

پیش بینی و بررسی آینده‌ی تغییرات آب و هوایی در شهر تهران

محمدرضا یوسفی : گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

شهریار خالدي: گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران^۱

فریده اسدیان : گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۳

چکیده

این مقاله با هدف پیش نگری روند تغییر اقلیم در شهر تهران نوشته شد. در این مقاله وضعیت بارش و دمای (حداقل و حداکثر) تهران در ایستگاه های سینوپتیک ژئوفیزیک، شمیرانات و مهرآباد طی دوره (۱۹۹۲ تا ۲۰۱۸) بررسی و برای شناسایی وجود جهش و آشکارسازی سالهای رخداد جهش از آزمون ناپارامتریک من کندال استفاده شد. همچنین برای پیش یابی تغییرات عناصر اقلیمی در تهران از داده های cmip5 و مدل Lars برای سه سناریوی RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 بهره گرفته شد. نتایج حاصل از بررسی روند سری زمانی دما و بارش سه ایستگاه مورد بررسی شهر تهران، با استفاده از آزمون تحلیل روند من کندال، نشان داد که در مورد هیچ کدام از فاکتورهای اقلیمی در سه ایستگاه مورد بررسی، تغییر معنی داری در سطح اطمینان $P_value = 0.05$ رخ نداده است. اما جهش ها و نوسانات سالانه زیادی در سری زمانی دما و بارش ایستگاه ها مشاهده شد. همچنین نتایج حاصل از پیش یابی پارامترهای اقلیمی دمای حداقل، حداکثر و بارش در منطقه مورد بررسی نشان داد که، دمای حداقل و حداکثر تا سال ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه (۱۹۹۲ تا ۲۰۱۸) در هر سه خط سیر انتشار دی اکسید کربن RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5، به صورت معنی داری در هر سه مورد مطالعه افزایش خواهد یافت. اما بارش در سال ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه سالهای ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۸ در هر سه خط سیر انتشار دی اکسید کربن میزان بارش به صورت معنی داری در هر سه ایستگاه به میزان ۱/۷ میلیمتر در ماه کاهش خواهد یافت.

کلید واژه ها: دما، بارش، مدل Lars، مدل گردش عمومی جو، من-کندال، تهران

مقدمه

از اواخر قرن ۱۹، تقریباً در تمام نقاط جهان یک روند گرمایشی به وجود آمده است (هانس^۱ و همکاران، ۲۰۱۰؛ لاوریمور^۲ و همکاران، ۲۰۱۱). توافق گسترده‌ای مبنی بر این که تغییر آب و هوا منجر به تغییر در شدت، دامنه و مدت زمان وقایع حدی خواهد شد و باعث ایجاد اوضاع بی‌سابقه در هوا و وقایع اقلیمی می‌شود وجود دارد (فیلد^۳ و همکاران، ۲۰۱۲). مهم‌ترین ویژگی تغییر اقلیم، افزایش معنی‌دار دما و توزیع ناموزون بارش است (ونگ^۴ و همکاران، ۲۰۱۵). یکی از نشانه‌های بارز تغییر اقلیم، پدیده‌های شدید آب‌وهوایی است. با توجه به روند تغییرات آب‌وهوا و گرمایش جهانی به وجود آمده احتمال بارش‌های سنگین و به تبع آن خطر سیل بر اثر سیستم زهکشی نادرست و عوامل فیزیکی و محیطی و ... افزایش یافته است (اسپروتو^۵ و همکاران، ۲۰۱۶: ۱۰۳۲). طبق گزارش‌های IPCC تغییر اقلیم باعث تغییرات هیدرولوژی در چند دهه‌ی اخیر در سطح جهان شده و به گونه‌ای که احتمال مواجهه با رخداد‌های حداکثر اقلیمی مانند سیلاب افزایش یافته است. اثرات تغییر اقلیم بر روی میزان و الگوهای باران‌های سیل‌آسا در مقیاس محلی هنوز تا حد زیادی ناشناخته و تحت تأثیر عوامل دیگر (مثل شهرنشینی) به سختی قابل تشخیص است (IPCC، ۲۰۱۴). روش‌های مختلفی جهت پیش‌بینی و شبیه‌سازی اقلیم آینده وجود دارد که جامع‌ترین این روش‌ها مدل‌های گردش عمومی جو هستند که به منظور شبیه‌سازی اقلیم حال حاضر کره زمین توسعه داده شده‌اند تا تغییرات اقلیم آینده کره زمین را پیش‌بینی کنند. پیش‌بینی مدل‌های گردش عمومی بر اساس افزایش گازهای گلخانه‌ای جو زمین شامل دی‌اکسید کربن، متان، اکسید نیتروژن، بخار آب و ذرات سولفات می‌باشد که در اثر فعالیت بشر تولید می‌شوند. 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. هر کدام از سناریوها بر مبنای فرضیات مختلفی راجع به رشد جمعیت، توسعه اقتصادی، تحول فن‌آوری، سطح زندگی و گزینه‌های موجود تولید انرژی استوار می‌باشند که به آن‌ها سناریوی انتشار نیز اطلاق می‌شود (سادات آشفته، ۱۳۹۳). یکی از مشکلات عمده در استفاده از خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو (GCM)، بزرگ مقیاس بودن سلول‌های محاسباتی آن‌ها به لحاظ مکانی نسبت به منطقه مورد مطالعه می‌باشد. روش‌های مختلفی جهت تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از سناریوهای اقلیمی مدل‌های GCM وجود دارد که به این روش‌ها، ریزمقیاس کردن گفته می‌شود (دشت بزرگی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۰۶).

