نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۸، خرداد - تیر ۱۴۰۳، ص. ۲۳۵-۲۲۷

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.2, Vol. 18, Jun.-Jul. 2024, p. 227-235

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی سناریوهای تغییر اقلیم و تغییر تاریخ کشت بر بهره‌وری آب ذرت در شهرستان گرگان

پژمان سالاریه[۱]، مجتبی خوش روش*[۲]، رضا نوروز ولاشدی[۳]، علی‌رضا کیانی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۴

چکیده

با توجه به مقدار سطح بالای کشت ذرت در ایران، هرگونه اقدام جهت افزایش بهره‌وری مصرف آب، سبب کاهش میزان آب مصرفی و همچنین افزایش امنیت غذایی در کشور می‌گردد. یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر رشد و عملکرد محصول اثرات تغییر اقلیم است. پژوهش حاضر با هدف اثر تغییر اقلیم و تغییر تاریخ کشت بر بهره‌وری آب گیاه ذرت در شهرستان گرگان می‌باشد. همچنین بر اساس تیمارهای مختلف آبیاری و تاریخ‌های مختلف کشت، بهره‌وری آب گیاه ذرت با استفاده از مدل WOFOST برای شرایط آینده شبیه‌سازی شد. تیمارهای آبیاری شامل ۱۰۰ درصد (T_1)، ۷۵ درصد (T_2) و ۵۰ درصد (T_3) آب مورد نیاز گیاه بودند. بنابراین با کمک مدل آماری SDSM و مدل گردش عمومی جو HadCM3 برای تمام سناریوهای گزارش پنجم ریزمقیاس‌نمایی در دو دوره سی‌ساله ۲۰۵۰-۲۰۲۰ و ۲۰۸۰-۲۰۵۰ انجام شد. نتایج نشان داد که با تنش بیشتر آبیاری، خطای شبیه‌سازی بهره‌وری آب آبیاری افزایش یافت ولی روند منظمی در این مورد وجود نداشت. در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰ بیش‌ترین بهره‌وری آب آبیاری در تیمار T_3 در تاریخ ۲ تیر به مقدار ۴ کیلوگرم بر مترمکعب پیش‌بینی شد که نسبت به دوره پایه ۹/۱ درصد کاهش دارد. در این دوره کم‌ترین بهره‌وری آب آبیاری در تیمار T_1 در تاریخ ۱۲ خرداد به مقدار ۲/۷ کیلوگرم بر مترمکعب پیش‌بینی شد که نسبت به دوره پایه ۳/۵۷ درصد کاهش دارد. بر اساس نتایج شبیه‌سازی شده، بهترین زمان کاشت ذرت در شهرستان گرگان در تاریخ ۲ تیر است. با اعتبارسنجی مناسب تاریخ کاشت، می‌توان مدیریت مناسبی برای تطبیق با اثرات منفی تغییرات اقلیم در بهره‌وری آب ذرت اجرا کرد. انتخاب بهترین زمان کاشت با مدیریت مناسب، یک راهکار کارآمد در شهرستان گرگان است تا از کاهش عملکرد به دلیل انتخاب نادرست تاریخ کاشت جلوگیری شود.

واژه‌های کلیدی: امنیت غذایی، مدل WOFOST، مدیریت کشت، مدل HadCM3

مقدمه *

بحران غذا و امنیت غذایی یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های کشورهای جهان است و رابطه مستقیم و انکارناپذیری با میزان توسعه‌یافتگی دارد. به دلیل کمبود منابع آبی در کشورهای درحال‌توسعه که کشاورزی بنیاد اساسی اقتصاد آن‌ها را تشکیل می‌دهد، استفاده بهینه، صرفه‌جویی و راندمان بالا از این منابع اجتناب ناپذیرمی‌شود (روستایی و همکاران، ۱۳۹۱). طبق آمارهای وزارت کشاورزی گیاه ذرت بعد از گندم و برنج بیشترین مصرف را در جهان دارا است. کشورهای چین، آمریکا و برزیل جز کشورهای پیشرو و تاثیرگذار در تولید گیاه ذرت در جهان هستند. در ایران حدود ۳۵ درصد از تولید غله کشور در چهار استان خوزستان، گلستان، فارس و کرمانشاه تولید می‌شود و پیش‌بینی سطح زیر کشت ذرت در ایران ۴۱۵۰۰۰ هکتار است. با توجه به مقدار سطح زیر کشت ذرت، هرگونه اقدام جهت افزایش بهره‌وری مصرف آب، سبب کاهش میزان آب مصرفی و همچنین افزایش امنیت غذایی در کشور می‌گردد.

یکی از عوامل حیاتی بر رشد و عملکرد محصولات، تاثیرات تغییرات اقلیم است. تغییر اقلیم ناشی از تغییرات بلندمدت در شرایط جوی یک منطقه به دلیل تغییر غلظت گازهای گلخانه‌ای است. این پدیده با اثرات منفی خود همراه است، اما با درک دقیق این اثرات، می‌توان آنها را به چالش‌ها و فرصت‌ها تبدیل کرد. به گزارش هیئت بین‌المللی تغییرات اقلیم، بیشترین افزایش دما در سطح زمین از اواخر

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۳- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۴- استاد پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، گرگان، ایران
(*نویسنده مسئول: Email: m.khoshravesh@sanru.ac.ir)

قرن بیستم (از سال ۱۹۱۰ تا ۱۹۴۵) و از دهه ۷۰ میلادی تا اوایل دهه ۲۱ میلادی اتفاق افتاده است (Sarafrouzeh et al., 2014). همچنین پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۱۰۰ بر اثر پدیده تغییر اقلیم، دمای جهانی به‌طور متوسط ۱/۱ تا ۶/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد (IPCC, 2014). با توجه به اینکه بررسی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد محصول بسیار پرهزینه است، بنابراین می‌توان از مدل‌های گیاهی برای این منظور استفاده کرد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۴). مدل های گیاهی زیادی برای بررسی پدیده تغییر اقلیم وجود دارد. به‌عنوان مثال می‌توان به مدل WOFOST اشاره کرد. مدل WOFOST به دلیل دقت بالا در اثر پارامترهای ورودی بیشتر و قابلیت تلفیق با سامانه اطلاعات جغرافیایی، ابزاری مناسب برای تحلیل و ارزیابی سامانه‌های مزرعه است. مدل WOFOST یک مدل عمومی و دینامیکی برای شبیه‌سازی رشد گیاهان است که برای استفاده از مدل نیاز به استفاده از داده‌های به‌روز اقلیمی، گیاهی و خصوصیات خاک است. این مدل در دانشگاه واخینگن هلند طراحی و برای اولین بار در سه کشور آفریقایی غنا، کنیا، بورکینافاسو انجام شد.

