

ارزیابی تغییرات دما و بارش جنوب شرق ایران با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی

مدل‌های مختلف گردش عمومی جو در دوره ۲۰۱۱-۲۰۹۹

محسن حمیدیان‌پور، استادیار گروه اقلیم‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
محمد باعقیده* - استادیار گروه اقلیم‌شناسی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
محسن عباس‌نیا - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۳/۲۷ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۱۰/۱۲

چکیده

در این پژوهش، با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی آماری LARS-WG5.1، تغییرات بارش و دمای ماهانه در جنوب شرق کشور بر اساس خروجی چهار مدل با سه سناریوی مشترک (A1B، A2 و B1)، پس از بررسی توان‌مندی مدل لارس در شبیه‌سازی اقلیم گذشته، همچنین با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها طی سه دوره زمانی آینده (۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹) بررسی شد. یافته‌های پژوهش نشان از افزایش دما بر اساس تمام مدل-سناریوها، طی دوره‌های آتی دارد، به طوری که میزان این افزایش دما در ایستگاه‌های واقع در خشکی از ایستگاه‌های مناطق ساحلی بیشتر است. برعکس رفتار یکنواخت افزایشی در دما، تغییرات فصلی بارش در ایستگاه‌های مختلف بسیار نوسانی است. مقدار بارش طی فصول سرد سال در تمامی ایستگاه‌ها روندی افزایشی دارد، در حالی که بارش‌های بهاره روی ایستگاه‌های واقع در خشکی نسبت به نواحی ساحلی افزایش بیشتری خواهد داشت، به طوری که در آینده می‌توان انتظار افزایش وقوع سیلاب‌های بهاره را در این مناطق داشت. نتایج تحلیل عدم قطعیت‌ها نیز نشان داد که بهترین عملکرد در شبیه‌سازی مقدار دمای ماهانه را مدل HADCH3 و ضعیف‌ترین عملکرد در شبیه‌سازی مقدار بارش ماهانه را مدل INCM3 نسبت به سایر مدل-سناریوها دارد.

کلیدواژه‌ها: تغییر اقلیم، جنوب شرق ایران، ریزمقیاس نمایی، گردش عمومی جو.

مقدمه

سه چالش اساسی جامعه جهانی در قرن بیست و یکم عبارت است از تغییر اقلیم، کمبود آب و بیابان‌زایی. هیئت بین‌الدول ضمن تأیید تغییر اقلیم در گزارش ارزیابی چهارم^۱ (IPCC)، اذعان دارد که تغییر اقلیم با تغییر متوسط اقلیمی یا تغییرپذیری خصوصیات آن ایجاد می‌شود. به طور کلی، IPCC در مسئله تغییر اقلیم به هر تغییری در اقلیم در طول زمان تأکید دارد. این تغییرات ممکن است هم دارای منشأ طبیعی باشد و هم انسانی (IPCC, 2007). پژوهش‌های زیادی نشان داده‌اند که تغییر اقلیم با افزایش میزان CO₂ مرتبط است؛ چه بسا سهم کشورهای پیشرفته و توسعه‌یافته متفاوت

* E-mail: Mbaaghideh2005@yahoo.com

نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۳۲۱۷۱۰۲

1. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

است و آسیب‌های عمده‌ای در مناطق عرض‌های پایین ایجاد می‌کند (داروین و کندی، ۲۰۰۰؛ پری و همکاران، ۲۰۰۴). گزارش‌های ارزیابی چهارم IPCC حاکی از آن است که به دلیل افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در دهه‌های گذشته در جو زمین، خروج امواج حرارتی از زمین با موانع بیشتری روبه‌رو شده که افزایش دمای هوا را به دنبال داشته است. این افزایش به میزان ۰/۳ تا ۰/۶ درجه سانتی‌گراد در طول قرن گذشته بوده و در دهه‌های اخیر شتاب بیشتری یافته است. این در حالی است که اگر انتشار این گازها کاهش نیابد، متوسط دمای سطحی کره زمین ۱ تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۱۰۰ افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد این گرمایش جهانی سبب افزایش مقادیر حدی و شرایط بد آب‌وهوایی در دوره‌های نه‌چندان دور می‌شود. دگرگونی در مقادیر حدی باعث بروز تغییرات اساسی اجتماعی و زیست‌محیطی می‌شود. طبق گزارش اخیر برنامه محیطی سازمان ملل، فراوانی وقوع سیل و دیگر شرایط حدی اقلیمی هر ساله دو برابر می‌شود.

بر اساس گزارش چهارم IPCC داده‌های بلندمدت مدل‌سازی شده اقلیمی آینده، متشکل از ۱۸ مدل اقلیمی گردش عمومی جو^۱ (GCM)، به صورت رایگان در مرکز توزیع داده‌های IPCC قرار گرفته است.^۲ می‌توان از این داده‌ها برای ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم بر سامانه‌های مختلف استفاده کرد، شامل فرآورده‌های کشاورزی، اکوسیستم‌های طبیعی و مسائل هیدرولوژیکی. استفاده از خروجی چند مدل گردش عمومی به صورت یکپارچه نیازمند محاسبه عدم قطعیت‌های^۳ نتایج تغییر اقلیم است. این عدم قطعیت‌ها باید کمی شود تا نتایج قابل اطمینان‌تری حاصل آید (سمنوف و استراتونویچ، ۲۰۱۰). با وجود این، نمی‌توان به طور مستقیم از نتایج مدل‌های اقلیمی استفاده کرد (سمنوف، ۲۰۰۷). با وجود افزایش توانایی GCMها در مدل‌کردن اقلیم حاضر، به‌طور کلی هنوز با دشواری‌های جدی در تولید داده‌های دما و بارش روزانه روبه‌رویم (تریگو و پالوتیکف، ۲۰۰۱). در واقع، هنگامی که از مدل‌های GCM استفاده می‌شود، باید خروجی مدل‌های عددی گردش عمومی جو ریزمقیاس^۴ شود (بارو و همکاران، ۱۹۹۶؛ باردوسی، ۱۹۹۷؛ وایلی و همکاران، ۱۹۹۸؛ مورفی، ۱۹۹۹؛ سالون و همکاران، ۲۰۰۸). بدین منظور از دو روش دینامیکی و آماری می‌توان استفاده کرد. هر چند مدل‌های دینامیکی منطقه‌ای دقت فضایی مناسب برای ارزیابی اقلیمی دارد (با قدرت تفکیک ۵۰-۱۰ کیلومتر) ولی جزو روش‌های پرهزینه و وقت‌گیر است و به همین دلیل بیشتر از ریزمقیاس نمایی آماری می‌شود (بابائیان و نجفی‌نیک، ۱۳۸۵؛ ضرغامی و همکاران، ۱۳۸۹). این مدل‌ها معروف به مدل‌های مولد داده‌های هواشناسی^۵ است (ویلکس، ۱۹۹۲؛ بارو و سمنوف، ۱۹۹۵؛ ویلکس و ویبلی، ۱۹۹۹؛ سمنوف، ۲۰۰۷). مولدهای داده‌های تصادفی هواشناسی مدلی آماری است که قادر است سری‌های زمانی روزانه مجموعه‌ای از متغیرهای هواشناسی، مانند بارش، درجه حرارت و تابش خورشیدی را به صورت مصنوعی تولید کند و از لحاظ آماری رفتاری مشابه با داده‌های هواشناسی مشاهده شده (گذشته) داشته باشد (ریچاردسون، ۱۹۸۱؛ ریچاردسون و رایت، ۱۹۸۴؛ راسکو و همکاران، ۱۹۹۱؛ ویبلی و همکاران، ۲۰۰۴).

1. General Circulation Models (GCMs).

2. www.ipcc-data.org

3. Uncertainty.

4. Downscaling.

5. Weather Generator (WG)

به‌طور کلی، انگیزه‌های زیادی برای توسعه این گونه مولدهای داده‌های تصادفی آب‌وهوا و استفاده از داده‌های خروجی آن‌ها به جای مقادیر مشاهداتی وجود دارد. اولین انگیزه امکان تولید سری‌های زمانی داده‌های آب‌وهوایی طولانی‌مدت برای استفاده در ریسک مخاطرات هیدرولوژیکی و کشاورزی از قبیل محاسبات دوره برگشت سیل، بارش‌های سنگین و سیل‌آسا و خشکسالی است. داده‌های روزانه هوا یکی از ورودی‌های اصلی مدل‌های ریاضی اگروهیدرولوژیکی است، ولی بیشتر طول سری زمانی این داده‌ها برای ارزیابی احتمال وقوع حوادث ناکافی است. علاوه بر این، سری‌های زمانی مشاهده‌شده تنها یک واقعیت از آب‌وهوا را نشان می‌دهد، در حالی که مولد هوا بسیاری از واقعیت‌ها و پس از آن، دامنه وسیع‌تری از شرایط ممکن را شبیه‌سازی می‌کند. انگیزه دوم این است که با درون‌یابی پارامترهای مولد آب‌وهوایی شرایطی برای گسترش شبیه‌سازی آب‌وهوا برای مکان‌های فاقد داده‌های هواشناسی مهیا می‌شود که برای مطالعه تغییرات آب‌وهوایی اهمیت دارد. در واقع، این مدل‌ها ابزاری برای پیش‌بینی وضع هوا یا اقلیم در مقیاس زمانی سال یا کمتر نیست، بلکه برای بررسی آثار و ارزیابی اقلیم دهه‌های آتی در مقیاس زمانی دهه و بالاتر طراحی شده است (بابائیان و نجفی‌نیک، ۱۳۸۵).

