

مقایسه دو مدل گردش عمومی جو (HadCM3, CGCM2) در پیش‌بینی پارامترهای

اقلیمی و نیاز آبی گیاهان تحت تغییر اقلیم

(مطالعه موردی: حوضه کشف‌رود)

نسرین سیاری^{۱*} - امین علیزاده^۲ - محمد بنیان اول^۳ - علیرضا فریدحسینی^۴ - مسعودرضا حسامی کرمانی^۵

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۰/۴/۱۸

چکیده

تغییر اقلیم از طریق تغییر در الگوی بارش، دما و سایر متغیرهای اقلیمی بر رژیم هیدرولوژیکی نواحی مختلف تأثیر گذار است. در این تحقیق، تأثیر گرمایش جهانی بر حداقل و حداکثر دما، الگوی بارش و تبخیر و تعرق گیاهانی نظیر گندم، ذرت، گوجه فرنگی و چغندر قند در حوضه کشف‌رود تحت دو سناریوی انتشار A2 و B2 و دو مدل گردش عمومی جو (HadCM3 و CGCM2) در سه دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. برای ریزمقیاس نمائی از مدل آماری ASD استفاده شد. بارش بسته به نوع مدل استفاده شده افزایش و یا کاهش پیدا کرد. نتایج همچنین نشان دادند که میانگین بارش سالانه با مدل CGCM2 و تحت دو سناریوی A2 و B2 بترتیب ۱۳ و ۱۶ درصد کاهش پیدا می‌کند در صورتی که برای مدل HadCM3 و دو سناریوی A2 و B2 میانگین بارش سالانه ۲ و ۸ درصد بترتیب افزوده می‌شود. دمای حداکثر و حداقل ماهانه پیش‌بینی شده برای هر دو مدل و دو سناریو افزایش یافت. حداکثر افزایش در دمای حداقل و حداکثر با مدل HadCM3 در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ مشاهده شد که بترتیب در محدوده ۵/۸-۲/۴ و ۳/۸-۰/۶ درجه سانتی‌گراد قرار داشتند. برای مدل CGCM2 حداکثر افزایش دمای حداقل و حداکثر ماهانه در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ مشاهده شد که بترتیب در محدوده ۲/۵۹-۰/۰۶ و ۱/۹-۰/۱ درجه سانتی‌گراد قرار داشتند. تبخیر و تعرق پیش‌بینی شده با مدل HadCM3 و با هر دو سناریو برای تمامی دوره‌ها و محصولات افزایش نشان داد در صورتی که در مدل CGCM2 با هر دو سناریو میزان این افزایش بسیار ناچیز بود. مقایسه دو مدل و دو سناریو نشان داد که سناریوی A2 شرایط بحرانی‌تری را برای حوضه پیش‌بینی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، مدل‌های گردش عمومی جو، ریزمقیاس نمائی آماری، تبخیر و تعرق گیاه، حوضه کشف‌رود

مقدمه

علاوه بر تغییر در میانگین متغیرهای اقلیمی، تغییر در مقادیر حدی بارش نسبت به مقادیر گذشته آن نیز از دیگر پیامدهایی است که معنای آن افزایش در شدت وقوع سالهای خشک و همچنین سالهای متوالی وقوع آنها می‌باشد (۲۶). تغییر اقلیم علاوه بر پوشش گیاهی، تولیدات کشاورزی و چرخه هیدرولوژیکی بر منابع آب قابل دسترس و وقوع خشکسالی و سیل نیز تأثیرگذار خواهد بود. تولید محصولات کشاورزی تحت تأثیر تغییر اقلیم (افزایش دمای هوا و غلظت دی-اکسید کربن) افزوده خواهد شد ولی به دلیل تأثیر منفی بر آب فراهم و میزان بارش بر پایداری تولید در مناطق خشک و نیمه خشک تأثیری منفی بر جای خواهد گذاشت. شناخت نوسانات زمانی و مکانی پارامترهای هواشناسی (نظیر دما، بارش، رطوبت نسبی، ...) و تأثیر آن بر بخش کشاورزی جهت مدیریت منابع آبی و کشاورزی و اتخاذ استراتژی‌های مناسب بسیار ضروری می‌باشد. بارش از طریق تأمین

میانگین دمای سطح زمین بر اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای در حال افزایش می‌باشد، بطوریکه بررسی‌های اخیر هیات بین‌دولت تغییر اقلیم^۶ افزایش میانگین دمای جهانی را ۰/۷۶ درجه سانتی‌گراد در قرن گذشته و ۶/۴ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی می‌کنند.

۴ و ۲۱- به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(*) نویسنده مسئول: Email: nasrin_sayari@yahoo.com

۳- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۵- استادیار گروه مهندسی عمران دانشگاه شهیدباهنر کرمان

6- IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

محاسبه هر یک از متغیرهای اقلیمی نیازمند محاسبه، ذخیره و تکرار محاسبات در هر یک از نقاط شبکه می‌باشند (۶). این مدلها قابل استفاده در مطالعات کاربردی با ابعاد کوچکتر از خود نیستند، برای مثال اغلب مطالعات هیدرولوژیکی با فرایندهای کوچک مقیاس و زیرحوضه‌ای سر و کار دارند که مقیاس آنها بسیار کوچکتر از مقیاسی است که مدل‌های گردش عمومی جو به ما می‌دهند. مدل‌های جهانی برای استفاده در مطالعات هیدرولوژیکی باید ریزمقیاس^۵ شوند (۳۶). دو روش برای

ریزمقیاس نمودن و به دست آوردن اطلاعات در مقیاس محلی یا ناحیه‌ای از سناریوهای اقلیم جهانی تولید شده توسط مدل‌های گردش عمومی جو وجود دارد که عبارتند از روش روش دینامیکی و آماری. در روش اول نیاز به رایانه‌هایی با سرعت بالا داریم ولی روش دوم یعنی آماری را می‌توان بر روی رایانه‌های خانگی انجام داد و روشی سریع و ارزان است. در ریزمقیاس نمایی آماری بیشترین محدودیت مشاهدات ثبت شده می‌باشند (۱۴). در اکثر نقاط دنیا تغییر اقلیم تأثیری منفی بر تولیدات کشاورزی و منابع آبی دارد. شدت این تأثیرات از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر متفاوت است. جهت طراحی طولانی مدت منابع آبی و کشاورزی در روبرویی با اثرات تغییر اقلیم لازم است که تمامی این اثرات در مقیاس زمانی و مکانی کمی شوند (۹). شاه کرمی و همکاران (۵) سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی در حوضه زاینده‌رود را با استفاده از هفت مدل AOGCM^۶ و

سناریوی انتشار A2 تا افق ۲۱۰۰ تولید کردند. مدل‌های بکار رفته عبارتند از:

CCSR-NIES, CGCM2, CSIRO-MK2, ECHAM4,
GFDL-R30, HadCM3, NCAR-DOE PCM

نتایج حاصل از تحقیق آنها نشان داد که مدل‌های CGCM2 بیشترین وزن را در شبیه‌سازی متغیر دما در ماههای زمستان و NCAR برای سایر ماهها را داراست. بر این اساس بیشترین تغییرات دما در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ خواهد بود که دارای محدوده‌ای برابر با ۱/۸-، ۳/۱-، ۳/۱-، ۶/۹-، ۳ و ۲/۳-۶/۵ درجه سانتی‌گراد بترتیب برای فصول بهار تا زمستان است. آنها همچنین نشان دادند که در منطقه مورد مطالعه مدل HadCM3 عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها از خود نشان می‌دهد. بابائیان و همکاران (۲) از مدل ENCHO_G تحت سناریوی A1 برای ارزیابی تغییرات اقلیمی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک ایران با استفاده از روش ریزمقیاس نمایی آماری مدل LARS-WG استفاده کردند. نتایج کلی بررسی‌های آنها برای دهه ۲۰۲۰ نشان دهنده کاهش ۹ درصدی بارش و افزایش میانگین

رطوبت خاک بطور مستقیم بر تولید محصولات دیم مؤثر است و از طریق تغذیه منابع آب سطحی و زیرزمینی تولید فاریاب را بطور غیرمستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهد (۲۰). نیاز آبی گیاهان و میزان تولید در بخش کشاورزی به تغییر در پارامترهای اقلیمی بسیار حساس می‌باشد. تغییر اقلیم بر دما و توزیع بارش تأثیرات متفاوتی دارد که در نتیجه آن بر روی توزیع مکانی و زمانی منابع آبی و همچنین نیاز آبی گیاهان و مصرف آب در بخش کشاورزی مؤثر می‌باشد (۱۲). برای درک ماهیت پیچیده اتمسفر و پیش‌بینی تغییرات آن در آینده مدلی از اقلیم با استفاده از قوانین و روابط ریاضی بین پارامترهای مختلف اتمسفر فراهم نمود و سپس جواب سوالات مختلف را بررسی نمود. به علت پیچیدگی معادلات از نظر ریاضی و تعداد زیاد آنها و نیز پیچیده بودن شرایط مرزی، حل این معادلات به روش تحلیلی امکان پذیر نیست. بنابراین دانشمندان برای حل این معادلات به روش‌های عددی متوسل شدند. ریچاردسون در سال ۱۹۲۲ اولین مدل عددی اقلیمی را معرفی کرد، تا چندین سال این معادلات با دقت پائین و بصورت دستی حل می‌شدند تا اینکه در دهه ۱۹۷۰ با ظهور رایانه‌ها تحول عظیمی در مدل کردن اقلیم بوجود آمد (۸). بطور کلی می‌توان مدل‌های اقلیمی را بر اساس ساختار و نوع عملکرد به چهار نوع تقسیم‌بندی نمود:

۱- مدل‌های توازن انرژی (EBM)^۱: این مدل‌ها دو فرآیند اساسی حاکم بر سیستم اقلیمی (توازن انرژی تابشی را در کل سطح کره زمین، انتقال انرژی بین مدارهای حفاصل قطبها تا استوا) را شبیه‌سازی می‌کنند. این مدل‌ها معمولاً بدون بعد یا حداکثر یک بعدی هستند.

