

## ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای بارش و دما بر اساس سناریوهای واداشت تابشی RCP (مطالعه موردی: شرق استان مازندران)

سید مهدی مرتضوی<sup>۱</sup>، محمد حسین مبین<sup>۲</sup>، محمد حسین مختاری<sup>۳\*</sup>، محمد اکرامی<sup>۱</sup>، الهام رفیعی ساردوئی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد مدیریت مناطق خشک و بیابانی دانشگاه یزد

<sup>۲</sup> استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد

<sup>۳</sup> استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۷/۶/۲۲

### چکیده

اقلیم یک عامل مهم زیست محیطی است که تغییرات آن مهمترین تهدید برای توسعه پایدار است. تغییرات اقلیمی که عمدتاً ناشی از فعالیت‌های انسانی است، در دهه‌های اخیر منجر به تغییر در بخش‌های مختلف اکوسیستم شده است. مدل‌های گردش کلی، توسط آژانس‌های اقلیمی به منظور پیش‌بینی تغییرات اقلیمی آینده، به کار گرفته می‌شوند. در این پژوهش، مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM، به منظور پیش‌بینی پارامترهای بارش و دما در ایستگاه‌های سینوپتیک بابلسر و قراخیل در استان مازندران بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم مدل گردش کلی CanESM2، مورد استفاده قرار گرفت. نتایج ارزیابی دقت مدل SDSM در شبیه‌سازی بارش بر اساس شاخص  $R^2$ ، RMSE، MAE، NSE در ایستگاه بابلسر و قراخیل در مرحله صحت سنجی نشان داد که انطباق زیادی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و دوره پایه وجود داشته است. مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده بارش و دما تحت سناریو RCP2.6 و RCP4.5 و RCP8 در سه دوره ۲۰۳۹-۲۰۶۸، ۲۰۳۸-۲۰۶۹ و ۲۰۶۹-۲۱۰۰ با دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۰۵)، در هر دو ایستگاه بابلسر و قراخیل نشان‌دهنده کاهش بارش متوسط سالانه و افزایش دمای متوسط سالانه تحت هر سه سناریو RCP در هر سه دوره آتی نسبت به دوره پایه می‌باشد، به طوری که در دوره ۲۰۶۹-۲۱۰۰، تحت سناریو RCP ۸.۵ (بدبینانه)، در ایستگاه بابلسر و قراخیل، بارش متوسط سالانه به ترتیب به میزان ۵۱/۰۷ و ۳۴/۷ درصد بیشترین کاهش و دمای متوسط سالانه به ترتیب به میزان ۳/۴۴ و ۳/۸۶ درجه سانتی‌گراد بیشترین افزایش را نسبت به دوره پایه نشان داده است.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، ریزمقیاس نمایی آماری، مازندران، بارش، دمای هوا.

تعیین روابط آماری بین متغیرهای اتمسفری بزرگ‌مقیاس و متغیرهای مشاهداتی در مقیاس ایستگاهی می‌باشد (گالاچا و همکاران، ۲۰۱۷). تکنیک‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری متفاوتی وجود دارد که از میان آن‌ها مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است (کامپوزانو، ۲۰۱۶). در زمینه پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر روی میزان بارش و دما با استفاده از مدل SDSM، تحقیقات گسترده‌ای در سرتاسر جهان و از جمله ایران انجام شده است، که می‌توان به تحقیقات زیر اشاره کرد:

کوکیدیز و همکاران (۲۰۰۹) حساسیت مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM را به داده‌های بازسازی‌شده (NCEP) و (ECMWF) در جنوب اونتاریو مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که نوع داده‌های بازسازی‌شده تأثیر معنی‌داری در خروجی‌های مدل برای شبیه‌سازی بارش و دما دارد. چن و همکاران (۲۰۱۲) از دو مدل SDSM و ماشین بردار پشتیبان برای ریزمقیاس‌نمودن بارندگی در حوزه رودخانه هانجیانگ استفاده نمود. نتایج عملکرد بهتر مدل SDSM را در مقایسه با ماشین بردار پشتیبان نشان داد. گاتیریز و همکاران (۲۰۱۳) دوازده روش ریزمقیاس‌نمایی را در اسپانیا مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند مدل‌های رگرسیونی از جمله مدل SDSM در برقرار کردن ارتباط بین متغیرهای وابسته و مستقل و در نتیجه پیش‌بینی دما و بارش از توانایی بیشتری برخوردار هستند. تاتسومی و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از مدل SDSM به ریزمقیاس‌نمایی دما در منطقه Shikoku پرداختند. نتایج نشان داد که در دوره ۲۰۷۱-۲۰۹۹ دما تحت بیشتر سناریوها نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. غنچه پور و همکاران (۱۳۹۸) از روش غربالگری در مدل ریزمقیاس‌سازی SDSM برای ایجاد سناریوهای تغییر اقلیم در حوزه رودخانه گرگان رود استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد مدل SDSM روش مناسبی برای ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های مدل CanESM2 و شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دما و بارش می‌باشد هرچند نتایج حاصل دارای دقت بیشتر

اقلیم یک عامل مهم زیست‌محیطی است که تغییرات آن مهمترین تهدید برای توسعه پایدار است. تغییرات اقلیمی که عمدتاً ناشی از فعالیت‌های انسانی است، در دهه‌های اخیر منجر به تغییر در بخش‌های مختلف اکوسیستم شده است (هیات بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷). بنابراین مطالعه روند تغییرات متغیرهای جوی مانند دما و بارش بسیار مهم است تا اثر تغییرات آب و هوا بر منابع مختلف در دوره‌های آینده مشخص شود. پدیده تغییر اقلیم و ارتباط تغییرات جهانی با تغییرات منطقه‌ای و محلی متغیرهای دما، بارش، رطوبت و ابرناکی که طیف وسیع‌تری از پدیده تغییر اقلیم را پوشش می‌دهند و همچنین با توجه به تفاوت بودن روند تغییر اقلیم در نقاط مختلف جهان، بررسی روند درازمدت مهم‌ترین پارامترهای اقلیم یعنی دما و بارندگی، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است (پیرنیا و همکاران، ۲۰۱۵). پیش‌بینی تغییرات اقلیمی یکی از مسائل کلیدی در مطالعات مربوط به اکوسیستم و محیط زیست است و مطالعات زیادی راجع به آن انجام شده است. به‌طور کلی، مدل‌های گردش کلی (GCM)، قادر به شبیه‌سازی در ابعاد بزرگ هستند و برای شبیه‌سازی متغیرهای آب و هوایی مانند سرعت باد، فشار سطح دریا و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند (قوش و همکاران، ۲۰۰۸). یکی از مدل‌های گردش کلی که در سراسر جهان توسعه یافته، مدل HadCM3<sup>۱</sup> می‌باشد که به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی و تشخیص گرمایش جهانی، شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دوره‌های آبی و سایر مطالعات حساس آب و هوایی مورد استفاده قرار گرفته است و دقت آن در بسیاری از مطالعات به اثبات رسیده است (حسامی و همکاران، ۲۰۰۸). به‌منظور کاربردی کردن شبیه‌سازی‌های مدل‌های گردش کلی در مقیاس ایستگاهی و منطقه‌ای تکنیک‌های ریزمقیاس‌نمایی<sup>۲</sup> مورد استفاده قرار می‌گیرند (ویلیامز و همکاران، ۲۰۱۲). در حالت کلی، روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری شامل

