افق دور مورد استفاده قرار گرفت. بدین‌منظور به برخی اصلاحات در پارامترهای موجود در مدل نیاز است. برخی از این اطلاعات و اصلاحات در جدول ۶ آمده است.

از افق نزدیک و افق دور بیش‌تر از افق میانی نسبت به دوره مشاهده شده است. افزایش دمای کمینه از دی تا تیر روندی صعودی داشته و از مرداد تا مهر سیر نزولی پیدا می‌کند و در ماه‌های فصل پاییز و ماه دی به‌دلیل عدم معنادار بودن روند دمای حداقل دوره مشاهده‌ای، هیچ تغییری در مقدار دمای مشاهده‌ای و سه دوره آتی وجود ندارد. فصل زمستان کم‌ترین کاهش سیر صعودی دمای کمینه را سه افق آتی دارد. بیش‌ترین افزایش مقدار دمای حداقل در طی افق نزدیک نسبت به زمان حال در خرداد با افزایش  $1/24$  درجه سانتی‌گراد خواهد بود و در طی افق‌های نزدیک و دور در تیر به‌ترتیب  $3/27$  و  $6/42$  درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. مقدار افزایش دمای حداقل سالانه نیز طی دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییرات اقلیمی در افق‌های نزدیک، میانی و دور به‌ترتیب  $0/63$ ،  $1/64$  و  $3/34$  درجه سانتی‌گراد خواهد بود. بیش‌ترین افزایش دمای کمینه در افق‌های نزدیک، میانی و دور به‌ترتیب  $1/28$ ،  $3/36$  و  $6/47$  درجه سانتی‌گراد در تیر خواهد بود. افزایش دمای متوسط سالانه نیز طی افق‌های آتی نزدیک، میانی و دور نیز به‌ترتیب  $0/26$ ،  $0/76$

### جدول ۴- داده‌های تولیدشده و دوره پایه در مقیاس ماهانه ایستگاه خرمدره

Table 4- Generated data and base period on a monthly scale of Khorramdareh station

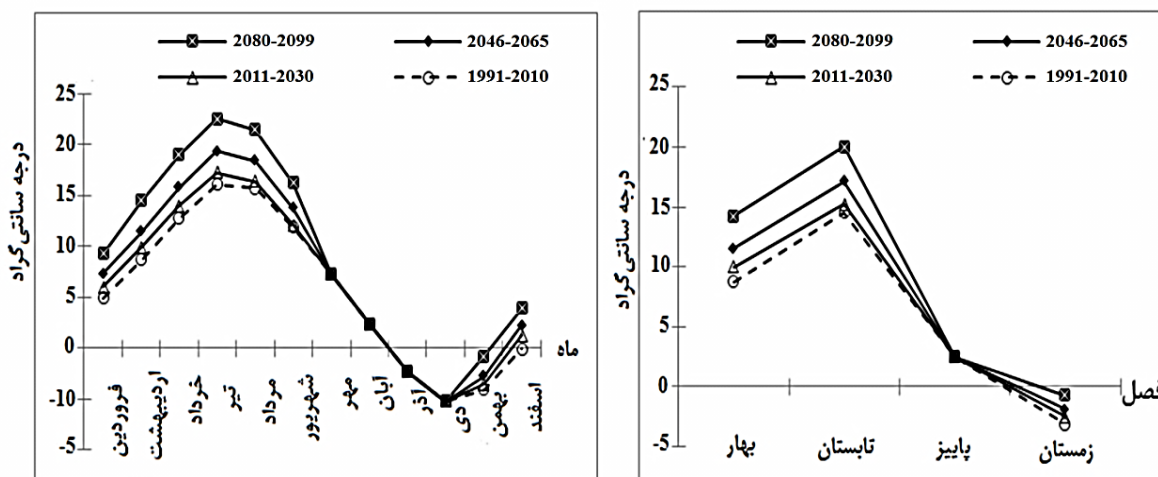
پارامتر	دمای کمینه (°C)			دمای متوسط (°C)			دمای بیشینه (°C)			ماه	
	2011-2030	2046-2065	2080-2099	1991-2010	2011-2030	2046-2065	2080-2099	1991-2010	2011-2030		2046-2065
فروردین	6.01	7.3	9.24	11.23	11.23	11.23	11.23	11.23	17.53	17.53	17.53
اردیبهشت	9.91	11.43	14.49	15.44	15.44	15.44	15.44	15.44	22.21	22.21	22.21
خرداد	13.95	18.93	18.93	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	28.29	28.29	28.29
تیر	17.25	19.33	22.48	24.85	26.93	24.85	23.57	23.57	31.09	34.53	32.45
مرداد	16.35	18.36	21.41	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	31.66	31.66	31.66
شهریور	12.13	13.73	16.22	20.31	21.92	20.31	20.09	20.09	28.31	28.31	28.31
مهر	7.26	7.36	7.26	14.43	14.43	14.43	14.43	14.43	21.59	21.59	21.59
آبان	2.41	2.41	2.41	7.98	7.98	7.98	7.98	7.98	13.55	13.55	13.55
آذر	-2.34	-2.34	-2.34	2.23	2.23	2.23	2.23	-2.34	6.8	6.8	6.8
دی	-5.24	-5.24	-5.24	-0.75	-0.75	-0.75	-0.75	-5.24	3.74	3.74	3.74
بهمن	-4.05	-3.51	-0.8	1.16	1.96	0.65	0.65	-0.8	8.28	6.63	5.83
اسفند	-0.06	1.27	3.92	6.53	7.53	5.43	5.43	3.92	14.46	12.8	11.8

