

بررسی عملکرد و بهره‌وری آب گیاه ذرت در سطوح مختلف ریسک تحت تاثیر تغییر اقلیم در

دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹

مریم روستایی^{۱*} - تیمور سهرابی^۲ - علیرضا مساح بوانی^۳ - محمدصادق احدی^۴

تاریخ دریافت: ۹۰/۳/۹

تاریخ پذیرش: ۹۰/۹/۲۷

چکیده

تغییر اقلیم در عصر حاضر به عنوان مهمترین تهدید برای توسعه پایدار، کشاورزی و امنیت غذایی مطرح است. این پدیده در مناطق خشک مانند ایران که با کمبود آب روبرو هستند، اهمیت بیشتری می‌یابد. هدف اصلی این مطالعه بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر دما، بارش و میزان عملکرد گیاه ذرت و نهایت بررسی تغییرات بهره‌وری آب در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹، در سطوح مختلف ریسک، در منطقه پاکدشت تهران می‌باشد. به این منظور، ترکیبی از ۹ مدل AOGCM تحت سناریو انتشار A2 برای اعمال عدم قطعیت ناشی از مدل‌های AOGCM و مدل گیاهی AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد ذرت استفاده شد. با استفاده از رویکرد پیز-موننت کارلو توابع توزیع تجمعی دما و بارش منطقه برای دوره آتی تولید و از این توابع مقادیر سطوح ریسک ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد استخراج شد. در ادامه، سطوح ریسک استخراج شده با روش عامل تغییر ریزمقیاس و به مدل AquaCrop معرفی و عملکرد گیاه ذرت برای دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ تحت سه سطح ریسک، شبیه‌سازی شد. نتایج سطح ریسک ۵۰ درصد، نشان از $1/68^{\circ}\text{C}$ تا $0/71$ افزایش دما برای دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ دارد و میانگین ماهانه بارش در دوره مذکور $0/7-1/19$ برابر دوره پایه شبیه‌سازی شده است. شبیه‌سازی زیست‌توده برای سطوح ریسک ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد و برای تیمار آبیاری کامل به ترتیب $0/8$ ، $6/8$ و $6/2$ درصد و برای تیمار کم‌آبیاری $2/8$ ، $18/9$ و $17/8$ درصد کاهش بهره‌وری آب را نشان می‌دهد که علت آن افزایش دما و تغییرپذیری باران بوده است.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، پاکدشت، ذرت، ریسک، AOGCM، AquaCrop

مقدمه

و افزایش عملکرد را به دنبال خواهد داشت، اما در مناطقی با بهار و تابستان‌های گرم، افزایش دما و متعاقب آن افزایش تبخیر و تعرق باعث کاهش محصول خواهد شد (۶). اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی در نقاط مختلف جهان توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته و نتایج گوناگونی بدست آمده است. تاثیر تغییر اقلیم و وقایع حدی بر گندم زمستانه و آفتاب‌گردان در اروپا نشان از کوتاه شدن دوره رشد و افزایش فراوانی تنش دمایی در دوران گلدهی دارد که باعث کاهش محصول گندم تا ۱۵ درصد و تغییرات 10% تا 40% بر آفتابگردان دارد (۱۸). بررسی تاثیر تغییر اقلیم در تانزانیا نشان داد که ۲۰ درصد افزایش تغییرپذیری در بارش منجر به $4/2$ ، $7/2$ و $7/6$ درصد و ۲ درجه افزایش دما به ترتیب موجب ۱۳، $8/8$ و $7/6$ درصد کاهش محصول به ترتیب بر روی گیاهان ذرت، سورگوم و برنج تا سال ۲۰۵۰ خواهد شد (۲۰). زمان به گل رفتن گندم دوروم در ایتالیا تحت تاثیر تغییر اقلیم تا سال ۲۰۲۵ و ۲۰۷۵ به ترتیب ۲ و ۱۵ روز سریعتر اتفاق خواهد افتاد و میزان کاهش محصول تا سال‌های مذکور

بر طبق آخرین گزارش‌ها، انتشار گازهای گلخانه‌ای در اثر فعالیت‌های بشری عامل اصلی تغییرات اقلیمی در قرن اخیر بوده (۱۲) و بیشتر مناطق کره زمین را با افزایش دما (به ویژه دمای کمینه)، تغییرات در رژیم بارشی و افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن مواجه خواهد کرد (۱۶). افزایش گازهای گلخانه‌ای، تاثیرات متفاوتی بر عملکرد گیاهان زراعی خواهد داشت، بطوریکه برهمکنش این اثرات ممکن است موجب افزایش یا کاهش محصول شود. در صورتیکه دما عامل محدود کننده طول فصل رشد گیاهان باشد، افزایش آن سودمند بوده

۱-۲ به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد گروه آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(*) نویسنده مسئول: Email: roostae.maryam@gmail.com

۳- استادیار گروه آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

۴- معاون طرح ملی تغییر آب و هوا، دفتر ملی تغییر آب و هوا، سازمان حفاظت محیط زیست

در سطح ملی دارند، در صورتیکه اثرات تغییر اقلیم بر کیفیت خاک، در دسترس بودن آب و تغییرپذیری دما و بارش دستیابی به این هدف را دشوار کرده است. از آنجاییکه که اکثر مناطق کشور ایران و به خصوص نواحی مرکزی دارای اقلیم خشک هستند، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بهره‌وری آب در این مناطق ضروری به نظر می‌رسد. از طرف دیگر در مباحث تغییر اقلیم عدم قطعیت‌هایی وجود دارد که بی‌توجهی به آن‌ها موجب کاهش اعتبار نتایج می‌گردد. هدف از این مطالعه بررسی تغییرات دما، بارش، عملکرد و در نهایت بهره‌وری آب گیاه ذرت در سطوح مختلف ریسک در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت تاثیر تغییر اقلیم در منطقه پاکدشت می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شهرستان پاکدشت (عرض جغرافیایی $28^{\circ} 35'$ و طول جغرافیایی $51^{\circ} 45'$) واقع در جنوب شرقی استان تهران با آب‌وهوای خشک، میانگین بارش سالانه حدود ۲۰۰ میلی‌متر (متمرکز در زمستان و اواخر پاییز) و دامنه گسترده تغییرات دمای میانگین ($8-$ تا 37 درجه سانتیگراد) می‌باشد. میانگین درازمدت تبخیر تعرق در منطقه 1850 میلی‌متر در سال می‌باشد. گیاه ذرت در پاکدشت در اوایل خرداد ماه کشت می‌شود و با توجه به نوع رقم کشت شده در اواخر تابستان و یا در پاییز برداشت می‌شود. استفاده از ارقام میان‌رس و دیررس با توجه به عملکرد مناسب در این منطقه توسط کشاورزان محلی ترجیح داده می‌شود. خاک منطقه در محل آزمایش از نوع لومی با عمق حدود ۱ متر و زهکشی مناسب می‌باشد. داده‌های هواشناسی مورد نیاز این پژوهش (دمای کمینه و بیشینه، میانگین و بارش روزانه) از ایستگاه هواشناسی پاکدشت واقع در پردیس ابوریحان دانشگاه تهران و نزدیکترین ایستگاه هواشناسی، امین آباد، برای سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۷۱ و همچنین ۲۰۱۰-۲۰۰۹ اخذ و به همراه مقادیر محاسباتی تبخیر و تعرق، به عنوان ورودی مدل AquaCrop بکار گرفته شد. همچنین به منظور واسنجی مدل گیاهی از داده‌های جمع آوری شده توسط نجار و همکاران (۴) در سال ۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، واقع در پاکدشت استفاده

