

## پیش‌نگری تغییرات بارش و دمای ایستگاه سینوپتیک تبریز

طی دوره ۲۱۰۰-۲۰۲۰

سعید شهبازی کیا<sup>۱</sup>، شجاع قربانی دشتکی<sup>۲\*</sup>، جمشید یاراحمدی<sup>۳</sup>، یاسر استواری<sup>۴</sup>، سلمان میرزایی<sup>۵</sup>

۱- دانشجوی دکترای مدیریت منابع خاک، فیزیک و حفاظت خاک گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۳- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی،

تبریز، ایران

۴- پژوهشگر پسادکتری، دانشگاه فنی مونیخ، مونیخ، آلمان

۵- پژوهشگر پسادکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

### چکیده

موضوع گرمایش زمین، تغییر اقلیم و خشکسالی از چالش‌های مهم حال حاضر جهان به شمار می‌آیند که می‌توانند باعث وقوع نوسانات گسترده در شرایط آب و هوایی کره زمین شوند. مناطقی با اقلیم مدیترانه‌ای و نیمه خشک وابستگی زیادی به میزان دما و بارش داشته و در نتیجه در برابر تغییر اقلیم دچار ناهنجاری می‌گردند. ایران از جمله کشورهای واقع در مناطق نیمه خشک و خشک جهان است که نسبت به تغییر اقلیم حساسیت بیشتری را نشان می‌دهد. گرمایش جهانی ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و تغییر کاربری اراضی موجب تغییرات آشکاری در فراسنج‌های اقلیمی ایران از جمله افزایش دما، کاهش بارش و افزایش فراوانی رخداد پدیده‌های مخرب جوی-اقلیمی در کشور شده است. این تحقیق با هدف آشکارسازی تغییرات آبی دما و بارش حوضه آبخیز ليقوان اجرا شده است. برای این منظور، از مدل مقیاس‌کاهی آماری SDSM برای کاهش مقیاس متغیرهای بارش و دمای مدل گردش کلی CanESM2 تحت سناریوهای تغییر اقلیم RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 بر روی داده‌های بلندمدت ایستگاه سینوپتیک تبریز (۱۹۵۱-۲۰۲۰) استفاده شده است. نتایج نشان داد که در چهار دوره ۲۰ ساله (۲۰۲۰-۲۱۰۰) و بر اساس سه سناریوی موجود، دما افزایشی و بارش کاهشی خواهد بود. این افزایش دما برای حداقل دما گاه تا ۱۴.۳۵ درجه سانتیگراد (ماه ژانویه با سناریوی RCP8.5) و دوره زمانی (۲۰۸۱-۲۱۰۰) خواهد بود. بررسی وضعیت بارش در چهار دوره و سه سناریو نشان می‌دهد میزان بارش در ماههای اکتبر، نوامبر، دسامبر و آوریل افزایشی و در بقیه ماهها کاهشی خواهد بود. با بررسی آماری به روش من‌کنندال روند افزایش و کاهش تغییرات دمای حداقل، حداکثر و بارش مشخص شد که در سطح معنی داری ۵ درصد تنها عامل دمای حداکثر دارای تغییرات افزایشی معنی دار بوده و بقیه عوامل اقلیمی (بارش و دمای حداقل) دارای روند خاصی نمی‌باشند.

کلید واژه‌ها: مقیاس‌کاهی، SDSM، CanESM2، تغییر اقلیم، تبریز.

## مقدمه

تغییر اقلیم یکی از موضوعات مورد بحث دو دهه اخیر است. 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. بایستی اذعان داشت که اثرات تغییر اقلیم بر کل سیاره زمین یکسان نبوده و 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).

برای ارزیابی تغییر اقلیم در یک مقیاس جهانی از مدل‌های GCM بطور وسیع استفاده می‌شود. اما خروجی این مدل‌ها برای ارزیابی تغییرات اقلیم در سطح محلی و منطقه‌ای کافی و دقیق نیست. معمولاً مطالعات ارزیابی تغییر اقلیم با دقت مکانی بالا روی مناطق کوچک انجام می‌گردد. در این حالت بهتر است که توسط مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای (RCMs)، تا حد چندین ده کیلومتر یا کمتر ریزمقیاس گردند (میرانز، ۲۰۰۱).

مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری به عنوان جانشینی برای مدل‌های منطقه‌ای دینامیکی، 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 (ویلی، ۲۰۰۴).

روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری زیادی توسط محققین هواشناسی و اقلیم‌شناسی ارائه شده است. دو روش استاندارد شده که کاربرد زیادی در ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های تغییر اقلیم دارد و براحتی توسط کاربران قابل استفاده است عبارتند از مدل LARS-WG که یک مدل تصادفی مولد سری‌های زمانی آب و هوایی و مدل SDSM که ترکیبی از مولد تصادفی آب و هوا و روش‌های رگرسیونی است.

ویلی و همکاران (۲۰۰۲) از اولین کسانی بودند که روش SDSM را بصورت نرم‌افزاری برای ارزیابی تغییر اقلیم منطقه‌ای بکار بردند. آنان در تحقیق خود مزایای این روش ریزمقیاس‌نمایی و روش انجام کار با این مدل را شرح دادند. در آخر این روش را برای داده‌های بارش و دمای روزانه شهر تورنتو کانادا بکار بردند.

ساروار و همکاران (۲۰۱۰) اثرات تغییر اقلیم را بر حوضه آبریز رود تایمز با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی 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.

رجبی و شعبانلو (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. در این مطالعه با استفاده از مدل گردش عمومی جو HadCM3 و با در نظر گرفتن سناریوهای انتشار A2 و B2 در دوره‌های زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۱، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۷ تغییرات شاخص‌های اقلیمی منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اقلیم منطقه بخصوص در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ خشک‌تر خواهد شد و این تغییر برای سناریوی A2 محسوس‌تر است.

گل محمدی و مساح‌بوانی (۱۳۹۰) در مقاله خود به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت خشکسالی حوضه قره‌سو در دوره‌های آتی با استفاده از شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI) پرداختند. در این ارزیابی از روش SDSM برای ریزمقیاس‌نمایی 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

۱۹۹۵-۲۰۱۴ استفاده و نتایج را برای دوره ۲۰۴۸-۲۰۱۹ برای استان فارس تعمیم دادند. نتایج مدل پایش خشکسالی نشان داد که دوره های خشکی در سه دهه آینده نسبت به داده های تاریخی افزایش می یابد. مطالعات نشان داد که بیشترین خشکسالی در ایستگاه های هواشناسی آباد و لار در طول دوره پیش بینی در دو سناریوی آینده نشان دهنده مسیر غلظت (۴.۵RCP و ۸.۵RCP) است. با توجه به نتایج دوره های اعتبارسنجی و معیارهای کارایی، پیشنهاد می کنند که SDSM ابزار مناسبی برای پیش بینی خشکسالی در مناطق خشک و نیمه خشک می باشد.

شاگری و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از مدل SDSM و هشت پارامتری جوی میزان تغییرات را برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ برای شهر تهران مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان می دهد که روند افزایشی تغییرات سالانه در میانگین دما (Tmean) و حداکثر دما (Tmax)، میانگین سرعت باد (Wmean) در همه سناریوها خواهند بود. برای بارش، ثبات نسبی در تابستان و افزایش در زمستان و اوایل بهار پیش بینی می شود.

بررسی پژوهش های فوق نشان می دهد که مدل SDSM دارای دقت قابل قبولی در ریزمقیاس نمایی داده های اقلیمی می باشد گرچه بیشتر مطالعات صورت گرفته بر اساس سناریوهای گزارش چهارم ارزیابی هیات بین الدولتی تغییر اقلیم (AR4) می باشد. پژوهش حاضر در نظر دارد که از خروجی CanESM2 که یکی از مدل های تغییر اقلیم جفت شده CMIP5 و سناریوهای گزارش پنجم ارزیابی هیات بین الدولتی تغییر اقلیم (AR5) استفاده نماید. در نهایت متغیرهای اقلیمی دما (حداقل و حداکثر) و بارش را در طول قرن ۲۱ شبیه سازی و مورد بررسی قرار می دهد.

لزوم توجه به مباحث تغییر اقلیم در استان آذربایجان شرقی به دلیل اثرگذاری در وضعیت عوامل اقلیمی همچون بارش و دما و مشرف بودن حوضه آبخیز لیقوان به کلان شهر تبریز با بیش از ۱/۶۴ میلیون نفر جمعیت سبب گردید نسبت به بررسی تغییرات اقلیم در دهه های آینده اقدام گردد. از طرف دیگر بررسی میزان فرسایش و رسوب و خسارت سیل حوضه آبخیز لیقوان و اثر پذیری آنها از تغییرات دما و بارش بدون در نظر گرفتن سناریوهای تغییر اقلیم برای آینده و طراحی سازه های مناسب آبخیزداری برای کاهش میزان

خشکسالی نسبت به دوره پایه خواهد بود. این کاهش شدت، برای مقیاسهای زمانی ۶ و ۱۲ ماهه با افزایش دوره بازگشت افزایش می یابد. این در حالی است که برای خشکسالی های ۲۴ ماهه با افزایش دوره بازگشت، شدت خشکسالی حوضه بیش از دوره پایه خواهد شد.

نوری و آلام (۲۰۱۴) مدل SDSM را روی داده های مشاهداتی دما و بارش روزانه از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۶ با استفاده از مدل جهانی HadCM3 بکار برد و نتایج نشان می دهد که داده های دما و بارش ریزمقیاس شده با داده های مشاهده شده تقریباً مطابقت داشته اند.

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 داده های مشاهداتی مقایسه کردند. نتایج پیش بینی 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.

سلاجقه و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از مدل SDSM بر پایه سناریو A2 به این نتیجه رسید که میزان بارش میانگین سالانه نسبت به دوره پایه کاهش و دمای کمینه و بیشینه نسبت به دوره پایه کاهش می یابد و این افزایش دما و کاهش بارش از عوامل اصلی بیابان زایی می باشد.