### جدول ۵- داده‌های تولیدشده و دوره پایه در مقیاس فصلی و سالانه ایستگاه خرمدره

Table 5. Generated data and base period on a seasonal and annual scale of Khorramdareh station

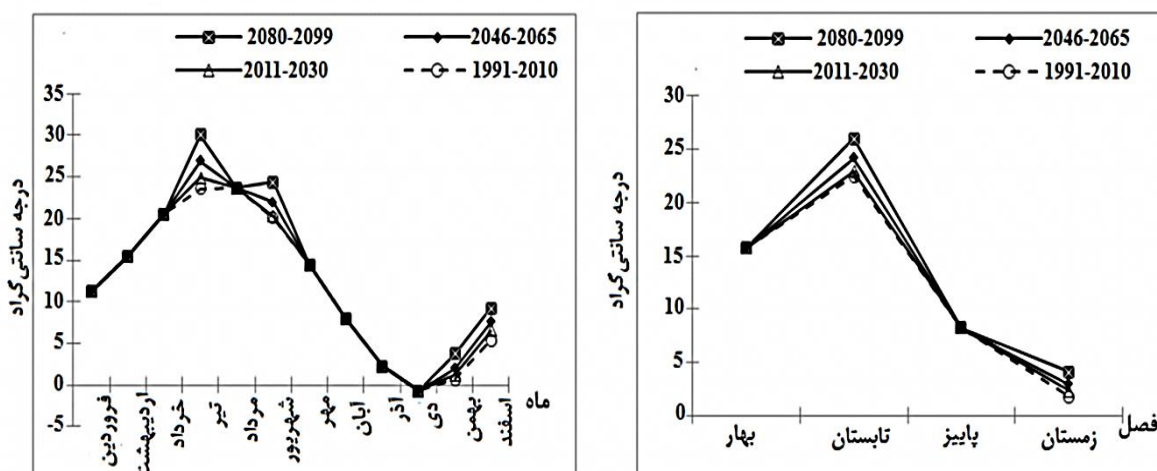
پارامتر	دمای کمینه (°C)			دمای متوسط (°C)			دمای بیشینه (°C)			فصل
	1991-2010	2011-2030	2046-2065	1991-2010	2011-2030	2046-2065	1991-2010	2011-2030	2046-2065	
بهار	8.77	9.96	11.5	15.72	15.72	15.72	15.72	14.22	22.68	22.68
تابستان	14.55	15.24	17.14	22.95	24.18	26.02	22.45	20.04	30.81	31.50
پاییز	2.44	2.44	2.44	8.21	8.21	8.21	8.21	2.44	13.98	13.98
زمستان	-3.12	-2.49	-1.9	2.32	2.91	4.06	1.87	-0.71	7.13	7.72
سالانه	5.66	6.29	7.3	12.30	12.76	13.5	12.04	9.00	18.65	18.97