به ترتیب ۲ تا ۶ درصد و ۱۰ تا ۱۸ درصد خواهد بود که در صورت لحاظ نمودن اثرات مطلوب CO_2 بر رشد گیاه، ۵ تا ۷ درصد تا سال ۲۰۲۵ و ۱۰ تا ۲۱ درصد تا سال ۲۰۷۵ افزایش محصول پیش بینی می‌شود (۱۶). بیشترین میزان افزایش محصول گندم زمستانه در شمال چین ۱۳ درصد (تحت سناریو B2) و ۱۹ درصد (تحت سناریو A2) و مربوط به سال‌های ۲۰۶۰ و ۲۰۷۰ خواهد بود ولی در مورد ذرت میزان محصول به میزان ۱۵ و ۱۲ درصد تحت سناریوهای A2 و B2 و بر اساس نتایج مدل HadCM3 کاهش خواهد یافت (۱۸). در اکثر پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه تغییر اقلیم، یک مدل AOGCM همراه با سناریوهای انتشار مختلف استفاده شده است در صورتیکه در مطالعات تغییر اقلیم در مراحل مختلف شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی توسط مدل‌های GCM و همچنین تصحیح خروجی این مدل‌ها، منابع عدم قطعیت مختلفی وجود دارد. این منابع عدم قطعیت عبارتند از: عدم قطعیت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، عدم قطعیت در تبدیل میزان گازهای گلخانه‌ای به غلظت اتمسفری و نیروی تابشی، عدم قطعیت مربوط به شبیه‌سازی مدل‌های GCM در سطوح منطقه‌ای و عدم قطعیت در استفاده از روش‌های مختلف ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های GCM. در این میان عدم قطعیت مربوط به مدل‌های مختلف GCM موثرترین منبع عدم قطعیت است (۱). تاثیر عدم قطعیت مدل‌های AOGCM بر نیاز آبی در حوضه زاینده‌رود در دوره‌های ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ با به کارگیری ۷ مدل AOGCM و سناریو انتشار A2 بررسی شد و $3-8/1^{\circ}C$ در بهار، $3/1-8/2^{\circ}C$ در تابستان، $3-6/9^{\circ}C$ در پاییز و $2/3-6/5^{\circ}C$ افزایش دما در زمستان در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ پیش‌بینی شده است (۹). همچنین مقادیر آب مورد نیاز در همان دوره برای تامین نیاز آبی حوضه ۱۷۳ و ۲۳۰ میلیون متر مکعب به ترتیب برای سطوح ریسک ۵۰ و ۲۵ درصد تخمین زده شده است (۹). ذرت جزو اولین گیاهانی است که به دلیل ارتباط با معاش در مطالعات تغییر اقلیم مورد ارزیابی قرار گرفته است. کوتاه شدن دوره رشد، کاهش تعداد و وزن واحد دانه از جمله پاسخ‌های گیاه ذرت به تغییر اقلیم است (۲۰). شبیه‌سازی محصول ذرت در سال ۲۰۵۵ در منطقه پامپاس در آرژانتین با لحاظ افزایش مقدار دی‌اکسید کربن، ۱۶ درصد کاهش محصول، ۱۰ روز کاهش طول فصل رشد و ۱۰ درصد کاهش وزن واحد دانه را نشان داده است (۱۵). ۱۰ تا ۲۰ درصد کاهش محصول ذرت در بلغارستان (۵) و ۱۰ درصد کاهش عملکرد در رومانی (۶)، $1/5$ تا $3/5$ تن کاهش محصول در هکتار و کاهش ۱۰ روزه در طول فصل رشد در سال‌های ۲۰۶۹-۲۰۴۰ در منطقه پاکدشت گزارش شده است (۴). تأمین غذای جمعیت در حال افزایش جهان و به طور همزمان پایدار ماندن بهره‌وری آب بزرگترین چالش پیش روی بخش کشاورزی، به عنوان عمده‌ترین مصرف‌کننده آب، در قرن جاری است. بسیاری از کشورها به ویژه آنهایی که در مناطق خشک واقع شده‌اند سعی بر تامین امنیت غذایی

تکرار انجام شده و تیمارهای آبیاری در این مطالعه شامل آبیاری کامل و کم آبیاری (با سطح تنش ۵۰ درصد) بوده است. دو تیمار فرعی عبارتند از دو سطح نیتروژن متفاوت (No و Nopt) و دو رقم متفاوت ذرت ۲۶۰ و کرج ۵۰۰. در واقع هر تیمار اصلی آبیاری به ۴ کرت با طراحی تصادفی دو تیمار فرعی تقسیم بندی شده است. در آزمایش مذکور به علت عدم وجود بذر مناسب، کاشت با تاخیر و در تاریخ ۸ مرداد انجام شد. از این رو نتایج مربوط به شبیه‌سازی عملکرد ذرت در تاریخ ۸ مرداد نیز در نتایج آمده است.

ایشان مقادیر زیست توده را در ۴ مرحله از فصل رشد برای دو تیمار آبیاری کامل (۱۴، ۴۹، ۷۵ و ۱۲۵ روز پس از کشت) و کم آبیاری (۱۴، ۵۲، ۷۴، ۱۲۵ روز پس از کشت) برداشت نمودند. برای مقایسه نتایج شبیه‌سازی مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده از دو شاخص آماری جذر میانگین مربع خطا^۴ (RMSE)، (رابطه ۱) و شاخص توافق ویلموت^۵ (d) (رابطه ۲) استفاده شد که بصورت زیر محاسبه می‌شوند:

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

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|S_i - \bar{M}| + |M_i - \bar{M}|)^2} \quad (2)$$

در این روابط S_i داده‌های شبیه‌سازی شده، M_i داده‌های اندازه‌گیری شده (مشاهداتی)، \bar{M} میانگین داده‌های مشاهداتی و n تعداد مشاهدات می‌باشد. واحد RMSE معادل واحد داده‌های اندازه‌گیری شده و مشاهداتی می‌باشد و هرچه مقدار آن به صفر نزدیک‌تر باشد، کارایی مدل بیشتر خواهد بود. دامنه مقادیر شاخص توافق ویلموت از ۱ تا $-\infty$ متغیر است و مقدار ۱ توافق کامل بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

تولید سناریوهای تغییر اقلیم در دوره‌های آتی

روش‌های مختلفی برای تولید سناریوهای تغییر اقلیم وجود دارد که معتبرترین آن‌ها استفاده از خروجی مدل‌های سه بعدی جفت شده اقیانوس-اتمسفر^۶، گردش عمومی جو است (۲). در این پژوهش برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰، از میان مدل‌های AOGCM معرفی شده در چهارمین گزارش ارزیابی^۷ کمیته بین‌الدول تغییر اقلیم، در سال ۲۰۰۷، ۹ مدل گردش عمومی جو تحت سناریو انتشار A2 انتخاب شد. این مدل‌ها عبارتند از SCIRO،

مدل شبیه‌سازی عملکرد گیاه (AquaCrop)