1 General Circulation Model

2 Hadley Centre Coupled Model, version 3

3 Downscaling

برای متغیر دما نسبت به بارش بوده است. بابائیان و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی مدل گردش کلی ECHO-G تحت سناریو A1 در ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور، نتیجه گیری کردند که در دوره آتی (۲۰۱۰-۲۰۳۰) میزان بارش کشور ۹ درصد کاهش پیدا می کند و متوسط دما سالانه ۰/۵ درجه سانتی گراد افزایش می یابد. این در حالی است که مقدار حداکثر بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت های ۵ و ۱۵ ساله به ترتیب ۱۳ و ۳۹ در صد نسبت به زمان حال افزایش می یابد. اشرف و همکاران (۱۳۹۰) داده های مدل گردش عمومی جو HadCM3 را با به کارگیری مدل LARS-WG5 تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 به منظور ریزمقیاس نمایی فصلی بارش در استان خراسان رضوی در دوره ی (۲۰۱۱-۲۰۴۰) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که میزان بارش در سه فصل پاییز، زمستان و بهار به استثنای ایستگاه تربت جام که در هر سه فصل مذکور و نیز کاشمر که در پاییز دارای روند کاهشی دارد، در سایر شهرهای استان روند افزایشی خواهد داشت. هوشمند و همکاران (۱۳۹۳) عدم قطعیت مدل های AOGCM و سناریوهای انتشار در برآورد پارامترهای اقلیمی در ایستگاه سینوپتیک مشهد را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش از مدل LARS-WG به منظور ریزمقیاس نمایی استفاده شد و توانایی بالای مدل LARS-WG در شبیه سازی پارامترهای اقلیمی در دوره پایه تایید شد. نتایج حاکی از وجود بیشترین باند عدم قطعیت در برآورد های مربوط به سناریو های A1B و کمترین باند عدم قطعیت در مورد حداقل دما و بارندگی B1 و برای حداکثر دما سناریوی A2 معرفی گردید. مقایسه روش های ریزمقیاس سازی SDSM و LARS-WG که توسط فلاح قاهره و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از داده های ایستگاه بجنورد انجام شده نشان داده که هر دو مدل توانایی مناسبی در شبیه سازی اقلیم داشته اند. با این حال مدل LARS-WG نشان دهنده افزایش دما در حالی که مدل SDSM دمای سالانه کاهش اندکی خواهد داشت. ولی بارش در هر دو مدل روند افزایشی را

نشان می دهد. مقایسه نتایج همچنین مبین این است که داده های تولید شده مدل SDSM تحت سناریو های جدید RCP با داده های تولید شده مدل LARS-WG همخوانی بیشتری دارد. رضایی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی SDSM و خروجی حاصل از مدل جهانی HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 اثر تغییر اقلیم را بر میزان بارندگی ایستگاه رابر کرمان مورد ارزیابی قرار دادند. آن ها نتیجه گیری کردند که متوسط بارش سالانه در دهه های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ به ترتیب ۴، ۵ و ۶ میلی متر نسبت به دوره پایه (۲۰۰۱-۱۹۷۰) کاهش می یابد. صمدی و همکاران (۲۰۱۰) چند مدل جهانی را به منظور ریزمقیاس نمایی بارش و دما در حوزه آبخیز کرخه مورد ارزیابی قرار دادند. آن ها در این تحقیق از مدل SDSM به عنوان مدل ریزمقیاس نمایی استفاده نمودند و نتیجه گیری کردند که مدل HadCM3 نسبت به سایر مدل های جهانی نتایج بهتری را ارائه می دهد. عساکره و اکبرزاده (۱۳۹۶) با استفاده از مدل SDSM خروجی مدل تغییر اقلیم CanESM2 را در ایستگاه سینوپتیک تبریز به وسیله داده های مشاهداتی ایستگاه تبریز که دارای آمار بلندمدت اقلیمی است، ریزمقیاس نمودند و با در نظر گرفتن سناریوهای تغییر اقلیم RCP8.5 و RCP4.5 برای سه دوره آینده، تغییر اقلیم منطقه مورد نظر، مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان دهنده افزایش دما و کاهش بارش در دوره آتی در تمامی سناریوها می باشد. تهیر و همکاران (۲۰۱۸) ریزمقیاس نمایی داده های بارش را با استفاده از مدل SDSM تحت شرایط تغییر اقلیم در دوره آتی در حوزه آبخیز لیمبانگ مالزی تحت سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 انجام دادند. نتایج نشان داد که در تمامی سناریوها بارش نسبت به دوره پایه افزایش می یابد و بیشترین افزایش بارش نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۷۶) تحت سناریوی RCP8.5 می باشد. رضایی و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه خود تحت «عنوان ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر تغییرپذیری بارش و دما» از مدل SDSM برای ریزمقیاس نمایی به منظور

نهایت وضعیت بارش و دمای ایستگاههای مذکور در دوره های آینده نزدیک (۲۰۳۸-۲۰۱۸)، آینده میانی (۲۰۶۸-۲۰۳۹) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۶۹) تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 شبیه سازی شده است.

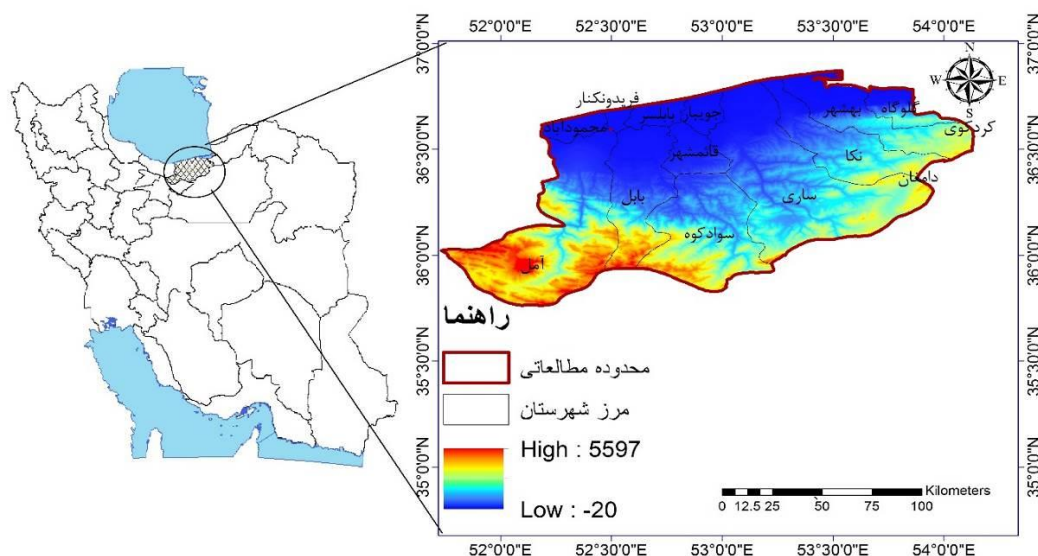
### مواد و روش ها

#### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات کشوری، در بخش شرقی استان مازندران قرار گرفته است. استان مازندران در قسمت شمال مرکزی کشور واقع و از شمال به دریای مازندران، از جنوب به استانهای تهران و سمنان، از باختر و جنوب باختری به گیلان و قزوین و از خاور به استان گلستان محدود است. این منطقه در شمال ایران در ساحل دریای خزر و بین رشته کوه های البرز در جنوب دریای خزر در شمال و کوههای طالش در غرب قرار گرفته است. این استان بین ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه (بخش شرقی استان مازندران) شامل شهرستان های آمل، بابل، بابلسر، محمود آباد، فریدونکنار، ساری، سوادکوه، جویبار، نکا و بهشهر است.

تخمین پذیری دما و بارش در دو ایستگاه کاشان و خور بیابانک تحت سناریو A2 مدل HadCM3 پرداختند. بر این اساس تخمین ها برای سه دوره آتی متفاوت صورت گرفته و نتایج بیانگر این بوده است که مقادیر دما و بارش شبیه سازی شده تطابق مناسبی با داده های مشاهداتی داشته است. در حالی که عملکرد فرآیند ریزمقیاس نمایی در پیش بینی بارش در دوره های واسنجی و اعتبارسنجی، نسبت به پیش بینی دما پایین تر بوه است. به هر حال مقایسه ریز مقیاس نمایی با استفاده از روش SDSM در ایستگاههای مختلف نشان داده است که در ایستگاههایی که متوسط دما و بارش آنها به متوسط دما و بارش سلول HadCM3 نزدیکتر باشد شبیه سازی دما و بارش با دقت بالاتری بدست خواهد آمد (حاجی محمدی و همکاران، ۱۳۹۸).

هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی پدیده تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی ایستگاه سینوپتیک بابلسر و قراخیل در استان مازندران است که تلاش شده با استفاده از مدل SDSM، پیش بینی کننده های مناسب را انتخاب و جهت ریزمقیاس کردن داده های تغییر اقلیم، از مدل SDSM استفاده شود و بدین منظور نیز داده های مدل بزرگ مقیاس CanESM2 مورد استفاده قرار گرفته و در



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و طبقات ارتفاعی (متر) شرق استان مازندران

در این پژوهش که از روش توصیفی-تحلیلی استفاده می شود، به ارزیابی تغییرات اقلیمی با استفاد از مدل ریزمقیاس نمایی SDSM در نیمه شرقی مازندران پرداخته شد. داده‌های مورد استفاده شامل بارش و دمای روزانه ایستگاههای سینوپتیک بابلسر و قراخیل، داده‌های بازتحلیل NCEP (مراکز ملی برای پیش بینی زیست محیطی) نیز خروجی های حاصل از مدل گردش کلی CanESM2 تحت سناریوهای RCP4.5، RCP2.6 و RCP8.5 است. داده‌های روزانه بارش و دما در دوره های آینده نزدیک (۲۰۳۸-۲۰۱۸)، آینده میانی (۲۰۶۸-۲۰۳۹) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۶۹)، در مدل ریزمقیاس نمایی SDSM پیش بینی و با دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۷) مورد مقایسه قرار گرفت.

#### جمع آوری داده ها و اطلاعات اقلیمی مورد نیاز

در این تحقیق، داده های مشاهداتی که شامل در این تحقیق، داده های مشاهداتی که شامل داده های اقلیمی بارش و دمای روزانه است از ایستگاه سینوپتیک بابلسر و قراخیل (وابسته به سازمان هواشناسی) تهیه گردید. همچنین داده های بزرگ مقیاس PECN و CanESM<sup>2</sup> براساس گزارش پنجم IPCC (AR5) (هیئت بین الدول تغییر اقلیم) از سایت (<http://climate-scenarios.canada.ca>) تهیه شده است.

#### بررسی روند داده‌ها با استفاده از آزمون من-کندال

در آزمون من-کندال از روش Yue and Wang برای حذف خودهمبستگی استفاده شد و دو فرض H<sub>0</sub>: هیچ روندی در سری داده‌ها دیده نمی‌شود و فرض H<sub>1</sub>: در سری داده‌ها روند دیده می‌شود، مورد آزمون قرار گرفتند. فرض صفر این آزمون 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. آزمون من-

کندال در بررسی روند سری‌های اقلیمی به کرات و در موارد مختلف استفاده شده است (بهاک، ۱۳۹۳، فیضی و همکاران ۱۳۸۹). در این مطالعه نیز، آزمون من-کندال برای کشف روند موجود و معنی‌داری آن در سری‌های زمانی مختلف متغیرهای دما و بارش روزانه استفاده شده است.

#### ریزمقیاس نمایی متغیرهای اقلیمی با مدل SDSM

در این تحقیق ابتدا داده‌های مشاهداتی ایستگاههای سینوپتیک بابلسر و قراخیل جمع‌آوری و کنترل کیفیت روی آن‌ها صورت گرفت. سپس مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM 5.1، برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی دما و بارش در ایستگاه سینوپتیک بابلسر و قراخیل در دوره پایه و دوره آینده تحت تأثیر تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گرفت. ریزمقیاس نمایی آماری با کاربرد داده‌های مشاهداتی روزانه (پیش‌بینی شونده)، پیش‌بینی کننده‌های مشاهداتی (PECN<sup>1</sup>) و نیز پیش‌بینی کننده‌های بزرگ‌مقیاس حاصل از مدل‌های گردش کلی (CanESM<sup>2</sup>)، پس از آماده‌سازی داده‌های مشاهداتی و کنترل کیفیت آن‌ها انجام شد.

#### معیارهای ارزیابی عملکرد مدل

برای ارزیابی دقت مدل از شاخص‌های ضریب ناش-ساتکلیف (NSE)، مجذور میانگین مربعات خطا، ضریب R<sup>2</sup> و میانگین خطای مطلق استفاده گردیده است که فرمول محاسبه آن‌ها به ترتیب، به شرح زیر است:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - s_i)^2}{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (s_i - o_i)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

$$R^2 = \left[ \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (s_i - \bar{s})(o_i - \bar{o})}{\sigma_s \times \sigma_o} \right]^2 \quad (3)$$

جدول ۱: نتایج آزمون من کندال داده های مشاهداتی ایستگاه سینوپتیک بابلر و قراخیل (دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۸۷)

ایستگاه	پارامتر	Kendall's tau	p-value (Two-tailed)	alpha
بابلر	متوسط دما	۰/۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۵
	بارش	-۰/۳۶	۰/۱۵	۰/۰۵
قراخیل	متوسط دما	۰/۰۴۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۵
	بارش	-۰/۰۱	۰/۵۳	۰/۰۵

جدول ۲: شاخص های ارزیابی مدل پیش بینی کننده NCEP در مرحله صحت سنجی ۲۰۰۵-۲۰۰۰

ایستگاه	پارامتر	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE	NSE
بابلر	دما	۰/۸۶	۰/۵۴	۰/۴	۰/۹۶
	بارش	۰/۸۳	۸/۳	۰/۴۶	۰/۹۴
قراخیل	دما	۰/۸۴	۰/۷۶	۰/۲۵	۰/۹۸
	بارش	۰/۸	۲/۷۸	۳/۷۶	۰/۹۴

رد کنیم و داده های بارش فاقد روند بوده و روند در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی دار نیست.

نتایج حاصل از ارزیابی مدل ها مبتنی بر آماره های مربوطه بر طبق جدول ۲، بیانگر این است که NCEP و CanESM2 در برآورد میزان بارش و دما ایستگاه مطالعاتی، دارای کارایی و دقت نسبتاً خوبی می باشند. در اشکال ۲ تا ۹ مقادیر متوسط ماهانه متغیرهای اقلیمی (دمای میانگین و بارش) مشاهداتی و شبیه سازی شده ایستگاه بابلر و قراخیل طی دوره های صحت سنجی ۲۰۰۵-۲۰۰۰ و ۱۹۸۷-۲۰۰۵ به ترتیب حاصل از پیش بینی کننده های بزرگ مقیاس مشاهداتی (NCEP) و مدل گردش کلی (CanESM2) نشان داده شده است. نتایج ارزیابی دقت مدل SDSM در شبیه سازی بارش بر اساس شاخص  $R^2$ ،  $RMSE$ ،  $MAE$ ،  $NSE$  در اشکال ۲ تا ۹ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که انطباق زیادی بین مقادیر شبیه سازی شده و مشاهداتی وجود

$$MAE = 1/n \sum_{i=1}^n (s_i - o_i) \quad (4)$$

در روابط ذکر شده اندیس  $O$  و  $S$  به ترتیب مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده و  $\bar{O}$  و  $\bar{S}$  میانگین مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده و  $n$  تعداد داده ها می باشد.