۲- مدل‌های تابشی همرفتی (RCM)^۲: این مدل‌ها علاوه بر موارد بالا جابجایی عمودی انرژی را نیز در نظر می‌گیرند. این مدل‌ها معمولاً یک و دو بعدی هستند. انتقال انرژی در حالت یک بعدی به دو صورت انتقال انرژی تابشی بصورت جذب و پراکنش در اتمسفر و بصورت همرفتی در جهت عمودی در اتمسفر صورت می‌گیرد.

۳- مدل‌های دو بعدی دینامیکی-آماری (SDM)^۳: این مدل‌ها معمولاً دو بعدی بوده و ترکیبی از دو مدل اول می‌باشند. این مدل‌ها سیستم اقلیمی را در دو بعد افقی و عمودی شبیه‌سازی می‌کنند.

۴- مدل‌های گردش عمومی جو (GCM)^۴: این مدل‌ها سه بعدی بوده و قادرند سیستم اقلیمی را با لحاظ نمودن اکثر فرایندها در مقیاس جهانی و یا قاره‌ای شبیه‌سازی کنند. این مدل‌ها برای

- 1- Energy Balance Models
- 2- Radiative-Convective Models
- 3- Statistical-Dynamical Models
- 4- General Circulation Models

5- Downscaling

6- Atmospheric-Ocean General Circulation Model

بارش) از مدل گردش عمومی HadCM3، برای ریزمقیاس نمودن از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری برای دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۹۹-۲۰۷۱ تحت سناریوهای انتشار A2 و B2 استفاده کردند. نتایج آنها نشان دادند که برای دوره زمانی ۲۰۹۹-۲۰۷۱، حجم رواناب برای فصل بارندگی با سناریوهای A2 و B2 بترتیب ۱۱/۶ و ۱۰/۱ درصد کاهش خواهد یافت. آنها همچنین نشان دادند که رواناب فصلی و سالیانه زمانی که دما ۲ درجه سانتی‌گراد افزایش و بارش ۲۰ درصد کاهش یابد، تقریباً ۳۳ درصد کاهش می‌یابد. فریز و همکاران (۱۹) طی تحقیقی تغییر اقلیم و اثرات آن را بر محصولات کشاورزی مدیترانه را مورد بررسی و آنالیز قرار دادند. بر طبق نتایج حاصله عملکرد گندم دوروم برای قرن آینده در اثر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، افزایش دما و کاهش بارش کاسته خواهد شد. این اثرات منفی از عرض‌های جغرافیایی پائین‌تر شروع شده و با افزایش عرض جغرافیایی میزان این اثرات منفی نیز افزوده می‌شود. روی و همکاران (۳۳) تأثیرات تغییر اقلیم و تنش رطوبتی را بر محصولات کشاورزی در جنوب غربی بنگلادش مورد بررسی قرار دادند. آنها تغییر اقلیم را تا سال ۲۰۷۵ تعیین نمودند. بر اساس نتایج حاصله متوسط دما برای سالهای ۲۰۳۰ و ۲۰۷۵ بترتیب ۰/۸۸ و ۲/۴۲ درجه سانتی‌گراد افزوده می‌شوند. افزایش دما در ماههای زمستان بیش از سایر ماههای سال خواهد بود. بر اساس نتایج آنها، افزایش در میانگین بارش سالانه برای سالهای ۲۰۳۰ و ۲۰۷۵ بترتیب برابر ۲ و ۱۰/۱ درصد بود. هارمن و همکارانش (۲۴) بارش، تبخیر و تعرق مرجع (پنمن-مانتیس) را برای چند مکان در پورتوریکو تحت شرایط تغییر اقلیم پیش‌بینی نمودند. داده‌های بارش و دما بصورت آماری و با استفاده از مدل گردش عمومی DOE/NCR PCM تحت سه سناریوی A1، B1 و A2 ریزمقیاس شدند. نتایج آنها نشان داد که فصل بارش مرطوب‌تر و فصل خشکی، خشک‌تر خواهد شد. آنها همچنین نشان دادند که تبخیر و تعرق نیز در ماههای خشک با کاهش بارندگی و افزایش دما افزوده می‌شود. ال مهدی و همکارانش (۱۷) در سال ۲۰۰۹ با محاسبه تبخیر و تعرق تحت شرایط تغییر اقلیم و در دو دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ نشان دادند که نیاز آبی برای دوره اول ۸ درصد و برای دوره دوم ۲۲ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. لیانگ و همکارانش (۲۷) نیز در سال ۲۰۱۰ نشان دادند که پارامترهای اقلیمی نظیر ماکزیمم و میانگین دمای هوا، رطوبت نسبی و ساعات روشنایی از مهمترین متغیرهای اقلیمی مؤثر بر تبخیر و تعرق بوده و با داشتن این متغیرها تبخیر و تعرق برای دوره‌های آینده قابل محاسبه و پیش‌بینی خواهد بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه حوضه کشف‌رود است که در شمال شرق

سالانه دما در حدود ۰/۵ درجه سانتیگراد می‌باشد که بیشترین افزایش ماهانه دما مربوط به ماههای سرد سال است. همچنین استانهای خراسان شمالی، آذربایجان غربی و شرقی با بیشترین افزایش دما در دهه ۲۰۲۰ مواجه خواهند بود. مساح باوانی و مرید (۲۸) تأثیر تغییر اقلیم را در دو دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ بر منابع آبی حوضه زاینده‌رود مورد بررسی قرار دادند. آنها برای ارزیابی تغییر اقلیم بر روی جریان رودخانه به مخزن چادگان، خروجی مدل HadCAM3 (بارش و دمای ماهانه) را تحت دو سناریوی A2 و B2 و برای دوره‌های زمانی انتخاب شده به مقیاس محلی ریزمقیاس نمودند. نتایج آنها نشان داد که برای هر دو دوره میانگین بارش سالانه کاهش و دما افزایش پیدا می‌کند، بدین صورت که بارش از ۱۰ تا ۱۶ درصد کاهش و دما از ۳/۲ تا ۴/۶ درجه سانتی‌گراد بترتیب برای سناریوهای A2 و B2 افزوده خواهد شد. سلطانی و قلی‌پور (۴) نشان دادند که تحت شرایط تغییر اقلیم در ایران دوره رشد و نیاز آبی گیاهان کاسته خواهد شد. عباسپور و همکاران (۹) مدل CGCM3.1 را تحت سناریوهای انتشار A2 و B2 برای پیش‌بینی بارش و دما در ایران استفاده نمودند. نتایج آنها نشان داد که تغییرات بارش در ماههای پاییز بیشتر از ماههای تابستان خواهد بود. آنها برای دو دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ تحت تمامی سناریوهای مورد استفاده افزایش بارش را در قسمتهای شمالی و جنوبی و کاهش ۴۰ درصدی در بارش را برای مناطق جنوب شرقی کشور پیش‌بینی کردند. آنها میزان افزایش دما را از ۳/۲ تا ۴/۶ درجه سانتی‌گراد بترتیب برای سناریوهای A2 و B2 پیش‌بینی کردند. آنها همچنین نشان دادند که سناریوی A2 بحرانی‌ترین وضعیت را در آینده نشان خواهد داد. سلطانی و سلطانی (۳۵) تغییر اقلیم را در استان خراسان در دوره زمانی ۲۰۰۴-۱۹۵۰ مورد بررسی قرار دادند. آنها روندی افزایشی در حداقل و حداکثر دما را طی دهه‌های گذشته در شهر مشهد به دلیل پیشرفت صنعتی و شهری مشاهده کردند. چانگ و همکارانش (۱۵) تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آبی در جنوب غربی بلغارستان را مورد بررسی قرار دادند. آنها از یک مدل هیدرولوژیکی بر مبنای سنجش از دور و دو مدل اقلیمی (HadCM2 و CCC) در دو دوره زمانی ۲۰۸۵-۲۰۲۵ استفاده کردند. نتایج حاصل از هر دو مدل، حساسیت رواناب به تغییر اقلیم را نشان دادند. آنها نشان دادند که حداکثر رواناب به اوایل بهار منتقل و کاهش زیادتری در رواناب تابستانه (بدلیل کاهش در بارندگی) رخ خواهد داد. ردیگر دیاز و همکاران (۳) اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبیاری را در حوضه رودخانه Guadalquivir در اسپانیا مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از مطالعه آنها به وضوح افزایش در خشکی و نیاز آبیاری را نشان داد. همچنین مدل‌سازی نیاز آبیاری نشان داد که نیاز آبی آبیاری در دوره زمانی ۲۰۷۰-۲۰۴۱ بسته به مکان و الگوی کشت تقریباً ۱۵ تا ۲۰ درصد افزایش خواهد یافت. عبدو و همکاران (۱۰) برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر هیدرولوژی (حداقل و حداکثر دما و

تعرق گیاهانی نظیر گندم، گوجه‌فرنگی، ذرت، چغندر قند (موجود در الگوی کشت حوضه کشف‌رود) برای دوره‌های مذکور با استفاده از معادله هارگریوز و سامانی (۱۹۸۵) محاسبه گردید.

