

بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی دشت هشتگرد با تاکید بر عدم قطعیت مدل های AOGCM گزارش ارزیابی پنجم IPCC

آیدا مهرآذر^۱، علیرضا مساح بوانی^۲، محمود مشعل^۳ و حدیثه رحیمی خوب^۴

۱- کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران.

۲- دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران.

۳- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران mmashal@ut.ac.ir

۴- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۲۷

چکیده

امروزه تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب، یکی از چالش‌های اصلی می‌باشد. این مطالعه با هدف شبیه‌سازی عملکرد بخش کشاورزی دشت هشتگرد، تحت تأثیر عدم قطعیت تغییر اقلیم در دوره آتی (۲۰۴۹-۲۰۲۰ میلادی) انجام گرفته است. بدین منظور از خروجی‌های ۱۹ مدل AOGCMs، تحت چهار سناریوی انتشار RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 استفاده شد. به منظور کمی‌سازی عدم قطعیت، در تخمین تغییرات دما و بارندگی، تحت تأثیر تغییر اقلیم، خروجی‌های ۱۹ مدل AOGCMs به روش مقایسه میانگین دما و بارش (MOTP) وزن‌دهی شدند. برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تولید پتانسیل، طول دوره رشد، نیاز آب آبیاری و بهره‌وری آب پتانسیل، چهار محصول غالب (گندم، جو، ذرت و یونجه) دشت هشتگرد، از رویکرد AEZ استفاده گردید. پردازش سناریوهای اقلیمی نشان داد درجه حرارت سالانه به طور متوسط در دوره آتی تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 به ترتیب ۱/۳۴، ۱/۶۹، ۱/۵۲ و ۱/۸۱ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. نتایج حاکی از عدم روند منظم صعودی یا نزولی در تغییرات ماهانه بارندگی است. همچنین نتایج نشان داد طول دوره رشد و تولید پتانسیل محصولات کشاورزی در اثر تغییر اقلیم در دوره آتی کاهش خواهد یافت که حداکثر کاهش طول دوره رشد برای گندم، جو، ذرت و یونجه به ترتیب ۱۴، ۱۲، ۱۹ و ۱۲ روز و حداکثر کاهش در تولید گندم، جو، ذرت و یونجه به ترتیب ۱۰/۲، -۱۲/۱، -۱۵ و -۸/۱ درصد می‌باشد. نیاز آب آبیاری محصولات مورد مطالعه نیز، تحت تأثیر تغییر اقلیم افزایش خواهد یافت. حداکثر افزایش نیاز آب آبیاری تحت تأثیر تغییر اقلیم، برای گندم، جو، ذرت و یونجه به ترتیب ۱۶، ۱۷/۲۱، ۲۶ و ۲۰ درصد می‌باشد. همچنین کاهش تولید محصول پتانسیل و افزایش نیاز آب آبیاری در اثر تغییر اقلیم، موجب کاهش بهره‌وری آب پتانسیل خواهد شد. حداکثر کاهش بهره‌وری آب، برای گندم، جو، ذرت و یونجه به ترتیب ۲۶/۵، -۳۵، -۳۸/۵ و -۳۰/۹ درصد می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: تغییر اقلیم، دشت هشتگرد، عدم قطعیت، کشاورزی، RCPs.

مقدمه

تشدید مخاطرات زیستی تحت تنش تغییر اقلیم، لازم است، شرایط اقلیمی آینده، برآورد شده تا تصمیمات و برنامه‌ریزی‌های واقعی‌تری اتخاذ گردد (Johnson et al, 2006). تغییر بارش و دمای ناشی از تغییر اقلیم، بر محصولات باغی و کشاورزی نیز آسیب وارد می‌کند. به منظور افزایش امنیت غذایی در هر منطقه در دوره‌های آتی، لازم است تا از پیش، اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی منطقه شناخته شده و راه کارهای سازگاری برای مقابله با اثرات منفی آن ارائه گردد. امروزه اثرات تغییر اقلیم بر محصولات کشاورزی، مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. Kang et al. (2015)، تأثیر تغییر اقلیم بر شاخص‌های بهره‌وری آب و عملکرد ذرت دیم و آبی را در جنوب شرق استرالیا بررسی کردند. پیش‌بینی‌های آن‌ها برای سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰، بیان‌کننده افزایش دمای هوا در همه سال‌ها و افزایش بارندگی تا سال ۲۰۲۰ و سپس کاهش آن تا سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بود. به اعتقاد آنان، نتیجه تغییرات فوق، باعث افزایش تبخیر و تعرق و در

گرمایش جهانی طی چند دهه گذشته باعث شده تا سیاست‌گذاران کشورها توجه خاصی به موضوع تغییر اقلیم از خود نشان دهند. از این رو کشورهای توسعه یافته، با طراحی و اجرای مدل‌های اقلیمی سعی در شبیه‌سازی میزان تغییرات متغیرهای اقلیمی تحت پدیده تغییر اقلیم دارند. اغلب مدل‌های اقلیمی، تحت سناریوهای انتشار (RCPs)، بر این نکته اتفاق دارند که سطح جهانی دما تا پایان قرن ۲۱، نسبت به دوره ۱۹۰۰-۱۸۵۰، بیش از ۱/۵ درجه سلسیوس و با دید بدبینانه‌تر به بیش از دو درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت (IPCC, 2014). تغییرات در چرخه آب از مهم‌ترین پاسخ‌های زمین به گرمایش احتمالی به آن می‌باشد. نوسانات شدید بارش و الگوهای بارش، پراکنش نامناسب زمانی و مکانی نزولات آسمانی، تبخیر و تعرق زیاد، افزایش محسوس وقوع خشکسالی و سیل و فراوانی آن‌ها، از جمله تغییرات در چرخه آبی است (IPCC, 2014). بنابراین با توجه به

بین الدول تغییر اقلیم IPCC در تدوین گزارش ارزیابی پنجم (AR5) از سناریوهای جدید RCP (Representative Concentration Pathways) به عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است. سناریوهای جدید انتشار، دارای چهار خط سیر کلیدی، با نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 می‌باشند. هر یک از سناریوها، بر اساس میزان واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نام گذاری شده‌اند (IPCC, 2014). از این رو در این مطالعه از چهار سناریوی انتشار RCPs استفاده شد تا میزان تولیدات کشاورزی، طول دوره رشد، نیاز آب آبیاری و بهره‌وری آب پتانسیل در سناریوهای حدی و شرایط مختلف اقلیمی در دوره آتی مورد بررسی قرار گیرند.

از طرفی در مطالعات تأثیر تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف در دوره‌های آتی، منابع مختلفی از عدم قطعیت بر نتایج نهایی تأثیر می‌گذارد. نادیده گرفتن منابع عدم قطعیت در محاسبات می‌تواند از میزان کاربردی بودن نتایج بکاهد (Massah, 2006). بنابراین در این مطالعه، عدم قطعیت در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی دشت هشتگرد با استفاده از مدل‌های گزارش ارزیابی پنجم IPCC در نظر گرفته شد. به منظور تعدیل عدم قطعیت موجود در تخمین تغییرات دما و بارندگی، تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم، خروجی‌های ۱۹ مدل AOGCMs به روش میانگین مشاهداتی دما و بارش MOTP (Mean Observed Temperature- Precipitation) وزن‌دهی شدند و ریزمقیاس نمایی آن‌ها با استفاده از مدل LARS-WG انجام شد، سپس با استفاده از مدل گیاهی AEZ، اثرات عدم قطعیت تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی هشتگرد با وسعت ۱۲۷۱ کیلومتر مربع، یکی از زیر حوضه‌های اصلی حوضه آبریز دریاچه نمک در ایران، واقع در شمال حوضه مزبور می‌باشد. حوضه هشتگرد از شمال به حوضه آبریز درجه دو سفیدرود بزرگ، از جنوب به محدوده اشتهارد، از غرب به محدوده قزوین و از شرق به محدوده تهران-کرج، محدود شده است. بارندگی سالیانه در محدوده مورد مطالعه ۳۴۱ میلی‌متر و متوسط دما ۱۳ درجه سلسیوس می‌باشد. موقعیت کلی محدوده مطالعاتی هشتگرد در شکل (۱) نشان داده شده است. داده‌های هواشناسی مورد نیاز در پژوهش شامل دمای کمینه و بیشینه، دمای میانگین، بارش و ساعات آفتابی برای سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۷۶ می‌باشد. داده‌های مزبور از هواشناسی ایستگاه سینوپتیک قزوین، نزدیک‌ترین ایستگاه به محدوده مورد مطالعه به‌دست آمدند. ایستگاه سینوپتیک قزوین در طول جغرافیایی ۵۰/۰۵ و در عرض جغرافیایی ۳۶/۲۵ واقع شده است. محصولات غالب کشاورزی دشت هشتگرد شامل گندم، جو، ذرت و یونجه می‌باشد.