AquaCrop یکی از کاراترین و جدیدترین مدل‌های گیاهی است که توسط سازمان جهانی کشاورزی و غذا (FAO) با تمرکز بر بهره‌وری مصرف آب، در سال ۲۰۰۷ توسعه داده شده و به عنوان یک ابزار تحلیلی برای مطالعه تاثیر اقلیم، خاک، آب و مدیریت بهره‌وری سیستم کشت قابل توصیه می‌باشد. تفاوت مدل‌های گیاهی در ماژول‌های^۲ اصلی رشد، شبیه‌سازی زیست‌توده و تعداد پارامترهای ورودی می‌باشد. AquaCrop منحصراً روی بخش رشد تحویلی آب که در آن تعرق به زیست‌توده از طریق بهره‌وری آب^۳ (WP) تبدیل می‌شود، بنا نهاده شده است (۲۲). این مدل بیلان آب را بصورت روزانه محاسبه کرده و تبخیر و تعرق را به دو جزء تعرق و تبخیر تقسیم می‌کند که جزء اول وابسته به نسبت پوشش گیاهی و جزء دوم وابسته به سطح بدون پوشش خاک است. پاسخ گیاه به تنش خشکی با کمک ۴ پارامتر (توسعه برگ، انسداد روزنه، پیری پوشش گیاهی و شاخص برداشت) بررسی می‌شود. AquaCrop برای محاسبه تولید روزانه زیست‌توده از پارامتر بهره‌وری آب نرمال شده، استفاده می‌کند که این پارامتر برای آب و هوا و گیاه معین، ثابت در نظر گرفته می‌شود تا مدل قادر به شبیه‌سازی در مکان‌ها، فصول مختلف و همچنین برای سناریوهای تغییر اقلیم باشد. همچنین میزان عملکرد از ضرب کردن زیست‌توده در شاخص برداشت بدست می‌آید و مقادیر شاخص برداشت با توجه به میزان آب موجود وابسته به زمان، شدت و مدت تنش خشکی می‌باشد (۱۱ و ۲۲). داده‌های ورودی مدل به ۴ دسته تقسیم می‌شوند: داده‌های هواشناسی (شامل دمای کمینه و بیشینه بر حسب درجه سانتیگراد، بارش و تبخیر و تعرق بر حسب میلیمتر بر روز) داده‌های گیاهی (داده‌های تبخیر-تعرق، پوشش گیاهی، تنش آبی، تنش خشکی و...)، داده‌های خاک (خصوصیات هیدرولیکی و فیزیکی لایه‌های خاک) و داده‌های مدیریتی (مدیریت آبیاری شامل زمان، مقدار و شیوه آبیاری و مدیریت مزرعه مانند استفاده از خاکپوش و...)، آنچه در فرآیند واسنجی مدل نیاز به دقت ویژه‌ای دارد برخی پارامترهای گیاهی است که قابل حصول از داده‌های مزرعه‌ای نمی‌باشند. مقادیر قراردادی این پارامترها به همراه مقادیر به کار رفته در جدول ۱ آورده شده‌اند. برای واسنجی مدل AquaCrop، از داده‌های برداشت شده از مزرعه تحقیقاتی پاکدشت توسط نجار و همکاران (۳) استفاده گردید: این آزمایش بر اساس طرح کرت‌های دوبار خرد شده در قالب پایه بلوک‌های تصادفی با سه

4- Root Mean Square Error

5- Willmott index of agreement

6- AOGCM

7- Forth Assessment Report

1- Food and Agriculture Organization

2- Module

3- Water productivity

منظور اعمال عدم قطعیت ناشی از این مدل‌ها در محاسبات از رویکرد بیز-مونت کارلو استفاده می‌گردد. مراحل محاسباتی این روش عبارتند از:

- تولید توزیع احتمالاتی پیشین^۱ برای پارامترهای آماری
- تعیین تابع درست‌نمایی احتمالاتی^۲ داده‌های مشاهداتی به عنوان تابعی از پارامترها
- تعیین توزیع احتمالاتی پسین^۳ یک سیستم. این توزیع بر اساس توزیع‌های پارامترهای ورودی (توزیع پیشین) و تابع احتمالاتی تعیین می‌گردد (۱۴)

بر این اساس لازم است تا در ابتدا pdf سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارش (توزیع احتمالاتی پیشین) محاسبه گردند. در این تحقیق، این توزیع‌ها با استفاده از وزن‌دهی مدل‌های AOGCM با کمک روش میانگین مشاهداتی دما و بارندگی^۴ (MOTP) (۱) تعیین شدند. در این روش مدل‌های AOGCM بر اساس مقدار انحراف میانگین دما یا بارندگی شبیه‌سازی شده در دوره پایه از میانگین داده‌های مشاهداتی وزن‌دهی می‌شوند:

$$W_i = \frac{(1/\Delta T_i)}{\sum_{i=1}^n (1/\Delta T_i)} \quad (7)$$

که در آن W_i وزن هر مدل در ماه مورد نظر و ΔT_i انحراف میانگین طولانی مدت (۳۰ ساله) دمای شبیه‌سازی شده توسط هر یک از مدل‌های AOGCM در دوره پایه از میانگین داده‌های مشاهداتی و n تعداد این مدل‌ها می‌باشد. با جایگذاری مقادیر بارندگی به جای دما در رابطه بالا، وزن‌های متناظر با متغیر بارندگی بدست می‌آید. پس از تعیین توزیع‌های پیشین، با استفاده از روش مونت کارلو، نمونه‌های ۲۰۰۰ تایی از مقادیر سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی منطقه تولید و تابع توزیع تجمعی^۵ (CDF) آنها ترسیم گردید. در ادامه سناریوهای تغییر اقلیم متناظر با سطوح ریسک ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد دما و بارش منطقه برای ادامه محاسبات انتخاب شدند و با کمک روابط ۵ و ۶ سری زمانی دما و بارش منطقه متناظر با سطوح ریسک استخراج و همراه با داده‌های مشاهداتی در مزرعه به عنوان ورودی مدل گیاهی (تابع درست‌نمایی احتمالاتی) به کارگرفته شد و مقادیر زیست‌توده و عملکرد (تابع پسین) در دوره مورد نظر (۲۰۱۰-۲۰۳۹) شبیه‌سازی و بهره‌وری آب منطقه برای سه سطح ریسک محاسبه گردید. در سطح ریسک ۲۵ درصد (قبول ۲۵ درصد

GFDLCM، CGCM3، HadCM3، MIRCO، PCM، CCSM، ECHAM5 و GISS-ER. برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل مقادیر "اختلاف" برای دما (رابطه ۳) و "نسبت" برای بارندگی (رابطه ۴) برای متوسط دراز مدت هر ماه در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و دوره شبیه‌سازی شده پایه توسط همان مدل (۱۹۷۱-۲۰۰۰) برای هر سلول از شبکه محاسبه شد (۱۳).

$$\Delta T_i = (\bar{T}_{GCM, fut, i} - \bar{T}_{GCM, base, i}) \quad (3)$$

$$\Delta P_i = \left(\frac{\bar{P}_{GCM, fut}}{\bar{P}_{GCM, base}} \right) \quad (4)$$

در روابط فوق ΔT_i و ΔP_i به ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما و بارندگی برای میانگین دراز مدت ۳۰ ساله برای هر ماه ($1 \leq i \leq 12$)، $\bar{P}_{GCM, fut, i}$ و $\bar{T}_{GCM, fut, i}$ میانگین ۳۰ ساله دما و بارش شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و $\bar{P}_{GCM, base, i}$ و $\bar{T}_{GCM, base, i}$ میانگین ۳۰ ساله دما و بارش شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی (۱۹۷۱-۲۰۰۰) برای هر ماه می‌باشد. مقادیر پارامترهای فوق در ضمیمه ۱ آورده شده است.

ریز مقیاس نمایی

به دلیل بزرگ بودن سلول شبکه محاسباتی مدل‌های AOGCM، شبیه‌سازی نوسانات اقلیمی متغیرهای سطحی اتمسفر (دما و بارندگی) همراه با اغتشاش خواهد بود. لذا به منظور حذف اغتشاشات غیرمعتبر درون مدلی و تقویت میزان تغییرات اقلیمی موجود، به جای استفاده مستقیم از داده‌های AOGCM در محاسبات، از میانگین دوره‌های این داده‌ها استفاده می‌شود. به این منظور با استفاده از سناریوهای تغییر اقلیم و روش عامل تغییر (۸) به تولید سری زمانی سناریوی اقلیمی در آینده می‌پردازیم:

$$T = T_{obs, base} + \Delta T_i \quad (5)$$

$$P = P_{obs, base} \times \Delta P_i \quad (6)$$

در رابطه ۵ $T_{obs, base}$ و $P_{obs, base}$ به ترتیب بیانگر سری زمانی دما و بارش مشاهداتی در دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰)، ΔT_i و ΔP_i به ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم دما و T و P به ترتیب سری زمانی سناریوی اقلیم دما و بارش در دوره آتی (در اینجا ۲۰۱۰-۲۰۳۹) می‌باشد.