$$ET_o = 0.0135(KT)R_a(TD)^{0.5}(T + 17.8) \quad (3)$$

$$KT = 0.00185(TD)^2 - 0.0433(TD) + 0.4023 \quad (4)$$

$$TD = T_{max} - T_{min} \quad (5)$$

که ET_o تبخیر و تعرق مرجع بر حسب میلی‌متر بر روز و T میانگین دمای ماهانه، T_{min} و T_{max} ترتیب دمای حداکثر و حداقل ماهانه بر حسب درجه سانتی‌گراد می‌باشند. R_a تابش فرازمینی می‌باشد که بر حسب مگاژول بر روز بوده و بر اساس عرض جغرافیایی برای هر ماه عددی مشخص است. برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مورد نظر از معادله زیر استفاده می‌کنیم که در آن Kc ضریب گیاهی می‌باشد:

$$ET_c = ET_o \times Kc \quad (6)$$

مطالعات علیزاده و کمالی (۷) نشان دادند که در اغلب ایستگاه‌های هواشناسی ایران نتایج روش هارگریوز و پنمن نزدیک و دارای همبستگی بالایی می‌باشند. بر اساس نتایج آنها همبستگی این دو روش در مشهد برای میانگین سالانه حدود ۰/۹۹ بدست آمد. برای مقایسه نتایج حاصله از دو مدل و دو سناریوی استفاده شده در مراحل ارزیابی و واسنجی از شاخصهای آماری میانگین مربعات خطاها (MSD^5) و مربع حداقل همبستگی (LCS^6) و ریشه مربعات میانگین میانگین خطاها ($RMSE^7$) استفاده شد (۱۳):

$$MSD = \sum_{i=1}^n (Simulated_i - Observed_i)^2 / n \quad (7)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (simulated_i - Observed_i)^2}{n} \right]^{0.5} \quad (8)$$

$$LCS = 2SD_s SD_m (1 - r) \quad (9)$$

در این معادلات SD_s و SD_m انحراف معیار بین داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده و r ضریب همبستگی داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده می‌باشد. MSD مؤید انحراف کلی پیش‌بینی از مشاهدات است و LCS معرف الگوی زمانی نوسانات مشاهدات و پیش‌بینی‌هاست.

کشور و در شمال استان خراسان بین طول‌های جغرافیایی ۵۸ درجه و ۲ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۸ دقیقه و عرض‌های جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳ دقیقه قرار دارد (شکل ۱). وسعت کل حوضه آبریز کشف‌رود در حدود ۱۶۵۰۰ کیلومتر مربع است که ۵۰۰۰ کیلومتر مربع آن را دشت و بقیه آن را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. میانگین دمای سالانه در این منطقه ۱۳/۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه برابر با ۲۲۰ میلی‌متر می‌باشد. در مناطق کوهستانی میانگین بارش از این مقدار بیشتر می‌باشد بطوری که به ۳۲۴ میلی‌متر می‌رسد. میانگین تبخیر و تعرق سالانه برابر با ۷۳۵ میلی‌متر و اقلیم این منطقه خشک و سرد است.

در این تحقیق از خروجی دو مدل GCM استفاده شد. اولین مدل HadCM3 است که در مرکز تحقیقاتی HCCPR در انگلیس اجرا شده است. این مدل دارای شبکه‌ای با ابعاد ۲/۵ درجه عرض جغرافیایی و ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی است. HadCM3 یک مدل GCM (جفت شده جو-اقیانوسی) است که توسط گردون و همکارانش (۲۲) در سال ۲۰۰۰ ارائه شده است (برای اطلاع بیشتر می‌توانید به میشل و همکاران (۳۰) نیز مراجعه نمایید). مدل بعدی CGCM2 است که دارای شبکه‌ای با ابعاد ۳/۷ درجه عرض جغرافیایی و ۳/۷ درجه طول جغرافیایی می‌باشد و این مدل نیز یک مدل جفت شده جو-اقیانوسی است (۱۸ و ۳۴). این پیش‌بینی‌ها بر اساس سناریوی انتشار A2 (جهانی بسیار ناهمگن با تولید و انتشار متوسط تا بالای دی‌اکسید کربن) و B2 (جهانی همگن با تولید و انتشار پائین تا متوسط دی‌اکسید کربن) انجام شدند (۲۶). در این مطالعه از روش ریزمقیاس‌نمایی آماری (نرم‌افزار ASD) برای تغییر مقیاس زمانی و مکانی داده‌های حداقل، حداکثر و میانگین دما و بارش بعنوان خروجی مدل استفاده شد. این مدل توسط حسامی و همکاران (۲۵) ارائه شده است. با توجه به معیار توصیه شده توسط سازمان جهانی هواشناسی WMO² دوره سی ساله ۱۹۶۱-۱۹۹۰ به عنوان دوره مرجع در نظر گرفته شد. از داده‌های متعلق به ۱۵ سال اول برای واسنجی³ (کالیبراسیون) و از ۱۵ سال بعدی برای اعتبارسنجی⁴ نحوه عملکرد مدل ASD استفاده شد. در این تحقیق ۳ پارامتر هیدرولوژیکی یعنی بارش، دماهای حداکثر، حداقل را با استفاده از نرم‌افزار ASD در سه دوره آماری ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ برای دو مدل HadCM3 و CGCM2 و دو سناریوی A2 و B2 پیش‌بینی شدند. در مرحله بعدی با استفاده از پارامترهای پیش‌بینی شده با دو مدل گردش عمومی جو (CGCM2-HadCM3) و دو سناریوی انتشار (A2-B2)، تبخیر و

5- Mean Squared Deviation
6- Least Correlation Square
7- Root Mean Square Error

1- Hadley Center for Climate Prediction and Research
2- World Meteorological Organization
3- Calibration
4- Validation

نتایج و بحث

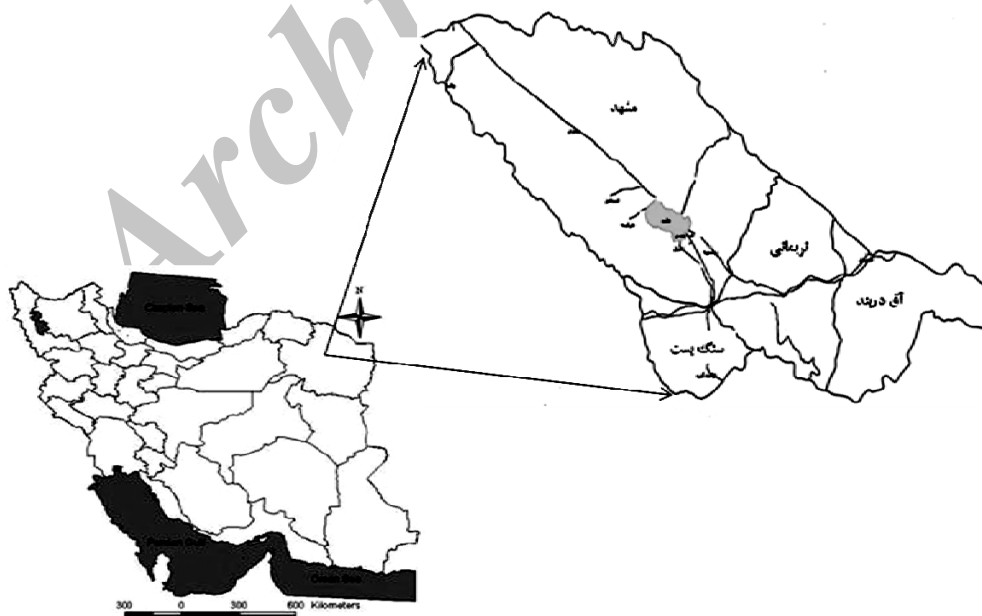
ارزیابی و واسنجی مدل ASD

واسنجی و ارزیابی مدل برای حداقل، حداکثر دما و بارش ماهانه با استفاده از داده‌های روزانه ۱۹۶۱-۱۹۹۰ انجام شد. نتایج آنالیز آماری برای مقادیر مشاهده شده در برابر مقادیر پیش‌بینی شده در جدول ۱ بطور خلاصه آمده است.

حداقل و حداکثر دمای پیش‌بینی شده با استفاده از دو مدل و دو سناریو تطابق خوبی با داده‌های مشاهده شده داشتند. مقادیر RMSE برای کالیبراسیون و اعتبارسنجی بترتیب در محدوده ۰/۰۰۷-۰/۰۳۱ و ۰/۸۲۳-۱/۲۳ قرار داشتند. داده‌های بارش پیش‌بینی شده نیز تطابق خوبی با داده‌های پیش‌بینی شده داشتند ولی مدل HadCM3 تحت سناریوی B2 نسبت به مدل CGCM2 در شبیه‌سازی بارش از دقت بالاتری برخوردار بود. تحت سناریوی A2 دو مدل دارای دقت یکسانی بودند. محدوده مقادیر RMSE برای واسنجی و ارزیابی بارش بترتیب ۰/۲۳-۱/۰۵ و ۰/۳۵۴-۰/۹۶۵ بود. محدوده مقادیر MSD برای کالیبراسیون مدل HadCM3 برابر با ۰-۰/۱ و ضریب همبستگی برای دما و بارش بترتیب برابر ۱ و ۰/۹۲ بود. LCS نیز برای دما و بارش بترتیب دارای محدوده‌ای برابر با ۰/۰۰۱-۰/۰۱۴ و ۰/۰۰۰۸۵-۰/۰۰۴ بود. محدوده مقادیر MSD برای اعتبارسنجی مدل HadCM3 برابر با ۰/۱-۱/۶ و ضریب همبستگی برای دما و بارش بترتیب برابر ۱ و ۰/۸۵ بود. LCS نیز برای دما و بارش بترتیب دارای محدوده‌ای برابر با ۰/۴۳-۱/۵۵ و ۰/۰۴-۰/۱۲ بود. مدل

HadCM3 با دقت دما و الگوی بارش را برای دوره‌های انتخاب شده پیش‌بینی می‌کند. این مقادیر نشان دهنده دقت بالای مدل می‌باشند. نتایج حاصل از کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل HadCM3 نشان دادند که پیش‌بینی‌ها تحت سناریوی B2 نسبت به سناریوی A2 دقت بالاتری داشتند. ولی این تفاوت معنی‌دار نبود ($P < 0.05$). حداکثر دمای پیش‌بینی شده توسط این مدل در ماه‌های گرم نسبت به ماه‌های سرد سال دارای انحراف استاندارد کمتری بود. کالیبراسیون مدل CGCM2 دارای ضریب همبستگی ۱ برای دما و ۰/۹۲ برای بارش می‌باشد. محدوده MSD بترتیب برابر با ۰/۱-۰/۴ و ۰/۰۰۹-۰/۰۳۴ برای دما و بارش بترتیب برابر با ۰/۰۰۲-۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۰۲-۰/۰۰۳ می‌باشد. مقادیر MSD برای اعتبارسنجی این مدل دارای محدوده‌ای برابر با ۰/۱-۱/۳ قرار داشتند. ضریب همبستگی برای دما و بارش بترتیب برابر با ۱ و ۰/۸۵ بود. محدوده LCS برابر با ۰/۲۹-۱/۱۵ و ۰/۲-۰/۷ بود. نتایج کالیبراسیون و اعتبارسنجی دما برای مدل HadCM3 تحت دو سناریو بسیار مشابه و تفاوت آنها بسیار ناچیز بود (جدول ۱).