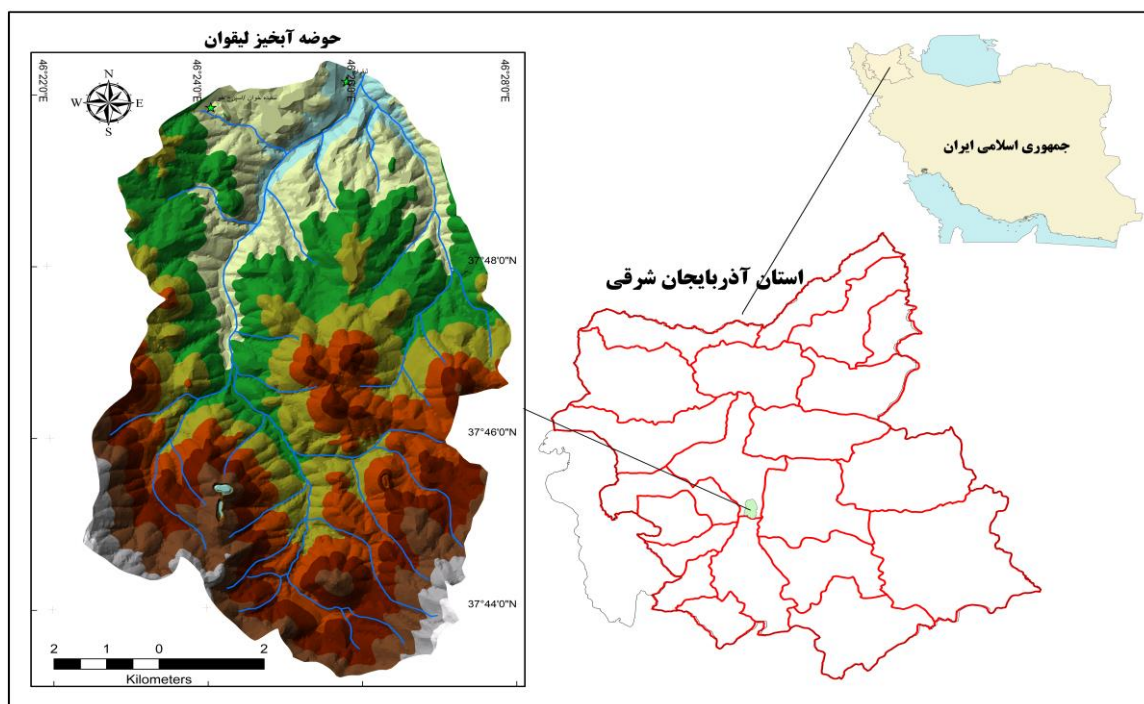
محمدیان و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از LARS-WG و مدل HadCM3 تحت سناریوی A2, B1 و A1B به این نتیجه رسیدند که دمای کمینه و بیشینه ماهانه پیش بینی شده نسبت به دوره پایه دارای تغییرات افزایشی بوده و کاهش میزان بارش پیش بینی شده تحت سناریوی B1 و A1B و افزایش بسیار ناچیز تحت سناریو A2 می باشد و به طور کلی بیان نمودند میزان کمینه و بیشینه دما نسبت به دوره پایه افزایشی و میزان بارش نسبت به دوره پایه کاهش خواهد بود.

شیده و همکاران (۲۰۲۰) شاخص خشکسالی را با استفاده از داده های ریزمقیاس شده از مدل SDSM برای دوره پایه

۷۵۷۶ هکتار معادل ۷۵/۷۶ کیلومترمربع و محیط حوضه نیز ۳۹/۷۴۰ کیلومتر می‌باشد. نقشه ۱ موقعیت محدوده مطالعاتی لیقوان در کشور، استان و شهرستان را نشان می‌دهد. بیشترین ارتفاع حوضه ۳۵۶۲ متر در شمالغربی محدوده پژوهشی و کمترین مقدار آن ۲۲۰۴ متر در نقطه خروجی می‌باشد.

فرسایش و تولید رسوب به نتیجه مطلوب نخواهد رسید و در نتیجه سرمایه‌گذاری‌های انجام یافته کم اثر خواهد بود. منطقه مورد مطالعه:

محدوده منطقه مورد مطالعه بین طول‌های "۲۲.۳۰' ۲۲° ۴۶ تا " ۴۵.۰۲' ۲۷° ۴۶ و عرض " ۳۷° ۳۴' ۶.۴۹ تا " ۱۲.۵۷' ۴۳° ۳۷ واقع شده است. وسعت حوضه آبخیزلیقوان برابر



شکل ۱- موقعیت حوضه پژوهشی لیقوان

کلیدی با نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 می‌باشند (charron, 2014).

#### ریز مقیاس کردن داده‌های اقلیمی

در این مطالعه از روش آماری جهت ریز مقیاس کردن خروجی مدل‌های GCM استفاده شده است. نرم افزار SDSM که براساس ترکیبی از این دو رویکرد مولدهای تصادفی و تولیع انتقال (مدلهای رگرسیون) پایه ریزی شده است در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. این نرم افزار داده‌های روزانه هواشناسی ایستگاه مورد نظر را به عنوان ورودی گرفته و در هفت مرحله (کنترل کیفی، انتخاب متغیرهای پیش بینی کننده، برازش مدل، تولید داده‌های آب و هوایی، تحلیل داده، تحلیل گرافیکی و تولید سناریو)

#### مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای بررسی اثر تغییر اقلیم در محدوده مورد مطالعه از داده‌های ایستگاه تبریز به دلیل نزدیکی به حوضه آبخیز لیقوان و داشتن آمار بلندمدت استفاده شده است. دوره آماری مشاهداتی در این ایستگاه (۱۹۵۱-۲۰۲۰) است. داده‌های روزانه حداقل دما، حداکثر دما، بارش به عنوان اطلاعات پایه در نظر گرفته شده است.

#### سناریوهای میزان غلظت گازهای گلخانه‌ای

هیات بین‌الدول 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

(MAE)، درصد اریبی (PBIAS) استفاده گردید. این معیارها بر اساس روابط ۲ و ۳ محاسبه می‌شوند.

$$MAE = 1/N \sum_{i=1}^n (S_i - O_i) \quad (2)$$

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i) * 100}{\sum_{i=1}^n (O_i)} \quad (3)$$

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 نزدیک تر باشد نشان دهنده دقت بالای مدل و مقدار صفر، نشان دهنده عدم وجود خطا در برآورد مدل است. PBIAS هرچه به صفر نزدیک تر 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 پیش‌بینی‌کننده‌ها 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 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 چهار دوره ۲۰ ساله ۲۰۲۰-۲۰۴۰، ۲۰۶۰-۲۰۸۰، ۲۰۸۰-۲۱۰۰ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ برای ایستگاه مورد نظر تولید کرده و تغییرات مقادیر شبیه‌سازی شده در سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه مورد بررسی قرار گرفت.

## نتایج

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

خروجی مدل GCM را بر اساس داده‌های روزانه در منطقه مورد نظر ریزمقیاس می‌نماید.

## انتخاب متغیرهای پیش‌بینی‌کننده:

یکی از مهمترین مراحل مدل ریزمقیاس‌نمایی، 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 و جهت محاسبه مقدار شاخص از رابطه ۱ استفاده می‌شود.

$$PR = \frac{R_p - R_a}{R_a} \quad (1)$$

که در آن  $R_p$  همبستگی مطلق بین پارامترهای اقلیمی و متغیر پیش‌بینی‌کننده اتمسفری و  $R_a$  همبستگی جزئی بین پارامترهای اقلیمی و متغیر پیش‌بینی‌کننده اتمسفری است.

## 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 (۱۹۷۶-۱۹۹۰) تقسیم شدند که از ۱۵ سال اول برای کالیبره کردن مدل با استفاده از روش بهینه‌سازی حداقل مربعات استفاده شد. بعد از کالیبره نمودن مدل به منظور حصول اطمینان از این که مدل توانایی شبیه‌سازی 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 برای دوره (۱۹۷۶-۱۹۹۰) شبیه‌سازی شدند. سپس با مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های شبیه‌سازی 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

را با پارامترهای مورد نظر دارند تعیین کردند. در پژوهش حاضر ابتدا با استفاده از پارامترهای بزرگ مقیاس مشاهداتی NCEP و نرم افزار SDSM به انتخاب پیش‌بینی‌کننده‌های 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 پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب نهایی برای متغیرهای دمایی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- انتخاب متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بزرگ مقیاس برای پیش‌بینی پارامترهای محلی بارش، حداقل دما و حداکثر دما در ایستگاه تبریز

متغیر	پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب	پیش‌بینی‌کننده	همبستگی مطلق (Rp)	همبستگی جزئی (Ra)	PR
حداقل دما	میانگین فشار سطح دریا	Mean sea level pressure	-۰/۵۷۶	-۰/۷۰۹	۰/۲۳
	رطوبت نسبی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	Relative humidity at 850 hPa	۰/۸۳۹	۰/۸۴۹	۰/۰۱
	رطوبت نسبی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	Relative humidity at 500 hPa	۰/۷۹۲	۰/۸۸۹	۰/۱۱
حداکثر دما	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری	Mean temperature at 2m	۰/۵۷۴	۰/۹۳۱	۰/۳۸
	تاوایی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	relative vorticity at 500hPa	۰/۱۸۰	۰/۱۶۶	۰/۰۸
	رطوبت نسبی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	Relative humidity at 850 hPa	۰/۸۸۳	۰/۸۸۲	۰/۰
بارش	رطوبت نسبی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	Relative humidity at 500 hPa	۰/۸۱۲	۰/۸۸۴	۰/۰۸
	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری	Mean temperature at 2m	۰/۷۰۵	۰/۹۵۴	۰/۲۶
	مولفه سرعت نصف‌النهاری در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال	hPa meridional velocity 500	۰/۲۱۵	۰/۱۲۱	۰/۴۴
	تاوایی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	relative vorticity at 500hPa	۰/۰۶۷	۰/۰۹۴	۰/۴۰
	واگرایی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	500hPa divergence	۰/۰۴۹	۰/۰۵۵	۰/۱۲
	واگرایی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	850hPa divergence	۰/۱۲۲	۰/۰۶۲	۰/۴۹
	رطوبت نسبی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	Relative humidity at 500 hPa	۰/۱۴۷	۰/۰۸۳	۰/۴۴

با توجه به نتایج جدول ۲ و شکل‌های ۲ تا ۴ مشخص شد که داده‌های شبیه‌سازی شده توسط متغیرهای پیش‌بینی‌کننده منتخب با داده‌های مشاهداتی در طول دوره پایه تطابق بیشتری دارند. بنابراین بر این اساس مشخص گردید که متغیرهای پیش‌بینی‌کننده منتخب از کارایی مناسب و قابل قبولی جهت شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی مورد نظر برای دوره آتی دارند.

#### شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی ایستگاه تبریز تا سال ۲۱۰۰

در این بخش پس از ارزیابی دقت مدل برای دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱)، اقدام به شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی دما و بارش برای دوره‌های آتی شد. مدل را برای چهار دوره ۲۰ ساله ۲۰۲۰-۲۰۴۰، ۲۰۲۰-۲۰۴۰، ۲۰۴۰-۲۰۶۰ و ۲۰۶۰-۲۰۸۰ و برای 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.

