

پیش‌بینی بارش در حوضه آبریز کرخه با استفاده از مدل LARS-WG

محمدحسین جهانگیر^{۱*}، آراد اسدی^۲، اقبال نوروزی^۲، مریم طالعی^۲

۱. استادیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی اکوهیدرولوژی، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۰۲/۲۰، تاریخ تصویب ۱۳۹۹/۰۷/۰۴)

چکیده

یکی از مسائل مهم در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب کشور، پیش‌بینی تغییرات بارش در دوره‌های آینده است. هدف از تحقیق حاضر، بررسی روند تغییرات بارش ۱۹ سال آینده حوضه آبریز کرخه با استفاده از ۶ ایستگاه سینوپتیک (اسلام‌آباد غرب، بستان، خرم‌آباد، روانسر، کنگاور و ملایر) است. ابتدا داده‌های اقلیمی دوره پایه از سال ۱۹۹۸ تا سال ۲۰۱۶ به صورت روزانه فراهم شد. سپس، داده‌های خروجی مدل گردش عمومی جو IPCM4 با سه سناریوی تغییر اقلیم A1B، A2 و B1 توسط مدل LARS-WG در حوضه آبریز کرخه ریزمقیاس شد. نتایج به‌دست‌آمده از تغییرات بارش، در ۶ ایستگاه سینوپتیک حوضه آبریز کرخه در دوره پایه (۲۰۱۶-۱۹۹۸) و دوره آینده (۲۰۱۷-۲۰۳۵) ارزیابی و تجزیه و تحلیل شد. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی میانگین بارش نشان می‌دهد در ایستگاه‌های اسلام‌آباد غرب، بستان، روانسر و ملایر میزان بارندگی ۱۹ سال دوره آینده نسبت به ۱۹ سال دوره گذشته بر اساس هر سه سناریوی A1B و A2 و B1 افزایش پیدا می‌کند و سناریوی اقلیمی A2 افزایش بیشتری را نسبت به دیگر سناریوها نشان می‌دهد. همچنین، میزان بارندگی دوره آینده نسبت به دوره گذشته در ایستگاه کنگاور، طبق هر سه سناریوی A1B و A2 و B1 کاهش خواهد یافت. در ایستگاه خرم‌آباد فقط طبق سناریوی A2 افزایش بارندگی در دوره آینده نسبت به دوره گذشته خواهد بود و طبق سناریوهای A1B و B1 میزان بارندگی دوره آتی روند کاهشی خواهد داشت.

کلیدواژگان: تغییر اقلیم، سناریو، گازهای گلخانه‌ای، مدل IPCM4.

مقدمه

صنعتی شدن جوامع و افزایش رو به رشد گازهای گلخانه‌ای در دهه‌های اخیر، سبب افزایش دما و تغییر در سایر پارامترهای اقلیمی شده است که در مباحث علمی به آن تغییر اقلیم می‌گویند. گزارش‌های مشاهداتی و بررسی‌های اقلیمی نشان می‌دهند منابع آب آسیب‌پذیر هستند و قابلیت آن را دارند که بر اثر تغییر اقلیم دستخوش تغییرات شگرفی شوند و نتایج وسیعی برای جوامع انسانی و اکوسیستم‌ها در بر داشته باشند. طبق چهارمین گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم^۱ مدل‌های چرخش عمومی جو- اقیانوسی^۲ به عنوان ابزار اصلی پیش‌بینی اقلیم معرفی شده‌اند [۱]. اما ضعف عمده آنها، قدرت تفکیک مکانی کم و نیز ساده‌سازی‌هایی است که برای فرایندهای اقلیمی در نظر می‌گیرند [۲]. برای برطرف کردن ضعف قدرت تفکیک پایین، باید خروجی این شبیه‌سازی‌ها قبل از استفاده در مطالعات ارزیابی آثار تغییر اقلیم ریزمقیاس شوند [۳].

امروزه، استفاده از انواع ریزمقیاس‌نمایی آماری مانند MET & ROLL و CLIMGEN، SDSM، LARS-WG برای شبیه‌سازی رفتار اقلیم در نقاط مختلف جهان رایج است [۲]. در زمینه تأثیرات تغییر اقلیم بر پارامتر اقلیمی بارش مطالعات زیادی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. روشنفکر و همکاران (۱۳۹۴) طی تحقیقی تأثیرات تغییر اقلیم با مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG برای داده‌های مدل IPCM4 را طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ در ایستگاه سبزواری ارزیابی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد دما و بارش برای منطقه مورد نظر روند افزایشی دارد و افزایش دما مربوط به ماه‌های گرم سال است. همچنین، طی پژوهشی با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG تغییرات بارش و دمای ماهانه در جنوب شرق کشور بر اساس خروجی چهار مدل با سناریوی مشترک A1B، A2 و B1، و توانمندی مدل لارس در شبیه‌سازی اقلیم گذشته بررسی شد [۳]. نتایج پژوهش یادشده نشان داد دما طی دوره‌های آتی روند افزایشی دارد و روند تغییرات بارش در ایستگاه‌ها نوسانی است. همچنین، 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 آینده مناطق بررسی‌شده داشت [۴]. اشرف و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی شهر مشهد طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ را با استفاده از مدل LARS-WG بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان‌دهنده توانمندی زیاد این مدل مولد داده‌های هواشناسی در تولید داده‌های روزانه پارامترهای اقلیمی بود [۵]. همچنین، طی پژوهشی با در نظر گرفتن شرایط تغییر اقلیم در حوضه‌های رودخانه‌های کالیفرنیا آمریکا پیش‌بینی شد که در پایان قرن حاضر ذوب برف هر سال زودتر آغاز می‌شود و ذخایر برف زمستانه به میزان ۵۰ درصد کاهش می‌یابد [۶]. در تحقیق دیگری تأثیرات تغییر اقلیم بر میزان بارش در حوضه سد گلستان با استفاده از مدل‌های GCM و برای دو سناریوی A2 و B1 طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ با یک روش ریزمقیاس‌نمایی شبکه عصبی بررسی شد. نتایج پژوهش یادشده نشان داد میزان بارندگی‌ها در فصل پاییز و زمستان افزایش یافته و در بهار و تابستان کاهش می‌یابد [۷]. رضایی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی به بررسی کارایی مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری در پیش‌بینی بارش در دو اقلیم خشک و فراخشک پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد میزان بارش سالانه تا سال ۲۰۲۹ در ایستگاه کرمان در سناریوهای A2 و B2 به ترتیب ۱/۳ و ۰/۳ میلی‌متر کاهش و در ایستگاه بم حدود ۴/۵۶ و ۵/۴ میلی‌متر نسبت به دوره پایه افزایش خواهند داشت [۸]. چن^۳ و همکاران (۲۰۱۳) طی تحقیقی دما و بارش برای منطقه سودان جنوبی و سودان را با هفت مدل گردش عمومی جو و بر اساس سناریوی A2 با استفاده از مدل LARS-WG پیش‌بینی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد بین دمای حداقل و حداکثر همه مدل‌های گردش عمومی جو یک هماهنگی در کلیه ایستگاه‌ها وجود دارد، اما بارش در مناطق یادشده بیانگر عدم قطعیت زیادی در مدل گردش عمومی جو است [۹]. جهانگیر و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به بررسی و شبیه‌سازی پارامتر اقلیمی بارش با استفاده از مدل LARS-

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)
2. Atmosphere-Ocean General Circulation Models