بارش پیش‌بینی شده در ماه‌های پائیز بیش برآورد و در ماه‌های زمستان و بهار کم برآورد شد که دلیل آن را می‌توان اریب ناحیه‌ای بارش دانست (۲۹). بر همین اساس می‌توان گفت که این مدل در برآورد دما دارای دقت بالاتری نسبت به بارش می‌باشد و دمای پیش‌بینی شده تطابق زیادتری با داده‌های مشاهداتی داشت.



شکل ۱- موقعیت حوضه کشف رود

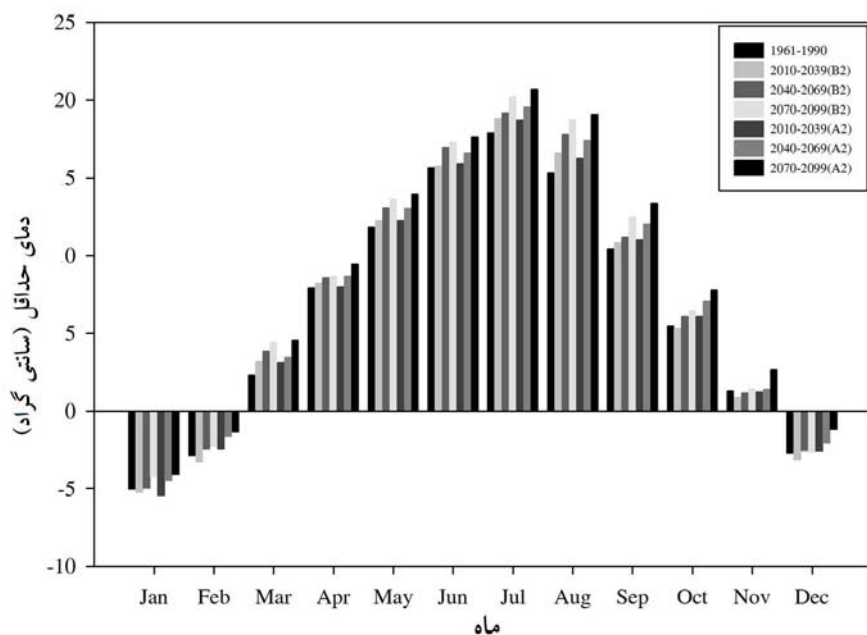
جدول ۱- ارزیابی و واسنجی حداقل، حداکثر دما و بارش ماهانه با مدل‌های CGCM2 و HadCM3 و سناریوهای انتشار A2 و B2

		دمای حداقل ماهانه (°C)													
			Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
HadCM3	A2	کالیبراسیون	پیش بینی شده	-۵/۹۵	-۳/۰۴	۲/۳۸	۷/۴	۱۱/۶۳	۱۵/۲۷	۱۷/۵۶	۱۴/۹۷	۱۰/۲۵	۵/۰۸	۰/۸	-۳/۵۳
		مشاهده شده	-۵/۹۲	-۳/۰۵	۲/۳۸	۷/۴۳	۱۱/۶۲	۱۵/۲۸	۱۷/۵۶	۱۴/۹۸	۱۰/۲۴	۵/۰۷	۰/۷۹	-۳/۵۴	
	اعتبارسنجی	پیش بینی شده	-۶/۱	-۲/۶۸	۲/۴۲	۷/۱۸	۱۱/۹۲	۱۵/۳	۱۸	۱۵/۶۴	۱۰/۴	۴/۸۲	۰/۶	-۳/۳۷	
		مشاهده شده	-۴/۴۷	-۲/۰۳	۲/۴۶	۹	۱۲/۶۳	۱۶/۳۱	۱۸/۹	۱۵/۱۴	۱۰/۰۳	۵/۴۳	۰/۹۹	-۲/۳۸	
CGCM2	A2	کالیبراسیون	پیش بینی شده	-۵/۹۵	-۳	۲/۴۶	۷/۳۷	۱۱/۷۲	۱۵/۲۸	۱۷/۵۵	۱۴/۹۳	۱۰/۲۶	۵	۰/۸	-۳/۲۵
		مشاهده شده	-۵/۸۹	-۲/۷۳	۲/۴۴	۷/۴۵	۱۱/۷۲	۱۵/۳۸	۱۷/۵۶	۱۵	۱۰/۴	۵	۰/۷۴	-۳/۴۷	
	اعتبارسنجی	پیش بینی شده	-۵/۹۵	-۳	۲/۴۶	۷/۳۷	۱۱/۷۲	۱۵/۲۸	۱۷/۵۵	۱۴/۹۳	۱۰/۲۶	۵	۰/۸۰۵	-۳/۲۵	
		مشاهده شده	-۵/۸۹	-۲/۷	۲/۴۷	۷/۴۶	۱۱/۷۵	۱۵/۴۱	۱۷/۷۶	۱۵/۱	۱۰/۴	۵/۰۲	۰/۷۳	-۳/۴۴	

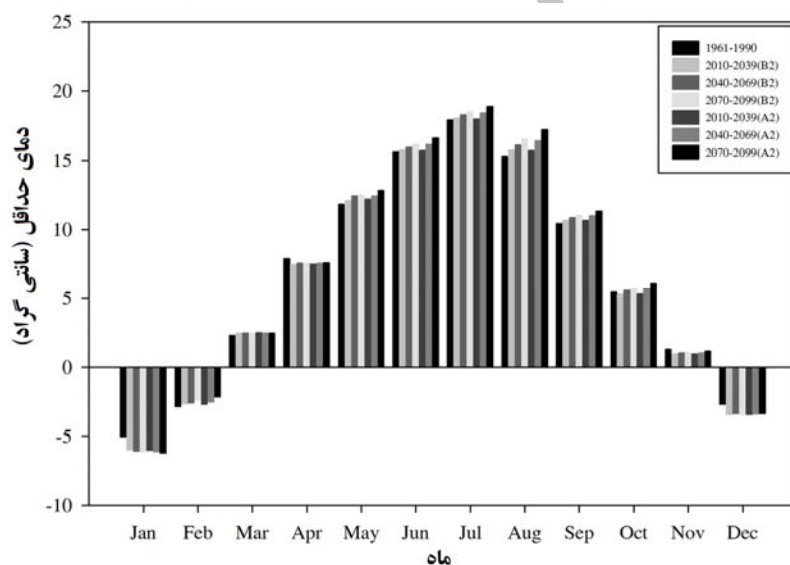
		دمای حداکثر ماهانه (°C)													
			Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
HadCM3	A2	کالیبراسیون	پیش بینی شده	۶/۴۱	۸/۶۷	۱۴/۲۵	۱۹/۸۳	۲۶/۶۱	۳۲/۱۴	۳۳/۹۶	۳۲/۶۱	۲۸/۱۷	۲۲/۱۴	۱۵/۸۳	۹/۳۴
		مشاهده شده	۶/۴۴	۸/۶۷	۱۴/۲۶	۱۹/۸۵	۲۶/۶۲	۳۲/۱۴	۳۳/۹۷	۳۲/۶۲	۲۸/۱۶	۲۲/۱۴	۱۵/۸۳	۹/۳۵	
	اعتبارسنجی	پیش بینی شده	۶/۶۳	۸/۹۳	۱۳/۹	۱۹/۵۵	۲۶/۷	۳۲/۳	۳۴/۶۷	۳۳/۲۵	۲۸	۲۱/۶۴	۱۶/۱۱	۱۰/۴۷	
		مشاهده شده	۶/۸۴	۹/۳	۱۴/۴۱	۲۲/۹۵	۲۷/۷۶	۳۳/۱۶	۳۴/۸۳	۳۲/۶۱	۲۸/۵۲	۲۱/۳۲	۱۴/۶	۹/۱۶	
CGCM2	A2	کالیبراسیون	پیش بینی شده	۶/۴۴	۸/۶۷	۱۴/۲۶	۱۹/۸۶	۲۶/۶۲	۳۲/۱۵	۳۳/۹۶	۳۲/۶۲	۲۸/۱۶	۲۲/۱۳	۱۵/۸۲	۹/۳۳
		مشاهده شده	۶/۴۸	۸/۶۸	۱۳/۹۵	۱۹/۵۵	۲۶/۹۷	۳۱/۹۶	۳۵/۴۸	۳۳/۴۲	۲۸/۱	۲۲/۰۷	۱۶/۲۱	۱۰/۶۳	
	اعتبارسنجی	پیش بینی شده	۶/۴	۸/۶۸	۱۴/۳۴	۱۹/۷۶	۲۶/۷۷	۳۲/۱۴	۳۳/۹	۳۲/۵۸	۲۸/۱۸	۲۲	۱۵/۸۴	۹/۳۶	
		مشاهده شده	۶/۵	۸/۹۳	۱۴/۲۷	۱۹/۸۱	۲۶/۸۳	۳۲/۳	۳۳/۹۵	۳۲/۷۸	۲۸/۳۶	۲۲	۱۵/۹۸	۹/۴۵	
CGCM2	B2	کالیبراسیون	پیش بینی شده	۶/۴	۸/۶۸	۱۴/۳۴	۱۹/۷۶	۲۶/۷۷	۳۲/۱۴	۳۳/۹۶	۳۲/۵۸	۲۸/۱۸	۲۲	۱۵/۸۴	۹/۳۶
		مشاهده شده	۶/۵	۸/۹۶	۱۴/۳۲	۱۹/۸	۲۶/۸۵	۳۲/۳۷	۳۳/۹۵	۳۲/۷۹	۲۸/۳۷	۲۲	۱۶	۹/۴۹	
	اعتبارسنجی	پیش بینی شده	۶/۴	۸/۶۸	۱۴/۳۴	۱۹/۷۶	۲۶/۷۷	۳۲/۱۴	۳۳/۹۶	۳۲/۵۸	۲۸/۱۸	۲۲	۱۵/۸۴	۹/۳۶	
		مشاهده شده	۶/۵	۸/۹۶	۱۴/۳۲	۱۹/۸	۲۶/۸۵	۳۲/۳۷	۳۳/۹۵	۳۲/۷۹	۲۸/۳۷	۲۲	۱۶	۹/۴۹	

