

پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی دوره‌های آبی با کاربرد مدل HadCM3 و سناریوهای اقلیمی، مطالعه موردی: ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب حوضه حبله‌رود

نوید ضیایی^{۱*}، مجید اونق^۲، حمیدرضا عسگری^۳، علیرضا مساح بوانی^۴، عبدالرسول سلمان ماهینی^۵ و محسن حسین‌علیزاده^۶
^۱ دانشجوی دکتری بیابانزدایی، گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران، استاد، گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران، ^۲ استادیار، گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران، ^۳ استادیار، گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران، ^۴ استادیار، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده آبیاری، دانشگاه تهران، ایران و ^۵ دانشیار گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۱۶

چکیده

تأثیرات تغییر اقلیم بر دما و به‌ویژه بارش سراسر جهان به‌دلیل پیچیدگی و تغییرات مکانی آن‌ها به‌خوبی شناخته نشده است. در این تحقیق، اقدام به بررسی اثر پدیده تغییر اقلیم بر تغییرات برخی از متغیرهای اقلیمی (دما و بارش)، در حوضه حبله‌رود با توجه به حساسیت اکولوژیکی و موقعیت خاص این منطقه در دوره‌های آبی شد است. برای این کار، داده‌های مدل HadCM3 با به‌کارگیری مدل LARS-WG طبق سناریوهای A2، B2 و A1B ریزمقیاس شده و تغییرات فصلی بارش، کمینه و بیشینه دمای ایستگاه‌های سینوپتیک فیروزکوه و گرمسار در دو دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بارش حوضه به‌طور متوسط در آینده نزدیک بین ۰/۲۳ تا ۴/۸۰ میلی‌متر افزایش و در آینده میانه ۰/۰۸ تا ۰/۱۵ میلی‌متر کاهش خواهد یافت. کمینه دما برای آینده نزدیک بین ۰/۵۰ تا ۰/۶۷ درجه سانتی‌گراد و در آینده میانه بین ۱/۵۴ تا ۱/۹۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. بیشینه دمای حوضه حبله‌رود برای آینده نزدیک بین ۰/۴۳ تا ۰/۶۰ درجه سانتی‌گراد و برای آینده میانه بین ۱/۴۷ تا ۱/۸۹ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت و در نهایت می‌توان گفت که شرایط اقلیمی حوضه حبله‌رود در دوره‌های آبی، تفاوت محسوسی با شرایط فعلی خواهد داشت. بنابراین، با توجه به این موضوع و نیز آگاهی از اثرات منفی مستقیم و غیر مستقیم تغییر اقلیم بر بخش‌های مختلف حوضه (کشاورزی، منابع آبی، محیط زیست، منابع طبیعی، بهداشت، صنعت و اقتصاد)، برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و استراتژیک برای مدیریت شرایط جدید، امری ضروری است.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، دما و بارش، ریزمقیاس‌نمایی، GCM، Lars-WG

مقدمه

این تغییرات برای مدت زمان طولانی و به‌طور معمول دهه‌ها یا برای مدت طولانی‌تر قابل مشاهده است. در واقع تغییر اقلیم به هرگونه تغییری در اقلیم در طول زمان اطلاق می‌شود که این تغییرات می‌تواند هم

تغییر اقلیم به هرگونه تغییر مشخص در حالت اقلیم اطلاق می‌شود که به‌وسیله تغییرات در میانگین و یا تغییرات در ویژگی‌های آن مشخص می‌شود که

به دلیل تغییرات طبیعی و هم نتیجه‌ای از فعالیت‌های انسانی باشد (Pachauri و همکاران، ۲۰۰۸).

توجه به تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر به علت پیامدهای اقتصادی-اجتماعی و خسارت‌های مالی مربوط به رویدادهای جوی اهمیت زیادی پیدا کرده است (Mohammadi و Taghavi، ۲۰۰۵). پیش‌بینی می‌شود که با تغییر آب و هوا، سطح دریا تا سال ۲۱۰۰ بین ۸۹ تا ۸۸ سانتی‌متر افزایش یافته و به دنبال آن سیل‌ها و حوادث دیگری از قبیل ایجاد تغییراتی در الگوی گردش عمومی جو، تخریب جنگل‌ها، مراتع و سایر اکوسیستم‌های مدیریت شده اتفاق افتاده، در نهایت منجر به گسترش پدیده بیابان‌زایی شود (Purkey و همکاران، ۲۰۰۸).

به منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع مختلف در دوره‌های آبی، مدل‌های شبیه‌سازی گردش عمومی جو (GCM) توسعه یافته‌اند که قادرند، پارامترهای اقلیمی را برای یک دوره طولانی مدت با استفاده از سناریوهای تأیید شده IPCC مدل‌سازی کنند (Dibike و Coulibaly، ۲۰۰۵؛ Kilsby و همکاران، ۲۰۰۷). Salehpour Jam و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی اثر تغییر اقلیم بر ویژگی‌های خشکسالی دوره آبی با کاربرد مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سناریوی A2 و با در نظر گرفتن ایستگاه‌های منتخب سینوپتیکی شمال غربی ایران، نتیجه گرفته‌اند که متوسط بارش سالانه در دوره‌های شبیه‌سازی شده آبی نسبت به دوره مینا، در ایستگاه‌های اردبیل، خوی و ارومیه کاهش و در ایستگاه تبریز افزایش خواهد داشت و این در حالی است که ایستگاه اردبیل با کاهش ۹۷ میلی‌متری (۳۲ درصدی) بارش متوسط سالانه در دوره چهارم نسبت به دوره مینا، بیشینه مقادیر کاهش را به خود اختصاص داده است. همچنین، نتایج این تحقیق نشان‌دهنده امکان رخداد خشکسالی‌هایی با شدت، مدت و فراوانی بیشتر در دوره‌های شبیه‌سازی شده آبی است.

در تحقیق حاضر، از مدل اقلیمی گردش عمومی جو HadCM3 استفاده شد. از آنجایی که خروجی مدل‌های چرخش عمومی معتبرترین روش برای مطالعات تغییر اقلیم می‌باشند و از طرفی خروجی این مدل‌ها دارای دقت مکانی و زمانی کافی برای مطالعات

تأثیر تغییر اقلیم بر سامانه‌های هیدرولوژی نیست، لازم است، داده‌های خروجی مدل‌های چرخش عمومی ریزمقیاس شوند (Graham و همکاران، ۲۰۰۷) که بدین منظور در این تحقیق از مدل Lars-WG برای ریزمقیاس‌نمائی آماری داده‌ها استفاده شد. Kordjazi و همکاران (۲۰۱۱) تغییر اقلیم و اثرات آن در استان گلستان در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی را با مطالعه بر روی داده‌های دما و بارش ایستگاه‌های هواشناسی استان و بررسی سه سناریوی مدل HadCM3 مورد بررسی قرار داده، اعلام کردند که در دوره مذکور، میانگین دما در آن استان نسبت به دوره آماری ۲۰۰۷-۱۹۹۳ میلادی به میزان ۰/۹ درجه سانتی‌گراد و مقدار بارش سالانه استان ۶/۷ درصد افزایش خواهد یافت. در پژوهش دیگری با بهره‌گیری از مدل LARS-WG، اقلیم کشور ایران در دهه ۲۰۲۰ مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد که مقدار بارش کشور نه درصد کاهش و میانگین دمای کشور به مقدار ۰/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد (Babaeian و همکاران، ۲۰۰۹). Pirmoradian و همکاران (۲۰۱۶) دمای بیشینه، تابش و بارش را در ایستگاه سینوپتیک رشت، تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم (A2 و A1B) و برای دو دوره ۳۰ ساله ۲۰۴۲-۲۰۱۳ و ۲۰۷۲-۲۰۴۳ برآورد کرده‌اند. نتایج پژوهش ایشان نشان داده که در مورد پارامترهای دمای کمینه و بیشینه، بیشترین تغییرات میانگین بلندمدت سالانه نسبت به دوره پایه رخ خواهد داد. این تغییرات در دوره ۳۰ ساله دوم و به ترتیب تحت سناریوهای A2 و A1B و به میزان ۱/۳ و ۰/۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشند. همچنین، میزان بارش، در بیشتر فصول سال در دوره‌های آبی افزایش خواهد داشت. بر این اساس، بیشترین افزایش در دوره ۳۰ ساله دوم تحت سناریوی B1 به مقدار ۵۵/۵ میلی‌متر و در فصل پاییز خواهد بود. Lopes (۲۰۰۸) به منظور مقایسه دو روش ریزمقیاس‌نمائی آماری SDSM و LARS-WG در تحقیقی، دوره آماری ۱۹۹۰-۱۹۶۱ را به عنوان دوره مینا انتخاب و داده‌های سناریوی A2 مدل HadCM3 را برای دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ با استفاده از مدل‌های SDSM و LARS-WG کوچک مقیاس کرد. تحلیل‌های عدم اطمینان میانگین و واریانس دو مدل

