

پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی دما و بارش با استفاده از برون‌داد مدل CMIP6 تحت سناریوهای SSP (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه شور)

اسماء اصغری پور دشت بزرگ^۱، جعفر مرشدی^{۲*}، رضا برنا^۳، جبرائیل قربانیان^۴، منوچهر جوانمردی^۵
۱، ۳، ۴ و ۵- گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، خوزستان، اهواز، ایران.
۲- گروه شهرسازی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، خوزستان، شوشتر، ایران.

چکیده

پیش‌نگری تغییرات متغیرهای هواشناسی در درازمدت، از اهمیت زیادی در مطالعات تغییر اقلیم برخوردار است. بررسی رفتار متغیرهای اقلیمی در طول محدوده زمانی، نشان‌این واقعیت است که اقلیم با تغییراتی مواجه بوده است که با توسعه شهری و نقش انسان در این تغییرات به واسطه انتشار گازهای گلخانه‌ای بارزتر می‌شود. بنابراین هدف از پژوهش حاضر، پیش‌نگری تغییرات متغیرهای اقلیمی دما و بارش در حوضه آبریز رودخانه شور واقع در استان خوزستان با استفاده از برون‌داد مدل CMIP6 تحت سناریوهای SSP بوده است. بدین منظور داده‌های متغیر اقلیمی دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش روزانه ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان طی دوره آماری ۲۰۲۴-۱۹۸۵ از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید و پس از روندیابی با بهره‌گیری از آزمون من-کندال با استفاده از افزونه XLSTAT و ماکرواکسل، تغییرات متغیرهای اقلیمی دما و بارش تحت سناریوهای SSP مدل CanEsm5 در نرم‌افزار SDSM6.1 شبیه‌سازی و برای سال‌های آینده ۲۰۵۰-۲۰۱۵ پیش‌نگری گردید. کالیبراسیون و واسنجی مدل SDSM با استفاده از داده‌های مشاهداتی ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان و داده‌های NCEP انجام شد، همچنین جهت ارزیابی میزان کارایی و عملکرد مدل SDSM و مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره پایه ۲۰۱۴-۱۹۸۵، از ۳ سنجه آماری شامل: میانگین خطای مطلق (MAE) و مجذور میانگین مربعات خطا (RSME) و ضریب همبستگی (R) بهره‌گرفته شد. پس از اطمینان از کارایی مدل، خروجی‌های مدل CanESM5 در دوره زمانی ۲۰۵۰-۲۰۱۵ در حوضه آبریز رودخانه شور، تحت سناریوهای SSP119، SSP126، SSP245، SSP370 و SSP585 توسط مدل آماری SDSM، ریزمقیاس انجام گرفت. نتایج حاصل از روندیابی به روش من-کندال حاکی از روند صعودی معنی‌دار دمای بیشینه، دمای کمینه و دمای سالانه و روند کاهشی در تغییرات بارش را دارا می‌باشد. همچنین نتایج به دست آمده از مدل CanESM5 نشان می‌دهد که متغیرهای دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش روزانه طی دوره آماری ۲۰۱۵-۲۰۵۰ تحت سناریوهای SSP روند افزایشی را نسبت به دوره پایه تجربه خواهند کرد.

کلید واژه‌ها: پیش‌نگری، متغیرهای اقلیمی، مدل CMIP6، سناریوهای SSP، حوضه آبریز رودخانه شور.

مقدمه

صنعتی شدن جوامع منجر به افزایش گازهای گلخانه‌ای در دهه‌های اخیر شده است. این افزایش باعث گرم شدن جو زمین و گرم شدن جو زمین نیز به نوبه خود بر وضعیت سایر اجزای سیستم اقلیمی تأثیر گذاشته و باعث ایجاد تغییر اقلیم شده است (گودرزی و همکاران، ۲۰۲۲). طبق تعریف اقلیم، شرایط مختلف آب و هوایی از جمله دمای هوا، میزان بارش، شدت و ضعف جبهه‌های هوایی، در یک بازه زمانی مشخص در یک منطقه مشخص می‌باشد، همچنین اقلیم یک سامانه متشکل از برهم کنش مولفه‌های مختلف زمین با یکدیگر و با خورشید می‌باشد (چانگ، ۲۰۰۷). متغیرهای اقلیمی از وضعیت گذشته، حال و آینده سامانه اقلیم خبر می‌دهند. این متغیرها زیربنای علم اقلیم‌شناسی هستند و ضمن افزایش آگاهی از پیامدهای تغییر اقلیم، به اتخاذ سیاست‌های تعدیل و سازگاری کمک می‌کنند (لورن و همکاران، ۲۰۲۲). نوسانات اقلیم نوسانات سینوسی پارامترهای اقلیمی در سطح جهانی یا منطقه‌ای محسوب شده و نوعی الگوی اقلیمی به شمار می‌روند. این نوسان‌ها در دما، بارندگی یا دیگر پارامترهای اقلیمی دیده می‌شود و طی دوره معینی از زمان روی می‌دهد (رضائی پور، ۲۰۱۸). پیش‌نگری‌های آب و هوایی، اطلاعاتی بنیادین برای تعیین دامنه، نرخ و گستردگی تغییرات آب و هوایی آینده به منظور سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی سازگاری با این تغییرات هستند (ویرجیلیو و همکاران، ۲۰۲۲). مدل‌های گردش عمومی (GCMs)، از معتبرترین روش‌های شبیه‌سازی متغیرهای آب و هوایی دوره‌های آتی هستند (گوش و موجودمدار، ۲۰۰۸). اجزای سامانه زمین در GCM‌ها به طور کامل ارزیابی شده است (کالینز و همکاران، ۲۰۱۱). مدل‌های GCM مدل‌های عددی هستند که مکانیسم‌های طبیعی در جو، سطح زمین و اقیانوس را توصیف می‌کنند. این مدل‌ها، سامانه آب و هوایی را نشان می‌دهند که یک شبکه سه بُعدی با قدرت تفکیک افقی ۲۵۰ الی ۶۰۰ کیلومتر در سراسر جهان و ۱۰ الی ۲۰ لایه عمودی در جو و همچنین تا حدود لایه در اقیانوس‌ها را پوشش می‌دهند (سربینواسا و ناگش کومار، ۲۰۲۰). در حال حاضر، پروژه هم‌سنگ مدل جفت شده (CMIP) به عنوان یکی از مؤلفه‌های اساسی علم آب و هوا در نظر گرفته می‌شود (توزیفر و همکاران، ۲۰۲۰). این پروژه برای مطالعه و مقایسه شبیه‌سازی‌های آب و هوایی مدل‌های GCM ایجاد شده است (میهل و همکاران، ۲۰۰۰). هدف پروژه CMIP درک بهتر تغییرات آب و هوایی گذشته، حال و آینده در یک زمینه چندمدلی است، با این حال، استفاده مناسب از این قبیل شبیه‌سازی‌ها مستلزم آگاهی از محدودیت‌های آن‌ها است، بنابراین ارزیابی منظم و روشمند مدل‌ها

با داده‌های مشاهداتی موجود، امری ضروری است (ایرینگ و همکاران، ۲۰۱۶). در حال حاضر سری ششم پروژه‌ی مقایسه مدل‌های جفت شده (CMIP6) انتشار یافته است. مجموعه گزارش‌های ششم ارائه شده توسط گروه کاری بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC)، به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع علمی در زمینه تغییر اقلیم، به بررسی سناریوهای تغییر اقلیمی و اثرات آن بر جوامع و محیط زیست می‌پردازد. گزارش ششم نسبت به گزارش پنجم کامل‌تر و علاوه بر سناریوهای RC، سناریوهای اجتماعی و اقتصادی را نیز لحاظ کرده است، همچنین نواقص مدل‌های سری پنجم از جمله تخمین ضعف واداشت تابشی و خطای سیستماتیک در گزارش ششم رفع شده است (IPCC, 2021). برای پیش‌بینی آب و هوا در آینده، مدل‌های CMIP6 از سناریوهای انتشار براساس مسیرهای اقتصادی-اجتماعی مشترک (SSP) استفاده می‌کنند. این سناریوها براساس مسیرهای انتشار و کاربری زمین توسعه داده شده‌اند که تا حدودی با سناریوهای RCP متفاوت هستند. مزیت سناریوهای SSP این است که توصیف روشنی از تکامل اجتماعی-اقتصادی جامعه آینده دارند (ژو و همکاران، ۲۰۲۱). ششمین گزارش ارزیابی IPCC بیان می‌کند که گرمایش جهانی ادامه خواهد داشت و پرداختن به چالش‌های ناشی از تغییرات آب و هوایی ناشی از تأثیر انسان به موضوع اصلی قرن بیست و یکم تبدیل شده است (IPCC, 2021). در میان سناریوهای تغییر اقلیم، سناریوهای SSP تعداد متفاوتی از مسیرهای ممکن اقتصادی و اجتماعی را در برمی‌گیرند و طیف وسیعی از مدل‌های اقلیمی و نسخه‌های مختلف آن در مرحله ششم CMIP مشارکت دارند (برارخان پور و همکاران، ۱۴۰۲). پنج نکته کلیدی در ارتباط با گزارش ششم در مورد تغییر اقلیم شامل موارد زیر است: ۱) انسان‌ها مسئول رخداد تغییر اقلیم هستند و باید برای وقوع این بحران اقلیمی مورد سرزنش قرار گیرند. ۲) دمای کره زمین حداقل تا سال ۲۰۵۰ به روند افزایشی خود ادامه خواهد داد. ۳) رخدادهای حدی اقلیمی نظیر (سیل، خشکسالی، آتش و باد) افزایش خواهند یافت. ۴) زمان زیادی برای محدود کردن گرمایش کره زمین به زیر ۱/۵ درجه سانتی‌گراد وجود ندارد و ۵) در صورت اقدام فوری جوامع، همچنان می‌توان از تبعات شدید تغییر اقلیم جلوگیری کرد (سرائی تبریزی و همکاران، ۱۴۰۲). در خصوص تغییر اقلیم بر مبنای گزارش پنجم مطالعات مختلفی در سطح جهان و کشور انجام شده است اما این مطالعات در خصوص گزارش ششم محدود است. هوانگ و همکاران (۲۰۱۴)، دمای حوضه رودخانه مکونگ چین را با استفاده از مدل‌های CMIP5 شبیه‌سازی و پیش‌بینی کردند. نتایج نشان دادند که عملکرد مدل‌ها در مکان دقیق‌تر از زمان است اما دقت شبیه‌سازی به اندازه

کافی خوب نیست، لذا روش میانگین‌گیری چند مدلی می‌تواند دقت شبیه‌سازی دمای سالانه و دهه‌ای را در مقایسه با نتایج تک مدل بهبود بخشد. کوندو و همکاران (۲۰۱۷)، برای پیش‌نگری رفتار آبی مؤلفه-های بیلان آب، اثرات تکی و ترکیبی دو عامل تغییرات اقلیم و کاربری اراضی در حوضه رودخانه نارمادا در هندوستان را با به کارگیری مدل SWAT و مدل SDSM مورد بررسی قرار داده‌اند. بر طبق نتایج به دست آمده، اثرات تکی و ترکیبی هر دو عامل تغییر اقلیم و تغییر کاربری در ۱۲ زیرحوضه مورد مطالعه نشان دهنده افزایش تحویل آب و کاهش تبخیر و تعرق در آینده می‌باشد. گولاچا و مولنگو (۲۰۱۷)، مطالعاتی در حوضه رودخانه وامی-روو در تانزانیا با تولید سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از مدل SDSM با هدف بررسی تأثیر دما و بارندگی در آنالیز منابع آبی در بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۶۱-۱۹۹۰) انجام داده‌اند. کالیبراسیون و اعتبارسنجی با داده‌های ایستگاه-های زمینی و مرکز ملی پیش‌بینی محیط زیست ایالات متحده (NCEP) صورت گرفته است. مدل کالیبره شده SDSM در داده‌های سناریوی GCM (A2-B2) مورد استفاده قرار گرفت. طبق نتایج به دست آمده از این تحقیق، در بازه زمانی ۲۰۸۰-۲۰۲۰، متوسط بیشینه دمای ماهانه پیش‌نگری شده روند افزایشی (از ۰/۲ به ۷/۵ درجه سانتی‌گراد) و دمای کمینه روند کاهشی (از ۰/۴- به ۱/۵- درجه سانتی‌گراد) خواهد داشت. همچنین پتانسیل وقوع سیل و خشکسالی در حوضه مشهود می‌باشد که نیاز به انجام اقدامات مدیریتی می‌باشد. گودرزی و همکاران (۲۰۱۷)، تأثیرات تغییر اقلیم بر روی بارش و دمای بیشینه و کمینه حوضه کرخه در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ را بررسی نموده و برای ریزمقیاس‌نمایی از مدل SDSM استفاده کردند. طبق نتایج به دست آمده، کاهش حدود ۲ درصدی بارش در ایستگاه‌های کرمانشاه و خرم‌آباد و کاهش ۴ درصدی در ایستگاه حمیدیه مشاهده شده است. افزایش دمای بیشینه برای ایستگاه‌های فوق به ترتیب ۱۱، ۹ و ۳ درصد و افزایش دمای کمینه به ترتیب ۲۴، ۴ و ۱ درصد می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل، از شمال حوضه به سمت جنوب، تأثیرات تغییر اقلیم بر دمای بیشینه و کمینه کمتر خواهد شد. صالحی و همکاران (۲۰۱۷)، به پیش‌نگری تغییرات دما و بارش با استفاده از مدل LARS-WG در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج نشان داد که این مدل توانایی لازم جهت شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش در حوضه مورد مطالعه را دارد و براساس نتایج در دهه ۲۰۵۰ بارش به میزان ۱۲/۱ درصد کاهش و دما به میزان ۱/۳ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. نادری و همکاران (۲۰۱۷)، به منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی حوضه سیمره از مدل SDSM استفاده کردند و پارامترهای بارش و دمای میانگین را در