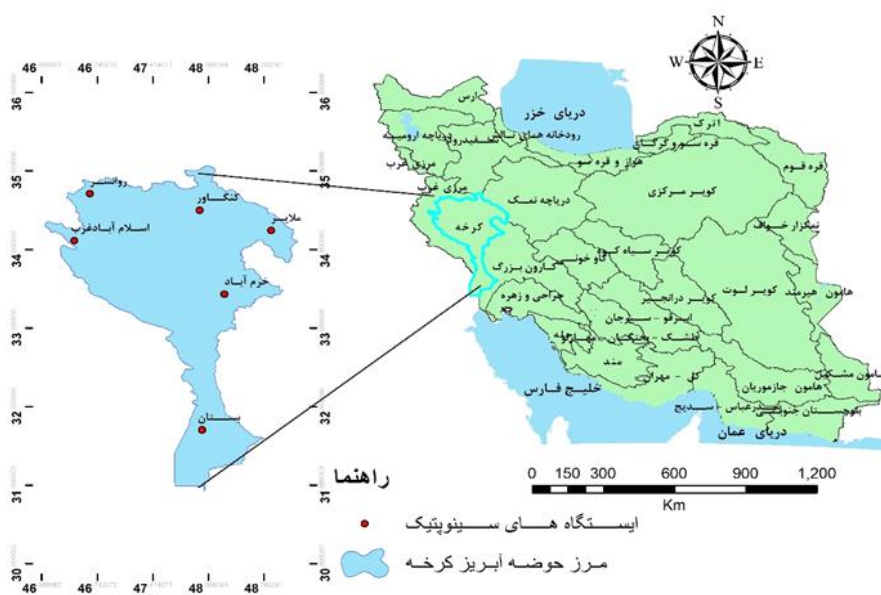
پژوهش یادشده نشان داد مدل همبستگی زیادی بین مقادیر مشاهداتی و تولیدشده بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت‌های آفتابی وجود دارد که البته مقادیر حداقل و حداکثر بیشترین همبستگی را داشته و مقادیر مربوط به ساعت‌های آفتابی کمترین میزان همبستگی را دارد [۱۶]. هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی روند تغییرات بارندگی در دهه‌های اخیر (۱۹۹۸-۲۰۱۶) و پیش‌بینی این تغییرات در دهه‌های آینده (۲۰۱۷-۲۰۳۵) در حوضه آبریز کرخه است.

در پژوهش پیش رو ابتدا عملکرد مدل LARS-WG در ریزمقیاس‌نمایی داده‌های حاصل از مدل‌های گردش عمومی جو ارزیابی می‌شود. این تحقیق نسبت به پژوهش‌های مشابه صورت گرفته تعداد ایستگاه‌های بیشتری دارد و همه سناریوهای مدل‌های گردش عمومی و ایستگاه‌های با اقلیم متفاوت انجام شده است. سپس، اقدام به شبیه‌سازی پارامتر اقلیمی بارش دوره‌های آتی تا سال ۲۰۳۵ میلادی با ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو توسط مدل LARS-WG تحت مدل IPCM4 برای حوضه کرخه شده و در نهایت، روند تغییرات پارامتر اقلیمی بارش مطالعه و بررسی می‌شود.

منطقه مطالعه شده

حوضه آبریز کرخه مساحتی حدود ۵۰۷۶۸ کیلومترمربع دارد که حدود ۳۳۶۷۴ کیلومترمربع آن در منطقه کوهستانی و مرتفع است و حدود ۱۷۰۹۴ کیلومترمربع آن را دشت‌ها و کوهپایه‌ها تشکیل می‌دهند. این حوضه در غرب کشور، در مناطق میانی و جنوب غربی رشته‌کوه‌های زاگرس قرار دارد که به لحاظ تقسیم‌بندی هیدرولوژی ایران جزئی از حوضه آبریز خلیج فارس به شمار می‌رود. این حوضه آبریز از شمال به حوضه رودخانه‌های سیروان، سفیدرود و قره‌چای، از مغرب به حوضه رودخانه دز و از جنوب به قسمتی از مرز غربی کشور محدود می‌شود. موقعیت جغرافیایی و ایستگاه‌های منطقه مطالعه شده و در شکل ۱ نشان داده شده است. از داده‌های ۶ ایستگاه سینوپتیک شامل اسلام‌آباد غرب، بستان، خرم‌آباد، روانسر، کنگاور و ملایر در محدوده حوضه قرار دارند، برای شبیه‌سازی پارامتر اقلیمی بارش استفاده شده است. آمار مربوط به این ایستگاه‌ها در جدول ۱ آمده است.

WG در ایستگاه اصفهان پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد میانگین ۲۰ ساله بارش روند افزایشی خواهد داشت [۱۰]. طی پژوهشی که در آفریقای جنوبی انجام شد، واکنش متغیرهای اقلیمی این منطقه به افزایش گازهای گلخانه‌ای بررسی شد. در پژوهش یادشده از خروجی سه مدل چرخش عمومی و سناریوی B2 استفاده شده است. نتایج پژوهش یادشده نشان داد تا پایان قرن ۲۱، بارندگی در بیشتر مناطق جنوبی، به میزان ۲/۸ درصد کاهش خواهد یافت [۱۱]. همچنین، طی پژوهشی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ با استفاده از مدل LARS-WG بررسی شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد به طور کلی عملکرد مدل بارش در مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی در ایستگاه‌های بررسی شده مناسب است [۱۲]. طی تحقیق دیگری به ارزیابی تغییر اقلیم ایران در دهه‌های آینده (۲۰۲۵-۲۱۰۰ میلادی) با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو و مدل ریزمقیاس LARS-WG پرداخته شد. نتایج اجرای مدل با داده‌های HADCM3 کاهش ۲/۵ درصدی بارش تا دهه ۲۱۰۰ را نشان داد [۱۳]. ضیاهاشمی و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای به مقایسه دو مدل SDSM و LARS-WG برای شبیه‌سازی بارش‌های شدید در منطقه کلوت^۱ واقع در جزیره جنوبی نیوزیلند پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد هر دو مدل توانایی‌های مشابه و خوبی در شبیه‌سازی رویدادهای بارش شدید دارند و قابل استفاده برای پیش‌بینی‌های اقلیمی هستند [۱۴]. طی پژوهش دیگری تغییرات اقلیمی استان سیستان و بلوچستان با استفاده از ریزگردانی داده‌های مدل گردش عمومی (GCM) برای دوره اقلیمی آینده (۲۰۱۰-۲۰۳۵) شبیه‌سازی شده است. تحلیل داده‌های تولیدشده در دوره اقلیمی آینده و مقایسه آن با دوره گذشته بیانگر افزایش بارش در ایستگاه‌ها و همچنین افزایش فراوانی تعداد بارش‌های سنگین در محدوده‌های ایستگاه‌ها بود. همچنین، در دوره اقلیمی آینده مؤلفه کمینه دما بیش از بیشینه افزایش یافته بود که منجر به کاهش دامنه شبانه‌روزی دما و کاهش دما در سال‌های آتی برای استان خواهد شد [۱۵]. در تحقیقی به کاربرد مدل LARS-WG در پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی در حوضه قره‌سو پرداخته شد. نتایج



شکل ۱. موقعیت منطقه و ایستگاه‌های مطالعه‌شده حوضه آبریز کرخه

جدول ۱. نام و مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک استفاده‌شده در تحقیق

ایستگاه	استان	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول دوره
اسلام‌آباد غرب	کرمانشاه	۴۶/۴۶	۳۴/۱۱	۱۳۴۸/۸	۱۹۹۸-۲۰۱۶
بستان	خوزستان	۴۸/۰۱	۳۱/۷۰	۷/۸	۱۹۹۸-۲۰۱۶
خرم‌آباد	لرستان	۴۸/۲۸	۳۳/۴۳	۱۱۴۷/۸	۱۹۹۸-۲۰۱۶
روانسر	کرمانشاه	۴۶/۶۵	۳۴/۷۱	۱۳۸۰	۱۹۹۸-۲۰۱۶
کنگاور	کرمانشاه	۴۷/۹۸	۳۴/۵	۱۴۶۸	۱۹۹۸-۲۰۱۶
ملایر	همدان	۴۸/۸۵	۳۴/۲۴	۱۷۷۶/۵	۱۹۹۸-۲۰۱۶

منبع: سازمان هواشناسی کل کشور

مواد و روش‌ها

مدل‌های گردش عمومی جو

درخصوص مدل‌سازی اقلیمی دوره‌های آینده، روش‌های مختلفی وجود دارد که جامع‌ترین این روش‌ها، مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) هستند. مدل‌های GCM قادر به شبیه‌سازی چرخه عمومی جو هستند و می‌توانند برای شبیه‌سازی جو-اقیانوسی با مقیاس‌های گوناگون به کار گرفته شوند. هدف از این مدل‌ها، شبیه‌سازی همه ویژگی‌های سه‌بعدی آب‌وهوا است. از این‌رو، این مدل‌ها جامع‌ترین مدل‌های جوی برای پیش‌بینی وضعیت آینده هستند. یکی از چالش‌های مهم در مطالعات مربوط به مطالعات مربوط به مدل‌های گردش عمومی جو، بزرگ مقیاس بودن مکانی متغیرهای شبیه‌سازی شده است. بنابراین، خروجی‌های حاصل از این مدل‌ها در مقیاس

ایستگاهی و حتی حوضه آبخیز قابل استفاده نیستند. بنابراین، باید خروجی‌های این مدل‌ها ریزمقیاس شوند. ریزمقیاس‌نمایی داده‌های حاصل از مدل‌های گردش عمومی جو معمولاً به دو روش آماری و دینامیکی صورت می‌گیرد. معتبرترین روش دینامیکی- آماری است. در این روش ابتدا برون‌داد مدل گردش عمومی به روش دینامیکی ریزمقیاس می‌شود. سپس، خروجی‌ها به روش آماری واسنجی و اصلاح می‌شوند [۱۷]. در این تحقیق برای ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های گردش عمومی جو، از مولد آب‌وهوایی LARS-WG ابداع‌شده توسط راسکو^۱ و همکاران، (۱۹۹۱) و سمنوف^۲ و بارو^۳ (۱۹۹۷) استفاده شده است.

