

صص ۷۴-۵۷

مدل سازی و پیش بینی عناصر اقلیمی دما و بارش مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک اهر

شهرام لطفی قرانچای

دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی سینوپتیک، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

علیرضا شکیبا

دانشیار اقلیم‌شناسی گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

آمنه دشت‌بزرگی

دکتری اقلیم‌شناسی، کارشناس آزمایشگاه گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

فاطمه ربانی

دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

طیبه اکبری ازیرانی*

استادیار اقلیم‌شناسی گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۳

چکیده

امروزه تغییر اقلیم از چالش‌های جدی جوامع بشری و محیط زیست تلقی شده و سبب ایجاد ناهنجاری در سیستم اقلیم کره زمین گردیده است. بر اساس ارزیابی دانشمندان افزایش میانگین دمای جهانی امری اجتناب ناپذیر است. در این پژوهش به بررسی عناصر اقلیمی دما و بارش ایستگاه سینوپتیک اهر برای دوره‌های آینده نزدیک (۲۰۴۵-۲۰۲۶)، آینده میانی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) و آینده دور (۲۰۸۵-۲۰۶۶) با استفاده از خروجی‌های مدل تغییر اقلیم CanESM2¹ بر پایه RCP4.5, RCP2.6, RCP8.5 با مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM و نیز به بررسی روند سالانه این تغییرات با استفاده از آزمون من-کندال پرداخته شد. بر اساس خروجی مدل مشخص شد که در آینده نزدیک بارش در ماه‌های فوریه و نوامبر و در دو دوره آینده میانی و دور در ماه اکتبر بیشترین میزان کاهش و برای ماه‌های آوریل، می و اگوست افزایش بارش اتفاق خواهد افتاد. به‌طور میانگین دمای کمینه $+۰/۳۸$ درجه سلسیوس، دمای متوسط $+۰/۵۲$ درجه سلسیوس و دمای بیشینه $+۰/۸۲$ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. بر اساس نتایج آزمون من-کندال روند سالانه بارش در آینده کاهشی، دمای متوسط در سه سناریو دارای روند افزایشی و معنادار و عناصر دمایی (دمای کمینه، متوسط و بیشینه) در RCP8.5 افزایشی و معنادار خواهد بود.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، سناریوها، ریزمقیاس‌نمایی، مدل CanESM2.

مقدمه

از میان همه عناصر آب‌وهوایی، تغییرات دما و بارش بسیار محسوس‌تر می‌باشد. بر اساس گزارش ارائه شده توسط هیات بین‌الدول تغییر آب‌وهوا^۲ (IPCC) در اکتبر ۲۰۱۸ در مورد گرمایش جهانی، به افزایش دمای جهانی در حدود ۱ تا ۱/۵ درجه سلسیوس در ۲۰۱۷ نسبت به دوره پیش از انقلاب صنعتی اشاره داشته است (IPCC، ۲۰۱۸). مدل‌های گردش عمومی جو مدلهایی هستند که به منظور شبیه‌سازی اقلیم حال حاضر کره زمین توسعه داده شده‌اند تا تغییرات اقلیم آینده کره زمین را پیش‌بینی کنند (خو، ۱۹۹۹). پیش‌بینی مدل‌های گردش عمومی بر اساس افزایش گازهای گلخانه‌ای جو زمین شامل دی‌اکسیدکربن، متان، اکسیدنیترژن، بخار آب و ذرات سولفات می‌باشد که در اثر فعالیت بشر تولید می‌شوند. از موارد خاص مورد توجه، افزایش سریع CO₂ در اتمسفر، به علت سوزاندن سوخت‌های فسیلی می‌باشد. این پیش‌بینی‌ها بر اساس سناریوهای مختلفی صورت می‌گیرد که هر یک بیانگر وضعیتی از تولید گازهای گلخانه‌ای و عوامل مؤثر بر کنترل تولید این گازها می‌باشد (IPCC، ۲۰۰۱). مدل‌ها و نرم‌افزارهای گردش عمومی جو (GCM^۳) تنها قادر به شبیه‌سازی داده‌های جوی بزرگ‌مقیاس بوده بنابراین برای تبدیل اطلاعات بزرگ‌مقیاس جوی به متغیرهای محلی و ایستگاهی مشاهداتی مدل‌های ریزمقیاس نمایی ضرورت پیدا می‌کند (سالون و همکاران، ۲۰۰۸). ریزمقیاس نمایی یا کوچک‌مقیاس کردن به‌عنوان یک عامل ایجاد کننده ارتباط بین چرخه‌های بزرگ‌مقیاس (پیش‌بینی کننده‌ها) و متغیرهای اقلیمی در مقیاس محلی (پیش‌بینی شونده‌ها) تعریف شده است (ویلبای و همکاران، ۲۰۰۲). ریزمقیاس نمایی به دو روش دینامیکی و آماری است. مدل‌های دینامیکی علیرغم دقت فضایی مناسب به دلیل پرهزینه و وقت‌گیر بودن و نیاز به تجهیزات آزمایشگاهی فوق‌سریع که اغلب کشورها فاقد آن هستند صرفنظر می‌شود اما ریزمقیاس نمایی آماری به دلیل محاسبات کم، اقتصادی بودن، سادگی و سرعت بالا در فرآیند ریزمقیاس نمایی ناحیه‌ای بیشتر از سایر روش‌ها مورد توجه محققین قرار گرفته است. در حال حاضر مدل‌ها و نرم‌افزارهای مختلفی برای کوچک‌مقیاس کردن ارائه شده است که یکی از این مدل‌ها، مدل ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM^۴) است (روحی پناه، ۱۳۹۴). در گزارش پنجم (IPCC، ۲۰۱۳) نسل جدیدی از مدل‌های گردش عمومی جو تحت عنوان پروژه درون مقیاس‌های مدل‌های جفت شده (CMIP^۵) استفاده گردید که سناریوهای جدید انتشار با عنوان نماینده خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای (RCP) را پیشنهاد داد که در چهار حالت ۲/۶، ۴/۵، ۶/۰ و ۸/۵ هستند. بر اساس سناریوهای RCP، کمینه‌های دما نسبت به پیشینه‌های دما افزایش، فراوانی روزهای یخبندان کاهش و فراوانی شب‌های حاره‌ای افزایش معنی‌داری در دهه‌های آینده خواهند داشت (کالینز و همکاران، ۲۰۱۳). در دنیا و ایران پژوهش‌های زیادی با مدل‌های ریزمقیاس نمایی و بر اساس سری‌های مدل CMIP5 تحت سناریوهای RCP انجام گرفته است که در اینجا چند مورد از مطالعات مرتبط با موضوع مورد پژوهش

