

چشم انداز تغییرات اقلیمی در غرب ایران بر اساس سناریوهای واداشت تابشی و ریزمقیاس گردانی مدل آماری SDSM

حسن زهره وندی^۱

دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

علی محمد خورشیددوست

استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

بهروز ساری صراف

استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۸ / ۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹ / ۱۰ / ۲۱

چکیده

چشم‌انداز تغییرات اقلیمی آینده جهت اطلاع از میزان تغییرات و ارائه راهکارهای لازم جهت سازگاری با شرایط جدید از اهمیت زیادی برخوردار است. لذا در این پژوهش به بررسی چشم‌انداز تغییرات دما و بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در غرب کشور پرداخته شد. بدین منظور از داده‌های مدل جهانی CanESM2 تحت سناریوی واداشت تابشی (RCP 4.5، RCP 2.6) و RCP 8.5 و مدل ریزمقیاس گردانی آماری SDSM بهره گرفته شد و تغییرات ماهانه و بلندمدت آن در دو دوره زمانی مختلف (۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۶۱) مورد بررسی قرار گرفت. جهت اطمینان از کالیبراسیون و صحت-سنجی مدل SDSM از معیارهای MAE، MSE، RMSE، R^2 و نمودارهای مقایسه‌ای استفاده شد. نتایج حاصل از بررسی معیارهای مختلف حاکی از کار آیی مناسب این مدل برای منطقه مورد مطالعه است. نتایج حاصل از چشم‌انداز مدل نیز نشان داد که در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ میزان بارش در بیشتر ایستگاه‌ها (به جز سرپل ذهاب) و بیشتر ماه‌های سال نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. ولی در دوره (۲۰۸۰-۲۰۹۹) در همه ایستگاه‌ها، میزان بارش نسبت به دوره پایه کاهش پیدا خواهد کرد. از نظر دمای حداقل و حداکثر نیز در همه دوره‌ها و در هر دوره نسبت به دوره قبل میزان دما نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. بر اساس متوسط بلند مدت نیز انتظار می‌رود در منطقه مورد مطالعه میزان بارش به میزان ۶ درصد کاهش و دمای حداقل و حداکثر به ترتیب به میزان ۲ و ۱/۹ سلسیوس نسبت به دوره پایه افزایش یابد.

کلمات کلیدی: بارش، تغییر اقلیم، دما، RCP، SDSM

مقدمه

ایران کشوری است که به لحاظ اقلیمی جزو کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب شده، به طوری که متوسط بارندگی سالانه‌ی آن حدود یک سوم متوسط بارندگی خشکی‌ها و کمتر از یک سوم متوسط بارندگی کره‌ی زمین است و از سوی دیگر میزان تبخیر آن، حدود سه برابر تبخیر خشکی‌های زمین می‌باشد (جهانبخش و همکاران، ۱۳۸۰: ۵۲). بنابراین با توجه به اهمیت دما و بارش لازم است این پارامترها در مناطق مختلف برآورد شوند. در بین عناصر اقلیمی، دما و بارش به دلیل تأثیر گسترده بر سایر عوامل و به خصوص تأثیراتی که بر فعالیت‌های انسان‌ها دارند از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد به طوری که تقریباً بیشترین نمود تغییرات اقلیمی در سطح کره زمین بر روی این دو پارامتر متمرکز شده است (طباطبایی و حسینی، ۱۳۸۲: ۲). مدل‌های جهانی اقلیم (GCM) مهم‌ترین مدل‌های مزدوج عددی و ابزارهای قدرتمندی در ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم هستند که سیستم‌های مختلف اتمسفر، اقیانوس، سطح زمین و یخ - دریا را شبیه‌سازی نموده و به نمایش می‌گذارند (فولر و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۵۴۸). خروجی این مدل‌ها به دلیل بزرگ مقیاس بودن دارای دقت مکانی پایینی است. لذا برای افزایش دقت مکانی آن‌ها از روش‌های ریزمقیاس گردانی استفاده می‌شود. مدل $SDSM^1$ یکی از پرکاربردترین ابزارهای آماری ریزمقیاس گردانی می‌باشد که کاربرد بسیاری در مطالعات هواشناسی، هیدرولوژیکی، جغرافیایی و محیط زیستی دارد (ویلی و هاریس، ۲۰۰۶: ۲). زیرا در این روش از الگوهای گردش روزانه بزرگ مقیاس در مقیاس ایستگاهی استفاده می‌شود و در مواقعی که نیاز به برآورد سریع و کم‌هزینه از تغییرات اقلیمی باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد و در مورد مولدهای هواشناسی تصادفی و روش‌های توابع تغییر شکل یافته نتایج قابل قبولی ارائه داده است (صمدی و مساح‌بوانی، ۱۳۸۷: ۴). در این راستا هاشمی و همکاران (۲۰۱۰) به مقایسه دو مدل $LARS-WG$ و $SDSM$ برای شبیه‌سازی بارش‌های شدید در حوضه کلوتا در نیوزلند پرداختند. نتایج نشان داد که هر دو مدل توانایی‌های مشابه و خوبی دارند و قابل استفاده برای پیش‌بینی‌های اقلیمی می‌باشند. گودرزی و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی تغییرات آب و هوایی با استفاده از روش ریزمقیاس گردانی آماری $SDSM$ و مدل جهانی $HadCM3$ تحت سناریوهای $A2$ و $B2$ در کرمانشاه پرداختند. نتایج نشان داد که ابزار $SDSM$ قادر به نشان دادن بهتر شبیه‌سازی حداقل و حداکثر درجه حرارت است در حالی که برای شبیه‌سازی بارش کمی پایین‌تر تخمین می‌زند اما هنوز با توجه به ابزارهای آماری نتایج آن قابل قبول است. چن و همکاران (۲۰۱۲) به مقایسه و ارزیابی مدل‌های ریزمقیاس گردانی آماری $SDSM$ و $SSVM^2$ در مطالعه تغییرات آب و هوایی در کشور چین پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که مدل $SDSM$ عملکردی بهتر از $SSVM$ دارد. چیما و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی عملکرد مدل $SDSM$ در برونداد داده‌های دمای حداقل در کشور پاکستان پرداختند. نتایج نشان داد که تطابق خوبی بین داده‌های واقعی و مدل شده توسط $SDSM$ وجود دارد. جوو و همکاران (۲۰۱۴) به تأثیرات تغییرات اقلیمی در آینده بر اکو هیدرولوژی حوضه‌ی رودخانه‌ی جیوشو^۳ در کشور