رویکرد بیز-مونت کارلو

یکی از عمده‌ترین منابع عدم قطعیت در مباحث تغییر اقلیم، استفاده از مدل‌های مختلف AOGCM است که خروجی‌های متفاوتی را برای متغیرهای اقلیمی تولید می‌کنند. در این تحقیق به

- 1- Prior Probability Distribution
- 2- Likelihood
- 3- Posterior Probability Distribution
- 4- Mean Observation Temperature and Precipitation
- 5- Cumulative Distribution Function

در سال ۱۳۸۹ با مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه با استفاده از شاخص‌های d (شاخص توافق ویلموت) و RMSE مقایسه شد و برای دستیابی به مقادیر بهینه پارامترها، چندین مرحله آزمون و خطا انجام شد.

ریسک)، در ۲۵ درصد اوقات دمای اندازه‌گیری شده بیشتر و بارش کمتر از میزان شبیه‌سازی شده و در واقع شرایط محیطی برای گیاه بحرانی‌تر خواهد بود. مفهوم ریسک در مورد سطوح ۵۰ و ۷۵ درصد هم مشابه ۲۵ درصد خواهد بود.

نتایج و بحث

واسنجی مدل AquaCrop

نتایج شبیه‌سازی مقادیر زیست‌توده و عملکرد روزانه توسط مدل

جدول ۱- مقادیر قراردادی و بهینه داده‌های گیاهی ورودی به مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی ذرت

واحد	مقدار مورد استفاده	مقدار قراردادی	توضیح پارامتر
Cm ²	۶/۵	۶/۵	پوشش گیاهی برای هر نهال هنگام ۹۰٪ جوانه زنی
%	۱/۱۸	۱۳-۱۲	ضریب رشد کانوپی (CGC)
%	۹۰	۹۰-۹۵	بیشینه پوشش کانوپی (CCx)
%	۱/۰۵۱	۱	ضریب افت کانوپی در پیری (CDC)
g/m ²	۳۴	۳۳/۷	بهره وری آب
-	۰/۱۴	۰/۱۴	آستانه بالای رشد
-	۰/۷۲	۰/۷۲	آستانه پایین رشد (P lower)
-	۲/۹	۲/۹	ضریب منحنی شکل گسترش برگ
-	۰/۶۹	۰/۶۹	آستانه بالای بسته شدن روزنه ها
-	۶	۶	ضریب منحنی شکل تنش روزنه
-	۰/۶۹	۰/۶۹	ضریب تنش پیری کانوپی (P upper)
-	۲/۷	۲/۷	ضریب منحنی شکل تنش پیری
%	۵۰	۴۸-۵۲	شاخص برداشت مرجع
درجه روز رشد	۱۹۰	۱۵۰-۲۰۰	طول دوره گلدهی
درجه روز رشد	۶۸۴	وابسته به رقم	طول دوره پر شدن دانه
درجه روز رشد	۱۵۴۶	۱۴۵۰-۱۷۵۰	کل دوره رشد

جدول ۲- مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده زیست توده (تن بر هکتار) در ۴ مرحله از رشد برای تیمار آبیاری کامل و کم آبیاری و مقادیر d و RMSE محاسباتی

آبیاری کامل			کم آبیاری		
زیست توده (تن بر هکتار)		روز	زیست توده (تن بر هکتار)		روز
اندازه گیری شده	شبیه سازی شده		اندازه گیری شده	شبیه سازی شده	
۰/۱۶	۰/۰۹	۱۴	۰/۱۸	۰/۰۸	۱۴
۴/۸۶	۷/۵۲	۴۹	۳/۴۱	۷/۵۸	۵۲
۱۴/۱۳	۱۵/۶	۷۴	۵/۶۲	۱۰/۷۷	۷۵
۲۲/۰۵	۲۱/۶	۱۱۶	۱۳/۲۲	۱۳/۱۴	۱۱۶
۱/۹۱			۱/۵۴		RMSE
۰/۹۸۵			۰/۹۹۶		d

مدل ECHAM در ماههای آوریل، مه، اوت، اکتبر، نوامبر، دسامبر و مدل MIROC در ماههای مارس و ژوئن نسبت به سایر مدل‌ها برتری دارند و مدل PCM کمترین توانایی را شبیه‌سازی دوره پایه داشته است. وزن‌های بدست آمده در مرحله قبل به همراه سناریوهای تغییر اقلیم بارش و دما (ΔP و ΔT) به نرم‌افزار SimLab داده شد (۱۰) و پس از تولید ۲۰۰۰ نمونه از آنها، توابع توزیع تجمعی آنها رسم و مقادیر متناظر با سطوح ریسک ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد انتخاب گردید (جدول ۳). هر چند میزان تغییرات دما در ماه‌های مختلف متفاوت است (۱/۸۷-۰/۷۱، ۱/۶۸-۰/۷۱ و ۱/۴۱-۰/۵۱ درجه سانتیگراد به ترتیب در سطوح ریسک ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد) اما مقادیر مثبت تغییرات دما در جدول، نشان از افزایش دما دارد.

شبیه‌سازی عملکرد گیاه ذرت در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹

شبیه‌سازی‌های انجام شده توسط مدل گیاهی در سطوح مختلف ریسک نشان از روند نزولی مقادیر زیست‌توده گیاه ذرت در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ در تیمار آبیاری کامل و کم‌آبیاری در منطقه دارد (شکل ۲) ثابت بودن برنامه و مقادیر آبیاری در سال پایه و دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و افزایش نیاز آبیاری در اثر افزایش دما در سال‌های آتی منجر به وارد آمدن تنش خشکی به گیاه شده و کاهش عملکرد را به دنبال خواهد داشت.

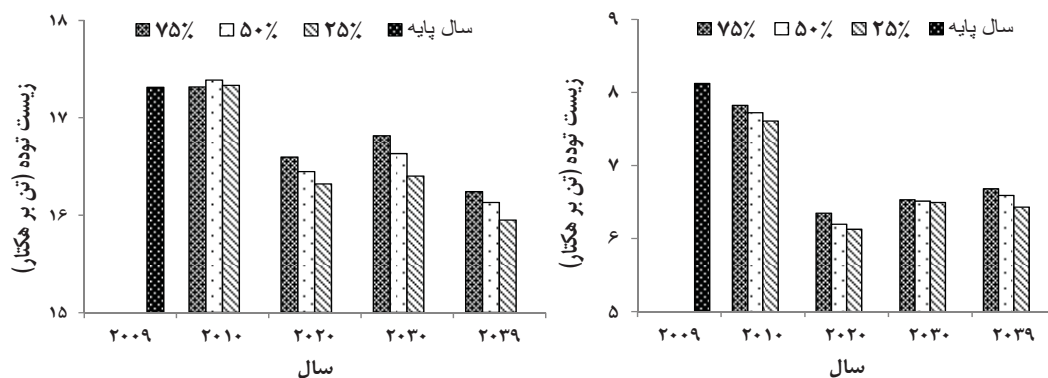
مقادیر قراردادی در مدل و بهینه پارامترهای واسنجی شده (WP, HI, CGC, CDC و ...) در جدول ۱ آورده شده‌اند. داده‌های زیست‌توده اندازه‌گیری شده در ۴ مرحله از رشد در تیمار آبیاری کامل (به کار رفته برای واسنجی مدل گیاهی) و در تیمار کم‌آبیاری (استفاده شده در صحت‌سنجی مدل) در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. نتایج شاخص‌های آماری d (۰/۹۹۶ در تیمار آبیاری کامل و ۰/۹۸۵ در تیمار کم‌آبیاری) RMSE (۱/۵۴ در تیمار آبیاری کامل و ۱/۹۱ در تیمار کم‌آبیاری) نشان از همخوانی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دارد (جدول ۲). در مرحله برداشت تفاوت میان مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده زیست‌توده اندک و در تیمار آبیاری کامل و کم‌آبیاری به ترتیب ۴۰۰ و کمتر از ۱۰۰ کیلوگرم بوده است و آنچه باعث این میزان RMSE گردیده است، شبیه‌سازی ضعیف مدل در مرحله دوم (۴۹ و ۵۲ روز پس از کشت) بوده است. لازم به ذکر است که تاریخ مرسوم کشت در منطقه پاکدشت دهه اول خرداد ماه می‌باشد اما به دلیل استفاده از بذر نامرغوب در آزمایش مزرعه‌ای نجار و همکاران (۲)، کشت ذرت به ۸ مرداد ماه موکول شده است.

