

صحت‌سنجی مقادیر دما و بارش مدل‌های گردش عمومی در ایستگاه‌های کرمانشاه، روانسر و اسلام‌آباد غرب

منصور حسینی‌خواه^۱، حسین زینی‌وند^{۲*}، علی حقی‌زاده^۲، ناصر طهماسبی‌پور^۲

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

۲. استادیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۱۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۲/۰۷)

چکیده

هدف این مطالعه صحت‌سنجی مقادیر دما و بارش مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای انتشار در ایستگاه‌های کرمانشاه، روانسر و اسلام‌آباد غرب برای دوره آماری ۱۹۸۹-۲۰۰۸ است. ابتدا مقادیر دما و بارش مشاهداتی از سازمان هواشناسی و مقادیر دما و بارش مدل‌ها و سناریوها از پایگاه داده کانادا تهیه شد. سپس از آزمون نیکویی برازش، برای بررسی معناداری مدل‌ها و از معیارهای ارزیابی ضریب تبیین (R^2)، میانگین خطای مطلق (MAE)، ضریب نش-ساتکلیف (NS)، اریبی (Bias) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای تعیین دقت مدل‌ها استفاده شد. همچنین روش وزن‌دهی، برای بررسی عدم قطعیت مدل‌ها و سناریوها به‌کار گرفته شد. مطابق نتایج آزمون نیکویی برازش، همه مدل‌ها در هر سه ایستگاه معنادار بودند. نتایج حاصل از معیارهای ارزیابی و روش وزن‌دهی نشان داد که در ایستگاه کرمانشاه، مدل‌های HADGEM1 و BCM2 به‌ترتیب با میانگین خطای مطلق ۰/۸ و ۰/۸۵ بیشترین کارایی را در شبیه‌سازی داده‌های دما و بارش این منطقه دارند. در ایستگاه روانسر نیز دو مدل ECHO-G و HADCM3 و در ایستگاه اسلام‌آباد مدل ECHO-G با کمترین میانگین خطای مطلق، دارای بیشترین توانمندی به‌ترتیب در شبیه‌سازی دما و بارش هستند. در مجموع برای هر سه ایستگاه، مدل ECHO-G با ضریب وزنی ۰/۲۰ و مدل HADCM3 با ضریب وزنی ۰/۱۵، مدل‌های منتخب به‌ترتیب برای شبیه‌سازی دما و بارش حوضه آبخیز قره‌سو هستند. همچنین سناریوی A2 با ضرایب وزنی ۰/۵۱ برای بارش و ۰/۷۵ برای دما و سناریوی A1B با ضرایب وزنی ۰/۵۷ برای بارش و ۰/۳ برای دما به‌ترتیب سناریوهای منتخب دو مدل ECHO-G و HADCM3 هستند.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، سناریوی انتشار، عدم قطعیت، قره‌سو، مدل گردش عمومی.

مقدمه

صنعتی شدن جوامع و افزایش گازهای گلخانه‌ای^۱ در دهه‌های گذشته سبب افزایش دمای کره زمین و تغییراتی در رژیم بارش، مقدار رواناب، سرعت باد و تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین شده است که در نوشته‌های علمی به آن پدیده تغییر اقلیم^۲ گفته می‌شود [۱۲]. افزایش گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه گاز CO_۲ در نتیجه مصرف سوخت‌های فسیلی، در چند دهه اخیر موجب شده که غلظت این گاز از ۲۸۰ ppm در سال ۱۷۵۰ میلادی به ۳۷۹ ppm در سال ۲۰۰۵ افزایش یابد [۱۳]. هیأت بین دول تغییر اقلیم^۳ با قطعیت زیاد (احتمال ۹۹ درصد) گزارش کرده است که دمای سطح خشکی و آب در کره زمین از قرن نوزدهم تاکنون ۰/۴ تا ۰/۷۸ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است [۱۵]. گزارش‌های هیأت بین دول تغییر اقلیم حاکی از آن است که در صورت ادامه روند کنونی مصرف این سوخت‌ها، غلظت این گاز تا قبل از پایان قرن بیست‌ویکم ممکن است به بیش از ۶۰۰ ppm برسد. این در حالی است که اگر انتشار این گازها کاهش نیابد، متوسط دمای سطحی کره زمین ممکن است به میزان ۱/۱ تا ۶/۴ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۱۰۰ برسد و سبب پدیده تغییر اقلیم شود [۱۴].

تبعات منفی پدیده تغییر به‌حدی است که در بین ده عامل تهدیدکننده بشر در قرن بیست‌ویکم مانند فقر، سلاح‌های هسته‌ای، کمبود غذا و ...، این پدیده مقام اول را دارد. افزایش دمای سطح زمین و تغییرات در الگوهای بارندگی، پدیده‌های غالب در تغییر اقلیم است. این پدیده می‌تواند بر سیستم‌های مختلفی از جمله منابع آب، محیط زیست، صنعت، بهداشت، کشاورزی و کلیه سیستم‌هایی که در کنش با سیستم اقلیم هستند، تأثیر منفی بگذارد [۱۳]. بهترین ابزار برای بررسی و تحقیق تأثیر گازهای گلخانه‌ای بر جو زمین در مقیاس منطقه‌ای، کاربرد مدل‌های گردش عمومی جوی-اقیانوسی^۴ (AOGCM) است [۲۲]. مدل‌های گردش عمومی جو، مدلی هستند که به‌منظور شبیه‌سازی اقلیم حال حاضر کره زمین توسعه داده شده‌اند. این مدل‌ها قادرند تغییرات اقلیم آینده کره زمین را پیش‌بینی کنند. این مدل‌ها برهمکنش بین خاک،

اتمسفر و اقیانوس‌های کره زمین را شبیه‌سازی می‌کنند. ساختار این مدل‌ها بسیار پیچیده است؛ در آنها شبیه‌سازی عددی سه‌بعدی شامل تغییرات و حرکات اتمسفر و همیسفر کره زمین و تبادلات گرمایی و اندرکنش بین یخ و اقیانوس‌ها و خشکی‌های کره زمین انجام می‌گیرد.

در مطالعات تغییر اقلیم، عدم قطعیت‌های^۵ مختلفی بر نتایج نهایی تأثیر می‌گذارند و با نادیده گرفتن هر یک از آنها از اعتبار نتایج کاسته می‌شود [۱۵]. از جمله این عدم قطعیت‌ها می‌توان به عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای پخش گازهای گلخانه‌ای اشاره کرد. برای کاهش عدم قطعیت این مدل‌ها در مطالعات تغییر اقلیم نباید به یک مدل گردش عمومی اکتفا کرد و باید سعی کرد که از نتایج چندین مدل کمک گرفته شود. علاوه بر این، باید در تحقیقات از سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای استفاده کرد [۱۹].