1- Statistical Down Scaling Model
2- Smooth Support Vector Machine
3- Guishui

چین با استفاده ریزمقیاس گردانی SDSM پرداختند. نتایج نشان داد که درجه حرارت حداقل و حداکثر روزانه در ۹۰ سال آینده دارای روند افزایشی است. ژانگ و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر جریان رودخانه‌ای در حوضه رودخانه کین^۱ در کشور چین تحت سناریوهای واداشت تابشی با استفاده از مدل ریزمقیاس گردانی SDSM و مدل‌های جهانی CanESM2.1 و CC-CSM1.1 و NorESM1-M پرداختند. نتایج نشان داد که به طور متوسط سناریوهای مورد بررسی، جریان رودخانه‌ای از ماه می تا ماه ژوئن کاهش و از ماه اوت تا ماه سپتامبر نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. مدالا و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از مدل‌های مختلف GCM به پیش بینی تغییر اقلیم در تگزاس پرداختند. نتایج نشان داد که تا سال ۲۰۷۰ روزهای یخبندان ۱۷/۹ تا ۳۰ درصد در کل منطقه کاهش می‌یابد. حمیدیان‌پور و همکاران (۱۳۹۲) به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه بار و طاقان نیشابور تحت دو سناریوی A2 و B2 و روش ریزمقیاس گردانی آماری مدل SDSM پرداختند. نتایج حاکی از افزایش دما و کاهش بارندگی تحت سناریوهای مورد بررسی در مقایسه با دوره پایه می‌باشد. قرمزچشمه و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی اثر عوامل مورفو-اقلیمی بر دقت ریزمقیاس گردانی مدل SDSM در هشت ایستگاه سینوپتیک واقع در شمال غرب کشور پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که شبیه‌سازی دما با دقت مناسب‌تری انجام گرفته است. دشت‌بزرگی و همکاران (۱۳۹۴) به شبیه‌سازی شاخص‌های حادی دما بر اساس سناریوهای RCP^۲ در استان خوزستان پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص‌های دمایی دوره سرد روند کاهشی و شاخص‌های دمایی دوره گرم روند افزایشی دارند. ساری صراف و همکاران (۱۳۹۴) اثرات گرمایش جهانی بر اقلیم شهرهای واقع در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از دو روش من‌کنندال و حداقل مربعات خطا پرداختند. نتایج نشان داد که در منطقه، دمای حداقل، حداکثر و متوسط هم در مقیاس سالانه و هم در مقیاس فصلی روند افزایشی را تجربه کرده است. جهانبخش و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش حوضه شهر چای ارومیه پرداختند. نتایج نشان داد که بارش دوره‌ی آتی ۹ میلی‌متر کاهش و دمای حداقل ۱/۰۵ و دمای حداکثر ۰/۸۷ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. مالمیر و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از مدل SDSM به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای دما و بارش در حوضه‌ی آبریز قره‌سو پرداختند. نتایج نشان دهنده افزایش دما و کاهش بارندگی در دوره آینده نسبت به دوره پایه بوده است. نادری و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از مدل SDSM به بررسی اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی در حوضه سیمره پرداختند نتایج حاصل افزایش دما و کاهش بارش در حوضه مورد بررسی را نشان داد. ساری صراف و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از مدل WRF-CHEM به شبیه‌سازی واداشت‌های تابشی گردوغبار در غرب ایران پرداختند. نتایج نشان داد که ذرات گردوغبار باعث کاهش تابش موج کوتاه، افزایش تابش موج بلند و همچنین کاهش تابش خالص در سطح زمین در متوسط منطقه می‌شود. لذا با توجه به اهمیت تغییرات اقلیمی، در این پژوهش به چشم اندازه تغییرات اقلیمی در غرب کشور در دو دوره زمانی مختلف (۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰) با استفاده از روش

1- Xin River Basin

2- Representative Concentration Pathways

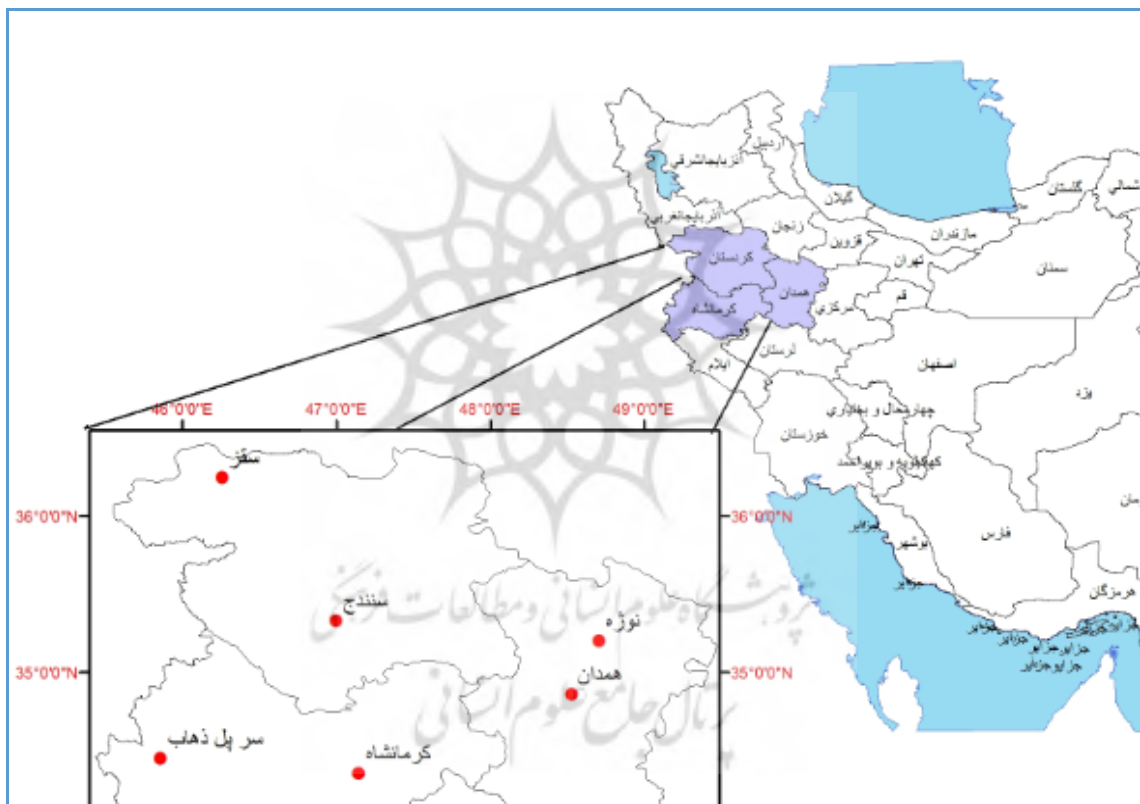
ریز مقیاس گردانی آماری SDSM و خروجی مدل جهانی CanESM2 تحت سناریوهای واداشت تابشی (RCP) پرداخته می‌شود.