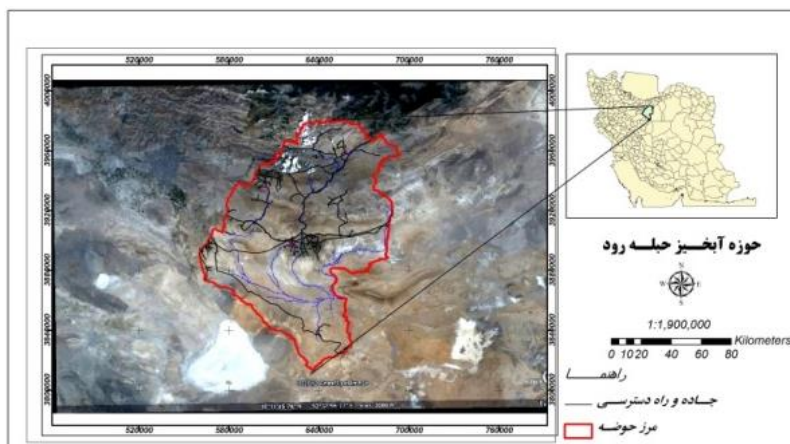
حساسیت اکولوژیکی و موقعیت خاص این منطقه شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: حوزه آبخیز حبله‌رود از نظر تقسیمات سیاسی جزء استان تهران (شهرستان فیروزکوه و قسمتی از شهرستان دماوند) و سمنان (قسمت‌هایی از شهرستان گرمسار و ایوانکی) بوده، از لحاظ موقعیت جغرافیایی، در طول ۵۶۰۴۶۷ الی ۳۹۵۷۱۸۴ ۶۹۴۱۷۰ شرقی و عرض ۳۸۹۴۱۱۱ الی ۳۹۵۷۱۸۴ شمالی قرار گرفته است که مساحت کل آن ۱۲۶۶۱۵۳ هکتار است. کمینه و بیشینه ارتفاع حوضه به ترتیب ۷۳۳ و ۳۸۷۸ متر بوده و ارتفاع متوسط آن ۲۳۰۱ متر می‌باشد. شیب متوسط وزنی حوضه ۸/۵ درصد و جهت شیب جنوبی نیز با فراوانی ۲۶/۹ درصد دارای بیشترین مساحت در این حوضه می‌باشد. در حوضه حبله‌رود دو ایستگاه سینوپتیک گرمسار و فیروزکوه وجود داشته که در این تحقیق پارامترهای کمینه و بیشینه دما، بارش و ساعات آفتابی ایستگاه‌های مذکور به صورت روزانه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

در تمام ماه‌های سال به داده‌های مشاهداتی خیلی نزدیک بوده، شبیه‌سازی‌های هر دو مدل از داده‌های دمای کمینه و بیشینه به داده‌های مشاهداتی بسیار نزدیک بوده‌اند، اما عدم اطمینان واریانس‌ها نشان داد که عملکرد شبیه‌سازی LARS-WG برای بارش کمی بهتر است. همچنین، Salajegheh و همکاران (۲۰۱۶) در پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی به‌وسیله مدل چندگانه خطی SDSM در دوره آینده بر پایه سناریوی A2 گزارش کرده‌اند که در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه، مقدار بارش میانگین سالانه در دوره‌های ۲۰۱۵-۲۰۴۰ و ۲۰۴۰-۲۰۶۵، نسبت به دوره پایه کاهش یافته، دمای متوسط کمینه و دمای متوسط بیشینه نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. از آنجا که کاهش بارش و افزایش دما یکی از عوامل اصلی بیابان‌زایی هستند، لذا ضروری است که مسئولین و برنامه‌ریزان استان در بخش‌های کشاورزی و منابع آب، راه‌کارهای لازم را برای کاهش پیامدها و سازگاری با شرایط آب و هوایی جدید در نظر بگیرند.

در این تحقیق، اقدام به بررسی تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر تغییرات برخی از متغیرهای اقلیمی (دما و بارش) در حوضه حبله‌رود استان تهران با توجه به



شکل ۱- موقعیت حوضه حبله‌رود در کشور و استان

برای رفع این نقیصه، روش‌های مختلفی برای تولید سناریوهای اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای ایجاد شده‌اند که به آن‌ها ریزمقیاس‌نمایی^۱ گفته می‌شود (Abbasi و

روش تحقیق

پیش‌بینی اقلیم آتی: در مطالعات ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم در سطوح منطقه‌ای، به دلیل وسعت محدوده پیش‌بینی متغیرها در این مدل‌ها، نمی‌توان از نتایج حاصله مستقیماً در مقیاس ایستگاهی استفاده کرد و

^۱ Down scaling

باشد. بدین منظور با استفاده از آماره‌های ضریب تعیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE)، اقدام به ارزیابی داده‌های تولید شده به‌وسیله مدل و داده‌های واقعی (مشاهده شده) موجود در دوره پایه شد. به‌عبارت دیگر، مدل با توجه به روند موجود در سری زمانی داده‌های مشاهداتی، اقدام به بازتولید داده‌های ایستگاه‌ها در همین دوره کرده، در نهایت با استفاده از آزمون‌های آماری و رسم نمودار، میانگین‌های ماهانه داده‌های شبیه‌سازی شده را با داده‌های مشاهداتی مقایسه کرده، تا توانایی مدل در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی در این ایستگاه‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد (Semenov و Barrow، ۲۰۰۲).

۳- تولید داده‌های مصنوعی آب و هوا: پس از بررسی نتایج مرحله ارزیابی و اطمینان از قابلیت مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی با توجه به مقادیر بالای ضریب تعیین و مقادیر پایین شاخص‌های خطاسنجی محاسبه شده، این مدل برای ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 و تولید داده‌های مصنوعی برای دوره‌های آتی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۴۶-۲۰۶۵ با استفاده از سه سناریوی A1B، A2 و B1 تأیید شده به‌وسیله IPCC، اجرا شد و بدین ترتیب مقادیر روزانه پارامترهای مذکور تولید شد. سپس خروجی مدل (داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه) میانگین‌گیری شده، نرمال ماهانه پارامترهای اقلیمی در دوره‌های آتی تحت مطالعه بر اساس سه سناریوی تغییر اقلیم به‌دست آمد. در نهایت از تفاضل مقادیر نرمال ماهانه هر یک از دوره‌های آتی از دوره پایه، تغییرات ماهانه پارامترهای مورد بررسی محاسبه شد. IPCC در سال ۱۹۹۸ میلادی، سری جدید سناریوهای انتشار، با نام SRES^۱ را ارائه داد. در این سناریوها میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای با توجه به پیش‌بینی محرک‌هایی^۲ مانند میزان جمعیت، نرخ رشد اقتصادی و میزان اهمیت به محیط زیست برای دوره‌های آتی تعیین می‌شود (Smithson و همکاران،

همکاران، ۲۰۱۱). در این تحقیق، برای ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 (با قدرت تفکیک مکانی $2.5^\circ \times 3.75^\circ$) از مدل LARS-WG که یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا می‌باشد، استفاده شده است. این نسخه مولد آب و هوای LARS-WG، شامل پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی از ۱۵ مدل آب و هوایی مورد استفاده در گزارش ارزیابی چهارم (AR4) مجمع بین‌المللی تغییرات آب و هوایی می‌باشد (Pachauri و همکاران، ۲۰۰۸). به‌طور کلی، تولید داده به‌وسیله این مدل در سه مرحله صورت می‌گیرد که عبارتند از: واسنجی مدل، ارزیابی داده‌ها و تولید داده‌های هواشناسی برای دوره‌های آتی (Ashraf و همکاران، ۲۰۱۱).