² Intergovernmental Panel on Climate Change

³ Model Circulation General

³ Statistical Downscaling Model

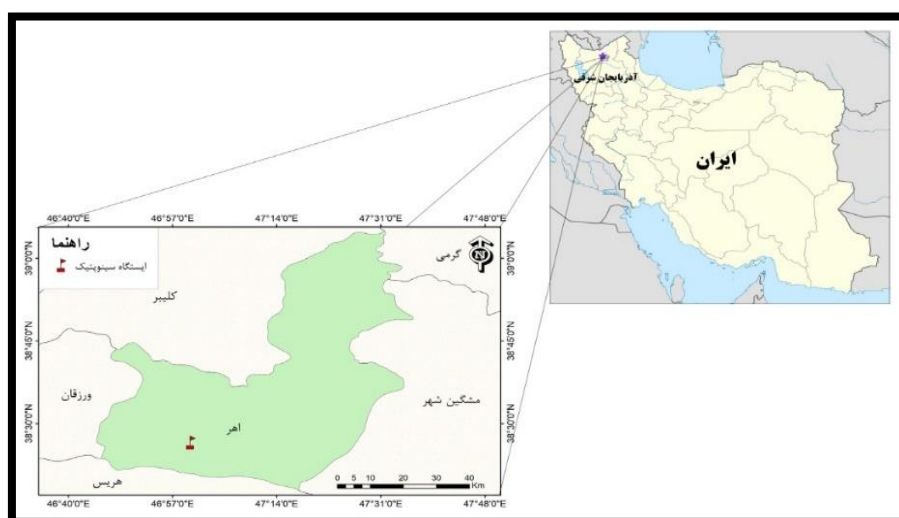
⁵ Coupled Model Intercomparison Project

آورده شده است. از جمله مطالعاتی که در زمینه تغییر اقلیم با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM انجام گرفته می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: گودرزی و همکاران (۱۳۹۶)، اسپچیمیدلی و همکاران (۲۰۰۷)، وترهال (۲۰۰۵)، ویلبای (۲۰۰۷)، ساروار و همکاران (۲۰۱۰)، گل محمدی و مساح بوانی (۱۳۹۰)، عباس نیا و همکاران (۱۳۹۶)، ساراف و رگولوار (۲۰۱۶)، کوچ و چریعه (۲۰۱۳)، عساکره و کیانی (۱۳۹۶)، رشیدمحمد (۲۰۱۴)، کردوانی و همکاران (۱۳۹۷)، تان و همکاران (۲۰۱۷)، گولاچا و همکاران (۲۰۱۷)، خالدی و همکاران (۱۳۹۸)؛ که به چند مورد از روش‌های کارشده و نتایج به دست آمده توسط محققین اشاره می‌شود. ونکاتارمن و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی خشک‌سالی تگزاس در قرن بیست و یکم بر اساس سری‌های مدل CMIP5 تحت سناریوهای RCP دریافتند که در شبیه‌سازی مشاهدات تاریخی (۱۹۹۹-۱۹۵۰) دما مناسب‌تر از بارندگی است. در برخی از مناطق خشک در قرن ۲۱ دما افزایش و بارندگی کاهش را نشان می‌دهد. یو و همکاران (۲۰۱۶) با مدل‌های سری CMIP5 و با سناریوهای RCP در ۷۳۵ ایستگاه هواشناسی سراسر چین نشان دادند که میانگین دمای سالانه ۱/۸ درجه سلسیوس کمتر از حد برآورد شده در حالی که میانگین بارش سالانه ۲۶۳ میلی‌متر بیشتر از داده‌های مشاهداتی در دوره‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ محاسبه شده است. در پژوهشی گولاچا و مولانگو (۲۰۱۷) در ارزیابی دما و بارندگی حوضه آبریز تانزانیا با استفاده از GCM و ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM) نتیجه گرفتند که میانگین حداکثر دمای ماهانه یک‌روند افزایشی از ۰/۲ تا ۷/۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداقل دما یک‌روند افزایشی ۰/۴ تا ۱/۵ درجه سلسیوس از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۸۰ خواهد داشت. محمدی و همکاران (۱۳۹۸)، در بررسی دما و بارش ایستگاه سینوپتیک گرگان با مدل CanESM2 با ریزمقیاس نمایی SDSM به این نتایج دست یافتند که میزان بارش در دوره آینده نزدیک، میانی و دور تا ۴۷/۵۱ میلی‌متر کاهش و همچنین میزان دمای بیشینه، دمای کمینه و دمای میانگین در هر سه سناریو روبه افزایش خواهد بود. از نظر روند سالانه بارش در سناریوهای RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵ معنادار و کاهشی و در مورد عنصرهای دما این روند معنادار و افزایشی خواهد بود. ذهبیون و همکاران (۱۳۹۷)، به ارزیابی عملکرد مدل SDSM در بررسی اثر تغییر اقلیم بر بارش و دما در ایستگاه یاسوج پرداختند و نتایج نشان داد که در آینده میانگین دمای بیشینه و کمینه ماهانه در همه ماه‌های سال تقریباً به صورت یکسان افزایش، میانگین بارش در فصل بهار کاهش و در فصل پاییز افزایش خواهد یافت. عساکره و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی و پیش‌بینی تغییرات دمای ایستگاه اراک بر اساس مدل ریزمقیاس نمایی آماری پرداختند. یافته‌های پژوهش نشان داد که دمای میانگین، کمینه و بیشینه اراک روندی افزایشی خواهد داشت. علیزاده چوبری و نجفی (۱۳۹۶) با بررسی روند تغییرات دمای هوا و بارش در مناطق مختلف ایران روندهای افزایشی دماهای کمینه، بیشینه و میانگین روزانه را در بیشتر مناطق ایران گزارش کردند. احمدی و همکاران (۱۳۹۸)، ضمن بررسی عملکرد مدل HadGEM2-ES از پروژه، CORDEX بی‌هنجاری فصلی دمای ایران را مطالعه کردند؛ نتایج آن‌ها نشان داد بی‌هنجاری دما در همه فصول، سناریوها و دوره‌های زمانی تا پایان قرن ۲۱ مثبت است و فصل زمستان بیشینه بی‌هنجاری دما را در بین فصول داراست. در همین راستا، فلاح قاله‌ری و همکاران (۲۰۱۹) نیز بی‌هنجاری مثبت دما را در ارتفاعات شمال غرب و غرب ایران بر

اساس مدل‌های CMIP5 نشان دادند. اخیراً در بیشتر مطالعات بسیاری از پژوهشگران در سراسر جهان از جمله ایران با استفاده از گزارش ارزیابی پنجم (IPCC, ۲۰۱۳) به بررسی تغییرات اقلیم تحت سناریوهای جدید انتشار در مناطق مختلف پرداخته‌اند. تغییرات اقلیمی سال‌های اخیر، در شمال غرب ایران و شهرستان اهر باعث ایجاد تغییرات در روند طبیعی دما و بارش شده و این تغییرات دمایی و بارش باعث ایجاد مشکلات و محدودیت‌ها در شرایط زندگی اجتماعی، فعالیت‌های کشاورزی و باغداری و تولیدات این بخش شده و از طرف دیگر مخاطرات اقلیمی در این شهرستان باعث بروز تهدیدات و خطرات جانی و مالی زیادی شده است و از آنجا که تاکنون پژوهشی در رابطه با ریزمقیاس نمایی عناصر اقلیمی دما (میانگین، بیشینه و کمینه) و بارش در شهرستان اهر بر اساس گزارش پنجم IPCC انجام نگرفته بود، در این پژوهش سعی شد دو هدف اصلی مورد بررسی قرار گیرد: هدف اول شبیه‌سازی ماهانه پارامترهای دما و بارش ایستگاه سینوپتیک اهر با مدل SDSM و تحت سناریوهای جدید انتشار (RCP) و هدف دوم بررسی روند سالانه پارامترهای شبیه‌سازی شده با استفاده از آزمون نا پارامتری من- کندال در طی دوره‌های آبی است. به طوری که با بهره‌گیری از نتایج آن بتوان به درک بهتری از شرایط اقلیمی این مناطق در دوره‌های زمانی آبی نسبت به مدل‌های پیشین هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (گزارش سوم و چهارم) جهت مدیریت صحیح‌تر و برنامه‌ریزی دقیق‌تر رسید و زندگی روزمره افراد و فعالیت‌های کشاورزی و باغداری شهرستان متناسب با تغییرات اقلیمی انجام شود تا خسارات و محدودیت‌ها به حداقل برسد.

منطقه مورد مطالعه

ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه شهرستان اهر، در استان آذربایجان شرقی قرار دارد که در طول شرقی ۴۳/۴۸ و عرض جغرافیایی ۴۷/۰۶ و در ارتفاع ۱۳۹۱ متر از سطح دریا است.



شکل ۱: نقشه شهرستان و موقعیت ایستگاه سینوپتیک اهر

داده‌ها و روش‌ها

مدل CanESM2:

مدل گردش عمومی جو CanESM2، از سری مدل‌های (AR5)، تحت سناریوهای نماینده خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای RCP2.6 (انتشار کم گازهای گلخانه‌ای)، RCP4.5 (انتشار متوسط گازهای گلخانه‌ای) و RCP8.5 (انتشار زیاد گازهای گلخانه‌ای) است. این مدل، نسل پنجم مدل اقلیمی جفت شده است که توسط مرکز تحلیل و مدل‌سازی آب‌وهوایی کانادا توسعه یافته است (Canada, 2017). مدل CanESM2، دارای سلول شبکه جهانی 128^*64 با تفکیک اتمسفری در حدود $2/8125^*2/8125$ درجه (طول * عرض) و قدرت تفکیک اقیانوسی در حدود $1/41^*0/94$ درجه (طول * عرض) و دارای دوره پایه شبیه‌سازی ۱۹۶۱ - ۲۰۰۵ و دوره شبیه‌سازی آینده ۲۰۰۶ - ۲۱۰۰ است.

مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM5.3):

در این پژوهش از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM5.3 برای بررسی تغییرات دما و بارش در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. ریزمقیاس‌نمایی آماری انجام شده توسط این مدل بر پایه رگرسیون چندگانه و با برقراری ارتباط میان متغیرهای پیش‌بینی شونده و مستقل صورت می‌گیرد (ویلبای و همکاران، ۲۰۰۲). در پژوهش حاضر داده‌های دما و بارش مشاهداتی ایستگاه سینوپتیک موردنظر از سازمان هواشناسی تهیه و بر اساس نحوه کار آماده‌سازی و مرتب شد. پارامترهای اقلیمی مورد مطالعه در مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM برای مقیاس ماهانه شبیه‌سازی و با دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۰۵) مقایسه گردید. برای پیش‌بینی آینده داده‌های دما و بارش ایستگاه سینوپتیک اهر با مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM نیازمند سه نوع داده شامل: داده‌های مشاهداتی روزانه (پیش‌بینی شونده)، داده‌های پیش‌بینی کننده مشاهداتی (NCEP/NCAR) و همچنین داده‌های پیش‌بینی کننده مدل (CanESM2) هستیم.

مراحل کار با این مدل به‌طور خلاصه به شرح زیر است: ۱- آماده‌سازی داده‌های پیش‌بینی شونده و پیش‌بینی کننده‌های بزرگ‌مقیاس: تهیه داده‌های روزانه دما (بیشینه، کمینه و میانگین) و بارش ایستگاه سینوپتیک اهر برای دوره آماری ۱۹۸۶ - ۲۰۰۵ و پیش‌بینی کننده بزرگ‌مقیاس NCEP و CanESM2 با توجه به مختصات ایستگاه مورد مطالعه؛ ۲- کنترل کیفیت داده‌ها و تبدیل داده‌ها؛ ۳- انتخاب بهترین عنصرهای پیش‌بینی کننده؛ ۴- کالیبره کردن مدل، ۵- تولید مولد هواشناسی با استفاده از پیش‌بینی کننده‌های مشاهداتی؛ ۶- آنالیز آماری؛ ۷- تولید سناریوهای اقلیمی با استفاده از پیش‌بینی کننده‌های اقلیمی مدل، ۸- خروجی گرافیکی مدل (شامل مقایسه و سری‌های زمانی).

