



Online ISSN: 2821-1782

Journal of Land Ecology

journal homepage: <http://www.landscapeecologyjournals.ir/>



Research Paper

The Impact of Climate Change on Jiroft Spring Wheat Yield Using Radiative Forcing Scenarios

Yadollah Pourshanbeh ^a, Asadollah Khorani ^{* b}, Leila Jafari ^c

^a Department of Geography, Faculty of Humanities, Hormozgan University, Bandar Abbas, Iran. Country

^b Associate professor of Physical Geography, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

^c Assistant Professor of Horticultural Sciences, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Hormozgan University, Bandar Abbas, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2022-11-24

Accepted: 2023-01-02

Keywords:

Climate change, Autumn wheat, Jiroft, AquaCropRadiative forcing scenarios

ABSTRACT

Iran is considered one of the most arid and semi-arid regions in the world, where wheat accounts for about 65-70% of the cultivated land for the main crops. To predict the impact of climate change on the yield of fall wheat (blue) in Jiroft, the Aquacrop crop model was used to simulate fall wheat yield in this study. Then, 17 general atmospheric circulation models from the CMIP5 model suite were used under the RCP4.5 and RCP8.5 radiative forcing scenarios to show changes in climate variables from 2020 to 2098. The results of these models were fine-tuned using the MarkSimGCM climate generator. Evaluation of the accuracy of the AquaCrop model in simulating wheat yield during the baseline period (1990-2016) compared to the observed yield shows the optimal accuracy of this model with R2, MAE, RMSE, and MAPE coefficients of 0.7, 203, 237, and 11.43 percent. The results of predicting wheat yield in the future period show that it will increase under both scenarios, that the average yield increase in the future period compared to the base period is 75 kg/ha for RCP4.5 and 91 kg/ha for RCP8.5. The reason for the yield increase in this product is the reduction of minimum and maximum temperatures in the future period, especially at the end of wheat growth, and the reduction of heat stress.

*Corresponding Author.

Email Addresses: khoorani@hormozgan.ac.ir

To cite this article:

Pourshanbeh, Y., Khorani, A., & Jafari, L. (2022). The Impact of Climate Change on Jiroft Spring Wheat Yield Using Radiative Forcing Scenarios.

.. *Land Ecology*, 1(1), 1-13.



Doi: [10.22034/el.2022.155991](https://doi.org/10.22034/el.2022.155991)



مقاله پژوهشی

اثر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم پاییزه جیروفت با استفاده از سناریوهای واداشت تابشی

یدالله پورثنبه^۱؛ اسداله خورانی^{۲*}؛ لیلا جعفری^{۲*}

^۱ گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

^۲ * دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

^۲ استادیار علوم باغبانی، گروه کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

اطلاعات مقاله

چکیده

دریافت مقاله:

۱۴۰۱ آذر ۰۳

پذیرش نهایی:

۱۴۰۱ دی ۱۲

واژگان کلیدی:

تغییر اقلیم،

گندم پاییزه،

جیروفت،

مدل AquaCrop

سناریوهای واداشت

تابشی

کشور ایران جزء مناطق خشک و نیمه خشک دنیا محسوب می شود که حدود ۶۵ تا ۷۰ درصد اراضی زیر کشت محصولات عمده زراعی به گندم تعلق دارد. در این پژوهش به منظور پیش یابی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم پاییزه (آبی) جیروفت ابتدا به منظور شبیه سازی عملکرد گندم پاییزه از مدل گیاهی آکواکراپ استفاده شده است. سپس برای آشکار سازی تغییرات متغیرهای اقلیمی طی سال های ۲۰۲۰ تا ۲۰۹۸ از ۱۷ مدل گردش عمومی جو از سری مدل های CMIP5 تحت سناریوهای واداشت تابشی RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شده است. خروجی این مدلها بر اساس ابزار مولد اقلیم MarkSimGCM ریزگردانی شده است. ارزیابی دقت مدل AquaCrop در شبیه سازی عملکرد گندم طی دوره پایه (۲۰۱۶-۱۹۹۰) نسبت به عملکرد مشاهده شده نشان دهنده دقت مطلوب این مدل با میزان ضریب R^2 ، MAE، RMSE و $MAPE$ ۰/۷، ۲۰/۳، ۲۳/۷ و ۱۱/۴۳ درصد بوده است. نتایج پیش بینی عملکرد گندم طی دوره آبی نشان داد که تحت هر دو سناریو افزایش خواهد یافت که میانگین افزایش عملکرد طی دوره آبی نسبت به دوره پایه برای RCP4.5 و ۷۵ و برای RCP8.5 ۹۱ کیلوگرم در هکتار خواهد بود. دلیل افزایش عملکرد این محصول کاهش دمای حداقل و حداکثر طی دوره آبی بخصوص در زمان انتهایی رشد گندم و کاهش تنش گرمایی است.

*Corresponding Author.

Email Addresses: khoorani@hormozgan.ac.ir

To cite this article:

Pourshanbeh, Y., Khoorani, A., & Jafari, L. (2022). The Impact of Climate Change on Jiroft Spring Wheat Yield Using Radiative Forcing Scenarios.

.. Land Ecology, 1(1), 1-13.

doi: [10.22034/el.2022.155991](https://doi.org/10.22034/el.2022.155991)