احمدی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی در دشت قزوین سه گیاه ذرت، گندم و جو را با استفاده از مدل WOFOST شبیه‌سازی کردند. در این پژوهش با توجه به نتایج گسترش برگ، جذب نور و پارامترهای فنولوژیکی طول تاریخ گلدهی ذرت با دقت ۰ تا ۴ روز، برای گندم با دقت ۱ تا ۷ روز و برای جو با دقت ۵ تا ۷ روز شبیه‌سازی شد. بالاترین کارایی مدل عملکرد بیولوژیکی ۸۲ درصد بود. در نهایت پس از شبیه‌سازی نیاز آبی گندم، جو و ذرت به ترتیب ۵۲۳، ۷۸۱ و ۴۳۹ میلی‌متر به‌دست آمد. کوچکی و نصیری (۱۳۹۵) در بررسی عملکرد و طول دوره نموی چهار گیاه زراعی در شرایط تغییر اقلیم اظهار داشتند که افزایش دمای طول دوره رشدی ذرت تا حد ۱/۶ درجه سانتی‌گراد تاثیری بر عملکرد ذرت نداشته است. اما چنانچه افزایش دما بیش از مقدار فوق باشد به ازای هر یک درجه افزایش دما، ۱۶/۸ درصد از عملکرد دانه ذرت کاسته می‌شود. در چنین شرایطی طول دوره رشد و طول دوره پر شدن دانه ذرت به ترتیب ۱۵/۷ و ۱۸ درصد کاهش یافت.

مرادی و همکاران (۱۳۹۲) مدل CERES-Maize را برای شبیه-سازی مراحل فنولوژیک، عملکرد دانه، زیست‌توده و شاخص سطح برگ اجرا نمودند و اظهار داشتند که کاهش طول دوره کاشت تا گلدهی و هچنین طول دوره رسیدگی ذرت در مشهد در شرایط تغییر اقلیم موجب کاهش عملکرد دانه به میزان ۱۱ تا ۳۸ درصد شده است. اسماعیلیان و همکاران (۱۳۹۷) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان گناباد با اقلیم گرم و خشک، مدل WOFOST را برای شبیه‌سازی سه رقم ذرت DC 370، ZP 677 و SC 740 تحت سه حالت عدم تنش، تنش ملایم و تنش شدید مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین R^2 به اندازه ۹۳ درصد از رقم ZP 677 به دست آمد.

ابراهیمی پاک و همکاران (۱۳۹۸) به منظور ارزیابی سه مدل گیاهی AquaCrop، WOFOST و CropSyst آزمایشی در ایستگاه تحقیقاتی علی‌آباد گلستان انجام دادند. از دوازده تیمار کم‌آبیاری T_1 تا T_{12}و آبیاری کامل (F_I) در دوره‌های مختلف رشد ذرت استفاده شد. نتایج نشان داد که هر سه مدل گیاهی نسبت به تغییرات اکثر پارامترهای ورودی حساسیت متوسط داشتند و تنها مدل AquaCrop نسبت به تغییرات پارامتر ضریب گیاهی برای تعرق حساسیت بالا نشان داد. متوسط اختلاف مقادیر عملکرد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با مدل‌هایAquaCrop، WOFOST و CropSyst به‌ترتیب برابر با ۱۰/۲، ۱۲/۱ و ۱۲/۶ درصد بود. نتایج آماره RMSE عملکرد رشد برای مدل‌های AquaCrop، WOFOST وCropSyst به‌ترتیب برابر با ۰/۲۱۶، ۰/۲۸۶ و ۰/۳۲۲ تن بر هکتار بود. نتایج این آمار برای شبیه‌سازی پارامتر زیست‌توده توسط مدل‌هایAquaCrop ، WOFOSTو CropSyst به ترتیب برابر با ۰/۲۲۳، ۰/۴۱۸ و ۰/۴۴۶ تن در هکتار بود. نتایج EF نیز نشان داد که مدل AquaCrop بهترین کارایی را در تعیین عملکرد (۰/۵۷) و زیست‌توده (۰/۹۱) داشت. ژانگ و همکاران به بررسی حساسیت رواناب به تغییر درجه حرارت متوسط جهانی پرداختند. به این منظور آن‌ها از خروجی مدل‌های CMIP5 و مقایسه با مدل‌های CMIP3 استفاده کردند. داده‌های بارش ماهانه، دما و خروجی رواناب از آرشیو داده‌های آب و هوایی CMIP5 استخراج شد و از خروجی ۳۴ مدل GCM برای چهار سناریوی RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 که در ابعاد۰/۵در ۰/۵درجه شبکه‌بندی شده‌اند، استفاده شد. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که میانگین رواناب جهانی، به ازای هر درجه سلسیوس افزایش درجه حرارت متوسط جهانی، ۲/۶ درصد افزایش خواهد داشت، درحالی که نتایج برای مدل‌های CMIP3، ۱/۹درصد افزایش را نشان می‌دهند (Zhang et al., 2014). امیری و همکاران مدل WOFOST را در شرایط تولید پتانسیل، کمبود آب و کمبود مواد غذایی شبیه‌سازی کردند. برای ارزیابی این مدل، پژوهشی در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات برنج رشت، در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۶ مدیریت آبیاری به عنوان تیمار و در سه تکرار بر روی رقم هاشمی اجرا شد. مدیریت‌ها شامل غرقاب دائم، آبیاری پس از ۱، ۳ و ۵ روز محو شدن آب از سطح زمین و آبیاری با دورهای ۵ و ۸ روز بود. نتایج نشان داد که مدل WOFOST با دقت بالایی توانست شبیه‌سازی رشد گیاه را انجام دهد . (Amiri et al., 2011). در تحقیق انجام شده توسط اگدرنژاد و همکاران، دو مدل AquaCrop و WOFOSTبرای مدل‌سازی عملکرد گیاه ذرت تحت مدیریت‌های مختلف آب مصرفی (۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر) در شهرستان اهواز به کار گرفته شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که معیار RMSE برای عملکرد دانه ذرت به ترتیب برای مدل‌های AquaCrop و