تا کنون مطالعات متعددی برای ارزیابی کارایی مدل‌های گردش عمومی صورت گرفته است. به‌عنوان مثال، مساح بوانی و همکاران در سال ۱۳۸۹ به مقایسه مدل‌های گردش عمومی عرضه‌شده در سومین گزارش هیأت بین دول تغییر اقلیم و روش‌های کوچک‌مقیاس کردن در بررسی تأثیر تغییر اقلیم در حوضه آبخیز زاینده‌رود پرداختند. نتایج نشان داد که صرف استفاده از خروجی یک مدل گردش عمومی جو تحت یک سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای نمی‌تواند نتایج منطقی برای برنامه‌ریزی‌های مربوط به کاهش آثار مخرب پدیده تغییر اقلیم داشته باشد [۳]. جاهد و همکاران به صحت‌سنجی عملکرد مدل‌های گردش عمومی جو در شبیه‌سازی داده‌های دما در منطقه کرمان پرداختند. مشخص شد که مدل‌های BCM2.0, CM3.0, INM, AOM در شبیه‌سازی داده‌های دمای حداقل ماهانه، مدل‌های HadGEM, ECHO-G, MK3.0 در شبیه‌سازی داده‌های دمای میانگین ماهانه و همچنین، مدل‌های PCM, MK3.0, AOM در شبیه‌سازی دمای حداکثر ماهانه دارای بهترین عملکرد بودند [۵]. کمال و مساح بوانی در سال ۱۳۹۰ به ارزیابی مدل‌های چهارمین گزارش ارزیابی (AR4) (2007) و مدل‌های هیدرولوژی در تخمین دما، بارش و رواناب حوضه آبخیز قره‌سو تحت تأثیر تغییر اقلیم پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که در نظر گرفتن عدم قطعیت مربوط به مدل‌های

1. Greenhouse Gases
2. Climate Change
3. International panel of climate change
4. Atmospheric-Ocean General Circulation Models

گردش عمومی و مدل‌های هیدرولوژی موجب تعیین دقیق‌تر تغییرات رواناب در منطقه مطالعاتی می‌شود [۴].

مائورر عدم قطعیت تأثیرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم در کالیفرنیا را با استفاده از یازده مدل چهارمین گزارش ارزیابی هیأت بین دول تغییر اقلیم و تحت دو سناریوی A2 و B1 بررسی کرد. نتایج نشان داد که سناریوهای انتشار آینده، عامل مهمی در حد تأثیر بر منابع آب کالیفرنیا به‌شمار می‌روند [۱۷].

رادیگ و همکاران به ارزیابی کارایی مدل‌های گردش عمومی هیأت بین دول تغییر اقلیم در شبیه‌سازی الگوهای آب وهوایی و اقلیمی آمریکای شمالی پرداختند. نتایج بیانگر این بود که برحسب کارایی نسبی، مدل‌های ECHAM5-MPI-OM, (MRI) CGCM2.3.2 و MIROC3.2(hires) سه مدل برتر بودند [۲۰].

ماسانگانیز و همکاران کارایی مدل‌های گردش عمومی برای پیش‌بینی دما و بارش کشور زیمبابوه را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که این مدل‌ها دما را بهتر از بارش شبیه‌سازی می‌کنند و بنابراین اطمینان بیشتری در شبیه‌سازی بارش وجود دارد. همچنین نتایج حاکی از این بود که کارایی مدل‌های گردش عمومی از

مکانی به مکان دیگر متفاوت و خاص مکانی بودند [۱۶]. سو و همکاران به ارزیابی ۲۴ مدل گردش عمومی جو در شبیه‌سازی دما و بارش فلات تبت در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱ پرداختند. نتایج برای دما نشان داد که مدل‌های گردش عمومی، الگوهای اقلیمی و متغیرهای مکانی اقلیم مشاهداتی را به خود می‌گیرند. برای بارش نیز تنها نیمی از این مدل‌ها توانایی بازتولید الگوی مشاهداتی را داشتند [۲۱].

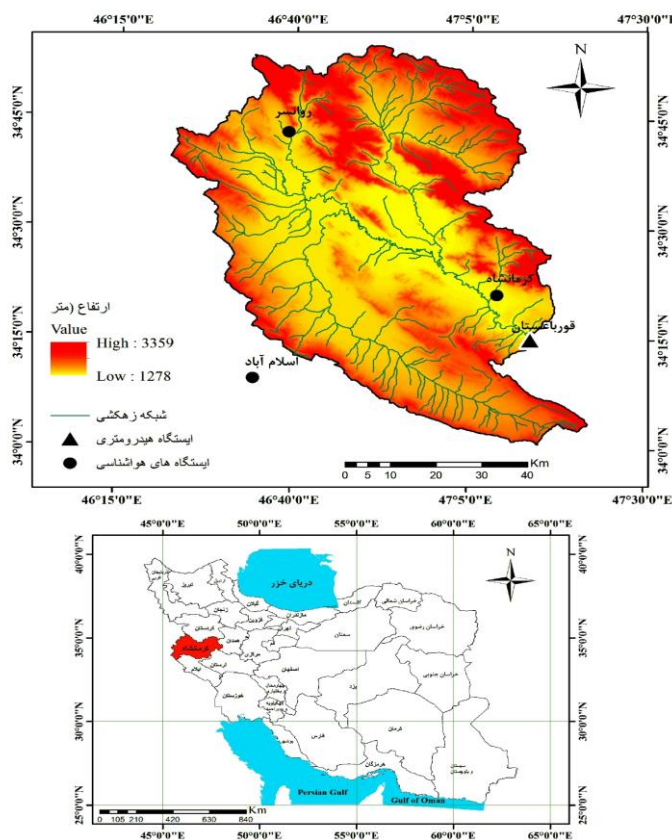
ایران با متوسط بارندگی ۲۶۰ میلی‌متر در سال از کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان و دارای منابع آب محدود است، بنابراین پدیده تغییر اقلیم و آثار آن را می‌توان عمده‌ترین چالش کشور قلمداد کرد. همچنین، در بحث تغییر اقلیم عدم قطعیت‌های مختلفی بر نتایج نهایی تأثیر می‌گذارند که با نادیده گرفتن هر یک از آنها از اعتبار نتایج کاسته می‌شود (کمال و مساح بوانی، ۱۳۹۰). در این پژوهش عدم قطعیت ناشی از کاربرد ده مدل گردش عمومی و سناریوی آنها در دوره آماری ۲۰۰۸-۱۹۸۹ برای ایستگاه‌های کرمانشاه، روانسر و اسلام‌آباد غرب در حوضه آبخیز قره‌سو بررسی و چند مدل و سناریوی برتر معرفی شد.

گردش عمومی و مدل‌های هیدرولوژی موجب تعیین دقیق‌تر تغییرات رواناب در منطقه مطالعاتی می‌شود [۴].

مائورر عدم قطعیت تأثیرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم در کالیفرنیا را با استفاده از یازده مدل چهارمین گزارش ارزیابی هیأت بین دول تغییر اقلیم و تحت دو سناریوی A2 و B1 بررسی کرد. نتایج نشان داد که سناریوهای انتشار آینده، عامل مهمی در حد تأثیر بر منابع آب کالیفرنیا به‌شمار می‌روند [۱۷].