1. Racsko
2. Semenov
3. Barrow

وابسته‌اند، الگوسازی می‌شود. سری فوریه مرتبه سوم برای شبیه‌سازی میانگین و انحراف معیار دمای فصلی به کار می‌رود. مدل برای مقایسه بین داده‌های مشاهده‌شده و تولیدشده از سه معیار توزیع‌های احتمال، میانگین‌ها و انحراف معیارها به ترتیب از طریق آزمون‌های کلموگروف اسمیرنوف (K-S)، T (آزمون تی‌استیودنت) و F استفاده می‌کند. آزمون‌های یادشده بر اساس این فرض هستند که داده‌های هواشناسی مشاهده‌شده و تولیدشده، هر دو نمونه‌ای تصادفی از یک توزیع هستند. مشخصات مدل گردش عمومی استفاده‌شده در این تحقیق در جدول ۲ آورده شده است. همچنین، خصوصیات سناریوهای شبیه‌سازی شده در جدول ۳ بیان شده است.

مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG

این مدل تولیدکننده آب‌وهوای تصادفی است که برای شبیه‌سازی سری‌های زمانی دمای کمینه و بیشینه، بارش و تابش (ساعت‌های آفتابی) در شرایط اقلیم دوره‌های گذشته و آینده به کار می‌رود. در این مدل از متغیرهای بزرگ مقیاس اتمسفری استفاده نمی‌شود و متغیرهای اقلیمی محلی به تناسب تنظیم می‌شوند تا تغییر اقلیم را نشان دهند [۱۸]. در این مدل از توزیع‌های آماری نیمه‌تجربی استفاده شده است که برآورد دما براساس سری‌های فوریه انجام می‌گیرد و دمای بیشینه و کمینه روزانه به صورت فرایندهای تصادفی با میانگین انحراف معیارهای روزانه که به وضعیت تر یا خشک روز مورد نظر

جدول ۲. مشخصات مدل گردش عمومی جو استفاده‌شده در تحقیق

نام مدل	گروه مؤسس	کشور	قدرت تفکیک (درجه)	سناریوی شبیه‌سازی
IPCM4	Institute Pierre Simon Laplace	فرانسه	۲/۵×۳/۷۵	SRA1B, SRA2, SRB1

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (1)$$

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

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (3)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)}{n} \quad (4)$$

در این روابط X_i و Y_i به ترتیب i امین داده واقعی (مشاهده‌شده) و شبیه‌سازی‌شده توسط مدل، \bar{X} و \bar{Y} میانگین کل داده‌های X_i و Y_i در جامعه آماری و n تعداد کل نمونه‌های ارزیابی‌شده هستند.

پس از ارزیابی مدل LARS - WG با استفاده از شاخص‌های خطاسنجی و ضریب تعیین و اطمینان از مناسب بودن مدل، از مدل LARS - WG برای ریزمقیاس کردن داده‌های مدل گردش عمومی جو و از مدل IPCM4 به منظور تولید داده‌های دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۳۵) استفاده شد. سپس، تغییرات بارش ماهانه دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۶) مقادیر مشاهده‌شده و تولیدشده و همچنین، انحراف معیار بارش ماهانه محاسبه شده و مقادیر آنها نشان داده شد. پس

در این پژوهش برای اجرای مدل LARS-WG از داده‌های روزانه دمای کمینه و بیشینه، بارش و تابش در دوره آماری ۱۹ ساله (۱۹۹۸-۲۰۱۶) که به عنوان دوره پایه ۶ ایستگاه یادشده است، استفاده شده است. این داده‌ها از سازمان هواشناسی کل کشور دریافت شده‌اند. مدل LARS-WG در سه مرحله اجرا می‌شود، این مراحل شامل کالیبره کردن، ارزیابی داده‌ها و تولید داده برای دوره آتی است. خروجی این مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش، تابش و تبخیر و تعرق پتانسیل است. در مرحله کالیبره کردن مدل داده‌های تهیه‌شده در دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۶) برای ۶ ایستگاه پردازش و مرتب شده و داده‌ها آماده ورود به مدل LARS - WG شدند. به این ترتیب، مدل برای دوره پایه (۲۰۱۶-۱۹۹۸) اجرا شد. در مرحله ارزیابی مدل، خروجی آن آنالیز شد. برای ارزیابی داده‌های مشاهداتی با داده‌های شبیه‌سازی‌شده برای دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۶) از محاسبه ضریب تعیین رابطه ۱ و شاخص‌های خطاسنجی میانگین مجذور مربعات خطا RMSE (رابطه ۲) و میانگین خطای مطلق MAE (رابطه ۳) و میانگین انحراف خطا MBE (رابطه ۴) اقدام به ارزیابی داده‌های تولیدشده با استفاده از مدل و داده‌های واقعی (مشاهده‌شده) در دوره پایه شد.

ماهانه تولیدشده و مشاهده‌ای توسط مدل LARS-WG به دست آمده است. این مقادیر در جدول ۳ بیان شده است. همچنین، انحراف معیار ماهانه مقادیر تولیدشده و مشاهده‌ای در جدول ۴ نشان داده شده است.

همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، مدل LARS-WG برای ۶ ایستگاه اسلام‌آباد غرب، بستان، خرم‌آباد، روانسر، کنگاور و ملایر، مقادیر میانگین بارش مشاهده‌ای و بارش پیش‌بینی شده را شبیه‌سازی کرده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در بین این مقادیر در ماه‌های مارس، می و اکتبر مدل مقادیر پیش‌بینی شده از مقادیر مشاهده‌ای را بیشتر ارزیابی کرده است، البته در ایستگاه‌های کنگاور و ملایر این چنین روندی را مشاهده نمی‌شود. در بقیه ایستگاه‌ها و در بقیه ماه‌ها مدل حالت نوسانی در بین مقادیر مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده مقادیر میانگین بارش دارد.

از تولید داده‌ها برای ۲۰ سال آتی از خروجی بارش مدل، میانگین‌گیری کرده و نرمال ماهانه پارامتر بارش در دوره (۲۰۱۷-۲۰۳۵) با استفاده از سه سناریوی تغییر اقلیم (A1B، A2 و B1) محاسبه شد. همچنین، از مقادیر تولیدشده دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۳۵) توسط سه سناریو میانگین‌گیری کرده و مقادیر سالانه تولیدشده با مقادیر مشاهده‌ای دوره گذشته (۱۹۹۸-۲۰۱۶) مقایسه شد. سپس، از مقادیر تولیدشده ۳ سناریو (A1B، A2 و B1) و مقادیر مشاهده‌ای، یک میانگین بارش ۱۹ ساله محاسبه شده و با یکدیگر مقایسه شد.

