



دانشگاه گوارن کشاورزی و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و چهارم، شماره سوم، ۱۳۹۶
<http://jwsc.gau.ac.ir>

تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل ذرت و جو در استان کرمانشاه در شرایط تغییر اقلیم

* بهمن فرهادی بانسوله^۱، آذر اسدی^۲ و مریم حافظ‌پرست^۱

^۱ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی

تاریخ دریافت: ۹۵/۸/۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۶/۱۵

چکیده

سابقه و هدف: با توجه به وابستگی زیاد بخش کشاورزی به پارامترهای هواشناسی این بخش یکی از حساس‌ترین بخش‌ها در شرایط تغییر اقلیم می‌باشد. در اثر افزایش دما قدرت تبخیرکنندگی اتمسفر افزایش و طول دوره رشد گیاهان کاهش می‌یابد. عملکرد و نیاز آبی محصولات کشاورزی نیز در شرایط تغییر اقلیم تغییر خواهد کرد. با استفاده هم‌زمان از مدل‌های پیش‌بینی تغییر اقلیم و مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان می‌توان برآوردی از تغییرات این پارامترها تحت سناریوهای تغییر اقلیمی به‌دست آورد. در این مطالعه تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق پتانسیل یک محصول پاییزه (جو) و یک محصول بهاره (ذرت) در سه ایستگاه هواشناسی واقع در اقلیم‌های مختلف استان کرمانشاه برای دوره آینده (۲۰۶۴-۲۰۴۶) بررسی شده است.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در سه مرحله انجام گرفت. در مرحله اول پارامترهای هواشناسی در دوره آینده بر اساس سناریوهای A1B، A2 و B1 مدل تغییر اقلیم HADCM3 برآورد و با استفاده از بسته نرم‌افزاری LARS-WG در ایستگاه‌های مورد مطالعه ریزمقیاس‌سازی شدند. در مرحله دوم تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در دوره‌های آبی و کنونی با استفاده از فرمول فائوپنمن-ماتیت محاسبه و با هم مقایسه گردید. در مرحله سوم با استفاده از نرم‌افزار AquaCrop رشد گیاهان موردنظر بر اساس فایل‌های گیاهی کالیبره شده در منطقه و داده‌های هواشناسی دوره‌های آبی و کنونی شبیه‌سازی گردید. با توجه به خروجی‌های این مدل تغییرات تبخیر و تعرق فصلی، حداکثر تبخیر و تعرق روزانه و طول دوره رشد گیاهان در شرایط کنونی و تغییر اقلیم با هم مقایسه گردید.

یافته‌ها: نتایج مرحله اول بیانگر افزایش دمای حداقل و حداکثر و نوسانات بارندگی و ساعت آفتابی در هر سه ایستگاه نسبت به دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۲) می‌باشد. ضمناً در دوره آبی تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در هر سه ایستگاه افزایش خواهد داشت. بر اساس نتایج این مطالعه تبخیر و تعرق فصلی ذرت در دوره آبی در سنقر بین ۲۵ تا ۲۷ درصد، در کرمانشاه بین ۱۶ تا ۱۸ درصد و در سرپل‌ذهاب بین ۵ تا ۷ درصد افزایش می‌یابد. حداکثر تبخیر و تعرق فصلی برآورد شده برای ذرت در دوره آبی نسبت به دوره پایه در سنقر بین ۳۷ تا ۳۸ درصد، در کرمانشاه بین ۱۹ تا ۲۰ درصد و در سرپل‌ذهاب بین ۱۹ تا ۲۱ درصد افزایش خواهد داشت. در اثر تغییر اقلیم طول دوره رشد ذرت در ایستگاه‌های سنقر، کرمانشاه و سرپل‌ذهاب به ترتیب ۲۰، ۱۴ و ۱۰ روز کاهش می‌یابد. روند تغییرات پارامترهای مورد مطالعه برای جو نیز همانند ذرت خواهد بود اما شدت تغییرات برآورد شده کم‌تر از ذرت پیش‌بینی می‌شود.

* مسئول مکاتبه: bfarhadi2001@yahoo.com

نتیجه‌گیری: نتایج بیانگر افزایش مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل فصلی و حداکثر تبخیر و تعرق روزانه و کاهش طول دوره رشد گیاهان در هر سه ایستگاه تحت سناریوهای تغییر اقلیم می‌باشد. اثر تغییر اقلیم روی پارامترهای مورد مطالعه برای هر دو گیاه در ایستگاه سنقر (منطقه سردسیر) بیش‌تر از کرمانشاه (منطقه معتدل) و خیلی بیش‌تر از سرپل‌ذهاب (منطقه گرمسیر) خواهد بود. ضمناً درصد تغییرات تبخیر و تعرق گیاه بهاره (ذرت) در شرایط تغییر اقلیم بیش‌تر از گیاه پاییزه (جو) خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق پتانسیل، ریزمقیاس‌سازی، مدل‌سازی گیاهی، کرمانشاه، نیاز آبی

مقدمه

پدیده تغییر اقلیم می‌تواند بر بخش‌های مختلف تأثیر بگذارد که بخش منابع آب و کشاورزی از اصلی‌ترین آن‌ها می‌باشد. تغییر اقلیم همه بخش‌های اقتصادی را تا اندازه‌ای تحت تأثیر قرار می‌دهد، اما بخش کشاورزی شاید حساس‌ترین و آسیب‌پذیرترین بخش باشد، چرا که محصولات کشاورزی وابستگی زیادی به شرایط اقلیمی دارند (۶). افزایش دمای کره زمین، باعث افزایش قدرت تبخیرکنندگی هوا و در نتیجه افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع شده و به تبع آن افزایش مصرف آب در بخش کشاورزی را به دنبال دارد. همچنین تغییرات اقلیم بر میزان بارندگی و رطوبت هوا مؤثر است که هر کدام به‌نحوی در تبخیر و تعرق و نیاز آبی گیاه تأثیرگذار هستند (۱۱).

یکی از محدودیت‌های عمده در استفاده از خروجی مدل‌های اقلیمی، بزرگ مقیاس بودن سلول محاسباتی آن‌ها است که به لحاظ مکانی و زمانی با دقت مورد نیاز مدل‌های هیدرولوژی مطابقت ندارد (۱۲) و نمی‌تواند تقریب درستی از شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه ارائه دهد (۱۳). برای رفع این ضعف باید خروجی این مدل‌ها قبل از استفاده در مطالعات، تا حد ایستگاه هواشناسی ریزمقیاس شوند. روش‌های مختلفی برای کوچک مقیاس کردن داده‌های بارش وجود دارد. این روش‌ها شامل روش‌های دینامیکی^۱ و روش‌های آماری می‌باشد (۱۸).

مدل LARS-WG یکی از معروف‌ترین مدل‌های آماری داده‌های تصادفی وضع هواست که برای تولید مقادیر بارش، تابش، دمای حداکثر و حداقل روزانه در یک ایستگاه خاص در شرایط حاضر و در شرایط آینده تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم به‌کار می‌رود. داده‌های آن به‌صورت سری‌های زمانی روزانه برای یک سری از متغیرهای اقلیمی مانند بارندگی و حداکثر و حداکثر دما می‌باشد (۱۶). از این مدل در پژوهش‌های متعددی استفاده شده است. از جمله رجبی (۲۰۱۰) جهت ریزمقیاس‌کردن حداقل و حداکثر دما و بارندگی روزانه در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه از مدل LARS-WG و مدل عمومی انتشار HADCM3 با سناریوهای مختلف A1B، A2 و B1 استفاده کرد و داده‌های ریزمقیاس شده این سه پارامتر جوی را برای سه دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۶۴-۲۰۷۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ محاسبه کرد. نتایج نشان داد که در همه سناریوها تغییر بارندگی دارای نظم مشخصی نمی‌باشد. در مورد حداقل و حداکثر دمای روزانه هم نتایج بیانگر افزایش دما در همه سناریوها در دوره‌های آتی بود که این افزایش در مورد دمای حداقل و حداکثر تقریباً یکسان گزارش شد (۱۵).