تولید سناریوهای اقلیمی در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹

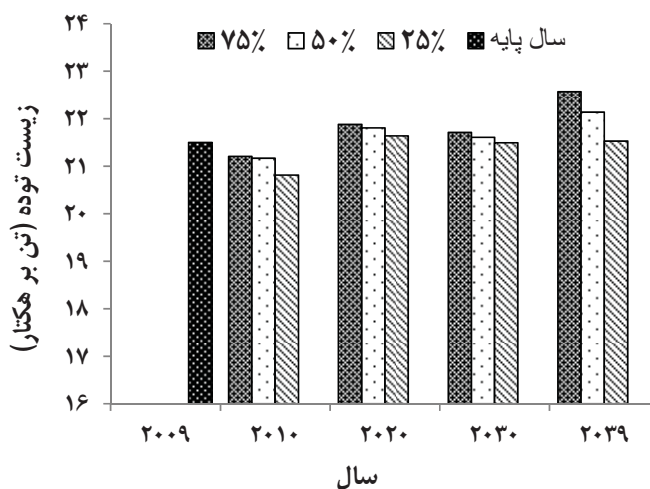
در روش MOTP، مدلی که بیشترین کارایی را در شبیه‌سازی میانگین بلند مدت پارامترهای اقلیمی در دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰) دارا باشد بیشترین وزن را خواهد گرفت (رابطه ۷). نتایج حاصل از وزن‌دهی مدل‌های AOGCM در شبیه‌سازی دما، نشان می‌دهد که

جدول ۳- تغییرات میانگین ماهانه دما و نسبت بارش در ۳۰ سال آینده نسبت به دوره پایه در سطوح ریسک ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد

ماه	تغییرات دما (درجه سانتیگراد)			نسبت بارش		
	۲۵٪	۵۰٪	۷۵٪	۲۵٪	۵۰٪	۷۵٪
ژانویه	۱/۱	۱/۰۶	۰/۷۷	۱/۱	۱/۰۸	۱/۰۸
فوریه	۱/۳۴	۰/۸۴	۰/۵۱	۰/۹۶	۱/۰۱	۱/۰۱
مارس	۱/۳۴	۱/۰۳	۰/۹۳	۰/۸۶	۱/۰۲	۱/۰۲
آوریل	۱/۱۹	۰/۸۶	۰/۷۱	۰/۹۳	۱/۰۵	۱/۰۵
مه	۱/۴۷	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۸۵	۱/۰۴	۱/۰۴
ژوئن	۱/۸۷	۱/۸۶	۱/۲۶	۰/۸۶	۰/۹	۰/۹
ژوئیه	۱/۴۱	۱/۴۱	۱/۴۱	۰/۶	۰/۸۱	۰/۸۱
اوت	۱/۷۴	۱/۲۶	۱/۰۶	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۵
سپتامبر	۱/۵۷	۱/۲۱	۱/۲	۰/۲۴	۰/۷۸	۰/۷۸
اکتبر	۱/۴۲	۱/۱۹	۱/۱۹	۰/۹۳	۱/۰۴	۱/۰۴
نوامبر	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۷۱	۱/۰۷	۱/۱۹	۱/۳۳
دسامبر	۱/۰۵	۱/۰۵	۰/۹۸	۱/۰۶	۱/۱۲	۱/۱۹



شکل ۲- مقادیر زیست‌توده در سال پایه (۲۰۰۹) و دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ در تیمار آبیاری کامل (شکل سمت چپ) و تیمار کم آبیاری (شکل سمت راست) و تاریخ کشت ۱۱ خرداد



شکل ۳- مقادیر زیست‌توده در سال پایه (۲۰۰۹) و دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ در تیمار آبیاری کامل (تاریخ کشت: ۸ مرداد)

جدول ۴- مقادیر بهره‌وری آب در دو تاریخ کاشت ۱۱ خرداد و ۸ مرداد

سال	۱۱ خرداد		۸ مرداد
	آبیاری کامل	کم آبیاری	آبیاری کامل
۲۰۰۹	۲/۵۸	۱/۲۱	۳/۱۹
۲۰۱۰	۲/۵۸	۱/۱۷	۳/۱۶
۲۰۱۵	۲/۳۹	۰/۸۱	۲/۸۲
۲۰۲۰	۲/۴۸	۰/۹۵	۳/۲۷
۲۰۲۵	۲/۴۶	۰/۸۹	۳/۲۳
۲۰۳۰	۲/۵۱	۰/۹۷	۳/۲۴
۲۰۳۵	۲/۴۶	۱/۰۱	۳/۲۸
۲۰۳۹	۲/۳۸	۰/۹۷	۳/۳۷

ترتیب ۷/۸، ۶/۸ و ۶/۲ درصد و برای تیمار کم آبیاری ۲۰/۸، ۱۸/۹ و ۱۷/۸ درصد خواهد بود. همانطور که از جدول ۳ بر می‌آید، میزان

میزان کاهش زیست‌توده و بهره‌وری آب در تیمار آبیاری کامل از سال ۲۰۰۹ تا سال ۲۰۳۹ با پذیرش ریسک ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد به