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر، تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای در میزان دما و بارش در هر دو مقیاس جهانی و منطقه‌ای رخ داده است، این تغییرات تأثیرات متفاوتی بر عملکرد و تولید محصولات کشاورزی داشته است (Wolf, 2002; Valizadeh et al, 2014). اگرچه تغییرات آب و هوایی در برخی مناطق جهان، به‌ویژه مناطقی که در عرض‌های شمالی بالاتر از مدار ۵۵ درجه قرار دارند تأثیر مثبتی بر تولید محصولات کشاورزی دارد (Ewert et al, 2005)، اما تأثیرات منفی آن در مناطق گرم و خشک بیشتر است (Parry et al, 2005). پیش‌بینی شده است که افزایش دما منجر به کاهش تولیدات کشاورزی در جهان خواهد شد به طوری که انتظار می‌رود بهره‌وری کشاورزی در کشورهای درحال توسعه به دلیل گرم شدن کره زمین کاهش یابد (Ali et al, 2017) و همچنین فرکانس و شدت وقوع پدیده‌های زیست‌محیطی کمیاب (خشک‌سالی، گرما، سرما و سیل) نیز تشدید می‌شود (IPCC¹, 2007). در سال‌های اخیر آزمایش‌های زیادی در محیط‌های کنترل شده به منظور بررسی افزایش دما و دی‌اکسید کربن بر روی رشد و نمو گیاهان صورت گرفته است اما این مطالعات بسیار هزینه‌بر بوده و نیاز به ابزار بررسی دقیق دارد (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۰؛ Valizadeh et al, 2014). در این حالت استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو (GCM²) ابزار مناسب و درعین حال دقیقی برای پیش‌بینی شرایط اقلیمی آینده بوده و داده‌های لازم را برای اجرای مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو محصولات زراعی تحت شرایط تغییر اقلیم فراهم می‌سازند (Jones & Thornton, 2003). در دهه‌های اخیر مدل‌های زیادی جهت شبیه‌سازی رشد محصولات زراعی و مدیریت آب خاک ارائه شده است و محققین در تحقیقات مختلف از این مدل‌ها استفاده می‌کنند (Hoogenboom et al, 2004). یکی از مدل‌های تخمین عملکرد محصول، مدل AquaCrop است که توسط فائو توسعه یافته است. AquaCrop مدلی فراگیر است، به این معنا که برای طیف وسیعی از محصولات زراعی شامل محصولات علوفه‌ای، سبزیجات، غلات، میوه‌ها و محصولات روغنی و غده‌ها می‌تواند به کار گرفته شود (Raes et al, 2012). مدل AquaCrop در مناطق مختلف جهان از جمله ایران مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج مطلوبی در مقایسه با اندازه‌گیری‌های صحرائی داشته است (پیرمادیان و شمس‌نیا، ۱۳۹۳). مدل مذکور ضمن استفاده از تعداد نسبتاً اندکی از پارامترهای معین که مستقیماً قابل اندازه‌گیری هستند، دارای توازن مناسبی بین سادگی و دقت و همچنین دارای توانایی بالا در شبیه‌سازی است (بافکار، ۱۳۹۲).

استراکویک³ و همکاران (۲۰۱۴) اثر کم آبیاری و افزودن کود نیتروژن بر عملکرد ذرت و بهره‌وری آب طی سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ در دهلی را با استفاده از مدل AquaCrop شبیه‌سازی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل مذکور از دقت خوبی در برآورد مقدار زیست‌توده و وزن دانه ذرت برخوردار است. گریوس و وانگ⁴ (۲۰۱۶) شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده محصول ذرت را تحت شرایط کمبود آبیاری با استفاده از مدل AquaCrop در یک محیط گرمسیری مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان از قابلیت شبیه‌سازی مطلوب عملکرد و زیست‌توده توسط مدل AquaCrop در شرایط تنش آبی، فاقد تنش و تنش آبی متوسط برای محصول ذرت دارد. قربانیان کردآبادی و همکاران (۱۳۹۳) دقت مدل AquaCrop در برآورد وزن تر اندام هوایی و تبخیر و تعرق ذرت در شرایط متفاوت بافت و حاصلخیزی خاک مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که این مدل در پیش‌بینی وزن تر اندام هوایی ذرت علوفه‌ای بسیار کارآمد است. خلیلی و همکاران (۱۳۹۳) عملکرد گندم دیم با استفاده از مدل گیاهی AquaCrop، در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم سیسب، خراسان شمالی مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که مدل آکوکراپ با دقت بالایی قابلیت مدل‌سازی عملکرد محصول را دارا می‌باشد.

زینلی مبارکه و همکاران (۱۳۹۷) اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی تحت شرایط محدودیت آب در شش شهرستان خراسان رضوی را تا سال ۲۰۵۰ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 با استفاده از مدل گیاهی APSIM⁵-Wheat مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در آینده عملکرد گندم آبی در تمامی شهرستانها به استثنای تربیت حیدریه به علت اثرات متقابل دما و CO2 افزایش خواهد یافت. عینی نرگسه و همکاران (۱۳۹۴) اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی استان فارس با استفاده از مدل APSIM تحت سه سناریوی انتشار A1B، B1 و A2 در سه دوره (۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰) مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که در آینده تغییر اقلیم عملکرد دانه را افزایش و طول فصل رشد

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change

² General Circulation Models

³ Stricevic

⁴ Greaves & Wang

⁵ Agricultural Production Systems sIMulator

گندم را کاهش میدهد و دلیل اصلی افزایش عملکرد دانه گندم در آینده استان فارس افزایش غلظت دی‌اکسید کربن است. شیائو^۱ و همکاران (۲۰۱۶) اثر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم بهاره و زمستانه در چین را با استفاده از مدل APSIM^۲ تحت سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 طی دوره ۲۰۳۱-۲۰۱۰ مورد مطالعه قرار دادند که نتایج آنها حاکی از افزایش عملکرد گندم در آینده به علت افزایش دما، تابش خورشیدی و بارش خواهد بود. دیپیم فرد و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی تأثیر تغییر اقلیم و بهره‌وری استفاده از آب تحت شرایط خشکی در استان فارس با استفاده از مدل APSIM تحت دو سناریوی A1B و A2 اقدام کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که به‌طور کلی، بهبود بهره‌وری آب تحت تغییرات آب و هوایی آینده منجر به افزایش قابل‌توجهی در عملکرد گندم و کاهش تبخیر تعرق خواهد شد. ولیزاده^۳ و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم زاهدان طی سالهای ۲۰۲۰-۲۰۸۰ تحت سه سناریو A1B، B1 و A2 پرداختند. نتایج آن‌ها نشان از کاهش عملکرد گندم تحت هر سه سناریو بوده است که کمترین کاهش مربوط به سناریوی B1 بود که علت آن افزایش دما و تسریع مراحل رشد گندم خواهد بود.

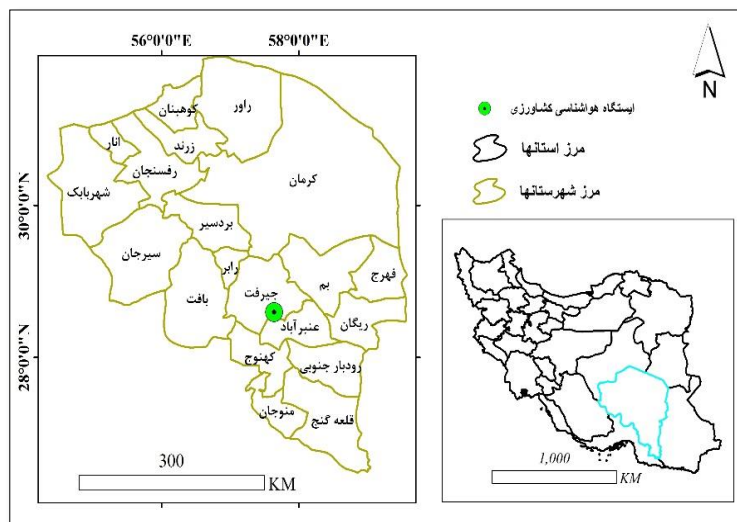
این پژوهش به‌منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم پاییزه در منطقه جیرفت تا پایان قرن میلادی حاضر (۲۱۰۰) از هفده مدل گردش عمومی جو تحت دو خط سیر کلی RCP4.5 و RCP8.5 استفاده خواهد شد و عملکرد گندم پاییزه در محدوده دشت جیرفت تحت دو خط سیر کلی با استفاده از مدل گیاهی AquaCrop به دست خواهد آمد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