رحیمی (۱۳۹۲) به پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی در شرایط تغییر اقلیم و مقایسه این پارامترها با شرایط فعلی در حوضه آبریز دوآب مرگ در استان کرمانشاه پرداخت. برای این منظور داده‌های سناریوهای انتشار

1- RCM: Regional Circulation Model

این مدل‌ها قادر هستند پیش‌بینی نمایند، چگونه تغییرات در شرایط محیطی و مدیریتی، رشد و نمو و عملکرد گیاه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. یکی از جدیدترین مدل‌های ارائه شده در این زمینه، مدل ارائه‌شده توسط سازمان خواروبار کشاورزی ملل متحد (FAO)^۱ به نام AquaCrop می‌باشد. استدیو و همکاران (۲۰۰۹) طرح فکری اولیه و اصول اساسی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی فرآیندها را ارائه نمودند (۱۷). در این پژوهش مدل AquaCrop به‌دلیل استفاده طیف وسیعی از پارامترهای مرتبط با رشد گیاه و همچنین به‌دلیل امکان استفاده از خروجی مدل‌های تغییر اقلیم در آن انتخاب گردیده و استفاده شد. ترکیب مدل‌های گردش عمومی و مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاه می‌تواند ما را در جهت پیش‌بینی تغییرات تبخیر و تعرق و نیاز آبی محصولات کمک نماید.

لیو و همکاران (۲۰۱۰) عملکرد و نیاز آبیاری گیاهان گندم و ذرت را تحت‌تأثیر تغییر اقلیم در دشت هنگ-های چین مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه سناریوهای اقلیمی بر اساس تغییرات میانگین دما و بارش از ۴۰ مدل اقلیمی و روند تاریخی این پارامترها در دوره پایه (۲۰۰۴-۱۹۹۶) تعریف گردید. در این سناریوها تغییرات دمایی بین ۲ تا ۵ درجه سانتی‌گراد و نوسانات بارش بین ۱۵± تا ۳۰± درصد در نظر گرفته شد (۹). یانگ و همکاران (۲۰۱۷) پاسخ عملکرد ذرت آبی به سناریوهای تغییر اقلیم را در پرتغال مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش از مدل تغییر اقلیم M-MPI-ESM-LR/SMHI-RCA4 تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۸۰ استفاده نمودند. جهت ارزیابی عملکرد ذرت و شاخص‌های مورد بررسی دیگر، از مدل‌های AquaCrop و STICS استفاده شد. نتایج این پژوهش کاهش ۱۷ درصدی عملکرد ذرت را نشان داد (۱۹).

A2، B1 و A1B تحت مدل‌های اقلیمی HADCM3، CGCM3 و INCM3 را با استفاده از نرم‌افزار LARS-WG ریزمقیاس نمود سپس پارامترهای دوره آبی (۲۰۶۵-۲۰۴۶) با دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) مقایسه گردید و تغییرات ماهانه و فصلی بارش، دمای حداقل و حداکثر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان از افزایش دمای حداقل و حداکثر در دوره آبی دارد. نتایج بیانگر آن است که دمای حداقل حوضه در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ به‌طور متوسط ۲/۲۱، ۲/۱۶ و ۱/۶۶ درجه سانتی‌گراد، دمای حداکثر ۲/۳۶، ۲/۲۸ و ۱/۷۱ درجه سانتی‌گراد و بارش حوضه در این دوره به‌طور متوسط ۲۱/۲، ۳۷/۲ و ۲۶/۱۱ درصد به‌ترتیب برای سناریوهای A2، A1B و B1 نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد (۱۴).

بحری و همکاران (۲۰۱۳) جهت بررسی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش حوضه آبخیز اسکندری در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ از مدل LARS-WG برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های HADCM3 تحت سناریوی A2 استفاده نمودند. نتایج بیانگر افزایش ۷/۲ درصدی بارش سالانه بوده به‌طوری‌که بیش‌ترین کاهش آن مربوط به ماه آوریل (فروردین) و بیش‌ترین افزایش مربوط به ماه مارس (اسفند) خواهد بود. بر اساس نتایج این مطالعه میانگین دمای حداقل ۰/۳ تا ۱/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت. بیش‌ترین افزایش دمای حداکثر در ماه می (اردیبهشت) به‌میزان ۱/۶ و کم‌ترین افزایش آن در ماه فوریه (بهمن) به‌میزان ۰/۳ درجه سانتی‌گراد خواهد بود (۵).

انتظار می‌رود که در اثر تغییر اقلیم، میزان تبخیر و تعرق و باران مؤثر تغییر کند. همچنین انتظار می‌رود که زمان کاشت و طول دوره رشد نیز تغییر کند. مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاه ابزار مناسبی جهت پیش‌بینی این تغییرات در شرایط تغییر اقلیم می‌باشند.

این مطالعه مطابق با شکل ۱ در سه بخش انجام گرفت. در بخش اول پارامترهای هواشناسی دوره آتی (۲۰۶۴-۲۰۴۶) با توجه به پارامترهای هواشناسی دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۲) برآورد گردید. جهت پیش‌بینی تغییرات پارامترهای هواشناسی آینده از مدل گردش عمومی جو HADCM3 تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 استفاده شد که برای ریزمقیاس‌نمایی پارامترهای هواشناسی از مدل LARS-WG که یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا می‌باشد، استفاده شده است. تولید داده توسط این مدل در سه مرحله انجام می‌شود که عبارتند از: کالیبره کردن، ارزیابی و ایجاد داده‌های هواشناسی (۴). بر همین اساس در این مطالعه ابتدا پارامترهای هواشناسی دمای حداقل، دمای حداکثر، بارندگی و ساعت آفتابی دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۲) از ایستگاه‌های هواشناسی اخذ و به‌عنوان دوره پایه در نظر گرفته شد. جهت کالیبره کردن مدل LARS-WG داده‌های دوره پایه مرتب‌سازی شده و برای دوره پایه اجرا شد. سپس برای ارزیابی نزدیکی مقادیر مشاهداتی و مقادیر برآوردی پارامترهای هواشناسی از آماره‌های ضریب تعیین (R^2) و ریشه دوم میانگین مربعات خطا^۱ (RMSE) استفاده شد. این آماره‌ها به‌ترتیب به‌صورت رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه می‌گردند (۷):

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (X_i - X_m)(Y_i - Y_m)]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - X_m)^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_m)^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (2)$$

که در آن‌ها، X_i و Y_i به‌ترتیب i امین داده واقعی (مشاهده‌شده) و شبیه‌سازی‌شده توسط مدل، X_m و Y_m میانگین کل داده‌های X_i و Y_i در جامعه آماری و n تعداد کل نمونه‌های مورد ارزیابی می‌باشند.

فرهنگفر و همکاران (۲۰۱۵) به ارزیابی آسیب‌پذیری تولید گندم و ذرت تحت تأثیر خشکسالی و تغییر اقلیم در پنج مرکز کشاورزی از جمله بیرجند، بجنورد، مشهد، سبزوار و تربت‌حیدریه پرداختند. آن‌ها دو مدل گردش عمومی HADCM3 و IPCM4 را تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 با مدل LARS-WG ریزمقیاس‌سازی نموده و جهت شبیه‌سازی رشد محصول نیز از مدل CSM-CERES استفاده نمودند. نتایج پژوهش نشان داد که در تمام نقاط مورد مطالعه تولید گندم و ذرت به‌شدت تحت تأثیر خشکسالی می‌باشند (۸).

با توجه به این‌که تاکنون تغییرات نیاز آبی محصولات کشاورزی در شرایط تغییر اقلیم در استان کرمانشاه مطالعه نشده است مطالعه کنونی با هدف بررسی تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل دو گیاه ذرت دانه‌ای (به‌عنوان نماینده محصولات بهاره) و جو (به‌عنوان نماینده محصولات پاییزه) تحت تأثیر تغییر اقلیم در منطقه کرمانشاه در دوره آتی (۲۰۶۴-۲۰۴۶) انجام گردیده است. در این راستا تغییرات پارامترهای هواشناسی (دمای حداقل- دمای حداکثر- بارندگی و ساعت آفتابی) و تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در دوره آتی نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

استان کرمانشاه بین ۳۳ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. مطالعه برای سه ایستگاه در اقلیم‌های مختلف استان کرمانشاه انجام شده است. ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک سنقر، کرمانشاه و سرپل‌ذهاب به‌ترتیب به‌عنوان نمایندگان مناطق سردسیر، معتدل و گرمسیر استان کرمانشاه برای این مطالعه انتخاب شدند (شکل ۱). مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

1- Root Mean Square Error

بهترین حالت است. پس از اطمینان از درستی نتایج و ارزیابی قابلیت مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های مشاهده‌شده هواشناسی، اقدام به اجرای مرحله سوم یا شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی دوره آینده (۲۰۶۴-۲۰۴۶) گردید.