آب می‌شود (جدول ۴).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش از داده‌های مزرعه‌ای ذرت در پاکدشت به منظور واسنجی (داده‌های تیمار آبیاری کامل) و صحت‌سنجی (داده‌های تیمار کم‌آبیاری) مدل گیاهی AquaCrop استفاده شد. مقادیر RMSE و d بدست آمده در واسنجی ۱/۵۴ و ۰/۹۹۶ و در صحت‌سنجی ۱/۹۱ و ۰/۹۸۵ نتیجه شد. پس از آن به منظور بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر دما، بارش، عملکرد محصول و بهره‌وری آب در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و لحاظ کردن عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو، از ۹ مدل AOGCM تحت سناریو انتشار A2 استفاده گردید. مدل‌ها با روش MOTP وزن‌دهی و با بکارگیری رویکرد بیز-مونت کارلو، توابع توزیع تجمعی (CDF) دما و بارش در سطوح ریسک ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد ترسیم گردید. داده‌های حاصل از مرحله قبل به همراه داده‌های گیاهی به مدل AquaCrop وارد و زیست‌توده در دوره مورد نظر شبیه‌سازی گردید. نتایج نشان داد که مدل ECHAM با حصول وزن غالب در ۶ ماه از سال، بر سایر مدل‌ها برتری دارد و مدل PCM با کسب کمترین وزن در تمامی ماه‌ها ناکارآمدترین مدل برای شبیه‌سازی اقلیمی در منطقه شناخته شد. در تمامی سطوح ریسک نتایج حاکی از افزایش دما است که بیشترین افزایش مربوط به سطح ریسک ۲۵ درصد و ماه ژوئیه (۱/۸۷°C) و کمترین آن مربوط به سطح ریسک ۷۵ درصد و ماه فوریه (۰/۵۱°C) همچنین بیشترین افزایش بارش (۳۳ درصد) در سطح ۷۵ درصد و ماه نوامبر و بیشترین کاهش بارش (۴۰ درصد) در سطح ۲۵ درصد و ماه ژوئیه اتفاق خواهد افتاد. مقادیر زیست‌توده در سطوح مختلف ریسک نشان از روند نزولی محصول در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ دارد و میزان کاهش زیست‌توده و بهره‌وری آب در تیمار آبیاری کامل با پذیرش ریسک ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد به ترتیب ۷/۱۸، ۶/۱۸ و ۶/۲ درصد و برای تیمار کم‌آبیاری ۲۰/۸، ۱۸/۹ و ۱۷/۸ درصد خواهد بود و در صورت به تعویق افتادن زمان کاشت، از ۱۱ خرداد ماه به ۸ مرداد، میزان افزایش زیست‌توده در سال ۲۰۳۹ نسبت به سال پایه در سطوح ریسک ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد به ترتیب برابر با ۲۸، ۶۴۰ و ۱۰۶۵ کیلوگرم برهکتار خواهد بود. ارائه نتایج این پژوهش در قالب سطوح ریسک به تصمیم‌گیرندگان در انتخاب سیاست‌ها و به محققان در ارائه راهکارهای سازگاری مناسب کمک کرده، اهمیت و تاثیر عدم قطعیت در مطالعات اقلیم را نمایان می‌سازد.

افزایش دما و تغییرپذیری بارش در ماه‌های گرم سال، مصادف با فصل رشد ذرت، بیش از دیگر ماه‌ها خواهد بود، این امر افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه را موجب می‌گردد و به علت ثابت بودن میزان آبیاری منجر به کاهش عملکرد و وارد آمدن تنش خشکی به گیاه خواهد شد. کاهش میزان زیست‌توده در شرایط کم‌آبیاری چشمگیرتر خواهد بود زیرا این حد کاهش آبیاری، به خصوص در سال‌های آینده، روزنه‌ها را در حالت بسته شدن و کانوبی را در حالت پیری زودرس قرار می‌دهد. همچنین علت عدم تبعیت برخی سال‌ها (سال ۲۰۲۰) از روند کلی مقادیر شبیه‌سازی شده زیست‌توده را می‌توان در ویژگی‌های داده‌های اقلیمی و ماهیت روش ریزمقیاس‌گردانی عامل تغییر دانست که منعکس‌کننده ویژگی‌های آمار تاریخی هواشناسی می‌باشد. مقایسه مقادیر زیست‌توده در سطوح مختلف ریسک نشان می‌دهد که در سطوح ریسک بالا (۷۵ درصد)، مقادیر زیست‌توده بیش از سطوح ریسک پایین و شرایط مطمئن‌تر (۲۵ درصد) بوده است که علت آن، کوچکتر بودن مقادیر ΔT و بالاتر بودن ΔP در سطح ریسک ۷۵ نسبت به ۲۵ درصد می‌باشد. در واقع در ریسک ۲۵ درصد، میزان افزایش دما و کاهش بارش بیش از ریسک ۵۰ و ۷۵ درصد بوده و نیاز آبی گیاه بیشتر است و با ثابت بودن میزان آب آبیاری، گیاه شرایط پرتنش‌تری را پیش رو خواهد داشت. تفاوت میان مقادیر زیست‌توده ذرت در سطوح ۲۵ و ۷۵ درصد در سال ۲۰۳۹، ۰/۲۹ تن بر هکتار در تیمار آبیاری کامل و ۰/۲۵ تن بر هکتار در کم‌آبیاری پیش‌بینی شده است. شبیه‌سازی زیست‌توده برای تاریخ کشت ۸ مرداد (تاریخ کشت در آزمایش مزرعه‌ای) به منظور بررسی تاثیر تاریخ کشت و تغییر اقلیم در ۳۰ سال آینده صورت گرفت که نتایج روند صعودی زیست‌توده را نشان می‌دهد (شکل ۳). علت این امر افزایش دما در فصل پاییز و تامین درجه روز گرمای مورد نیاز ذرت برای تکمیل دوره رشد می‌باشد. درحالی‌که دمای بالا در تابستان (دمای ۴۴ درجه در پاکدشت) باعث کاهش تولید محصول می‌گردد. میزان افزایش زیست‌توده در سال ۲۰۳۹ نسبت به سال پایه در سطوح ریسک ۲۵، ۵۰ و ۷۵٪ به ترتیب برابر با ۲۸، ۶۴۰ و ۱۰۶۵ کیلوگرم برهکتار بوده است. در ادامه برای بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر بهره‌وری آب، از مقادیر زیست‌توده شبیه‌سازی شده توسط مدل گیاهی استفاده شد و نتایج تغییرات بهره‌وری آب مشابه زیست‌توده بدست آمد (در تاریخ کشت ۱۱ خرداد و ۸ مرداد به ترتیب نزولی و صعودی) که علت آن ثابت بودن برنامه آبیاری است. مقادیر بهره‌وری آب در سطوح مختلف آبیاری و با پذیرش ۷۵ درصد ریسک (احتمال وقوع دماهای بالاتر و بارش کمتر، ۷۵ درصد است) در جدول ۴ آمده است. تغییر اقلیم شرایط تنش آبی گیاه ذرت را تشدید کرده و باعث افت شدیدتری در میزان بهره‌وری