شهرستان جیرفت با وسعت حدود ۸۶۰۲ کیلومتر مربع معادل ۴/۶۵ درصد استان کرمان را به خود اختصاص داده است و دربرگیرنده دشت جیرفت است که قطب کشاورزی استان کرمان است (شکل-۱). این منطقه از نظر آب و هوایی جزء مناطق نیمه‌خشک به شمار می‌آید و متوسط بارندگی سالانه آن در یک دوره درازمدت ۴۰ ساله ۱۷۰ میلی‌متر می‌باشد (سلیمانی ساردو و همکاران، ۱۳۹۵). متوسط ارتفاع از سطح دریا در شهرستان جیرفت ۱۱۰۰ متر است. سطح زیر کشت محصول گندم آبی در جیرفت ۳۶ هزار هکتار (افشارمنش و همکاران، ۱۳۹۶) و متوسط عملکرد آن طی سالهای ۱۹۹۰-۲۰۱۶، ۲/۰۶ تن در هکتار بوده است (اداره جهاد کشاورزی جیرفت، ۱۳۹۶).

استفاده همزمان از تصاویر راداری و اپتیک در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی به دو روش کلی انجام می‌گیرد:



شکل ۱. موقعیت شهرستان جیرفت در استان کرمان

1 Xiao

2 Agricultural Production Systems sIMulator

3 Valizadeh

۲-۲- شبیه سازی عملکرد گندم با استفاده از مدل AquaCrop

به منظور شبیه سازی عملکرد گندم پاییزه چیرفت از مدل گیاهی AquaCrop استفاده شده است. مدل AquaCrop یکی از کاراترین و جدیدترین مدل های گیاهی است که توسط سازمان خواروبار جهانی (FAO) ارائه شده است. این مدل را می توان به عنوان ابزاری جهت ارزیابی تنش آبی و میزان محصول در منطقه، ارزیابی محصول کشت دیم در طولانی مدت، برنامه ریزی کم آبیاری و آبیاری تکمیلی و ... به کاربرد (حیدری نیا و همکاران، ۱۳۹۱).

به منظور تخمین عملکرد محصول گندم طی دوره پایه (۲۰۱۶-۱۹۹۰) با استفاده از مدل AquaCrop از داده های اقلیمی روزانه ایستگاه هواشناسی کشاورزی میانده چیرفت استفاده شده است (جدول ۱-۱) و به منظور پیش یابی داده های اقلیمی طی سال های ۲۰۱۰ تا ۲۰۹۹ از داده های هفده مدل از سری مدلهای CMIP5 تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 که به روش MarkSim ریزگردانی شده اند^۱ استفاده شده است (جدول ۲-۲).

۱ جدول ۱- ویژگی داده های اقلیمی مورد نیاز جهت واسنجی مدل AquaCrop در دوره پایه

پارامتر	دوره زمانی / سال	منبع دریافت	کار آبی
دمای کمینه روزانه			
دمای بیشینه روزانه	۱۹۹۰-۲۰۱۶	اداره هواشناسی کرمان	برآورد عملکرد گندم در دوره پایه
بارش روزانه			

۲-۳- مدل MarkSim

کار ریزمقیاس نمایی داده های مدل های اقلیمی GCM کار اصلی MarkSim نبوده اما در حال حاضر به ریزمقیاس نمایی داده های اقلیمی نیز می پردازد. MarkSim از مجموعه زیادی از پارامترها، از جمله آن هایی که برای اندازه گیری باران های شدید و برف استفاده می کنند، (مجموعه ای از ۱۱۷ پارامتر) تشکیل شده است. برای ایجاد یک مدل معتبر در سطح جهان که هر بار نیاز به واسنجی مجدد نداشته باشد، MarkSim از ۱۰۰۰۰ ایستگاه در سرتاسر جهان استفاده کرده است. این ایستگاه ها به ۷۰۲ اقلیم با توجه به ۳۶ مقیاس بارش و حداقل و حداکثر دمای ماهانه دسته بندی شده اند. تقریباً همه به جز چند ایستگاه که برای واسنجی استفاده شده است دارای بیش از ۱۰ سال (تقریباً) داده مداوم و اکثر ایستگاه ها اطلاعات ۱۵-۲۰ سال دارند. چند ایستگاه نیز دارای ۱۰۰ سال یا بیشتر داده مداوم هستند. MarkSim برای ریزمقیاس نمایی بارش از فراینده زنجیره مارکوف و برای ریزمقیاس نمایی داده های مربوط به دمای حداقل و حداکثر از روش مبتنی بر ریچاردسون استفاده می کند. مقادیر ماهانه تابش خورشیدی با استفاده از درجه حرارت، طول و عرض جغرافیایی و با استفاده از مدل دوناتلی و کمپبل تخمین زده می شود (، <http://gismap.ciat.cgiar.org/MarkSimGCM/>), (2018).

۲-۴- واسنجی مدل AquaCrop

مدل گیاهی AquaCrop به منظور تخمین عملکرد گیاه نیاز به واسنجی در محل دارد که بدین منظور با استفاده از شرایط کشت و رشد نمو گیاه در محدوده دشت چیرفت واسنجی گردید که مهم ترین این پارامترها در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۲. پارامترهای گیاهی جهت واسنجی مدل AquaCrop در منطقه چیرفت

توضیحات	واحد	پارامتر گیاهی
۰/۸۰	درصد	پوشش کانوپی اولیه گیاه (CC ₀)
۰/۹۰	درصد	حداکثر پوشش گیاه (CC _x)
۱۰	روز بعد از کاشت	زمان جوانه زنی
۸۵	روز بعد از کاشت	زمان رسیدن به پوشش حداکثر
۱۵۰	روز بعد از کاشت	زمان شروع پیری
۱۷۰	روز بعد از کاشت	کل دوره رشد گیاه
۲۵	روز	طول دوره گلدهی

^۱ <http://gismap.ciat.cgiar.org/MarkSimGCM/>

۵	cm	کمترین عمق ریشه
۳۰	cm	بیشترین عمق ریشه
۱۵	cm	عمق مؤثر ریشه

جدول ۳. برون داد ۱۷ مدل ریزمقیاس نمایی MarkSim (http://gismap.ciat.cgiar.org/MarkSimGCM, 2018)

