

شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره (۲۰۱۰-۲۱۰۰) با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM) و خروجی مدل CanESM2

حسین عساکره^۱ - استاد آب‌وهواشناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
یونس اکبرزاده - دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱/۱۵ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۱/۱۳

چکیده

مدل‌های GCM به‌طور وسیع برای ارزیابی تغییر اقلیم در یک مقیاس جهانی استفاده می‌شود؛ اما خروجی این مدل‌ها برای ارزیابی تغییرات اقلیمی در سطح محلی و منطقه‌ای کافی و دقیق نیست. در این مقاله با استفاده از مدل SDSM خروجی مدل تغییر اقلیم canESM2 را در منطقه مورد مطالعه به‌وسیله داده‌های مشاهداتی ایستگاه تبریز که دارای آمار بلندمدت اقلیمی است، ریزمقیاس نموده و با در نظر گرفتن سناریوهای تغییر اقلیم RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره‌های آینده ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ تغییر اقلیم منطقه مورد نظر، مورد ارزیابی قرار گرفته است. مشاهدات روزانه حداقل و حداکثر دما، بارش برای دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۰ به عنوان ورودی وارد مدل شده است. نتایج خروجی مدل ریزمقیاس نشان می‌دهد که در دوره‌های آینده دما در ایستگاه تبریز بر اساس سه سناریوی مورد بررسی افزایش خواهد یافت. این افزایش برای دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ محسوس‌تر خواهد بود. در ایستگاه تبریز به‌طورکلی بارش در سه سناریوی مورد بررسی برای دو دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ کاهش و برای دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ افزایش می‌یابد. همچنین بارش به‌طورکلی در فصل زمستان افزایش و بقیه فصول با کاهش بارش مواجه خواهد بود. تغییرات میانگین حداقل دمای ایستگاه تبریز در کلیه ماه‌ها به‌غیر از ماه نوامبر و دسامبر در دوره‌های آینده افزایش داشته است. حداقل دما در سه سناریوی مورد بررسی برای سه دوره مورد مطالعه افزایش می‌یابد. همچنین حداقل دما به‌طورکلی در تمام فصول افزایش می‌یابد که در فصل تابستان تا ۸ درجه نیز افزایش دما مشاهده می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: بارش، دما، تغییر اقلیم، تبریز.

۱. مقدمه

تغییر اقلیم یکی از گسترش یافته‌ترین موضوعات مورد بحث در رشته اقلیم‌شناسی در دو دهه اخیر است. انسان به عنوان جزئی از سیستم اقلیمی نقش بسزایی در رفتار اقلیم دارد. بخصوص در عصر حاضر با افزایش جمعیت و نیاز انسان به منابع آب و غذا و در نتیجه افزایش اراضی کشاورزی، از بین رفتن جنگل‌ها، بیابان‌زایی و افزایش استفاده از انرژی‌های فسیلی باعث دگرگونی در سیستم اقلیمی شده است. طبق چهارمین گزارش ارزیابی تغییر اقلیم هیئت بین دول تغییر اقلیم (IPCC)، پیش‌بینی‌های مدل‌های اقلیم جهانی برای قرن بیست و یکم نشان می‌دهند که گرمایش جهانی به شتاب خود ادامه خواهد داد حتی اگر بشر بتواند جلوی انتشار گازهای گلخانه‌ای را بگیرد. پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۱۰۰ تغییرات متوسط دمای جهانی از ۱/۸ درجه به ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد و سطح متوسط دریاها بین ۰/۱۸ تا ۰/۵۹ متر بالا بیاید. فراوانی و حجم رخدادهای حدی نیز از قبیل سیل، خشکسالی و موج‌های گرمایی با افزایش دمای متوسط جهانی گسترش می‌یابد. اثرات تغییر اقلیم بر کل سیاره یکسان نیست. بعضی مناطق زمین حساسیت بیشتری نسبت به تغییر اقلیم در مقایسه با مناطق دیگر دارند. به عنوان مثال مناطقی که دارای اقلیم مدیترانه‌ای هستند اقلیم آن‌ها وابستگی زیادی به میزان دما و بارش دارد و در نتیجه این مناطق در برابر تغییر اقلیم دچار استرس می‌شوند (هیات بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷).

مدل‌های GCM به‌طور وسیع برای ارزیابی تغییر اقلیم در یک مقیاس جهانی استفاده می‌شود؛ اما خروجی این مدل‌ها برای ارزیابی تغییرات اقلیمی در سطح محلی و منطقه‌ای کافی و دقیق نیست. اکثر مطالعات ارزیابی تغییر اقلیم معمولاً با دقت مکانی بالا روی مناطق کوچک انجام می‌شود. در این حالت شایسته است که توسط مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای (RCMs)، تا حد چندین ده کیلومتر یا کمتر ریزمقیاس گردند؛ اما ارتباط دادن تفکیک‌پذیری مدل‌های اقلیمی جهانی با مقیاس محلی یک فرآیند ریزاقلیمی است که خود مسئله‌ای قابل توجه است. اخیراً تلاش‌های زیادی از طرف مجامع اقلیم‌شناسی برای توسعه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی و آماری برای بیان تغییر اقلیم در یک مقیاس محلی و منطقه‌ای صورت گرفته است. مدل‌های RCM نمونه‌ای از مدل ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی است. مدل‌های دینامیکی منطقه‌ای دارای دقت فضایی مناسبی برای ارزیابی‌های اقلیمی بوده و همچنین فرآیندهای ریزمقیاس جوی و اقلیمی تا حد ممکن در آن‌ها لحاظ می‌شوند؛ اما مدل RCM هنوز دارای چند اشکال است، برای مثال این مدل‌ها به مساحت مورد مطالعه و میزان تفکیک‌پذیری وابسته هستند و از لحاظ محاسباتی پیچیده بوده و انعطاف لازم را ندارند. مسئله

دیگری که وجود دارد اینست که آموزش این مدل‌ها برای کاربران مدل و همچنین واسنجی آن‌ها بسیار مشکل است (میمز^۱، ۲۰۰۱).

به عنوان جانشینی برای مدل‌های منطقه‌ای دینامیکی، مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری توسعه یافته‌اند. این مدل‌ها بر اساس وضعیت اقلیم منطقه‌ای که نتیجه وضعیت اقلیم در مقیاس بزرگ است، پایه‌ریزی شده است؛ مانند توپوگرافی، توزیع دریا-خشکی و کاربری زمین (ویلبی^۲، ۲۰۰۴). روش‌های ریزمقیاس نمایی آماری به‌طورکلی به سه طبقه تقسیم می‌شود: ۱. روش رگرسیونی؛ ۲. خوشه‌بندی الگوهای آب‌وهوایی و ۳. مولدهای سری‌های زمانی آب‌وهوایی. یکی از فواید بزرگ این روش‌ها در مقایسه با مدل‌های منطقه‌ای دینامیکی، ساده و ارزان بودن آن‌ها از لحاظ محاسباتی و کاربرد آن‌ها برای خروجی‌های مختلف مدل GCM برای سناریوها مختلف است. همین امر به ما امکان می‌دهد عدم قطعیت‌های سناریوهای آینده را ارزیابی کنیم. به‌طور نظری ضعف بزرگ ریزمقیاس نمایی آماری اینست که فرضیات پایه‌ای آن‌ها قابل تأیید نیست. یعنی روابط توسعه یافته برای اقلیم امروز برای شرایط اقلیم آینده پابرجا نیست (فولر^۳، ۲۰۰۷). روش‌های ریزمقیاس نمایی آماری زیادی تاکنون توسط محققین هواشناسی و اقلیم‌شناسی ارائه شده است. دو روش استاندارد شده که کاربرد زیادی در ریزمقیاس نمایی مدل‌های تغییر اقلیم دارد و به‌راحتی توسط کاربران قابل استفاده است، مدل LARS-WG که یک مدل تصادفی مولد سری‌های زمانی آب‌وهوایی و مدل SDSM که ترکیبی از مولد تصادفی آب‌وهوا و روش‌های رگرسیونی است.

ویلبی و همکاران^۴ (۲۰۰۶) مدل‌سازی جامع اثر تغییر اقلیم بر منابع آب و کیفیت آن برای رودخانه کنت انگلستان را ارائه نمودند. در این تحقیق، نتایج نشان داد که عدم قطعیت وسیع در سناریو تغییر اقلیم و منابع آب به علت انتخاب GCM می‌باشد و این عدم قطعیت در فصل تابستان بسیار بیشتر است.

سجاد خان و همکاران^۵ (۲۰۰۶) سه روش ریزمقیاس نمایی که عبارتند از مدل ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM)، مدل LARS-WG و مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) را از طریق آزمون‌های عدم قطعیت برای سه پارامتر بارش روزانه، حداقل دمای روزانه و حداکثر دمای روزانه مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که روش SDSM بهترین کارایی و روش ANN کمترین کارایی را دارد و روش LARS-WG در حد وسط قرار دارد.

1 Mearns

2 Wilby

3 Fowler

4 Wilby and et al

5 Sajjad Khan and et al

کارآموز و همکاران^۱ (۲۰۰۹) روش ریزمقیاس نمایی SDSM و روش شبکه‌های عصبی (ANN) را برای پیش‌بینی بلندمدت بارش در ۵ ماه از سال (دسامبر تا آوریل) در جنوب شرقی ایران بکار بردند. نتایج نشان داد که روش SDSM عملکرد بهتری نسبت به روش ANN دارد. ساروار و همکاران^۲ (۲۰۱۰) اثرات تغییر اقلیم را بر حوضه آبریز رود تایمز با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس نمایی SDSM، LARS-WG و KnnCAD مورد ارزیابی قرار دادند. نتیجه اینکه مدل SDSM برای دماهای حداقل و حداکثر عملکرد بهتری نسبت به دو مدل دیگر دارد ولی برای بارش مدل LARS-WG ترجیح داده می‌شود.

مینو و همکاران^۳ (۲۰۱۲) از یک مدل هیدرولوژیکی (HEC-HMS 3.4) برای مدل بندی هیدرولوژیکی منطقه رودخانه تونگا-بهدارا در هندوستان و از روش ریزمقیاس نمایی SDSM برای ریزمقیاس نمایی دماهای حداقل و حداکثر و بارش روزانه در منطقه مورد مطالعه استفاده کردند. نتایج مطالعه بیان آب، افزایش بارش و رواناب و کاهش تلفات تبخیرتغرق واقعی را روی منطقه مورد مطالعه نشان داد.

رجبی و شعبانلو^۴ (۲۰۱۲) از مدل SDSM برای ارزیابی تغییر اقلیم منطقه کرمانشاه در غرب ایران و اثر آن بر شاخص‌های اقلیمی همچون جانسن، کرنر و دومارتن استفاده کردند. نتایج نشان داد که اقلیم منطقه بخصوص در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ خشک‌تر خواهد شد و این تغییر برای سناریوی A2 محسوس‌تر است.

چیما و همکاران^۵ (۲۰۱۳) عملکرد روش ریزمقیاس نمایی SDSM را روی روند داده‌های حداقل دمای ایستگاه‌های کشور پاکستان را در دوره ۲۰۱۰-۱۹۹۱ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که طبق آزمون من کندال روند افزایشی حداقل دمای سالانه معنی دار است. نتایج نشان داد که تغییر معنی دار اقلیمی بیشتر در نواحی شمالی کشور پاکستان رخ داده است. کاظمی و همکاران^۶ (۲۰۱۴) روش SDSM را روی خروجی دمای روزانه مدل جهانی ECHAM5 بکار بردند. نتایج نشان داد که داده‌های ریزمقیاس شده خیلی دقیق‌تر از داده‌های مدل ECHAM5 است.