دوره آینده شبیه‌سازی نمودند. نتایج حاکی از آن است که میانگین دمای حوضه در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ نسبت به دوره مشاهداتی (۲۰۰۸-۱۹۷۹) با افزایش ۱/۷ درجه سانتی‌گراد روبه‌روست و میانگین بارش حوضه کاهش ۴۷ درصد را نشان می‌دهد. حیدری و همکاران (۲۰۲۰)، به پیش‌بینی تغییرات دما و بارش با استفاده از مدل HadGEM2 در حوضه آبریز دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران پرداختند. نتایج نشان داد در دوره‌های آبی میزان بارش کاهش و میزان دما افزایش خواهد یافت. جیانگ و همکاران (۲۰۲۰)، به پیش‌نگری تغییرات بارش در آسیای مرکزی براساس ۱۵ مدل جهانی فاز CMIP6 تحت ۴ سناریوی SSP پرداختند. نتایج نشان داد در تمام سناریوها افزایش شدید بارندگی سالانه مشاهده می‌شود. شاگکا و همکاران (۲۰۲۰)، در ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب تانزانیا برای دوره آینده (۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۶۹) نتیجه گرفتند که کمینه و بیشینه دمای هوا افزایش یافته و بارش نیز دارای روند افزایشی اما با مقدار تغییر متفاوت در ماه‌های مختلف بوده است. ونگ و همکاران (۲۰۲۱)، در مطالعه‌ای به ارزیابی توانایی مدل‌های آب و هوایی جهانی CMIP6 برای شبیه‌سازی بارش در حوضه رودخانه زرد، چین پرداخته شد. نتایج نشان داد که اگرچه همه GCM‌ها می‌توانستند ویژگی ده ساله بارش سالانه را به تصویر بکشند، اکثر GCM‌ها بارش تابستان را دست کم گرفتند و بارش بهار را بیش از حد تخمین زدند. GCM‌ها به خوبی توزیع فضایی بارش سالانه را با تخمین بیش از حد در منطقه منبع و دست کم برآورد در بخش شمالی بخش میانی YRB شبیه‌سازی کردند. لی و همکاران (۲۰۲۱)، بارش آینده رودخانه یانگ تسه در چین را با استفاده از ۱۸ مدل CMIP6 مورد ارزیابی قرار دادند. براساس نتایج تحقیق، میزان بارش در دوره ۲۰۹۹-۲۰۱۵ تحت سناریوی SSP1-2.6 به میزان ۱۴/۷۶ میلی‌متر و تحت سناریوی SSP5-8.5 به میزان ۲۲/۴۷ میلی‌متر افزایش خواهد داشت. یو و همکاران (۲۰۲۱)، به بررسی تغییرات دما و بارش در حوضه رودخانه یانگسه در چین پرداختند. نتایج نشان داد دما و بارش تحت سناریوهای مختلف SSP در بلندمدت افزایش می‌یابد و با وجود دقت در مدل مورد بررسی عدم قطعیت در بارش و دمای پیش‌بینی شده وجود دارد. کین و همکاران (۲۰۲۱)، به پیش‌نگری تغییرات دما و بارش در شمال غربی چین با استفاده از ۵ مدل CMIP6 پرداختند. نتایج نشان داد که مدل‌های CMIP6 می‌توانند دما را بهتر از بارش شبیه‌سازی کنند. پیش‌بینی‌ها نیز نشان داد که میانگین دما و بارش تحت سناریوهای مختلف در قرن ۲۱ افزایش قابل توجهی پیدا می‌کند. برین و همکاران (۲۰۲۱)، متوسط دمای سطح در شرق آفریقا را با استفاده از مدل‌های CMIP6 مورد بررسی

مقایسه بین مدل جفت شده CMIP6 مجموعه داده مدل آب و هوایی بارش و دما برای ارزیابی تأثیر آب و هوای پیش‌بینی شده در حوضه استفاده شد. جریان پیش‌بینی شده حوضه به جز کاهش در ماه‌های مارس، آوریل و می تحت سناریوی SSP245، سالانه و ماهانه در ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر افزایش می‌یابد. میانگین رواناب سطحی سالانه و فصلی حوضه تحت سناریوی SSP585، افزایش خواهد یافت. با این حال، تحت سناریوی SSP245 کاهش می‌یابد. میانگین سالانه و فصلی آب زیرزمینی حوضه در آینده نزدیک و دور تحت هر دو سناریو به جز کاهش در سناریوی SSP245 افزایش خواهد یافت. به همین ترتیب، بازده آب در سناریوی SSP245 کاهش می‌یابد، با این وجود، در هر دو سناریو سالانه و فصلی افزایش می‌یابد. تبخیر و تعرق بالقوه با افزایش دما در حوضه در همه شرایط افزایش می‌یابد. زرین و داداشی (۱۳۹۹)، با استفاده از سه مدل از مدل‌های CMIP6 دمای آینده ایران را مورد پیش‌نگری قرار دادند. نتایج پژوهش بیانگر بی‌هنجاری مثبت دما در ایران در تمام ماه‌های سال تا پایان قرن ۲۱ است. براساس این تحقیق، در حوضه دریاچه ارومیه افزایش دما در سناریوی SSP585 تا ۵ درجه سلسیوس نیز خواهد رسید. عطایی و همکاران (۱۴۰۰)، دما و بارش حوضه آبریز کشف‌رود را براساس مدل‌های سری CMIP برای دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ پیش‌نگری نمودند. نتایج بررسی‌های ایشان نشان دهنده افزایش دما در تمامی فصول است. همچنین بررسی‌های ایشان حاکی از وجود نوسانات زیاد در تغییرات بارش است. فلاح کلاکی و همکاران (۱۴۰۰)، اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه طشک بختگان را با استفاده از مدل‌های CMIP5 و CMIP6 برای دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ ارزیابی کردند. نتایج نشان دادند که در دوره آینده دما افزایش (۱/۵ تا ۲/۹ درجه سلسیوس) و بارش کاهش (۱۱/۱۵-۰/۰۵ درصد) خواهند یافت. شبیه‌سازی هیدرولوژیک نشان داد رواناب تحت سناریوهای SSP کاهش و تحت سناریوهای RCP افزایش خواهد یافت. انصاری مهابادی و همکاران (۱۴۰۱)، روند تغییرات دما و بارش در حوضه‌های آبریز ایران براساس مدل‌های CMIP6 در افق ۲۰۳۹-۲۰۲۰ بررسی نمودند. در این پژوهش پارامتر دما در تمامی حوضه‌های آبریز رو به افزایش و پارامتر بارش در برخی حوضه‌ها افزایش و در برخی با کاهش همراه است. آزاد و احمدی (۱۴۰۲)، به بررسی پیش‌نگری دما و بارش حوضه آبریز خزر با به کارگیری مدل‌های CMIP6 پرداختند. نتایج نشان داد میانگین بارش حوضه طبق دو سناریوی SSP245 و SSP585 در هر دو دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۵۰) و دور (۲۰۸۰-۲۰۵۱) نسبت به دوره‌های مشاهداتی قابل توجه نبوده و بین صفر تا ۶ درصد قرار دارد؛ این در حالی است

و پیش‌بینی قرار دادند. برای پیش‌بینی دما، پنج مدل CMIP6 (مدل‌ها براساس رتبه آن‌ها در شبیه‌سازی متوسط دمای دوره تاریخی انتخاب شدند). تحت سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج مجموعه مدل‌های منتخب نشان دهنده تغییرات زیاد دما در دوره ۲۰۸۰-۲۱۰۰ به میزان ۲/۴ درجه در SSP2-4.5 و ۴/۴ درجه سانتی‌گراد در SSP5-8.5 بودند. عبدالهی‌زاده و همکاران (۲۰۲۲)، به ارزیابی دقت مدل‌های برای شبیه‌سازی دما و بارش حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداختند. مدل‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل MPI-ESM1-2-HR، MRI-ESM2-0، INM-CM5-0 و CMCC-ESM2 بود. نتایج نشان داد که دقت مدل‌های مورد مطالعه در شبیه‌سازی دما خوب و در شبیه‌سازی بارش به خصوص در مدل CMCC ضعیف ارزیابی شده است. مجدی و همکاران (۲۰۲۲)، به پیش‌نگری تغییرات دما و بارش در منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا با استفاده از متوسط ۲۳ مدل GCM و دو سناریوی SSP پرداختند. نتایج حاکی از افزایش دما و کاهش بارش در بیشتر مناطق مورد مطالعه تحت هر دو سناریوی مورد بررسی است. مسگری و همکاران (۲۰۲۲)، به ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف CMIP6 جهت پیش‌نگری تغییرات بارش در منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا پرداختند نتایج نشان داد که مدل MPI-ESM1-2-HR از دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها در شبیه‌سازی بارش در منطقه مورد مطالعه برخوردار است. ارشادفتح و همکاران (۲۰۲۲)، اقدام به پیش‌نگری پارامترهای دما و بارش در منطقه همدان با استفاده از مدل‌های CMIP6 و ریزمقیاس نمایی خطی تحت سناریوهای SSP نمودند. نتایج نشان دهنده کاهش بارش در پاییز و تابستان و افزایش بارش در فصل بهار است، همچنین دما روند افزایشی داشته و بیشترین افزایش دما مربوط به فصل زمستان است. کامروززمان و همکاران (۲۰۲۳)، مطالعه‌ای، از ۱۸ مدل آب و هوای جهانی (GCM)، برای پیش‌بینی بارش، بیشینه دما و کمینه دما تحت سناریوهای SSP در بنگلادش استفاده کردند. نتایج نشان داد که دما و بارش برای دوره آتی روند افزایشی خواهد داشت. حلیم و همکاران (۲۰۲۳)، در بررسی ارزیابی تغییرات آینده رواناب رود سند (ایندوس) و با استفاده از مدل‌های CMIP6 طبق سناریوی SSP245 گزارش کردند افزایش قابل توجهی در حدود ۱۸٪ برای دماهای کمینه و بیشینه و در حدود ۱۷-۱۳٪ برای بارش مشاهده شده است. فیسا و همکاران (۲۰۲۴)، در مطالعه‌ای به بررسی اثرات پیش‌بینی شده تغییر اقلیم بر فرایندهای هیدرولوژیکی در حوضه رودخانه Omo در اتیوپی تحت دو سناریو مسیر اجتماعی و اقتصادی مشترک SSP245 و SSP585 پرداخت. آخرین مدل جفت شده پروژه

تحت سناریوهای SSP2-4.5 و SSP1-2.6 است. قربانی مینائی و همکاران (۱۴۰۳)، به پیش‌نگری و ارزیابی تغییرات بارش و دما مبتنی بر مدل‌های CMIP6 در ایستگاه هاشم‌آباد گرگان پرداختند. نتایج بررسی میانگین تغییرات ماهانه متغیر بارش در هر سه دوره آتی جز سناریوی SSP2-4.5 آینده میانه نسبت به دوره مشاهداتی دارای روند کاهشی است. میانگین تغییرات دمای بیشینه و دمای کمینه در هر سه دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی دارای افزایش است و این افزایش در دو دوره آینده میانه و دور در سناریوی SSP5-8.5 نسبت به سناریوی SSP2-4.5 مشهودتر است. همچنین می‌توان گفت میزان افزایش متغیر دمای بیشینه هر دو سناریو در هر سه دوره آتی نسبت به دمای کمینه بیشتر خواهد بود. عظیمی حبشی و همکاران (۱۴۰۳)، به پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی دما و بارش براساس برونداد مدل‌های CMIP5 و CMIP6 در حوضه آبخیز گذارچای آذربایجان غربی پرداختند. براساس نتایج به دست آمده، میانگین دمای بیشینه در دوره ۲۰۳۱-۲۰۵۰ و تحت سناریوی RCP، به میزان ۰/۹۳ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته ولی در دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۱ ثابت خواهد ماند. در حالی که تحت سناریوی SSP، در دوره ۲۰۳۱-۲۰۵۰ به میزان ۱/۲۴ درجه سانتی‌گراد و برای دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۱ حدود ۳۵/۰ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. افزایش میانگین دمای کمینه تحت سناریوی RCP در دوره اول و دوم به ترتیب ۰/۲۷ و ۰/۲۸ درجه سانتی‌گراد و تحت سناریوی SSP در دوره اول و دوم به ترتیب ۰/۴۶ و ۰/۴۳ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. افزایش میزان بارش نیز تحت سناریوی RCP، در دو دوره به ترتیب ۰/۵۹ و ۰/۳۸ میلی‌متر و تحت سناریوی SSP، در دو دوره به ترتیب ۲/۱۵ و ۱/۶۴ میلی‌متر خواهد بود. ملکی مرشت و همکاران (۱۴۰۴)، به پیش‌نگری دمای بیشینه دوره‌های آتی در شمال غرب ایران براساس برونداد مدل‌های اقلیمی CMIP6 پرداختند. نتایج مدل‌سازی دمای بیشینه نشان داد که مدل CanESM5 در مقایسه با مدل MPI-ESM1-2HR در پیش‌بینی دمای بیشینه خطای کمتر و دقت بیشتری دارد. طبق پیش‌نگری انجام شده براساس سناریوهای دو مدل، طی دهه‌های آتی در همه ایستگاه‌ها و در کل ماه‌های سال افزایش دما تجربه خواهد شد که میزان این افزایش تحت سناریوی بدبینانه (SSP 5.8.5) بیشتر بود. در مجموع طبق یافته‌های پژوهش حاضر، بالاترین درصد افزایش دما در همه ایستگاه‌ها در ماه‌های سرد سال و اغلب در اواخر پاییز و زمستان رخ خواهد داد. براساس نتایج، دمای بیشینه در همه ایستگاه‌ها ۰/۲ الی ۲ درجه سلسیوس افزایش داشت. ایستگاه‌های تکاب، ارومیه و مراغه با ۱۲ الی ۱۳ درصد افزایش، ماکو و جلفا با ۶/۶٪ افزایش به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان افزایش دمای بیشینه را در مقایسه با سایر

