

بررسی تغییرات عملکرد و بهره‌وری آب کشاورزی دشت هشتگرد تحت تاثیر تغییر اقلیم در دوره‌های آتی با رویکرد AEZ/GIS

سارا بلوک آذری^{۱*}، علیرضا مساح بوانی^۲، محمود مشعل^۳، بهزاد آزادگان^۴

چکیده

در این تحقیق تاثیر تغییر اقلیم بر عملکرد محصول و نیازآبی محصولات اصلی (یونجه، جو پاییزه، گندم پاییزه، ذرت علوفه‌ای) منطقه هشتگرد با در نظر گرفتن عدم قطعیت در مدل‌های گردش عمومی جو ارزیابی شده است. به منظور تولید سناریوهای تغییر اقلیم ماهانه دما و بارش منطقه در دوره ۲۰۱۰-۲۱۰۰ میلادی از متغیرهای دما و بارش از خروجی های ۹ مدل اقلیمی (GFDL CM2.1, CSIRO Mk3, CGCM3, CCSM3, PCM, MIROC-med, ECHAM5, HadCM3, GISS E-R) استفاده از روش مونت کارلو تعداد ۲۰۰۰ سری زمانی دما و بارش برای منطقه تولید شد. سپس این مقادیر بوسیله روش عامل تغییر برای منطقه ریز مقیاس شدند. نهایتاً با استفاده از رویکرد AEZ/GIS^۵ و روش هارگریوز-سامانی مقدار عملکرد محصول پتانسیل و مقادیر تخییر و تعرق پتانسیل گیاه در سطح منطقه در دوره ۲۰۱۰-۲۱۰۰ محاسبه شد. در ادامه بهره‌وری آب کشاورزی در این دشت مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق نتایج بصورت محدوده تغییرات در هر دوره بیان گردید این کار باعث شد که با اطمینان بیشتری از نتایج استفاده شود. در مجموع محدوده تغییرات نتایج نشان از افزایش نیاز آبی و کاهش عملکرد محصولات در دوره‌های آتی در سطح منطقه دارد. نیاز آبی گندم ۱۵-۲۸ میلی‌متر، ذرت ۹-۱۴، یونجه ۱۸/۶-۳۴/۷ و جو پاییزه ۱۰-۲۱ میلی‌متر در هر دوره تا سال ۲۱۰۰ افزایش می‌یابد. از طرف دیگر محدوده کاهش عملکرد گندم، جو، یونجه و ذرت علوفه‌ای بترتیب ۵۰ تا ۱۳۸، ۴۴ تا ۱۳۶، ۳۲۷-۵۰۸ و ۱۷ تا ۲۴ کیلوگرم در هکتار خواهد بود. همچنین نتایج نشان داد که در سال‌های آتی تغییرات بهره‌وری آب در تمامی گیاهان روند کاهشی دارد. گیاه یونجه بیشترین کاهش را در بهره‌وری و گندم کمترین کاهش را در این زمینه داشته است. بطور متوسط یونجه ۱۰۴-۱۵۶ و گندم ۵۵-۹۳ گرم بر مترمکعب در هر دوره کاهش خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: عدم قطعیت، تغییر اقلیم، بهره‌وری آب پتانسیل، AEZ/GIS

مقدمه ۵۴۳۲

(AOGCM) به عنوان معتبرترین ابزار جهت شبیه سازی داده‌های اقلیمی در دوره های آتی در مطالعات تغییر اقلیم بشمار میرود. از طرفی بدلیل وجود عدم قطعیت و تفاوت در خروجی این مدل‌ها که مهمترین منبع عدم قطعیت بشمار می‌رود، لازم است تا مدل‌های مختلف AOGCM برای منطقه مورد مطالعه بکار گرفته شود (مساح بوانی و همکاران، ۱۳۸۹). این در حالیست که در اکثر تحقیقاتی که در زمینه تاثیر تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی انجام شده است، عدم قطعیت‌های موجود نادیده گرفته شده است. در این زمینه می‌توان به مطالعه (Gou et al., 2009) اشاره کرد که در آن اثر تغییر اقلیم بر عملکرد ذرت و گندم و کارایی مصرف آب با استفاده از خروجی تنها یک مدگرش عمومی (HADCM3) تحت سه سناریوی تغییر اقلیم Zhang et al. A1B, B2a, A2a مورد بررسی قرار گرفت. همچنین (2005) با استفاده از نتایج حاصل از تنها یک مدل گردش عمومی (HADCM3) تحت سه سناریوی تغییر اقلیم GGal, B2a, A2a مقدار تغییر در فرسایش، رواناب و عملکرد گندم زمستانه برای دوره

مطالعات گذشته نشان میدهد پدیده تغییر اقلیم با تغییر در تخییر و تعرق گیاهان، عملکرد محصولات و بهره‌وری آب، می‌تواند بخش کشاورزی را در دوره‌های آتی تحت تاثیر قرار دهد (Abraha et al., 2006)؛ (Evrendilek et al., 2004)؛ (Wu et al., 2006)؛ (Thomas et al., 2005)؛ (Luo et al., 2005)؛ (Mati et al., 2005)؛ (Hussain and Ortiz et al., 2008)؛ (Mudasser, 2007). استفاده از خروجی‌های مدل‌های اقلیمی Atmospheric Ocean General Circulation Model

۱- دانش آموخته کارشناس ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران
* - نویسنده مسئول: (Email: sara.bulukazari@yahoo.com)
۲، ۳- ۴- استادیار دانشگاه تهران، گروه آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان.

5- Agro-Ecological Zoning/ Geographic information system

با استفاده از مدل APSIM-Wheat استفاده کردند. همچنین Takahashi et al. (1998)، دامنه تغییرات در تولید بالقوه ۳ محصول (گندم، برنج، ذرت) در کشورهای آسیایی با استفاده از خروجی ۱۱ مدل GCM را بدست آوردند. Masutomi et al. (2009)، تاثیر تغییر اقلیم را بر برنج در منطقه آسیا ارزیابی نمود برای اینکار از خروجیهای ۱۸ مدل GCM برای A1B و ۱۴ مدل GCM برای A2 و ۱۷ مدل GCM برای B1 استفاده نمودند. گرچه در این تحقیقات از تعداد زیادی از شبیه‌سازی‌های AOGCM استفاده گردیده ولی تمامی مدل‌های اقلیمی مورد استفاده با وزن یکسان در شبیه‌سازی‌ها شرکت داده شده‌اند. برای برطرف کردن این ضعف شاه کرمی و همکاران (۱۳۸۶)، اثر تغییر اقلیم را با استفاده از ۷ مدل AOGCM و وزن دهی به آن‌ها در دوره‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ بر نیاز آبی چهار محصول عمده در شبکه آبیاری زاینده رود شامل گندم جو چغندر قند و سیب زمینی با استفاده از پنمن‌مانتیس بررسی کردند. باید توجه داشت برای بدست آوردن نتایج کاربردی تر در مطالعات اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی، ضمن پرداختن به عدم قطعیت مدل‌های AOGCM، باید بطور توأمان به تغییر عملکرد محصول و تبخیر و تعرق و در نتیجه بهره‌وری آب پرداخت. بهره‌وری آب کشاورزی، نسبت مقدار محصول تولید شده در واحد حجم آب مصرفی می‌باشد. بنابراین هر چه این نسبت بیشتر باشد نشان دهنده صحیح‌تر مصرف شدن آب است. ارتقای سطح بهره‌وری می‌تواند سبب افزایش رشد اقتصادی، استفاده بهینه از منابع، کاهش هزینه‌ها، افزایش سود آوری و افزایش توان تولید گردد. بطور کلی می‌توان بیان نمود که تعیین و تحلیل شاخص بهره‌وری آب می‌تواند راهکار مناسبی جهت سیاست‌گذارهای صحیح برای تولید محصولات کشاورزی و غیر کشاورزی در راستای تحویل حداکثر سود، توسعه پایدار، امنیت غذایی، اشتغال مولد و مواردی از این دست بوده است. تحقیق حاضر نیز تلاش دارد تا تاثیر پدیده تغییر اقلیم را بر بهره‌وری آب کشاورزی در دشت هشتگرد ارزیابی نماید. بدین منظور چهار محصول اصلی شامل گندم، جو، ذرت علوفه‌ی و یونجه مورد بررسی قرار گرفته است. ولی تفاوت رویکرد این تحقیق با دیگر تحقیقات در نظر گرفتن بحث ریسک و عدم قطعیت در تجزیه و تحلیل‌ها می‌باشد. نهایتاً این تحقیق از طریق بررسی عدم قطعیت در تغییرات دما و بارش حاصل از مدل‌های AOGCM طی ۳ دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ (۲۰۲۰s)، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ (۲۰۵۰s) و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ (۲۰۷۰s) به تحلیل ریسک تغییر در بهره‌وری آب کشاورزی در دشت هشتگرد می‌پردازد.