نوری و آلام^۷ (۲۰۱۴) مدل SDSM را روی داده‌های مشاهداتی دما و بارش روزانه از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۶ با استفاده از مدل جهانی HadCM3 بکار برد و نتایج نشان می‌دهد که داده‌های دما و بارش ریزمقیاس شده با داده‌های مشاهده شده تقریباً مطابقت داشته‌اند.

1 Karamouz and et al

2 Sarwar and et al

3 Meenu and et al

4 Rajabi. and Shabanlou

5 Cheema and et al

6 Kazmi and et al

7 Nury A. H. and Alam

محمدی و همکاران (۱۳۸۹) اثر تغییر اقلیم را بر پارامترهای هواشناسی و آبشناختی حوضه آبریز قزل اوزن در استان زنجان بررسی نمودند. آن‌ها رژیم ماهانه بارش و دما حاصل از مدل HadCM3 تحت دو سناریوی اقلیمی A2 و B1 را با داده‌های مشاهداتی مقایسه کردند. نتایج پیش‌بینی تقریبی پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژیک تا سال ۲۰۵۷ میلادی را به صورت کاهش میانگین بارش سالانه به میزان حدود ۲۱ میلیمتر و افزایش میانگین دمای سالانه حدود ۲/۵ درجه سانتیگراد و کاهش میانگین سالانه رواناب حدود ۱۰ متر مکعب در ثانیه نسبت به میانگین دوره مشاهداتی (۱۹۹۹-۱۹۷۲) نشان داد.

دهقانی پور و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله خود توانمندی مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM را در تولید داده‌های بارش، دما و تبخیر در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تبریز مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که مدل SDSM توانایی مناسبی در کوچک مقیاس نمودن داده‌های دما، تبخیر و بارش دارد.

گل محمدی و مساح بوانی (۱۳۹۰) در مقاله خود به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت خشکسالی حوضه قره سو در دوره‌های آتی با استفاده از شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI) پرداختند. در این ارزیابی از روش SDSM برای ریزمقیاس نمایی خروجی مدل جهانی HadCM3 تحت سناریوی A2 استفاده شده است. مقایسه نتایج حاکی از این است که حوضه در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ میلادی شاهد افزایش بارش و به تبع آن کاهش شدت خشکسالی نسبت به دوره پایه خواهد بود. این کاهش شدت، برای مقیاس‌های زمانی ۶ و ۱۲ ماهه با افزایش دوره بازگشت افزایش می‌یابد. این در حالی است که برای خشکسالی‌های ۲۴ ماهه با افزایش دوره بازگشت، شدت خشکسالی حوضه بیش از دوره پایه خواهد شد.

با توجه به مطالعات فوق مشاهده می‌شود که مدل SDSM دارای دقت قابل قبولی در ریزمقیاس نمایی داده‌های اقلیمی می‌باشد گرچه بیشتر مطالعات صورت گرفته بر اساس سناریوهای^۱ (AR4) می‌باشد ولی تحقیق حاضر در نظر دارد که با استفاده از خروجی canESM2 که یکی از مدل‌های تغییر اقلیم جفت شده^۲ CMIP5 و بر اساس سناریوهای جدید^۳ (AR5) می‌باشد، متغیرهای اقلیمی دما و بارش را در طول قرن ۲۱ شبیه‌سازی و مورد بررسی قرار دهد.

۲. منطقه مورد مطالعه

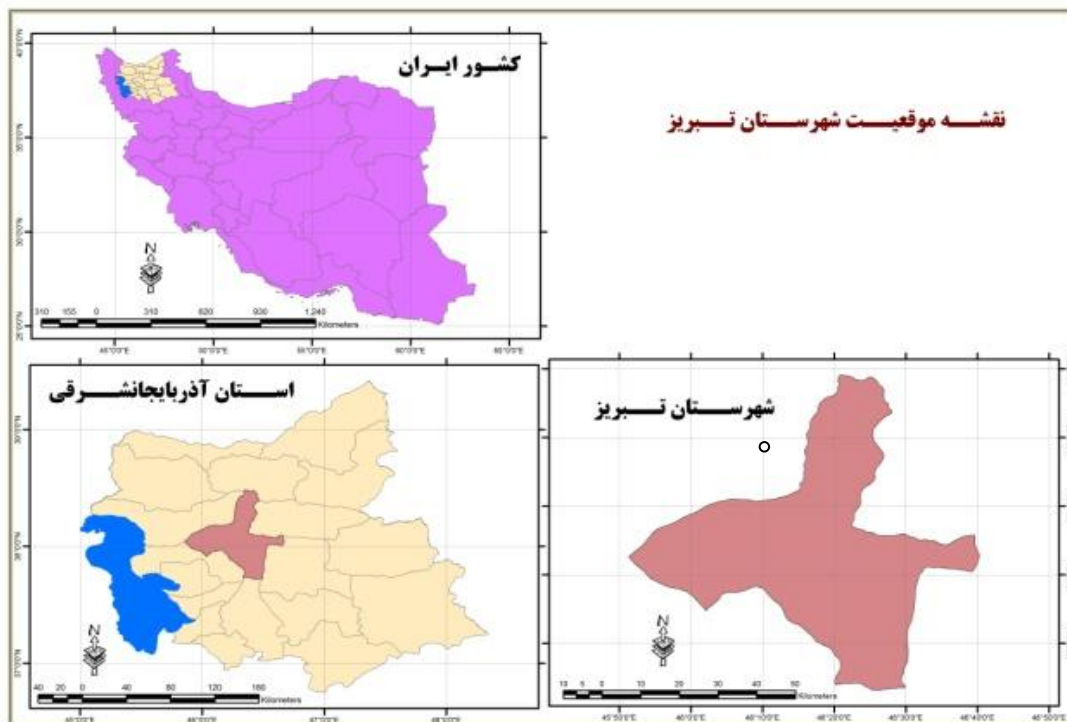
تبریز مرکز استان آذربایجان شرقی با مساحتی حدود ۱۲۰۰ کیلومتر مربع، در ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۰۵ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۶۶ متر است. تبریز

۱ گزارش چهارم IPCC

۲ فاز ۵ پروژه متقابل مدل جفت شده

۳ گزارش پنجم IPCC

از شمال به کوه عینالی و از جنوب به دامنه کوه سهند و از سمت غرب به جلگه تبریز و دریاچه ارومیه محدود است. شکل (۱) موقعیت محدوده مورد مطالعه را در سطح استان و کشور نشان می‌دهد.



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه تبریز در کشور و استان آذربایجان شرقی (نگارندگان)

۳. مواد و روش‌ها

در این تحقیق برای بررسی اثر تغییر اقلیم در محدوده مورد مطالعه از ایستگاه تبریز به دلیل داشتن آمار بلند مدت استفاده شد. دوره آماری مشاهداتی پایه دوره ۳۰ ساله ۱۹۶۱-۱۹۹۰ است که در جدول شماره (۱) آورده شده است. داده‌های روزانه حداقل دما، حداکثر دما، بارش در دوره مربوطه وارد مدل شده و پس از ارزیابی کیفی و آماری توسط نرم افزار و همچنین تأیید اعتبار مدل از طریق انجام آزمون‌های آماری، داده‌ها جهت تولید سری‌های تصادفی روزانه آماده شدند.

جدول ۱ اطلاعات مربوط به ایستگاه سینوپتیک تبریز

| ردیف | ایستگاه | ارتفاع از سطح دریا (متر) | عرض جغرافیایی (درجه) | طول جغرافیایی (درجه) | طول دوره آماری پایه |
|------|---------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| ۱ | تبریز | ۱۳۶۱ | ۳۸°-۰۵' | ۴۶°-۱۷' | ۱۹۶۱-۱۹۹۰ |

در این تحقیق از خروجی مدل canESM2 که از چهارمین نسل از مدل‌های آب‌وهوایی است که توسط مرکز مدل‌سازی و تحلیل آب‌وهوای کانادا (cccma) زیر نظر سازمان محیط زیست این کشور توسعه یافته است. در این مدل کل سطح زمین بصورت ۶۴*۱۲۸ سلول، شبکه بندی شده است که مشخصات آن در جدول ۲ ارائه شده است (charron,2014).

جدول ۲ مشخصات مدل canesm2

| مدل | دقت مکانی داده‌های اتمسفری | | دقت مکانی داده‌های اقیانوسی | |
|---------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| | عرض جغرافیایی (درجه) | طول جغرافیایی (درجه) | عرض جغرافیایی (درجه) | طول جغرافیایی (درجه) |
| CanESM2 | ۲/۷۹۰۶ | ۲/۸۱۲۵ | ۰/۹۳۰۳ و ۱/۱۴۰۷ | ۱/۴۰۶۲۵ |

۳.۱. سناریوهای میزان غلظت گازهای گلخانه‌ای

هیات بین الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود (AR5) از سناریوهای جدید RCP به عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است. سناریوی جدید انتشار دارای چهار خط سیر کلیدی با نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 می‌باشند که بر اساس میزان واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نام گذاری شده‌اند (charron,2014).

- سناریوی انتشار RCP2.6

این سناریو توسط تیم مدل‌سازی IMAGE از موسسه ارزیابی‌های محیطی هلند طراحی شده است. این سناریو در برگیرنده کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. مطابق این سناریو واداشت تابشی در اواسط این قرن به حدود ۳,۱ وات بر متر مربع رسیده و سپس کاهش یافته و به ۲,۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد. برای رسیدن به این سطح واداشت تابشی بایستی گازهای گلخانه‌ای به میزان قابل توجهی کاهش یابند.

- سناریوی RCP4.5

سناریوی RCP4.5 توسط گروه مدل‌سازی MiniCAM طراحی شده است و در آن واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴,۵ وات بر مترمربع ثابت می‌ماند.

- سناریوی RCP6

سناریوی انتشار RCP6 توسط گروه مدل‌سازی AIM در موسسه ملی مطالعات محیطی ژاپن طراحی گردید. در این سناریو واداشت تابشی بعد از سال ۲۱۰۰ به دلیل استفاده از فناوری‌های جدید و سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای ثابت می‌ماند.

– سناریوی RCP8.5

بدون اتخاذ هیچ گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب‌وهوای کره زمین در خط سیر سناریوی انتشار RCP 8.5 پیش خواهد رفت. به طوریکه ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸,۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می‌گردد. در این هنگام غلظت دی اکسید کربن به ۱۰۰۰ ppm رسیده و همچنان روند افزایش خواهد داشت. این سناریو توسط تیم مدل‌سازی MESSAGE و موسسه IIASA به سرپرستی پروفیسور کیوان ریاحی در موسسه بین‌المللی آنالیز سیستم‌های کاربردی IIASA اتریش توسعه و طراحی شد که وجه مشخصه آن روند افزایش گازهای گلخانه‌ای است.

۳.۲. ریز مقیاس کردن داده‌های اقلیمی

در این مطالعه از روش آماری جهت ریز مقیاس کردن خروجی مدل‌های GCM استفاده می‌شود. تاکنون دو رویکرد برای روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری ارائه شده است. رویکرد اول که بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد استفاده از مدل‌های رگرسیونی یا تابع انتقال است که در آن با استفاده از رابطه بین پارامترهای مختلف جوی و سینوپتیکی (متغیرهای پیش‌بینی‌کننده) و پارامتر اقلیمی که لازم است دورنمایی از آن در آینده داشته باشیم (متغیر پیش‌بینی شونده) یک تابع انتقال ارائه می‌شود. رویکرد دوم استفاده از مولدهای تصادفی آب و هوایی است که بر اساس مدل‌های سری زمانی، زنجیره‌های مارکوف و سری‌های فوریه ارائه می‌شود. یکی از روشهایی که بر اساس این رویکرد بنا شده است، مدل آماری LARS-WG است (Resko et al, 1991). یکی از نرم‌افزارهایی که بر اساس ترکیبی از این دو رویکرد پایه ریزی شده SDSM است. این نرم‌افزار داده‌های روزانه هواشناسی ایستگاه مورد نظر را به عنوان ورودی گرفته و در هفت مرحله خروجی مدل GCM را بر اساس داده‌های روزانه در منطقه مورد نظر ریزمقیاس می‌نماید.