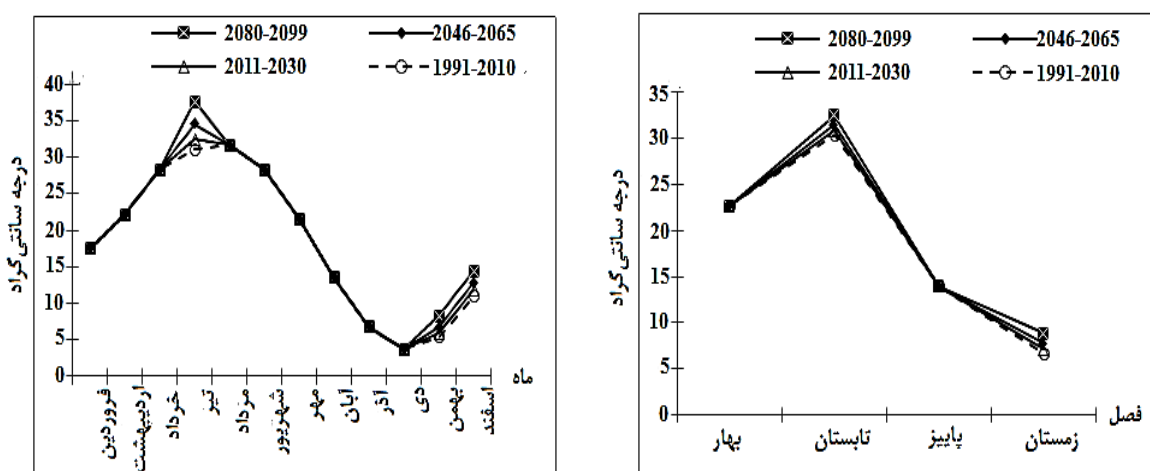
شکل ۲- نمودار دمای حداقل مشاهداتی و پیش‌بینی شده ایستگاه خرمدره سمت چپ ماهانه-سمت راست فصلی

Figure 2- Minimum observed and predicted temperature diagram of Khorramdareh station Monthly left - seasonal right



شکل ۳- نمودار دمای متوسط مشاهداتی و پیش‌بینی شده ایستگاه خرمدره سمت چپ ماهانه-سمت راست فصلی

Figure 3- Observational and predicted average temperature diagram of Khorramdareh station Monthly left - seasonal right



شکل ۴- نمودار دمای حداکثر مشاهداتی و پیش‌بینی شده ایستگاه خرمدره سمت چپ ماهانه-سمت راست فصلی

Figure 4- Observational and predicted maximum temperature diagram of Khorramdareh station Monthly left - seasonal right

کاهش می‌یابد و تعداد روزهای گرم بیش‌تری لازم است تا گرمای مورد نیاز توسط گیاه جذب شود و مراحل رشد را طی نماید. البته هر چه زمان کشت به روزهای گرم سال نزدیک‌تر باشد، مراحل از رشد گیاه که فاصله زمانی بیش‌تری دارند، از روزهای سرد سال دورتر شده و به روزهای گرم سال نزدیک‌تر می‌شوند.

#### جدول ۷- تقویم کشت محصول برحسب پارامتر درجه-روز و زمان کشت مرسوم

Table 7- Crop cultivation calendar according to degree-day parameter and conventional cultivation time

محصول		گوجه‌فرنگی
دوره کشت	درجه-روز	روز
زمان جوانه‌زنی	37	4
زمان رسیدگی به حداکثر پوشش گیاهی	809	60
زمان رسیدگی به عمق ریشه	701	53
زمان شروع پیری	1245	89
زمان رسیدگی فیزیولوژیک	1671	120
زمان رسیدگی به گل‌دهی	424	34
زمان رسیدگی به دوره محصول‌دهی	866	58
طول رسیدگی به دوره گل‌دهی	598	40