۱- واسنجی مدل: در این مرحله، داده‌های مشاهداتی آب و هوا به‌منظور تعیین خصوصیات آماری، مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند. این اطلاعات در دو فایل پارامتری ذخیره می‌شوند. بدین‌منظور در تحقیق حاضر، ابتدا با در نظر گرفتن دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۸۱، داده‌های مورد نیاز مدل شامل مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه ایستگاه‌های هواشناسی منتخب حوضه (ایستگاه‌های سینوپتیک فیروزکوه و گرمسار)، از مرکز اطلاعات و آمار سازمان هواشناسی کشور اخذ و داده‌های مورد نیاز مدل گردش عمومی HadCM3 با سه سناریوی A1B، A2 و B1 از دو مرجع شامل شبکه داده‌های تغییر اقلیم کانادا و بانک داخلی داده‌های مدل LARS-WG استخراج شدند. داده‌های هواشناسی روزانه ذکر شده نیز به قالب مناسب مدل LARS-WG 5.5 تبدیل شدند و پس از پردازش و مرتب‌سازی داده‌ها و تهیه فایل ورودی، مدل برای دوره پایه اجرا شد، بدین ترتیب مرحله واسنجی به پایان رسید. فایل ورودی مدل، دارای اطلاعاتی از قبیل نام، موقعیت جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه، مسیر، نام فایل و داده‌های روزانه پارامترهای اقلیمی برای ایستگاه مورد نظر می‌باشد.

۲- ارزیابی داده‌ها: در این مرحله، خصوصیات آماری داده‌های تولید شده و مشاهداتی آب و هوا مورد بررسی قرار می‌گیرند (اعتبارسنجی مدل) تا اختلاف‌های قابل توجه آماری در آن‌ها وجود نداشته

¹ Special Report on Emissions Scenarios

² Drivers

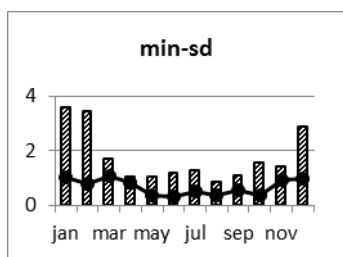
نتایج و بحث

پیش‌بینی اقلیمی ایستگاه سینوپتیک فیروزکوه اعتبارسنجی تولید داده: در جدول ۲، نتایج پارامترهای آماری حاصل از مقایسه مقادیر مشاهداتی و تولید شده به‌وسیله مدل برای ایستگاه سینوپتیک فیروزکوه آورده شده است. همچنین، شکل‌های ۲ الی ۷ مقایسه مقادیر مشاهداتی و تولید شده برای پارامترهای اقلیمی ایستگاه مذکور ارائه شده است. مطابق جدول، بالا بودن مقدار NS و پایین بودن مقادیر مربوط به شاخص‌های خطاسنجی MAE و RMSE متغیرهای هواشناسی بارش، کمینه دما، بیشینه دما و ساعت آفتابی نشان‌دهنده کارایی بالای مدل در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی حوضه حبله‌رود در دوره آماری می‌باشد.

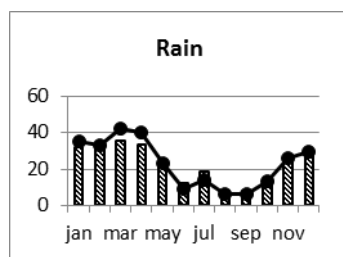
(۲۰۰۲). در مجموع، ۴۰ زیر سناریوی متفاوت SRES ارائه شده است که هر کدام از این زیر سناریوها متعلق به یکی از گروه‌های A1، A2، B1 و B2 است (Massah Bavani و Morid، ۲۰۰۶) به‌طوری‌که بر طبق گزارش ویژه IPCC، برخی از مهمترین فرضیه‌های اصلی در سناریوی B1 شامل تغییر ساختارهای اقتصادی با افزایش سطح توجه به محیط زیست و تکنولوژی پاک، افزایش جمعیت جهان به هفت میلیارد نفر در سال ۲۱۰۰ خواهد بود. همچنین، در سناریوی A2 موارد جهان ناهمگن‌تر، همکاری‌های بین‌المللی بسیار کمتر، تأکید بر ارزش‌های خانوادگی و رشد جمعیت بالا (۰/۸۳) دیده می‌شود و در نهایت در سناریوی A1B رشد اقتصادی سریع (دو درصد) و رشد جمعیتی کم (۰/۲۷)، ابداع فن‌آوری‌های جدید و موثر و هم‌گرایی فرهنگی و اقتصادی پیش‌بینی شده است.

جدول ۲- نتایج پارامترهای آماری حاصل از مقایسه مقادیر واقعی و تولید شده به‌وسیله مدل

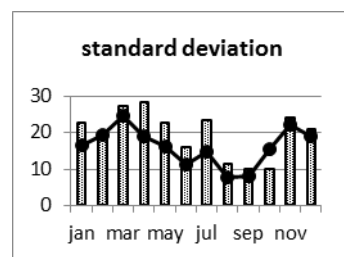
| بارش | | | | دمای بیشینه | | | | دمای کمینه | | | |
|------|------|------|------|-------------|------|-----|-------|------------|------|-----|------|
| RMSE | MAE | NSE | Bias | RMSE | MAE | NSE | Bias | RMSE | MAE | NSE | Bias |
| ۳/۳۷ | ۰/۶۶ | ۰/۹۴ | ۰/۵۶ | ۰/۲۷ | ۰/۰۶ | ۱ | -۰/۰۳ | ۰/۲۶ | ۰/۰۲ | ۱ | ۰/۰۷ |



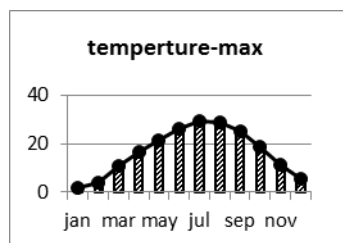
شکل ۴- انحراف معیار نمودار کمینه دمای مشاهداتی و تولید شده در دوره اعتبارسنجی (۱۹۹۴-۲۰۱۰)



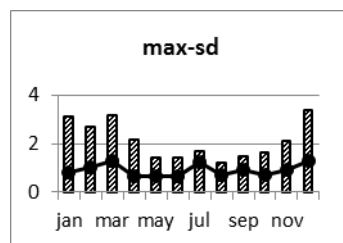
شکل ۳- نمودار میانگین بارش مشاهداتی و تولید شده در دوره اعتبارسنجی (۲۰۱۰-۱۹۹۴)



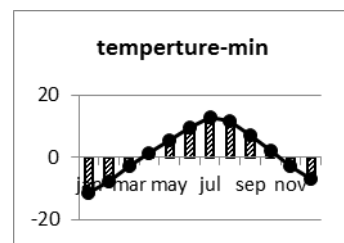
شکل ۲- نمودار انحراف معیار میانگین بارش مشاهداتی و تولید شده در دوره اعتبارسنجی (۱۹۹۴-۲۰۱۰)



شکل ۷- نمودار بیشینه دمای مشاهداتی و تولید شده در دوره اعتبارسنجی (۲۰۱۰-۱۹۹۴)



شکل ۶- انحراف معیار نمودار بیشینه دمای مشاهداتی و تولید شده در دوره اعتبارسنجی (۱۹۹۴-۲۰۱۰)



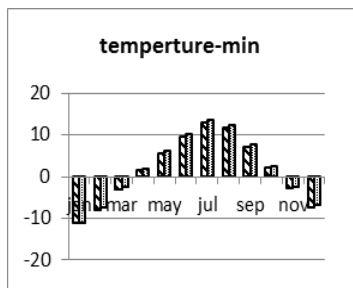
شکل ۵- نمودار کمینه دمای مشاهداتی و تولید شده در دوره اعتبارسنجی (۲۰۱۰-۱۹۹۴)

تغییر متغیرهای هواشناسی برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱-

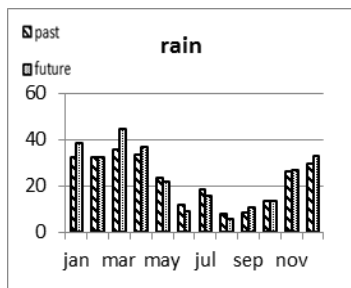
۲۰۱۱: بارش در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوی A1B در ماه جولای ۲/۶۸ میلی‌متر کاهش و در ماه مارس ۸/۷۴ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. کمینه دما از ۰/۰۹ درجه سانتی‌گراد در ماه آوریل تا ۰/۶۷ درجه سانتی‌گراد در ماه سپتامبر افزایش خواهد یافت. بیشینه دما در ماه ژانویه ۰/۱۵ درجه سانتی‌گراد کاهش و در ماه جولای ۰/۹۴ درجه سانتی‌گراد

افزایش می‌یابد.