در این پژوهش داده‌های دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش ایستگاه‌های منتخب، داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی کانادا (NCEP) و داده‌های مدل جهانی CanESM2 تحت سه سناریوی واداشت تابشی (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 8.5) مورد استفاده قرار گرفت. سناریوهای مذکور تفاوت بین انرژی تابشی دریافتی از خورشید و انرژی بازگشتی به جو توسط زمین می‌باشد. واداشت مثبت موجب افزایش و واداشت منفی موجب کاهش دمای سیستم زمین می‌گردد (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷). از مدل SDSM نیز جهت ریزمقیاس گردانی داده‌های مدل جهانی CanESM2 استفاده شده 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 شبکه‌بندی شده است که دارای شبکه‌ای با ابعاد ۱ در ۱ درجه طول و عرض جغرافیایی می‌باشد. مدل SDSM نیز یک روش نمونه‌برداری مجدد شرطی و دو مرحله‌ای جهت ریزمقیاس گردانی است (ویلیبی و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۸۳). این روش ابتدا متغیر پیش‌بینی کننده (مانند دما و بارش) را با استفاده از روش‌های رگرسیونی ترکیبی و یک روش مولد هواشناسی تصادفی، کوچک مقیاس کرده و در مرحله بعد در محل ایستگاه مجدداً تولید می‌گردد (تاتسومی، ۲۰۱۳: ۴۸). در واقع SDSM ترکیبی از روش مولد هواشناسی آماری و توابع تغییر شکل یافته است. در این پژوهش از آخرین نسخه آن یعنی ۵/۲ استفاده شده است. برای کالیبره کردن با استفاده از مدل ریزمقیاس گردانی آماری SDSM، از داده‌های دما و بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه و داده‌های NCEP در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۶۱) استفاده خواهد شد که از سایت تغییر اقلیم کانادا دریافت می‌گردد. متغیرهای NCEP شامل ۲۶ متغیر اتمسفری می‌باشند؛ که از بین آن‌ها متغیرهای مناسب انتخاب می‌شوند. این انتخاب از طریق ضریب همبستگی انجام می‌شود. داده‌های مدل مذکور به صورت آنومالی هستند که نسبت به دوره (۲۰۰۵-۱۹۶۱) آنومالی آنها محاسبه شده است. داده‌های تاریخی مدل تا سال ۲۰۰۵ با بکارگیری داده‌های بازتحلیل NCEP برای واسنجی و طراحی روابط ریزمقیاس گردانی مورد استفاده قرار می‌گیرند و داده‌های سال ۲۰۰۶ تا ۲۱۰۰ نیز برای برآورد چشم انداز تغییرات اقلیمی دهه‌های آتی مورد استفاده قرار می‌گیرند که برای این کار از مدل CanESM2 تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد. در واقع برای انتخاب پیش‌بینی کننده‌ها، نرم‌افزار SDSM بین سری مشاهداتی روزانه منطقه و متغیرهای بزرگ مقیاس مشاهداتی منطقه (NCEP) رابطه‌ای با حداکثر ضریب همبستگی برقرار نموده و سپس با استفاده از پارامترهای به دست آمده از این رابطه، با به‌کارگیری متغیرهای بزرگ مقیاس حاصل از مدل CanESM2 و سناریوهای مختلف در دوره آتی، سری زمانی پارامتر مورد نظر را در منطقه تولید می‌کند. پس از انتخاب بهترین پیش‌بینی کننده‌ها از مجموعه NCEP عملیات پیش‌بینی دما و بارش برای دوره‌های مختلف (۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰) صورت می‌گیرد. پس از تولید داده‌های روزانه برای دوره‌های مذکور، از خروجی‌های بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر مدل 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 دما و بارش مربوط به هر کدام از ایستگاه‌ها ترسیم و تحلیل می‌گردد. جهت ارزیابی و تحلیل مدل ریزمقیاس گردانی SDSM در منطقه مورد مطالعه نیز از معیارهای MAE، MSE، RMSE و R^2 استفاده شد.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شامل سه استان کردستان، کرمانشاه و همدان در غرب کشور می‌باشد جهت بررسی از داده‌های مشاهداتی دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش ۶ ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در سطح منطقه مورد بررسی در دوره آماری پایه ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ میلادی استفاده شد. موقعیت منطقه مطالعاتی و ایستگاه‌های مورد بررسی در شکل (۱) و همچنین مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی در جدول (۱) آورده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها و منطقه مورد مطالعه در غرب کشور

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع
سنندج	سینوپتیک	۳۵/۲	۴۷/۰۰	۱۳۷۳/۴
سنز	سینوپتیک	۳۶/۱۵	۴۶/۱۶	۱۵۲۲/۸
همدان	سینوپتیک	۳۴/۵۲	۴۸/۳۲	۱۷۴۱/۵
نوژه	سینوپتیک	۳۵/۱۲	۴۸/۴۳	۱۶۷۹/۷
کرمانشاه	سینوپتیک	۳۲/۲۱	۴۷/۰۹	۱۳۱۸/۶
سرپل ذهاب	سینوپتیک	۳۴/۲۷	۴۵/۵۲	۵۴۵

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

یافته‌های پژوهش

در مدل ریزمقیاس گردانی 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 متوسط فشار در سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت نسبی سطحی و متوسط دما در ارتفاع دو متری بیشترین ارتباط را با پارامترهای مورد بررسی در منطقه مطالعاتی دارند. بر اساس نتایج حاصل، متغیر مستقل متوسط دما در ارتفاع دو متری سطح زمین بالاترین ضریب را با دمای حداقل و حداکثر و متغیر رطوبت نسبی سطحی و ویژه در سطوح مختلف بیشترین ارتباط را با بارش در منطقه مورد بررسی دارند (جدول ۲).

جدول ۲- متغیرهای مستقل مورد استفاده جهت کالیبره نمودن مدل به تفکیک پارامتر اقلیمی و ایستگاه

ایستگاه	دمای حداکثر	دمای حداقل	بارش
همدان	ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال	ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال	ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال
	رطوبت ویژه سطحی	رطوبت ویژه سطحی	و آگرایی در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال
	متوسط دما در ارتفاع دو متری	متوسط دما در ارتفاع دو متری	رطوبت ویژه در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال رطوبت ویژه سطحی
کرمانشاه	متوسط فشار در سطح دریا	متوسط فشار در سطح دریا	سرعت نصف‌النهاری در ۵۰۰ هکتوپاسکال
	ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال	رطوبت ویژه در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال	چرخندگی در ۸۵۰ هکتوپاسکال
	متوسط دما در ارتفاع دو متری	متوسط دما در ارتفاع دو متری	رطوبت نسبی سطحی
نوزه	ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال	ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال	سرعت نصف‌النهاری در ۵۰۰ هکتوپاسکال
	رطوبت ویژه سطحی	رطوبت ویژه در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال	رطوبت ویژه در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال
	متوسط دما در ارتفاع دو متری	متوسط دما در ارتفاع دو متری	رطوبت نسبی نزدیک سطحی
سقز	ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال	ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال	متوسط فشار در سطح دریا
	رطوبت ویژه سطحی	رطوبت ویژه در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال	سرعت نصف‌النهاری در ۵۰۰ هکتوپاسکال
	متوسط دما در ارتفاع دو متری	متوسط دما در ارتفاع دو متری	رطوبت نسبی نزدیک سطح
سنندج	ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال	ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال	سرعت نصف‌النهاری در ۵۰۰ هکتوپاسکال
	رطوبت ویژه سطحی	رطوبت ویژه سطحی	ارتفاع ژئوپتانسیل ۸۵۰ هکتوپاسکال
	متوسط دما در ارتفاع دو متری	متوسط دما در ارتفاع دو متری	رطوبت نسبی نزدیک سطح
سرپل ذهاب	متوسط فشار در سطح دریا	متوسط فشار در سطح دریا	متوسط فشار در سطح دریا
	ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال	ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال	ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال
	متوسط دما در ارتفاع دو متری	متوسط دما در ارتفاع دو متری	رطوبت ویژه در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال متوسط دما در ارتفاع دو متری