از مدل‌هایی که برای ریزمقیاس نمایی آماری استفاده می‌شود می‌توان به WGEN, GEM, MET& Roll، ASD, SDSM, CLIGEN, LARS-WG, USCLIMATE و جزآن اشاره کرد. تاکنون پژوهش‌های زیادی در این زمینه برای مناطق مختلف جهان با استفاده از مدل‌های مختلف انجام گرفته است (ویلکس، ۱۹۹۲؛ دابروسکی، ۱۹۹۶؛ ویلکس و ویبلی، ۱۹۹۹؛ ویبلی و همکاران، ۲۰۰۱؛ ۲۰۰۲). مدل LARS-WG^۱ یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هواست که برای تولید بارش روزانه، تابش، دمای حداکثر و حداقل دما در ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده استفاده می‌شود. نسخه اولیه آن در سال ۱۹۹۰ میلادی بخشی از پروژه ارزیابی ریسک‌های کشاورزی در کشور مجارستان بوده است (بابائیان و نجفی‌نیک، ۱۳۸۵). سمونوف و همکاران (۱۹۹۸)، کارایی دو مدل LARS-WG و WGEN را در ۱۸ ایستگاه اروپا، آمریکا و آسیا بررسی کردند و کارایی بهتر مدل LARS-WG را نشان دادند. دبایک و کولیالی (۲۰۰۵)، به منظور بررسی پیامدهای هیدرولوژی تغییر اقلیم در حوضه سگنی در کانادا، از دو روش ریزمقیاس نمایی LARS-WG و SDSM استفاده کردند. در واقع، داده‌های ریزمقیاس‌شده را به‌عنوان ورودی در مدل‌های هیدرولوژیکی مختلف به‌منظور شبیه‌سازی رژیم جریان رودخانه‌های حوضه استفاده کردند و در مجموع، به ارزیابی قدرت نسبی مدل‌های ریزمقیاس نمایی پرداختند. همچنین، پیامدهای احتمالی تغییر اقلیم را در جریان رودخانه مطالعه کردند. هر چند هر دو مدل نتایج چندان مشابهی نداشتند، روند افزایش را برای متغیرهای بارش و دما پیش‌بینی کردند که در نهایت مدل هیدرولوژیکی روند افزایشی را برای جریان رودخانه نشان داد.

فراوانی و بزرگی رویدادهای حدی جوی احتمالاً با گرمایش جهانی افزایش می‌یابد. به هر حال روشن نیست چگونه این رویدادها ممکن است بر محصولات کشاورزی اثر بگذارند. سمونوف (۲۰۰۹) از مدل شبیه‌سازی گندم با ترکیب سناریوهای اقلیمی، بر اساس خروجی مدل اقلیمی منطقه‌ای مرکز هدلی در ۱۸ ایستگاه انگلستان استفاده کرد و دما و

1. Long Ashton Research Station Weather Generator (LARS-WG).

بارش تابستانی کمتری را برای دهه ۲۰۵۰ در انگلستان پیش‌بینی کرد. او نشان داد که پیامد خشکسالی روی محصول گندم در آینده نسبت به زمان حال کمتر است، چرا که گندم در اقلیم گرم‌تر زودتر به محصول می‌نشیند و از خشکسالی‌های شدید در تابستان رهایی می‌یابد.

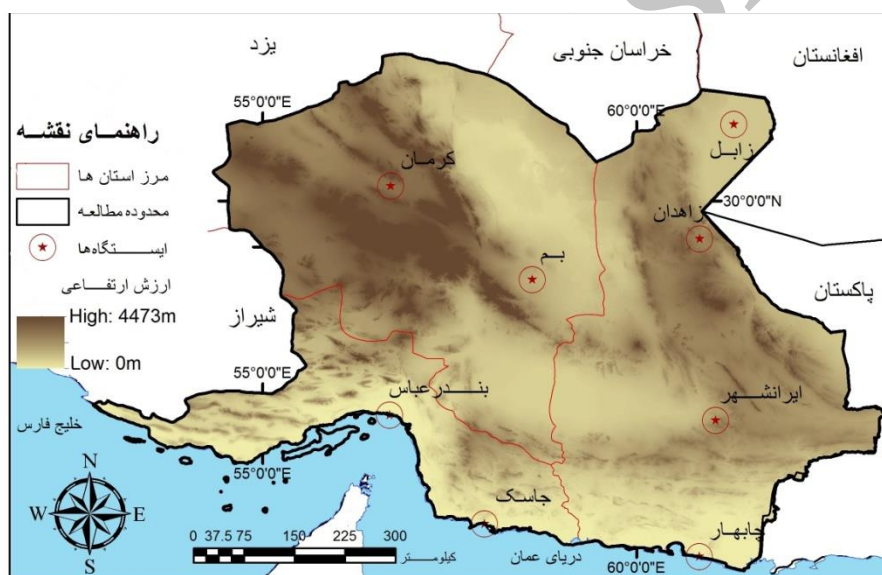
بای و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از مدل LARS-WG داده‌های دو مدل اقلیمی (ECHO-G و NCAR/MM5) را به منظور آگاهی از تغییرات بالقوه منابع آب استفاده کردند. نتایج آن‌ها تغییرات مکانی و زمانی را در حوضه مورد مطالعه تأیید کرد و در مجموع تغییرات نسبی را در مؤلفه‌های بیلان آب (بارش، تبخیر و رواناب) تشخیص داد. در بررسی دیگری خان و همکاران (۲۰۰۶)، به منظور تحلیل عدم قطعیت‌های اقلیم، به مقایسه سه مدل SDSM، ANN و LARS-WG پرداختند. در نهایت، نتایج آن‌ها توانایی بهتر مدل LARS-WG را در محاسبه عدم قطعیت‌ها بین دو مدل SDSM و ANN تأیید کرد.

مطالعات زیادی در جهان با هدف ارزیابی تغییر اقلیم با استفاده از مدل LARS-WG انجام شده است (بابائیان و همکاران، ۲۰۰۴). در ایران نیز این‌گونه مطالعات به تازگی رشد خوبی داشته است و روزبه‌روز بر تعداد، همچنین کیفیت آن‌ها افزوده می‌شود. برای مثال، می‌توان به پژوهش‌های مقدماتی روی ایستگاه‌های منتخب خراسان اشاره کرد. نتایج مطالعه حاکی از توانایی کافی LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های دوره آماری این ایستگاه است (بابائیان و نجفی‌نیک، ۱۳۸۵). بذرافشان و همکاران، (۱۳۸۸) ضمن استفاده از دو مدل LARS-WG و ClimGen در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی ۱۵ ایستگاه در ایران، نشان دادند که مدل LARS-WG در تولید داده‌های بارندگی و تابش خورشیدی عملکرد بهتری از مدل رقیب دارد. سادات آشفته و مساح (۱۳۹۱)، با استفاده از هفت مدل جفت‌شده اتمسفر-اقیانوس گردش عمومی جو^۱ (AOGCMs) تحت سناریوی A2 به بررسی تغییر اقلیم بر رواناب حوضه قرنقو آذربایجان شرقی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان از کاهش بارندگی و افزایش دما در دوره آتی داشت، به طوری که دمای حوضه بین ۰/۲ تا ۳ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. در ایران، اکثر بررسی‌ها درباره تغییر اقلیم بر اساس مدل‌های اقلیمی گردش عمومی جو انجام شده که معمولاً با تعداد کافی از خروجی مدل‌های گردش عمومی یا سناریوهای انتشار، نبوده است. همان‌طور که نتایج بیشتر مطالعات نشان می‌دهد، در بین مدل‌های اقلیمی مدل HADCM3 با لحاظ عدم قطعیت، دارای عملکرد مناسبی در مقایسه با سایر مدل‌ها در شبیه‌سازی دماست. هرچند در برخی مطالعات از چند سناریوی انتشار استفاده شده است، اما تعداد مدل‌های اقلیمی آن‌ها به یک کاهش یافته است. در این پژوهش سعی شده است با استفاده از چند مدل و سناریوی اقلیمی (۳×۴) موجود در نرم‌افزار ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG5.1 به بررسی و ارزیابی تغییر اقلیم در ایستگاه‌های جنوب‌شرق ایران بپردازیم و به این سؤال پاسخ دهیم که آیا عناصر اقلیمی چون دما و بارش در این مناطق تحت اثر تغییر اقلیم تغییر خواهند کرد؟ و آیا این تغییرات تفاوت معناداری با مقادیر دوره آماری دارد؟

