

ارزیابی روش‌های SDSM در ریزمقیاس کردن اندازه بارش و دما سالانه شبیه‌سازی شده با مدل CANESM2 (منطقه مورد مطالعه: استان آذربایجان شرقی)

محمدحسین جهانگیر^{۱*}، لیلا قره‌داغی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۲۳

چکیده

امروزه با رشد سریع فعالیت‌های صنعتی، گازهای گلخانه‌ای نیز به سرعت افزایش یافته است. یکی از پیامدهای این پدیده، گرمایش جهانی و در نهایت پدیده تغییر اقلیم است که خود نیز موجب تغییر آب‌های سطحی و زیرزمینی شده است. پیش‌بینی بارش و دما در مدیریت منابع آب، تأثیر فراوانی دارد. در این پژوهش، عملکرد مدل SDSM برای ریزمقیاس‌نمایی مقادیر بارش و حداکثر دما در سه شهر استان آذربایجان شرقی، در ایستگاه‌های تبریز، میانه و سراب بررسی شده و خروجی‌های مدل CANESM2، تحت سناریوهای RCP۲/۶ و RCP۴/۵ و برای سه دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰، ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ و ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ استفاده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، مقدار بارش در ایستگاه‌های تبریز و میانه در هر سه دوره زمانی و تحت هر دو سناریو افزایش یافته ولی بر اساس نتایج در ایستگاه سراب مقدار بارش کاهش می‌یابد. همچنین مقدار حداکثر دما نیز در هر سه دوره و تحت هر دو سناریو بررسی شده و نتایج حاصل نشان داده است که در ایستگاه تبریز و سراب دما کاهش یافته و در همین حال در ایستگاه میانه، میزان آن افزایش یافته است.

کلیدواژه‌ها: آذربایجان شرقی، ریزمقیاس‌نمایی، CANESM2، RCP۲/۶، RCP۴/۵، SDSM.

۱. دانشیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، نویسنده مسئول، mh.jahangir@ut.ac.ir

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته اکوهیدرولوژی، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

* این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران است.

مقدمه

و طرح‌های مدل گردش عمومی را از مقیاس جهانی به محلی یا منطقه‌ای تبدیل می‌کند (کمپسی^۴ و همکاران، ۲۰۱۵). برای ریزمقیاس‌سازی در مطالعات هواشناسی، هیدرولوژیکی، جغرافیایی و زیست‌محیطی از ابزارهای پرکاربرد آماری استفاده می‌شود. مدل SDSM یکی از این ابزارهای آماری است (ویلیبی و همکاران، ۲۰۰۶).

غلامپور و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی نقش ریزمقیاس‌سازی و روش محاسبه تبخیر و تعرق مرجع در تحلیل اثر تغییر اقلیم بر منابع آب با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی^۵ (SDSM) و LARS-WG^۶ در حوضه حبله‌رود برای دوره ۳۰ ساله ۲۰۱۸ تا ۲۰۴۷ میلادی پرداختند؛ آن‌ها نتیجه گرفتند ترکیب‌هایی از عوامل ریزمقیاس‌ساز، سناریوی انتشار و روش برآورد تبخیر و تعرق مرجع که میانه آبدهی سالانه حوضه را کمتر از این مقدار پیش‌بینی می‌کنند، نسبت به سایر ترکیب‌ها عدم قطعیت بیشتری دارند.

گودرزی و همکاران (۲۰۱۶) عملکرد مدل SDSM و LARS-WG در شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش در حوضه آبریز دریاچه ارومیه واقع در شمال غرب کشور را ارزیابی کردند؛ آن‌ها دریافتند هر دو مدل دقت بیشتری در شبیه‌سازی دما نسبت به بارش دارند و در شبیه‌سازی ماهانه پارامترهای دما و بارش، مدل SDSM موفق‌تر عمل کرده و دارای عدم قطعیت کمتری است و نیز دارای فرایند شبیه‌سازی وقت‌گیر و پیچیده‌ای است، درحالی‌که مدل LARS-WG در شبیه‌سازی دوره‌های بارش کارایی بهتری دارد و دارای سادگی و سرعت عملکرد بیشتری نسبت به مدل SDSM است.

سبحانی و همکاران (۲۰۱۶) نتایج دو الگوی ریزمقیاس‌نمایی SDSM و مولد آب‌وهوایی LARS-WG را با در نظر گرفتن تحلیل عدم قطعیت روی بارش روزانه، کمینه و بیشینه دمای روزانه در ایستگاه‌های هواشناسی، تبریز و ارومیه ارزیابی کردند؛ آن‌ها در این پژوهش از روش‌های نموداری و آماری برای مقایسه عملکرد دو روش ریزمقیاس‌نمایی استفاده کردند؛ نتایج کلی نشان داد الگوی SDSM در دو ایستگاه بررسی‌شده،

رشد سریع فعالیت‌های صنعتی و همچنین فعالیت‌های انسانی باعث افزایش دمای اتمسفر و افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای شده و در نتیجه آن‌ها پدیده تغییر اقلیم به وجود آمده است. برای شبیه‌سازی سیستم اقلیمی بر اساس سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای از مدل‌های اقلیمی جهانی استفاده می‌شود تا آثار تغییر اقلیم در آینده به دست آید (گولاچا^۱ و همکاران، ۲۰۱۷).

پژوهشگران در مطالعاتی که در چند دهه اخیر داشته‌اند، اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب را مهم‌ترین و حیاتی‌ترین مسئله در بسیاری از مناطق خشک دنیا مطرح و بیان کرده‌اند که متغیرهای اقلیمی از جمله دما و بارندگی می‌توانند تأثیر بسیار مهمی بر منابع آب در دسترس آینده بگذارد (آشفته و همکاران، ۲۰۱۴). مطالعات نشان می‌دهد که بخش‌های کشاورزی و اقتصادی با کوچک‌ترین تغییر در میزان دما و بارش دچار آسیب‌های جدی می‌شوند (عباسی و همکاران، ۲۰۱۰).

پیش‌بینی منابع آب در سال‌های اخیر، امری مهم به شمار می‌رود تا هم منابع آب به‌صورت بهینه مصرف شود و هم باعث حفظ و پیش‌بینی وضعیت آینده منابع آب شود تا نسل‌های آینده از آن بهره‌مند شوند (اعلمی و همکاران، ۲۰۱۵). مدل‌های گردش عمومی^۷ (GCM) از بهترین ابزارهایی هستند که برای شبیه‌سازی رفتار متغیرهای اقلیمی به کار گرفته می‌شود (ویلیبی^۳ و همکاران، ۲۰۰۲). مدل‌های GCM به دلیل بزرگ مقیاس بودن، اثرات تغییر اقلیم را در شبکه‌های بزرگ مکانی شبیه‌سازی می‌کنند. این مدل‌ها نمی‌توانند اثر شرایط محلی مثل توپوگرافی، پوشش گیاهی و... را روی متغیرهای اتمسفری مثل دما و بارش نشان دهند (گودرزی و همکاران، ۲۰۱۷). به همین دلیل، خروجی مدل‌های GCM برای برآورد اثرات تغییر اقلیم در یک منطقه خاص به مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای تبدیل می‌شوند (ویلیبی، ۲۰۰۲).

ریزمقیاس‌نمایی فرایندی است که پیش‌بینی‌ها، شبیه‌سازی

4. Camici

5. Statistical Downscaling Model (SDSM)

6. Long Ashton Research Station Weather Generator (LARS-WG)

1. Gulacha

2. General Circulation Model (GCM)

3. Wilby

برای کمینه و بیشینه دمای روزانه عملکرد بهتری نسبت به الگوی LARS-WG دارد، درحالی‌که برای بارش روزانه نتایج عملکرد دو الگو تا حدودی در دو ایستگاه مشابه بود. گودرزی و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر روی بارش و دمای بیشینه و کمینه حوضه کرخه در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ میلادی پرداختند؛ آن‌ها با استفاده از سناریوهای اقلیمی مدل‌های جفت‌شده اقیانوسی- اتمسفری گردش عمومی جو، در دوره پایه ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰، به انتخاب مدل معرف منطقه پرداختند و برای ریزمقیاس‌نمایی از مدل SDSM استفاده کردند؛ نتایج نهایی نشان داد بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک کرمانشاه و خرم‌آباد حدود ۲٪ کاهش می‌یابد و درجه حرارت حداکثر و حداقل افزایش می‌یابد. پیش‌بینی‌ها نشان داد هرچه از شمال حوضه به سمت جنوب (مناطق سردتر به گرم‌تر) حرکت کنیم، تأثیر تغییرات اقلیمی بر درجه حرارت حداکثر و حداقل کمتر خواهد شد.