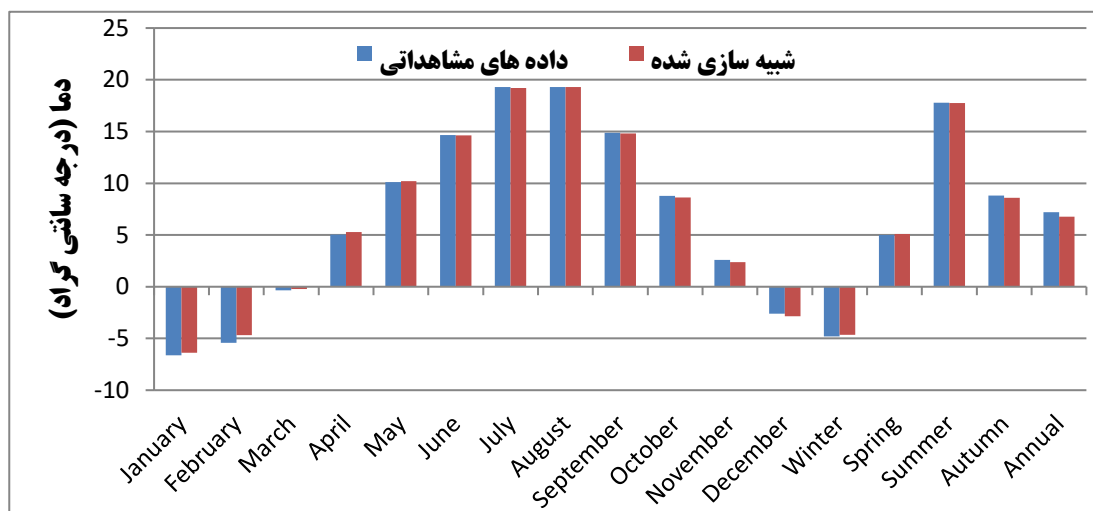
با توجه به نتایج جدول ۱ مشخص شد که داده‌های دما همبستگی بهتری با داده‌های مشاهداتی داشته‌اند و این بدان علت است که تغییرپذیری دما نسبت به بارندگی کمتر است و دما یک متغیر پیوسته می‌باشد که کمتر تحت تاثیر ناهنجارهای زمانی قرار می‌گیرد. در حالی که بارش تحت تاثیر عوامل مختلفی قرار می‌گیرد. از سوی دیگر، بارندگی یک پارامتر گسسته است.

#### نتایج ریزمقیاس‌نمایی

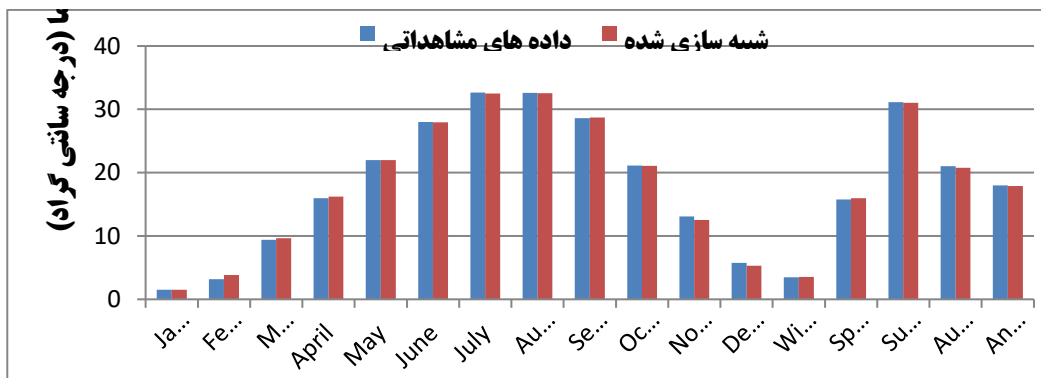
در این بخش با بررسی و مقایسه داده‌های مشاهداتی و داده‌های شبیه‌سازی شده دما و بارندگی GCM ها در دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۰) برآزش مدل براساس متغیرهای پیش‌بینی‌کننده NCEP مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت و برای روشن شدن توانمندی مدل، علاوه بر روش ترسیم از معیارهای آماری (MAE, PBIAS) نیز استفاده شد. نتایج حاصل از ارزیابی مدل با استفاده از معیارهای آماری در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- معیارهای آماری ارزیابی کارایی شبیه‌های SDSM ایستگاه تبریز طی دوره آماری پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۰)

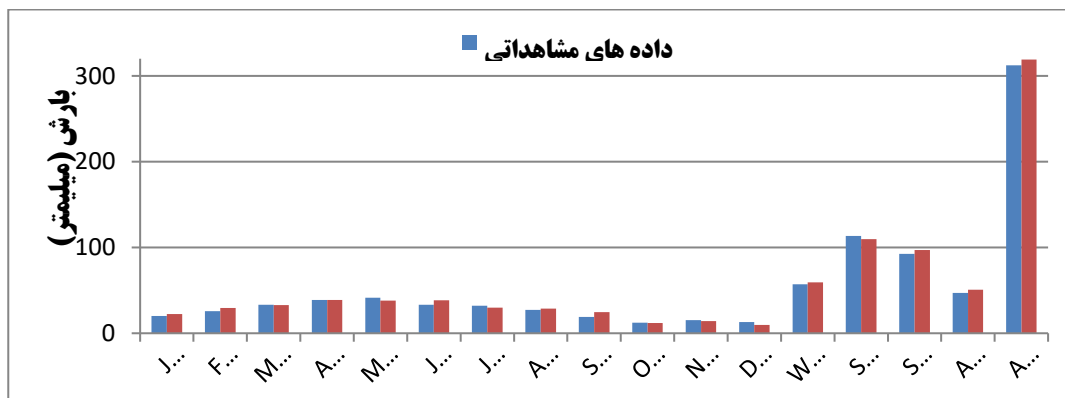
شاخص	حداقل دما		حداکثر دما		بارش	
	PBIAS	MAE	PBIAS	MAE	PBIAS	MAE
ژانویه	3.85	-0.26	-1.93	-0.03	-10.12	-2.05
فوریه	13.97	-0.76	-19.94	-0.64	-15.15	-3.87
مارس	36.83	-0.13	-2.91	-0.27	1.68	0.56
آوریل	-4.56	-0.23	-1.80	-0.29	0.14	0.06
می	-0.95	-0.10	-0.05	-0.01	8.23	3.41
ژوئن	0.02	0.00	0.12	0.03	-15.77	-5.23
جولای	0.46	0.09	0.36	0.12	7.55	2.43
آگوست	0.03	0.01	0.13	0.04	-5.61	-1.53
سپتامبر	0.47	0.07	-0.27	-0.08	-29.32	-5.61
اکتبر	1.86	0.16	0.27	0.06	2.71	0.34
نوامبر	8.63	0.22	4.35	0.57	8.94	1.38
دسامبر	-9.48	0.25	7.44	0.43	26.43	3.47
زمستان	3.52	-0.17	-1.72	-0.06	-4.18	-2.38
بهار	-1.26	-0.06	-1.21	-0.19	3.54	4.02
تابستان	0.18	0.03	0.22	0.07	-4.69	-4.34
پائیز	2.30	0.20	1.15	0.24	-8.29	-3.90
سالانه	6.06	0.44	0.44	0.08	-2.14	-6.68



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



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



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

جدول ۳ و شکل ۵ نشان می‌دهند که میانگین بارش در ایستگاه تبریز در اکثر ماه‌های دوره‌های آینده کاهش خواهد داشت. مقدار بارش در ماه‌های آوریل، اکتبر، نوامبر و دسامبر و در تمام طول دوره و در تمام سناریوهای اجرا شده نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. همچنین میانگین بارش در ماه‌های می تا سپتامبر یعنی در فصول بهار تا اوسط تابستان در دوره‌های آینده با کاهش محسوس همراه است.

لازم به توضیح است با بررسی داده‌های آماری در سطح معنی داری ۵ درصد کاهش میزان بارش علی‌رغم کاهش در داده‌های پیش‌نگری محتمل نبوده و احتمال افزایشی بودن آن در برخی از سالها و ماهها نسبت به دوره مشاهده‌ای امکان پذیر می‌باشد. جدول ۴ بررسی وجود روند داده‌های تولیدی را نشان می‌دهد که براساس آزمون من کندال و نتایج بدست آمده تنها در داده‌های دمای حداکثر ارتباط معنی داری در افزایش دما دیده می‌شود و میزان کاهش و یا افزایش دربارش و دمای حداقل دارای روند معنی داری نمی‌باشد.

### بررسی تغییرات بارش

جدول ۳ میزان بارش بر حسب میلیمتر را تحت سناریوهای RCP برای سه دوره نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. جهت مقایسه، نمودار داده‌های مربوطه در شکل ۵ آورده شده است. با توجه به جدول مشاهده می‌کنیم که بطور کلی بارش سالیانه در سناریوهای مورد بررسی، کاهش و در ماه‌های آوریل، اکتبر، نوامبر و دسامبر افزایش بارش را نسبت به دوره پایه خواهیم داشت. همچنین بارش بطور کلی 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.