این هفت مرحله عبارتند از:

۱. کنترل کیفی و تبدیل داده‌ها: ایستگاه‌های هواشناسی کمی هستند که دارای داده‌های بدون نقص باشند. لذا شناسایی داده‌های غلط یا گم شده ضروری است. این نرم‌افزار یک چک کنترل کیفی ساده در ابتدا روی داده‌های روزانه ایستگاه انجام می‌دهد. علاوه بر آن گاهی اوقات لازم است داده‌ها جهت برازش بهتر مدل تبدیل شوند (برای مثال تبدیل لگاریتمی، توانی، وارونگی و غیره).

۲. بررسی و انتخاب متغیرهای پیش‌بینی‌کننده: از آنجا که اساس کار این روش تعیین رابطه بین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده سینوپتیکی (از قبیل فشار سطح دریا) و متغیر پیش‌بینی شونده یا پارامتر اقلیمی منطقه (از قبیل بارش ایستگاه) است، در این مرحله متغیر پیش‌بینی‌کننده‌ای که دارای همبستگی بیشتر با متغیر پیش‌بینی شونده دارد و یا

سهم بیشتری در تغییرات مدل دارد بررسی و انتخاب می‌شود. البته در این مرحله تجربه و دانش کارشناس هواشناسی اهمیت زیادی دارد.

۳. برازش مدل: در این مرحله مدل رگرسیون چند متغیره براساس متغیرهای پیش‌بینی کننده انتخابی در مرحله قبل و متغیر پیش‌بینی شونده به روش حداقل مربعات ساخته می‌شود. کاربر ساختار مدل را بر این اساس که ماهانه، فصلی و یا سالانه باشد، تعیین می‌کند. علاوه بر آن باید مشخص شود که مدل شرطی است یا غیر شرطی. در مدل غیر شرطی فرض می‌شود که متغیر پیش‌بینی شونده مستقیماً با متغیرهای پیش‌بینی کننده ارتباط دارد. ولی در مدل شرطی یک فرآیند بینا بین عوامل منطقه‌ای و هوای محلی وجود دارد (برای مثال مقدار بارش محلی به رخدادهای خشک و تر وابسته است که به‌طور چرخشی وابسته به پیش‌بینی کننده‌های مقیاس محلی از قبیل رطوبت و فشار هواست).

۴. تولید داده‌های آب‌وهوایی: مولدهای هواشناسی نمای کلی از سری داده‌های مدل شده روزانه بر اساس متغیرهای پیش‌بینی کننده مشاهده شده (یا داده‌های درون یابی شده NCEP) تولید می‌کند. این پروسه قادر به تأیید مدل برازش شده (با استفاده از داده‌های مستقل) و سری‌های زمانی مدل شده برای شرایط اقلیمی حاضر است. در این مرحله کاربر می‌تواند طبق هر دوره زمانی داده هواشناسی تولید کند و آن‌ها در مراحل بعد با داده‌های واقعی مورد مقایسه قرار داده و اعتبارسنجی مدل را انجام دهد.

۵. تحلیل داده‌ها: در این مرحله می‌توان میانگین‌ها، تحلیل فراوانی و شاخص‌های آماری داده‌های مشاهده شده و سناریوهای تولید شده را محاسبه و تحلیل قرار داد. در این بخش کاربر باید دوره زمانی مربوطه و نام فایل خروجی را مشخص نماید.

۶. تحلیل گرافیکی: در این مرحله تحلیل فراوانی داده‌های به روش‌های نموداری انجام می‌شود که در آن توزیع آماری داده‌های تولید شده و مشاهده شده مورد تحلیل قرار می‌گیرد و داده‌های پرت و حدی مشخص می‌شود. این تحلیل‌ها شامل توزیع‌های آماری تجربی، گامبل، نمایی و حدی است. علاوه بر آن در این مرحله میانگین‌های ماهانه و فصلی داده‌های دوره‌های مختلف با هم مقایسه می‌شوند.

۷. تولید سناریو: در نهایت عملیات تولید سناریو بر اساس داده‌های روزانه تولید شده مدل انجام می‌شود. در این مرحله خروجی مدل جهانی اقلیمی را در نظر گرفته و بر اساس داده تولید شده مدل در دوره‌های آینده خروجی مدل جهانی را اصلاح می‌کنند. در این مرحله نیز می‌توان برای زمان حال و گذشته نیز سناریو تولید کرد.

۳.۳. انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده

یکی از مهم‌ترین مراحل مدل ریز مقیاس نمایی، انتخاب متغیرهای توضیحی است که به طور قابل قبولی بتواند تغییرات و ویژگی‌های پارامترهای ایستگاهی مورد نظر را توصیف کند؛ که این متغیرها باید از متغیرهای NCEP

انتخاب شود. متغیرهای NCEP شامل ۲۶ متغیر اتمسفری است و از میان آن‌ها متغیر یا متغیرهایی انتخاب می‌شوند که دارای بالاترین میزان همبستگی و کمترین مقدار شاخص PR می‌باشد و به عنوان متغیرهای توضیحی جهت پیش‌بینی پارامترهای دما و بارش وارد معادله رگرسیونی مدل SDSM می‌شوند. جهت محاسبه ضریب همبستگی از مدل SDSM و جهت محاسبه شاخص PR از رابطه زیر استفاده شده است:

$$(۱) \quad PR = \frac{R_p - R_a}{R_a}$$

۴.۳. ارزیابی و واسنجی مدل

به منظور کالیبره نمودن و واسنجی مدل SDSM داده‌های مورد استفاده، ایستگاه مشاهداتی شهر تبریز و داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی کانادا NCEP به دو دوره ۱۵ ساله (۱۹۷۵-۱۹۶۰) و (۱۹۹۰-۱۹۷۶) تقسیم شدند که از ۱۵ سال اول برای کالیبره کردن مدل با استفاده از روش بهینه سازی حداقل مربعات استفاده شد. بعد از کالیبره نمودن مدل به منظور حصول اطمینان از این که مدل توانایی شبیه سازی داده‌ها را خارج از محدوده زمانی کالیبراسیون دارد، نیاز است مدل ارزیابی شود بدین منظور با استفاده از مدل SDSM کالیبره شده، دما و بارش را برای دوره (۱۹۶۰-۱۹۹۰) شبیه سازی شدند. سپس با مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های شبیه سازی شده، کارایی مدل برای ایستگاه تبریز مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق به منظور بررسی میزان کارایی مدل از دو معیار آماری میانگین خطای مطلق (MAE) ۱، درصد اریبی (PBIAS) ۲ استفاده گردید. این معیارها بر اساس روابط ۲ و ۳ محاسبه می‌شوند.

$$(۲) \quad PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i) * 100}{\sum_{i=1}^n (O_i)}$$

$$(۳) \quad MAE = 1/N \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)$$

که در آن: O_i داده‌های مشاهداتی، S_i داده‌های برآورده شده می‌باشد. مقادیر MAE معرف دقت در بسیاری از روش آماری می‌باشد. هر چه این مقادیر به صفر نزدیک‌تر باشد نشان دهنده دقت بالای مدل و مقدار صفر، نشان دهنده عدم وجود خطا در برآورد مدل است. PBIAS هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده دقت بالای مدل در برآورد متغیر مورد نظر می‌باشد. در صورتی که مقدار این پارامتر به سمت مثبت میل کند نشان دهنده این است که متغیر مورد بررسی بسیار کمتر از مقدار واقعی برآورد شده است و بر عکس. قابل ذکر است که برای این پارامتر آستانه خاصی در نظر گرفته نشده است (Moriasi et al, 2007).

در انتخاب پیش‌بینی کننده‌ها نرم افزار SDSM در واقع بین سری مشاهداتی روزانه منطقه و متغیرهای بزرگ مقیاس مشاهداتی منطقه (NCEP) رابطه‌ای با حداکثر ضریب همبستگی برقرار نموده (گل محمدی و مساح

1 mean absolute error

2 percent bias

بوانی، ۱۳۸۹) و سپس با استفاده از پارامترهای بدست آمده از این رابطه، با بکارگیری متغیرهای بزرگ مقیاس حاصل از مدل canESM2 برای دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۰ استخراج شدند. سپس با معرفی این داده‌ها به مدل SDSM، بارش و دمای حداکثر و حداقل تحت سه سناریو rcp2.6,rcp4.5,rcp8.5 برای سه دوره ۳۰ ساله ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۶۹-۲۰۹۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ برای ایستگاه مورد نظر تولید کرده و تغییرات مقادیر شبیه‌سازی شده در سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه مورد بررسی قرار گرفت.

۴. بحث و نتایج

۴.۱. انتخاب متغیرهای مستقل جهت شبیه‌سازی و کالیبره کردن مدل

در مدل‌های تابع انتقالی مانند مدل SDSM قبل از کالیبره کردن مدل لازم است متغیرهای اقلیمی که بیشترین همبستگی را با پارامترهای مورد نظر دارند، تعیین گردند. در پژوهش حاضر ابتدا با استفاده از پارامترهای بزرگ مقیاس مشاهداتی^۱ NCEP و نرم افزار SDSM به انتخاب پیش‌بینی کننده‌های منتخب پارامترهای اقلیمی مورد نیاز پرداخته شد. بدین منظور، از بین ۲۶ پارامتر بزرگ مقیاس NCEP پارامترهای نهایی بزرگ مقیاس، برای متغیرهای اقلیمی مورد نظر انتخاب گردید که نتایج پیش‌بینی کننده‌های منتخب نهایی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳ انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده بزرگ مقیاس برای پیش‌بینی پارامترهای محلی بارش، حداقل دما و حداکثر دما در ایستگاه تبریز

| متغیر | پیش‌بینی کننده‌های منتخب | همبستگی مطلق (r_a) | همبستگی جزئی (r_p) | PR | Pvalue |
|------------|--|------------------------|------------------------|------|--------|
| حداقل دما | میانگین فشار سطح دریا | -۰/۵۷۶ | -۰/۷۰۹ | ۰/۲۳ | ۰/۰ |
| | رطوبت نسبی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال | ۰/۸۳۹ | ۰/۸۴۹ | ۰/۰۱ | ۰/۰ |
| | رطوبت نسبی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال | ۰/۷۹۲ | ۰/۸۸۹ | ۰/۱۱ | ۰/۰ |
| | میانگین دما در ارتفاع ۲ متری | ۰/۵۷۴ | ۰/۹۳۱ | ۰/۳۸ | ۰/۰ |
| حداکثر دما | تاوایی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال | ۰/۱۸۰ | ۰/۱۶۶ | ۰/۰۸ | ۰/۰ |
| | رطوبت نسبی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال | ۰/۸۸۳ | ۰/۸۸۲ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| | رطوبت نسبی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال | ۰/۸۱۲ | ۰/۸۸۴ | ۰/۰۸ | ۰/۰ |
| | میانگین دما در ارتفاع ۲ متری | ۰/۷۰۵ | ۰/۹۵۴ | ۰/۲۶ | ۰/۰ |
| بارش | مؤلفه سرعت نصف النهاری در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال | ۰/۲۱۵ | ۰/۱۲۱ | ۰/۴۴ | ۰/۰ |
| | تاوایی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال | ۰/۰۶۷ | ۰/۰۹۴ | ۰/۴۰ | ۰/۰ |
| | واگرایی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال | ۰/۰۴۹ | ۰/۰۵۵ | ۰/۱۲ | ۰/۰۱ |
| | واگرایی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال | ۰/۱۲۲ | ۰/۰۶۲ | ۰/۴۹ | ۰/۰۰۵ |
| | رطوبت نسبی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال | ۰/۱۴۷ | ۰/۰۸۳ | ۰/۴۴ | ۰/۰ |

