



Prediction of climatic factors and water productivity of grain corn field (*Zea mays* L.) in the conditions of climate change

Parisa Karami¹ , Farzad Mondani² , Rozhin Ghobadi³

¹ M.Sc. Student of Agroecology, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: parisa.karami97@gmail.com

² Corresponding Author, Associated Professor, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: f.mondani@razi.ac.ir

³ Ph. D. Graduated of Crop Physiology, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: rozhin.ghobadi@gmail.com

ABSTRACT

Introduction

The increase of greenhouse gases in the last few decades has upset the climate balance of the planet, which is called the phenomenon of climate change. According to the latest report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, the main cause of global warming and climate change since the middle of the 20th century has been the increase in greenhouse gases (especially carbon dioxide, methane and nitrogen oxide) due to human activities. Although farmers are not able to control the climatic conditions, but management and changes in factors such as irrigation, soil, crop varieties, activities and technologies used in the cultivation of crops can reduce the harmful effects of climate change. It has a significant role on the growth, production and water efficiency of agricultural products. Therefore, according to the significant area under cultivation of corn in Kermanshah province, this study aims to predict some of the most important factors affecting growth and production in the conditions of climate change, as well as simulating the effects of climate change on water productivity and finally presenting adaptation strategy to the changes made in corn water productivity under the climatic conditions of Kermanshah region were carried out.

Material and Methods

The present study was conducted to simulate the effects of climate change on maize growth, production and water productivity at the experimental field of Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran, during 2017-2018. The evaluated factors included daily solar radiation, daily minimum temperature, daily maximum temperature, amount of water consumption and evapotranspiration during the corn growth period. The CERES-Maize model was used in order to simulate the evaluated characteristics of corn. The daily meteorological information required to create the weather file of Kermanshah city for the base period (1980-2010) was obtained from the American National Aeronautics and Space Administration. Meteorological information for the near future (2020-2050) and long-term (2050-2080) periods for RCP8.5 and RCP4.5 climate change scenarios were also obtained from MarkSim site.

Results and discussion

The results of prediction of general circulation models showed that according to the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, the total radiation for maize growth period from 3418 MJ/m² under baseline conditions, will reach to 3983 and 3984 MJ/m² for the near future period and 4006 and 4023 MJ/m² for far future period, respectively. Under basal condition, the average temperature for maize growth period was 22°C which based on RCP4.5 and RCP8.5 scenarios it will increase 2.3% and 4.3% in the near future, and 8.5% and 17.2% in the far future, respectively. The amount of water consumed, water use efficiency and evapotranspiration in the near future climate change in the scenario RCP4.5 varied as 9.1, -5.4 and 7.7 -0.18 % and in the RCP8.5 scenario varied as, 9.2, -11.6 and 6.7% compared to baseline conditions, respectively. These values for the RCP4.5 scenario in the far future climate change condition were 9.7, -23.7 and 6.9% and for the RCP8.5 scenario were 10.1, -50.7 and 5.7%, respectively. Regarding to the effect of sowing date, in both near and far future climate changes and under both scenarios, by sowing the studied cultivars at late dates (May 15 and May 25) compared to the early dates (April 15 and April 25) and common date (May 4), the water use efficiency was improved. Among the studied cultivars, Simon cultivar had the highest water use efficiency.

Conclusions

In general, according to our results, sowing of Simon cultivar in May 25 which had the highest water use efficiency in both future climate periods and both scenarios, it can suggest as a suitable strategy to reduce the negative effects of climate change on maize production in Kermanshah region.

Keywords: Daily solar radiation, temperature, adaptation strategy, water use efficiency

Article Type: Research Article

Article history: Received: 25 December 2022 Revised: 11 April 2023 Accepted: 13 May 2023 ePublished: 27 June 2023

Cite this article: Karami, P., Mondani, F., & Ghobadi, R. (2023). Prediction of climatic factors and water productivity of grain corn field (*Zea mays* L.) in the conditions of climate change. *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 3(1), 25-41. DOI: <https://doi.org/10.22126/atwe.2023.8850.1039>

Publisher: Razi University

© The Author(s).





دانشگاه رازی

وبگاه نشریه: <https://atwe.razi.ac.ir>

شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۹۶۴



فناوری های پیشرفته در بهره وری آب

پیش بینی فاکتورهای اقلیمی و بهره وری آب مزرعه ذرت دانه ای (*Zea mays* L.) در شرایط تغییر اقلیم

پریسا کرمی^۱، فرزاد مندنی^۲، روزین قبادی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد اکرواکولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: parisa.karamii97@gmail.com

^۲ نویسنده مسئول، دانشیار اکولوژی گیاهان زراعی، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: f.mondani@razi.ac.ir

^۳ دانش آموخته فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: rozhin.ghobadi@gmail.com

چکیده

این تحقیق برای شبیه سازی اثر تغییر اقلیم بر فاکتورهای محیطی تأثیرگذار بر رشد، تولید و بهره وری آب گیاه ذرت در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ اجرا شد. فاکتورهای مورد ارزیابی شامل تشعشع روزانه خورشید، درجه حرارت حداقل روزانه، درجه حرارت حداکثر روزانه، میزان آب مصرفی و تبخیر و تعرق طی دوره رشد ذرت بود. به منظور شبیه سازی ویژگی های مورد ارزیابی ذرت از مدل CERES-Maize استفاده شد. اطلاعات هواشناسی مورد نیاز برای ساخت فایل هواشناسی شهرستان کرمانشاه برای دوره مینا (۲۰۱۰-۱۹۸۰) از سازمان ملی هواوردی و فضایی آمریکا اخذ شد. اطلاعات هواشناسی دوره های آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲۰) و دور (۲۰۸۰-۲۰۵۰) نیز برای سناریوهای تغییر اقلیم RCP4.5 و RCP8.5 از سایت مارکسیم به دست آمد. نتایج پیش بینی مدل های گردش عمومی نشان داد که مجموع تشعشع روزانه خورشید طی دوره رشد ذرت از ۳۴۱۸ مگاژول بر مترمربع در شرایط مینا، طبق سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب به ۳۹۸۳ و ۳۹۸۴ مگاژول بر مترمربع برای دوره آینده نزدیک و به ۴۰۰۶ و ۴۰۲۳ مگاژول بر مترمربع برای دوره آینده دور رسید. در شرایط مینا میانگین دمای طول دوره رشد ذرت ۲۲ درجه سانتی گراد بود که بر اساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب، ۲/۳ و ۴/۳ درصد در دوره آینده نزدیک و ۸/۵ و ۱۷/۲ درصد در دوره آینده دور افزایش یافت. میزان آب مصرفی، کارایی مصرف آب و تبخیر و تعرق ذرت در شرایط تغییر اقلیم آینده نزدیک در سناریوی RCP4.5 نسبت به شرایط مینا به ترتیب، ۹/۱، ۵/۴- و ۷/۷ درصد و در سناریوی RCP8.5 به ترتیب، ۹/۲، ۱۱/۶- و ۶/۷ درصد تغییر کرد. این مقادیر در شرایط تغییر اقلیم آینده دور برای سناریوی RCP4.5 به ترتیب، ۹/۷، ۲۳/۷- و ۶/۹ درصد و برای سناریوی RCP8.5 به ترتیب، ۱۰/۱، ۵۰/۷- و ۵/۷ درصد بودند. در رابطه با اثر تاریخ کاشت، در دوره های اقلیمی آینده و طبق سناریوها، کاشت ذرت در تاریخ های دیر هنگام (۲۵ اردیبهشت و ۴ خرداد) در مقایسه با تاریخ های زود هنگام (۲۶ فروردین و ۵ اردیبهشت) و رایج (۱۵ اردیبهشت) منجر به بهبود کارایی مصرف آب شد. در بین ارقام مورد بررسی نیز رقم Simon بیشترین کارایی مصرف آب را داشت. در مجموع با توجه به نتایج به دست آمده کاشت رقم Simon در تاریخ ۴ خرداد می تواند به عنوان راهکاری برای مقابله با اثرات منفی تغییر اقلیم بر بهبود بهره وری آب پیشنهاد گردد.

واژه های کلیدی: تشعشع روزانه خورشید، درجه حرارت، راهکارهای سازگاری، کارایی مصرف آب

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۰۴ دی ۱۴۰۱ اصلاح: ۲۲ فروردین ۱۴۰۲ پذیرش: ۲۳ اردیبهشت ۱۴۰۲ چاپ الکترونیکی: ۱۳ خرداد ۱۴۰۲

استناد: کرمی، پ، مندنی، ف، و قبادی، ر. (۱۴۰۲). پیش بینی فاکتورهای اقلیمی و بهره وری آب مزرعه ذرت دانه ای (*Zea mays* L.) در شرایط تغییر اقلیم.

فناوری های پیشرفته در بهره وری آب، ۳ (۱)، ۴۱-۲۵، شناسه دیجیتال: <https://doi.org/10.22126/atwe.2023.8850.1039>



© نویسندگان

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه‌ی اخیر باعث برهم خوردن تعادل اقلیمی کره زمین شده که به آن پدیده تغییر اقلیم گفته می‌شود. طبق آخرین گزارش هیئت بین دولتی تغییر اقلیم (۲۰۱۳)، عامل اصلی گرمایش جهانی و تغییر اقلیم از اواسط قرن بیستم به بعد افزایش گازهای گلخانه‌ای (به‌ویژه دی‌اکسیدکربن، متان و اکسید نیتروژن) در اثر فعالیت‌های انسان بوده است. در طی سال‌های گذشته موضوع تغییر اقلیم در بسیاری از مطالعات علمی مطرح شده است، به‌طوری‌که نوسان‌ها و تغییرات اقلیمی از اصلی‌ترین و مهم‌ترین چالش‌های محیطی هستند که در شروع قرن ۲۱ میلادی موردتوجه قرار گرفته‌اند (هولم^۱ و همکاران، ۱۹۹۹). بنا بر گزارش هیئت بین دولتی تغییر اقلیم روند گرم شدن کره زمین به‌سرعت در حال افزایش است و انتظار می‌رود که با صرف‌نظر از اثری که گازهای گلخانه‌ای بر اقلیم جهانی دارند، دمای کره زمین تا سال ۲۰۳۰ نسبت به اواخر قرن بیستم تقریباً یک درجه سانتی‌گراد در مقیاس جهانی گرم شود (هولم و همکاران، ۱۹۹۹). چنانچه غلظت گازهای گلخانه‌ای اتمسفر با سرعت فعلی افزایش یابد پیش‌بینی اغلب مدل‌های اقلیمی موجود حاکی از آن است که میانگین دمای جهان در سال ۲۱۰۰ نسبت به سال ۱۹۹۰ میلادی حداقل دو درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت باوجوداینکه دامنه عدم قطعیت پیش‌بینی دما برای سال ۲۱۰۰ بین ۱ تا ۴/۵ درجه سانتی‌گراد است ولی باید توجه داشت که حتی یک درجه افزایش در طی ده سال گذشته نیز اثرات قابل‌توجهی را در پی داشته است (ساندرز^۲، ۱۹۹۹).