صالح‌نیا و همکاران (۲۰۱۷) خشکسالی‌های هواشناسی در حوضه آبریز کشف‌رود در شمال شرق ایران در دوره‌های آتی را مورد مطالعه قرار دادند؛ آن‌ها از مدل‌های پیش‌بینی و روش ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی که روش دقیقی است، برای تولید داده‌های جوی برای انجام پیش‌بینی‌های اقلیمی استفاده کردند؛ نتایج کار آن‌ها در سه دهه آتی نسبت به دوره پایه (۱۳۶۶ تا ۱۳۹۵) نشان داد که تعداد وقوع خشکسالی‌ها افزایش، اما به‌طور متوسط از شدت خشکسالی‌های آینده کاسته خواهد شد.

نیک‌بخت شهبازی (۲۰۱۸) در پژوهشی تأثیر تغییر اقلیم بر میزان آب مجازی محصولات کشاورزی در دوره‌های آتی را مورد مطالعه قرار داد؛ او با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM داده‌های هواشناسی را شبیه‌سازی و میزان بارش و دمای بیشینه و کمینه را از طریق داده‌های CANESM2 پیش‌بینی کرد و با دوره پایه مقایسه نمود؛ نتایج مطالعات او نشان داد که میزان دما به‌طور میانگین در همه ایستگاه‌ها و در همه سناریوها افزایش و میانگین بارش کاهش می‌یابد و میزان آب مجازی به‌دست‌آمده برای تمامی محصولات کشاورزی مورد مطالعه روند افزایشی خواهد داشت.

رضایی و همکاران (۲۰۱۵) با اندازه‌گیری میزان بارندگی ایستگاه‌های کرمان، راور و رابر به مقایسه روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و SDSM در ریزمقیاس کردن اندازه بارش پرداختند. نتیجه کار آن‌ها نشان داد شبکه عصبی در ایستگاه‌های کرمان و راور عملکرد بالایی دارد و همچنین اندازه بارندگی سالانه هم در شبکه عصبی مصنوعی و هم در SDSM نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد.

نیک‌بخت شهبازی (۲۰۱۹) تأثیر تغییر اقلیم بر میزان بارش و تبخیر و تعرق محصولات کشاورزی در دوره‌های آتی را ارزیابی کرد؛ او برای این کار از داده‌های اقلیمی مدل گردش عمومی جو CANESM2 استفاده کرد و تولید و شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی را با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM برای دوره پایه انجام داد و نتیجه گرفت دما به‌طور میانگین در همه ایستگاه‌ها و همه سناریوها روند افزایشی داشته و میزان بارش در دوره ۲۰۶۰ تا ۲۰۹۰ کاهش یافته و میزان تبخیر و تعرق به‌دست‌آمده برای همه محصولات کشاورزی مورد مطالعه روند افزایشی خواهد داشت.

غنچه‌پور و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی عملکرد مدل SDSM برای ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای بارش، کمترین و بیشترین دما در حوضه رودخانه گرگان‌رود پرداختند؛ نتایج کار آن‌ها نشان داد مدل SDSM برای ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های مدل CANESM2 کارایی بالایی دارد. بنابراین مدل SDSM را برای ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای یادشده تحت سناریوهای RCP۲/۶ و RCP۸/۵ مورد استفاده قرار دادند و همچنین نتیجه گرفتند جهت مشابهی در نوسان متغیرهای اقلیمی بررسی شده در ایستگاه‌های یاد شده قابل پیش‌بینی نیست.

گودرزی و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی و پیش‌بینی رفتار جریان ورودی به سد سیمره در دوره‌های ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹ پرداختند؛ آن‌ها از مدل^۱ (HADCM3) تحت سناریوی A2 و B2 و مدل CANESM2 تحت سناریوی RCP۲/۶ و RCP۴/۵ و RCP۸/۵ به روش ریزمقیاس‌نمایی و همچنین از

1. Hadley Centre Coupled Model Version3 (HADCM3)

تغییرات اقلیمی که در بخش هیدرولوژی، زیست محیطی و هواشناسی تأثیر بسیاری می‌گذارد پرداخت.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

با توجه به شکل (۱)، استان آذربایجان شرقی با وسعت ۴۵۴۹۰ کیلومتر مربع در گوشه شمال غربی فلات ایران قرار دارد. این استان از نظر موقعیت جغرافیایی در محدوده ۴۵ درجه و ۷ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. از لحاظ وسعت در بین استان‌های کشور در رتبه دهم قرار دارد. در حالت کلی، استان آذربایجان شرقی یک منطقه کوهستانی محسوب می‌شود که حدود ۴۰٪ از سطح آن را کوهستان و ۲۲٪ را تپه‌ماهورها و ۸٪ را زمین‌های هموار (از جمله دشت‌های میان‌کوهی) فرا گرفته است. آب‌وهوای آذربایجان شرقی به‌طور کلی سرد و خشک است ولی به‌علت تنوع توپوگرافی از اقلیم‌های متفاوتی برخوردار است. این استان همواره تحت تأثیر بادهای سرد شمالی و سبیری و بادهای مرطوب دریای سیاه و مدیترانه و اقیانوس اطلس قرار گرفته است. آذربایجان شرقی یک منطقه سردسیر و کوهستانی است و از لحاظ تقسیم‌بندی‌های اقلیمی جزء مناطق نیمه‌خشک به حساب می‌آید. میانگین بارندگی سالیانه در این استان ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر است. جدول (۱) میانگین بارش و دمای سالیانه و طول و عرض جغرافیایی هر ایستگاه را نشان می‌دهد.

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

(اداره کل سازمان هواشناسی استان آذربایجان شرقی)

Table (1): Characteristics of the stations studied
(General Office of the Meteorological Organization of East Azerbaijan Province)

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	میانگین بارش سالانه (mm)	میانگین دمای سالانه (C)
تبریز	۴۶° ۱۷' ۰۰"	۳۸° ۰۵' ۰۰"	۲۸۴/۸	۱۲/۱
میانه	۴۷° ۴۲' ۰۰"	۳۷° ۲۷' ۰۰"	۲۷۸	۱۴
سراب	۴۷° ۲۳' ۰۰"	۳۷° ۵۶' ۰۰"	۲۴۱/۹	۸۷

مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS برای شبیه‌سازی جریان رودخانه استفاده کرده و نتیجه گرفتند که بیشترین میزان بارش مربوط به RCP۸/۵ است و میزان بارش متوسط سالانه منطقه و همچنین میزان جریان ورودی به سد سیمره در دوره‌های آینده کاهش خواهد یافت.

میراکبری و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای تغییرات پارامترهای اقلیمی بارندگی، دمای متوسط و سرعت باد حداکثر به‌وسیله مدل CANESM2 را تحت سه سناریوی (RCP) و بر اساس روش ریزمقیاس‌نمایی SDSM بررسی کردند؛ نتایج نشان داد که میانگین بارندگی طبق سناریوهای RCP۲/۶ و RCP۸/۵ نسبت به دوره مشاهداتی افزایش و بر طبق سناریوی RCP۴/۵ کاهش خواهد یافت؛ میانگین دما و سرعت حداکثر باد نیز، نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهد یافت.

حیدری تاشه کبود و خوشخو (۲۰۱۹) اثر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق گیاه مرجع در مقیاس‌های زمانی فصلی و سالانه در غرب ایران را ارزیابی کردند؛ آن‌ها برای شبیه‌سازی شرایط اقلیمی آینده از مدل CANESM2 تحت سناریوی RCP۲/۶ و RCP۸/۵ برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های این مدل از روش SDSM استفاده کردند و همچنین برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع از روش فائو-پنمن-مانتیت استفاده کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند بیشترین نرخ افزایش تبخیر و تعرق مرجع دوره‌های آبی در مقیاسه با دوره پایه در تمامی مقیاس‌های فصلی و سالانه در کل منطقه تحت سناریوی RCP۸/۵ و در دوره ۲۰۷۱ تا ۲۱۰۰ رخ خواهد داد. همچنین تبخیر تعرق مرجع در غرب ایران در فصول پاییز و زمستان بسیار بیشتر از سایر مقیاس‌های زمانی خواهد بود.