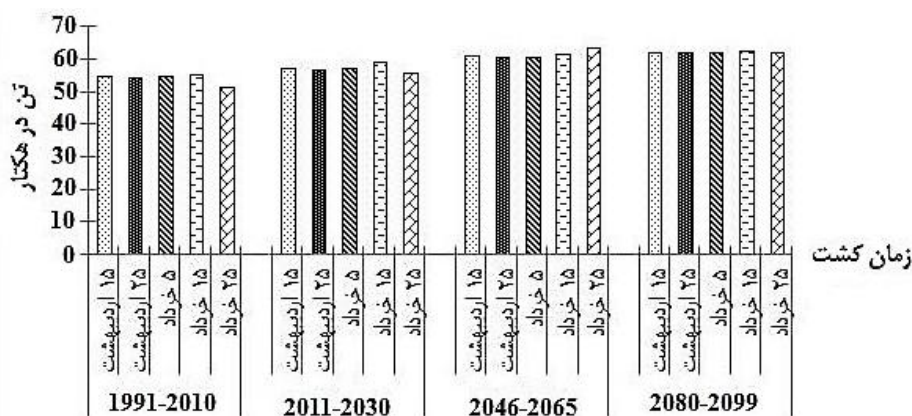
#### ۳-۵- شبیه‌سازی عملکرد محصول

عملکرد محصول گوجه‌فرنگی توسط مدل AquaCrop شبیه‌سازی شد. نتایج شبیه‌سازی عملکرد در جدول ۸ و شکل ۵ آمده است.

#### جدول ۸- نتایج شبیه‌سازی کشت محصول گوجه‌فرنگی توسط مدل AquaCrop

Table 8 - Results of tomato crop simulation by AquaCrop model

2011-2030					1991-2010					تاریخ کشت
۲۵ خرداد	۱۵ خرداد	۵ خرداد	۲۵ اردیبهشت	۱۵ اردیبهشت	۲۵ خرداد	۱۵ خرداد	۵ خرداد	۲۵ اردیبهشت	۱۵ اردیبهشت	دوره کشت
55.93	59.06	57.36	56.79	57.19	51.48	55.57	55.06	54.32	54.68	عملکرد (تن در هکتار)
2080-2099					2046-2065					تاریخ کشت
۲۵ خرداد	۱۵ خرداد	۵ خرداد	۲۵ اردیبهشت	۱۵ اردیبهشت	۲۵ خرداد	۱۵ خرداد	۵ خرداد	۲۵ اردیبهشت	۱۵ اردیبهشت	دوره کشت
62.13	62.56	62.38	61.93	62.13	63.75	61.9	60.96	60.79	61.24	عملکرد (تن در هکتار)



شکل ۵- شبیه‌سازی عملکرد محصول گوجه‌فرنگی در زمان‌های متفاوت کشت و شرایط تغییر اقلیم

Figure 5- Simulation of tomato crop yield at different growing times and climate change conditions

#### جدول ۶- اطلاعات کشت و برخی از پارامترهای گیاهی مدل

AquaCrop  
Table 6- Cultivation information and some plant parameters of AquaCrop model

گوجه‌فرنگی	محصول
2500	تراکم بذر (بوته در هکتار)
100	عمق ریشه (سانتی‌متر)
1.2	$K_{cTr}$
18	WP* (گرم بر مترمربع)
383	$Hi_o$ (درصد)

در جدول ۶ WP\* بهره‌وری آب که توسط تبخیر و تعرق مرجع و غلظت دی‌اکسید کربن اصلاح و نرمال شده است،  $K_{cTr}$ ؛ ضریب تعرق، و  $Hi_o$  شاخص برداشت است.

#### ۳-۴- تقویم دوره کشت محصولات

تقویم دوره کشت محصولات بر حسب درجه-روز وارد شد تا با تأثیرپذیری از تغییرات دمایی تغییر زمان کشت و همچنین تغییرات به وجود آمده در شرایط تغییر اقلیم ثابت باقی‌مانده و طول دوره کشت تغییر یابد. در جدول ۷ تقویم دوره کشت آمده است.

همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود هرچه زمان کشت به سمت روزهای گرم سال نزدیک‌تر می‌شود، به دلیل افزایش پارامتر درجه-روز، تعداد روزهای دوره کشت کم‌تر شده و مراحل رشد گیاه سریع‌تر صورت می‌گیرد و بالعکس هرچه از روزهای گرم سال دورتر می‌شود به دلیل کاهش دمای هوا، پارامتر درجه-روز

همان‌طور در شکل ۵ عملکرد محصول گوجه‌فرنگی نشان داده شده است. در سال‌های آینده میزان عملکرد گوجه‌فرنگی به مقدار کمی افزایش خواهد یافت. بیش‌ترین عملکرد محصول گوجه‌فرنگی در زمان حال مربوط به کشت ۱۵ خرداد با ۵۵/۵۷ تن در هکتار است. با توجه به این‌که زمان کشت مرسوم منطقه ۵ خرداد است با ده روز انتقال زمان کشت مرسوم به ۱۵ خرداد ۰/۵۱ تن در هکتار محصول افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی در طی افق‌های آتی افزایش می‌یابد. می‌توان گفت به‌دلیل افزایش غلظت گاز دی‌اکسید کربن در جو و تأثیر محسوس این افزایش غلظت برافزایش فتوسنتز گیاهانی که سیستم فتوسنتز C3 دارند، در افق‌های آتی مقدار عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی که یک گیاه C3 است، افزایش می‌یابد و همچنین کاهش طول دوره کشت در افق‌های آتی به‌دلیل افزایش دما، زمان گلدهی و رسیدن میوه گیاه سریع‌تر اتفاق می‌افتد که به‌اصطلاح میوه‌های گوجه‌فرنگی زودرس می‌شوند. به‌دلیل این‌که گیاه گوجه‌فرنگی چندین بار گلدهی می‌کند می‌توان گفت که این تسریع در زمان برداشت موجب می‌شود تعداد میوه‌های گوجه‌فرنگی افزایش پیدا کند و عملکرد آن نیز به‌تبع افزایش یابد. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود عملکرد محصول در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۱) در ۱۵ اردیبهشت تا ۱۵ خرداد یکسان و بعد از آن در ۲۵ خرداد کاهش می‌یابد. در حالی‌که برای افق نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۱۱) این عملکرد در ۱۵ و ۲۵ خرداد بیش‌تر از دوره پایه است و در افق میانی (۲۰۶۵-۲۰۴۶) این عملکرد در تمام تاریخ‌ها نسبت به دوره پایه و افق نزدیک بیش‌تر می‌شود و در افق دور (۲۰۹۹-۲۰۸۰) عملکرد محصول به‌مراتب بیش‌تر از دوره‌های ماقبل آن (پایه، افق نزدیک، افق میانی) است که دلیل این نوسانات را می‌توان در تغییرات دمایی و بارندگی که متأثر از تغییرات اقلیمی بوده و بر زمان رویش و برداشت محصول تأثیر می‌گذارد جستجو نمود. این امر به نوبه خود می‌تواند بر اقتصاد کشاورزی منطقه و ریسک تولید محصول یا محصولات بر کشاورزان منطقه تأثیر بگذارد، از این‌رو لازم است سیاست‌های مدیریتی توسط کارشناسان بخش آب و کشاورزی منطقه جهت مقابله و سازگاری با تغییرات اقلیمی صورت پذیرد.

مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش با مطالعه Soleymani (2019) Nejad et al. مطابق دارد که آن‌ها اثرات تغییر اقلیم بر محصولات زراعی را در مشهد مورد بررسی قرار دادند و نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد که در دوره‌های آتی بارندگی، دمای بیشینه و کمینه فصلی افزایش خواهد یافت که این موضوع به نوبه خود بر عملکرد محصولات زراعی منطقه مورد مطالعه تأثیر خواهد گذاشت. همچنین مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش با مطالعه (2020)