آماره RMSE یا ریشه دوم میانگین مربعات خطا به‌عنوان یک روش مناسب مقایسه‌ای و اعتبارسنجی در بسیاری از مطالعات به‌کار برده شده است (۱۰). کم‌تر بودن آماره RMSE نیز نشانه مطلوبیت کار است. معیار R^2 یا ضریب تعیین می‌تواند مقادیری بین صفر و یک اختیار کند. اگر مقدار آن یک باشد،

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی.

Table 1. Characteristics of studied weather stations.

ایستگاه Station	طول جغرافیایی (شرقی) Longitude (East)	عرض جغرافیایی (شمالی) Latitude (North)	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (m)	متوسط دمای سالانه (درجه سانتی‌گراد) The average annual temperature (°C)	اقلیم Climate
ستقر Songhor	47° 35'	34° 47'	1700	12.8	سرد سیر Cold
کرمانشاه Kermanshah	47° 09'	34° 21'	1319	14.3	معتدل Mild
سرپل‌ذهاب Sarpol_e_Zahab	45° 52'	34° 27'	545	19.9	گرمسیر Tropical

(۲۰۱۳) و جو توسط احمدی (۲۰۱۱) در منطقه مورد مطالعه واسنجی شده است (۱ و ۲). پس از محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع پارامترهای مورد نیاز به مدل AquaCrop معرفی شده و با استفاده از این مدل رشد گیاهان جو و ذرت دانه‌ای شبیه‌سازی و الف- مجموع تبخیر و تعرق فصلی، ب- حداکثر تبخیر و تعرق روزانه در طول دوره رشد و ج- طول دوره رشد این محصولات در شرایط دوره‌های پایه و آبی برآورد گردید. تاریخ کاشت گیاهان مورد مطالعه در هر ایستگاه با توجه به شرایط اقلیمی آن ایستگاه در نظر گرفته شد که در جدول ۲ ارایه شده است. بر اساس خروجی‌های مدل AquaCrop پارامترهای مذکور در دوره‌های پایه و آبی استخراج شدند که در ادامه مورد بررسی و آنالیز قرار گرفته است.

در بخش دوم تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ETO) با استفاده از فرمول پنمن‌مانتیت (۳) برای دوره پایه و سال‌های مختلف دوره آبی محاسبه گردید. پارامتر مذکور برای دوره پایه به‌صورت میانگین و برای دوره آبی برای هر سال جداگانه محاسبه گردید.

در بخش سوم با استفاده از مدل شبیه‌سازی رشد گیاهی AquaCrop رشد گیاهان ذرت دانه‌ای و جو با توجه به پارامترهای هواشناسی و تبخیر و تعرق برآورد شده در بخش‌های ۱ و ۲ و فایل‌های گیاهی کالیبره شده محلی برای دوره‌های پایه و آبی شبیه‌سازی گردید. در این مطالعه از فایل گیاهی ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ و جو رقم کارون در کویر (نصرت) استفاده شد که جزو ارقام رایج در استان کرمانشاه می‌باشند. فایل گیاهی ذرت توسط احمدپور



شکل ۱- مراحل انجام مطالعه.

Figure 1. Flowchart of the study.

جدول ۲- تاریخ کاشت ذرت و جو در ایستگاه‌های مورد مطالعه برای شبیه‌سازی با مدل AquaCrop.

Table 2. Planting date of maize and barley in the studied stations for simulation by AquaCrop model.

سرپل ذهاب Sarpol_e_Zahab		کرمانشاه Kermanshah		سنقر Songhor		پارامتر Parameter
جو barley	ذرت maize	جو barley	ذرت maize	جو barley	ذرت maize	
6 November	20 March	23 October	5 May	7 October	15 May	تاریخ کشت (میلادی) Planting date (AD)
15 Aban	1 Farvardin	1 Aban	15 Ordibehesht	15 Mehr	25 Ordibehesht	تاریخ کشت (شمسی) Planting date (SSI)

نتایج و بحث

بعد از اطمینان از دقت مدل در شبیه‌سازی داده‌های دوره پایه، مقادیر برآورد شده برای پارامترهای هواشناسی برای دوره ۲۰۶۴-۲۰۴۶ پیش‌بینی گردید. به دلیل مشابه بودن روند نتایج جزئیات مربوط به پارامترهای هواشناسی در دوره آتی فقط برای ایستگاه کرمانشاه ارائه شده است.

جدول ۳ نتایج ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-WG و داده‌های واقعی دوره پایه را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد که ضریب تعیین (R^2) برای همه پارامترها و در هر سه ایستگاه بالاتر از ۰/۹۸۱ می‌باشد که بیانگر انطباق نسبی و قابل قبول مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-WG و مقادیر مشاهده شده دوره پایه است.

جدول ۳- مقادیر ضریب تعیین (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا جهت ارزیابی مدل LARS-WG در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۲).

Table 3. Values of coefficient of determination (R^2) and Root Mean Square Error to assess the LARS-WG model in the base period (1992-2010).

سرپل ذهاب Sarpol_e_Zahab				کرمانشاه Kermanshah				سنقر Songhor				پارامتر parameter
تابش Radiation	بارندگی Rain	دمای حداکثر T max	دمای حداقل T min	تابش Radiation	بارندگی Rain	دمای حداکثر T max	دمای حداقل T min	تابش Radiation	بارندگی Rain	دمای حداکثر T max	دمای حداقل T min	
0.999	0.981	0.999	0.998	0.999	0.992	0.999	0.998	0.999	0.992	0.999	0.999	R^2
0.239	4.107	0.252	0.264	0.222	2.782	0.250	0.225	0.242	2.497	0.269	0.197	RMSE

آگوست در ماه‌های دیگر کاهش نشان می‌دهد. هر چند تغییرات ساعت آفتابی به‌طور کل کم و قابل اغماض می‌باشد. با استفاده از فرمول پنمن‌مانتیت مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در شرایط تغییر اقلیم برای هر سه ایستگاه محاسبه گردید. مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل ذرت و جو در ایستگاه‌های مورد مطالعه در طی فصل رشد به‌صورت روزانه با استفاده از نرم‌افزار AquaCrop و بر اساس داده‌های هواشناسی دوره‌های پایه و آتی محاسبه گردید. میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل گیاهان ذرت و جو در ایستگاه کرمانشاه در طول دوره رشد بر اساس شبیه‌سازی رشد این محصول در دوره‌های پایه و شرایط آتی در شکل ۳ ارائه شده است.

با استفاده از سناریوهای A1B، A2 و B1 مدل HADCM3 پارامترهای هواشناسی دوره آتی (۲۰۶۴-۲۰۴۶) در هر سه ایستگاه برآورد و با میانگین این پارامترها در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۲) مقایسه گردید. تغییرات پارامترهای هواشناسی پیش‌بینی شده برای دوره آتی در مقایسه با میانگین این پارامترها در دوره آتی برای ایستگاه کرمانشاه در شکل ۲ ارائه شده است. نتایج بیانگر این است که بر اساس هر سه سناریو دمای حداقل و حداکثر در دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش خواهند یافت. بارندگی در دوره آتی در هر سه سناریو به‌جز ماه‌های معدودی به‌طور کل کاهش خواهد یافت. ساعت آفتابی نیز در هر سه سناریو به‌جز در ماه‌های مارس، آوریل، می، ژوئن و