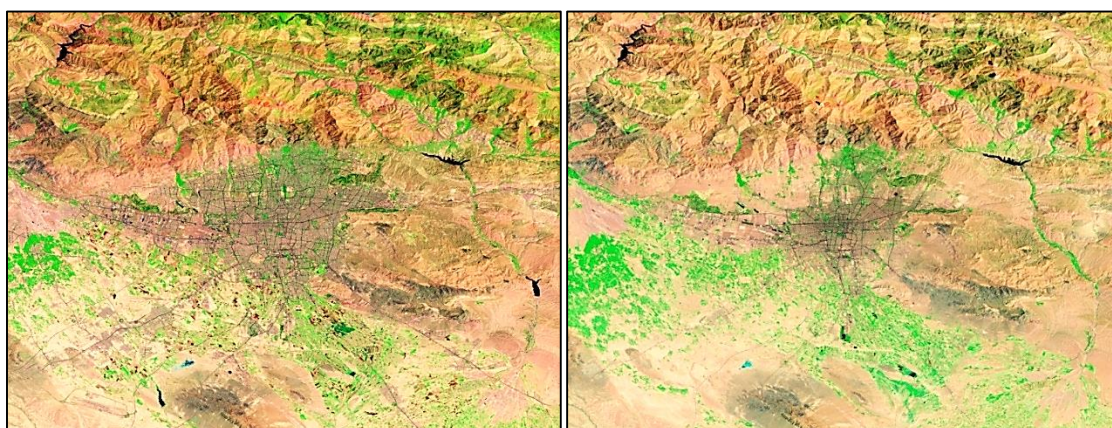
اهمیت پدیده تغییر اقلیم موجب توجه پژوهشگران مختلف در سراسر کره زمین شده است. از جمله می‌توان به مطالعات ذیل اشاره نمود. ویتروال و همکاران^۶ (۲۰۰۵) در پژوهشی در کشور چین و سوئد، تغییرات بارش را با استفاده از خروجی‌های مدل گردش عمومی NCAR، HARDAM3P و خروجی‌هایی NCEP با توجه به روش‌های کوچک مقیاس‌سازی آماری مورد بررسی قرار داد. (چنگ و همکاران^۷، ۲۰۰۸)، متغیرهای هواشناسی مختلف را با استفاده از روش‌های کوچک مقیاس‌سازی آماری سناریوهای اقلیمی روزانه و ساعتی، سه مدل گردش عمومی در بخش‌های مرکزی-جنوبی کانادا را شبیه‌سازی نمودند و به این نتیجه رسیدند که روش‌های آماری دارای عملکرد خوبی در تولید متغیرهای هواشناسی در مقیاس ایستگاهی هستند. چن و همکاران^۸ (۲۰۱۲) دو مدل SDSM و ماشین بردار پشتیبان برای ریزمقیاس نمودن بارندگی در حوزه رودخانه هانجیانگ استفاده گردید و نتایج عملکرد بهتر مدل SDSM در مقایسه با ماشین بردار پشتیبان را نشان داد. (ژان باپتیست و همکاران^۹، ۲۰۱۵) اثرات تغییرات آب‌وهوایی و کاربری اراضی را در خصوص فرسایش و پایداری خاک برای دو دوره آب‌وهوایی و کاربری اراضی فعلی و پایان قرن بیست و یکم با سناریوی A1B برای بارش را بررسی نموده‌اند و نتیجه گرفته‌اند که میزان فرسایش و پایداری خاک به تغییرات کاربری اراضی نسبت به تغییرات بارش حساسیت بیشتری دارند. (شکلا و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۵) از مدل SDSM برای ریزمقیاس نمایی پارامترهای بارش و دمای مدل گردش عمومی جو (GCM) استفاده نموده و نتایج آن حاکی از افزایش میانگین دما و بارش در دوره‌های آتی خواهد بود. گنت و همکاران^{۱۱} (۲۰۱۸) در پژوهشی با عنوان ریزمقیاس نمایی دما و بارش آینده در آدیس‌آبابا تحت شرایط تغییر اقلیم از مدل canESM2 و CGCM3 و سناریوهای RCP4.5، RCP8.5 و A1B، A2 با استفاده از مدل آماری SDSM به بررسی تغییرات آینده دمای حداکثر و حداقل و بارش پرداخته‌اند و به این

1. Hansen et al
2. Lawrimore et al
3. Field et al
4. Wang et al
5. Sperotto et al
6. Wetter hall et al
7. Cheng et al
8. Jean-Baptiste et al
9. Shukla at al
10. Getnet et al

نتیجه رسیدند که حداکثر دما در سناریو RCP4.5 حدود ۰/۹ درجه تا سال ۲۰۲۰ و در سناریو A2 حدود ۲/۱ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۰۸۰ افزایش خواهد داشت. در دمای حداقل هم در سناریوهای فوق به ترتیب ۰/۳ و ۱ درجه در سال‌های مورد اشاره افزایش خواهد داشت. حداکثر تغییر میزان بارش هم در سال ۲۰۸۰ بر اساس سناریوهای RCP8.5 و A2 در حدود ۱۱/۸ تا ۱۶/۶۲ درصد افزایش خواهد داشت.

در ایران نتایج پژوهش دهقانی پور و همکاران (۱۳۹۰)، جهت ریزمقیاس نمایی داده‌های بارش، دما و تبخیر در تبریز از مدل SDSM نشان داد که این مدل عملکرد مناسبی در ریزمقیاس کردن داده‌ها دارد. همچنین دهقانی و همکاران (۱۳۹۶) در مقاله‌ای به منظور بررسی اثر اقلیم بر میزان آب قابل بارش در سواحل شمالی خلیج فارس اقدام به شبیه‌سازی آب قابل بارش برای دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۵۰ بر اساس سناریو RCP4.5 و مدل Hadcm3 کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که سری زمانی سالانه آب قابل بارش منطقه روند افزایشی داشته است. احمدآبادی و صدیقی فر (۱۳۹۷) در پژوهشی به پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز کن بر اساس مدل ریزمقیاس نمایی آماری پرداخته و نتیجه گرفتند که در شرایط اقلیمی آینده برای دوره زمانی ۲۰۱۶-۲۰۴۵ کاهش بارندگی، افزایش دما و کاهش تبخیر و تعرق واقعی محتمل است. کریمی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی تغییرات دما و پیش‌بینی دمای حدی از مدل آماری-دینامیکی SDSM در استان گیلان و مازندران پرداخته و نتایج آن نشان داده که تغییرات از نوع روند افزایشی و ناگهانی خواهد بود و بیشترین تغییر در حداقل دمای ماهانه و سالانه در حدود ۰/۱ تا ۱/۷ درجه سانتی‌گراد به دست آمده است. همچنین افزایش دمای شبانه و کاهش تفاوت دمای فصل سرد و گرم را در پژوهش خود به دست آورده‌اند. زارعی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از مدل گردش عمومی جو canESM2 تحت سه سناریو RCP2.6, 4.5, 8.5 برای متغیرهای دما و بارش در استان چهارمحال و بختیاری استفاده کرده‌اند و نتیجه گرفته‌اند که: متوسط دما در مقیاس سالانه در هر سه سناریو ۱/۶ تا ۱/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. تغییرات مجموع بارندگی روزانه در سه سناریو افزایش بارندگی در فصول بهار و تابستان و کاهش در فصل زمستان خواهد بود. ناصر زاده و طولابی نژاد (۱۳۹۸) تغییرات هسته‌های بارش در ایران را با هدف شناخت جابجایی مکانی هسته‌های بارش به عنوان یک عامل تأثیرگذار در شرایط هیدرولوژیکی آینده ایران را با استفاده از داده‌ها شامل بارش ماهانه ۸۶ ایستگاه سینوپتیک با طول دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۸۶ و داده‌های حاصل از خروجی مدل CCSM4 تحت سناریوهای سه‌گانه (RCP2.6, RCP4.5, RCP6) از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۳۶ انجام دادند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که هسته‌های بارشی در کل پهنه ایران در فصول چهارگانه تغییراتی با روند منفی در آینده خواهد داشت. نتایج حاصل از بررسی سناریوهای سه‌گانه نشان داد که جابجایی هسته بارشی فصل بهار از سراسر نیمه شمالی کشور به منتهی الیه شمال غرب کشور در مرزهای مشترک ایران، ترکیه و ارمنستان (منطقه ماکو و جلفا) محدود می‌گردد اما در فصل تابستان، هسته پربارش سواحل شمالی و بخش‌هایی از شمال غرب کشور به منتهی‌الیه جنوب شرق کشور (اطراف خاش و سراوان) منتقل خواهد شد. در فصل پاییز پهنه پربارش که در سراسر نیمه شمالی کشور قرار دارد به دو هسته مجزا در زاگرس مرکزی (مناطق دنا و زدکوه) و جنوب غرب خزر (منطقه انزلی و آستارا) تغییر مکان خواهد داد و هسته بارشی فصل زمستان از بخش‌های زاگرس مرکزی و ناحیه خیزی به شمال غرب کردستان و جنوب غرب آذربایجان غربی منتقل خواهد شد که این موضوع در تمام سناریوها به چشم می‌خورد. نکته دیگر این که، علاوه بر کاهش پهنه‌های بارشی، در آینده نیز پهنه‌های خشکی مساحت بیشتری از کشور را در بر خواهد گرفت. حجازی زاده و همکاران (۱۴۰۲)، چشم انداز تغییرات شاخص‌های حدی دما و بارش در استان کردستان بر اساس سناریوهای واداشت تابشی (RCP) را با استفاده از داده‌های روزانه بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر ۶ ایستگاه همدید در طول دوره آماری (۱۹۹۰-۲۰۱۶) بررسی کردند. تغییرات داده‌ها در دوره (۲۰۶۰-۲۰۴۱) با استفاده از مدل جهانی HadGEM2 تحت دو سناریو RCP2.6 و RCP8.5 و ریزمقیاس‌گردانی آماری LARS-WG6 مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که در دوره (۲۰۱۶-۱۹۹۰) شاخص‌های فرین گرم دارای روندی مثبت و افزایشی هستند. این روند برای شاخص تعداد روزهای تابستانی و بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه، معنادار است. این در حالی است که شاخص‌های فرین سرد دارای روند کاهشی و منفی بوده است. این روند فقط برای شاخص تعداد روزهای سرد معنادار بود. بارش‌های فرین نیز در اغلب ایستگاه‌ها دارای روند منفی و کاهشی است و این روند در اکثر ایستگاه‌ها معنادار است. نتایج حاصل از چشم انداز تغییرات اقلیمی نیز نشان داد در دوره آینده میزان دما افزایش و میزان بارش کاهش خواهد یافت.