		میانگین بارش ماهانه (mm)													
			Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
HadCM3	A2	کالیبراسیون	پیش بینی شده	۲۰/۶	۲۶	۴۷	۴۵	۴۲	۹	۰	۰	۸	۱۶	۳۳	۲۸
		مشاهده شده	۲۴	۲۸	۴۸/۷	۴۴/۸	۲۶/۵	۳	۱	۰/۵	۱	۱۰/۶۷	۱۷	۲۳	
	اعتبارسنجی	پیش بینی شده	۲۱	۲۹/۴	۵۲	۴۶	۴۰	۶/۶	۰	۰	۸/۵	۱۹/۵	۳۰/۳	۲۳/۷	
		مشاهده شده	۴۲	۴۴	۵۶/۷	۵۲/۸	۲۵	۲/۷	۰/۷	۰/۹	۱/۷	۱۲	۱۴/۴	۳۰/۷	
CGCM2	A2	کالیبراسیون	پیش بینی شده	۲۰/۶	۲۶	۵۳	۴۳	۳۷/۶	۶/۳	۰	۰	۸/۶	۲۰	۳۰/۴	۲۳/۲
		مشاهده شده	۲۰/۸	۲۹	۵۳	۴۳	۳۷/۶	۶/۳	۰	۰	۸/۶	۲۰	۳۰/۴	۲۳/۲۴	
	اعتبارسنجی	پیش بینی شده	۲۴	۲۵/۶	۴۴/۶	۴۳/۳	۲۴/۴	۱۴/۴	۱/۲	۰/۸	۱/۲۶	۶/۶۴	۱۵/۳	۲۲/۵	
		مشاهده شده	۲۳/۳	۲۵/۶	۴۵	۴۲	۲۴/۷	۲۸/۳	۱/۳	۰/۵	۱/۲	۶/۵	۱۶	۲۳/۵	
CGCM2	B2	کالیبراسیون	پیش بینی شده	۲۴	۲۶/۳	۴۵/۷	۴۴	۲۶/۸	۱۱	۱/۵	۰	۱	۷/۳	۱۵/۶	۲۱/۹
		مشاهده شده	۲۲	۲۵/۶	۴۴/۵	۴۳	۲۸/۷	۹/۷۴	۱/۶	۰	۱/۴	۶/۹	۱۵/۴	۲۲/۵	
	اعتبارسنجی	پیش بینی شده	۲۴	۲۶/۳	۴۵/۷	۴۴	۲۶/۸	۱۱	۱/۵	۰	۱	۷/۳	۱۵/۶	۲۱/۹	
		مشاهده شده	۲۲	۲۵/۶	۴۴/۵	۴۳	۲۸/۷	۹/۷۴	۱/۶	۰	۱/۴	۶/۹	۱۵/۴	۲۲/۵	

نتایج حاصل از کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل‌های HadCM3 و CGCM2 نشان داد که استفاده از آنها برای پیش‌بینی دما و بارش برای دوره‌های آینده قابل اعتماد می‌باشد.



شکل ۲- دمای حداقل پیش‌بینی شده توسط مدل HadCM3 تحت دو سناریوی انتشار (A2 و B2)



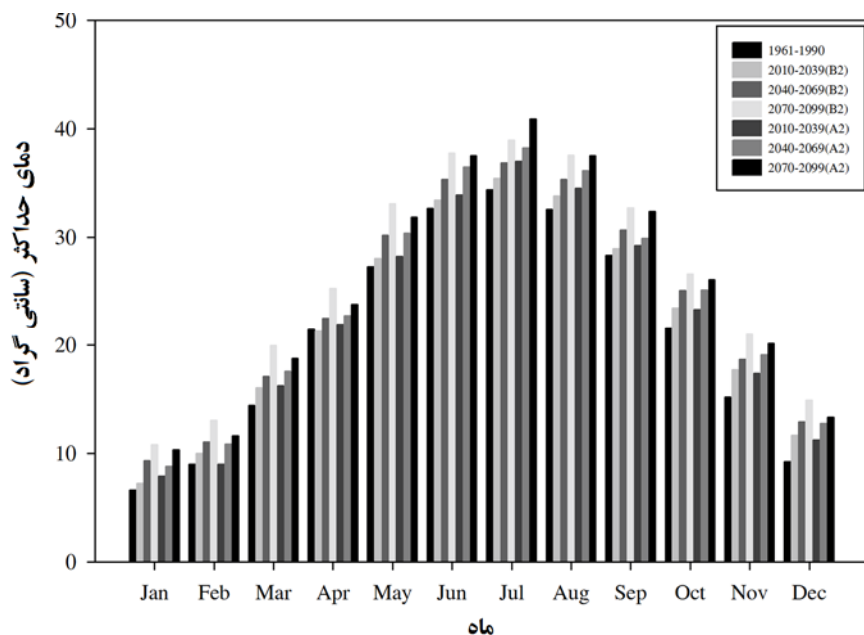
شکل ۳- دمای حداقل پیش‌بینی شده توسط مدل CGCM2 تحت دو سناریوی انتشار (A2 و B2)

پیش‌بینی دما (حداقل و حداکثر) و بارش
 حداقل دمای پیش‌بینی شده برای سه دوره پیش‌بینی ۲۰۳۹ - ۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ و مدل HadCM3 و CGCM2 تحت دو سناریوی A2 و B2 در شکل ۲ و ۳ آورده شده است.
 بر اساس شکل ۲، بالاترین میزان افزایش در دمای حداقل در مدل HadCM3 در تابستان و تحت سناریوی A2 (۳/۷ درجه سانتی‌گراد) مشاهده شد. حداکثر افزایش در دمای حداقل برای دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ تحت سناریوی A2 مشاهده شد که مقدار آن برای فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان دارای محدوده‌ای برابر با ۱/۷، ۱/۴-۱/۸، ۲/۳-۱/۸ و ۱/۸-۱/۱ و برای سناریوی B2 برابر با ۱/۹-۱/۴، ۳/۷-۱/۵، ۵/۵-۲/۳ و ۱-۳/۰ بود. در دوره زمانی ۲۰۹۹-۱۹۹۰، دمای حداقل پیش‌بینی شده توسط مدل HadCM3 تحت سناریوی B2 با سرعت ۰/۳۴-۰/۰۶°C/decade و تحت سناریوی

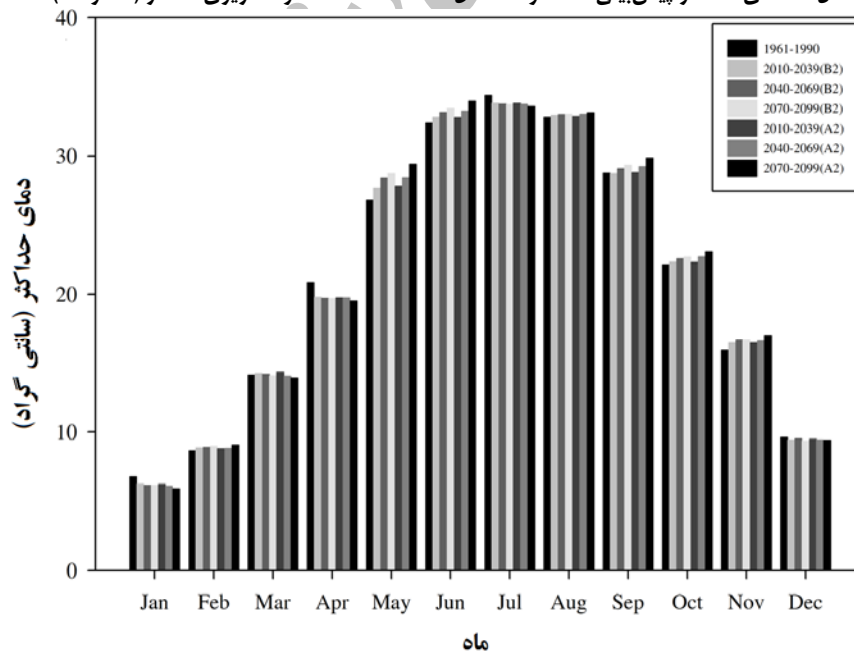
مدلها و دو سناریو افزایش پیدا کرد. افزایش دمای حداکثر تحت سناریوی B2 کمتر از سناریوی A2 بود. سناریوی A2 جهانی ناهمگن با افزایش دائم جمعیت و سناریوی B2 جهانی با تأکید بر پایداری محیط و اجتماع را توصیف می کند (۲۶).

