علوم و مهندسی آبیاری
دانشگاه شهید چمران اهواز
جلد ۴۱، شماره‌ی۳، پاییز ۹۷، ص. ۵۹-۴۵

بررسی اثرات تغییراقلیم بر بخش کشاورزی دشت هشتگرد با تاکید بر عدم قطعیت مدل‌های 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 دریافت: ۹۴/۱۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۲۰

چکیده

امروزه تغییراقلیم در مدیریت منابع آب، یکی از چالش‌های اصلی می‌باشد. این مطالعه با هدف شبیه‌سازی عملکرد بخش کشاورزی دشت هشتگرد، تحت تأثیر عدم قطعیت تغییراقلیم 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. به‌منظور کمی‌سازی عدم قطعیت، در تخمین تغییرات دما و بارندگی، تحت تأثیر تغییراقلیم، خروجی‌های ۱۹ مدل AOGCMs به روش مقایسه میانگین دما و بارش (MOTP) وزن‌دهی شدند. برای بررسی اثرات تغییراقلیم 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 به‌ترتیب 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 تغییراقلیم در دوره آتی کاهش خواهد یافت که حداکثر کاهش طول دوره رشد برای گندم، جو، ذرت و یونجه به‌ترتیب ۱۴، ۱۲، ۱۹و ۱۲ روز و حداکثر کاهش در تولید گندم، جو، ذرت و یونجه به‌ترتیب ۱۰/۲-، ۱۲/۱-، ۱۵- و ۸/۱- درصد می‌باشد. نیاز آب آبیاری محصولات مورد مطالعه نیز، تحت تأثیر تغییراقلیم افزایش خواهد یافت. حداکثر افزایش نیاز آب آبیاری تحت تأثیر تغییراقلیم، 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 به‌ترتیب ۲۶/۵-، ۳۵-، ۳۸/۵- و ۳۰/۹- درصد می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: تغییراقلیم، دشت هشتگرد، عدم قطعیت، کشاورزی، RCPs.

مقدمه

گرمایش جهانی طی چند دهه گذشته باعث شده تا سیاست گذاران کشورها توجه خاصی به موضوع تغییراقلیم 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 تغییراقلیم 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 تحمیلی 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 تشدید مخاطرات زیستی تحت تنش تغییراقلیم، لازم است، شرایط اقلیمی آینده، برآورد شده تا تصمیمات و برنامه‌ریزی‌های واقعی‌تری اتخاذ گردد (Johnson et al, 2006). تغییر بارش و دمای ناشی از تغییراقلیم، بر محصولات باغی و کشاورزی نیز آسیب وارد می‌کند. به‌منظور افزایش امنیت غذایی در هر منطقه در دوره‌های آتی، لازم است تا از پیش، اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی منطقه شناخته شده و راه‌کارهای سازگاری برای مقابله با اثرات منفی آن ارائه گردد. امروزه اثرات تغییراقلیم بر محصولات کشاورزی، مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. Kang et al. (2015)، تأثیر تغییراقلیم 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، بیان کننده 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

پی آن افزایش عملکرد گیاه ذرت می‌شود. Melkonyan (2015)، با استفاده از مدل‌های GCM، به بررسی آثار پدیده تغییراقلیم 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 ۲۰۳۹-۲۰۱۰ 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 تغییراقلیم 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.