پی آن افزایش عملکرد گیاه ذرت می‌شود. Melkonyan (2015)، با استفاده از مدل‌های GCM، به بررسی آثار پدیده تغییر اقلیم بر منابع آب و عملکرد گیاهان در ارمنستان، برای آینده نزدیک تا سال ۲۰۴۰، پرداخت. نتایج نشان داد متوسط دمای هوا در دوره آتی افزایش داشته و بارندگی تغییر چندانی نخواهد داشت. همچنین او نشان داد که نیاز آبی گیاهان زراعی، تا سال ۲۰۴۰، حدوداً به دو برابر مقدار کنونی خود افزایش خواهد یافت. Rahmani et al. (2016)، اثر تغییر اقلیم بر نیاز آبی گندم و جو و عملکرد گندم در دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ در منطقه بیرجند را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که در آینده درجه حرارت‌های کمینه و بیشینه در تمام ماه‌های سال، افزایش یافته و متوسط بارش سالیانه نیز حدوداً ۳/۵ درصد بیشتر خواهد بود. با وجود بیشتر شدن تبخیر و تعرق گیاه مرجع، به دلیل کاشت زودتر گندم و جو و کوتاه شدن طول دوره رشد آن‌ها، نیاز آبی محصولات در آینده بین ۱۹/۵ درصد (گندم) تا ۲۲/۵ درصد (جو) کمتر خواهد شد. عملکرد گندم نیز تحت تأثیر تغییر اقلیم حدود ۳۰ درصد کاهش خواهد یافت. Gohari et al. (2013)، اثرات تغییر اقلیم بر تولید پتانسیل چهار محصول غالب شامل گندم، جو، برنج و ذرت را با رویکرد AEZ/GIS در حوضه زاینده‌رود مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها در خصوص شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی، حاکی از کاهش معنی‌دار تولید محصول در اثر اقلیم گرم و خشک بود. حداکثر تغییرات نیاز آب آبیاری برای ذرت و برنج، به ترتیب ۳۰/۲ و ۲۴/۹ درصد افزایش نشان داد. همچنین بیشترین مقدار کاهش طول دوره رشد جو و گندم به ترتیب در حدود ۲۴ و ۲۰ روز، برآورد شد.

لذا نظر به تأثیر اقلیم، بر پتانسیل کشاورزی، لازم است تولید محصولات زراعی در دوره‌های آتی مورد مطالعه و ارزیابی قرار گیرد. تا بتوان در صورت کاهش تولید محصول در دوره‌های آتی نسبت به جبران اثرات منفی آن اقدام نمود. برای این منظور مدل‌های شبیه‌ساز گیاه برای پیش‌بینی تولید محصولات زراعی توسعه یافته‌اند. در پژوهش حاضر از مدل Agro Ecological Zones method (AEZ) برای پیش‌بینی عملکرد محصول در دوره‌های آتی استفاده شده است. در حال حاضر تحقیقات انجام شده در زمینه تأثیر تغییر اقلیم بر بهره‌وری کشاورزی و تولید محصولات زراعی در ایران، معطوف به استفاده از یک مدل AOGCM و سناریوی تغییر اقلیم شده است. به عبارت دیگر منابع عدم قطعیت در مطالعات تغییر اقلیم لحاظ نشده است. همچنین در اکثر مطالعات تغییر اقلیم از مدل‌های AOGCM گزارش ارزیابی چهارم IPCC استفاده شده است. بنابراین در مطالعه حاضر تلاش بر این است که با پیش‌داده‌های اقلیمی مشاهداتی، طی سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ و با استفاده از خروجی ۱۹ مدل AOGCM گزارش ارزیابی پنجم IPCC در سال‌های ۲۰۴۹-۲۰۲۰، تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5، به بررسی تغییرات دما و بارش دشت هشتگرد پرداخته شود. هیأت

جدول ۱- مشخصات ۱۹ مدل چرخه عمومی اتمسفر-اقیانوس (AOGCM) مربوط به گزارش ارزیابی پنجم IPCC (AR5)

سناریوی انتشار				کشور و گروه مؤسس	قدرت تفکیک Longitude × Latitude	نام مدل
RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5			
*	*	*	*	چین BCC (Beijing Climate Center- China)	۱۲۸×۶۴ ۳۲۰×۱۶۰	BCC-CSM1-1 BCC-CSM1-1-m
*	*		*	چین BNU (Beijing Normal University- China)	۱۲۸×۶۴	BUN-ESM
*	*		*	کانادا CCCma (Canadian Center for Climate Modelling and Analysis- Canada)	۱۲۸×۶۴	CanESM2
	*		*	ایتالیا CMCC (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici- Italy)	۱۹۲×۹۶	CMCC-CMS
*	*		*	فرانسه CNRM-CERFACS (Centre National de Recherches Météorologiques, Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique- France)	۲۵۶×۱۲۸	CNRM-CM5
*	*	*	*	ژاپن MIROC (Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology-Japan)	۱۲۸×۶۴ ۱۲۸×۶۴ ۲۵۶×۱۲۸	MIROC-ESM MIROC-ESM- CHEM MIROC5
*	*		*	آلمان MPI-M (Max Planck Institute for Meteorology- Germany)	۱۹۲×۹۶ ۱۹۲×۹۶	MPI-ESM-LR MPI-ESM-MR
*	*	*	*	ایالات متحده آمریکا NASA-GISS (Goddard institute for Space Studies- USA)	۱۴۴×۹۰ ۱۴۴×۹۰	GISS-E2-H GISS-E2-R
*	*	*	*	ایالات متحده آمریکا NCAR (National Center for Atmospheric Research- USA)	۲۸۸×۱۹۲ ۲۸۸×۱۹۲ ۱۴۴×۹۶	CCSM4 CESM1-CAM5 CESM1-WACCM
*	*	*	*	نروژ NCC, NMI (Bjerknes Centre for Climate Research, Norwegian Meteorological Institute- Norway)	۱۴۴×۹۶	NorESM1-M
*	*	*	*	ایالات متحده آمریکا NOAA-GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory- USA)	۱۴۴×۹۰ ۱۴۴×۹۰	GFDL-CM3 GFDL-ESM2G

تولید سناریوهای اقلیمی

برای ایجاد سناریوی تغییر اقلیم در هر یک از مدل‌های AOGCM، مقادیر اختلاف دما و نسبت بارندگی بین میانگین بلندمدت در دوره‌های آتی (۲۰۲۰-۲۰۴۹) و میانگین بلندمدت دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۷۶) به ترتیب توسط روابط (۱) و (۲) محاسبه می‌شود.

$$\Delta T_{ij} = (\bar{T}_{GCM, fut, ij} - \bar{T}_{GCM, base, i}) \quad (1)$$

$$\Delta P_{ij} = (\bar{P}_{GCM, fut, ij} / \bar{P}_{GCM, base, i}) \quad (2)$$

در روابط فوق ΔT_{ij} و ΔP_{ij} به ترتیب بیانگر تغییر دما و بارندگی برای ماه i و سال j میانگین ۳۰ ساله دمای شبیه‌سازی شده توسط مدل AOGCM در ماه i در دوره آتی، $\bar{T}_{GCM, base, i}$ میانگین ۳۰ ساله دمای شبیه‌سازی شده توسط مدل AOGCM در دوره پایه هر ماه می‌باشد. به همین ترتیب برای بارندگی موارد ذکر شده برقرار می‌باشد.