هدف از این مطالعه، ارزیابی روش‌های SDSM در ریزمقیاس کردن اندازه بارش و دمای سالانه شبیه‌سازی شده با مدل CANESM2 تحت سناریوی RCP۲/۶ و RCP۴/۵ در حوضه آذربایجان شرقی، ایستگاه‌های تبریز، میانه و سراب در سه دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰، ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ و ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ است. با نتایج به‌دست آمده از خروجی این مدل می‌توان متغیرهای اقلیمی را پیش‌بینی کرد و همچنین به بررسی

2. Representative Concentration Pathways (RCP)

کاربرد مدل SDSM در حوضه مورد مطالعه

در این مطالعه از مدل SDSM۵/۳ برای ریزمقیاس‌نمایی آماری و همچنین از متغیرهای بارش و دمای مربوط به سه ایستگاه سینوپتیک (تبریز، میانه، سراب) استفاده شده است که هرکدام از ایستگاه‌ها دارای ۳۱ سال آماری هستند. مدل SDSM در چند مرحله اجرا می‌شود: ۱. انتخاب متغیرهای پیش‌بینی‌کننده؛ ۲. واسنجی و اعتبارسنجی؛ ۳. بررسی عملکرد مدل؛ ۴. تهیه سناریوهای اقلیمی به‌ازای سناریوهای RCP۲/۶ و RCP۴/۵؛ ۵. کالیبراسیون.

بررسی عملکرد مدل SDSM

برای بررسی عملکرد داده‌های مشاهداتی، پیش‌بینی و مقدار خطا شاخص‌های آماری مختلفی وجود دارد: نمایه توافق^۱ (d)، شاخص کارایی نش-ساتکلیف^۲ (NSE)، ریشه دوم میانگین مربعات خطا^۳ (RMSE) و میانگین قدرمطلق خطا^۴ (MAE). در شاخص نش-ساتکلیف (NSE) که میزان تغییرات آن بین منهای بی‌نهایت تا یک است، هرچه داده‌های پیش‌بینی شده به یک نزدیک‌تر باشند، دقت بیشتری خواهند داشت (نش و همکاران، ۱۹۷۰). مقدار d بین یک و صفر است؛ زمانی داده‌های پیش‌بینی و مشاهداتی دقت بالاتر و توافق کامل‌تری دارند که مقادیر d به یک نزدیک‌تر باشد (ویلیموت^۵ و همکاران، ۱۹۸۴). مقدار متوسط خطا بین داده‌های پیش‌بینی و مشاهداتی را با RMSE و MAE نشان می‌دهند (لگاتس^۶ و همکاران، ۱۹۹۹).

هریک از متغیرهای مذکور از طریق روابط زیر محاسبه می‌شوند.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، (۲)، (۳) و (۴) به ترتیب O_i و \bar{O} داده‌های مشاهداتی و میانگین آن‌ها در زمان i هستند. متغیر P_i مقادیر داده‌های پیش‌بینی و N تعداد داده‌هاست.

1. Index of agreement (d)
2. Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)
3. Root mean squared error (RMSE)
4. Mean Absolute Error (MAE)
5. Willmott
6. Legates

شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه آذربایجان شرقی و شهرهای آن را نشان می‌دهد که در شمال غرب ایران واقع شده است.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Figure (1): Geographical location of the study area

روش پژوهش

معرفی مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM

ویلی و همکاران (۲۰۰۲) برای بررسی اثرات تغییرات اقلیم از ابزاری به نام SDSM که یک مدل رگرسیونی چندمتغیره است، برای ریزمقیاس‌نمایی آماری استفاده کردند. در مدل SDSM داده‌های دیدبانی روزانه ایستگاه (پیش‌بینی‌شونده)، متغیرهای بزرگ‌مقیاس NCEP، (پیش‌بینی‌کننده) و متغیرهای بزرگ‌مقیاس مدل‌های گردش عمومی تحت سناریوهای انتشار گوناگون، به‌عنوان ورودی برای دوره مطالعاتی آتی است. خروجی پیش‌بینی‌کننده‌ها دارای متغیرهای زیادی است. در این مطالعه، داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک، داده‌ها NCEP و داده‌های CANESM2 تحت دو سناریوی RCP۲/۶ و RCP۴/۵ مورد استفاده قرار گرفتند. واسنجی مدل با استفاده از داده‌های^۱ (NCEP) انجام می‌شود. میزان دما و بارش ایستگاه‌های تبریز، میانه و سراب نیز برای سه دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰، ۲۰۵۰ تا ۲۰۸۰ و ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ میلادی پیش‌بینی و با دوره پایه مقایسه می‌شود. مدل SDSM عملکرد بالاتری نسبت به بقیه مدل‌ها دارد؛ چون از ترکیب دو روش رگرسیونی و احتمالاتی برای تولید داده‌های هواشناسی استفاده می‌کند و در نتیجه بهترین مدل نسبت به بقیه مدل‌هاست (گودرزی و همکاران، ۲۰۱۸).

1. National Centers for Environmental Prediction (NCEP)

داده‌های بارش ماهانه ایستگاه و Pr_m^{Cordex} متوسط داده‌های بارش ماهانه کوردکس است (غنچه‌پور و همکاران، ۲۰۱۹).

$$Coeff_m = \frac{Pr_m^{st}}{Pr_m^{Cordex}} \quad (۵)$$

نتایج

برای شبیه‌سازی حداکثر دما و بارش تحت سناریوهای ۲/۶ RCP و RCP ۴/۵ در ایستگاه‌های تبریز، میانه و سراب برای دوره‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰، ۲۰۵۰ تا ۲۰۸۰ و ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ شکل‌هایی تهیه شده و بر اساس آن‌ها در شکل‌های زیر تفسیرهایی انجام شده است.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (۲)$$

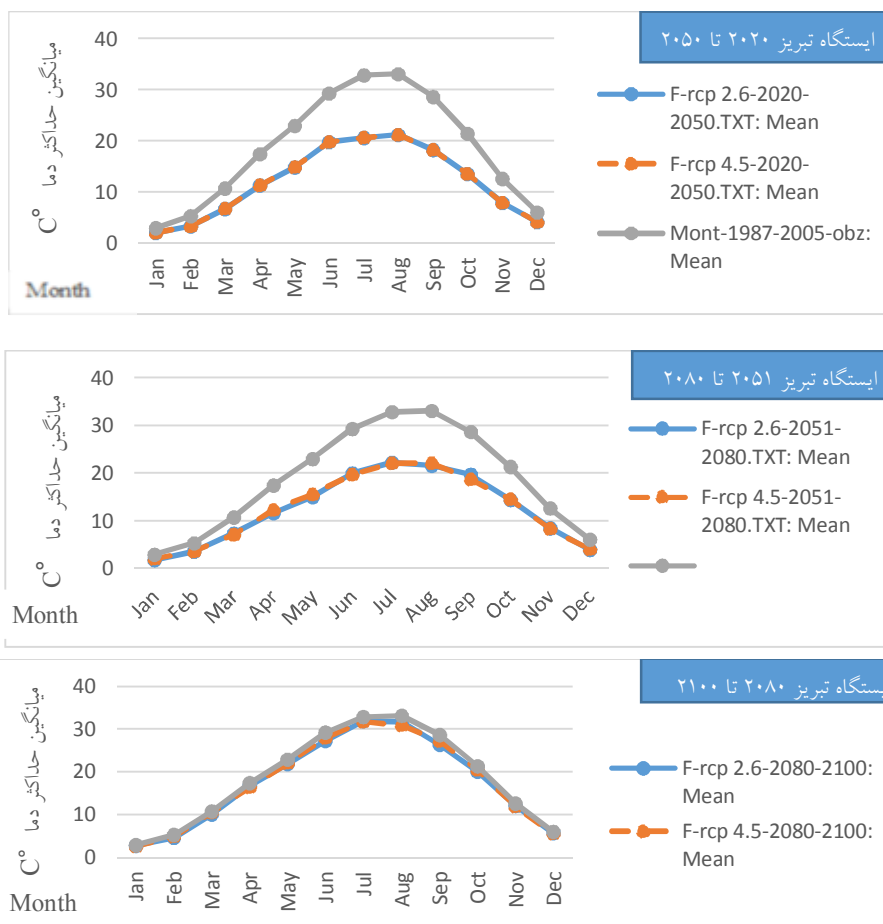
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (۳)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n |O_i - P_i| \quad (۴)$$

مرحله کالیبراسیون

در مرحله کالیبراسیون با اعمال ضرایب اصلاحی، نتایج به‌دست‌آمده بهبود می‌یابد؛ در این مرحله نتایج به‌دست‌آمده را با ضرایب اصلاحی کالیبره می‌کنند.