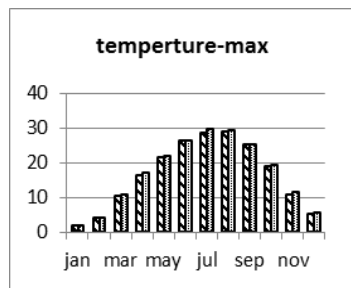
بارش آینده نزدیک تحت سناریوی A2 در ماه جولای ۲/۶۳ میلی‌متر کاهش و در ماه ژانویه پنج میلی‌متر افزایش خواهد یافت. کمینه دما از ۰/۱۸ درجه سانتی‌گراد تا ۰/۹۱ درجه افزایش می‌یابد. بیشینه دما از ۰/۰۴ درجه تا ۰/۹۷ درجه سانتی‌گراد در ماه جولای افزایش می‌یابد.



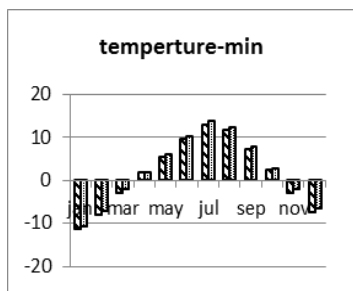
شکل ۱۰- تغییرات کمینه دما در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوی A1B



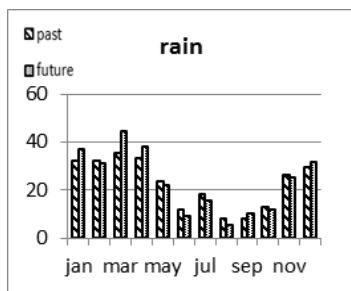
شکل ۹- تغییرات میانگین بارش در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوی A1B



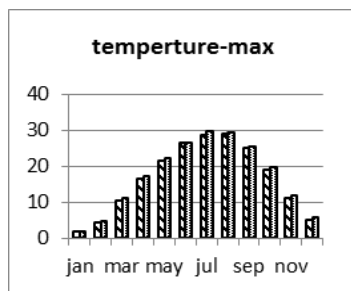
شکل ۸- تغییرات بیشینه دما در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوی A1B



شکل ۱۳- تغییرات کمینه دما در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوی A2



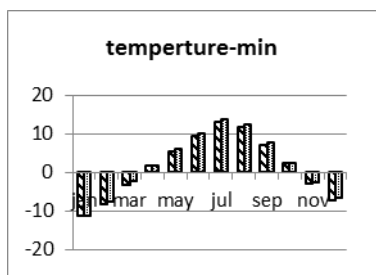
شکل ۱۲- تغییرات میانگین بارش در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوی A2



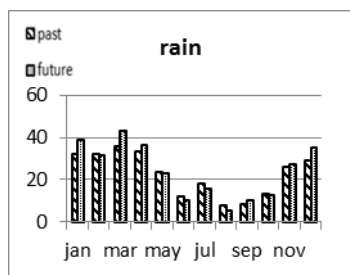
شکل ۱۱- تغییرات بیشینه دما در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوی A2

بیشینه دما در ماه ژانویه ۰/۱۸- درجه سانتی‌گراد کاهش و در ماه جولای ۰/۹۳ درجه افزایش خواهد یافت.

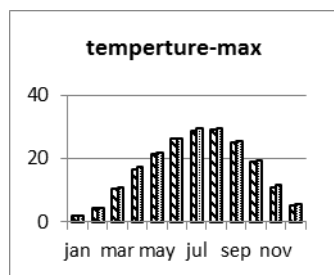
تغییرات بارش آینده نزدیک تحت سناریوی B1 از ۲/۷۲- میلی‌متر در ماه جولای تا ۷/۴۶ میلی‌متر در ماه مارس متغیر خواهد بود. کمینه دما نیز از ۰/۱۱ درجه سانتی‌گراد تا ۰/۸۴ درجه تغییر خواهد کرد.



شکل ۱۶- تغییرات کمینه دما در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ تحت سناریوی B1



شکل ۱۵- تغییرات میانگین بارش در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ تحت سناریوی B1

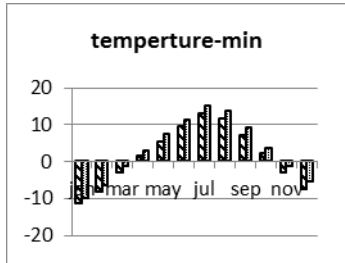


شکل ۱۴- تغییرات بیشینه دما در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ تحت سناریوی B1

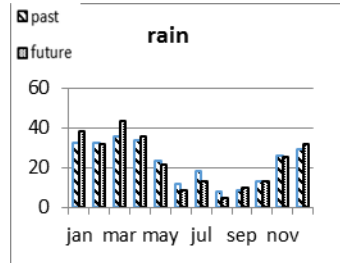
تغییر متغیرهای هواشناسی برای دوره ۲۰۶۵-

۲۰۴۶: در آینده میانه و تحت سناریوی A1B بارش در ماه جولای ۵/۵۵- میلی‌متر کاهش خواهد یافت و بیشینه در ماه ژانویه ۵/۸۴ درجه افزایش می‌یابد.

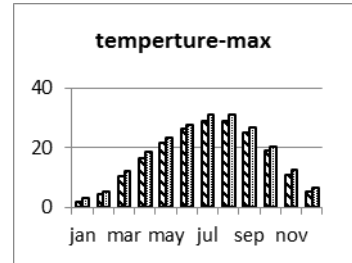
کمینه دما از ۱/۳۱ درجه سانتی‌گراد در ماه ژانویه تا ۲/۲۵ درجه در ماه جولای افزایش می‌یابد. بیشینه دما نیز از ۱/۰۳ درجه سانتی‌گراد در ماه ژانویه تا ۲/۴۶ درجه سانتی‌گراد در ماه جولای افزایش می‌یابد.



شکل ۱۹- تغییرات کمینه دما در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تحت سناریوی A1B



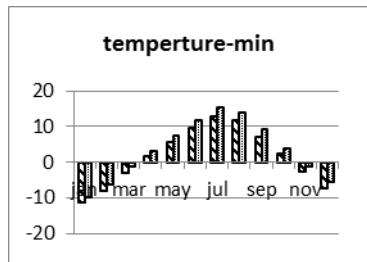
شکل ۱۸- تغییرات میانگین بارش در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تحت سناریوی A1B



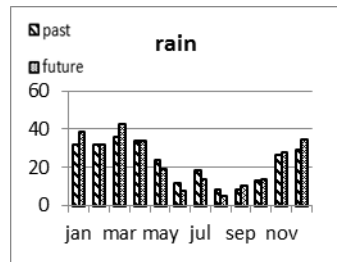
شکل ۱۷- تغییرات بیشینه دما در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تحت سناریوی A1B

مقدار بارش آینده میانه و تحت سناریوی A2 در ماه جولای ۴/۹۶- میلی‌متر کاهش و ۶/۸۶ میلی‌متر در ماه مارس افزایش می‌یابد. کمینه دما از ۱/۲۶ درجه سانتی‌گراد در ماه ژانویه به ۲/۴۶ درجه

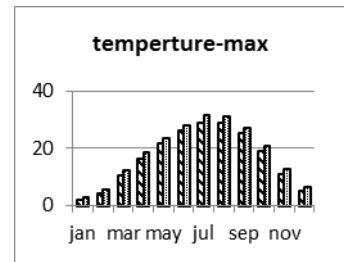
سانتی‌گراد در ماه جولای افزایش خواهد یافت. بیشینه دما نیز از ۰/۹۷ درجه سانتی‌گراد در ماه ژانویه تا ۲/۶۸ درجه در ماه جولای افزایش می‌یابد.