A2 با سرعت $0.1-0.380C/decade$ افزایش می یابد. برای مدل CGCM2 در دوره زمانی مشابه این افزایش تحت سناریوی A2 و B2 بترتیب برابر با $0.2-0.120C/decade$ و $0.190C/decade$ می باشد.

بر اساس شکل های ۴ و ۵، دمای حداکثر برای تمامی دوره ها و



شکل ۴- دمای حداکثر پیش بینی شده توسط مدل HadCM3 تحت دو سناریوی انتشار (A2 و B2)

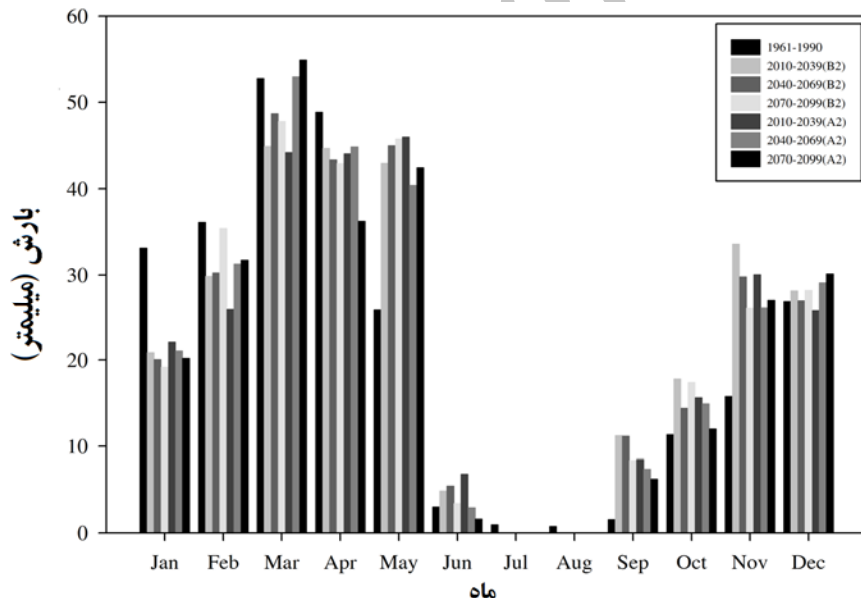


شکل ۵- دمای حداکثر پیش بینی شده توسط مدل CGCM2 تحت دو سناریوی انتشار (A2 و B2)

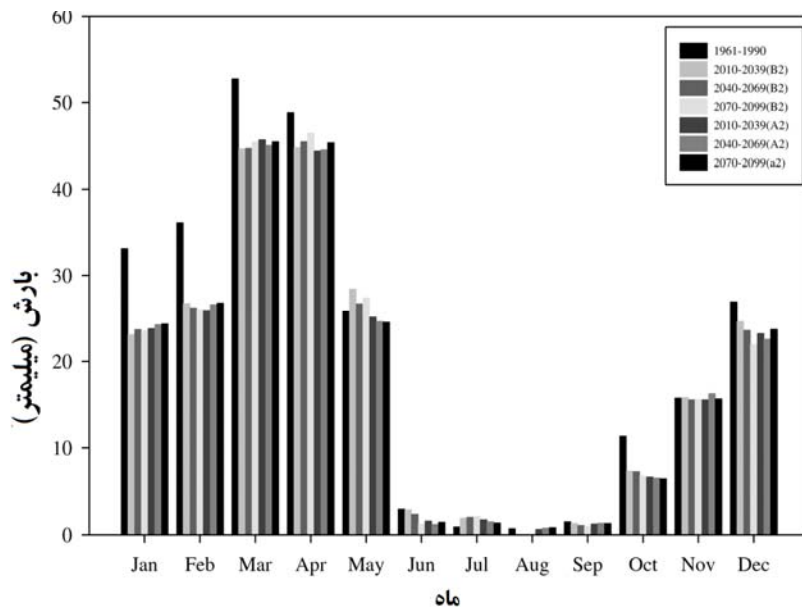
HadCM3 روندی افزایشی داشت. میانگین سالانه بارش تحت سناریوی A2 حدود ۴/۶۴، ۵/۴۲، ۲/۲۲ درصد در دوره‌های ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ نسبت به دوره پایه افزایش پیدا کرد. این میزان افزایش برای سناریوی B2 بترتیب برابر با ۸/۶۳، ۷/۱ و ۶/۸۲ درصد بود. در این مدل میزان افزایش در میانگین بارش سالانه در هر سه دوره نسبت به دوره پایه افزایش نشان داد ولی تفاوت بین سه دوره بسیار ناچیز بود (شکل ۶). میانگین سالانه بارش برای هر سه دوره و تحت دو سناریوی مذکور در مدل CGCM2 کاهش یافت. میانگین سالانه بارش تحت سناریوی A2 حدود ۱۶/۱، ۱۶/۲، ۱۵/۴ درصد در دوره‌های ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ نسبت به دوره پایه کاهش پیدا کرد. این میزان کاهش برای سناریوی B2 بترتیب برابر با ۱۳/۷، ۱۴/۹، ۱۵/۳ درصد بود. در این مدل میزان کاهش در میانگین بارش سالانه در سناریوی B2 کمتر از سناریوی A2 بود. با اینکه بارش سالانه در هر سه دوره نسبت به دوره پایه کاهش نشان داد ولی تفاوت بین این سه دوره بسیار ناچیز بود (شکل ۷).

حداکثر افزایش در دمای حداکثر برای مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 و در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ رخ می‌دهد که برای فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان بترتیب برابر با ۵/۸، ۵-۵/۱، ۵/۴-۵/۸، ۴/۴ و ۴-۵/۶ درجه سانتی‌گراد بود. این محدوده‌ها برای سناریوی B2 نیز بترتیب برابر با ۴/۳-۴/۶، ۴/۸-۴/۹، ۴/۱-۴/۹ و ۳/۸-۴ بودند. تحت سناریوی B2 و مدل HadCM3 بیشترین افزایش در دمای حداکثر در ماه تابستان مشاهده شد، در صورتی که برای سناریوی A2 این حداکثر افزایش در بهار مشاهده گردید. در دوره زمانی ۲۰۹۹-۱۹۹۰، دمای حداکثر پیش‌بینی شده توسط مدل HadCM3 تحت سناریوی B2 با سرعت ۰/۳۹-۰/۵۸°C/decade و تحت سناریوی A2 با سرعت ۰/۲۴-۰/۶۵°C/decade افزایش می‌یابد و برای مدل CGCM2 در دوره زمانی مشابه این افزایش تحت سناریوی A2 و B2 بترتیب برابر با ۰-۰/۱۹°C/decade و ۰/۰۳۳-۰/۲۶°C/decade می‌باشد.

ابراهیمی و همکاران (۱) با بررسی شرایط تغییر اقلیم و تأثیر آن بر نیاز آبی گیاهان در دشت مشهد نشان دادند که دما (حداقل، حداکثر و میانگین) در تمامی ماهها روندی افزایشی داشت. میانگین سالانه بارش برای هر سه دوره و تحت دو سناریوی مذکور در مدل



شکل ۶- بارش پیش‌بینی شده توسط مدل HadCM3 تحت دو سناریوی انتشار (A2 و B2)

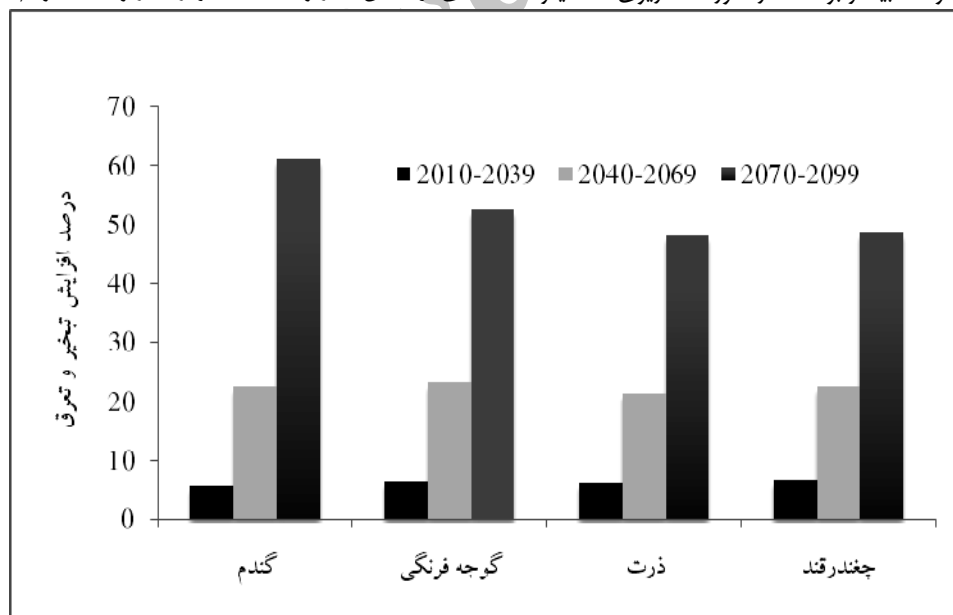


شکل ۷- بارش پیش بینی شده توسط مدل CGCM2 تحت دو سناریوی انتشار (B2 و A2)