مجموع تبخیر و تعرق فصلی جو در ایستگاه سنقر از ۷۲۰/۶ میلی‌متر در دوره پایه به‌طور متوسط به مقادیر ۷۵۱، ۷۸۷ و ۸۱۱ میلی‌متر به‌ترتیب در سناریوهای A1B، A2 و B1 در دوره آبی افزایش خواهد یافت. در ایستگاه کرمانشاه مقدار این پارامتر از ۶۰۰ میلی‌متر در دوره پایه به‌طور متوسط به همان ترتیب سناریوها به مقادیر ۶۰۳، ۶۱۸ و ۶۳۶ میلی‌متر در دوره آبی افزایش خواهد یافت. در ایستگاه سرپل‌ذهاب نیز از مقدار متوسط ۴۳۴/۷ میلی‌متر به مقادیر ۴۲۱ و ۴۲۴ میلی‌متر در سناریوهای A1B و A2 کاهش و ۴۳۶ میلی‌متر در سناریوی B1 افزایش می‌یابد. همچنین حداقل مقدار پارامتر مذکور در همان ایستگاه نیز در هر سه سناریو نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. بر اساس این نتایج می‌توان انتظار داشت که مجموع تبخیر و تعرق فصلی جو در سنقر در دوره آبی نسبت به دوره پایه بین ۴ تا ۱۲ درصد و در کرمانشاه بین ۰/۵ تا ۶ درصد افزایش یافته و در سرپل‌ذهاب در سناریوهای A1B و A2 بین ۲ تا ۳ درصد کاهش و در سناریوی B1، ۰/۳ درصد افزایش یابد. علت کاهش تبخیر و تعرق فصلی جو در منطقه گرمسیر (سرپل‌ذهاب) می‌تواند ناشی از این باشد که تأثیر تغییر در منحنی نیاز آبی گیاه در اثر کاهش ۱۰ روزه دوره رشد (شکل ۳) کم‌تر از میزان آب صرفه‌جویی شده در ده روز آخری دوره رشد (در شرایط دوره پایه) بوده است. نتایج بیانگر این بود که همانند ذرت اثر تغییر اقلیم روی تبخیر و تعرق فصلی جو در مناطق سردسیر شدیدتر از مناطق معتدل و گرمسیر استان خواهد بود.

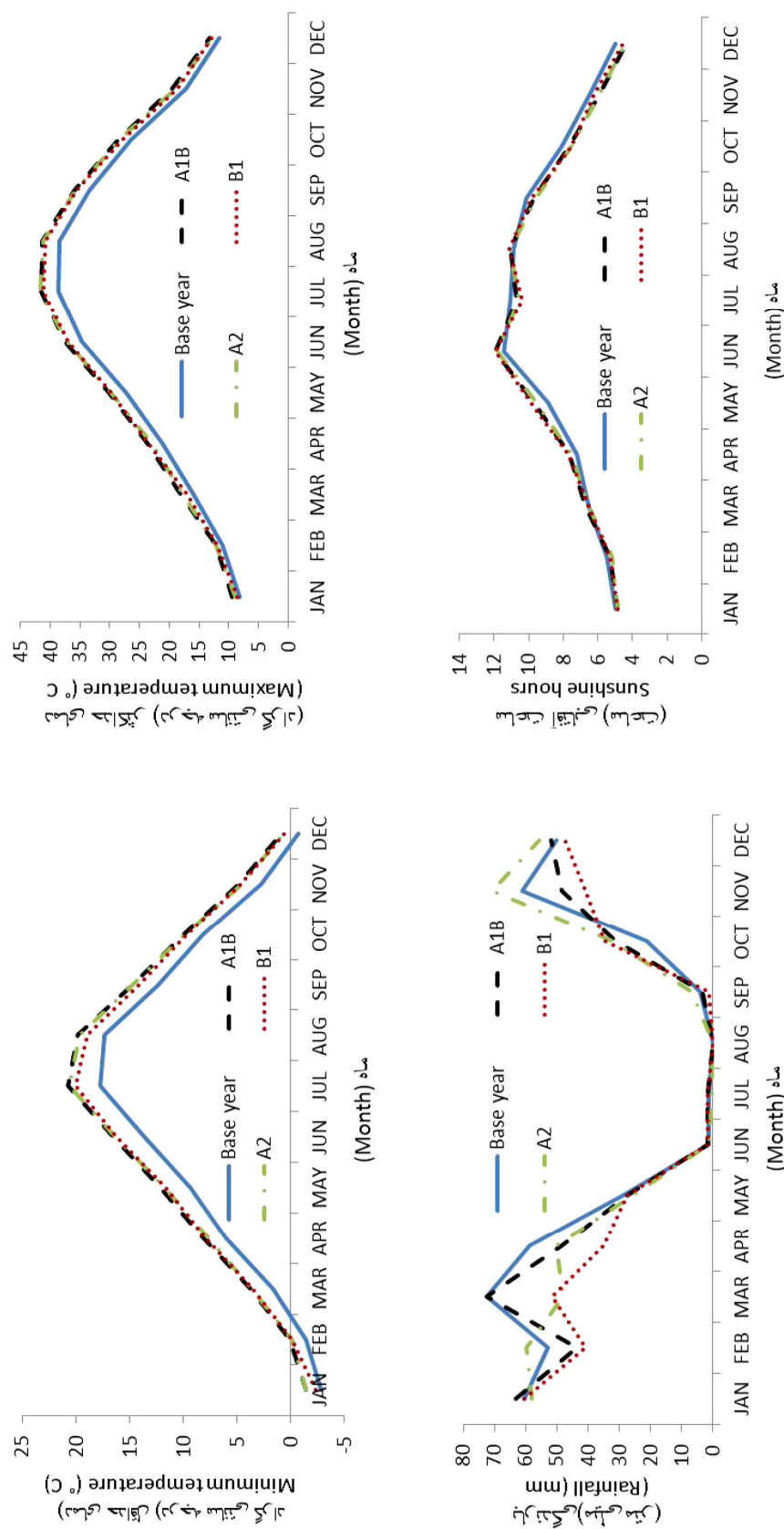
مجموع تبخیر و تعرق پتانسیل ذرت در دوره پایه در ایستگاه‌های سنقر، کرمانشاه و سرپل‌ذهاب به‌ترتیب ۷۴۹/۶، ۷۳۰ و ۷۰۱ میلی‌متر برآورد گردید. مشاهده می‌گردد که این مقدار در مناطق گرمسیر استان کم‌تر از مناطق معتدل و سردسیر می‌باشد. علت این موضوع کاهش دوره رشد در اثر بالا بودن دمای هوا و زودتر تامین شدن درجه حرارت لازم برای طی مراحل فنولوژیکی رشد گیاه می‌باشد. مجموع تبخیر و تعرق پتانسیل گیاهان ذرت و جو در طول فصل رشد برای سال‌های ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۴ تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 در جدول ۴ ارائه شده است. طبق این نتایج مجموع تبخیر و تعرق فصلی ذرت در سنقر از ۷۴۹/۶ میلی‌متر در دوره پایه به‌طور متوسط به مقادیر ۹۳۸، ۹۳۹/۶ و ۹۵۴/۶ میلی‌متر به‌ترتیب در سناریوهای A1B، A2 و B1 در دوره آبی افزایش خواهد یافت. در ایستگاه کرمانشاه مقدار این پارامتر از ۷۳۰ میلی‌متر در دوره پایه به‌طور متوسط به همان ترتیب سناریوها به مقادیر ۸۵۴، ۸۵۰ و ۸۶۱ میلی‌متر در دوره آبی افزایش خواهد یافت. در ایستگاه سرپل‌ذهاب نیز از مقدار متوسط ۷۰۱ میلی‌متر به مقادیر ۷۳۸/۵، ۷۴۰ و ۷۵۲ میلی‌متر افزایش می‌یابد. بر اساس این نتایج می‌توان انتظار داشت که مجموع تبخیر و تعرق فصلی ذرت در سنقر در دوره آبی نسبت به دوره پایه بین ۲۵ تا ۲۷ درصد، در کرمانشاه بین ۱۶ تا ۱۸ درصد و در سرپل‌ذهاب بین ۵ تا ۷ درصد افزایش یابد. با توجه به این نتایج درصد تغییرات نیاز آبی گیاه ذرت در مناطق سردسیر بیش‌تر از مناطق معتدل و گرمسیر استان خواهد بود.