شکل ۲۲- تغییرات کمینه دما در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تحت سناریوی A2



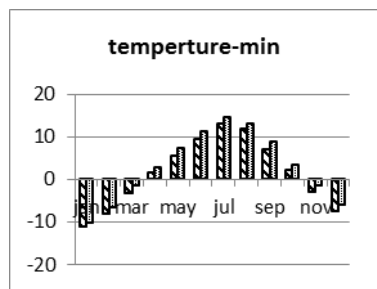
شکل ۲۱- تغییرات میانگین بارش در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تحت سناریوی A2



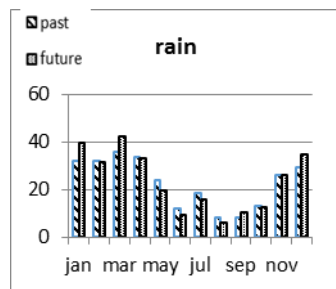
شکل ۲۰- تغییرات بیشینه دما در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تحت سناریوی A2

بارش آینده میانه تحت سناریوی B1 در ماه می ۴/۴۶ میلی‌متر کاهش و ۷/۳۴ میلی‌متر در ماه ژانویه افزایش می‌یابد. کمینه دما از ۰/۹۱ درجه سانتی‌گراد

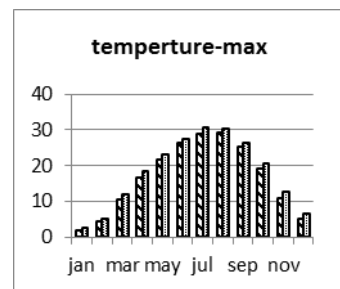
تا ۱/۷۴ درجه افزایش خواهد یافت و بیشینه دما تغییراتی را از ۰/۶۳ درجه سانتی‌گراد در ماه ژانویه تا ۱/۹۶ درجه در ماه جولای تجربه خواهد کرد.



شکل ۲۵- تغییرات کمینه دما در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تحت سناریوی B1



شکل ۲۴- تغییرات میانگین بارش در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تحت سناریوی B1



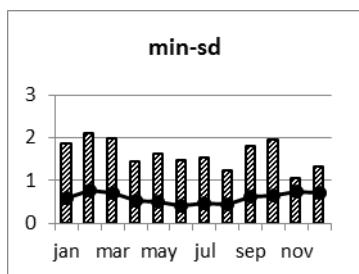
شکل ۲۳- تغییرات بیشینه دما در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تحت سناریوی B1

تصویر کشیده شده است. همان‌طور که در جدول مذکور مشاهده می‌شود، بالا بودن مقدار NS و پایین بودن مقادیر مربوط به شاخص‌های خطاسنجی MAE و RMSE متغیرهای هواشناسی بارش، کمینه دما، بیشینه دما و ساعت آفتابی نشان‌دهنده کارایی بالای مدل در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی حوضه حبله‌رود در دوره آماری می‌باشد.

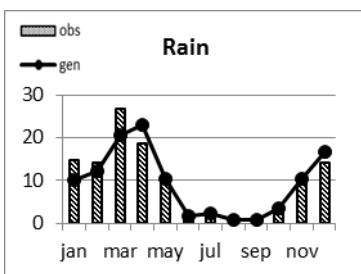
پیش‌بینی اقلیمی ایستگاه سینوپتیک گرمسار اعتبارسنجی تولید داده: در جدول ۳، نتایج پارامترهای آماری حاصل از مقایسه مقادیر مشاهداتی و تولید شده به‌وسیله مدل برای ایستگاه سینوپتیک گرمسار آورده شده است. همچنین، شکل‌های ۲۶ الی ۳۱ مقایسه مقادیر مشاهداتی و تولید شده برای پارامترهای اقلیمی ایستگاه سینوپتیک گرمسار به

جدول ۳- نتایج پارامترهای آماری حاصل از مقایسه مقادیر واقعی و تولید شده به‌وسیله مدل

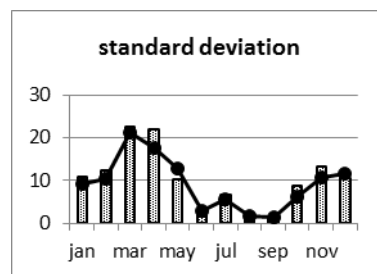
| بارش | | | | دمای بیشینه | | | | دمای حداقل | | | |
|------|------|------|-------|-------------|------|-----|-------|------------|------|-----|-------|
| RMSE | MAE | NSE | Bias | RMSE | MAE | NSE | Bias | RMSE | MAE | NSE | Bias |
| ۲/۷۴ | ۰/۶۶ | ۰/۹۸ | -۰/۴۲ | ۰/۳۳ | ۰/۰۶ | ۱ | -۰/۰۳ | ۰/۲۶ | ۰/۰۲ | ۱ | -۰/۰۱ |



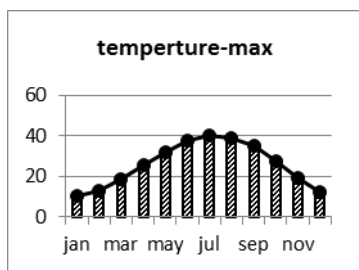
شکل ۲۸- نمودار انحراف معیار کمینه دمای مشاهداتی و تولید شده در دوره اعتبارسنجی (۲۰۱۰-۱۹۹۴)



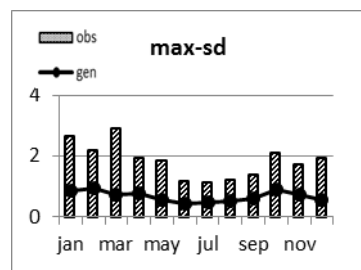
شکل ۲۷- نمودار میانگین بارش مشاهداتی و تولید شده در دوره اعتبارسنجی (۲۰۱۰-۱۹۹۴)



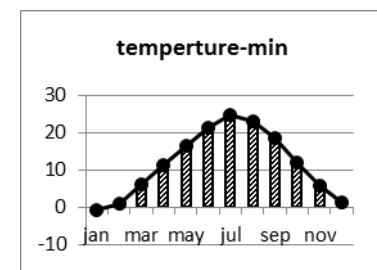
شکل ۲۶- نمودار انحراف معیار میانگین بارش مشاهداتی و تولید شده در دوره اعتبارسنجی (۲۰۱۰-۱۹۹۴)



شکل ۳۱- نمودار بیشینه دمای مشاهداتی و تولید شده در دوره اعتبارسنجی (۲۰۱۰-۱۹۹۴)



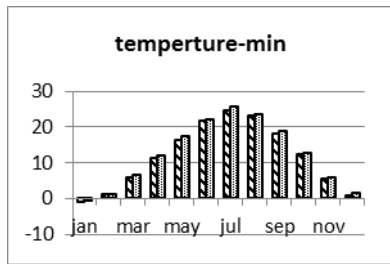
شکل ۳۰- نمودار انحراف معیار بیشینه دمای مشاهداتی و تولید شده در دوره اعتبارسنجی (۲۰۱۰-۱۹۹۴)



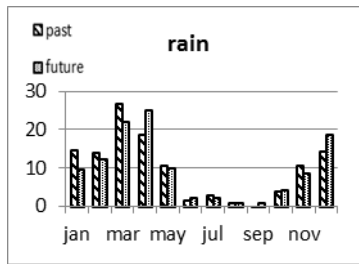
شکل ۲۹- نمودار کمینه دمای مشاهداتی و تولید شده در دوره اعتبارسنجی (۲۰۱۰-۱۹۹۴)

کمینه دما نیز از حدود ۱/۵ درجه سانتی‌گراد تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. تحت سناریوی A2 بارش ماه آوریل ۶/۷۲ میلی‌متر افزایش و در ماه ژانویه ۵/۵۱ میلی‌متر کاهش می‌یابد. کمینه دما نیز تحت این سناریو از ۰/۳۵ سانتی‌گراد در ماه فوریه تا ۱/۰۳ درجه سانتی‌گراد در ماه جولای افزایش خواهد یافت. بیشینه دما نیز از ۰/۰۹ درجه سانتی‌گراد در ماه فوریه تا ۱/۲۳ درجه سانتی‌گراد در ماه می افزایش خواهد یافت.