### نتایج

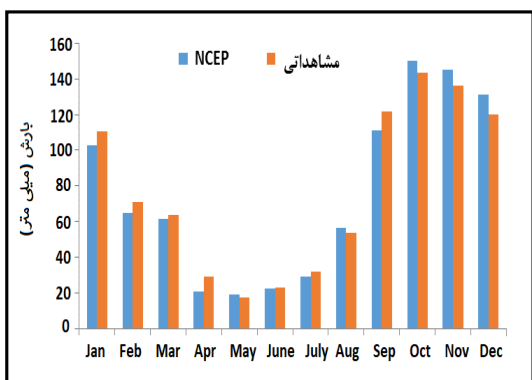
#### نتایج آزمون من-کندال

جدول (۱) نتایج حاصل از آزمون من کندال در ایستگاه سینوپتیک بابلر و قراخیل را در دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۰۵ میلادی برای داده های مشاهداتی بارش و دما نشان می دهد. در مورد دما در هر دو ایستگاه با توجه به اینکه مقدار p-value کمتر از سطح معنی داری ۰/۰۵ می باشد، فرض  $H_0$  رد شده و فرض  $H_1$  پذیرفته می شود، روند مثبت و افزایشی است و روند در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی دار می باشد. در مورد بارش نیز در هر دو ایستگاه با توجه به اینکه مقدار p-value بزرگ تر از سطح معنی دار ۰/۰۵ می باشد، نمی توانیم فرض  $H_0$  را

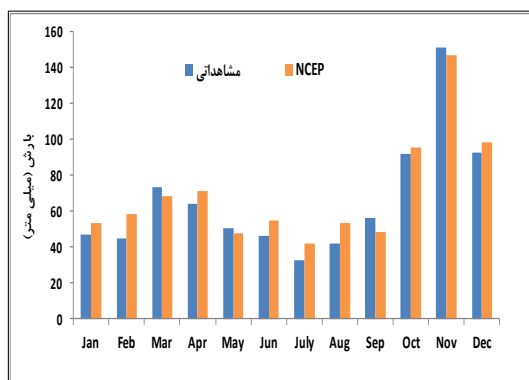
4 -Coefficient of determination  
5 -Root mean square error  
6 -Mean absolutely error  
7 -Nash-Sutcliffe efficiency

جدول ۳: شاخص‌های ارزیابی مدل CanESM2 در مرحله صحت سنجی ۲۰۰۵-۱۹۸۷

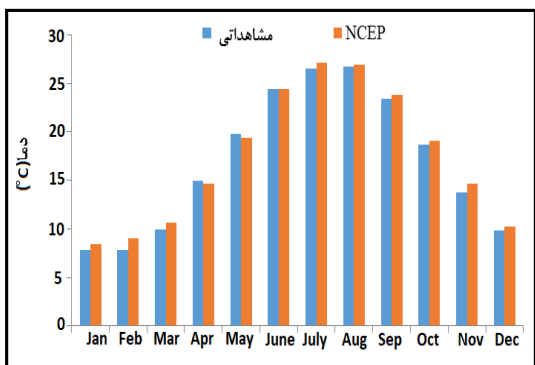
ایستگاه	پارامتر	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE	NSE
بابلسر	دما	۰/۸۲	۱/۲۷	۰/۳	۰/۹
	بارش	۰/۸	۸/۹	۷/۸	۰/۸۲
قراخیل	دما	۰/۸۱	1.16	۰/۳۳	۰/۹۶
	بارش	۰/۷۹	۳/۴۹	۱۰/۶۶	۰/۸۵



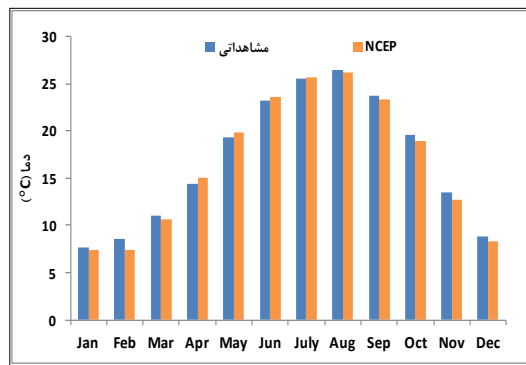
شکل ۳. مقایسه مقادیر متوسط ماهانه بارش مشاهده‌ای و سنتز شده از NCEP در مرحله صحت سنجی در ایستگاه بابلسر



شکل ۴. مقایسه مقادیر متوسط ماهانه بارش مشاهده‌ای و سنتز شده از NCEP در مرحله صحت سنجی در ایستگاه قراخیل



شکل ۵. مقایسه مقادیر متوسط ماهانه دما مشاهده‌ای و سنتز شده از NCEP در مرحله صحت سنجی در ایستگاه بابلسر



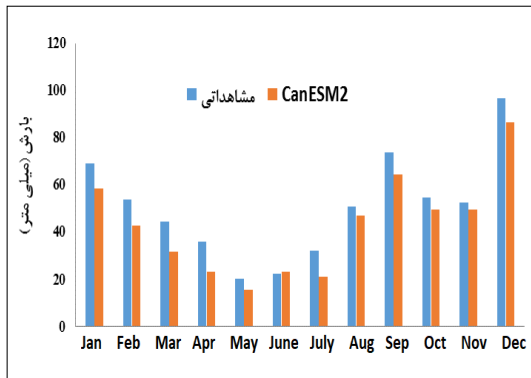
شکل ۶. مقایسه مقادیر متوسط ماهانه دما مشاهده‌ای و سنتز شده از NCEP در مرحله صحت سنجی در ایستگاه قراخیل

SDSM برای تولید داده‌های اقلیمی طی دوره آتی استفاده نمود.

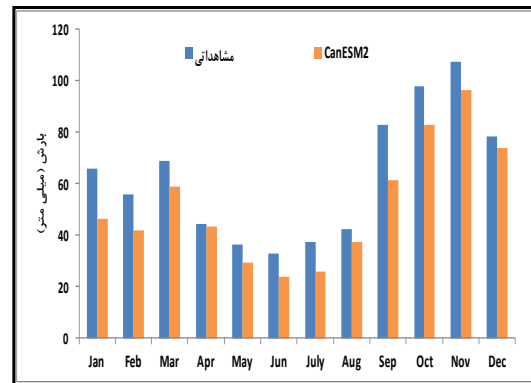
#### سناریوی تغییر اقلیم

پس از صحت سنجی مدل SDSM، با استفاده از

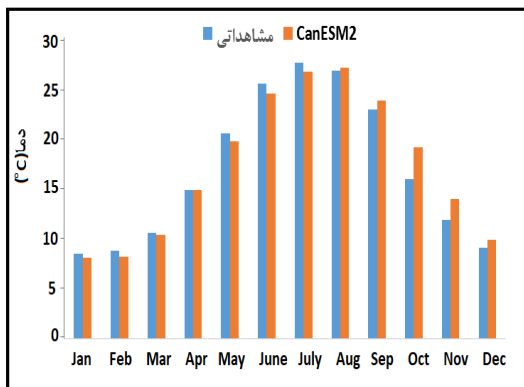
داشته که مقادیر پایین RMSE و MAE و بالا بودن مقدار R<sup>2</sup> و NSE در هر دو ایستگاه نشان‌دهنده همین انطباق بوده و نشان می‌دهد مدل SDSM از توانایی قابل قبولی در کوچک‌مقیاس سازی داده‌های بارش در مدل CanESM2 برخوردار است و لذا می‌توان از مدل



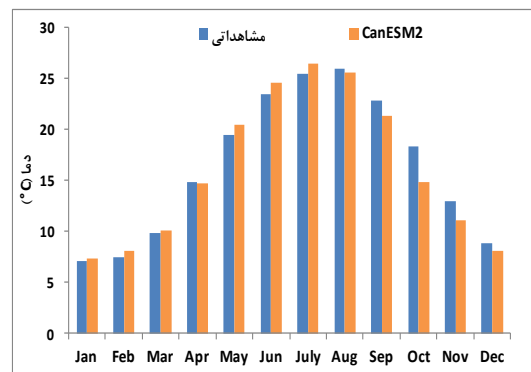
شکل ۷. مقایسه متوسط ماهانه بارش مشاهداتی و سنتز شده از CanESM2 در مرحله صحت سنجی ایستگاه بابلسر



شکل ۸. مقایسه متوسط ماهانه بارش مشاهداتی و سنتز شده از CanESM2 در مرحله صحت سنجی ایستگاه قراخیل



شکل ۹. مقایسه متوسط ماهانه دما مشاهداتی و سنتز شده از CanESM2 در مرحله صحت سنجی در ایستگاه بابلسر