به‌علت طولانی بودن دوره رشد گیاه جو و در برگرفتن دو سال در طول دوره رشد این گیاه، دوره مورد بررسی تا سال ۲۰۶۳ می‌باشد. طبق این نتایج

در کرمانشاه بین ۱۹ تا ۲۰ درصد و در سرپل ذهاب بین ۱۹ تا ۲۱ درصد افزایش یابد. مشاهده می‌گردد که همانند مجموع تبخیر و تعرق فصلی انتظار می‌رود که در اثر تغییر اقلیم مقدار تبخیر و تعرق حداکثر روزانه در مناطق سردسیر تغییرات بیش‌تری داشته باشد.

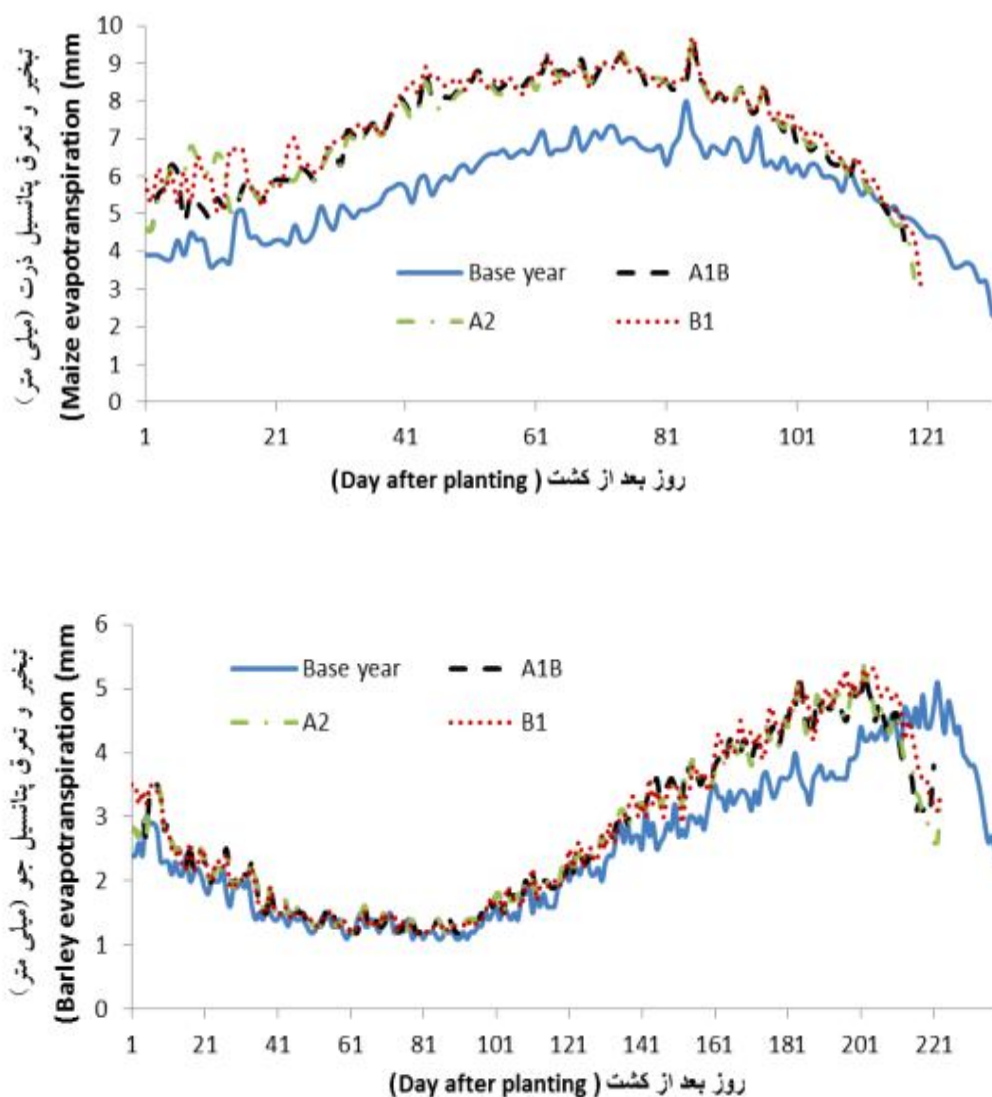
مقدار حداکثر تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه جو در طول فصل رشد در ایستگاه سنقر از ۵/۷ میلی‌متر در روز در دوره پایه به‌طور متوسط به مقدار ۷ میلی‌متر در روز در سناریوهای A1B، A2 و B1 در دوره آتی افزایش خواهد یافت. در ایستگاه کرمانشاه از مقدار ۵/۱ میلی‌متر در دوره پایه به‌طور متوسط در هر سه سناریوی فوق به مقدار ۶ میلی‌متر و در ایستگاه سرپل ذهاب نیز از مقدار متوسط ۳/۸ میلی‌متر به مقدار ۵ میلی‌متر در هر سه سناریو در دوره آتی افزایش می‌یابد. بر اساس این نتایج می‌توان انتظار داشت که حداکثر تبخیر و تعرق فصلی جو در سنقر در دوره آتی نسبت به دوره پایه بین ۱۷ تا ۲۶ درصد، در کرمانشاه بین ۱۵ تا ۲۳ درصد و در سرپل ذهاب نیز بین ۲۶ تا ۳۲ درصد افزایش یابد. درصد تغییرات این پارامتر در مناطق گرمسیر بیش‌تر از مناطق سردسیر خواهد بود.

حداکثر تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه یکی از پارامترهای اصلی در طراحی سیستم‌ها و شبکه‌های آبیاری می‌باشد. شبکه آبیاری باید قادر باشد که نیاز آبی گیاه را در زمان اوج مصرف تامین نماید. مقدار این پارامتر برای ذرت و جو در طول فصل رشد در دوره‌های پایه و آتی (سال‌های ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۴) تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 برآورد گردید که در جدول ۵ ارائه شده است. مقدار این پارامتر در دوره پایه برای گیاه ذرت در ایستگاه‌های سنقر، کرمانشاه و سرپل ذهاب به‌ترتیب ۷/۴، ۸ و ۷/۶ میلی‌متر و برای گیاه جو در ایستگاه‌های مذکور به‌ترتیب ۵/۷، ۵/۱ و ۳/۸ میلی‌متر می‌باشد. طبق این نتایج مقدار پارامتر مذکور در ایستگاه سنقر از ۷/۴ میلی‌متر در دوره پایه به‌طور متوسط به مقدار ۱۰ میلی‌متر در سناریوهای A1B، A2 و B1 در دوره آتی افزایش خواهد یافت. در ایستگاه کرمانشاه از مقدار ۸ میلی‌متر در دوره پایه به‌طور متوسط در هر سه سناریوی فوق به مقدار ۹/۶ میلی‌متر و در ایستگاه سرپل ذهاب نیز از مقدار متوسط ۷/۶ میلی‌متر به مقدار ۹ میلی‌متر در هر سه سناریو در دوره آتی افزایش می‌یابد. بر اساس این نتایج می‌توان انتظار داشت که حداکثر تبخیر و تعرق فصلی ذرت در سنقر در دوره آتی نسبت به دوره پایه بین ۳۷ تا ۳۸ درصد،



شکل ۲- پارامترهای هواشناسی پیش‌بینی شده برای دوره آبی (۲۰۴۶-۲۰۶۴) در سناریوهای A1B، A2 و B1 نسبت به دوره پایه در ایستگاه کرمانشاه.

Figure 2. Estimated values of weather parameters for the future period (2046-2064) in the scenarios of A1B, A2 and B1 compared to the baseline in Kermanshah station.



شکل ۳- تبخیر و تعرق پتانسیل برآوردشده ذرت و جو در ایستگاه کرمانشاه در دوره آتی و دوره پایه (میلی‌متر).

Figure 3. Estimated potential evapotranspiration of maize and barley in Kermanshah station in the future and base periods (mm).

جدول ۴- مقادیر حداکثر، متوسط و حداقل تبخیر و تعرق فصلی گیاهان ذرت و جو تحت سناریوهای تغییر اقلیمی و تغییرات آن نسبت به دوره پایه.