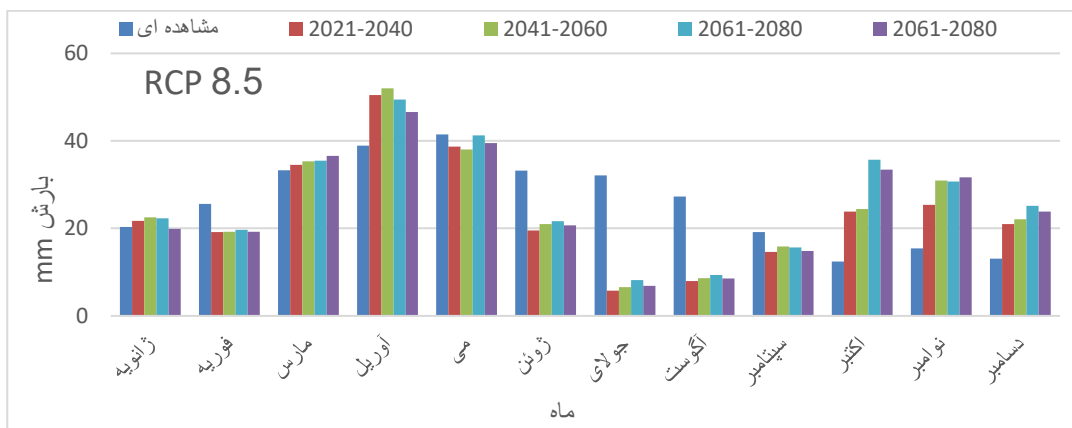
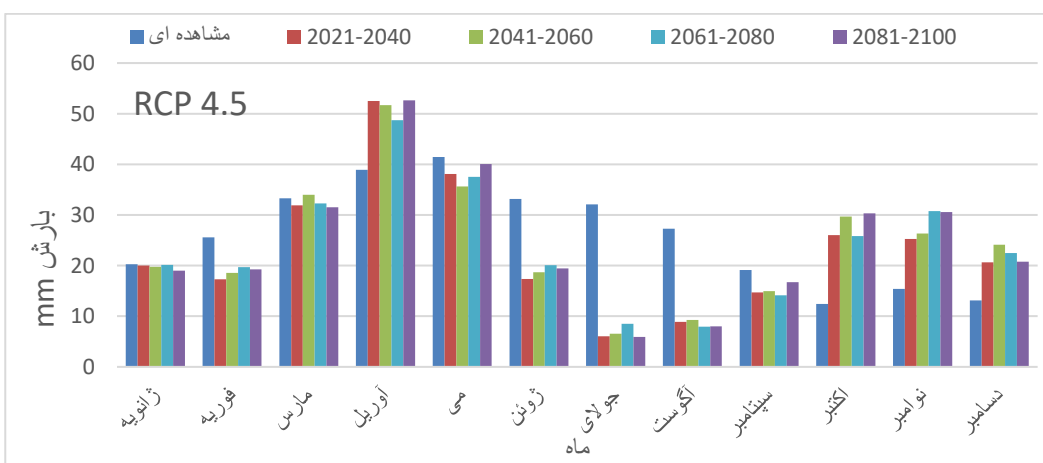
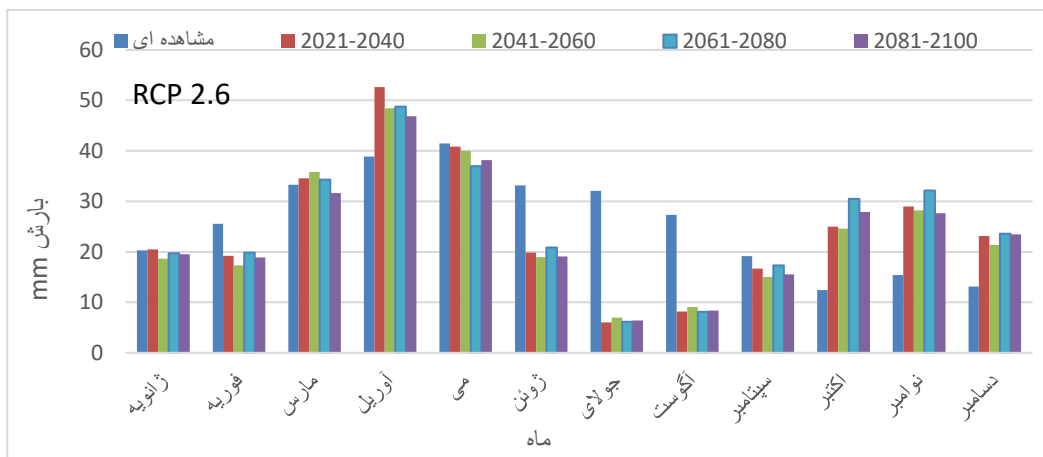


جدول ۳- پیش‌نگری بارش تبریز

سناریو	مشاهده‌ای	۲۶RCP				۴۵RCP				۸۵RCP			
		۲۰۴۰-۲۰۶۰	۲۰۶۰-۲۰۸۰	۲۰۸۰-۲۰۹۵	۲۰۹۵-۲۱۰۰	۲۰۴۰-۲۰۶۰	۲۰۶۰-۲۰۸۰	۲۰۸۰-۲۰۹۵	۲۰۹۵-۲۱۰۰	۲۰۴۰-۲۰۶۰	۲۰۶۰-۲۰۸۰	۲۰۸۰-۲۰۹۵	۲۰۹۵-۲۱۰۰
ژانویه	20.29	۲۰.۴۶	۱۸.۶۵	۱۹.۷۳	۱۹.۵۵	۲۰.۰۱	۱۹.۷۹	۱۹.۰۰	۲۰.۱۱	۲۱.۷۳	۲۲.۵۶	۱۹.۸۷	۲۲.۳۳
فوریه	25.58	۱۹.۲۰	۱۷.۲۹	۱۹.۸۸	۱۸.۸۷	۱۷.۲۷	۱۸.۵۵	۱۹.۲۸	۱۹.۶۹	۱۹.۱۵	۱۹.۲۵	۱۹.۲۴	۱۹.۷۰
مارس	33.26	۳۴.۵۳	۳۵.۸۴	۳۴.۲۸	۳۱.۶۵	۳۱.۸۸	۳۳.۹۹	۳۱.۵۱	۳۲.۲۶	۳۴.۵۱	۳۵.۳۵	۳۶.۵۴	۳۵.۴۵
آوریل	38.89	۵۲.۶۳	۴۸.۴۶	۴۸.۷۴	۴۶.۸۹	۵۲.۵۱	۵۱.۶۸	۵۲.۶۳	۴۸.۷۰	۵۰.۴۵	۵۲.۰۰	۴۶.۶۲	۴۹.۴۶
می	41.46	۴۰.۸۵	۳۹.۹۹	۳۶.۹۵	۳۸.۱۶	۳۸.۱۱	۳۵.۶۴	۴۰.۰۵	۳۷.۵۱	۳۸.۷۰	۳۸.۰۶	۳۹.۴۸	۴۱.۲۸
ژوئن	33.18	۱۹.۸۴	۱۸.۹۶	۲۰.۸۴	۱۹.۱۰	۱۷.۳۵	۱۸.۷۱	۱۹.۴۲	۲۰.۰۶	۱۹.۵۱	۲۱.۰۰	۲۰.۶۶	۲۱.۶۸
جولای	32.11	۶.۰۴	۷.۰۰	۶.۱۳	۶.۴۰	۶.۰۷	۶.۵۵	۵.۹۲	۸.۵۴	۵.۷۹	۶.۵۶	۶.۸۵	۸.۱۹
آگوست	27.31	۸.۱۹	۹.۰۸	۸.۰۸	۸.۴۰	۸.۸۷	۹.۲۶	۷.۹۸	۷.۹۷	۷.۹۸	۸.۶۰	۸.۵۲	۹.۳۴
سپتامبر	19.14	۱۶.۶۶	۱۵.۰۱	۱۷.۳۱	۱۵.۵۶	۱۴.۶۹	۱۴.۹۴	۱۶.۷۲	۱۴.۱۵	۱۴.۶۲	۱۵.۸۸	۱۴.۸۲	۱۵.۶۶
اکتبر	12.45	۲۵.۰۱	۲۴.۶۳	۳۰.۵۱	۲۷.۹۱	۲۶.۰۵	۲۹.۶۷	۳۰.۲۹	۲۵.۸۲	۲۳.۸۵	۲۴.۴۵	۳۳.۴۴	۳۵.۷۰
نوامبر	15.40	۲۸.۹۵	۲۸.۲۰	۳۲.۱۶	۲۷.۶۳	۲۵.۲۴	۲۶.۳۵	۳۰.۵۴	۳۰.۷۵	۲۵.۳۴	۳۰.۹۶	۳۱.۶۶	۳۰.۷۴
دسامبر	13.11	۲۳.۱۶	۲۱.۳۸	۲۳.۶۲	۲۳.۴۳	۲۰.۶۴	۲۴.۱۵	۲۰.۷۹	۲۲.۴۹	۲۰.۹۵	۲۲.۰۸	۲۳.۸۷	۲۵.۱۷

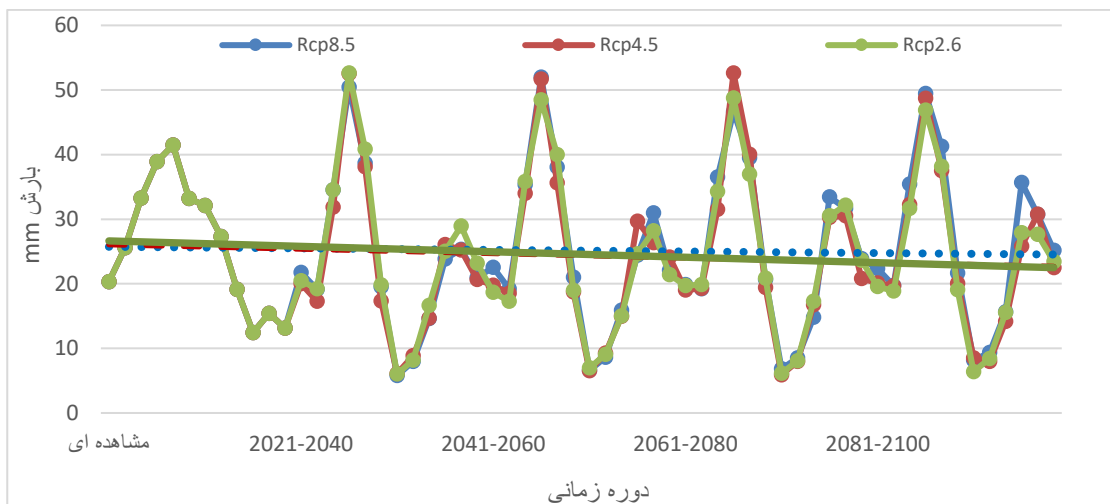
جدول ۴- بررسی وجود روند در تغییرات بارش، دمای حداقل و حداکثر ایستگاه تبریز

	دمای حداکثر			دمای حداقل			بارش		
	Correlation Coefficient	Sig. (2-tailed)	N	Correlation Coefficient	Sig. (2-tailed)	N	Correlation Coefficient	Sig. (2-tailed)	N
مشاهداتی	1.000		12	1.000		12	1.000		12
RCP26_2021_2040	.879**	0.000	12	-0.333	0.131	12	0.121	0.583	12
RCP26_2041_2060	.848**	0.000	12	-0.303	0.170	12	0.152	0.493	12
RCP26_2061_2080	.788**	0.000	12	-0.333	0.131	12	0.182	0.411	12
RCP26_2081_2100	.818**	0.000	12	-0.242	0.273	12	0.091	0.681	12
RCP45_2021_2040	.879**	0.000	12	-0.364	0.100	12	0.091	0.681	12
RCP45_2041_2060	.848**	0.000	12	-0.198	0.372	12	0.091	0.681	12
RCP45_2061_2080	.848**	0.000	12	-0.242	0.273	12	0.182	0.411	12
RCP45_2081_2100	.788**	0.000	12	-0.260	0.243	12	0.152	0.493	12
RCP85_2021_2040	.848**	0.000	12	-0.273	0.217	12	0.152	0.493	12
RCP85_2041_2060	.848**	0.000	12	-0.273	0.217	12	0.152	0.493	12
RCP85_2061_2080	.788**	0.000	12	-0.182	0.411	12	0.121	0.583	12
RCP85_2081_2100	.727**	0.001	12	-0.242	0.273	12	0.061	0.784	12