شهر تهران در اوایل ۱۹۴۰ میلادی حدود ۷۰۰ هزار نفر جمعیت داشت که در سال ۱۹۶۶ به ۳ میلیون نفر رسید و در سال ۱۹۸۶ یعنی در خلال جنگ ایران و عراق و با اضافه شدن آوارگان جنگ به ۶ میلیون نفر رسید. در سال ۲۰۰۹ جمعیت ناحیه متروپلیتن تهران به ۱۰ میلیون نفر رسید. اشکال (۱ الف و ب) چگونگی رشد شهر تهران را با استفاده از ماهواره لندست ۵ ناسا به روش پردازش false-color نمایش می‌دهد.



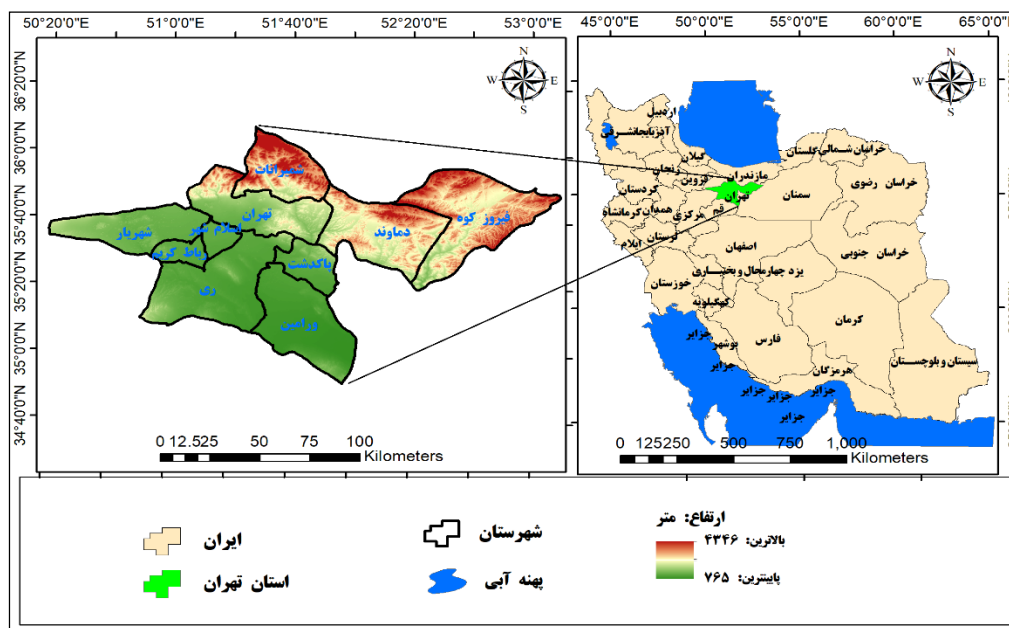
شکل (۱). الف: تصویر ماهواره ای تهران در سال ۱۹۸۵ ب: تصویر ماهواره ای تهران در سال ۲۰۰۹

تهران میزبان نزدیک به نیمی از فعالیت های صنعتی ایران است و بر اساس آمارها روزانه بیش از ۴ میلیون خودرو در شهر تهران تردد می کنند که حجم خودرو ها ۶ برابر ظرفیت خیابان ها است و این به معنای اشباع ظرفیت معابر و ترافیک در خیابان های این شهر و اتلاف انرژی و سوخت و آلودگی بیشتر هوا است. این شهر یکی از آلوده ترین ها هوا را در میان شهرهای بزرگ جهان داراست. توپوگرافی به مشکل آلودگی هوای این کلانشهر می افزایند. تهران در ارتفاع زیادی قرار دارد و توسط رشته کوه البرز احاطه شده است که این باعث می شود هوای آلوده به دام افتد. پژوهش های گوناگون نشان داده اند که شهرنشینی و پیامدهای ناشی از آن، سبب تغییرات گسترده در پارامتر تعداد روزهای بارش و شدت بارش می شوند. بنابراین هدف اصلی این تحقیق پیش نگری روند تغییر اقلیم در تهران است.