در رابطه (۵) Coeffm ضریب اصلاحی، Pr_m^{st} متوسط



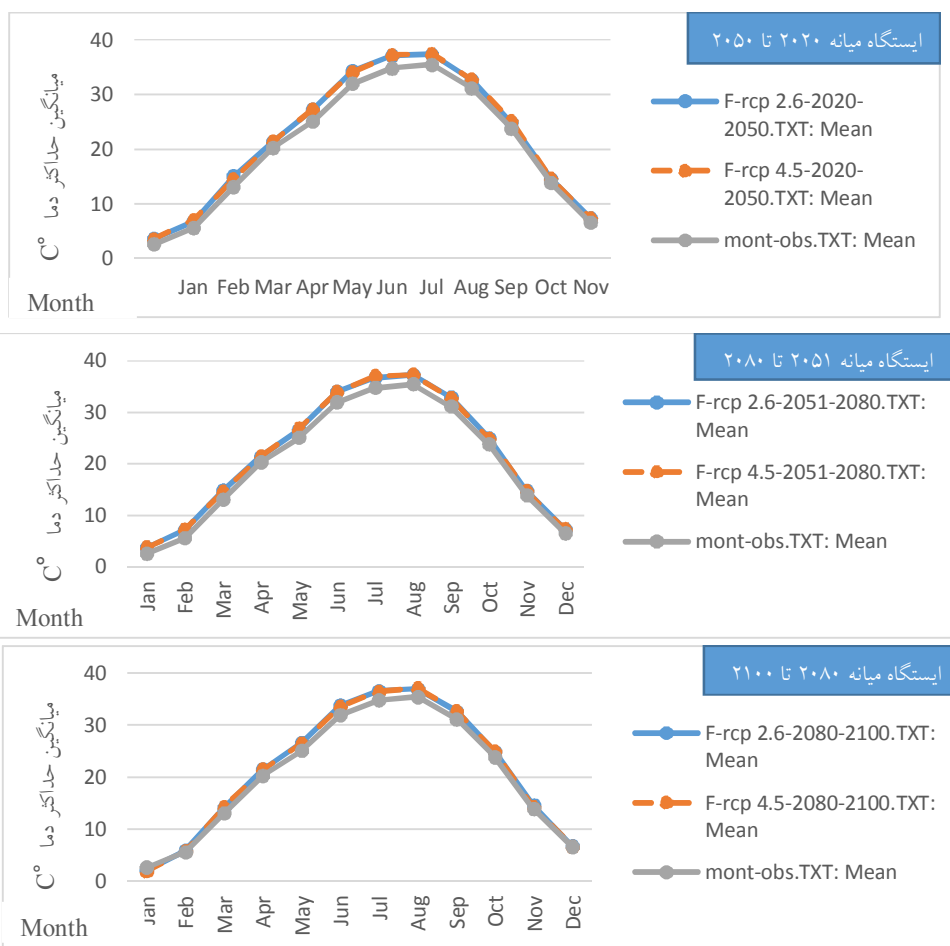
شکل (۲): پیش‌بینی حداکثر دما در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ تحت سناریوی RCP ۲/۶ و RCP ۴/۵
 Figure (2): Projected maximum temperature for 2020-2100 under RCP 2.6 and RCP 4.5 scenarios

داشت. بیشترین مقدار دما در ماه مرداد برابر با ۲۱/۱۳ درجه سانتی‌گراد و کمترین دما در ماه دی برابر با ۱/۹۲ درجه سانتی‌گراد است. مقدار متغیرهای اقلیمی به‌دست‌آمده تحت سناریوی RCP ۲/۶ و RCP ۴/۵ تقریباً برابر بوده و تفاوت

با توجه به شکل (۲) که به‌وسیله مدل SDSM در دوره پایه و آینده نشان داده شده است. میزان دما در ایستگاه سینوپتیک تبریز در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ از ماه دی تا ماه مرداد روند افزایشی و از ماه شهریور تا آذر ماه روند کاهشی خواهد

درخورد توجهی ندارد. با توجه به نمودار و نتایج به دست آمده، میزان دمای ایستگاه سینوپتیک تبریز در دوره زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت.

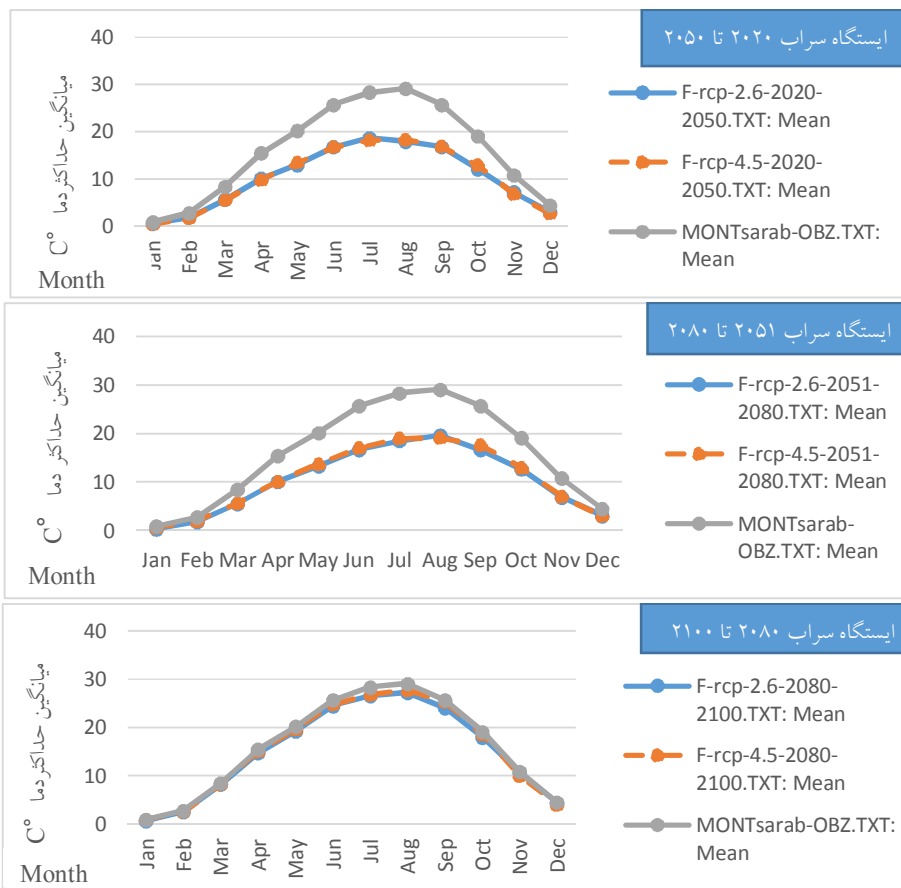
تحلیل روند تغییرات دما در شکل (۲) نشان می‌دهد میزان دما در دوره ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ در ایستگاه تبریز در ماه‌های دی تا مرداد روند افزایشی و در ماه‌های شهریور تا آذر روند کاهش‌ی خواهد داشت و بیشترین دما در تیرماه تحت سناریوی RCP۲/۶ برابر ۲۲/۱۷ درجه سانتی‌گراد و کمترین مقدار دما در دی‌ماه تحت سناریوی RCP۲/۶ برابر ۱/۹۹ درجه سانتی‌گراد است. اگرچه مقدار متغیرهای اقلیمی به دست آمده تحت سناریوهای RCP۲/۶ و RCP۴/۵ تفاوت درخور توجهی ندارند، به‌طور کلی مقدار کاهش دما در ایستگاه سینوپتیک تبریز در دوره ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ به‌ازای سناریوی RCP۴/۵ بیش از RCP۲/۶ است. به‌طور کلی میزان دمای ایستگاه سینوپتیک تبریز در دوره زمانی ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت ولی کاهش دما نسبت به دو دوره قبل، یعنی ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰، ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ بسیار کمتر خواهد بود.