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

به منظور اطمینان از صحت مدل، به ارزیابی پارامترهای مدل شده با استفاده از متغیرهای NCEP و داده‌های واقعی برای دوره آماری پایه (۲۰۰۵-۱۹۶۱) پرداخته شد. نتایج حاصل نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر مدل شده و مقادیر مشاهداتی آن‌ها با خطای بحرانی ۰/۵ وجود ندارد و مقادیر همبستگی پیرسون بین داده‌های مدل شده و واقعی در سطح معنی‌داری ۰/۱ قابل قبول می‌باشند. بررسی شاخص‌های خطاسنجی (MAE و MSE، RMSE) نیز بیانگر آن است که مدل ریزمقیاس گردانی SDSM از کار آیی مناسبی جهت ریزمقیاس گردانی پارامترهای مورد بررسی در سطح منطقه مورد مطالعه برخوردار است. بر اساس نتایج حاصل این مدل در زمینه مدل‌سازی دما موفق‌تر از بارش عمل نموده است و در زمینه مدل‌سازی دمای حداکثر نیز موفق‌تر از دمای حداقل بوده است. در بین

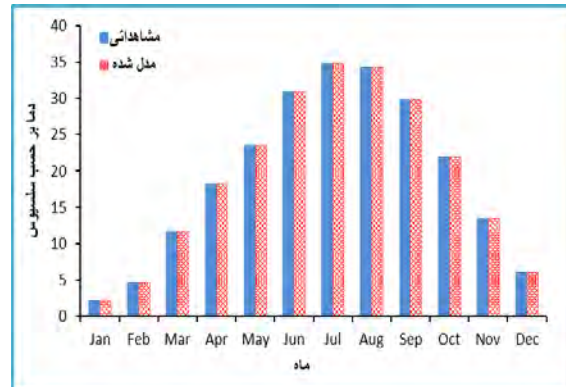
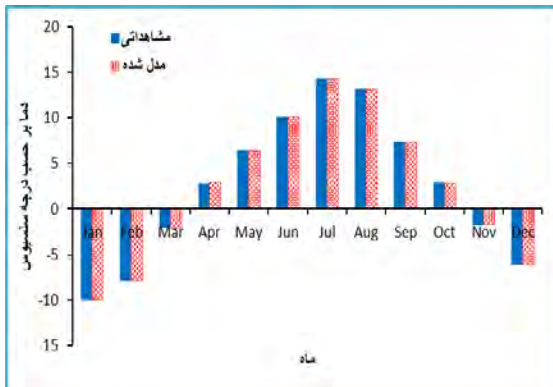
ایستگاه‌های مورد بررسی نیز بیشترین خطای مدل مربوط به ایستگاه‌های سرپل ذهاب و سنندج به ویژه در ارتباط با بارش می‌باشد (جدول ۳).

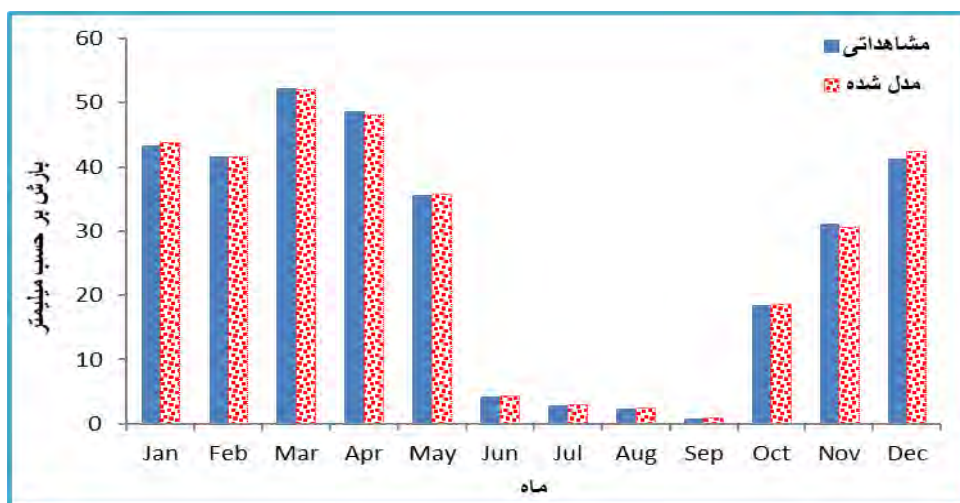
جدول ۳- ارزیابی عملکرد مدل ریزمقیاس گردانی SDSM با استفاده از معیارهای مختلف

ایستگاه	پارامتر	MSE	RMSE	MAE	R ²
همدان	دمای حداقل	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۹۹
	دمای حداکثر	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۹۹
	بارش	۰/۴۱	۰/۶۴	۰/۴۵	۰/۹۹
نورژه	دمای حداقل	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۹۹
	دمای حداکثر	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۹۹
	بارش	۰/۱۸	۰/۴۲	۰/۲۸	۰/۹۹
سقز	دمای حداقل	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۹۹
	دمای حداکثر	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۹۹
	بارش	۰/۸۶	۰/۹۳	۰/۶۸	۰/۹۹
سنندج	دمای حداقل	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۹۹
	دمای حداکثر	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۹۹
	بارش	۱/۹۱	۱/۳۸	۱/۰۷	۰/۹۹
کرمانشاه	دمای حداقل	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۹۹
	دمای حداکثر	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۹۹
	بارش	۰/۶۳	۰/۸۰	۰/۵۲	۰/۹۹
سرپل ذهاب	دمای حداقل	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۹۹
	دمای حداکثر	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۹۹
	بارش	۲/۰۴	۱/۴۳	۰/۹۱	۰/۹۹

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

جهت نمایش بهتر و اطمینان از صحت پیش‌بینی به مقایسه مقادیر تولید شده پارامترهای مورد بررسی توسط مدل و مقادیر مشاهداتی آن‌ها در دوره پایه پرداخته شد که در این بررسی به علت تعداد زیاد نمودارهای مربوطه فقط نتایج مربوط به ایستگاه سینوپتیک نورژه به عنوان نمونه در این مرحله آورده شده است همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی پارامترهای مورد بررسی اختلاف چندانی با یکدیگر ندارند که حاکی از عملکرد مناسب مدل SDSM جهت مدل‌سازی و بررسی چشم انداز پارامترهای مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه است (شکل ۲).