روش تحقیق

معرفی محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه با وسعتی حدود ۱۸,۹۵۶ کیلومترمربع بین ۳۴ تا ۳۶/۵ درجه عرض شمالی و ۵۰ تا ۵۳ درجه طول شرقی واقع شده است. این استان از شمال به استان مازندران، از جنوب به استان قم، از شرق به استان سمنان و از غرب به استان قزوین محدود شده و مرکز آن شهر تهران است. پرجمعیت ترین شهر و پایتخت ایران، مرکز استان تهران و شهرستان تهران است. این شهر در برآورد سال ۱۴۰۱ بالغ بر ۹,۰۳۹,۰۰۰ تن جمعیت داشته است و براساس برآورد سال ۲۰۱۸ سازمان ملل متحد، سی و چهارمین شهر پرجمعیت جهان و پرجمعیت ترین شهر غرب آسیا می باشد. کلان شهر تهران نیز دومین کلان شهر پرجمعیت خاورمیانه است. از دید ناهمواری های طبیعی، تهران به دو ناحیه دشتی و کوهپایه ای البرز تقسیم می شود و گستره کنونی آن از ارتفاع ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متری از سطح دریا امتداد یافته است. تهران دارای اقلیم نیمه خشک است. در بیشتر سال ها، فصل زمستان نیمی از کل بارش های سالانه تهران را تأمین می کند و تابستان نیز کم باران ترین فصل در تهران است. شکل (۲).



شکل (۲). موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

داده و روش کار

در این پژوهش از مدل canESM2 که یک مدل GCM از سری CMIP5 که با قدرت تفکیک $2/5^{\circ} \times 2/5^{\circ}$ درجه به وسیله مرکز تحقیقات مدل سازی آب و هوایی کانادا ارائه شده استفاده گردیده است. تغییرات اقلیمی با استفاده از داده های اقلیمی (دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش)، سه ایستگاه هواشناسی مهرآباد، شمیرانات و ژئوفیزیک به عنوان پایه مطالعه می شود و روند این تغییرات از طریق آماره من-کندال و مدل اقلیمی Lars-wg با سال های آینده تحلیل و بررسی و تغییرات آن مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. وضعیت تغییر پارامترهای بارش و دما (حداقل و حداکثر) ایستگاه های سینوپتیک ژئوفیزیک، شمیرانات و مهرآباد طی دوره پایه سال های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۸ در منطقه مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی آماری LARS-WG5 و مدل گردش عمومی جو Hadcm3 تحت RCP های سه گانه RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 داده های اقلیمی آینده ایستگاه های مهرآباد، ژئوفیزیک و شمیرانات برای سال ۲۰۵۰ تولید شد. جدول (۱) سناریوهای انتشار گازهای گلخانه ای را نشان می دهد.

جدول (۱): سناریوهای انتشار گازهای گلخانه ای و فرض های به کاررفته و مؤسسه های طراح آن

سناریو	مؤسسه طراح	فرض های سناریو
RCP8.5	این سناریو توسط تیم مدل سازی MESSAGE و مؤسسه بین المللی آنالیز دستگاه های کاربردی یاسا (IIASA) به سرپرستی پروفیسور کیوان ریاحی در اتریش توسعه و طراحی شد.	این سناریو بدون اتخاذ هیچ گونه سیاست های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای تغییر اقلیم، آب و هوای کره زمین در خط سیر سناریوی انتشار پیش خواهد رفت؛ به طوری که ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می گردد.
RCP6	این سناریو توسط تیم مدل سازی AIM در مؤسسه ملی مطالعات محیطی ژاپن	در این سناریو، واداشت تابشی بعد از سال ۲۱۰۰ به دلیل استفاده از فناوری های جدید و سیاست های کاهش گازهای گلخانه ای ثابت مانده و اثر گازهای گلخانه ای بر واداشت های تابشی را تا ۶ وات بر مترمربع تخمین زده است.
RCP4.5	توسط تیم مدل سازی رصدخانه ملی شمال غرب آمریکا طراحی شده است	واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه ای، قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع ثابت می ماند.
RCP2.6	این سناریو توسط تیم مدل سازی IMAGE از مؤسسه ارزیابی های محیطی هلند طراحی شده است.	مطابق این سناریو واداشت تابشی در اواسط این قرن به حدود ۳/۱ رسیده و سپس با کاهش به ۲/۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می رسد.

(منبع: هیئت بین الدول تغییر اقلیم: ۲۰۰۷، به نقل از حجازی زاده و طولابی نژاد، ۱۳۹۷)

مدل LARS-WG

مدل LARS-WG توسط یکی از محققان مرکز مطالعات کشاورزی روتامشتد^۱، انگلستان طراحی شده است و داده‌های مورد استفاده در این مدل به صورت روزانه می‌باشد، که می‌توان با استفاده از این مدل و داده‌های موجود در ایستگاه‌ای جمع‌آوری کننده اقلیمی در دوره آماری، مدل گردش عمومی جو، داده‌های روزانه دوره‌های آبی را مدل‌سازی کرد (سمنوف و بارو، ۱۹۹۸: ۴۳). مدل مورد استفاده شده در این پژوهش دارای دو نسخه LARS-WG3 و LARS-WG5 می‌باشد که به فرآخور نیاز و داده‌های مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای بیش‌تری که در نسخه جدید موجود می‌باشد، در این پژوهش از مدل LARS-WG5 استفاده شد. سری‌های زمانی ساخته شده در مدل LARS-WG عمدتاً دارای خصوصیات آماری مشابه با داده‌های مشاهداتی در یک ایستگاه می‌باشد و جهت استفاده در ارزیابی خطر هیدرولوژیکی یا کاربردهای کشاورزی باید دارای آمار طولانی مدت باشد و همچنین می‌توان از این مدل جهت تولید داده‌های گم شده در ایستگاه‌های هواشناسی استفاده نمود. در مدل LARS-WG توصیف تشعشعات خورشیدی روزهای خشک و تر با استفاده از توزیع‌های نیمه تجربی جداگانه و مدل‌سازی تشعشعات خورشیدی به‌طور مستقل از دما صورت می‌پذیرد (سمنوف و بارو، ۲۰۱۰: ۴۹). در مدل لارس مدل‌سازی بارش و احتمال وقوع آن از روش توزیع نیمه تجربی و زنجیره مارکف و مدل‌سازی تابش براساس توزیع نیمه تجربی و مدل‌سازی دما با استفاده از سری فوریه انجام می‌شود (سمنوف و بارو، ۲۰۰۲).

آزمون ناپارامتری من-کندال

آزمون ناپارامتری من-کندال ابتدا توسط Mann (1945) ارائه و سپس توسط Kendall (1975) بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه یافت. این روش به طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی بکار گرفته می‌شود. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود. اثر پذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است. فرض صفر این آزمون 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 می‌باشد.