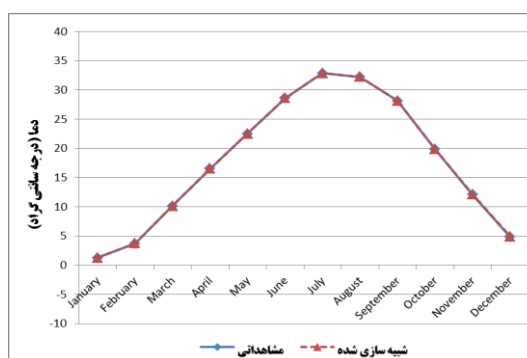
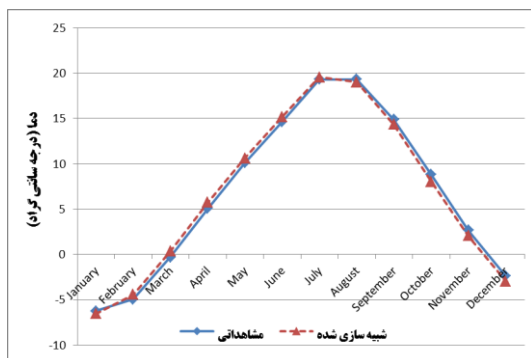
با توجه به نتایج جدول ۳ مشخص شد که داده‌های دما همبستگی بهتری با داده‌های مشاهداتی داشته‌اند این بدان علت است که تغییر پذیری دما نسبت به بارندگی کمتر است و دما یک متغیر پیوسته می‌باشد که کمتر تحت تأثیر ناهنجارهای زمانی قرار می‌گیرد. در حالی که بارش تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار می‌گیرد. از سوی دیگر، بارندگی یک پارامتر گسسته است.

۲.۴. نتایج حاصل از ریز مقیاس نمایی توسط نرم افزار SDSM

در این بخش با بررسی و مقایسه داده‌های مشاهداتی و داده‌های شبیه‌سازی شده دما و بارندگی GCM ها در دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۰) برازش مدل بر اساس متغیرهای پیش‌بینی کننده NCEP مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت و برای روشن شدن توانمندی مدل، علاوه بر روش ترسیم از معیارهای آماری (MAE,PBIAS) نیز استفاده شد. نتایج حاصل از ارزیابی مدل با استفاده از معیارهای آماری در جدول ۴ ارائه شده است.

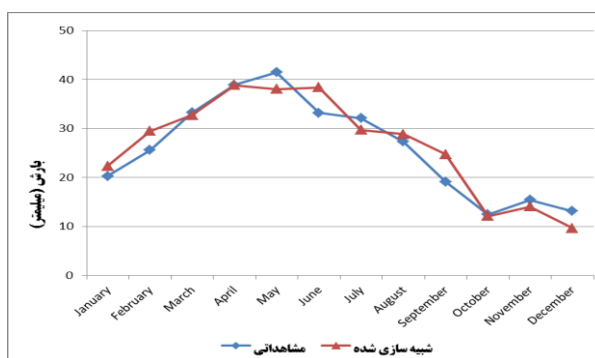
جدول ۴ معیارهای آماری ارزیابی کارایی شبیه‌های SDSM ایستگاه تبریز طی دوره آماری پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۰)

| بارش | | حداکثر دما | | حداقل دما | | شاخص |
|----------|----------|------------|-----------|-----------|----------|---------|
| MAE | PBIAS | MAE | PBIAS | MAE | PBIAS | |
| -۲,۰۵۴۴۸ | -۱۰,۱۲۳۹ | -۰,۰۲۴۸۴ | -۱,۹۸۷ | ۰,۲۹۲۳۵۸ | -۴,۶۷۸۷۷ | ژانویه |
| -۳,۸۷۴۶۹ | -۱۵,۱۴۵۴ | -۰,۰۳۷۶۵ | -۱,۰۱۴۴۲ | -۰,۵۱۶۱۳ | ۱۰,۴۲۹۵۷ | فوریه |
| ۰,۵۵۸۵۹۱ | ۱,۶۷۹۳۰۱ | ۰,۰۰۴۰۸ | ۰,۰۴۰۲۹۶ | -۰,۶۳۵۵۱ | ۲۲۱,۶۸۸۲ | مارس |
| ۰,۰۵۵۲۷۵ | ۰,۱۴۲۱۳۱ | -۰,۰۰۴۹۳ | -۰,۰۲۹۸ | -۰,۶۷۹۲ | -۱۳,۳۹۵۶ | آوریل |
| ۳,۴۱۰۴۴۵ | ۸,۲۲۶۵۲۹ | ۰,۰۰۳۲۱۲ | ۰,۰۱۴۲۵۷ | -۰,۴۹۳۵۵ | -۴,۸۸۲۸۴ | می |
| -۵,۲۳۳۶ | -۱۵,۷۷۳۳ | ۰,۰۰۹۶۵ | ۰,۰۳۳۰۶۱ | ۰,۵۳۴۷۸ | -۳,۶۴۹۹۵ | ژوئن |
| ۲,۴۲۵۱۵۲ | ۷,۵۵۱۸۵۵ | ۰,۰۰۳۱۶۴ | ۰,۰۰۹۶۲۳ | -۰,۲۳۶۵۹ | -۱,۲۲۵۴۸ | جولای |
| -۱,۵۳۲۱ | -۵,۶۱۰۷۳ | -۰,۰۰۹۲۳ | -۰,۰۲۸۶۳ | ۰,۲۹۹۴۰۸ | ۱,۵۵۱۲۷۸ | آگوست |
| -۵,۶۱۲۷۹ | -۲۹,۳۲۴۹ | ۰,۰۰۴۲۲۸ | ۰,۰۱۵۰۱۵ | ۰,۵۶۷۴۴۸ | ۳,۸۰۹۶۸۴ | سپتامبر |
| ۰,۳۳۷۸۶۱ | ۲,۷۱۳۷۴۳ | ۰,۰۱۶۶۷۸ | ۰,۰۸۴۰۱۱ | ۰,۷۷۰۹۳ | ۸,۷۶۱۷۴۷ | اکتبر |
| ۱,۳۷۷۵۰۶ | ۸,۹۴۴۸۴۷ | -۰,۰۲۸۲۱ | -۰,۰۲۳۳۰۳ | ۰,۶۱۴۴۱۱ | ۲۲,۸۸۴۹۸ | نوامبر |
| ۳,۴۶۵۷۳۴ | ۲۶,۴۲۹۰۹ | -۰,۰۱۵۱۸ | -۰,۰۳۱۱۵۸ | ۰,۵۹۰۱۵۹ | -۲۴,۹۱۸۲ | دسامبر |
| -۲,۳۸۳۹۷ | -۴,۱۷۶۰۳ | -۰,۰۲۵۵۳ | -۰,۰۷۸۲۱ | ۰,۱۴۲۸۴ | -۳,۱۶۸۸۳ | زمستان |
| ۴,۰۲۴۳۱۱ | ۳,۵۴۲۲۱۵ | ۰,۰۰۰۸۵۱ | ۰,۰۰۵۱۸۸ | -۰,۶۰۱۹۲ | -۱۲,۱۲۹ | بهار |
| -۴,۳۴۰۵۵ | -۴,۶۸۷۴۱ | ۰,۰۰۱۰۴۲ | ۰,۰۰۳۳۳۱ | -۰,۱۵۳۲۲ | -۰,۸۶۱۴۲ | تابستان |
| -۳,۸۹۷۴۳ | -۸,۲۹۴۱۶ | -۰,۰۰۲۲۲ | -۰,۰۱۱۱ | ۰,۶۵۲۲۴۸ | ۷,۴۱۷۹۰۴ | پائیز |
| -۶,۶۷۷۱ | -۲,۱۳۸۷۹ | -۰,۰۰۶۳۸ | -۰,۰۳۵۸۶ | ۰,۰۱۴۸۲ | ۰,۲۱۷۴۶۹ | سالانه |



شکل ۲ داده‌های مشاهده شده و داده‌های مدل شده میانگین دمای حداقل طی دوره (۱۹۶۰-۱۹۹۰)

شکل ۳ داده‌های مشاهده شده و داده‌های مدل شده میانگین دمای حداکثر طی دوره (۱۹۶۰-۱۹۹۰)



شکل ۴ داده‌های مشاهده شده و داده‌های مدل شده میانگین بارش طی دوره (۱۹۶۰-۱۹۹۰)

با توجه به نتایج جدول ۴ و شکل‌های ۲ تا ۴ مشخص شد که داده‌های شبیه‌سازی شده توسط متغیرهای پیش‌بینی کننده منتخب با داده‌های مشاهداتی در طول دوره پایه (۱۹۶۰-۱۹۹۰) تطابق بیشتری دارند که در این میان تطابق دمای حداکثر مشاهده شده با شبیه‌سازی شده بیشتر از پارامترهای بارش و دمای حداقل می‌باشد؛ بنابراین بر این اساس مشخص گردید که متغیرهای پیش‌بینی کننده منتخب از کارایی مناسب و قابل قبولی جهت شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی مورد نظر برای دوره آتی دارند.

۳. ۴. شبیه سازی پارامترهای اقلیمی ایستگاه تبریز تا سال ۲۱۰۰

در این بخش پس از ارزیابی دقت مدل برای دوره پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰)، اقدام به شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی دما و بارش برای دوره‌های آتی شد. مدل را برای سه دوره ۳۰ ساله در قرن ۲۱ (۲۰۱۰-۲۰۳۹)، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹) و براساس مدل جهانی canESM2 تحت سه سناریو rcp2.6, rcp4.5, rcp8.5 برای ایستگاه تبریز تولید و تغییرات مقادیر شبیه‌سازی شده در سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه مورد بررسی قرار گرفت.