بررسی عدم قطعیت تغییر اقلیم با استفاده از وزن‌دهی مدل‌های AOGCM

یکی از عمده‌ترین منابع عدم قطعیت در مباحث تغییر اقلیم، بکارگیری مدل‌های مختلف AOGCM است که خروجی‌های متفاوتی را برای متغیرهای اقلیمی تولید می‌کنند (Massah, Bavani and Morid, 2005). در این تحقیق برای بررسی عدم قطعیت ناشی از بکارگیری مدل‌های مختلف AOGCM، از روش وزن‌دهی، براساس توانایی هر مدل در شبیه‌سازی دوره پایه، که توسط Massah Bovani (2006) معرفی شده، استفاده گردید.

سناریوهای اقلیمی دما و بارندگی هر یک از ۱۹ مدل AOGCM به کار رفته در این تحقیق، براساس روش وزن‌دهی میانگین مشاهداتی دما و بارندگی (MOTP)، وزن‌دهی می‌شوند. در این روش، مدل‌های AOGCM، براساس انحراف میانگین دما یا بارندگی شبیه‌سازی شده در دوره پایه از میانگین داده‌های

در زمینه توسعه روش AEZ، برای استفاده بهینه از منابع آب آغاز کردند (Fischer and Velthuizen, 1996). روش مزبور در سال ۱۹۹۸ در نشریه شماره ۳۳ فائو، منتشر گردید. این روش می‌تواند به عنوان یک رویکرد مناسب برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد گیاهان زراعی مورد استفاده قرار گیرد.

محاسبه تولید ناخالص ماده خشک گیاه مبنا (Y_0)

ماده خشک ناخالص گیاه مبنا (Y_0) بر حسب کیلوگرم در هکتار در روز و در یک موقعیت اقلیمی مشخص و ثابت و یکنواخت با استفاده از روش ارائه شده توسط de Wit (1965) محاسبه می‌شود. این روش مبتنی بر میزان تشعشع فعال رسیده به سطح زمین با طول موج کوتاه برای شرایط استاندارد می‌باشد.

$$Y_0 = F \cdot y_0 + (1-F) \cdot y_c \quad (۴)$$

در رابطه فوق y_0 سرعت تولید ماده خشک ناخالص از یک گیاه مبنا برای موقعیت مشخص در یک روز کاملاً آبری بر حسب کیلوگرم در هکتار در روز، y_c سرعت تولید ماده خشک ناخالص از یک گیاه مبنا برای موقعیت مشخص در یک روز کاملاً آفتابی بر حسب کیلوگرم در هکتار در روز، F درصد ابرناکی می‌باشد و از رابطه تجربی (۵) محاسبه می‌شود (de Wit, 1965):

$$F = \frac{R_{se} - 0.5R_s}{0.8R_{se}} \quad (۵)$$

در این رابطه R_{se} حداکثر تشعشع فعال رسیده به زمین با طول موج کوتاه در روزهای کاملاً آفتابی و R_s تشعشع واقعی اندازه‌گیری شده که با طول موج کوتاه دریافت شده، هر دو بر حسب کالری بر سانتی‌متر مربع در روز، می‌باشند. در صورتی که از بین داده‌های لازم، تنها تشعشع در دسترس باشد، R_s را می‌توان از رابطه (۶) نیز محاسبه نمود (de Wit, 1965):

$$R_s = (0.25 + \frac{0.5n}{N}) R_a \quad (۶)$$

در این رابطه R_a تشعشع ماورای زمین بر حسب میلی‌متر در روز، N حداکثر تشعشع ممکن بر حسب ساعت در روز و n مدت تشعشع واقعی اندازه‌گیری شده بر حسب ساعت در روز می‌باشند.

تولید پتانسیل گیاه مبنا (Y_{mp})

تولید پتانسیل (Y_{mp}) یک رقم پرمحصول سازگار با محیط، بدون هیچ‌گونه محدودیت طی دوره رشد G روزه، بر حسب کیلوگرم در هکتار از رابطه (۷) به دست می‌آید:

$$Y_{mp} = C_H \times C_N \times C_L \times G \times Y_0 \quad (۷)$$

که در آن Y_{mp} تولید پتانسیل گیاه مبنا بر حسب کیلوگرم در هکتار، Y_0 ماده خشک ناخالص گیاه مبنا بر حسب کیلوگرم در

مشاهداتی وزن دهی می‌شوند (رابطه ۳) (Massah Bavani and Morid, 2005).

$$R_i = \frac{(1/\Delta T_i)}{\sum_{i=1}^N (1/\Delta T_i)} \quad (۳)$$

که در آن R_i وزن هر مدل در ماه مورد نظر و ΔT_i انحراف میانگین طولانی مدت دمای شبیه‌سازی شده توسط هر یک از مدل‌های AOGCM در دوره پایه از میانگین داده‌های مشاهداتی می‌باشد. با جایگذاری مقادیر بارندگی به جای دما در رابطه (۳)، وزن‌های متناظر با متغیر بارندگی، به دست می‌آید. وزن به دست آمده برای هر مدل نشان دهنده توانایی مدل برای شبیه‌سازی دوره پایه در ایستگاه مورد نظر است. در نهایت با میانگین‌گیری وزنی، برای هر سناریوی انتشار RCPs، یک سناریوی اقلیمی به دست می‌آید.

ریز مقیاس نمایی با مدل LARS-WG

با توجه به اینکه کلیه پیش‌بینی‌های اولیه‌ی مدل‌های AOGCM در محدوده بزرگ مقیاس بوده و نمی‌تواند تغییرات مربوط به اقلیم محلی و شرایط سینوپتیکی کوچک مقیاس را مورد ارزیابی قرار دهند، به همین علت از روش‌های ریزمقیاس نمایی برای رفع این مشکل استفاده می‌گردد. در روش‌های ریزمقیاس نمایی، خروجی مدل‌های AOGCM با داده‌های مشاهداتی تطبیق داده می‌شوند (Wilby and Wigley, 1997). استفاده از مولد آب و هوای تصادفی (Stochastic Weather Generator)، یکی از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری است. مدل LARS-WG یکی از پرکاربردترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی است که برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در یک ایستگاه استفاده می‌شود (Semenov and Barrow, 2002).

اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی

در تحقیق حاضر، برای محاسبه تولید پتانسیل، نیاز آب آبیاری و طول دوره رشد محصولات کشاورزی دشت هشتگرد، تحت تأثیر عدم قطعیت تغییر اقلیم در دوره‌های آتی، از روش AEZ استفاده می‌گردد. از بین گیاهان تحت کشت در دشت هشتگرد، گندم، جو، ذرت و یونجه، به‌عنوان کشت غالب در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

مدل منطقه بندی بوم شناسی AEZ

روش AEZ توسط کاسام در سال ۱۹۷۹ برای محاسبه عملکرد پتانسیل محصول با استفاده از روابط ارائه شده توسط de Wit (1965) ارائه شد (Jarallah and Mahdavian, 2000). سازمان خواروبار جهانی (FAO) و مؤسسه بین‌المللی تحلیل سیستم‌های کاربردی اتریش از سال ۱۹۸۰ کوشش‌هایی را

مدل تخمین نیاز آب آبیاری

برای تعیین نیاز آب آبیاری، باید سطح آب قابل استفاده خاک برای محصول، مورد بررسی قرار گرفته و مقدار تبخیر و تعرق واقعی (ET_a) تعیین شود. برای تعیین مقدار تبخیر و تعرق واقعی از مدل بیلان آب-خاک مخصوص گیاه استفاده شد (Tao et al., 2003).