رادیگ و همکاران به ارزیابی کارایی مدل‌های گردش عمومی هیأت بین دول تغییر اقلیم در شبیه‌سازی الگوهای آب وهوایی و اقلیمی آمریکای شمالی پرداختند. نتایج بیانگر این بود که برحسب کارایی نسبی، مدل‌های ECHAM5-MPI-OM, (MRI) CGCM2.3.2 و MIROC3.2(hires) سه مدل برتر بودند [۲۰].

ماسانگانیز و همکاران کارایی مدل‌های گردش عمومی برای پیش‌بینی دما و بارش کشور زیمبابوه را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که این مدل‌ها دما را بهتر از بارش شبیه‌سازی می‌کنند و بنابراین اطمینان بیشتری در شبیه‌سازی بارش وجود دارد. همچنین نتایج حاکی از این بود که کارایی مدل‌های گردش عمومی از



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز قره‌سو و ایستگاه‌های بررسی شده

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه تحقیق

استان کرمانشاه در محدوده حوضه‌های آبخیز کرخه علیا و سیروان و رودخانه‌های مرزی واقع شده است. هر یک از حوضه‌های آبخیز به زیرحوضه‌هایی تقسیم می‌شود که حوضه آبخیز قره‌سو از زیرحوضه‌های کرخه است. حوضه آبخیز قره‌سو در شمال‌غربی حوضه کرخه (شکل ۱) بین ۳۴ درجه و صفر دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۲ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۴۳ درجه و ۵۲ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. مهم‌ترین رودخانه این حوضه، قره‌سو نام دارد که طول آن از سرچشمه رودخانه مرک در حدود ۲۱۵ کیلومتر است و مساحت حوضه آبخیز آن ۵۲۸۶ کیلومتر مربع و حداکثر و حداقل ارتفاع آن به ترتیب ۳۳۵۹ و ۱۲۷۸ متر است. متوسط بارندگی سالیانه آن ۴۳۴ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۴/۶ درجه سانتی‌گراد است. بنابراین، براساس روش دومارتن اقلیم منطقه نیمه‌خشک است.

داده‌های به‌کاررفته در تحقیق

در این مطالعه از دو نوع داده استفاده شده است: ۱. داده مشاهداتی، ابتدا داده‌های اندازه‌گیری‌شده دما و بارش ایستگاه‌های سینوپتیک کرمانشاه، روانسر و اسلام‌آباد غرب که موقعیت آنها در جدول ۱ ارائه شده است از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۸ جمع‌آوری و به‌عنوان دوره پایه انتخاب شد؛ ۲. داده مدل‌های گردش عمومی، داده دما و بارندگی ده مدل گردش عمومی و سناریوهای انتشار نیز برای همین دوره از پایگاه داده محیط زیست کانادا استخراج شد [۱۰]. چون در این پایگاه داده، از سال ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۹ داده دما و بارش مدل‌های گردش عمومی بدون درنظر گرفتن سناریوهای انتشار تولید می‌شود، این دوره برای ارزیابی

توانمندی مدل‌ها و دوره آماری ۲۰۰۸-۲۰۰۰ که در آن خروجی این مدل‌ها تحت سناریوهای انتشار تهیه می‌شود، برای ارزیابی سناریوهای انتخاب شد.

مدل‌های گردش عمومی

ساختار مدل‌های گردش عمومی بسیار پیچیده است؛ در آنها شبیه‌سازی عددی سه‌بعدی شامل تغییرات و حرکات اتمسفر و همیسفر کره زمین و تبادلات گرمایی و اندرکنش بین یخ و اقیانوس‌ها و خشکی‌های کره زمین اجرا می‌شود [۲۳]. بیشتر مدل‌های گردش عمومی افزایش دما و تغییر در الگوی بارش را برای نقاط مختلف این کره پیش‌بینی کرده‌اند و همه این مدل‌ها تأکید کرده‌اند که تا پایان قرن حاضر، تغییرات اقلیم کره زمین در اثر پدیده گرمایش جهانی وجود خواهد داشت [۷]. مدل‌های گردش عمومی خود به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: مدل‌های AGCMs که برهمکنش اتمسفر را در نظر می‌گیرند و مدل‌های OGCMs که برهمکنش اقیانوس‌ها را در نظر می‌گیرند و به‌طور معمول مدل‌های گردش عمومی ترکیبی از دو دسته AGCMs و OGCMs را شامل می‌شوند [۱۱]. نسخه‌های گوناگونی از مدل‌های AOGCM عرضه شده است که از آن جمله می‌توان به مدل‌های اولین گزارش ارزیابی هیأت بین دول تغییر اقلیم تحت عنوان FAR (1990)، مدل‌های دومین گزارش با عنوان SAR (1996)، مدل‌های سومین گزارش با عنوان TAR (2001) و مدل‌های چهارمین گزارش ارزیابی با عنوان AR4 (2007) اشاره کرد. مدل‌های گردش عمومی که در این تحقیق استفاده شده‌اند زیرمجموعه‌ای از مدل‌های چهارمین گزارش ارزیابی AR4 هستند که در سال ۲۰۰۷ منتشر شد (جدول ۲).

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های بررسی‌شده

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول	عرض	ارتفاع (متر)
۱	کرمانشاه	سینوپتیک	۴۷°۰۹'	۳۴°۲۱'	۱۳۱۲
۲	روانسر	سینوپتیک	۴۶°۳۹'	۳۴°۴۳'	۱۳۵۲
۳	اسلام‌آباد	سینوپتیک	۲۸°۰۴۶'	۳۴°۰۷'	۱۳۴۳

جدول ۲. مشخصات ده مدل گردش عمومی استفاده‌شده در این تحقیق (IPCC-AR4)

ردیف	نام مدل	سازمان مؤسس	کشور	سناریوها	قدرت تفکیک اتمسفری (تعداد لایه‌ها، طول×عرض)
۱	BCM2	BCC	نروژ	A1B, B1	۱/۹° × ۱/۹° .L۳۱
۲	CNRM-CM3	CNRM	فرانسه	A1B, A2	۲/۸° × ۲/۸° .L۴۵
۳	CSIRO-M	CSIRO	استرالیا	A1B, B1	۱/۹° × ۱/۹° .L۱۸
۴	ECHO-G	KMA	آلمان و کره	A1B, A2, B1	۳/۹° × ۳/۹° .L۱۹
۵	FGOALS	LASG	چین	A1B, B1	۲/۸° × ۲/۸° .L۲۶
۶	GFDL-CM	GFDL	آمریکا	A1B, A2, B1	۲° × ۲/۵° .L۲۴
۷	HADCM3	MOHC	انگلستان	A1B, A2, B1	۲/۵° × ۳/۷۵° .L۳۸
۸	HADGEM	MOHC	انگلستان	A1B, A2	۱/۲۵° × ۱/۹° .L۳۸
۹	IPSL-CM4	IPSL	فرانسه	A1B, A2, B1	۲/۵° × ۳/۷۵° .L۱۹
۱۰	NCAR-PC	NCAR	آمریکا	A1B, A2	۲/۸° × ۲/۸° .L۱۸

سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای

گزارش ویژه سناریوهای انتشار (SRES)^۱ در واقع نام اختصاری گزارش ویژه‌ای است که توسط هیأت بین دول تغییر اقلیم در سال ۲۰۰۰ منتشر شد. در این گزارش، هیأت بین دول تغییر اقلیم ۴۰ سناریو را برای آینده جهان ارائه کرد که در چهار شاخه اصلی یا خانواده سناریوها قرار داشتند [۶]. در این پژوهش از سناریوهای انتشار A2, A1B و B1 استفاده شده است که در این سناریوها به ترتیب حالت‌های متعادل، اغراق آمیز و خوش بینانه برای وضعیت اقلیمی دهه‌های آینده فرض شده است.