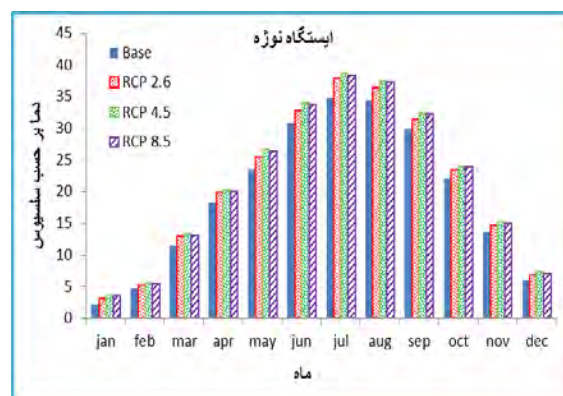
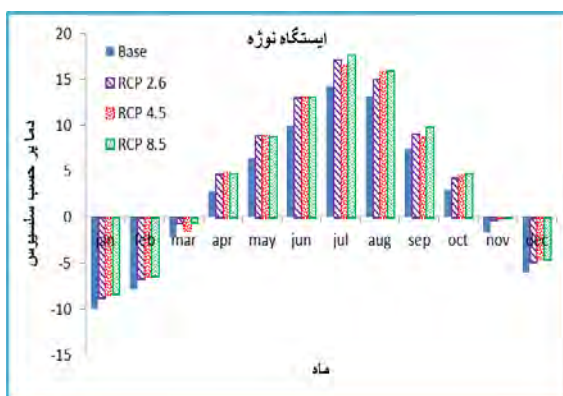


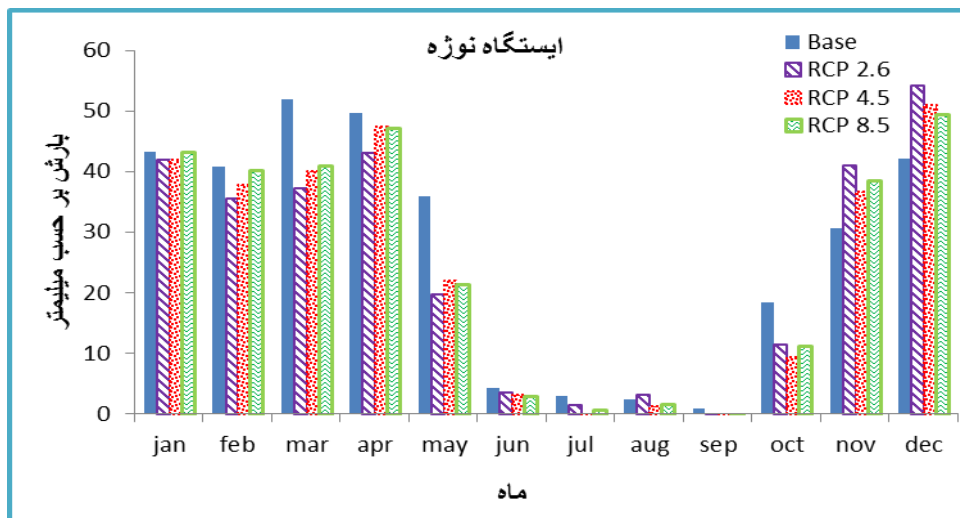


شکل ۲- مقادیر مشاهداتی و مدل شده پارامترهای مورد بررسی توسط مدل SDSM در ایستگاه نوزه

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

پس از ارزیابی مدل ریزمقیاس گردانی و اطمینان از مناسب بودن آن به بررسی داده‌های تولیدشده مدل CanESM2 برای دو دوره مورد بررسی (۲۰۶۵-۲۰۸۰ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰) تحت سه سناریوی واداشت تایشی پرداخته شد. نتایج حاصل از بررسی ماهانه پارامترهای مورد بررسی در ایستگاه مطالعاتی نشان می‌دهد که بارش در دهه ۲۰۵۰ در همه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه‌های سرپل ذهاب و سنندج بر طبق هر سه سناریوی مورد بررسی در اکثر ماه‌ها به غیر از ماه‌های نوامبر، دسامبر و در برخی ایستگاه‌ها در برخی ماه‌ها همچون ژانویه و فوریه نسبت به دوره پایه کاهش داشته و انتظار می‌رود که بارش در ۲۰ سال دوره (۲۰۶۵-۲۰۸۰) کاهش داشته باشد ولی در ایستگاه‌های سنندج و سرپل ذهاب بر طبق برخی سناریو در بیشتر ماه‌های سال میزان بارش افزایش داشته است. این وضعیت در دهه ۲۰۸۰ برای بارش همچنان ادامه دارد و در بیشتر ایستگاه‌های مطالعاتی و در بیشتر ماه‌های سال میزان بارش کاهش داشته است. بررسی میانگین ماهانه حداقل و حداکثر دما نیز نشان می‌دهد که دما بر اساس هر سه سناریو و همچنین در هر دو دهه مورد بررسی (۲۰۸۰ و ۲۰۵۰) در همه ایستگاه‌های مورد بررسی در بیشتر ماه‌های سال افزایش خواهد داشت و میزان آن نیز در هر دهه نسبت به دهه قبل افزایش خواهد یافت که در این پژوهش به دلیل تعداد زیاد ایستگاه‌های مورد بررسی، فقط نتایج ماهانه مربوط به پارامترهای مورد بررسی در ایستگاه سینوپتیک نوزه در دهه ۲۰۵۰ به عنوان نمونه آورده شده است (شکل ۳).