این آزمون در سال ۱۹۸۸ به وسیله سازمان جهانی هواشناسی پیشنهاد شد و در بررسی معنی داری روند سری‌های اقلیمی به کرات و در موارد مختلف استفاده شده است.

این آزمون به دو روش محاسبه می‌شود:

- آزمون آماره T من کندال
- آزمون نموداری من-کندال

اگر دنباله U و U' بر اساس i به صورت نموداری رسم شود، در حالت معنی داری روند، دو نمودار در نقطه شروع پدیده در خارج از محدوده ± 1.96 یکدیگر را قطع کرده و در خلاف جهت یکدیگر حرکت خواهند کرد به این نقطه برخورد، جهش گفته می‌شود. در حالی که اگر روند وجود نداشته باشد، دو دنباله U و U' تقریباً به صورت موازی حرکت خواهند کرد و یا با چند بار برخورد به طوری که به تغییر جهت منجر نشود، عمل خواهند کرد.

در مواردی که $-1.96 < U < +1.96$ باشد، سری تصادفی است و روند خاصی نمی‌توان برای آن تصور کرد.

در حالیکه که $U > +1.96$ نشان دهنده روند مثبت و $U < -1.96$ نشان‌دهنده روند منفی می‌باشد (خوشحال و قویدل رحیمی، ۱۳۸۷).

تحلیل نتایج

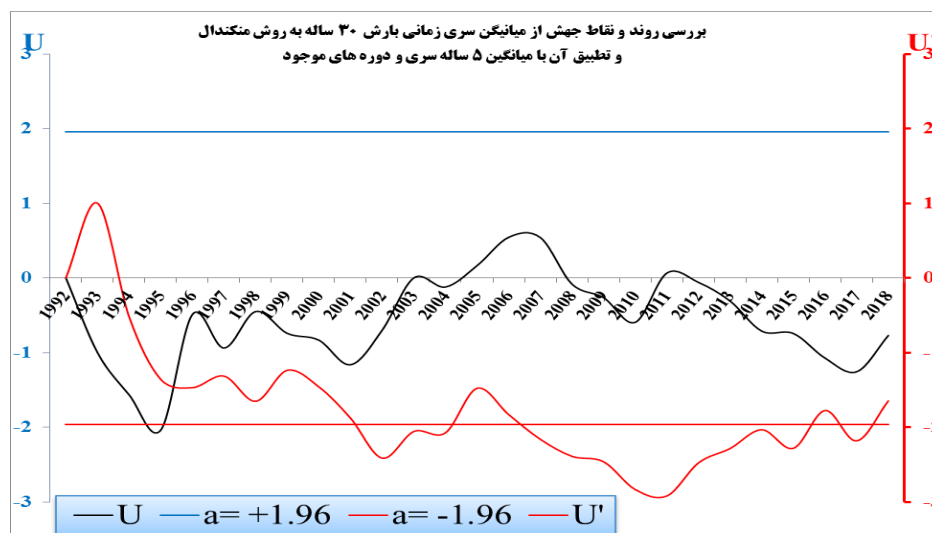
پارامتر بارش

ایستگاه شمیرانات

در نمودار آزمون گرافیکی من کندال، دو آماره U و U' دیده می‌شود. چنان که آماره U و U' خارج از محدوده ± 1.96 که همدیگر را قطع کنند به معنی وجود روند معنی دار در سری زمانی داده‌ها بوده است. اگر دو آماره مذکور در داخل بازه ± 1.96 همدیگر را قطع کنند تنها به معنی ایجاد جهش در داده‌ها بوده است و روند معنی داری مشاهده نشده است. همان طور که در شکل (۳) دیده می‌شود، دو آماره

^۱ - Rothameshted

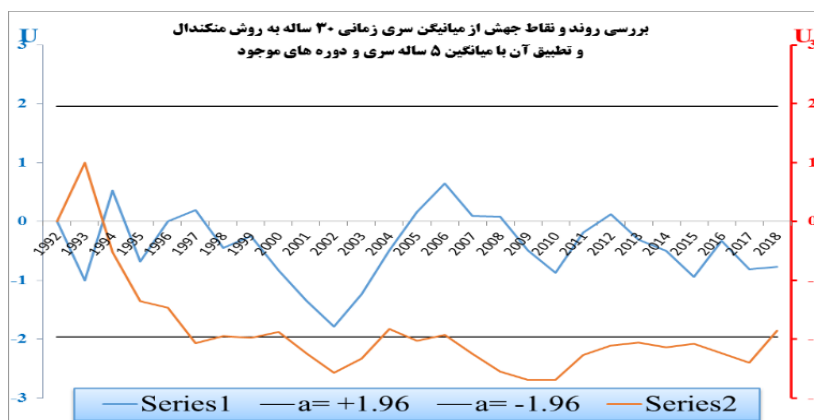
U و U' در داخل محدوده $\pm 1/96$ همدیگر را قطع کرده اند لذا مجموع بارش سالانه ایستگاه شمیرانات، طی دوره آماری مورد بررسی دارای نوسانات زیادی بوده است و در سال ۱۹۹۷ دچار یک جهش شده است اما روند معنی داری در سری زمانی بارش سالانه این ایستگاه مشاهده نشده است.



شکل (۳). روند تغییرات بارش در ایستگاه شمیرانات

ایستگاه ژئوفیزیک

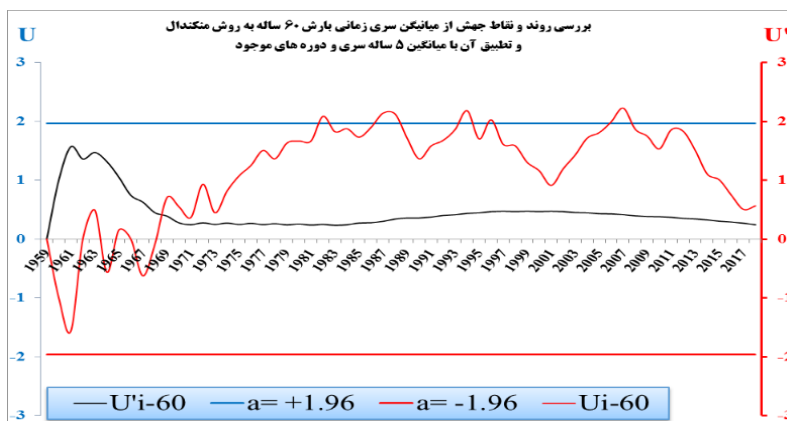
همانطور که در شکل ۴ دیده می‌شود، دو آماره U و U' در داخل محدوده $\pm 1/96$ لذا مجموع بارش سالانه ایستگاه ژئوفیزیک، طی دوره آماری مورد بررسی دارای نوسانات زیادی بوده است و در سال ۱۹۹۴ دچار یک جهش شده است اما روند معنی داری در سری زمانی بارش سالانه این ایستگاه مشاهده نشده است.