آزمون و ارزیابی مدل‌های گردش عمومی

در این مطالعه برای مقایسه عملکرد مدل‌ها با یکدیگر، آزمون نکویی برازش در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گرفت. سپس برای ارزیابی دقت خود مدل‌های برازشی بر اساس مقدار واقعی ثبت‌شده در ایستگاه‌ها، معیارهای ارزیابی ضریب تبیین (R^2), میانگین خطای مطلق (MAE), ضریب نش- ساتکلیف (NS), اریبی (Bias), میانگین اریبی اشتباهات (MBE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) محاسبه شد. این ضرایب با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2} \quad (۱)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}_i)(S_i - \bar{S}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}_i)^2 \sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S}_i)^2}} \quad (۲)$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - S_i) \quad (۳)$$

$$Bias = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - O_i) \quad (۴)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (۵)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |S_i - O_i| \quad (۶)$$

که در آنها S_i و O_i به ترتیب بیانگر پارامتر مدل و دیدبانی شده‌اند. N نشان‌دهنده تعداد مقادیر دما یا بارش شبیه‌سازی شده هر مدل است.

بررسی عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو و

سناریوهای انتشار

یکی از روش‌های بررسی عدم قطعیت مدل‌های اقلیمی و سناریوهای انتشار، روش وزن‌دهی پارامترهای مدل‌سازی شده است که بر طبق آن، مدل‌های منتخب براساس میزان انحراف پارامتر هواشناسی شبیه‌سازی شده در دوره پایه از میانگین داده‌های مشاهداتی این دوره، طبق رابطه ۳ وزن‌دهی می‌شوند. در حقیقت براساس این روش، هر مدل که وزن بیشتری در مدل‌سازی گذشته منطقه داشته باشد، انتظار می‌رود در

جدول ۶ مقادیر شاخص‌های آماری محاسبه‌شده برای بررسی دقت هر یک از مدل‌های گردش عمومی در ایستگاه کرمانشاه را نشان می‌دهد. براساس شاخص‌های آماری نشان‌داده‌شده، در منطقه کرمانشاه مدل HADGEM1 و BCM2 به ترتیب با ضرایب میانگین خطای مطلق (MAE) ۰/۸ و ۰/۸۵ بیشترین کارایی را در شبیه‌سازی داده‌های دمای متوسط و بارش این منطقه داشته‌اند. بیشترین خطا در شبیه‌سازی دمای متوسط و بارش به میزان ۶ و ۱/۳ به ترتیب به دو مدل BCM2 و GFDL-CM2.1 مربوط می‌شود و در نتیجه این مدل‌ها برای این منطقه توصیه نمی‌شوند. در منطقه روانسر مدل ECHO-G و HADCM3 به ترتیب با ضرایب میانگین خطای مطلق ۰/۷ و ۰/۵۵ دارای بیشترین توانمندی در شبیه‌سازی داده‌های دمای متوسط و بارش است. بیشترین خطا در شبیه‌سازی دمای متوسط و بارش به میزان ۳/۹ و ۱/۱ به ترتیب به دو مدل HADGEM1 و BCM2 مربوط می‌شود. همچنین در منطقه اسلام‌آباد غرب کمترین مقدار میانگین خطای مطلق در شبیه‌سازی دمای متوسط و بارش به ترتیب به اندازه ۱ و ۰/۴ و مربوط به مدل ECHO-G بوده است. دو مدل GFDL-CM2.1 و BCM2 با خطای ۵/۱ و ۰/۹ به ترتیب دارای بیشترین خطا در شبیه‌سازی دما و بارش هستند و برای این منطقه توصیه نمی‌شوند.

مدلسازی آینده هم‌کم‌وبیش همان وزن را داشته باشد و بنابراین به‌عنوان مدل بهینه انتخاب خواهد شد [۸].

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

که در آن، W_i وزن به‌دست‌آمده در ماه مورد نظر و ΔT_i انحراف میانگین طولانی‌مدت پارامتر اقلیمی شبیه‌سازی‌شده توسط هر یک از مدل‌ها در دوره پایه از میانگین داده‌های مشاهداتی و N تعداد مدل‌های گردش عمومی است.

یافته‌ها

نتایج آزمون و ارزیابی مدل‌های گردش عمومی

نتایج مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده مدل‌ها در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. با توجه به طولانی بودن دوره آماری و تعدد مدل‌ها و حجم زیاد نمودارها و جدول‌ها، در اینجا به نمودارها و جدول‌های ایستگاه کرمانشاه اکتفا شده است.

جدول ۵ و شکل ۲ نتایج آزمون نیکویی برازش برای هر یک از مدل‌ها در ایستگاه کرمانشاه را نشان می‌دهند. نتایج بیانگر این است که همه مدل‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادارند و قابلیت شبیه‌سازی دما و بارش ایستگاه مورد مطالعه را دارند. نتایج این آزمون برای ایستگاه‌های روانسر و اسلام‌آباد غرب نیز نشان از معناداری مدل‌ها دارد.

جدول ۳. مقایسه مقادیر میانگین دمای سالانه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در ایستگاه کرمانشاه