1. Atmospheric-Ocean General Circulation Models (AOGCMs)

مواد و روش ها

در این پژوهش از دو گروه داده های مشاهداتی و مدل به صورت روزانه شامل: دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش خورشیدی استفاده شده است. دوره زمانی ۱۹۸۳-۲۰۰۷ دوره مشاهداتی انتخاب شد. داده های سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. داده های مورد نیاز مدل های گردش عمومی شامل INCM3, HADCM3, NCCCM3, IPCM4 و دارای سه سناریوی انتشار مشترک A1B، A2 و B1، از دو مرجع شامل شبکه داده های تغییر اقلیم کانادا^۱ و بانک داخلی داده های مدل LARS-WG5.1 استخراج شد. وجود هر سه سناریوی مشترک متوسط، بدبینانه و خوش بینانه (A1B، A2 و B1) در بررسی نتایج حاصل از عدم قطعیت ناشی از به کارگیری مدل - سناریوهای مختلف، امکان بررسی های مقایسه ای و دقیق تر خروجی حاصل از شبیه سازی ها را بیشتر بر واقعیت منطبق می کند. شکل ۱ موقعیت ایستگاه های سینوپتیکی انتخابی در محدوده مورد مطالعه و دارای کامل ترین سری زمانی داده های مشاهداتی را نشان می دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و نسبی پراکنش ایستگاه های همدید در محدوده مورد مطالعه

به منظور ارزیابی تغییر اقلیم جنوب شرق ایران، از جدیدترین نسخه نرم فزای مدل ریزمقیاس نمایی^۲ LARS-WG 5.1 استفاده شد. نسخه جدید مدل LARS-WG گزارش چهارم تغییر اقلیم IPCC را در نظر داشت، بنابراین در این پژوهش سعی شد از تمام مدل های بزرگ مقیاس موجود در پایگاه داده های بزرگ مقیاس مدل LARS-WG 5.1 و دارای سه سناریوی مشترک (A1B، A2، B1) استفاده شود تا دیدی جامع تر و مقایسه ای بر اساس هر سه سناریوی خوشبینانه، بدبینانه و متوسط برای هر مدل داشته باشیم. در این زمینه جدول ۱، به طور خلاصه به مهم ترین ویژگی های این مدل ها اشاره دارد (ناکی سنجی و اسوارت، ۲۰۰۰).

1. www.ccsn.ca

2. LARS-WG is available from <http://www.lars.bbsrc.ac.uk/model/larswg.html>

جدول ۱. مشخصات مدل‌های گردش عمومی استفاده شده در مطالعه

| نام مدل اقلیم جهانی | نام مخفف مدل | مرکز تحقیقاتی | کشور | تفکیک مکانی |
|---------------------|--------------|-------------------------------------|----------|-------------------------------|
| IPSL-CM4 | IPCM4 | Institute Pierre Simon Laplace | فرانسه | $2.5^\circ \times 3.75^\circ$ |
| INM-CM3 | INCM3 | Institute for Numerical Mathematics | روسیه | $4^\circ \times 5^\circ$ |
| HADCM3 | HADCM3 | U. k. Metrological Office | انگلستان | $2.5^\circ \times 3.75^\circ$ |
| CCSM3 | NCCCSM | National Center for atmospheric | آمریکا | $1.4^\circ \times 1.4^\circ$ |

ریزمقیاس نمایی

LARS-WG مولد داده‌های هواشناسی است (راکس کو و همکاران، ۱۹۹۱). این مدل در مناطق اقلیمی مختلف آزمایش شده است و نتایج حاصل نشان می‌دهد که توان مندی خوبی به لحاظ ایجاد خصوصیات آماری اقلیمی از جمله رویدادهای حدی اقلیمی داراست (سمنوف، ۱۹۹۸، ۲۰۰۸). مدل LARS-WG برای مدل‌سازی توزیع‌های احتمالاتی دوره‌های تر و خشک، بارش روزانه، حداقل و حداکثر دما و تابش خورشیدی روزانه از توزیع نیمه تجربی^۱ (EMP) استفاده می‌کند.

$$EMP = \{a_0, \dots, a_i, h_i, i = 0, 1, \dots, 10\} \quad (1)$$

EMP هیستوگرامی با ده بازه با شدت‌های مختلف بارش است و در آن $a_i < a_{i-1}$ و h_i تعداد رخداد بارش را در i امین فاصله نشان می‌دهد. مقادیر تصادفی از توزیع‌های نیمه تجربی با انتخاب یکی از فاصله‌ها و سپس انتخاب یک مقدار در آن محدوده از توزیع یکنواخت مشخص می‌شود. این نوع توزیع انعطاف پذیر است و تا حدودی به تنوع وسیعی از شکل‌های مختلف با بازه‌های مختلف ($a_i < a_{i-1}$) تبدیل می‌شود. امتیاز این انعطاف‌پذیری در این است که این توزیع به ۲۱ پارامتر نیاز دارد که به نسخه‌های جدیدتر این مدل ارجحیت دارد که از سه پارامتر برای تعریف سری خشک و تر استفاده می‌کند. فاصله ($a_i < a_{i-1}$) بر اساس توزیع قابل انتظار از رفتار متغیرهای هواشناسی است. برای تابش خورشیدی فاصله‌ها بین مقادیر بیشینه و کمینه داده‌های دیدبانی شده با مقادیر ماهانه برابر است، در صورتی که برای طول سری خشک و تر و بارش، فاصله‌ها به تدریج با افزایش i افزایش می‌یابد. در این دو مورد، مقادیر کوچک به تعداد زیاد و مقادیر بزرگ به مقدار کمی وجود دارد که این نحوه انتخاب فاصله از کم‌دقتی برای فواصل کوچک جلوگیری می‌کند (بابائیان و نجفی‌نیک، ۱۳۸۵).

تحلیل عدم قطعیت

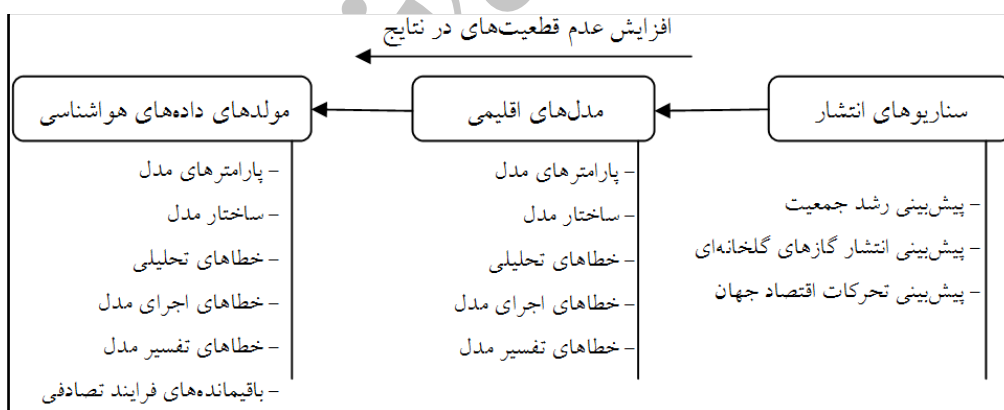
در ارزیابی تغییر اقلیم منابع متعددی از عدم قطعیت‌ها وجود دارد که باید بدان توجه کرد (کانوی و همکاران، ۲۰۰۳؛ شکل ۲). دو منبع اصلی در عدم قطعیت مدل‌سازی‌های اقلیمی وجود دارد. نخستین مورد به ساختار دینامیکی مدل اقلیمی

1. Semi-empirical distribution

جهانی و فرایند گسسته‌سازی عددی آن‌ها مرتبط است که سهم این نوع عدم قطعیت به دلیل افزایش کیفیت و دقت مدل‌ها به تدریج کاهش می‌یابد. دومین موضوع در عدم قطعیت مربوط به میزان خروجی (انتشار) گازهای گلخانه‌ای و تابعی از سیاست‌ها و رفتارهای جوامع اجتماعی است (رینی و فلاورز، ۲۰۰۸). به‌طور کلی، این منابع شامل عدم قطعیت مدل‌های GCM در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی، روش‌های کوچک‌مقیاس کردن و عدم قطعیت‌های مربوط به سناریوهای مختلف انتشار است (سادات آشفته و مساح بوانی، ۱۳۹۱). در این پژوهش به‌منظور بررسی عدم قطعیت ناشی از به‌کارگیری مدل‌های GCM مختلف، از روش وزن‌دهی میانگین‌های مشاهداتی دما و بارش^۱ استفاده شده است (مساح و همکاران، ۱۳۸۵).

$$W_{i,j} = \frac{1}{\sum_{j=1}^n (1/\Delta T_{i,j})} \quad (2)$$

که در آن $\Delta T_{i,j}$ اختلاف میانگین دما یا بارندگی شبیه‌سازی‌شده از مدل‌های GCM در دوره پایه در ماه i از میانگین داده‌های مشاهداتی، n تعداد مدل‌های GCM و $W_{i,j}$ وزن داده‌شده به هر یک از مدل‌هاست. شایان ذکر است که در بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر مسائلی همچون رواناب و غیره، مقدار عدم قطعیت‌ها افزایش می‌یابد (رینی و فلاورز، ۲۰۰۸).