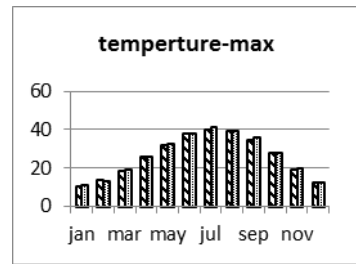
تغییر متغیرهای هواشناسی برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱: در شکل‌های ۳۲ الی ۴۰ نحوه تغییر متغیرهای هواشناسی میانگین بارش، بیشینه دما و کمینه دما برای سه سناریوی A1B، A2 و B1 به نمایش درآمده است. همان‌طور که در شکل ۲۳ مشاهده می‌شود، برای دوره مذکور و تحت سناریوی A1B میانگین بارش در ماه آوریل و دسامبر حدوداً شش میلی‌متر افزایش و در ماه مارس شش میلی‌متر کاهش می‌یابد.



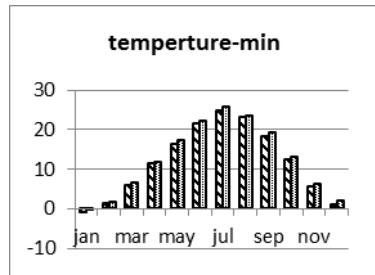
شکل ۳۴- تغییرات کمینه دما در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوی A1B



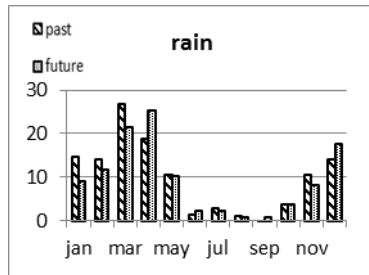
شکل ۳۳- تغییرات میانگین بارش در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوی A1B



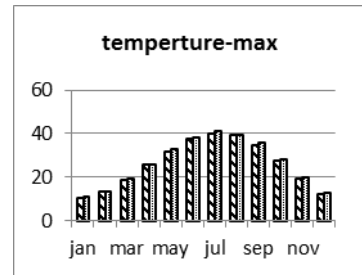
شکل ۳۲- تغییرات بیشینه دما در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوی A1B



شکل ۳۷- تغییرات کمینه دما در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوی A2



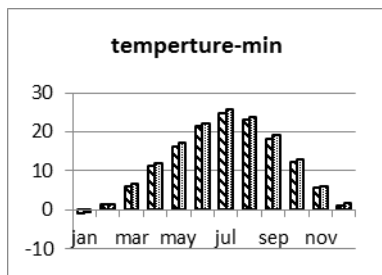
شکل ۳۶- تغییرات میانگین بارش در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوی A2



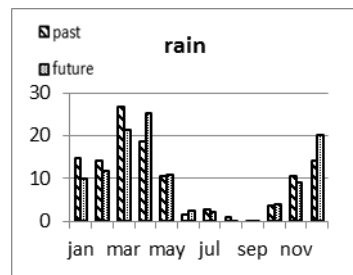
شکل ۳۵- تغییرات بیشینه دما در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوی A2

ماه فوریه تا ۱/۰۷ درجه سانتی‌گراد در ماه سپتامبر افزایش خواهد یافت. بیشینه دما نیز در ماه فوریه ۰/۲۱- درجه کاهش و ۱/۱ درجه در ماه می افزایش خواهد یافت.

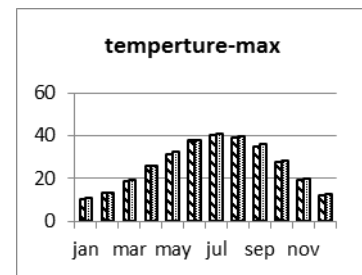
تغییرات بارش تحت سناریوی B1 کاهش ۵/۵۰ میلی‌متری بارش در ماه مارس و افزایش مقدار بارش تا نزدیک به هفت میلی‌متر در ماه آوریل را نشان می‌دهد. تحت سناریوی مذکور، کمینه دما از ۰/۰۵ در



شکل ۴۰- تغییرات کمینه دما در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوی B1



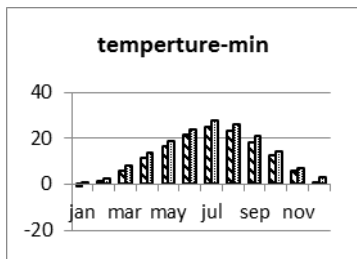
شکل ۳۹- تغییرات میانگین بارش در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوی B1



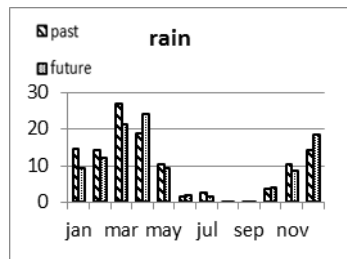
شکل ۳۸- تغییرات بیشینه دما در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوی B1

در سناریوی A2 بارش در ماه مارس ۶/۷۱- درجه سانتی‌گراد کاهش و در ماه دسامبر ۵/۴۲ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. کمینه دما از ۱/۲۵ درجه سانتی‌گراد در ماه فوریه تا ۲/۶۳ درجه سانتی‌گراد در ماه سپتامبر افزایش می‌یابد. بیشینه دما نیز ۰/۹۹ درجه سانتی‌گراد در ماه فوریه تا ۲/۹۷ درجه در ماه جولای افزایش خواهد یافت.

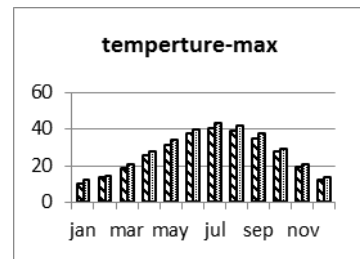
تغییر متغیرهای هواشناسی برای دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶: تغییرات بارش در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و تحت سناریوی A1B، تقریباً روند نزولی و در هفت ماه کاهش بارش خواهد داشت. کمینه دما از ۱/۲۱ درجه سانتی‌گراد در ماه فوریه تا ۲/۹۸ درجه سانتی‌گراد در ماه جولای افزایش خواهد یافت. بیشینه دما نیز ۰/۹۶ درجه سانتی‌گراد در ماه فوریه تا ۲/۸۴ درجه در ماه جولای افزایش می‌یابد.



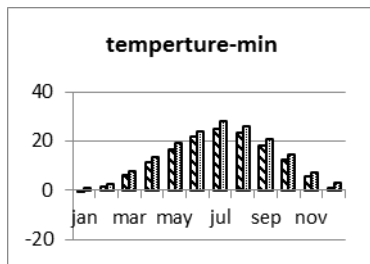
شکل ۴۳- تغییرات کمینه دما در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تحت سناریوی A1B



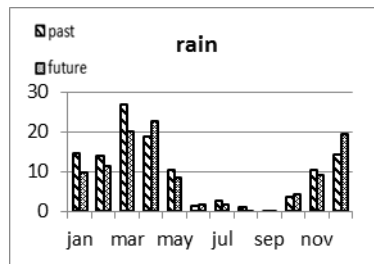
شکل ۴۲- تغییرات میانگین بارش در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تحت سناریوی A1B



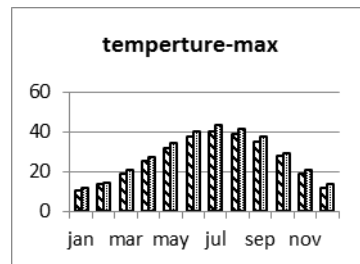
شکل ۴۱- تغییرات بیشینه دما در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تحت سناریوی A1B



شکل ۴۶- تغییرات کمینه دما در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تحت سناریوی A2



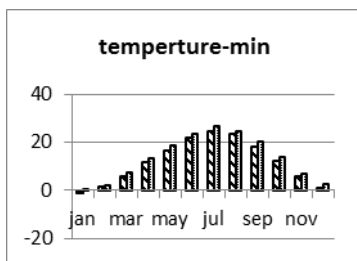
شکل ۴۵- تغییرات میانگین بارش در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تحت سناریوی A2



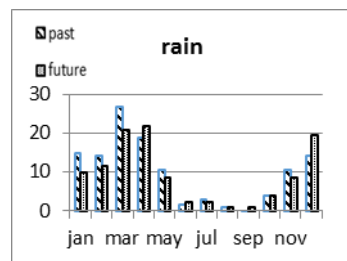
شکل ۴۴- تغییرات بیشینه دما در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تحت سناریوی A2

دما تحت سناریوی مذکور به ترتیب از ۰/۷۸ و ۰/۵۲ در ماه فوریه تا ۲/۳۹ و ۲/۶۱ درجه سانتی‌گراد در ماه می افزایش خواهد یافت.