- ۱- مساح بوانی ع.ر. ۱۳۸۵. ارزیابی ریسک تغییر اقلیم و تاثیر آن بر منابع آب مطالعه موردی حوضه زاینده رود اصفهان. رساله دکتری، گروه مهندسی سازه های آبی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۲- مساح بوانی ع.ر. و مرید س. ۱۳۸۴. اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و تولید محصولات کشاورزی مطالعه موردی: حوضه زاینده رود اصفهان. تحقیقات منابع آب ایران ۱: ۴۰-۴۷.
- ۳- نجار ز.، مساح بوانی ع.ر.، و مشعل م. ۱۳۸۸. بررسی تاثیر گزینه‌های مدیریتی در سازگاری با تاثیر تغییر اقلیم در عملکرد ذرت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.
- ۴- نجار ز.، مساح بوانی ع.ر.، و مشعل م. ۱۳۸۹. تاثیر سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای SRES بر عملکرد گیاه ذرت در دوره‌های آبی. چهارمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم. تهران، ۲۹ آذر - ۱ دی ماه ۱۳۸۹.
- 5- Alexandrov V.A. and Hoogenboom G. 2000. The impact of climate variability and change crop yield in Bulgaria. *Agricultural and Forest Meteorology*, 104: 315-327.
- 6- Challinor A., Wheeler T.R., Craufurd P.Q., Ferro C.A.T. and Stephenson D.B. 2007. Adaptation of crops to climate change through genotypic responses to mean and extreme temperatures. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 119(1-2):190-204.
- 7- Cuculeanu V., Marica A. and Simota C. 1999. Climate change impact on agricultural crops and adaptation options in Romania. *Climate Research Journal*, 12: 153-160.
- 8- Diaz-nieto J. and Wilby R. L. 2005. A comparison of statistical downscaling and climate change factor methods: impacts on low flows in the river Thames, United Kingdom. *Climatic Change*, 69: 245-268.
- 9- Elmahdi A., Shahkarami N., Morid S. and Massah Bavani A.R. 2009. Assessing the impact of AOGCMs uncertainty on the risk of agricultural water demand caused by climate change. 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July 2009.
- 10- Giglioli N. and Saltelli A. 2003. Simlab 2.2, Software for Sensitivity and uncertainty Analysis, Simlab Manual. Joint Research Centre European Commission.
- 11- Hsiao C.T., Heng L., Steduto P., Rojas-Lara B., Raes D. and Fereres E. 2009. AquaCrop-The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: III. Parameterization and Testing for Maize *Agronomy Journal*, 101, Issue 3.
- 12- IPCC (2007a). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press. New York, USA.
- 13- Jones P.D. and Hulme M. 1996. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations. *International Journal of Climatology* 16: 361-377.
- 14- Katz R.W. 2002. Techniques for estimating uncertainty in climate change scenarios and impact studies. *Climate research*, 20.
- 15- Magrin G.O., Travasso M.I., Diaz R.A. and Rodriguez R.O. 1997. Vulnerability of the agricultural system of Argentina to climate change. *Climate Research journal*, 9: 31-36.
- 16- Mereu V., Cesaraccio C., Dubrovsky M., Spano D., Carboni G. and Duce P. 2010. Climate change impacts on durum wheat in Sardinia. 29th Conference on Agricultural and Forest Meteorology.
- 17- Meza J.F., Silva D. and Vigil H. 2008 Climate change impact on irrigated maize in Mediterranean climates: Evaluation of double cropping as an emerging adaption alternative. *Agricultural System*, 98:21-30.
- 18- Mo X., Liu S., Lin Z. and Guo R. 2009. Regional crop yield, water consumption and water use efficiency and their responses to climate change in the North China Plain. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 134:67-78.
- 19- Moriondo M., Giannakopoulos C. and Bindi M. 2011. Climate change impact assessment: the role of climate extremes in crop yield simulation. *Climatic Change*, 104: 679-701.
- 20- Parry M.L. 1990. Climate Change and World Agriculture. Earthscan Publications, London.
- 21- Rowhani P., Lobell D.B., Linderman M. and Ramankutty N. 2011. Climate variability and crop production in Tanzania. *Agricultural and Forest Meteorology*, 15: 449-460.
- 22- Steduto P., Raes T., Hsiao T.C., Fereres E., Heng L., Izzi G. and Hooegeveen J. 2008. AquaCrop: a new model for crop prediction under water deficit conditions. *Options Mediterranennes*, 80:285-292.

پیوست ۱: میانگین مقادیر ماهانه درازمدت دما و بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های AOGCM در دوره پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۱) و دوره مورد مطالعه (۲۰۳۹-۲۰۱۰)