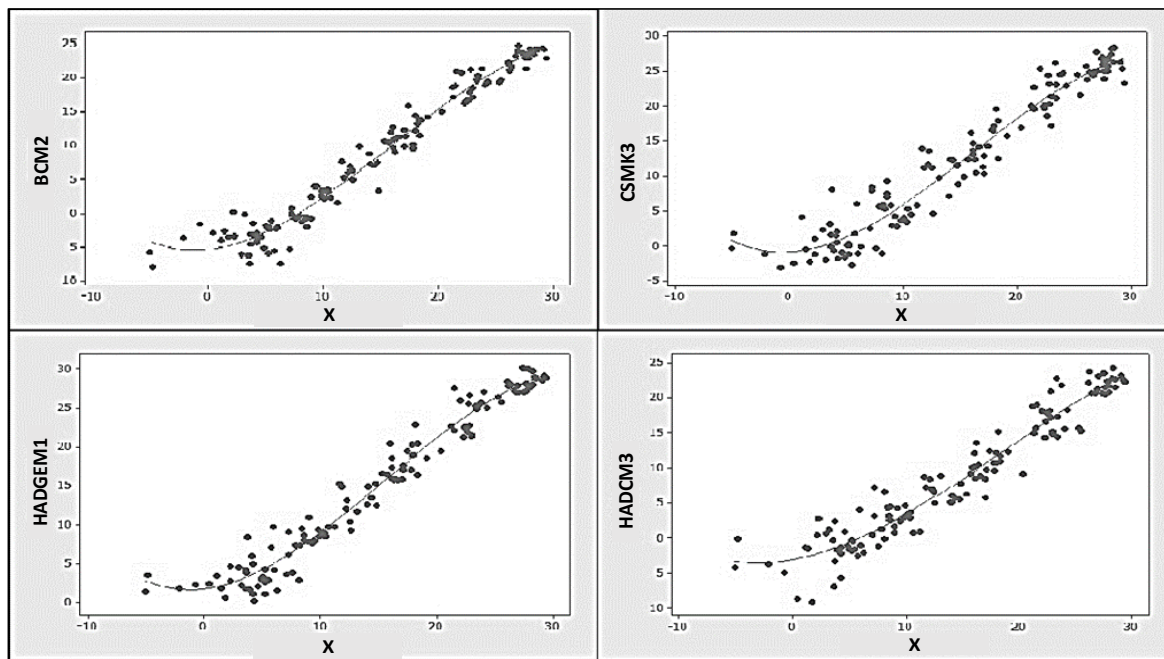
سال	مشاهداتی (°C)	PCM	CM4	HADGEM1	HADCM3	CM2.1	FGOALS	ECHO	MK3	CM3	BCM2
۱۹۸۹	۱۳/۶	۹/۶	۱۴/۲۴	۱۴/۹۴	۹/۱۷	۱۸/۸۲	۱۳/۷۹	۱۳/۵۷	۱۲/۳۷	۱۰/۵۷	۸/۱۲
۱۹۹۰	۱۴/۵	۹/۶۷	۱۲/۶۱	۱۵/۴۲	۱۰/۱۳	۱۹	۱۴/۲۶	۱۳/۵۷	۱۲/۹	۱۰/۸۸	۸/۴۵
۱۹۹۱	۱۵/۱	۹/۵۳	۱۳/۴۷	۱۴/۶۸	۹/۳	۱۹	۱۳/۷۷	۱۲/۷	۱۲/۲۷	۱۱/۱۹	۸/۶۴
۱۹۹۲	۱۲/۹۹	۸/۷۵	۱۳/۹۷	۱۵	۸/۳۶	۱۸/۱	۱۳/۳۳	۱۲/۸۳	۱۲/۳۱	۱۰/۶	۸/۶۱
۱۹۹۳	۱۴/۴۲	۹	۱۳/۳۱	۱۴/۸۲	۸/۲	۱۸/۵۷	۱۴/۵۸	۱۲/۹۲	۱۱/۹۹	۱۱	۸/۸۹
۱۹۹۴	۱۵/۱۳	۹/۲۹	۱۳/۵۲	۱۴/۷۴	۸/۵۳	۱۸	۱۳/۶۹	۱۳/۲۴	۱۱/۴۲	۱۱	۸/۵۶
۱۹۹۵	۱۴/۹۴	۹/۲	۱۴/۲۴	۱۵/۲۲	۹/۶	۱۸/۷۹	۱۳/۴۲	۱۳/۴	۱۲/۵۲	۱۰/۹۲	۹
۱۹۹۶	۱۵/۶	۹/۷۴	۱۴	۱۴/۶	۱۰/۱۴	۱۷/۷۹	۱۴/۱۶	۱۳/۱۹	۱۲/۴۸	۱۰/۶۵	۹/۶۳
۱۹۹۷	۱۴/۷۷	۹/۵۳	۱۳/۹۳	۱۵/۵۷	۸/۹۷	۱۸/۲۵	۱۳/۴	۱۳/۷۳	۱۲/۱۱	۱۱/۱۲	۸/۵۹
۱۹۹۸	۱۵/۹۵	۹/۸۵	۱۳/۲۷	۱۵/۶۸	۷/۸۸	۱۸/۶۹	۱۳/۹۵	۱۴/۳۸	۱۲/۶۱	۱۱/۷۴	۹/۴۷
۱۹۹۹	۱۶/۲۱	۹/۸۶	۱۴/۱۵	۱۴/۶۹	۸/۱۳	۱۹/۲۶	۱۴/۱۴	۱۳/۲۱	۱۱	۹/۹۱	۹

جدول ۴. مقایسه مقادیر میانگین بارش سالانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه کرمانشاه

سال	مشاهداتی (mm)	BCM2 (mm)	CNCM3 (mm)	CSMK3 (mm)	FGOALS (mm)	GFCM2.1 (mm)	HADCM3 (mm)	HADGEM (mm)	IPC4 (mm)	ECHO-G (mm)	NCPCM (mm)
۱۹۸۹	۱/۲	۰/۵۹	۱/۱۳	۰/۸۳	۰/۹۶	۰/۵۷	۱/۱۴	۰/۸۹	۰/۲۳	۰/۷۳	۰/۳۳
۱۹۹۰	۰/۷	۱/۱۲	۰/۹۹	۰/۵۸	۰/۵۷	۰/۳۷	۰/۸۱	۰/۵۶	۰/۴	۰/۷۶	۰/۲۹
۱۹۹۱	۱	۱	۰/۷	۱	۰/۷۵	۰/۵۷	۰/۷۹	۱/۲۷	۰/۴۸	۰/۸	۰/۳۷
۱۹۹۲	۱/۳	۰/۹۶	۱	۱	۰/۷۳	۰/۲۳	۱/۲۳	۰/۵۷	۰/۳۵	۰/۸۱	۰/۴۴
۱۹۹۳	۱/۶۱	۱	۱	۱	۰/۶۴	۰/۱۱	۱/۲۲	۱	۰/۶	۰/۸۴	۰/۴۴
۱۹۹۴	۱/۹۲	۱/۹۱	۰/۳۵	۱/۱۱	۰/۸۳	۰/۲۳	۲	۰/۶۶	۰/۲۵	۰/۵۹	۰/۳۵
۱۹۹۵	۰/۵۹	۱/۲۳	۱	۰/۵۹	۰/۹	۰/۶	۱/۳۴	۱/۱۱	۰/۴۹	۰/۷۴	۰/۵
۱۹۹۶	۱/۴۲	۰/۶۳	۱/۱	۱/۱۷	۰/۵۷	۰/۴۵	۱/۲	۱	۰/۳۴	۰/۶۵	۰/۴۹
۱۹۹۷	۱/۲	۰/۹۷	۰/۷	۰/۴۲	۰/۵۸	۰/۲۹	۲/۲۳	۰/۸۳	۰/۲۶	۰/۶۲	۰/۲۸
۱۹۹۸	۰/۹۸	۰/۹۹	۱/۴۵	۰/۶۲	۰/۸۷	۰/۱۸	۱/۳۸	۰/۶۷	۰/۵۷	۰/۵۴	۰/۲۳
۱۹۹۹	۰/۸۶	۰/۶۸	۱/۱۷	۱/۳۸	۰/۵۲	۰/۱۸	۱/۶۳	۱/۱۴	۰/۲۸	۰/۹۲	۰/۴۳