آزمون من کندال و تخمین گر شیب سن

روش من-کندال ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۴۸) بسط و توسعه یافت (سرانو و همکاران، ۱۹۹۹). فرض صفر آزمون من-کندال بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها است. در این روش ابتدا اختلاف بین هر یک از مشاهدات با تمام مشاهدات پس از آن محاسبه شده و پارامتر S مطابق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

که N تعداد مشاهدات سری و x_k و x_j به ترتیب داده‌های زام و k ام سری می‌باشند.

سن (۱۹۶۸) با توسعه و بسط یک سری مطالعات آماری که تایل (۱۹۵۰) به انجام رسانده بود یک روش نا پارامتری را جهت تحلیل سری‌های زمانی ارائه کرد. این روش نیز همانند روش من-کندال از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بهره گرفته می‌شود. اساس این روش بر محاسبه یک شیب میانه برای سری زمانی و قضاوت نمودن در مورد معنی‌داری شیب به دست آمده در سطوح اعتماد مختلف استوار است (جورج و همکاران، ۲۰۰۹).

بحث و یافته‌ها

اعتبارسنجی مدل SDSM

در جدول ۱، از میان ۲۶ پارامتر پیش‌بینی کننده مدل CanESM2 و بررسی میزان همبستگی آن‌ها با عنصرهای دما و بارش مناسب‌ترین پیش‌بینی کننده‌ها که بیشترین همبستگی معنی‌دار را با داده‌های پیش‌بینی شونده داشت انتخاب شدند. برای مراحل بعدی مدل SDSM و سناریوسازی مورد استفاده قرار گیرد. بر اساس نتایج اعتبارسنجی آورده شده در جدول، استنباط می‌شود که برای دمای میانگین و کمینه ارتفاع ژئو پتانسیل ۸۵۰ و برای دمای بیشینه، میانگین دما در ارتفاع دو متری سطح زمین و برای بارش رطوبت ویژه سطح زمین بیشترین میزان همبستگی را با پیش‌بینی کننده‌های مدل CanESM2 دارند. لازم به ذکر است که با توجه به نتایج پژوهش حاضر و نتایج پژوهش محققان قبلی، میزان همبستگی داده‌های دما بیشتر از بارش است، چون با توجه به ویژگی پارامتر بارش که یک عنصر شرطی و گسسته است، پس به عوامل مختلف محیطی و جوی وابسته بوده و به شدت تحت تأثیر این شرایط قرار می‌گیرد.

جدول ۱: پیش‌بینی کننده‌های منتخب مدل CanESM2 برای دما و بارش روزانه ایستگاه سینوپتیک اهر

پارامتر	پارامتر پیش‌بینی کننده	P_Value	همبستگی جزئی
دمای میانگین	Ncepp850gl.dat	./۰۰	./۵۳
	nceptempgl.dat	./۰۰	./۴۷
دمای بیشینه	Ncepp500gl.dat	./۰۱	./۳۸
	Nceptempgl.dat	./۰۰	./۴۷
دمای کمینه	Ncepp500gl.dat	./۰۱	./۳۹
	Ncepp850gl.dat	./۰۰	./۵۳
	Nceptempgl.dat	./۰۰	./۴۷
بارش	Ncepp5zhgl.dat	./۰۱	./۴۶
	ncepshumgl.dat	./۰۲	./۵۲

سنجش کیفیت نتایج

برای بررسی عملکرد و تحلیل خروجی‌های مدل آب‌وهوایی برای دما و بارش پیش‌بینی شده از معیارهای دقت ضریب تعیین (R^2)، میانگین مربعات خطا (MSE) و مجذور میانگین مربع خطا (MSE) استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - F_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$R^2 = \frac{|\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y})|^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 * \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i - F_i)^2}{n} \quad (4)$$

در این رابطه‌ها، A_i داده‌های مشاهداتی، F_i داده‌های برآورد شده و \bar{x} و \bar{y} میانگین داده‌های مشاهداتی و برآورد شده است. RMSE و MSE معرف بسیاری از روش‌های آماری است. در دو شاخص خطا سنجی مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین انحراف خطا، هرچه پیش‌بینی مدل بیشتر بر داده‌های مشاهداتی منطبق باشد، با توجه به واحد اندازه‌گیری داده‌ها مقدار خطا کمتر و به صفر نزدیک‌تر می‌شود (صداقت کردار و همکاران، ۱۳۸۷: ۶۷). R^2 بیان‌کننده ارتباط داده‌های مشاهداتی و محاسباتی است. دامنه این پارامتر بین ۰ تا ۱ است. هر چه این مقدار به ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده ارتباط قوی بین داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده است؛ و ن؛ وج حاصل از این صحت سنجی در جدول ۲ نشان داده شده است. و ب؛ واس جدول زیر مشخص شد که داده‌های مشاهداتی در طول دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶) با داده‌های شبیه‌سازی شده توسط عنصرهای پیش‌بینی کننده منتخب مدل CanESM2 تطابق قابل قبول و بالایی دارند؛ که ؛ کهپان آن‌ها دمای کمینه با RMSE، ۰/۱۲، MSE، ۰/۰۲، و R^2 ، ۰/ دای بیشترین تطابق است و بارش دارای کمترین تطابق است. و با؛ وجه به نتایج به دست آمده، ملاحظه شد که عنصرهای پیش‌بینی کننده منتخب از کارایی قابل قبول و مناسبی برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی دما و بارش مورد مطالعه برای دوره آینده را داشته‌اند.

جدول ۲: مقدار شاخص‌های ارزیابی مدل پیش‌بینی کننده NCEP ایستگاه اهر

معیارهای آماری	دمای میانگین	دمای کمینه	دمای بیشینه	بارش
RMSE	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۶
MSE	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۳
R^2	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۷۳

شرح و تفسیر نتایج شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی ایستگاه اهر

بررسی تغییرات پارامتر بارش

دوره آینده نزدیک (۲۰۴۵-۲۰۲۶):

سناریوی RCP2.6: با توجه به شکل ۲ و جدول ۳، بارش ماهانه ایستگاه اهر برای سناریوی RCP2.6 در ماه فوریه با ۵ میلی‌متر معادل ۲۷/۲۶ درصد کاهش، بیشترین میزان کاهش و در ماه آوریل با ۲/۳۰ میلی‌متر معادل ۵/۲۳ درصد، بیشترین میزان افزایش را خواهد داشت. بارش به‌جز ماه‌های می، آگوست و سپتامبر در بقیه ماه‌ها روند کاهشی خواهد یافت؛ و میانگین کل بارش ماه‌ها در ایستگاه سینوپتیک اهر در آینده نزدیک در سناریوی RCP2.6 نسبت به دوره پایه، ۳/۳۴ درصد کاهش خواهد یافت.

سناریوی RCP4.5: بارش در ماه فوریه، ۵/۱۳ میلی‌متر معادل ۲۷/۹۷ درصد، کاهش که بیشترین میزان کاهش را در بین ماه‌ها و در ماه می با ۴/۲۰ میلی‌متر معادل ۸/۵۲ درصد، بیشترین میزان افزایش را خواهد داشت؛ و میانگین کل بارش ماه‌ها در ایستگاه سینوپتیک اهر در آینده نزدیک در سناریوی RCP4.5 نسبت به دوره پایه، ۶/۷۵ درصد کاهش خواهد یافت.

سناریوی RCP8.5: با توجه به جدول ۳، بارش در ماه نوامبر نسبت به همان ماه در دوره پایه دارای بیشترین میزان کاهش با ۸/۵ میلی‌متر معادل ۱۴/۶۲ درصد و در ماه می با ۰/۰۸ میلی‌متر معادل ۰/۱۶ درصد، بیشترین میزان افزایش را خواهد داشت؛ و در مجموع میانگین کل بارش ماهانه ایستگاه اهر برای سناریوی RCP8.5 در آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۴۵) نسبت به دوره پایه، ۱۰/۵۴ درصد کاهش خواهد یافت.

دوره آینده میانی (۲۰۶۵-۲۰۴۶):

سناریوی RCP2.6: بارش در ماه اکتبر با ۱۱/۲۹ میلی‌متر معادل ۴۰/۸۳ درصد، بیشترین میزان کاهش و در ماه آوریل با ۱/۳۳ میلی‌متر معادل ۲/۷۹ درصد بیشترین میزان افزایش را خواهد داشت؛ و میانگین کل بارش ماهانه ایستگاه اهر برای این سناریو در آینده میانی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره پایه، ۱۰/۴۷ درصد کاهش خواهد یافت.