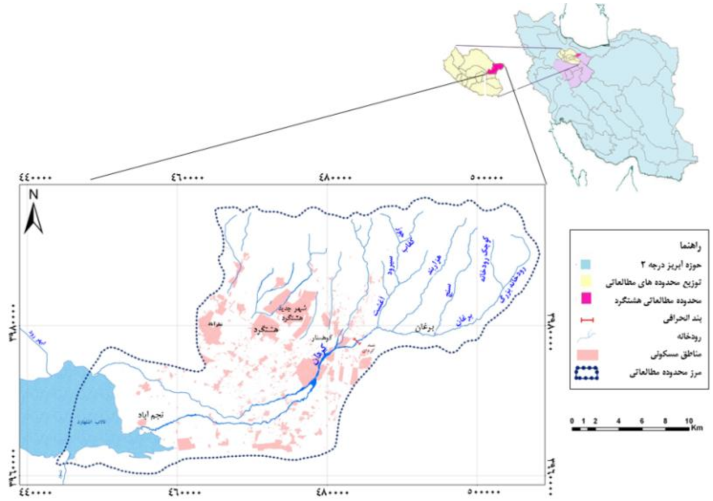
لذا نظر به تأثیر اقلیم، بر پتانسیل کشاورزی، لازم است تولید محصولات زراعی در دوره‌های آتی مورد مطالعه و ارزیابی قرار گیرد. تا بتوان در صورت کاهش تولید محصول در دوره‌های آتی نسبت به جبران اثرات منفی آن اقدام نمود. برای این منظور مدل‌های شبیه‌ساز گیاه برای پیش‌بینی تولید محصولات زراعی توسعه یافته‌اند. در 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 تغییراقلیم بر بهره‌وری کشاورزی و تولید محصولات زراعی در ایران، معطوف به استفاده از یک مدل AOGCM و سناریوی تغییراقلیم شده است. به عبارت دیگر منابع عدم قطعیت در مطالعات تغییراقلیم لحاظ نشده است. همچنین در اکثر مطالعات تغییراقلیم از مدل‌های AOGCM گزارش ارزیابی چهارم IPCC استفاده شده است. بنابراین در مطالعه حاضر تلاش بر این است که با پایش داده‌های 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 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 تغییراقلیم بر سیستم‌های مختلف در دوره‌های آتی، منابع مختلفی از عدم قطعیت بر نتایج نهائی تأثیر می‌گذارد. نادیده گرفتن منابع عدم قطعیت در محاسبات می‌تواند از میزان کاربردی بودن نتایج بکاهد (Massah Bovani, 2006). بنابراین در این مطالعه، عدم قطعیت در بررسی اثرات تغییراقلیم 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 تغییراقلیم، 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 تغییراقلیم بر بخش کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی هشتگرد با وسعت ۱۲۷۱ کیلومترمربع، 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 محدودهٔ مورد مطالعه به‌دست آمدند. ایستگاه سینوپتیک قزوین در طول جغرافیایی ۵۰/۰۵ و در عرض جغرافیای ۳۶/۲۵ واقع شده است. محصولات غالب کشاورزی دشت هشتگرد شامل گندم، جو، ذرت و یونجه می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی هشتگرد (Yekom Consulting Engineers, 2011)

پردازش داده‌های اقلیمی در دوره‌های آتی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو

روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی وجود دارد. در حال حاضر معتبرترین ابزار برای تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های سه بعدی جفت شده گردش عمومی جو- اقیانوس (AOGCM) می‌باشند (Wilby and Harris, 2006). در تحقیق حاضر، از خروجی ۱۹ مدل AOGCM تحت چهار سناریوی انتشار RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 مربوط به گزارش ارزیابی پنجم (AR5) IPCC استفاده شده است. مطابق با گزارش IPCC، سناریوی RCP8.5 دربرگیرنده بحرانی‌ترین و سناریوی RCP2.6 دربرگیرنده کمترین انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشند.

- سناریوی انتشار RCP2.6

سناریوی RCP2.6، توسط تیم مدل‌سازی IMAGE از موسسه ارزیابی‌های محیطی هلند طراحی شده است. این سناریو در برگیرنده کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. مطابق این سناریو واداشت تابشی در اواسط این قرن به حدود ۳/۱ رسیده و سپس کاهش یافته و به ۲/۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد.

- سناریوی انتشار RCP4.5

سناریوی RCP4.5 توسط گروه مدل‌سازی MiniCAM و موسسه‌ی (Joint Global Change Research Institute) JGCRI در شمال غرب اقیانوس آرام طراحی شده است و در آن واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع ثابت می‌ماند.

- سناریوی انتشار RCP6.0

سناریوی RCP6.0 توسط گروه مدل‌سازی AIM در موسسه ملی مطالعات محیطی ژاپن طراحی گردید. در این سناریو واداشت تابشی بعد از سال ۲۱۰۰ به‌دلیل استفاده از فناوری‌های جدید و سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای ثابت می‌ماند.