جدول ۵. نتایج آزمون نیکویی برازش مدل‌های گردش عمومی مطالعه‌شده

بارش			دما		
H	معادله مدل برازشی	F	H	معادله مدل برازشی	F
معنی دار	$BCM2=0/3281+1/355X-0/4011X^2+0/0306X^3$	۱۵/۹۹	معنی دار	$BCM2=-5/392+0/1829X+0/0737X^2-0/0015X^3$	۱۲۹۱/۸۲
معنی دار	$CNCM3=0/8511+0/0915X+0/0233X^2-0/0043X^3$	۱۱/۸۹	معنی دار	$CNCM3=-4/224+0/1732X+0/0810X^2-0/0017X^3$	۹۸۱/۴۳
معنی دار	$CSMK3=0/4151+0/8113X-0/2048X^2+0/0152X^3$	۱۱/۳۱	معنی دار	$CSMK3=-0/8740+0/0859X+0/0738X^2-0/0015X^3$	۶۶۸/۰۴
معنی دار	$FGOALS=0/3738+0/7035X-0/209X^2+0/0155X^3$	۲۲/۵۴	معنی دار	$FGOALS=-0/7610+0/1509X+0/0795X^2-0/0017X^3$	۸۷۳/۸۱
معنی دار	$GFCM2.1=0/1115+0/2715X-0/0243X^2-0/0002X^3$	۷/۴۲	معنی دار	$GFCM2.1=5/260+0/1293X+0/0652X^2-0/0012X^3$	۹۴۰/۱۹
معنی دار	$HADCM3=0/6273+2/083X-0/7008X^2+0/0512X^3$	۱۷/۶۲	معنی دار	$HADCM3=-3/102+0/2814X+0/0441X^2-0/0008X^3$	۵۸۵/۵۳
معنی دار	$HADGEM=0/3714+0/9283X-0/2253X^2+0/0132X^3$	۶/۳۵	معنی دار	$HADGEM=1/742+0/1895X+0/0681X^2-0/0014X^3$	۱۱۷۱/۴۱
معنی دار	$IPC4=0/0624+0/6472X-0/1788X^2+0/0117X^3$	۱۷/۲۲	معنی دار	$IPC4=-0/3969+0/2441X+0/06924X^2-0/0015X^3$	۱۲۱۲/۲۷
معنی دار	$ECHO-G=0/3831+0/6326X-0/1612X^2+0/0102X^3$	۱۹/۳۶	معنی دار	$ECHO-G=0/1817+0/1162X+0/0754X^2-0/0016X^3$	۱۷۸۴/۱۸
معنی دار	$NCPCM=0/1298+0/4346X-0/1085X^2+0/0071X^3$	۳۳/۲۴	معنی دار	$NCPCM=-2/797+0/1103X+0/0719X^2-0/0016X^3$	۱۱۶۷/۱۳



شکل ۲. نمودار همبستگی مقادیر دمای مشاهداتی (x) و شبیه‌سازی بعضی از مدل‌ها در ایستگاه کرمانشاه

جدول ۶. نتایج شاخص‌های ارزیابی عملکرد مدل‌های AOGCM در ایستگاه کرمانشاه

MBE	MPE %	RMSE	PBIAS %	CE	R ²	MAE	دما
-۶	۴۰/۴	۶	۴۰/۵	۰/۷۴۶	۰/۹۹	۶	BCM2
-۳/۹	۲۶/۴	۴	۲۶/۷	۰/۵۸۸	۰/۹۹	۴	CNCM3
-۲/۶	۱۷/۴	۲/۸	۱۷/۸	۰/۴۶۶	۰/۹۹	۲/۶	CSMK3
-۰/۹	۶/۲	۱/۲	۶/۵	۰/۲۸۹	۰/۹۹	۱	FGOALS
۳/۷	-۲۵/۶	۳/۸	-۲۵/۲	-۰/۳۴۷	۰/۹۹	۳/۱	GFCM2.1
-۵/۸	۳۹/۴	۶	۳۹/۷	۰/۷۳۶	۰/۹۸	۵/۸	HADCM3
۰/۲	-۱/۷	۱	-۱/۳	۰/۱۴۹	۰/۹۹	۰/۸	HADGEM
-۱/۱	۷/۲	۱/۵	۷/۶	۰/۳۰۶	۰/۹۹	۱/۴	IPCM4
-۱/۴	۹/۸	۱/۷	۱۰	-۰/۳۴۷	۰/۹۹	۱/۴	ECHO-G
-۵/۳	۳۶/۱	۵/۴	۳۶/۲	۰/۷۰۱	۰/۹۹	۵/۳	NCPCM
MBE	MPE %	RMSE	PBIAS %	CE	R ²	MAE	بارش
-۱۳/۸۲	۹۳/۱۷	۱۳/۸۶	۹۳/۱	۰/۹۹۹	۰/۴۸۹	۰/۸۵	BCM2
-۱۳/۸۶	۹۳/۴۲	۱۳/۸۹	۹۳/۴	۰/۹۹۹	۰/۶۳۷	۰/۸۸	CNCM3
-۱۳/۹۴	۹۳/۹۴	۱۳/۹۷	۹۳/۹	۰/۹۹۹	۰/۶۹۴	۰/۸۷	CSMK3
-۱۴/۱۱	۹۵/۱۱	۱۴/۱۵	۹۵/۱	۰/۹۹۸	۰/۹۵۱	۰/۹	FGOALS
-۱۴/۴۹	۹۷/۶۶	۱۴/۵۲	۹۷/۶	۰/۹۹۵	۰/۹۷۲	۱	GFCM2.1
-۱۳/۳۸	۹۰/۲۴	۱۳/۴۱	۹۰/۲	۰/۹۹۹	۰/۰۷	۱/۳	HADCM3
-۱۳/۹۴	۹۴/۰۱	۱۳/۹۷	۹۴	۰/۹۹۹	۰/۷۶۸	۰/۸۵	HADGEM
-۱۴/۴۵	۹۷/۳۹	۱۴/۴۷	۹۷/۳	۰/۹۹۶	۰/۹۷۷	۰/۹	IPCM4
-۱۴/۱	۹۵/۰۶	۱۴/۱۴	۹۵/۰۹	۰/۹۹۸	۰/۹۷	۱/۲	ECHO-G
-۱۴/۴۶	۹۷/۴۵	۱۴/۴۹	۹۷/۴۶	۰/۹۹۶	۰/۹۸۹	۱/۲	NCPCM

مدل‌های HADGEM1 و BCM2 مربوط می‌شود. همچنین در ایستگاه اسلام‌آباد غرب مدل ECHO-G با ضرایب وزنی ۰/۱۷ و ۰/۲ به ترتیب برای شبیه‌سازی دو پارامتر بارش و دما دارای بیشترین وزن و کمترین عدم قطعیت است.