مدل بیلان آب-خاک مخصوص گیاه

از تلفیق مدل بیلان آبی و مدل بیلان آب مخصوص گیاه، مدلی به نام مدل بیلان آب خاک مخصوص گیاه توسعه داده شد (Tao et al., 2003, Willmott et al. 1985). این مدل با در نظر گرفتن رطوبت خاک و کمبود رطوبت خاک در طول فصل رشد، مقدار تبخیر و تعرق واقعی گیاه را در معرض تنش کمبود آب محاسبه کرده و با استفاده از مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه، مقدار آب مورد نیاز گیاه در طول فصل رشد را محاسبه می‌نماید. در این مدل مقدار رطوبت خاک در طول فصل رشد با استفاده از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود:

$$W_j^c = \min(W_{j-1}^c + P_j^r + M_j - ET_{a_j}, W^*) \quad (12)$$

در این رابطه W_j^c رطوبت خاک در انتهای روز j ام (میلی‌متر)، W_{j-1}^c رطوبت خاک در انتهای روز قبل (میلی‌متر)، P_j^r مقدار بارش باران در روز j ام (میلی‌متر)، M_j ذوب برف روزانه (میلی‌متر)، ET_{a_j} تبخیر و تعرق واقعی در طول روز j ام (میلی‌متر) و W^* ظرفیت نگهداری آب خاک (میلی‌متر) می‌باشد. مقدار بارش روزانه P_j ، با توجه به میانگین دمای روزانه هوا T_j به صورت بارش باران (P_j^r) یا بارش برف (P_j^s) مشخص می‌شود:

$$P_j = \begin{cases} P_j^r, & T_j \geq -1^\circ\text{C} \\ P_j^s, & T_j \leq -1^\circ\text{C} \end{cases} \quad (13)$$

مقدار بارندگی مؤثر ۹۰ درصد بارندگی اندازه‌گیری شده در نظر گرفته شد. مقدار ذوب برف در روز j با استفاده از رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود:

$$M_j = 2.63 + 2.55 \times T_j + 0.0912 \times T_j \times P_j^r \quad (14)$$

مقدار M_j محدود بوده و باید $0 \leq M_j \leq (W_{j-1}^s + P_j^s)$ باشد (Storr, 1978; Willmott et al., 1985). مقدار آب موجود در پوشش برف در انتهای روز قبل است. مقدار معادل آب پوشش برف در روز j (W_j^s) از رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود (Tao et al., 2003):

$$W_j^s = W_{j-1}^s + P_j^s - M_j \quad (15)$$

هکتار در روز، G طول دوره رشد بر حسب روز، C_H ضریب برداشت، C_L ضریب تصحیح وضعیت توسعه محصول و C_N ضریب تصحیح تولید ماده خشک خالص محصول می‌باشد.

طول دوره رشد گیاه

در شرایطی که گیاه در محیط بدون استرس ناشی از کمبود نور و آب، پرورش یابد، توسعه محصول، وابسته به درجه حرارت محیط می‌باشد. درجه-روز رشد (GDD (Growth degree day)، معیاری برای اندازه‌گیری تجمعی انرژی دریافتی توسط گیاه است که می‌توان از آن برای تخمین زمان رسیدن محصول استفاده نمود. در حقیقت درجه-روز رشد، به تعداد روزهایی که درجه حرارت متوسط روزانه از یک مقدار آستانه مشخصی، بالاتر باشد، اطلاق می‌شود. (Womach, 2005). درجه روز رشد را می‌توان از رابطه (۸) برای محصولات مختلف محاسبه نمود (Alm et al., 1991):

$$GDD = \frac{T_{max} - T_{min}}{2} - T_{base} \quad (8)$$

که در آن، T_{min} و T_{max} به ترتیب درجه حرارت حداکثر و حداقل روزانه بر حسب درجه سلسیوس و T_{base} مقدار درجه حرارت آستانه که بر حسب نوع گیاه متفاوت است.

تبخیر و تعرق گیاه

تبخیر و تعرق مرجع روزانه

در این مطالعه، به دلیل در اختیار داشتن تعداد کم پارامترهای اقلیمی، سادگی محاسبات و دقت نسبتاً بالا، روش هارگریوز-سامانی برای محاسبه ET_o انتخاب شد (Hargreaves and Samani, 1985). در این روش برای محاسبه ET_o از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$ET_o = 0.0135 \times (K_T) \times (R_a) \times (TD)^{0.5} \times (T + 17.8) \quad (9)$$

$$K_T = 0.00185 \times TD^2 - 0.0433 \times TD + 0.4023 \quad (10)$$

در این روابط TD اختلاف بین دمای حداکثر و حداقل روزانه، T میانگین دمای روزانه و R_a حداکثر تابش فرا زمینی خورشید بالای جو بر حسب میلی‌متر آب تبخیر شده می‌باشند.

تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه

تبخیر و تعرق پتانسیل نشان دهنده حداکثر آب مورد تقاضای محصول است که از رابطه (۱۱) به دست می‌آید:

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (11)$$

در رابطه فوق ضریب گیاهی می‌باشد. ضریب گیاهی یک مقدار ثابت نبوده و مقدار آن در طول دوره رویش گیاه تغییر می‌کند (Allen et al., 1998).

کشت موجود، تحت تأثیر تغییر اقلیم استفاده می‌شود و از رابطه (۲۱) به دست می‌آید.

$$CYR_i = \frac{Y_{mpf_i} - Y_{mpo_i}}{Y_{mpo_i}} \quad (21)$$

مقادیر Y_{mpF} و Y_{mpo} به ترتیب حداکثر محصول پتانسیل در آینده و دوره پایه برای گیاه i هستند.

شاخص تغییرات نیاز آب آبیاری

برای ارزیابی تغییر نیاز آبی الگوی کشت مورد نظر، تحت تأثیر تغییر اقلیم، از شاخص تغییرات نیاز آب آبیاری (IWR Irrigation Water Requirement Index)، استفاده می‌شود که از رابطه (۲۲) به دست می‌آید.

$$IWR_i = \frac{IWR_{f_i} - IWR_{o_i}}{IWR_{o_i}} \quad (22)$$

مقادیر IWR_{f_i} و IWR_{o_i} به ترتیب نیاز خالص آب آبیاری در دوره پایه و آینده برای گیاه i هستند و با استفاده از مدل تخمین نیاز آب آبیاری محاسبه می‌شوند.

شاخص بهره‌وری آب پتانسیل

شاخص بهره‌وری آب پتانسیل (Water productivity) عبارت است از مقدار ماده خشک پتانسیل تولید شده یک محصول در واحد آب مصرفی آن محصول به این معنا که هر گیاه به ازای هر واحد آب مصرفی خود چه مقدار محصول پتانسیل تولید می‌کند. مقدار حجم آب مصرفی برای هر محصول برابر است با:

$$ET_{av_i} = (\sum_{i=1}^n ET_a^i) \times A_i \quad (23)$$

در این رابطه ET_{av} مقدار حجم آب مصرفی گیاه، ET_a مقدار تبخیر و تعرق واقعی روزانه گیاه، A سطح اراضی زیر کشت گیاه مورد نظر و n تعداد روزهای دوره رشد گیاه است. شاخص بهره‌وری آب پتانسیل برای هر سلول با استفاده از رابطه (۲۴) محاسبه می‌شود:

$$WP_i = Y_{mp} / ET_{av_i} \quad (24)$$

این شاخص به شرایط اقلیمی و نوع گیاه وابسته بوده و با استفاده از آن می‌توان تأثیر تغییرات اقلیمی بر میزان بهره‌وری آب پتانسیل را برای هر محصول از الگوی کشت، بررسی نمود.