امروزه در شرایطی که رشد سریع جمعیت و توسعه اقتصادی، تقاضا برای غذا را افزایش داده است (اوزکان^۳ و همکاران، ۲۰۰۲)، تغییر اقلیم به‌طور مستقیم می‌تواند بر امنیت غذایی در نقاط مختلف جهان تأثیرگذار باشد، زیرا فرآیندهای تغییر اقلیم که شامل افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری، دما و متغیر بودن بارش است به‌طور مستقیم محصولات کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (موریسون^۴ و همکاران، ۲۰۰۶). کشاورزی به دلیل ارتباط بسیار نزدیک با شرایط آب و هوایی نسبت به تغییر اقلیم بسیار آسیب‌پذیر است و تغییر اقلیم می‌تواند از دامنه بهینه در رابطه با دمای موردنیاز برای رشد و میزان آب موردنیاز، تولیدات گیاهی را دستخوش تغییر کند (رانوزی^۵ و همکاران، ۲۰۱۲).

اگرچه کشاورزان قادر نیستند شرایط اقلیمی را کنترل کنند، ولی مدیریت و تغییر در فاکتورهایی چون آبیاری، خاک، رقم محصول، فعالیت‌ها و تکنولوژی‌های مورد استفاده در کشت محصولات زراعی می‌تواند در کاهش اثرات مضر تغییر اقلیم بر رشد، تولید و بهره‌وری آب محصولات کشاورزی نقش بسزایی داشته باشد (مرادی و همکاران، ۱۳۹۲). تخفیف و سازگاری^۶ دو روش شناخته‌شده برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم است (ازکان و آکائوز^۷، ۲۰۰۲). منظور از سازگاری استراتژی‌های است که رشد و نمو گیاه طوری تنظیم شود که کمتر در معرض تغییرات اقلیمی به وقوع پیوسته قرار بگیرد (روزنویگ و توبیلو^۸، ۲۰۰۷). راهکارهای سازگاری بسته به سیستم کشاورزی منطقه و سناریوهای تغییر اقلیمی متفاوت است. ازجمله این استراتژی‌ها می‌توان به تغییر تاریخ کاشت، تراکم کاشت (ترنکا^۹ و همکاران، ۲۰۰۴)، استفاده از ارقام مقاوم به شرایط گرم‌تر، تغییر در تناوب کاشت و مدیریت آبیاری اشاره کرد (اسمیت و اسکینر^{۱۱}، ۲۰۰۲؛ توبیلو^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۲).

با توجه به اهمیت تولید ذرت، تغییرات اقلیمی می‌تواند اثرات منفی خود را در زمینه کاهش عملکرد در منطقه موردبررسی و در سطح کشور نشان دهد. بنابراین برای مقابله با کاهش عملکرد حاصل از تغییرات اقلیمی آینده اصلاح و تغییر مدیریت زراعی در قالب راهکارهای سازگاری ضروری است. با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی می‌توان از طریق گزینه‌های مانند تنظیم تاریخ کاشت، تغییر الگوی کشت، کشت ارقام مقاوم به گرما و ترویج گیاهان زراعی جدید (گیاهان فراموش‌شده و کمتر استفاده‌شده) اثرات منفی تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی را کاهش داد (تینگم و ریوینگتون^{۱۳}، ۲۰۰۹). استفاده از تغییر در تاریخ کاشت به‌عنوان راهکار سازگاری برای فرار از تنش

¹ Hulme

² Saunders

³ Ozkan

⁴ Morison

⁵ Ranuzzi

⁶ Mitigation

⁷ Adaptation

⁸ Ozkan and Akcaoz

⁹ Rosenzweig and Tubiello

¹⁰ Trnka

¹¹ Smit and Skinner

¹² Tubiello

¹³ Tingem and Rivington

گرما در شرایط تغییر اقلیم می‌تواند برای محصول ذرت در نظر گرفته شود (لیو^۱ و همکاران، ۲۰۱۳). رحیمی مقدم و همکاران (۲۰۱۸) نیز دریافتند راهکارهای سازگاری برای ارقام ذرت در جنوب ایران در شرایط تغییر اقلیم شامل ارقام مختلف و مدیریت تاریخ کاشت بود. بنابراین با توجه به سطح زیر کشت قابل توجه ذرت در استان کرمانشاه این مطالعه باهدف پیش‌بینی برخی از مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار بر رشد و تولید در شرایط تغییر اقلیم و همچنین شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر بهره‌وری آب و درنهایت ارائه راهکارهای سازگاری به تغییرات ایجادشده در بهره‌وری آب ذرت تحت شرایط اقلیمی منطقه کرمانشاه انجام شد.

مواد و روش‌ها

شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم

به‌منظور شبیه‌سازی ویژگی‌های مورد ارزیابی گیاه ذرت و مقایسه مقادیر شبیه‌سازی‌شده با مقادیر واقعی، مدل CERES-Maize از بسته نرم‌افزاری DSSAT v4.6 استفاده شد (هوگنبوم^۲ و همکاران، ۲۰۱۵). برای شبیه‌سازی توسط مدل CERES-Maize ابتدا لازم است که داده‌های موردنیاز در قالب فایل‌های خاصی سازمان‌دهی و به‌عنوان ورودی‌ها به مدل معرفی شوند. اطلاعات مدیریت زراعی توسط زیر مدل XBUILD به مدل ارائه می‌شود. اطلاعات هواشناسی توسط زیر مدل WeatherMan برای مدل تعریف شدند. برای ساخت فایل خاکشناسی از زیر مدل SBUILD استفاده شد. ضرایب ژنتیکی رقم موردنظر در فایل ارقام گیاهی وارد گردید. فایل‌های A^3 و T^3 نیز بر اساس داده‌های مشاهده‌شده یا اندازه‌گیری شده در آزمایش مزرعه‌ای آماده شدند. در این مطالعه برای ساخت فایل ارقام گیاهی از نتایج آزمایشی که توسط مندنی (۱۳۹۶) به‌منظور برآورد ضرایب ژنتیکی ارقام متداول ذرت دانه‌ای در استان کرمانشاه برای مدل CERES-Maize اجراشده بود، استفاده شد. پس از انجام فرایند واسنجی، تعیین اعتبار مدل CERES-Maize توسط اطلاعات مستخرج از آزمایش مزرعه‌ای که در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه (عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا) به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ اجراشده بود صورت گرفت (مندنی و همکاران، ۱۴۰۰). در تحقیق مذکور فاکتور اصلی سه سطح آبیاری شامل بیش‌آبیاری (تأمین ۱۳۰ درصد نیاز آبی، IR130)، آبیاری کامل (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، IR100) و کم آبیاری (تأمین ۷۰ درصد نیاز آبی، IR70) و فاکتور فرعی سه رقم ذرت (SC704, Simon, BC678) بود. در پایان پس از کسب اطمینان از تطابق قابل قبول بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده با مقادیر واقعی به‌دست‌آمده از آزمایش‌های مزرعه‌ای، از مدل اعتبارسنجی شده برای بررسی اثر تغییرات اقلیم آینده بر رشد، تولید و بهره‌وری آب ذرت دانه‌ای استفاده شد.

جمع‌آوری داده‌های اقلیمی

اطلاعات روزانه هواشناسی موردنیاز برای ساخت فایل هواشناسی (بیشترین و کمترین درجه حرارت، مقدار بارش و تشعشع روزانه) شهرستان کرمانشاه برای دوره مینا (۲۰۱۰-۱۹۸۰) از سازمان ملی هواوردی و فضای آمریکا^۳ (AgMERRA) اخذ شد. اطلاعات هواشناسی دوره‌های آینده نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۵۰) و دور (۲۰۵۰-۲۰۸۰) نیز در سه تکرار برای سناریوهای تغییر اقلیمی مدنظر (RCP8.5 و RCP4.5) از سایت مارکسیم^۴ به‌دست‌آمده آمد. بر این اساس برای هر یک از دوره‌های اقلیمی مدنظر ۹۰ سال داده هواشناسی از سایت مذکور استخراج گردید و به‌عنوان ورودی مدل در فایل هواشناسی قرار داده شد تا نوسانات احتمالی در داده‌های هواشناسی به حداقل ممکن کاهش یابد. غلظت دی‌اکسید کربن برای شرایط مینا ۳۸۰ پی‌پی‌ام بود که طبق سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 برای آینده نزدیک به ترتیب، ۴۷۰ و ۵۳۰ پی‌پی‌ام و برای آینده دور به ترتیب، ۵۶۰ و ۷۷۰ پی‌پی‌ام در نظر گرفته شد^۵. لازم به ذکر است که غلظت‌های نام‌برده میانگینی از غلظت‌های سالیانه هر یک از دوره‌های تغییر اقلیم نزدیک و دور در نظر گرفته شد.

¹ Liu

² Hoogenboom

³ Harvest data

⁴ Time-series data

⁵ National Aeronautics and Space Administration (NASA)