دوره	مدل	ماه	دما											
			ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۲۰۱۰-۲۰۳۹	CGCM3		-۰/۴۶	۱/۳۰	۵/۵۹	۱۰/۶۹	۱۷/۱۵	۲۵/۹۶	۳۰/۷۰	۲۸/۹۰	۲۲/۵۶	۱۴/۶۱	۶/۰۳	۰/۷۸
	ECHAM		۵/۲۹	۶/۸۸	۱۲/۱۲	۱۷/۴۱	۲۲/۶۰	۲۶/۷۸	۲۹/۶۰	۲۸/۸۴	۲۴/۸۶	۱۸/۵۵	۱۱/۹۲	۶/۹۴
	GFDL3		۲/۸۹	۴/۸۴	۹/۳۴	۱۳/۵۳	۱۹/۰۰	۲۴/۳۸	۲۷/۶۲	۲۶/۶۳	۲۱/۸۱	۱۵/۲۱	۷/۹۷	۴/۲۴
	GISS ER		۱/۸۳	۴/۲۱	۸/۴۳	۱۳/۵۰	۱۸/۷۷	۲۷/۶۶	۳۳/۱۶	۳۲/۵۱	۲۵/۵۰	۱۵/۳۴	۶/۳۳	۳/۱۶
	HADCM3		-۰/۴۴	۳/۷۹	۸/۵۵	۱۲/۹۰	۱۸/۸۶	۲۵/۳۱	۲۶/۷۸	۲۴/۲۸	۱۹/۳۰	۱۴/۱۶	۶/۷۲	۲/۱۳
	MIROC		۴/۷۳	۷/۰۴	۱۱/۳۰	۱۶/۵۳	۲۱/۶۱	۲۸/۰۲	۳۲/۸۹	۳۱/۸۹	۲۶/۱۶	۱۷/۷۴	۱۰/۸۲	۵/۷۹
	PCM		-۳/۵۹	-۱/۷۳	۲/۴۴	۷/۹۱	۱۳/۴۶	۱۸/۰۹	۲۰/۳۶	۱۹/۱۹	۱۵/۶۱	۹/۰۰	۱/۷۶	-۲/۳۲
	RCCSM3		۳/۲۱	۴/۵۵	۷/۷۹	۱۳/۱۴	۱۹/۹۰	۲۵/۰۹	۲۷/۴۴	۲۶/۱۳	۲۰/۷۲	۱۵/۱۱	۹/۴۰	۴/۹۱
	SCIRO3		۵/۳۸	۷/۵۴	۱۲/۳۹	۱۶/۱۶	۲۱/۲۰	۲۶/۷۱	۲۷/۸۳	۲۶/۰۷	۲۰/۶۰	۱۵/۲۳	۹/۷۸	۵/۴۲
۱۹۷۱-۲۰۰۰	CGCM3		-۱/۰۶	-۰/۳۱	۴/۱۲	۹/۲۴	۱۵/۳۳	۲۴/۴۴	۲۹/۲۹	۲۷/۱۸	۲۰/۸۵	۱۳/۳۱	۴/۹۵	-۰/۰۶
	ECHAM		۴/۳۳	۶/۶۱	۱۱/۰۹	۱۶/۵۵	۲۱/۶۸	۲۵/۵۲	۲۸/۳۳	۲۷/۷۸	۲۳/۶۸	۱۷/۳۵	۱۱/۲۱	۵/۸۹
	GFDL3		۲/۴۹	۴/۳۳	۸/۰۰	۱۲/۰۸	۱۷/۲۴	۲۲/۶۱	۲۶/۰۷	۲۴/۵۵	۲۰/۲۲	۱۳/۷۹	۶/۹۵	۳/۱۸
	GISS ER		۱/۲۱	۳/۳۷	۷/۲۱	۱۱/۱۲	۱۶/۵۷	۲۴/۳۷	۳۱/۴۹	۳۰/۶۳	۲۴/۳۰	۱۳/۹۱	۵/۶۳	۲/۱۵
	HADCM3		-۰/۳۹	۲/۸۹	۷/۱۷	۱۱/۸۶	۱۷/۳۷	۲۳/۷۲	۲۴/۹۵	۲۲/۹۰	۱۷/۳۸	۱۲/۳۴	۵/۳۸	۱/۰۶
	MIROC		۳/۶۳	۵/۷۰	۱۰/۵۸	۱۵/۳۴	۲۰/۱۴	۲۶/۱۵	۳۱/۲۲	۳۰/۱۵	۲۴/۶۰	۱۶/۳۶	۹/۶۱	۴/۸۲
	PCM		-۳/۸۳	-۱/۸۸	۱/۹۳	۷/۱۷	۱۲/۷۰	۱۷/۳۳	۱۹/۷۶	۱۸/۵۵	۱۴/۵۶	۷/۹۲	۰/۸۳	-۲/۸۲
	RCCSM3		۲/۴۴	۳/۳۰	۶/۴۰	۱۱/۵۵	۱۸/۳۴	۲۳/۴۱	۲۵/۳۹	۲۳/۹۱	۱۸/۹۲	۱۳/۴۵	۷/۵۷	۳/۸۷
	SCIRO3		۴/۳۲	۶/۹۰	۱۱/۴۶	۱۵/۴۴	۲۰/۵۱	۲۵/۵۷	۲۷/۱۹	۲۴/۸۰	۱۹/۱۶	۱۴/۰۸	۸/۲۸	۴/۸۹
بارش														
۲۰۱۰-۲۰۳۹	CGCM3		۲۸/۴۶	۳۲/۵۰	۴۲/۹۲	۶۰/۰۳	۵۴/۲۸	۱۱/۸۶	۲/۴۸	۱/۵۲	۳/۱۵	۱۷/۸۵	۶۱/۳۶	۳۳/۹۸
	ECHAM		۱۹/۸۶	۲۰/۶۵	۲۱/۶۴	۲۲/۱۲	۱۰/۶۳	۲/۵۸	۱/۲۳	۱/۱۹	۲/۵۰	۱۴/۶۵	۲۶/۷۱	۲۴/۵۹
	GFDL3		۳۰/۵۳	۲۷/۸۹	۳۹/۶۴	۴۱/۱۱	۲۷/۱۸	۱/۹۴	-۰/۰۸	-۰/۰۴	-۰/۷۵	۱۲/۳۲	۲۶/۸۰	۲۳/۵۱
	GISS ER		۲۵/۲۰	۲۷/۱۸	۳۷/۵۴	۴۳/۵۰	۳۱/۵۳	۶/۰۲	-۰/۷۳	-۰/۰۶	-۰/۱۹	۲۲/۶۲	۳۹/۸۶	۲۸/۰۳
	HADCM3		۲۴/۳۸	۱۹/۵۱	۳۵/۴۳	۳۶/۹۶	۱۹/۹۰	۵/۳۹	۱/۷۶	۲/۳۵	۴/۱۰	۱۲/۹۳	۲۱/۴۶	۱۵/۰۷
	MIROC		۲۳/۴۹	۲۳/۰۱	۲۵/۱۹	۳۴/۵۱	۳۵/۴۹	۵/۶۵	۵/۷۱	۸/۷۰	۱۰/۴۱	۱۸/۸۶	۲۳/۸۲	۲۱/۴۴
	PCM		۱۳/۵۵	۱۴/۳۱	۱۸/۲۱	۲۴/۹۲	۱۷/۸۴	۳/۷۶	-۰/۷۲	-۰/۶۵	-۰/۸۱	۵/۰۶	۱۱/۷۸	۲۰/۰۸
	RCCSM3		۴۱/۹۸	۳۸/۲۱	۴۲/۶۴	۲۶/۲۳	۱۴/۱۲	۳/۳۴	۲/۳۵	۵/۷۳	۱۴/۳۰	۳۰/۷۱	۳۵/۵۴	۴۸/۲۷
	SCIRO3		۲۲/۷۵	۱۹/۰۰	۲۱/۰۹	۳۲/۲۲	۱۷/۱۸	۲/۲۵	-۰/۳۵	-۰/۹۳	۱/۹۱	۱۶/۱۳	۲۸/۶۸	۲۳/۸۱
۱۹۷۱-۲۰۰۰	CGCM3		۲۶/۴۲	۳۲/۲۶	۵۰/۰۲	۶۸/۴۵	۶۲/۴۸	۱۳/۸۰	۳/۰۷	۱/۵۹	۴/۰۵	۱۵/۹۱	۴۶/۱۰	۲۸/۳۹
	ECHAM		۲۰/۹۱	۱۹/۱۸	۲۳/۴۰	۲۰/۹۹	۱۲/۵۲	۳/۸۷	۱/۵۴	۱/۴۱	۲/۹۸	۱۵/۷۸	۲۳/۸۳	۲۱/۹۶
	GFDL3		۲۳/۷۳	۲۹/۱۰	۴۳/۹۰	۴۹/۶۸	۲۶/۲۱	۲/۱۵	-۰/۰۶	-۰/۰۹	۱/۰۷	۲۰/۰۸	۲۷/۶۹	۲۲/۱۶
	GISS ER		۳۵/۱۰	۲۸/۳۷	۵۱/۶۸	۵۸/۷۷	۴۷/۵۷	۷/۸۳	-۰/۲۳	-۰/۲۳	-۰/۷۶	۲۸/۷۹	۳۷/۳۲	۲۵/۹۳
	HADCM3		۲۰/۰۵	۲۴/۵۴	۳۴/۹۰	۳۱/۹۹	۲۱/۱۰	۵/۶۱	۲/۹۴	۲/۰۷	۴/۹۹	۲۱/۸۵	۱۷/۸۲	۱۵/۷۵
	MIROC		۲۳/۳۴	۲۲/۸۱	۲۹/۹۹	۴۰/۹۵	۳۶/۸۸	۵/۹۶	۳/۲۱	۵/۵۱	۷/۲۳	۱۸/۰۷	۲۳/۰۲	۲۳/۲۱
	PCM		۱۲/۵۶	۱۳/۹۷	۱۹/۴۸	۲۶/۶۵	۱۶/۸۵	۴/۳۰	۱/۰۸	-۰/۶۳	۱/۰۴	۵/۲۰	۱۰/۲۰	۱۶/۶۲
	RCCSM3		۴۲/۵۷	۴۱/۷۲	۴۶/۸۵	۳۲/۶۲	۱۶/۷۹	۵/۲۴	۲/۷۸	۵/۹۶	۱۳/۴۲	۲۷/۷۲	۴۱/۵۷	۴۳/۱۶
	SCIRO3		۱۸/۷۹	۱۹/۹۲	۲۰/۳۱	۲۸/۱۵	۱۶/۴۰	۲/۶۱	-۰/۵۴	۱/۱۶	۲/۲۳	۱۶/۲۲	۲۴/۲۰	۱۹/۹۸

Risk Analysis of Climate Change Impact on Maize Yield and Water Productivity in 2010-2039 Period

M. Roostaee^{1*}- T. Sohrabi²- A. Massah Bavani³- M.S. Ahadi⁴

Received: 30-5-2011

Accepted: 18-12-2011

Abstract

The main purpose of this research was assessing climate change impact on temperature, precipitation, maize biomass and water productivity values and trend in 2010-2039 in Pakdasht. According to this, required data for crop model (AquaCrop) calibration was collected from an experiment field in Pakdasht, south east of Tehran and climatological data were taken from Pakdasht and Aminabad meteorological station. An ensemble of nine AOGCMs (Atmosphere-Ocean General Circulation Model) in corporation with A2 emission scenario was used in order to incorporate uncertainties of these models. Using Bayesian-Mont Carlo approach, temperature and precipitation CDFs were generated for risk levels of 25, 50 and 75%. Data obtained from AOGCMs were downscaled by means of "Change factor" method and input data for AquaCrop were produced then biomass values for future period of 2010-2039 were simulated. Results showed 7.8, 6.8 and 6.2% reduction in full irrigation and 20.8, 18.9 and 17.8% reduction of deficit irrigation treatment due to 25, 50 and 75% risk level, correspondingly. Descending trend of biomass and consequently water productivity were for most probably due to temperature and rain variability increment.

Keywords: Water productivity, Pakdasht, Corn, Risk, AOGCM, AquaCrop

1,2- MSc Student and Professor of Irrigation and Reclamation Engineering Department, University of Tehran

(*- Corresponding Author Email: roostaee.maryam@gmail.com)

3- Assistant Professor of Irrigation and Drainage Engineering Department, Campus of Abureihan, University of Tehran

4- Project Assistant for Climate Change Enabling Activity (UNDP-GEF), Department of Environment, National Climate Change Office