شکل ۲. منابع عدم قطعیت‌ها در ارزیابی تغییر اقلیم پارامترهای هواشناسی (رینی و فلاورز، ۲۰۰۸)

سناریوهای تغییر اقلیم

در نسخه جدید نرم‌افزار LARS-WG5.1 تمامی خروجی‌های متغیرهای اقلیمی مدل‌های گردش عمومی مبتنی بر سناریوهای گزارش ویژه^۲ هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم است. با توجه به اینکه فرضیه اصلی این سناریوها مبتنی بر نحوه افزایش غلظت CO_2 است، جدول ۲ خلاصه‌ای از فرضیه‌های به‌کاررفته در سناریوهای انتشار یادشده را ارائه می‌دهد.

1. Mean Observed temperature – Precipitation method
2. Special Report Emissions scenarios (SRES).

جدول ۲. غلظت CO₂(ppm) در سناریوهای انتشار منتخب بر اساس گزارش ویژه گروه IPCC

| سناریو | فرضیه‌های اصلی در سناریو | | | | |
|-------------------------------|--------------------------|--|-----|-----|-----|
| جهان پایدار همراه با توسعه | B1 | تغییر در ساختارهای اقتصادی، همراه با بهبود و افزایش سطح توجه به محیط زیست. در واقع، به جهان توسعه پایدار محیط زیست و جوامع اجتماعی توجه دارد و تلاش بیشتری در ارتباط با فناوری پاک می‌کند. جمعیت جهان به ۷ میلیارد نفر در سال ۲۱۰۰ می‌رسد. | ۴۱۰ | ۴۹۲ | ۵۳۸ |
| جهان ثروتمند | A1B | این سناریو با رشد اقتصادی سریع (۲٪ رشد) توصیف می‌شود. رشد جمعیتی کم (۰/۲۷٪ رشد) و ابداع فناوری‌های جدید و مؤثر، جهانی که در آن همگرایی فرهنگی و اقتصادی حاکم است و به طور کلی کاهش اساسی در اختلافات منطقه‌ای در درآمد سرانه وجود دارد. | ۴۱۸ | ۵۴۱ | ۶۷۴ |
| جهان جد شده | A2 | مشخصات فرهنگی مناطق مختلف را تفکیک می‌کند. در واقع، جهان ناهمگن‌تر و احتمالاً همکاری‌های بین‌المللی بسیار کمتر می‌شود. به ارزش‌های خانوادگی، سنت‌های محلی و رشد جمعیت بالا (۰/۸۳٪ رشد) تأکید می‌شود. بر رشد اقتصادی (۱/۶۵٪ رشد) تمرکز کمتر می‌شود. | ۴۱۴ | ۵۴۵ | ۷۵۴ |

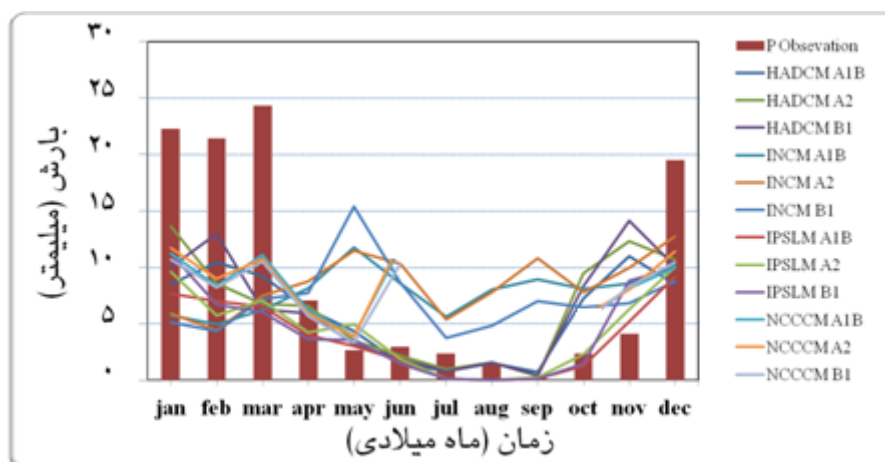
منبع: ناکسی سنویچ و اسوارت، ۲۰۰۰.

یافته‌های پژوهش

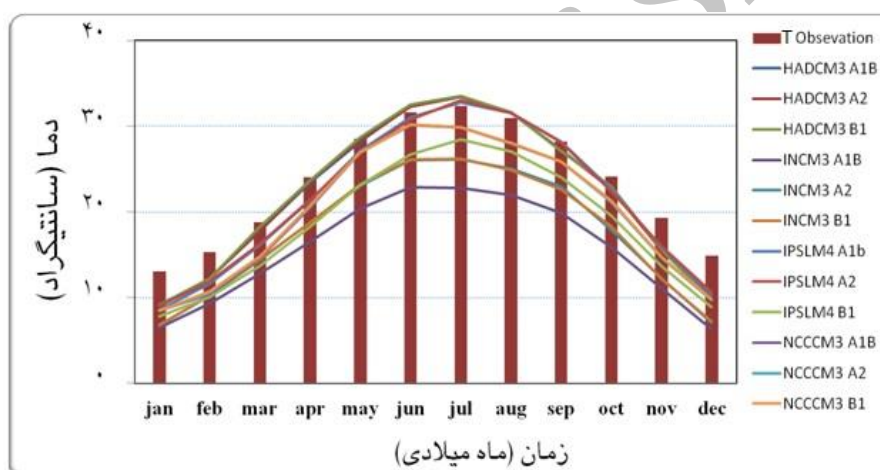
بررسی عملکرد مدل‌های GCM در شبیه‌سازی پارامترهای دما و بارش

در پژوهش حاضر، سری زمانی داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های سینوپتیکی جنوب شرق ایران با سری‌های زمانی داده‌های خروجی مدل‌های IPCC4، NCCCM3، HADCM3 و INCM3 در دوره مشابه با سه سناریوی A1B، A2 و B1 مقایسه شد. برای این منظور ابتدا به کمک داده‌های دما و بارش داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، سری زمانی متوسط هر ایستگاه محاسبه شد. سپس، فایل‌های داده‌های ماهانه دما و بارندگی مدل‌های GCM از تارنمای مرکز^۱ CCCSN کانادا در دوره آماری دریافت شد. در نهایت، این مقادیر با میانگین ماهانه دوره آماری دما و بارش مشاهداتی مقایسه شد. شکل ۳ و ۴ مقایسه بین داده‌های مدل‌های GCM و داده‌های مشاهداتی را برای دما و بارش در سناریوهای مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود مدل‌های گردش عمومی جو در برآورد درازمدت دما و بارش ماهانه منطقه با یکدیگر یکسان نیستند که در واقع، بیانگر عدم قطعیت موجود در خروجی‌های این مدل‌هاست (سادات آشفته و مساح بوانی، ۱۳۹۱).

1. Canadian Climate Change Scenarios Network (CCCSN)



شکل ۳. میانگین ماهانه بارش مشاهده‌ای متوسط ایستگاه‌ها و مدل‌های مختلف گردش عمومی جو



شکل ۴. میانگین ماهانه دمای مشاهده‌ای متوسط ایستگاه‌ها و مدل‌های مختلف گردش عمومی جو

همان‌طور که در روش پژوهش گفتیم، به منظور بررسی عدم قطعیت‌ها، با استفاده از فرمول (۳) وزن هر یک از مدل‌سناریوها در مدل‌سازی دما و بارش محاسبه شد. بر اساس جدول ۳، ملاحظه می‌شود که به ترتیب مدل HADCM3، INCM3 و IPCM4، در شبیه‌سازی بارش منطقه عملکرد خوبی دارد و در پنج ماه سرد سال، بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است. به بیانی دیگر، مدل NCCCM3 فقط در ماه‌های ژانویه تا آوریل توانایی خوبی در شبیه‌سازی مقدار بارش ماهانه دارد و از ژوئن تا سپتامبر هیچ وزنی به خود اختصاص نداده است. به هر روی، در مدل‌سازی بارش، مدل INCM3 ضعیف‌ترین نتایج را در مدل‌سازی داشت و نتایج خوبی از خود نشان نداد. همچنین، در ارتباط با سری داده‌های دما، مدل HADCH3 توانایی خوبی در اکثر ماه‌ها و بیشترین تأثیر را بر داده‌های دما دارد. در ماه‌های ژانویه، اکتبر، نوامبر و دسامبر بیشترین وزن متعلق به مدل NCCCM3 است (جدول‌های ۳ و ۴).