⁶ <https://data.giss.nasa.gov/impacts/agmipcf/agmerra>

⁷ <http://gismap.ciat.cgiar.org/MarkSimGCM>

⁸ https://en.wikipedia.org/wiki/Representative_Concentration_Pathway

راهکارهای سازگاری به شرایط تغییر اقلیم

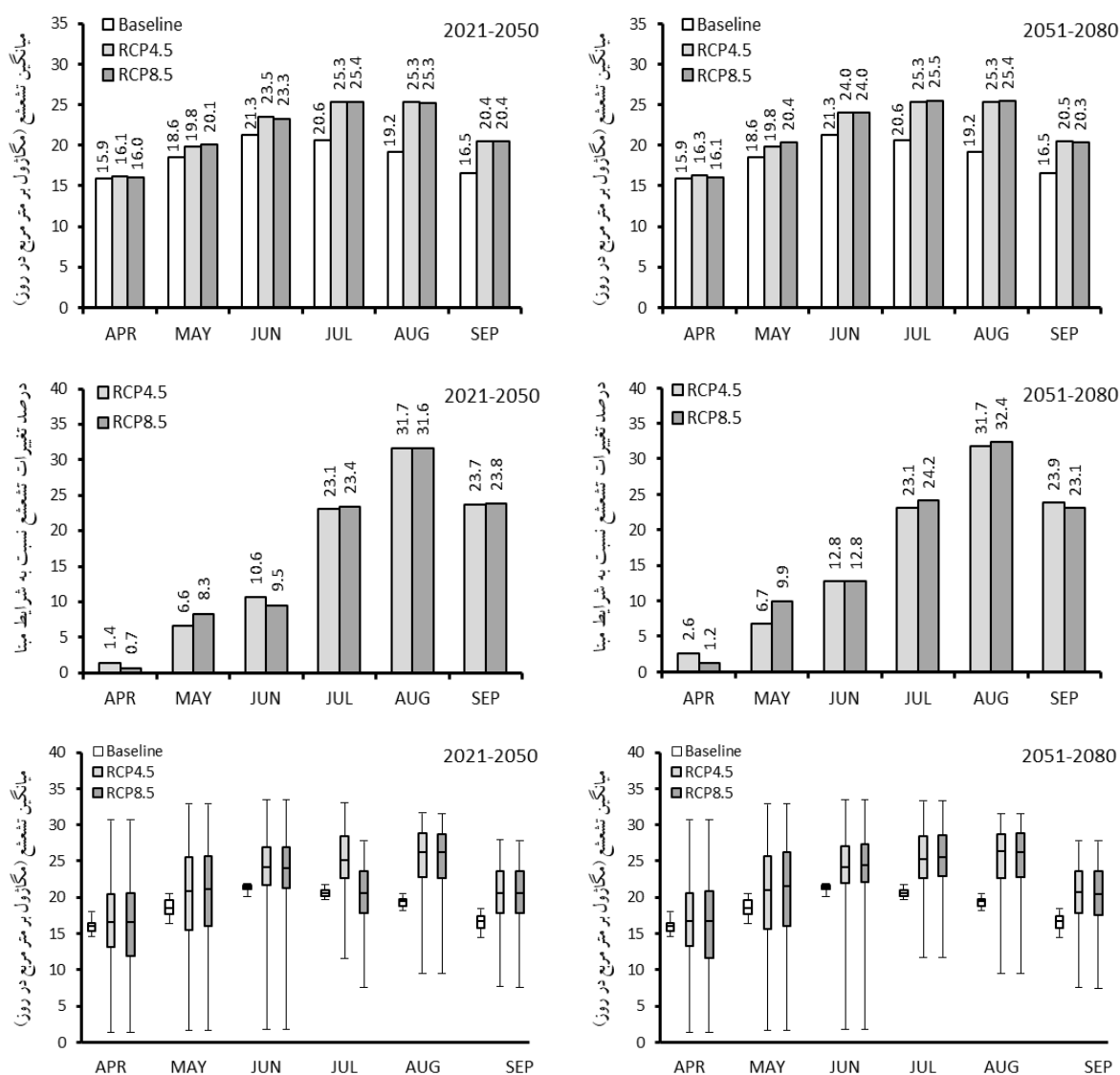
به‌منظور امکان تعدیل اثرات منفی تغییر اقلیم بر تولید ذرت در منطقه هدف، تغییر تاریخ کاشت و رقم و همچنین میزان آب آبیاری به‌عنوان راهکارهای سازگاری در نظر گرفته شدند. تاریخ رایج برای کاشت ذرت در منطقه کرمانشاه ۱۵ اردیبهشت است. از آنجایی که حساس‌ترین مرحله رشد ذرت به گرما، مرحله گلدهی آن است و افزایش دما طول این دوره را کاهش می‌دهد، بنابراین هر نوع تغییر در تاریخ برخورد این مرحله با دماهای بالا می‌تواند به‌شدت در کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم بر تولید گیاه مؤثر باشد (خابا^۱ و همکاران، ۲۰۰۱). در این مطالعه برای ارائه راهکارهای سازگاری ذرت به شرایط اقلیمی آینده، تاریخ کاشت‌های ۵ اردیبهشت و ۲۶ فروردین به‌عنوان کشت زود هنگام، ۱۵ اردیبهشت به‌عنوان کشت به‌هنگام و ۲۵ اردیبهشت و ۴ خرداد به‌عنوان کشت دیر هنگام و ارقام ذرت BC678، Simon، SC704 در نظر گرفته شدند. با توجه به شرایط در نظر گرفته‌شده به‌عنوان راهکارهای سازگاری، برای هر یک از دوره‌های اقلیمی نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۵۰) و دور (۲۰۸۰-۲۰۵۰) مدل CERES-Maize ۱۳۵۰ مرتبه (۵ تاریخ کاشت $\times$ ۳ رقم $\times$ ۹۰ ورودی هواشناسی) اجرا گردید و سپس میانگین خروجی‌های مدل برای شرایط نام‌برده به‌عنوان اطلاعات مورد ارزیابی برای هر یک از دوره‌های اقلیمی استخراج گردید. در پایان پس از استخراج اطلاعات مدنظر برای هر یک از دوره‌های اقلیمی، از طریق مقایسه این اطلاعات با خروجی مدل برای دوره مبنا (۱۹۸۰-۲۰۱۰)، بهترین راهکار سازگاری برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم بر بهبود بهره‌وری آب در منطقه کرمانشاه معرفی گردید.

نتایج و بحث

تشعشع خورشید

تغییرات تشعشع روزانه خورشید در فاصله سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ (شرایط مبنا) طی دوره رشد ذرت در منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. میانگین ماهانه تشعشع در شرایط مبنا طی ماه‌های فروردین و اردیبهشت به ترتیب حدود ۱۵/۹ و ۱۸/۶ مگاژول بر مترمربع در روز بود که در شرایط تغییر اقلیم در فاصله سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰ (آینده نزدیک) طبق سناریوی RCP4.5، به ترتیب با ۱/۴ و ۶/۶ درصد افزایش به حدود ۱۶/۱ و ۱۹/۸ مگاژول بر مترمربع در روز خواهد رسید. همچنین نتایج نشان داد در صورت رخ دادن سناریوی RCP4.5 در دوره آینده نزدیک، میانگین تشعشع در ماه‌های خرداد و تیر نسبت به شرایط مبنا به ترتیب ۱۰/۶ و ۲۳/۱ درصد و در ماه‌های مرداد و شهریور به ترتیب ۳۱/۷ و ۲۳/۷ درصد افزایش خواهد یافت. در شرایط سناریوی RCP8.5 نیز میانگین تشعشع روزانه خورشید در طول دوره رشد ذرت نسبت به شرایط مبنا افزایش نشان داد، به‌طوری‌که در ماه‌های فروردین و اردیبهشت به ترتیب با ۰/۷ و ۸/۳ درصد افزایش از ۱۵/۹ و ۱۸/۶ در شرایط مبنا به ۱۶ و ۲۰/۱ مگاژول بر مترمربع در روز خواهد رسید. همچنین میزان تشعشع خورشید طی ماه‌های خرداد و تیر نسبت به شرایط مبنا به ترتیب در حدود ۲ و ۴/۸ مگاژول بر مترمربع در روز بیشتر بود، درحالی‌که این افزایش در ماه‌های مرداد و شهریور به ترتیب حدود ۲۵/۳ و ۲۰/۴ مگاژول بر مترمربع پیش‌بینی شد که در شکل (۱) ارائه شده است.

¹ Khabba



شکل ۱. میانگین ماهانه (ردیف اول)، درصد تغییرات نسبت به دوره مبنا (ردیف دوم) و نمودار جعبه‌ای (ردیف سوم) تشعشع خورشید

همانطور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، نتایج این بررسی همچنین نشان داد که بر اساس پیش‌بینی مدل‌های گردش عمومی برای سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5، میزان تشعشع روزانه خورشیدی طول دوره رشد ذرت در فاصله سال‌های ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ (آینده دور) نسبت به شرایط مبنا (۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰) افزایش نشان داد. در سناریوی RCP4.5، بیشترین میانگین تشعشع روزانه خورشید در ماه‌های تیر و مرداد به میزان ۲۵/۳ مگاژول بر مترمربع در روز و کمترین آن در فروردین به میزان ۱۶/۳ مگاژول بر مترمربع در روز رخ داد. طبق سناریوی RCP8.5، حداکثر میزان افزایش میانگین تشعشع روزانه خورشید برابر با ۲۵/۵ و ۲۵/۴ مگاژول بر مترمربع در روز به ترتیب در ماه‌های تیر و مرداد (به ترتیب حدود ۲۴/۲ و ۳۲/۴ درصد افزایش) مشاهده شد و کمترین آن نیز به میزان ۱۶/۱ مگاژول بر مترمربع در روز برای فروردین‌ماه به دست آمد. به‌طورکلی نتایج پیش‌بینی‌ها نشان داد که در هر دو سناریوی تغییر اقلیم آینده، کمترین و بیشترین درصد تغییرات در میزان تشعشع روزانه خورشید برای سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰ و ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ نسبت به شرایط مبنا به ترتیب در ماه‌های فروردین و مرداد رخ خواهد داد. پیش‌بینی‌های مدل‌های گردش عمومی همچنین نشان داد که میزان تشعشع خورشید در شرایط تغییر اقلیم نسبت به شرایط مبنا در طول دوره رشد ذرت افزایش خواهد یافت، به‌گونه‌ای که میزان تشعشع کل دوره رشد ذرت از ۳۴۱۷/۸ مگاژول بر مترمربع برای شرایط سال‌های مبنا به حدود ۳۹۸۳/۴ و ۳۹۸۴/۱۵ مگاژول بر مترمربع در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 برای شرایط تغییر اقلیم سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰ افزایش خواهد یافت. تشعشع کل دوره رشد ذرت برای شرایط تغییر اقلیم سال‌های ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ نسبت به شرایط مبنا به ترتیب برای سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 حدود ۴۰۶/۰۵ و ۴۰۳۳/۳ مگاژول بر مترمربع پیش‌بینی شد. رحیمی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۷) نیز افزایش میزان تشعشع تجمعی تحت شرایط تغییر اقلیم آینده (۲۰۴۰-۲۰۷۰) در طول دوره رشد ذرت در استان

کرمانشاه را گزارش کردند. مطالعه آن‌ها نشان داد میزان تشعشع تجمعی از ۱۷۱۹ مگاژول بر مترمربع در شرایط مبنا به ترتیب به ۱۷۵۷ و ۱۸۰۱ مگاژول بر مترمربع برای سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 خواهد رسید. باین‌حال در مطالعه سریواستوا^۱ و همکاران (۲۰۱۸) در کشور غنا میزان تشعشع تجمعی در طول دوره رشد ذرت طبق سناریوی RCP8.5، در سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰ به ترتیب ۲ و ۱۴/۴ درصد نسبت به شرایط مبنا کمتر بود. طبق پژوهش آموزو^۲ و همکاران (۲۰۱۲) در غرب آفریقا میزان تشعشع تجمعی در سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۰/۳-۰/۶ و ۰/۴-۰/۵ درصد نسبت به شرایط پایه کاهش نشان داد. بر اساس مطالعه دیاس^۳ و همکاران (۲۰۱۶) میانگین تشعشع روزانه در کشور سریلانکا از ۱۴/۹ مگاژول بر مترمربع در روز در شرایط فعلی برای سال‌های ۲۰۴۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۶۰ طبق سناریوی RCP8.5 به ترتیب به حدود ۱۸، ۱۹/۴ و ۱۸/۷ مگاژول در مترمربع در روز خواهد رسید.