شکل (۴). روند تغییرات بارش در ایستگاه ژئوفیزیک

ایستگاه مهرآباد

همانطور که در شکل ۵ دیده می‌شود، دو آماره U و U' در داخل محدوده $\pm 1/96$ همدیگر را قطع کرده اند لذا مجموع بارش سالانه ایستگاه مهرآباد، طی دوره آماری مورد بررسی دارای نوسانات زیادی بوده است و در سال ۱۹۶۹ دچار یک جهش شده است اما روند معنی داری در سری زمانی بارش سالانه این ایستگاه مشاهده نشده است.



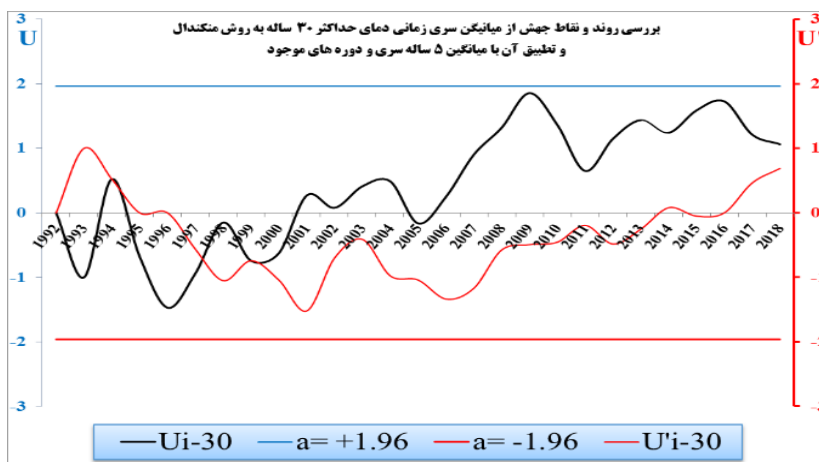
شکل (۵). روند تغییرات بارش در ایستگاه مهرآباد

پارامتر دما

بررسی شاخص دما در ایستگاه شمیرانات

الف (دمای حداکثر

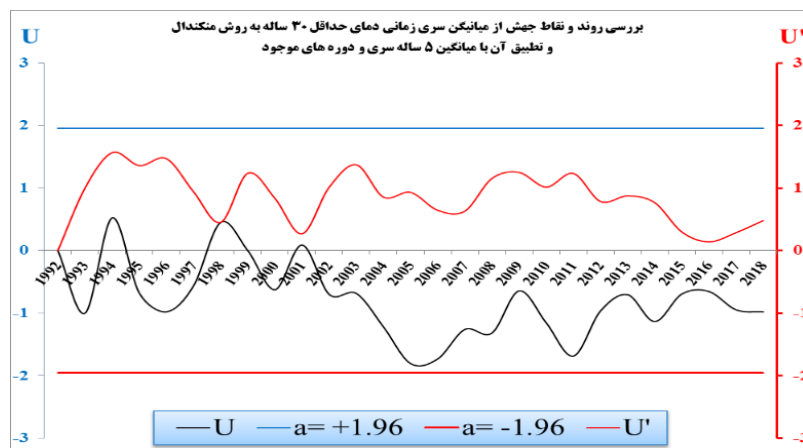
همانطور که در شکل ۶ دیده می‌شود، دو آماره U و U' در داخل محدوده ± 1.96 به صورت مکرر در سال های مختلف یکدیگر را قطع کرده اند که نشان دهنده وجود جهش های مختلف در دمای بیشینه سالانه ایستگاه شمیرانات بوده است. سال های رخداد این جهش ها ۱۹۹۴، ۱۹۹۸ و سال ۲۰۰۰ بوده است. اما روند معنی داری در دمای حداکثر سالانه مشاهده نشده است.



شکل (۶). روند تغییرات حداکثر دما در ایستگاه شمیرانات

ب (دمای حداقل

همانطور که در شکل ۷ دیده می‌شود، دو آماره U و U' در داخل محدوده ± 1.96 در سال ۱۹۹۸ یکدیگر را قطع کرده اند که نشان دهنده وجود جهش در دمای کمینه سالانه ایستگاه شمیرانات در این سال بوده است. اما روند معنی داری در دمای حداقل سالانه مشاهده نشده است.



شکل (۷). روند تغییرات حداقل دما در ایستگاه شمیرانات

بررسی شاخص دما در ایستگاه ژئوفیزیک

الف (دمای حداکثر

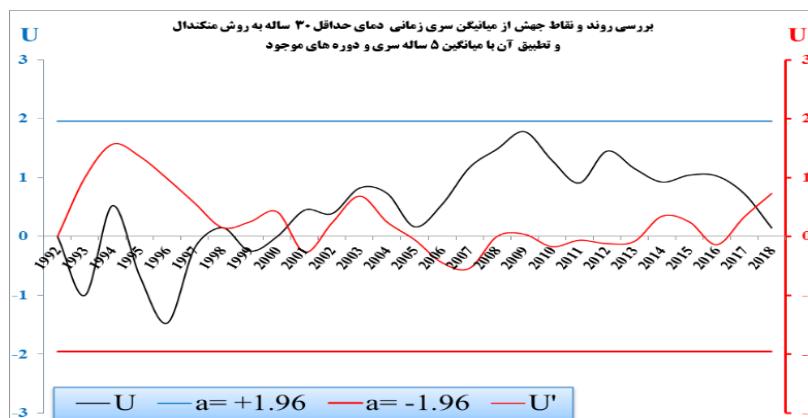
همانطور که در نمودار شکل ۸ دیده می‌شود، دو آماره U و U' در داخل محدوده ± 1.96 به صورت مکرر در سال های مختلف یکدیگر را قطع کرده اند که نشان دهنده وجود جهش های مختلف در دمای بیشینه سالانه ایستگاه ژئوفیزیک بوده است. سال های رخداد این جهش ها ۱۹۹۵، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۵ بوده است. اما روند معنی داری در دمای حداکثر سالانه مشاهده نشده است.



شکل (۸). روند تغییرات حداکثر دما در ایستگاه ژئوفیزیک

ب (دمای حداقل

همانطور که در نمودار شکل ۹ دیده می‌شود، دو آماره U و U' در داخل محدوده ± 1.96 به صورت مکرر در سال های مختلف یکدیگر را قطع کرده اند که نشان دهنده وجود جهش های مختلف در دمای کمینه سالانه ایستگاه ژئوفیزیک بوده است. سال های رخداد این جهش، سالهای ۱۹۹۸ و ۲۰۰۰ بوده است. اما روند معنی داری در دمای حداقل سالانه مشاهده نشده است.