داده‌ها و منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه دشت هشتگرد در شهرستان ساوجبلاغ می‌باشد که با وسعتی حدود ۲۸۰۰ کیلومتر مربع در غرب استان تهران و در محدوده ۵۰° ۳۵' تا ۳۶° ۲۰' عرض شمالی و ۵۰° ۲۵' تا ۵۱° ۱۰' طول شرقی واقع شده است (شکل (۱)).

۲۰۷۰-۲۰۹۹ را شبیه‌سازی کردند. برای عملکرد گندم تحت سناریوی B2 حدود ۵٪ کاهش و تحت سناریوی GGal حدود ۵٪ افزایش پیش بینی گردید. آنها تغییر عملکرد را به علت برهم کنش اثر منفی دما و اثر مثبت افزایش غلظت CO2 دانستند. Gondim et al. (2009)، تاثیرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی گیاهان را با استفاده از مدل Hadcm3 برای سناریوهای A2 و B2 بررسی کردند. آنها از داده‌های میانگین ۳۰ ساله دوره ۱۹۶۰-۱۹۹۱ بارندگی و درجه حرارت استفاده نموده و تبخیر و تعرق پتانسیل را برای سال ۲۰۴۰ محاسبه کردند. بر طبق نتایج حاصل از این تحقیق افزایش ۱۸/۷٪ و ۲۲٪ برای سناریوهای A2 و B2 برای متوسط نیاز آبی گیاه پیش بینی گردید. در همین راستا Schoups et al. (2008) برای در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌های AOGCM تحقیقاتی را بر کشاورزی آبی در بخش غربی کالیفرنیا و با استفاده از خروجی دو مدل چرخش عمومی PCM، HadCM3 بر اساس سناریوهای A1، A2، B1 انجام دادند. براساس نتایج این تحقیق تا پایان قرن ۲۱ شاهد کاهش ۱۳ درصدی تا افزایش ۳ درصدی در نیاز آبی خواهیم بود که این دامنه وسیع تغییرات به دلیل فرضیات مختلف مورد استفاده در سناریوهای تغییر اقلیم بکار گرفته شده برای پیش بینی تاثیرات تغییر اقلیم است. (Elgaali et al. 2007)، با شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم منطقه‌ای بر تخصیص آب آبیاری در حوضه رودخانه آرکانزاس (Arkansas) در کلرادو از دو مدل گردش عمومی از دو مدل اقلیمی، HadCM و CGCM1 استفاده نمودند. Doll et al. (2002) تحقیقاتی را بر اثرات تغییر اقلیم بر میزان آب مورد نیاز گیاهان انجام داد. وی با بکار بردن یک مدل آبیاری جهانی (GIM) و شبیه‌سازی الگوی کشت و فصل رشد، محاسبه کرد که آب مورد نیاز گیاهان چگونه تحت تاثیر تغییر اقلیم در سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۷۰ تغییر می‌نماید. وی برای پیش بینی داده‌های هواشناسی در آینده از ۲ مدل اقلیمی ECHAM4، Hadcm3 استفاده نمود. بر اساس نتایج به دست آمده نیاز آبیاری جهانی به اندازه ۳/۳٪ در سال ۲۰۲۰ و ۵/۵٪ در سال ۲۰۷۰ افزایش می‌یابد. همچنین بر طبق محاسبات، نیاز خالص آبیاری در سال ۲۰۲۰ در ۶۶٪ و در سال ۲۰۷۰ در ۶۲٪ از مناطقی که در سال ۱۹۹۵ آبیاری می‌شوند، افزایش خواهد یافت. گرچه در مطالعات ذکر شده سعی در لحاظ عدم قطعیت مدل‌های اقلیمی در محاسبات با بکار بردن دو مدل AOGCM بوده است ولی در این مطالعات مدل‌های کمی استفاده شده است در حالیکه نتایج نهایی تحقیق کاملاً به تعداد مدل‌های AOGCM بکار رفته بستگی دارد (Masutomi et al. 2009). در این راستا Luo et al (2005) بمنظور دخالت عدم قطعیت مدل‌های AOGCM در محاسبات، از ۸۰ ترکیب متفاوت از سناریوی تغییر اقلیم IPCC SRES (حاصل از ۹ مدل گردش عمومی متفاوت در دوره ۲۰۸۰) به منظور بررسی اثر احتمالی تغییرات اقلیمی بر عملکرد گندم در استرالیا



شکل ۱- موقعیت دشت هشتگرد

و عملکرد محصولات در ابتدا لازم است که سناریوهای مختلف اقلیمی دما مورد ارزیابی قرار گرفته و سپس این اطلاعات برای برآورد بهره‌وری آب کشاورزی مورد بررسی واقع گردد.

مدل‌های اقلیمی و سناریوی انتشار

در این مطالعه برای تولید سناریوی اقلیمی در دوره‌های آتی از خروجی نه مدل AOGCMs (GFDL, CSIRO MK3), ECHAM5, HADCM3, GISS E_R, CGCM3, CM2.1 (CCSM3, PCM, MIROC_med)، در دوره ۲۰۰۰-۱۹۷۱ بعنوان دوره پایه و دوره ۲۰۹۹-۲۰۱۰، تحت سناریوی انتشار A2 از سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای (Special Reports on SRES) (Emission Scenario) استفاده شده است. این سناریو، انتشار گازهای گلخانه‌ای را تحت شرایط رشد سریع جمعیت و وابستگی کمتر به پیشرفت سریع اقتصادی در نظر گرفته است (IPCC, 1998). مدل‌های AOGCMs که در این تحقیق استفاده شده‌اند زیر مجموعه‌ای از چهارمین گزارش ارزیابی (IPCC AR4) هستند. داده‌های بارندگی و دمای دریافت شده از این مدل‌ها با استفاده از روش عامل تغییر^۱ برای دشت هشتگرد ریزمقیاس مکانی شدند. در این روش مقادیر نسبت‌های ماهانه ΔP و ΔT از معادله (۱) و (۲) بدست می‌آیند (Jones et al., 1996).

$$\Delta P_{\text{future}} = MP_{\text{future}} / MP_{1971-2000} \quad (1)$$

$$\Delta T_{\text{future}} = MT_{\text{future}} - MT_{1971-2000} \quad (2)$$

در این روابط ΔP_{future} نسبت بارندگی ماهانه برای یک دوره سی‌ساله آتی، MP_{future} میانگین بارندگی درازمدت سی‌ساله ماهانه در دوره‌های آتی از سناریوی اقلیمی و $MP_{1971-2000}$ میانگین بارندگی درازمدت سی‌ساله ماهانه در دوره پایه از سناریوی اقلیمی

اقلیم منطقه از نوع اقلیم خشک سرد و بر اساس اقلیم نمای دومازن از نوع نیمه خشک طبقه‌بندی گردیده است. در این منطقه زمستانهای سرد و مرطوب و تابستانهای خشک وجود دارد که یکی از ویژگیهای اقلیم خشک سرد می‌باشد. میانگین سالانه درجه حرارت منطقه مطالعاتی ۱۴/۵ درجه سانتیگراد و حداقل مطلق درجه حرارت منطقه طرح ۲۰/۲- درجه و حداکثر مطلق درجه حرارت معادل ۴۰/۹ درجه سانتیگراد می‌باشد میانگین بارندگی ۳۳ ساله محل طرح حدود ۲۶۶/۳ میلی‌متر است.

متغیرهای اقلیمی مورد نیاز این تحقیق (دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش روزانه) در یک دوره ۳۵ ساله (۱۹۷۱-۲۰۰۵ میلادی) از ایستگاه‌های سینوپتیک و کليمتولوژی سازمان هواشناسی کشور و ایستگاه‌های هواشناسی وزارت نیرو موجود در محدوده دشت هشتگرد و اطراف آن تهیه شدند. تا علاوه بر اطمینان از صحت داده‌ها، از داده‌های ایستگاه‌های مجاور و نزدیک به منطقه نیز استفاده شود. پس از صحت‌سنجی داده‌های اقلیمی، تصحیح و تکمیل داده‌ها برای آمار و اطلاعات ناقص و مشکوک انجام شد. منطقه مورد مطالعه به سلول‌های ۵ × ۵ دقیقه شبکه‌بندی شده و سطح زیر کشت محصولات زراعی موجود در الگوی کشت تهیه شده منطقه (شامل گندم پاییزه، جو پاییزه، ذرت علوفه‌ای و یونجه) در سال ۲۰۰۵ میلادی (سال پایه)، در هر سلول به تفکیک محاسبه گردید. برای محاسبه مقدار بارندگی و دمای هر سلول از منطقه مطالعاتی، با استفاده از نرم‌افزار SPSS بین طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع هر ایستگاه با مقدار متوسط ۳۵ ساله بارندگی و دما در هر ماه همبستگی چندمتغیره گرفته شد. تا مقدار متوسط بارندگی و دمای درازمدت ماهانه هر سلول با توجه به طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع در هر سلول، قابل محاسبه باشد.