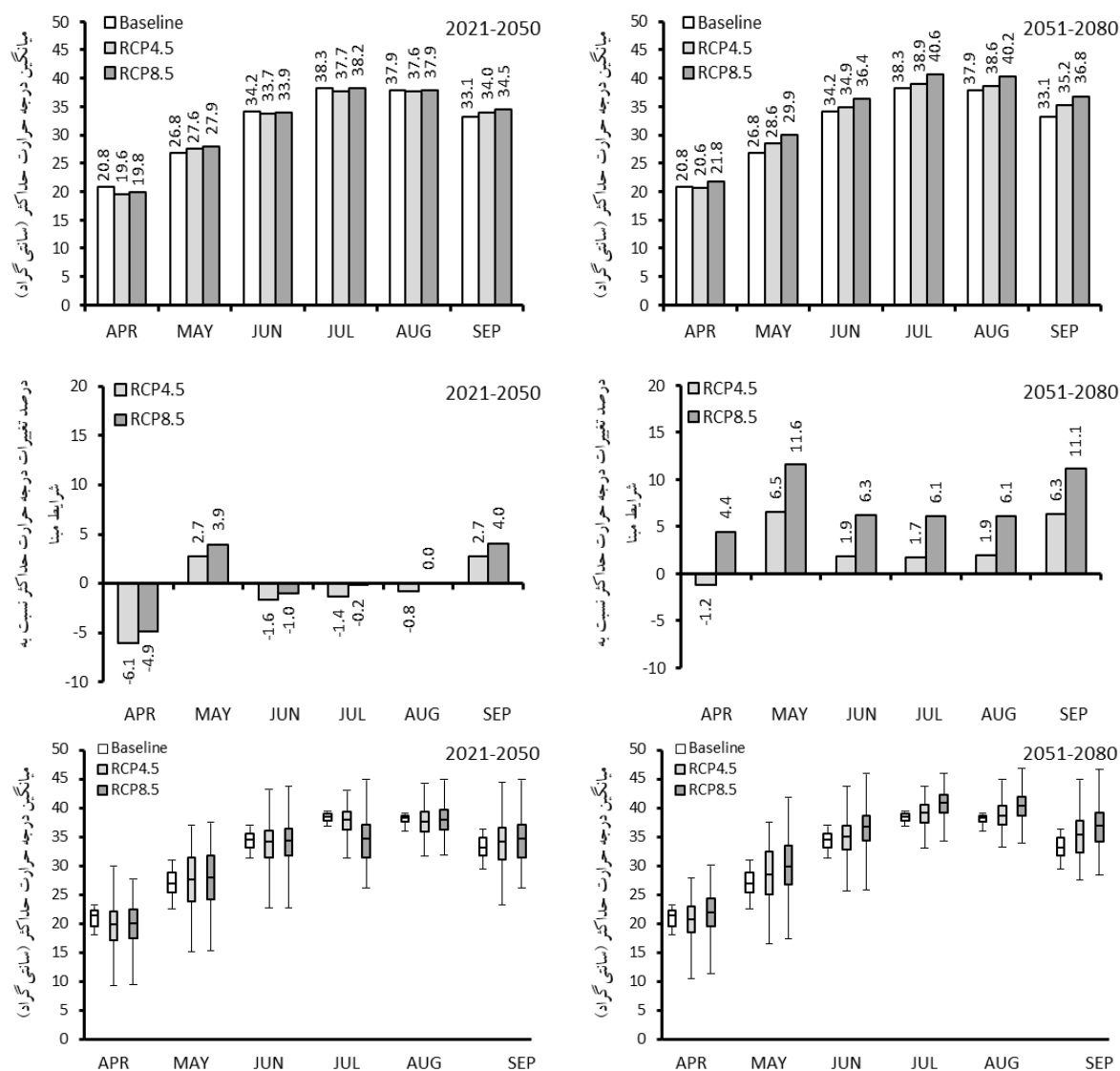
درجه حرارت

بر اساس پیش‌بینی مدل‌های گردشی عمومی، میانگین دمای روزانه طول دوره رشد ذرت در فاصله سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰ (آینده نزدیک) و ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ (آینده دور) در مقایسه با شرایط مبنا (۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰) به‌جز در ماه فروردین و سناریوی RCP4.5 افزایش خواهد یافت که در اشکال (۲) و (۳) ارائه شده است.

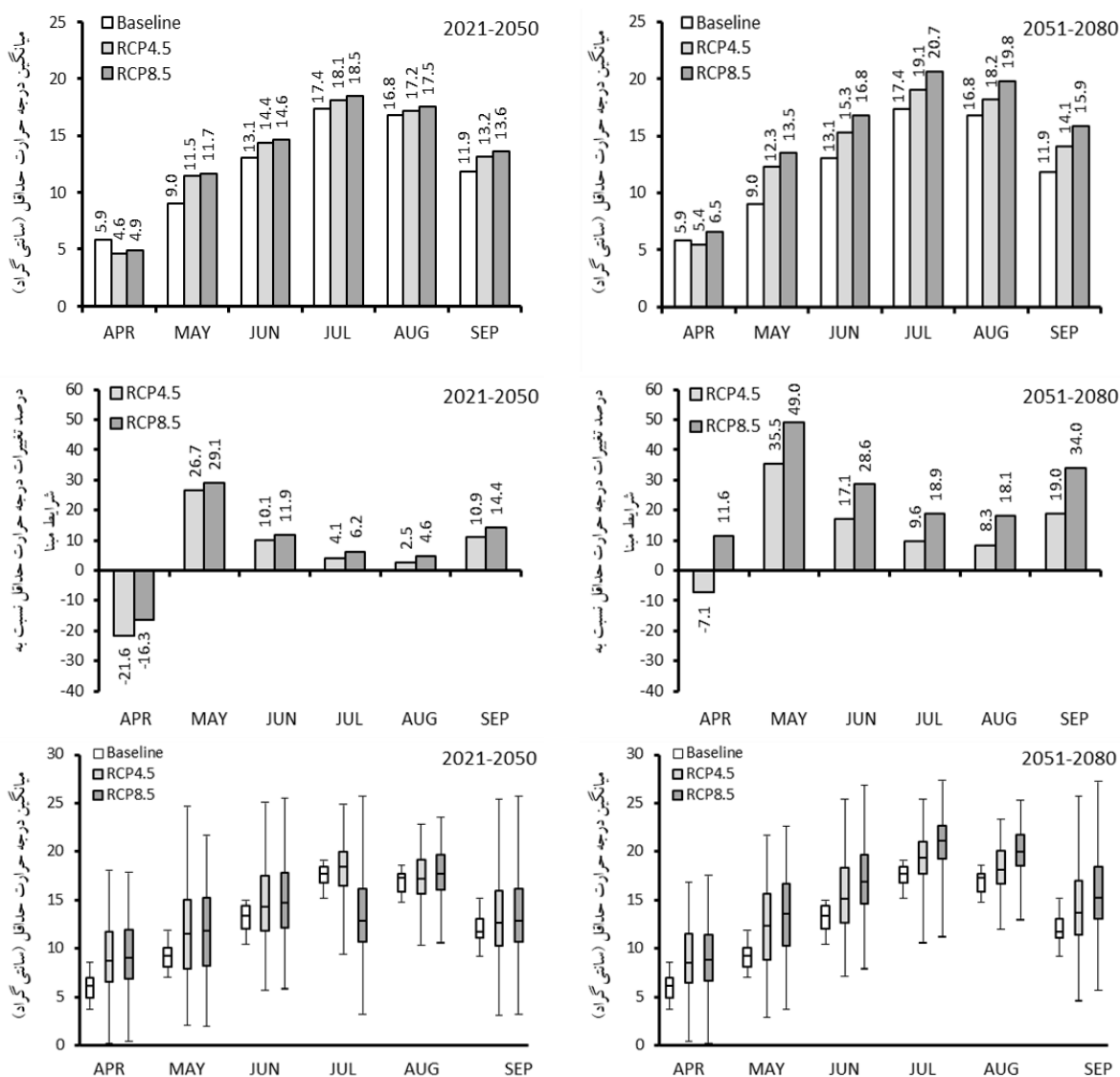
¹ Srivastava

² Amouzou

³ Dias



شکل ۲. میانگین ماهانه (ردیف اول)، درصد تغییرات نسبت به دوره مبنا (ردیف دوم) و نمودار جعبه‌ای (ردیف سوم) درجه حرارت حداکثر



شکل ۳. میانگین ماهانه (ردیف اول)، درصد تغییرات نسبت به دوره مبنا (ردیف دوم) و نمودار جعبه‌ای (ردیف سوم) درجه حرارت حداقل

در شرایط مبنا میانگین دمای طول دوره رشد ذرت ۲۲ درجه سانتی‌گراد بود که بر اساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب با حدود ۲/۳ و ۴/۳ درصد افزایش به ۲۲/۴۲ و ۲۲/۷۵ درجه سانتی‌گراد برای شرایط تغییر اقلیم سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰ خواهد رسید. همانطور که در اشکال (۳) و (۴) مشاهده می‌شود، میانگین دمای روزانه دوره رشد ذرت در شرایط تغییر اقلیم سال‌های ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ به ترتیب برای سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 با حدود ۸/۵ و ۱۷/۲ درصد افزایش، ۲۳/۴۳ و ۲۴/۹۱ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شد. همان‌گونه که نتایج این بررسی نشان داد در طول دوره رشد ذرت درجه حرارت حداقل در مقایسه با درجه حرارت حداکثر، بیشتر تحت تأثیر شرایط تغییر اقلیم قرار گرفت. توضیحات فوق در شکل‌های (۲) و (۳) ارائه شده‌اند. در دوره آینده نزدیک میزان تغییرات درجه حرارت حداقل برای سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در مقایسه با شرایط مبنا به ترتیب حدود ۵/۵ و ۸/۳ درصد بود، درحالی‌که این تغییرات برای درجه حرارت حداکثر به ترتیب حدود ۰/۸- و ۰/۳ درصد پیش‌بینی شد. در دوره آینده دور نیز میزان تغییرات درجه حرارت حداقل برای سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در مقایسه با شرایط مبنا به ترتیب حدود ۱۳/۷ و ۲۶/۷ درصد بود، درحالی‌که این تغییرات برای درجه حرارت حداکثر به ترتیب حدود ۲/۸ و ۷/۶ درصد پیش‌بینی شد. رحیمی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۷) گزارش کردند که میانگین حداقل و حداکثر دمای طول دوره رشد ذرت در شرایط تغییر اقلیم آینده (۲۰۴۰-۲۰۷۰) در استان کرمانشاه افزایش یافت، به‌طوری‌که دمای حداقل و حداکثر در سناریوی RCP4.5 به ترتیب ۲۵ و ۷ درصد و در سناریوی RCP8.5، ۵۷ و ۱۵ درصد نسبت به شرایط مبنا (۲۰۱۰-۱۹۸۰) افزایش

نشان داد. بونویچای^۱ و همکاران (۲۰۱۸) نیز دریافتند که حداقل و حداکثر دمای طول دوره رشد برنج در تایلد برای سناریوی RCP4.5 و آینده نزدیک (۲۰۴۵-۲۰۶۹) به ترتیب ۱/۳ و ۱/۱ درجه سانتی گراد و برای سناریوی RCP8.5 به ترتیب ۱/۹ و ۱/۶ درجه سانتی گراد نسبت به دوره مبنا (۱۹۸۰-۲۰۰۴) افزایش یافت. نتایج سرواستوا و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد حداقل و حداکثر دمای طول دوره رشد ذرت در کشور غنا برای دوره تغییر اقلیم سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۸۰ طبق سناریو RCP4.5 به ترتیب ۶/۵ و ۵/۳ و در سناریوی RCP8.5 به ترتیب ۱۰/۶ و ۹/۲ درجه سانتی گراد نسبت به دوره مبنا (۱۹۷۱-۲۰۰۰) افزایش می یابد. افزایش حداقل و حداکثر دما در سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 توسط جهان بخش اصل و همکاران (۱۳۹۵) و کرمی و همکاران (۱۳۹۷) نیز گزارش شده است.