بحث و نتایج

با استفاده از داده‌های بارش روزانه دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۶) برای ۶ ایستگاه یادشده، مقادیر میانگین بارش

جدول ۳. مقادیر میانگین بارش تولیدشده و مشاهده‌ای دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۶)

ماه ایستگاه	سناریو	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
اسلام‌آباد غرب	مشاهده‌ای	۷۳/۳۱	۶۵/۷۲	۶۸/۱۸	۴۹/۸۴	۱۵/۸۳	۰/۲۶	۱/۳۴	۰/۴۲	۲/۹	۳۲/۶۹	۵۸/۴۳	۶۳/۸
	پیش‌بینی	۷۹/۴	۵۲/۶۶	۷۶/۲۱	۶۱/۷۲	۱۸/۲	۰/۴۵	۲/۱۱	۰/۴۲	۱۰/۲۱	۶۳/۶۵	۴۴/۳۹	۶۰/۶۲
	مشاهده‌ای	۴۱/۲۸	۱۹/۱۸	۲۱/۵۵	۱۱/۷	۱۲/۳	۰/۲۷	۰	۰	۲/۶۳	۵/۶۸	۲۸/۹۲	۴۲/۱
بستان	پیش‌بینی	۳۱/۷۳	۱۲/۸۸	۲۹/۴۲	۱۵/۲	۲۵/۶۸	۰/۲۸	۰	۵	۰/۱۵	۹/۸۱	۲۳/۷۵	۳۹/۸۴
	مشاهده‌ای	۶۴/۹۵	۴۹/۹۷	۶۶/۵۲	۶۹/۶۵	۱۸/۱۵	۰/۵۶	۰/۲۲	۰/۲۵	۱/۹۷	۳۲/۶۵	۵۳/۴۱	۸۴/۷۴
	پیش‌بینی	۶۵/۷۱	۴۲/۴۶	۸۲/۶۸	۶۲/۶	۲۵/۲۷	۳/۷۶	۰/۶۵	۰/۷۲	۸/۰۴	۳۵/۳۳	۵۱/۴۵	۸۱/۵۴
روانسر	مشاهده‌ای	۶۹/۴۱	۷۱/۷۲	۷۵/۶۹	۶۶/۵۴	۲۷/۲۹	۰/۷۵	۰/۵۳	۰/۰۴	۱/۶۵	۳۰/۸۵	۶۷/۶۱	۶۳/۳۷
	پیش‌بینی	۷۶/۰۴	۶۳/۶۴	۸۵/۳۸	۷۱/۳۷	۳۶/۶۹	۱/۳۳	۰/۳۳	۰/۰۲	۳/۵۲	۴۴/۱۸	۷۵/۷۸	۵۲/۱
	مشاهده‌ای	۵۲/۹	۴۲/۷۲	۵۲/۶۵	۵۴/۵۵	۲۵/۰۴	۰/۵۳	۱/۶۸	۰/۳۲	۱/۲۸	۳۵/۲۷	۵۰/۹۹	۵۴/۵۵
کنگاور	پیش‌بینی	۵۷/۵۸	۴۴/۰۴	۴۸/۰۴	۵۷/۹۴	۲۲	۰/۹۴	۰/۴۶	۰/۰۴	۱/۲۹	۲۲/۶۶	۵۰/۱۵	۶۴/۹۶
	مشاهده‌ای	۳۴/۵۴	۳۲/۴۸	۵۰/۹۷	۵۸	۲۴/۹۵	۳/۸۹	۲/۲۳	۲/۳	۱/۸۵	۲۵/۶۱	۴۲/۴۹	۴۷/۱۲
	پیش‌بینی	۴۲/۷	۲۷/۸۳	۴۵/۲۱	۶۴/۷۶	۳۳/۱۷	۴/۸۲	۱/۳۶	۱/۷۴	۳/۲۷	۳۲/۸۷	۴۹/۹۲	۴۵/۶

منبع: داده‌های پژوهش، ۱۳۹۷

جدول ۴. مقادیر انحراف معیار بارش تولیدشده و مشاهده‌ای دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۶)

ماه ایستگاه	سناریو	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
اسلام‌آباد غرب	مشاهده‌ای	۳۲/۵۴	۳۸/۸۷	۵۳/۷۱	۳۴/۳۹	۱۴/۷۴	۰/۵۳	۳/۱۴	۱/۲۵	۶/۱۸	۴۸/۸۰	۴۰/۸۰	۳۷/۸۵
	پیش‌بینی	۳۶/۶۲	۳۱/۶۱	۴۱/۶۵	۳۹/۳۱	۱۹/۱۸	۰/۸۹	۴/۰۴	۱/۲۶	۱۶/۳۶	۶۳/۱۸	۲۸/۵۶	۲۸/۹۴
	مشاهده‌ای	۲۴/۹۸	۲۳/۲۵	۲۵/۸۰	۱۳/۵۲	۴۳/۹۵	۱/۱۹	۰	۱۱/۴۷	۰/۲۳	۱۰/۳۴	۳۵/۸۵	۳۲/۱۴
بستان	پیش‌بینی	۲۲/۲۸	۱۱/۶۲	۲۷/۱۴	۲۰/۷۸	۵۱/۹۲	۱/۲۵	۰	۱۵/۳۹	۰/۳۷	۱۵/۹۸	۲۲/۹۴	۳۵/۹۹
	مشاهده‌ای	۲۸/۳۴	۲۶/۸۲	۴۸/۱۲	۵۱/۳۸	۱۷/۱۵	۱/۷۰	۰/۵۳	۰/۹۲	۴/۸۰	۴۰/۲۳	۳۵/۷۲	۵۲/۱۵
	پیش‌بینی	۲۵/۵۲	۳۷/۵۱	۵۰/۳	۳۷/۹۸	۲۲/۸۴	۷/۲۵	۱/۰۶	۱/۷۳	۱۸/۶۶	۳۵/۳۱	۲۶/۱۰	۴۳/۶۶
روانسر	مشاهده‌ای	۳۵/۳۱	۴۲/۷۸	۵۴/۶۱	۴۶/۱۴	۲۰/۹۴	۲/۳۲	۱/۳۷	۰/۰۹	۴/۳۰	۵۰/۲۷	۴۸/۱۴	۴۰/۸۵
	پیش‌بینی	۳۴/۴۱	۲۹/۴۷	۶۳/۵۲	۴۸/۰۴	۲۵/۲۸	۳/۵۶	۱/۳۷	۰/۰۷	۵/۸۲	۵۳/۲۰	۵۰/۳۶	۲۸/۱۶
	مشاهده‌ای	۲۶/۷۲	۲۵/۲۶	۳۵/۸۸	۳۷/۳۳	۱۶/۶۹	۱/۳۲	۴/۱۲	۰/۹۱	۲/۴۹	۴۱/۴۰	۲۷/۲۴	۳۵/۸۳
کنگاور	پیش‌بینی	۲۴/۵۴	۲۴/۷۶	۳۳/۴۳	۲۸/۶۰	۱۶/۱۵	۲/۲۶	۰/۸۱	۰/۱۲	۲/۳۸	۲۷/۸۶	۲۸/۸۵	۴۰/۵۹
	مشاهده‌ای	۳۴/۵۴	۱۴/۰۲	۱۹/۴۲	۲۹/۱۱	۴۰/۰۳	۲۲/۱۵	۸/۸۳	۳/۰۳	۵/۱۳	۳/۶۸	۲۳/۳۹	۳۸/۷۴
	پیش‌بینی	۱۶/۱۲	۲۸/۸۴	۲۶/۹۳	۴۰/۲۰	۲۴/۹۴	۷/۸۹	۲/۶۴	۴/۹۴	۵/۷۴	۲۸/۳۵	۴۰/۷۶	۲۹/۹۱

هستند. بنابراین، بین میانگین‌ها اختلاف معناداری وجود ندارد. این نتایج عملکرد بسیار خوب مدل LARS-WG را در شبیه‌سازی پارامتر اقلیمی بارش نشان می‌دهد. در جدول ۶ مقدار R^2 (ضریب تعیین) که بیانگر همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، ارائه شده است. مقدار R^2 نشان می‌دهد بین داده‌ها همبستگی معناداری وجود دارد. برای اطمینان از درستی واسنجی مدل از شاخص‌های خطاسنجی RMSE، MAE و MBE استفاده شد.