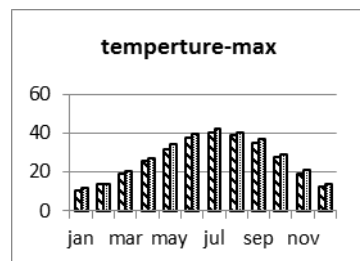
تغییرات بارش تحت سناریوی B1 در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، می، جولای و آگوست روند نزولی و در سایر ماه‌ها این مقدار تا ۵/۳۲ درجه سانتی‌گراد در دسامبر روند افزایشی خواهد یافت. کمینه و بیشینه



شکل ۴۹- تغییرات کمینه دما در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تحت سناریوی B1



شکل ۴۸- تغییرات میانگین بارش در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تحت سناریوی B1



شکل ۴۷- تغییرات بیشینه دما در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تحت سناریوی B1

Salehpour Jam و همکاران، ۲۰۱۵). برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی نیز از بین روش‌های ریزمقیاس‌نمایی، بیشتر از مدل‌های آماری استفاده می‌شود (Fowler و همکاران، ۲۰۰۷). یکی از دلایل استفاده از این مدل‌ها، همانند مدل به‌کار رفته در این تحقیق، عملکرد سریع و آسان آن‌ها نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشد (Dibike و همکاران، ۲۰۰۵). نتایج اعتبارسنجی و مقایسه کردارهای مشاهداتی و تولیدی

نتیجه‌گیری

طبق گزارش چهارم مجمع بین‌المللی تغییرات آب و هوایی که با عنوان گزارش ارزیابی تغییر اقلیم انتشار یافته است، افزایش جهانی دما و رخداد تغییر اقلیم با بهره‌گیری از داده‌های اندازه‌گیری شده دمای سطح خشکی‌ها و آب‌های جهان، تأیید شده است (IPCC، ۲۰۱۴). امروزه مدل‌های گردش عمومی جو، قوی‌ترین ابزار برای تولید سناریوهای اقلیمی هستند

داده‌های بارش، دمای کمینه و بیشینه در دو ایستگاه فیروزکوه و گرمسار نیز نشان می‌دهد که بین مقادیر مشاهداتی و تولید شده به وسیله مدل همبستگی وجود دارد که با نتایج پژوهش Ashofteh (۲۰۰۸) هم‌خوانی دارد.

در تحقیق حاضر، ابتدا داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه و بیشینه ایستگاه‌های سینوپتیک گرمسار و فیروزکوه به‌عنوان داده‌های ورودی به مدل LARS-WG داده شد. سپس، با کمک مدل، داده‌های روزانه متغیرهای هواشناسی مذکور در همین دوره تولید شد. در نهایت، با مقایسه میانگین‌های ماهانه مشاهداتی و تولید شده متغیرهای هواشناسی بارش، دمای کمینه و بیشینه از پارامترهای آماری R^2 ، RMSE، MAE و NA مشخص شد که مدل کارایی لازم را برای تولید داده‌های روزانه پارامترهای ذکر شده در حوزه آبخیز حبله‌رود را دارا بوده، می‌توان با طراحی سناریوها در مدل اقدام به پیش‌بینی داده‌های هواشناسی بارش، دمای کمینه و بیشینه کرد که با نتایج پژوهش‌های Ashofteh (۲۰۰۸)، Lopes (۲۰۰۸) و Mashhoudi و Pirmoradian (۲۰۱۵) هم‌خوانی دارد. از بررسی کردارهای خروجی برای دو ایستگاه سینوپتیک گرمسار و فیروزکوه، مشخص می‌شود که دمای کمینه و بیشینه در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ در مقایسه با دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ افزایش یافته، همان‌گونه که از پیش انتظار می‌رفت، از بین سه سناریوی مورد بررسی، بیشترین تغییرات مربوط به سناریوی A2 و سپس سناریوی A1B و در نهایت سناریوی B1. نسبت به دو سناریوی دیگر کمترین تغییر در دمای کمینه و بیشینه را خواهند داشت که با پژوهش Mashhoudi و Pirmoradian (۲۰۱۵) هم‌خوانی دارد. نتایج مقایسه‌ای دو ایستگاه نشان می‌دهد که در ایستگاه فیروزکوه بارش برای دو دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ برای تمام سناریوها افزایش خواهد یافت. اما در ایستگاه گرمسار تغییرات متفاوت‌تری تجربه خواهد شد، به طوری که بارش در دو دوره مذکور و برای همه

سناریوها به‌جز سناریوی A1B، آینده نزدیک کاهش خواهد یافت که بیشترین کاهش در سناریوی A2 آینده میانه مشاهده خواهد شد. کمینه دما در هر دو ایستگاه سینوپتیک در دو دوره آینده نزدیک و میانه افزایش خواهند یافت که این مقادیر برای ایستگاه سینوپتیک گرمسار بیشتر است. در پارامتر بیشینه دما نیز همانند کمینه دما، هر دو ایستگاه فیروزکوه و گرمسار در دو دوره پیش‌بینی شده، افزایش دما را تجربه خواهند کرد که این مقدار برای ایستگاه گرمسار بیشتر است. نتایج این تحقیق که شرایط اقلیمی حوضه حبله‌رود در دوره‌های آتی، تفاوت محسوسی با شرایط فعلی خواهد داشت، در توافق با نتایج صورت گرفته با سایر محققان از جمله Babaeian و Najafi Nik (۲۰۰۷)، Kamal و همکاران (۲۰۱۱) و Nasiri و Yar Moradi (۲۰۱۷) در سایر مناطق کشور است. رویکرد توسعه پایدار با حفظ و مدیریت منابع سه‌گانه آب، خاک و پوشش گیاهی در حوزه‌های آبخیز ممکن می‌شود (Mosaffaie و همکاران، ۲۰۱۵؛ Mosaffaie، ۲۰۱۵). بنابراین، با توجه به این موضوع و نیز آگاهی از اثرات منفی مستقیم و غیر مستقیم تغییر اقلیم بر بخش‌های مختلف اعم از کشاورزی، منابع آبی، منابع طبیعی، محیط زیست، بهداشت، صنعت و اقتصاد، برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و استراتژیک برای مدیریت شرایط جدید، امری اجتناب‌ناپذیر بوده، ضروری به نظر می‌رسد. همچنین، در این تحقیق، از مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG پس از محاسبه پارامترهای آماری NA، RMSE و MAE مقادیر میانگین‌های ماهانه مشاهداتی و تولید شده متغیرهای هواشناسی (دما و بارش) و اثبات کارایی لازم مدل برای تولید داده‌های روزانه استفاده شد که با نتایج Khosravanian و همکاران (۲۰۱۵)، Danesh Afza و Razagh Pour (۲۰۱۴)، Meshkati و همکاران (۲۰۱۰) و Ghorbani و همکاران (۲۰۱۶) در انتخاب مدل ریزمقیاس و گزارش عملکرد رضایت بخش آن مطابقت دارد.

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, F., I. Babaeian, Sh. Malboosi, M. Asmari and L.G. Mokhtari. 2011. Assessment of climate change in the coming decades (2025-2100) using down scaling of atmospheric general circulation model. Quarterly Journal of Geographic Research, 27(1): 205-230 (in Persian).