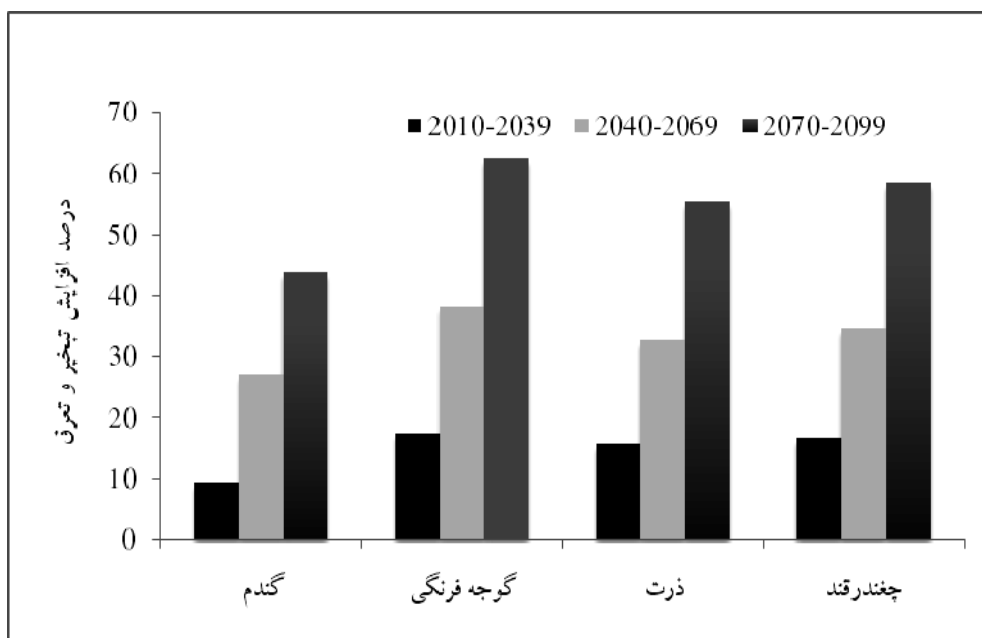
این مورد مشاهده شد. گندیم و همکارانش (۲۱) نشان دادند که نیاز آبی گیاهان در شمال شرق برزیل برای سال ۲۰۴۰ با مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 و B2 بترتیب ۱۸/۷ و ۲۲/۲ درصد نسبت به دوره پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) افزایش پیدا می کند. آنها دلیل افزایش نیاز آبی را افزایش دمای هوا عنوان کردند. میزان افزایش نیاز آبی بر اساس سناریوی A2 بالاتر از سناریوی B2 بود (۲۱).

پیش بینی تبخیر و تعرق گیاهان

همانطور که در شکل های ۸ و ۹ دیده می شود، تبخیر و تعرق در تمامی دوره ها نسبت به دوره پایه افزایش نشان می دهد. افزایش در نیاز آبی گیاهان میان دوره های مورد مطالعه نیز روندی صعودی داشت. در مدل HadCM3 تحت سناریوی A2، افزایش در نیاز آبی گندم نسبت به سایر محصولات بیشتر بود، که در مورد سناریوی B2 نیز



شکل ۸- درصد افزایش تبخیر و تعرق فصلی گیاهان مورد مطالعه در دوره های ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) با مدل HadCM3 تحت سناریوی A2



شکل ۹- درصد افزایش تبخیر و تعریق فصلی گیاهان مورد مطالعه در دوره‌های ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) با مدل HadCM3 تحت سناریوی B2

ردریگز و همکاران (۳۲) افزایش نیاز آبی و خشکی را بر اثر تغییر اقلیم در حوضه رودخانه‌ای^۱ در اسپانیا پیش‌بینی کردند. بر اساس مدل‌سازی نیاز آبی آبیاری، آنها افزایشی حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد در نیاز آبیاری فصلی در دهه ۲۰۵۰ را نشان دادند. رمروا و کیسلروا (۳۱) تبخیر و تعرق را تحت شرایط تغییر اقلیم (HadCM3) و در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ در کوه‌های جیزرا مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که بارش فصلی کمتر و دمای بالاتر هوا در این دوره نیاز آبی را افزایش خواهد داد. باگیس و همکارانش (۱۱) نیز در سال ۲۰۱۰ با بررسی تغییر اقلیم بر نیاز آبی (معادله پنمن) نشان دادند که میزات تبخیر و تعرق در آینده خصوصاً در ماه‌های تابستان افزایش پیدا می‌کند.

نتیجه‌گیری

به علت افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای انتظار می‌رود پدیده تغییر اقلیم در سال‌های آینده رخ دهد. وقوع پدیده‌هایی از قبیل افزایش یا کاهش ناگهانی دما، بارندگی و غیره، طی یک یا چند سال، این گمان را ایجاد می‌کند که وقوع چنین رفتاری را می‌توان بر اثر تغییر اقلیم در منطقه تفسیر نمود. همچنین بررسی‌های طولانی مدت نشان می‌دهد که تنها بعضی از این موارد بر اثر تغییر اقلیم بوده و بسیاری از رفتارهای طبیعی، ناشی از تاثیر انسان بر آنها می‌باشد. هدف اصلی این مطالعه برآورد تغییر در میزان بارش، دما و تبخیر و تعرق برای حوضه کشف‌رود تحت شرایط گرمایش جهانی بود. دماهای

سبزی پرور و همکارانش (۳) نیز نشان دادند که در اقلیم سرد نیمه خشک (همدان) افزایش دمای هوا در طول دوره رشد بطور متوسط موجب ۸/۵ درصد افزایش نیاز آبی گیاه (محاسبه شده با معادله پنمن مانتیت فافو۵۶) تا سال ۲۰۵۰ می‌شود. در مورد مدل CGCM2 و دو سناریو افزایش در میزان تبخیر و تعرق برای محصولات مورد نظر بسیار کم و در برخی موارد بسیار ناچیز بود. در مدل CGCM2 (سناریوی A2) بیشترین افزایش در نیاز آبی گندم و در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ پیش‌بینی شد که برابر با ۵/۵ درصد بود. در سایر موارد افزایش بسیار جزئی بود بدین صورت که تغییری در نیاز آبی گیاهان در دوره‌های آینده پیش‌بینی نشد. در مدل CGCM2 (سناریوی B2) بیشترین افزایش در نیاز آبی گندم و در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ پیش‌بینی شد که برابر با ۲/۶ درصد بود. در سایر موارد نیاز آبی گیاهان کاهش یافت که این کاهش بسیار جزئی بود. یعنی می‌توان گفت در مدل CGCM2 و سناریوی B2 تغییری در نیاز آبی گیاهان در دوره‌های آینده پیش‌بینی نشد. با توجه به مطالعات انجام شده و بررسی روند گذشته تبخیر و تعرق مدل HadCM3 با شرایط اقلیمی ناحیه مورد مطالعه تطابق بیشتر و عملکرد بهتری نسبت به مدل CGCM2 دارد. ال مهدی و همکاران (۱۷) نیز با بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی گیاهان در حوضه زاینده‌رود نشان دادند که نیاز آبی گیاهان در دوره‌های ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ در حدود ۸ و ۲۲ درصد افزوده می‌شود. دل (۱۶) نشان داد که در دو سوم اراضی جهان در دهه‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۷۰ نیاز خالص آبیاری افزایش خواهد یافت.

مورد بارش دو مدل گردش عمومی دارای نتایج متفاوتی بودند. در این مدل میزان افزایش در میانگین بارش سالانه در سناریوی B2 بیشتر از سناریوی A2 بود. با اینکه بارش سالانه در هر سه دوره نسبت به دوره پایه افزایش نشان داد ولی تفاوت بین سه دوره بسیار ناچیز بود. میانگین سالانه بارش برای هر سه دوره و تحت دو سناریوی مذکور در مدل CGCM2 کاهش یافت. میانگین سالانه بارش تحت سناریوی A2 حدود ۱/۱۶، ۲/۱۶، ۴/۱۵ درصد در دوره‌های ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ نسبت به دوره پایه کاهش پیدا کرد. این میزان کاهش برای سناریوی B2 بترتیب برابر با ۷/۱۳، ۹/۱۴ و ۳/۱۵ درصد بود. در این مدل میزان کاهش در میانگین بارش سالانه در سناریوی B2 کمتر از سناریوی A2 بود.