که افزایش میانگین دمای حوضه طبق سناریوی SSP245 و SSP585 در هر دو دوره آینده نزدیک و دور نسبت به دوره مشاهداتی به ترتیب ۱/۶۷ و ۳/۱۴ (۱/۸ و ۳/۶۵) درجه سلسیوس خواهد بود. حافظی مقدس و همکاران (۱۴۰۲)، به ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP6 در پیش‌نگری تغییرات دما و بارش در محدوده چاه نیمه‌ای استان سیستان و بلوچستان پرداختند. نتایج حاصل از ارزیابی مدل‌های CMIP6 نشان داد که مدل‌های CSM2-BCC-MR و FGOALS-g3 به ترتیب با RMSE برابر با ۰/۹۴ و ۰/۶، بهترین و ضعیف‌ترین عملکرد را جهت شبیه‌سازی بارش در منطقه مورد مطالعه دارند. ارزیابی عملکرد مدل‌های مورد بررسی در شبیه‌سازی متوسط دما نیز نشان داد که مدل MRI-ESM2-0 با RMSE برابر با ۰/۲۳ بهترین عملکرد و مدل CanESM5 با RMSE برابر با ۰/۳۳ ضعیف‌ترین عملکرد را دارند. نتایج حاصل از پیش‌نگری دما و بارش در منطقه مورد مطالعه نیز نشان داد که بارش در دوره آینده به طور متوسط به میزان ۱/۱ درصد نسبت به دوره مشاهداتی کاهش و دما به میزان ۱/۴ درجه سلسیوس افزایش پیدا خواهد کرد. همچنین سناریوهای SSP5-8.5 و SSP1-2.6 به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تغییرات دما و بارش را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند. عبدالعلی زاده و همکاران (۱۴۰۲)، به پیش‌نگری چشم‌انداز آتی دما و بارش حوضه آبریز دریاچه ارومیه مبتنی بر مدل‌های CMIP6 پرداختند. نتایج مقایسه دما و بارش دوره‌های آینده با دوره پایه نشان دادند که دمای متوسط سالانه حوضه تحت همه سناریوها افزایش خواهد داشت. میزان افزایش دمای متوسط سالانه حوضه در آینده نزدیک در سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه به ترتیب ۱/۵ و ۱/۸ درجه سلسیوس و در آینده دور به ترتیب ۱/۴ و ۴ درجه سلسیوس خواهد بود. بارش متوسط سالانه در تمامی سناریوها کاهش خواهد یافت، در آینده نزدیک در سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه به ترتیب ۱۹/۹ و ۲۱/۶ درصد و در آینده دور به ترتیب ۱۲ و ۲۸/۶ درصد کاهش خواهد یافت. براساس توزیع مکانی تغییرات دما و بارش در دوره‌های آتی بیش‌ترین افزایش دما و بیش‌ترین کاهش بارش در مناطق شمالی حوضه اتفاق خواهد افتاد. محمدی و همکاران (۱۴۰۳)، به شبیه‌سازی سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های CMIP6 در حوضه آبخیز طالقان پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که بارش در برخی ماه‌ها روند کاهشی و برخی روند افزایشی دارد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که متغیرهای بارش و دما طی دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 روند افزایشی را نسبت به دوره پایه تجربه خواهند کرد، بیش‌ترین افزایش دما و بارش در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ و به ترتیب

SSP گزارش ششم که اثر فعالیت‌های اجتماعی-اقتصادی را در نظر می‌گیرد، در این حوضه صورت نگرفته است. لذا در این راستا هدف از این پژوهش، پیش‌نگری تغییرات متغیرهای اقلیمی دما و بارش در حوضه آبریز رودخانه شور براساس برون‌داد مدل CMIP6 و با بهره‌گیری از سناریوهای SSP119، SSP126، SSP245، SSP370 و SSP585 برای دوره آینده (۲۰۵۰-۲۰۱۵) می‌باشد.

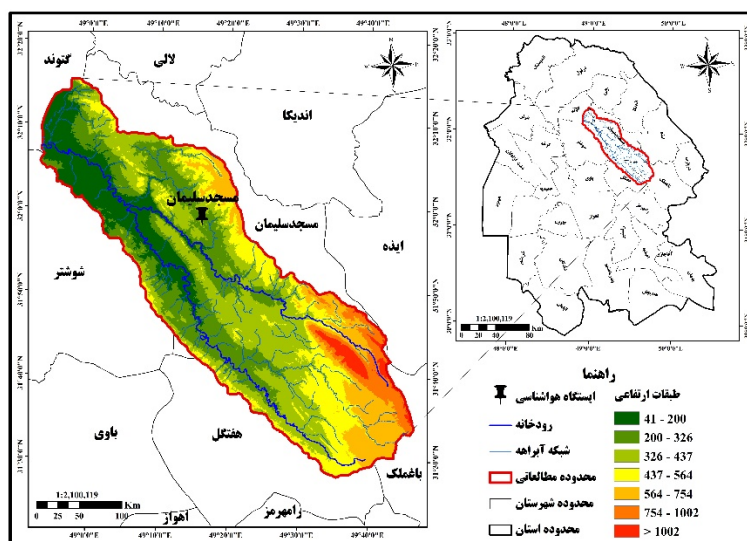
مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه شور در قسمت مرکزی استان خوزستان و جنوب حوضه آبریز کارون در محدوده طول جغرافیایی $49^{\circ}00'$ تا $49^{\circ}48'$ شرقی و عرض جغرافیایی $31^{\circ}28'$ تا $33^{\circ}10'$ شمالی واقع شده است. وسعت این حوضه $2762/2$ کیلومتر مربع است که $4/11$ درصد از وسعت حوضه آبریز کارون بزرگ و $4/37$ درصد از وسعت استان خوزستان را دربرمی‌گیرد (شکل ۱).

ایستگاه‌ها تجربه خواهند کرد. با توجه به پیشینه ارائه شده، مطالعات متعددی در زمینه پیش‌نگری تغییر اقلیم و مدل‌های GCM انجام گرفته است. براساس این مطالعات، مشاهده می‌شود تغییر متغیرهای اقلیمی در مناطق مختلف دارای خصوصیات و تأثیرات متفاوتی هستند و دلیل آن ویژگی‌های اقلیمی و جغرافیایی متفاوت آن مناطق است. از سوی دیگر، استفاده از مدل‌ها و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی مختلف در نتایج به دست آمده تأثیرگذار بوده است. بنابراین در مطالعه و پیش‌بینی اقلیم هر منطقه استفاده از مدل‌های جدید، صحت‌سنجی مدل‌ها، انتخاب مناسب‌ترین مدل‌ها و استفاده از روش ریزمقیاس‌نمایی مناسب بر اعتبار تحقیق می‌افزاید و نتایج آن را می‌توان در زمینه‌های مختلف مورد استفاده قرار داد (عبدالعلی‌زاده و همکاران، ۱۴۰۲).

واحد هیدرولوژیک مسجدسلیمان (حوضه آبریز رودخانه شور یا حوضه دشت بزرگ) به واسطه وجود رودخانه شور و آب‌های زیرزمینی، از اهمیت ویژه‌ای به ویژه در بخش کشاورزی برخوردار است و مطالعات مختلفی بر روی آن انجام شده است. ولی تاکنون مطالعاتی در خصوص پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی تحت سناریوهای



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی محدوده و ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه در استان خوزستان (مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

روش پژوهش

این پژوهش در دو بخش انجام می‌گیرد:

استفاده شده است. آزمون همگنی نرمال استاندارد یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای بررسی همگنی داده‌های دما و بارش می‌باشد که توسط محققان زیادی در سراسر دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. این آزمون برای سری‌های زمانی سالانه مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش برای بررسی آزمون معنی‌داری روند تغییرات سری‌های دمایی و بارش، از آماره‌ی من-کندال استفاده شد. بدین منظور از میانگین سالانه داده‌های بارش، دمای کمینه و بیشینه ایستگاه سینوپتیک مسجد سلیمان برای دوره آماری ۴۰ ساله (۲۰۲۴-۱۹۸۵) استفاده گردید تا روند سالانه متغیرهای یاد شده طی دوره پایه در ایستگاه منتخب

بخش اول تحلیل روند تغییرات متغیرهای اقلیمی دما و بارش ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان در شرایط کنونی است. به منظور ارزیابی و تحلیل روند سری‌های زمانی طولانی مدت متغیرهای اقلیمی مورد نیاز است تا از این طریق به توان تغییرات الگوهای اقلیمی را به درستی شناسایی کرد و روند دقیق متغیرها را نشان داد. روش‌های مختلفی جهت تحلیل روند متغیرهای اقلیمی وجود دارد. در این تحقیق جهت کنترل کیفی و بررسی همگنی داده‌ها از روش همگنی نرمال استاندارد

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (3)$$

که n و m معرف تعداد دنباله‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. t نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان در یک دنباله (تعداد گرہ‌ها) می‌باشد. در نهایت نیز آماره Z به کمک یکی از روابط زیر استخراج می‌شود.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

در یک آزمون دو دامنه‌ای برای روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در حالتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد:

$$|Z| < Z_{\alpha/2} \quad (5)$$

که α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و Z_{α} آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری α می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، $\alpha/2$ استفاده شده است. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود (عراقی نژاد، ۲۰۱۳).

بخش دوم پژوهش، پیش‌نگری تغییرات متغیرهای اقلیمی دما و بارش در حوضه آبریز رودخانه شور با استفاده از برون‌داد مدل CMIP6 تحت سناریوهای SSP است. بدین منظور مدل‌های گردش عمومی (GCM) از فاز ششم پروژه مقایسه‌ای جفت شده (CMIP6) انتخاب گردید. این پروژه از سناریوهای جدید به نام مسیرهای اجتماعی-اقتصادی مشترک (SSP) استفاده می‌کند که با نماینده خطوط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای (RCP) پروژه گزارش پنجم (IPCC) ترکیب شده است. سناریوهای اضافه شده در CMIP6 شامل SSP1-1.9، SSP4-3.4 و SSP3-7.0 هستند که چهار سناریوی SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP4-6.0 و SSP5-8.5 نیز به روز شده سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 موجود در CMIP5 می‌باشند (چن و همکاران، ۲۰۲۰). در جدول ۱ مشخصات مدل CMIP6 مورد استفاده در پژوهش ارائه شده است.

مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های ایستگاه سینوپتیک مسجسلیمان، داده‌های اقلیمی و داده‌های پیش‌بینی کننده (NCEP) بوده است. مشخصات ایستگاه مطالعاتی در جدول ۲

مشخص شود. پس از به دست آوردن آماره‌ی من-کندال، برای تعیین جهش و سال شروع روند یا جهش ناگهانی، باید نمودارهای U و U' رسم شوند؛ این نمودارها در سه سری زمانی پیشینه، کمینه و دامنه تغییرات سالانه‌ی دمای و بارش در بازه زمانی ۴۰ ساله (۲۰۲۴-۱۹۸۵) در افزونه XLSTAT و ماکرواکسل برای ایستگاه سینوپتیک مسجسلیمان ترسیم گردید، و روند داده‌های بارش، دمای کمینه و پیشینه از گذشته تا حال محاسبه شد. در حوضه مطالعاتی ۷ ایستگاه هواشناسی واقع شده است؛ که به دلیل نیاز به طول دوره آماری بیشتر، تنها داده‌های ایستگاه سینوپتیک مسجسلیمان به علت داشتن آمار طولانی مدت قابل استفاده بوده است (شکل ۱) (جدول ۲).

آزمون ناپارامتری من-کندال

روش من-کندال توسط سازمان جهانی هواشناسی برای بررسی تصادفی بودن و روند سری زمانی داده‌های محیطی توسط یو و همکاران در سال ۲۰۰۲ پیشنهاد شده است. از این روش به طور گسترده برای تشخیص روند داده‌های ناپارامتریک استفاده می‌شود (گوها تا کورتا و همکاران، ۲۰۱۰). روش من-کندال ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۰) بسط و توسعه یافت. این آزمون بر دو فرض صفر و یک استوار است (H_0 : داده‌ها دارای روند نیستند. H_1 : داده‌ها دارای روند هستند). فرض صفر آزمون من-کندال بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دلالت بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. آماره S آزمون من-کندال نشان دهنده اختلاف بین هر یک از مشاهدات با تمام مشاهدات پس از آن براساس رابطه ۱ محاسبه می‌شود. محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با یکدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر S به شرح زیر:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

که n تعداد مشاهدات سری، x_j و x_k به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری می‌باشند. تابع علامت sgn نیز به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$\text{Sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (X_j - X_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (X_j - X_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (X_j - X_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

در مرحله بعد محاسبه واریانس S توسط رابطه زیر محاسبه شد:

CanESM5 تحت سناریوهای SSP119, SSP126, SSP245, SSP370 و SSP585 برای پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی در دوره مشاهداتی (پایه) ۲۰۱۴-۱۹۸۵ و دوره پیش‌بینی (آینده) ۲۰۵۰-۲۰۱۵ استفاده شد. متغیرهای NCEP شامل ۲۶ متغیر مستقل اتمسفری می‌باشد که از بین این‌ها، متغیرهایی که بالاترین ضریب همبستگی و کم‌ترین واریانس خطا با داده‌های پیش‌بینی شونده را دارند انتخاب می‌شوند. فهرست متغیرهای NCEP به شرح زیر در جدول ۳ ارائه شده است.