جدول ۱۰ نیز مقایسه میانگین کل ضرایب وزنی مدل‌های گردش عمومی برای شبیه‌سازی دما و بارش هر سه ایستگاه را نشان می‌دهد. نتایج بیانگر این است که در مجموع برای هر سه ایستگاه، مدل ECHO-G با ضریب وزنی ۰/۲۰ و مدل HADCM3 با ضریب وزنی ۰/۱۵ به ترتیب دارای بیشترین وزن و کمترین عدم قطعیت برای شبیه‌سازی دما و بارش هستند. بنابراین، مدل ECHO-G و HADCM3 به‌عنوان مدل‌های برتر برای پیش‌بینی پارامترهای دما و بارش حوضه آبخیز قره‌سو انتخاب شدند. در مرحله بعدی سه سناریوی انتشار (A1B, B1, A2) این دو مدل جهت یافتن فرضیه‌های نزدیک به داده‌های مشاهداتی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ میلادی ارزیابی شد.

نتایج بررسی عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو جدول‌های ۷، ۸ و ۹ مقایسه ضرایب وزنی ده مدل گردش عمومی برای شبیه‌سازی پارامترهای بارش و دمای مناطق مطالعه‌شده در دوره ۱۹۹۹-۱۹۸۹ را نشان می‌دهد. چنانکه انتظار می‌رود، بیشترین وزن به مدل‌هایی که کمترین خطا را داشته‌اند تعلق گرفته است. بدین ترتیب که در منطقه کرمانشاه بیشترین وزن برای شبیه‌سازی بارش به میزان ۰/۲۱ مربوط به مدل گردش عمومی BCM2 و برای شبیه‌سازی دما به میزان ۰/۲۷ و ۰/۲۰ به ترتیب مربوط به مدل‌های HADGEM1 و FGOALS است؛ بنابراین، کمترین عدم قطعیت در شبیه‌سازی دما و بارش منطقه کرمانشاه را دارا هستند. همچنین مدل‌های GFDL-CM2.1، IPSL-CM4 و PCM به بیشترین خطا و عدم قطعیت برای این منطقه دچارند. در منطقه روانسر بیشترین وزن برای شبیه‌سازی بارش به میزان ۰/۱۴ مربوط به مدل گردش عمومی HADCM3 و برای شبیه‌سازی دما به میزان ۰/۲۱ به مدل BCM2 اختصاص دارد. کمترین وزن یا بیشترین عدم قطعیت هم به

جدول ۷. ضرایب وزنی مدل‌های گردش عمومی برای ایستگاه کرمانشاه

نوع مدل	BCM2	CM3	MK3	ECHO-G	FGOALS	CM2.1	HADCM3	HADGEM1	CM4	PCM
ضریب وزنی (بارش)	۰/۲۷	۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۳
ضریب وزنی (دما)	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۱۹	۰/۲۰	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۲۷	۰/۱۱	۰/۰۳

جدول ۸. ضرایب وزنی مدل‌های گردش عمومی برای ایستگاه روانسر

نوع مدل	BCM2	CM3	MK3	ECHO-G	FGOALS	CM2.1	HADCM3	HADGEM1	CM4	PCM
ضریب وزنی (بارش)	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۱۰
ضریب وزنی (دما)	۰/۲۱	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۲۰	۰/۱۴	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۱۸	۰/۰۴

جدول ۹. ضرایب وزنی مدل‌های گردش عمومی برای ایستگاه اسلام‌آباد غرب

نوع مدل	BCM2	CM3	MK3	ECHO-G	FGOALS	CM2.1	HADCM3	HADGEM1	CM4	PCM
ضریب وزنی (بارش)	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۱۶	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۶
ضریب وزنی (دما)	۰/۱۰	۰/۰۴	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۱۶

جدول ۱۰. میانگین کل ضرایب وزنی مدل‌های گردش عمومی برای هر سه ایستگاه

نوع مدل	BCM2	CM3	MK3	ECHO-G	FGOALS	CM2.1	HADCM3	HADGEM1	CM4	PCM
ضریب وزنی (بارش)	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۷
ضریب وزنی (دما)	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۲۰	۰/۱۴	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۰۷

دو پارامتر، بیشترین وزن را دارند. علاوه بر این، در ایستگاه اسلام آباد غرب نیز برای هر دو پارامتر سناریوی A2 مدل ECHO-G با مقادیر ۰/۴ و ۰/۸ و سناریوی A1B مدل HADCM3 با مقادیر ۰/۶۶ و ۰/۲۹ دارای بیشترین وزن هستند. همچنین، در مجموع برای هر سه ایستگاه، مدل ECHO-G تحت سناریوی A2 و مدل HADCM3 تحت سناریوی A1B به ترتیب دارای بیشترین وزن برای شبیه سازی دما و بارش در حوضه آبخیز قره سو هستند. بنابراین، این دو سناریو به عنوان سناریوهای برتر برای پیش بینی پارامترهای دما و بارش حوضه آبخیز قره سو انتخاب شدند.

نتایج بررسی عدم قطعیت سناریوهای انتشار

شکل ۳ مقایسه ضرایب وزنی سناریوهای دو مدل ECHO-G و HADCM3 در مناطق مطالعه شده را نشان می دهد. نتایج در منطقه کرمانشاه بیانگر این است که در مدل ECHO-G سناریوهای B1 و A1B به ترتیب با مقادیر ۰/۶۹ و ۰/۷۸ دارای بیشترین ضرایب وزنی و کمترین عدم قطعیت برای شبیه سازی بارش و دما هستند. همچنین سناریوی A2 مدل HADCM3 با مقادیر ۰/۴۳ و ۰/۲۶ به ترتیب دارای بیشترین وزن برای شبیه سازی بارش و دما در ایستگاه کرمانشاه است. در ایستگاه روانسر در دو مدل ECHO-G و HADCM3 به ترتیب سناریوی A2 با مقادیر ۰/۴ و ۰/۷ و سناریوی A1B با مقادیر ۰/۳۹ و ۰/۶۷ برای هر



شکل ۳. مقایسه ضرایب وزنی سناریوهای دو مدل ECHO-G و HADCM3

نش- ساتکلیف (NS)، اریبی (Bias)، میانگین اریبی اشتباهات (MBE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، صحت سنجی هر یک از مدل ها به اجرا درآمد. همچنین عدم قطعیت هر یک از مدل های اقلیمی و سناریوهای انتشار توسط روش وزندهی بررسی شد. از نتایج آزمون و ارزیابی مدل ها نتیجه گیری می شود که معناداری مدل های متفاوت بیانگر دقت یکسان آنها نیست

بحث و نتیجه گیری

در تحقیق حاضر، ابتدا مقادیر دما و بارش ده مدل گردش عمومی و سه سناریوی انتشار گازهای گلخانه ای در دوره ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸ میلادی برای ایستگاه های کرمانشاه، روانسر و اسلام آباد غرب در حوضه قره سو تهیه شد و سپس با استفاده از آزمون نیکویی برازش و معیارهای ارزیابی ضریب تبیین (R^2)، میانگین خطای مطلق (MAE)، ضریب

مقیاس منطقه‌ای، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۶، شماره ۴: ۹۹-۱۱۰.