شکل (۳): پیش‌بینی حداکثر دما در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ تحت سناریوی RCP۲/۶ و RCP۴/۵
 Figure (3): Projected maximum temperature for 2020-2100 under RCP 2.6 and RCP 4.5 scenarios

کمترین مقدار دما در ماه دی برابر ۳/۷۷۶ درجه سانتی‌گراد و بیشترین مقدار دما در مرداد برابر با ۳۷/۳۴۱ درجه سانتی‌گراد است. مقدار متغیرهای اقلیمی به دست آمده تحت سناریوی RCP۲/۶ و RCP۴/۵ تقریباً برابر بوده و تفاوت درخور توجهی ندارد. با توجه به نمودار و نتایج به دست آمده، میزان دمای ایستگاه سینوپتیک میانه در دوره زمانی ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. بررسی‌ها در شکل (۳) نشان می‌دهد میزان دما در ایستگاه میانه و در دوره ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ از بهمن تا مرداد، روند افزایشی و از مهر تا دی روند کاهشی داشته است. بیشترین دما در ماه مرداد تحت سناریوی RCP۴/۵ برابر ۳۷/۱۱۹ درجه سانتی‌گراد است و کمترین دما در دی ماه تحت سناریوی RCP۴/۵ برابر ۱/۶۸ درجه سانتی‌گراد است. به‌طور کلی، با توجه به نتایج و نمودارهای به دست آمده، میزان دمای ایستگاه سینوپتیک میانه در دوره زمانی ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت.

شکل (۳) دمای برآوردی دوره‌های آبی ایستگاه میانه را به وسیله مدل SDSM در دوره‌های پایه و آینده نشان داده است. تحلیل روند تغییرات دما نشان می‌دهد میزان دما در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ و در ماه‌های بهمن تا شهریور روند افزایشی و در ماه‌های مهر تا دی روند کاهشی خواهد داشت و کمترین دما در دی ماه تحت سناریوی RCP۴/۵ برابر با ۳/۵۴۱ درجه سانتی‌گراد و بیشترین دما در مردادماه تحت سناریوی RCP۴/۵ برابر با ۳۷/۴۳۶ درجه سانتی‌گراد است. با توجه به شکل (۳) مقدار متغیرهای اقلیمی به دست آمده تحت سناریوی RCP۲/۶ و RCP۴/۵ تفاوت درخور توجهی ندارند. به‌طور کلی، میزان دمای ایستگاه سینوپتیک میانه در دوره زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. تحلیل روند تغییرات دما در شکل (۳) نشان می‌دهد میزان دما در ایستگاه سینوپتیک میانه در دوره ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ از بهمن تا مرداد روند افزایشی داشته و از شهریور تا دی روند کاهشی داشته است.

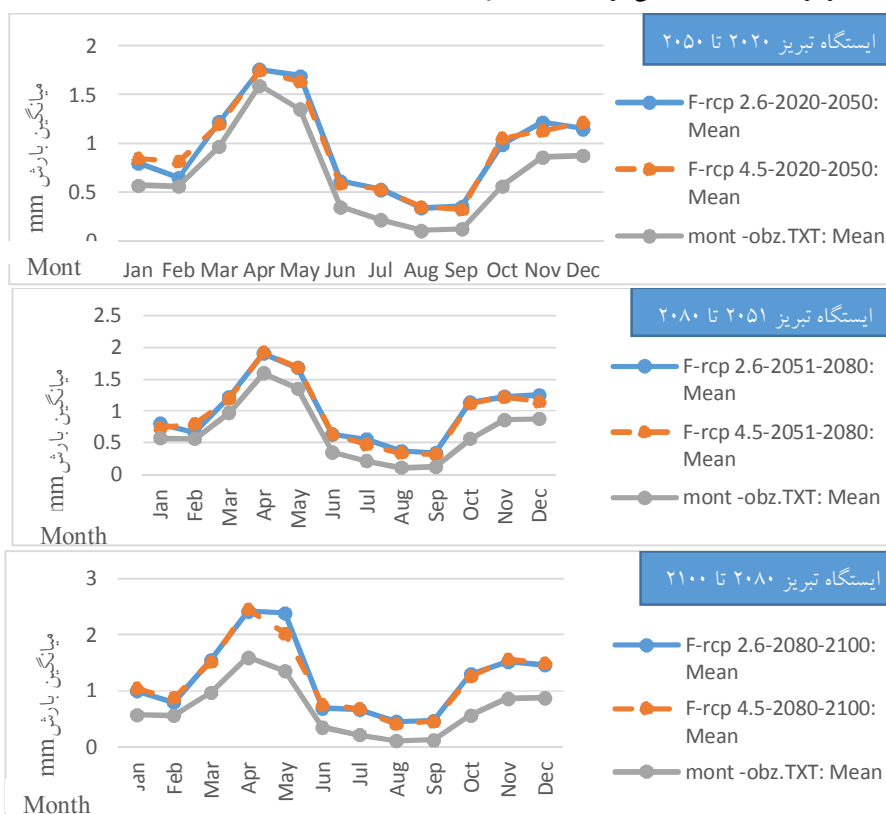


شکل (۴): پیش‌بینی حداکثر دما در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ تحت سناریوی RCP۲/۶ و RCP۴/۵

Figure (4): Projected maximum temperature for 2020-2100 under RCP 2.6 and RCP 4.5 scenarios

کلی، مقدار کاهش دما در ایستگاه سینوپتیک سراب در دوره ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ به‌ازای سناریوی RCP۲/۶ بیش از RCP۴/۵ است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، میزان دمای ایستگاه سینوپتیک سراب در دوره زمانی ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت. در شکل (۴) دمای دوره‌های آینده ایستگاه سراب به‌وسیله مدل SDSM در دوره پایه و آینده نشان داده شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد میزان دما در دوره ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ از بهمن تا مرداد روند افزایشی و از شهریور تا دی روند کاهشی داشته است؛ بیشترین دما در مرداد تحت سناریوی RCP۴/۵ برابر ۲۷/۷۲ درجه سانتی‌گراد و کمترین دما در دی تحت سناریوی RCP۲/۶ برابر ۰/۶۸ درجه سانتی‌گراد است؛ به‌طور کلی، مقدار متغیرهای اقلیمی به‌دست‌آمده تحت سناریوی RCP۲/۶ و RCP۴/۵ تقریباً برابر بوده و تفاوت درخور توجهی ندارد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده میزان دمای ایستگاه سینوپتیک سراب در دوره زمانی ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت.

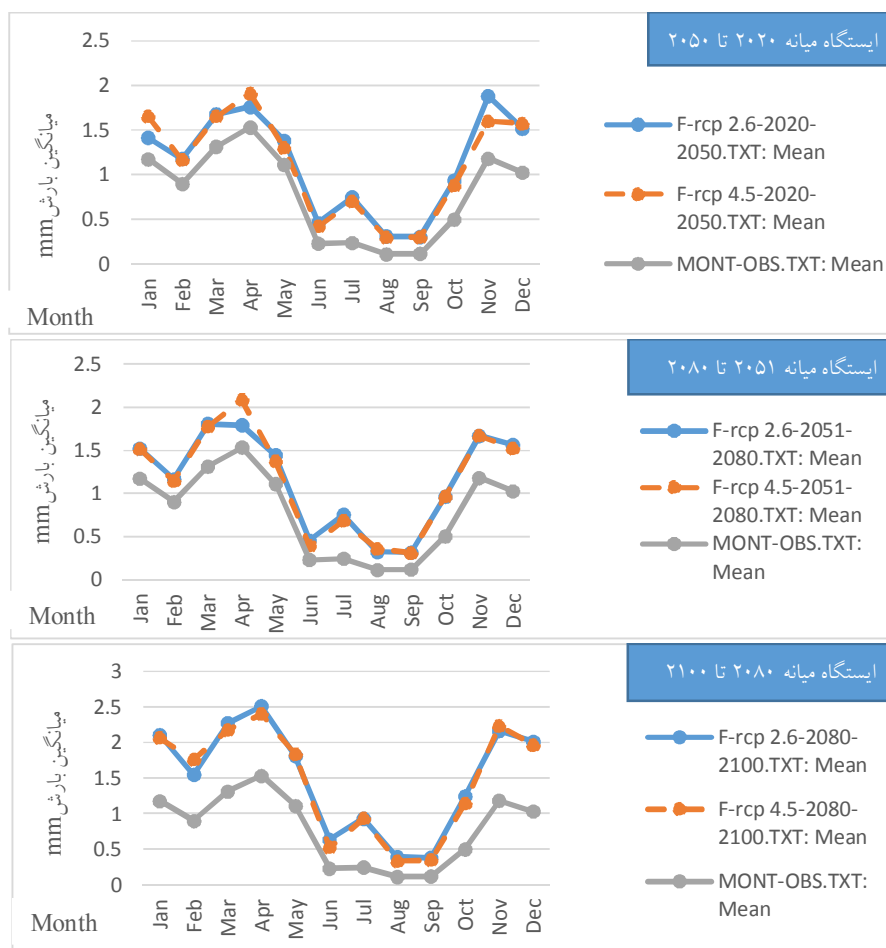
در شکل (۴) دمای دوره‌های آینده ایستگاه سراب به‌وسیله مدل SDSM در دوره پایه و آینده نشان داده شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد میزان دما در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ از بهمن تا مرداد، روند افزایشی و از شهریور تا دی روند کاهشی داشته است؛ بیشترین دما در تیرماه تحت سناریوی RCP۲/۶ برابر ۱۸/۷۳۱ درجه سانتی‌گراد و کمترین دما در دی‌ماه تحت سناریوی RCP۴/۵ برابر ۰/۵۳ درجه سانتی‌گراد است. به‌طور کلی، مقدار کاهش دما در ایستگاه سینوپتیک سراب در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ به‌ازای سناریوی RCP۴/۵ بیش از RCP۲/۶ است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده میزان دمای ایستگاه سینوپتیک سراب در دوره زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت. بررسی‌ها در شکل (۴) نشان می‌دهد میزان دما در دوره ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ در ایستگاه سراب از بهمن تا مرداد، روند افزایشی و از شهریور تا دی روند کاهشی داشته است؛ بیشترین دما در مرداد تحت سناریوی RCP۲/۶ برابر ۱۹/۶۳۸ درجه سانتی‌گراد و کمترین دما در دی تحت سناریوی RCP۲/۶ برابر ۰/۳۱ درجه سانتی‌گراد است. به‌طور