جدول ۳. وزن هر یک از مدل‌سناریوها برای متغیر بارش

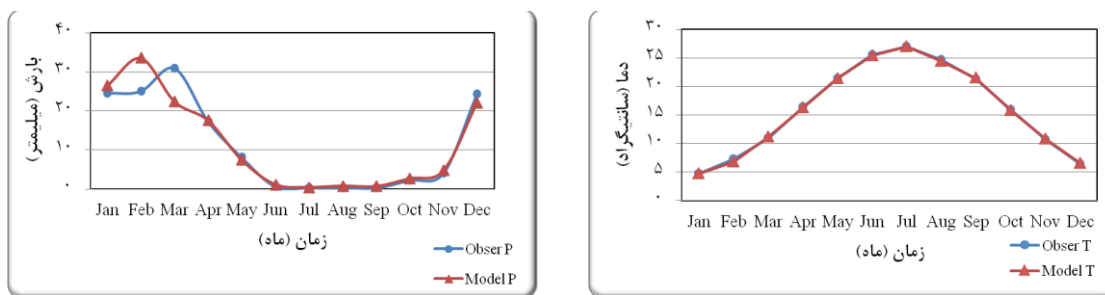
| NCCCM3 | | | IPSLM4 | | | INCM3 | | | HADCM3 | | | MONTH |
|--------|------|------|--------|------|------|-------|------|------|--------|------|------|-------|
| B1 | A2 | A1B | B1 | A2 | A1B | B1 | A2 | A1B | B1 | A2 | A1B | |
| 0/07 | 0/12 | 0/12 | 0/09 | 0/05 | 0/05 | 0/09 | 0/06 | 0/07 | 0/09 | 0/12 | 0/06 | Jan |
| 0/16 | 0/09 | 0/09 | 0/05 | 0/06 | 0/06 | 0/05 | 0/05 | 0/06 | 0/10 | 0/14 | 0/08 | Feb |
| 0/15 | 0/18 | 0/11 | 0/05 | 0/06 | 0/06 | 0/06 | 0/06 | 0/06 | 0/06 | 0/06 | 0/08 | Mar |
| 0/09 | 0/17 | 0/10 | 0/04 | 0/04 | 0/04 | 0/13 | 0/09 | 0/11 | 0/07 | 0/07 | 0/06 | Apr |
| 0/08 | 0/07 | 0/07 | 0/14 | 0/11 | 0/14 | 0/02 | 0/04 | 0/04 | 0/12 | 0/10 | 0/07 | May |
| 0/11 | 0/06 | 0/09 | 0/06 | 0/04 | 0/05 | 0/03 | 0/02 | 0/03 | 0/13 | 0/18 | 0/21 | Jun |
| 0/01 | 0/00 | 0/00 | 0/09 | 0/09 | 0/09 | 0/06 | 0/05 | 0/09 | 0/22 | 0/13 | 0/16 | Jul |
| 0/00 | 0/00 | 0/00 | 0/13 | 0/24 | 0/13 | 0/04 | 0/04 | 0/04 | 0/14 | 0/13 | 0/12 | Aug |
| 0/00 | 0/00 | 0/00 | 0/23 | 0/16 | 0/22 | 0/01 | 0/01 | 0/01 | 0/15 | 0/08 | 0/12 | Sep |
| 0/20 | 0/15 | 0/09 | 0/10 | 0/14 | 0/09 | 0/04 | 0/04 | 0/05 | 0/03 | 0/03 | 0/04 | Oct |
| 0/08 | 0/11 | 0/07 | 0/05 | 0/09 | 0/22 | 0/06 | 0/05 | 0/08 | 0/06 | 0/06 | 0/07 | Nov |
| 0/10 | 0/05 | 0/07 | 0/08 | 0/05 | 0/10 | 0/09 | 0/11 | 0/08 | 0/06 | 0/12 | 0/09 | Dec |

جدول ۴. وزن هر یک از مدل‌سناریوها برای متغیر دما

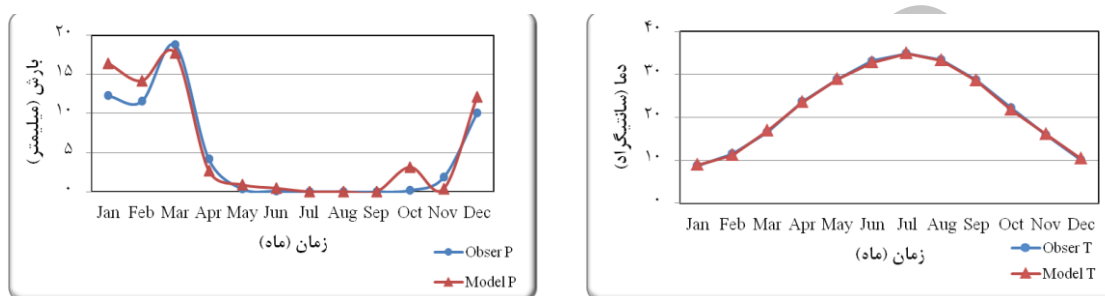
| NCCCM3 | | | IPSLM4 | | | INCM3 | | | HADCM3 | | | MONTH |
|--------|------|------|--------|------|------|-------|------|------|--------|------|------|-------|
| B1 | A2 | A1B | B1 | A2 | A1B | B1 | A2 | A1B | B1 | A2 | A1B | |
| 0/08 | 0/08 | 0/08 | 0/09 | 0/10 | 0/10 | 0/07 | 0/07 | 0/08 | 0/09 | 0/09 | 0/09 | Jan |
| 0/06 | 0/06 | 0/06 | 0/07 | 0/08 | 0/08 | 0/07 | 0/08 | 0/06 | 0/12 | 0/13 | 0/13 | Feb |
| 0/05 | 0/05 | 0/05 | 0/07 | 0/12 | 0/09 | 0/06 | 0/07 | 0/06 | 0/10 | 0/16 | 0/12 | Mar |
| 0/14 | 0/07 | 0/06 | 0/07 | 0/09 | 0/08 | 0/04 | 0/04 | 0/04 | 0/15 | 0/12 | 0/10 | Apr |
| 0/07 | 0/06 | 0/06 | 0/07 | 0/09 | 0/18 | 0/03 | 0/03 | 0/03 | 0/22 | 0/09 | 0/08 | May |
| 0/07 | 0/08 | 0/08 | 0/05 | 0/07 | 0/07 | 0/03 | 0/03 | 0/03 | 0/14 | 0/13 | 0/21 | Jun |
| 0/06 | 0/06 | 0/06 | 0/05 | 0/06 | 0/07 | 0/04 | 0/04 | 0/04 | 0/13 | 0/16 | 0/23 | Jul |
| 0/06 | 0/06 | 0/06 | 0/06 | 0/08 | 0/08 | 0/05 | 0/06 | 0/06 | 0/15 | 0/14 | 0/16 | Aug |
| 0/06 | 0/06 | 0/06 | 0/10 | 0/10 | 0/10 | 0/05 | 0/17 | 0/04 | 0/08 | 0/09 | 0/09 | Sep |
| 0/11 | 0/10 | 0/10 | 0/05 | 0/06 | 0/06 | 0/05 | 0/05 | 0/10 | 0/10 | 0/10 | 0/10 | Oct |
| 0/08 | 0/08 | 0/08 | 0/09 | 0/11 | 0/10 | 0/06 | 0/06 | 0/06 | 0/09 | 0/09 | 0/10 | Nov |
| 0/08 | 0/08 | 0/08 | 0/10 | 0/11 | 0/11 | 0/06 | 0/06 | 0/06 | 0/09 | 0/09 | 0/09 | Dec |

مدل‌سازی بارش و دما

همان‌طور که پیش‌تر در روش پژوهش تشریح شد، مقادیر میانگین بارش و دمای ایستگاه‌های سینوپتیک جنوب‌شرق ایران با استفاده از مدل LARS-WG ریزمقیاس‌نمایی شد. از آنجا که توان‌مندی مدل مولد هواشناسی تأثیر مستقیمی بر برآورد و ارزیابی صحیح تغییر اقلیم منطقه در دوره آتی دارد، نخست توان‌مندی مدل LARS-WG با مقایسه داده‌های دوره آماری مشاهده و داده‌های تولیدشده توسط مدل با استفاده از آزمون‌های آماری و نمودارهای مقایسه‌ای ارزیابی شد. در شکل‌های ۵ و ۶ نمودار مقایسه میانگین و انحراف معیار بارش و دمای ایستگاه کرمان و ایستگاه بندرعباس به عنوان نمونه آورده شده است. با تحلیل نتایج آزمون‌های آماری نظیر آزمون t و خی‌دو در تمامی ایستگاه‌ها ملاحظه می‌شود که اختلاف معناداری بین مقادیر مدل‌سازی شده و مقادیر واقعی آن‌ها در سطح بحرانی ۰/۰۵ وجود ندارد. در مجموع نتایج نشان می‌دهد که مدل LARS-WG توان‌مندی مدل‌سازی اقلیم دوره گذشته ایستگاه‌های تحت مطالعه را داراست.