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم، ابتدا سری زمانی دمای ماهانه حاصل از مدل‌های مختلف AOGCM تحت سناریوی A2 به‌وسیله برنامه LARS-WG تهیه شد. پس از آن متوسط درازمدت دما هر ماه در سه دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱)، (۲۰۶۵-۲۰۴۶) و (۲۰۹۹-۲۰۸۰) شبیه‌سازی و محاسبه شد. با توجه به نتایج مدل LARS-WG در پیش‌بینی حداقل، متوسط و حداکثر دما، روندی افزایشی را در آینده نشان می‌دهد. مقادیر افزایش افق میانی بیش‌تر از افق نزدیک و افق دور بیش‌تر از افق میانی نسبت به دوره مشاهده‌شده خواهد بود. سپس با استفاده از شبیه‌سازی عملکرد گیاه به‌وسیله مدل AquaCrop، عملکرد گیاه در دوره‌های زمانی آتی و در زمان‌های کشت متفاوت شبیه‌سازی و برآورد شد. در این مطالعه، بازه زمانی دوره مشاهداتی ۲۰۱۰-۱۹۹۱ میلادی، افق نزدیک ۲۰۳۰-۲۰۱۱، افق میانی ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و افق دور ۲۰۹۹-۲۰۸۰ در نظر گرفته شده است. به‌منظور ریزمقیاس‌نمایی نتایج مدل شبیه‌سازی گردش عمومی جو از نرم‌افزار LARS-WG طی مدل HadCM3 و سناریوی A2 استفاده شد. همچنین در این مطالعه تولید فایل سناریو نیز انجام شد. طبق نتایج به‌دست‌آمده، بیش‌ترین عملکرد در کشت محصول گوجه‌فرنگی در زمان حال مربوط به کشت ۱۵ خرداد با ۵۵/۵۷ تن در هکتار است. با توجه به این‌که زمان کشت مرسوم منطقه، ۵ خرداد است با ده روز انتقال زمان کشت مرسوم به ۱۵ خرداد ۰/۵۱ تن در هکتار محصول افزایش می‌یابد. همچنین، عملکرد گوجه‌فرنگی در افق‌های آتی افزایش می‌یابد که می‌توان به سیستم فتوسنتزی C3 این گیاه و زودرس شدن میوه و گل‌دهی بیش‌تر ارتباط داد. از این‌رو لازم است کارشناسان و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی به موضوع مدیریت ریسک توجه داشته باشند، به‌طوری‌که با اتخاذ سیاست‌های مناسب از یک سو ریسک را برای تولیدات کشاورزان کاهش داده و از سوی دیگر راهکارهای مناسبی مانند پیش‌بینی‌های تغییرات اقلیمی و سازگاری با آن را جهت تعدیل نوسانات ناشی از اثرات تغییر اقلیم ارائه دهند. پیشنهاد می‌شود که، در مطالعات آتی پارامترهای سرعت باد و رطوبت نسبی با استفاده از مدل (SDSM) محاسبه

اقلیم، لازم است الگوی کشت مناسبی سازگار با شرایط اقتصادی و اقلیمی منطقه طراحی شود.

شود. مدل‌سازی گیاهی (AquaCrop) بر روی سایر محصولات زراعی نظیر سیب زمینی، جو، حبوبات و محصولات باغی بررسی شود. به‌خاطر تخصیص نامناسب منابع آبی در بخش کشاورزی منطقه، پیشنهاد می‌شود مطالعه‌ای در راستای تخصیص بهینه منابع آبی انجام شود. پیشنهاد می‌شود برای مقابله با آثار تغییر

## منابع

کیخا، ع.، خانلری، ا.، کیخا، ا.ع.، و صبوخی، م. (۱۳۹۹). اثر تغییر اقلیم بر کاربری اراضی و عملکرد بخش کشاورزی استان مازندران. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۲(۱۰)، ۹۳-۱۰۴.

متولی‌باشی نایینی، ا.، آخوندعلی، ع.م.، رادمنش، ف.، شریفی، م.ر.، و عابدی کوپایی، ج. (۱۳۹۸). پهنه‌بندی خصوصیات خشکسالی تحت اثر تغییر اقلیم با استفاده از روش توابع مفصل در حوضه زاینده‌رود. *علوم و مهندسی آبیاری*، ۱۴۲(۱)، ۱۴۵-۱۶۰.

معافی مدنی، س.ف.، موسوی بایگی، م.، و انصاری، ح. (۱۳۹۱). پیش بینی وضعیت خشکسالی استان خراسان رضوی طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل LARS-WG5. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱(۳)، ۲۱-۳۸.

مؤمنی، س.، و زیبایی، م. (۱۳۹۲). اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر کشاورزی استان فارس. *اقتصاد و توسعه کشاورزی*، ۲۷(۳)، ۱۶۹-۱۷۹.