شکل (۵): پیش‌بینی میانگین بارش در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ تحت سناریوی RCP۴/۵ و RCP۲/۶
 Figure (5): Projected maximum temperature for 2020-2100 under RCP 2.6 and RCP 4.5 scenarios

روند کاهشی ثابتی خواهد داشت. مقدار متغیرهای اقلیمی به دست آمده تحت سناریوی RCP۴/۵ و RCP۲/۶ تقریباً برابر بوده و تفاوت درخور توجهی ندارد و میزان بارندگی ایستگاه سینوپتیک تبریز در دوره ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. تحلیل روند تغییرات بارش در شکل (۵) و در دوره ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ در ایستگاه تبریز نشان می‌دهد میزان بارندگی در ماه‌های فروردین، مهر، آبان، دی و اسفند روند افزایشی، در اردیبهشت، خرداد، تیر، آذر و بهمن روند کاهشی و از مرداد تا شهریور روند کاهشی ثابتی خواهد داشت. مقدار متغیرهای اقلیمی به دست آمده تحت سناریوی RCP۲/۶ و RCP۴/۵ تقریباً برابر بوده و تفاوت درخور توجهی ندارد و میزان بارندگی ایستگاه سینوپتیک تبریز در دوره ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت.

بارندگی برآوردی شهر تبریز به وسیله مدل SDSM در دوره پایه و آینده در شکل (۵) نشان داده شده است. تحلیل روند تغییرات بارش در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ نشان می‌دهد میزان بارندگی در ماه‌های فروردین، مهر، آبان، آذر، اسفند و روند افزایشی، در دی، بهمن، خرداد و تیر، روند کاهشی و از مرداد تا شهریور روند کاهشی ثابتی خواهد داشت. مقدار متغیرهای اقلیمی به دست آمده تحت سناریوی RCP۲/۶ و RCP۴/۵ تقریباً برابر بوده و تفاوت درخور توجهی ندارد. میزان بارندگی ایستگاه سینوپتیک تبریز در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. تحلیل روند تغییرات بارش در شکل (۵) و در دوره ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ در ایستگاه تبریز نشان می‌دهد میزان بارندگی در ماه‌های فروردین، مهر، آبان، آذر و اسفند روند افزایشی، در اردیبهشت، خرداد، تیر، دی و بهمن روند کاهشی و از مرداد تا شهریور



شکل (۶): پیش‌بینی میانگین بارش در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ تحت سناریوی RCP۴/۵ و RCP۲/۶

Figure (6): Projected maximum temperature for 2020-2100 under RCP 2.6 and RCP 4.5 scenarios

شهریور روند کاهشی ثابتی خواهد داشت. مقدار متغیرهای اقلیمی به‌دست‌آمده تحت سناریوی RCP۴/۵ و RCP۲/۶ تقریباً برابر بوده و تفاوت درخور توجهی ندارد و میزان بارندگی ایستگاه سینوپتیک تبریز در دوره ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. تحلیل روند تغییرات بارش در شکل (۶) و در دوره ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ در ایستگاه میانه نشان می‌دهد میزان بارندگی در ماه‌های فروردین، تیر، مهر، آبان، دی و اسفند روند افزایشی، در اردیبهشت، خرداد، آذر و بهمن روند کاهشی و از مرداد تا شهریور روند کاهشی ثابتی خواهد داشت. مقدار متغیرهای اقلیمی به‌دست‌آمده تحت سناریوی RCP۴/۵ و RCP۲/۶ تقریباً برابر بوده و تفاوت درخور توجهی ندارد و میزان بارندگی ایستگاه سینوپتیک تبریز در دوره ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت.

بارندگی برآوردی شهرمیانه به‌وسیله مدل SDSM در دوره پایه و آینده در شکل (۶) نشان داده شده است. تحلیل روند تغییرات بارش در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ نشان می‌دهد میزان بارندگی در ماه‌های فروردین، مهر، آبان، تیر، دی، اسفند و فروردین روند افزایشی، در اردیبهشت، خرداد، آذر، بهمن، روند کاهشی و از مرداد تا شهریور روند کاهشی ثابتی خواهد داشت. مقدار متغیرهای اقلیمی به‌دست‌آمده تحت سناریوی RCP۴/۵ و RCP۲/۶ تقریباً برابر بوده و تفاوت درخور توجهی ندارد و میزان بارندگی ایستگاه سینوپتیک تبریز در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. تحلیل روند تغییرات بارش در شکل (۶) در دوره ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ در ایستگاه میانه نشان می‌دهد میزان بارندگی در ماه‌های تیر، مهر، آبان، دی و اسفند روند افزایشی، در فروردین، اردیبهشت، خرداد، بهمن و آذر روند کاهشی و از مرداد تا



شکل (۷): پیش‌بینی میانگین بارش در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ تحت سناریوی RCP۴/۵ و RCP۲/۶

Figure (7): Projected maximum temperature for 2020-2100 under RCP 2.6 and RCP 4.5 scenarios

هر سه دوره و تحت هر دو سناریوی RCP۲/۶ و RCP۴/۵ نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهد یافت. میزان بارندگی در ایستگاه سراب در هر سه دوره و تحت هر دو سناریو کاهش خواهد یافت. بیشترین میزان بارندگی در ایستگاه میانه در فروردین و در دوره ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ برابر ۲/۵ میلی‌متر، اما بیشترین بارندگی در ایستگاه تبریز و سراب به ترتیب برابر ۲/۴ و ۲/۲ میلی‌متر در فروردین و در دوره ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ است. کمترین میزان بارندگی در ایستگاه تبریز در شهریور و در دوره ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ ۰/۳ میلی‌متر اما در ایستگاه‌های میانه و سراب کمترین میزان بارندگی به ترتیب ۰/۲ و ۰/۵ میلی‌متر در شهریور و در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ است. میزان دما نیز در ایستگاه تبریز و سراب در هر سه دوره و تحت هر دو سناریوی RCP۲/۶ و RCP۴/۵ نسبت به دوره مشاهداتی کاهش خواهد یافت، اما در ایستگاه میانه در هر سه دوره و تحت هر دو سناریو دما افزایش خواهد یافت. کمترین میزان دما در ایستگاه تبریز برابر ۱/۹۲ درجه سانتی‌گراد، در ماه دی و دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ می‌باشد اما در ایستگاه‌های سراب و میانه کمترین میزان دما به ترتیب ۰/۳۱ و ۱/۶۸ درجه سانتی‌گراد و در دوره ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ و ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ است. بیشترین میزان دما در مرداد و در ایستگاه میانه در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ برابر ۳۷/۴۳۶ درجه سانتی‌گراد است اما در ایستگاه‌های تبریز و سراب بیشترین میزان دما به ترتیب در تیر و مرداد در دوره ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ برابر ۳۱/۸۱ و ۲۷/۷۲ درجه سانتی‌گراد است.