- سناریوی انتشار RCP8.5

سناریوی RCP8.5 توسط تیم مدل‌سازی MESSAGE و موسسه بین‌المللی آنالیز سیستم‌های کاربردی IIASA (International Institute for Applies Systems Analysis) اتریش توسعه و طراحی شد. بدون اتخاذ هیچ گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب و هوای کره زمین در خط سیر سناریوی انتشار RCP8.5 پیش خواهد رفت. به‌طوریکه ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می‌گردد. در این هنگام غلظت دی اکسید کربن به ۱۰۰۰ ppm رسیده و هم‌چنان روند افزایش ادامه خواهد داشت (IPCC, 2014).

داده‌های اقلیمی منطقه، از طریق مرکز توزیع داده IPCC برای دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۷۶) و دوره آتی (۲۰۴۹-۲۰۲۰) تهیه شدند. با توجه به مدل‌های موجود و سناریوهای اجرا شده‌ی آن‌ها، در این مطالعه برای هر یک از سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 به ترتیب ۱۸، ۱۹، ۱۱ و ۱۹ مدل مورد استفاده قرار گرفت. در جدول (۱) مشخصات و سناریوهای انتشار ۱۹ مدل AOGCM موجود در پایگاه اطلاعات (AR5) IPCC که خروجی آن‌ها در این تحقیق استفاده شده، آورده شده است.

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

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

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 (۲۰۴۹-۲۰۲۰) و میانگین بلندمدت دوره پایه (۲۰۰۵- ۱۹۷۶) به‌ترتیب توسط روابط (۱) و (۲) محاسبه می‌شود.

$$\Delta T_{ij}=(\overline{T}_{GCM,fut,ij}-\overline{T}_{GCM,base,i}) \quad (۱)$$

$$\Delta P_{ij}=(\overline{P}_{GCM,fut,ij}/\overline{P}_{GCM,base,i}) \quad (۲)$$

در روابط فوق ΔT_{ij} و ΔP_{ij} به‌ترتیب بیانگر تغییر دما و بارندگی برای ماه i و سال j، $\overline{T}_{GCM,fut,i}$ میانگین ۳۰ ساله دمای شبیه‌سازی شده توسط مدل AOGCM در ماه i در دوره آتی، $\overline{T}_{GCM,base,i}$ 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 تغییراقلیم با استفاده از وزن‌دهی مدل‌های AOGCM

یکی از عمده‌ترین منابع عدم قطعیت در مباحث تغییراقلیم، 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 به‌کار 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

مشاهداتی وزن‌دهی 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، به‌دست می‌آید. وزن به‌دست 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 به‌دست می‌آید.

ریزمقیاس 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-WGیکی از پرکاربردترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی است که برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در یک ایستگاه استفاده می‌شود (Semenov and Barrow, 2002).

اثرات تغییراقلیم 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 (Jarallahi and Mahdavian, 2000). سازمان خواروبار جهانی (FAO) و مؤسسه بین‌المللی تحلیل سیستم‌های کاربردی اتریش از سال ۱۹۸۰ کوشش‌هایی را در زمینهٔ 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_o)

ماده خشک ناخالص گیاه مبنا (Y_o) 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.

$$Y_o = F.y_o + (1-F)\, y_c \quad (۴)$$

در رابطه فوق y_o سرعت تولید ماده خشک ناخالص از یک گیاه مبنا برای موقعیت مشخص در یک روز کاملاً ابری 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) به‌دست 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_o ماده خشک ناخالص گیاه مبنا بر حسب کیلوگرم در

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):

$$GDD = \frac{T_{max} - T_{min}}{2} - T_{base} \qquad (۸)$$

که در آن، T_{max} و T_{min} به ترتیب درجه حرارت حداکثر و حداقل روزانه بر حسب درجه سلسیوس و T_{base} مقدار درجه حرارت آستانه که برحسب 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:

$$ET_O = 0.0135 \times (K_T) \times (R_a) \times (TD)^{0.5} \times (T + 17.8) \qquad (۹)$$

$$K_T = 0.00185 \times TD^2 - 0.0433 \times TD + 0.4023 \qquad (۱۰)$$

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) به‌دست می‌آید:

$$ET_C = K_c \times ET_O \qquad (۱۱)$$

K_c 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).