روش تحقیق

با توجه به رابطه مستقیم و تعیین کننده بین دما و تبخیر و تعرق

1- Change Factor

روش AEZ/GIS

در این تحقیق از مدل AEZ/GIS به منظور محاسبه حداکثر محصول پتانسیل محصولات هر سلول از منطقه در شرایط اقلیمی سال پایه و شرایط اقلیمی دوره‌های آبی بکار گرفته شد. نمودار جریانی این روش در شکل (۲) نشان داده شده است. در این شکل جعبه شماره ۱ پایگاه داده‌های اقلیمی، شامل داده‌های دما در سال-های گذشته

از ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود. در جعبه شماره ۲ دمای حاصل از سناریوی تغییر اقلیم استخراج شده و در جعبه شماره ۳ مقادیر بدست آمده از سناریوهای اقلیمی از نظر مکانی کوچک‌مقیاس می‌شوند. در جعبه شماره ۴ لایه‌های داده‌های اقلیمی ایجاد شده و در جعبه شماره ۵ اطلاعات مکانی، نقشه‌های

موضوعی الگوی کشت و سطح زیرکشت وارد سیستم اطلاعات جغرافیایی شده که در جعبه شماره ۶ لیست منابع ارضی را ایجاد می‌کند. در جعبه شماره ۷ لیست

منابع ارضی با اطلاعات اقلیمی ترکیب شده و پایگاه داده منابع ارضی را تشکیل می‌دهد. در نهایت این اطلاعات وارد پایگاه داده شبکه سلولی شده و منجر به ساخت سطوح زمین مرجع واحد می‌شوند. سلول‌های تولید شده، سلول‌های بوم‌شناسی زراعی نام داشته و واحدهای پایه تحلیل را در AEZ تشکیل می‌دهند. در پایان در جعبه شماره ۸ عملکرد پتانسیل و توده زنده محصول در هر سلول بوم-شناسی زراعی تخمین زده می‌شود (Fischer et al., 2005).

برآورد تبخیر و تعرق مرجع، پتانسیل

در این تحقیق بدلیل آن که داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل پنمن-مونتیث در دوره‌های آبی در اختیار نبود، از مدل هارگریوز سامانی برای برآورد تبخیر و تعرق استفاده گردید. برای این منظور ابتدا داده‌های تبخیر و تعرق حاصل از مدل هارگریوز سامانی (معادله (۶) تا (۸)) دشت هشتگرد در دوره مشاهداتی با مدل پنمن-مونتیث مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان از قابل قبول بودن استفاده از این مدل برای منطقه مورد مطالعه داشت (نتایج نشان داده نشده است) به همین دلیل از این مدل در این تحقیق استفاده شد (Jones et al., 1996).

$$ET_0 = 0.0135 \times k_T \times R_a \times TD^{0.5} \times (T + 17.8) \quad (6)$$

$$k_T = 0.00185 \times TD^2 - 0.0433 \times TD + 0.4021 \quad (7)$$

$$TD = T_{Max} - T_{Min} \quad (8)$$

است. ΔT_{Future} تغییرات درجه حرارت ماهانه برای یک دوره سی-ساله آبی، MT_{Future} میانگین دمای درازمدت سی-ساله ماهانه در دوره‌های آبی از سناریوی اقلیمی، $MT_{1971-2000}$ میانگین دمای درازمدت سی-ساله ماهانه در دوره پایه از سناریوی اقلیمی است. لازم به ذکر است که برای میانگین دمای حداقل و میانگین دمای حداکثر از معادله (۲) به طور جداگانه استفاده شد. پس از محاسبه مقادیر ΔP_{Future} و ΔT_{Future} منطقه مورد مطالعه برای دوره‌های ۲۰۹۹-۲۰۱۰، برای محاسبه پارامترهای دما و بارندگی در هر سلول از دشت هشتگرد از نتایج روابط همبستگی چندمتغیره بدست آمده در مراحل قبلی و معادله (۳) و (۴) استفاده شد:

$$P_{Future} = R_L \times \Delta P_{Future} \quad (3)$$

$$T_{Future} = T_L + \Delta T_{Future} \quad (4)$$

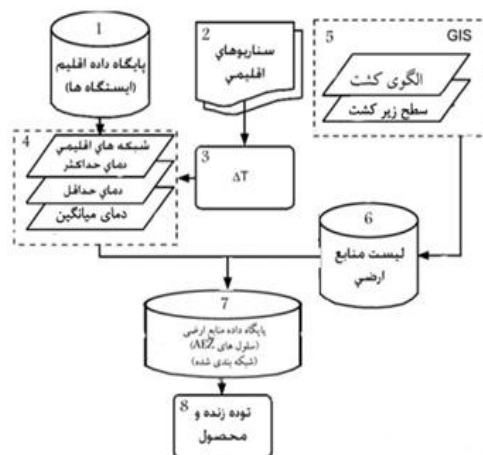
در معادلات فوق P_{Future} و T_{Future} به ترتیب مقدار بارندگی و دمای درازمدت سی-ساله برای دوره‌های آبی در هر سلول و R_L و T_L به ترتیب مقدار بارندگی و دمای درازمدت سی-ساله محاسبه شده در هر سلول با استفاده از روابط همبستگی چندمتغیره می‌باشند. معادله (۴) برای میانگین دمای حداقل و حداکثر بطور جداگانه مورد استفاده قرار گرفت.

آنالیز عدم قطعیت

پس از تعیین محدوده سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارش ماهانه هر سلول از منطقه در دوره آبی، هر یک از سناریو ها بر اساس معادله (۵) وزن دهی شده و pdf های ماهانه دما و بارش منطقه بطور جداگانه محاسبه شد سپس با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو و نرم افزار simlab 2.2.1، تعداد ۲۰۰۰ نمونه از هر pdf انتخاب شد. (مساح بوانی، ۱۳۸۵).

$$R_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^N \frac{1}{B_{x,j}}} \quad (5)$$

که در آن $B_{x,i}$ انحراف میانگین دما یا بارندگی شبیه‌سازی شده توسط هر یک از مدل‌های AOGCM در دوره پایه در ماه (x) از میانگین داده‌های مشاهداتی، N تعداد مدل‌های AOGCM و R_i وزن داده شده به هر یک از این مدل‌ها می‌باشد. پس از مشخص شدن PDF مربوط به هر یک از مدل‌های AOGCM، به تعداد نمونه‌های تولید شده از محدوده‌های تغییر اقلیم دما و بارندگی توسط روش مونت کارلو (Monte-Carlo)، سری زمانی تولید خواهد شد.



شکل ۲- نمودار جریان‌ی روش AEZ/GIS

قرار داد.

طول دوره رشد

طول دوره رشد گیاه با استفاده از شاخص درجه-روز رشد^۱ (معادله ۱۲) محاسبه شد (کوچکی، ۱۳۷۵):

$$GDD = \frac{T_{Max} + T_{Min}}{2} - T_{bas}$$

$$\text{If } T_{Min} < T_{bas} \rightarrow T_{Min} = T_{bas}$$

$$\text{If } T_{Max} > 30 \rightarrow T_{Max} = 30$$

در این رابطه، T_{Min} و T_{Max} به ترتیب حداقل و حداکثر دمای روزانه و T_{bas} پایه لازم برای نمو گیاه می‌باشد. که برای گندم، جو، ذرت علوفه ای و یونجه به ترتیب برابر ۵، ۰، ۱۰، ۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. جدول (۱).

نتایج و بحث

نتایج ریزمقیاس نمائی

همانطور که در جدول (۲) ملاحظه می‌شود، تمامی مدل‌ها در هر ۳ دوره افزایش دما را برای دوره آبی نسبت به دوره پایه تخمین می‌زنند. برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ این افزایش برای فصول زمستان و بهار بطور متوسط ۱/۰ درجه و برای فصول تابستان و پاییز متوسط ۱/۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ مقدار این افزایش نسبت به دوره پایه بطور متوسط ۲/۳۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. این افزایش برای فصول زمستان و بهار بطور متوسط ۲/۰۲ درجه و برای فصول تابستان و پاییز متوسط ۲/۷۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

T_{Min} و T_{Max} ، به ترتیب حداقل و حداکثر درجه حرارت در دوره مورد نظر بر حسب درجه سانتیگراد. R_a تابش خورشیدی در بالای اتمسفر که برای ماه‌های مختلف سال و عرض‌های جغرافیائی مختلف، مقدار متفاوت به خود می‌گیرد و k_t ضریب تصحیح می‌باشد. تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه با استفاده از معادله (۹) محاسبه شد:

$$ET_c = K_c \cdot ETo \quad (9)$$

با استفاده از روابط و مقادیر ارائه شده در نشریه شماره فائو ۵۶ مقدار K_c برای هر یک از محصولات در مراحل مختلف رشد محاسبه شد

شاخص بهره‌وری آب پتانسیل

شاخص بهره‌وری آب پتانسیل به این معنا است که هر گیاه به ازای هر واحد آب مصرفی خود چه مقدار محصول پتانسیل تولید می‌کند. مقدار حجم آب مصرفی برای یک محصول در هر سلول برابر است با (علیزاده، ۱۳۸۴):

$$ET_{cv} = (\sum_{i=1}^n ET_c^i) \times A_{i,c} \quad (10)$$

در این رابطه ET_{cv} مقدار حجم آب مصرفی گیاه، ET_c مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه گیاه، A سطح اراضی زیر کشت گیاه مورد نظر در سلول i و n تعداد روزهای دوره رشد گیاه است. شاخص بهره‌وری آب پتانسیل برای هر سلول با استفاده از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود:

$$PWR_{i,c} = Y_{mp,i,c} / ET_{cv,i,c} \quad (11)$$

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 سال پایه در هر سلول مورد بررسی

1- Growing degree day

جدول ۱- مجموع درجه روز رشد و اطلاعات مورد نیاز برای گیاهان مورد مطالعه

گیاه	ذرت علوفه ای	یونجه	گندم	جو
درجه-روز رشد(درجه)	۱۵۳۲/۵	۲۷۶۲/۲	۲۸۵۱	۲۸۴۹
طول دوره رشد در سال پایه(روز)	۹۰	۱۸۹	۲۶۲	۲۶۷
تاریخ کشت	۱۴ جولای	۱۶ مارس	۲۲ اکتبر	۱۷ اکتبر
مساحت تحت کشت(هکتار)	۵۲۸۷/۲	۶۹۵/۵	۷۲۴۴/۱۵	۷۲۴۴/۱۵

وجود داشته به طوری که بارش در فصول زمستان و پاییز افزایش بیشتر و در دیگر فصول کاهش بیشتری پیدا میکند.