- بررسی تغییرات بارش

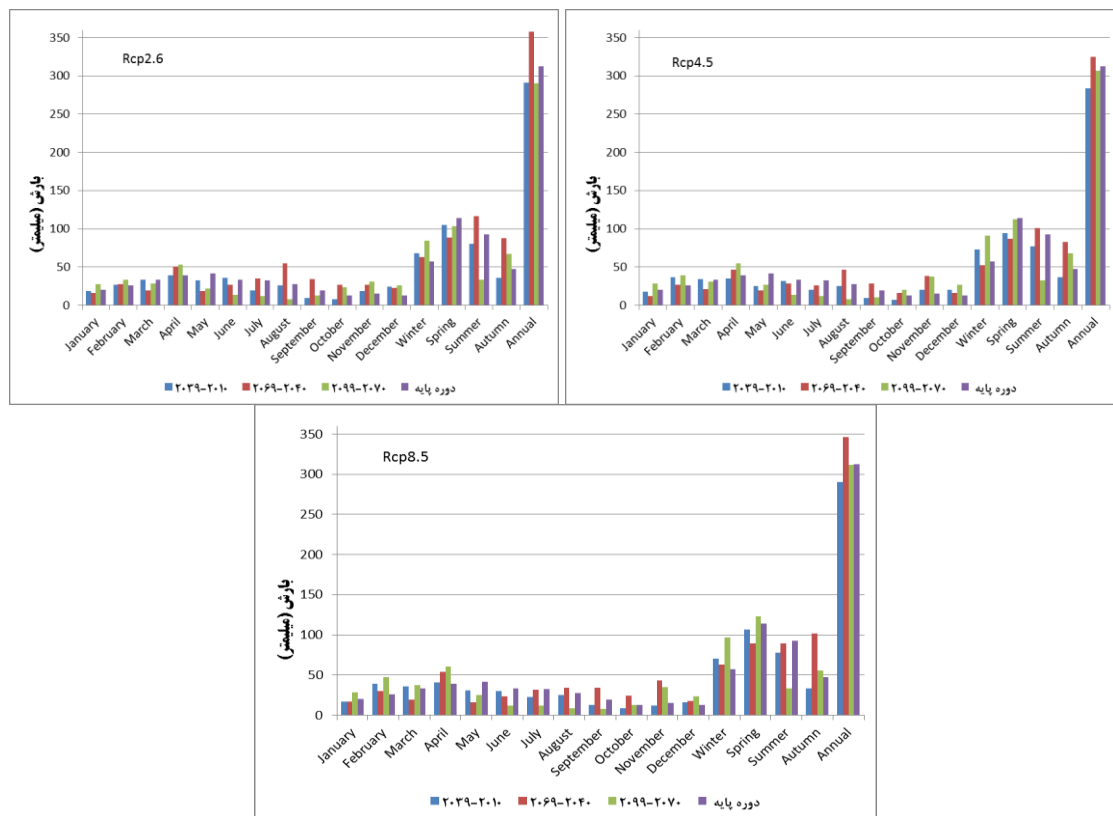
جدول ۵ تغییرات بارش را تحت سناریوهای RCP برای سه دوره نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. جهت مقایسه، نمودار داده‌های مربوطه در شکل‌های ۵ آورده شده است. باتوجه به جدول مشاهده می‌کنیم که به‌طورکلی بارش در سه سناریوی مورد بررسی، برای دو دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ کاهش بارش و برای دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ افزایش بارش خواهد داشت. همچنین بارش به‌طورکلی در فصل زمستان افزایش و بقیه فصول با کاهش بارش مواجه خواهد بود. تغییر اقلیم به دو شکل می‌تواند بر روی بارش نقش داشته باشد. یکی به شکل تغییر در مقدار بارش و دیگری تغییرات زمانی الگوی بارش می‌باشد. نکته جالب توجه در این تحقیق تغییرات زمانی الگوی بارش می‌باشد که هرچه به پایان قرن حاضر نزدیک می‌شویم ملاحظه می‌گردد که بارش در ماه‌های اول سال کاهش پیدا کرده و در ماه‌های آخر سال، افزایش پیدا می‌کند.

جدول ۵ تغییرات بارش تبریز طی دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ و ۲۰۶۹-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۱۰ در مقایسه با دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۰

| سناریو | Rep8.5 | | | Rep4.5 | | | Rep2.6 | | |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | ۲۰۷۰-۲۰۹۹ | ۲۰۴۰-۲۰۶۹ | ۲۰۱۰-۲۰۳۹ | ۲۰۷۰-۲۰۹۹ | ۲۰۴۰-۲۰۶۹ | ۲۰۱۰-۲۰۳۹ | ۲۰۷۰-۲۰۹۹ | ۲۰۴۰-۲۰۶۹ | ۲۰۱۰-۲۰۳۹ |
| ژانویه | ۹۰،۴۳۹۳- | ۲۱،۵۳۱۱- | ۳۷،۶۵۱۴۴ | ۱۰،۹۱۵۹- | ۴۲،۵۵۵۱- | ۳۹،۹۹۵۱۵ | ۱۶،۲۸۰۲- | ۱۵،۴۶۱۷- | ۴۱،۴۷۰۴۳ |
| فوریه | ۵،۳۳۲۸۶۱ | ۶،۴۹۹۲۷۶ | ۳۱،۵۰۰۴۴ | ۴۴،۵۴۸۶۵ | ۳،۲۳۳۰۱۸ | ۵۱،۶۸۰۸۶ | ۵۳،۰۴۶۳ | ۱۶،۹۶۵۹۴ | ۸۵،۰۷۰۱۶ |
| مارس | ۰،۸۱۰۸۶۲ | ۴۲،۱۱۸- | ۱۴،۸۱۷۸۹- | ۳،۰۶۶۷۵۴ | ۳۱،۱۲۱۲- | ۷،۲۵۸۰۳- | ۶،۵۳۸۷۰۹ | ۴۲،۴۹۵- | ۱۲،۳۳۸ |
| آوریل | ۰،۱۲۴۶۶- | ۳۰،۱۹۱۸۲ | ۳۶،۸۷۰۷۷ | ۹،۱۷۷۱۶- | ۱۹،۸۶۴۹۴ | ۴۱،۴۸۰۷ | ۴،۲۰۳۴۴۹ | ۳۸،۵۹۳۳۵ | ۵۵،۳۳۳۸۳ |
| می | ۲۱،۴۱۸۱- | ۵۵،۱۵۷۳- | ۴۸،۰۵۳۲- | ۳۹،۶۵۱- | ۵۳،۷۵۸۵- | ۳۵،۷۳۹۱- | ۲۶،۴۱۳۳- | ۶۰،۶۶۰۹- | ۳۸،۹۲۷۶- |
| ژوئن | ۷،۴۰۰۱۲۸ | ۱۹،۹۸۲۱- | ۶۰،۱۱۱۳۳- | ۴،۸۸۴۱۵- | ۱۳،۹۶۹۱- | ۵۹،۷۰۹۳- | ۸،۳۹۹۶۳۳- | ۲۸،۸۹۸۱۱- | ۶۴،۱۷۹۴- |
| جولای | ۴۰،۳۸۵۳- | ۹،۶۵۶۱۴۳ | ۶۲،۹۸۷۱- | ۳۷،۲۸۶۴- | ۱۹،۹۵۶۱- | ۶۳،۴۶۵۱- | ۲۹،۴۰۱۹- | ۰،۲۷۴۷۸- | ۶۲،۰۹۵۹- |
| اگوست | ۵،۹۳۲۶۳۳- | ۹۹،۴۳۵۰۴ | ۷۰،۲۶۲۱- | ۷،۱۴۶۴۶- | ۷۰،۳۹۱۹۶ | ۷۲،۱۲۹۴- | ۸،۹۶۸۲۲- | ۲۴،۸۷۴۸۴ | ۶۷،۳۷۷۷- |
| سپتامبر | ۴۹،۱۶۳۳- | ۷۶،۷۵۸۱۴ | ۳۴،۲۷۰۴- | ۵۱،۷۷۷۹- | ۴۸،۵۱۸۶۲ | ۴۷،۷۴۳۶- | ۳۵،۵۴۴۴- | ۷۸،۶۲۲۹۴ | ۵۸،۴۶۲۴- |
| اکتبر | ۳۹،۱۸۴۲- | ۱۱۴،۱۸۹ | ۸۹،۸۷۷۳۳ | ۴۱،۴۹۶۹- | ۲۷،۳۳۳۲۴ | ۶۱،۸۲۴۴۶ | ۲۸،۰۷۷۷- | ۹۷،۲۹۴۱ | ۴۷،۰۳۲۹۸ |
| نوامبر | ۱۸،۳۳۳۴۷ | ۷۶،۰۲۸۳۹ | ۹۹،۹۷۸۵ | ۲۸،۷۵۶۲۹ | ۱۴۹،۱۹۲۷ | ۱۴۳،۹۷۴۳ | ۲۲،۷۸۳۴- | ۱۸۰،۵۷۱۳ | ۱۲۴،۷۵۴۷ |
| دسامبر | ۸۱،۰۹۴۵ | ۶۹،۹۸۴۷۲ | ۹۵،۳۰۳۶۱ | ۵۵،۵۰۰۱۴ | ۳۳،۱۵۳۹۳ | ۱۰۱،۹۴۶۳ | ۲۴،۱۷۹۸۴ | ۳۶،۳۷۷۴۶ | ۸۰،۷۵۷۸۳ |
| زمستان | ۱۸،۷۸۰۴۳ | ۱۰،۹۶۹۱۲ | ۴۷،۷۹۹۷۷ | ۲۷،۹۰۲۶۳ | ۸،۰۹۴۶۶- | ۵۸،۸۳۴۷ | ۲۲،۷۸۰۱۳ | ۱۰،۱۲۳۱۲ | ۶۹،۱۱۲۶۴ |
| بهار | ۷،۶۲۰۸۱- | ۲۲،۱۲۳۶- | ۹،۲۶۹۸- | ۱۶،۷۵۴- | ۳۳،۳۹۲۴- | ۰،۹۶۷۰۴- | ۶،۳۰۶۸۸- | ۲۱،۳۶۶۴- | ۸،۴۶۵۵۹۴ |
| تابستان | ۱۳،۱۰۳۴- | ۲۵،۵۱۱۰۷ | ۶۴،۱۳۵۱- | ۱۶،۷۸۸۳- | ۸،۸۳۱۷۴ | ۶۴،۶۷۴۳- | ۱۵،۸۵۰۸- | ۳،۱۱۴۶۲- | ۶۴،۳۷۰۵- |
| پائیز | ۲۴،۴۰۱۹- | ۸۶،۴۳۶۲۹ | ۴۲،۶۱۹۸۲ | ۲۲،۶۶۰۵- | ۷۵،۹۰۷۳۵ | ۴۴،۱۸۰۴ | ۲۹،۳۸۴- | ۱۱۶،۹۸۱۳ | ۱۸،۳۱۸۹۵ |
| سالانه | ۶،۷۸۴۱۹- | ۱۴،۵۹۸۷۱ | ۶،۹۴۹۷۵- | ۹،۲۱۵۰۸- | ۴،۰۰۲۶۵۵ | ۱،۷۷۷۵۸- | ۷،۱۱۵۱- | ۱۰،۸۲۱۱۹ | ۰،۱۹۵۹۵- |

جدول ۵ و نمودار ۵ نشان می‌دهند که میانگین بارش در ایستگاه تبریز در اکثر ماه‌های دوره‌های آینده کاهش خواهند داشت. مقدار بارش در ماه‌های فوریه و دسامبر و در تمام طول دوره و در تمام سناریوهای اجرا شده

نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. نتایج نشان می دهند که میانگین بارش در ماه های می تا سپتامبر یعنی در فصول بهار تا اوسط تابستان در دوره های آینده با کاهش محسوس همراه است. بخصوص در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰-۲۰۲۹ این کاهش محسوس تر است.