آورده شده است. داده‌های مشاهداتی (پایه) شامل دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش روزانه ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان طی دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۸۵ از اداره کل هواشناسی استان خوزستان و داده‌های مربوط به متغیرهای NCEP (مرکز ملی پیش‌بینی محیط زیست) شبکه تغییر اقلیم کانادا (CCDS) از سایت www.CCCSN.ec.gc.ca دریافت شده است. داده‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان به همراه داده‌های NCEP وارد مدل SDSM شدند.

در این پژوهش از داده‌های NCEP برای انتخاب پیش‌بین‌ها یا متغیرهای مؤثر بر پیش‌بینی دما و بارش و از داده‌های مدل

جدول ۱- مشخصات مدل CMIP6 مورد استفاده در پژوهش (مأخذ: چن و همکاران، ۲۰۲۰)

نام مدل	کشور توسعه دهنده	نام مرکز تحقیقاتی	دقت مکانی مدل (درجه)
CanESM5	Canada	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis-Canada	2.81°×2.78°
تفکیک افقی (درجه قوسی)	تفکیک افقی (کیلومتر)	دوره شبیه‌سازی تاریخی/آینده	سناریوهای شبیه‌سازی
۰/۵	۵۰۰	۱۹۸۵-۲۰۱۴ ۲۰۱۵-۲۱۰۰	SSP119, SSP126, SSP245, SSP370, SSP585

جدول ۲. مشخصات جغرافیایی ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان (سازمان هواشناسی استان خوزستان، ۱۴۰۴)

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	مشخصات جغرافیایی		
		طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
مسجدسلیمان	سینوپتیک	۴۹۲۴۰۸	۳۱۹۸۳۳	۳۲۰/۵

جدول ۳. متغیرهای پیش‌بینی کننده NCEP (IPCC, 2021)

ردیف	نام پیش‌بینی کننده	ردیف	نام پیش‌بینی کننده
۱	فشار میانگین سطح دریا (mslp)	۱۴	واگرایی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال (p5_zh)
۲	سرعت جریان هوای ژئوستروفیک سطحی (p_f)	۱۵	سرعت مداری در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال (p8_u)
۳	مؤلفه سرعت مداری سطحی (p_u)	۱۶	سرعت نصف النهاری در ۸۵۰ هکتوپاسکال (p8_v)
۴	مؤلفه سرعت نصف النهاری سطحی (p_v)	۱۷	تاوایی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال (p8_z)
۵	تاوایی سطحی (p_z)	۱۸	ارتفاع ژئوپتانسیل ۸۵۰ هکتوپاسکال (p850)
۶	جهت باد سطحی (p_th)	۱۹	جهت باد در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال (p8_th)
۷	واگرایی سطحی (p_zh)	۲۰	واگرایی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال (p8_zh)
۸	سرعت جریان هوای ژئوستروفیک در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال (p5_f)	۲۱	سرعت جریان هوای ژئوستروفیک در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال (p8_f)
۹	سرعت مداری در ۵۰۰ هکتوپاسکال (p5_u)	۲۲	مجموع بارش (prcp)
۱۰	سرعت نصف النهاری ۵۰۰ هکتوپاسکال (p5_v)	۲۳	رطوبت ویژه در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال (s500)
۱۱	تاوایی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال (p5_z)	۲۴	رطوبت ویژه در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال (s850)
۱۲	ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال (p500)	۲۵	رطوبت ویژه سطحی (shum)
۱۳	جهت باد در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال (p5_th)	۲۶	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری (temp)

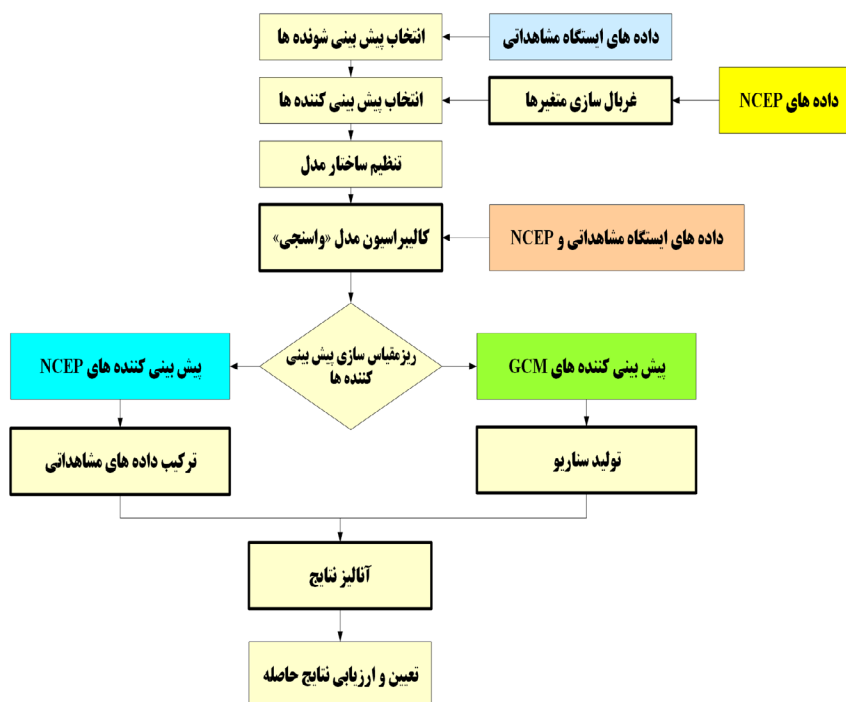
آنالیز داده‌ها و تولید سناریوهای اقلیمی آینده. فرایند ریزمقیاس‌سازی و تولید سناریوهای اقلیمی در شکل ۲ نمایش داده شده است. برای ارزیابی و مقایسه دقت روش‌ها و سناریوهای مدل، از سه آماره میانگین خطای مطلق (MAE) و مجذور میانگین مربعات خطا (RSME) و ضریب همبستگی (R) استفاده شده است. میانگین انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده اطمینان مدل می‌باشد. هر چه مقدار MAE و RMSE به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده آن است که شبیه‌سازی بهتر صورت گرفته است. در حالت ایده‌آل که مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده با هم برابر باشد مقادیر عددی MAE و RMSE برابر صفر خواهد بود. در معادلات فوق S_i مقدار بارندگی برآورد شده توسط مدل، $\bar{S}_i$ میانگین مقدار بارندگی برآورد شده، O_i مقدار بارندگی مشاهده‌ای، $\bar{O}_i$ میانگین مقدار بارندگی مشاهده‌ای، N تعداد کل مشاهدات می‌باشد (عظیمی حبشی و همکاران، ۱۴۰۳).

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |S_i - O_i|}{N} \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2} \quad (7)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}_i)(S_i - \bar{S}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}_i)^2 \sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S}_i)^2}} \quad (8)$$

مدل SDSM به منظور ریزمقیاس‌سازی داده‌های آتی بارندگی و دمای کمینه و دمای بیشینه مورد استفاده قرار می‌گیرد، این مدل از ابزار پشتیبان تصمیم براساس رگرسیون خطی چندگانه، برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی استفاده می‌کند (چانگ، ۲۰۰۷). داده‌های روزانه اقلیمی محلی (بارش و دما) و داده‌های بزرگ مقیاس NCEP در این مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد، سپس با استفاده از متغیرهای پیش‌بینی کننده و متغیرهای محلی (متغیرهای پیش‌بینی شونده) برای دوره پایه و آینده شبیه‌سازی می‌شود (ویلی و همکاران، ۲۰۰۲). ارزیابی و واسنجی مدل با استفاده از داده‌های NCEP صورت می‌گیرد و با استفاده از داده‌های مدل CanESM5 میزان بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه برای ایستگاه سینوپتیک مسجد سلیمان برای دوره ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ پایه (به عنوان مرجع داده‌های مشاهداتی) و دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۵۰ پیش‌بینی (آینده) مقایسه می‌گردد. این مجموعه داده به عنوان بخشی از مجموعه مدل‌های ارائه شده در گزارش ششم تغییر اقلیم (CMIP6) تحت سناریوهای SSP است. در این پژوهش برای بررسی تغییر اقلیم از نرم افزار SDSM6.1 در فرایند ریزمقیاس‌آمارای استفاده می‌گردد. مراحل انجام ریزمقیاس‌سازی با مدل SDSM6.1 در این مطالعه شامل مراحل زیر است: کنترل کیفیت و تبدیل داده‌ها، انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده غالب، واسنجی مدل، تولید داده‌های تاریخی و صحت‌سنجی مدل،



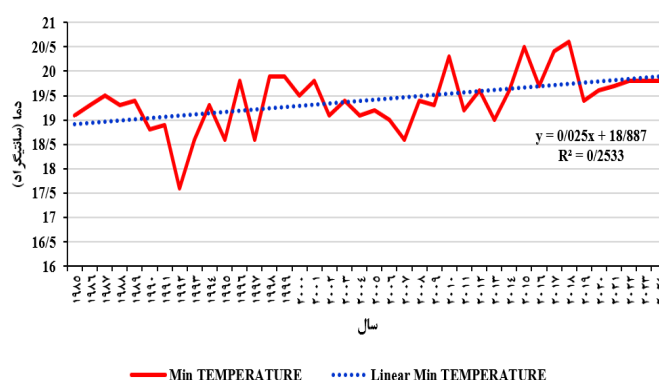
شکل ۲- فرایند ریزمقیاس‌سازی و تولید سناریوی اقلیمی مدل SDSM (مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

نتایج و بحث

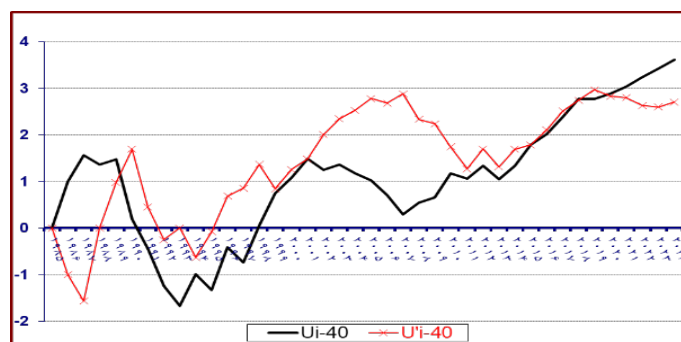
تحلیل روند متغیرهای اقلیمی با مدل Mann-Kendall

برای بررسی روند تغییرات میانگین کمینه دمای سالانه ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان طی دوره آماری ۴۰ ساله (۱۹۸۵-۲۰۲۴) نمودار روند خطی سالانه ترسیم شد. با توجه به شکل ۳، میانگین کمینه دمای سالانه در طول دوره آماری افت و خیزها و نوسانات کوتاه مدت به همراه روند افزایشی را تجربه کرده است. روند خطی نشانگر سیر افزایشی دما در ایستگاه مطالعاتی است. تحلیل روند داده‌ها با استفاده از آزمون من-کندال شکل ۴ روند دمای کمینه سالانه را

طی یک دوره آماری ۴۰ ساله (۱۹۸۵-۲۰۲۴) نشان می‌دهد. با استفاده از مؤلفه u_i و u_i' پارامتر مورد بررسی در مقیاس سالانه ترسیم شد. در شکل ۴، آماره Z با استفاده از آزمون من-کندال به دست آمده بر روی محور عمودی نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴، تغییرات میانگین دمای کمینه سالانه در ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان در سال ۱۹۹۱ تغییر ناگهانی و روند منفی، که تا سال ۱۹۹۶ ادامه داشته و سیر نزولی دما را نشان می‌دهد. از سال ۱۹۹۷ تغییرات میانگین دمای کمینه سالانه در ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان به صورت روند مثبت و افزایشی و تا انتهای دوره ی آماری ادامه داشته و سیر صعودی دما را نشان می‌دهد.



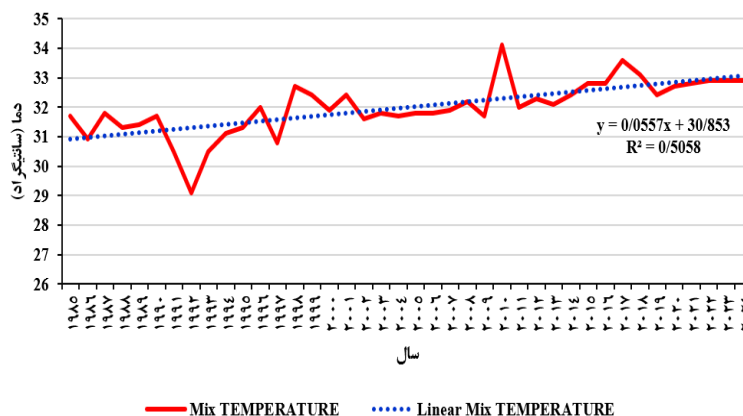
شکل ۳. نمودار روند خطی تغییرات میانگین کمینه دمای سالانه ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۲۴ (مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)



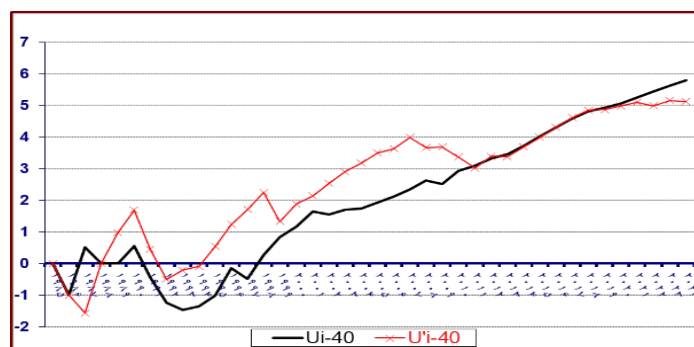
شکل ۴. نمودار تعیین نقاط جهش ۴۰ ساله میانگین کمینه دمای سالانه به روش رتبه‌ای من کندال ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۲۴ (مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

استفاده از مؤلفه u_i و u_i' پارامتر مورد بررسی در مقیاس سالانه ترسیم شد. در شکل ۶، آماره Z با استفاده از آزمون من کندال به دست آمده بر روی محور عمودی نشان داده شده است. با توجه به شکل ۶، تغییرات میانگین دمای بیشینه سالانه در ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان در سال ۱۹۷۷ تغییر ناگهانی و روند مثبت و افزایشی و تا انتهای دوره ی آماری ادامه داشته و سیر صعودی دما را نشان می‌دهد.