تغییرات دما و بارش در دوره آبی

در این مرحله پارامتر دما و بارندگی درازمدت برای هر سلول، در سال پایه محاسبه گردید. سپس با استفاده از روش عامل تغییر، ۲۰۰۰ سری زمانی دما و بارش در هر سلول منطقه برای ۳ دوره آبی محاسبه گردید.

همچنین در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ بطور متوسط ۴/۰۱ درجه سانتی گراد نسبت به دوره پایه افزایش یابد. این افزایش برای فصول زمستان و بهار بطور متوسط ۳/۴۸ درجه و برای فصول تابستان و پاییز متوسط ۴/۵۳ درجه سانتی گراد می باشد. از طرف دیگر همانطور که در جدول (۳) ملاحظه می شود.

مدل های مختلف در تخمین میزان تغییر بارش دوره آبی نسبت به پایه هماهنگ نبوده و برخی از مدل ها بارش دوره آبی را نسبت به دوره پایه بیشتر و برخی نیز کمتر نشان می دهند. با این وجود می توان نتیجه گرفت در فصول زمستان و پاییز افزایش بارش و در فصول بهار و تابستان کاهش بارش را خواهیم داشت. این روند در هر ۳ دوره آبی

جدول ۲- تغییرات میانگین درازمدت ۳۰ ساله دمای متوسط منطقه در دوره های آبی نسبت به دوره پایه

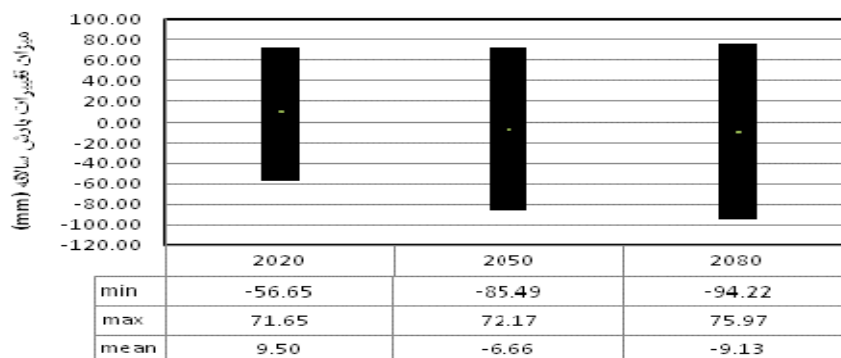
	۲۰۲۰s				۲۰۵۰s				۲۰۸۰s					
	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	سالانه	
CGCM	۰/۸۳	۱/۵۲	۱/۶۶	۱/۳۸	۱/۳۴	۱/۸۷	۳/۴۵	۳/۷۴	۲/۹۸	۳/۰۱	۳/۲۷	۵/۵۵	۵/۸۵	۵/۰۲
CIRO	۰/۷۴	۰/۷	۱/۰۹	۱/۲۹	۰/۹۶	۱/۱	۱/۴۱	۲/۰۴	۱/۹	۱/۶۱	۲/۲۵	۲/۹۳	۳/۵	۲/۹۴
ECHAM	۰/۷۳	۰/۹۱	۱/۲۱	۱/۰۳	۰/۹۷	۲/۰۹	۱/۸۸	۲/۷۷	۲/۱۹	۲/۲۳	۳/۷۹	۴/۱۹	۵/۱۸	۴/۳۹
GFDL	۰/۶۴	۱/۴۵	۱/۸	۱/۳	۱/۳	۱/۹۶	۳/۴	۳/۲۱	۲/۳۵	۲/۷۳	۳/۲۴	۴/۶۷	۴/۸۱	۲/۹۳
GISS	۰/۵۲	۲/۵۱	۲/۰۸	۰/۵۷	۱/۴۲	۱/۲۳	۳/۲۷	۳/۵۵	۱/۶	۲/۴۱	۱/۷۱	۵/۰۹	۵/۳۵	۲/۴۸
HADCM	۰/۷۹	۱/۲۴	۱/۷۹	۱/۵۱	۱/۳۳	۱/۷۳	۲/۲۵	۳/۹۴	۲/۶۷	۲/۶۵	۳/۱۹	۴/۸۶	۷/۱۷	۴/۷۴
MIROC	۱/۰۹	۱/۰۹	۱/۷۲	۱/۳۵	۱/۳۱	۲	۱/۹۵	۳/۱۱	۲/۶۴	۲/۴۳	۳/۳۵	۳/۵۵	۵/۱۸	۴/۳۵
CCSM	۰/۹۹	۱/۴۹	۱/۹۹	۱/۷۴	۱/۵۵	۱/۸۴	۲/۵	۳/۵	۲/۹۹	۲/۷۱	۲/۹۳	۳/۸۴	۵/۴۷	۴/۷۴
PCM	۰/۲۹	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۹۷	۰/۶۳	۰/۹	۱/۵۳	۱/۶۸	۱/۹۸	۱/۵۲	۱/۶۸	۲/۵۹	۲/۹۸	۳/۴۴

جدول ۳- تغییرات میانگین درازمدت ۳۰ ساله بارش متوسط منطقه در دوره های آبی نسبت به دوره پایه

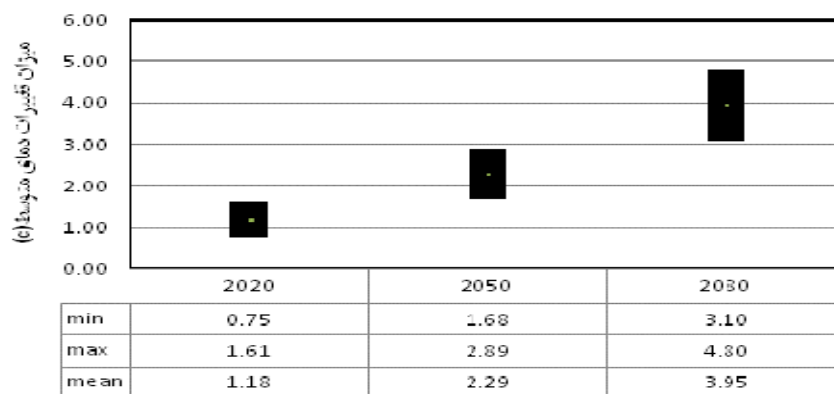
	۲۰۲۰s				۲۰۵۰s				۲۰۸۰s					
	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	سالانه	
CGCM	۱/۰۵	۰/۸۵	۰/۸۷	۱/۲۴	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۶۷	۰/۵۸	۱/۰۸	۱/۸۲	۱/۰۶	۰/۷۱	۰/۵۰	۰/۹۴
CIRO	۱/۰۷	۰/۹۵	۰/۸۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۸۹	۰/۸۶	۱/۱۳	۰/۹۸	۰/۹۱	۱/۰۶	۰/۹۱	۰/۸۰	۱/۰۴
ECHAM	۱/۰۸	۰/۹۶	۰/۸۶	۰/۹۹	۰/۹۹	۱/۰۴	۰/۹۴	۰/۶۶	۱/۰۸	۰/۹۷	۱/۱۳	۰/۸۷	۰/۴۹	۰/۹۷
GFDL	۱/۰۸	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۸۱	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۶۱	۰/۲۲	۰/۸۲	۰/۷۴	۰/۸۸	۰/۶	۰/۴۹	۰/۷۶
GISS	۱/۱۶	۰/۶۱	۰/۳۴	۱/۱۱	۰/۷۷	۱/۱۸	۰/۷۱	۰/۲۰	۱/۱۲	۰/۸۱	۱/۳۴	۰/۵۰	۰/۰۶	۱/۱۷
HADCM	۱/۰۶	۰/۹۹	۰/۸۴	۱/۰۰	۱/۰۲	۱/۱۶	۰/۹۰	۰/۵۸	۰/۹۲	۰/۹۹	۱/۰۲	۰/۶۷	۰/۳۰	۰/۸۹
MIROC	۰/۹۸	۰/۸۹	۱/۴۰	۱/۱۰	۰/۹۹	۱/۰۳	۰/۸۵	۱/۶۷	۱/۳۹	۱/۰۶	۰/۹۲	۰/۷۶	۲/۱۲	۱/۵۵
CCSM	۱/۰۲	۰/۸۵	۰/۸۲	۰/۹۶	۰/۹۴	۱/۰۸	۰/۸۵	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۸	۱/۲۳	۰/۷۹	۰/۹۵	۰/۹۹
PCM	۱/۱۰	۰/۹۷	۰/۸۷	۱/۰۹	۱/۰۲	۱/۱۱	۰/۶۷	۰/۵۰	۱/۰۱	۰/۸۶	۱/۱۱	۰/۶۷	۰/۵۰	۱/۰۱

ندارند درحالی که این مقادیر برای سناریوهای حداقل تغییرات کاهشی و معنی دار است. همچنین طبق شکل ۴، مشاهده می شود که میزان سناریوهای حداقل و حداکثر تغییرات دما روند افزایشی دارند و بطور متوسط تا سال ۲۰۹۰ بترتیب بین ۱/۸ تا ۳/۱ درجه سانتی گراد تغییر میکنند.