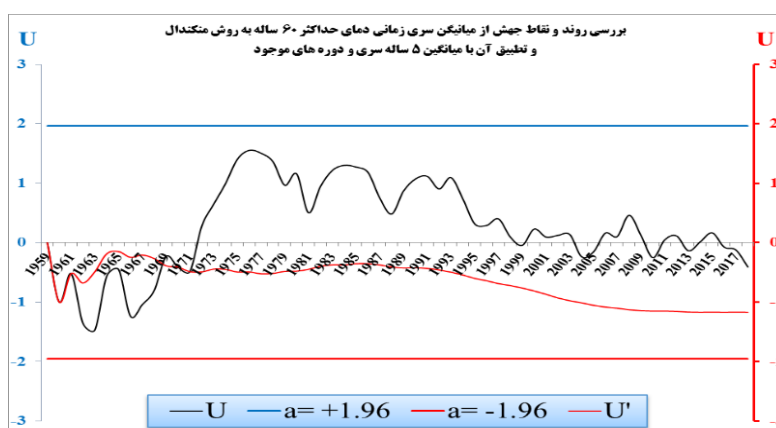


شکل (۹). روند تغییرات حداقل دما در ایستگاه ژئوفیزیک

بررسی شاخص دما در ایستگاه مهرآباد

الف (دمای حداکثر

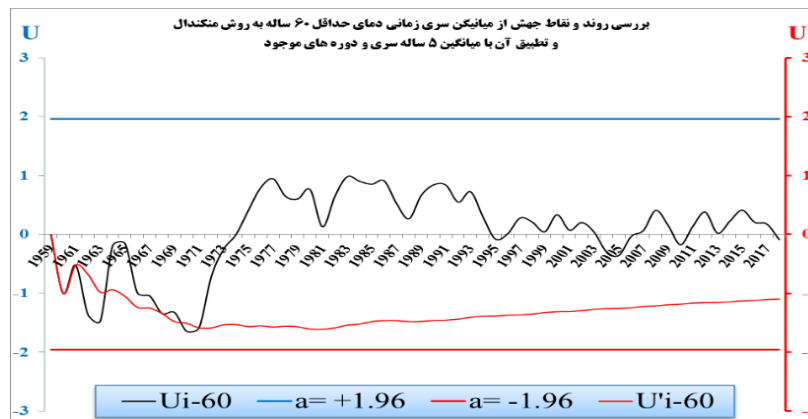
همانطور که در شکل ۱۰ دیده می‌شود، دو آماره U و U' در داخل محدوده $\pm 1/96$ به صورت مکرر در سال‌های مختلف یکدیگر را قطع کرده‌اند که نشان‌دهنده وجود جهش‌های مختلف در دمای بیشینه سالانه ایستگاه مهرآباد بوده است. سال‌های رخداد این جهش‌ها ۱۹۶۲، ۱۹۶۹ و ۱۹۷۲ بوده است. اما روند معنی‌داری در دمای حداکثر سالانه مشاهده نشده است.



شکل (۱۰). روند تغییرات حداکثر دما در ایستگاه مهرآباد

ب (دمای حداقل

همانطور که در نمودار شکل ۱۱ دیده می‌شود، دو آماره U و U' در داخل محدوده $\pm 1/96$ به صورت مکرر در سال‌های مختلف یکدیگر را قطع کرده‌اند که نشان‌دهنده وجود جهش‌های مختلف در دمای کمینه سالانه ایستگاه مهرآباد بوده است. سال‌های رخداد این جهش‌ها ۱۹۶۲، ۱۹۶۴، ۱۹۶۸، ۱۹۷۰ و ۱۹۷۲ بوده است. اما روند معنی‌داری در دمای حداقل سالانه مشاهده نشده است.



شکل (۱۱). روند تغییرات حداقل دما در ایستگاه مهرآباد

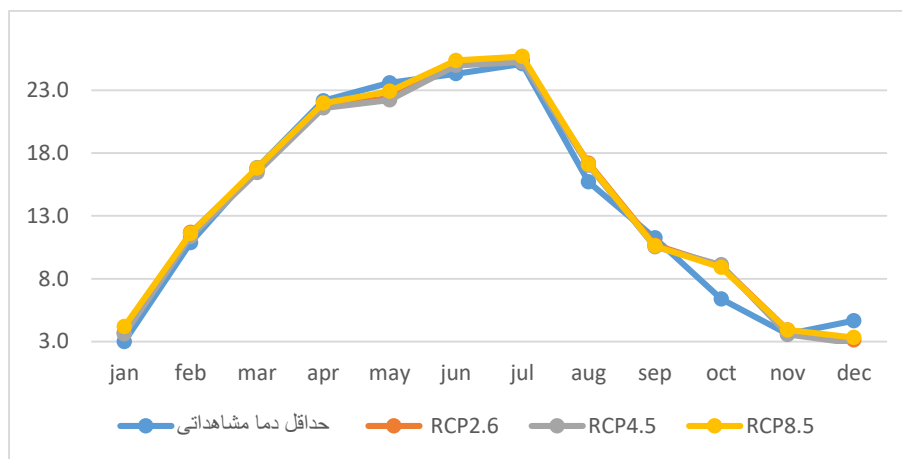
دستیابی به جهش های اقلیمی در تهران با استفاده از داده های ۳ ایستگاه سینوپتیک ما را در این تحقیق بر آن داشت تا با توجه به دوره پایه سال های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۸، وضعیت آب و هوای پایتخت را برای ۳۰ سال آینده یعنی تا سال ۲۰۵۰ مورد بررسی قرار گیرد. این بررسی ها در مجموع وجود جهش ها و نوسانات در دما و بارش ایستگاه های مورد مطالعه در سال های اخیر را نشان می دهد، اما این روند در آینده به کدام سو پیش خواهد رفت و آیا تهران با چالش تغییرات اقلیمی به طور جدی روبرو خواهد شد.

تحلیل خروجی های مدل Lars-WG

وضعیت تغییر پارامترهای بارش و دما (حداقل و حداکثر) ایستگاه های سینوپتیک ژئوفیزیک، شمیرانات و مهرآباد طی دوره پایه سال های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۸ در منطقه مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از مدل ریز مقیاس نمایی آماری LARS-WG5 و مدل گردش عمومی جو Hadcm3 تحت RCP های سه گانه RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5، داده های اقلیمی آینده ایستگاه های مهرآباد، ژئوفیزیک و شمیرانات برای سال ۲۰۵۰ تولید شد.