WOFOSTبه میزان ۰/۱۶ و ۰/۱۵ تن در هکتار بود و برای زیست توده به‌ترتیب برابر با ۰/۹۲ و ۰/۸۸ تن در هکتار بود. به‌طور کلی، مدل WOFOST نسبت به مدل AquaCrop دقت بیشتری از خود نشان داد (Egdernezhad et al., 2018).

در مطالعه دیگری توسط رحیمی مقدم و همکاران گزارش شد که عملکرد میانگین دانه ذرت در استان کرمانشاه در سال ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه تحت RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۶۰/۸۲٪ و ۸۰/۷۳٪ کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد متوسط در شرایط تغییر اقلیم در یک تاریخ کاشت زودهنگام (۱۶ فروردین) با ۷۰۷۱ و ۴۷۴۳ کیلوگرم بر هکتار به ترتیب در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به‌دست آمد. همچنین در دوره آینده، میانگین طول دوره رشد، رشد رویشی و رشد زایشی به ترتیب ۴/۷، ۴ و ۱/۷ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین وزن متوسط دانه در استان کرمانشاه نیز در دوره آینده به‌طور میانگین با کاهش ۳۱/۸٪ و ۵۹/۳٪ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 مواجه خواهد شد (Rahimi-Moghaddam et al., 2019). از آنجا که زمان کاشت گیاه ذرت با توجه به اثرات اقلیمی آینده تأثیر مهمی بر عملکرد و بهره‌وری آب دارد، این پژوهش به منظور مدل‌سازی بهره‌وری آب با استفاده از مدل WOFOSTبرای سال‌های آینده انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در مزرعه تحقیقاتی واقع در استان گلستان با موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و ۵۴ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی انجام شد. مزرعه دارای میانگین بارندگی سالانه ۵۲۷/۴ میلی‌متر و دمای روزانه با میانگین حداکثر و حداقل به ترتیب ۳۲/۵ و ۱۳/۳ درجه سانتی‌گراد بود. منطقه فوق بر اساس روش کوپن دارای آب و هوای معتدل و مرطوب با دمای حداقل ۱۰- درجه سانتی‌گراد در دی ماه و حداکثر ۴۵ درجه سانتی‌گراد در مرداد ماه و میانگین بارش سالیانه ۵۲۷/۴ میلی‌متر است.

داده‌های مورد استفاده

آزمایش در کرت‌هایی به ابعاد ۳ در ۲۰ متر با سه تکرار با کشت گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ دیر رس انجام شد. تاریخ کاشت ذرت در سال اول و دوم زراعی به‌ترتیب ۱۳۹۱/۴/۱۱ و ۱۳۹۲/۴/۱۳ و تاریخ برداشت نیز به‌ترتیب ۱۳۹۱/۸/۳ و ۱۳۹۲/۸/۱۸ بود. نحوه آبیاری گیاه ذرت با سیستم قطره‌ای- نواری بود. به این صورت که یک لوله اصلی در جهت طولی زمین و کنار مزرعه قرار داشت و به فواصل ۲۰ متر در یک انشعاب فرعی برای هر یک از تکرارها بود. روی نوارهای تیپ در هر ۲۰ سانتی‌متر یک روزنه خروج آب با دبی ۲ لیتر در ساعت قرار داشت. برای بدست آوردن مقدار نیاز آبیاری از رطوبت خاک به صورت وزنی استفاده شد. تیمارهای مورد مطالعه در طرح آزمایشی در جدول ۱ ارائه شده است.

عمق آب آبیاری مزرعه آزمایشی بر اساس اندازه‌گیری رطوبت خاک و محاسبه کمبود رطوبت خاک در تیمار بدون تنش (T1) در بازه زمانی ۷ روزه که تخلیه رطوبت خاک به ۵۰ درصد آب قابل دسترس می‌رسید برآورد شد (سالاریه و همکاران، ۱۴۰۰؛ Pourgholam-Amiji et al., 2020).

جدول ۱- تیمارهای مورد مطالعه در طرح آزمایشی و مقدار آب دریافتی

تیمار	سال اول کشت	سال دوم کشت
T_1	۱۰۰ درصدآب مورد نیاز گیاه (۲۸۴ میلی‌متر)	۱۰۰ درصد آب مورد نیاز (۳۸۵ میلی‌متر)
T_2	۷۵ درصد آب مورد نیاز گیاه (۲۱۳ میلی‌متر)	۷۵ درصد آب مورد نیاز (۲۸۹ میلی‌متر)
T_3	۵۰ درصد آب مورد نیاز گیاه (۱۴۶ میلی‌متر)	۵۰ درصد آب مورد نیاز (۱۹۳ میلی‌متر)