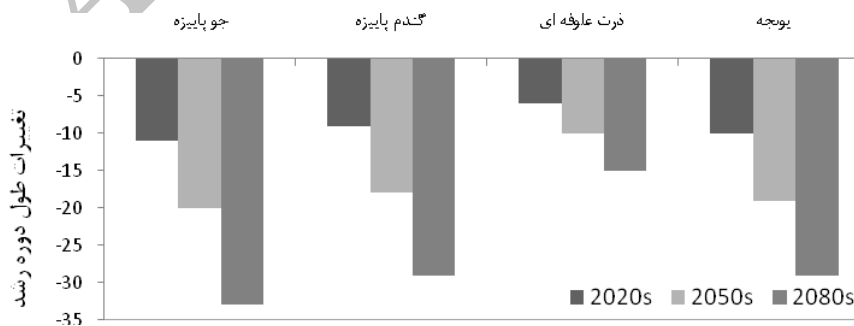
در نتیجه محدوده ای از عدم قطعیت دما و بارش در هر دوره برای منطقه به دست آمده نتایج آن در شکل های (۳) و (۴) آورده شده است. طبق شکل (۳)، می توان گفت محدوده نوسانات بارندگی دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ (۲۰۸۰s) از دوره های ۲۰۳۹-۲۰۱۰ (۲۰۲۰s) و ۲۰۶۹-۲۰۴۰ (۲۰۵۰s) بیشتر است. از طرف دیگر سناریوهای حداکثر تغییرات بارش در دوره های آتی اختلاف معنی داری با هم



شکل ۳- تغییرات بارندگی در دوره های آتی در سطح دشت هشتگرد



شکل ۴- تغییرات میانگین دما در دوره های آتی در سطح دشت هشتگرد



شکل ۵- تغییرات طول دوره رشد گیاه در دوره های آتی در دشت هشتگرد

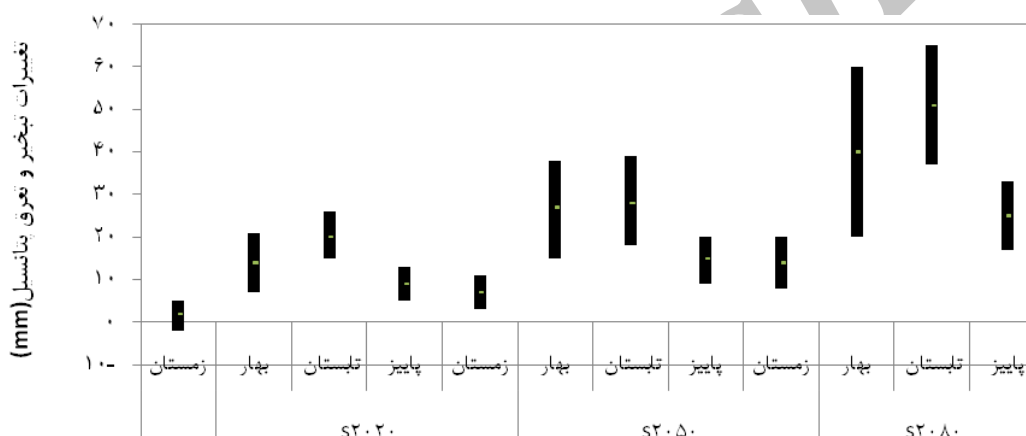
تغییر طول دوره رشد در دوره آتی

دمای بالا در دوره آتی نسبت به سال پایه طول دوره رشد را کوتاه میکند. این دمای بالا سبب میشود تا رشد محصول تسریع یافته و بلوغ محصول زودتر اتفاق بیافتد. تغییر طول دوره رشد گیاهان مختلف در دوره آتی در شکل (۵) نشان داده شده است. تاثیر افزایش درجه حرارت بر جو پاییزه آشکار تر از سایر گیاهان است و این تاثیر بر ذرت علوفه ای ناچیز است. بطوریکه کمترین تاثیر بر ذرت علوفه ای در دوره ۲۰۳۰ و بیشترین تاثیر بر جو در دوره ۲۰۹۰ اتفاق می افتد.

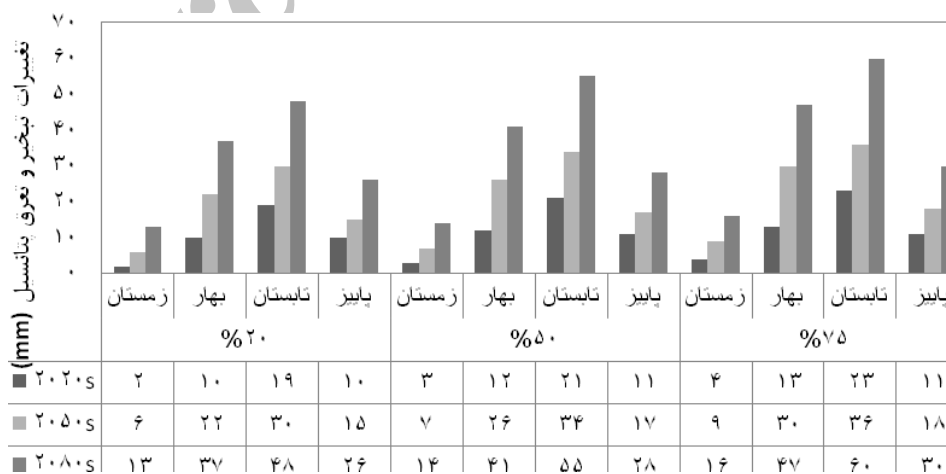
بررسی محدوده تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره آتی (ET_o)

پس از محاسبه ۲۰۰۰ سری زمانی روزانه دمای حداکثر و حداقل

در هر سلول برای هر سال از دوره آتی (۲۰۹۹-۲۰۱۰)، ۲۰۰۰ سری زمانی روزانه تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از روش هارگریوز-سامانی در هر سلول تولید گردید. پس از محاسبه ETO، با در نظر گرفتن Kc در محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه، ۲۰۰۰ سری زمانی روزانه تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه (ETc) برای هر گیاه در هر سلول محاسبه شد. بنابراین هر دوره دارای محدوده‌ای از تبخیر و تعرق مرجع و تبخیر و تعرق پتانسیل برای هر گیاه می‌باشد که این محدوده‌ها همان محدوده تغییرات نیاز آبی نسبت به عدم قطعیت مدل‌های اقلیمی است. شکل (۶)، افزایش تدریجی تبخیر و تعرق مرجع هر فصل تحت تاثیر تغییر اقلیم قابل مشاهده است.



شکل ۶- محدوده تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره های آتی در دشت هشتگرد



شکل ۷- توزیع احتمال افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره های آتی نسبت به دوره پایه در دشت هشتگرد

بر این امر تاثیر گذارند. با اینکه فصل رشد ذرت در تابستان واقع شده اما به علت دوره رشد کوتاه، نسبت به تغییر اقلیم واکنش کمتری نشان میدهد. فصل رشد گندم و جو در فصول سردتر است، متوسط دما در این فصول بالا می‌رود اما نسبت به فصل رشد یونجه کمتر است و تنها بعلت متوسط ضریب گیاهی بیشتر گندم نسبت به جو در طول دوره رشد نسبت به تغییر اقلیم رفتار متفاوتی دارند و گرنه در بقیه شرایط یکسان هستند.

در جدول (۴) میزان تغییرات نیاز آبی گیاهان مختلف نسبت به دوره پایه برای احتمالات ۲۵٪ و ۵۰٪ و ۷۵٪ نشان داده شده است. بر این اساس، با احتمال ۵۰٪ بطور متوسط بین ۲۹ تا ۵۵ میلی‌متر افزایش تقاضا برای محصولات مورد نظر در دوره ۲۰۲۰s و ۲۸ تا ۵۰ میلی‌متر برای دوره ۲۰۵۰s و ۲۵ تا ۴۶ میلی‌متر برای دوره ۲۰۸۰s انتظار می‌رود.