شکل ۵ تغییرات بارش تبریز در دوره های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و ۲۰۴۰-۲۰۶۹، ۲۰۱۰-۲۰۳۹ در مقایسه با دوره پایه ۱۹۶۰-۱۹۹۰ میلادی

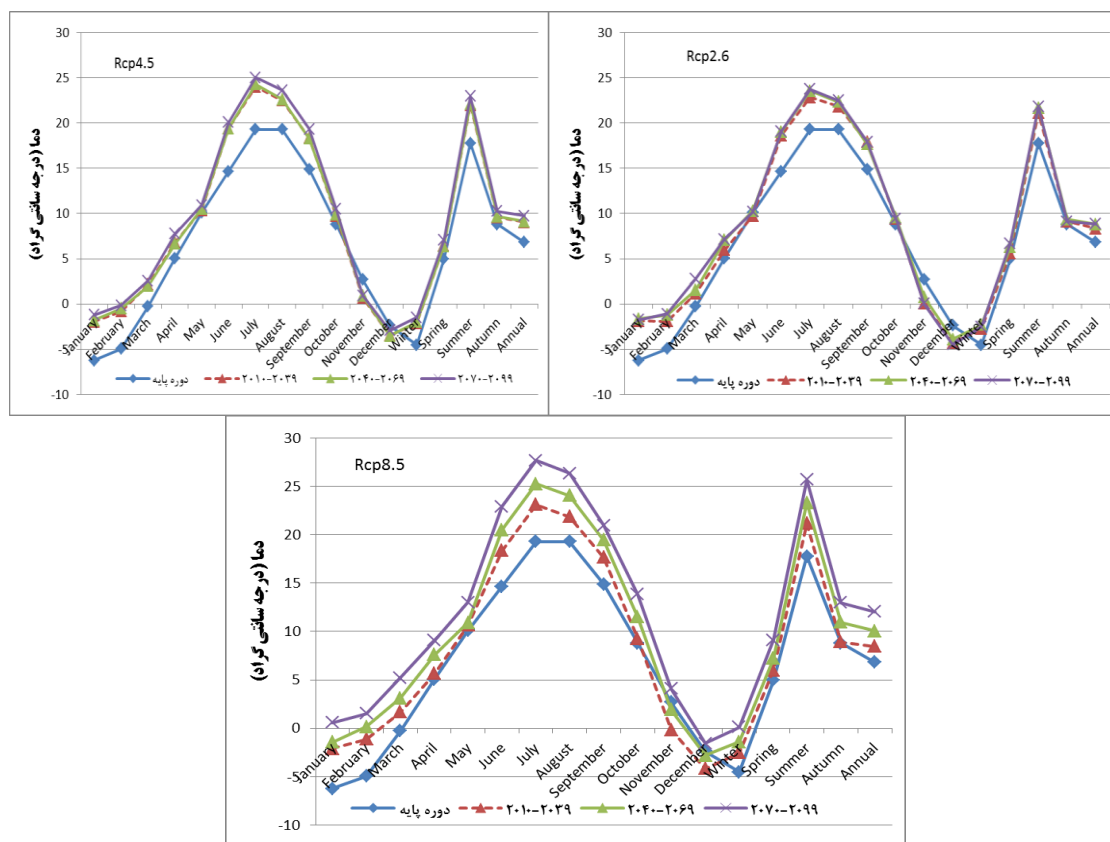
- بررسی تغییرات دمای حداقل

در جدول ۶ مقادیر تغییرات میانگین ماهانه حداقل دمای ایستگاه تبریز برای دوره پایه و سه دوره آینده نشان داده شده است. نمودار داده های مربوطه جهت مقایسه در شکل ۶ آورده شده است. مطابق نمودار ۶ و جدول ۶ تغییرات میانگین حداقل دمای ایستگاه تبریز در کلیه ماه ها به غیر از ماه نوامبر و دسامبر در دوره های آینده افزایش خواهد داشت. در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ این افزایش دما محسوس نیست ولی در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ این افزایش کاملاً معنی دار و مشخص است. با توجه به جدول مشاهده می کنیم که به طور کلی حداقل دما در سه سناریوی مورد بررسی برای سه دوره مورد مطالعه افزایش می یابد که کمترین افزایش دمای حداقل در

دوره اول تحت سناریو rcp2.6 و بیشترین افزایش دمای حداقل در دوره آخر و تحت سناریو rcp8.5 رخ خواهد داد. همچنین حداقل دما به طور کلی در تمام فصول افزایش می‌یابد که در فصل تابستان تا ۸ درجه نیز افزایش دما مشاهده می‌گردد.

جدول ۶ تغییرات دمای حداقل تبریز در دوره‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و ۲۰۶۹-۲۰۹۰، ۲۰۳۹-۲۰۱۰ در مقایسه با دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۰ میلادی

| سناریو | Rcp2.6 | | | Rcp4.5 | | | Rcp8.5 | | | دوره |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | ۲۰۱۰-۲۰۳۹ | ۲۰۳۹-۲۰۶۹ | ۲۰۶۹-۲۰۹۹ | ۲۰۱۰-۲۰۳۹ | ۲۰۳۹-۲۰۶۹ | ۲۰۶۹-۲۰۹۹ | ۲۰۱۰-۲۰۳۹ | ۲۰۳۹-۲۰۶۹ | ۲۰۶۹-۲۰۹۹ | |
| ژانویه | ۳,۳۸۱۳۰۶ | ۴,۶۱۲۱۸۸ | ۴,۴۹۶۰۲۴ | ۴,۳۰۰۸۳۵ | ۴,۴۷۰۰۳۵ | ۵,۰۲۱۳۴۳ | ۴,۱۴۳۷۷۴ | ۴,۸۰۷۴۵۷ | ۶,۸۲۱۸۲۴ | ۲۰۷۰-۲۰۹۹ |
| فوریه | ۳,۰۱۶۲۸۳ | ۳,۷۱۹۱۸۵ | ۳,۸۶۹۶۳۶ | ۴,۱۲۸۶۳۴ | ۴,۴۳۱۶۳۸ | ۴,۷۹۸۴۴۸ | ۳,۸۱۰۵۲۵ | ۵,۱۰۹۷۸۴ | ۶,۴۶۳۹۱۶ | ۲۰۷۰-۲۰۹۹ |
| مارس | ۱,۴۷۱۰۸۷ | ۱,۸۳۳۶۵۳ | ۳,۰۷۳۹۹۹ | ۲,۴۳۱۷۳۹ | ۲,۲۷۲۵۳۳ | ۲,۸۶۷۴۹۸ | ۱,۹۴۹۴۵۸ | ۳,۴۰۲۵۱۷ | ۵,۴۹۹۹۷۷ | ۲۰۷۰-۲۰۹۹ |
| آوریل | ۰,۸۳۸۱۲۲ | ۱,۹۹۲۹۲۸ | ۲,۱۰۳۴۷۹ | ۱,۷۴۸۷۷۶ | ۱,۵۷۷۴۲۹ | ۲,۶۶۹۶۱ | ۰,۵۶۹۲۲۵ | ۲,۵۱۶۹۹۷ | ۴,۰۰۵۲۴۶ | ۲۰۷۰-۲۰۹۹ |
| می | ۰,۳۸۳۶۴- | ۰,۱۷۶۱۳۳ | ۰,۰۴۷۲۹۳ | ۰,۳۶۸۸۱۶ | ۰,۴۲۴۵۴۲ | ۰,۷۹۸۶۹۶ | ۰,۵۳۱۳۵ | ۰,۸۰۷۱۷ | ۲,۹۲۰۴۸ | ۲۰۷۰-۲۰۹۹ |
| ژوئن | ۳,۹۷۰۹۵۸ | ۴,۳۶۹۸۸ | ۴,۴۵۵۶۱۴ | ۴,۷۵۱۴۰۳ | ۴,۷۶۷۸۶۳ | ۵,۴۱۹۷۰۲ | ۳,۷۱۴۳۳۱ | ۵,۸۳۵۶۸۱ | ۸,۲۴۶۴۵۲ | ۲۰۷۰-۲۰۹۹ |
| جولای | ۳,۵۱۹۷۹۹ | ۴,۳۳۹۵۲۴ | ۴,۴۱۶۷۸ | ۴,۶۸۴۰۲۸ | ۴,۹۶۲۰۰۲ | ۵,۷۱۴۳۳۸ | ۳,۸۲۱۵۲۶ | ۵,۹۶۷۹۴۴ | ۸,۳۵۳۹۳۷ | ۲۰۷۰-۲۰۹۹ |
| اگوست | ۲,۵۳۶۳۳۴ | ۳,۰۴۳۳۳۱ | ۳,۱۹۵۹۷۵ | ۳,۱۹۰۱۸۹ | ۳,۳۲۲۴۸۳ | ۴,۳۳۲۹۸ | ۲,۵۷۴۳۷۹ | ۴,۷۲۸۱۰۷ | ۷,۰۵۸۹۷۹ | ۲۰۷۰-۲۰۹۹ |
| سپتامبر | ۳,۰۱۰۲۱۱ | ۲,۷۶۸۹۶ | ۳,۰۱۷۱۷۲ | ۳,۴۴۵۱۷۲ | ۳,۳۶۶۳۳۷ | ۴,۴۳۰۸۹۶ | ۲,۷۵۰۹۸۸ | ۴,۵۴۳۸۲۵ | ۶,۰۸۱۶۳۳ | ۲۰۷۰-۲۰۹۹ |
| اکتبر | ۰,۵۷۸۰۲۷ | ۰,۷۹۰۱۵۷ | ۰,۶۳۲۲۶ | ۰,۸۹۴۰۳۴ | ۱,۰۸۴۸۱۶ | ۱,۶۷۳۵۸۳ | ۰,۴۷۸۸۴۳ | ۲,۶۸۳۳۳۶ | ۵,۰۲۸۲۵۹ | ۲۰۷۰-۲۰۹۹ |
| نوامبر | ۲,۶۱۵۱۲- | ۱,۹۱۱۰۴- | ۲,۶۵۳۳۵- | ۱,۹۸۰۲۸- | ۱,۷۹۲۷۱- | ۱,۷۳۷۸۵- | ۲,۸۴۷۹۵- | ۰,۷۷۹۰۶- | ۱,۳۸۱۶۶۸ | ۲۰۷۰-۲۰۹۹ |
| دسامبر | ۱,۹۱۵۷۸- | ۱,۵۲۴۸۶- | ۲,۱۱۹۴۶- | ۱,۱۱۷۸۸- | ۱,۱۲۶۰۶- | ۰,۵۵۰۵۶- | ۱,۸۱۴۵۳- | ۰,۴۵۷۸۵- | ۰,۷۹۱۳۳۹ | ۲۰۷۰-۲۰۹۹ |
| زمستان | ۱,۷۸۱۶۳۵ | ۲,۲۲۰۴۹۴ | ۲,۰۲۲۴۸۱ | ۲,۳۸۰۸۱۷ | ۲,۵۳۰۵۴۶ | ۳,۰۳۲۷۸۶ | ۱,۹۸۱۷۹۳ | ۳,۰۸۱۹۰۸ | ۴,۶۳۳۰۸ | ۲۰۷۰-۲۰۹۹ |
| بهار | ۰,۶۵۴۶۲۷ | ۱,۳۲۶۷۴۱ | ۱,۷۳۷۶۵۶ | ۱,۴۸۰۲۴۶ | ۱,۴۲۳۱۷۶ | ۲,۱۰۵۸۷۳ | ۱,۰۲۱۵۴۱ | ۲,۲۳۹۲۴۱ | ۴,۱۴۳۳۸۶ | ۲۰۷۰-۲۰۹۹ |
| تابستان | ۳,۳۳۵۴۹۸ | ۳,۸۷۹۰۶۸ | ۴,۰۱۸۰۸۵ | ۴,۲۰۲۶۳۹ | ۴,۳۴۶۲۴۹ | ۵,۱۵۲۸۰۴ | ۳,۳۶۶۳۳۷ | ۵,۵۰۷۰۴۳ | ۷,۸۱۲۵۴۳ | ۲۰۷۰-۲۰۹۹ |
| پائیز | ۰,۳۲۷۱۶۱ | ۰,۵۵۲۰۰۴ | ۰,۳۳۵۶۵۷ | ۰,۷۸۷۴۹۳ | ۰,۸۸۳۳۳۱ | ۱,۴۵۷۹۳۹ | ۰,۱۳۰۸۱۷ | ۲,۱۵۴۸۹۳ | ۴,۱۷۵۶۶ | ۲۰۷۰-۲۰۹۹ |
| سالانه | ۱,۵۲۸۰۸۳ | ۱,۹۹۷۲۹۱ | ۲,۰۳۳۱۴۱ | ۲,۲۱۵۷۸۳ | ۲,۲۹۹۶۵۶ | ۲,۹۴۰۸۸۱ | ۱,۶۲۸۷۴۱ | ۳,۲۵۱۱۳۷ | ۵,۲۱۴۷۰۸ | ۲۰۷۰-۲۰۹۹ |