برای بررسی روند تغییرات میانگین بیشینه دمای سالانه ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان طی دوره آماری ۴۰ ساله (۱۹۸۵-۲۰۲۴) نمودار روند خطی سالانه ترسیم شد. با توجه به شکل ۵، میانگین بیشینه دمای سالانه در طول دوره آماری افت و خیزها و نوسانات کوتاه مدت به همراه روند افزایشی را تجربه کرده است. روند خطی نشانگر سیر افزایشی دما در ایستگاه مطالعاتی است. تحلیل روند داده‌ها با استفاده از آزمون من-کندال شکل ۶ روند دمای بیشینه سالانه را طی یک دوره آماری ۴۰ ساله (۱۹۸۵-۲۰۲۴) نشان می‌دهد. با



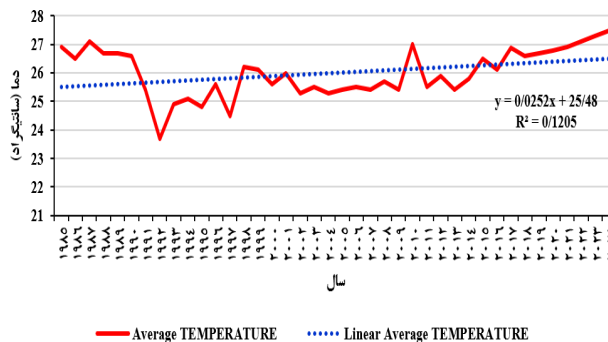
شکل ۵. نمودار روند خطی تغییرات میانگین بیشینه دمای سالانه ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۲۴ (مأخذ: یافته های پژوهش، ۱۴۰۴)



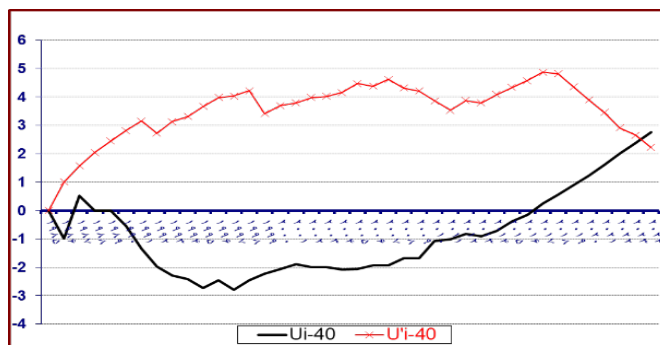
شکل ۶. نمودار تعیین نقاط جهش ۴۰ ساله میانگین بیشینه دمای سالانه به روش رتبه ای من کندال ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۲۴ (مأخذ: یافته های پژوهش، ۱۴۰۴)

است. نتایج حاصل از بررسی نمودار تغییرات U_i و U_i' مربوط به فراسنج دمای سالانه نشان می دهد که طی سال های گذشته، دما دارای تغییر ناگهانی بوده، به طوری که اکثر تغییرات دما در ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان، در بازه سالانه از نوع تغییرات ناگهانی افزایشی است. با توجه به شکل ۸ تغییرات میانگین دمای سالانه در ایستگاه مورد مطالعه به صورت روند مثبت در سال ۲۰۱۶ و به صورت افزایشی بوده است. پس روند سالانه دما طی یک دوره آماری ۴۰ ساله در سطح معنی داری ۹۵ درصد دارای روندی صعودی بوده است.

برای بررسی روند تغییرات میانگین دمای سالانه ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان طی دوره آماری ۴۰ ساله (۱۹۸۵-۲۰۲۴) نمودار روند خطی سالانه ترسیم شد. با توجه به شکل ۷، میانگین دمای سالانه در طول دوره آماری افت و خیزها و نوسانات کوتاه مدت به همراه روند افزایشی را تجربه کرده است. روند خطی نشانگر سیر افزایشی دما در ایستگاه مطالعاتی است. تحلیل روند داده ها با استفاده از آزمون من-کندال شکل ۸ روند سالانه دما را طی یک دوره آماری ۴۰ ساله (۱۹۸۵-۲۰۲۴) نشان می دهد. در شکل ۸، آماره Z با استفاده از آزمون من-کندال به دست آمده بر روی محور عمودی نشان داده شده



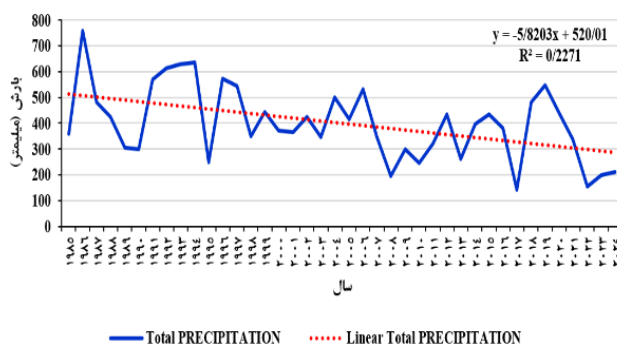
شکل ۷. نمودار روند خطی تغییرات میانگین دمای سالانه ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۲۴ (مأخذ: یافته های پژوهش، ۱۴۰۴)



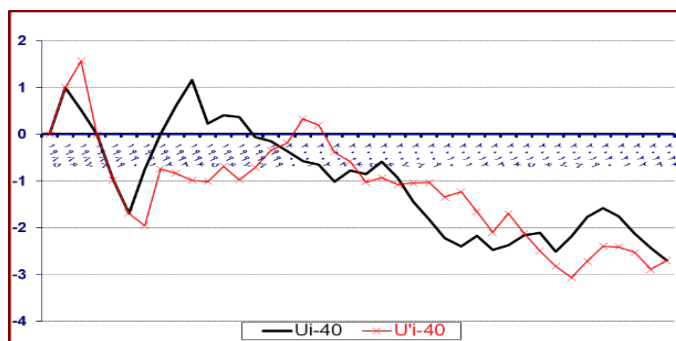
شکل ۸. نمودار تعیین نقاط جهش ۴۰ ساله میانگین دمای سالانه به روش رتبه ای من کندال ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۲۴ (مأخذ: یافته های پژوهش، ۱۴۰۴)

من-کندال شکل ۱۰ روند سالانه بارش را طی یک دوره آماری ۴۰ ساله (۱۹۸۵-۲۰۲۴) نشان می دهد. با توجه به شکل ۱۰، تغییرات میانگین بارش سالانه در ایستگاه مورد مطالعه به صورت روند منفی در سال ۱۹۹۸ و به صورت کاهشی بوده است. پس روند سالانه بارش طی یک دوره آماری ۴۰ ساله در سطح معنی داری ۹۵ درصد دارای روندی کاهشی بوده است.

برای بررسی روند تغییرات بارش سالانه ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان طی دوره آماری ۴۰ ساله (۱۹۸۵-۲۰۲۴) نمودار روند خطی سالانه ترسیم شد. با توجه به شکل ۹، بارندگی متوسط سالانه در طول دوره آماری افت وخیزها و نوسانات کوتاه مدت به همراه روند کاهشی را تجربه کرده است. خطی نشانگر سیر کاهش بارندگی در ایستگاه مطالعاتی است. تحلیل روند داده ها با استفاده از آزمون



شکل ۹. نمودار روند خطی تغییرات بارش سالانه ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۲۴ (مأخذ: یافته های پژوهش، ۱۴۰۴)



شکل ۱۰. نمودار تعیین نقاط جهش ۴۰ ساله میانگین بارش سالانه به روش رتبه ای من کندال ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۲۴. (مأخذ: یافته های پژوهش، ۱۴۰۴)

افزایشی (مثبت) را نشان می دهد. نتایج آماره Z آزمون من-کندال نشان داد که کمینه دما ($Z=3/15$)، بیشینه دما ($Z=5/45$) و میانگین دمای سالانه ($Z=2/47$) در سطح ۹۹ و ۹۵ درصد معنی دار می

با توجه به نتایج حاصل از تحلیل آزمون من-کندال در جدول ۴؛ مشخص گردید که روند تغییرات پارامترهای کمینه دما، بیشینه دما و میانگین دمای سالانه در بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۲۴ دارای روندی

باشد. نتایج آزمون من-کندال جهت بررسی روند تغییرات بارش سالانه در بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۲۴، روند کاهشی (منفی) ($Z = -2/69$) در این پارامتر را نشان می‌دهد. با توجه به مقدار آماره Z آزمون من-کندال این کاهش در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۴. نتایج حاصل از آزمون من-کندال (آماره Z من-کندال) متغیرهای اقلیمی ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۲۴ (مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

متغیر	دوره آماری	روند من-کندال	
		Test Z	signific.
دمای کمینه	۱۹۸۵-۲۰۲۴	۳/۱۵	**
دمای بیشینه	۱۹۸۵-۲۰۲۴	۵/۴۵	**
میانگین دمای سالانه	۱۹۸۵-۲۰۲۴	۲/۴۷	*
بارش سالانه	۱۹۸۵-۲۰۲۴	-۲/۶۹	**

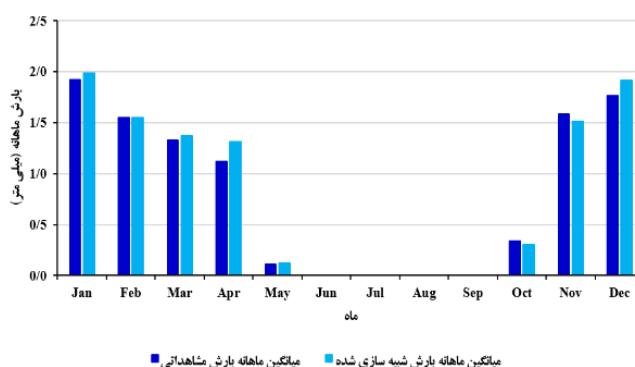
ارزیابی مدل SDSM

در ابتدا به منظور تعیین میزان کارایی و عملکرد مدل SDSM جهت بررسی تغییر اقلیم در واحد هیدرولوژیک مسجدسلیمان (حوضه آبریز رودخانه شور یا حوضه دشت بزرگ)، از میانگین خطای مطلق (MAE) و مجذور میانگین مربعات خطا (RSME) و ضریب همبستگی (R) استفاده شد. با توجه به نتایج حاصل از محاسبات معیار میانگین خطای مطلق، مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی برای متغیر بارش و دما نشان از توانایی مدل SDSM در ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های بزرگ مقیاس دارد (جدول ۵).

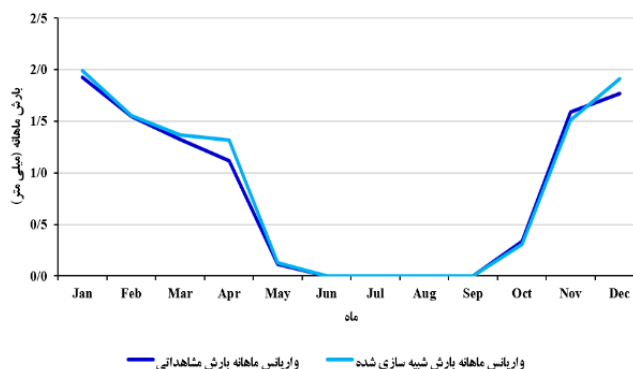
جدول ۵. نتایج ضریب میانگین خطای مطلق (MAE) و مجذور میانگین مربعات خطا (RSME) و ضریب همبستگی (R) (مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

متغیر	دمای کمینه	دمای بیشینه	بارش
میانگین خطای مطلق (MAE)	۱/۸۷۴	۱/۱۲۹	۰/۷۶۵
مجذور میانگین مربعات خطا (RSME)	۲/۰۳۸	۱/۵۲۴	۰/۸۹۴
ضریب همبستگی (R)	۰/۹۶۲	۰/۹۸۳	۰/۹۹۹

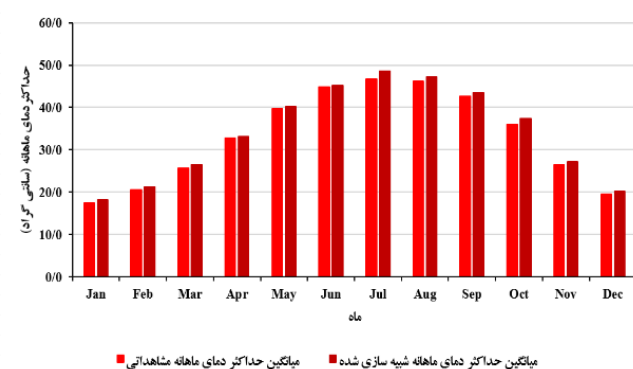
مقادیر ارزیابی عملکرد مدل SDSM (جدول ۴) نشان می‌دهد که مدل دقت مناسبی در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی بارش و دما در ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان دارد و در مقیاس ماهانه پیش‌بینی‌ها با دقت بالایی صورت گرفته است. در شکل ۱۱ تا ۱۶ نمودار مقایسه میانگین و واریانس بارش، کمینه دما و بیشینه دما ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره پایه ۱۹۸۵-۲۰۱۴ با مدل CanESM5 نشان داده شده است. نزدیکی مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد که مدل به خوبی توانسته است روند تغییرات ماهانه پارامترهای اقلیمی بارش، بیشینه دما و کمینه دما ماهانه را پیش‌بینی نماید. با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی دقت مدل CanESM5 در شبیه‌سازی مقادیر دوره مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره پایه ۱۹۸۵-۲۰۱۴ نشان داد که مدل از توانایی قابل قبولی برخوردار است.