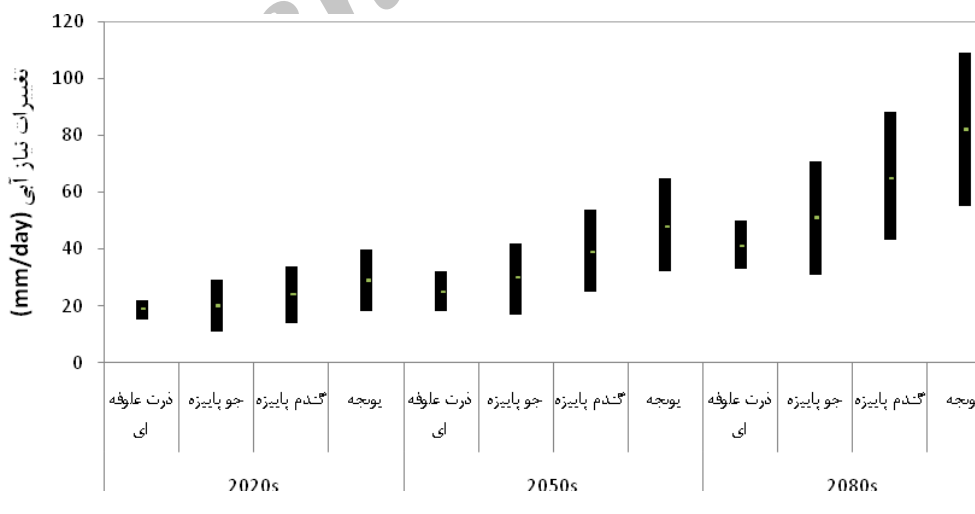
بررسی محدوده تغییرات عملکرد پتانسیل محصول در دوره‌های آتی

با توجه به شکل (۹) مشاهده می‌شود که تولید محصول پتانسیل کلیه گیاهان تا سال ۲۰۹۰ در سطح منطقه کاهش خواهد یافت. به عنوان مثال محصول یونجه ۳۲۷ - ۵۰۸ کیلوگرم در هکتار در هر دوره کاهش می‌یابد. این کاهش برای ذرت ۱۷ تا ۲۴ کیلوگرم در هکتار خواهد بود. اما در گندم و جو حداکثر عملکرد، تا دوره ۲۰۵۰s افزایش یافته و در دوره ۲۰۹۰s کاهش می‌یابد. این در حالی است که حداقل عملکرد گیاهان در دوره‌های آتی کاهش می‌یابد.

شکل (۷) نتایج بررسی احتمالاتی تغییرات ETO را نشان میدهد. بعنوان مثال با احتمال ۵۰٪، برای زمستان، بهار، تابستان و پاییز، روند افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل بترتیب ۵/۴، ۱۵/۸، ۱۶/۷، ۸/۵ میلی‌متر در هر دوره خواهد بود. همانگونه که انتظار می‌رود بیشترین افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل در تابستان است و به احتمال ۷۵٪ میزان افزایش آن در دوره ۲۰۲۰، ۲۳ میلی‌متر برآورد گردید. و کمترین افزایش در زمستان به احتمال ۷۵٪، ۴ میلی‌متر در دوره ۲۰۲۰ تخمین زده شد.

بررسی محدوده تغییرات نیاز آبی گیاه نسبت به تغییر اقلیم

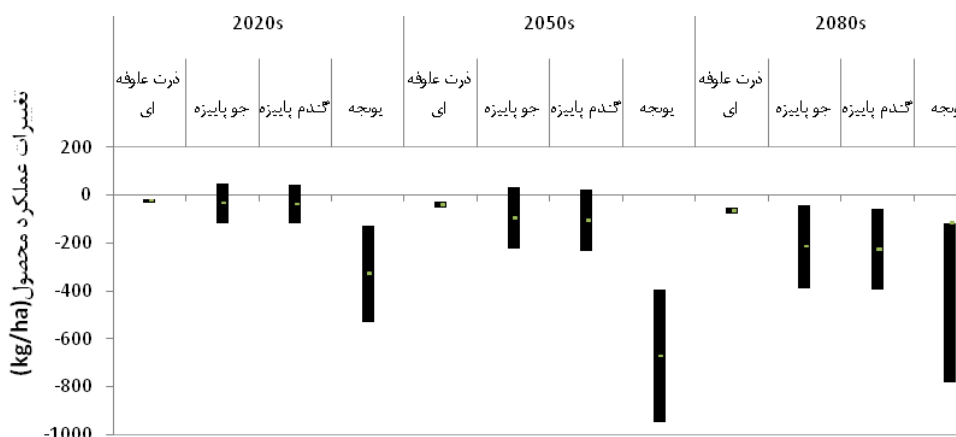
با استفاده از اطلاعات بدست آمده برای تبخیر و تعرق پتانسیل، نیاز آبی محصولات منطقه محاسبه و محدوده عدم قطعیت تغییرات ETC در ۳ دوره آتی نسبت به سال پایه در شکل (۸) نشان داده شده است. بطور کلی متوسط تبخیر و تعرق گیاهان مختلف در این منطقه افزایش خواهد یافت. اما محدوده و روند افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل برای گیاهان مختلف، متفاوت می‌باشد در دوره ۲۰۸۰s محدوده عدم قطعیت آنها بزرگتر می‌شود. نکته حائز اهمیت دیگر اینست که آهنگ افزایش نیاز آبی گیاه یونجه نسبت به دیگر گیاهان بیشتر است و ذرت کمترین افزایش را در طول دوره‌های آتی نشان می‌دهد. این افزایش ۱۸/۶ - ۳۴/۷ میلی‌متر برای یونجه و ذرت ۹ تا ۱۴ میلی‌متر در هر دوره تا سال ۲۱۰۰ است. با توجه به اینکه میزان تغییرات دمای هوا در دوره‌های آتی در فصول گرم نسبت به دیگر فصول افزایش قابل ملاحظه‌ای دارد. در نتیجه چون یونجه در فصول گرم کاشت میشود بنابراین میزان تاثیر پذیری آن نسبت به شرایط اقلیمی بیشتر است. البته متوسط ضریب گیاهی و طول دوره رشد هم



شکل ۸- محدوده تغییرات ETC گیاهان در دوره‌های آتی در دشت هشتگرد

جدول ۴- افزایش نیاز آبی سالیانه در دوره های آبی به احتمال ۲۵٪ و ۵۰٪ و ۷۵٪ و بیشتر برحسب میلیمتر

ET base		ETC ۲۰۲۰s			ETC ۲۰۵۰s			ETC ۲۰۸۰s		
		۲۵	۵۰	۷۵	۲۵	۵۰	۷۵	۲۵	۵۰	۷۵
		یونجه	۶۶۶	۲۶	۲۸	۳۱	۴۶	۵۰	۵۵	۷۹
جو پاییزه	۳۸۹	۱۶	۱۸	۲۰	۲۶	۳۰	۳۳	۴۷	۵۲	۵۸
گندم پاییزه	۵۱۱	۲۰	۲۲	۲۴	۳۶	۴۰	۴۴	۶۲	۶۷	۷۳
ذرت علوفه ای	۲۹۳	۱۸	۱۹	۱۹	۲۵	۲۸	۲۹	۳۹	۴۵	۴۷



شکل ۹- محدوده تغییرات عملکرد گیاهان دشت هشتگرد در دوره های آبی

بررسی تغییرات پتانسیل بهره‌وری آب کشاورزی و محاسبه ریسک آن

بررسی تغییرات بهره‌وری آب کشاورزی در دوره های آبی نسبت به سال پایه، در بررسی راه کارهای سازش با پدیده تغییر اقلیم کمک شایانی میکند. میزان بهره‌وری آب پتانسیل در سال پایه برای محصولات یونجه، جو پاییزه، گندم پاییزه، ذرت علوفه‌ای بترتیب ۲۱۷۹، ۱۶۱۱، ۲۱۲۷، ۲۳۹۷ گرم بر مترمکعب محاسبه گردید. شکل (۱۰) تغییرات بهره‌وری آب پتانسیل گیاهان دشت هشتگرد را در سالهای آبی نشان می دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در سال‌های آبی تغییرات بهره‌وری آب در تمامی گیاهان روند کاهشی دارد. بطور متوسط ذرت و یونجه بترتیب ۶۷- و ۹۹ و ۱۰۴- و ۱۵۶ و گندم و جو ۵۵- و ۹۳ و ۶۴- و ۱۲۰ گرم بر مترمکعب در هر دوره کاهش خواهد داشت. نتایج نشان می‌دهد که گیاه گندم کمترین کاهش بهره‌وری را در مقادیر حداقل و حداکثر دارد. این در حالیکه بیشترین کاهش بهره‌وری مربوط به یونجه است. برای احتمال ۵۰٪، روند کاهش بهره‌وری در ۳ دوره آبی برای گیاهان مختلف گندم، یونجه، ذرت و جو بترتیب ۸۰، ۱۳۸، ۹۵ و ۱۰۷ گرم بر متر مکعب خواهد بود. نتایج میزان بهره‌وری برای گیاهان مختلف در ۳ دوره آبی برای احتمالات مختلف در جدول (۵) نشان داده