شماره	مدل	مؤسسه
۱	BCC-CSM 1.1	مرکز اقلیم پکن، چین اداره هواشناسی
۲	BCC-CSM 1.1(m)	مرکز اقلیم پکن، چین اداره هواشناسی
۳	CSIRO-MK3.6.0	سازمان پژوهش های علمی و صنعتی مشترک المنافع و قطب علمی تغییر اقلیم کوئینزلند
۴	FIO-ESM	اولین مؤسسه اقیانوس نگاری، SOA، چین
۵	GFDL-CM3	آزمایشگاه دینامیک سیالات ژئوفیزیکی
۶	GFDL-ESM2G	آزمایشگاه دینامیک سیالات ژئوفیزیکی
۷	GFDL-ESM2M	آزمایشگاه دینامیک سیالات ژئوفیزیکی
۸	GISS-E2-H	مؤسسه مطالعات فضایی گودارد ناسا
۹	GISS-E2-R	مؤسسه مطالعات فضایی گودارد ناسا
۱۰	HadGEM2-ES	مرکز اداره هواشناسی هدلی
۱۱	IPSL-CM5A-LR	مؤسسه پیر-سیمون لاپلاس
۱۲	IPSL-CM5A-MR	مؤسسه پیر-سیمون لاپلاس
۱۳	MIROC-ESM	مؤسسه پژوهش های جوی و اقیانوسی (دانشگاه توکیو)، مؤسسه ملی مطالعات محیط زیست، و آژانس علوم و تکنولوژی دریایی-زمینی ژاپن
۱۴	MIROC-ESM-CHEM	مؤسسه پژوهش های جوی و اقیانوسی (دانشگاه توکیو)، مؤسسه ملی مطالعات محیط زیست، و آژانس علوم و تکنولوژی دریایی-زمینی ژاپن
۱۵	MIROC5	آژانس علوم و تکنولوژی دریایی-زمینی ژاپن، مؤسسه تحقیقات جوی و اقیانوسی (دانشگاه توکیو)، و مؤسسه ملی مطالعات محیط زیست
۱۶	MRI-CGCM3	مؤسسه تحقیقات آب و هواشناسی
۱۷	NorESM1-M	مرکز اقلیم نروژ

۲-۵- تحلیل سری زمانی پارامترهای اقلیمی و عملکرد گندم

جهت بررسی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی در همراه طی دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۹۹) از آزمون ناپارامتریک من-کندال استفاده شده است که مراحل محاسبه آماره Z این آزمون به شرح زیر است:

۱- محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدهها با همدیگر و اعمال تابع علامت (sgn) و استخراج پارامتر S بر اساس معادله ۲.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2)$$

که در این رابطه، n تعداد مشاهدات سری و x_j و x_k به ترتیب داده های j ام و k ام سری می باشند. تابع علامت نیز مطابق رابطه ۳ محاسبه می شود.

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if}(x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if}(x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if}(x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

۲- محاسبه واریانس در صورتی که تعداد دادهها بیشتر از ۱۰ داده باشد، توسط رابطه ۴.

$$\text{var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+1) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (4)$$

که در این رابطه، n تعداد داده‌های مشاهده‌ای، m معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و t بیانگر فراوانی داده‌های بارزش یکسان می‌باشد.

۳- محاسبه آماره Z بر اساس رابطه ۵.

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad (5)$$

در یک آزمون دو دامنه ($\alpha/2$) جهت روند یابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$ برقرار باشد (Pohlert, 2016).

۲-۶- ارزیابی خطا

برای ارزیابی خطای مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد گندم طی دوره پایه (۲۰۱۶-۱۹۹۰) و دقت داده‌های ریزگردانی شده طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۰ از معیارهای ارزیابی خطا شامل ضریب تبیین (R^2) میانگین خطای مربعات (MAE)^۱ مجذور میانگین خطای مربعات (RMSE)^۲ و میانگین درصد خطای مطلق (MAPE)^۳ مطابق روابط ۶، ۷، ۸ و ۹، استفاده شده است.

$$R^2 = \frac{\sum_{t=1}^n [(F_t - \bar{F}_t)(A_t - \bar{A}_t)]^2}{[\sum_{t=1}^n ((F_t - \bar{F}_t)^2) [\sum_{t=1}^n ((A_t - \bar{A}_t)^2)]} \quad (6)$$

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (8)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{A_t} \times 100 \quad (9)$$

که در این روابط، A_t داده مشاهداتی، F_t داده تخمین زده شده و یا به دست آمده و n تعداد داده‌ها است.

۳- نتایج و بحث

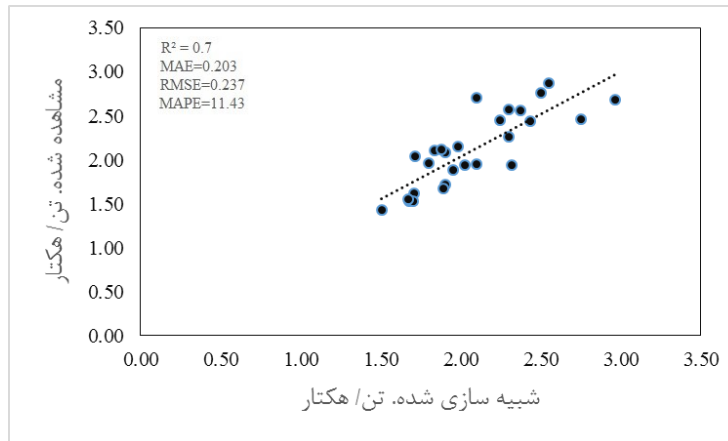
۳-۱- بررسی عملکرد مدل AquaCrop

مقایسه عملکرد شبیه‌سازی شده طی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۱۶ با آمار عملکرد محصول گندم که از سازمان جهاد کشاورزی دریافت شده نشان می‌دهد که میانگین درصد خطای مطلق شبیه‌سازی ۱۱/۴۳ درصد است که خطای نسبتاً پایینی است، همچنین ضرایب R^2 ، MAE و RMSE به ترتیب ۰/۷، ۲۰۳ کیلوگرم و ۲۳۷ کیلوگرم بوده که مجدداً نشان از واسنجی مطلوب مدل در محدوده دشت جیرفت بوده است (شکل ۲-).