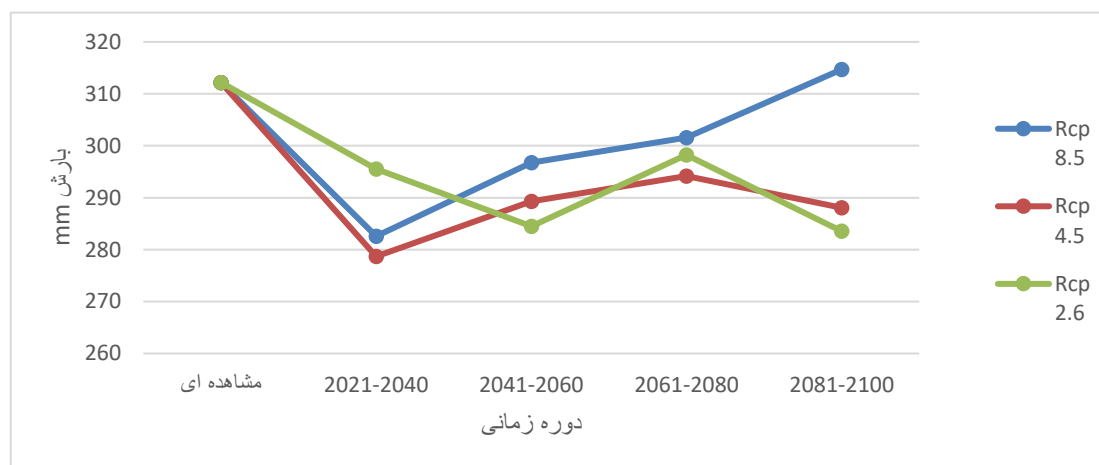


شکل ۵- پیش‌نگری تغییرات بارش تبریز

شکل های شماره ۶ و ۷ تغییرات بارش ماهانه و سالانه در سناریوهای RCP و دوره های چهارگانه را نسبت به دوره پایه نشان می دهد که شاهد روندکاهشی بارش در اکثر ماهها بغیر از ماههای اکتبر، نوامبر و دسامبر نسبت به دوره پایه می باشد.



شکل ۶- تغییرات بارش ماهانه تبریز در دوره‌های ۲۰۸۰-۲۱۰۰ و ۲۰۶۰-۲۰۸۰، ۲۰۴۰-۲۰۶۰، ۲۰۲۰-۲۰۴۰، ۲۰۶۰-۲۰۸۰ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰



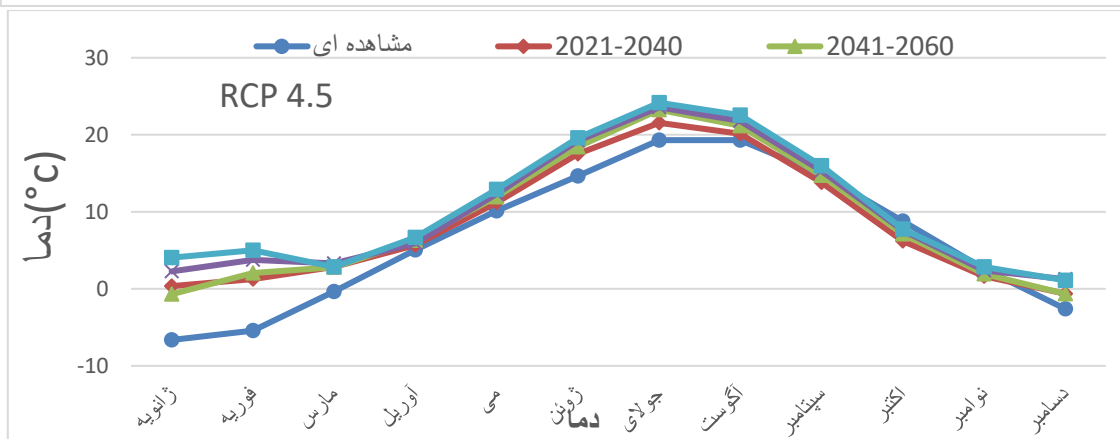
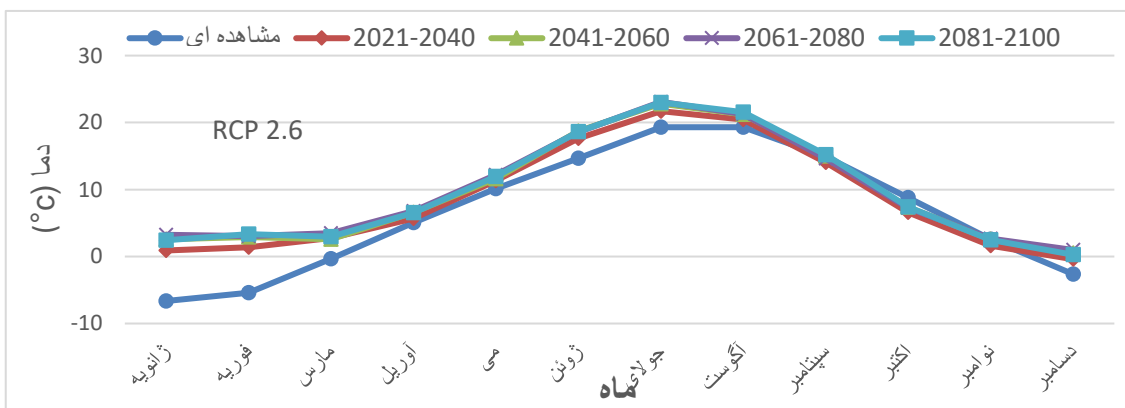
شکل ۷- تغییرات بارش سالانه تبریز در دوره‌های ۲۰۸۰-۲۱۰۰ و ۲۰۶۰-۲۰۸۰، ۲۰۴۰-۲۰۶۰، ۲۰۲۰-۲۰۴۰، ۲۰۶۰-۲۰۸۰ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰

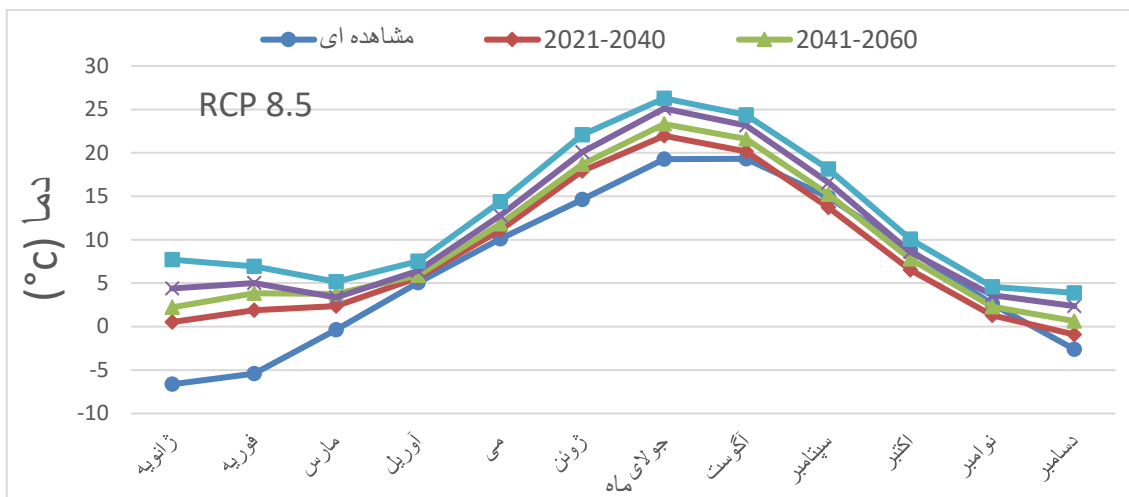
فصل تابستان تا ۶.۵ و برای یک سناریو در زمستان تا ۱۰.۹۵ درجه نیز افزایش دما مشاهده می‌گردد. تغییرات میانگین حداقل دمای ایستگاه تبریز در کلیه ماهها به غیر از ماههای اکتبر، نوامبر و دسامبر در دوره‌های آینده افزایش خواهد داشت. شکل‌های شماره ۹ و ۱۰ تغییرات حداقل دما ماهانه و سالانه در سناریوهای RCP و دوره‌های چهارگانه را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد که شاهده روند افزایشی حداقل دما نسبت به دوره مشاهداتی است که این افزایش حداقل دما در RCP8.5 بیشتر از سایر سناریوها می‌باشد. لازم به توضیح است با بررسی داده‌های آماری در سطح معنی‌داری ۵ درصد افزایش میزان حداقل دما علی‌رغم افزایش در داده‌های پیش‌نگری محتمل نبوده و احتمال کاهشی بودن آن در برخی از سالها و ماهها نسبت به دوره مشاهداتی امکان‌پذیر می‌باشد (جدول ۷).