میزان آب مصرفی

نتایج شبیه سازی های مدل CERES-Maize در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که مقدار آب مورد نیاز ذرت در شرایط تغییر اقلیم نسبت به شرایط مبنا افزایش خواهد یافت. در شرایط مبنا (۱۹۸۱-۲۰۱۰) میزان آب مصرفی برای ارقام مورد بررسی حدود ۵۶۰ میلی متر بود.

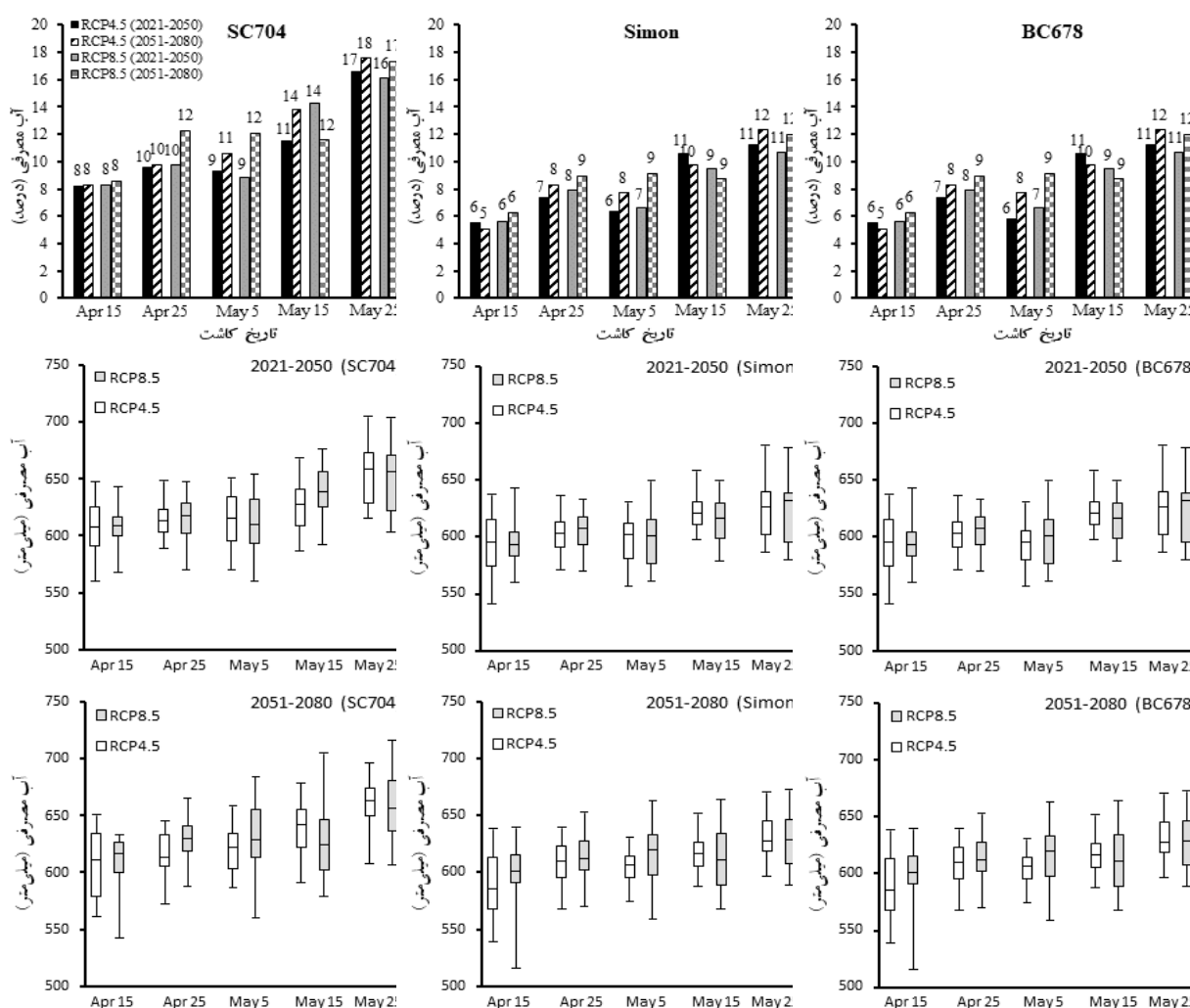
جدول ۱. طول دوره نمو فنولوژیک، تولید، مقادیر آب و تبخیر و تعرق ارقام ذرت برای دوره مبنا (۲۰۱۰-۱۹۸۱) در تاریخ کاشت مرسوم (۱۵ اردیبهشت)

BC678	Simon	SC704	
۵۶۱	۵۶۱	۵۶۰	آب مصرفی (میلی متر)
۱/۴۵	۱/۸۳	۱/۷۶	کارایی مصرف آب (گرم بر میلی متر)
۱۶۰	۱۶۰	۱۵۸	تبخیر (میلی متر)
۴۵۹	۴۵۹	۴۶۹	تعرق (میلی متر)
۶۱۹	۶۱۹	۶۲۷	تبخیر و تعرق (میلی متر)

نیاز آبی ارقام مذکور در شرایط تغییر اقلیم دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۵۰)، طبق سناریوی RCP4.5 به ترتیب با ۹/۳۳، ۶/۳۸ و ۵/۸۱ درصد افزایش به ۶۱۲، ۵۹۷ و ۵۹۴ میلی متر و طبق سناریوی RCP8.5 به ترتیب با ۸/۸۸، ۶/۶۷ و ۶/۶۷ درصد افزایش به ۶۱۰، ۵۹۸ و ۵۹۸ میلی متر تغییر خواهد کرد که در شکل (۴) نشان داده شده است. همچنین در دوره تغییر اقلیم نزدیک با تغییر تاریخ کاشت میزان آب مصرفی ذرت نیز تغییر نشان داد، به طوری که در هر دو سناریو کمترین مقدار آب مصرفی برای ارقام Simon، SC704 و BC678 در زودترین تاریخ کاشت (۲۶ فروردین) به دست آمد (به ترتیب ۶۰۶، ۵۹۲ و ۵۹۲ میلی متر در سناریوی RCP4.5 و ۶۰۶، ۵۹۳ و ۵۹۳ میلی متر در سناریوی RCP8.5). بیشترین مقدار آب مصرفی برای ارقام مذکور در دیرترین تاریخ کاشت (۴ خرداد) شبیه سازی شد (به ترتیب ۶۲۴، ۶۲۴ و ۶۲۴ میلی متر در سناریوی RCP4.5 و ۶۵۰، ۶۲۱ و ۶۲۱ میلی متر در سناریوی RCP8.5).

نتایج پیش بینی ها نشان داد که نیاز آبی ذرت در دوره تغییر اقلیم دور (۲۰۵۱-۲۰۸۰) نسبت به شرایط مبنا در مقایسه با دوره تغییر اقلیم نزدیک بیشتر تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. در دوره تغییر اقلیم دور میزان آب مصرفی ارقام Simon، SC704 و BC678 نسبت به شرایط مبنا در سناریوی RCP4.5 به ترتیب ۱۰/۵۳، ۷/۶۶ و ۷/۶۶ درصد و در سناریوی RCP8.5 به ترتیب ۱۲، ۹ و ۹ درصد افزایش یافت. مشابه با دوره آینده نزدیک، در دوره آینده دور نیز کمترین و بیشترین نیاز آبی ارقام ذرت به ترتیب با کاشت در تاریخ های ۲۶ فروردین و ۴ خرداد به دست خواهد آمد. در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 بیشترین میزان آب مصرفی در رقم SC704 و دیرترین تاریخ کاشت (۴ خرداد) به ترتیب به میزان ۶۵۸ و ۶۵۷ میلی متر پیش بینی شد. این مقادیر در شکل (۴) نشان داده شده است. به طور کلی نتایج شبیه سازی نشان داد میزان آب مصرفی هر سه رقم، در همه تاریخ های کاشت نسبت به شرایط مبنا در طول دوره رشد ذرت افزایش می یابد.