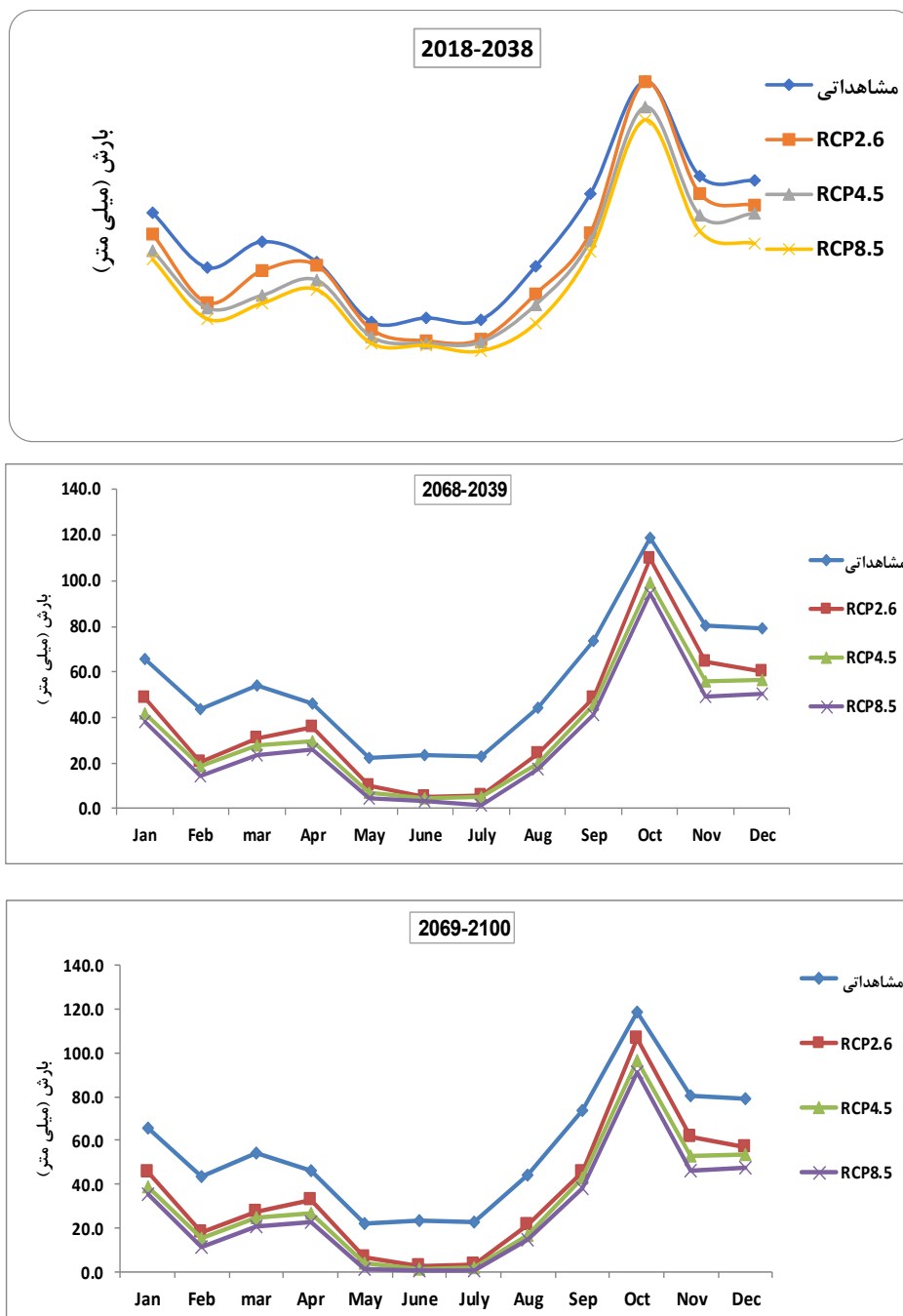
شکل ۱۰. مقایسه متوسط ماهانه دما مشاهداتی و سنتز شده از CanESM2 در مرحله صحت سنجی در ایستگاه قراخیل

آتی نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۷) بوده، به طوری که در دوره ۲۰۱۸-۲۰۳۸، در ایستگاه بابلسر تحت سناریو RCP 8.5 و RCP4.5 و RCP2.6 بارش متوسط سالانه به ترتیب ۱۵/۳۸ درصد و ۲۱/۵ و ۳۲/۶ درصد نسبت به دوره پایه کاهش، دمای متوسط سالانه به ترتیب ۰/۹، ۱/۱۲ و ۱/۵ درجه سانتیگراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. در ایستگاه قراخیل تحت سناریو RCP2.6 و RCP4.5 و RCP 8.5 بارش متوسط سالانه به ترتیب ۱۴/۳۹ درصد و ۱۹/۲۴ و ۲۴/۰۶ درصد نسبت به دوره پایه کاهش، دمای متوسط سالانه به ترتیب ۰/۳، ۱/۳۲ و ۱/۴۱ درجه سانتیگراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد.

داده های دوره زمانی آینده مدل بزرگ مقیاس مورد نظر، داده های بارش برای دوره های زمانی آینده نزدیک (۲۰۱۸-۲۰۳۸)، آینده میانی (۲۰۳۹-۲۰۶۸) و آینده دور (۲۰۶۹-۲۱۰۰) تحت سه سناریو تأیید شده IPCC RCP 2.6 (خوشبینانه)، RCP 4.5 (حد وسط) و RCP 8.5 (بد بینانه) برآورد گردید و در نهایت به مقایسه ی نمودارهای داده های پایه مشاهداتی و محاسباتی برای دوره ی پایه و آینده پرداخته شد.

نتایج حاصل از بررسی داده های دوره پایه و شبیه سازی شده آتی تحت تمامی سناریوهای RCP در هر دو ایستگاه بابلسر و قراخیل نشان دهنده کاهش بارش متوسط سالانه و افزایش دمای متوسط سالانه در دوره

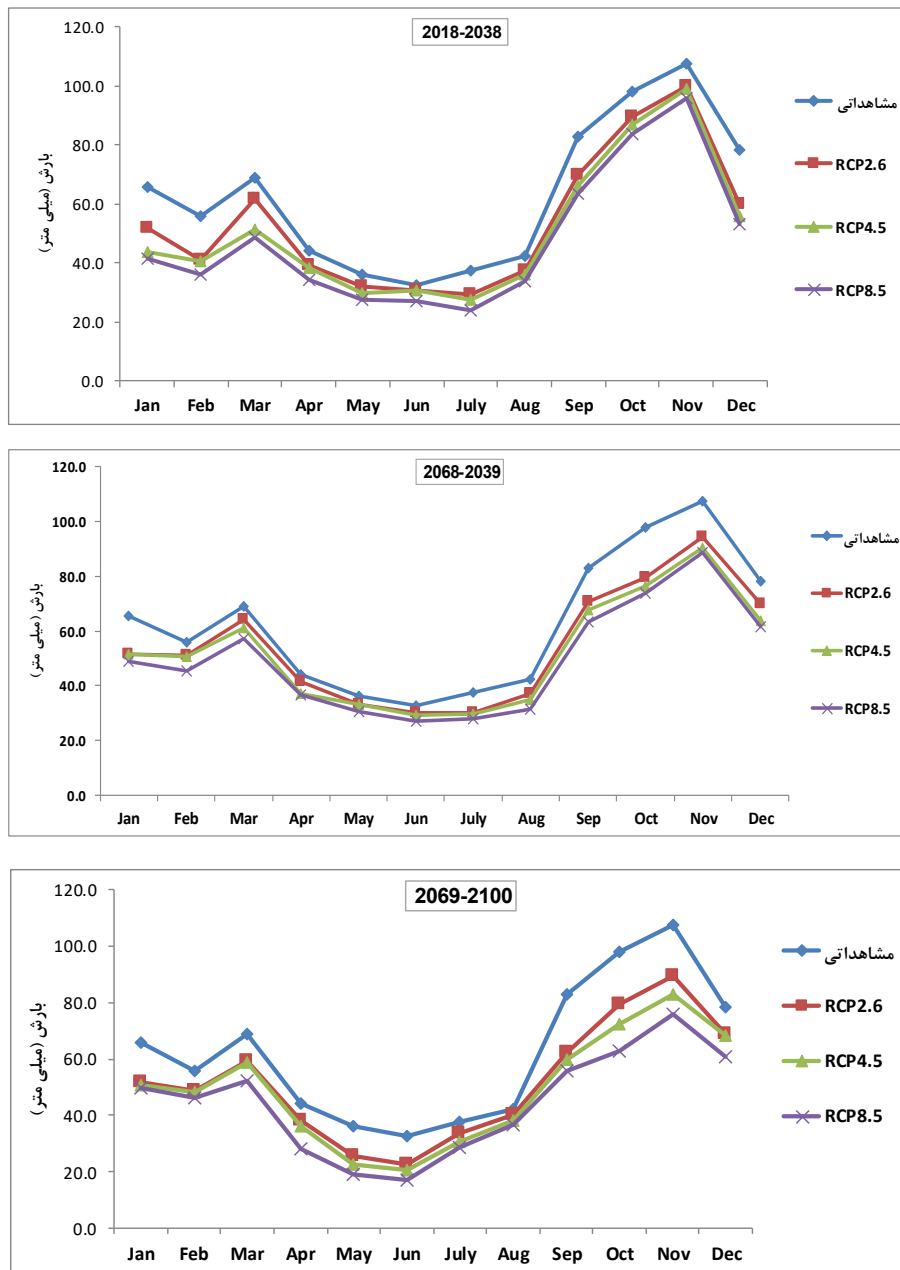




شکل ۱۰. روند تغییرات میانگین ماهانه بارش، تحت سناریوهای مختلف در آینده نزدیک، آینده میانی و آینده دور نسبت به دوره پایه در ایستگاه بابلسر