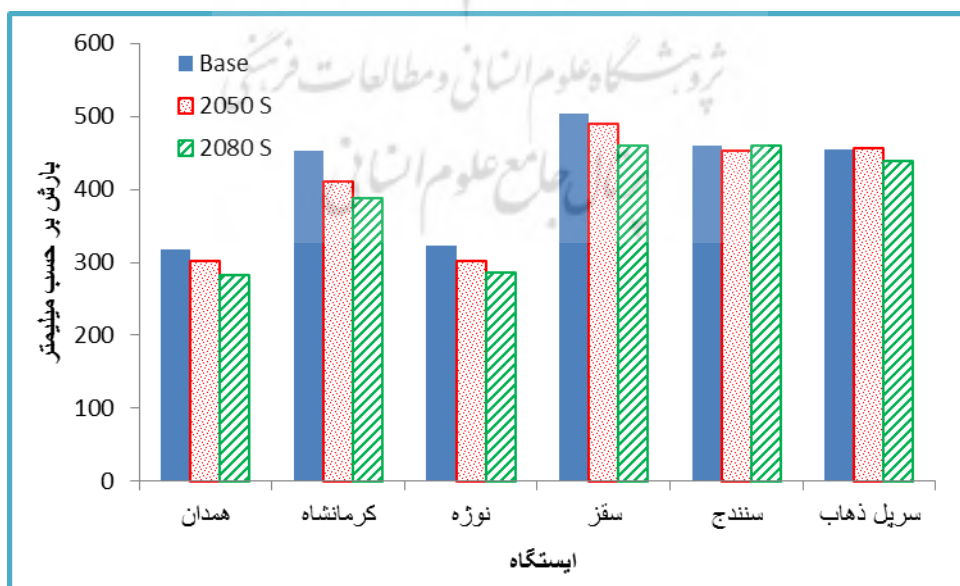




شکل ۳- تغییرات ماهانه پارامترهای مورد بررسی در ایستگاه نوزه در دهه ۲۰۵۰

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

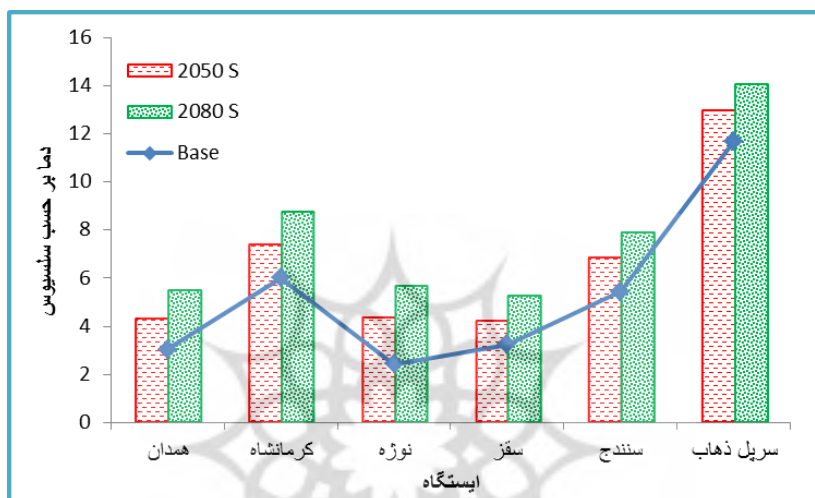
جهت نمایش بهتر چشم انداز تغییرات اقلیمی در منطقه مورد مطالعه به بررسی بلند مدت پارامترهای مورد نظر پرداخته شد نتایج حاصل از بررسی بلندمدت بارش نشان می‌دهد که به غیر از دهه ۲۰۵۰ که میزان بارش در ایستگاه سرپل ذهاب افزایش جزئی داشته است (حدود ۲ میلی‌متر). در سایر ایستگاه‌ها و همچنین در دهه ۲۰۸۰ در همه ایستگاه‌ها نسبت به دوره پایه کاهش پیدا کرده است (شکل ۴) ولی در مجموع دوره‌های مورد پیش‌بینی (۲۰۹۹-۲۰۶۶) میزان بارش در انتهای دوره مورد بررسی نسبت به دوره پایه کاهش پیدا کرده است که کمترین و بیشترین این کاهش به ترتیب مربوط با ایستگاه‌های سنندج با ۱ درصد و ایستگاه کرمانشاه با ۱۲ درصد کاهش نسبت به دوره پایه می‌باشد.



شکل ۴- وضعیت تغییرات بارش در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه در ایستگاه‌های مورد بررسی

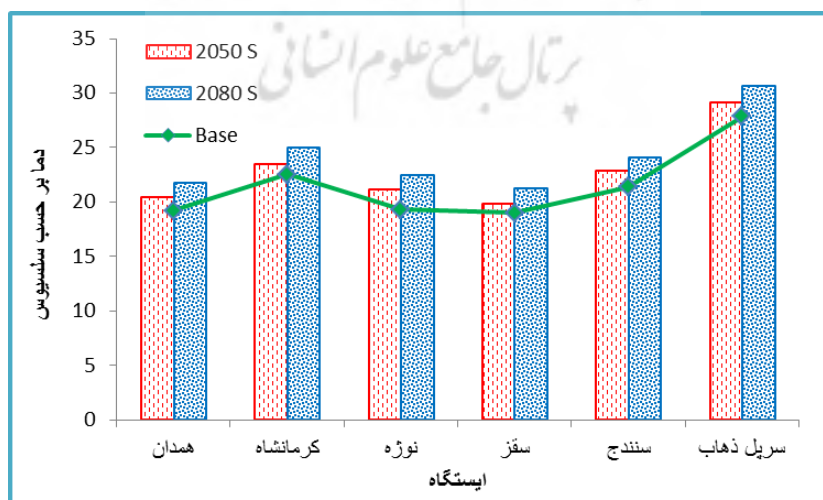
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

در ارتباط با پارامتر دمای حداقل، نتایج حاکی از افزایش دما در ایستگاه‌های مورد بررسی دارد که این میزان در هر دهه نسبت به دهه قبل افزایش یافته است بیشترین تغییرات دمای حداقل در منطقه مورد مطالعه مربوط به ایستگاه نوزه با ۲/۶ درجه سلسیوس و سپس ایستگاه کرمانشاه با ۲ درجه سلسیوس در پایان دوره پیش‌بینی می‌باشد. کمترین تغییرات دمایی نیز مربوط به ایستگاه سقز با ۱/۵ درجه سلسیوس می‌باشد. در واقع دماهای حداقلی که در منطقه مورد مطالعه در دوره پایه اتفاق افتاده است در دوره آینده مشاهده نشده و روند گرمایشی از خود نشان داده است (شکل ۵).



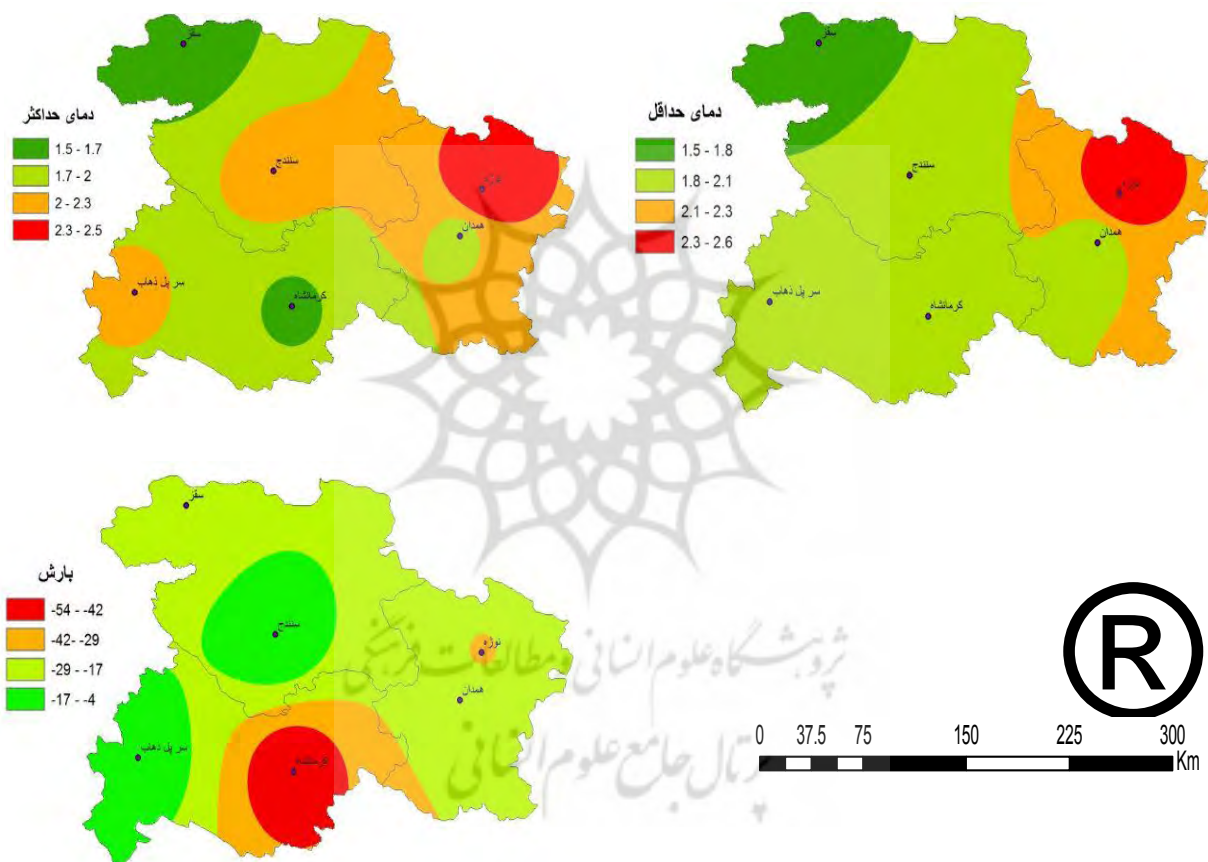
شکل ۵- وضعیت تغییرات دمای حداقل در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه در ایستگاه‌های مورد بررسی منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

نتایج حاصل از بررسی دمای حداکثر نشان می‌دهد که دمای حداکثر نیز در سطح منطقه افزایش خواهد یافت که بیشترین و کمترین افزایش به ترتیب مربوط به ایستگاه نوزه با ۲/۵ و ایستگاه سقز با ۱/۵ درجه سلسیوس در پایان دوره مورد پیش‌بینی نسبت به دوره پایه است همچنین بر اساس نتایج حاصل میزان دمای حداکثر در دهه نسبت به دهه قبل و دوره پایه افزایش یافته است (شکل ۶).