¹ Boonwichai



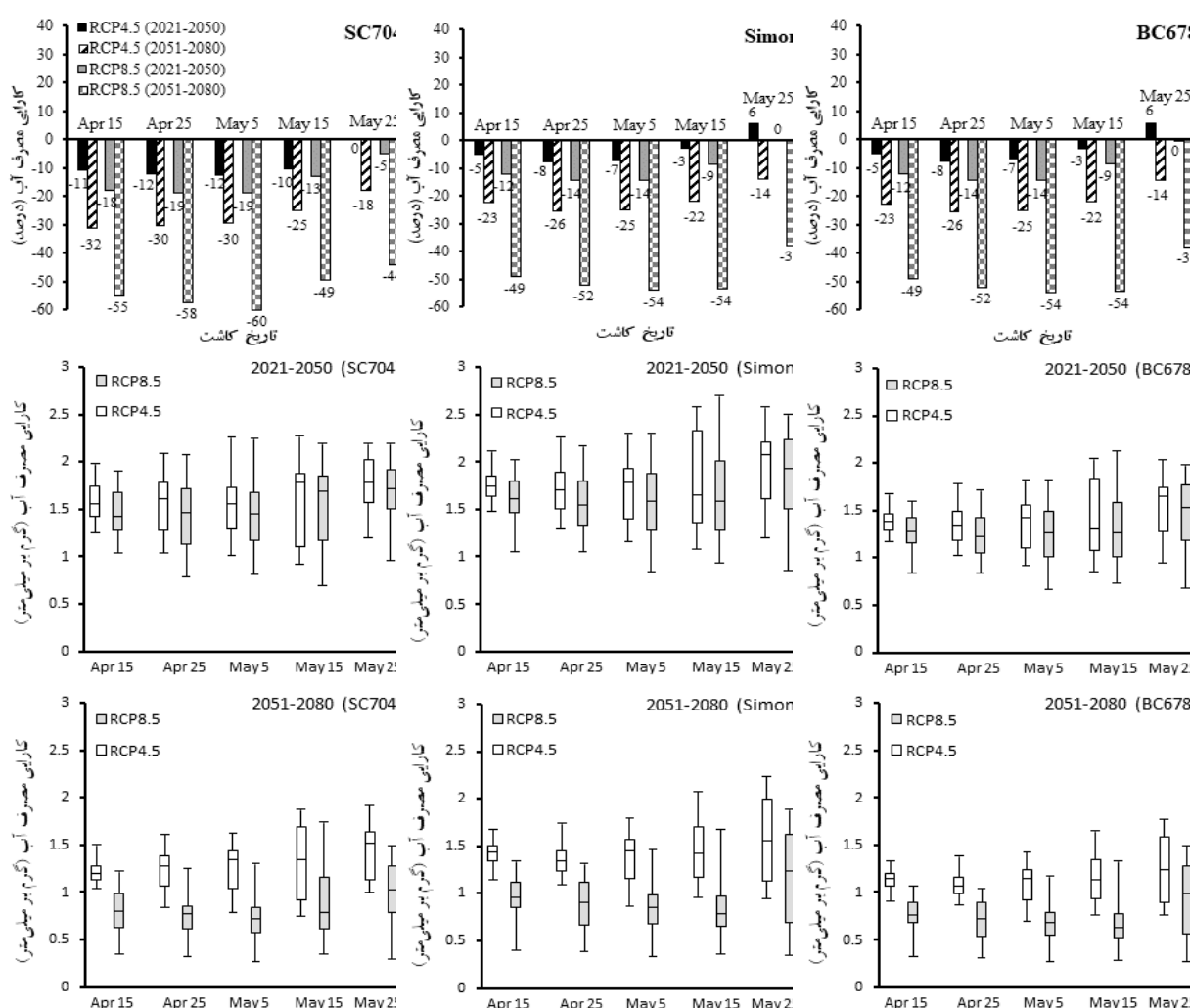
شکل ۴. درصد تغییرات آب مصرفی برای دوره‌های آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰ و ۲۰۵۱-۲۰۸۰) نسبت به دوره مبنا (۲۰۱۰-۱۹۸۱) (ردیف اول). نمودار جعبه‌ای آب مصرفی (ردیف دوم و سوم) - خط افقی وسط هر جعبه میانه (چارک دوم)، مستطیل‌های پایین و بالا به ترتیب چارک‌های اول و سوم، خطوط افقی پایین و بالا در خارج هر جعبه به ترتیب حداقل و حداکثر داده‌ها را نشان می‌دهند.

نتایج همچنین نشان داد که در هر دو سناریو و هر دو دوره اقلیم، تأخیر در کاشت میزان آب مصرفی ذرت را افزایش و تسریع در کاشت میزان آب مصرفی را کاهش خواهد داد. به‌طوری‌که بیشترین میزان آب مصرفی در هر دو سناریو در تاریخ کاشت ۴ خرداد و کمترین میزان آب مصرفی در ۲۶ فروردین شبیه‌سازی شد. به‌عبارت‌دیگر کشت زودتر ذرت میزان آب مصرفی این گیاه را کاهش می‌دهد و تأخیر در کاشت میزان آب مصرفی را افزایش می‌دهد. نیاز آبی ارقام Simon و BC678 در هر دو سناریو و تمام تاریخ‌های کاشت یکسان و کمتر از رقم SC704 بود. با توجه به گزارش پنجم (۲۰۱۴، IPCC) مطابق با پیش‌بینی‌ها میزان دما و دی‌اکسید کربن اتمسفر افزایش می‌یابد که نتیجه این افزایش تغییر در الگوی بارندگی و نیاز آبی محصولات است و تشدید تغییرات آب و هوایی به‌احتمال‌زیاد بر اقتصاد، محیط‌زیست و بخش‌های اجتماعی تأثیر می‌گذارد. ژانگ^۱ و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند نیاز آبی ذرت در دوره آینده (۲۰۸۰-۲۱۰۰) در کشور چین طبق سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به شرایط پایه (۲۰۲۰-۲۰۶۰) به ترتیب ۹/۲۲ و ۲۴/۹۰ درصد افزایش می‌یابد. ژانگ و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش کردند نیاز آبی برنج در سال (۲۰۸۰-۲۱۰۰) در کشور چین طبق سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به شرایط پایه (۲۰۲۰-۲۰۶۰) به ترتیب ۶/۱۲ و ۱۲۶/۳۴ درصد افزایش می‌یابد.

¹ Zhang

کارایی مصرف آب

همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، کارایی مصرف آب برای ارقام Simon، SC704 و BC678 در سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ (شرایط مبنا) به ترتیب ۱/۷۶، ۱/۸۳ و ۱/۴۵ گرم بر میلی‌متر بود. با توجه به شکل ۵ در شرایط تغییر اقلیم دوره آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲۱) کارایی مصرف آب در سناریوی RCP4.5 به ترتیب با ۱۲/۴۰، ۷/۲۸ و ۶/۸۱ درصد کاهش نسبت به شرایط مبنا به ۱/۷۰، ۱/۵۴ و ۱/۳۵ گرم بر میلی‌متر خواهد رسید. در سناریوی RCP8.5 میزان کارایی مصرف آب این ارقام به ترتیب ۱/۴۳، ۱/۵۷ و ۱/۲۴ گرم بر میلی‌متر شبیه‌سازی شد که به ترتیب ۱۸/۶۴، ۱۴/۲۵ و ۱۴/۲۹ درصد نسبت به شرایط مبنا کاهش یافت. در هر دو سناریو بیشترین کارایی مصرف آب برای ارقام موردبررسی در دیرترین تاریخ کاشت (۴ خرداد) و کمترین آن در تاریخ کاشت دوم (۵ اردیبهشت) به دست آمد. همچنین در هر دو سناریو بیشترین میزان کارایی مصرف آب در رقم Simon در تاریخ کاشت ۴ خرداد و کمترین آن در رقم BC678 در تاریخ کاشت ۵ اردیبهشت پیش‌بینی شد.



شکل ۵. درصد تغییرات کارایی مصرف آب برای دوره‌های آینده (۲۰۵۱-۲۰۸۰ و ۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به دوره مبنا (۱۹۸۱-۲۰۱۰) (ردیف اول). نمودار جعبه‌ای کارایی مصرف آب (ردیف دوم و سوم) - خط افقی وسط هر جعبه میانه (چارک دوم)، مستطیل‌های پایین و بالا به ترتیب چارک‌های اول و سوم، خطوط افقی پایین و بالا در خارج هر جعبه به ترتیب حداقل و حداکثر داده‌ها را نشان می‌دهند.

در دوره تغییر اقلیم آینده دور (۲۰۵۱-۲۰۸۰) نیز کارایی مصرف آب ذرت نسبت به شرایط مبنا کاهش یافت. اما این کاهش شدیدتر از دوره تغییر اقلیم آینده نزدیک پیش‌بینی شد. علاوه بر این، با توجه به شکل ۵ میزان کاهش این صفت در شرایط سناریوی RCP8.5 بیشتر از سناریو RCP4.5 بود، به‌طوری‌که کارایی مصرف آب ارقام Simon، SC704 و BC678 نسبت به شرایط مبنا در سناریوی RCP4.5 به ترتیب ۲۹/۵۸، ۲۵/۱۰ و ۲۵ درصد و در سناریوی RCP8.5 به ترتیب ۵۹/۷۴، ۵۴ و ۵۳/۹۷ درصد کاهش نشان داد. مشابه با دوره آینده

نزدیک، در دوره آینده دور نیز بیشترین کارایی مصرف آب ارقام ذرت در هر دو سناریو در رقم Simon با دیرترین تاریخ کاشت (۴ خرداد) شبیه‌سازی شد و کمترین آن در رقم BC678 در تاریخ‌های کاشت ۵ اردیبهشت دست خواهد آمد. به‌طور کلی نتایج شبیه‌سازی نشان داد میزان کارایی مصرف آب ارقام ذرت در تاریخ‌های کاشت موردبررسی در دوره‌های تغییر اقلیم نسبت به شرایط مینا کاهش می‌یابد. در هر دو سناریو و هر دو دوره، تأخیر در کاشت میزان کارایی مصرف آب ذرت را افزایش و کاشت زودهنگام میزان این صفت را کاهش خواهد داد، به‌طوری‌که بیشترین میزان کارایی مصرف آب در هر دو سناریو در تاریخ کاشت ۴ خرداد و کمترین آن در تاریخ ۵ اردیبهشت شبیه‌سازی شد. به‌عبارت‌دیگر کشت زودتر ذرت میزان کارایی مصرف آب این گیاه را کاهش می‌دهد و تأخیر در کاشت میزان کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد. بیشترین و کمترین کارایی مصرف آب به ترتیب در ارقام Simon و BC678 در تاریخ‌های کاشت ۴ خرداد و ۵ اردیبهشت مشاهده شد. در تحقیقات دیگر مشخص شد که بالا رفتن غلظت دی‌اکسید کربن ممکن است کارایی مصرف آب محصولات زراعی را بهبود ببخشد (لاکی^۱ و همکاران، ۲۰۰۹).