نتایج و بحث

سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای برای دما و بارش

جدول (۲)، تغییرات ماهانه‌ی دما و بارش منطقه، تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 را در دوره آتی ۲۰۲۰-۲۰۴۹، نسبت به دوره پایه ۲۰۰۵-۱۹۷۶ را،

تبخیر و تعرق واقعی در طول روز J (ET_{a_j}) با استفاده از رابطه (۱۶) محاسبه می‌شود (Tao et al., 2003):

$$ET_{a_j} = \begin{cases} ET_{c_j} & \text{if } \rho_j \geq 1 \\ \rho_j \cdot ET_{c_j} & \text{if } \rho_j < 1 \end{cases} \quad (16)$$

$$\rho_j = \frac{ET_{a_j}}{ET_{c_j}} = \frac{W_j^c + P_j^r + M_j}{Sa \cdot (1 - p_j)} \quad (17)$$

در این روابط ρ_j ضریب تناسب تبخیر و تعرق واقعی، Sa ظرفیت نگهداری آب خاک (بر حسب میلی‌متر در متر)، d عمق توسعه ریشه (بر حسب متر) و P_j ضریب تخلیه آب خاک زمانی که $ET_{a_j} < ET_{c_j}$ هستند.

تخمین نیاز آب آبیاری

بر اساس روش ارائه شده توسط Fischer et al. (2001)، نیاز خالص آبیاری (IWR)، مقدار آبی است که علاوه بر رطوبت در دسترس خاک ناشی از بارندگی، گیاه برای رشد بدون تنش در اراضی کشاورزی آبی، نیاز دارد که از رابطه (۱۸) محاسبه می‌شود:

$$IWR = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m (ET_c^j - ET_a^j) \quad (18)$$

در این رابطه n و m به ترتیب بیانگر تعداد گیاهان موجود در سیستم کشت در سلول i و تعداد روزهای دوره رشد هر گیاه، ET_c و ET_a نیز به ترتیب تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل محاسبه شده در بخش قبل می‌باشند. مقدار حجم خالص آب آبیاری (WRQ) در سلول i از رابطه (۱۹) محاسبه می‌شود:

$$WRQ_i = IWR_i \times A_i \quad (19)$$

A_i مقدار کل اراضی آبی در هر سلول است که در این مطالعه مقدار آن ثابت و برابر با سطح اراضی کشاورزی آبی در سال پایه (سال ۲۰۰۵) فرض شد. سپس حجم ناخالص آب آبیاری (GWR) برای سلول i محاسبه می‌شود:

$$GWR_{f(i)} = WRQ_{f(i)} / Irr_{eff(i)} \quad (20)$$

در این رابطه Irr_{eff} راندمان آبیاری می‌باشد.

شاخص‌های گیاهی-آبی

برای بررسی اثرات تغییرات اقلیم بر کشاورزی و عملکرد محصولات مورد نظر از شاخص‌های مختلفی استفاده شده است.

شاخص تغییرات مقدار محصول

شاخص تغییرات مقدار محصول (Crop Yield Ratio Index) CYR برای ارزیابی تغییر مقدار محصول پتانسیل الگوی

از طرفی میزان حداقل افزایش دما در فصل زمستان، تابستان و پاییز تحت سناریوی انتشار RCP2.6 به ترتیب ۱/۲۶، ۱/۶۷ و ۱/۵۳ می‌باشد. به طور کلی، مجموعه مدل‌ها، تحت هر یک از سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0، RCP8.5 در دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۴۹)، به ترتیب به میزان ۱/۸۱، ۱/۵۲، ۱/۶۹ و ۱/۴۳ درجه سلسیوس افزایش دما نسبت به میانگین دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۷۶)، نشان می‌دهند.

کمترین میزان افزایش دما مربوط به سناریوی RCP2.6 و پس از آن سناریوهای RCP6.0 و RCP4.5 و نهایتاً بیشترین مقدار افزایش دما مربوط به سناریوی RCP8.5 می‌باشد.

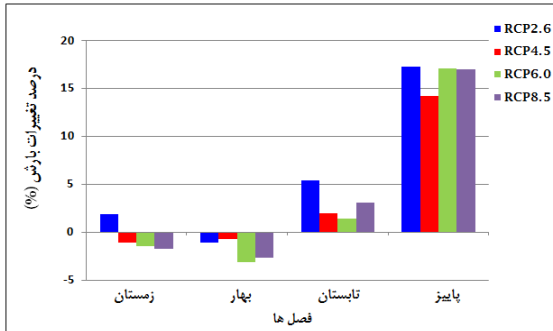
شکل (۳) درصد تغییرات بلند مدت فصلی بارش در دوره آتی را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. بارش در فصل پاییز، تحت هر چهار سناریوی انتشار RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0، RCP8.5 به ترتیب به میزان ۱۷/۰۳، ۱۷/۱۱، ۱۴/۲۵ و ۱۷/۲۵ درصد بیشترین افزایش را داشته است. از طرفی افزایش بارش تابستانه نیز مشاهده می‌شود. فصل بهار و زمستان با اندکی کاهش، تغییرات کمتری در بارش را نشان می‌دهد. همچنین به طور کلی، درصد تغییرات بارش در دوره ۳۰ ساله (۲۰۲۰-۲۰۴۹) نسبت به دوره پایه تحت سناریوی انتشار RCP2.6، به میزان ۲/۰۸ درصد افزایش و در سه سناریوی انتشار RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 به ترتیب ۰/۶۳، ۰/۷۴ و ۰/۰۸ درصد کاهش، را نشان می‌دهد. بنابراین، دشت هشترگرد، در دوره آتی با شرایط گرم و خشک‌تری، در اثر تغییر اقلیم، مواجه خواهد شد.

نشان می‌دهد. مقادیر مثبت دما در جدول (۲) نشان می‌دهد که میانگین ۱۹ مدل AOGCMs، در تمام ماه‌ها برای دوره آتی، افزایش دما را شبیه‌سازی می‌کنند. بیشترین افزایش دما در ماه سپتامبر تحت سناریوی RCP8.5، ۲/۳۱ درجه سلسیوس و کمترین افزایش دما در ماه آوریل، تحت سناریوی انتشار RCP2.6، ۱/۰۹ درجه سلسیوس می‌باشد. در خصوص تغییرات بارش، اعداد بزرگتر از یک بیانگر افزایش بارش و اعداد کوچکتر از یک نشان دهنده کاهش بارش در دوره آتی می‌باشد. بیشترین میزان افزایش بارش در ماه سپتامبر تحت سناریوی RCP8.5 می‌باشد. درصد تغییرات بارش در ماه‌های سپتامبر و آگوست نسبت به دوره پایه، افزایش چشمگیری داشته است. علت این امر مقادیر بسیار جزئی بارش مشاهداتی در آن ماه‌ها می‌باشد. به طوری که افزایش جزئی مقادیر بارش در دوره آتی، تغییر قابل ملاحظه‌ای در افزایش درصد تغییرات بارش این ماه‌ها، نشان می‌دهد (جدول ۲).