شکل ۶- وضعیت تغییرات دمای حداکثر در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه در ایستگاه‌های مورد بررسی

در مجموع بر اساس نتایج حاصل، مقادیر دمای حداقل، دمای حداکثر در طی دوره مورد پیش‌بینی (۲۰۹۹-۲۰۴۶) در همه ایستگاه‌های مطالعاتی افزایش خواهد یافت و از میزان بارش نسبت به دوره پایه کاسته خواهد شد که میزان تغییرات پارامترهای مورد بررسی در دوره پیش‌بینی شده (۲۰۹۹-۲۰۴۶) نسبت به دوره پایه در شکل (۷) آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود منطقه مورد مطالعه با کاهش بارش روبه‌رو خواهد شد و بیشترین تغییرات بارش مربوط به نیمه جنوبی منطقه مورد مطالعه است. بیشترین تغییرات دمای حداقل نیز مربوط به ایستگاه‌های نواحی شرقی منطقه مورد مطالعه و بیشترین تغییرات دمای حداکثر نیز مربوط به نیمه شرقی و جنوب غربی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همچنین تغییرات دمای حداقل بیشتر از دمای حداکثر در سطح منطقه است (شکل ۷).



شکل ۷- میزان تغییرات پارامترهای مورد بررسی در دوره آتی (۲۰۹۹-۲۰۴۶) نسبت به دوره پایه در غرب کشور منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

نتیجه‌گیری و دستاورد علمی پژوهشی

در این پژوهش به بررسی تغییرات دما و بارش در غرب کشور بر اساس سناریوهای مختلف گزارش پنجم (AR5) در دو دهه ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ پرداخته شد بدین منظور از مدل ریز مقیاس گردانی SDSM و خروجی‌های مدل جهانی CanESM2 تحت سه سناریو واداشت تابشی (RCP 2.6, RCP 4.5 و RCP 8.5) در ۶ ایستگاه سینوپتیک منتخب بهره گرفته شد. پس از این که مدل برای دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۶۱) ارزیابی شد و بر اساس معیارهای MAE, MSE, RMSE و R^2 صحت و دقت مدل تعیین شد، به بررسی چشم انداز تغییرات پارامترهای دما و بارش در دوره‌های

آینده پرداخته شد. نتایج حاصل نشان داد که در سطح منطقه مورد مطالعه میزان بارش کاهش و میزان دما نیز افزایش پیدا خواهد کرد که میزان کاهش بارش در دوره‌های آبی به طور متوسط بلندمدت در سطح منطقه به میزان ۶ درصد نسبت به دوره پایه بوده است. دمای حداقل و حداکثر نیز به طور متوسط بلندمدت در سطح منطقه به ترتیب برابر ۲ و ۱/۹ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه افزایش پیدا خواهد کرد. نتایج حاصل مطالعات قریز چشمه و همکاران (۱۳۹۳)، دشت بزرگی و همکاران (۱۳۹۴)، مالمیر و همکاران (۱۳۹۵)، نادری و همکاران (۱۳۹۶) را مورد تأیید قرار می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل از خروجی مدل جهانی مورد بررسی و مدل ریزمقیاس‌گردانی SDSM در منطقه مورد مطالعه میزان بارش نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت که این امر می‌تواند موجب کاهش ذخیره و تأمین منابع آبی در سطح منطقه گردد که به دنبال آن شرایط اقلیم کشاورزی منطقه نیز دچار تغییر می‌گردد. همچنین میزان دما افزایش پیدا خواهد کرد که موجب افزایش تبخیر و تعرق، کاهش بارش‌های برفی، کاهش دوره رشد و کاهش عملکرد محصولاتی کشاورزی می‌شود. بنابراین لازم است برنامه ریزان مربوطه در بخش‌های مختلف، راهکارهای لازم جهت سازگاری با شرایط جدید را اتخاذ نمایند.

پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده جهت بررسی دقیق تغییرات اقلیمی و چشم اندازه آینده اقلیمی کشور، مدل‌ها و سناریوهای مرتبط با اقلیم منطقه و کشور طراحی و توسعه داده شود. همچنین به مقایسه عملکرد مدل‌های ریزمقیاس‌گردانی آماری و دینامیکی در منطقه مورد مطالعه پرداخته شود و اثرات تغییرات اقلیمی بر منابع آبی و طبیعی، محصولات کشاورزی و غیره بررسی شود.

منابع

- ساری صراف، ب.، رسولی، ع. ا.، زرین، آ.، نجفی، م. س. (۱۳۹۶). شبیه‌سازی واداشت‌های تابشی گردوغبار در غرب ایران، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲۲، صص ۱۴۰-۱۲۳.
- ساری صراف، ب.، جلالی عنصری، ط.، سرافروزه، ف. (۱۳۹۴). اثرات گرمایش جهانی بر اقلیم شهرهای واقع در حوضه دریاچه ارومیه، پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری، شماره ۱۲، صص ۴۸-۳۳.
- جهانبخش اصل، س.، خورشید دوست، ع. م.، عالی‌نژاد، م. ح.، پوراصغر، ف. (۱۳۹۵). تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌ها و سناریوهای اقلیمی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی شهرچای ارومیه)، هیدروژئومورفولوژی، دوره ۲، شماره ۷، صص ۱۲۲-۱۰۷.
- جهانبخش اصل، س.، موحد دانش، ع. ا.، مولوی، و. (۱۳۸۰). تحلیل مدل‌های برآورد تبخیر- تعرق برای ایستگاه هواشناسی تبریز، دانش کشاورزی، جلد ۱۱، شماره ۲، صص ۶۵-۵۱.
- حمیدیان‌پور، م.، سلطانی، ج.، قندهاری، ق. (۱۳۹۲). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه بار و طاغان نیشابور با استفاده از برون‌داد مدل گردش عمومی جو (HadCM3)، نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ۱۱ ص.
- دشت‌بزرگی، آ.، علیجانی، ب.، جعفرپور، ز.، شکیب، ع. (۱۳۹۴). شبیه‌سازی شاخص‌های حدی دمای استان خوزستان بر اساس سناریوهای RCP جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۶، صص ۱۲۳-۱۰۵.