درصد تغییرات نسبت به دوره پایه (%)		تغییرات نسبت به دوره پایه (mm)			تبخیر و تعرق فصلی (mm)			شاخص	ایستگاه	محصول
Percentage of changes compared to the baseline (%)		Changes compared to the baseline (mm)			Seasonal evapotranspiration (mm)			Index	Station	Crop
B1	A2	A1B	B1	A2	A1B	B1	A2	A1B		
30.2	28.6	28.2	226.3	214.1	211.3	975.9	963.7	960.9	Max	سنقر Songhor (749.6)
27.3	25.3	25.1	205.0	190.0	188.4	954.6	939.6	938.0	Mean	
25.1	22.4	22.4	187.9	167.9	167.8	937.5	917.5	917.4	Min	
21.5	19.3	20.7	156.9	140.8	151.0	886.9	870.8	881.0	Max	کرمانشاه Kermanshah (730)
17.9	16.3	17.0	130.8	119.1	123.8	860.8	849.1	853.8	Mean	
15.3	13.8	15.1	111.8	100.7	110.4	841.8	830.7	840.4	Min	
9.6	8.4	7.9	67.4	58.8	55.7	768.4	759.8	756.7	Max	سرپل ذهاب Sarpol_e_Zahab (701)
7.3	5.6	5.3	51.3	38.9	37.5	752.3	739.9	738.5	Mean	
4.3	2.4	2.2	29.9	16.7	15.2	730.9	717.7	716.2	Min	
21.1	18.5	15.7	151.8	133.6	112.8	872.4	854.2	833.4	Max	سنقر Songhor (720.6)
12.5	9.2	4.2	90.2	66.2	30.6	810.8	786.8	751.2	Mean	
5.7	2.1	-43.3	40.9	14.8	312.1	761.5	735.4	408.5	Min	
11.1	9.9	6.6	66.7	59.3	39.4	667.0	659.6	639.7	Max	کرمانشاه Kermanshah (600.3)
5.9	3.0	0.5	35.3	18.0	3.2	635.6	618.3	603.5	Mean	
1.9	-1.6	-6.5	11.7	-9.9	-38.9	612.0	590.4	561.4	Min	
4.8	2.0	1.2	20.9	8.6	5.1	455.6	443.3	439.8	Max	سرپل ذهاب Sarpol_e_Zahab (434.7)
0.3	-2.4	-3.1	1.4	-10.4	-13.3	436.1	424.3	421.4	Mean	
-3.3	-5.8	-6.9	-14.4	-25.0	-30.2	420.3	409.7	404.5	Min	

جدول ۵- مقادیر حداکثر، متوسط و حداقل پارامتر حداکثر تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه گیاهان ذرت و جو تحت سناریوهای تغییر اقلیمی و تغییرات آن نسبت به دوره پایه.

Table 5. Maximum, mean and minimum of peak daily potential evapotranspiration of maize and barley under climate change scenarios and its changes related to base period.

درصد تغییرات نسبت به دوره پایه (%)				تغییرات نسبت به دوره پایه (mm)				حداکثر تبخیر و تعرق روزانه (mm)				شاخص Index	ایستگاه Station	محصول Crop	
B1	A2	A1B	A1B	B1	A2	A1B	A1B	B1	A2	A1B	A1B				B1
Percentage of changes compared to the baseline (%)															
The maximum daily evapotranspiration (mm)															
41.9	41.9	41.9	3.1	3.1	3.1	3.1	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	Max	10.5	Max	سنقر Songhor (7.4)
37.7	36.7	37.1	2.8	2.7	2.7	2.7	10.2	10.1	10.1	10.1	10.1	Mean	10.1	Mean	
33.8	32.4	32.4	2.5	2.4	2.4	2.4	9.9	9.8	9.8	9.8	9.8	Min	9.8	Min	
27.5	26.3	25.0	2.2	2.1	2.0	2.0	10.2	10.1	10.1	10.1	10.0	Max	10.0	Max	کرمانشاه Kermanshah (8.0)
20.5	19.5	19.7	1.6	1.6	1.6	1.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	Mean	9.6	Mean	
13.8	12.5	13.8	1.1	1.0	1.1	1.1	9.1	9.0	9.0	9.0	9.1	Min	9.1	Min	
27.6	25.0	25.0	2.1	1.9	1.9	1.9	9.7	9.5	9.5	9.5	9.5	Max	9.5	Max	سرپل ذهاب Sarpol_e_Zahab (7.6)
21.0	18.7	19.0	1.6	1.4	1.4	1.4	9.2	9.0	9.0	9.0	9.0	Mean	9.0	Mean	
15.8	13.2	14.5	1.2	1.0	1.1	1.1	8.8	8.6	8.6	8.6	8.7	Min	8.7	Min	
42.1	36.8	31.6	2.4	2.1	1.8	1.8	8.1	7.8	7.8	7.8	7.5	Max	7.5	Max	سنقر Songhor (5.7)
26.3	20.9	17.5	1.5	1.2	1.0	1.0	7.2	6.9	6.9	6.9	6.7	Mean	6.7	Mean	
15.8	10.5	8.8	0.9	0.6	0.5	0.5	6.6	6.3	6.3	6.3	6.2	Min	6.2	Min	
37.3	27.5	27.5	1.9	1.4	1.4	1.4	7.0	6.5	6.5	6.5	6.5	Max	6.5	Max	کرمانشاه Kermanshah (5.1)
23.3	17.0	15.0	1.2	0.9	0.8	0.8	6.3	6.0	6.0	6.0	5.9	Mean	5.9	Mean	
15.7	11.8	2.0	0.8	0.6	0.1	0.1	5.9	5.7	5.7	5.7	5.2	Min	5.2	Min	
47.4	42.1	44.7	1.8	1.6	1.7	1.7	5.6	5.4	5.4	5.4	5.5	Max	5.5	Max	سرپل ذهاب Sarpol_e_Zahab (3.8)
32.0	27.0	26.2	1.2	1.0	1.0	1.0	5.0	4.8	4.8	4.8	4.8	Mean	4.8	Mean	
21.1	18.4	18.4	0.8	0.7	0.7	0.7	4.6	4.5	4.5	4.5	4.5	Min	4.5	Min	

آتی نسبت به دوره پایه بین ۷ تا ۸ درصد، در کرمانشاه بین ۶ تا ۷ درصد و در سرپل‌ذهاب بین ۵ تا ۶ درصد کاهش یابد.

در ادامه میانگین مقادیر برآوردشده برای صفات مورد مطالعه با مقادیر متناظر آن در دوره پایه با آزمون t مورد مقایسه قرار گرفت (جدول ۷). در این جدول علاوه بر مقدار آماره t ، درجه آزادی و سطح معنی‌داری اختلاف بین مقادیر میانگین پارامترها نیز گزارش شده است. مقادیر کم‌تر از ۰/۱ و ۰/۰۵ به ترتیب بیانگر معنی‌دار بودن اختلاف بین مقادیر برآوردشده با سناریو موردنظر با مقادیر دوره پایه در سطوح ۹۰ و ۹۵ درصد می‌باشد. مقادیر بزرگ‌تر از ۰/۱ بیانگر این است که در سطح ۹۰ درصد اختلاف‌ها معنی‌دار نیست. با توجه به این نتایج از نظر آماری مقادیر تبخیر و تعرق فصلی برآورد شده با سناریوهای مختلف اختلاف معنی‌داری را با دوره پایه نشان نمی‌دهد. با توجه به آزمون t تفاوت بین مقادیر برآوردشده حداکثر تبخیر و تعرق (ET_{max}) تحت سناریوهای تغییر اقلیم با دوره پایه برای ذرت در سطح ۹۵ درصد و برای جو در سطح ۹۰ درصد معنی‌دار می‌باشد. ضمناً تفاوت بین طول دوره رشد برای هر دو محصول در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بود. البته با توجه به تعداد کم نمونه‌ها (۳ نمونه) و واریانس زیاد بین این مقادیر (به دلیل این‌که نمونه‌ها از اقلیم‌های متفاوت انتخاب شده بودند) نتایج آزمون t باید با احتیاط مورد استفاده قرار گیرد.