سناریوی RCP4.5: بارش در ماه اکتبر با ۱۳/۹۲ میلی‌متر معادل ۴۷/۹۸ درصد، بیشترین میزان کاهش و در ماه آوریل با ۳/۳۶ میلی‌متر معادل ۷/۶۳ درصد، بیشترین میزان افزایش را خواهد داشت. میانگین کل بارش در سناریوی RCP4.5 آینده میانی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره پایه، ۱۵/۳۱ درصد کاهش خواهد یافت.

سناریوی RCP8.5: در این سناریو، بارش در ماه اکتبر با ۱۳/۹۹ میلی‌متر معادل ۴۸/۶۴ درصد، بیشترین میزان کاهش را خواهد داشت؛ و میانگین کل بارش در آینده میانی نسبت به دوره پایه ۱۸/۱۲ درصد کاهش خواهد یافت.

دوره آینده دور (۲۰۸۵-۲۰۶۶):

سناریوی RCP2.6: بارش در این سناریو در ماه اکتبر با ۸/۰۴ میلی‌متر معادل ۲۹/۰۷ درصد، بیشترین میزان کاهش و در ماه آگوست با ۱/۲۳ میلی‌متر معادل ۱۷/۶۴ درصد، بیشترین میزان افزایش را در بین تمام ماه‌های سال خواهد داشت؛ و در مجموع میانگین کل بارش در دوره آینده دور (۲۰۶۶-۲۰۸۵) نسبت به دوره پایه، ۹/۷۷ درصد کاهش خواهد داشت.

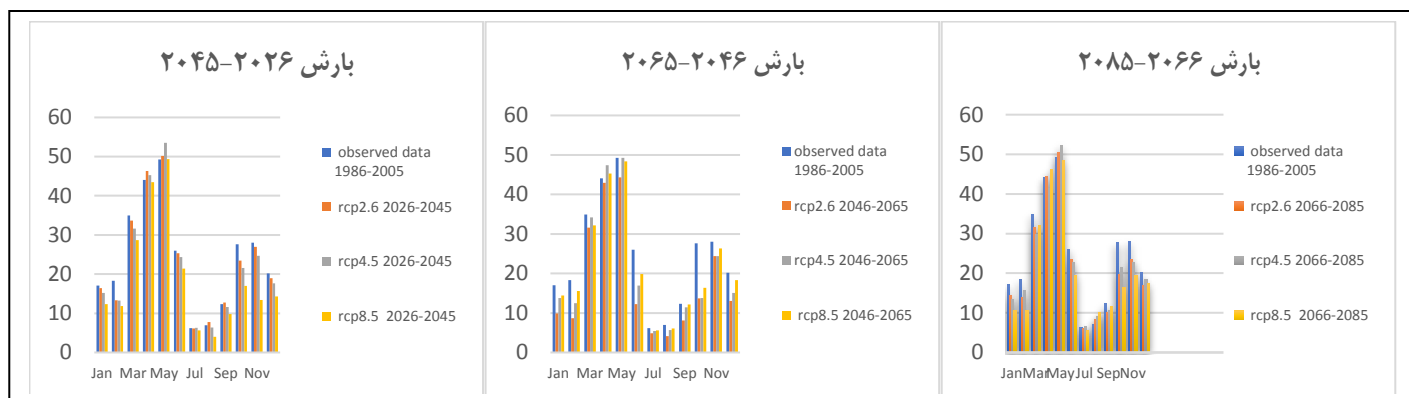
سناریوی RCP4.5: بارش در ماه اکتبر با ۶/۱۸ میلی‌متر معادل ۲۲/۳۵ درصد، بیشترین میزان کاهش و در ماه می با ۳/۰۵ میلی‌متر معادل ۶/۱۸ درصد، بیشترین میزان افزایش را خواهد داشت؛ و میانگین کل بارش در سناریوی RCP4.5 آینده دور (۲۰۶۶-۲۰۸۵) نسبت به دوره پایه ۹/۳۶ درصد کاهش خواهد داشت.

سناریوی RCP8.5: بارش در ماه فوریه با ۸/۸۱ میلی‌متر معادل ۴۸/۰۳ درصد، دارای بیشترین میزان کاهش و در ماه آگوست ۳/۱ میلی‌متر معادل ۴۴/۴۷ درصد، دارای بیشترین میزان افزایش خواهد بود؛ و با توجه به جدول ۴ میانگین بارش کل در این سناریو در دوره آینده دور (۲۰۶۶-۲۰۸۵) نسبت به دوره پایه، ۱۴/۹۷ درصد کاهش خواهد داشت.

با توجه به نتایج به دست آمده جدول ۳، در کل می‌توان گفت که بارش در ایستگاه اهر با توجه به مدل CanESM2 در آینده دارای روند کاهشی خواهد بود؛ و این کاهش در آینده نزدیک نسبت به دو دوره دیگر کمتر و در دوره آینده دور شدیدتر خواهد بود. در آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۴۵)، بارش در فصل بهار افزایش و در فصول پاییز و زمستان روند کاهش و برای دوره آینده دور بارش در فصل تابستان افزایش و در مجموع برای دو دوره میانی و دور روند کاهشی خواهیم داشت.

جدول ۳: تغییرات بارش ایستگاه سینوپتیک اهر تحت سه سناریو و در سه دوره آتی در مقایسه با دوره پایه

سال	Rcp	مشاهداتی	پیش‌بینی	Min	Max	Mean
۲۰۲۶-۲۰۴۵	۲,۶	۲۹۰,۹۸	۲۸۲,۱۴	فوریه ۵ -	آوریل ۲,۳۰ -	- ۰,۸۱
	۴,۵	۲۹۰,۹۸	۲۸۰,۳۶	فوریه ۵,۱۳ -	می ۴,۲۰	- ۱,۶۴
	۸,۵	۲۹۰,۹۸	۲۷۴,۸۴	نوامبر ۱۴,۶۲ -	می ۰,۰۸	- ۴,۹۸
۲۰۴۶-۲۰۶۵	۲,۶	۲۹۰,۹۸	۲۸۱,۵۸	اکتبر ۱۱,۲۹ -	آوریل ۱,۲۳	- ۲,۵۴
	۴,۵	۲۹۰,۹۸	۲۷۲,۳۸	اکتبر ۱۳,۹۲ -	آوریل ۳,۲۶	- ۴,۴۴
	۸,۵	۲۹۰,۹۸	۲۶۱,۵۵	اکتبر ۱۳,۹۹ -	آوریل ۰	- ۶,۰۹
۲۰۶۶-۲۰۸۵	۲,۶	۲۹۰,۹۸	۲۷۸,۲۲	اکتبر ۸,۰۴ -	آگوست ۱,۲۳	- ۹,۷۷
	۴,۵	۲۹۰,۹۸	۲۶۲,۵۸	اکتبر ۶,۱۸ -	می ۳,۰۵	- ۹,۳۶
	۸,۵	۲۹۰,۹۸	۲۴۸,۵۱	فوریه ۸,۸۱ -	آگوست ۳,۱	- ۱۴,۹۷



شکل ۲: مقادیر مجموع بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده تحت سه سناریو و در سه دوره آبی

بررسی تغییرات پارامتر دمای کمینه

دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۴۵):

در آینده نزدیک، در سناریوی RCP۲٫۶، ماه دسامبر با $۰/۲۰$ - درجه سلسیوس روند کاهشی $۸٫۵$ ماه آگوست و در سناریوی $۴٫۵$ ماه فوریه بیشترین میزان افزایش دمایی را خواهند داشت؛ و در مجموع میانگین دما در فصل تابستان دارای روند افزایشی زیاد است.

دوره آینده میانی (۲۰۴۶-۲۰۶۵):

در این دوره در سناریوهای ۲٫۶ و $۸٫۵$ ماه دسامبر و در سناریوی $۴٫۵$ ماه اکتبر کمترین میزان افزایش را خواهد داشت. در سناریوهای ۲٫۶ و $۸٫۵$ ماه فوریه و در سناریوی $۴٫۵$ ماه آگوست بیشترین میزان افزایش دمایی را خواهند داشت؛ و میانگین کل دمای کمینه در این دوره نسبت به دوره پایه در مقایسه با دوره‌های آینده نزدیک و دور بیشترین میزان افزایش را خواهد داشت.