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:

$$W_j^c = min(W_{j-1}^c + P_j^r + M_j - ET_{a_j}, W^*) \qquad (۱۲)$$

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:

$$P_j = \begin{cases} P_j^r, & T_j \geq -1°C \\ P_j^s, & T_j \leq -1°C \end{cases} \qquad (۱۳)$$

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:

$$M_j = 2.63 + 2.55 \times T_j + 0.0912 \times T_j \times P_j^r \qquad (۱۴)$$

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). W_{j-1}^s 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):

$$W_j^s = W_{j-1}^s + P_j^s - M_j \qquad (۱۵)$$

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

$$ET_{a_j}=\begin{pmatrix} ET_{cj} & if\,\rho_j \geq 1 \\ \rho_j.ET_{cj} & if\,\rho_j < 1 \end{pmatrix} \qquad (۱۶)$$

$$\rho_j=\frac{ET_{a_j}}{ET_{c_j}}=\frac{W_j^c+P_j^T+M_j}{Sa.(1-p_j)} \qquad (۱۷)$$

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

براساس 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:

$$IWR=\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{m}(ET_c^i-ET_a^i) \qquad (۱۸)$$

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_a و ET_c نیز به ترتیب تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل محاسبه‌شده در بخش قبل می‌باشند. مقدار حجم خالص آب آبیاری (WRQ) در سلول i از رابطه (۱۹) محاسبه می‌شود:

$$WRQ_i=IWR_i\times A_i \qquad (۱۹)$$

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:

$$GWR_{i(t)}=WRQ_{i(t)}/Irr_{eff_{i(t)}} \qquad (۲۰)$$

در این رابطه Irr_{eff} راندمان آبیاری می‌باشد.

شاخص‌های گیاهی-آبی

برای بررسی اثرات تغییراقلیم 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 کشت موجود، تحت تأثیر تغییر اقلیم استفاده می‌شود و از رابطه (۲۱) به‌دست می‌آید.

$$CYR_i=\frac{Y_{mpf_i}-Y_{mpo_i}}{Y_{mpo_i}} \qquad (۲۱)$$

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) به‌دست می‌آید.

$$IWR_i=\frac{IWR_{f_i}-IWR_{o_i}}{IWR_{o_i}} \qquad (۲۲)$$

مقادیر IWR_{o_i} و IWR_{f_i} به‌ترتیب 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:

$$ET_{av_i}=(\sum_{i=1}^{n}ET_a^i)\times A_i \qquad (۲۳)$$

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:

$$WP_i=Y_{mp_i}/ET_{aV_i} \qquad (۲۴)$$

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 ۲۰۴۹-۲۰۲۰، نسبت به دوره پایه ۲۰۰۵-۱۹۷۶ را،

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. به‌طوریکه افزایش جزئی مقادیر بارش در دوره آتی، تغییر قابل ملاحظه‌ای در افزایش درصد تغییرات بارش این ماه‌ها، نشان می‌دهد (جدول۲).

براساس شکل (۲) مشاهده می‌شود که دما بر اثر پدیده تغییراقلیم، تحت هر چهار سناریوی انتشار RCPs، در تمام فصول سال، افزایش می‌یابد. در دوره آتی ۲۰۴۹-۲۰۲۰، 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.