تحلیل داده‌های بارش دوره صحت‌سنجی با آزمون‌های آماری T و F در جدول ۵ ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصل از جدول ۵ فقط در ماه ژوئن و در آزمون F در ایستگاه اسلام‌آباد غرب، ماه آگوست در آزمون F در ایستگاه خرم‌آباد، ماه ژوئن در آزمون F در ایستگاه کنگاور و ماه نوامبر در آزمون F در ایستگاه ملایر که مقادیر در آنها کمتر از ۰/۰۵ است، در بقیه ماه‌ها و ایستگاه‌ها این مقادیر از ۰/۰۵ بیشتر بوده و خطای موجود تصادفی است. در واقع، مقادیر دو آزمون در سطح اطمینان ۹۵ درصد

جدول ۵. آزمون آماری T و F مربوط به مقادیر بارش ماهانه ایستگاه‌های یادشده در دوره صحت‌سنجی

ایستگاه	آزمون	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
اسلام‌آباد غرب	T	۰/۵۹	۰/۲۶	۰/۶۱	۰/۳۲	۰/۶۷	۰/۴۳	۰/۵۱	۰/۹۹	۰/۰۷	۰/۱	۰/۲۲	۰/۷۷
	F	۰/۶۲	۰/۳۹	۰/۲۹	۰/۵۸	۰/۲۷	۰/۰۳	۰/۳۰	۰/۹۷	۰/۰۸	۰/۲۸	۰/۱۴	۰/۲۶
بستان	T	۰/۲۱	۰/۲۸	۰/۳۶	۰/۵۴	۰/۳۹	۰/۹۹	۱	۰/۵۹	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۵۹	۰/۸۴
	F	۰/۶۲	۰/۰۷	۰/۸۳	۰/۰۷	۰/۴۸	۰/۸۴	۱	۰/۲۱	۰/۰۵۲	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۶۳
خرم‌آباد	T	۰/۹۳	۰/۴۸	۰/۳۲	۰/۶۳	۰/۲۶	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۳۰	۰/۱۸	۰/۸۳	۰/۸۵	۰/۸۴
	F	۰/۶۶	۰/۱۶	۰/۸۵	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۲۵	۰/۵۶	۰/۱۹	۰/۴۶
روانسر	T	۰/۵۶	۰/۵۰	۰/۶۲	۰/۷۵	۰/۲۲	۰/۵۶	۰/۶۵	۰/۴۱	۰/۲۷	۰/۴۳	۰/۶۱	۰/۳۳
	F	۰/۹۱	۰/۱۲	۰/۵۳	۰/۸۷	۰/۴۳	۰/۰۸	۰/۹۷	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۸۱	۰/۸۵	۰/۱۲
کنگاور	T	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۶۸	۰/۷۵	۰/۵۷	۰/۵۰	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۹۹	۰/۲۸	۰/۹۳	۰/۴۱
	F	۰/۷۲	۰/۹۳	۰/۷۷	۰/۲۷	۰/۸۹	۰/۰۲	۰/۳۵	۰/۲۲	۰/۸۴	۰/۱۰	۰/۸۱	۰/۶۰
ملایر	T	۰/۱۰	۰/۵۶	۰/۵۳	۰/۶۱	۰/۲۹	۰/۷۴	۰/۳۵	۰/۷۳	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۴۹	۰/۸۹
	F	۰/۵۶	۰/۱۰	۰/۷۴	۰/۹۹	۰/۶۲	۰/۶۷	۰/۵۷	۰/۸۸	۰/۰۷	۰/۸۸	۰/۰۲	۰/۲۸

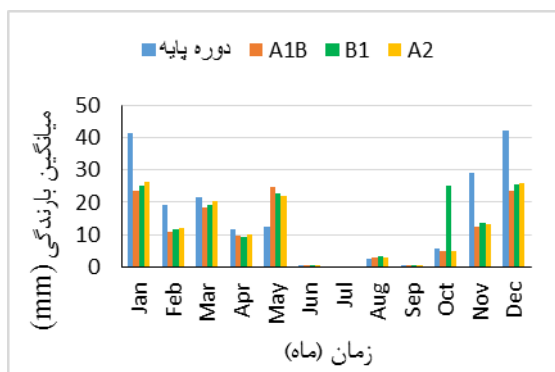
جدول ۶. نتایج حاصل از ارزیابی و صحت‌سنجی عملکرد مدل LARS-WG در ایستگاه‌ها

ایستگاه	R^2	RMSE	MAE	MBE
اسلام‌آباد غرب	۰/۸۵	۱۱/۶۸	۸/۱۵	-۳/۱۱
بستان	۰/۸۳	۶/۰۴	۴/۵۵	-۰/۶۷
خرم‌آباد	۰/۹۵	۶/۴۰	۴/۷۴	-۱/۴۵
روانسر	۰/۹۵	۷/۵۸	۶/۱۷	-۲/۹۱
کنگاور	۰/۹۵	۵/۱۲	۳/۲۸	۰/۶۹
ملایر	۰/۹۴	۵/۳۹	۴/۴۶	-۲/۲۳

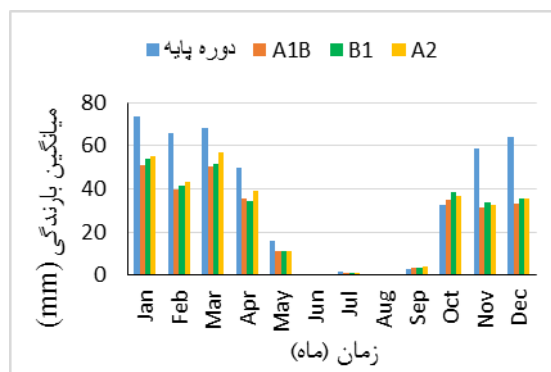
منبع: داده‌های پژوهش، ۱۳۹۷

مناسب بودن آن اقدام به بررسی داده‌های تولیدشده بارندگی ماهانه در دوره ۲۰۱۷-۲۰۳۵ با استفاده از مدل LARS - WG برای سه سناریوی تغییر اقلیم (A1B، A2 و B1) در مقایسه با دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۶) با استفاده از مدل IPCM4 پرداخته شد. نتایج حاصل از اجرای آن در شش ایستگاه (اسلام‌آباد غرب، بستان، خرم‌آباد، روانسر، کنگاور و ملایر) در شکل‌های ۲-۷ نشان داده شده است.

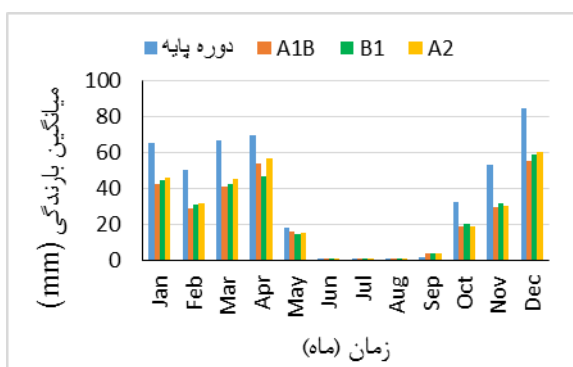
همان‌گونه که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های بارندگی در منطقه مطالعه شده دقت زیادی دارد. همچنین، نتایج گرافیکی مقایسه میانگین و انحراف معیارهای ماهانه همان‌گونه که در جدول‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است، نشان‌دهنده عملکرد خوب مدل در شبیه‌سازی پارامتر اقلیمی بارش است. پس از ارزیابی مدل LARS - WG و اطمینان از



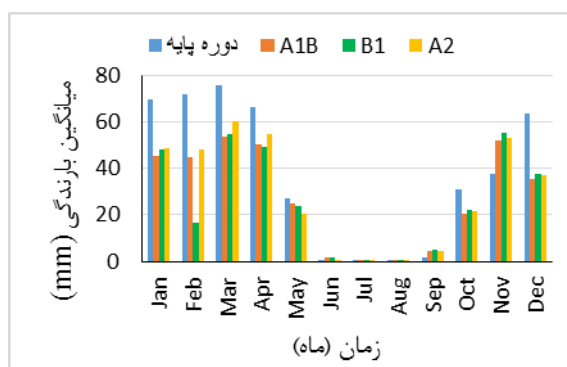
شکل ۳. مقایسه مقادیر بارندگی ماهانه دوره پایه با دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۲۵) در ایستگاه بستان