شکل ۵. مقایسه دما و بارش مشاهده شده با داده‌های مدل‌سازی شده در ایستگاه کرمان

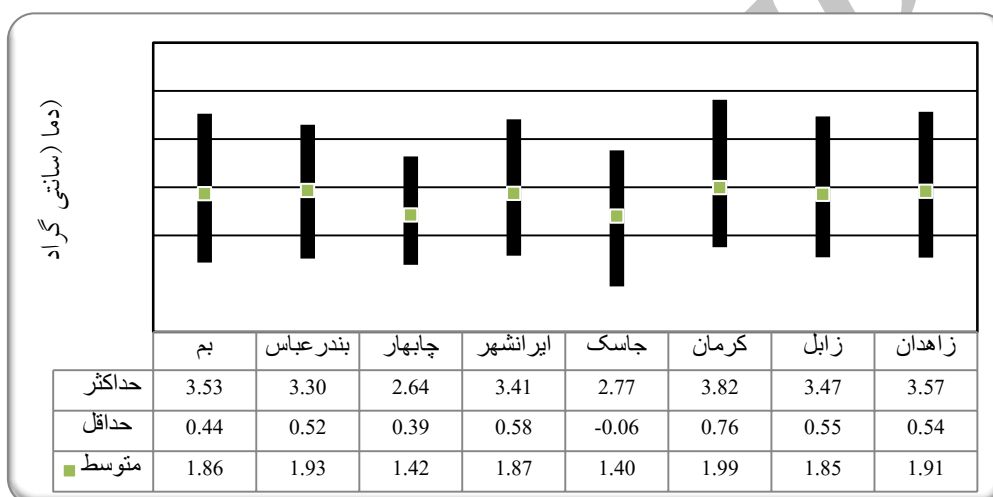


شکل ۶. مقایسه دما و بارش مشاهده شده با داده‌های مدل‌سازی شده در ایستگاه بندرعباس

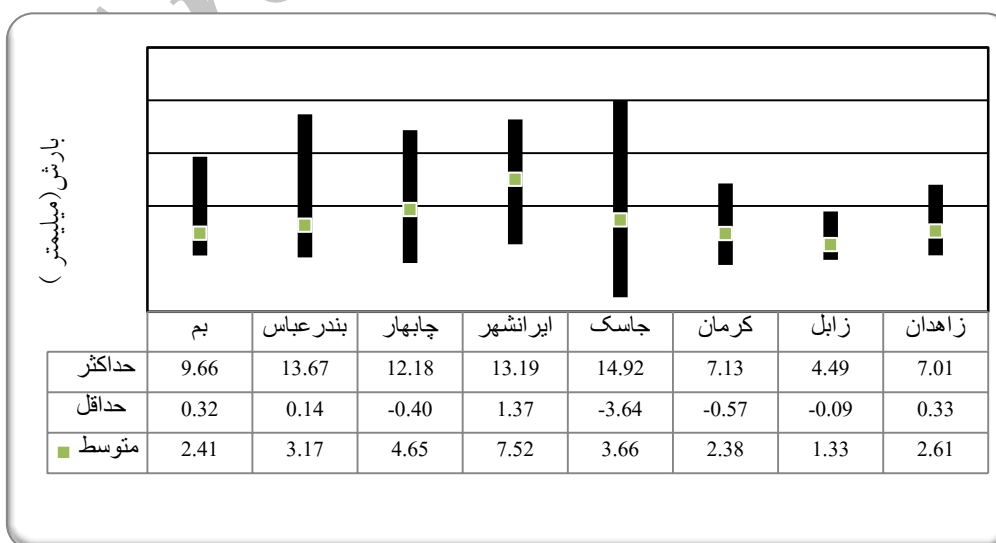
پس ارزیابی توان مندی مدل، مقادیر میانگین بارش و دمای ایستگاه‌ها توسط مدل ریزمقیاس شد. نتایج مبین رفتار و روند افزایشی دما در تمامی ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه در دوره‌های آینده است. شایان ذکر است که این نتایج برگرفته از مدل ترکیبی تمامی مدل‌ها بر اساس وزن‌های به دست آمده و لحاظ عدم قطعیت هر یک از سناریوهاست. افزایش دما در دوره ۹۰ ساله مورد مطالعه در ایستگاه بم بین $0/44 - 3/52$ درجه سانتی‌گراد، بندرعباس $0/52 - 3/30$ درجه سانتی‌گراد، چابهار $0/39 - 2/64$ درجه سانتی‌گراد، ایرانشهر $0/58 - 3/41$ درجه سانتی‌گراد، جاسک $0/38 - 2/27$ درجه سانتی‌گراد، کرمان $0/76 - 3/82$ درجه سانتی‌گراد، زابل $0/55 - 3/47$ درجه سانتی‌گراد و در ایستگاه زاهدان $0/54 - 3/57$ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۷). علاوه بر این، میزان افزایش دما در ایستگاه‌های واقع در خشکی از ایستگاه‌های مناطق ساحلی بیشتر است، به طوری که بیشترین افزایش دما به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های کرمان، زاهدان، بم، زابل و ایران شهر است. بر این اساس در تمامی ایستگاه‌های ساحلی افزایش دمای در انتهای قرن ۲۱ کمتر از ۳ درجه سانتی‌گراد است در حالی که در ایستگاه‌های خشکی بیش از ۳ درجه سانتی‌گراد ماست. عدم افزایش شدید میانگین دما در ایستگاه‌های ساحلی ممکن است ناشی از ظرفیت گرمایی بیشتر اقیانوسی و آثار تعدیلی بخار آب بیشتر موجود در جو آن، در برابر افزایش شدید دما در مقایسه با خشکی باشد. به طور کلی، کمترین افزایش دما در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه به میزان $2/27$ در جاسک و بیشترین افزایش دما در ایستگاه کرمان به میزان $3/83$ درجه سانتی‌گراد در دهه انتهایی دوره مورد مطالعه است.

مهم‌ترین مشخصه مدل‌سازی در ارتباط با بارش، عدم هماهنگی در رفتار افزایشی یا نزولی بودن بارش در دوره‌های آینده است. به عبارت دیگر، مانند دما نمی‌توان به راحتی این نتیجه را گرفت که در دوره‌های آتی مقدار بارش دارای روند افزایشی است؛ بلکه بارش دارای رفتاری نوسانی است. مطابق مقادیر مدل‌سازی شده مقدار بارش در طول فصل بهار در

تمامی ایستگاه افزایش می‌یابد، ولی در این زمان مقدار بارش در ایستگاه‌های واقع در خشکی همچون بم، کرمان، زاهدان، زابل و ایرانشهر به طور نسبی بیشتر است که باعث افزایش سیلاب‌های بهاری می‌شود. در نگاهی کلی، مقدار بارش طی فصول زمستان و پاییز در تمامی ایستگاه‌ها دارای روندی افزایشی است و همان‌طور که گفتیم این روند نظم خاصی ندارد. مطابق شکل ۸، تغییرات بارش در دوره ۹۰ ساله مورد مطالعه در ایستگاه بم $۰/۳۲ - ۹/۶۶$ میلی‌متر، در بندرعباس $۰/۱۴ - ۱۳/۶۷$ میلی‌متر، در چابهار $۰/۴ - ۱۲/۲۸$ میلی‌متر، در ایران شهر $۱/۳۷ - ۱۳/۱۹$ میلی‌متر، در جاسک $۳/۶۴ - ۱۴/۹۲$ میلی‌متر، در کرمان $۰/۵۷ - ۷/۱۳$ میلی‌متر، در زابل $۰/۰۹ - ۴/۴۹$ میلی‌متر و در ایستگاه زاهدان $۰/۰۹ - ۷/۰۱$ میلی‌متر است.