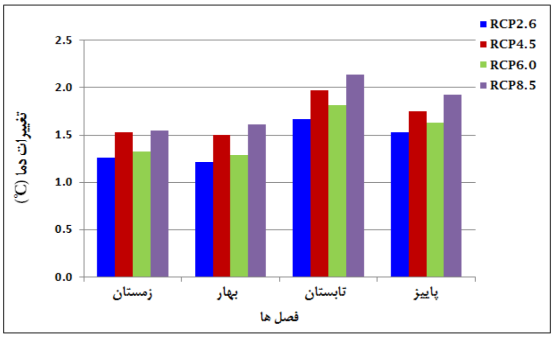
از طرفی میزان حداقل افزایش دما در فصل زمستان، تابستان و پاییز تحت سناریوی انتشار RCP2.6 به‌ترتیب ۱/۲۶، ۱/۶۷ و ۱/۵۳ می‌باشد. به طور کلی، مجموعه مدل‌ها، تحت هر یک از سناریوهای RCP8.5، RCP6.0، RCP4.5 و RCP2.6 در دوره آتی (۲۰۴۹-۲۰۲۰)، به ترتیب به میزان ۱/۸۱، ۱/۵۲، ۱/۶۹ و ۱/۴۳ درجه سلسیوس افزایش دما نسبت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

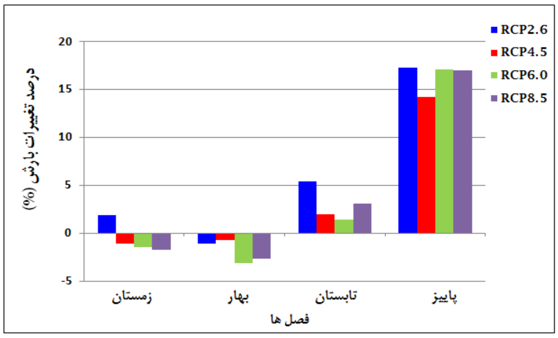
شکل (۳) درصد تغییرات بلند مدت فصلی بارش در دوره آتی را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. بارش در فصل پاییز، تحت هر چهار سناریوی انتشار RCP8.5، RCP6.0، RCP4.5 و RCP2.6، به‌ترتیب به میزان ۱۷/۰۳، ۱۷/۱۱، ۱۴/۲۵ و ۱۷/۲۵ درصد بیشترین افزایش را داشته است. از طرفی افزایش بارش تابستانه نیز مشاهده می‌شود. فصل بهار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

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

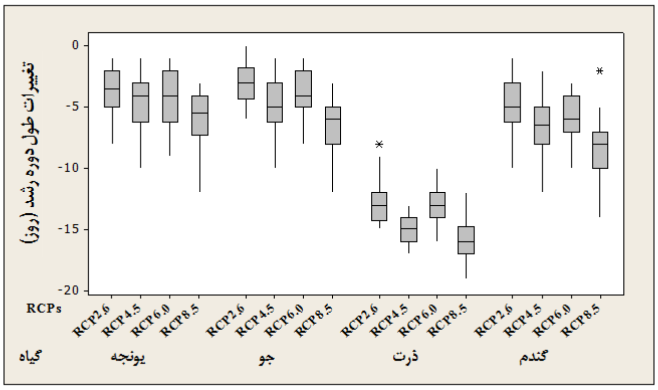
سناریوی انتشار	RCP2.6		RCP4.5		RCP6.0		RCP8.5	
ماه	دما	بارش	دما	بارش	دما	بارش	دما	بارش
ژانویه	۱/۲۵	۱/۰۰	۱/۴۵	۰/۹۹	۱/۳۴	۰/۹۵	۱/۵۶	۰/۹۹
فوریه	۱/۲۳	۱/۰۲	۱/۶۶	۰/۹۸	۱/۳۸	۱/۰۵	۱/۶۱	۰/۹۲
مارس	۱/۲۲	۱/۰۰	۱/۳۹	۱/۰۴	۱/۲۸	۱/۰۱	۱/۶۹	۰/۹۶
آوریل	۱/۰۹	۱/۰۶	۱/۴۶	۱/۰۱	۱/۲۳	۰/۹۷	۱/۴۵	۱/۰۲
می	۱/۳۸	۰/۹۴	۱/۶۹	۱/۰۳	۱/۵۵	۰/۹۵	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 ۲- میانگین بلند مدت فصلی دما در دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ نسبت به دوره پایه تحت میانگین ۱۹ AOGCMs