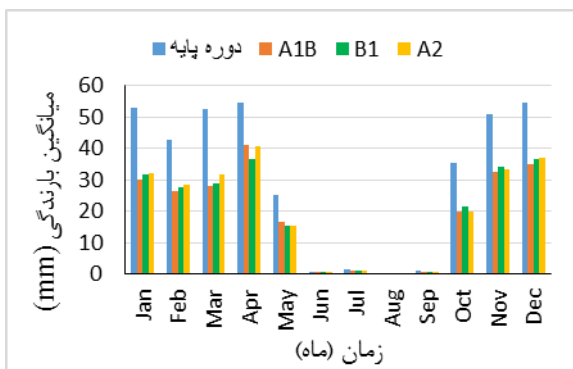
شکل ۲. مقایسه مقادیر بارندگی ماهانه دوره پایه با دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۲۵) در ایستگاه اسلام آباد غرب



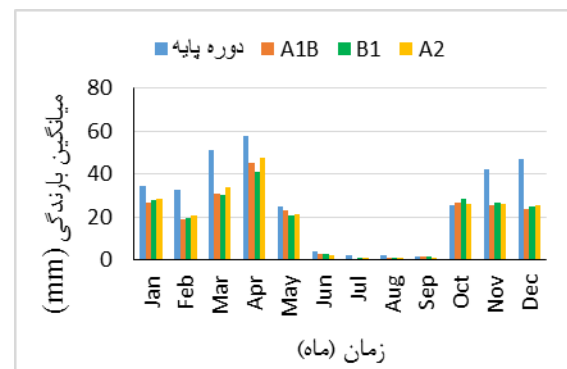
شکل ۵. مقایسه مقادیر بارندگی ماهانه دوره پایه با دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۲۵) در ایستگاه روانسر



شکل ۴. مقایسه مقادیر بارندگی ماهانه دوره پایه با دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۲۵) در ایستگاه خرم آباد



شکل ۷. مقایسه مقادیر بارندگی ماهانه دوره پایه با دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۲۵) در ایستگاه ملایر



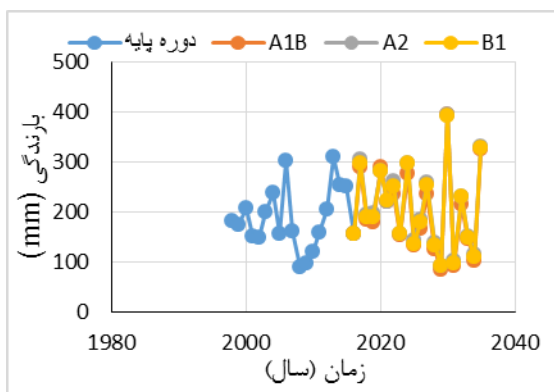
شکل ۶. مقایسه مقادیر بارندگی ماهانه دوره پایه با دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۲۵) در ایستگاه کنگاور

اسلام آباد غرب نشان داده شده است، میزان بارندگی ماهانه دوره آتی بر اساس سه سناریو (A1B، A2 و B1) نسبت به دوره پایه در بیشتر ماهها کاهش پیدا می کند. البته، در ماههای ژوئن، سپتامبر و اکتبر میزان بارندگی دوره آتی بر اساس سه سناریو نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود، میزان

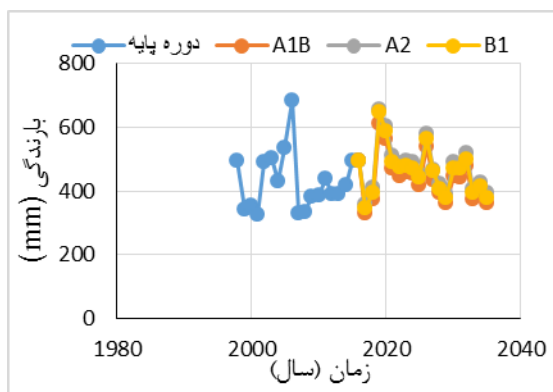
شکل های ۲ تا ۷ میانگین های ماهانه بارندگی دوره گذشته (پایه) نسبت به دوره آینده و همچنین، میزان تغییرات ناشی از تأثیر تغییر اقلیم بر پارامتر اقلیمی ماهانه بارندگی را برای تمام ماهها نشان می دهد. همان گونه که در شکل ۲ میزان تغییرات بارندگی ماهانه دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۲۵) نسبت به دوره گذشته (۱۹۹۸-۲۰۱۶) در ایستگاه

یافت، ولی در ماه‌های ژوئن، سپتامبر و نوامبر میزان بارندگی ماهانه دوره آتی نسبت به دوره گذشته افزایش پیدا می‌کند. همان‌طور که در شکل ۶ دیده می‌شود، میزان بارندگی دوره آتی نسبت به میزان بارندگی دوره گذشته در ایستگاه کنگاور، در همه ماه‌ها به‌جز ژوئن، کاهش خواهد یافت. همچنین، با توجه به شکل ۷ که میزان بارندگی ماهانه دوره آتی و دوره گذشته در ایستگاه ملایر را نشان می‌دهد، میزان بارندگی ماهانه دوره آتی نسبت به دوره گذشته در همه ماه‌ها کاهش خواهد یافت. پس از ارزیابی ماهانه بارندگی، تأثیرات تغییر اقلیم بر پارامتر اقلیمی سالانه بارندگی، برای دوره آتی نسبت به دوره پایه بررسی شد. شکل‌های ۸ تا ۱۳ تغییرات میانگین‌های سالانه بارندگی دوره آینده نسبت به دوره گذشته (پایه) را برای تمام سال‌ها و در شش ایستگاه یادشده نشان می‌دهد.

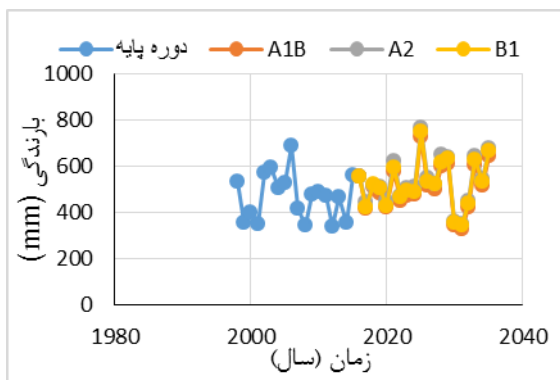
بارندگی ماهانه دوره آتی براساس سه سناریو نسبت به دوره پایه در ایستگاه بستان در بیشتر ماه‌ها کاهش خواهد یافت و فقط در ماه‌های می، ژوئن، آگوست و سپتامبر میزان بارندگی ماهانه دوره آتی بر اساس سه سناریو نسبت به دوره پایه در ایستگاه خرم‌آباد در بیشتر ماه‌ها کاهش خواهد یافت و فقط در ماه‌های ژوئن، ژولای، آگوست و سپتامبر میزان بارندگی ماهانه دوره آتی بر اساس سه سناریو نسبت به دوره گذشته افزایش می‌یابد. شکل ۵ تغییرات بارندگی دوره آتی و دوره گذشته در ایستگاه روانسر را نشان می‌دهد. میزان بارندگی ماهانه دوره آتی بر اساس سه سناریو نسبت به بارندگی ماهانه دوره گذشته در بیشتر ماه‌ها کاهش خواهد



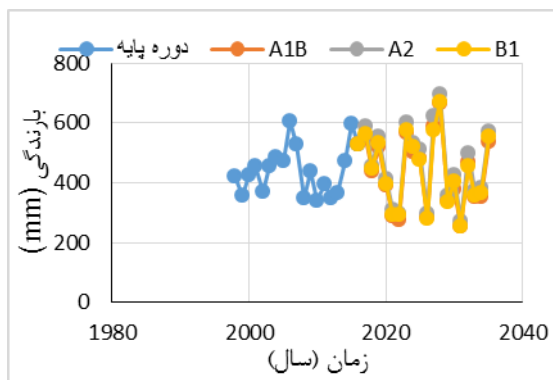
شکل ۹. مقایسه مقادیر بارندگی سالانه دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۶) با سه سناریو در دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۳۵) در ایستگاه بستان



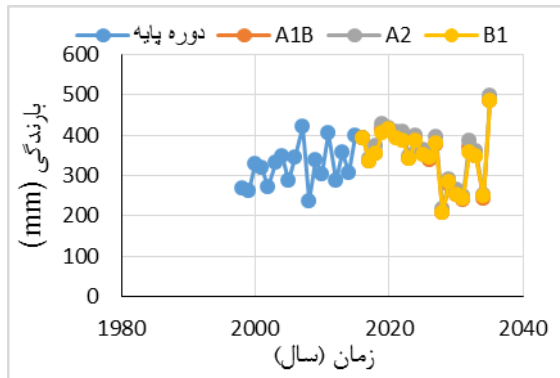
شکل ۸. مقایسه مقادیر بارندگی سالانه دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۶) با سه سناریو در دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۳۵) در ایستگاه اسلام‌آباد غرب