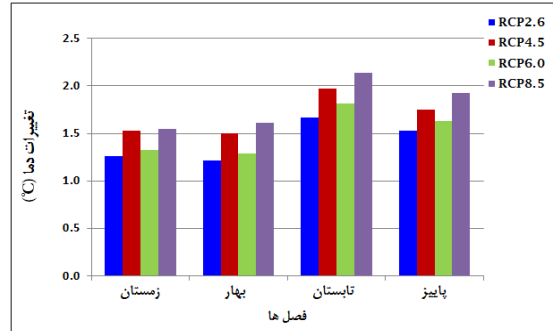
بر اساس شکل (۲) مشاهده می‌شود که دما بر اثر پدیده تغییر اقلیم، تحت هر چهار سناریوی انتشار RCPs، در تمام فصول سال، افزایش می‌یابد. در دوره آتی ۲۰۲۰-۲۰۴۹، در فصل تابستان بیشترین افزایش دما و در فصل بهار و زمستان در دوره آتی کمترین افزایش دما، پیش‌بینی شد. این در حالی است که بیشترین افزایش دما در تمام فصول، مربوط به فصل تابستان و سناریوی انتشار RCP8.5 با میانگین ۲/۰۵ درجه سلسیوس؛ و کمترین افزایش دما، مربوط به فصل بهار و سناریوی انتشار RCP2.6 با میانگین ۱/۲۱ درجه سلسیوس می‌باشد. همچنین میزان حداکثر افزایش دما در فصل زمستان، بهار و پاییز، تحت سناریوی انتشار RCP8.5 به ترتیب ۱/۵۵، ۱/۶۱ و ۱/۹۲ می‌باشد.

جدول ۲- سناریوی تغییر اقلیم دما و بارش منطقه تحت چهار سناریوی انتشار RCPs

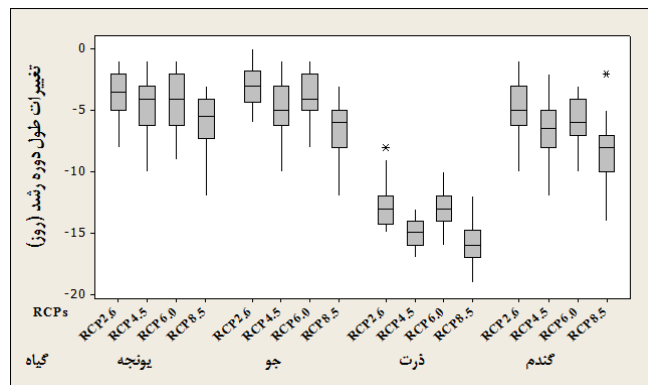
سناریوی انتشار	RCP2.6		RCP4.5		RCP6.0		RCP8.5	
	دما	بارش	دما	بارش	دما	بارش	دما	بارش
ژانویه	۱/۲۵	۱/۰۰	۱/۴۵	۰/۹۹	۱/۳۴	۰/۹۵	۱/۵۶	۰/۹۹
فوریه	۱/۲۳	۱/۰۲	۱/۶۶	۰/۹۸	۱/۳۸	۱/۰۵	۱/۶۱	۰/۹۲
مارس	۱/۲۲	۱/۰۰	۱/۳۹	۱/۰۴	۱/۲۸	۱/۰۱	۱/۶۹	۰/۹۶
آوریل	۱/۰۹	۱/۰۶	۱/۴۶	۱/۰۱	۱/۲۳	۰/۹۷	۱/۴۵	۱/۰۲
می	۱/۳۸	۰/۹۴	۱/۶۹	۱/۰۳	۱/۵۵	۰/۹۵	۱/۷۳	۰/۹۶
جون	۱/۵۴	۱/۱۶	۱/۹۴	۱/۰۵	۱/۶۸	۰/۹۳	۱/۹۰	۰/۹۸
جولای	۱/۷۱	۱/۱۷	۱/۹۳	۱/۳۵	۱/۸۴	۱/۱۷	۲/۲۲	۱/۳۶
آگوست	۱/۷۴	۳/۱۲	۲/۰۱	۱/۴۳	۱/۸۸	۱/۸۵	۲/۲۹	۲/۲۷
سپتامبر	۱/۹۱	۰/۹۲	۲/۰۶	۲/۵۲	۱/۹۹	۱/۶۲	۲/۳۱	۴/۴۴
اکتبر	۱/۵۳	۱/۲۱	۱/۷۵	۱/۱۶	۱/۶۶	۱/۲۵	۱/۸۷	۱/۱۷
نوامبر	۱/۲۳	۱/۱۱	۱/۴۵	۱/۱۱	۱/۲۸	۱/۰۲	۱/۶۳	۱/۱۶
دسامبر	۱/۲۹	۱/۰۶	۱/۴۹	۱/۰۳	۱/۳۸	۰/۹۸	۱/۵۰	۱/۰۷



شکل ۳- درصد تغییرات بلند مدت فصلی بارش در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ نسبت به دوره پایه تحت میانگین AOGCMs ۱۹



شکل ۲- میانگین بلند مدت فصلی دما در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ نسبت به دوره پایه تحت میانگین ۱۹ AOGCMs



شکل ۴- دامنه تغییرات طول دوره رشد گیاهان مورد مطالعه منطقه در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ نسبت به دوره پایه

حد کفایت از منابع آب تأمین می‌گردد. در نظر گرفتن این شرایط ما را قادر می‌سازد که اثرات تغییر اقلیم را بر پتانسیل تولید محصول در شرایط عدم تنش آبی بررسی نموده و از آن به منظور تخمین نیاز آب آبیاری مازاد محصول در شرایط تغییر اقلیم بهره برد. شکل ۵)، مقادیر شاخص تغییرات میزان محصول (CYR)، برای چهار محصول منتخب تحت چهار سناریوی انتشار RCPs را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر CYR، بسته به نوع محصول و نوع سناریوی انتشار متفاوت است. با این حال تمامی مقادیر، کمتر از یک بوده که نشان‌دهنده اثر منفی تغییر اقلیم بر تولید چهار محصول گندم، جو، ذرت و یونجه در دشت هشتگرد می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که کاهش CYR با کاهش طول دوره رشد در سناریوهای مختلف همبستگی دارد. بنابراین کاهش عملکرد در دوره آبی می‌تواند به علت کاهش طول دوره رشد و کاهش تأثیر انرژی تابشی باشد. دامنه تغییرات تولید محصول پتانسیل، تحت سناریوهای انتشار مختلف، برای گندم ۳- تا ۱۰/۲-، جو ۳/۸- تا ۱۲/۱-، ذرت ۶/۶- تا ۱۵- و یونجه ۲/۶- تا ۸/۱- درصد می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که میزان تولید پتانسیل هر چهار محصول، تحت سناریوی RCP8.5، بیشترین کاهش؛ و تحت سناریوی RCP2.6، کمترین کاهش را دارد.

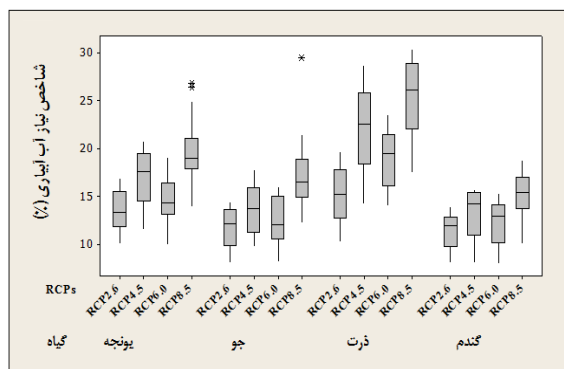
اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی

اثرات تغییر اقلیم بر دوره رشد

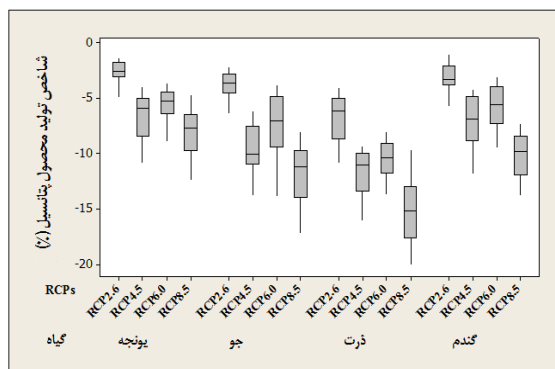
دوره رشد تمامی محصولات غالب کشاورزی مورد مطالعه در دشت هشتگرد، در اثر تغییر اقلیم، کوتاه‌تر شده است، که علت این پدیده افزایش دما، در شرایط وجود کمبود آب آبیاری می‌باشد. برای هر چهار محصول، بیشترین مقدار کاهش طول دوره رشد مربوط به سناریوی انتشار RCP8.5، و پس از آن سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP6.0 و نهایتاً کمترین مقدار کاهش طول دوره رشد مربوط به سناریوی انتشار RCP2.6 می‌باشد. همچنین بیشترین مقدار کاهش طول دوره رشد مربوط به ذرت، حدود ۱۹ روز و سپس گندم، جو و یونجه به ترتیب ۱۴، ۱۲ و ۱۲ روز، تحت سناریوی انتشار RCP8.5، می‌باشد (شکل ۴).