به ترتیب ۱/۳۸، ۱/۵۵ و ۲/۲۳ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. در ایستگاه قراخیل تحت سناریو RCP 2.6 و RCP 4.5 و RCP 8.5 بارش متوسط سالانه به ترتیب ۱۷/۲۵ درصد و ۲۱/۴۷ و ۲۸/۸۷

در دوره ۲۰۳۹-۲۰۶۸، در ایستگاه بابلسر تحت سناریو RCP 2.6 و RCP 4.5 و RCP 8.5 بارش متوسط سالانه به ترتیب ۳۱/۲۶ درصد و ۳۹/۰۴ و ۴۶/۰۹ درصد نسبت به دوره پایه کاهش، دمای متوسط سالانه

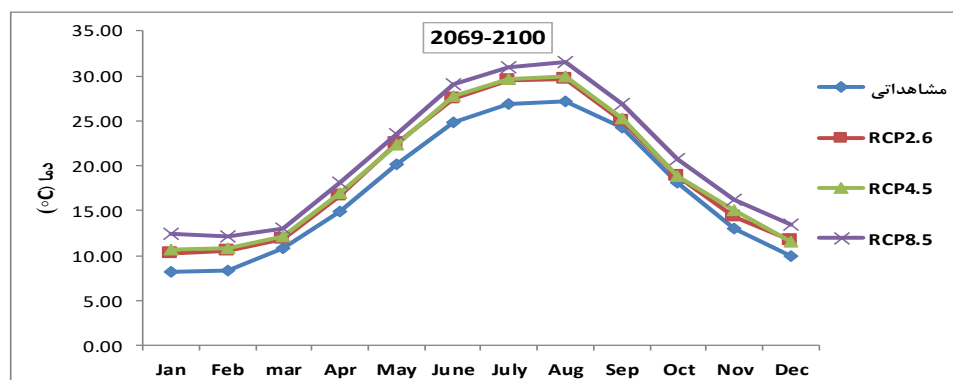
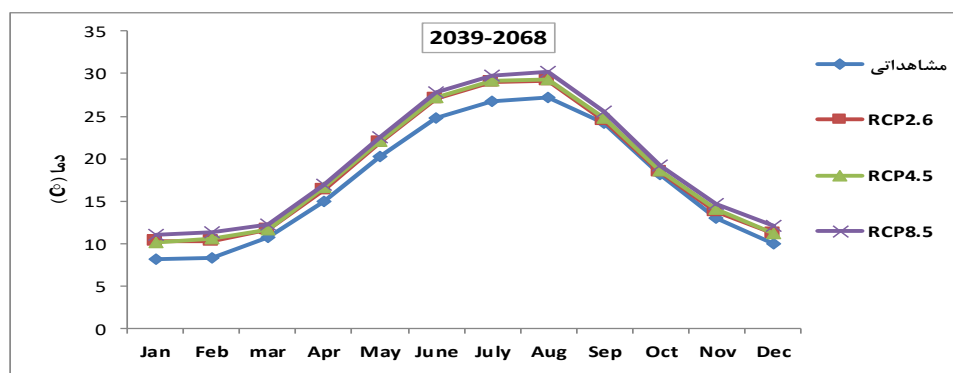
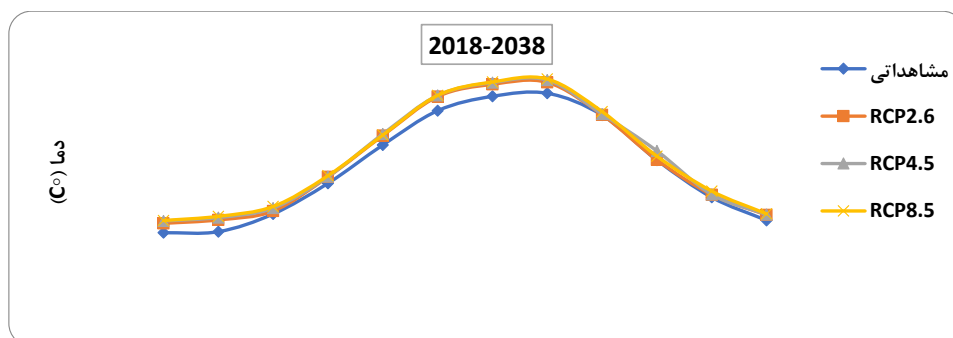


شکل ۱۱. روند تغییرات میانگین ماهانه بارش، تحت سناریوهای مختلف در آینده نزدیک، آینده میانی و آینده دور نسبت به دوره پایه در ایستگاه قراخیل

کاهش، دمای متوسط سالانه به ترتیب ۱/۷۹، ۲/۰۱ و ۳/۴۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. در ایستگاه قراخیل تحت سناریو RCP2.6 و RCP4.5 و RCP8.5 بارش متوسط سالانه به ترتیب ۱۹/۴۵ درصد و ۲۷/۶ و ۳۴/۷ درصد نسبت به دوره پایه کاهش، دمای متوسط سالانه به ترتیب ۱/۹، ۲/۲۱

درصد نسبت به دوره پایه کاهش، دمای متوسط سالانه به ترتیب ۱/۷، ۱/۸۹ و ۲/۶ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد.

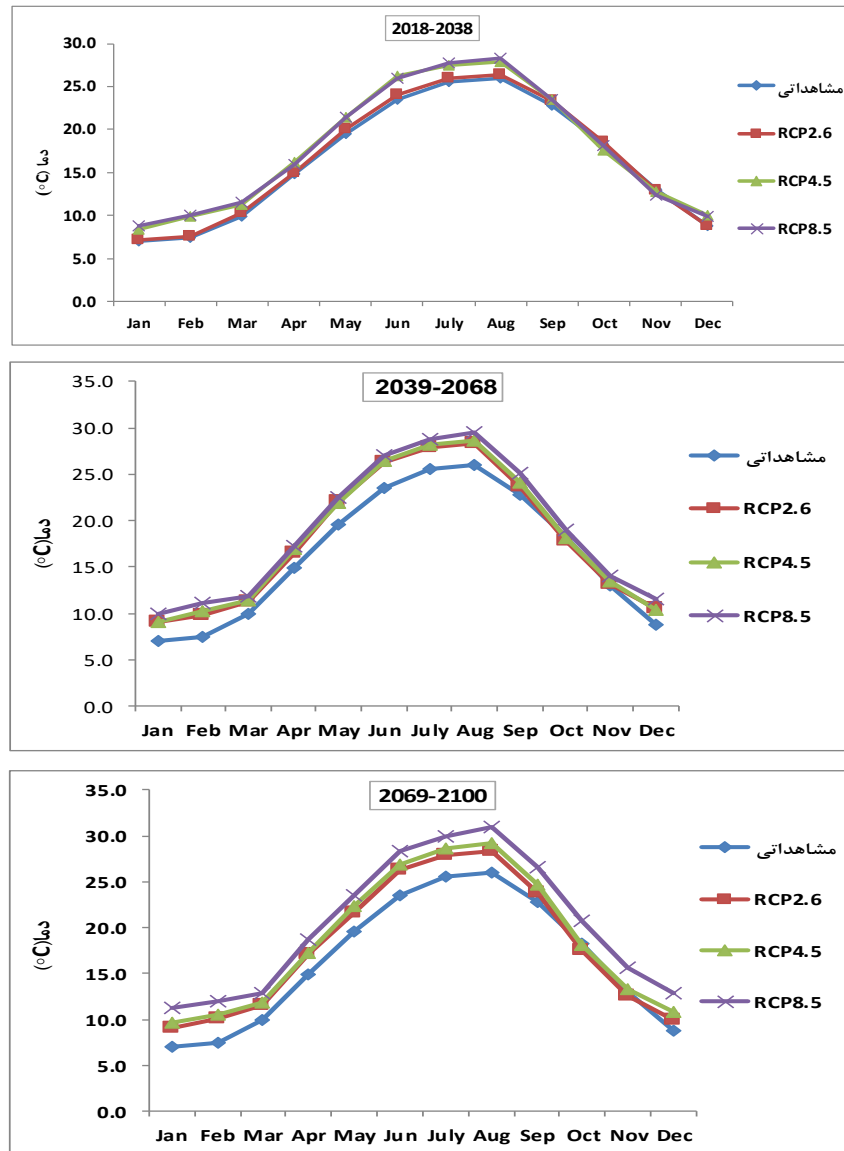
در دوره ۲۰۶۹-۲۱۰۰، تحت سناریو RCP2.6 و RCP4.5 و RCP8.5 بارش متوسط سالانه به ترتیب ۳۶/۶ درصد و ۴۴/۳۸ و ۵۱/۰۷ درصد نسبت به دوره پایه