شکل ۶ تغییرات دمای حداقل تبریز در دوره‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و ۲۰۴۰-۲۰۶۹، ۲۰۱۰-۲۰۳۹ در مقایسه با دوره پایه ۱۹۶۰-۱۹۹۰ میلادی

- بررسی تغییرات حداکثر دما

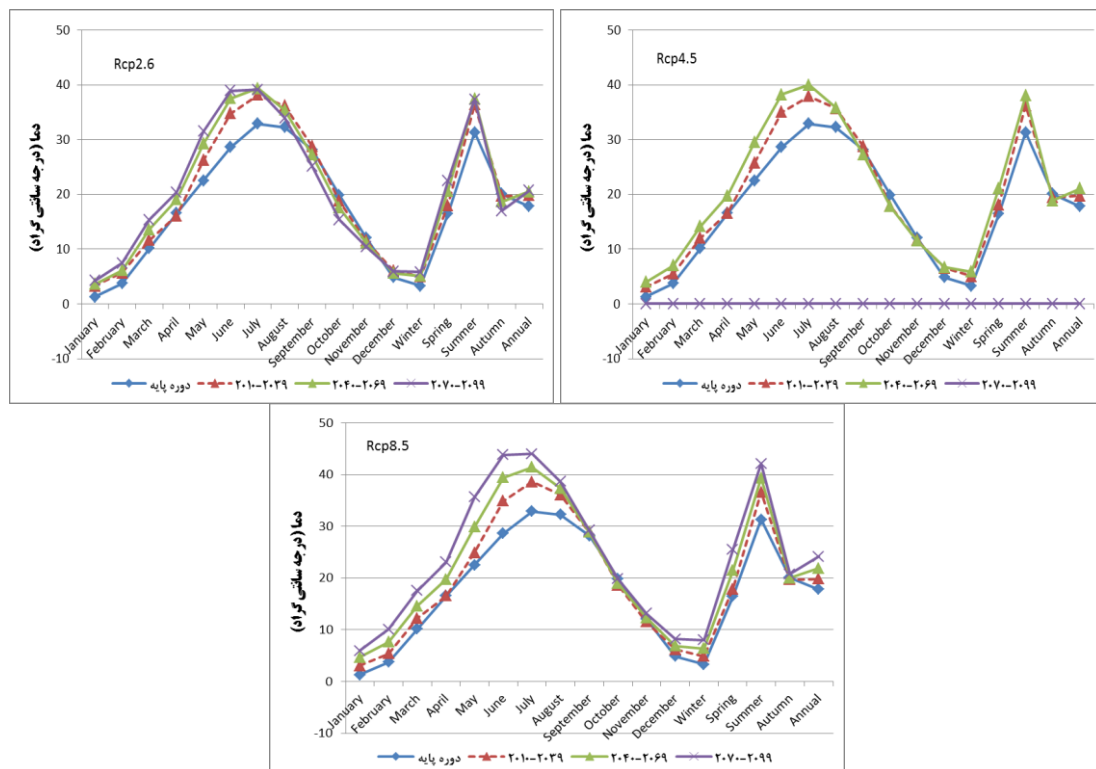
تغییرات میانگین حداکثر ماهانه ایستگاه تبریز نیز در دوره‌های پایه و آینده بر اساس سناریوهای مورد بررسی در جداول ۷ آورده شده است. جهت مقایسه بهتر نمودارهای ماهانه نیز آورده شده است. طبق جدول ۷ و نمودار ۷ میانگین دمای حداکثر دمای تبریز مثل حداقل دما در دوره‌های آینده افزایش محسوس خواهد داشت. در جدول ۷ مقادیر تغییرات میانگین ماهانه حداکثر دمای ایستگاه تبریز برای دوره پایه و سه دوره آینده نشان داده شده است. نمودار داده‌های مربوطه جهت مقایسه در شکل ۷ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهند که تغییرات میانگین حداکثر دمای ایستگاه تبریز در کلیه ماه‌ها به‌غیر از ماه اکتبر و نوامبر در دوره‌های آینده افزایش داشته است. با توجه به جدول مشاهده می‌کنیم که به‌طور کلی حداکثر دما در سه سناریوی مورد بررسی برای سه دوره مورد مطالعه افزایش می‌یابد که کمترین افزایش دمای حداکثر در دوره اول تحت سناریو rcp4.5 و بیشترین افزایش دمای حداکثر در دوره آخر و تحت سناریو rcp8.5 رخ خواهد داد. همچنین حداکثر دما

به‌طورکلی در تمام فصول به‌غیراز فصل پائیز افزایش می‌یابد که در فصل تابستان تا ۱۱ درجه نیز افزایش دما مشاهده می‌گردد.

جدول ۷ تغییرات دمای حداکثر تبریز در دوره‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و ۲۰۶۹-۲۰۹۰، ۲۰۳۹-۲۰۱۰-۲۰۱۰ در مقایسه با دوره

پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۰ میلادی

| Rcp8.5 | | | Rcp4.5 | | | Rcp2.6 | | | دوره |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| ۲۰۷۰-۲۰۹۹ | ۲۰۳۹-۲۰۱۰ | ۲۰۱۰-۲۰۱۰ | ۲۰۷۰-۲۰۹۹ | ۲۰۶۹-۲۰۱۰ | ۲۰۱۰-۲۰۱۰ | ۲۰۷۰-۲۰۹۹ | ۲۰۳۹-۲۰۱۰ | ۲۰۱۰-۲۰۱۰ | سناریو |
| ۴,۶۹۱۵۶۷ | ۳,۴۱۸۳۶۹ | ۱,۷۶۵۷۳۵ | ۳,۶۷۲۸۹۵ | ۲,۷۲۷۳۰۹ | ۱,۸۵۱۰۱۱ | ۲,۹۷۶۳۲۸ | ۲,۳۵۹۷ | ۲,۰۵۷۹۳۸ | ژانویه |
| ۶,۳۵۸۴۰۱ | ۳,۸۸۵۵۷۸ | ۱,۶۵۲۳۶ | ۴,۵۷۰۰۴۲ | ۳,۲۸۱۳۶۶ | ۱,۸۰۳۹۱۱ | ۳,۷۵۱۸۳ | ۲,۴۳۰۸۴۱ | ۱,۹۴۸۵۰۴ | فوریه |
| ۷,۴۵۳۱۶۳ | ۴,۴۴۴۱۵۷ | ۲,۰۶۸۵۲۳ | ۴,۸۱۴۳۹۲ | ۴,۰۱۳۵۷۵ | ۱,۶۶۲۲۹۸ | ۵,۲۴۳۴۱ | ۳,۴۴۱۶۴۹ | ۱,۵۱۱۷۳۳ | مارس |
| ۶,۵۳۴۵۳۲ | ۳,۲۴۰۳۱۴ | ۰,۰۰۲۷۴- | ۵,۳۳۱۲۹۶ | ۳,۲۰۶۰۰۶ | ۰,۱۰۳۸۱۳ | ۳,۸۴۵۴۹۵ | ۲,۵۲۳۳۰۱ | ۰,۴۴۸۴۶- | آوریل |
| ۱۳,۰۸۱۶۹ | ۷,۳۲۶۸۹۳ | ۲,۳۴۴۶۷۹ | ۹,۷۸۲۱۴۳ | ۶,۹۴۷۰۸۱ | ۳,۱۵۹۰۱۲ | ۸,۹۴۶۴۰۷ | ۶,۶۷۸۰۳۵ | ۳,۶۶۷۹۷۷ | می |
| ۱۵,۱۸۷۳۶ | ۱۰,۷۸۹۶۹ | ۶,۲۷۲۶۱۵ | ۱۱,۸۱۰۳۶ | ۹,۵۸۲۶۵۲ | ۶,۳۹۵۳۳۹ | ۱۰,۲۸۴۲۹ | ۸,۹۱۵۶۱۲ | ۶,۱۵۲۰۱۴ | ژوئن |
| ۱۱,۰۷۵۵۲ | ۸,۵۰۴۳۳۷ | ۵,۷۲۷۰۰۵ | ۷,۹۶۹۴۰۱ | ۷,۱۱۴۲۰۹ | ۵,۰۲۳۳۸۲ | ۶,۳۴۷۵۷ | ۶,۴۶۳۹۹۹ | ۵,۲۴۱۹۶۸ | جولای |
| ۶,۴۲۲۵۷ | ۵,۰۷۰۲۶۱ | ۳,۸۶۰۶۸۹ | ۳,۴۷۴۱۷۴ | ۳,۵۸۴۷۶ | ۳,۴۵۱۰۰۵ | ۱,۷۰۳۲۹۶ | ۳,۱۵۳۸۲ | ۳,۹۱۸۰۳ | اگوست |
| ۱,۱۰۴۷۸۳ | ۰,۶۸۲۰۶۲ | ۰,۷۳۶۹۹ | ۱,۷۹۱۷۲- | ۰,۸۱۷۳۸- | ۰,۶۱۸۱۳۶ | ۲,۹۹۳۰۵- | ۰,۹۵۳۵۷- | ۰,۶۶۱۴۴۵ | سپتامبر |
| ۰,۰۲۰۴- | ۰,۹۲۸۹۵- | ۱,۲۶۳۳۷- | ۳,۳۴۴۹۸- | ۲,۰۲۹۰۴- | ۱,۹۷۹۵۳- | ۴,۴۷۱۸۱- | ۲,۲۹۵۰۱- | ۱,۰۷۵۷۹- | اکتبر |
| ۱,۰۵۴۰۹۵ | ۰,۲۱۸۷۲۲ | ۰,۵۵۷۳- | ۰,۶۲۲۹۷- | ۰,۵۶۹۰۸- | ۰,۴۴۸۹۹- | ۱,۶۴۳۳۲- | ۰,۸۱۷۸۷- | ۰,۶۱۴۰۱- | نوامبر |
| ۳,۳۱۴۲۸۲ | ۲,۰۲۷۱۱۴ | ۱,۳۱۹۱۰۸ | ۱,۹۳۳۷۴۸ | ۱,۷۸۷۶۲۷ | ۱,۶۵۹۶۹۱ | ۱,۰۲۹۴۴۸ | ۰,۷۶۱۲۸ | ۱,۱۷۴۷۴۹ | دسامبر |
| ۴,۷۳۹۹۳۶ | ۳,۰۸۷۹۸۴ | ۱,۵۷۶۸۲ | ۳,۳۵۶۱۱۵ | ۲,۵۸۰۱۴۵ | ۱,۷۷۰۵۴۵ | ۲,۵۵۰۱۱۹ | ۱,۸۳۳۲۰۲ | ۱,۷۲۰۲۷۴ | زمستان |
| ۹,۰۵۰۱۷۷ | ۵,۰۲۲۹۵۶ | ۱,۴۸۱۶۱۶۴ | ۶,۶۲۴۲۵۵ | ۴,۷۳۸۷۰۱ | ۱,۷۲۷۱۶۳ | ۶,۰۳۵۳۱۷ | ۴,۲۳۳۲۸۳ | ۱,۵۹۹۰۹۹ | بهار |
| ۱۰,۸۴۸۵ | ۸,۰۹۲۴۲۸ | ۵,۲۷۶۰۵۴ | ۷,۷۳۰۰۱۶ | ۶,۷۲۹۸۶۵ | ۴,۹۴۰۹۰۴ | ۶,۰۲۸۳۵۱ | ۶,۱۴۹۲۷۴ | ۵,۰۹۲۶۱۲ | تابستان |
| ۰,۷۰۴۷۶۷ | ۰,۰۱۹۵- | ۰,۳۷۴۵۴- | ۱,۹۳۵۵۵- | ۱,۱۷۱۳۶- | ۰,۶۱۸۵۸- | ۳,۰۵۱۸۱- | ۱,۳۸۵۸۶- | ۰,۳۵۰۸۴- | پائیز |
| ۶,۳۵۸۹۸۱ | ۴,۰۶۰۳۱۷ | ۱,۹۹۹۶۰۶ | ۳,۹۶۲۶۴۸ | ۳,۲۳۳۰۶۴ | ۱,۹۶۲۹۴۶ | ۲,۹۰۸۴۱۱ | ۲,۷۲۱۲۷۶ | ۲,۰۲۳۱۹۲ | سالانه |