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



شکل ٤- دامنه تغییرات طول دوره رشد گیاهان مورد مطالعه منطقه در دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ نسبت به دوره پایه

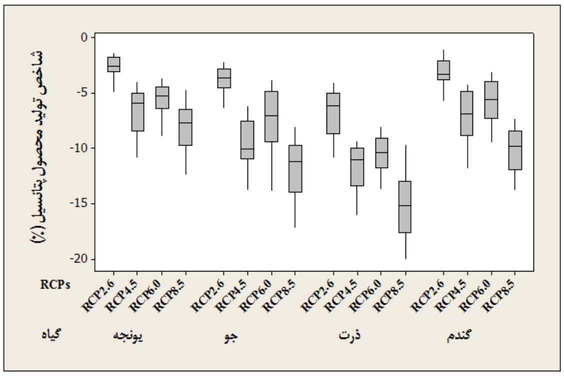
اثرات تغییراقلیم بر بخش کشاورزی

اثرات تغییراقلیم بر دوره رشد

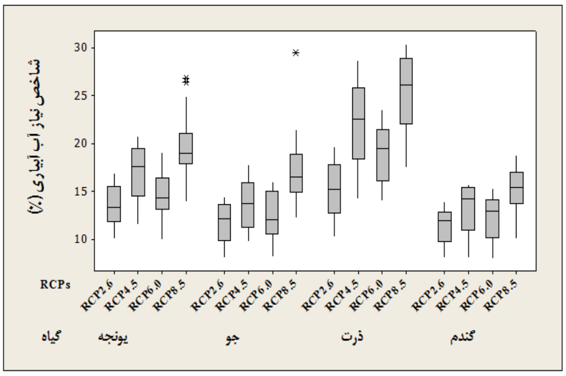
دوره رشد تمامی محصولات غالب کشاورزی مورد مطالعه در دشت هشتگرد، در اثر تغییراقلیم، کوتاه‌تر شده است، که علت این پدیده افزایش دما، در شرایط وجود کمبود آب آبیاری می‌باشد. برای هر چهار محصول، بیشترین مقدار کاهش طول دوره رشد مربوط به سناریوی انتشار RCP8.5، و پس از آن سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP6.0 و نهایتاً 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 تغییراقلیم بر تولید محصول پتانسیل

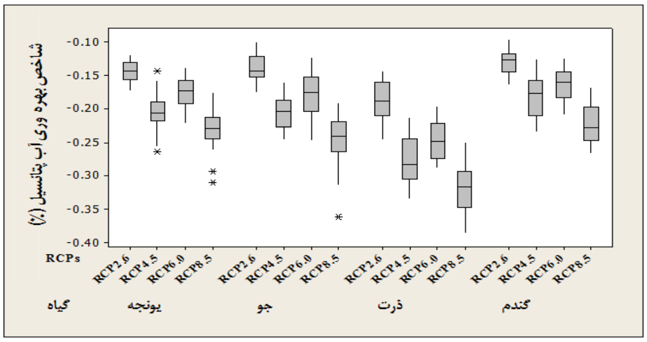
تأثیر تغییراقلیم بر تولید پتانسیل محصولات منطقه با استفاده از روش AEZ برای چهار محصول منتخب و چهار سناریوی انتشار RCPs مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است که در این روش، اثر تغییراقلیم بر قابلیت دسترسی به آب آبیاری در نظر گرفته نشده و فرض بر آن است که هیچ‌گونه محدودیت و تنشی برای گیاه در طول دوره رشد وجود ندارد و نیاز آبی محصولات در حد کفایت از منابع آب تأمین می‌گردد. در نظر گرفتن این شرایط ما را قادر می‌سازد که اثرات تغییراقلیم را بر پتانسیل تولید محصول در شرایط عدم تنش آبی بررسی نموده و از آن به‌منظور تخمین نیاز آب آبیاری مازاد محصول در شرایط تغییراقلیم بهره برد. شکل (۵)، مقادیر شاخص تغییرات میزان محصول (*CYR*)، برای چهار محصول منتخب تحت چهارسناریوی 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 نشان‌دهنده‌ی اثر منفی تغییراقلیم 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 آتی 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.