شکل ۷. میزان تغییرات دما (سانتی‌گراد) طی دوره ۹۰ ساله به تفکیک هر ایستگاه



شکل ۸. میزان تغییرات بارش (میلی‌متر) طی دوره ۹۰ ساله به تفکیک هر ایستگاه

در جمع بندی کلی در خصوص تغییرات بارشی آینده می توان نتیجه گرفت که افزایش بیشتر دما به همراه افزایش بیشتر ظرفیت رطوبت جوی در ایستگاه های واقع در خشکی نسبت به ایستگاه های همجوار ساحلی باعث می شود که میزان بارش های ناشی از مهیاشدن شرایط صعود همرفتی شدیدتر به صورت رخداد بارش های رگباری در فصول گرم تر افزایش نشان دهد. در این رابطه به منظور تبیین بیشتر تغییرات بارش و دما در ایستگاه های مورد مطالعه، نقشه تغییرات بارش و دما در سه دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ در فصل بهار در شکل ۹ الف تا ی آمده است.

در جدول ۵ خلاصه ای از میزان تغییرات بارش و دما به صورت ایستگاهی و لحاظ عدم قطعیت در مدل / سناریوهای مختلف با استفاده از فرمول (۲) در سه دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ آمده است. همان طور که ملاحظه می شود بیشترین افزایش دما در دوره انتهایی قرن حاضر رخ می دهد که مقدار بیشینه آن در ایستگاه زاهدان به میزان ۳/۲۳ درجه سانتی گراد و کمترین مقدار آن با ۲/۴۶ درجه سانتی گراد در ایستگاه جاسک خواهد بود. رفتار میانگین بارش منطقه از رفتار دما پیروی نمی کند. در مورد دما، میانگین های هر دهه از دهه قبلی بیشتر است و در سه دهه مورد بررسی میانگین دما روند افزایشی دارد، اما در مورد بارش این گونه نیست به طوری که بیشترین افزایش بارش در دوره اول (۲۰۱۱-۲۰۳۰) و کمترین افزایش در دوره دوم (۲۰۴۶-۲۰۶۵) مدل سازی رخ می دهد.

جدول ۵. متوسط تغییرات در سه دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ بر اساس مدل / سناریوهای مختلف

| نام ایستگاه | متوسط تغییرات بارش (میلی متر) | | | متوسط تغییرات دما (سانتی گراد) | | |
|-------------|-------------------------------|-----------|-----------|--------------------------------|-----------|-----------|
| | ۲۰۱۱-۲۰۳۰ | ۲۰۴۶-۲۰۶۵ | ۲۰۸۰-۲۰۹۹ | ۲۰۱۱-۲۰۳۰ | ۲۰۴۶-۲۰۶۵ | ۲۰۸۰-۲۰۹۹ |
| بم | ۲/۳۶ | ۲/۰۷ | ۲/۷۹ | ۰/۶۵ | ۱/۸۴ | ۳/۱۰ |
| بندرعباس | ۴/۸۰ | ۲/۶۴ | ۲/۰۷ | ۰/۷۴ | ۱/۹۲ | ۳/۱۳ |
| چابهار | ۴/۸۲ | ۴/۰۹ | ۵/۰۵ | ۰/۵۰ | ۱/۴۰ | ۲/۳۶ |
| ایران شهر | ۷/۳۹ | ۷/۱۸ | ۷/۹۹ | ۰/۷۱ | ۱/۸۵ | ۳/۰۵ |
| جاسک | ۳/۹۰ | ۲/۳۶ | ۴/۷۲ | ۰/۳۵ | ۱/۳۸ | ۲/۴۶ |
| کرمان | ۳/۴۳ | ۱/۴۳ | ۲/۲۹ | ۰/۹۹ | ۱/۷۸ | ۳/۲۰ |
| زابل | ۱/۷۲ | ۱/۱۴ | ۱/۱۳ | ۰/۶۶ | ۱/۸۲ | ۳/۰۸ |
| زاهدان | ۲/۷۹ | ۲/۷۴ | ۲/۳۱ | ۰/۶۵ | ۱/۸۵ | ۳/۲۳ |

داد که مدل LARS-WG5.1 توانایی مدل‌سازی مقادیر دما و بارش را دارد و هر مقدار که به تعداد سال‌های آماری افزوده شود، توان‌مندی آن نیز بالاتر می‌رود. توانایی این مدل ریزمقیاس نمایی در پیش‌بینی دما بهتر از بارش است که این نیز تأییدی است بر مطالعات قبلی بذرافشان و همکاران (۱۳۸۸) در ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG نسبت به ClimGen. بر اساس نتایج حاصل از عدم قطعیت بر روی خروجی مدل سناریوهای به‌کارگرفته شده در این پژوهش، مشخص شد که به ترتیب مدل NCCCM3، HADCM3، IPCM4 و INCM3 در شبیه‌سازی بارش منطقه دارای عملکرد قابل قبولی بوده است. به طور جزئی مدل NCCCM3 در ماه‌های سرد سال از جمله ژانویه، فوریه، می، آوریل و اکتبر، مدل HADCM3 در ماه‌های ژوئن، ژوئیه و دسامبر و مدل IPCM4 در ماه‌های می، اگوست، سپتامبر و نوامبر بهترین نتایج را داشته است. مدل INCM3 در مدل‌سازی بارش ضعیف‌ترین نتایج را داشت. همچنین، درباره دما می‌توان اظهار داشت که مدل HADCM3 توانایی مناسبی در اکثر ماه‌ها داشته و بیشترین تأثیر را بر داده‌های دما دارد، اما در ماه‌های ژانویه، اکتبر، نوامبر و دسامبر بیشترین وزن متعلق به مدل NCCCM3 است. در نهایت، پس از اعمال وزن‌های به‌دست آمده بر روی مقادیر مدل‌ها مشخص شد که تغییرات دما در تمامی ایستگاه‌ها، روند افزایشی دارد و میزان افزایش دما در ایستگاه‌های واقع در خشکی از ایستگاه‌های مناطق ساحلی بیشتر است. برعکس دما که دارای رفتار یکنواخت افزایشی است، بارش طی فصول و ایستگاه‌های مختلف، بسیار نوسانی عمل می‌کند. البته، شایان ذکر است که به طور سالیانه در تمامی ایستگاه‌ها با افزایش بارش روبه‌رویم. البته عباسی و اثمیری (۱۳۹۰) در ارزیابی تغییرات بارش و دمای سراسر ایران با استفاده از مدل MAGICC-SCENGEN افزایش یکنواخت دما و برعکس رفتارهای نوسانی و مبهم در تغییرات بارش‌های آینده بر روی پهنه جنوب شرق کشور را گزارش کردند. در مجموع، با ارزیابی دقیق‌تر نتایج خروجی‌ها مشخص شد که دما به طور متوسط در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۹ حدود ۰/۳۵ تا ۰/۹۹ درجه سانتی‌گراد، در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ حدود ۱/۳۸ تا ۱/۹۲ سانتی‌گراد و در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ حدود ۲/۳۶ تا ۳/۲۳ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. مهم‌ترین مشخصه اصلی نتایج دما نیز، رفتار یکسان در تمامی ایستگاه‌هاست. بیشترین و کمترین افزایش دما به ترتیب مربوط به ایستگاه زاهدان و جاسک به میزان ۳/۲۳ و ۰/۳۵ درجه سانتی‌گراد در دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۹ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ رخ خواهد داد. همچنین، بیشترین و کمترین افزایش بارش نیز به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ایرانشهر و زابل به میزان ۷/۹۹ و ۱/۱۳ در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ خواهد بود. بارش به طور متوسط در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۹ حدود ۷/۳۹ تا ۱/۷۲ میلی‌متر، در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ حدود ۷/۱۸ تا ۱/۱۴ میلی‌متر و در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ حدود ۷/۹۹ تا ۱/۱۳ میلی‌متر افزایش می‌یابد. به‌طور کلی، نتایج بارش نشان می‌دهد که رفتار بارش‌های فصلی در منطقه جنوب شرق به گونه‌ای است که عمدتاً افزایش در فصول زمستان و بهار خواهد بود، به طوری که بیشترین افزایش فصلی بارش در فصل زمستان ایستگاه جاسک به میزان ۱۴/۹۲ میلی‌متر و ایرانشهر به میزان ۹/۹۶ میلی‌متر است. بنابراین، در دوره مورد مطالعه رژیم بارشی به سمت انتهای فصل بارش، یعنی زمستان و بهار، جابه‌جا خواهد شد. در این زمینه لازم است مسئولان به تأثیر بیشتر بارش‌های بهار روی ایستگاه‌های واقع در خشکی در وقوع سیلاب‌های ناگهانی در مقیاس محلی بیشتر توجه کنند.