مدل‌های اقلیمی

اطلاعات اقلیمی از ایستگاه هواشناسی هاشم‌آباد در مجاورت ایستگاه تحقیقاتی کشاورزی شهرستان گرگان برای دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۰ جمع‌آوری شد. عملکرد محصول ذرت بر اساس پارامترهایی از جمله دما، بارش، رطوبت نسبی و دیگر عوامل شبیه‌سازی شد. مدل HadCM3 از مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی- اقیانوسی است که توسط گوردن و همکاران و پوپ و همکاران در سال ۲۰۰۰ توسعه یافته است. این مدل دارای توانایی تفکیک افقی ۲/۵ در ۳/۷۵ درجه در عرض و طول جغرافیایی است. تعداد لایه‌های این مدل در راستای جو ۱۹ و در عمق خاک ۴ لایه است. گام زمانی مدل ۳۰ دقیقه است. مدل اقیانوسی HadCM3 دارای ۲۰ لایه با توانایی تفکیک افقی ۱/۲۵ درجه در ۱/۲۵ درجه است. بنابراین، برای هر نقطه شبکه‌ای در مدل جوی، شش نقطه در مدل اقیانوسی وجود دارد. برای شبیه‌سازی دقیق‌تر با شرایط واقعی محل مطالعه و نیز برای همخوانی بیشتر با داده‌های پیش‌بینی‌شده، داده‌ها نیازمند ریزمقیاس‌نمایی هستند. این ریزمقیاس‌نمایی می‌تواند به صورت دینامیکی یا آماری انجام شود. روش SDSM یکی از روش‌های آماری است که به دلیل سادگی، سهولت و اقتصادی بودن مورد توجه

قرار گرفته است. این روش امکان محاسبات ساده، تولید انواع متغیرها، تولید داده‌های اقلیمی در مقیاس ایستگاه، و ارزیابی انواع سناریوهای اقلیمی و تجزیه و تحلیل عدم قطعیت آن‌ها را فراهم می‌کند (خوش روش و نوروز ولاشدی، ۱۳۹۹).

مدل گیاهی

در این پژوهش مدل گیاهی WOFOST برای شبیه‌سازی و تخمین عملکرد گیاه ذرت مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های موردنیاز این مدل شامل خصوصیات فیزیکی خاک، پارامترهای گیاهی و مقادیر آب و هواشناسی است (Shafiei et al., 2018). این مدل به وسیله محاسبه عوامل موثر بر فرایندهای رشد فنولوژیکی گیاه از جذب CO_2، تعرق، تنفس، تقسیم کربوهیدرات به اندام‌های مختلف، تولید ماده خشک و نیز شکل‌گیری و رشد گیاه از زمان جوانه‌زنی تا رسیدن به مرحله محصول، با توجه به شرایط محیطی و ژنتیکی گیاه امکان‌پذیر است. همچنین، این مدل قادر به شبیه‌سازی میزان جذب CO_2 ناخالص از یک گیاه است که بر اساس تابش فعال فتوسنتزی جذب‌شده توسط گیاه محاسبه می‌شود. برای واسنجی مدل از فاکتورهای اندازه‌گیری شده خصوصیات فیزیکی خاک، فاکتورهای گیاهی و دادهای مشاهداتی فنولوژیکی استفاده شد. در این پژوهش برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل به‌ترتیب از داده‌های سال ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ استفاده شد.

پس از پردازش اولیه داده‌ها، بهره‌وری آب گیاه ذرت برای تاریخ‌های مختلف کشت در شرایط کم آبیاری در دوره‌های آتی شبیه-سازی شد. پیش‌بینی بهره‌وری آب ناشی از تغییرات اقلیمی در تاریخ‌های مختلف کشت مورد بررسی قرار گرفت و تاریخی که بیشترین بهره‌وری آب را دارد با بهره‌وری آب در شرایط گذشته مقایسه شد. برای تطابق مقادیر واقعی و شبیه‌سازی مدل‌های WOFOST و SDSM از آزمون t جفت نشده استفاده شد. در این آزمون، دو فرض صفر و یک در نظر گرفته شد. اگر فرض صفر پذیرفته شد، به این معناست که تفاوت معناداری بین داده‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی وجود ندارد، و اگر فرض یک پذیرفته شد، نشان‌دهنده تفاوت معنادار بین داده‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی است.

نتایج و بحث

نتایج آزمون t برای متغیرهای دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش آورده شده است. ارزیابی مدل SDSM نشان می‌دهد که دقت شبیه‌سازی برای پارامترهای حداقل دما و حداکثر دما بسیار بالاست، در حالی که در مورد پارامتر بارش، خطای بیشتری در شبیه‌سازی وجود دارد اما قابل قبول است (سالاریه و همکاران، ۱۴۰۰). نتایج این بخش از پژوهش با یافته‌های رسولی و همکاران (۱۳۹۵) هماهنگ است.

از اطلاعات دو ساله مزرعه مورد مطالعه، داده‌های لازم برای ارزیابی مدل WOFOST به دست آمد. در این پژوهش، واسنجی و اعتبارسنجی مدل در دو مرحله انجام شد. ابتدا، با انجام واسنجی فنولوژیکی، عملکرد شبیه‌سازی مدل بهبود یافت. این به معنای آن است که مدل باید ابتدا مراحل رشد گیاه (از جمله جوانه‌زنی، گلدهی و بلوغ) را به درستی و با دقت بالا شبیه‌سازی کند، به نحوی که تفاوت چشمگیری بین تاریخ‌های برداشت در مزرعه و تاریخ‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل وجود نداشته باشد. در ادامه، واسنجی فیزیولوژیکی مدل انجام شد. بنابراین، مرحله اول واسنجی فنولوژیکی گیاه بود که براساس تاریخ‌های فنولوژیکی مزرعه انجام گرفت. سپس، برای اعتبارسنجی مدل واسنجی شده، از داده‌های فنولوژیکی استفاده شد. شبیه‌سازی در این پژوهش از مرحله جوانه‌زنی شروع شد و برای واسنجی فنولوژیکی از تاریخ‌های گلدهی و رسیدن بهره گرفته شد. مرحله دوم، واسنجی فیزیولوژیکی بود. واسنجی مدل بر اساس مشاهدات میدانی انجام شد، که بر اساس مراحل نمونه‌برداری و عملکرد نهایی مزرعه اجرا شد. در نهایت، میزان خطای شبیه‌سازی مدل با استفاده از روابط موجود تخمین زده شد. جدول ۲ پارامترهای اعتبارسنجی شده مدل WOFOST برای گیاه ذرت در شرایط مختلف آبیاری را نشان می‌دهد که پس از وارد کردن تمامی اطلاعات موردنیاز، مدل WOFOST اجرا شد.

بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش در سه تیمار T_1، T_2، T_3 بررسی شد و در جدول‌های ۳ و ۴ آمده است. با توجه به جدول‌های فوق، بهره‌وری در تیمار T_3 نسبت به دو تیمار دیگر بیشتر است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین بهره‌وری آب مربوط به تیمار T3 در سال اول بوده و برابر ۴/۳ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. نتایج مقدار خطا نشان می‌دهد که مدل WOFOST توانست مقدار بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش را با دقت بالایی در شرایط کم‌آبیاری شبیه‌سازی کند (جدول‌های ۳ و ۴). نتایج سال‌های اول و دوم کشت نشان می‌دهد که مقدار خطا در حد قابل قبول می‌باشد. با تنش بیشتر آبیاری، خطای شبیه‌سازی بهره‌وری آب آبیاری افزایش یافت ولی روند منظمی در این مورد وجود نداشت. دلیل آن می‌تواند مرتبط با ماهیت مدل WOFOST باشد که مدلی کربن- محور است و به تغییرات آبیاری واکنش منظمی نشان نمی‌دهد. نتایج این پژوهش با یافته‌های سیاحی و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت دارد. آن‌ها با شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب چغندر قند در دورهای مختلف آبیاری با مدل WOFOST گزارش کردند که حداقل و حداکثر اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی به‌ترتیب برابر ۱/۹ و ۱۰ درصد بود.

جدول ۲- پارامترهای واسنجی شده مدل WOFOST

شرح	پارامتر	مقدار
ضریب روشنایی نور	KDIF	۰/۵۵
راندمان مصرف نور	EFF	۰/۴۸
حداکثر شدت جذب co_2	AMAXTB	۵۲
واحدهای حرارتی تجمع یافته از سبزشدن تا گلدهی	TSUM1	۹۰۰–۱۱۰۰
واحدهای حرارتی تجمع یافته از گلدهی تا رسیدن فیزیولوژیک	TSUM2	۸۷۹–۹۰۲
سطح برگ ویژه	SLA	۰/۰۱۵ –۰/۰۲۲
حداکثرافزایش نسبی در شاخص سطح برگ	RGRLAE	۰/۰۱۹۴ –۰/۰۲۸۳
تنفس نگه‌داری نسبی برگ‌ها	RML	۰/۰۲–۰/۰۴
تنفس نگه‌داری نسبی اندام ذخیره‌ای	RMO	۰/۰۰۵–۰/۰۲
تنفس نگه‌داری نسبی ریشه‌ها	RMR	۰/۰۱–۰/۰۳
تنفس نگه‌داری نسبی ساقه‌ها	RMS	۰/۰۱–۰/۰۳
راندمان تبدیل co_2 جذب‌شده به برگ	CVL	۰/۶–۰/۸
راندمان تبدیل co_2 جذب‌شده به اندام‌های ذخیره‌ای	CVO	۰/۶–۰/۸
راندمان تبدیل co_2 جذب‌شده به ریشه	CVR	۰/۶–۰/۸
راندمان تبدیل co_2 جذب‌شده به ساقه	CVS	۰/۶–۰/۸

جدول ۳- بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش تیمارهای مختلف اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در سال ۱۳۹۱

	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)			بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش (کیلوگرم بر متر مترمکعب)		
تیمار	اندازه‌گیری شده	شبیه‌سازی	خطا (٪)	اندازه‌گیری شده	شبیه‌سازی	خطا(٪)
T_1	۲/۹	۲/۸	–۳/۴۴	۱/۷	۱/۸	۵/۸۸
T_2	۳/۷	۳/۴	–۸/۱۰	۱/۹	۱/۷	–۱۰/۵۲
T_3	۴/۳	۴/۴	۲/۳۲	۱/۸	۱/۷	–۵/۵۵

جدول ٤- بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش تیمارهای مختلف اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در سال ۱۳۹۲

	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)			بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش (کیلوگرم برمترمکعب)		
تیمار	اندازه‌گیری‌شده	شبیه‌سازی	خطا (٪)	اندازه‌گیری‌شده	شبیه‌سازی	خطا(٪)
T_1	۲/۴	۲/۲	–۸/۳۳	۱/۹	۱/۷	–۱۰/۵۲
T_2	۳/۰	۲/۶	–۱۳/۳۳	۲/۲	۱/۹	–۱۳/۶۳
T_3	۴/۰	۳/۴	–۱۵/۰۰	۲/۶	۲/۲	–۱۵/۳۸

تاثیر کم آبیاری بر بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش در دوره‌های شبیه‌سازی شده ۲۰۵۰–۲۰۲۰ و ۲۰۸۰–۲۰۵۰ به‌ترتیب در جدول‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. با توجه به جدول‌های ذکر شده تیمار T_3 بیش‌ترین بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری مجموع آب و آبیاری در دوره آتی ۲۰۸۰–۲۰۵۰ را دارد. کم‌ترین بهره‌وری برای تیمار T_1 است. می‌توان گفت با آبیاری کامل هدرفت آب بیشتر شده و بهره‌وری آب کاهش یافته است. همچنین با کم‌آبیاری یا ایجاد تنش برای گیاه میزان بهره‌وری بالارفته است. این نتیجه با یافته‌های تحقیقات دیگر مانند خوش روش و همکاران (۱۳۹۱) و بزرگمهر و همکاران (۱۳۹۰) که عامل افزایش بهره‌وری را کم‌آبیاری می‌دانستند سازگار است.