صالح‌نیا و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی خروجی مدل‌های پیش‌بینی عددی تحت سناریو RCP۴/۵ در پیش‌بینی خشکسالی‌های هواشناسی پرداختند؛ نتایج آن‌ها نشان داد در طی سه دهه آینده شدت خشکسالی‌ها نسبت به ۳۰ ساله مشاهداتی کمتر خواهد شد، اما تکرار و تناوب خشک‌سالی‌ها بیشتر از دوره مشاهداتی خواهد شد.

کارآموز و همکاران (۲۰۰۹) از روش ریزمقیاس‌نمایی SDSM و روش شبکه عصبی ANN استفاده کردند و به پیش‌بینی بلندمدت بارش در پنج ماه از سال در جنوب شرقی ایران پرداختند؛ نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد روش SDSM عملکرد بهتری نسبت به روش ANN دارد.

بارندگی برآوردی شهر سراب به وسیله مدل SDSM در دوره پایه و آینده در شکل (۷) نشان داده شده است. تحلیل روند تغییرات بارش در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ نشان می‌دهد میزان بارندگی در ماه‌های فروردین، مهر، آبان، تیر، دی و اسفند روند افزایشی، در اردیبهشت، خرداد، آذر، بهمن، مرداد و شهریور روند کاهشی خواهد داشت. مقدار متغیرهای اقلیمی به دست‌آمده تحت سناریوی RCP۲/۶ و RCP۴/۵ تقریباً برابر بوده و تفاوت درخور توجهی ندارد و میزان بارندگی ایستگاه سینوپتیک تبریز در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت. تحلیل روند تغییرات بارش در شکل (۷) و در دوره ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ در ایستگاه سراب نشان می‌دهد میزان بارندگی در ماه‌های فروردین، تیر، مهر، آبان، دی و اسفند روند افزایشی و در اردیبهشت، خرداد، بهمن و آذر، مرداد و شهریور روند کاهشی خواهد داشت. مقدار متغیرهای اقلیمی به دست‌آمده تحت سناریوی RCP۲/۶ و RCP۴/۵ تقریباً برابر بوده و تفاوت درخور توجهی ندارد و میزان بارندگی ایستگاه سینوپتیک تبریز در دوره ۲۰۵۱ تا ۲۰۸۰ نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت. تحلیل روند تغییرات بارش در شکل (۷) در دوره ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ در ایستگاه سراب نشان می‌دهد میزان بارندگی در ماه‌های فروردین، تیر، مهر، آبان، دی و اسفند روند افزایشی و در اردیبهشت، خرداد، آذر، بهمن، مرداد و شهریور روند کاهشی خواهد داشت. مقدار متغیرهای اقلیمی به دست‌آمده تحت سناریوی RCP۲/۶ و RCP۴/۵ تقریباً برابر بوده و تفاوت درخور توجهی ندارد و میزان بارندگی ایستگاه سینوپتیک تبریز در دوره ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج به دست‌آمده از این مطالعه نشان داد مدل SDSM در ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های CANESM2 عملکرد خوبی دارد. در این مطالعه، مدل SDSM برای ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های مدل CANESM2 تحت سناریوی RCP۲/۶ و RCP۴/۵ برای سه دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰، ۲۰۵۰ تا ۲۰۸۰، ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ استفاده شد. نتایج به دست‌آمده در سه ایستگاه بررسی شده نشان داد که میزان بارش ایستگاه تبریز و میانه در

شبیه‌سازی بارش و دما در مناطق خشک و نیمه‌خشک توصیه می‌شود. افزایش و کاهش ناگهانی دما می‌تواند ناشی از تغییر اقلیم باشد. تغییرات کوچک در متغیرهای اقلیمی می‌تواند باعث تغییرات بزرگی در پتانسیل منابع آب شود؛ به همین دلیل بررسی تغییر اقلیم در آینده می‌تواند نقطه شروع خوبی برای مدیران در به‌کارگیری مدیریت جامع منابع آب در منطقه در دوره‌های آتی باشد (غنچه پور و همکاران، ۲۰۱۹).

با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه از خروجی‌های مدل SDSM علاوه بر پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و بررسی تغییرات اقلیمی، می‌توان در بخش‌های هیدرولوژی و زیست‌محیطی نیز استفاده کرد. تغییر اقلیم علاوه بر منابع آب بر سلامت انسان، غذا و کشاورزی نیز تأثیر می‌گذارد. بنابراین از نتایج گرفته‌شده در این پژوهش می‌توان در بخش‌های نام‌برده نیز استفاده کرد (گولاچا و همکاران، ۲۰۱۷). کاهش بارندگی و افزایش دما باعث تغییرات کمی و کیفی در منابع آب خواهد شد؛ بنابراین لازم است تغییراتی در برنامه‌ریزی‌های استفاده از منابع آب انجام داد تا اثرات زیان‌بار آن کمتر شود.

آبکار و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک پرداختند؛ نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد مدل SDSM توانایی لازم در شبیه‌سازی شاخص دمایی را دارد. محاسبات حاصل از کار آن‌ها نشان داد تمام شاخص‌های دمایی مورد بررسی تا سال ۲۱۰۰ افزایش چشمگیری دارند.

رضایی و همکاران (۲۰۱۹) به ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر تغییرپذیری بارش و دما پرداختند؛ نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد دمای میانگین در ماه‌های مختلف متغیر است، ولی متوسط بارش سالانه در مقایسه با دوره مشاهده‌ای افزایش می‌یابد.

سلاجقه و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی کارایی مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM و LARS-WG در شبیه‌سازی دما و بارش پرداختند؛ نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که مدل SDSM برای دماهای حداقل و حداکثر روزانه، عملکرد بهتری نسبت به مدل LARS-WG دارد ولی برای بارش روزانه، مدل LARS-WG دارای عملکرد بهتری است. نتایج این پژوهش با یافته‌های صالح‌نیا و همکاران (۲۰۱۷) و رضایی و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد؛ بنابراین استفاده از SDSM برای

منابع

- Abbasi, F., Malbousi, S., Babaeian, I., Asmari, M., Borhani, R., 2010. Climate change prediction of south khorasan province during 2010-2039 by using statistical downscaling of ECHO-G data. *Journal of Water and soil*, 2, 218-233.
- Alami, M.T., Aghabalae, B., Ahmadi, M.H., Farzin, S., 2015. Optimum allocation of water resources by using system dynamics. *Journal of Water engineering* 23, 99-110.
- Abkar, A., Habibnadjad, M., Solaimani, K., Naghavi, H., 2013. Investigation efficiency SDSM model to simulate temperature indexes in arid and semi-arid regions. *Iranian of Irrigation & Water Engineering* 2, 1-17.
- Ashofteh, P.S., Bozorg hadad, O., 2014. A new probabilistic approach for evaluation of the effects of climate change on water resources. *Journal of Water engineering* 19, 51-66.
- Camici, S., Palazzi, E., Pieri, A., Brocca, L., Moramarco, T. and Provenzale, A., 2015, April. Comparison between dynamical and stochastic downscaling methods in central italy. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (Vol. 17).
- Gholampour, A., Ashrafzadeh, A., Pirmoradian, N., Moussavi, S.A., 2018. Investigating the role of downscaling and reference evapotranspiration estimation method in analysis of the impact of climate change on water resources. *Iranian Journal of Soil and Water research* 4, 841-852.
- Goodarzi, M., Salahi, B., Hosseini, A., 2016. Performance Analysis of LARS-WG and SDSM Downscaling Models in Simulation of Climate Changes in Urmia Lake Basin, *Journal Of Watershed Management Science And Engineering* 31, 11-22.
- Goodarzi, M., Hoseini, M., Parekar, M., 2017. Evaluation of Statistical downscaling method in simulation of climate change of Karkheh basin up to the Karkheh dam, *Journal of Watershed Management science and Engineering* 35, 51-64.
- Goodarzi, M., R., Komasy, H., Vagheiee, M., 2020. The Behavior of inflow to the seimareh dam in the face of climate change impacts. *Journal of Environmental Science and Technology*.
- 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. *Journal of Eco Hidrology* 2, 397-414.