از طرف دیگر روند مقادیر حداقل و حداکثر در گندم و جو نیز کاهشی بوده و مقادیر آنها بترتیب ۵۰ تا ۱۳۸ کیلوگرم در هکتار برای گندم و برای جو ۴۴ تا ۱۳۶ کیلوگرم در هکتار در هر دوره بوده است. با توجه به کوتاه شدن طول فصل رشد محصولات در سالهای آبی، میزان انرژی دریافتی کمتر شده که علی‌رغم افزایش دما کاهش عملکرد محصول را در سالهای آبی مشاهده می‌کنیم. البته گیاهان مختلف افزایش دما را تا آستانه ای تحمل میکنند و بیشتر از آن با وجود کاهش طول فصل رشد، عملکرد کاهش می‌یابد. به‌همین خاطر هر چه به اواخر قرن نزدیک‌تر می‌شویم حداقل و حداکثر کاهش عملکرد محصول بیشتر نمایان می‌شود. از طرفی گیاه ذرت کاهش کمتری رانسیبت به دیگر گیاهان نشان داده و یونجه بیشترین کاهش را نشان می‌دهد که این بیانگر حساسیت پذیری زیاد گیاه از پدیده تغییر اقلیم است

باتوجه به اینکه میزان عملکرد محصولات ذرت، گندم، جو و یونجه، ۷۷۷۲، ۷۷۹۵۴، ۸۰۲۰ و ۱۴۶۵۷ کیلوگرم در هکتار در دوره پایه است، با احتمال ۵۰٪ روند کاهش محصولات یونجه، گندم، جو و ذرت علوفه ای در هر دوره بترتیب ۴۳۷، ۱۰۲، ۹۹ و ۲۲ کیلوگرم در هکتار و بیشتر از آنها خواهد بود.

شده است.

نتیجه گیری

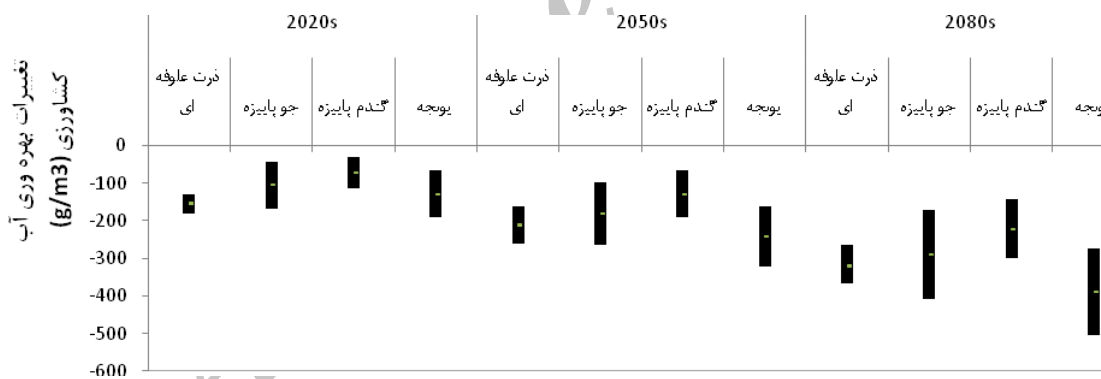
برآورد تاثیر تغییر اقلیم بر سیستم های مختلف توسط مدل های AOGCM با عدم قطعیت های زیادی مواجه می‌باشد. این مساله بیانگر اینست که تخمین تاثیر تغییر اقلیم به میزان قابل توجهی به مدل AOGCM استفاده شده، بستگی دارد. لحاظ کردن این عدم قطعیت با بکار بردن تعداد زیادی از این مدل ها روشی است تا تخمینهای واقعی از تاثیر تغییر اقلیم ارائه دهد. در این تحقیق به منظور تولید پارامترهای اقلیمی منطقه در دوره ۲۰۱۰-۲۱۰۰، از خروجی های ۹ مدل AOGCM

(GFDL CM2.1, CSIRO Mk3, CGCM3, CCSM3)

(PCM, MIROC-med, ECHAM5, HadCM3, GISS E-R تحت سناریو A2 استفاده گردید. با وزن دهی به مدل‌های اقلیمی و استفاده از روش مونت کارلو تعداد ۲۰۰۰ سری زمانی دما و بارش برای هر منطقه تولید شد. سپس این مقادیر بوسیله روش عامل تغییر برای منطقه ریز مقیاس شدند. در ادامه با رویکرد AEZ/GIS مقدار محصول پتانسیل روزانه محاسبه و در نهایت میزان بهره‌وری آب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بیانگر کاهش طول دوره رشد تمام گیاهان در دوره های آتی است بطوری که ذرت کمترین و یونجه بیشترین

کاهش طول دوره رشد را در بین گیاهان دارند. همچنین نیاز آبی گندم ۱۵-۲۸ میلیمتر، ذرت ۹-۱۴، یونجه ۶/۱۸-۷/۳۴ و جو پاییزه ۱۰-۲۱ میلیمتر در هر دوره تا سال ۲۱۰۰ افزایش می‌یابد. از طرف دیگر عملکرد پتانسیل تمام گیاهان در دوره های آتی کاهش می‌یابد. محدوده کاهش عملکرد گندم، جو، یونجه و ذرت علوفه ای بترتیب ۵۰ تا ۱۳۸، ۴۴ تا ۱۳۶، ۳۲۷-۵۰۸ و ۱۷ تا ۲۴ کیلوگرم در هکتار خواهد بود. همچنین نتایج نشان داد که در سال‌های آتی تغییرات بهره‌وری آب در تمامی گیاهان روند کاهشی دارد. بطور متوسط ذرت و یونجه بترتیب ۶۷-۹۹ و ۱۰۴-۱۵۶ و گندم و جو ۹۳-۶۴ و ۱۲۰ گرم بر مترمکعب در هر دوره کاهش خواهد داشت. نتایج نشان می‌دهد که گیاه گندم کمترین کاهش بهره‌وری را در

مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بیانگر کاهش طول دوره رشد تمام گیاهان در دوره های آتی است بطوری که ذرت کمترین و یونجه بیشترین کاهش طول دوره رشد را در بین گیاهان دارند. همچنین نیاز آبی گندم ۱۵-۲۸ میلیمتر، ذرت ۹-۱۴، یونجه ۶/۱۸-۷/۳۴ و جو پاییزه ۱۰-۲۱ میلیمتر در هر دوره تا سال ۲۱۰۰ افزایش می‌یابد. از طرف دیگر عملکرد پتانسیل تمام گیاهان در دوره های آتی کاهش می‌یابد. محدوده کاهش عملکرد گندم، جو، یونجه و ذرت علوفه ای بترتیب ۵۰ تا ۱۳۸، ۴۴ تا ۱۳۶، ۳۲۷-۵۰۸ و ۱۷ تا ۲۴ کیلوگرم در هکتار خواهد بود.



شکل ۱۰- محدوده تغییرات بهره‌وری آب کشاورزی گیاهان دشت ساوجبلاغ در دوره‌های آتی

جدول ۵- بهره‌وری آب گیاهان در دوره های آتی به احتمال ۲۵٪ و ۵۰٪ و ۷۵٪ و بیشتر بر حسب گرم بر متر مکعب

pwp base	Pwp2۰۲۰s			Pwp2۰۵۰s			Pwp2۰۸۰s			
	۲۵	۵۰	۷۵	۲۵	۵۰	۷۵	۲۵	۵۰	۷۵	
یونجه	۲۱۷۹	۲۰۶۷	۲۰۵۵	۲۰۴۰	۱۹۵۶	۱۹۳۱	۱۹۰۸	۱۸۰۹	۱۷۷۸	۱۷۴۷
جو پاییزه	۲۱۲۷	۲۰۵۴	۲۰۴۰	۲۰۲۸	۱۹۶۹	۱۹۴۴	۱۹۱۸	۱۸۵۹	۱۸۲۷	۱۷۹۰
گندم پاییزه	۱۶۱۱	۱۵۵۵	۱۵۴۶	۱۵۳۷	۱۴۹۹	۱۴۸۶	۱۴۷۴	۱۴۰۶	۱۳۸۵	۱۳۶۱
ذرت علوفه ای	۲۳۹۷	۲۲۴۷	۲۲۴۰	۲۲۳۶	۲۱۸۵	۲۱۶۰	۲۱۵۲	۲۰۸۹	۲۰۸۹	۲۰۵۱