جدول ۵- بهره‌وری آب شبیه‌سازی شده برای تیمارهای مختلف آبیاری در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰

	T_1 (کیلوگرم بر مترمکعب)			T_2 (کیلوگرم بر مترمکعب)			T_3 (کیلوگرم بر مترمکعب)		
	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
بهره‌وری آب آبیاری	۲/۸	۳/۰	۳/۲	۳/۵	۳/۶	۳/۷	۳/۹	۴/۰	۴/۱
بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش	۱/۶	۱/۷	۱/۸	۱/۹	۲/۰	۲/۱	۲/۲	۲/۳	۲/۴

جدول ٦- بهره‌وری آب شبیه‌سازی شده برای تیمارهای مختلف آبیاری در دوره ۲۰۸۰-۲۰۵۰

	T_1 (کیلوگرم بر مترمکعب)			T_2 (کیلوگرم بر مترمکعب)			T_3 (کیلوگرم بر مترمکعب)		
	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
بهره‌وری آب آبیاری	۲/۳	۲/۵	۲/۷	۲/۹	۳/۰	۳/۳	۳/۵	۳/۶	۳/۹
بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش	۱/۴	۱/۵	۱/۶	۱/۷	۱/۸	۱/۹	۲/۰	۲/۱	۲/۲

برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم بر رشد و بهره‌وری آب ذرت، تغییر تاریخ کشت به‌عنوان راهکار سازگاری در نظر گرفته شد و مقدار بهره‌وری آب شبیه‌سازی شده برای تاریخ‌های مختلف کشت در دو دوره آتی ۲۰۵۰-۲۰۲۰ و ۲۰۸۰-۲۰۵۰ توسط مدل WOFOST در جدول‌های ۷ و ۸ گزارش شده است. در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰ بیش‌ترین بهره‌وری آب آبیاری در تیمار T_3 در تاریخ ۲ تیر به مقدار ۴ کیلوگرم بر مترمکعب پیش‌بینی شد که نسبت به دوره پایه ۹/۱ درصد کاهش دارد. در این دوره کم‌ترین بهره‌وری آب آبیاری در تیمار T_1 در تاریخ ۱۲ خرداد به مقدار ۲/۷ کیلوگرم بر مترمکعب پیش‌بینی شد که نسبت به دوره پایه ۳/۵۷ درصد کاهش دارد. در این دوره بیش‌ترین بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش در تیمار T_3 در تاریخ ۲ تیر به مقدار ۲/۷ کیلوگرم بر مترمکعب پیش‌بینی شد که نسبت به دوره پایه ۲۲/۷ درصد افزایش دارد. در این دوره کم‌ترین بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش در تیمار T_1 در تاریخ ۱۲ خرداد به مقدار ۱/۵ کیلوگرم بر مترمکعب پیش‌بینی شد که نسبت به دوره پایه ۱۶/۶۷ درصد کاهش دارد.

جدول ۷- بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش برای تیمارهای مختلف آبیاری و تاریخ‌های مختلف کشت در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰

	بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب)				بهره‌وری آب آبیاری و بارش (کیلوگرم بر مترمکعب)			
تیمار	۱۲ خرداد	۱۹ خرداد	۲۶ خرداد	۲ تیر	۱۲ خرداد	۱۹ خرداد	۲۶ خرداد	۲ تیر
T_1	۲/۷	۲/۸	۲/۹	۳/۱	۱/۵	۱/۶	۱/۷	۱/۸
T_2	۳/۳	۳/۴	۳/۵	۳/۶	۱/۹	۲/۰	۲/۱	۲/۲
T_3	۳/۷	۳/۸	۳/۹	۴/۰	۲/۴	۲/۵	۲/۶	۲/۷

در دوره ۲۰۸۰-۲۰۵۰ بیش‌ترین بهره‌وری آب آبیاری در تیمار T_3 در تاریخ ۲ تیر به مقدار ۳/۶ کیلوگرم بر مترمکعب پیش‌بینی شد که نسبت به دوره پایه ۱۸/۱۸ درصد کاهش دارد. در این دوره کم‌ترین بهره‌وری آب آبیاری در تیمار T_1 در تاریخ ۱۲ خرداد به مقدار ۲/۳ کیلوگرم بر مترمکعب پیش‌بینی شد که نسبت به دوره پایه ۲۰/۶۸ درصد کاهش دارد. در این دوره بیش‌ترین بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش در تیمار T_3 در تاریخ ۲ تیر به مقدار ۲/۴ کیلوگرم بر مترمکعب پیش‌بینی شد که نسبت به دوره پایه ۹/۱ درصد افزایش دارد. در این دوره کم‌ترین بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش در تیمار T_1 در تاریخ ۱۲ خرداد به مقدار ۱/۳ کیلوگرم بر مترمکعب پیش‌بینی شد که نسبت به دوره پایه ۲۷/۷۷ درصد کاهش دارد. نتایج نشان داد علی‌رغم میزان افزایش عملکرد دانه با افزایش آب آبیاری، بهره‌وری آب آبیاری کمتر می‌شود. کاهش بهره‌وری آب ذرت به دلیل افزایش دما در شرایط سناریوهای اقلیمی آینده می‌باشد. با توجه به مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش با مدل WOFOST، بهترین تاریخ کشت در دوره‌های آتی تاریخ ۲ تیر (با دامنه تغییرات ۱۰ روز) برای ذرت با GDD برابر ۱۸۰۰ می‌باشد. بنابریان با مدیریت صحیح و انتخاب تاریخ مناسب کشت در آینده می‌توان بهره‌وری آب را افزایش داد.