شکل ۱۲. روند تغییرات میانگین ماهانه دما، تحت سناریوهای مختلف در آینده نزدیک، آینده میانی و آینده دور نسبت به دوره پایه در ایستگاه بابلسر

شبهه‌سازی شده آتی تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 و RCP 8.5 نشان دهنده کاهش بارش متوسط ماهانه و افزایش دمای متوسط ماهانه در اکثر ماه‌ها در تمامی سناریوها در هر سه دوره آینده نزدیک، آینده میانی و آینده دور نسبت به دوره پایه در ایستگاه بابلسر و قراخیل بوده است. چنانچه نتایج نشان می‌دهد، بارش متوسط ماهانه در اکثر ماه‌ها در تمامی سناریوها

و ۳/۸۶ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. اشکال ۱۰ تا ۱۳ نتایج حاصل از تغییرات متغیرهای دما و بارش متوسط ماهانه را نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای مختلف در ایستگاه بابلسر و قراخیل نشان می‌دهد. نتایج حاصل از بررسی داده‌ها در دوره پایه و



شکل ۱۳. روند تغییرات میانگین ماهانه دما، تحت سناریوهای مختلف در آینده نزدیک، آینده میانی و آینده دور نسبت به دوره پایه در ایستگاه قراخیل

### جمع‌بندی

نتایج ارزیابی دقت مدل SDSM در شبیه‌سازی بارش بر اساس شاخص  $R^2$ ، RMSE، MAE، NSE در ایستگاه بابلسر و قراخیل در مرحله صحت‌سنجی نشان داد که انطباق زیادی بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی وجود داشته که مقادیر پایین RMSE و MAE و بالا بودن مقدار  $R^2$  و NSE برای هر دو پارامتر دما و بارش

نسبت به دوره پایه کاهش یافته است. سناریو RCP8.5 نسبت به دو سناریو دیگر و دوره آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۶۹) بیشترین کاهش بارش را نشان داده اند (اشکال ۱۰ و ۱۱). هم‌چنین دمای متوسط ماهانه در دوره آتی در اکثر ماه‌ها نسبت به دوره پایه افزایش یافته است. بیشترین افزایش دما در سناریو RCP 8.5 و دوره آینده دور (۲۰۶۹-۲۱۰۰) مشاهده می‌گردد (اشکال ۱۲ و ۱۳).

### مراجع

- Aref, M.A. Alijani, B. 2018. Investigation of temperature and precipitation variations of Yazd-Ardakan basin with SDSM under the conditions of future climate change Scientific Journal Arid biom 8:89-101, (In Persian).
- Asakereh, H. Akbarzadeh, Y. 2017. Simulation of temperature and precipitation variation of the synoptic station of Tabriz during 2010-2100 by using SDSM and CanEsm2 model's output. Geography and Environmental Hazards 21: 153-174, (In Persian).
- Ashrاف, B. Mousavi Baygi, M. Kamali G.A. and Davari, K. 2011. Prediction of Seasonal Variations of Climatological Parameters over Next 20 Years by Using Statistical Downscaling Method of HADCM3 Data (Case 4-Study: Khorasan Razavi Province), Journal of Water and Soil. 25(4) 940-952, (In Persian).
- Babaeian, I., Z. Najafi-Nik, F. Zabol-Abbasi, M. Habibi-Nokhandan, H. Adab, S. Malbusi. 2009. Climate change assessment over Iran using Statistical downscaling of ECHO-G outputs during 2010-2039. Iranian Journal of Geography and Development, 7; 135-152, (In Persian).
- Bahak, B. 2013. Study of the Likelihood of Climate Change in Kerman Province using Man- Kendall Method (Case Study: Kerman Station), Geographical Journal Of Territory. 39: 65-72, (In Persian).
- Campozano, L., Tenelanda, D., Sanchez, E., Samaniego, E., Feyen, J. 2016. Comparison of Statistical Downscaling Methods for Monthly Total Precipitation: Case Study for the Paute River Basin in Southern Ecuador, Advances in Meteorology, 13p.
- Fallah Ghalhari GA., Yousefi, H., Hosseinzadeh, A., Alimardani, M., Reyhani, E. 2019. Assessment of Climate Change in Bojnourd Station in 2016-2050 using Downscaling Models LARS WG and SDSM Iranian journal of Ecohydrology 6:99-109, (In Persian).
- Feizi, V. Faraj Zadeh, M. Nowrozi, R. 2010. The study of climate change in Sistan and Baluchistan by Mann-Kendall, the proceedings of the 4th international conference of geographers of the Islamic world, Zahedan, (In Persian).
- Ghonchepour, D., Sadoddin, A., Bahremand, A., Salmanmahini, A., Jakeman, A. 2019. Application of a quantitative screening approach in statistical downscaling model (SDSM) to generate climate change scenarios (Case study: the Gorgan-roud River Basin) Iranian journal of Ecohydrology 6:397-414, (In Persian).
- Ghosh, S., Mujumdar, P.P. 2008. Statistical downscaling of GCM simulations to streamflow using relevance vector machine, Advances in