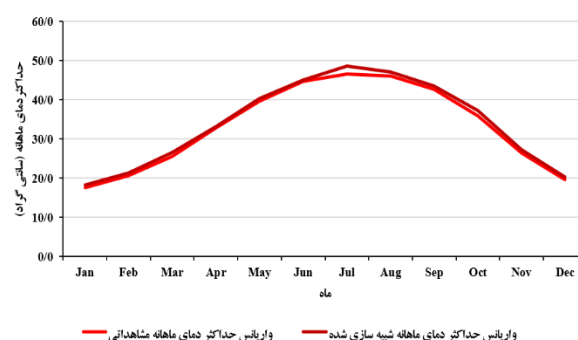
شکل ۱۱. نمودار میانگین ماهانه بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره پایه ۱۹۸۵-۲۰۱۴ با مدل CanESM5 (مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)



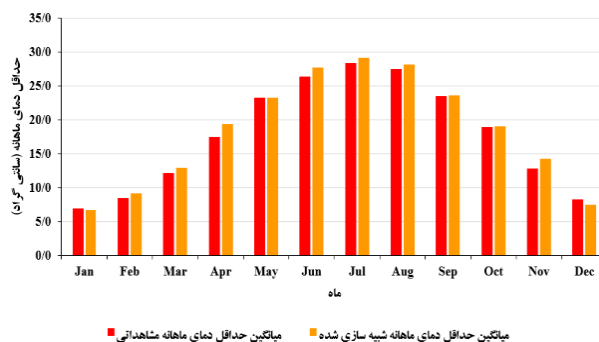
شکل ۱۲. نمودار واریانس ماهانه بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره پایه ۱۹۸۵-۲۰۱۴ با مدل CanESM5 (مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)



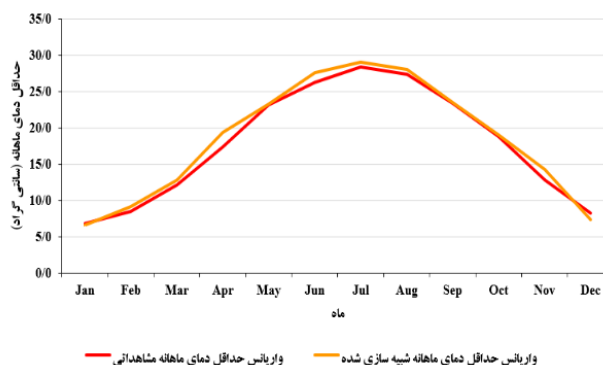
شکل ۱۳. نمودار میانگین بیشینه دمای ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره پایه ۱۹۸۵-۲۰۱۴ با مدل CanESM5 (مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)



شکل ۱۴. نمودار واریانس بیشینه دمای ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره پایه ۱۹۸۵-۲۰۱۴ با مدل CanESM5 (مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)



شکل ۱۵. نمودار میانگین کمینه دمای ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره پایه ۱۹۸۵-۲۰۱۴ با مدل CanESM5 (مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)



شکل ۱۶. نمودار واریانس کمینه دمای ماهانه مشاهداتی و شبیه سازی شده در دوره پایه ۱۹۸۵-۲۰۱۴ با مدل CanESM5 (مأخذ: یافته های پژوهش، ۱۴۰۴)

نشان می دهد. کمترین مقدار افزایش کمینه دما نیز با میانگین بلندمدت ۱/۸ درجه سانتیگراد در سناریوی SSP119 می باشد که نسبت به سال مشاهداتی (پایه) افزایش ۱/۱ درجه سانتیگراد را نشان می دهد. طبق جدول ۶ نتایج حاصل از بررسی میانگین دمای کمینه ماهانه دوره مشاهداتی، سردترین ماههای ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان دسامبر (۲/۲ درجه سانتیگراد)، ژانویه (۲/۸ درجه سانتیگراد) و فوریه (۵/۵ درجه سانتیگراد) می باشد. که براساس سناریوهای SSP119، SSP126، SSP245، SSP370 و SSP585 میانگین دمای کمینه پیش بینی شده در ماه فوریه روند افزایشی قابل توجه ای را خواهد داشت. روند افزایش میانگین دمای کمینه پیش بینی شده در سناریوی SSP585 نسبت به سایر سناریوها شدیدتر بوده است. همچنین در سناریوهای SSP245، SSP370 و SSP585 میانگین دمای کمینه پیش بینی شده در ماه ژانویه و دسامبر روند افزایشی خواهد داشت. اما در سناریوهای SSP119 و SSP126 میانگین دمای کمینه پیش بینی شده نسبت به دوره مشاهداتی (پایه) در ماه ژانویه و دسامبر روند کاهشی خواهد داشت. طبق جدول ۵ و شکل ۱۷ و براساس سناریوهای SSP119، SSP126، SSP245، SSP370 و SSP585 میانگین دمای کمینه ماهانه پیش بینی شده نسبت به دوره مشاهداتی (پایه) در ماه های گرم سال می، جون، جولای، آگوست و سپتامبر روند افزایشی را نشان می دهد.

تغییرات دمای بیشینه دوره ۲۰۱۵-۲۰۵۰

براساس نتایج پیش بینی شده مدل CanESM5 تحت سناریوی SSP در جدول ۷ و شکل ۱۸، در تمام سناریوهای SSP دمای بیشینه نسبت به دوره مشاهداتی در همه ماه ها افزایش خواهد یافت. میزان متوسط افزایش بلندمدت بیشینه دما در سناریوی SSP119 ۳۴/۱

پیش‌نگری روند تغییرات متغیرهای اقلیمی با مدل CanESM5 تحت سناریوهای SSP

پس از اطمینان از صحت و کارایی مدل SDSM در شبیه سازی متغیرهای دما و بارش واحد هیدرولوژیک مسجدسلیمان (حوضه آبریز رودخانه شور یا حوضه دشت بزرگ)، خروجی های مدل CanESM5 تحت سناریوهای SSP119، SSP126، SSP245، SSP370 و SSP585 برای دوره ۲۰۱۵-۲۰۵۰ ریزمقیاس شده و مقادیر دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش روزانه پیش‌نگری شده و با مقادیر در دوره مشاهداتی (پایه) مورد مقایسه قرار گرفت.

تغییرات دمای کمینه دوره ۲۰۱۵-۲۰۵۰

براساس نتایج پیش بینی شده مدل CanESM5 تحت سناریوی SSP در جدول ۶ و شکل ۱۷، در اکثر سناریوهای SSP دمای کمینه نسبت به دوره مشاهداتی (پایه) در بیشتر ماه ها افزایش نشان داده است. کاهش کمینه دما نسبت به دوره مشاهداتی مربوط به ماههای ژانویه و دسامبر در سناریوهای SSP119 و SSP126، که به میزان ۶/۶ و ۶/۷ درجه سانتیگراد در ماه ژانویه و ۷/۴ و ۷/۸ درجه سانتیگراد در ماه دسامبر پیش بینی شده است. نتایج حاصل از بررسی دمای کمینه ماهانه مشاهداتی نشان می دهد که در هیچ کدام از ماه های سال میانگین کمینه دما در ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان به زیر ۶/۸ درجه سانتیگراد نرسیده است. همچنین در تمام سناریوهای SSP کمینه دما به حدود بین ۰/۱ تا ۴/۹ درجه سانتیگراد افزایش یافته است که نشان دهنده افزایش کمینه دما در سالهای آینده می باشد. بیش ترین افزایش میانگین کمینه دما در سناریوی SSP585 می باشد به طوری که میانگین بلندمدت کمینه دمای ماهانه از ۱۷/۸ درجه سانتیگراد به ۲۱/۰ درجه سانتیگراد در این سناریو رسیده است که افزایشی ۳/۲ درجه ای را نسبت به سال مشاهداتی (پایه)

ماه جولای رخ داده است که نسبت به دوره مشاهداتی (پایه) حدود ۲/۷ درجه افزایش نشان می‌دهد. کم‌ترین میزان افزایش بیشینه دما نیز در ماه ژانویه و دسامبر و در سناریوهای SSP119، SSP126، SSP245 و SSP370 و SSP585 خواهد بود (شکل ۱۸).

تغییرات بارش روزانه دوره ۲۰۱۵-۲۰۵۰

براساس نتایج پیش‌بینی شده مدل CanESM5 تحت سناریوی SSP در جدول ۸ و شکل ۱۹، در تمام سناریوهای SSP بارش روزانه نسبت به دوره مشاهداتی در همه ماه‌ها افزایش نشان داده است. همچنین در تمام سناریوهای SSP بارش روزانه به حدود بین ۰/۱ تا ۰/۷ میلی‌متر افزایش یافته است که نشان‌دهنده افزایش میزان بارش روزانه در سال‌های آتی می‌باشد. بیش‌ترین افزایش میانگین بارش روزانه در سناریوی SSP585 می‌باشد به طوری که میانگین بلندمدت بارش ماهانه از ۰/۸ درجه سانتی‌گراد به ۱/۰۵ میلی‌متر در این سناریو رسیده است که افزایشی ۰/۲ میلی‌متری را نسبت به سال مشاهداتی (پایه) نشان می‌دهد. کم‌ترین مقدار افزایش بارش روزانه نیز با میانگین بلندمدت ۰/۹ درجه سانتی‌گراد در سناریوی SSP126 و SSP119 می‌باشد که نسبت به سال مشاهداتی (پایه) افزایش ۰/۱ میلی‌متر را نشان می‌دهد. طبق جدول ۸ نتایج حاصل از بررسی میانگین بارش ماهانه دوره مشاهداتی، پربارش‌ترین و کم‌بارش‌ترین روزها در ماه‌های سال در ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان به ترتیب ماه‌های ژانویه، دسامبر، نوامبر و فوریه با ۱/۹، ۱/۸، ۱/۶ و ۱/۵ میلی‌متر در روز می‌باشد. در این ایستگاه میانگین بارش روزانه در تمامی ماه‌ها بسیار اندک و بیشتر تمرکز بارش در ماه‌های سرد سال (ژانویه، فوریه، مارس، نوامبر و دسامبر) می‌باشد. براساس سناریوهای SSP119، SSP126، SSP245، SSP370 و SSP585 میانگین بارش ماهانه پیش‌بینی شده در ماه فوریه و دسامبر روند افزایشی قابل توجه‌ای را خواهد داشت. روند افزایش میانگین بارش ماهانه پیش‌بینی شده در سناریوی SSP585 نسبت به سایر سناریوها شدیدتر بوده است. طبق جدول ۸ و شکل ۱۹ و براساس سناریوهای SSP119، SSP126، SSP245، SSP370 و SSP585 میانگین بارش ماهانه پیش‌بینی شده و دوره مشاهداتی (پایه) در ماه‌های گرم سال می، جون، جولای، آگوست و سپتامبر روندی را نشان نمی‌دهد و میزان بارش صفر می‌باشد. مقایسه بین میانگین بارش ماهانه دوره مشاهداتی (پایه) (۱۹۸۵-۲۰۱۴) با سناریوهای پیش‌بینی کننده (۲۰۱۵-۲۰۵۰) نشان می‌دهد که میانگین بارش روزانه در اکثر

درجه سانتی‌گراد، SSP126 ۳۴/۸ درجه سانتی‌گراد، SSP245 ۳۴/۹ درجه سانتی‌گراد، SSP370 ۳۵/۱ درجه سانتی‌گراد و در سناریوی SSP585 ۳۵/۳ درجه سانتی‌گراد نسبت به میانگین دوره مشاهداتی (پایه) که ۳۳/۲ درجه سانتی‌گراد است، خواهد رسید. میزان میانگین بلندمدت بیشینه دما برای سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۵۰ در سناریوهای پنج‌گانه SSP، نسبت به میانگین دوره مشاهداتی (پایه) همگی افزایش بیشینه دما را نشان می‌دهند (جدول ۷). این افزایش بیشینه دمای بلندمدت در تمامی سناریوهای SSP کم‌تر از ۲/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. نتایج حاصل از بررسی دمای بیشینه ماهانه مشاهداتی (پایه) نشان می‌دهد که در هیچ کدام از ماه‌های سال میانگین بیشینه دما در ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان کم‌تر از ۱۷/۶ درجه سانتی‌گراد نرسیده است. همچنین در تمام سناریوهای SSP بیشینه دما به حدود بین ۰/۳ تا ۳/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است که نشان‌دهنده افزایش بیشینه دما در سال‌های آینده می‌باشد. بیشترین افزایش میانگین بیشینه دما در سناریوی SSP585 می‌باشد به طوری که میانگین بلندمدت کمینه دمای ماهانه از ۳۳/۲ درجه سانتی‌گراد به ۳۵/۳ درجه سانتی‌گراد در این سناریو رسیده است که افزایشی ۲/۱ درجه‌ای را نسبت به سال مشاهداتی (پایه) نشان می‌دهد. کم‌ترین مقدار افزایش بیشینه دما نیز با میانگین بلندمدت ۳۴/۱ درجه سانتی‌گراد در سناریوی SSP119 می‌باشد که نسبت به سال مشاهداتی (پایه) افزایش ۰/۹ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. طبق جدول ۷ نتایج حاصل از بررسی میانگین دمای بیشینه ماهانه دوره مشاهداتی، گرم‌ترین ماه‌های ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان می (۳۹/۷ درجه سانتی‌گراد)، جون (۴۴/۸ درجه سانتی‌گراد)، جولای (۴۶/۶ درجه سانتی‌گراد)، آگوست (۴۶/۱ درجه سانتی‌گراد) و سپتامبر (۴۲/۶ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. طبق جدول ۷ و شکل ۱۸ و براساس سناریوهای SSP119، SSP126، SSP245، SSP370 و SSP585 میانگین دمای بیشینه پیش‌بینی شده نسبت به دوره مشاهداتی (پایه) در تمامی ماه‌ها به خصوص ماه‌های گرم سال می، جون، جولای، آگوست و سپتامبر روند افزایشی قابل توجه‌ای را خواهد داشت. روند افزایش میانگین دمای بیشینه پیش‌بینی شده در سناریوی SSP585 نسبت به سایر سناریوها شدیدتر بوده است. همچنین بررسی ماهانه میانگین بیشینه دمای در سناریوهای پنج‌گانه SSP نشان می‌دهد که دمای بیشینه ماهانه در تمامی ماه‌ها بین ۰/۳ تا ۳/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. بیش‌ترین دمای پیش‌بینی شده در سناریوی SSP585 به میزان ۴۹/۳ درجه سانتی‌گراد و در