طول دوره رشد گیاهان ذرت و جو در طول فصل رشد نیز برای دوره‌های پایه و سال‌های ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۴ تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 محاسبه گردید که در جدول ۶ ارائه شده است. طبق این نتایج طول دوره رشد در ایستگاه سنقر از ۱۴۹ روز در دوره پایه به‌طور متوسط به ۱۲۸، ۱۲۹ و ۱۳۱ روز به ترتیب در سناریوهای A1B، A2 و B1 در دوره آتی کاهش خواهد یافت. در ایستگاه کرمانشاه از ۱۳۱ روز در دوره پایه به‌طور متوسط به ۱۱۷ روز در هر سه سناریوی فوق و در ایستگاه سرپل‌ذهاب نیز از ۱۳۲ روز در دوره پایه به ۱۲۰/۵، ۱۲۱/۵ و ۱۲۱/۷ روز در سناریوهای مذکور در دوره آتی کاهش می‌یابد. بر اساس این نتایج می‌توان انتظار داشت که طول دوره رشد گیاه ذرت در سنقر در دوره آتی نسبت به دوره پایه بین ۱۲ تا ۱۴ درصد، در کرمانشاه ۱۰ درصد و در سرپل‌ذهاب بین ۸ تا ۹ درصد کاهش یابد. با توجه به اعداد مندرج در جدول ۶ مشاهده می‌گردد که طول دوره رشد گیاه جو در ایستگاه سنقر از ۲۷۷ روز در دوره پایه به‌طور متوسط به ۲۵۳، ۲۵۶ و ۲۵۷ روز به ترتیب در سناریوهای A1B، A2 و B1 در دوره آتی کاهش خواهد یافت. در ایستگاه کرمانشاه از ۲۴۰ روز در دوره پایه به‌طور متوسط به ۲۲۳، ۲۲۵ و ۲۲۶ روز به همان ترتیب سناریوها و در ایستگاه سرپل‌ذهاب نیز از ۱۸۸ روز در دوره پایه به ۱۷۷، ۱۷۸ و ۱۷۹ روز در سناریوهای مذکور در دوره آتی کاهش می‌یابد. بر اساس این نتایج می‌توان انتظار داشت که طول دوره رشد گیاه جو در سنقر در دوره

جدول ۶- مقادیر حداکثر، متوسط و حداقل طول دوره رشد گیاهان ذرت و جو تحت سناریوهای تغییر اقلیمی و تغییرات آن نسبت به دوره پایه.

Table 6. Maximum, mean and minimum of length of growing period for maize and barley under climate change scenarios and its changes related to base period.

درصد تغییرات نسبت به دوره پایه (%)			تغییرات نسبت به دوره پایه (روز)			طول دوره رشد (روز)			شاخص	ایستگاه	محصول
Percentage of changes compared to the baseline (%)			Changes compared to the baseline (day)			Length of growing period (day)					
B1	A2	A1B	B1	A2	A1B	B1	A2	A1B	Index	Station	Crop
-10.7	-12.1	-12.8	-16.0	-18.0	-19.0	133.0	131.0	130.0	Max	سنقر Songhor (149)	ذرت Maize
-12.2	-13.6	-14.2	-18.2	-20.3	-21.2	130.8	128.7	127.8	Mean		
-13.4	-14.8	-15.4	-20.0	-22.0	-23.0	129.0	127.0	126.0	Min		
-9.2	-9.2	-9.2	-12.0	-12.0	-12.0	119.0	119.0	119.0	Max	کرمانشاه Kermanshah (131)	
-10.5	-10.5	-10.4	-13.8	-13.8	-13.6	117.2	117.2	117.4	Mean		
-11.5	-11.5	-11.5	-15.0	-15.0	-15.0	116.0	116.0	116.0	Min		
-6.8	-6.8	-7.6	-9.0	-9.0	-10.0	123.0	123.0	122.0	Max	سرپل ذهاب Sarpol_e_Zahab (132)	
-7.8	-7.9	-8.7	-10.3	-10.5	-11.5	121.7	121.5	120.5	Mean		
-9.8	-9.8	-10.6	-13.0	-13.0	-14.0	119.0	119.0	118.0	Min		
-4.7	-5.1	-5.8	-13.0	-14.0	-16.0	264.0	263.0	261.0	Max	سنقر Songhor (277)	جو Barley
-7.0	-7.6	-8.5	-19.5	-21.2	-23.6	257.5	255.8	253.4	Mean		
-9.0	-9.7	-10.1	-25.0	-27.0	-28.0	252.0	250.0	249.0	Min		
-3.8	-3.8	-4.6	-9.0	-9.0	-11.0	231.0	231.0	229.0	Max	کرمانشاه Kermanshah (240)	
-5.9	-6.4	-7.0	-14.3	-15.3	-16.7	225.7	224.7	223.3	Mean		
-7.5	-7.9	-10.4	-18.0	-19.0	-25.0	222.0	221.0	215.0	Min		
-3.2	-3.2	-4.3	-6.0	-6.0	-8.0	182.0	182.0	180.0	Max	سرپل ذهاب Sarpol_e_Zahab (188)	
-4.6	-5.1	-5.8	-8.6	-9.5	-10.9	179.4	178.5	177.1	Mean		
-5.9	-6.9	-7.4	-11.0	-13.0	-14.0	177.0	175.0	174.0	Min		

جدول ۷- نتایج آزمون t برای پارامترهای مورد مطالعه.

Table 7. Results of t-test for studied parameters.

طول دوره رشد		حداکثر تبخیر و تعرق روزانه		تبخیر و تعرق فصلی		پارامتر	زوج سناریو
Growth period		ET max		Seasonal ET			
جو	ذرت	جو	ذرت	جو	ذرت	Parameter	Paired scenarios
Barley	Maize	Barley	Maize	Barley	Maize		
4.649	5.238	-13.000	-5.000	-1.635	-2.908	t	Base-B1
2	2	2	2	2	2	df	
0.043	0.035	0.006	0.038	0.244	0.101	Sig. (2-tailed)	
4.540	5.164	-11.717	-4.701	-1.100	-2.658	t	Base-A2
2	2	2	2	2	2	df	
0.045	0.036	0.007	0.042	0.386	0.117	Sig. (2-tailed)	
4.490	6.169	-14.000	-4.701	-0.534	-2.667	t	Base-A1B
2	2	2	2	2	2	df	
0.046	0.025	0.005	0.042	0.647	0.117	Sig. (2-tailed)	

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این پژوهش پارامترهای هواشناسی مدل اقلیمی HADCM3 برای دوره ۲۰۶۴-۲۰۴۶ توسط نرم‌افزار LARS-WG ریزمقیاس شدند و تغییرات سالانه این پارامترها برای سه ایستگاه در مناطق سردسیر، معتدل و گرمسیر استان کرمانشاه محاسبه شد. نتایج پیش‌بینی سناریوهای A1B، A2 و B1 در ایستگاه‌های مذکور نشان از افزایش دمای حداقل و حداکثر و نوسانات مجموع بارش و ساعت آفتابی را دارد.

در بررسی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه ذرت در هر سه سناریو A1B، A2 و B1 و در همه سال‌های در نظر گرفته شده، علاوه بر افزایش مجموع تبخیر و تعرق پتانسیل این گیاه، انتظار می‌رود که طول دوره رشد نیز کاهش یابد. اثر تغییر اقلیم روی تبخیر و تعرق فصلی، تبخیر و تعرق حداکثر روزانه و دوره رشد محصول ذرت در ایستگاه سنقر (منطقه سردسیر) بیش‌تر از کرمانشاه (منطقه معتدل) و خیلی بیش‌تر از سرپل‌ذهاب (منطقه گرمسیر) برآورد گردید. روند تغییرات پارامترهای مورد مطالعه برای جو نیز همانند ذرت می‌باشد اما شدت تغییرات به مراتب کم‌تر از ذرت برآورد گردید. همانند ذرت مناطق سردسیر و گرمسیر استان به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان تغییرات را در اثر تغییر اقلیم روی تبخیر و تعرق فصلی، تبخیر و تعرق حداکثر روزانه و دوره رشد جو خواهند داشت.