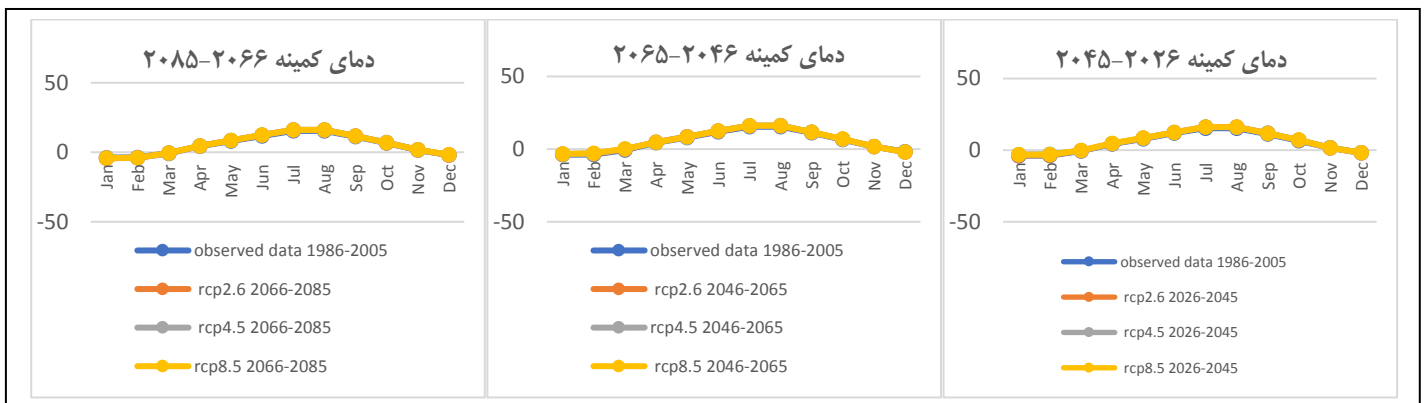
دوره آینده دور (۲۰۶۶-۲۰۸۵):

در دوره آینده دور در سناریوی RCP۲٫۶، دما در ماه ژانویه با $۰/۵۴$ درجه سلسیوس بیشترین میزان کاهش را خواهد داشت، در سناریوی $۴٫۵$ در ماه مارس و در سناریوی $۸٫۵$ در ماه ژانویه کاهش دما رخ خواهد داد. در این دوره در هر سه سناریو دما در ماه آگوست بیشترین میزان افزایش را خواهد داشت که برای سناریوی $۸٫۵$ از بقیه بیشتر خواهد بود. در مجموع میانگین کل دمای کمینه ماه‌ها در این دوره نسبت به دوره پایه $۰/۲۶$ درجه سلسیوس افزایش دما خواهد داشت که برای سناریوی $۸٫۵$ بیشتر از دو سناریوی دیگر است.

با توجه به شکل ۳ و جدول ۴، می‌توان گفت که در مجموع میانگین کل دمای کمینه ایستگاه اهر در آینده (۲۰۲۶-۲۰۸۵)، در ماه‌های فوریه، مارس، ژوئن، جولای و آگوست روند افزایشی و در ماه‌های دسامبر، نوامبر، ژانویه و اکتبر دارای روند کاهشی یا روند افزایشی خیلی کم است.

جدول ۴: تغییرات دمای کمینه ایستگاه سینوپتیک اهر تحت سه سناریو و در سه دوره آتی در مقایسه با دوره پایه

سال	Rcp	مشاهداتی	پیش‌بینی	Min	Max	Mean
۲۰۲۶-۲۰۴۵	۲٫۶	۵٫۳۹	۵٫۴۵	دسامبر ۰٫۲۰ -	آگوست ۰٫۸۲	۰٫۳۶
	۴٫۵	۵٫۳۹	۵٫۴۸	دسامبر ۰٫۰۶	فوریه ۰٫۹۱	۰٫۴۶
	۸٫۵	۵٫۳۹	۵٫۵۲	نوامبر ۰٫۰۱	آگوست ۰٫۸۴	۰٫۴۹
۲۰۴۶-۲۰۶۵	۲٫۶	۵٫۳۹	۵٫۵۷	دسامبر ۰٫۱۵	فوریه ۰٫۵۸	۰٫۳۹
	۴٫۵	۵٫۳۹	۵٫۵۶	اکتبر ۰٫۰۶	آگوست ۰٫۹۷	۰٫۴۸
	۸٫۵	۵٫۳۹	۵٫۶۱	دسامبر ۰٫۱۵	فوریه ۰٫۹۸	۰٫۵
۲۰۶۶-۲۰۸۵	۲٫۶	۵٫۳۹	۵٫۶۹	ژانویه ۰٫۵۴ -	آگوست ۰٫۷۴	۰٫۲۱
	۴٫۵	۵٫۳۹	۵٫۶۶	مارس ۰٫۳۸ -	آگوست ۰٫۷۸	۰٫۲۷
	۸٫۵	۵٫۳۹	۵٫۷۷	ژانویه ۰٫۲۸ -	آگوست ۰٫۸۴	۰٫۳۱



شکل ۳: مقادیر دمای کمینه ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده تحت سه سناریو و در سه دوره آتی

بررسی تغییرات پارامتر دمای متوسط

دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۴۵):

دما در سناریوی RCP۲٫۶ و RCP۸٫۵ در ماه‌های نوامبر و اکتبر کاهش و در سناریوی RCP۴٫۵ در ماه نوامبر کمترین میزان افزایش را خواهد داشت؛ و در هر سه سناریو دما در ماه می بیشترین میزان افزایش را خواهد داشت؛ و میانگین کل دمای متوسط در آینده نزدیک نسبت به دوره پایه، ۰/۵۴ درجه سلسیوس افزایش خواهد داشت.

دوره آینده میانی (۲۰۴۶-۲۰۶۵):

دما در سناریوی RCP۲٫۶ و RCP۸٫۵، در ماه دسامبر و در سناریوی RCP۴٫۵ در ماه اکتبر روند کاهشی خواهد داشت. در سناریوی RCP۲٫۶ و RCP۴٫۵ در ماه می و در RCP۸٫۵ در ماه آوریل بیشترین میزان افزایش را خواهد داشت. دما

در اواخر فصل زمستان و فصل بهار دارای روند افزایشی خواهد بود. میانگین کل دمای متوسط ماه‌های ایستگاه در آینده میانی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره پایه، ۰/۵۲ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت.

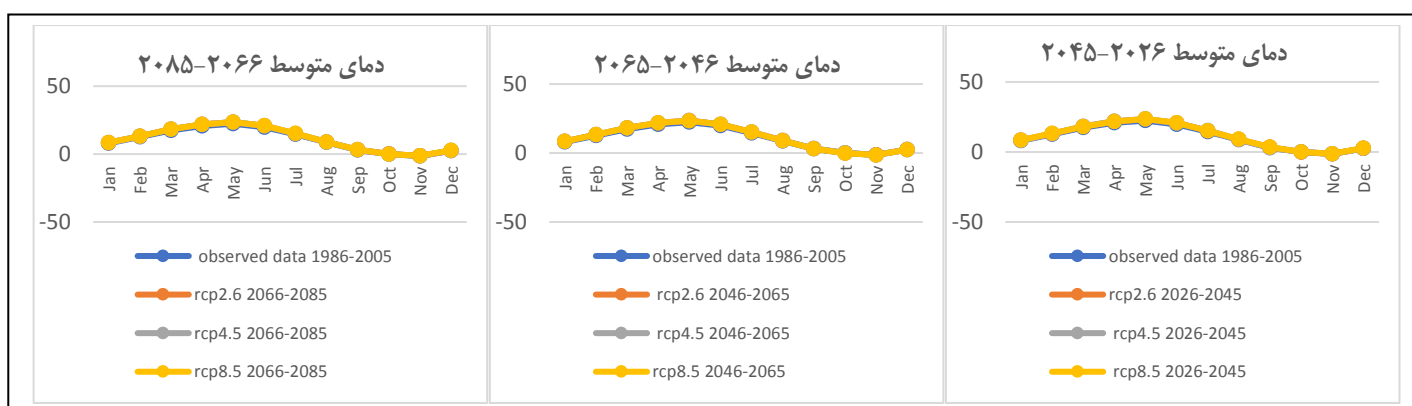
دوره آینده دور (۲۰۸۵-۲۰۶۶):

در این دوره در سناریوی RCP2.6، در ماه نوامبر و در سناریوی RCP4.5 و RCP8.5، در ماه اکتبر دارای روند کاهشی خواهد بود. بیشترین میزان افزایش دمایی، در سناریوی RCP2.6 و RCP4.5، در ماه می و در RCP8.5 در آوریل خواهد بود؛ و از نظر فصلی، فصل پاییز دارای روند کاهشی دما در برخی ماه‌ها و فصل بهار دارای روند افزایشی خواهد بود. در مجموع نیز میانگین کل دمای متوسط ماه‌های ایستگاه در آینده دور (۲۰۶۶-۲۰۸۵) نسبت به دوره پایه، ۰/۵۴ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.

در مجموع با توجه به خروجی مدل CanESM2، برای دمای متوسط در آینده، می‌توان گفت که دمای متوسط در مجموع در آینده افزایش خواهد یافت؛ و در آینده نسبت به دوره پایه، ماه‌های اکتبر و نوامبر روند کاهشی و در بقیه ماه‌های سال افزایش خواهد یافت؛ و بیشترین میزان افزایش دما برای هر سه دوره مورد پیش‌بینی، فصل بهار و برای آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۴۵) ماه می و برای آینده میانی و دور ماه آوریل و می خواهد بود.