شکل ۷ تغییرات دمای حداکثر تبریز در دوره‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ در مقایسه با دوره پایه ۱۹۶۰-۱۹۹۰ میلادی

۵ نتیجه گیری

روش‌های مختلفی جهت ریزمقیاس کردن خروجی شبیه‌های گردش عمومی جو وجود دارد، که هر کدام از منطق خاصی پیروی می‌کند. از این رو، می‌توان انتظار داشت که استفاده از روش‌های مختلف نتایج متفاوتی را به دنبال داشته باشد که یکی از مهم‌ترین دلایل آن عدم قطعیت‌ها می‌باشد که بر نتایج نهایی تأثیر می‌گذارند. این منابع عدم قطعیت عبارتند از: عدم قطعیت مربوط به نمایشنامه‌های تغییر اقلیم، عدم قطعیت مربوط به شبیه‌های GCM، عدم قطعیت روش‌های ریزمقیاس نمودن، و عدم قطعیت شبیه‌های شبیه‌سازی.

در تحقیق حاضر اقدام به شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی دما و بارش با استفاده از مدل چندگانه خطی SDSM و مدل‌های گردش عمومی جو در شهر تبریز شد. در این تحقیق از خروجی مدل canESM2 تحت سناریوهای RCP8.5, RCP4.5, RCP2.6 برای دوره‌های آبی در قرن ۲۱ شبیه‌سازی و مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج نشان دادند که داده‌های دما همبستگی بهتری با داده‌های مشاهداتی (در قیاس با داده‌های بارندگی) داشته‌اند، این بدان علت است که تغییرپذیری دما نسبت به بارندگی کمتر است و دما یک پارامتر با توزیع

احتمالی نرمال می‌باشد. از جمله عوامل کاهش همبستگی در بارندگی این است که عوامل مختلفی بر روی بارندگی مؤثر می‌باشد و از طرف دیگر بارندگی یک متغیر گسسته است. این نتایج با نتایج سجاد خان و همکاران (۲۰۰۶)، ساروار و همکاران (۲۰۱۰) و نوری و آلام (۲۰۱۴) همخوانی دارد؛ بنابراین حل مشکل همبستگی در توسعه مدل‌های تغییر اقلیم در آینده می‌بایست مد نظر قرار گیرد. همچنین نتایج این تحقیق با نتایج اکثر محققانی همچون کارآموز و همکاران (۲۰۰۹)، سجاد خان و همکاران (۲۰۰۶)، ساروار و همکاران (۲۰۱۰) مینو و همکاران (۲۰۱۲)، چیمما و همکاران (۲۰۱۳) و دهقانی پور و همکاران (۱۳۹۰) در اینکه که مدل SDSM توانایی مناسبی در کوچک مقیاس نمودن داده‌های دما و بارش دارد، همسو می‌باشد. تغییر اقلیم می‌تواند باعث تغییرات زمانی و مکانی متغیرهای اقلیمی شود. خصوصیات این متغیرها می‌تواند اثرات زیان باری بر روی اجزای اکوسیستم داشته باشد. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص گردید که در طول قرن ۲۱ دما رو به افزایش و بارش رو به کاهش است. در ایستگاه تبریز به‌طور کلی بارش در سه سناریوی مورد بررسی برای دو دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ کاهش و برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ افزایش می‌یابد. همچنین بارش به‌طور کلی در فصل زمستان افزایش و بقیه فصول با کاهش بارش مواجه خواهد بود. این نتایج با نتایج گل محمدی و مساح بوانی (۱۳۹۰) که دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ را دوره با افزایش بارش در حوضه قره سو معرفی نموده هم خوانی داشته ولی با نتایج رجیبی و شعبانلو (۲۰۱۲) که با استفاده از مدل SDSM در منطقه کرمانشاه در غرب ایران دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ خشک‌تر دانسته‌اند، اختلاف داشته، بطوری که بر اساس نتایج تحقیق حاضر در ایستگاه تبریز دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ خشک‌تر از دوره‌های دیگر خواهد بود و این تغییرات بارش در سناریوی RCP4.5 بیشتر از سناریوهای دیگر می‌باشد. تغییرات میانگین حداقل دمای ایستگاه تبریز در کلیه ماه‌ها به‌غیر از ماه نوامبر و دسامبر در دوره‌های آینده افزایش داشته است. حداقل دما در سه سناریوی مورد بررسی برای سه دوره مورد بررسی افزایش می‌یابد. همچنین حداقل دما به‌طور کلی در تمام فصول افزایش می‌یابد که در فصل تابستان تا ۸ درجه نیز افزایش دما مشاهده می‌گردد. میانگین حداکثر دما در سه سناریوی مورد بررسی برای سه دوره مورد مطالعه افزایش می‌یابد که نتایج با نتایج محققانی همچون محمدی و همکاران (۱۳۸۹) که بر روی ایران پژوهش انجام دادند و به افزایش دما در طول سه دوره اقلیمی مورد بررسی براساس سناریوهای مختلف اذعان نمودند، مطابقت دارد. حداکثر دما به‌طور کلی در تمام فصول به‌غیر از فصل پائیز افزایش می‌یابد که در فصل تابستان تا ۱۱ درجه نیز افزایش دما مشاهده می‌گردد. همچنین هر چه به اواخر قرن ۲۱ نزدیک می‌شویم این شرایط تشدید می‌شود که این امر نشان می‌دهد که وضعیت تغییر اقلیم در منطقه مورد نظر جدی است هر چند برای اطمینان بیشتر از بروز تغییر اقلیم در منطقه مطالعه، نیاز به مطالعات بیشتر می‌باشد.

روند نزولی میانگین بارش همراه با افزایش دما باعث افزایش تبخیر و ایجاد تغییراتی مهم در کیفیت و کمیت منابع آب و به تبع آن تغییرات در کم و کیف محصولات کشاورزی خواهد کرد، این مهم لزوم تغییرات برنامه ریزی را در بهره برداری از منابع آب و کشاورزی مشخص می کند. برنامه های آینده باید به گونه ای باشند که تغییرات پیش رو اثرات زیانبار کمتری را متوجه بخش آب و کشاورزی در این منطقه از کشورمان کند. لازم است هم اکنون تدابیری در جهت اصلاح نظام آبیاری، روش های کاهش تبخیر، و استفاده مجدد از فاضلاب و اصلاح الگوی کشت اتخاذ گردد.

کتابنامه

- خزانه داری، لیلی؛ کوهی، منصوره؛ قندهاری، شهزاد؛ آسیایی، مهدی؛ ۱۳۸۷. تغییر اقلیم، علل، اثرات و راه حل ها. مشهد: انتشارات پاپلی. ترجمه. ۳۶۴ صفحه.
- دهقانی پور، امیر حسین؛ حسن زاده، محمد جواد؛ عطاری، جلال؛ عراقی نژاد، شهاب؛ ۱۳۹۰. ارزیابی توانمندی مدل SDSM در ریز مقیاس نمایی بارش، دما و تبخیر (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک تبریز). یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، ۲۰-۱۸ بهمن ماه ۱۳۹۰. کرمان.
- گل محمدی، مریم؛ مساح بوانی، علیرضا؛ ۱۳۹۰. بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه قره سو در دوره های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۵. شماره ۲. خرداد - تیر ۱۳۹۰. ۳۱۵-۳۲۶.
- محمدی، سولماز؛ مهدی نژاد، حسین؛ امیراصلانی، شاهرخ؛ ۱۳۸۹. بررسی اثرات تغییرات اقلیم بر روی پارامترهای هواشناسی و آبشناختی حوضه آبریز. اولین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی منابع آب ایران. ۲۳-۲۱ اردیبهشت ماه ۱۳۸۹. کرمانشاه.
- Chaumont, D. (2014). A guidebook on climate scenarios: *Using climate information to guide adaptation research and decisions*.
- Cheema, S. B., Rasul, G., Ali, G., & Kazmi, D. H. (2011). A comparison of minimum temperature trends with model projections. *Pakistan Journal of Meteorology*, 8(15), 39-52.
- Fowler, H. J., Blenkinsop, S., & Tebaldi, C. (2007). Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. *International journal of climatology*, 27(12), 1547-1578.
- Karamouz, M., Fallahi, M., Nazif, S., & Rahimi Farahani, M. (2009). Long lead rainfall prediction using statistical downscaling and artificial neural network modeling. *Scintia Iranica*, 16(1), 165-72.
- Kazmi, D. H., Rasul, G., Li, J., & Cheema, S. B. (2014). Comparative study for ECHAM5 and SDSM in downscaling temperature for a geo-climatically diversified region, Pakistan. *Applied Mathematics*, 5(1), 137.

- Giorgi F., B. Hewitson, J. Christensen, M. Hulme, H. Von Storch, P. Whetton, R. Jones, L. Mearns and C. Fu, (2001). *Regional climate information – Evaluation and projections*. In: *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson, Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 583-638.
- Meenu, R., Rehana, S., & Mujumdar, P. P. (2013). Assessment of hydrologic impacts of climate change in Tunga–Bhadra river basin, India with HEC-HMS and SDSM. *Hydrological Processes*, 27(11), 1572-1589.
- Nury, A. H., & Alam, M. J. B. (2013). Performance Study of Global Circulation Model HADCM3 Using SDSM for Temperature and Rainfall in North-Eastern Bangladesh. *Journal of Scientific Research*, 6(1), 87-96.
- Rajabi, A., & Shabanlou, S. (2012). *Climate index changes in future by using SDSM in Kermanshah, Iran*. *J. Environ. Res. Dev*, 7(1).
- Ramanathan, V. (1988). *The greenhouse theory of climate change: A test by an inadvertent global experiment*. *Science*, 240(4850), 293-299.
- Rasco, P., Szeidl, L., & Semenov, M. A. (1991). A serial approach to local stochastic models. *Journal of Ecological Modeling*, 57, 27-41.
- Khan, M. S., Coulibaly, P., & Dibike, Y. (2006). Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *Journal of Hydrology*, 319(1), 357-382.
- King, L., Solaiman, T., & Simonovic, S. P. (2009). *Assessment of climatic vulnerability in the Upper Thames River Basin*. Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Western Ontario.
- King, L., Solaiman, T., & Simonovic, S. P. (2009). *Assessment of climatic vulnerability in the Upper Thames River Basin*. Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Western Ontario.
- Wilby, R. L., & 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).
- Liu, Z., Xu, Z., Charles, S. P., Fu, G., & Liu, L. (2011). Evaluation of two statistical downscaling models for daily precipitation over an arid basin in China. *International Journal of Climatology*, 31(13), 2006-2020.