جدول ۸- بهره‌وری آب آبیاری وبهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش برای تیمارهای مختلف آبیاری و تاریخ‌های مختلف کشت در دوره ۲۰۸۰-۲۰۵۰

	بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب)				بهره‌وری آب آبیاری و بارش (کیلوگرم بر مترمکعب)			
تیمار	۱۲ خرداد	۱۹ خرداد	۲۶ خرداد	۲ تیر	۱۲ خرداد	۱۹ خرداد	۲۶ خرداد	۲ تیر
T_1	۲/۳	۲/۴	۲/۵	۲/۶	۱/۳	۱/۴	۱/۵	۱/۶
T_2	۲/۸	۲/۹	۳/۰	۳/۱	۱/۷	۱/۸	۱/۹	۲/۰
T_3	۳/۳	۳/۴	۳/۵	۳/۶	۲/۱	۲/۲	۲/۳	۲/۴

نتیجه‌گیری

این پژوهش به‌منظور شبیه‌سازی اثر کم آبیاری و تغییر تاریخ کشت بر بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش گیاه ذرت تحت سناریوهای اقلیمی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 انجام شد. در آینده، میزان بهره‌وری آب آبیاری ذرت در شهرستان گرگان کاهش خواهد یافت و این کاهش در دوره ۲۰۸۰-۲۰۵۰ به دلیل افزایش دما بیشتر از دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰ خواهد بود. در دوره ۲۰۸۰-۲۰۵۰ بیش‌ترین بهره‌وری آب آبیاری در تیمار T_3 در تاریخ ۲ تیر به مقدار ۳/۶ کیلوگرم بر مترمکعب پیش‌بینی شد که نسبت به دوره پایه ۱۸/۱۸ درصد کاهش دارد. در این دوره کم‌ترین بهره‌وری آب آبیاری در تیمار T_1 در تاریخ ۱۲ خرداد به مقدار ۲/۳ کیلوگرم بر مترمکعب پیش‌بینی شد که نسبت به دوره پایه ۲۰/۶۸ درصد کاهش دارد. در این دوره بیش‌ترین بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش در تیمار T_3 در تاریخ ۲ تیر به مقدار ۲/۴ کیلوگرم بر مترمکعب پیش‌بینی شد که نسبت به دوره پایه ۹/۱ درصد افزایش دارد. در این دوره کم‌ترین بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش در تیمار T_1 در تاریخ ۱۲ خرداد به مقدار ۱/۳ کیلوگرم بر مترمکعب پیش‌بینی شد که نسبت به دوره پایه ۲۷/۷۷ درصد کاهش دارد. تحلیل‌های اقلیمی برای مقادیر بهره‌وری آب آبیاری که توسط مدل WOFOST در تاریخ‌های مختلف کشت شبیه‌سازی شده است، نشان می‌دهد که کشت ذرت سینگل کراس در شرایط اقلیمی معتدل و مرطوب در تاریخ ۲ تیر ماه، منجر به افزایش بهره‌وری آب نسبت به سایر تاریخ‌های کشت در شرایط تغییر اقلیم خواهد شد.

منابع

ابراهیمی پاک، ن.، اگدرنژاد، ا.، تافته، آ. و احمدی، م. ۱۳۹۸. ارزیابی مدل‌های AquaCrop، WOFOST و CropSyst در شبیه‌سازی عملکرد ذرت. مجله آبیاری و زه‌کشی ایران. ۱۳ (۳): ۶۱۵-۷۲۶.

احمدی، م.، هوشمند، ع.، برومندنسب، س. و شریفی، م. ۱۳۹۴. واسنجی و اعتبارسنجی مدل رشد گیاهی WOFOST برای ذرت. مجله علوم کشاورزی ایران. ۵۰ (۲): ۳۲۹-۳۳۸.

اسماعیلیان، ی.، رمرودی، م. و گلوی، م. ۱۳۹۷. شبیه‌سازی رشد، عملکرد و کارایی مصرف آب ارقام ذرت دانه‌ای با استفاده از مدل WOFOST. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، کشاورزی و منابع طبیعی. ۸ (۴): ۱۱۷-۱۳۵.

بزرگمهر، ا.، قادری، ف.، سلطانی، ا. و کشیری، ح. ۱۳۹۰. تأثیر تاریخ کشت بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه سه رقم سویا در گرگان. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۱ (۱): ۸۱-۹۲.

حسینی، س. ط.، خوش روش، م. و ضیاتبار احمدی، م. خ. ۱۳۹۴. بررسی اثر تغییر اقلیم و ارزیابی تغییر تاریخ کاشت بر عملکرد سویا. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹ (۴): ۵۷۵-۵۵۹.

خوش‌روش، م.، مصطفی زاده فرد، ب.، حیدرپور، م. و کیانی، ع. ۱۳۹۱. ارزیابی مدل AquaCrop برای سویا با استفاده از مدیریت کم آبیاری. اولین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه. ۲۹ تیر، موسسه تحقیقات خاک و آب.

خوش روش، م. و نوروز ولاشدی، ر. ۱۳۹۹. بررسی اثر سناریوهای تغییر آب و هوا بر مقدار آبدهی ماهانه جریان در خروجی سد گلورد. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۷ (۴): ۴۳-۲۳.

رسولی، ا.، رضایی بنفشه، م.، مساح بوانی، ع.، خورشید دوست، ع. م. و قرمز چشمه ب. ۱۳۹۵. بررسی اثر عوامل مرفو اقلیمی بر دقت ریزمقیاس گردانی مدل LARS-WG. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۸ (۲۴): ۱۸-۹.

روستایی، م.، سهرابی، ت.، مساح بوانی، ع. و احدی، م. ۱۳۹۱. ارزیابی ریسک عملکرد زیست توده گیاه ذرت تحت تاثیر تغییر اقلیم. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۲۶ (۴): ۱۴-۷.