بررسی تغییرات دمای حداقل در جدول ۵ مقادیر میانگین ماهانه حداقل دمای ایستگاه تبریز برحسب درجه سانتیگراد برای دوره پایه و چهار دوره آینده نشان داده شده است. نمودار داده‌های مربوطه جهت مقایسه در شکل ۸ آورده شده است. مطابق شکل ۸ و جدول ۶ تغییرات میانگین حداقل دمای ایستگاه تبریز در کلیه ماهها به غیر از ماههای اکتبر، نوامبر و دسامبر در دوره‌های آینده افزایش خواهد داشت. باتوجه به جدول مشاهده می‌کنیم که بطور کلی حداقل دما در سه سناریوی مورد بررسی برای چهار دوره مورد مطالعه افزایش خواهد یافت 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 بطور کلی در تمام فصول افزایش می‌یابد که در

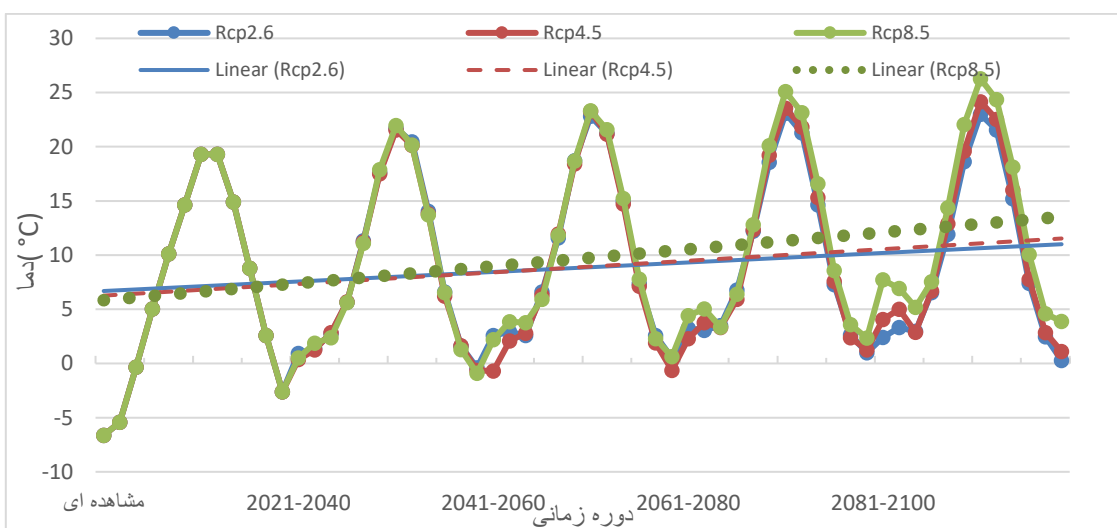
جدول ۷- پیش‌نگری تغییرات دمای حداقل تبریز

دوره	سناریو	RCP2.6				RCP4.5				RCP8.5			
		۲۰۲۰-۲۰۴۰	۲۰۴۰-۲۰۶۰	۲۰۶۰-۲۰۸۰	۲۰۸۰-۲۱۰۰	۲۰۲۰-۲۰۴۰	۲۰۴۰-۲۰۶۰	۲۰۶۰-۲۰۸۰	۲۰۸۰-۲۱۰۰	۲۰۲۰-۲۰۴۰	۲۰۴۰-۲۰۶۰	۲۰۶۰-۲۰۸۰	۲۰۸۰-۲۱۰۰
ژانویه	۶.۶۴-	۷.۵۶	۹.۲۱	۹.۸۷	۹.۰۵	۶.۹۹	۵.۹۴	۸.۹۲	۱۰.۷۰	۷.۱۵	۸.۸۴	۱۱.۰۴	۱۴.۳۵
فوریه	۵.۴۲-	۶.۸۱	۸.۳۳	۸.۴۸	۸.۷۵	۶.۶۹	۷.۵۰	۹.۲۰	۱۰.۴۳	۷.۲۹	۹.۲۶	۱۰.۴۵	۱۲.۳۵
مارس	۰.۳۵-	۳.۱۳	۲.۹۴	۳.۸۶	۳.۳۲	۳.۲۰	۳.۱۴	۳.۶۷	۳.۲۲	۲.۷۳	۴.۱۲	۳.۷۰	۵.۵۳
آوریل	۵.۰۵	۰.۶۲	۱.۵۴	۱.۷۴	۱.۵۰	۰.۶۳	۱.۲۵	۰.۸۸	۱.۶۳	۰.۵۹	۰.۸۶	۱.۳۵	۲.۴۸
می	۱۰.۱۱	۱.۲۱	۱.۴۸	۲.۰۹	۱.۸۲	۱.۱۱	۱.۸۵	۲.۲۲	۲.۷۹	۰.۹۷	۱.۷۱	۲.۶۸	۴.۲۵
ژوئن	۱۴.۶۵	۲.۹۷	۴.۰۶	۳.۹۲	۳.۹۸	۲.۸۷	۳.۷۸	۴.۵۷	۴.۹۵	۳.۲۴	۴.۰۳	۵.۴۴	۷.۴۲
جولای	۱۹.۲۹	۲.۴۲	۳.۵۳	۳.۸۰	۳.۷۲	۲.۲۶	۳.۹۶	۴.۲۸	۴.۸۷	۲.۶۷	۴.۰۲	۵.۸۱	۶.۹۸
اگوست	۱۹.۳۱	۱.۱۴	۱.۹۲	۱.۹۶	۲.۲۴	۰.۸۱	۱.۸۵	۲.۵۰	۳.۲۲	۰.۸۵	۲.۳۷	۳.۸۳	۵.۰۳
سپتامبر	۱۴.۸۹	۰.۸۶-	۰.۰۹	۰.۲۶-	۰.۳۰	۱.۰۷-	۰.۱۶-	۰.۴۳	۱.۱۰	۱.۱۷-	۰.۳۳	۱.۶۹	۳.۲۴
اکتبر	۸.۷۸	۲.۱۹-	۱.۴۰-	۱.۵۰-	۱.۳۹-	۲.۵۷-	۱.۶۵-	۱.۲۰-	۱.۰۴-	۲.۲۵-	۱.۰۱-	۰.۲۱-	۱.۲۹
نوامبر	۲.۵۹	۰.۹۹-	۰.۰۱-	۰.۰۵	۰.۱۳-	۰.۹۷-	۰.۶۸-	۰.۲۲-	۰.۲۵	۱.۳۱-	۰.۳۱-	۱.۰۱	۱.۹۹
دسامبر	۲.۶۱-	۲.۲۱	۳.۱۳	۳.۵۹	۲.۸۸	۱.۹۸	۱.۹۶	۳.۸۶	۳.۷۱	۱.۶۹	۳.۲۵	۴.۹۶	۶.۴۸
سالانه	۷.۱۹	۱.۴۹	۲.۳۹	۲.۶۲	۲.۴۹	۱.۳۲	۱.۸۸	۲.۷۴	۳.۳۰	۱.۳۶	۲.۶۰	۳.۸۰	۵.۴۳

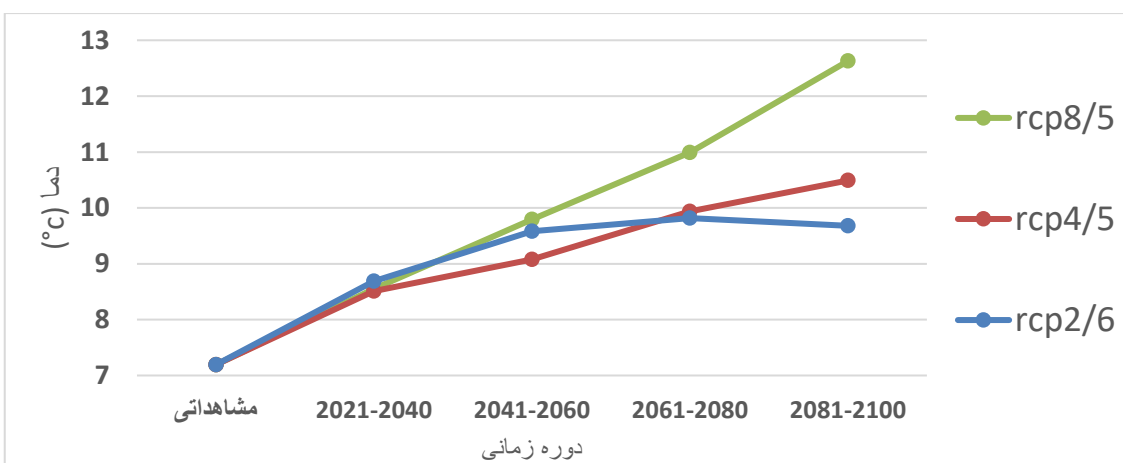




شکل ۸- پیش‌نگری تغییرات دمای حداقل تبریز



شکل ۹- تغییرات دمای حداقل ماهانه تبریز در دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۴۰، ۲۰۴۰-۲۰۶۰، ۲۰۶۰-۲۰۸۰ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰



شکل ۱۰- تغییرات دمای حداقل سالانه تبریز در دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۴۰، ۲۰۴۰-۲۰۶۰، ۲۰۶۰-۲۰۸۰ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰