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



شکل ٦- دامنه تغییرات شاخص نیاز آب آبیاری گیاهان مورد مطالعه منطقه در دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ نسبت به دوره پایه



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

اثرات تغییراقلیم بر نیاز آب آبیاری

شاخص تغییرات نیاز آب آبیاری (*IWR*)، به‌منظور ارزیابی اثرات تغییراقلیم 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 تغییراقلیم، 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 تغییراقلیم بر بهره‌وری آب پتانسیل

همان‌طور که در شکل (۷) ملاحظه می‌شود شاخص بهره‌وری آب پتانسیل (*WP*) برای تمامی محصولات دشت هشتگرد، در اثر تغییراقلیم 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. 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 شد، که می‌تواند به دلیل افزایش تبخیر و تعرق با گرم‌تر شدن اقلیم باشد (شکل ۷).

نتیجه‌گیری

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

شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی با رویکرد AEZ نشان داد که دوره رشد تمامی محصولات کشاورزی مورد

مطالعه در اثر تغییراقلیم 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 تغییراقلیم 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 و۲۰ روز در حوضه زاینده‌رود برآورد شد.

اقلیم گرم و خشک پیش‌بینی شده در دوره آتی 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 تغییراقلیم، 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 زاینده رود 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 تاثیر تغییراقلیم کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از مطالعه Delghandi et al. (2015) نشان داد عملکرد گندم در دوره‌های آتی نسبت به دوره‌ی مبنا به‌ترتیب 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 تغییراقلیم، 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 تغییراقلیم بر بخش کشاورزی دشت هشتگرد، راهکارهای مدیریتی مناسب، شناسایی و اثر بخشی این راه‌کارها توسط مدل‌ها بررسی شود.

منابع

1- 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.

2- 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.

3- 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).

4- De Wit CT., 1965. Photosynthesis of leaf canopies. Reports 663, Wagenningen, Netherland: Pudoc. *Agric Res report, 63:57*.

5- 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.*

6- 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.

7- 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.

8- 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.

9- 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., Yazdanpnah, 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 circulationmodel 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 .

Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering **Vol. 41, No. 3, Fall 2018, p. 45-59**

EXTENDED ABSTRACT

Assessment of Climate Change Impacts on Agriculture of the Hashtgerd Plain with Emphasis of AR5 Models Uncertainty

A. Mehrazar[1], A. R. Massah Bavani[2], M. Mashal[3*] and H. Rahimikhoob[4]

1- MSc. Graduate of Irrigation and Drainage Engineering, Irrigation and Drainage Engineering Department, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran.
2- Associate Professor of Irrigation and Drainage Engineering Department, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran.
3*- Corresponding Author, Associate Professor of Irrigation and Drainage Engineering Department, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran *(mmashal@ut.ac.ir).*
4- PhD. Student of Irrigation and Drainage Engineering, Irrigation and Reclamation Engineering Department, College of Agriculture and Natural Resources Karaj, University of Tehran, Iran.

Received: 17 March 2016 Accepted: 10 December 2016

Keywords: Agriculture, Climate Change, Hashtgerd Plain, RCPs, Uncertainty.

Introduction

Nowadays, in water resources management, climate change is one of the main challenges. Changes in the water cycle are one of the most important of ground responses to warming it (IPCC 2014). Changes of precipitation and temperature caused by climate change, will damage to the products of garden and agricultural. Therefore, in order to increase the food security in future periods, it is necessary to evaluate the climate change impacts on the agricultural of regions and provide adaptation strategies its. So Regarding the importance of climate change, the purpose of this study is simulating the performance of the agricultural sector Hashtgerd Plain under climate change impacts in the future period (2020-2049).

Methodology

In this study, to investigate the climate change impacts on the agricultural sector of Hashtgerd Plain in future period (2020-2049) compared to the base period (1976-2005), was used output of 19 AOGCM models of Assessment Report Fifth under four emission scenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 and RCP8.5. To create climate change scenarios in each AOGCM models, temperature difference values and precipitation ratio values between long-term mean in future periods (2049-2020) and long-term mean in the base period (2005- 1976) were calculated.