¹ Mean absolute error

² Root Mean Square Error

³ Mean absolute percentage error



شکل ۲. پارامترهای ارزیابی خطای مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد محصول گندم در دوره پایه

۳-۲- ارزیابی مدل‌های اقلیمی

با توجه به اینکه داده‌های مربوط به سناریوهای واداشت تابشی از سال ۲۰۱۰ در دسترس هستند به منظور ارزیابی خطای داده‌های مورد استفاده تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 از مقایسه میانگین ماهانه پارامترهای اقلیمی ایستگاه هواشناسی کشاورزی میانده جیرفت با داده‌های ریزگردانی شده تحت دو سناریو مورد استفاده طی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۱۸ استفاده شده است. بررسی ضرایب خطا برای پارامترهای حداقل و حداکثر دما نشان از دقت بالای داده‌های ریزگردانی شده است و اغلب داده‌های RCP8.5 از دقت کمی بیشتر نسبت به RCP4.5 برخوردار است (جدول ۴). در مورد پارامتر بارش با توجه به اینکه بارش در نواحی خشک مانند استان کرمان نامنظم است (رحیمی و همکاران، ۱۳۸۹) پارامترهای آمار توصیفی آمار بارش زمینی با داده‌های بارش ریزگردانی شده تحت هر دو سناریو مقایسه شده‌اند (جدول ۵). بررسی پارامترهای آمار بارش ماهانه هر سه داده (RCP4.5، RCP8.5 و داده‌های زمینی) نشان می‌دهد که داده‌ها ریزگردانی شده اغلب از داده‌های ایستگاه زمینی کمتر هستند، داده‌های RCP8.5 نزدیکی بیشتری با داده ایستگاه زمینی دارد و داده‌های RCP4.5 اغلب از داده‌های RCP8.5 کمتر بوده و خطای بیشتری نسبت به داده‌های زمینی دارا هستند.

جدول ۴. شاخص‌های آماری ارزیابی مدل‌های مورد استفاده

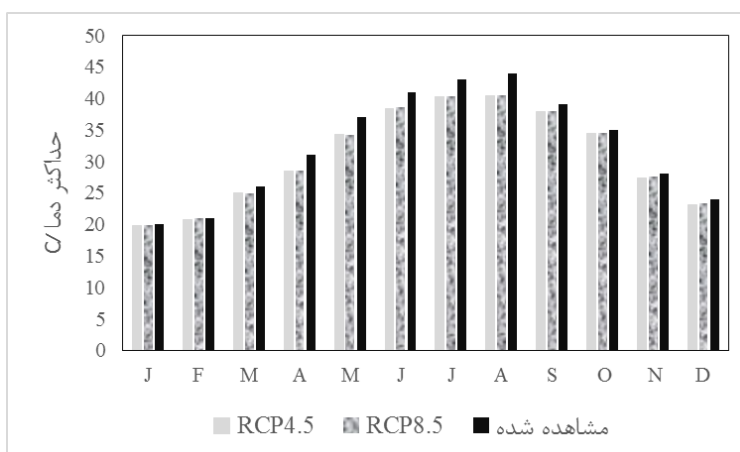
پارامتر	سناریو	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct
کمینه بارش	RCP4.5	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	RCP8.5	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	مشاهداتی	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
بیشینه بارش	RCP4.5	۱۶۹/۲	۱۴۸	۱۵۹	۴۲/۶	۵۹/۱	۲۴/۸	۲۹	۷۶	۲۱/۸	۲۸/۹
	RCP8.5	۱۶۲/۶	۱۵۷/۱	۱۶۳/۷	۵۰/۹	۷۴	۲۷/۸	۳۲	۹۳	۳۲	۳۷/۵
	مشاهداتی	۱۷۰	۱۶۳	۱۷۶	۵۳/۷	۸۵	۳۱	۳۰	۸۹	۲۴	۳۱
میانگین بارش	RCP4.5	۳۲/۹۳	۲۹	۲۸/۸۶	۷/۵۵	۲	۲/۶۱	۱/۱۶	۳/۰۹	۲/۰۹	۱/۳
	RCP8.5	۳۷/۴۶	۳۳/۳۱	۳۰/۴۴	۱۱	۳/۸	۳/۲۹	۱/۲۳	۵	۲/۵۲	۲/۶
	مشاهداتی	۴۹/۷	۴۱	۳۳/۵	۵/۶	۱/۷	۳/۶	۲/۸	۸/۹	۱/۴	۳
انحراف معیار	RCP4.5	۳۱/۲	۳۲	۳۲/۴۱	۱۰/۷۸	۱/۶۷	۳/۱۵	۳/۱۸	۵/۳۶	۶/۵۴	۴/۹۶
	RCP8.5	۳۵/۸	۳۴/۷	۳۶	۱۲/۳	۲/۲	۶/۳	۳/۳	۸/۴	۸	۶/۷
	مشاهداتی	۴۳/۹	۴۰/۹	۴۲/۹	۱۱/۷	۳/۳	۷/۲	۶/۸	۱۷/۲	۴/۵۴	۷/۸

جدول ۵. مقایسه پارامترهای آماری داده‌های ریزگردانی شده تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 با داده‌های زمینی

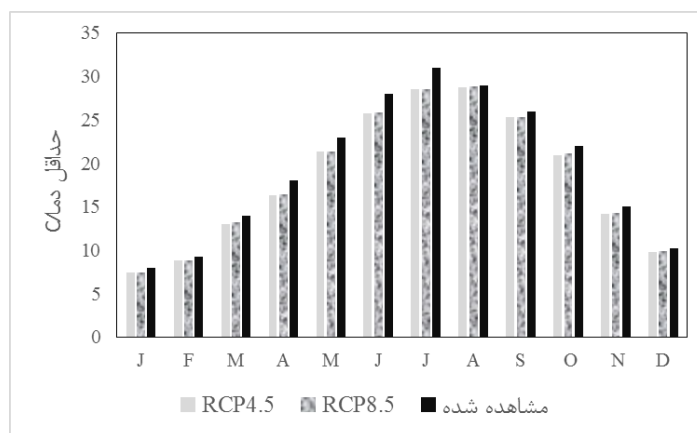
حداکثر دما			حداقل دما			سناریو
MAPE	RMSE	R2	MAPE	RMSE	R2	
۲/۴	۳/۱	۰/۹۷۵	۲/۳	۳	۰/۹۷۹	RCP۴/۵
۲/۱	۳/۰۵	۰/۹۷۶	۱/۸	۲/۹۹	۰/۹۷۹	RCP۵/۵

۳-۳- تغییرات داده‌های پیش‌یابی تحت سناریوهای واداشت تابشی

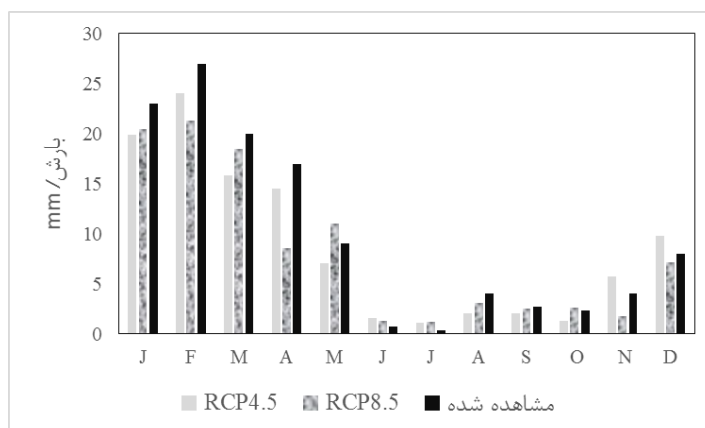
ارزیابی تغییرات دما و بارش تحت هر دو سناریو طی دوره آبی نشان از کاهش هر دو پارامتر دمای (حداکثر و حداقل) و بارش در هر دو سناریو نسبت به دوره پایه است (شکل‌های ۴، ۵ و ۶).