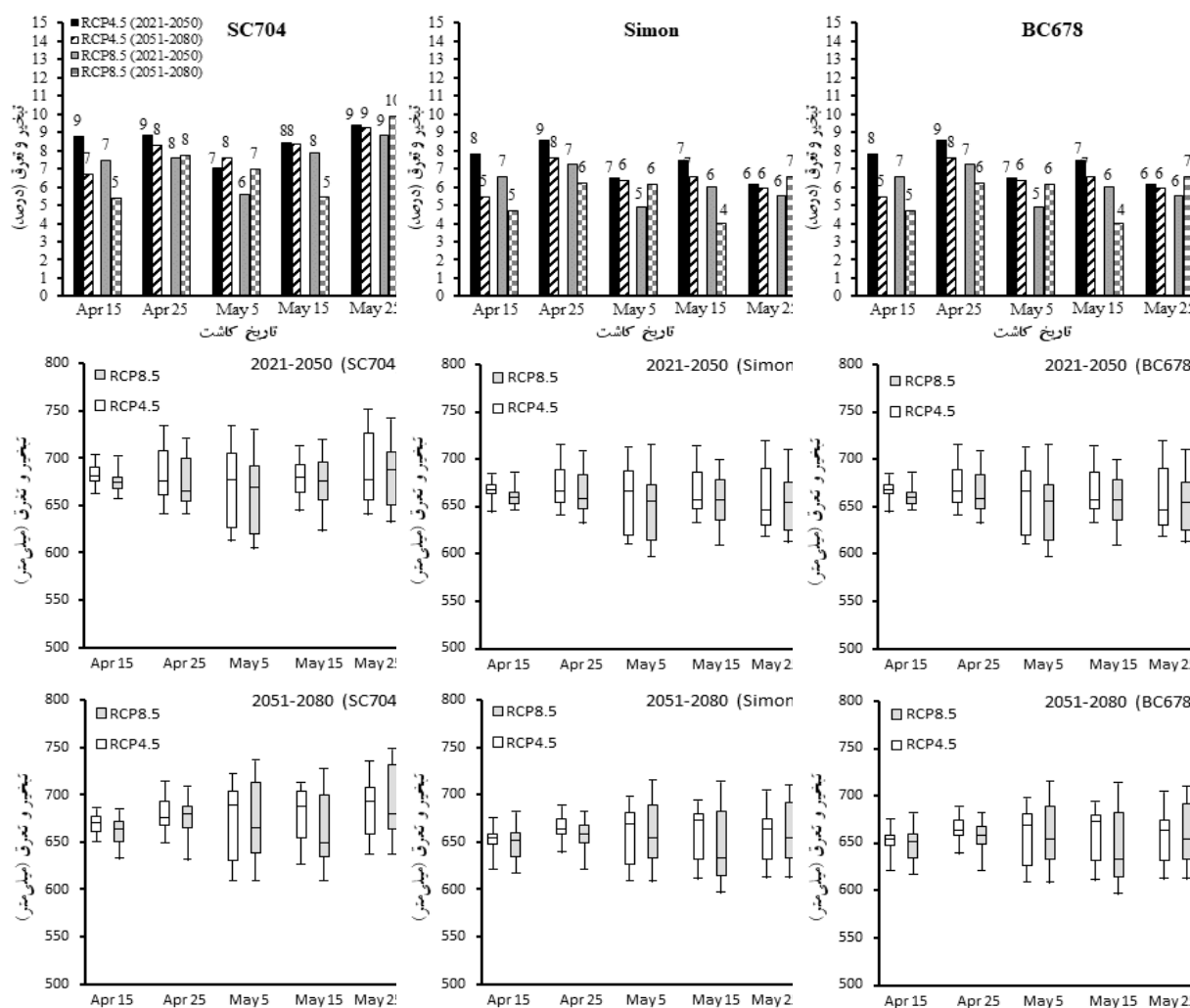
تبخیر و تعرق

همانطور که در جدول (۱) مشاهده شد، مقدار تبخیر و تعرق در شرایط مینا برای ارقام Simon، SC704 و BC678 به ترتیب حدود ۶۲۷، ۶۱۹ و ۶۱۹ میلی‌متر بود، که در شرایط تغییر اقلیم دوره آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲۱) طبق سناریوی RCP4.5، به ترتیب با ۷، ۶/۵۲ و ۶/۵۲ درصد افزایش به ۶۷۱، ۶۵۹ و ۶۵۹ میلی‌متر خواهد رسید. همچنین نتایج نشان داد در صورت وقوع سناریوی RCP8.5 تبخیر و تعرق نسبت به شرایط مینا به ترتیب با ۵/۵۷، ۴/۹۳ و ۴/۹۳ درصد افزایش به ۶۶۲، ۶۴۹ و ۶۴۹ میلی‌متر خواهد رسید. میزان تبخیر و تعرق ارقام Simon و BC678 در هر دو سناریو باهم برابر و کمتر از رقم SC704 بود و در شکل ۶ ارائه‌شده است. نتایج این بررسی همچنین نشان داد که در فاصله سال‌های ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ (دوره آینده دور) برای سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5، میزان تبخیر و تعرق در طول دوره رشد ذرت نسبت به شرایط مینا (۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰) افزایش نشان داد و در شکل ۶(ب) ارائه‌شده است. در سناریوی RCP4.5 مقدار تبخیر و تعرق ارقام Simon، SC704 و BC678 با ۷/۵۶، ۶/۳۱ و ۶/۳۱ درصد افزایش نسبت به شرایط مینا به ۶۷۵، ۶۵۸ و ۶۵۸ میلی‌متر و در سناریوی RCP8.5 به ترتیب با ۶/۹۷، ۶/۱۱ و ۶/۱۱ درصد افزایش به ۶۶۴، ۶۵۱ و ۶۵۱ میلی‌متر رسید. مشابه دوره آینده نزدیک میزان تبخیر و تعرق ارقام Simon و BC678 در هر دو سناریو باهم برابر و کمتر از رقم SC704 بود. به‌طور کلی نتایج شبیه‌سازی نشان داد میزان تبخیر و تعرق هر سه رقم، در همه تاریخ‌های کاشت و هر دو سناریو نسبت به شرایط مینا در طول دوره رشد ذرت افزایش می‌یابد. در هر دو سناریو و هر دو دوره تغییر اقلیم، تأخیر در کاشت مقدار تبخیر از سطح خاک را کاهش و مقدار تعرق گیاه را افزایش داد. مطالعات نشان داده است که در صورت دسترسی بهینه به آب با افزایش دما تبخیر و تعرق افزایش می‌یابد (لانگ^۲ و همکاران، ۲۰۰۶). اسلاما^۳ و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند میزان تبخیر و تعرق در شرایط تغییر اقلیم آینده ۹ تا ۲۹ درصد کاهش می‌یابد که کاهش آن به دلیل کاهش طول دوره رشد ذرت بود.

¹ Leahey

² Long

³ Islama



شکل ۶. درصد تغییرات تبخیر و تعرق برای دوره‌های آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰ و ۲۰۵۱-۲۰۸۰) نسبت به دوره مبنا (۲۰۱۰-۱۹۸۱) (ردیف اول). نمودار جعبه‌ای تبخیر و تعرق (ردیف دوم و سوم) - خط افقی وسط هر جعبه میانه (چارک دوم)، مستطیل‌های پایین و بالا به ترتیب چارک‌های اول و سوم، خطوط افقی پایین و بالا در خارج هر جعبه به ترتیب حداقل و حداکثر داده‌ها را نشان می‌دهند.

بحث

در این پژوهش شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر فاکتورهای محیطی تأثیرگذار بر رشد، تولید و بهره‌وری آب گیاه ذرت در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه طی سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ اجرا شد. فاکتورهای مورد ارزیابی شامل تشعشع روزانه خورشید، درجه حرارت حداقل روزانه، درجه حرارت حداکثر روزانه، میزان آب مصرفی و تبخیر و تعرق طی دوره رشد ذرت بود. به‌منظور شبیه‌سازی ویژگی‌های مورد ارزیابی ذرت از مدل CERES-Maize استفاده شد. اطلاعات روزانه هواشناسی مورد نیاز برای ساخت فایل هواشناسی شهرستان کرمانشاه برای دوره مبنا (۲۰۱۰-۱۹۸۰) از سازمان ملی هواوردی و فضایی آمریکا اخذ شد. اطلاعات هواشناسی دوره‌های آینده نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۵۰) و دور (۲۰۵۰-۲۰۸۰) نیز برای سناریوهای تغییر اقلیم RCP4.5 و RCP8.5 از سایت مارکسیم به دست آمد.

نتیجه‌گیری

نتایج پیش‌بینی‌های مدل‌های گردش عمومی نشان داد که میزان روزانه تشعشع خورشید در شرایط تغییر اقلیم آینده نسبت به شرایط مبنا در طول دوره رشد ذرت افزایش خواهد یافت، به‌گونه‌ای که میزان تشعشع کل دوره رشد ذرت از ۳۴۱۸ مگاژول بر مترمربع در شرایط

مبنا، طبق سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب به ۳۹۸۳ و ۳۹۸۴ مگاژول بر مترمربع در دوره آینده نزدیک و به ۴۰۰۶ و ۴۰۲۳ مگاژول بر مترمربع در دوره آینده دور خواهد رسید. میانگین دمای طول دوره رشد ذرت در شرایط مبنا ۲۲ درجه سانتی‌گراد بود که بر اساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب با حدود ۲/۳ و ۴/۳ درصد افزایش به ۲۲/۴۲ و ۲۲/۷۵ درجه سانتی‌گراد در دوره آینده نزدیک خواهد رسید. میانگین دمای روزانه دوره رشد ذرت در شرایط تغییر اقلیم در دوره آینده دور برای سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 با حدود ۸/۵ و ۱۷/۲ درصد افزایش، ۲۳/۴۳ و ۲۴/۹۱ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شد. در شرایط مبنا صفات آب مصرفی، کارایی مصرف آب و تبخیر و تعرق ارقام ذرت به‌طور میانگین به ترتیب ۵۶۰/۷ میلی‌متر، ۱/۶۸ گرم بر میلی‌متر و ۶۲۱/۷ میلی‌متر بود. صرف‌نظر از تاریخ کاشت و رقم در شرایط تغییر اقلیم آینده نزدیک در سناریوی RCP4.5، صفات مذکور نسبت به شرایط مبنا به ترتیب، ۹/۱، ۵/۴- و ۷/۷ درصد و در سناریوی RCP8.5 به ترتیب، ۹/۲، ۱۱/۶- و ۶/۷ درصد تغییر کرد. این مقادیر در شرایط تغییر اقلیم آینده دور برای سناریوی RCP4.5 به ترتیب، ۹/۷، ۲۳/۷- و ۶/۹ درصد و برای سناریوی RCP8.5 به ترتیب، ۱۰/۱، ۵۰/۷- و ۵/۷ درصد بودند. بنابراین کاهش کارایی مصرف آب در دوره تغییر اقلیم آینده دور شدیدتر از دوره آینده نزدیک و در سناریوی RCP8.5 شدیدتر از سناریوی RCP4.5 بود. مصرف آب و تبخیر و تعرق در شرایط تغییر اقلیم نسبت به شرایط مبنا بیشتر بود. در رابطه با اثر تاریخ کاشت، در هر دو دوره اقلیمی آینده و طبق هر دو سناریو با کاشت ارقام موردبررسی در تاریخ‌های دیر هنگام (۲۵ اردیبهشت و ۴ خرداد) در مقایسه با تاریخ‌های زود هنگام (۲۶ فروردین و ۵ اردیبهشت) و رایج (۱۵ اردیبهشت) کارایی مصرف آب بیشتر بود. در بین ارقام موردبررسی نیز رقم Simon بیشترین کارایی مصرف آب را داشت. در مجموع با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، در صورت وقوع هر یک از سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در دوره‌های آینده نزدیک و دور کاشت رقم Simon در تاریخ‌های دیر هنگام (۲۵ اردیبهشت و ۴ خرداد) که بیشترین عملکرد دانه را با بالاترین کارایی مصرف آب تولید خواهد کرد به‌عنوان راهکار مدیریتی مناسب برای مقابله با اثرات منفی تغییر اقلیم آینده بر تولید ذرت دانه‌ای پیشنهاد می‌گردد.