نادری، م. (۱۳۹۹). مخاطرات سیل و خشکسالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک تحت شرایط تغییر اقلیم: شمال استان فارس. *پژوهش آب ایران*، ۱۴(۱)، ۸۵-۹۷.

نوده فراهانی، م.ع.، راسخی، آ.، پرماس، ب.، و کشوری، ع. (۱۳۹۷). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دما، بارش و خشکسالی‌های دوره آبی حوضه شادگان. *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۴(۳)، ۱۲۵-۱۳۹.

نیکبخت‌شهبازی، ع. (۱۳۹۶). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر بارندگی و دما در حوزه آبریز سد کارون ۳. *محیط زیست و مهندسی آب*، ۳(۲)، ۱۳۳-۱۴۳.

اسد فلسفی‌زاده، ن.، و صبوخی صابونی، م. (۱۳۹۱). بررسی آثار پدیده تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی (مطالعه موردی: شهرستان شیراز). *اقتصاد و توسعه کشاورزی*، ۲۶(۴)، ۲۷۲-۲۸۶.

افشاری‌نیا، م.، و پناهی، ف. (۱۴۰۰). تأثیر خشکسالی اقلیمی بر شوری خاک سطحی در دشت کاشان. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۱(۲)، ۴۰-۵۲.

برخوری، س.، رفیعی‌ساردوئی، ا.، رضانی، م.، آذره، ع.، و نصب پور، م. (۱۳۹۹). پیش‌بینی تولید خالص اولیه بیوم‌های مختلف دشت جیرفت در مواجهه با تغییر اقلیم. *مرتع و آبخیزداری*، ۷۳(۳)، ۴۵۳-۴۷۱.

خیاط، ا.، امیرآبادی‌زاده، م.، پوررضا بیلندی، م.، و خزیمه‌نژاد، ح. (۱۳۹۹). بررسی پارامترهای دما و بارش تحت تأثیر تغییر اقلیم (مطالعه موردی: دشت بیرجند). *مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۱۱(۱)، ۲۰۰-۲۱۰.

داروند، س.، اسکندری‌دامنه، ه.، اسکندری‌دامنه، ح.، و خسروی، ح. (۱۴۰۰). پیش‌بینی روند تغییرات دما و بارش در دوره آبی و تأثیر آن بر بیابان‌زایی. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۱(۱)، ۵۱-۶۴.

سلیمانی‌نژاد، س.، دوران‌دیش، آ.، صبوخی، م.، و بنایان اول، م. (۱۳۹۸). اثرات تغییر اقلیم بر الگوی کشت محصولات زراعی (مورد مطالعه: دشت مشهد). *تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران*، ۵۰(۲)، ۲۴۹-۲۶۳.

شیردلی، ع.، لطفی، ف.، خانی‌تملیه، ذ.، فخمی، پ.، و صالحی، م. (۱۳۹۷). بررسی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد ذرت علوفه‌ای در دشت ابهر. *محیط زیست و مهندسی آب*، ۴(۴)، ۳۴۳-۳۵۶.

## References

Afsharinia, M., & Panahi, F. (2021). Effect of climatic drought on surface soil salinity in Kashan Plain. *Water and Soil Management and Modelling*, 1(2), 40-52 (in Persian).

Almazroui, M., Islam, M.N., Saeed, F., Alkhalaf, A.K., & Dambul, R. (2017). Assessing the robustness and uncertainties of projected changes in temperature and precipitation in AR5 Global Climate Models over the Arabian Peninsula. *Atmospheric Research*, 194, 202-213.

Almazroui, M., Saeed, F., Islam, M.N., & Alkhalaf, A.K. (2016). Assessing the robustness and uncertainties of projected changes in

temperature and precipitation in AR4 Global Climate Models over the Arabian Peninsula. *Atmospheric Research*, 182, 163-175.

Asad Falsafizadeh, N., & Sabouhi Sabouni, M. (2013). Investigation of climate change phenomenon on agricultural production. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 26(4), 272-286 (in Persian).

Barkhori, S., Rafiei sardooi, E., Ramezani, M., Azareh, A., & Nasabpoor, M. (2020). Predicting net primary production of different biomes of Jiroft Plain in the face of climate change. *Journal of Range and Watershed Management*, 73(3), 453-471 (in Persian).