جدول ۵: تغییرات دمای متوسط ایستگاه سینوپتیک اهر تحت سه سناریو و در سه دوره آتی در مقایسه با دوره پایه

سال	Rcp	مشاهداتی	پیش‌بینی	Min	Max	Mean
۲۰۴۵-۲۰۲۶	۲,۶	۱۰,۶۸	۱۰,۶۹	نوامبر ۰,۰۳ -	می ۱,۱۲	۰,۵۳
	۴,۵	۱۰,۶۸	۱۰,۶۹	نوامبر ۰,۰۴	می ۱,۱۳	۰,۵
	۸,۵	۱۰,۶۸	۱۰,۸۰	اکتبر ۰,۰۶ -	می ۱,۲۲	۰,۵۹
۲۰۶۵-۲۰۴۶	۲,۶	۱۰,۶۸	۱۰,۷۱	دسامبر ۰,۰۳ -	می ۱,۱۸	۰,۵۲
	۴,۵	۱۰,۶۸	۱۰,۸۱	اکتبر ۰,۰۶ -	می ۱,۱۲	۰,۵۴
	۸,۵	۱۰,۶۸	۱۰,۸۵	دسامبر ۰,۰۲ -	آوریل ۱,۱۸	۰,۴۸
۲۰۸۵-۲۰۶۶	۲,۶	۱۰,۶۸	۱۰,۸۰	نوامبر ۰,۰۱ -	می ۱,۲۰	۰,۵۳
	۴,۵	۱۰,۶۸	۱۰,۸۲	اکتبر ۰,۰۶ -	می ۱,۲۲	۰,۴۷
	۸,۵	۱۰,۶۸	۱۰,۹۱	اکتبر ۰,۰۶ -	آوریل ۱,۱۷	۰,۵۷



شکل ۴: مقادیر دمای متوسط ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده تحت سه سناریو و در سه دوره آتی

بررسی تغییرات پارامتر دمای بیشینه

دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۴۵):

برای آینده نزدیک دما در سه سناریو، در ماه‌های فوریه و ژانویه کمترین میزان افزایش و در ماه‌های آگوست و جولای بیشترین میزان افزایش دما را نسبت به دوره پایه خواهند داشت؛ و میانگین کل دمای بیشینه ایستگاه اهر در آینده نزدیک نسبت به دوره پایه، برای سناریو RCP2.6، ۰/۸۶ درجه سلسیوس، سناریو RCP4.5، ۰/۸۷ درجه سلسیوس و برای سناریو RCP8.5، ۰/۸۲ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت.

دوره آینده میانی (۲۰۴۶-۲۰۶۵):

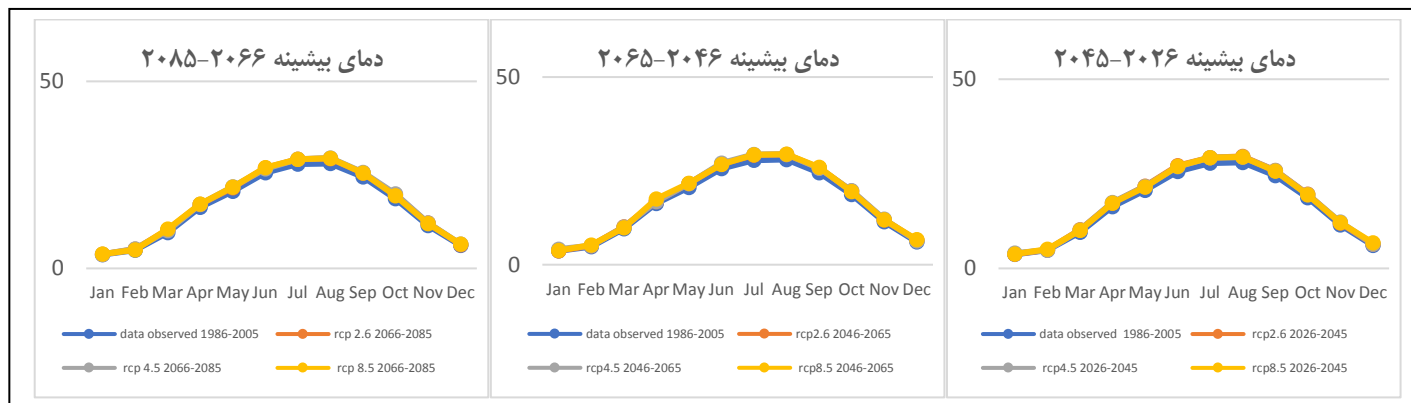
در آینده میانی دمای بیشینه در سه سناریوی ۲/۶، ۴/۵ و ۸/۵ به ترتیب در ماه‌های ژانویه، دسامبر و ژانویه کمترین میزان افزایش دمایی و در ماه‌های جولای هر سه سناریو، بیشترین میزان افزایش دمایی را خواهند داشت. میانگین کل دمای بیشینه ایستگاه اهر در آینده میانی نسبت به دوره پایه، ۰/۸۱ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت.

دوره آینده دور (۲۰۶۶-۲۰۸۵):

در آینده دور دمای بیشینه در سه سناریوی 4.5، 2.6 و 8.5 به ترتیب در ماه‌های ژانویه، ژانویه و فوریه کمترین میزان افزایش دمایی و به ترتیب در ماه‌های جولای، آگوست و آگوست هر سه سناریو، بیشترین میزان افزایش دمایی را خواهند داشت. میانگین کل دمای بیشینه ماه‌های ایستگاه اهر در آینده دور (۲۰۶۶-۲۰۸۵) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶)، ۰/۸۱ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. با توجه به جدول ۶ در مجموع می‌توان گفت که در آینده (۲۰۲۶-۲۰۸۵)، دما در ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس بدون تغییر یا تغییرات افزایشی خیلی کم و در بقیه ماه‌ها دارای روند افزایشی محسوس، به‌ویژه در ماه‌های ژوئن، جولای، آگوست، سپتامبر و اکتبر خواهد بود.

جدول ۶: تغییرات دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک اهر تحت سه سناریو و در سه دوره آتی در مقایسه با دوره پایه

سال	Rep	مشاهداتی	پیش‌بینی	Min	Max	Mean
۲۰۴۵-۲۰۲۶	۲,۶	۱۶,۵	۱۶,۶۱	فوریه ۰,۰۷	آگوست ۱,۵۵	۰,۸۶
	۴,۵	۱۶,۵	۱۶,۶۰	فوریه ۰,۰۱	جولای ۱,۴۴	۰,۸۷
	۸,۵	۱۶,۵	۱۶,۶۶	ژانویه ۰,۰۹	آگوست ۱,۴۲	۰,۸۲
۲۰۶۵-۲۰۴۶	۲,۶	۱۶,۵	۱۶,۶۶	ژانویه ۰,۰۴	جولای ۱,۳۸	۰,۷۷
	۴,۵	۱۶,۵	۱۶,۶۴	دسامبر ۰,۲۵	جولای ۱,۵۲	۰,۸۳
	۸,۵	۱۶,۵	۱۶,۶۸	ژانویه ۰,۱	جولای ۱,۴۷	۰,۸۴
۲۰۸۵-۲۰۶۶	۲,۶	۱۶,۵	۱۶,۷۵	ژانویه ۰,۰۷	جولای ۱,۳۷	۰,۸۰
	۴,۵	۱۶,۵	۱۶,۷۲	ژانویه ۰,۰۷	آگوست ۱,۴۷	۰,۸۴
	۸,۵	۱۶,۵	۱۶,۷۸	فوریه ۰,۱۳	آگوست ۱,۴۰	۰,۸۱



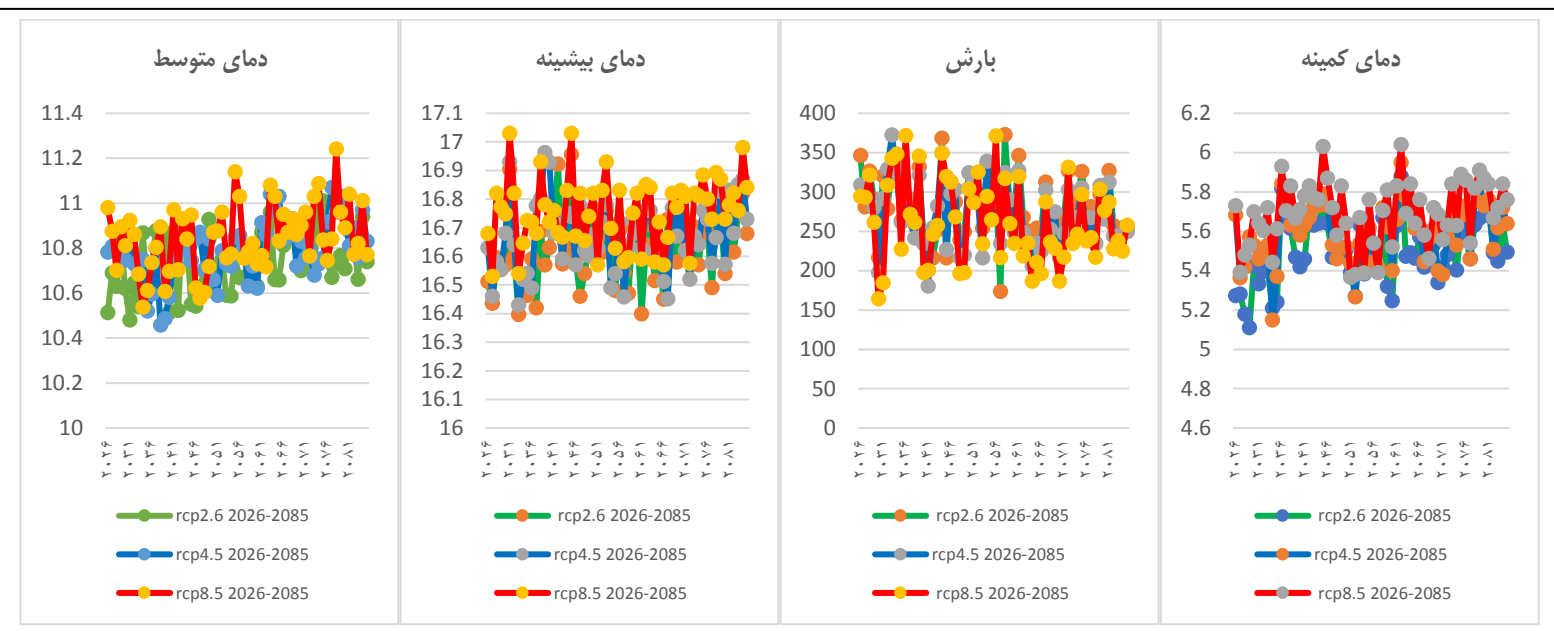
شکل ۵: مقادیر دمای بیشینه ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده تحت سه سناریو و در سه دوره آتی