منابع

- جهانبخش اصل، سعید، خورشید دوست، علی محمد، عالی‌نژاد، محمدحسین، و پوراصغر، فرناز. (۱۳۹۵). تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌ها و سناریوهای اقلیمی (مطالعه موردی: حوضه‌ی شهر چای ارومیه). نشریه هیدروژئومورفولوژی، ۲(۷)، ۱۰۷-۱۲۲. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23833254.1395.3.7.6.2>
- رحیمی‌مقدم، سکینه، عینی نرگسه، حامد، دیهیم فرد، رضا، و حقیقت، مسعود. (۱۳۹۷). شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد دانه ذرت (*Zea mays* L.) در استان کرمانشاه با استفاده از یک مدل فرآیندگرا. مجله علوم زراعی ایران، ۲۰(۴)، ۳۲۸-۳۱۵. <https://sid.ir/paper/375658/fa>
- کرمی، فریبا، خالدی، شهریار، شکیب، علیرضا، براتی، غلامرضا، و باباییان، ایمان. (۱۳۹۷). شبیه‌سازی عملکرد دانه ذرت بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم در استان فارس. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۷(۴۷)، ۹۳-۷۷. <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-2938-fa.html>
- مرادی، روح‌اله، کوچکی، علیرضا، و نصیری محلاتی، مهدی. (۱۳۹۲). تأثیر تغییر اقلیم بر تولید ذرت و ارزیابی تغییر تاریخ کاشت به‌عنوان راهکار سازگاری در شرایط آب و هوایی مشهد، دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۳(۴)، ۱۳۰-۱۱۱. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_786_f0811ad6bcc19f78b259bf30a3431687.pdf
- مندنی، فرزاد. (۱۳۹۶). شبیه‌سازی اثر کود نیتروژن بر تولید ذرت (*Zea mays*) توسط مدل CERES-Maize تحت شرایط اقلیمی کرمانشاه. مجله آب و خاک، ۳۱، ۱۶۷۸-۱۶۶۵. <https://10.22067/jsw.v31i6.61895>
- مندنی، فرزاد، کرمی، پریرسا، و قبادی، روژین. (۱۴۰۰). شبیه‌سازی تأثیر رژیم‌های رطوبتی بر رشد و عملکرد ذرت (*Zea mays*) در منطقه کرمانشاه توسط مدل CERES-Maize. تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک، ۳(۱)، ۵۶-۳۹. <https://10.22034/csrar.2021.280069.1091>

References

- Amouzou, K. A. Lamers, J. P., Naab, J. B. Borgemeister, C., Vlek, P., & Land Becker, M. (2019). Climate change impact on water-and nitrogen-use efficiencies and yields of maize and sorghum in the northern Benin dry savanna, West Africa. *Field Crops Research*, 235, 104-117. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.02.021>

- Boonwichai, S., Shrestha, S., Babel, M. S., Weesakul, S., & Datta, A. (2018). Climate change impacts on irrigation water requirement, crop water productivity and rice yield in the Songkhram River Basin, Thailand. *Journal of cleaner production*, 198, 1157-1164. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.146>
- Dias, M. P. N. M., Navaratne, C. M., Weerasinghe, K. D. N., & Hettiarachchi, R. H. A. N. (2016). Application of DSSAT crop simulation model to identify the changes of rice growth and yield in Nilwala river basin for mid-centuries under changing climatic conditions. *Procedia food science*, 6, 159-163. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2016.02.039>
- Hoogenboom, G. Jones, J.W. Wilkens, P.W. Porter, C.H. Boote, K.J. Hunt, L.A. Singh, U., Lizaso, J.L. White, J.W. Uryasev, O. Ogoshi, R. Koo, J. Shelia, V. & Tsuji, G.Y. (2015). Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.6 (www.DSSAT.net). DSSAT Foundation, Prosser, Washington. <https://www.scienceopen.com/document?vid=e47eace4-48b7-424f-ae93-fb7727d30e24>
- Huang, Y., Yu, Y., Zhang, W., Sun, W., Liu, S., Jiang, J., Wu, J., Yu, W., & Yang, Z. (2009). Agro-C: A biogeophysical model for simulating the carbon budget of agroecosystems. *Agri. Forest. Meteorol*, 149, 106-129. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.07.013>
- Hulme, M., Barrow, E. M., Arnell, N. W., Harisson, P. A., Jones, T. C., & Dowing, T. E. (1999). Relative impacts of human-induced climate change and natural climate variability. *Nature*, 397, 688-691. <https://doi.org/10.1038/17789>
- Leakey, A. D. B. (2009). Rising atmospheric carbon dioxide concentration and the future of C4 crops for food and fuel. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276, 2333-2343. <https://doi.org/10.1098/rspb.2008.1517>
- Long, S. P., Ainsworth, E. A., Leakey, A. D. B., Nösberger, J. & Ort, D. R. (2006). Food for thought: lower-than-expected crop yield stimulation with rising CO2 concentrations. *Science*, 312, 1918-1921. [https:// DOI: 10.1126/science.1114722](https://doi.org/10.1126/science.1114722)
- Islama, A., Ahuja, R. L., Garcias, L. A., Ma, L., Saseendran, A. S., & Trout, T. J. (2012). Modeling the impacts of climate change on irrigated maize production in the Central Great Plains. *Agricultural Water Management*, 110, 9-108. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.04.004>
- Jahanbakhsh Asl, S., Khorshiddoust, A. M., Alinejad, M. H., & Pourasghar, F. (2016). Impact of climate change on precipitation and temperature by taking the uncertainty of models and climate scenarios (Case Study: Shahrchay Basin in Urmia). *Hydrogeomorphology*, 3(7), 107-122. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23833254.1395.3.7.6.2> [In Persian]
- Karami, F., Khaledi, Sh., Shakiba, A. R. Barati, Gh., & Babaeian, I. (2017). Simulation yield of maize based on scenarios of climate change in Fars province. *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 17(47), 77-93. <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-2938-fa.html> [In Persian]
- Khabba, S., Ledent, J. F., & Lahrouni, A. (2001). Maize ear temperature. *European Journal of Agronomy*, 14, 197-208. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(00\)00095-2](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00095-2)
- Liu, Z., Hubbard, K. G., Lin, X., & Yang, X. (2013). Negative effects of climate warming on maize yield are reversed by the changing of sowing date and cultivar selection in Northeast China. *Global change biology*, 19(11), 3481-3492. <https://doi.org/10.1111/gcb.12324>
- Mondani, F. (2018). Simulation of Nitrogen Fertilizer Effect on Maize (Zea mays) Production by CERES-Maize Model under Kermanshah Climate Condition. *Water and Soil*, 31(6), 1665-1678. <https://doi.org/10.22067/jsw.v31i6.61895>
- Mondani, F., Karami, P., & Ghobadi, R. (2021). Simulation of moisture regimes effect on maize (Zea mays) growth and yield in Kermanshah region by CERES-Maize model. *Crop Science Research in Arid Regions*, 3(1), 39-56. <https://doi.org/10.22034/csrar.2021.280069.1091>
- Moradi, R., Koocheki, A. L., & Nassiri Mahallati, M. (2014). Effect of Climate Change on Maize Production and Shifting of Planting Date as Adaptation Strategy in Mashhad. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 23(4), 111-130. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_786_f0811ad6bcc19f78b259bf30a3431687.pdf [In Persian]

- Morison, J. I. L., & Morecroft, M. D. (2006). *Plant Growth and Climate Change*. Blackwell Publisher, Oxford, England. <https://doi.org/10.1002/97804709888695>
- Ozkan, B., & Akcaoz, H. (2002). Impacts of climate factors on yields for selected crops in southern Turkey. *Mitig Adapt Strat Glob Change*, 7, 367-380. <https://doi.org/10.1023/A:1024792318063>
- Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J., & Deihimfard, R., (2018). Adaptation strategies to lessen negative impact of climate change on grain maize under hot climatic conditions: A model-based assessment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 253, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.01.032> [In Persian]
- Rahimi-Moghaddam, S., Eyni Nargeseh, H., Deihimfard, R., & Haghighat, M. (2019). Simulating climate change effect on maize (*Zea mays* L.) grain yield in Kermanshah province using a process-based simulation model. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 20(4), 315-328. <https://sid.ir/paper/375658/fa>
- Ranuzzi, A., & Srivastava, R. (2012). Impact of Climate Change on Agriculture and Food Security. ICRIER Policy Series, no. 16. https://www.icrier.org/pdf/Policy_Series_No_16.pdf
- Rosenzweig, C., & Tubiello, F. N. (2007). Adaptation and mitigation strategies in agriculture: an analysis of potential synergies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12, 855-873. <https://DOI: 10.1007/s11027-007-9103-8>
- Saunders, M. A. (1999). Earth's future climate. *Philos. The Royal Society*, 357, 3459- 3480. https://www.tropicalstormrisk.com/docs/Saunders_1999paper.pdf
- Srivastava, A. K., Mboh, C. M., Zhao, G., Gaiser, T., & Ewert, F. (2018). Climate change impact under alternate realizations of climate scenarios on maize yield and biomass in Ghana. *Agricultural systems*, 159, 157-174. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.03.011>
- Smit, B., & Skinner, M. W. (2002). Adaptation options in agriculture to climate change: a typology. *Mitig Adapt Strat Glob Change*, 7, 85-114. <https://doi.org/10.1023/A:1015862228270>
- Tingem, M., & Rivington, M. (2009). Adaptation for crop agriculture to climate change in Cameroon: Turning on the heat. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 14, 153-168. <https://doi.org/10.1007/s11027-008-9156-3>
- Trnka, M., Dubrovsky, M., & Ekzalud, Z. (2004). Climate change impacts and adaptation strategies in spring barley production in the Czech Republic. *Climatic Change*, 64, 227-255. <https://doi.org/10.1023/B:CLIM.0000024675.39030.96>
- Tubiello, F. N., Jagtap, S., Rosenzweig, C., Goldberg, R., & Jones, J. W. (2002). Effects of climate change on US crop production from the National Assessment. Simulation results using two different GCM scenarios. Part I: Wheat, Potato, Corn, and Citrus. *Climate research*, 20, 259-270. <https://doi.org/10.3354/cr020259>
- Zhang, Y., Wang, Y., & Niu, H. (2019). Effects of temperature, precipitation and carbon dioxide concentrations on the requirements for crop irrigation water in China under future climate scenarios. *Science of The Total Environment*, 656, 373-387. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.362>