2. Ashofteh, P. 2008. Uncertainty analysis of the impact of climate change on flood regime with Bayesian approach, case study: Aydoghmush, East Azerbaijan Province. PhD Thesis, 71 page (in Persian).
3. Ashraf, B., M. Mousavi Baygi, G.A. Kamali and K. Davari. 2011. Prediction of seasonal variations of climatological parameters over next 20 years by using statistical downscaling method of HADCM3 data, case study: Khorasan Razavi Province. *Journal of Water and Soil*, 25(4): 945-957 (in Persian).
4. Babaeian, I. and Z. Najafinik. 2007. Introduction and evaluation of LARS-WG model for modeling of meteorological parameters of Khorasan Province in 1961-2003. *Journal of Nivar*, 63: 24-30 (in Persian).
5. Babaeian, I., Z. Najafinik, F. Abassi, M. Habibi Nokhandan, H. Adab and S. Malbusi. 2009. Climate change assessment over Iran during 2010-2039 using statistical downscaling of ECHO-G data. *Journal of Geography and Development*, 16: 135-152 (in Persian).
6. Danesh Afza, R. and H. Razagh Pour. 2014. Assessment of climate change impacts on potential evapotranspiration on West Azerbaijan Province. *Journal of Geographical Space*, 4(46): 199-211 (in Persian).
7. Dibike, B. and P. Coulibaly. 2005. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay Watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models. *Journal of Hydrology*, 307: 145-163.
8. Fowler, H.J., S. Blenkinsop and C. Tebaldi. 2007. Linking climate change modeling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling. *International Journal of Climatology*, 27: 1547-1578.
9. Ghorbani. Kh., M. Bazrafshan Daryasari, M. Meftah Helghi and N. Ghahraman. 2016. Climate change impacts on climatic mapping of Golestan Province using Dumarthen method. *Journal of Water and Soil Research of Iran*, 47(2): 319-332 (in Persian).
10. Graham, L., S. Hagemann, S. Jaun and M. Beniston. 2007. On interpreting hydrological change from regional climate models. *Journal of Climatic Change*, 81: 97-122.
11. IPCC, 2014. Summary for policymakers. In: climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, pp. 1-32.
12. Kamal, A.R., A.R. Massah Bavani and M.S. Najafi. 2011. Uncertainty of AOGCM and hydrological models in prediction of runoff under climate change. *Water Resources International Conference. Shahroud*, 54-66 (in Persian).
13. Khosravianian, J., M. Ownegh, M. Goodarzi and A. Hejazi. 2015. Application of the LARS-WG model in predicting meteorological parameters of Gharesoo, Gorgan Province. *Journal of Geography and Planning*, 19(53): 93-115 (in Persian).
14. Kilsby, C.G., P.D. Jones, A. Burton, A.C. Ford, H.J. Fowler, C. Harpham, P. James, A. Smith and R.L. Wilby. 2007. A daily weather generator for use in climate change studies. *Environmental Modeling and Software*, 22(12): 1705-1719.
15. Kordjazi, M., A. Meshkati, A. Babaeian and M. Razavi. 2011. Climate change analyzing on Gholestan Province in the period 2039-2010 using general circulation models HadCM3 scenarios. The 1st National Conference on Drought and Climate Change, Water Scarcity and Droughts in Agricultural and Natural Resources Research Center, Tehran. 866-857(in Persian).
16. Lopes, P. 2008. Assessment of climate change statistical downscaling methods. Application and Comparison of Two Statistical Methods to a Single Site in Lisbon. MSc Thesis, University of Lisbon, 51 pages
17. Mashhoudi, N. and N. Pirmoradian. 2015. Survey of climate change indicators changes on the global circulation models Incm3 data, case study: Agricultural station Rasht Province (Iran). 3rd International Conference on Applied Research in Agricultural Sciences, Tehran, University of Applied Sciences and Technology, 98-111 (in Persian).
18. Massah Bavani, A. and S. Morid. 2006. Climate change risk assessment and its impact on water resources. PhD Thesis, 187 page (in Persian).
19. Meshkatee, A., M. Kordjazi and I. Babaeian. 2010. Evaluation of the simulation model LARS during the 1993-2007. *Journal of Geographical Sciences and Applied Research*, 16(19): 21-34 (in Persian).
20. Mohammadi, H. and F. Taghavi. 2005. Trend of temperature and precipitation extreme indicators in Tehran Province. *Geographical Research*, 53: 151-172 (in Persian).
21. Mosaffaie, J. 2016. Application of artificial neural network, multiple-regression and index-flood techniques in regional flood frequency estimation. *International Journal of Water*, 10(4): 328-34 (in Persian).

22. Mosaffaie, J., M.R. Ekhtesasi, M.T. Dastorani, H.R. Azimzadeh and M.A. Zare Chahuki. 2015. Temporal and spatial variation of the water erosion rate. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(8): 5971-5979 (in Persian).
23. Mosaffaie, J. 2015. Comparison of two methods of regional flood frequency analysis using L-moments. *Water Resources*, 42(3): 313-321 (in Persian).
24. Nasiri, B. and Z. Yar Moradi. 2017. Prediction of climatic parameter changes of Lorestan Province on future 50 years using HadCM3 model. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 26(101): 19-32 (in Persian).
25. Pirmoradian, N., H. Hadinia and A. Ashrafzadeh. 2016. Prediction minimum and maximum temperatures, radiation and precipitation in Rasht station under various scenarios of climate change. *Geography and Planning*, 20(55): 29-44 (in Persian).
26. Purkey, D.R., B. Joyce, S. Vicuna, M.W. Hanemann, L.L. Dale, D. Yates and J.A. Dracup. 2007. Robust analysis of future climate change impacts on water for agriculture and other sectors: a case study in the Sacramento Valley. *Climatic Change*, 87: 109-122.
27. Salajegheh, A., E. Rafiei Sardooei, A. Moghaddamnia, A. Malekian, Sh. Araghinejad, Sh. Khalighi Sigaroodi and A. Salehpourjam. 2016. Prediction of climatic variables using Statistical Down Scaling Model (SDSM) in future under scenario. 7: 12-25 (in Persian).
28. Salehpour jam, A., M. Mohseni Saravi, J. Bazrafshan, Sh. Khalighi Sigaroudi. 2015. Assessment of climate change impacts on future decades of drought characteristic using global circulation model HadCM3, case study: north west of Iran. *Range and Watershed, Journal of Natural Resources of Iran*, 67(4): 537-438 (in Persian).
29. Semenov, M. and E.M. Barrow. 2002. A stochastic weather generator for use in climate impact studies. *User Manual, Hertfordshire, UK (August): 0-27.*

Forecasting future climate variables using HadCM3 model and climate scenarios, case study: selected synoptic stations of Hableh Roud Basin

Navid Ziaee^{*1}, Majid Ownegh², Hamidreza Asgari³, Alireza Massah Bavani⁴, Abdolrasoul Salman Mahini⁵ and Mohsen Hoseinalizadeh⁶

¹ PhD Student, Department of Watershed and Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, ² Professor, Department of Watershed and Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, ^{3 and 6} Assistant Professor, Department of Watershed and Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, ⁴ Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, College of Abouraihan, University of Tehran, Iran and ⁵ Associate Professor, Department of Watershed and Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

Received: 06 May 2017

Accepted: 26 July 2017

Abstract

The effects of a change in the temperature and particularly precipitation around the world are not well known due to their complexity and spatial variations. In this research, the impacts of climate change on some climatic variables (temperature and precipitation) has been studied in Hableh Roud Basin due to ecological sensitivity and special situation of this area and HadCM3 model data were analyzed using LARS-WG model according to A2, B2 and A1B scenarios. The seasonal variations of precipitation, minimum and maximum temperature of the synoptic stations of Firouzkooh and Garmsar were investigated in two periods of 2030-2011 and 2046-2065. Results showed that precipitation between 0.23 to 0.48 mm will increase in the near future and will decrease between 0.08 to 0.15 mm in the middle future. The minimum temperature will increase between 0.5 to 0.67° C in near future and between 1.54 to 1.97° C for the middle future. Maximum temperature will increase in near future between 0.43 to 0.6° C and between 1.47 to 1.89° C in middle future. Finally, the climatic conditions of the Hableh Roud Basin will have a significant difference compared to current conditions in upcoming periods. Therefore, regarding to this issue, as well as awareness of the direct and indirect negative effects of climate change in the various parts of the basin (agriculture, water resources, environment, natural resources, health, industry and economics), long-term planning and strategic management of new situations is essential.

Keywords: Climate change, Down scaling, GCM, Lars-WG, Temperature and precipitation

* Corresponding Author: navid.ziaee@gmail.com