نتایج تحلیل روند آزمون من کندال و شیب سن

به‌منظور تحلیل روند دما و بارش ایستگاه سینوپتیک اهر از آزمون نا پارامتریک من-کندال استفاده شد. بر اساس جدول ۷ و آزمون آماری نا پارامتری من-کندال در سطح اطمینان ۹۵ درصد، روند بارش در هر سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 کاهشی و غیر معنی‌دار است. عناصر دمایی (کمینه، متوسط و بیشینه)، بر اساس آزمون نا پارامتری من-کندال در سطح ۰/۰۵ درصد دارای روند افزایشی و در بعضی موارد معنی‌دار است. دمای کمینه و دمای بیشینه در سناریوی RCP8.5 دارای روند افزایشی و معنی‌دار است. دمای متوسط در هر سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 دارای روند افزایشی و معنی‌دار است. بر اساس نتایج حاصل از آماره شیب سن جدول ۷، دمای کمینه در هر سه سناریو روند افزایشی و در سناریوی RCP8.5 به میزان ۳/۲۱ درجه سلسیوس، بیشتر از دو سناریوی دیگر خواهد بود. دمای متوسط در سناریوی RCP2.6، به میزان ۳/۲۵ درجه سلسیوس، بیشترین میزان افزایش را نسبت به دو سناریوی دیگر داشت. در دمای بیشینه در سناریوی RCP8.5، دما ۲/۴۹ درجه سلسیوس افزایش دارد که نسبت به دو سناریوی دیگر بیشتر است.

جدول ۷: آماره من-کندال و شیب سن سناریوها در دوره آتی (۲۰۲۶-۲۰۸۵)

سناریوها	آماره	بارش	دمای کمینه	دمای متوسط	دمای بیشینه
RCP2.6	Z	-۱,۱۵	۱,۹۰	۲,۴۵	۱,۶۷
	Sig.			**	
				۰,۰۰۳	۰,۰۰۱
RCP4.5	Z	-۱,۷۴	۱,۶۰	۳,۰۴	۱,۵۲
	Sig.			**	
				۰,۰۰۳	۰,۰۰۲
RCP8.5	Z	-۱,۶۱	۲,۷۲	۲,۹۵	۲,۷۰
	Sig.			**	**
				۰/۰۰۳	۰/۰۰۲



شکل ۶: روند عنصرهای اقلیمی بارش و دما (کمینه، متوسط و بیشینه) سناریوها در دوره آتی (۲۰۲۶-۲۰۸۵)

نتیجه گیری

در این پژوهش عنصرهای اقلیمی دما و بارش ایستگاه سینوپتیک اهر با استفاده از مدل CanESM2 بر اساس سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶)، آینده میانی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) و آینده دور (۲۰۸۵-۲۰۶۶) شبیه‌سازی شد. در این پژوهش از SDSM5.3 و از دوره مشاهداتی (۱۹۸۶-۲۰۰۵) برای مدل‌سازی و پیش‌بینی استفاده شد. خروجی مدل نشان داد که داده‌های پارامتر دما (کمینه، متوسط و بیشینه) همبستگی بالایی را با داده‌های مشاهداتی (۱۹۸۶-۲۰۰۵) نسبت به داده‌های بارش داشته‌اند؛ که با توجه به اینکه داده‌های دما یک عنصر با توزیع نرمال هستند قابل توجیه است، ولی پارامتر بارش از عوامل و شرایط مختلف زمین و اتمسفر بشدت تأثیر می‌پذیرد؛ و بر همین اساس تغییرپذیری بیشتری نسبت به پارامتر دما دارد. بر اساس خروجی مدل مشخص شد که دما در دوره آتی روند افزایشی را در هر سه پارامتر (کمینه، متوسط و بیشینه) خواهد داشت و بارش نیز با توجه به داده‌های مشاهداتی که روند کاهشی دارد، در دوره آینده روند کاهشی خواهد داشت؛ که این روند کاهشی در آینده نزدیک در ماه‌های فوریه و نوامبر و در دو دوره آینده میانی و دور در ماه اکتبر بیشتر خواهد بود؛ و برای ماه‌های آوریل، می و اگوست افزایش بارش اتفاق خواهد افتاد. دمای بیشینه برای همه ماه‌ها و فصل‌ها روند افزایشی، اما دمای کمینه و متوسط در ماه‌های دسامبر، اکتبر و نوامبر روند کاهشی نیز خواهند داشت. به‌طور میانگین دمای کمینه ۰/۳۸ درجه سلسیوس، دمای متوسط ۰/۵۲ درجه سلسیوس و دمای بیشینه ۰/۸۲ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. بر اساس نتایج آزمون من-کندال روند سالانه بارش در آینده کاهشی، دمای متوسط در هر سه سناریو دارای روند افزایشی و معنادار و عناصر دمایی (دمای کمینه، دمای متوسط و دمای بیشینه) در RCP8.5 افزایشی و معنادار خواهد بود. با توجه به نتایج این پژوهش و مقایسه

آن با نتایج پژوهش‌های دیگر می‌توان گفت که با کار ونکاتارمن و همکاران (۲۰۱۶)، گولاچا و مولانگو (۲۰۱۷)، رجبی و شعبانلو (۲۰۱۲)، چیمما و همکاران (۲۰۱۳)، محمدی و همکاران (۱۳۹۸)، ذهبیون و همکاران (۱۳۹۷)، عساکره و همکاران (۱۳۹۵)، احمدی و همکاران (۱۳۹۸) یکسان بوده است. با توجه به روند افزایشی پارامتر دما در دوره آتی که در میانگین کل دماهای کمینه، متوسط و بیشینه مشاهده شد و دماهای کمینه، متوسط در فصل پاییز و زمستان در بعضی دوره‌ها روند کاهشی خواهد داشت و دمای بیشینه برای همه فصل‌ها در کل افزایشی خواهد بود؛ و از طرفی بارش ماه‌های اکتبر، نوامبر و فوریه کاهش شدید و ماه‌های آوریل و می دارای روند افزایشی کم خواهد بود که نشان از تغییر رژیم بارش در منطقه و افزایش آن در فصل بهار است. پس لازم خواهد بود که الگوهای کشت، کشاورزی و باغداری منطقه بر اساس تغییرات، اصلاح شوند و همچنین در مدیریت منابع آبی و مدیریت انرژی با توجه به کاهش‌های دمایی در برخی ماه‌ها و افزایش دما در فصل‌های گرم دقت بیشتری شود. تا بتوان خود را با شرایط جدید و همراه با تغییر اقلیم آینده وفق داد. همچنین با توجه به کاهش بارش در بیشتر ماه‌ها و افزایش آن در فصل بهار به‌ویژه در ماه‌های آوریل و می، شاهد افزایش مخاطرات محیطی و بخصوص سیل و بحث مدیریت مخاطرات خواهیم بود و باید توجه لازم و پیش‌بینی‌های دقیق را نسبت به این مخاطره محیطی داشته باشیم تا خسارات جانی و مالی کمتری را در سطح منطقه شاهد باشیم.