شکل ۴. میانگین بلندمدت ماهانه دمای حداکثر در سناریوهای مورد استفاده نسبت به دوره پایه



شکل ۵. میانگین بلندمدت ماهانه دمای حداقل در سناریوهای مورد استفاده نسبت به دوره پایه



شکل ۶. میانگین بلندمدت بارش در سناریوهای مورد استفاده نسبت به دوره پایه

مطابق جداول ۶ و ۷، تفریق میانگین ماهانه دمای حداکثر طی دوره آتی از میانگین دمای حداکثر طی دوره پایه نشان می‌دهد که علاوه بر ماه‌های دوره رشد گیاه گندم در دشت جیرفت، ماه‌های تابستانه نیز با کاهش جزئی دمای حداکثر در هر دو سناریو طی دوره آتی مواجه خواهند شد. تغییرات میانگین دمای حداقل ماهانه طی دوره آتی نسبت به دوره پایه نیز مشابه دمای حداکثر نشان از کاهش دمای حداقل دارد که این کاهش نسبت به دمای حداکثر اندکی کمتر است. تغییرات میانگین ماهانه بارش طی دوره آتی نسبت به دوره پایه نیز نشان از کاهش بارش تحت هر دو سناریو نسبت به دوره پایه دارد که در سناریوی RCP4.5 نسبت به RCP8.5 این کاهش بارش بیشتر است.

جدول ۶. کسری میانگین بلندمدت پارامترهای اقلیمی RCP4.5 نسبت به دوره پایه

Dec	Nov	Oct	Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan	ماه
-۰/۹	-۰/۶	-۰/۵	-۱/۱	-۳/۶	-۲/۷	-۲/۶	-۲/۷	-۲/۶	-۱/۱	-۰/۲	-۰/۲	دمای حداکثر
-۰/۴	-۰/۸	-۰/۱	-۰/۷	-۰/۲	-۲/۵	-۲/۲	-۱/۷	-۱/۷	-۱/۱	-۰/۴	-۰/۶	دمای حداقل
۱/۸	۱/۸	-۰/۱	-۰/۶	-۱/۹	۰/۸	-۰/۹	-۰/۲	-۲/۵	-۳/۴	-۰/۳	-۳/۱	بارش

جدول ۷. کسری میانگین بلندمدت پارامترهای اقلیمی RCP8.5 نسبت به دوره پایه

Dec	Nov	Oct	Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan	ماه
-۰/۷	-۰/۴	-۰/۵	-۰/۱	-۳/۵	-۲/۷	-۲/۴	-۲/۷	-۲/۴	-۰/۱	۰	-۰/۱	دمای حداکثر
-۰/۳	-۰/۷	-۰/۹	-۰/۷	-۰/۲	-۲/۵	-۲/۱	-۱/۶	-۱/۵	-۰/۸	-۰/۴	-۰/۶	دمای حداقل
-۰/۸	-۲/۲	۰/۳	-۰/۲	-۰/۱	۰/۸	۰/۶	۰/۲	-۸/۴	-۱/۶	-۵/۷	-۲/۵	بارش

۳-۴- روندیابی تغییرات داده‌های پیش‌یابی شده در دوره آتی

ارزیابی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی ریزگردانی شده مطابق جداول ۸ و ۹، در دوره آتی با استفاده از آزمون من-کندال، مشابه تغییرات آن‌ها نسبت به دوره پایه، حاکی از تغییرات منفی در سه پارامتر مورد استفاده است اما این روند که اغلب در جهت منفی است جزئی بوده و هیچ‌گاه از مقدار عددی ۰/۹ بالاتر نمی‌رود و روند منفی آن‌ها در تمامی ماه‌ها فاقد معنا است.

جدول ۸. روند تغییرات میانگین ماهانه پارامترهای اقلیمی تحت سناریوی RCP4.5 با استفاده از آزمون من-کندال

Dec	Nov	Oct	Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan	ماه
-۰/۱	۰/۱	۰/۱	-۰/۱	۰/۱	-۰/۱	۰/۱	-۰/۱	-۰/۱	۰/۱	۰/۰۷	۰/۰۳	بارش
-۰/۹	۰/۶	۰/۵	۰/۴	-۰/۱۳	-۰/۵	-۰/۳	-۰/۵	-۰/۳۴	-۰/۲۴	-۰/۳۳	۰/۰۹	دمای حداکثر
۰/۶	۰/۴	۰/۱	-۰/۲	-۰/۳	-۰/۳	-۰/۳	-۰/۵	-۰/۳	-۰/۲	-۰/۳	۰/۱	دمای حداقل

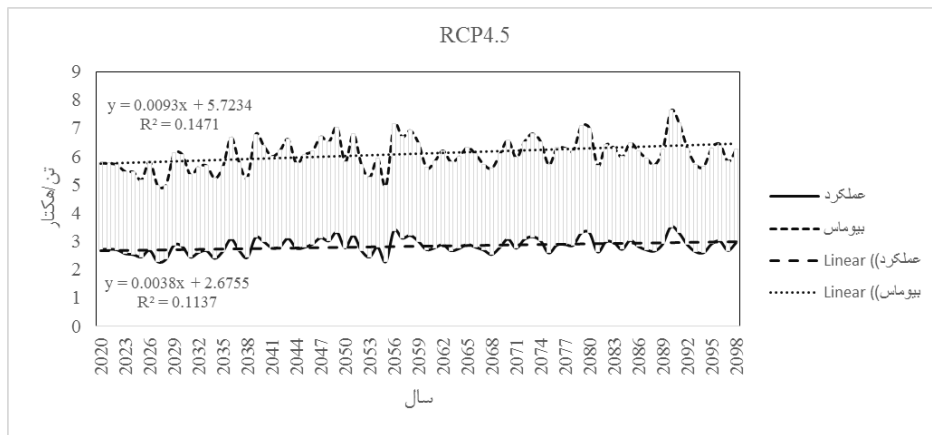
جدول ۹. روند تغییرات میانگین ماهانه پارامترهای اقلیمی تحت سناریوی RCP8.5 با استفاده از آزمون من-کندال