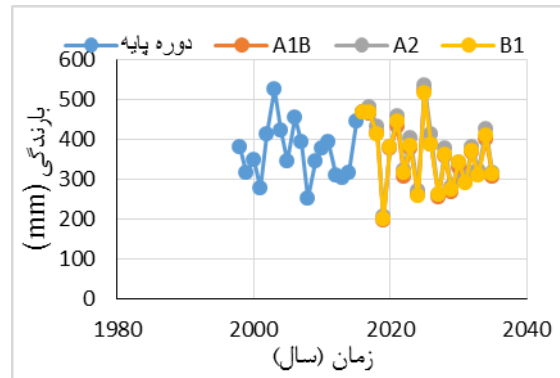
شکل ۱۱. مقایسه مقادیر بارندگی سالانه دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۶) با سه سناریو در دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۳۵) در ایستگاه روانسر



شکل ۱۰. مقایسه مقادیر بارندگی سالانه دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۶) با سه سناریو در دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۳۵) در ایستگاه خرم‌آباد



شکل ۱۳. مقایسه مقادیر بارندگی سالانه دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۶) با سه سناریو در دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۳۵) در ایستگاه ملایر



شکل ۱۴. مقایسه مقادیر بارندگی سالانه دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۶) با سه سناریو در دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۳۵) در ایستگاه کنگاور

سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۲ اتفاق افتاده است، همچنین بیشترین و کمترین میزان بارندگی سالانه در دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۳۵) به ترتیب، ۷/۷۷۰ و ۳/۳۲۸ میلی‌متر و در سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۳۱ و بر اساس سناریوهای A2 و A1B اتفاق می‌افتد. در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود که بیشترین و کمترین میزان بارندگی سالانه دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۶) در ایستگاه کنگاور به ترتیب، ۴/۵۲۶ و ۱/۲۵۲ میلی‌متر و در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۸ است و بیشترین و کمترین میزان بارندگی سالانه دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۳۵) به ترتیب، ۶/۵۳۴ و ۵/۱۹۵ میلی‌متر و در سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۱۹ و طبق سناریوهای A2 و A1B اتفاق می‌افتد. همان‌گونه که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود، بیشترین و کمترین میزان بارندگی سالانه دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۶) در ایستگاه ملایر به ترتیب، ۷/۴۱۹ و ۲/۲۳۶ میلی‌متر و در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ رخ داده است، و بیشترین و کمترین میزان بارندگی سالانه دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۳۵) به ترتیب، ۶/۴۹۸ و ۴/۲۰۷ میلی‌متر و در سال‌های ۲۰۳۵ و ۲۰۲۸ و طبق سناریوهای A2 و B1 اتفاق خواهد افتاد.

نتایج به‌دست‌آمده از جدول ۷ نشان می‌دهد برای دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۳۵) و بر اساس مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG و مدل گردش عمومی IPCM4 بر اساس سه سناریوی اقلیمی A1B، A2، و B1 بیشترین مقدار بارندگی سالانه، بر اساس سناریوی اقلیمی A2 در همه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه بستان و کمترین میزان بارندگی سالانه بر اساس سناریوی اقلیمی A1B در بیشتر ایستگاه‌ها به جز ایستگاه‌های خرم‌آباد و ملایر پیش‌بینی می‌شود.

همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، بیشترین و کمترین میزان بارندگی سالانه دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۶) در ایستگاه اسلام‌آباد غرب، به ترتیب در سال ۲۰۰۶ و با میزان ۹/۶۸۳ میلی‌متر و در سال ۲۰۰۱ با میزان ۳/۳۲۴ میلی‌متر است، در حالی که بیشترین و کمترین میزان بارندگی سالانه دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۳۵)، به ترتیب در سال ۲۰۱۹ و با میزان ۶۵۶ میلی‌متر بر اساس سناریوی اقلیمی A2 و در سال ۲۰۱۷ با میزان ۳/۳۳۱ میلی‌متر بر اساس سناریوی اقلیمی A1B است. همان‌گونه که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، بیشترین و کمترین میزان بارندگی سالانه در ایستگاه بستان در دوره گذشته (۱۹۹۸-۲۰۱۶) به ترتیب، در سال ۲۰۱۳ با مقدار ۶/۳۱۰ میلی‌متر و در سال ۲۰۰۸ با مقدار ۲/۸۹ است، در حالی که بیشترین و کمترین میزان بارندگی سالانه برای دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۳۵) به ترتیب، در سال ۲۰۳۰ با مقدار ۱/۳۹۵ میلی‌متر بر اساس سناریوی A1B و در سال ۲۰۲۹ با مقدار ۸/۸۴ میلی‌متر و بر اساس سناریوی A1B قابل مشاهده است. طبق شکل ۱۰ بیشترین و کمترین میزان بارندگی سالانه دوره گذشته (۱۹۹۸-۲۰۱۶) در ایستگاه خرم‌آباد به ترتیب با مقادیر ۹/۶۰۷ و ۳/۳۳۹ میلی‌متر و در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰ اتفاق افتاده است، همچنین بیشترین و کمترین میزان بارندگی سالانه دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۳۵) به ترتیب با مقادیر ۵/۶۹۵ و ۵/۲۵۲ در سال‌های ۲۰۲۸ و ۲۰۳۱ و طبق سناریوهای A2 و B1 اتفاق خواهد افتاد. همان‌طور که در شکل ۱۱ ملاحظه می‌شود، بیشترین و کمترین میزان بارندگی سالانه در ایستگاه روانسر در دوره گذشته (۲۰۱۶-۱۹۹۸) به ترتیب، ۷/۶۸۹ و ۳/۳۳۸ میلی‌متر در

ملاير و خرم‌آباد فقط طبق سناریوی A2 افزایش بیشتری خواهد یافت، ولی در ایستگاه کنگاور و در ایستگاه خرم‌آباد میزان بارندگی طبق سناریوهای A1B و B1 کاهش خواهد یافت. نتایج حاصل در جدول ۸ ارائه شده است.

نتایج به‌دست‌آمده از بارش شبیه‌سازی ۱۹ سال آینده نشان می‌دهد مجموع بارش سالیانه در ۱۹ سال آینده (۲۰۱۷-۲۰۳۵) در مقایسه با ۱۹ سال دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۶) در ایستگاه‌های اسلام‌آباد غرب، بستان، روانسر،

جدول ۷. نتایج حاصل از میزان بیشترین و کمترین میزان بارندگی دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۶) و دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۳۵)

ایستگاه	بیشترین میزان بارندگی دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۶) میلی‌متر	کمترین میزان بارندگی دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۶) میلی‌متر	بیشترین میزان بارندگی دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۳۵) سناریو	کمترین میزان بارندگی دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۳۵) سناریو
اسلام‌آباد غرب	۶۸۳/۹	۳۲۴/۳	A2-۶۵۶	A1B-۳۳۱/۳
بستان	۳۱۰/۶	۸۹/۲	A1B-۳۹۵/۱	A1B-۸۴/۸
خرم‌آباد	۶۰۷/۹	۳۳۹/۳	A2-۶۹۵/۵	B1-۲۵۲/۵
روانسر	۶۸۹/۷	۳۳۸/۳	A2-۷۷۰/۷	A1B-۳۲۸/۳
کنگاور	۵۲۶/۴	۲۵۲/۱	A2-۵۳۴/۶	A1B-۱۹۵/۵
ملاير	۴۱۹/۷	۲۳۶/۲	A2-۴۹۸/۶	B1-۲۰۷/۴

جدول ۸. میانگین ۱۹ ساله بارندگی دوره پایه و سه سناریوی تغییر اقلیم (A1B, A2 و B1) مدل IPCM4