منابع

- ۱- احمدی، محمود؛ داداشی رودباری، عباسعلی؛ اکبری ازیرانی، طیبه؛ کرمی، جمال (۱۳۹۸): کارایی مدل HadGEM2-ES در ارزیابی نابهنجاری فصلی دمای ایران تحت سناریوهای واداشت تابشی، مجله فیزیک زمین و فضا، شماره ۴۵، صص. ۶۲۵-۶۴۴.
- ۲- خالدی، شهریار؛ رضویان، محمد. تقی؛ جمالی، فریماه. سادات (۱۳۹۸): شناسایی تغییر دما و بارش تهران در ۲۰ سال آینده و سازگاری با این تغییر، کنفرانس بین‌المللی تغییر اقلیم، تهران دانشگاه خوارزمی، خرداد ۱۳۹۸.
- ۳- ذهبیون، باقر. حصیرچیان، مهرابه. خزائی، محمد. رضا (۱۳۹۷): ارزیابی عملکرد مدل SDSM در بررسی اثر تغییر اقلیم بر بارش و دما، فصل‌نامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. سال نهم، شماره ۳۴.
- ۴- روحی پناه، فاطمه؛ میررکنی، سید مجید؛ مساح بوانی، علیرضا (۱۳۹۴): بررسی توانمندی مدل SDSM در ریزمقیاس دمایی دما و بارش در اقلیم گرم و خشک (بررسی موردی: ایستگاه‌های یزد و طبس). مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۹، شماره ۴، صص. ۱۰۴-۱۲۵.
- ۵- صداقت‌کردار، عبدا...؛ فتاحی، ابراهیم (۱۳۸۷): شاخص‌های پیش‌آگاهی خشک‌سالی در ایران، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۱.
- ۶- عباس نیا، محسن؛ طاووسی، تقی؛ خسروی، محمود (۱۳۹۶): ارزیابی جامع تغییرات فصلی آینده دمای بیشینه ایران طی دوره گرم بر اساس مدل‌های گردش عمومی جو، مجله آمایش جغرافیای فضا، فصل‌نامه علمی - پژوهشی گلستان، آل هفتم، شماره مسلسل ۲۵.
- ۷- عساکره، حسین؛ شاه منصوری، بهرام (۱۳۹۵): بررسی و پیش‌بینی تغییرات دمای ایستگاه اراک بر اساس مدل ریزمقیاس دمایی آماری، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۸، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵، صص. ۲۱۲-۱۹۳.

- ۸- عساکره، حسین؛ کیانی، حدیث (۱۳۹۶): ارزیابی کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی میانگین دمای شهر کرمانشاه، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۷، شماره ۱۰۵.
- ۹- علیزاده چوبری، امید و نجفی، محمد سعید (۱۳۹۶): روند تغییرات دمای هوا و بارش در مناطق مختلف ایران، فیزیک زمین و فضا، ۴۳(۳): ۵۸۴-۵۶۹.
- ۱۰- کردوانی، پرویز؛ علیجانی، بهلول؛ جوادی زاده، فرشاد؛ اسدیان، فریده (۱۳۹۷): کارایی الگوهای مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM در پیش‌بینی پارامترهای دمایی در حوضه آبریز میناب، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، سال ۱۱، شماره ۴۲.
- ۱۱- گل محمدی، مریم؛ مساح بوانی، علیرضا (۱۳۹۰): بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشک‌سالی حوضه قره‌سو در دوره‌های آبی تحت تأثیر تغییر اقلیم. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۲، صص. ۳۲۶-۳۱۵.
- ۱۲- گودرزی، مسعود؛ نادری، سهراب؛ قدمی دهنو، محمد (۱۳۹۶): اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی در حوزه سیمره، انجمن آبخیزداری ایران، سال ۱۱، شماره ۳۹.
- ۱۳- محمدی، حسین؛ زارعی، کبری؛ بازیگر، سعید (۱۳۹۸): پیش‌بینی عناصر اقلیمی دما و بارش ایستگاه سینوپتیک گرگان بر اساس سناریوهای RCP. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۱، شماره ۴، صص. ۵۷۹-۵۶۳.

- 14- Canada, (2017): Canesm2 Predictors: CMIP5 Experiments.
[Http://www.cccsn.ec.gc.ca/?Page=Pred-Canesm2](http://www.cccsn.ec.gc.ca/?Page=Pred-Canesm2).
- 15- Collins, M. Knutt, R. Arbalester, I. Dufresne, L. Fichefet, T. Fried Ling Stein, P. Gao, X. Gutowski, W.J. Johns, T. Krinner, G. Shongwe, M. Tebaldi, C. Weaver, A.J. Wehner, M, (2013): Long-Term Climate Change: Projections, Commitments And Irreversibility.
- 16- Cunderlik, J M. Ouarada, B. M. J, (2009): Trends In The Timing And Magnitude Of Floods In Canada, J. Of Hydrology, No. 375, Pp. 471- 480.
- 17- Fallah-Ghalhari, G. Shakeri, F. & And Dadashi-Roudbari, A. (2019): Impacts Of Climate Changes On The Maximum And Minimum Temperature In Iran. Theoretical And Applied Climatology, 138(3-4): 1539-1562.
- 18- IPCC, 2001, Climate Change (2001): The Scientific Basis, Cambridge Univ, Perss, And New York. In Intense Precipitation In The Climate Record, J. Climate Change, 18. Pp. 1326-1350.
- 19- IPCC, 2013, In Climate Change (2013): The Physical Science Basic Contribution Of Working Group 1 To The. Fifth Assessment Report Of The Intergovernmental Panel On Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom And New York, USA.
- 20- IPCC, (2018): Special Report: Global Warming Of 1.5 °c.
[Https://www.ipcc.ch/Sr15/](https://www.ipcc.ch/Sr15/)
- 21- Kendall, M.G, (1948): Rank Correlation Methods.
- 22- Koch, M. Cherie, N, (2013): Mono And Multi-Model Statistical Downscaling Of GCM-Climate Predictors For The Upper Blue Nile River Basin, Ethiopia. In Proceedings Of The 6th International Conference On Water Resources And Environment Research, ICWRER (Pp. 3-7)
- 23- Kurdish, P. Alijani, B. Javadizadeh, F. Asadian, F, (2018): Efficiency Of SDSM Statistical Exponential Microscale Model Models In Predicting Temperature Parameters In Minab Catchment, Quarterly Journal Of Natural Geography, Volume 11. Number 42.
- 24- Mann, H. B, (1945): Nonparametric Tests Against Trend. Econometrical. Journal Of The Econometric Society, 245-259.
- 25- Metekiya, M.G. Deogratias M. 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. 100, Pp. 62-72.
- 26- Rashid Mahmood, M. Babel, S, (2014): Future Changes In Extreme Temperature Events Using The Statistical Downscaling Model (SDSM) In The Transboundary Region Of The Jhelum River Basin. Weather And Climate Extremes 5-6: Pp. 56-66

- 27- Salon, S. Cossarini, G. Libralato, S. Gao, X. Solidoro, C. Giorgi, F, (2008): Downscaling Experiment For The Venice Lagoon. I. Validation Of The Present-Day Precipitation Climatology. *Clim. Res.* 38, Pp. 41-31.
- 28- Saraf, V. R. Regular, D. G, (2016): Assessment Of Climate Change For Precipitation And Temperature Using Statistical Downscaling Methods In Upper Godavari River Basin, India. *Journal Of Water Resource And Protection*, No. 8, Pp. 31-45.
- 29- Sarwar, R. Irwin, S.E. King, L.M. Simonovic, S.P, (2010): Assessment Of 8.
- 30- Schimidli, H, Goodess, C. M. Frei, C. Haylouk, M.R. Schmith, S, (2007): Statistical And Dynamical Downscaling Precipitation: An Evaluation And Comparision Of Scenario For The European Alps, *Jurnal. Geophysical Research*, 112. Pp. 1-20.
- 31- Serrano, A. Mateos, V. L. Garcia, J. A, (1999): Trend Analysis Of Monthly Precipitation Over The Iberian Peninsula For The Period 1921-1995. *Phys. Chem EARTH (B)*, VOL. 24, NO. 1- 2, Pp. 85-90.
- 32- Tan, M. L, Ibrahim, A.B, Latif, Y, Zulkifli, Ch, Vivien, P, Chan, N.W, (2017): Climate Change Impacts Under CMIP5 RCP Scenarios On Water Resources Of The Kelantan River Basin, *Malaysia Atmospheric Research*. 189, Pp. 1-10.
- 33- Theil, H, (1950): A Rank Invariant Method Of Linear And Polynomial Regression Analysis, Part3. *Netherlands Akademie Vanwettenschappen, Proceedings*. 53. Pp. 1397-1412
- 34- Venkatarman, K, (2016): 21st Century Drought Outlook For Major Climate Divisions Of Texas Based On Texas Based On CMIP5 Multimodal Ensemble: Implications For Water Resource Management. *Journal Of Hydrology*. 534, Pp. 300-316.
- 35- Wetter Hall, F, (2005): Statistical Downscaling Of Precipitation From Large -Scal Atmospheric Circulation - Comparison Of Methods And Climate Region. *Msc Dissertation, Faculty Of Sceince And Technology, UPPSALA University*.
- 36- Wilby, R. L. Dawson, C.W, (2007): Using SDSM Version 4.2 -A Decision Support Tool From Assessment Of Regional Climate Change Impacts, *User Manual*.
- 37- Wilby, R. L. Dawson, C.W. Barrow, E. M, (2002): SDSM- A Decision Suport Tool For The Assessment Of Regional Climate Change Impacts. *Journal Of Environmental Modeling And Software*, 17, Pp. 147-159.
- 38- Xu, C.Y, (1999): From Gcms To River Flow: A Review Of Downscaling Methods And Hydrologic Modeling Approaches, *Journal. Physical Geography*. 23, Pp. 203-228.
- 39- Yue, T. X. Zhao, N. Zemeng, F. Jing, L. Chuanfa, Ch. Yimin, L, Chenliang, W. Bing, X. Wilson, J, (2016): CMIP5 Downscaling And Its Uncertainty In China. *Global And Planetary Change*.414, Pp. 30-37.