اثرات تغییر اقلیم بر تولید محصول پتانسیل

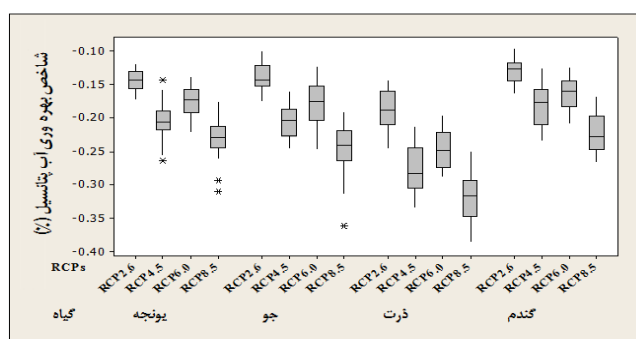
تأثیر تغییر اقلیم بر تولید پتانسیل محصولات منطقه با استفاده از روش AEZ برای چهار محصول منتخب و چهار سناریوی انتشار RCPs مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است که در این روش، اثر تغییر اقلیم بر قابلیت دسترسی به آب آبیاری در نظر گرفته نشده و فرض بر آن است که هیچ‌گونه محدودیت و تنشی برای گیاه در طول دوره رشد وجود ندارد و نیاز آبی محصولات در



شکل ۶- دامنه تغییرات شاخص نیاز آب آبیاری گیاهان مورد مطالعه منطقه در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ نسبت به دوره پایه



شکل ۵- دامنه تغییرات شاخص تولید محصول پتانسیل گیاهان مورد مطالعه منطقه در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ نسبت به دوره پایه



شکل ۷- دامنه تغییرات شاخص بهره‌وری آب پتانسیل گیاهان مورد مطالعه منطقه در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ نسبت به دوره پایه

حداقل کاهش در مقدار بهره‌وری آب پتانسیل، تحت سناریوی انتشار RCP2.6 برای گندم ۱۶/۳۹-، جو ۱۷/۴-، ذرت ۲۴/۴- و یونجه ۱۷/۲- درصد می‌باشد. حداکثر کاهش در مقدار بهره‌وری آب پتانسیل، تحت سناریوی انتشار RCP8.5، برای گندم ۲۶/۵-، جو ۳۵-، ذرت ۳۸/۵- و یونجه ۳۰/۹- درصد می‌باشد. مقادیر کمتر شاخص WP در مقادیر بالای دمای متوسط دوره رشد، پیش بینی شده، که می‌تواند به دلیل افزایش تبخیر و تعرق با گرم‌تر شدن اقلیم باشد (شکل ۷).

نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی دشت هشتگرد بررسی شد. پردازش داده‌های اقلیمی نشان داد که در تحت تأثیر تغییر اقلیم تحت هر چهار سناریوی انتشار RCPs در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. به‌طوریکه میزان افزایش دما در ماه‌های مختلف متفاوت است. از طرف دیگر پیش‌بینی شد، در دوره آبی تغییرات چندانی در بارش منطقه وجود نخواهد داشت. به طور کلی دشت هشتگرد در دوره آبی با شرایط گرم و خشک‌تری در اثر تغییر اقلیم مواجه خواهد شد. شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی با رویکرد AEZ نشان داد که دوره رشد تمامی محصولات کشاورزی مورد

اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آب آبیاری

شاخص تغییرات نیاز آب آبیاری (*IWR*)، به‌منظور ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آب آبیاری، مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر به‌دست آمده برای شاخص مزبور در شکل (۶) نشان داده شده است. مقادیر *IWR* به‌دست آمده برای تمام محصولات، اعدادی مثبت بوده که بیانگر افزایش نیاز آب آبیاری برای تمامی محصولات مورد مطالعه، تحت اثر تغییر اقلیم، می‌باشد. دامنه تغییرات افزایش نیاز آبیاری، تحت سناریوهای انتشار مختلف، برای گندم ۱۱/۳۲ تا ۱۶، جو ۱۱/۶ تا ۱۷/۲۱، ذرت ۱۵/۰۹ تا ۲۶ و یونجه ۱۳/۶ تا ۲۰ درصد می‌باشد. تغییرات نیاز آبیاری برای ذرت و یونجه بالاتر از جو و گندم می‌باشد، که می‌تواند به دلیل تبخیر و تعرق بیشتر در اثر دمای بالاتر باشد.

اثرات تغییر اقلیم بر بهره‌وری آب پتانسیل

همان‌طور که در شکل (۷) ملاحظه می‌شود شاخص بهره‌وری آب پتانسیل (*WP*) برای تمامی محصولات دشت هشتگرد، در اثر تغییر اقلیم در دوره آینده کاهش می‌یابد. مقدار بهره‌وری آب پتانسیل در تمام محصولات، تحت سناریوی انتشار RCP8.5، کمتر از سه سناریوی انتشار دیگر با بیشترین کاهش می‌باشد. مقدار بهره‌وری آب در سناریوی RCP2.6، کمترین کاهش را دارد.

در دوره‌های آبی نسبت به دوره‌ی مبنای ترتیب ۴ و ۱۵ درصد کاهش می‌یابد.

بالا رفتن درجه حرارت دوره رشد، منجر به افزایش تبخیر تعرق و به تبع آن افزایش نیاز آب آبیاری محصولات مورد مطالعه خواهد شد. حداکثر افزایش نیاز آب آبیاری، تحت تأثیر تغییر اقلیم، برای گندم، جو، ذرت و یونجه به ترتیب به میزان ۱۶، ۱۷/۲۱، ۲۶ و ۲۰ درصد می‌باشد. این نتایج با نتایج سایر تحقیقات مشابه همخوانی دارد. نتایج حاصل از مطالعه Gohari et al. (2013) نشان داد حداکثر مقدار تغییرات نیاز آب آبیاری برای ذرت و برنج به ترتیب ۳۰/۲ و ۲۴/۹ درصد افزایش خواهد یافت.

همچنین انتظار می‌رود کاهش تولید محصول و افزایش نیاز آب آبیاری، موجب کاهش شاخص بهره‌وری آب، در اثر پدیده تغییر اقلیم در آینده شود. بیشترین کاهش در مقدار شاخص بهره‌وری آب پتانسیل، تحت سناریوی انتشار RCP8.5، برای گندم ۲۶/۵-، جو ۳۵-، ذرت ۳۸/۵- و یونجه ۳۰/۹- درصد می‌باشد. حداقل مقدار شاخص بهره‌وری آب در اقلیم آینده برای گیاه ذرت خواهد بود. نتایج مشابه از پژوهش Guo et al. (2010) نیز نشان داد شاخص WP برای گندم ۸/۱- تا ۴/۳ درصد و برای ذرت ۳۶/۱- تا ۲- درصد با گرم شدن اقلیم متغیر بوده است.