- صمدی، س. ز.، مساح‌یوانی، ع. (۱۳۸۷) معرفی روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و **SDSM** به منظور کوچک مقیاس کردن آماری داده‌های دما و بارندگی، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز، ۹ ص.
- طائی‌سمیرمی، س.، مرادی، ح. ر.، خداقلی، م. (۱۳۹۴). پیش‌بینی تغییرات برخی از متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل ریز مقیاس-سازی **LARS-WG** و خروجی مدل **HadCM3** تحت سناریوهای مختلف، مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد هفتم، شماره ۲، صص ۱۵۶-۱۴۵.
- طباطبایی، س. ع.، حسینی، م. (۱۳۸۲). بررسی تغییر اقلیم در شهر سمنان بر اساس پارامترهای بارش ماهیانه و متوسط دمای ماهیانه، سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم اصفهان. ۸ ص.
- قرمزچشمه، ب.، رسولی، ع. ا.، رضایی‌بنفشه، م.، مساح‌یوانی، ع.، خورشیددوست، ع. م. (۱۳۹۳). بررسی اثر عوامل مرفو- اقلیمی بر دقت ریز مقیاس گردانی مدل **SDSM**. نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۶، شماره ۲، صص ۱۶۴-۱۵۵.
- مالمیر، م.، محمدرضاپور، ا.، شریف‌آذری، س.، قندهاری، ق. (۱۳۹۵). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه قره سو با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل **HadCM3** و شبکه عصبی پویا، حفاظت آب و خاک، دوره ۳، شماره ۳، صص ۳۲۶-۳۱۷.
- نادری، س.، گودرزی، م.، قدمی‌دهنو، م. (۱۳۹۶). اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی در حوزه سیمره، علوم و مهندسی آبخیزداری، سال ۱۱، شماره ۳۹، صص ۷۶-۶۹.
- Cheema, S.B.; Rasul, G.; Ali, G. and Kazmi, D.H. 2013. A Comparison of Minimum Temperature Trends with Model Projections, *Pakistan Journal of Meteorology*, 8(15).
- Chen, H., Yu Xu, C., Guo, S.H. 2012. Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff. *Journal of Hydrology*, 434-435: 36-45.
- Dasht Bozorgi, A., Alijani, B., Jafarpour, Z., Shakiba, A., 2015, Simulation of extreme temperature indices of Khuzestan province based on RCP scenarios, geography and environmental hazards, No. 16, pp. 123-105.
- Fowler, H J., Blenkinsop, S., Tebaldi, C. 2007. Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling. *Int. J. Clim.*, 27: 1547-1578.
- Ghemezchshme, B., Rasoul, A.S. A., Rezaeibnfishah, M., MasahBovani, A., KhorshisDusht, A. M., 2014, Investigating the effect of morpho-climatic factors on accuracy of SDSM scaling scale, *Journal of Engineering and Watershed Management*, Vol 6, No 2, PP 164-155.
- Goodarzi, M., Jahanbakhsh, S., Rezaee, M., Ghafouri, A., Mahdian, M H. 2011. Assessment of Climate Change Statistical Downscaling Methods in a Single Site in Kermanshah , Iran, *American-Eurasian Journal. Agric. & Environ. Sci.*, 6 (5): 564-572.
- Guo, B., Zhang, J., Gong, H., Cheng, X. 2014. Future climate change impacts on the ecohydrology of Guishui River Basin China, *Ecohydrology & Hydrobiology*, 14(1): 55-67.
- Hamidianpour M., Soltani, J., Qandahari, Q., 2013, Assessment of the effects of climate change on the runoff of the Bar and Taghan Neyshabour Basin using the Output Model of the General Turnaround Bar (HadCM3), The First National Conference on the Weatherness of Iran, the University of Industrial and Technological Advanced Studies, Kerman, 11p.
- Hashmi, M.Z., Shamseldin A.Y., Melville, B.W. 2009. Downscaling of future rainfall extreme events: a weather generator based approach. 18th World IMACS. MODSIM Congress, Cairns, Australia, 13-17.
- IPCC. 2007. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Chen, M., Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.), Summary for Policymakers, in: *Climate Change 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental.*

- Jahanbakhsh, S., Khorshid-Dost, A. M., Alinejad, M. H., Poursghar, F., 2016. Influence of Changes in Temperature and Precipitation with Considering Uncertainty of Climate Models and Scenarios (Case Study: Urmia Shahr-e-Chay Basin), *Hydrogeomorphology*, Vol 2, No 7, pp 122-107.
- Jahanbakhsh, S., MovahedDanesh, A., Molavi, V., 2001, Analysis of Estimating Evapotranspiration Models for Tabriz Meteorological Station, *Agricultural Knowledge*, Vol. 11, No. 2, PP 65-51.
- Malmir, M., Mohammad Reza Zapor, A., SharifAzari, S., Kandahari, Gh., 2016, Investigating the effects of climate change on the Ghareh Souz basin runoff using the exponential microdiscipline of HadCM3 model and dynamic neural network, *water and soil conservation*, Vol 3, NO 3, PP 326-317.
- Modala, N. R., Ale, S., Goldberg, D. W., Olivares, M., Munster, C. L., Rajan, N., & Feagin, R. A. 2016. Climate change projections for the Texas High Plains and Rolling Plains. *Theoretical and Applied Climatology*, 124:1-18.
- Naderi, S., Goodarzi, M., GhadamiDehno, M., 2017, The Effect of Climate Change on Climatic Parameters in the Seymare Area, *Watershed Management Sciences and Engineering*, Vol. 11, No. 39, pp. 76-69.
- Samadi, S. Z., Masah Bobani, AS., 2008, Introduction of Synthetic Neural Network and SDSM Methods for Small Scale Statistical Data on Temperature and Rainfall Data, *Third Conference on Water Resources Management*, Tabriz University, 9 p.
- Sari Sarraf, B., Jalali Asenari, T., Sarafroozeh, F., 2015, The effects of global warming on the climate of cities located in the Urmia Lake Basin, *Urban Ecology Research*, No. 12, pp. 48-33.
- Sari Sarraf, B., Rasouli, A., Zarrin, A., Najafi, M. S., 2017, Simulation of Dust Radiation Injections in Western Iran, *Geography and Environmental Hazards*, No. 22, pp. 140-1
- Tabatabai, S. A. Hosseini, M., 2004, The study of climate change in Semnan city based on monthly rainfall and monthly monthly precipitation, *third regional conference and the first national conference on climate change in Isfahan*. 8 p.
- Tatsumi, K., Oizumi, T., & 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*, 7(3): 48-53.
- TayyeSameromo, S., Moradi, H. R., Khodaghali, M., 2015, Estimation of Changes in Some Climate Variables Using LARS-WG Scale Model and Output of HadCM3 Model Under Different Scenarios, *Engineering, and Watershed Management*, Vol. 7, No. 2, pp. 156-145.
- Wilby R.L. and I. Harris. 2006. A frame work for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resour. Res.* 42:10 p.
- Wilby, R.L., Tomlinson, O, J., Dawson, C.W. 2007. Multi-site simulation of precipitation by condition resampling. *Journal of climate Research*, 23: 183-194.
- Zhang, Y., You, Q., Chen, Ch., Ge, J. 2016. Impacts of climate change on streamflows under RCP scenarios: A case study in Xin River Basin, China, *Atmospheric Research*, (178-179): 521-534.