[۴]. کمال، علیرضا؛ مساح بوانی، علیرضا، ۱۳۹۰، ارزیابی عدم قطعیت مدل‌های AOGCM-AR4 و مدل‌های هیدرولوژی در تخمین دما، بارش و رواناب حوضه قره‌سو تحت تأثیر تغییر اقلیم، مجله پژوهش آب ایران، سال پنجم، شماره نهم: ۳۹-۵۰.

[۵]. جاهد، رضا؛ جلال کمالی؛ نوید؛ بابازاده، حسین، ۱۳۹۰، مجله مهندسی منابع آب، سال چهارم: ۶۴-۵۱.

[6]. Christensen, N., Wood, A.W., Voisin, N., Lettenmaier, D.P., and Palmer, R. N., 2004, The effects of climate change on the hydrology and water resources of the Colorado River basin, Climatic Change, Volume 62, Issue 1-3, pp 337-363.

[7]. Department of Water Resources (DWR), 2006, Progress on incorporating Climate Change into Planning and Management of California's Water Resources, Technical Memorandum Report, State of California.

[8]. Feng, J.M., WANG, Y.Li., and Fu, C.B, 2012, A multi-ensemble of regional climate simulation from RMIP for Asia. Report of key laboratory of regional climate-environment for East Asia, START regional center for temperature East Asia, IAP, CAS, pages 1-38.

[9]. Fowler, H. J., and Ekstrom, M., 2009, Multi-model ensemble estimates of climate change impacts on UK seasonal precipitation extremes. International Journal of Climatology, Volume 29, Issue 3, pages 385-416.

[10]. <http://www.ccsn.ec.gc.ca>

[11]. <http://www.ipcc.ch>

[12]. IPCC, Robert, T., Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H. (Eds.), 1995, Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses, Cambridge University Press, UK p, 878.

[13]. IPCC, Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H., Dokken, D.J., (Eds.), 2001, Special Report on the Regional Impacts of Climate Change, An Assessment of Vulnerability, Cambridge University Press, UK.

[14]. IPCC, Solomon, S., D. Qin, M., Manning, Z., Chen, M., Marquis, K.B., Averyt, M., Tignor and H.L., Miller (eds.), 2007, Summary for Policy makers, in: Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, PP 1-18.

و ممکن است مجموعه‌ای از مدل‌های معنادار با دقت متفاوت وجود داشته باشد.

از بررسی نتایج آماره‌های محاسبه‌شده برای هر یک از مدل‌ها و با توجه به ضرایب کارایی متفاوت آنها نتیجه‌گیری می‌شود که استفاده از مجموعه‌ای از مدل‌های مختلف می‌تواند سبب افزایش چشمگیر دقت پیش‌بینی‌های اقلیمی یا به عبارت دیگر کاهش عدم قطعیت‌های مربوط، در مقایسه با استفاده از تنها یک مدل، شود. نتایج بررسی عدم قطعیت مدل‌ها و سناریوها نیز بیانگر قابلیت متفاوت مدل‌ها برای هر منطقه است. این نتایج با یافته‌های اشرف و همکاران [۱]، فولر و اکستروم [۹]، کمال و مساح بوانی [۴] و آشفته و مساح بوانی [۲] همخوانی دارد. نتایج این تحقیق نشان داد که در یک منطقه لزوماً یک مدل، دقیق‌ترین پیش‌بینی را برای همه پارامترهای اقلیمی ارائه نمی‌دهد و ممکن است بهترین پیش‌بینی برای پارامترهای دما و بارش آن منطقه توسط دو مدل مختلف ایجاد شود. همچنین ممکن است در دو منطقه مختلف از یک حوضه مطالعاتی، یک مدل کمترین و بیشترین خطا را در شبیه‌سازی پارامترهای دما و بارش داشته باشد. با توجه به نتایج تحقیق، پیشنهاد می‌شود که در مطالعات تغییر اقلیم از چندین مدل و سناریو به جای یک مدل و سناریو استفاده شود تا عدم قطعیت پیش‌بینی‌های صورت‌گرفته تا حد پذیرفتنی کاهش یابد.

منابع

[۱]. اشرف، بتول؛ علیزاده، امین؛ موسوی بایگی، محمد؛

بنایان اول، محمد، ۱۳۹۳، صحت‌سنجی داده‌های دما و بارش شبیه‌سازی شده توسط اجرای منفرد و گروهی پنج مدل AOGCM برای منطقه شمال شرق ایران، نشریه آب و خاک، جلد ۲۸، شماره ۲: ۲۶۶-۲۵۳.

[۲]. آشفته، پریسا سادات؛ مساح بوانی، علیرضا، ۱۳۹۱، بررسی تأثیر عدم قطعیت مدل‌های چرخه عمومی جو و اقیانوس (AOGCM) و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای بر رواناب حوضه تحت تأثیر تغییر اقلیم، مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال هشتم، شماره ۲.

[۳]. مساح بوانی، علیرضا؛ مرید، سعید؛ محمدزاده، محسن، ۱۳۸۹، مقایسه روش‌های کوچک مقیاس کردن و مدل‌های AOGCM در بررسی تأثیر تغییر اقلیم در

- [15]. IPCC, 2010, Meeting Report IPCC Expert Meeting on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections, National Center for Atmospheric Research, Boulder Colorado, USA, pp 115.
- [16]. Masanganise, J., Chipindu, B., Mhizha, T., Mashonjowa, E., Basira, K., 2013, An evaluation of the performances of Global Climate Models for predicting temperature and rainfall in Zimbabwe, International Journal of Scientific and Research Publications, (3)8:2250-3153.
- [17]. Maurer E. P., 2007, Uncertainty in hydrologic impacts of climate change in the Sierra Nevada, California, under two emissions scenario, Climatic Change 82: pp 309–325.
- [18]. Muttiah, R.S., and Wurbs, R.A., 2009, Modeling the impacts of climate change on water supply reliabilities, Water International, 27(3), pp 407-419.
- [19]. New, M., and Hulme, M., 2000, Representing uncertainty in climate change scenarios: a Monte-Carlo approach, Integrated Assessment 1, pp 203–213.
- [20]. Radic, V., and Clarke, G.K.C., 2011, Evaluation of IPCC Models' Performance in Simulating Late-Twentieth-Century Climatologies and Weather Patterns over North America, Journal of climate, Vol. 24, pp 5257-5274.
- [21]. Su, F., Duan, X., Chen, D., Hao, Z. and Cui, L., 2013, Evaluation of the Global Climate Models in the CMIP5 over the Tibetan Plateau, Journal of climate, Volume 26, pp 3187-3208.
- [22]. Wilby, R., and Harris, I., 2006, A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the RiverThames, UK, Water Resources Research, Volume 42 Issue 2.
- [23]. Xu, C.-y., 1999, From GCMs to river flow: a review of downscaling methods and hydrologic modeling approaches, Progress in Physical Geography, Volume 232, pp 229–249.