- Darvand, S., Eskandari Damaneh, H., Eskandari Damaneh, H., & Khosravi, H. (2021). Prediction of the change trend of temperature and rainfall in the future period and its impact on desertification. *Water and Soil Management and Modelling*, 1(1), 51-64 (in Persian).
- Doorenbos, J., & Kassam, A.H. (1979). Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage papers, 33, 203 pages.
- Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Miranda, R., Cusicanqui, J.A., Taboada, C., & Steduto, P. (2009). Simulating yield response of quinoa to water availability with AquaCrop. *Agronomy Journal*, 101(3), 499-508.
- Ghosh, S., & Mujumdar, P.P. (2008). Statistical downscaling of GCM simulations to streamflow using relevance vector machine. *Advances in Water Resources*, 31(1), 132-146.
- Keikha, A., Khanlary, A., Keikha, A., & Sabouhi, M. (2020). 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).
- Khayat, A., Amirabadizadeh, M., Pourreza-Bilondi, M., & Khozaymehnehad, H. (2020). Study temperature & precipitation parameters under the effect of climate change (Case study: Birjand Plain). *Irrigation and Water Engineering*, 11(1), 200-210 (in Persian).
- Moafimadani, F., Mosavibaygani, M., & Ansari, H. (2015). Prediction of Khorasan Razavi Province drought condition at 2011-2030 with LARS-WG downscaling model. *Geography and Environmental Hazard*, 7(2), 157-171 (in Persian).
- Moameni, S., & Zibae, M. (2013). Potential impacts of climate change on agriculture in Fars Province. *Journal of Economics and Agricultural Development*, 27(3), 169-179 (in Persian).
- Motevalibashi Naeni, E., Akhond Ali, A., Radmanesh, F., Sharifi, M., & Abedi Koupaei, J. (2019). Zoning map of drought characteristics under climate change scenario using copula method in the Zayandeh Roud River Catchment. *Irrigation Sciences and Engineering*, 42(1), 145-160 (in Persian).
- Naderi, M., (2020). Risks of floods and drought in arid and semi-arid regions under climate change conditions: North of Fars province. *Iranian Journal of Water Research*, 36, 85-97 (in Persian).
- Nikbakht Shahbazi, A. (2017). Assessment of climate change impact on precipitation and temperature variation in watershed of Karoon 3 Dam. *Journal of Environment and Water Engineering*, 3(2), 133-143 (in Persian).
- Node Farahani, M., Rasekhi, A., Parmas, B., & Keshvari, A. (2018). The effects of climate change on temperature, precipitation and drought in the the future Shadegan basin. *Iran-Water Resources Research*, 14(3), 125-139 (in Persian).
- Shirdeli A., Lotfi F., Khani Temeliyeh Z., Fakhimi P., & Salehi M. (2018). The effect of climate change on sorghum's yield in Abhar Plain. *Journal of Environment and Water Engineering*, 4(4), 344-356 (in Persian).
- Soleymani Nejad, S., Dourandish, A., Sabouhi, M., & Banayan Aval, M. (2019). The effects of climate change on cropping pattern (Case study: Mashhad Plain). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 50(2), 249-263 (in Persian).
- Tsakmakis, I.D., Kokkos, N.P., Gikas, G.D., Pisinaras, V., Hatzigiannakis, E., Arampatzis, G., & Sylaios, G.K. (2019). Evaluation of AquaCrop model simulations of cotton growth under deficit irrigation with an emphasis on root growth and water extraction patterns. *Agricultural Water Management*, 213, 419-432.
- Wilby, R.L., & Dettinger, M.D. (2000). Streamflow changes in the Sierra Nevada, CA simulated using a statistically downscaled General Circulation Model scenario of climate change. Pp. 99-121, In: McLaren, S.J., & Kniveton, D.R. (eds.), *Linking climate change to land surface change*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Xu, C.Y. (1999). Climate change and hydrologic models: A review of existing gaps and recent research developments. *Water Resources Management*, 13(5), 369-382.
- Zhang, W., Liu, W., Xue, Q., Chen, J., & Han, X. (2013). Evaluation of the AquaCrop model for simulating yield response of winter wheat to water on the southern Loess Plateau of China. *Water Science and Technology*, 68(4), 821-828.