11. Gulacha, M.M., and Mulungu, D.M., 2017. Generation of climate change scenarios for precipitation and temperature at local scales using SDSM in wami-ruvu river basin tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 100*, pp.62-72.
12. Heydari Tasheh Kaboud, S. h., KHoshkhoo, Y., 2019. Projection and prediction of the annual and seasonal future reference evapotranspiration time scales in the west of iran under RCP emission scenarios. *Researches in Geographical Sciences* 53,157-176.
13. Karamouz, M., Fallahi, M., Nazif, S., Rahimi farahan, M., 2009. Long lead rainfall prediction using statistical downscaling and arti-cial neural network modeling. *Transaction A: civil engineering* 2,165-172.
14. Legates, D.R. and McCabe Jr, G.J., 1999. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water resources research*, 35(1), pp.233-241.
15. Mirakbari, M, Mesbahzadeh, hseni SaraviMo ,T KHosravi ,MH. Mortezaie farizhendi, GH ,2018. Performance of Series model CMIP5 in Simulation and projection of climatic variables of rainfall, temperature and wind speed (Case study: Yazd). *Physical Geography Research Quarterly* 3, 593-609.
16. Nash, J.E., Sutcliffe, J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models, part I: A discussion of principles. *Journal of hydrology*, 10(3), pp.282-290
17. Nikbakht shahbazi, A.R., 2019. Investigation of crop evapotranspiration and precipitation changes under climate Change RCPs Scenarios in khouzeestan province. *Journal of Water and Soil Conservation* 6, 123-139.
18. Nikbakht Shahbazi, A.R., 2018, Climate change impact assessment on agricultural crop virtual water under RCPs Scenarios in Khouzeestan province, *Journal of the Earth and Space Physics* 44 (2), 363-378.
19. Rezaei, M., Ghasemieh, H., 2019. Assessing the impact of climate change on rainfall and temperature variability (Case study: Kashan and Khur and Khur and Biabank Stations). *Arid Biome Scientific Journal* No1, Vol 9.
20. Rezaee, M., Nahtaj, M., Moghadamniya, A., Abkar, A., 2015, Comparison of Artificial Neural Network and SDSM Methods in the Downscaling of Annual Rainfall in the HadCM3 Modelling (Case study: Kerman, Ravar and Rabor), *Journal of Water Resources Engineering* 24, 25-40.
21. Salagegheh, A., Rafiei sardoi, E., Moghadamnia, A.R., Malekian, A., Araghinejad, SH., KHalighi sigarodii, Sh., Salehpourjam, A., 2017. Performance assessment of LARS-WG and SDSM downscaling models in simulation of precipitation and temperature. *Iranian Journal of Soil and Water research* 2, 253-262.
22. Salehnia, N., Alizadeh, A., Sanaei Nejad, H., Bannayan, M., Zarrin, A., 2017, Investigating the output of numerical prediction models under RCP4.5 scenario for forecasting meteorological droughts. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 6, 1315-1326.
23. Sobhani, B., Eslahi, M., Babaeian, I., 2016. Efficiency of statistical downscaling models of SDSM And LARS-WG In the Simulation of meteorological Parameters in lake Urmia basin. *Journal of Physical Geography Research Quarterly* 4, 499-516.
24. 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(2), pp.145-157.
25. 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 (2).
26. Willmott, C.J., 1984. On the evaluation of model performance in physical geography. In *Spatial statistics and models* (pp. 443-460). Springer, Dordrecht.

Assessing the Performance of SDSM Models in Downscaling Annual Precipitation and Temperature Values Simulated Via CANESM2 Model: A Case Study of East Azerbaijan Province

Mohammad Hossein Jahangi^{*1}, Leila Gharadaghi²

Received: 28/01/2020

Accepted: 14/08/2021

Extended Abstract

Introduction: Covering an area of 45490 square kilometers, the East Azerbaijan province is located in the northwest corner of the Iranian plateau at the range of 45 degrees 7 minutes to 48 degrees 20 minutes' east longitude and 36 degrees 45 minutes to 39 degrees 26 minutes north latitude, being considered the 10th largest Iranian province. In general, the East Azerbaijan province is a mountainous region, about 40% of whose surface is mountainous, 2.28% of its surface is hilly, and 8.31% of its surface comprises of plains (including mountainous plains). Moreover, the province generally enjoys a cold and dry climate. However, the region has different climates due to its diverse topography. Affected by the cold northern and Siberian winds and the Mediterranean and Atlantic seas' humid winds, the province is a cold and mountainous region that is classified as a semi-arid region in terms of climate, whose average annual precipitation rate is 250-300 mm.

Research method

Introduction of SDSM Exponential Micro Scale Model

Weibel et al. (2005) used a multivariate regression model called SDSM to examine the effects of climate change on statistical downscaling, in which the station's daily forecast data (predicted), large-scale NCEP variables (predictor), and large-scale variables of general circulation models under various diffusion scenarios serve as inputs for future study periods. The predictor outputs have many variables. This study used the meteorological data collected from synoptic stations, NCEP data, and CANESM2 data under two RCP 2.6 and RCP 4.5 scenarios. The calibration of the model was performed using the NCEP data. Moreover, the temperature and precipitation rates of Tabriz, Mianeh, and Sarab stations were predicted for the three periods of 2020-2050, 2051-2080, and 2080-2100, which were then compared with the base period. It should be noted that the SDSM model performs better than other models because it combines both regression and probabilistic methods to produce meteorological data, and it is, therefore, one of the best models in this regard compared to other models.

Application of the SDSM model to the study basin

This study used the SDSM 5/3 model for statistical downscaling. It also used the data regarding the temperature and precipitation collected from three synoptic stations (Tabriz, Mianeh, Sarab), each of which contained 31 statistical years. The SDSM model is performed in several stages, including selecting predictor variables; calibration and

1. Associate Professor of Renewable Energies and Environmental Department, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Corresponding author email: mh.jahangir@ut.ac.ir

2. MSc. Student of Ecohydrology, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran

DOI: 10.22052/deej.2021.10.32.21

validation; model performance review; developing climate scenarios for RCP 2/6 and RCP 4/5 and calibration.

Assessing the Performance of the SDSM Model

There are various statistical indices for evaluating the performance of observational data, prediction, and error values, including the Index of Agreement (d), Nash-Sutcliffe Performance Index (NSE), Second Root Mean Square Error (RMSE), and Mean Error Average (MAE). In Nash-Sutcliffe Index (NSE) whose variations range from infinite to minus one, the closer the data are to 1, the higher their accuracy would be (Nash et.al, 1970). On the other hand, the value of d ranges from one to zero; Accordingly, the closer the d values are to one, the higher the accuracy and agreement of the predicted and observed data would be. The average error values between the predicted and observed data are shown by RMSE and MAE.

Each of the aforementioned variables is calculated through the following equations.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (1)$$

In equations (1), (2), (3), and (4) O_i and \bar{O} are the observed data and their mean at the time i , respectively. Moreover, P_i is the value of the predicted data, and N represents the amount of data.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (3)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n |O_i - P_i| \quad (4)$$

Calibration Stage

In this stage, the obtained results are improved by applying the correction coefficients, that is, the results are calibrated by correction coefficients. In equation (5), the (\overline{Pr}_m^{st}) correction coefficient is the average monthly precipitation data of the station, and \overline{pr}_m^{Cordex} represents monthly precipitation data of Cordex (Ghonchepour et. al., 2019).

$$COeff_m = \frac{\overline{Pr}_m^{st}}{\overline{pr}_m^{Cordex}} \quad (5)$$

Results: The results obtained from the three meteorological stations indicated that compared to the observational period, the precipitation rate would increase in Tabriz and Mianeh stations and decrease in Sarab station in all three periods under both RCP 2.6 and RCP 4.5 scenarios. Moreover, the temperatures would decrease in Tabriz and Sarab stations in all three periods under both the RCP 2.6 and RCP 4.5 scenarios compared to the observational period, while it would increase in Mianeh station during the same period and under the same scenarios.

Discussion and Conclusion: The results of this study obtained from the SDSM outputs can be used in hydrological and environmental sectors. They can also be used for predicting climate parameters and assessing climate change, considering the fact that climate change affects water resources, human health, food, and agriculture. Therefore, the study's results could also be used in all of these sectors. On the other hand, as any decline in precipitation rate and increase in temperature would lead to quantitative and qualitative changes in water resources, the water uses plans need to be revised so that they can minimize the harmful effects of such variations.

Keywords: East Azerbaijan, Downscaling, SDSM, RCP 2.6, RCP 4.5, CANESM2.