در این مطالعه از فایل گیاهی ذرت رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ و جو رقم کارون در کویر (نصرت) استفاده شده است که جزو ارقام رایج در استان کرمانشاه می‌باشند و فایل گیاهی آن‌ها در پژوهش‌های قبلی واسنجی شده بود. مطالعه کنونی با استفاده از این فایل‌ها و با فرض این‌که در هر سه منطقه همین ارقام کشت می‌شوند انجام گرفته است. نتایج این مطالعه برای این شرایط قابل استفاده است و در صورتی‌که ارقام دیگری در این مناطق کشت شود باید از فایل گیاهی واسنجی شده برای رقم موردنظر استفاده شود. ضمناً فرض شده است که در آینده تاریخ کشت نیز همین تاریخ کشت فعلی می‌باشد. البته می‌توان در مطالعه دیگری اثر تغییر تاریخ کشت را نیز مورد تحلیل قرار داد.

نتایج این مطالعه بیانگر این است که در آینده و در اثر تغییر اقلیم نیاز آبی گیاهان افزایش می‌یابد. اگر این موضوع در طراحی شبکه‌های آبیاری در نظر گرفته نشود در آینده مجبور به اعمال کم آبیاری و یا کاهش سطح زیر کشت اراضی تحت پوشش شبکه‌های آبیاری خواهیم شد. با توجه به نتایج این مطالعه، برای پروژه‌هایی که قرار است در دوره مورد مطالعه فعال باشند پیشنهاد می‌گردد تا زمان بررسی‌های تکمیلی و مطالعه روی سایر گیاهان، نیاز آبی گیاهان در دوره حداکثر مصرف (که مبنای طراحی شبکه‌ها می‌باشد)، برای محصولات پاییزه ۱۰ درصد و برای محصولات بهاره ۲۰ درصد بیش‌تر در نظر گرفته شوند.

منابع

- Ahmady, M. 2011. Effects of deficit irrigation on winter barley crop yield in Mahidasht region using crop growing simulation models. M.Sc. Thesis, Razi University, Kermanshah. (In Persian)
- Ahmadpour, A. 2013. Estimation of maize crop yield under various irrigation management using WOFOST and Aqua Crop models in Kermanshah. M.Sc. Thesis, Razi University, Kermanshah. (In Persian)
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome. 300: 9. D05109.

4. Abassi, F., Malbusi, Sh., Babaeian, A., Asmari, M., and Borhani, R. 2010. Climate change prediction of South Khorasan province during 2010-2039 by using statistical downscaling of ECHO-G Data. *J. Water Soil.* 24: 2. 218-233. (In Persian)
5. Bahri, M., Dastorani, M., and Goudarzi, M. 2013. Assessing the impact of climate change on temperature and precipitation in the period 2011-2030 using the LARS-WG (Case study: Eskandari Watershed, Isfahan province). The Ninth National Congress of Watershed Management Science and Engineering, University of Yazd, Iran, Watershed Association. (In Persian)
6. Chiotti, Q.P., and Johnston, T. 1995. Extending the boundaries of climate change research: a discussion on agriculture. *J. Rur. Stud.* 11: 3. 335-350.
7. Eitzinger, J., Trnka, M., Hosch, J., and Zaloud, J. 2004. Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in Simulating Soil Water Content during growing season under different Soil Condition. *Ecological modeling.* 171: 3. 223-246.
8. Farhangfar, S., Bannayan, M., Khazaei, H.R., and Baygi, M.M. 2015. Vulnerability assessment of wheat and maize production affected by drought and climate change. *Inter. J. Disaster Risk Red.* 13: 37-51.
9. Liu, S., Mo, X., Lin, Z., Xu, Y., Ji, J., Wen, G., and Richey, J. 2010. Crop yield responses to climate change in the Huang-Huai-Hai Plain of China. *Agricultural water management.* 97: 8. 1195-1209.
10. Ly, S., Charles, C., and Degree, A. 2010. Spatial interpolation of daily rainfall at catchment scale: a case study of the Ourthe and catchment. Belgium, Hydrology and earth System Science Disences. 7: 5. 7383-7416.
11. Mirsane, M., Bavani Massah, A., Blouk Azari, S., and Sohrab Molla Yousef, T. 2010. Assessing the impact of climate change on water requirement of sugar beet during its growing period. The second International Conference on Integrated Water Resource Management, Kerman. Kerman Shahid Bahonar University. (In Persian)
12. Graham, L.P., Hagemann, S., Jaun, S., and Beniston, M. 2007. On interpreting hydrological change from regional climate models. *Climatic Change.* 81: 1. 97-122.
13. Jiang, T., Chen, Y.D., Xu, C., and Chen, X. 2007. Comparison of hydrological impacts of climate change simulated by six hydrological models in the Dongxiang basin south China. *J. Hydrol.* 336: 316-333.
14. Rahimi, S. 2014. Assessment of changes in water runoff sub-two deaths affected by climate change. M.Sc. Thesis, Razi University, Kermanshah. (In Persian)
15. Rajabi, A. 2010. Modeling of Kermanshah Climate using downscaling model of LARS-WG. The second International Conference on Integrated Water Resource Management, Kerman. Kerman Shahid Bahonar University. (In Persian)
16. Semenov, M.A., and Barrow, E.M. 2007. LARS-WG A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies. User Manual.
17. Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D., and Fereres, E. 2009. AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: i. Concepts and underlying principles. *Agron. J.* 101: 426-437.
18. Wilby, R., Charles, S., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P., and Mearns, L. 2004. Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. IPCC, 27p.
19. Yang, C., Fraga, H., Van Ieperen, W., and Santos, J.A. 2017. Assessment of irrigated maize yield response to climate change scenarios in Portugal. *Agricultural Water Management.* 184: 178-190.

Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 24(3), 2017
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Changes in potential evapotranspiration of maize and barley under climate change situation in Kermanshah

*B. Farhadi Bansouleh¹, A. Asadi² and M. Hafezparast¹

¹Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Razi University,

²M.Sc. Graduate, Dept. of Water Engineering, Razi University

Received: 10/23/2016; Accepted: 09/06/2017

Abstract

Background and Objectives: Agriculture is one of the most sensitive sectors in terms of climate change, due to its high dependence on meteorological parameters. By increasing air temperature evaporative power of the atmosphere will be increased and crop growth period will be decreased. Under climate change situation crop yield and crop water requirement will be changed. Changes in these parameters under climate change scenarios can be estimated using simultaneous application of climate change and crop growth simulation models. In this study the impact of climate change on potential evapotranspiration of an autumn crop (barley) and a spring crop (maize) in three stations in different climatic regions of Kermanshah Province for the upcoming period of 2046-2064 were examined.

Materials and Methods: The study was carried out in three phases. In the first phase meteorological parameters in the future were estimated based on scenarios of A1B, A2 and B1 of HADCM3 climate change model and downscaled using LARS-WG package software. In the second phase reference crop evapotranspiration under current and the future situations was calculated using the FAO Penman-Monteith formula and compared together. In the third phase growth of studied crops were simulated by AquaCrop software using calibrated crop parameters in the region and based on current and future weather data sets. According to the model outputs seasonal evapotranspiration, maximum daily evapotranspiration and length of growth period under current and future climates were compared.

Results: Results of first phase indicated the increasing in the minimum and maximum temperatures and fluctuations in rainfall and sunshine hours compared to the base period (1992-2010). Meanwhile, in the future potential reference crop evapotranspiration in all three stations will be increased. According to the results of this study seasonal evapotranspiration of maize in the future will be increased by 25-27% in Songhor, 16-18% in Kermanshah and 5-7% in Sarpol_e_Zahab. The estimated maximum daily evapotranspiration of maize in the future will be increased by 37-38% in Songhor, 19-20% in Kermanshah and 19-21% in Sarpol_e_Zahab. On the effect of climate change growth period of maize will be decreased by 20, 14 and 10 days respectively in Songhor, Kermanshah and Sarpol_e_Zahab. The trend of changes in the studied parameters for barley was the same as maize but the rate of changes was estimated less.

Conclusion: Results of simulation indicated the increasing of seasonal potential evapotranspiration and maximum daily evapotranspiration and decreasing of crop growth period in all three stations under climate change scenarios. The effect of climate change on studied parameters for both crops in Songhor station (cold region) will be higher than Kermanshah (mild) and much more than Sarpol_e_Zahab (tropical). In addition, the percentage of changes in evapotranspiration of spring crop (maize) under climate change will be more than winter crop (barley).

Keywords: Reference evapotranspiration, Downscaling, Crop modeling, Kermanshah, Water requirement

* Corresponding Author; Email: bfarhadi2001@yahoo.com