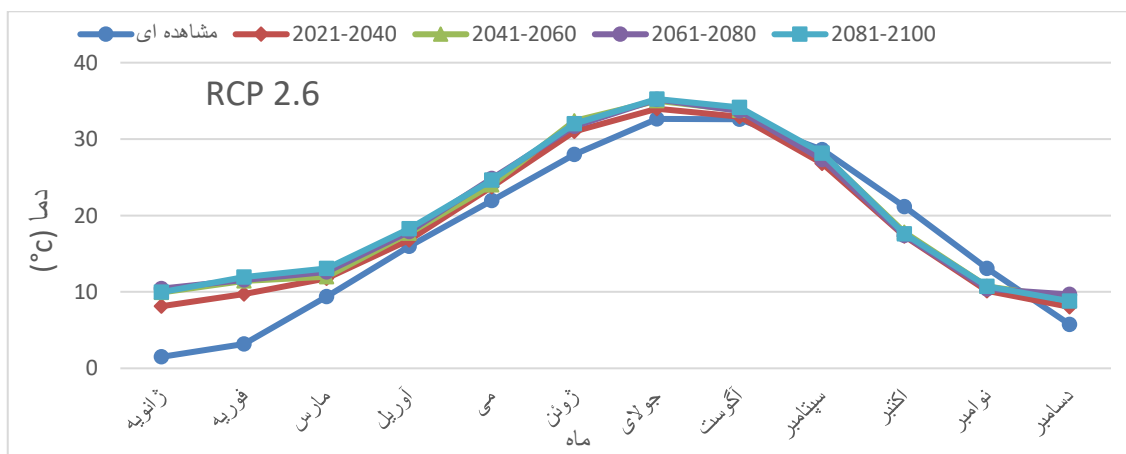
بررسی تغییرات حداکثر دما

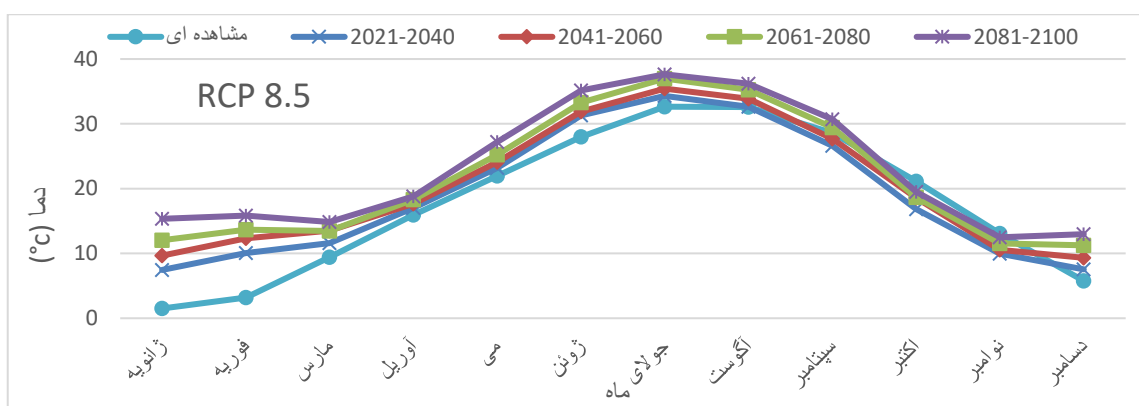
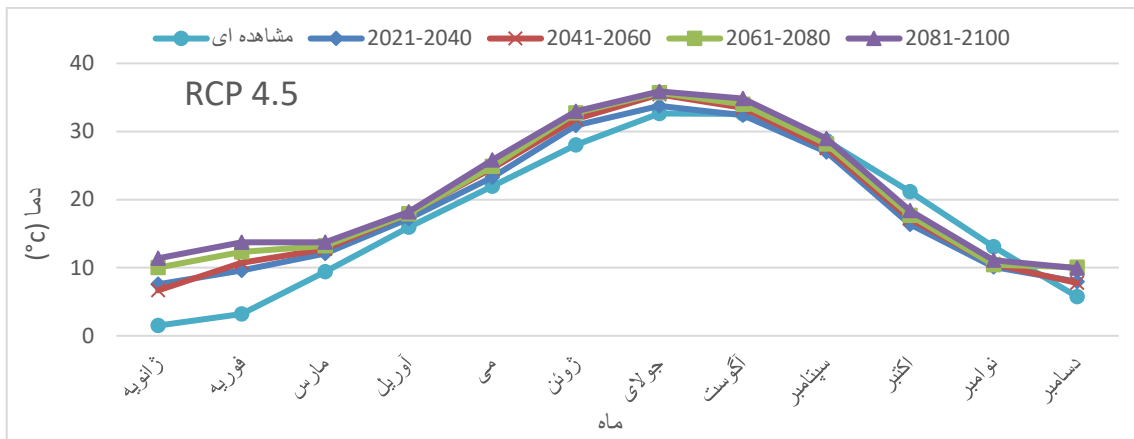
تغییرات میانگین حداکثر ماهانه ایستگاه تبریز نیز در دوره‌های پایه و آینده براساس سناریوهای مورد بررسی در جداول ۷ آورده شده است. جهت مقایسه بهتر نمودارهای ماهانه نیز آورده شده است. طبق جدول ۸ و شکل ۱۱ میانگین دمای حداکثر دمای تبریز مثل حداقل دما در دوره های آینده افزایش محسوس خواهد داشت. در جدول ۷ مقادیر تغییرات میانگین ماهانه حداکثر دمای ایستگاه تبریز برای دوره پایه و چهار دوره آینده نشان داده شده است. نمودار داده‌های مربوطه جهت مقایسه در شکل ۹ آورده

شده است. نتایج نشان می‌دهند که تغییرات میانگین حداکثر دمای ایستگاه تبریز در کلیه ماهها به غیر از ماه اکتبر و نوامبر در دوره‌های آینده افزایش داشته است. باتوجه به جدول مشاهده می‌کنیم که بطور کلی حداکثر دما در سه سناریوی مورد بررسی برای چهار 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.

جدول ۸- پیش‌نگری تغییرات دمای حداکثر تبریز

دوره	سناریو	RCP2.6				RCP4.5				RCP8.5			
		۱۴۰۲-۲۰۲۰	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۱۴۰۲-۲۰۲۰	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۱۴۰۲-۲۰۲۰	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۲۰۶۱-۲۰۸۰
ژانویه	1.51	۶.۶۱	۸.۴۴	۸.۹۵	۸.۴۷	۶.۰۶	۵.۱۷	۸.۵۱	۹.۸۹	۵.۹۵	۸.۱۵	۱۰.۵۲	۱۳.۸۴
فوریه	3.19	۶.۵۴	۸.۲۶	۸.۳۷	۸.۷۵	۶.۴۰	۷.۵۲	۹.۱۴	۱۰.۵۷	۶.۸۸	۹.۱۳	۱۰.۴۸	۱۲.۶۵
مارس	9.40	۲.۳۷	۲.۵۹	۳.۲۰	۳.۶۸	۲.۶۸	۳.۳۵	۳.۸۰	۴.۳۵	۲.۱۸	۴.۱۳	۴.۰۹	۵.۴۴
آوریل	15.95	۰.۸۵	۱.۷۲	۱.۹۲	۲.۳۲	۱.۲۶	۲.۰۱	۱.۹۶	۲.۲۶	۱.۰۸	۱.۷۱	۲.۳۶	۲.۸۷
می	21.97	۱.۷۸	۲.۰۳	۲.۸۶	۲.۶۴	۱.۳۰	۲.۶۳	۲.۸۸	۳.۸۵	۱.۲۴	۲.۱۳	۳.۲۷	۵.۲۳
ژوئن	28.00	۳.۰۱	۴.۳۸	۳.۶۵	۴.۰۳	۲.۸۶	۳.۸۳	۴.۷۰	۴.۹۵	۳.۳۲	۳.۹۰	۵.۲۶	۷.۱۴
جولای	32.64	۱.۳۳	۲.۳۸	۲.۵۵	۲.۶۰	۱.۱۱	۲.۸۰	۳.۰۳	۳.۲۴	۱.۶۷	۲.۷۹	۴.۳۴	۵.۰۰
آگوست	32.59	۰.۳۶	۱.۱۶	۱.۰۸	۱.۵۶	۰.۱۹-	۰.۹۰	۱.۴۰	۲.۲۵	۰.۰۳	۱.۲۶	۲.۶۶	۳.۵۹
سپتامبر	28.61	۱.۷۸-	۰.۵۲-	۱.۲۷-	۰.۴۳-	۱.۶۱-	۱.۰۶-	۰.۴۳-	۰.۳۶	۱.۹۸-	۰.۹۳-	۰.۸۳	۲.۱۳
اکتبر	21.14	۳.۸۳-	۳.۳۴-	۳.۷۷-	۳.۵۴-	۴.۸۰-	۳.۹۸-	۳.۴۶-	۲.۷۵-	۴.۳۰-	۲.۶۰-	۲.۴۶-	۱.۶۴-
نوامبر	13.09	۲.۹۵-	۲.۳۵-	۲.۶۸-	۲.۳۴-	۲.۹۹-	۲.۵۶-	۲.۶۳-	۲.۰۰-	۳.۱۴-	۲.۵۳-	۱.۵۴-	۰.۶۰-
دسامبر	5.74	۲.۲۹	۳.۳۹	۳.۹۳	۳.۰۴	۲.۲۱	۲.۰۰	۴.۳۱	۴.۱۸	۱.۸۰	۳.۵۸	۵.۵۱	۷.۲۳
سالانه	17.98	۱.۲۸	۲.۲۳	۲.۲۹	۲.۴۵	۱.۰۸	۱.۷۷	۲.۶۶	۳.۳۱	۱.۱۱	۲.۴۵	۳.۶۶	۵.۱۲

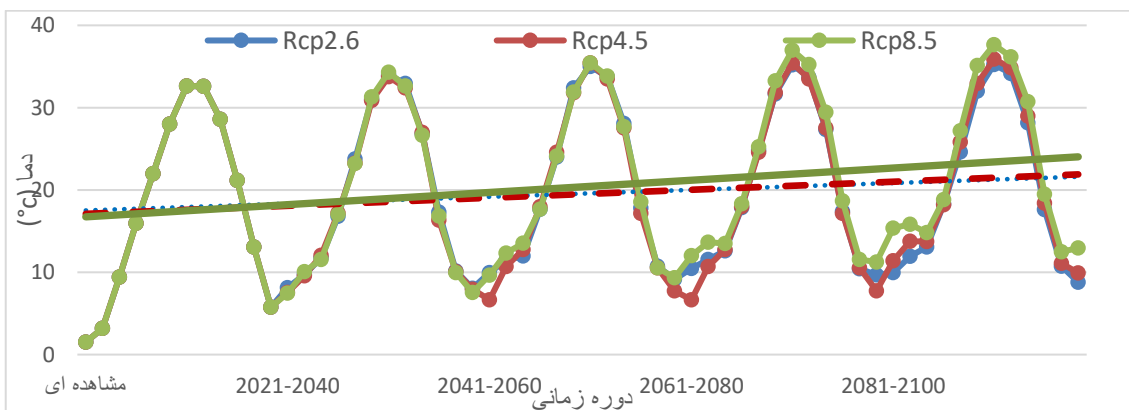




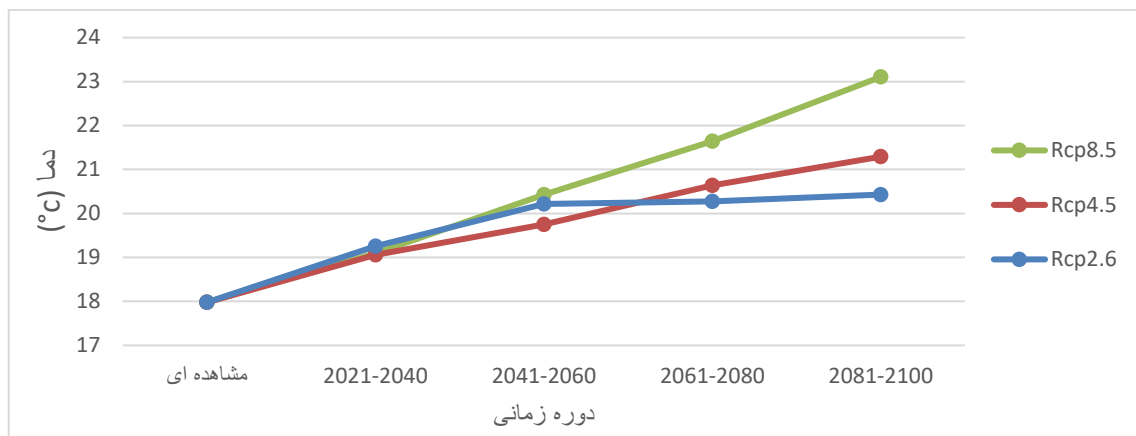
شکل ۱۱- پیش‌نگری تغییرات دمای حداکثر تبریز

است با بررسی داده‌های آماری در سطح معنی داری ۵ درصد افزایش میزان حداکثر دما علی‌رغم افزایش در داده‌های پیش‌نگری محتمل نبوده و احتمال کاهش بود آن در برخی از سالها و ماهها نسبت به دوره مشاهداتی امکان پذیر می‌باشد (جدول ۶).