Dec	Nov	Oct	Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan	ماه
۰/۲	-۰/۱	-۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۰۴	بارش
۰/۳	۰/۶	۰/۵	۰/۴	۰/۱	-۰/۲	-۰/۳	-۰/۵	-۰/۳	-۰/۲	-۰/۳	۰/۱	دمای حداکثر
۰/۳	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۳	-۰/۴	-۰/۴	-۰/۵	-۰/۳	-۰/۳	-۰/۲	۰/۱	دمای حداقل

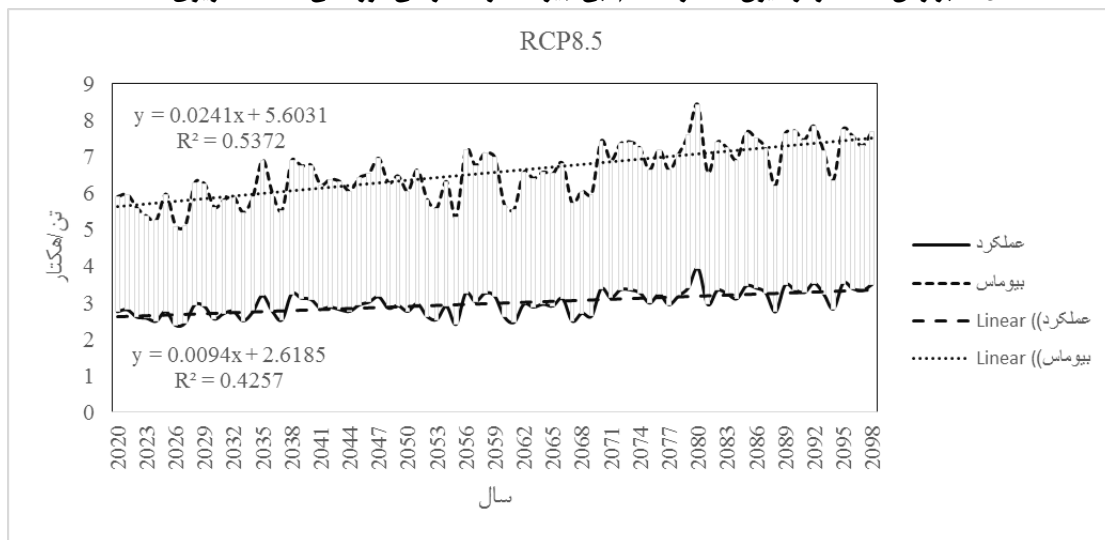
۳-۵- نتایج شبیه‌سازی عملکرد گندم طی دوره آتی

بر اساس داده‌های ریزگردانی شده تحت سناریو RCP4.5، RCP8.5 و خروجی مدل AquaCrop عملکرد گندم پاییزه جیرفت طی دوره آتی افزایش خواهد یافت. افزایش عملکرد در سناریوی RCP4.5 نسبت به RCP8.5 کمتر خواهد بود و شیب‌خط در RCP4.5 در مورد وزن دانه ۰/۰۰۳۸ و در بیوماس به مقدار ۰/۰۰۹۳ خواهد بود (شکل ۷-). در RCP8.5 افزایش عملکرد بیشتری نسبت به RCP4.5 خواهد داشت و شیب‌خط تندتر خواهد شد، شیب‌خط در وزن دانه (عملکرد) ۰/۰۰۹۴ و در مورد بیوماس ۰/۰۰۲۴۱ خواهد بود (شکل ۸-). ارزیابی روند عملکرد گندم تحت هر دو سناریو (جدول ۱۲) نشان از جهش مثبت و فاقد معناداری عملکرد طی دوره آتی تحت هر دو سناریو است که مقدار آن در RCP4.5 ۰/۳۱ و RCP8.5 ۰/۶۸ است.

مطابق جدول ۱۱، میانگین عملکرد گندم پاییزه در دوره پایه ۲/۰۸ تن در هکتار و در دوره آبی تحت سناریو RCP4.5 ۲/۸۳ تن در هکتار و در سناریوی RCP8.5 ۲/۹۹ تن در هکتار است. تغییرات میانگین عملکرد در دوره آبی نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد که عملکرد گندم در RCP4.5 ۷۵ کیلوگرم و در RCP8.5 ۹۱ کیلوگرم افزایش خواهد یافت.



شکل ۷. برازش معادله رگرسیون عملکرد گندم آبی جیرفت در هکتار طی دوره آبی تحت سناریوی RCP4.5



شکل ۸. برازش معادله رگرسیون عملکرد گندم آبی جیرفت در هکتار طی دوره آبی تحت سناریوی RCP8.5

جدول ۱۱. مقایسه نتایج میانگین عملکرد شبیه‌سازی شده در هکتار بین سناریوهای مورد استفاده در دوره بلندمدت نسبت به دوره پایه

RCP8.5	RCP4.5	دوره پایه	میانگین عملکرد شبیه‌سازی شده
۲/۹۹	۲/۸۳	۲/۰۸	
۰/۹۱	۰/۷۵	تغییرات میانگین عملکرد در دوره آبی نسبت به دوره پایه

جدول ۱۲. روند تغییرات میانگین عملکرد شبیه سازی در دوره پایه و آبی بر اساس سناریوهای مورد استفاده با استفاده از آزمون من-کندال

RCP8.5	RCP4.5	عملکرد شبیه‌سازی شده Test Z
۰/۶۸	۰/۳۱	

۴- نتیجه گیری

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در دوره آبی (۲۰۹۸-۲۰۲۰) عملکرد محصول گندم پاییزه جیرفت که به صورت آبی کشت می‌شود افزایش خواهد یافت. در این پژوهش به استثنای متغیرهای اقلیمی، تمامی پارامترهای واسنجی مدل گیاهی AquaCrop، اعم از داده‌های گیاهی، خاک، مدیریت مزرعه و وقایع آبیاری به صورت ثابت (متغیر کنترل) در دوره آبی نگه‌داشته شده است و تنها پارامترهای اقلیمی مورد استفاده تحت سناریوهای واداشت تابشی