منابع

- بابائیان، ا.؛ نجفی‌نیک، ز. (۱۳۸۵). معرفی و ارزیابی مدل LARS-WG برای مدل‌سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان در دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۳، مجله نیوار، ۶۲ و ۶۳ پاییز و زمستان: ۴۹-۶۹.
- بذرافشان، ج.؛ خلیلی، ع.؛ هورفر، ع.؛ ترابی، ص.؛ و حجام، س. (۱۳۸۸). بررسی و مقایسه عملکرد دو مدل LARS-WG و ClimGen در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در شرایط مختلف اقلیمی ایران، مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۳: ۴۴-۵۷.
- سادات آشفته، پ.؛ مساح‌بوانی، ع. (۱۳۹۱). بررسی تأثیر عدم قطعیت مدل‌های چرخه عمومی جو و اقیانوس و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای بر رواناب حوضه تحت تأثیر تغییر اقلیم؛ مطالعه موردی حوضه قرقنو، آذربایجان شرقی. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۲: ۳۶-۴۷.
- ضرغامی، م.؛ حسن‌زاده، ی.؛ بابائیان، ا.؛ کنعانی، ر. (۱۳۸۹). مطالعه تغییر اقلیم و آثار آن بر خشکسالی استان آذربایجان شرقی، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، هیدرولوژی، هیدرولیک و جنبه‌های مختلف منابع آب ایران، شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه، ص ۱۶۳-۱۷۲.
- عباسی، ف.؛ اثمیری، م. (۱۳۹۰). پیش‌بینی و ارزیابی تغییرات دما و بارش ایران در دهه‌های آینده با الگوی MAGICC-SCENGEN، نشریه آب و خاک، ۲۵(۱): ۷۰-۸۳.
- مساح بوانی، ع.؛ مرید، س.؛ محمدزاده، م. (۱۳۸۵). بررسی عدم قطعیت در توزیع تجمعی احتمالاتی رواناب تحت تأثیر تغییر اقلیم. دومین کنفرانس منابع آب ایران، ۳ و ۴ بهمن، اصفهان.
- Abbasi, F.; Asmari, M. (2011). Forecasting and assessment of climate change over Iran during future decades using MAGICC-SCENGEN model. *J Water and Soil* 25: 70-83. (In Persian).
- An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, Climate Change (2007). Synthesis Report.
- Ashofteh, P.S.; Massah, A.R. (2012). Investigation of AOGCM Model Uncertainty and Emission Scenarios of Greenhouse Gases Impact on the Basin Runoff under Climate Change, Case study Gharanghu Basin, East Azerbaijan. *Iran-Water Resources Research* 2 (8): 36-47. (In Persian).
- Babaeian, I.; Najafi Nik, Z. (2006). The introduction and evaluation of the LARS model for modeling the meteorological parameters of Khorasan Province in the period 1961-2003. *J Nivar* 62: 49-65. (In Persian).
- Bazrafshan, J.; Khalili, A.; Hoorfar, A.; Torabi, S.; Hajjam, S. (2009). Comparison of the Performance of ClimGen and LARS-WG Models in Simulating the Weather Factors for Diverse Climates of Iran. *Iran-Water Resources Research*, 5 (1): 12-14. (In Persian).
- Babaeian, I.; Kwon, W.T.; Im, E. (2004). Application of Weather Generator technique for climate change assessment over Korea. Korea Meteorological Research Institute, Climate Research lab.
- Bae, D.H.; Jung, W.; Chang, H. (2008). Potential changes in Korean water resources estimated by high-resolution climate simulation. *J. Clim Res*, Vol. 35: 213-226.
- Bardossy, A. (1997). Downscaling from GCMs to local climate through stochastic linkages. *J Environ Manage*, 49:7-17.
- Barrow, E.; Hulme, M.; Semenov, M.A. (1996). Effect of using different methods in the construction of climate change scenarios: examples from Europe. *Clim Res*, 7:195-211.
- Barrow, E.M.; Semenov, M.A. (1995). Climate change scenarios with high spatial and temporal resolution for agricultural applications. *Forestry*, 68:349-360.
- Covey, C.; Achuta, K.M.; Cubasch, U.; Jones, P.; Lambert, S.J.; Mann, M.E.; Phillipis, T.J.; Taylor, K.E. (2003). An overview of results from the Couplec Model Intercomparison Project. *Global Planet. Change*, 37: 103-133.
- Darwin, R.; Kennedy, D. (2000). Economic effects of CO₂ fertilization Of crops: transforming changes in yield into changes in supply. *Environmental Modeling and Assessment* 5, 3: 157-168.
- Dibike, Y.B.; Coulibaly, P. (2005). Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models, *Journal of Hydrology*, 307: 145-163. www.elsevier.com/locate/jhydrol.

- Dubrovsky, M. (1996). Met&Roll: the stochastic generator of daily weather series for the crop growth model. *Meteorological Bulletin*, 49: 97-105.
- Elmahdi, A.; Shahkarami, N.; Morid, S.; Massah Bavani, A.R. (2009). Assessing the impact of AOGCMs uncertainty on the risk of agricultural water demand caused by climate change. 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July. <http://mssanz.org.au/modsim09>
- Khan, M.S.; Coulibaly, P.; Dibike, Y. (2006). Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *Journal of Hydrology* 319: 357–382. www.elsevier.com/locate/jhydrol.
- Massah Bevani, A.; Morid, S.; Mohammad Zadeh, M.; Godos, C. (2007). Uncertainty analysis in cumulative distribution probability of runoff under climate change. *Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran*, 23 & 24 January: (In Persian).
- Murphy, J. (1999). An evaluation of statistical and dynamical techniques for downscaling local climate. *J Clim*, 12: 2256–2284.
- Nakicenovic, N.; Swart, R. (eds) (2000). *Emissions scenarios. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Parrey, M.L.; Rosenzweig, C.; Iglesias, A.; Livermore, M.; Fischer, G. (2004). Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change* 14: 53–67.
- Racsko, P.; Szeidl, L.; Semenov, M. (1991). A serial approach to local stochastic weather models. *Ecol Model*, 57:27–41.
- Reaney, S.M.; Fowler, J.H. (2008). Uncertainty estimation of climate change impacts on river flow incorporating stochastic downscaling and hydrological model parameterization error source. *BHS 10th National Hydrology Symposium*, Exeter.
- Richardson, C.W. (1981). Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation. *Water Resour Res*, 17:182–190.
- Richardson, C.W.; Wright, D.A. (1984). *WGEN: a model for generating daily weather variables: Agricultural Research Service ARS-8, US Department of Agriculture, Washington, DC*.
- Salon, S.; Cossarini, G.; Libralato, S.; Gao, X.; Solidoro, S.; Giorgi, F. (2008). Downscaling experiment for the Venice lagoon. I. Validation of the present-day precipitation climatology. *Clim Res*, 38: 31–41.
- Semenov, M.A. (2009). Impacts of climate change on wheat in England and Wales. *J. R. Soc. Interface*, 6: 343–350.
- Semenov M.A. (2008). Ability of a stochastic weather generator to reproduce extreme weather events, *Climate Research*, 35:203-212
- Semenov, M.A. (2007). Development of high-resolution UKCIP02-based climate change scenarios in the UK. *Agric For Meteorol*, 144:127–138.
- Semenov, M.A.; Brooks, R.J.; Barrow, E.M.; Richardson, C.W. (1998). Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in diverse climates. *Climate Research*, 10: 95-107.
- Semenov, M.A.; Stratonovitch, P. (2010). Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate Research*, 41(2) 1–14.
- Trigo, R.M.; Palutikof, J.P. (2001). Precipitation scenarios over Iberia: a comparison between direct GCM output and different downscaling techniques. *J Clim*, 14: 4422–4446.
- Wilby, R.L.; Wigley, T.M.L.; Conway, D.; Jones, P.D.; Hewiston, B.C.; Main, J.; Wilks, D.S. (1998). Statistical downscaling of general circulation model output: a comparison of methods. *Water Resour Res*, 34: 2995–3008.
- Wilby, R.L.; Charles, S.P.; Zorita, E.; Timbal, B.; Whetton, P.; Mearns, L.O. (2004). *Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Statistical Downscaling Methods*, IPCC Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Analysis.
- Wilby, R.L.; Conway, D.; Jones, P.D. (2002). Prospects for downscaling seasonal precipitation variability using conditioned weather generator parameters, hydrological processes: 1215–1234.

- Wilby, R.L.; Dawson, C.W.; Barrow, E.M. (2001). SDSM Version 3.1—A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts.
- Wilks, D.S.; Wilby, R.L. (1999). The weather generation game: a review of stochastic weather models. *Progress in Physical Geography*, 23: 329–357.
- Wilks, D.S. (1992). Adapting stochastic weather generation algorithms for climate change studies. *Climate change*, 22: 67-84.
- Zarghami, M.; Hassanzadeh, Y.; Babaian, I.; Kanani, R. (2010). The study of climate change and its effects on the drought in East Azerbaijan province. *Proceedings of the 1st Iranian National Conference on Applied Researches in Water Resources (INCRW)*, Technical University of Kermanshah, Iran, 11-13 May: 163-172. (In Persian).

Archive of SID