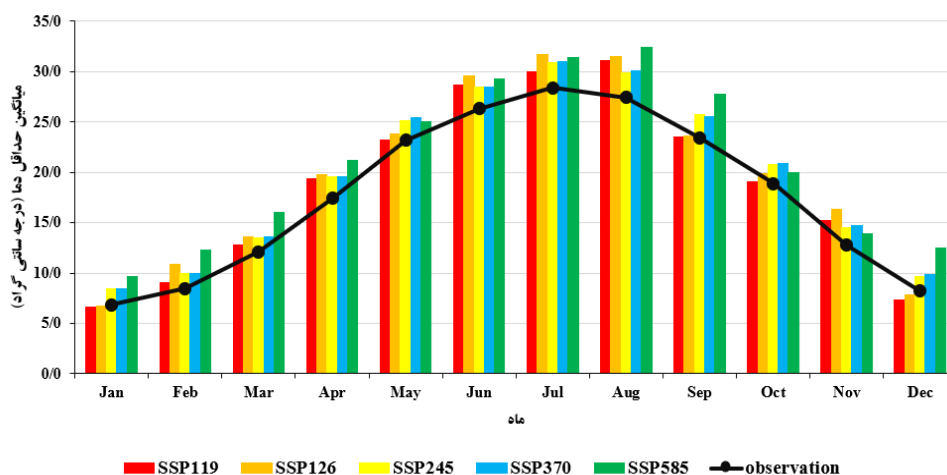
سناریوهای SSP بررسی شده برای همه ماه‌ها افزایشی حدود ۰/۱ میلی متری را برای سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۵۰ پیش بینی کرده است. در ماه می بارش‌ها در دوره پیش‌بینی شده نسبت به دوره مشاهداتی (پایه) دچار تغییر نخواهد شد. بیش‌ترین تغییر در همه سناریوهای SSP برای ماه‌های ژانویه و دسامبر به صورت افزایش در مقدار بارش روزانه خواهد بود. بالاترین میزان افزایش بارش مربوط به سناریوی SSP585 در ماه دسامبر و ژانویه به میزان ۲/۵ و ۲/۴ میلی متر بوده است (شکل ۱۹).

سناریوهای SSP بررسی شده برای همه ماه‌ها افزایشی حدود ۰/۱ میلی متری را برای سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۵۰ پیش بینی کرده است. در ماه می بارش‌ها در دوره پیش‌بینی شده نسبت به دوره مشاهداتی (پایه) دچار تغییر نخواهد شد. بیش‌ترین تغییر در همه سناریوهای SSP برای ماه‌های ژانویه و دسامبر به صورت افزایش در مقدار بارش روزانه خواهد بود. بالاترین میزان افزایش بارش مربوط به سناریوی SSP585 در ماه دسامبر و ژانویه به میزان ۲/۵ و ۲/۴ میلی متر بوده است (شکل ۱۹).

جدول ۶. میانگین کمینه دمای ماهانه دوره مشاهداتی ۲۰۱۴-۱۹۸۵ و دوره پیش‌بینی شده دوره ۲۰۵۰-۲۰۱۵

تحت سناریوی SSP (مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

Month	observation	SSP119	SSP126	SSP245	SSP370	SSP585
Jan	6/8	6/6	6/7	8/4	8/4	9/6
Feb	8/5	9/1	10/8	9/9	10/0	12/3
Mar	12/1	12/8	13/6	13/5	13/6	16/0
Apr	17/4	19/4	19/8	19/6	19/6	21/2
May	23/2	23/3	23/8	25/2	25/4	25/1
Jun	26/3	28/7	29/6	28/4	28/5	29/3
Jul	28/4	30/0	31/7	30/9	31/0	31/4
Aug	27/4	31/1	31/5	29/9	30/1	32/4
Sep	23/4	23/5	23/7	25/7	25/5	27/7
Oct	18/9	19/0	19/9	20/8	20/9	20/0
Nov	12/7	15/2	16/4	14/5	14/7	13/9
Dec	8/2	7/4	7/8	9/7	9/9	12/5
AVERAGE	17/8	18/8	19/6	19/7	19/8	21/0



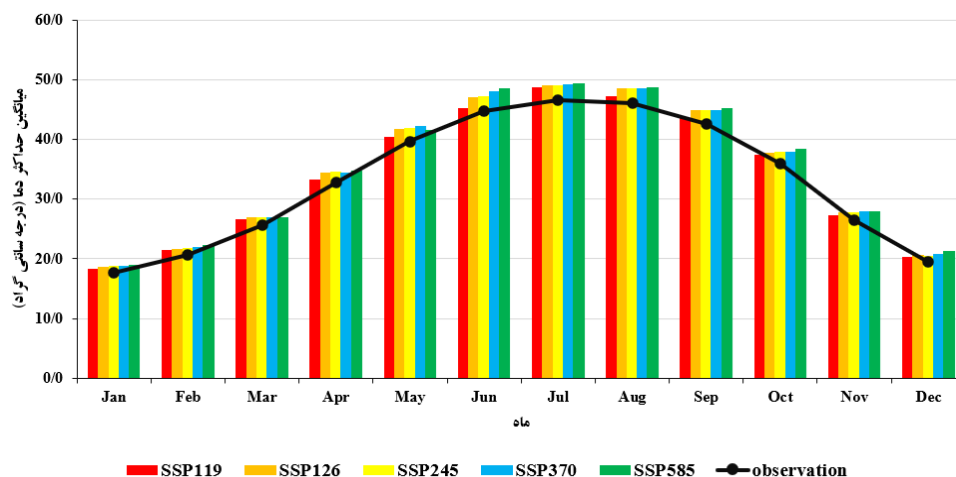
شکل ۱۷. نمودار میانگین کمینه دمای ماهانه دوره مشاهداتی ۲۰۱۴-۱۹۸۵ و دوره پیش‌بینی شده دوره ۲۰۵۰-۲۰۱۵

تحت سناریوی SSP (مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

جدول ۷. میانگین پیشینه دمای ماهانه دوره مشاهداتی ۲۰۱۴-۱۹۸۵ و دوره پیش‌بینی شده دوره ۲۰۵۰-۲۰۱۵

تحت سناریوی SSP (مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

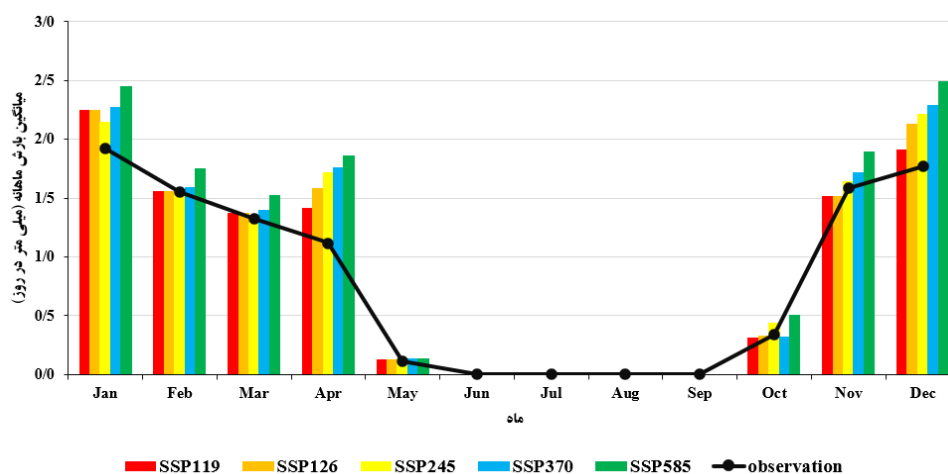
Month	observation	SSP119	SSP126	SSP245	SSP370	SSP585
Jan	17/6	18/2	18/6	18/7	18/8	18/9
Feb	20/6	21/3	21/6	21/7	21/9	22/2
Mar	25/6	26/6	26/9	26/9	26/8	26/9
Apr	32/8	33/1	34/4	34/6	34/3	34/7
May	39/7	40/3	41/6	41/9	42/2	41/5
Jun	44/8	45/1	46/9	47/1	47/9	48/5
Jul	46/6	48/6	49/0	48/9	49/1	49/3
Aug	46/1	47/2	48/5	48/4	48/4	48/7
Sep	42/6	43/5	44/8	44/8	44/9	45/2
Oct	35/9	37/3	37/7	37/9	37/8	38/3
Nov	26/5	27/2	27/6	27/7	27/8	27/9
Dec	19/6	20/3	20/5	20/4	20/7	21/2
AVERAGE	33/2	34/1	34/8	34/9	35/1	35/3



شکل ۱۸. نمودار میانگین بیشینه دمای ماهانه دوره مشاهداتی ۱۹۸۵-۲۰۱۴ و دوره پیش‌بینی شده دوره ۲۰۱۰-۲۰۵۰ تحت سناریوی SSP (مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

جدول ۸. میانگین بارش ماهانه دوره مشاهداتی ۱۹۸۵-۲۰۱۴ و دوره پیش‌بینی شده دوره ۲۰۱۰-۲۰۵۰ تحت سناریوی SSP (مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

Month	observation	SSP119	SSP126	SSP245	SSP370	SSP585
Jan	1/9	2/2	2/2	2/1	2/3	2/4
Feb	1/5	1/6	1/6	1/6	1/6	1/7
Mar	1/3	1/4	1/4	1/3	1/4	1/5
Apr	1/1	1/4	1/6	1/7	1/8	1/9
May	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1
Jun	0	0	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0	0
Aug	0	0	0	0	0	0
Sep	0	0	0	0	0	0
Oct	0/3	0/3	0/3	0/4	0/3	0/5
Nov	1/6	1/5	1/5	1/6	1/7	1/9
Dec	1/8	1/9	2/1	2/2	2/3	2/5
AVERAGE	0/8	0/9	0/9	0/93	0/96	1/05



شکل ۱۹. نمودار میانگین بارش ماهانه دوره مشاهداتی ۱۹۸۵-۲۰۱۴ و دوره پیش‌بینی شده دوره ۲۰۱۰-۲۰۵۰ تحت سناریوی SSP (مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

نتیجه‌گیری

مهم‌ترین معضل کره زمین در قرن حاضر، افزایش دمای کره زمین و تغییر در متغیرهای اقلیمی به علت صنعتی شدن جوامع و افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌باشد، از این رو بررسی روند افزایش دما و تغییر در متغیرهای اقلیمی در مقیاس جهانی و منطقه‌ای بسیار مهم می‌باشد. تاکنون برای پیش‌نگری وضعیت آتی اقلیم، مدل‌های گردش عمومی متعددی طراحی شده است؛ ولی به علت عدم استفاده بهینه از خروجی این مدل‌ها به علت محدودیت در تفکیک مکانی در مقیاس محلی، روش‌های مختلف و جدیدی به منظور استفاده از خروجی این مدل‌ها در مقیاس منطقه‌ای و محلی ابداع شده است. هدف از این پژوهش، بررسی تغییرات متغیرهای اقلیمی دما و بارش برای دوره آینده (۲۰۵۰-۲۰۱۵) در حوضه آبریز رودخانه شور در شرایط سناریوهای SSP گزارش ششم (CMIP6) می‌باشد. نتایج حاصل از بررسی تغییرات دمای بیشینه، دمای کمینه، دمای سالانه و بارش برای دوره پایه مورد مطالعاتی از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۴ بیان می‌کند که در ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان رفتار متغیرهای دمای بیشینه، دمای کمینه و دمای سالانه روند افزایشی و تغییرات بارش روند کاهشی را دارا می‌باشد. تغییر در روند عناصر اقلیم باعث نمایش پدیده تغییر اقلیم بوده است. براساس روند من-کندال، دماهای بیشینه ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان روند افزایشی، دمای کمینه روند افزایشی و دمای میانگین روند افزایشی دارد. همچنین براساس این آماره بارش ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان در دوره آماری ۴۰ ساله روند کاهشی دارد. با توجه به روند من-کندال در ارتباط با افزایش دمای بیشینه و دمای کمینه و با توجه به کاهش بارش، این اختلاف دمای به دست آمده نمایانگر افزایش نوسان دما بین شب و روز و کاهش رطوبت و به تبع آن ایجاد شرایط خشک در منطقه است. روند افزایشی دما در مقیاس سالانه در ایستگاه مطالعاتی تأیید کننده این مطلب است که این ایستگاه به سمت گرم شدن پیش می‌رود. همچنین در این پژوهش به پیش‌نگری تغییرات متغیرهای اقلیمی دما و بارش در دوره آینده (۲۰۵۰-۲۰۱۵) بر پایه مدل CanESM5 با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی SDSM در حوضه آبریز رودخانه شور پرداخته شد. صحت و دقت مدل با استفاده از میانگین خطای مطلق (MAE) و مجذور میانگین مربعات خطا (RSME) و ضریب همبستگی (R) صورت گرفت. با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی دقت مدل CanESM5 در شبیه‌سازی مقادیر دوره مشاهداتی و شبیه‌سازی

شده در دوره پایه ۲۰۱۴-۱۹۸۵ نشان داد که مدل از توانایی قابل قبولی برخوردار است. سپس خروجی‌های مدل CanESM5 تحت سناریوهای SSP توسط مدل SDSM ریزمقیاس نمایی شد. طبق نتایج به دست آمده، توانمندی مدل SDSM در این تحقیق به اثبات رسید، که این نتیجه با نتایج تحقیقات نادری و همکاران (۲۰۱۷)، شاگگا و همکاران (۲۰۲۰)، ونگ و همکاران (۲۰۲۱)، لی و همکاران (۲۰۲۱)، مسگری و همکاران (۲۰۲۲)، حلیم و همکاران (۲۰۲۳)، فیسا و همکاران (۲۰۲۴)، آزاد و احمدی (۱۴۰۲)، عبدالعلی‌زاده و همکاران (۱۴۰۲)، محمدی و همکاران (۱۴۰۳) و ملکی مرشت و همکاران (۱۴۰۴) مطابقت دارد. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، افزایش میزان دمای بیشینه و کمینه برای دوره آینده و نیز افزایش بارش روزانه در دوره آینده مشاهده شد. نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های اکثر پژوهشگران در ارتباط با افزایش دمای بیشینه و دمای کمینه و همچنین افزایش بارش مطابقت دارد.

سپاس‌گزاری

این مقاله مستخرج از رساله دکتری آب و هواشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز با عنوان «بررسی اثرپذیری و بهره‌برداری از منابع آب شور استان خوزستان تحت شرایط تغییر اقلیم و خشکسالی (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه شور)» است. بدین‌وسیله از داوران محترم بابت ارائه نظرهای علمی، ساختاری و ارزشمند سپاس‌گزاری می‌شود.

منابع

1. Abdolalizadeh, F., Mohammad Khorshiddoust, A., Jahanbakhsh, S. (2022). Assessment of the performance of CMIP6 model for analysis of temperature and precipitation in Urmia Lake basin. *Climate Change Research*, 3(11), 17-30. (In Persian)
2. Abdolalizadeh, F., Mohammad Khorshiddoust, A., Jahanbakhsh, S. (2023). Projection of the future outlook of temperature and precipitation in Urmia Lake basin by the CMIP6 models. *Physical Geography Research*, 55(1), 95-112. (In Persian)
3. Ansari Mahabadi, S., Dehban, H., Zareian, M.J., Farokhnia, A. (2022). Investigation of temperature and precipitation changes in the Iran's basins in the next 20 years based on the

- output of CMIP6 model. Iranian Water Research Journal, 16(1):11-24. (In Persian)
14. Araghinejad, S. (2013). Data-driven modeling: using MATLAB® in water resources and environmental engineering (Vol. 67). Springer Science & Business Media.
 15. Azad, A. Ahmadi, A. (2023). Temperature and Precipitation Projections in the Khazar (Caspian) Sea Basin by Evaluating the Effect of Bias Correction Methods and Using Ensemble of CMIP6 Climate Models. Iran Water Resources Research, 19 (4): 172-198. (In Persian)
 16. Brian, A., Hamida, N., Hassen, B., Rizwan, K., Vedaste, I., Kenny, T.C., Lim, K. S., Victor, O. (2021). Evaluation and projection of mean surface temperature using CMIP6 models over East Africa, Journal of African Earth Sciences, 181, 104226.
 17. Change, I. C. (2007). The Physical Science Basis. Final Report Working Group 1, Intergovernmental Panel on Climate Change, Assessment Report 4, Geneva, Swiss.
 18. Chen, Z., Zhou, T., Zhang, L., Chen, X., Zhang, W., Jiang, J. (2020). Global land monsoon precipitation changes in CMIP6 projections. Geophysical Research Letters, 47(14), pp 1-9.
 19. Collins, W., N,Bellouin., M, Doutrix. (2011). Development an Evaluation of an Earth Sistem Model HadGEM2. Geoscientific Model Development. 4.
 20. Ershadfat, F., Raeini Sarjaz, M., Shahnazari, A., Eivind Olesen, J., (2022). Application of Linear Scaling Post-Processing Method for Bias Correction of Climate Models Retrieved from CMIP6. Iran-Water Resources Research, 18(3), 131-144. (in Persian)
 21. Eyring, V., P, Gleckler., Ch, Heinze., R, Stouffer., K, Taylor., V, Balaji., E, Guilyardi., S, Joussaume., S, Kindermann., B, Lawrence., G, Meehl., M, Righi., D, Williams. (2016). Towards improved and more routine Earth system model evaluation in CMIP. Earth System Dynamics. 7 (4): 813-830.
 22. Feyissa, T.A., Demissie, T.A., Saathoff, F. Gebissa, A. (2024). Hydrological responses projection to the potential impact of climate change under CMIP6 models scenarios in Omo River Basin, Ethiopia, Results in Engineering, Volume 23, 102708.
 23. Ghosh, S., Mujumdar, P. (2008). Statistical downscaling of GCM Simulations to Streamflow using Relevance Vector Machine. Advances in Water Resources 31(1):132-146.
 24. Guhathakurta, P., Menon, P., Mazumdar, A. B., Sreejith, O. P. (2010). Changes in extreme rainfall events and flood risk in India during output of CMIP6 model. Iranian Water Research Journal, 16(1):11-24. (In Persian)
 4. Araghinejad, S. (2013). Data-driven modeling: using MATLAB® in water resources and environmental engineering (Vol. 67). Springer Science & Business Media (In Persian).
 5. Ataei, H., Kouhi, M., Modirian, R., Bazrafshan, B. (2021). Projected Changes in Temperature and Precipitation over Kashafrud Basin Based on Statistical and Dynamical Downscaling Methods. Journal of Natural Environmental Hazards, 10(30), 183-202. (In Persian)
 6. Azad, A. Ahmadi, A. (2023). Temperature and Precipitation Projections in the Khazar (Caspian) Sea Basin by Evaluating the Effect of Bias Correction Methods and Using Ensemble of CMIP6 Climate Models. Iran Water Resources Research, 19 (4): 172-198. (In Persian)
 7. Azimi-Habashi S., Miryaghoubzadeh M., Erfanian M., Javan K. (2024). Projection of Future Climatic Variables based on CMIP5 and CMIP6 Models in the Gedarchay Catchment (West Azarbaijan). J Watershed Manage Res. 15(2), 1-16. (In Persian)
 8. Bararkhanpour, S., Nadi, M., Mazloom Babanari, S., Jedariforoughi, A. (2023). Analyzing the effect of climate change on the trend of extreme temperatures along the coast of Mazandaran province based on CMIP6 models. Journal of Water and Soil Conservation, 30(4), 1-27. (In Persian)
 9. Brian, A., Hamida, N., Hassen, B., Rizwan, K., Vedaste, I., Kenny, T.C., Lim, K. S., Victor, O. (2021). Evaluation and projection of mean surface temperature using CMIP6 models over East Africa, Journal of African Earth Sciences, 181, 104226.
 10. Change, I. C. (2007). The Physical Science Basis. Final Report Working Group 1, Intergovernmental Panel on Climate Change, Assessment Report 4, Geneva, Swiss.
 11. Chen, Z., Zhou, T., Zhang, L., Chen, X., Zhang, W., Jiang, J. (2020). Global land monsoon precipitation changes in CMIP6 projections. Geophysical Research Letters, 47(14), pp 1-9.
 12. Collins, W., N,Bellouin., M, Doutrix. (2011). Development an Evaluation of an Earth Sistem Model HadGEM2. Geoscientific Model Development. 4.
 13. Ansari Mahabadi, S., Dehban, H., Zareian, M.J., Farokhnia, A. (2022). Investigation of temperature and precipitation changes in the Iran's basins in the next 20 years based on the

- Bangladesh using CMIP6 GCMs. *Heliyon*, 9(5).
34. Kundu, S., Khare, D., Mondal, A. (2017). Interrelationship of rainfall, temperature and reference evapotranspiration trends and their net response to the climate change in Central India. *Theoretical and Applied Climatology*, 130, 879-900.
 35. Lavergne, T., Kern, S., Aaboe, S. (2022). A new structure for the sea ice essential climate variables of the Global Climate Observing System: *Bulletin of the American Meteorological Society*, 103(6), E1502-E1521.
 36. Li, Y., Yan, D., Peng, H., Xiao, S. (2021). Evaluation of precipitation in CMIP6 over the Yangtze River Basin. *Atmospheric Research*, 253, 105406.
 37. Majdi, F., Hosseini, S.A., Karbalae, A., Kaseri, M., Marjanian, S. (2022). Future projection of precipitation and temperature changes in the Middle East and North Africa (MENA) region based on CMIP6. *Theoretical and Applied Climatology*, 147: 1249–1262.
 38. Meehl, G., G. Boer., C. Covey., M. Latif R, Stouffer. (2000). The Coupled Model Intercomparison Project (CMIP). *Bulletin of the American Meteorological Society*. 81 (2): 313-318.
 39. Mesgari, E., Hosseini, S A., Hemmesy, M S., Houshyar, M., Golzari Partoo, L. (2022). Assessment of CMIP6 models' performances and projection of precipitation based on SSP scenarios over the MENAP region. *Journal of Water and Climate Change*, 13 (10): 3607–3619.
 40. Naderi, S.; Goodarzi, M. Ghadmi Dehno, M. (2017). The Effect of Climate Change on Climatic Parameters in Seymareh Basin, *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, Year 11- Number 39pp. 77-69. (in Persian)
 41. Qin, J., Su, B., Tao, H., Wang, Y., Huang, j., Jiang, T. (2021). Projection of temperature and precipitation under SSPs-RCPs Scenarios over northwest China. *Front. Earth Sci.* 15: 23–37.
 42. Ramezanipour, M., 2018. Forecasting climate Oscillations for three decades; Case study: Mazandaran province. *Physical Geography Quarterly* ,(39)11 ,pp.115-130. (in Persian)
 43. Salahi, B., Goudarzi, M., Hosseini, S A. (2017). Predicting the temperature and precipitation changes during the 2050s in Urmia Lake Basin, *Watershed engineering And management*, 8(4): 425-438.
 44. Shagega, F. P., Munishi, S. E., Kongo, V. M. (2020). Assessment of potential impacts of climate change on water resources in the last century. *National Climatic Centre*, RR (3).
 25. Goodarzi, M., Hoseini, M., Parekar, M. (2017). Evaluation of Statistical downscaling method in simulation of climate change of Karkheh basin up to the Karkheh dam. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 10(35), 51-64.
 26. Gulacha, M. M., Mulungu, D. M. (2017). Generation of climate change scenarios for precipitation and temperature at local scales using SDSM in Wami-Ruvu River Basin Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 100, 62-72.
 27. Haleem, K., Khan, A. U., Khan, J., Ghanim, A. A., Al-Areeq, A. M. (2023). Evaluating Future Streamflow Patterns under SSP245 Scenarios: Insights from CMIP6. *Sustainability*, 15(22), 16117.
 28. Heydari, Sh., Hosseini, S.A., Heydari, A. (2020). Investigating the effects of climate change on stream flows of Urmia Lake basin in Iran, *Modeling Earth Systems and Environment*, 1: 329-339.
 29. Huang, Y., Wang, F., Li, Y., Cai, T. (2014). Multi-model ensemble simulation and projection in the climate change in the Mekong River Basin. Part I: temperature. *Environmental monitoring and assessment*, 186, 7513-7523.
 30. IPCC. (2021). Climate change 2021 the physical science basis, AR6, Summary for policymakers. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1>.
 31. IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press.
 32. Jiang, J., Zhou, T., Chen, X., Zhang, L. (2020). Future changes in precipitation over Central Asia based on CMIP6 projections, *Environ. Res. Lett*, 15: 1-4.
 33. Kamruzzaman, M., Wahid, S., Shahid, S., Alam, E., Mainuddin, M., Islam, H.T., Cho, J., Rahman, M.M., Biswas, J.C. Thorp, K.R., (2023). Predicted changes in future precipitation and air temperature across

48. Yue, Y., Yan, D., Yue, Q., Ji, G., Wang, Z. (2021). Future changes in precipitation and temperature over the Yangtze River Basin in China based on CMIP6 GCMs, *Atmospheric Research*, 264: 105828.
49. Wang, L., Zhang, J., Shu, Z., Wang, Y., Bao, Z., Liu, C., Zhou, X. Wang, G. (2021). Evaluation of the Ability of CMIP6 Global Climate Models to Simulate Precipitation in the Yellow River Basin, China. *Front. Earth, Sci.*
50. Wilby, R.L., Dawson, C.W., Barrow, E.M. (2002). SDSM-a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*, 17(2), 145-157.
51. Zhu, H., Jiang, Z., Li, L. (2021). Projection of climate extremes in China, an incremental exercise from CMIP5 to CMIP6. *Science Bulletin*, 66(24), 2528-2537.
- Ngerengere catchment, Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth*, 116, 10284.
45. Srinivasa Raju, K., D, Naghesh Kumar. (2020). Review of approaches for selection and ensembling of GCMs. *Journal of Water & Climate Change*. 11(3): 577-599.
46. Touze-Peiffer, L., A, Barberousse, H, Treut. (2020). The Coupled Model Intercomparison Project: History, uses, and structural effects on climate research. *WIREs Climate Change*. 11.(4).
47. Virgilio, G., F, Eugene Tam., N, Nishat., J, Evans., Ch, Thomas., M, Riley., K, Beyer., M, Grose., S, Narsey, F, Delage. (2022). Selecting CMIP6 GCMs for CORDEX Dynamical Downscaling: Model Performance, Independence, and Climate Change Signals. *Earth's Future*. 10.(4).