زین العابدینی، م. و حسامی کرمانی، م. ۱۳۹۵. بررسی اثر تغییر اقلیم تحت سناریوهای RCP منطقه مورد مطالعه: استان مازندران. اولین همایش سراسری مباحث کلیدی در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی ایران. ۲۳ اردیبهشت، گرگان، گروه آموزش و پژوهش شرکت مهندسی باروگستر پارس، دانشگاه فرهنگیان استان گلستان.

سالاریه، پ.، خوش روش، م.، نوروز ولاشدی، ر. و کیانی، ع. ر. ۱۴۰۰. بررسی اثر تغییر اقلیم و تاریخ کشت بر عملکرد ذرت با استفاده از مدل WOFOST. تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۲ (۱۰): ۲۵۱۵-۲۵۲۷.

سیاحی، ح.، اگدرنژاد، ا. و ابراهیمی پاک، ن.ع. ۱۳۹۹. ارزیابی مدل-های گیاهی AquaCrop و WOFOST در شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب چغندرقند تحت دورهای مختلف آبیاری و تنش کودی. تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۱ (۱۰): ۲۶۰۵-۲۵۹۳.

کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م.، وکمالی، غ. ۱۳۸۱. مطالعه شاخص های هواش ناسی ایران. مجله پژوهش‌های زراعی ایران، (۱)۵: ۱۳۳-۱۴۲.

مرادی، ر.، کوچکی، ع. و نصیری محلاتی، م. ۱۳۹۲. تاثیر تغییر اقلیم بر تولید ذرت و ارزیابی تغییر تاریخ کاشت بعنوان راهکار سازگاری در شرایط آب و هوایی مشهد. مجله دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۳ (۴): ۱۱۱-۱۳۰.

Amiri, A., Rezaei, M. and emami, S. 2011. Evaluation of WOFOST plant growth model in irrigation stress conditions. Journal of Plant Production Science. 24(1): 9-17.

Basheer, A.K., Lu, H., Omer, A., Ali, A.B. and Abdeldgader, A.M.S. 2016. Impacts of climate change under CMIP5 RCP scenarios on the streamflow in the Dinder River and ecosystem habitats in Dinder National Park, Sudan. Hydrology and Earth System Sciences. 20: 1331-1353.

Egdernezhad, A., Masjedi, A.R., Shokouhfar, A.R. and Alavifazel, M. 2018. Evaluation of AquaCrop and WOFOST in simulating of corn yield under deficit irrigation. Journal of Plant Production Science. 8(1): 69-82.

IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, 48-Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

Pourgholam-Amiji, M., Liaghat, A., Ghameshlou, A., Khoshravesh, M. and Waqas, M. M. 2020. Investigation of the yield and yield components of rice in shallow water table and saline. Big Data in Agriculture (BDA). 2(1): 36-40.

Rahimi-Moghaddam, S., Eyni Nargeseh, H., Deihimfard, R. and Haghighat, M. 2019. Simulating climate change effect on maize grain yield in Kermanshah province using a process-based simulation model. Iranian Journal of Crop Sciences. 20(4): 315-328.

Sarafrouzeh, F., Jalali, M., Jalali, T. and Jamali, A. 2014. Changing the effect of future climate on water consumption of wheat in Tabriz. Journal of Geographic Space. 12(37): 96-81.

Shafiei, M., Ghahreman, B., Saghafian, B., Davari, K. and Vazifeh Doost, M. 2018. Global sensitivity analysis of WOFOST model parameters for maize and wheat yield simulation. Iranian Journal of Soil and Water Research. 49(4): 831-839.

Zhang, B.C., Li, F., Huang, M., Gan G.B., Liu, Y. and Cheng, Z. 2014. Effects of regulated deficiirrigat on grain yield and wateruse efficiency of spring wheat in an arid environment. Canadian Journal of Plant Science. 32: 829-838.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.2, Vol. 18, Jun.-Jul. 2024, p. 227-235

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۸، خرداد - تیر ۱۴۰۳، ص. ۲۳۵-۲۲۷

Assessment of Climate Change Scenarios and Alteration of Planting Dates on Maize Water Productivity in Gorgan County

P. Salarieh[1], M. Khoshravesh[2*], R. Norouz Valashedi[3], A.R. Kiani[4]
Recived: Nov.23, 2023 Accepted: Dec.25, 2023

Abstract

Given the extensive cultivation of maize in Iran, any initiative aimed at increasing water use efficiency contributes to reducing water consumption and enhancing food security in the country. One of the most influential factors affecting the growth and performance of crops is the impact of climate change. The present study aims to assess the impact of climate change and altering planting dates on the water productivity of maize in Gorgan County. Additionally, water productivity of maize under different irrigation treatments and planting dates is simulated using the WOFOST model for future conditions. The irrigation treatments include 100% (T1), 75% (T2), and 50% (T3) of the plant's water requirements. Hence, statistical SDSM and HadCM3 General Circulation Model were employed to downscale all scenarios of the fifth report for two thirty-year periods, 2020-2050 and 2050-2080. The results showed with increasing of irrigation water stress, the simulation error of irrigation water productivity increased, but no consistent trend was observed. In the period of 2050-2020, the highest irrigation water productivity was predicted in treatment T_3 on 23 June, amounting to 4 kilograms per cubic meter, which represents a 1.9% reduction compared to the baseline period. During this period, the lowest irrigation water productivity was projected in treatment T_1 on 2 June, amounting to 2.7 kilograms per cubic meter, indicating a 57.3% reduction compared to the baseline. Based on the simulated results, the optimal planting time for corn in Gorgan is on 23 June. With appropriate validation of the planting date, effective management can be implemented to adapt to the negative effects of climate change on corn water productivity. Choosing the best planting time, along with proper management, is an efficient solution in Gorgan to prevent reduced performance due to an inappropriate choice of planting date.

Keywords: Crop management, Food security, HadCM3 model, WOFOST model

1- MSc. Graduated of Irrigation and Drainage, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2- Associate Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
3- Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
4- Professor, Department of Agricultural Engineering, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Gorgan, Iran
(*- Corresponding Author Email: m.khoshravesh@sanru.ac.ir)