- perspective. *Climatic Change* 54, 269–293.
- Elgaali, e., Garci. L. A. a. Ojima. D. S. (2007). High resolution modeling of the regional impacts of climate change on irrigation water demand. *Climatic Change*, 84, 441–461.
- El Maayar, M., Singh, B., Andre, P., Bryant, C.R., Thouez, J. (1997). The effects of climate change and CO₂ fertilisation on agriculture in Quebec. *Agr. Forest Meteorol.* 85(3/4), 193–208.
- Evrendilek, F., Wali, M.K. (2004). Changing global climate: historical carbon and nitrogen budgets and projected responses of Ohio's cropland ecosystems. *Ecosystems*, 7(4), 381–392.
- Fischer, G., Prieler, S. and Van Velthuisen, H. (2005). Biomass potentials of miscanthus, willow and poplar: results and policy implications for Eastern Europe, Northern and Central Asia, *J. Biomass and Bioenergy*, 28, 119–132.
- Fuhrer, J., (2003). Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, ozone, and global climate change. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 97, 1–20.
- Guo, R., Lin, Z., Mo, X., Yang, C. (2010), Responses of crop yield and water use efficiency to climate change in the North China Plain. *Journal of Agricultural water magement*, Volume 97, Issue 8, 1185–1194
- Gondim, R., Castro, MA., Maia, A., Evangelista, S. (2009). Climate change and irrigation water requirement at Jaguaribe river basin, semi-arid northeast of Brazil. *IOP Conf. Series, Earth and Environmental Science* Volume 6, Issue 29, pp. 292032 .
- Hussain, S.S., Mudasser, M., (2007). Prospects for wheat production under changing climate in mountain areas of Pakistan an econometric analysis. *Agricultural Systems*, 94, 494–501.
- IPCC-DDC (1988) <http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/>
- Jones, P.D. and Hulme, M. (1996). Calculating regional climatic times series for temperature and precipitation: methods and illustrations. *International journal of climatology*, 16, 361–377.
- Jones, P.G., Thornton, P.K. (2003). The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin American in 2055. *Global Environ.*, 13, 51–59.
- Luo, Q., Bellotti, W., Williams, M., Bryan, B. (2005). Potential impacts of future climate change on wheat yield in South Australia. *Agriculture and Forest Meteorology*, 132, 273–285.
- Mati, B.M. (2000). The influence of climate change on maize production in the semihumid-semi-arid areas of Kenya. *Journal of Arid Environments* 46, 333–344.
- Mo, X.G., Liu, S.X., Lin, Z.H., Guo, R. (2009). Regional crop yield, water consumption and water use efficiency and their responses to climate change in the North China Plain. *Regional Environmental*

همچنین نتایج نشان داد که در سال‌های آتی تغییرات بهره‌وری آب در تمامی گیاهان روند کاهشی دارد. بطور متوسط ذرت و یونجه بترتیب ۶۷–۹۹ و ۱۰۴–۱۵۶ و گندم و جو ۵۵–۹۳ و ۶۴–۱۲۰ گرم بر مترمکعب در هر دوره کاهش خواهد داشت. نتایج نشان می‌دهد که گیاه گندم کمترین کاهش بهره‌وری را در مقادیر حداقل و حداکثر دارد. این در حالیست که بیشترین کاهش بهره‌وری مربوط به یونجه است. از طرفی با احتمال ۵۰٪ افزایش نیاز آبی یونجه، گندم، جو و ذرت علوفه ای بترتیب ۱۷، ۲۹، ۲۹ و ۱۳ میلیمتر در هر سال خواهد بود و همچنین روند کاهش عملکرد محصولات در هر دوره بترتیب ۴۳۷، ۱۰۲، ۹۹ و ۲۲ کیلوگرم در هکتار در هر سال خواهد بود. در نهایت باید خاطر نشان کرد اگرچه کوتاه شدن دوره رشد باعث کمتر شدن نیاز آبی کل فصل گیاه و در نتیجه باعث صرفه جویی در مصرف آب می‌شود، اما به علت اینکه میزان تابش دریافتی توسط گیاه کمتر می‌شود انجام عمل فتوسنتز کمتر شده و در نتیجه بیومس و عملکرد پتانسیل گیاه کاهش می‌یابد. بنابراین می‌بایست تربیتی اتخاذ گردد که از این کوتاه شدن دوره رشد استفاده بهینه به عمل آید، به عنوان مثال از رقم‌های با طول عمر کوتاهتر در عین عملکرد بیشتر استفاده شود. یکی از چالش‌های مهم آینده در نظر گرفتن عدم قطعیت در تأثیر CO₂ در ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد محصول است که باید در تحقیقات بعدی مورد بررسی قرار گیرد.

مراجع

- شاه‌کرمی، ن. مرید، س. مساح، ع. ر. (۱۳۸۷)، تأثیر عدم قطعیت مدل‌های AOGCM بر ریسک تغییر در نیاز آبی محصولات کشاورزی در اثر پدیده تغییر اقلیم در شبکه‌های آبیاری زاینده رود. *مجله آبیاری زهکشی ایران*، شماره ۲، سال دو، ۹–۱۰.
- علیزاده، الف. (۱۳۸۵). اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد، دانشگاه امام رضا (ع)، ۸۰۷ ص.
- کوچکی، ع. و نصیری محلاتی، م. (۱۳۷۵). اکولوژی گیاهان زراعی (جلد اول)، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۲۹۱ ص.
- مساح بوانی، ع. ر. مرید، س. و محمدزاده، م. (۱۳۸۹). مقایسه روش‌های کوچک مقیاس کردن و مدل‌های AOGCM در بررسی تأثیر تغییر اقلیم در مقیاس منطقه‌ای. *مجله فیزیک زمین و فضا*، دوره ۳۶، شماره ۴، صفحه ۹۹–۱۱۰.
- Abraha, M.G., Savage, M.J. (2006). Potential impacts of climate change on the grain yield of maize for the midlands of KwaZulu-Natal, South Africa. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 115, 150–160.
- DÖLL, p. (2002). Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global

- Climate change impacts on water demand and salinity in California's irrigated agriculture. American Geophysical Union, Fall Meeting 2008.
- Takahashi, K., Matsuoka, Y., Harasawa, H. (1998). Impacts of climate change on water resources, crop production and natural ecosystem in the Asia and Pacific region. *J. Global Environ. Eng.* 1, 91-103.
- Thomas, A. (2008). Agriculture irrigation demand under present and future climate scenarios in China. *Global and Planetary Change*, 60 (3-4), 306-326
- Change.209-221.
- Masutomi, Yuji., Takahashi, K., Harasawa, H., Matsuoka, Y. (2009). Impact assessment of climate change on rice production in Asia in comprehensive consideration of process/parameter uncertainty in general circulation models. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 131, 281-291.
- Ortiz, R., Sayre, K.D., Govaerts, B., Gupta, R., Subbarao, G.V., Ban, T., Hodson, D., Dixon, J.M., Ortiz, M.J.I., Reynolds, M. (2008). Climate change: can wheat beat the heat? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 126 (1-2), 46-58.
- Schoups, G., Maurer, E.P., Hopmans, G.W. (2008).

تاریخ دریافت: ۹۰/۸/۲۱

تاریخ پذیرش: ۹۱/۸/۲۸

Archive of SID

Assessment of Changes in Yield and Agricultural Water Productivity of Hashtgerd Plain Affected by Climate Change in the Future Periods Using AEZ/GIS Approach

S. Bolouk azari^{1*}, A. R. Massah Bavani², M. Mashal³ and B. Azadegan⁴

Abstract

In this research the impact of climate change on crop yield, and water requirement of the main crops (wheat, barley, corn and alfalfa) has been evaluated in Hashtgerd plain with respect to the uncertainty of Atmospheric Ocean General Circulation Models (AOGCMs). To produce monthly temperature and precipitation scenarios, temperature and precipitation were extracted from nine AOGCMs under the A2 emission scenario (CCSM3, CGCM3, CSIRO Mk3, GFDL CM2.1, GISS ER, HadCM3, ECHAM5, MIROC-med, PCM) in the period 2010-2100 AD. Using Monte Carlo and weighting methods, 2000 time series of temperature and precipitation scenarios were produced for each cell (5°×5°) in the whole plain. Afterwards, these scenarios were downscaled by change factor method for the area. Finally, using AEZ/GIS and Hargreeves-samani approach, the potential yield, and the crop evapotranspiration was assessed in the region in the period 2010-2100. The agricultural water productivity was also studied in this plain. The results were depicted in range of variation in each period. On the whole, variation of the results revealed the enhancement of water requirement and reduction of the yield in the future periods in this area. Water requirement increase in wheat 15-28, maize 9-14, alfalfa 18/6-34/7 and barely 10-21 millimeter in each periods to 2100 year. On the other hand the range of decrease for wheat, barely, alfalfa and maize will be 50-138, 44-136, 327-508 and 17-24 kilogram per hectare respectively. The results also showed decrease in variation of water productivity in all crops in future periods. Furthermore, in this regard, alfalfa has had the biggest (104-156 gram per Cubic Meter) and wheat the smallest (55-93) reduction in productivity.

Key words: Uncertainty, Climate change, Potential water productivity, AEZ/GIS

1- Msc student of Irrigation and Drainage, Aboureyhan College, University of Tehran

(* - Corresponding Author Email: sara.bulukazari@yahoo.com)

2,3,4- Assistant Professor, Department of Irrigation and Drainage, Aboureyhan College, University of Tehran