ایستگاه	دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۶)	دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۳۵) A1B A2 B1
اسلام‌آباد غرب	۴۳۲/۷۲	۴۶۱/۸۶ ۴۷۵/۵ ۴۳۹/۹۷
بستان	۱۸۶/۸۷	۲۰۸/۸۷ ۲۱۳/۰۲ ۲۰۲/۱۴
خرم‌آباد	۴۴۳/۰۲	۴۳۹/۲۷ ۴۶۱/۱۵ ۴۳۳/۵۳
روانسر	۴۷۵/۴۹	۵۲۴/۶۱ ۵۳۷/۴۹ ۵۰۷/۸۴
کنگاور	۳۷۲/۵	۳۵۲/۰۱ ۳۶۲/۴۴ ۳۴۸/۳۴
ملاير	۳۲۶/۴۲	۳۴۲/۷ ۳۵۵/۴۸ ۳۴۴/۳۶

نتیجه‌گیری

پس از اینکه مدل برای دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۶) ارزیابی شده و براساس شاخص‌های خطاسنجی و ضریب همبستگی تعیین صحت و دقت مدل انجام شد، روند تغییرات بارش در دوره آینده (۲۰۱۷-۲۰۳۵) در مقیاس ماهانه، سالانه و ۱۹ ساله بررسی شد. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق نشان می‌دهد میانگین تغییرات بارش در دوره‌های آتی در ماه‌های مختلف تغییر خواهد یافت و در بیشتر ماه‌ها میزان تغییرات بارندگی دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۳۵) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۶) در شش ایستگاه یادشده کاهش خواهد یافت (عباسی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۲۷). همچنین، تغییرات بارندگی سالانه ایستگاه‌ها بررسی شد و نتایج نشان داد بر اساس سناریوی اقلیمی A2 تقریباً در همه ایستگاه‌ها به‌جز ایستگاه بستان میزان بارندگی سالانه بیشتری نسبت به سناریوهای A1B و B1 است. همچنین، سناریوی اقلیمی A1B مقدار بارندگی سالانه کمتری را برای بیشتر ایستگاه‌ها به‌جز ایستگاه‌های خرم‌آباد و ملاير، در دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۳۵)

(۲۰۳۵) پیش‌بینی می‌کند. نتایج به‌دست‌آمده از میانگین ۱۹ ساله بارندگی در ۶ ایستگاه یادشده نشان داد در دوره آتی (۲۰۱۷-۲۰۳۵) در ایستگاه‌های اسلام‌آباد غرب، بستان، روانسر و ملاير، میزان بارندگی ۱۹ ساله نسبت به دوره گذشته طبق هر سه سناریوی A1B، A2 و B1 افزایش خواهد یافت و بیشترین میزان افزایش بارندگی ۱۹ ساله را سناریوی اقلیمی A2 نشان می‌دهد، ولی در ایستگاه کنگاور میزان بارندگی ۱۹ ساله دوره آتی بر اساس سه سناریوی A1B، A2 و B1 در دوره آتی نسبت به دوره گذشته کاهش خواهد یافت. همچنین، در ایستگاه خرم‌آباد میزان بارندگی ۱۹ سال آتی نسبت به دوره گذشته طبق سناریوی A2 افزایش خواهد یافت، ولی بر اساس سناریوهای A1B و B1 کاهش بارندگی را به همراه دارد. مطالعه و بررسی تحلیل اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی به مدیران برای تصمیم‌گیری بهتر در زمینه منابع آب و سایر بخش‌های منابع طبیعی کمک شایانی می‌کند. بنابراین، انجام چنین تحقیقاتی در مناطق مختلف ضروری است.

منابع

- [10]. Jahangir M, Norouzi E, Yarahmadi Y. Simulation of Rain Climate Parameter Using LARS-WG Microscopic Model and HadCM3 General Circulation Using Three Different Scenarios at Isfahan Station. 2nd National Iranian Hydrology Conference. Shahrekord University. Iran. 2017 [Persian].
- [11]. Zhao Y, Camberlin P, Richard Y. Validation of a coupled GCM and projection of summer rainfall change over South Africa, using a statistical downscaling method. *Journal of Climate Research*. 2005; 28 (2) 109-122.
- [12]. Abbasi F, Malbousi Sh, Babaian I, Asmari M, Borhani R. Forecasting Climate Change in South Khorasan in the Period of 2039-2010 Using ECGO-G Output Statistical Microscopy. *Water and Soil Magazine*. 2010; 24 (2) 233-218 [Persian].
- [13]. Abbasi F, Babaian I, Asmari M, Borhani R. Evaluation of climate change in Iran in the coming decades (2025 - 2100) using microscale data of atmospheric general circulation model data. *Journal of Geographical Research*. 2012; 27 (1) 229-205. [Persian].
- [14]. Zia Hashmi M, Shamseldin AY, Melville, BW. Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed. *Journal of Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 2011; 25 (4) 475-484.
- [15]. Zahraei A. Simulation of Climate Change in Sistan and Baluchestan Province Using Micro-Circuit Model (GCMS) Data Circulation for Climate Period (2009 - 2040). Bachelor's Thesis in Climate Studies. Faculty of Geography and Environmental Planning. Sistan and Baluchestan University. 2012 [Persian].
- [16]. Goodarzi M, Khosrovanian J, Hejazi SA. Application of LARS-WG model in predicting meteorological parameters of Gharasoo watershed. *Journal of Geographical Space*. 2015; 51 (15) 279-263 [Persian].
- [17]. Babaeian I, Najafinik Z, Zabol Abbasi F, Habibi Nokhandan M, Adab H, Melboosi SH. Assessing the country's climate change in the period 2010-2039 using microscopic data mining of atmospheric general circulation model ECHO-G *Journal of Geography and Development*. 2009; 16 (7) 152-1350 [Persian].
- [18]. SajjadKhan M, Coulibaly P, Dibike, Y. Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *Journal of Hydrology*. 2006; 319 (1) 357-382.
- [1]. Kilsby C, Jones P, Burton A, Ford A, Fowler H, Harpham C, James P, Smith A, Wilby R. A daily weather generator for use in climate change studies. *Journal of Environmental Modeling and Software*. 2007; 22 (12) 1705-1719.
- [2]. Gharibdoost M, Ghorbani MA, Forouzandeh SI. Estimation of the effect of climate change on precipitation-runoff of Sofeh Chai watershed. *Journal of Water Resources Engineering*. 2016; 9 (29) 29-17 [Persian].
- [3]. Roshanfekar A, Mollaehnia M, Ajamzadeh A. Evaluation of the effects of climate change with IPCM4 microscale model under Scenario A2 (Case study: Sabzevar Station), 3rd International Congress of Civil Engineering, Architecture and Urban Development. Shahid Beheshti University. Iran. 2015. [Persian].
- [4]. Hamidianpour M, Baaghideh M, Abbasnia M. Evaluation of temperature and precipitation changes in southeastern Iran using microscopic output of various atmospheric general circulation models in the period 2099-2011. *Journal of Natural Geography Research*. 2016; 48 (1) 123-107 [Persian].
- [5]. Ashraf B, Moosavibayegi M, Kamali GH, Davari K. Investigating the process of changing the climatic parameters of Mashhad in the period 2011-2030 Using data simulated by the model LARS-WG. First National Conference on Meteorology and Agricultural Water Management. Karaj Agricultural and Natural Resources Campus. Karaj. Iran. 2010 [Persian].
- [6]. Miller NL, Bashford KE, Strem E. Potential impacts of climate change on California hydrology. *Journal of American Water Resources Association*. 2014; 39 (4) 771-784.
- [7]. Mehdizadeh S, Moftah HM, Seyed Ghasemi S, Masaedi A. The effect of climate change on rainfall in Golestan Dam basin. *Journal of Water and Soil Conservation Research (Agricultural Sciences and Natural Resources)*. 2011; 18 (3) 132-117 [Persian].
- [8]. Rezaei M, Nohtani M, Abkar A, Rezaei M, Mirkazehi Rigi M. Performance Evaluation of Statistical Downscaling Model (SDSM) in Forecasting Temperature Indexes in Two Arid and Hyper Arid Regions (Case Study: Kerman and Bam). *Journal of Watershed Management Research*. 2014; 5 (10) 117-131 [Persian].
- [9]. Chen H, Guo J, Zhang Z, Xu CY. Prediction of temperature and precipitation in Sudan and South Sudan by using LARS-WG in future. *Journal of Theoretical and Applied Climatology*. 2013; 113 (3) 363-375.