شکل‌های شماره ۱۲ و ۱۳ تغییرات حداکثر دما در سناریوهای RCP و دوره‌های چهارگانه را نسبت به دوره پایه نشان به صورت ماهانه و سالانه نشان می‌دهد. اشکال نشان می‌دهد که دمای حداکثر در سناریوهای مختلف رو به افزایش بوده و در حالت بدبینانه تا ۵.۵ درجه سانتیگراد در انتهای قرن حاضر افزایش خواهد یافت. لازم به توضیح



شکل ۱۲- تغییرات دمای حداکثر ماهانه تبریز در دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۴۰، ۲۰۴۰-۲۰۶۰، ۲۰۶۰-۲۰۸۰، ۲۰۸۰-۲۱۰۰ و مشاهده ای



شکل ۱۳- تغییرات دمای حداکثر سالانه تبریز در دوره های ۲۰۲۰-۲۰۴۰، ۲۰۶۰-۲۰۸۰، ۲۰۸۰-۲۱۰۰ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰

### نتیجه گیری

در تحقیق حاضر اقدام به پیش‌نگری پارامترهای اقلیمی دما و بارش با استفاده از مدل چندگانه خطی SDSM و مدل های گردش عمومی جو با استفاده از داده های شهر تبریز برای حوضه آبخیز لبقوان گردید. در این تحقیق از خروجی مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP8.5, RCP4.5, RCP2.6 برای دوره های آتی استفاده شده است.

نتایج نشان دادند که داده‌های دما همبستگی بهتری با داده های مشاهداتی (در قیاس با داده های بارندگی) دارد، این بدان علت است که تغییرپذیری دما نسبت به بارندگی کمتر است و دما یک پارامتر با توزیع احتمالی نرمال می باشد. از دلایل کاهش همبستگی بارندگی این است که عوامل مختلفی بر روی بارندگی موثر بوده 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 مدل های تغییر اقلیم در آینده می بایست مد نظر قرار گیرد.

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)، دهقانی پور و همکاران (۱۳۹۰) و شاکری و همکاران (۲۰۲۱) در اینکه مدل SDSM توانایی مناسبی در کوچک مقیاس نمودن داده های دما و بارش دارد، منطبق می باشد.

تغییر اقلیم می تواند باعث تغییرات زمانی و مکانی متغیرهای اقلیمی شود. خصوصیات این متغیرها می تواند اثرات زیان باری بر روی اجزای اکوسیستم داشته باشد. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص می شود که در طول قرن ۲۱ دما رو به افزایش و بارش رو به کاهش است.

در ایستگاه تبریز بطور کلی بارش در سه سناریوی مورد بررسی کاهش و تنها در یک سناریو و برای دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۰ افزایش بارش را خواهیم داشت. همچنین بارش بطور 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 ۲۰۶۹-۲۰۴۰ را دوره با افزایش بارش در حوضه قره سو معرفی نموده هم خوانی دارد. بطور کلی بر اساس نتایج تحقیق حاضر در ایستگاه تبریز ماه های می تا سپتامبر برای همه دوره ها و سناریوها کاهش بارش را خواهیم داشت. لازم به توضیح است با بررسی داده های آماری در سطح معنی داری ۵ درصد کاهش بارش علی رغم کاهش در داده های پیش نگری محتمل نبوده و احتمال افزایشی بودن آن در برخی از سالها و ماهها نسبت به دوره مشاهداتی امکان پذیر می باشد.

با بررسی داده های پیش‌نگری بدست آمده، تغییرات میانگین حداقل دمای ایستگاه تبریز در کلیه ماهها به غیر از ماههای اکتبر، نوامبر و دسامبر در دوره های آینده افزایش خواهد داشت. شکل های شماره ۹ و ۱۰ تغییرات حداقل دما ماهانه و سالانه در سناریوهای RCP و دوره های چهارگانه را نسبت به دوره پایه نشان می دهد که شاهد افزایش حداقل



کیفیت و کمیت منابع آب و به تبع آن تغییرات در کم و کیف محصولات کشاورزی خواهد کرد که این مهم لزوم تغییرات برنامه ریزی را در بهره برداری از منابع آب و کشاورزی مشخص می‌کند. پیشنهاد می‌گردد برنامه‌های آینده باید به گونه‌ای باشند که تغییرات پیش رو اثرات زیانبار کمتری را متوجه بخش آب و کشاورزی در این منطقه از کشورمان داشته باشد. لذا لازم است هم اکنون تدابیری در جهت اصلاح نظام آبیاری، روشهای کاهش تبخیر، و استفاده مجدد از فاضلاب و اصلاح الگوی کشت اتخاذ گردد.

### منابع

1. Charron, I. (2014). A Guidebook on Climate Scenarios: Using Climate Information to Guide Adaptation Research and Decisions. Ouranos, p. 86.
2. Cheema S. B., Rasul G., Ali G., Kazmi D. H., (2013). A Comparison of Minimum Temperature Trends with Model Projections, Pakistan Journal of Meteorology, Vol. 8, Issue 15, pp. 39-52.
3. Dehghanipour, A. H., Hassanzadeh, M. J., Attari, J., Iraqinezhad, sh., (2011). Evaluation of SDSM model capability in exponential scale of precipitation, temperature and evaporation (Case study: Tabriz Synoptic Station). 11th National Seminar on Irrigation and Evaporation Reduction, February 11-13, 2011. Kerman.
4. Gol Mohammadi, M., Masah Bovani, A., (2011). Investigation of changes in the severity and return period of drought in Qarasu Basin in future periods affected by climate change. Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries). Volume 25. Number 2. June - July 2011. 326-315.
5. IPCC. Qin, D., Chen, Z., Averyt, K., Solomon, S., Manning, M., Marquis, M. and Tignor, M.B. (2007). Climate Change: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
6. Karamouz M. , Fallahi M., Nazif S. and Rahimi FarahanM. , (2009). Long Lead Rainfall Prediction Using Statistical Downscaling and Arti\_cial Neural Network Modeling, Transaction A: Civil Engineering Vol. 16, No. 2, pp. 165-172.

دما نسبت به دوره مشاهداتی است که این افزایش حداقل دما در RCP8.5 بیشتر از سایر سناریوها می‌باشد. لازم به توضیح است با بررسی داده‌های آماری در سطح معنی داری ۵ درصد افزایش میزان حداقل دما علی‌رغم افزایش در داده‌های پیش‌نگری محتمل نبوده و احتمال کاهش بودن آن در برخی از سالها و ماهها نسبت به دوره مشاهداتی امکان پذیر می‌باشد.

با بررسی داده‌های پیش‌نگری بدست آمده، میانگین حداکثر دما در سه سناریوری مورد بررسی برای سه دوره مورد مطالعه افزایش می‌یابد که نتایج با نتایج محققانی همچون محمدی و همکاران (۱۳۸۹)، شاکری و همکاران (۲۰۲۱) 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. بطور کلی حداکثر دما در سه سناریوری مورد بررسی برای چهار 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. لازم به توضیح است با بررسی داده‌های آماری در سطح معنی داری ۵ درصد افزایش میزان حداکثر دما علی‌رغم کاهش در برخی داده‌های پیش‌نگری محتمل بوده و احتمال کاهش بودن آن در برخی از سالها و ماهها نسبت به دوره مشاهداتی امکان پذیر می‌باشد.

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 پژوهشی، نیاز به بررسی‌های بیشتر می‌باشد. شکل‌های شماره ۱۲ و ۱۳ تغییرات حداکثر دما در سناریوهای RCP و دوره‌های چهارگانه را نسبت به دوره پایه نشان به صورت ماهانه و سالانه نشان می‌دهد. اشکال نشان می‌دهد که دمای حداکثر در سناریوهای مختلف رو به افزایش بوده و در حالت بدبینانه تا ۵.۵ درجه سانتیگراد در انتهای قرن حاضر افزایش خواهد یافت.

بایستی اذعان کرد روند نزولی میانگین بارش همراه با افزایش دما باعث افزایش تبخیر و ایجاد تغییراتی مهم در

- Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Western Ontario, Report No: 080 Date: April 2012, pp. 1-58.
17. Shakeri, H., Motiee, H., & McBean, E. (2021). Projection of important climate variables in large cities under the CMIP5–RCP scenarios using SDSM and fuzzy downscaling models. *Journal of Water and Climate Change*, 12(5), 1802-1823.
  18. Sheida DEHGHAN, N. S., Nasrin Sayari, Bahram Bakhtiari. (2020). Prediction of meteorological drought in arid and semi-arid regions using PDSI and SDSM: a case study in Fars Province, Iran. *Journal of Arid Land*, 12(2), 318-330
  19. Wilby RLC, S.P., Zorita E, Timbal B, Whetton P, Mearns L. (2004). "Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Statistical Downscaling Methods", IPCC Reports (2007), p. 27.
  20. 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*, Volume 42, Issue 2, Article first published online: 28 FEB 2006, pp. 1-3.
  7. Mearns, C. Fu. (2001). "Regional Climate Information – Evaluation and Projections" Chapter 10 in: Houghton, J. et al. (eds.). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, pp. 583-638.
  8. Mohammadi, S., Mehdi Nejad, H., Amiraslani, Sh.(2010). Investigation of the effects of climate change on meteorological and hydrological parameters of the catchment. The First National Conference on Applied Research in Iranian Water Resources. 23-21 May 2010. Kermanshah
  9. Mohammadian, A., Talebi, A., Goodarzi, M., and Abdollahi, A. (1398). Technical Report: Predicting Climate Parameters Due to Climate Change, Case Study: Bulgur Kardeh Dam Watershed. *Watershed Engineering and Management*, 11.
  10. Moriasi, D. N., Wilson, B. N., Douglas-Mankin, K. R., Arnold, J. G., & Gowda, P. H. (2012). Hydrologic and water quality models: Use, calibration, and validation. *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1241-1247.
  11. Nury A. H. and Alam M. J. B. , (2014). 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.
  12. Rajabi A. and Shabanlou S., (2012). Climate Index Changes In Future By Using Sdsm In Kermanshah, Iran, *Journal of Environmental Research And Development*, Vol. 7, pp. 37-44.
  13. Ramanathan V. (1988). "The greenhouse theory of climate change: a test by an inadvertent global experiment", *Science* 240: 293-299.
  14. Sajjad Khan M., Coulibaly P. and Dibike Y., (2006). Uncertainty analysis of statistical downscaling methods, *Journal of Hydrology* 319 , 357–382.
  15. Selajgeh, A., Rafiei Sardoei, A., Moghaddamnia, A., Malekian, A., Iraqi Nejad, Sh., Khaliqi Sigaroudi, Sh., And Saleh Pourjam, A. (2016). Prediction of Climate Variables by SDSM Linear Multiple Model in the Future Period Based on Scenario A2. *Desert Management*, 4 (7 # g00487).
  16. Sarwar R., Irwin SE., King LM. And Simonovic SP., (2010). Assessment of climatic vulnerability in the Upper Thames River basin: Downscaling with SDSM, *Water Resources Research Report*,