که صورت ریزگردانی شده از مدل MarkSim دریافت شدند به عنوان متغیرهای مستقل ورودی مدل در نظر گرفته شده‌اند. بنابراین هرگونه تغییری در میزان متغیر تابع (عملکرد گندم) را باید در متغیر مستقل (پارامترهای اقلیمی) جستجو کرد. مقایسه دمای ماهانه حداکثر و حداقل و همچنین بارش طی دوره آبی نسبت به دوره پایه نشان از کاهش جزئی دمای حداقل و حداکثر در دوره آبی خواهد شد که این کاهش در دمای حداکثر در برخی از ماه‌ها بیشتر از دمای حداقل خواهد بود. طول دوره رشد گندم ۱۷۰ روز و زمان کاشت آن روز پنجم نوامبر هر سال در نظر گرفته شده است. بنابراین ماه‌های انتهایی رشد و رسیدن کامل گندم، شامل؛ ماه مارس و آوریل است که دمای حداقل و حداکثر در این دو ماه نسبت به سایر ماه‌های دوره رشد گیاه کاهش چشمگیرتری داشته‌اند که این عامل باعث کاهش تنش گرمایی در انتهای زمان رشد و افزایش عملکرد محصول گندم می‌شود (کریم زاده، ۱۳۹۱). هم‌زمان با کاهش دما، بارش نیز نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت که این کاهش در سناریوی RCP8.5 بخصوص در ماه‌های انتهایی رشد و رسش گندم بیشتر خواهد شد، با توجه به اینکه گندم در این منطقه به صورت آبی کشت می‌شود و وقایع آبیاری با دور ثابت در نظر گرفته شده‌اند، کاهش دما و متعاقباً کاهش تبخیر و تنش گرمایی بیشتر از پارامتر بارش بر عملکرد گندم تأثیر گذاشته و این باعث بهبود عملکرد گندم در این منطقه خواهد شد. نتایج این پژوهش با پژوهش‌هایی که در استان‌های خراسان رضوی و فارس توسط زینلی مبارکه و همکاران (۱۳۹۷)، عینی نرگسه و همکاران (۱۳۹۴) و (Deihimfard et al (2018) پیرامون اثر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم صورت گرفته مشابه است که نتایج آنان نشان می‌دهد که در دوره آبی عملکرد گندم تحت تأثیر تغییر اقلیم افزایش خواهد یافت.

۵- فهرست منابع

1. Ali, S., Liu, Y., Ishaq, M., Shah, T., Ilyas, A., & Din, I, 2017, Climate change and its impact on the yield of major food crops: Evidence from Pakistan. *Foods*, No. 6, pp. 39.
2. Braun, H. J., Atlin, G. N., & Payne, T. S, 2010, Multi-location testing as a tool to identify plant response to global climate change. *Climate change and crop production*, No. CIS-6053.
3. Daryoush, R., Javad, K., Teimour, A, 2011, The Statistical-synoptic Analysis of Heavy Showers in Arid Regions of Iran: Kerman Province. *Journal of Geography and Regional Development*, NO. 8, pp. 203-224.
4. Deihimfard, R., Eyni-Nargeseh, H., & Mokhtassi-Bidgoli, A, 2018, Effect of future climate change on wheat yield and water use efficiency under semi-arid conditions as predicted by APSIM-wheat model. *International Journal of Plant Production*, No. 12, pp. 115-125.
5. Ewert, F., Rounsevell, M. D. A., Reginster, I., Metzger, M. J., & Leemans, R, 2005, Future scenarios of European agricultural land use: I. Estimating changes in crop productivity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, No. 107, pp. 101-116.
6. Eyni Nargsha, H., Dehim Fard, R., Sufizadeh, S., Haghghat, M., Nouri, O, 2015, Predicting the impacts of climate change on irrigated wheat yield in Fars province using APSIM model. *Journal of Crop Production*, NO. 8, pp. 203-224.
7. Hajjam, S., Khoshkho, Y., Shamsudini, R, 2008, Annual And Seasonal Precipitation Trend Analysis of Some Selective Meteorological Stations In Central Region of Iran Using Non-Parametric Methods. *Physical Geography Research Quarterly*, NO. 1. pp. 0(0).
8. Heidari Nia, M., ANasseri, A., Boroumand Nesb, S, 2012, Exploring the possibility of use in irrigation scheduling model AquaCrop sunflower in Ahvaz. *Journal of Water Resources*, NO. 5, pp. 37-50.
9. Hosseini, T., Khoshravesh, M., Zayatbar Ahmadi, M, 2016, Effect of Climate Change and Evaluation of Planting Date on Soybean Yield. *Journal of Water Research in Agriculture*, NO. 29, pp. 559-575.
10. IPCC, 2007. Summary for Policy Makers. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report*. Cambridge University Press Cambridge
11. Jones, P. G., & Thornton, P. K, 2003, The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global environmental change*, No. 13, pp. 51-59.

12. Karimzadeh Soureshjani, H., Emam, Y., Moori, S, 2012, Effect of post-anthesis drought stress on yield, yield components and canopy temperature of bread wheat cultivars. *Journal of plant*, NO. 1, pp. 38-56.
13. Khorsand, A., Verdinejad, V., Shahidi, A, 2014, Performance evaluation of AquaCrop model to predict yield production of wheat, soil water and solute transport under water and salinity stresses. *Journal of Water and Irrigation Management*, NO. 4. Pp. 89-104.
14. Pohlert, T, 2016, Non-parametric trend tests and change-point detection. *CC BY-ND*, 4.
15. Sivakumar, M. V. K., Das, H. P., & Brunini, O, 2005, Impacts of present and future climate variability and change on agriculture and forestry in the arid and semi-arid tropics. In *increasing climate variability and change* pp. 31-72.
16. Soleimani, F., Brumand, N., azareh, A, 2017, Evaluating the Trend of Spatial and Temporal Changes in Groundwater Quality in Jiroft Plain. *Journal of Range and Watershed Managment*, NO. 69, pp. 921-932.
17. Valizadeh, J., Ziaei, S. M., & Mazlounzadeh, S. M, 2014, Assessing climate change impacts on wheat production (a case study). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, No. 13, pp. 107-115.
18. Valizadeh, J., Ziaei, S. M., & Mazlounzadeh, S. M. (2014). Assessing climate change impacts on wheat production (a case study). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, No. 13, pp. 107-115.
19. Wolf, J, 2002, Comparison of two potato simulation models under climate change. II. Application of climate change scenarios. *Climate Research*, No. 21, pp. 187-198.
20. Xiao, D., Bai, H., & Liu, D, 2018, Impact of Future Climate Change on Wheat Production: A Simulated Case for China's Wheat System. *Sustainability*, No. 10, pp.1277.
21. Zeinali Mobarakeh, Z., Deihimfard, R., Kambouzia, J, 2018, Modelling the Impacts of Climate Change on Irrigated Wheat Yield Under Water Limited Conditions in Khorasan Razavi Province. *Journal of Agricultural science and sustainable production*, NO. 28, pp. 155-169.