نشان‌دهنده همین انطباق بوده و نشان می‌دهد مدل SDSM از توانایی قابل قبولی در کوچک‌مقیاس سازی داده‌های بارش و دما در CanESM2 برخوردار است و لذا می‌توان از مدل مذکور برای تولید داده‌های اقلیمی طی دوره آتی استفاده نمود. ویلیبی و همکاران (۲۰۰۶)، تسفای و همکاران (۲۰۱۴) نیز به عملکرد مناسب مدل SDSM در تولید داده‌های روزانه اقلیمی تأکید داشتند. مقایسه مقادیر پیش‌بینی‌شده بارش و دما تحت تمامی سناریوهای RCP در هر سه دوره آینده نزدیک، میانی و دور با دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۷) نشان‌دهنده کاهش بارش متوسط سالانه و افزایش دمای متوسط سالانه در هر سه دوره آتی نسبت به دوره پایه در هر دو ایستگاه بابلسر و قراخیل می‌باشد، به طوری که در دوره ۲۱۰۰-۲۰۶۹، تحت سناریو RCP 8.5 (بدبینانه)، در ایستگاه بابلسر و قراخیل، بارش متوسط سالانه به ترتیب به میزان ۵۱/۰۷ و ۳۴/۷ درصد بیشترین کاهش و دمای متوسط سالانه به ترتیب به میزان ۳/۴۴ و ۳/۸۶ درجه سانتی‌گراد بیشترین افزایش را نسبت به دوره پایه نشان داده است. چنانچه نتایج نشان می‌دهد، در هر دو ایستگاه بابلسر و قراخیل، بارش متوسط ماهانه در اکثر ماهها تحت همه سناریوهای RCP در هر سه دوره ۲۰۳۸-۲۰۱۸، ۲۰۶۸-۲۰۳۹ و ۲۱۰۰-۲۰۶۹ نسبت به دوره پایه کاهش یافته است. سناریو RCP8.5 نسبت به دو سناریو دیگر و دوره آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۶۹) بیشترین کاهش بارش را داشته است. هم چنین دمای متوسط ماهانه در هر دو ایستگاه، تحت همه سناریوها در هر سه دوره آینده نزدیک، میانی و دور نسبت به دوره پایه افزایش یافته است. بیشترین افزایش دما در سناریو RCP8.5 و دوره آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۶۹) مشاهده می‌گردد. به طور کلی آنالیز روند تغییرات دما و بارش نشان داد که اقلیم منطقه در حال تغییر بوده و روند کاهش بارش، افزایش دما و گرم شدن نسبی را سپری خواهد کرد که با نتایج رضایی و همکاران (۱۳۹۲)، سلمانی و همکاران (۱۳۹۴)، بابائیان و همکاران (۱۳۸۸) و عارف و علیجانی (۱۳۹۷) مطابقت دارد.

- Rezaei, M., Ghasemieh, H. 2019. Assessing the impact of climate change on rainfall and temperature variability (Case Study: Kashan and Khur and Biabank Stations) Scientific Journal Management System 9:81-99, (In Persian).
- Rezaii, M. Nohtani, M. Moghaddammia, A. Abkar, A. Rezaii, M. "Evaluation of Climate Changes Impacts on precipitation using A2 and B2 Scenarios of HadCM3 Model (Case Study: Rabor City)." 12th conference of Irrigation and Evaporation Reduction, kerman, (In Persian).
- Sadeghi, SH. 2007. Hydropolytic and water crisis: Future challenges in Middle East and Persian Gulf, Political & Economic Ettelaat, 115-116: 200-207, (In Persian).
- Salmani H, Rostami Khalaj M, Rouhani H, Mohamadi M, Tali Khoshk, S. 2015. Evaluation of hydrological response Ghazaghli watershed of Golestan during the future period by affected of climate change. Journal of Watershed Manag Research 6(11):24-35 (In Persian).
- Samadi, S. Z., Sagaraswar. G and Tajiki. M. 2010. Comparison of General Circulation Models: methodology for selecting the best GCM in Kermanshah Synoptic Station, Iran International Journal Global Warming., 4(2): 347-362.
- Tahir, T., Hashim, A. M., & Yusof, K. W. 2018. Statistical downscaling of rainfall under transitional climate in Limbang River Basin by using SDSM. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 140, No. 1, p. 012037). IOP Publishing.
- 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.
- Tesfaye S, Joseph Raj A, Geberesamuel G, 2014. Assessment of Climate Change Impact on the Hydrology of Geba Catchment, Northern Ethiopia American Journal of Environmental Engineering. 4(2): 25-31.
- Wilby R.L. and Harris, I. 2006. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK. Water Resources Research. 42(1): W01414.
- Yao, J., He, X., Li, X., Chen, W., Tao, D. 2012. Monitoring responses of forest to climate variations by MODIS NDVI: a case study of Hun River upstream, northeastern China. European Journal of Forest Research, 131(3), 705-716.
- Water Resources, 31(1):132-146.
- Gulacha, M.M., Deogratias, M., Mulungu, M. 2017. Generation of climate change scenarios for precipitation and temperature at local scales using SDSM in Wami-Ruvu River Basin Tanzania, Journal of Physics and Chemistry of the Earth, 2015, 100:62-72.
- Gutierrez, J. M., San-Martín. D., Brands. S., Manzanos. R and Herrera. S. 2013. Reassessing Statistical Downscaling Techniques for Their Robust Application under Climate Change Conditions. Journal Climate. 26:171-188.
- Hajimohammadi, M., Ghermezcheshmeh, B., Azizian, A. 2019. Evaluate the performance of SDSM model in different station and predict climate variables for future Iranian Journal of Watershed Management Science&Engineering 16:28-37, (In Persian).
- Hessami, M., Gachon, P.H., Ouarda, T.B.M.J., St-Hilaire, A., 2008. Automated regression based statistical downscaling tool, Environmental Modelling and Software, 23(6):813-834.
- Hooshmand, D. and Khordadi, M.J. 2014. Uncertainty assessment of AOGCMS and emission scenarios in climatic parameters estimation (case study in mashhad synoptic station), Geography and Environmental Hazards. 3: 77-92, (In Persian).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Working group III report, mitigation of climate change, chapter 6, residential and commercial buildings. M. Levine (USA) and D. U'рге-Vorsatz (Hungary), coordinating lead authors. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Koukidis, E. N. Berg .A. A. 2009. Sensitivity of statistical downscaling model (SDSM) to reanalysis products. Atmosphere Ocean. 47(1):1-18.
- Mao, K., Li, M., Chen, C., Huang, Q., Chen, Z., Li, F., & Chen, D. 2010. Estimating relationships between NDVI and climate change in Guizhou Province, Southwest China. Geoinformatics, 2010 18th International Conference on (pp. 1-5). IEEE.
- Pirnia, A., Habibnejad Roshan, M., Solaimani, K. 2015. Investigation of Precipitation and Temperature Changes in Caspian Sea Southern Coasts and Its Comparison with Changes in Northern Hemisphere and Global Scales, Journal of Watershed Management Research, 6(11):90-100, (In Persian).

## Evaluation of the impact of climate change on precipitation and temperature variables based on the RCP scenarios: A case study of the east of Mazandaran Province, Iran

Seyyed Mehdi Mortazavifard<sup>1</sup>, Mohammad Hossein Mobin<sup>2</sup>, Mohammad Hossein Mokhtari<sup>2</sup>, Mohammad Ekrami<sup>1</sup>

AFF

\*Corresponding Author Email: [mh.mokhtari@yazd.ac.ir](mailto:mh.mokhtari@yazd.ac.ir)

Received: 13 September 2018 , accepted: 10 January 2019

### ABSTRACT

Climate is one of the environmental factors the change of which poses great threats to sustainable development. In recent decades, climatic changes that are mainly due to human activities have led to changes in different parts of the ecosystem. In this regard, general circulation models have been used by climate agencies to predict future climatic changes. In this study, the statistical downscaling model (SDSM) was used to predict precipitation and temperature at Babolsar and Gharakhil synoptic stations. The predictions were based on CanESM2 general circulation model scenarios. In the validation stage, the results of evaluating the accuracy of the SDSM model in rainfall simulation based on  $R^2$ , RMSE, MAE, NSE at Babolsar and Gharakhil stations showed a great agreement between the simulated values and the observed values within the base period. Also, the values of precipitation and temperature predicted under RCP2.6, RCP4.5 and RCP8 scenarios at both stations in three periods including 2018-2039, 2038-2068 and 2069-2100 were compared to the values obtained within the baseline period (1987-2007). The results showed a decrease in the mean annual precipitation and a rise in the mean annual temperature under all the three RCP scenarios. For instance, in the period of 2068-2100, under the RCP 8.5 scenario (i.e. a pessimistic one) at Babolsar and Gharakhil stations, the average annual precipitation is decreased by 51.07% and 34.7% respectively. In contrast, the average annual temperature at those two stations undergoes the highest increase by 3.44°C and 3.86°C respectively, compared to the baseline period.

**Keywords:** Climate Change, Statistical DownScaling Model, Mazandaran, Rainfall, Air Temperature

### HOW TO CITE THIS ARTICLE

Mortazavifard SM., Mobin MH., Mokhtari MH., Ekrami M. (2019). Evaluation of the impact of climate change on precipitation and temperature variables based on the RCP scenarios: A case study of the east of Mazandaran Province, Iran. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 1(4): 351-364.

### 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/>).