بنابراین پیشنهاد می‌شود برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی دشت هشتگرد، راهکارهای مدیریتی مناسب، شناسایی و اثر بخشی این راه‌کارها توسط مدل‌ها بررسی شود.

مطالعه در اثر تغییر اقلیم کوتاه‌تر شده است. طول دوره رشد ذرت، گندم، جو و یونجه تحت سناریوی انتشار RCP8.5، به ترتیب حدود ۱۹، ۱۴، ۱۲ و ۱۲ روز، بیشترین کاهش را در دوره آینده خواهند داشت. نتایج این مطالعه با سایر تحقیقات مشابه همخوانی دارد. Mohammadi et al. (2014) گزارش کردند که طول دوره‌ی رشد گندم در اثر تغییر اقلیم ۲۵ روز کوتاه‌تر خواهد شد. براساس مطالعه Gohari et al. (2013) نیز، بیشترین مقدار کاهش طول دوره رشد برای جو و گندم به ترتیب حدود ۲۴ و ۲۰ روز در حوضه زاینده‌رود برآورد شد.

اقلیم گرم و خشک پیش‌بینی شده در دوره آبی نیز سبب کاهش تولید محصولات غالب منطقه به میزان ۶/۶- تا ۱۵- درصد برای ذرت، ۳- تا ۱۰/۲- درصد برای گندم، ۳/۸- تا ۱۲/۱- درصد برای جو و ۲/۶- تا ۸/۱- درصد برای یونجه خواهد شد.

نتایج این مطالعه پیرامون تولید محصول، تحت تأثیر تغییر اقلیم، با نتایج مطالعات مشابه همخوانی دارد. به عنوان مثال Ozdogan (2011) کاهش ۵ تا ۳۵ درصد را در تولید گندم زمستانه در شمال غربی ترکیه در اقلیم گرم و خشک‌تر آینده پیش‌بینی نموده است. نتایج حاصل از مطالعه Gohari et al. (2013) در حوضه رودخانه زاینده‌رود نشان داد تولید گندم به میزان ۲/۵ تا ۲۰/۷ درصد، جو ۱/۴ تا ۱۷/۲ درصد، برنج ۲/۱ تا ۹/۵ درصد و ذرت ۵/۷ تا ۱۹/۱ درصد تحت تأثیر تغییر اقلیم کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از مطالعه Delghandi et al. (2015) نشان داد عملکرد گندم

منابع

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration, Irrigation and Drainage. Paper 56. *Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy*, pp. 65-76, 163-166.
- Alm, D.M., McGiffen, J.R. and Hesketh, J.D., 1991. Weed phenology. In: Hodges, T. (Ed.), *Predicting Crop Phenology. Boca Raton, FL, USA CRC Press*, pp. 191-218.
- Delghandi, M., Massah Bovani, A. R., Jafar Ajorlou, M., Broomandnasab, S. and Andarzian, B., 2015. Risk assessment of climate change impacts on production and phenology of wheat (case study: Ahvaz Region). *Journal of Water and Irrigation Management*, 4(2), pp. 161-175. (In Persian).
- De Wit CT., 1965. Photosynthesis of leaf canopies. Reports 663, Wageningen, Netherland: Pudoc. *Agric Res report*, 63:57.
- Fischer, G. and Van Velthuizen, H.T., 1996. Climate Change and Global Agriculture Potential Project: A Case Study of Kenya, WP-96-71, *International Institute for Applied Systems Analysis, Schlossplatz 1, A-2361 Laxenburg, Austria*.
- Fischer, G., Tubiello, F. N., van Velthuizen, H. and Wiberg, D.A., 2001. Climate change impacts on irrigation water requirements: effects of mitigation, 1990-2080. *Technol Forecast Soc Chang*, 74, pp. 1083-107.
- Gohari, A., Eslamian, S., Abedi-Koupaei, J., Massah Bavani, A.R., Wang, D. and Madani, K., 2013. Climate change impacts on crop production in Iran's Zayandeh-Rud River Basin. *The Science of the Total Environment*, 442, pp. 405-419.
- Guo, R., Lin, Z., Mo, X. and Yang, C., 2010. Responses of crop yield and water use efficiency to climate change in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 97(8), pp. 1185-1194.
- Hargreaves, G.H. and Samani, Z.A., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Trans ASABE*, 1, pp. 96-99.

- 10- IPCC, 2014, Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K., and Meyer, L.A., (eds.)]. *IPCC, Geneva, Switzerland; 151 pp.*
- 11- Jarallahi, R. and Mahdavian, M., 2000. Reaction of crop yield to water. *Series of Irrigation and Drainage Publications*, 33, pp. 128. (In Persian)
- 12- Johnson G.L., Hanson C.L., Hardegree S.P. and Ballard, E.B., 2006. Stochastic weather simulation: overview and analysis of two commonly used models. *Journal of Applied Meteorology*, 35, pp. 1878-1896.
- 13- Kang, Y., Khan, S. and Ma, X., 2015. Analysing Climate Change Impacts on Water Productivity of Cropping Systems in the Murray Darling Basin, Australia. *Irrigation and Drainage*, doi: 10.1002/ird.1914.
- 14- Massah Bovani, A.R., 2006. Risk Assessment of Climate Change and Its Impact on Water Resources, Case Study of Zayandeh Rood Basin of Isfahan. *PhD thesis, Department of Hydro Structures Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran.* (In Persian)
- 15- Massah Bavani, A.R. and Morid, S., 2005. The impacts of climate change on water resources and agricultural production. *Journal of Water Resources Research*; 1, pp. 40-47. (In Persian).
- 16- Melkonyan, A., 2015. Climate change impact on water resources and crop production in Armenia. *Agricultural Water Management*, 161, pp. 86-101.
- 17- Mohammadi, E., Yazdanpna, H. and Mohammadi, F., 2014. Event of climate change, its impact on durum wheat planting and during the growing season case study: station of Sararood, Kermanshah. *Physical Geography Research Quarterly*, 46(2), pp. 231-246. (In Persian)
- 18- Ozdogan, M., 2011. Modeling the impacts of climate change on wheat yields in northwestern Turkey. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 141, pp. 1-12.
- 19- Rahmani, M., Jami Al-Ahmadi, M., Shahidi, A. and Hadizadeh Azghandi, M., 2016. Effects of climate change on length of growth stages and water requirement of wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) (Case study: Birjand plain). *Journal of Agroecology*, 7(4), pp. 443-460. (In Persian).
- 20- Semenov, M.A. and Barrow, E.M., 2002. LARS-WG: a stochastic weather generator for use in climate impact studies. *Version 3.0 User Manual.*
- 21- Storr, D., 1978. A comparison of daily snowmelt calculated by the US crops of engineers theoretical model with measured amounts on a snow pillow. *Storm Water Resources Consulting Service. British, Columbia: Ganges.*
- 22- Tao, F., Yokozawa, M., Hayashi, Y. and Lin, E., 2003. Future climate change, the agricultural water cycle, and agricultural production in China. *Journal of Agriculture, Ecosystems & Environment*, 95 (1), pp. 203-215.
- 23- Wilby, R.L. and Harris, I., 2006. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low-flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources*, 42, W02419.
- 24- Wilby, R.L. and Wigley, T.M.L., 1997. Downscaling general circulation model output: a review of methods and limitations. *Progress in Physical Geography*, 21, pp. 530-548.
- 25- Willmott, C.J., Rowe, C.N. and Mintze, Y., 1985. Climatology of the terrestrial seasonal water cycle. *Climatol*, 5, pp. 589-606.
- 26- Womach, J., 2005. Agriculture: a glossary of terms, programs and laws. *In: Congressional Research Service Report, Editor, CRS-132.*
- 27- Yekom Consulting Engineers. 2011. River system map. Studies the improvement and development of irrigation and drainage networks in Hashtgerd plain .