حداقل و حداکثر و میزان بارش با استفاده از خروجی دو مدل گردش عمومی جو (HadCM3 و CGCM2) و دو سناریوی انتشار (A2 و B2) با روش ریزمقیاس نمایی آماری و نرم‌افزار ASD برای دوره‌های زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ پیش‌بینی شدند. برای محاسبه تبخیر و تعرق محصولات انتخاب شده (گندم، ذرت، گوجه‌فرنگی و چغندرقد) از معادله هارریوز-سامانی که برای منطقه مورد نظر اعتبارسنجی شده بود استفاده شد. نتایج حاصله نشان دادند که نرم‌افزار ASD ابزاری مفید جهت تولید مجدد بارش و دما برای آینده می‌باشد. مقایسه داده‌های ریزمقیاس شده برای دمای حداقل و حداکثر نشان داد که مدل ASD تحت سناریوی B2 گرمایش کمتری را نسبت به سناریوی A2 نشان می‌دهد. دمای حداقل و حداکثر پیش‌بینی شده در تمامی موارد نشان دهنده گرمایش جهانی بودند. در

منابع

- ۱- ابراهیمی ح،، علیزاده ا. و جوانمرد س. ۱۳۸۵. بررسی وجود تغییر دما در دشت مشهد بعنوان نمایه تغییر اقلیم در منطقه. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۷۹.
- ۲- بابائیان ا، نجفی نیک ز، حبیبی نوخندان م، زابل عباسی ف،، ادب ح. و ملبوسی ش. ۱۳۸۶. مدل‌سازی اقلیم ایران در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G. کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- ۳- سبزی پرور ع، تفضلی ف،، زارع ایبانه ح،، بانزاد ح،، غفوری م،، موسوی بایگی م. و مریانچی ز. ۱۳۸۷. ارزیابی حساسیت مدل‌های مختلف تبخیر و تعرق مرجع به سیگنال‌های تغییر اقلیم در قلیم سر نیمه خشک همدان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال دوازدهم. شماره ۴۶ (ب). صفحات: ۵۹۲-۵۸۱.
- ۴- سلطانی ا و قلی‌پور م. ۱۳۸۵. شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر رشد، عملکرد و مصرف آب نخود. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. سال سیزدهم. شماره ۲.
- ۵- شاه کرمی ن،، مساح بوانی ع،، مرید س. و فهمی ه. ۱۳۸۶. تحلیل عدم قطعیت مدل‌های جفت شده اقیانوس-اتمسفر-گردش عمومی جو بر سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی در حوضه زاینده رود. کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- ۶- شهبافر ع و قیامی باجگیرانی ع. ۱۳۸۰. پیش‌بینی درازمدت متغیرهای اقلیمی توسط مدل‌های رقومی گردش عمومی و روشهای تبدیل مقیاس خروجی‌های این مدل‌های از مقیاس جهانی به منطقه‌ای. بولتن علمی مرکز اقلیم شناسی. جلد اول. شماره هشتم. صفحات: ۲۲-۱۰.
- ۷- علیزاده ا و کمالی غ. ۱۳۸۱. اثرات تغییر اقلیم بر افزایش مصرف آب کشاورزی در دشت مشهد. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره‌های ۶۵ و ۶۶ صفحات: ۲۰۱-۱۸۹.
- ۸- غیور ح و مسعودیان ا. ۱۳۷۵. درباره اقلیم و مدل‌سازی اقلیمی. مجله نیوار. صفحات: ۵۰-۳۹.
- 9- Abbaspour C.K., Faramarzi M., Seyed ghasemi S., and Yong H. 2009. Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. *Water Research*. 45: 1-16.
- 10- Abdo K.S., Fiseha B.M., Rientjes T.H.M., Gieske A.S.M., and Haile A.T. 2009. Assessment of climate change impacts on the hydrology of Gilgel Abay catchment in Lake Tana Basin. Ethiopia. *Hydrological Processes*. Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/hyp.7363.
- 11- Baguis P., Roulin E., Willems P., and Ntegeka V. 2010. Climate change scenarios for precipitation and potential evapotranspiration over central Belgium. *Theor Appl Climatol*. 99: 273-286.
- 12- Bannayan M., Sanjani S., Alizadeh A., and Lotfabadi S. 2010. Association between climate indices, aridity index, and rain fed crop yield in northeast of Iran. *Field Crops Research Journal* 118(2): 105-114.

- 13- Bannayan M., and Hoogenboom G. 2008. Daily weather sequence prediction realization using the non-parametric nearest-neighbor re-sampling technique. *Int. J. Climatol.* 28 (10), 1357-1368.
- 14- Benestad R.E. 2004. Empirical -Statistical downscaling in climate modeling. EOS, Transactions American Geophysical Union. 85(42): 417, doi: 10.1029/2004EO420002.
- 15- Chang H., Knight C.G., Staneva M.P., and Kostov D. 2002. Water resource impacts of climate change in southwestern Bulgaria. *GeoJournal.* 57: 159-168.
- 16- Doll P. 2002. Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective. *Journal of climate change.* 54: 269-293.
- 17- Elmahdi A.N., Shahkarami S., 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 IMAGS/MODSIM Congress, Australia.
- 18- Falto G., and Boer G.J. 2001. Warming asymmetry in climate change simulations. *Geophysical Research Letters* 28: 195-198.
- 19- Ferrise R., Moriondo M., and Bindi M. 2009. Climate change and projected impacts in agriculture: an example on Mediterranean Crops. *Geophysical Research Abstracts.* Vol (11). EGU2009-7229.
- 20- Fuhrer J. 2003. Agro ecosystem responses to combination of evaluated CO₂, ozone and global climate change. *Agriculture, Ecosystem and Environment.* 97: 1-20.
- 21- Gondim R., Castor M.A., Maia M., and Evangelista S. 2009. Climate change and water requirement at Jaguaribe river basin, semi-arid northeast of Brazil. *IOP Conf. series. Earth and Environmental Science.* Doi; 10.1088/1755-1307.
- 22- Gordon C., Cooper C., Seinor C.A., Banks H., Gregory J.M., Johns T.G., Mitchell J.F.B., and Wood R.A. 2000: The simulation of SST, Sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Center coupled model without flux adjustment. *Clim Dynam.* 16, 147-168.
- 23- Hargreaves G.H., and Samani Z.A. 1985: Reference crop evapotranspiration from temperature. *Appl Eng Agric.* 1(2), 96-99.
- 24- Harmsen E., Miller N.L., Schlegel N.J., and Gonzalez J.E. 2009. Seasonal climate change impacts on evapotranspiration, precipitation deficit and crop yield in Puerto Rico. *Agricultural Water Management.* 96:1085-1095.
- 25- Hessami M., Gachon P., Quarda T.B.M.J., and St-Hilaire A. 2008. Automated regression-based Statistical Downscaling tool. *Environmental Modeling and Software.* 23(6): 813-834.
- 26- IPCC. 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. editors: J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. Van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson. Cambridge. U. K. Cambridge University Press.
- 27- Liang L., Lijuan L., and Qiang L. 2010. Temporal variation of reference evapotranspiration during 1961-2005 in the Taoer river basin of Northeast China. *Agricultural and Forest Meteorology.* 150: 298-306.
- 28- Massah A.R., and Morid S. 2006. Impact of climate change on water resources and food production of zayandeh rud basin. *Iranian journal of water resources.* 1(1): 40-47.
- 29- Maurer E.P., O'Donnell G.M., Lettenmaier D.P., and Roads J.O. 2001. Evaluation of the land surface water budget in NCEP/NCAR and NCEP/DOE reanalysis using an off-line hydrologic model. *Journal Geophysical Research.* 106: 17841-17862.
- 30- Mitchell JFB, Johns TC, Gregory JM, Tett S. 1995. Climate response to increasing levels of greenhouse gases as sulphate aerosols. *Nature* 376: 501-504.
- 31- Remrova M., and Cislrova M. 2010. Analysis of climate change effects on evapotranspiration in the watershed Uhlirska in the Jizera mountains. *Soil and water Research.* 5(1): 28-38.
- 32- Rodriguez Diaz J.A. Weatherhead J.W., Knox E. Camacho. 2007. Climate change impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basin in Spain. *Reg Environ Change.* 7:149-159.
- 33- Roy K., Rahman M., and Kuman U. 2009. Future climate change and moisture stress: Impact on crop agriculture in south-western Bangladesh. *Climate Change and Development Perspective.* 1(1):1-8.
- 34- Salathe E.P. 2003. Comparison of various precipitation downscaling methods for the simulation of stream flow in a rain shadow river basin. *International Journal of Climatology* 23: 887-901.
- 35- Soltani E., and Soltani A. 2008. Climate change of Khaorasan. North-East of Iran during 1950-2004. *Research Journal of Environmental Sciences.* 2(5): 316-322.
- 36- Wilby R.L., and Wigley T.M.L. 1997. Downscaling general circulation model output: a review of methods and limitations. *Progress in Physical Geography.* 21: 530-548.



Comparison of Two GCM Models (HadCM3 and CGCM2) for the Prediction of Climate Parameters and Crop Water Use under Climate Change

(Case Study: Kashafrood Basin)

N. Sayari^{1*}-A. Alizadeh²- M. Bannayan Awal³- A. Farid Hossaini⁴- M.R. Hesami Kermani⁵

Received:

Accepted:

Abstract

The climate change was known to force local hydrology, through changes in the pattern of precipitation, temperature and the other hydrological variables. In this research, the impact of global warming on maximum and minimum temperature, precipitation and evapotranspiration (wheat, corn, tomato and sugar beet) of Kashafrood basin under two climate change scenarios (A2 and B2), and the output of two GCM models (HadCM3 and CGCM2) for three period of times (2010-2039, 2040-2069 and 2070-2099), were investigated. For evaluation two scenarios were downscaled into local level with Automated Statistical Downscaling (ASD) model. Precipitation was expected to decrease and/or increase, depends on applied GCM. The results indicated that the annual precipitation decreased for three periods under CGCM2 model and also for two scenarios (A2 and B2) as much as 13%-16% decreasing, the annual precipitation for three periods under HadCM3 model and two scenarios (A2 and B2) as much as 2%-8% increasing. The maximum and minimum temperatures in the Kashafrood basin was predicted, which increased by CGCM2 and HadCM3 models with two scenarios. Based on the HadCM3 model, maximum and minimum temperatures were expected to increase 2.4 0C to ۵.۸ 0C and 0.6 0C to 3.8 0C, respectively; for 2070-2099 periods. For CGCM2 model, maximum and minimum temperatures were expected to increase 0.06 °C to 2.59 °C and 0.1 °C to 1.9 °C respectively; for 2070-2099. Evapotranspiration under A2 and B2 scenarios and HadCM3 model was increased but increasing in evapotranspiration with CGCM2 model under both scenarios was not significant in many cases. The comparison of two models and also two scenarios indicated that more critical status for A2 scenario by using two GCM models for this basin.

Keywords: Climate change, General circulation model, Downscaling, HadCM3, CGCM2, Kashaf rood basin, Evapotranspiration

1,2,4- PhD Student, Professor, and Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively

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

3- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

5- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman