

پیش‌نگری تغییرات بارش در غرب کشور با استفاده از مدل ریزمقیاس گردانی SDSM و سناریوهای واداشت تابشی

محمد لطفی^۱، غلامعلی کمالی^{۲*}، امیرحسین مشکوتی^۲ و وحید ورشایان^۴

^۱ دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۲ دانشیار هواشناسی کشاورزی، گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۳ دانشیار هواشناسی، گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۴ استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۹/۳، تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۳۰

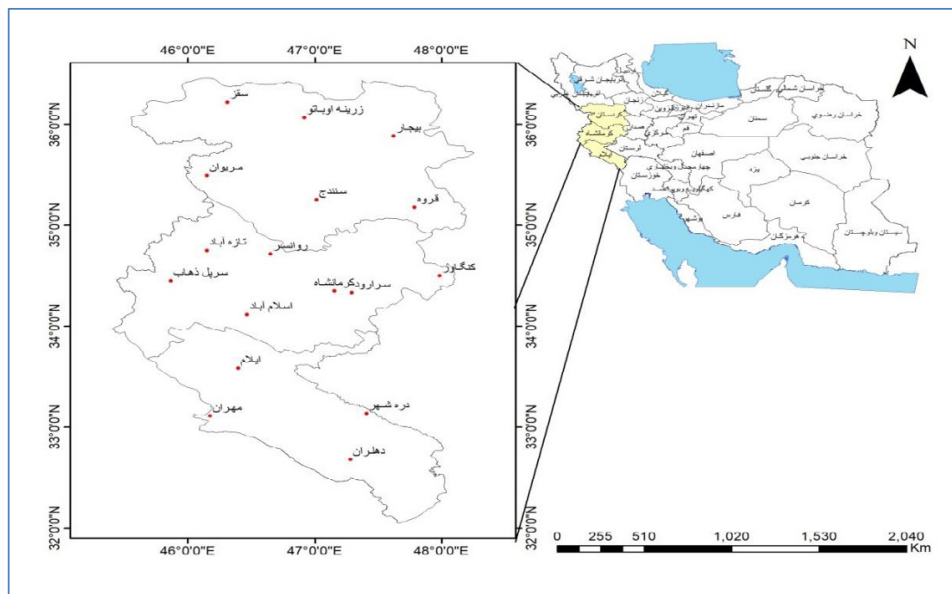
چکیده

پیش‌نگری تغییرات بارش جهت اطلاع از میزان تغییرات آن در آینده و در نظر گرفتن تمهیدات لازم جهت تعدیل اثرات سوء ناشی از تغییر اقلیمی از اهمیت زیادی برخوردار است. لذا در این پژوهش به پیش‌نگری تغییرات بارش در غرب کشور پرداخته شد. بدین منظور از داده‌های مدل CanESM2 تحت سه سناریوی RCP4.5، RCP2.6 و RCP8.5 با کاربرد مدل ریزمقیاس گردانی SDSM بهره‌گرفته شد و تغییرات بارش دوره (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۸-۱۹۸۹) مورد بررسی قرار گرفت. بمنظور اطمینان از واسنجی و صحت سنجی مدل SDSM نیز از شاخص‌های MAE، MSE، RMSE و R^2 استفاده شد. نتایج حاصل حاکی از دقت مناسب این مدل در منطقه مورد مطالعه است. نتایج حاصل از بررسی ماهانه بارش در ایستگاه مطالعاتی نشان داد که بارش در دوره (۲۰۲۱-۲۰۵۰) در اکثر مناطق در دوره اکتبر تا دسامبر و در برخی مناطق علاوه بر این دوره ژانویه تا آوریل نیز بارش افزایش خواهد یافت. بر این اساس انتظار می‌رود میزان بارش در دوره آینده نسبت به دوره پایه به طور متوسط بین ۰/۰۵ تا ۱۵ درصد در سطح منطقه مورد مطالعه افزایش یابد که این تغییرات نیز نسبت به دوره پایه معنی‌دار است. بیشترین تغییرات مربوط به نواحی شمالی و شرقی منطقه مورد مطالعه و کمترین تغییرات نیز مربوط به نواحی جنوبی منطقه مورد مطالعه است. همچنین بیشترین و کمترین تغییرات نیز بر اساس سناریوهای RCP8.5 و RCP2.6 پیش‌نگری شده است. لذا با توجه افزایش و شدت بارش و همچنین کوهستانی بودن منطقه مورد مطالعه لازم است راهکارهای مقابله با سیلاب و مدیریت آن مدنظر قرار گیرد.

کلمات کلیدی: بارش، پیش‌نگری، تغییر اقلیم، غرب کشور، RCP، SDSM

هرگونه برنامه ریزی یا طراحی در خصوص منابع آب در حوضه های آبریز بر اساس تحلیل داده های هیدرولوژیکی امری مهم به نظر می رسد. بارندگی نیز به عنوان یکی از مهم ترین پدیده های جوی و هیدرولوژیکی از این امر مستثنی نبوده و این امر مورد توجه محققان قرار دارد (احمدزاده، ۱۳۸۴). ایران کشوری است که به لحاظ اقلیمی جزو کشورهای خشک و نیمه خشک جهان محسوب شده، به طوری که متوسط بارندگی سالانه آن حدود یک سوم متوسط بارندگی خشکی های جهان و کمتر از یک سوم متوسط بارندگی کل کره زمین است و از سوی دیگر میزان تبخیر آن حدود سه برابر تبخیر خشکی های زمین های جهان می باشد (جهانبخش و همکاران، ۱۳۸۰). بنابراین با توجه به اهمیت بارش لازم است این پارامتر در مناطق مختلف برآورد شده و به ویژه پیش بینی آن برای کشورهایی که اقتصاد آن ها مبتنی بر کشاورزی است، بسیار مهم است. از طرفی با پیش بینی به موقع بارندگی امکان مقابله با سیلاب و خشکسالی و کاهش خسارت ناشی از آن نیز مهیا می شود (گودرزی و حسینی، ۱۳۹۶). در سال های اخیر، تحقیقات وسیعی در زمینه پیش بینی های بلندمدت و میان مدت (ماهانه، فصلی) بارندگی در نقاط مختلف جهان انجام شده است. به طوری که، بر اساس نتایج حاصل از مطالعات تغییر اقلیم در حوضه دریای مدیترانه وجود رابطه بین افزایش دما و کاهش بارش و کمبود آب و افزایش خطر آتش سوزی جنگل های منطقه به اثبات رسیده است (پانل و لورت، ۱۹۹۸). براساس گزارش های موجود، تغییر اقلیم باعث ایجاد تغییر در رژیم هیدرولوژی در چند دهه اخیر در سطح جهان شده به گونه ای که بارندگی و جریان های سطحی در عرض های جغرافیایی بالا و میانی بیشتر و در عرض های پایینی کمتر شده و احتمال مواجهه با رخدادهای حداکثری اقلیمی مانند سیلاب و خشکسالی افزایش یافته است (لن و همکاران، ۱۹۹۹). بنابراین بررسی تغییر اقلیم و به ویژه تغییرات بارش به عنوان یکی از مهمترین پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی می تواند زمینه ساز اتخاذ سیاست های راهبردی آینده مدیریت

منابع آب باشد (هاردی، ۲۰۰۳). مدل های جهانی اقلیم (GCMs) مهم ترین مدل های مزدوج عددی و ابزارهای قدرتمندی در ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم هستند که سیستم های مختلف اتمسفر، اقیانوس، سطح زمین و یخ-دریا را شبیه سازی نموده و به نمایش می گذارند (فولر و همکاران، ۲۰۰۷) هر چند که مدل های GCM در مقیاس فضایی اتمسفری و قاره ای نتایج معنی داری را به نمایش می گذارند و بخش بزرگی از پیچیدگی سیستم کره زمین را ترکیب می کنند، اما ذاتاً قادر نیستند که دینامیک و اشکال با شبکه ریزمقیاس تر محلی را به نمایش بگذارند (ویگلی و همکاران، ۱۹۹۰؛ شارما و همکاران، ۲۰۰۷)؛ لذا ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیم در مقیاس محلی نیازمند رویکردی است تا شکاف موقتی و فضایی بین متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس و متغیرهای هواشناسی با مقیاس محلی را پر کند که در این مورد، رویکرد اساسی همان تکنیک های ریزمقیاس گردانی هستند (ویلی و همکاران، ۲۰۰۲). مدل SDSM یکی از پرکاربردترین ابزارهای آماری ریزمقیاس گردانی می باشد که کاربردهای بسیاری در مطالعات هواشناسی، هیدرولوژیکی، جغرافیایی و زیست محیطی دارد (ویلی و هاریس، ۲۰۰۶) و در مواقعی که نیاز به برآورد سریع و کم هزینه از تغییرات اقلیمی باشد مورد استفاده قرار می گیرد و در مورد مولدهای هواشناسی تصادفی و روش های توابع تغییر شکل یافته نتایج قابل قبولی ارائه داده است (صمدی و مساح بوانی، ۱۳۸۷). در این راستا سرکار و همکاران (۲۰۱۵) به پیش بینی تغییرات دما و بارش با استفاده از مدل های جهانی مختلف در هندوستان پرداختند. نتایج آن ها نشان داد که در دوره های آتی میزان بارش بین ۹ تا ۲۷ درصد کاهش می یابد. هیون چا و همکاران (۲۰۱۶) به پیش بینی تغییرات بارش تابستانه در کره با استفاده از سناریوهای مختلف RCP پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد میزان بارش کاهش و شدت آن افزایش می یابد. لیونگ تان و همکاران (۲۰۱۷) به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب در مالزی پرداختند. نتایج آن ها نشان داد که افزایش بارندگی در فصل مرطوب و کاهش در فصل خشک در منطقه اتفاق خواهد افتاد. بنزه



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی

حوضه سیمره پراختند. نتایج افزایش دما و کاهش بارش را در حوضه مورد بررسی نشان داد. گودرزی و همکاران (۱۳۹۷) به چشم انداز تغییر دما و بارش با استفاده از مدل ریزمقیاس‌گردانی SDSM در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه پرداختند. بر اساس نتایج حاصل، مقدار دما و بارش در دوره آینده نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. لذا در این پژوهش به پیش‌نگری تغییرات بارش در غرب کشور در دوره (۲۰۲۱-۲۰۵۰) با استفاده از روش ریزمقیاس‌گردانی آماری SDSM و خروجی مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شامل سه استان کردستان، کرمانشاه و ایلام در غرب کشور می‌باشد. جهت بررسی از داده‌های مشاهداتی بارش روزانه، ۱۷ ایستگاه هواشناسی منتخب در سطح منطقه مورد مطالعه در طول دوره آماری ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ استفاده شد. موقعیت منطقه مطالعاتی و ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی در شکل (۱) و همچنین مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی در جدول (۱) آورده شده است.

و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بارش در حوضه رودخانه زامبزی در آفریقای جنوبی با استفاده از مدل SDSM و سناریوهای RCP پرداختند. نتایج نشان داد که بارش در ماه‌های مرطوب کاهش و در ماه‌های خشک افزایش می‌یابد. پتان و ویکر (۲۰۲۰) تغییرات دما و بارش را با استفاده از سناریوهای مختلف RCP در حوضه بیدکین (Bidkin) در هندوستان را پیش‌بینی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد میزان روند دما و بارش در کل حوضه بر اساس تمام سناریوهای مورد بررسی در حال افزایش است. گودرزی و همکاران (۱۳۹۴) به مقایسه مدل‌های ریزمقیاس‌گردانی LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش در حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که هر دو مدل علی‌رغم تفاوت‌هایی در شبیه‌سازی، می‌توانند در بررسی‌های تغییر دما و بارش مفید واقع شوند. المیر و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از مدل SDSM به بررسی تغییرات دما و بارش در حوضه آبریز قره‌سو پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد در دوره آینده دما افزایش و بارش کاهش خواهد یافت. نادری و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از مدل SDSM به بررسی تغییر پارامترهای اقلیمی در

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی ایستگاه های هواشناسی مورد مطالعه

ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)
بیجار	سینوپتیک	۴۷/۶۲	۳۵/۸۹	۱۸۸۳/۴
دره شهر	سینوپتیک	۴۷/۴۱	۳۳/۱۴	۶۳۰
دهلران	سینوپتیک	۴۷/۲۸	۳۲/۶۸	۲۳۲
قروه	سینوپتیک	۴۷/۷۹	۳۵/۱۸	۱۹۰۶
ایلام	سینوپتیک	۴۶/۴۰	۳۳/۵۹	۱۳۳۷
اسلام آباد غرب	سینوپتیک	۴۶/۴۷	۳۴/۱۲	۱۳۴۸/۸
کنگاور	سینوپتیک	۴۷/۹۸	۳۴/۵۰	۱۴۶۸
کرمانشاه	سینوپتیک	۴۷/۱۵	۳۴/۳۵	۱۳۱۸/۵
مریوان	سینوپتیک	۴۶/۱۵	۳۵/۵۰	۱۲۸۷
مهران	سینوپتیک	۴۶/۱۸	۳۳/۱۱	۱۵۰
روانسر	سینوپتیک	۴۶/۶۵	۳۴/۷۲	۱۳۸۰
سقز	سینوپتیک	۴۶/۳۱	۳۶/۲۲	۱۵۲۲/۸
سنندج	سینوپتیک	۴۷/۰۱	۳۵/۲۵	۱۳۷۳/۴
سرارود کرمانشاه	کشاورزی	۴۷/۲۹	۳۴/۳۳	۱۳۶۱/۷
سرپل ذهاب	سینوپتیک	۴۵/۸۷	۳۴/۴۵	۵۴۵
تازه آباد کرمانشاه	سینوپتیک	۴۶/۱۵	۳۴/۷۵	۱۲۲۶
زرینه اوبانو	سینوپتیک	۴۶/۹۲	۳۶/۰۷	۲۱۴۲/۶

مدل ریزمقیاس گردانی SDSM

مدل SDSM یک روش نمونه برداری مجدد شرطی و دو مرحله ای جهت ریزمقیاس گردانی است (ویلیبی و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۸۳). این روش ابتدا متغیر پیش بینی کننده (مانند دما و بارش) را با استفاده از روش های رگرسیونی ترکیبی و یک روش مولد هواشناسی تصادفی، کوچک مقیاس کرده و در مرحله بعد در محل ایستگاه مجدداً تولید می گردد (تاتسومی، ۲۰۱۳). در واقع SDSM ترکیبی از روش مولد هواشناسی آماری و توابع تغییر شکل یافته است. این مدل اولین بار توسط ویلیبی و همکاران در سال ۲۰۰۲ تحت عنوان نسخه ۱/۲ در انگلستان تهیه شده است که اساس آن استفاده از ترکیبی از روش های رگرسیونی و تولید داده های آب و هوایی مصنوعی برای کوچک مقیاس سازی می باشد. در این مدل اقلیم محلی توسط اقلیم بزرگ مقیاس منطقه در فرم $R = F(X)$ بیان می شود که در اینجا R نشان دهنده متغیر اقلیم محلی است که کوچک مقیاس شده است. X

مجموعه ای از متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس است و F یک تابع تعیین مشروط به X است که بر اساس آموزش و اعتبارسنجی داده های تاریخی به دست می آید (کمال و مساح بوانی، ۱۳۸۹). این مدل یکی از پرکاربردترین ابزارهای آماری ریزمقیاس سازی می باشد که کاربردهای بسیاری در مطالعات هواشناسی، هیدرولوژی، جغرافیایی و زیست محیطی دارد (ویلیبی و هاریس، ۲۰۰۶). در این روش از الگوهای گردش روزانه بزرگ مقیاس مانند متغیرهای رطوبت اتمسفر در مقیاس ایستگاهی استفاده می شود و در مواقعی که نیاز به برآورد سریع و کم هزینه از تغییرات اقلیمی باشد مورد استفاده قرار می گیرد و در مورد مولدهای هواشناسی تصادفی و روش های توابع تغییر شکل یافته نتایج قابل قبولی ارائه داده است (صمدی و مساح بوانی، ۱۳۸۷). در مطالعات تغییر اقلیم، عموماً یک دوره زمانی بلندمدت (در این پژوهش دوره ۲۰۱۸-۱۹۸۹) به عنوان دوره پایه یا شرایط اقلیمی حال حاضر استفاده می شود؛ همچنین پیش بینی ها نیز تا سال

۲۱۰۰ امکان‌پذیر می‌باشند (ویلیبی و همکاران، ۲۰۰۲). روش کار به این صورت است که داده‌های اقلیمی روزانه از اول ژانویه سال ۱۹۸۹ تا پایان دسامبر ۲۰۱۸ جهت واسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفتند. بدین منظور این داده‌ها ابتدا به فرمت قابل‌قبول مدل SDSM تبدیل شدند. سپس مدل SDSM جهت ریزمقیاس‌گردانی داده‌های مدل جهانی CanESM2 تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد. دلیل انتخاب این است که در حال حاضر تنها داده‌های این مدل برای اجرا در مدل SDSM در دسترس است. مدل CanESM2 چهارمین نسل از مدل‌های آب‌وهوایی است که توسط مرکز مدل‌سازی و تحلیل آب‌وهوای کانادا (CCCma) زیر نظر سازمان محیط‌زیست این کشور توسعه یافته است. در این مدل کل زمین به صورت ۱۲۸*۶۴ سلول شبکه بندی شده است که دارای شبکه‌ای با ابعاد ۱ در ۱ درجه طول و عرض جغرافیایی می‌باشد (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۵). ابتدا از داده‌های NCEP دوره پایه که شامل ۲۶ متغیر مستقل اتمسفری می‌باشد، جهت کالیبره کردن و تعیین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده استفاده شد. حال مدل کالیبره شده قادر است با کمک داده‌های بزرگ‌مقیاس NCEP اقدام به تولید داده‌های مصنوعی در بازه مورد نظر نماید؛ اما در این داده‌های مصنوعی، سناریوهای گازهای گلخانه‌ای تأثیر ندارند. لذا مدل با بهره‌گیری از پیش‌بینی‌کننده‌های CanESM2 که خود سناریوهای واداشت تابشی را گنجانده‌اند و به‌طور همزمان و با توجه به سناریوهای واداشت تابشی، اقدام به ایجاد سناریوهای اقلیمی می‌نمایند. پس از تولید داده‌های روزانه برای دوره آینده مورد بررسی (۲۰۵۰-۲۰۲۱) از خروجی‌های مدل (در این پژوهش بارش) میانگین‌گیری شده و میانگین ماهانه پارامترهای مذکور در دوره‌های آتی محاسبه می‌شود. سپس تغییرات آن‌ها نسبت به مقادیر میانگین دوره‌ی پایه محاسبه شده و نمودارهای تغییرات پارامترهای مذکور در هرکدام از ایستگاه‌ها ترسیم و تحلیل می‌گردد.

جهت ارزیابی و تحلیل عملکرد مدل‌های تخمین

و پیش‌بینی شاخص‌های عملکردی مختلفی وجود دارد. ضریب تعیین (R^2) معیاری بدون بعد است که بهترین مقدار آن برابر یک می‌باشد. رابطه (۱) نحوه محاسبه آن را نشان می‌دهد (صداقت‌کردار و همکاران، ۱۳۸۷). میانگین مربعات خطا (MSE) که می‌تواند از صفر در عملکرد عالی تا بی‌نهایت تغییر کند. که به صورت رابطه (۲) تعریف می‌گردد (کارآموز و همکاران، ۱۳۸۵). مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) به عنوان قیاسی برای نشان دادن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری به کار می‌رود. این معیار که به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود به عنوان مرسوم‌ترین شاخص خطا به کار برده می‌شود (لین و همکاران، ۲۰۰۶). میانگین مطلق خطا (MAE) برای مقایسه عبارت به عبارت خطای نسبی مقادیر شبیه‌سازی شده با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده به کار می‌رود که به صورت رابطه (۴) ارائه شده است (هو و همکاران، ۲۰۰۱).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N X_o X_s}{\sqrt{\sum_{i=1}^N X_o^2 \sum_{i=1}^N X_s^2}} \quad (1)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_o - X_s)^2 \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_o - X_s)^2}{N}} \quad (3)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |X_o - X_s|}{N} \quad (4)$$

در روابط فوق X_o داده‌های مشاهداتی، X_s داده‌های شبیه‌سازی شده و N تعداد داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

در مدل ریزمقیاس‌گردانی SDSM قبل از کالیبره کردن مدل لازم است متغیرهای مستقل جوی (NCEP)

که بیشترین میزان همبستگی را با پارامترهای اقلیمی مشاهداتی دارند تعیین گردند. بر اساس نتایج حاصل، متغیرهای ارتفاع ژئوپتانسیل در سطوح ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال و متوسط فشار در سطح دریا بیشترین ارتباط را با بارش در منطقه مورد بررسی دارند (جدول ۲). به منظور اطمینان از صحت مدل، به ارزیابی پارامترهای مدل شده با استفاده از متغیرهای NCEP و داده‌های واقعی برای دوره آماری پایه (۲۰۱۸-۱۹۸۹) پرداخته

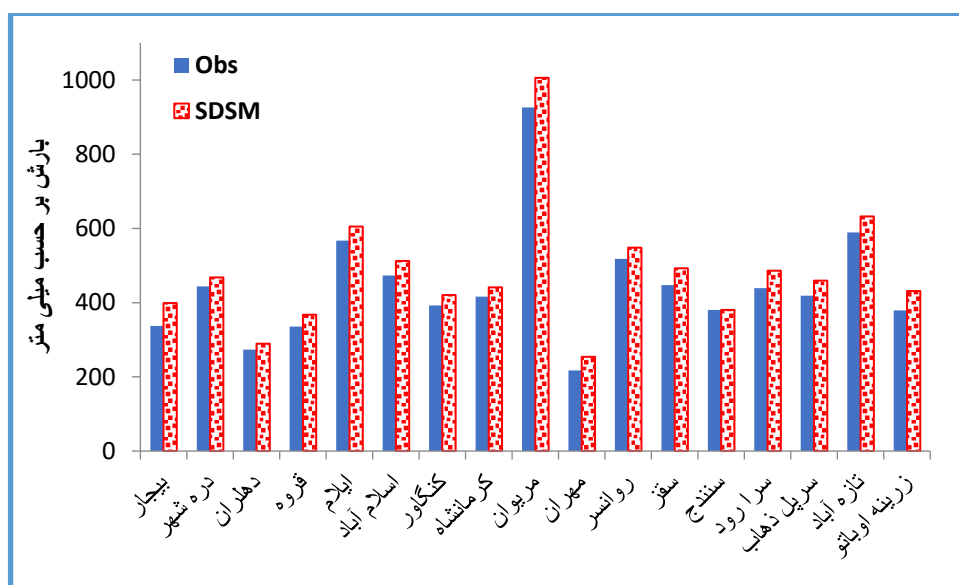
شد. نتایج حاصل نشان داد که اختلاف معنی داری بین مقادیر مدل شده و مقادیر مشاهداتی آن‌ها با خطای بحرانی ۰/۰۵ وجود ندارد و مقادیر همبستگی پیرسون بین داده‌های مدل شده و واقعی در سطح معنی داری ۰/۰۵ قابل قبول می‌باشند. بررسی شاخص‌های خطاسنجی (RMSE، MSE و MAE) نیز بیانگر آن است که مدل ریزمقیاس گردانی SDSM از کار آیی قابل قبولی جهت ریزمقیاس گردانی بارش در سطح منطقه مورد مطالعه

جدول ۲. متغیرهای مستقل مورد استفاده جهت کالیبره نمودن مدل به تفکیک ایستگاه‌های هواشناسی

نام ایستگاه	متغیرهای مستقل	نام ایستگاه	متغیرهای مستقل
بیجار	متوسط فشار در سطح دریا سرعت نصف‌النهاری در ۵۰۰ هکتوپاسکال رطوبت ویژه در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال	مهران	سرعت نصف‌النهاری سطحی واگرایی سطحی جهت باد در ۸۵۰ هکتوپاسکال واگرایی در ۸۵۰ هکتوپاسکال متوسط فشار در سطح دریا
دره شهر	متوسط فشار در سطح دریا واگرایی سطحی متوسط دما در ارتفاع دو متری	روانسر	واگرایی سطحی چرخندگی در ۸۵۰ هکتوپاسکال متوسط دما در ارتفاع دو متری متوسط فشار در سطح دریا
دهلران	متوسط فشار در سطح دریا جهت باد در ۵۰۰ هکتوپاسکال متوسط دما در ارتفاع دو متری	سقز	سرعت نصف‌النهاری سطحی ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال متوسط دما در ارتفاع دو متری
قروه	سرعت نصف‌النهاری سطحی واگرایی سطحی سرعت نصف‌النهاری در ۸۵۰ هکتوپاسکال چرخندگی در ۸۵۰ هکتوپاسکال متوسط فشار در سطح دریا	سندج	رطوبت ویژه سطحی متوسط دما در ارتفاع دو متری متوسط فشار در سطح دریا
ایلام	ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال متوسط دما در ارتفاع دو متری متوسط فشار در سطح دریا	سرا رود	چرخندگی در ۸۵۰ هکتوپاسکال متوسط دما در ارتفاع دو متری متوسط فشار در سطح دریا
اسلام آباد	ارتفاع ژئوپتانسیل ۸۵۰ هکتوپاسکال متوسط دما در ارتفاع دو متری متوسط فشار در سطح دریا	سرپل ذهاب	ارتفاع ژئوپتانسیل ۸۵۰ هکتوپاسکال متوسط دما در ارتفاع دو متری متوسط فشار در سطح دریا
کنگاور	سرعت نصف‌النهاری در ۸۵۰ هکتوپاسکال ارتفاع ژئوپتانسیل ۸۵۰ هکتوپاسکال متوسط دما در ارتفاع دو متری متوسط فشار در سطح دریا	تازه آباد	متوسط فشار در سطح دریا قدرت جریان سطحی رطوبت ویژه در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال
کرمانشاه	ارتفاع ژئوپتانسیل ۸۵۰ هکتوپاسکال متوسط دما در ارتفاع دو متری	زرینه اوباتو	سرعت نصف‌النهاری سطحی واگرایی سطحی سرعت نصف‌النهاری در ۸۵۰ هکتوپاسکال
مریوان	متوسط فشار در سطح دریا، سرعت نصف‌النهاری سطحی، ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال، متوسط دما در ارتفاع دو متری		

جدول ۳. ارزیابی عملکرد مدل SDSM در شبیه‌سازی بارش

نام ایستگاه	R ²	MAE	MSE	RMSE	نام ایستگاه	R ²	MAE	MSE	RMSE
بیجار	۰/۹۹	۵/۱۶	۳۷/۳	۶/۱۱	مهران	۰/۹۴	۴	۲۱/۸	۴/۸
دره شهر	۰/۹۹	۲/۰۳	۶/۹	۲/۶	روانسر	۰/۹۹	۲/۵	۹/۷	۳/۱
دهلران	۰/۹۹	۱/۳۲	۲/۸۸	۱/۷	سقز	۰/۹۹	۳/۸	۱۹/۷	۴/۴
قروه	۰/۹۹	۲/۷	۱۰/۶۴	۳/۲۶	سنندج	۰/۹۹	۰/۷	۰/۸۶	۰/۹۳
ایلام	۰/۹۹	۳/۱۸	۱۴/۲۲	۳/۷۲	سرا رود	۰/۹۹	۳/۹	۲۵/۷	۵/۱
اسلام‌آباد	۰/۹۹	۳/۲۸	۱۷/۷	۴/۲	سرپل ذهاب	۰/۹۹	۳/۴	۱۸/۷	۴/۳
کنگاور	۰/۹۷	۲/۳۳	۸/۵	۲/۹	تازه‌آباد	۰/۹۹	۳/۶	۱۸/۹	۴/۳۵
کرمانشاه	۰/۹۹	۲/۱	۵/۹۷	۲/۴۴	زرینه‌اوباتو	۰/۹۹	۴/۳۵	۲۷/۶	۵/۲۵
مریوان	۰/۹۹	۶/۶۵	۷۶	۸/۷					



شکل ۲. نمایش مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش توسط مدل در دوره پایه در ایستگاه‌های مطالعاتی

و مشخص‌گردید که مدل از توانایی قابل‌قبولی برخوردار است (شکل ۲).

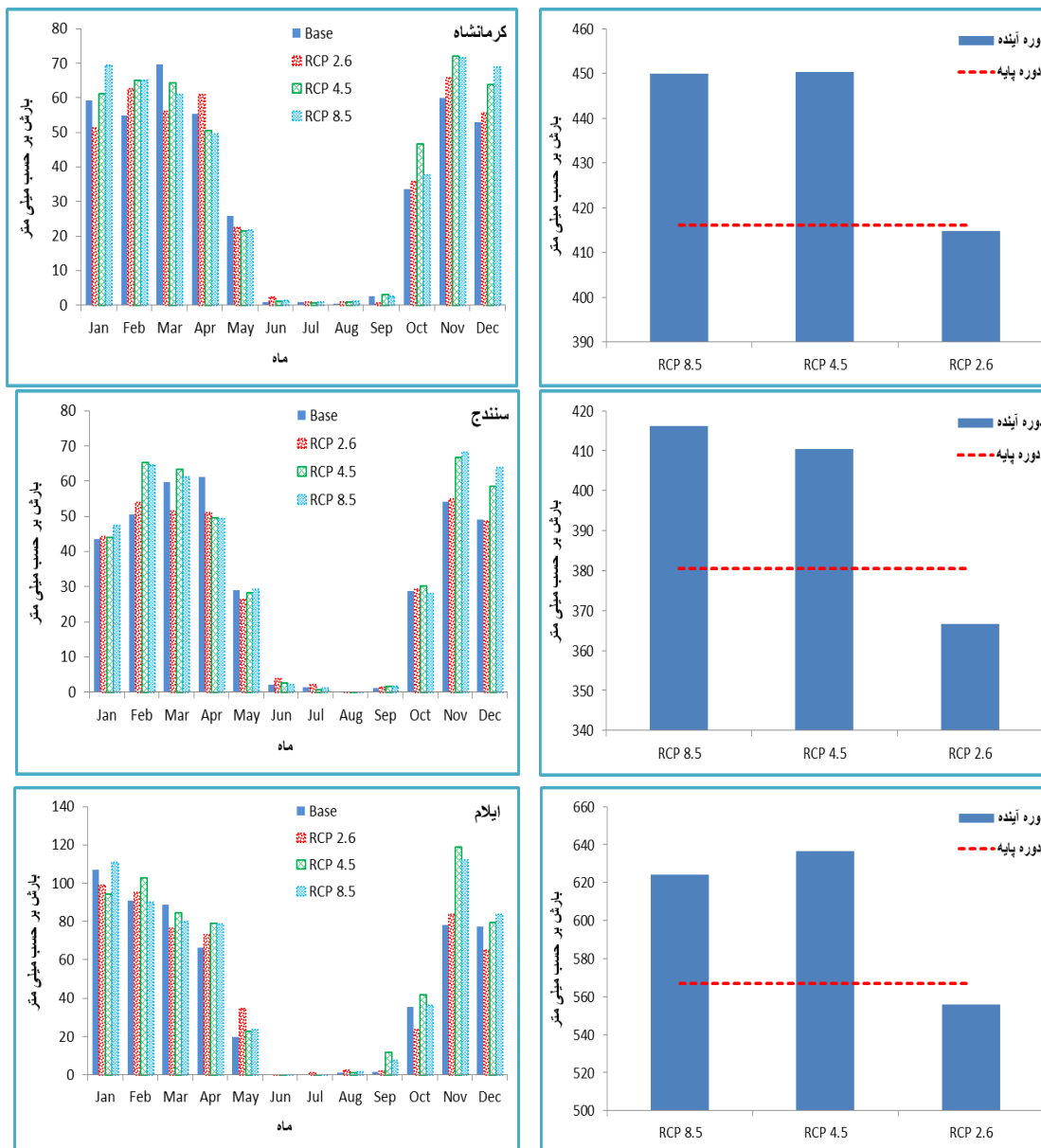
پس از ارزیابی مدل ریزمقیاس‌گردانی و اطمینان از مناسب بودن آن به بررسی داده‌های تولید شده مدل CanESM2 برای دوره آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۱) تحت سه سناریوی واداشت تابشی پرداخته شد. نتایج حاصل از بررسی ماهانه بارش در ایستگاه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد که بارش در دوره (۲۰۵۰-۲۰۲۱) در اکثر ایستگاه‌ها و بیشتر ماه‌های سال به ویژه ماه‌های اکتبر، نوامبر، دسامبر و در برخی ایستگاه‌ها حتی ماه‌های ژانویه، فوریه و آوریل نیز بر اساس سناریوهای RCP 4.5

برخوردار است. در بین ایستگاه‌های مورد بررسی نیز بیشترین خطای مدل مربوط به ایستگاه‌های مریوان و بیجار بود (جدول ۳).

جهت نمایش بهتر و اطمینان از صحت پیش‌بینی و همچنین بررسی عدم قطعیت به مقایسه مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی به صورت بلندمدت در طول دوره مورد بررسی در ایستگاه‌های مورد مطالعه پرداخته شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی در بیشتر ایستگاه‌ها اختلاف چندانی با یکدیگر ندارند و مدل در شبیه‌سازی بارش در منطقه مورد مطالعه تا حد زیادی موفق عمل نموده است

مورد مطالعه را نشان می دهد. بر اساس نتایج حاصل و سناریوهای مورد بررسی در بیشتر ایستگاه ها میزان بارش در مقایسه با دوره پایه افزایش خواهد یافت. بیشترین و کمترین تغییرات نیز به ترتیب بر اساس سناریوهای RCP 2.6 و RCP 8.5 پیش بینی شده است و در برخی ایستگاه های حتی بر اساس RCP 2.6 میزان بارش نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت که ناشی از ویژگی هایی

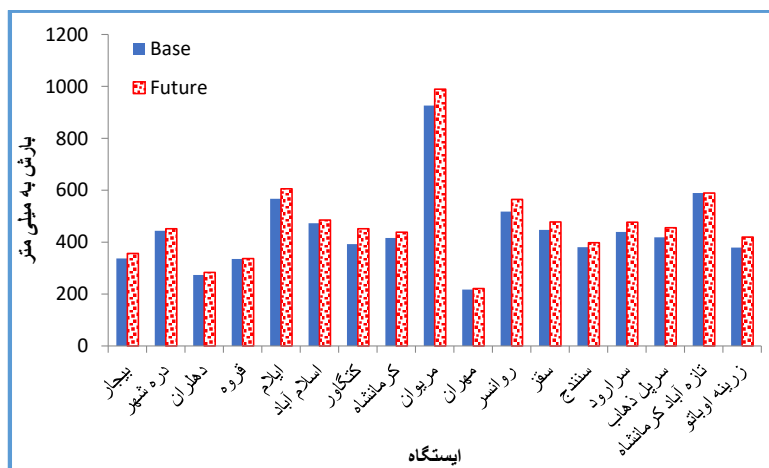
و RCP 8.5 نسبت به دوره پایه افزایش داشته است و انتظار می رود که بارش در ۳۰ سال دوره (۲۰۲۱-۲۰۵۰) افزایش داشته باشد. بر این اساس می توان اظهار داشت پیش نگر بارش در فصول سرد سال افزایش و در فصول گرم سال کاهش را نشان می دهد (شکل ۳).
جدول (۴) میزان بارش طی دوره آماری پایه و آینده به تفکیک سناریوهای مورد بررسی در ایستگاه های



شکل ۳. وضعیت تغییرات ماهانه و سالانه بارش بر اساس مدل SDSM در دوره آینده نسبت به دوره پایه

جدول ۴. تغییرات بارش در دوره آینده نسبت به دوره پایه بر اساس سناریوهای مختلف

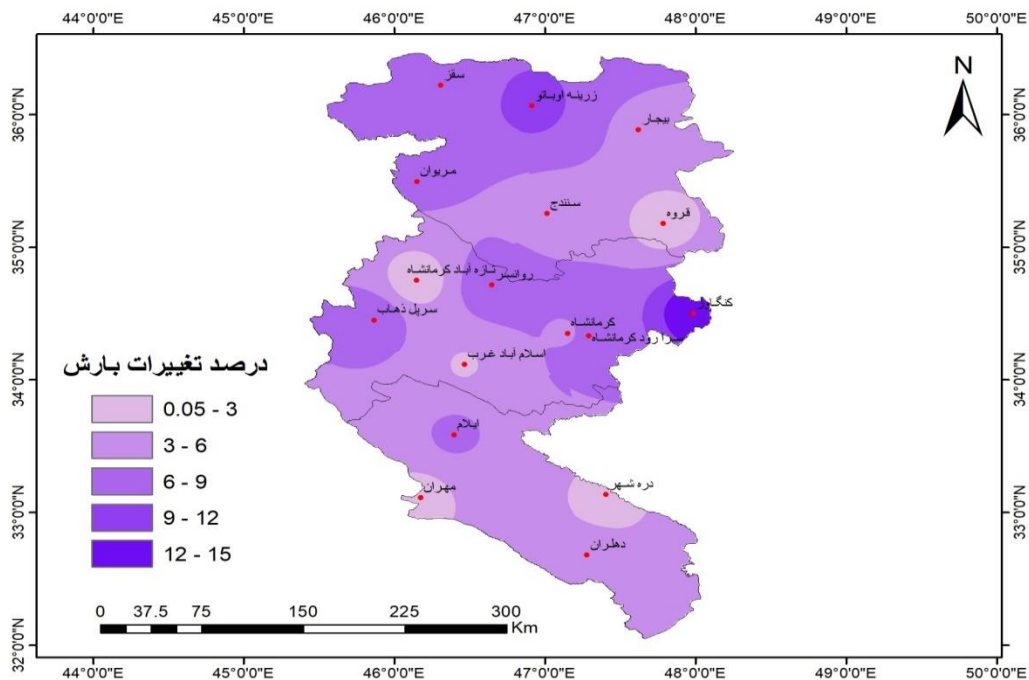
ردیف	ایستگاه	دوره پایه	دوره آینده		
			RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 2.6
۱	بیجار	۳۳۷	۳۷۰/۹	۳۸۰/۶	۳۱۷
۲	دره شهر	۴۴۳/۶	۴۶۷/۵	۴۸۹/۹	۳۹۷/۷
۳	دهلران	۲۷۳/۵	۲۹۳/۳	۲۸۶/۵	۲۷۰/۱
۴	قروه	۳۳۵/۳	۳۴۲/۷	۳۶۲/۲	۳۰۵/۴
۵	ایلام	۵۶۷	۶۳۶/۵	۶۲۴/۲	۵۵۵/۸
۶	اسلام آباد	۴۷۳	۵۲۶/۷	۵۱۴/۳	۴۱۵/۱
۷	کنگاور	۳۹۲/۴	۴۷۹	۴۸۲/۲	۳۹۳/۷
۸	کرمانشاه	۴۱۶/۱	۴۵۰/۴	۴۴۹/۹	۴۱۴/۸
۹	مریوان	۹۲۶/۳	۱۰۲۰/۷	۱۰۳۱/۹	۹۱۶
۱۰	مهران	۲۱۷/۳	۲۲۲/۹	۲۲۳/۴	۲۱۷/۴
۱۱	روانسر	۵۱۷/۹	۵۹۲/۵	۵۸۲/۹	۵۱۹
۱۲	سقز	۴۴۷/۱	۴۸۳/۷	۵۰۵/۶	۴۴۴/۳
۱۳	سنندج	۳۸۰/۵	۴۱۰/۵	۴۱۶/۱	۳۶۶/۶
۱۴	سرارود	۴۳۹/۲	۵۰۸/۴	۴۹۳/۳	۴۲۹
۱۵	سرپل ذهاب	۴۱۸/۷	۴۸۰/۹	۴۷۳/۹	۴۱۱/۴
۱۶	تازه آباد کرمانشاه	۵۸۹/۱	۶۰۰/۴	۵۹۱/۴	۵۷۶/۳
۱۷	زرینه اوبانو	۳۷۸/۹	۴۴۱/۶	۴۲۶/۸	۳۹۰/۲



شکل ۴. متوسط بلندمدت بارش در دوره پایه و آینده بر اساس مدل CanESM2

افزایش بارش نیز مربوط به ایستگاه کنگاور به میزان ۱۵ درصد (۵۹ میلی متر) نسبت به دوره پایه و کمترین میزان مربوط به ایستگاه تازه آباد با ۰/۰۵ درصد (۰/۳ میلی متر) و ایستگاه قروه با ۰/۴۳ درصد (۱/۵ میلی متر) نسبت به دوره پایه است (شکل ۴).

است که هر کدام از این سناریوها به نمایش می‌گذارند. بررسی متوسط بلندمدت بارش در دوره پایه و آینده بر اساس متوسط سناریوهای مورد بررسی نشان می‌دهد که میزان بارش در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. بیشترین میزان



شکل ۵. پهنه بندی درصد تغییرات بارش در منطقه مورد مطالعه در دوره آبی نسبت به دوره پایه

جدول ۵. مقایسه بین داده پیش نگری و مشاهداتی بر اساس آزمون T

سطح معنی داری	درجه آزادی	آماره T	فاصله اطمینان ۹۵ درصد		میانگین خطای انحراف استاندارد	انحراف استاندارد	میانگین
			حد بالا	حد پایین			
۰/۰۰۰	۱۶	۵/۵۱	۳۶/۵	۱۶/۲	۴/۸	۱۹/۷	۲۶/۴

جمع بندی

بارش اصلی ترین جزء چرخه هیدرولوژی است که در بسیاری از مطالعات از جمله طراحی و مدیریت سیستم های آبیاری، عملکرد محصولات کشاورزی، طرح های آبیاری و زهکشی، مطالعات زیست محیطی مقابله با سیل و خشکسالی و غیره از اهمیت زیادی برخوردار است. لذا با توجه به اهمیت این موضوع در این پژوهش به پیش نگری تغییرات بارش در منطقه کوهستانی غرب کشور با استفاده از مدل جهانی CanESM2 تحت سه سناریوی واداشت تابشی با کاربست مدل ریزمقیاس گردانی آماری SDSM در دوره زمانی (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۸-۱۹۸۹) پرداخته شد. نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل ریزمقیاس گردانی مورد

در مجموع بر اساس نتایج حاصل، میزان بارش در دوره (۲۰۲۱-۲۰۵۰) در سطح منطقه مورد مطالعه افزایش خواهد یافت که این میزان بین ۰/۰۵ تا ۱۵ درصد به طور متوسط در سطح منطقه مورد مطالعه است. بیشترین تغییرات مربوط به نواحی شمالی و تا حدودی شرقی منطقه مورد مطالعه و کمترین تغییرات افزایشی مربوط به نواحی جنوبی منطقه مورد مطالعه است که می تواند ناشی از ویژگی های اقلیمی و توپوگرافی مناطق مذکور باشد (شکل ۵).

معنی داری تغییرات بارش در دوره آینده نسبت به دوره پایه بر اساس آزمون T مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاکی از معنی دار بودن تغییرات بارش در سطح ۰/۰۱ در منطقه مورد مطالعه است (جدول ۵).

بررسی با استفاده از شاخص‌های خطاسنجی مختلف نشان داد که این مدل در منطقه مورد مطالعه و بیشتر ماه‌های سال از دقت کافی جهت شبیه‌سازی بارش برخوردار است. نتایج حاصل از پیش‌نگری تغییرات بارش نیز نشان داد که بارش در فصول سرد و مرطوب سال افزایش و در فصول گرم و خشک کاهش می‌یابد ولی میزان بارش در دوره آینده در سطح منطقه مورد مطالعه افزایش خواهد یافت که این میزان به طور متوسط در منطقه مورد مطالعه بین ۰/۵ تا ۱۵ درصد خواهد بود که بیشترین تغییرات آن نیز مربوط به نواحی شمالی و شرقی منطقه مورد مطالعه است. نتایج حاصل از این پژوهش با مطالعات لیونگ تان و همکاران (۲۰۱۷) در مالزی، پتان و ویکر (۲۰۲۰) در هندوستان، مالمیر و همکاران (۱۳۹۵) در حوضه آبخیز قره سو، نادری و همکاران (۱۳۹۶) در حوضه آبخیز سیمیره و گودرزی و همکاران (۱۳۹۷) در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه مبنی بر دقت مدل SDSM در بررسی تغییرات اقلیمی و همچنین تغییرات بارش به ویژه افزایش بارش در مناطق مورد مطالعه مطابقت دارد. از نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آبی و طبیعی، کشاورزی، انرژی و همچنین مقابله با سیلاب و خشکسالی استفاده نمود.

مراجع

- احمدزاده، ف.، ۱۳۸۴، تعیین مدل ریاضی توزیع زمانی بارش‌های تبریز و آنالیز فواصل زمانی وقوع و ارتفاع بارش‌های از طریق تطبیق سری‌های زمانی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
- جهانبخش، س.، موحد دانش، ع.ا. و مولوی، و.، ۱۳۸۰، تحلیل مدل‌های برآورد تبخیر-تعرق برای ایستگاه هواشناسی تبریز، م. دانش کشاورزی، ۲، ۵۱-۶۵.
- صداقت‌کردار، ع. و فتاحی، ا.، ۱۳۸۷، شاخص‌های پیش‌آگاهی خشک‌سالی در ایران، م. جغرافیا و توسعه، ۱۱، ۵۹-۷۶.
- صمدی، س. ز. و مساح‌بوانی، ع.، ۱۳۸۷، معرفی روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و SDSM به منظور کوچک‌مقیاس کردن آماری داده‌های دما و بارندگی، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز، ۹ ص.
- کارآموز، م.، رمضانی، ف. و رضوی، س.، ۱۳۸۵، پیش‌بینی بلندمدت بارش با استفاده از سیگنال‌های هواشناسی: کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی، هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، تهران، ۱۱ ص.
- کمال، ع. و مساح‌بوانی، ع.، ۱۳۸۹، تأثیر تغییر و نوسانات اقلیمی بر رواناب حوضه با دخالت عدم قطعیت دو مدل هیدرولوژی، م. آب و خاک، ۵، ۹۳۱-۹۲۰.
- گودرزی، م.، صلاحی، ب. و حسینی، س.ا.، ۱۳۹۴، ارزیابی عملکرد مدل‌های ریزمقیاس گردانی LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، م. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۳۱، ۲۲-۱۱.
- گودرزی، م.، حسینی، س.ا. و مسگری، ا.، ۱۳۹۵، مدل‌های آب و هواشناسی، انتشارات آذرکلک، زنجان-ایران.
- گودرزی، م. و حسینی، س.ا.، ۱۳۹۶، پیش‌بینی تغییرات بلندمدت بارش در شهرستان سقز با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو، ششمین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبخیز باران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر، ۱۱ ص.
- گودرزی، م.، صلاحی، ب. و حسینی، س.ا.، ۱۳۹۷، چشم‌انداز آتی تغییرات دما و بارش با استفاده از مدل ریزگردانی آماری (مطالعه موردی: حوضه آبخیز دریاچه ارومیه)، م. فضای جغرافیایی، ۶۴، ۴۱-۶۰.
- مالمیر، م.، محمدرضایپور، ا.، شریف‌آذری، س. و قندهاری، ق.، ۱۳۹۵، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه قره سو با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل HadCM3 و شبکه عصبی پویا، م. حفاظت آب و خاک، ۳، ۳۲۶-۳۱۷.
- نادری، س.، گودرزی، م. و قدمی‌دهنو، م.، ۱۳۹۶، اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی در حوضه سیمیره، م. علوم و مهندسی آبخیزداری، ۳۹، ۷۶-۶۹.
- Banze, F., Gue, J. and Xiaotao, Sh. 2018. Impact of Climate Change on Precipitation in Zambeze River Basin in Southern Africa. *Nature Environment and Pollution Technology*, 4. 1093-1103.
- Fowler, H J., Blenkinsop, S. and Tebaldi, C. 2007. Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling. *International Journal of Climatology*, 27. 1547-1578.
- Hardy, J.T. 2003. *Climate Change: Causes, Effects, and Solutions*. John Wiley & Sons, Ltd. 247 P.
- Hu, T.S., Lam, K.C. and Ng, S.T. 2001. River flow time series prediction with a range dependent neural network. *Hydrological Science Journal*, 46. 729-745.
- Hyun Cha, D., Kyou Lee, D., Chun-Sil Jin., Gayoung Kim., Yonghan Choi., Myoung-Seok Suh., Joong-Bae Ahn., Song-You Hong., Seung-Ki Min., Seong-Chan Park. and Hyun-Suk Kang. 2016. Future changes in summer precipitation in regional climate simulations over the Korean Peninsula forced by multi-RCP scenarios of HadGEM2-AO, *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 52. 139-149.
- Lane, M. E. Kirshen, P. H. and Vogel, R. M. 1999. Indicators of impact of global climate change on U.S. water resources. *ASCE, J. Water Resour. Planning and Manag.* 125. 194-204.
- Leong Tan, M., Latifbrahim, AB., Yusop, Z., Chua, V. and WengChan, N. 2017. Climate change impacts under CMIP5 RCP scenarios on water resources of the Kelantan River Basin, Malaysia, *Atmospheric Research*, 189. 1-10.
- Lin, J.Y., Cheng, C.T. and Chau, K.W. 2006. Using support vector machines for long-term discharge

- Thailand. Hydrol. Earth Syst. Sci., **11**. 1373-1390.
- Tatsumi, K., Oizumi, T. and Yamashiki, Y. 2013. Introduction of daily minimum and maximum temperature change signals in the Shikoku region using the statistical downscaling method by GCMs. Hydrological Research Letters, **3**. 48-53.
- Wigley, T. W. L., Jones, P. D., Briffa, K. R. and Smith, G. 1990. Obtaining sub-grid scale information from coarse resolution general circulation model output, Journal of Geophysics Research. **951**. 1943-1953.
- Wilby, R..L., Dawson C.W. and Barrow, E.M.. 2002. SDSM - a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts .Environmental Modelling & Software, **17**.147-159.
- Wilby, R.L. and Harris, I. 2006. A frame work for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK. Water Resour Reserch, **42**:10 p.
- prediction. Hydrological Science Journal, **51**. 599-612.
- Panol, T.J. and Loret, F. 1998. Climatic warning hazard and wildfire occurrence in coastal eastern Spain, Climate Change, **38**. 345-357.
- Pathan, A. and Waikar, M. 2020. Future Assessment of Precipitation and Temperature for Developing Urban Catchment Under Impact of Climate Change, International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), **5**. 3396-3404.
- Sarkar, J., Chicholikar, J. R. and Rathore, L. S. 2015. Predicting Future Changes in Temperature and Precipitation in Arid Climate of Kutch, Gujarat: Analyses Based on LARS-WG Model, research article, Current science, **109**. 2084-2093.
- Sharma, D., Gupta, A. D. and Babel, M. S. 2007. Spatial disaggregation of bias-corrected GCM precipitation for improved hydrologic simulation: Ping River Basin,

Future of Precipitation projection in West of Iran using SDSM Downscaling under RCP Scenarios

Mohammad Lotfi¹, Gholam Ali Kamali^{2*}, Amir Hussain Meshkatee³, Vahid Varshavian⁴

¹ PhD student in Agro meteorology, Department of Earth Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Associate Professor of Agro meteorology, Department of Earth Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

³ Associate Professor of Meteorology, Department of Earth Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

⁴ Assistant Professor of Water Science and Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

*Corresponding Author Email: a.kamali@srbiau.ac.ir

Received: 24 November 2019, accepted: 10 March 2020

ABSTRACT

It is important to projection of precipitation changes to know how much it will change in the future and to consider the necessary measures to mitigate the adverse effects of climate change. Therefore, in this study, precipitation changes in the west of the Iran were projected. For this purpose, the data of CanESM2 model were used under three scenarios of RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 using the SDSM downscaling model and was investigated the changes of precipitation in the period (2021-2050) compared to the basic period (1989-2018). The MAE, MSE, RMSE and R2 indicators were also used to ensure the calibration and validation of the SDSM model. The results indicate the appropriate accuracy of this model in the study area. The results of a monthly survey of precipitation at the study station showed that precipitation will increase during the period (2021-2050) in most areas from October to December, and in some areas in addition to January to April. Based on this, it is expected that the amount of precipitation in the next period compared to the basic period will increase between 0.05 and 15% on average in the study area. These changes are also significant compared to the base period. Most of the changes are related to the northern and eastern areas of the study area and the least changes are related to the southern areas of the study area. Also, the highest and lowest changes are projected based on RCP8.5 and RCP2.6 scenarios. Due to the complexity of the precipitation process, there are always uncertainties in the field of precipitation forecasting, and it is necessary to use the results of the models in this field with caution and to increase the accuracy of forecasting from different GCM models and microscale methods. Different used. Also, considering the increase and intensity of rainfall and mountainousness of the study area, the necessary strategies to deal with floods and its management should be considered.

Keywords: Precipitation, Projection, Climate change, West of Iran, SDSM, RCP

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Lotfi, M.; Kamali, Gh. A.; Meshkatee, A.H.; Varshavian, V. (2020). Future of Precipitation projection in West of Iran using SDSM Downscaling under RCP Scenarios. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 3(1): 33-44

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