To quantify the uncertainty in estimates of temperature and precipitation changes under Climate Change, the output of 19 AOGCM models was weighted by using method of Mean Observed Temperature- Precipitation (MOTP).

In this method, AOGCM models were weighed based on mean deviation of simulated temperatures (or precipitation) in the base period from the observation data mean (Equation 1).

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

Where: R_i is the weight of each model in the month i and ΔT_i is the long-term average deviation of the simulated temperature by each of the AOGCM models in the base period from the observational data mean. By placing the precipitation values instead of the temperature in Equation (1), were obtained the weights related to the precipitation variable.

Then, the output of the AOGCM models were downscaled by LARS-WG. LARS-WG (Semenov and Barrow, 2002) is one of the stochastic weather generators (WGs), which produces synthetic daily time series of climatic variables with any length. LARS-WG can generate daily time series from monthly climate change scenarios and historical daily climate data.

Ultimately, to study the climate change impacts on potential crop production, growth period, Irrigation water requirement and potential Water productivity for four major crops (wheat, barley, maize and alfalfa) in Hashtgerd, the Agro Ecological Zones (AEZ) method was used. The AEZ method has been developed by the Food and Agriculture Organization (FAO) and International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) for rational land use planning and management (Gohari et al, 2013) .The AEZ is an appropriate method for climate change assessment in crop production.

Results and Discussion

The results of evaluate climate change impacts on the agricultural sector of Hashtgerd Plain showed average annual temperature will increase under scenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 and RCP8.5, respectively, 1.34, 1.69, 1.52 and 1.81 degrees Celsius, in the future period (2020-2049) compared to the base period (2005- 1976). Also, precipitation monthly changes do not show a general increasing or decreasing trend. Generally, the Hashtgerd Plain under climate change will confront warm and dry conditions in the future period.

Also, the results showed the crop production and growth period of studied crops under climate change in the future period will be decrease. The maximum growth period shortenings are expected to be 14, 12, 19 and 12 days for wheat, barley, maize and alfalfa, respectively. The range of crop production changes under four emission scenarios are -3 to -10.2 % for wheat,- 3.8 to -12.1% for barley, -6.6 to -15% for maize and -2.6 to -8.1% for Alfalfa. The maximum reduction of crop production is under RCP8.5 and the minimum reduction is under RCP2.6.

The forecasted warm and dry climate in future periods, will lead to increase of evapotranspiration and increase of irrigation water requirement of studied crops in Hashtgerd Plain. The range of irrigation water requirement changes under climate change are, 11.32 to 16% for wheat, 11.6 to 17.21 for barley, 15.09 to 26% for maize and 13.6 to 20% for alfalfa.

The decrease of crop production and the increase of irrigation water requirement will lead to decrease water productivity under climate change in the region. The minimum of the potential water productivity reduction is expected to be -16.39% for wheat, -17.4% for barley, -24.4% for maize and -17.2 % for alfalfa, under RCP 2.6 scenario. The maximum of the potential water productivity reduction is expected to be - 26.5 % for wheat, -35% for barley, -38.5% for maize and -30.9 % for alfalfa, under RCP 8.5 scenario.

Conclusion

According to the results of this study, processing climatic data showed the temperature will be increase under climate change in the period 2049-2020 compared to the base period. Also, precipitation monthly changes do not show a general increasing or decreasing trend.

The Assessment of climate change impacts on the agricultural sector by AEZ approach showed the growth period of studied crops under climate change is shortened. Also, the climate change in future period, will lead to decrease of crop production and increase of irrigation water requirement. As a result of decrease crop production and increase irrigation water requirements, the water productivity (WP) of all crops will decrease under climate change. Therefore, in order to reduce the negative effects of climate change on agricultural sector of Hashtgerd, prominent management strategies such as improve water use efficiency, reduce of cultivated area of high consumption crops and change of cropping pattern toward low consumption plants and change the cultivation date, should be identified and the effectiveness of these strategies should be evaluated.

References

1- 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.*

2- 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.*

3- 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.