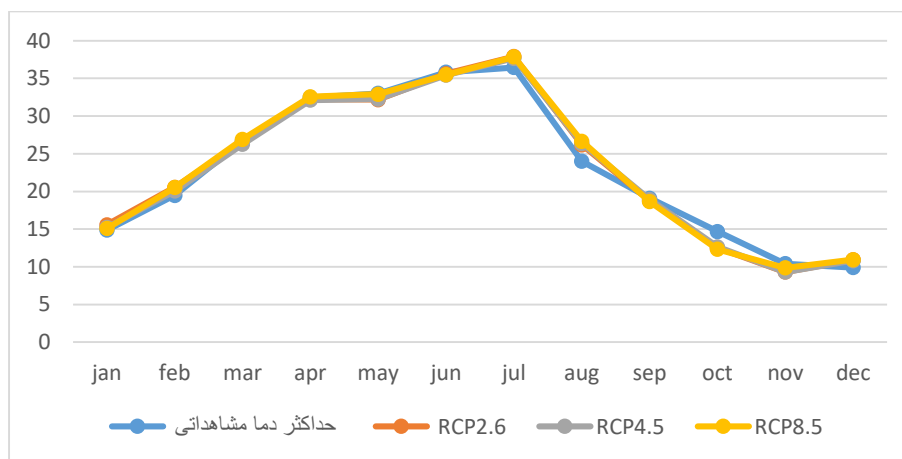
ایستگاه ژئوفیزیک

در شکل ۱۲ میانگین دمای حداقل ماهانه برای ایستگاه سینوپتیک ژئوفیزیک در دوره پایه و دوره شبیه سازی شده خروجی LARS-6 WG تحت سه خط سیر انتشار دی اکسید کربن RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 ارائه شده است. همانطوری که مشاهده می شود دمای دوره تغییر اقلیم در همه خط سیرهای بررسی شده بالاتر از دمای دوره پایه بوده است. بالاترین میانگین دمای حداقل در دوره پایه مربوط به ماه جولای بود که برابر با ۲۵/۱ درجه سانتیگراد است. و کمترین دمای حداقل در ماه ژانویه و برابر با ۳ درجه سانتیگراد می باشد. در سناریوی RCP2.6 بالاترین دمای ماهانه در ماه جولای بوده که برابر با ۲۵/۴ درجه سانتیگراد می باشد و کمترین دمای ماهانه مربوط به ماه دسامبر بوده و برابر با ۳/۱ درجه سانتیگراد است در RCP4.5 و RCP8.5 نیز کمترین دمای ماهانه در ماه نوامبر بوده که به ترتیب برابر با ۲/۹ و ۳/۳ درجه سانتیگراد بوده و بالاترین دمای ماهانه نیز در این دو سناریو در ماه جولای مشاهده شده که به ترتیب برابر با ۲۵/۳ و ۲۵/۷ درجه سانتیگراد می باشد که نسبت به دوره پایه بیشترین افزایش دما در سناریوی RCP8.5 مشاهده می شود و کمترین افزایش نیز در RCP4.5 می باشد.



شکل ۱۲. میانگین دمای حداقل ایستگاه ژئوفیزیک در دوره پایه و سه سناریوی تغییر اقلیم

در شکل ۱۳ میانگین دمای حداکثر ماهانه برای ایستگاه سینوپتیک ژئوفیزیک در دوره پایه و دوره شبیه سازی شده خروجی LARS-6 WG تحت سه خط سیر انتشار دی اکسید کربن RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 ارائه شده است. همانطوری که مشاهده می شود دمای دوره تغییر اقلیم در همه خط سیرهای بررسی شده بالاتر از دمای دوره پایه بوده است. در دوره پایه بیشترین دمای حداکثر در ماه جولای مشاهده شد که برابر با ۳۶/۴ درجه سانتیگراد است و کمترین دما در ماه دسامبر و برابر با ۹/۹ درجه سانتیگراد می باشد. در RCP2.6 بالاترین دمای حداکثر ماهانه در ماه جولای بوده که برابر با ۳۷/۹ درجه سانتیگراد می باشد و کمترین دمای ماهانه مربوط به ماه نوامبر بوده و برابر با ۹/۳ درجه سانتیگراد است در RCP4.5 و RCP8.5 نیز کمترین دمای ماهانه در ماه نوامبر بوده که به ترتیب برابر با ۹/۳ و ۹/۹ درجه سانتیگراد بوده و بالاترین دمای ماهانه نیز در این دو سناریو نیز در ماه جولای مشاهده شده که در هر دو سناریو برابر با ۳۷/۷ درجه سانتیگراد می باشد که نسبت به دوره پایه بیشترین افزایش دما در RCP8.5 مشاهده می شود و کمترین افزایش نیز در RCP4.5 می باشد.

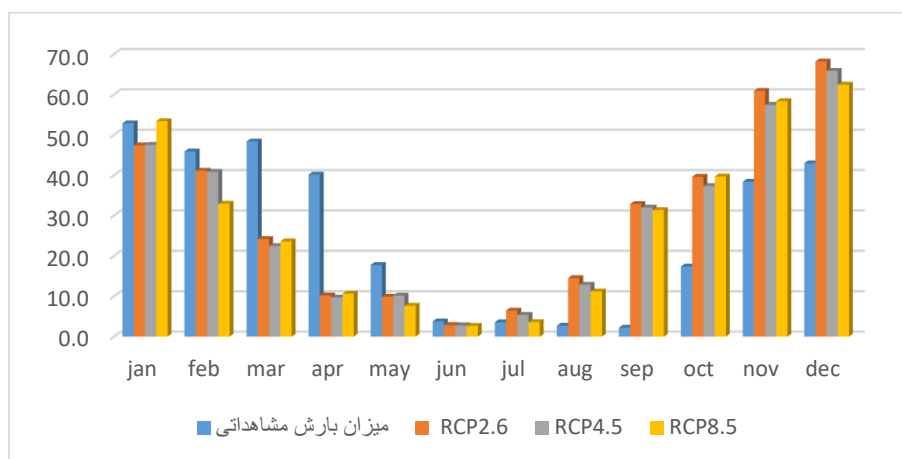


شکل ۱۳. میانگین دمای حداکثر ایستگاه ژئوفیزیک در دوره پایه و سه سناریوی تغییر اقلیم

در شکل ۱۴ بارش ماهانه برای ایستگاه سینوپتیک ژئوفیزیک در دوره پایه و دوره شبیه سازی شده خروجی LARS-WG 6 تحت سه خط سیر انتشار دی اکسید کربن RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 ارائه شده است. همانطوری که مشاهده می شود بارش دوره تغییر اقلیم در همه خط سیرهای بررسی شده بالاتر از بارش دوره پایه بوده است. بیشترین افزایش مجموع بارش مربوط به خط سیر انتشار RCP2.6 است که برابر با ۳۵۸/۱ میلیمتر می باشد که نسبت به دوره پایه که میزان بارش برابر با ۳۱۵/۹ میلیمتر بوده است میزان ۴۲/۲ میلیمتر

افزایش داشته است و کمترین میزان افزایش بارش در سناریوی RCP8.5 که میزان افزایش در این سناریو برابر با ۲۱/۵ میلیمتر می شود.

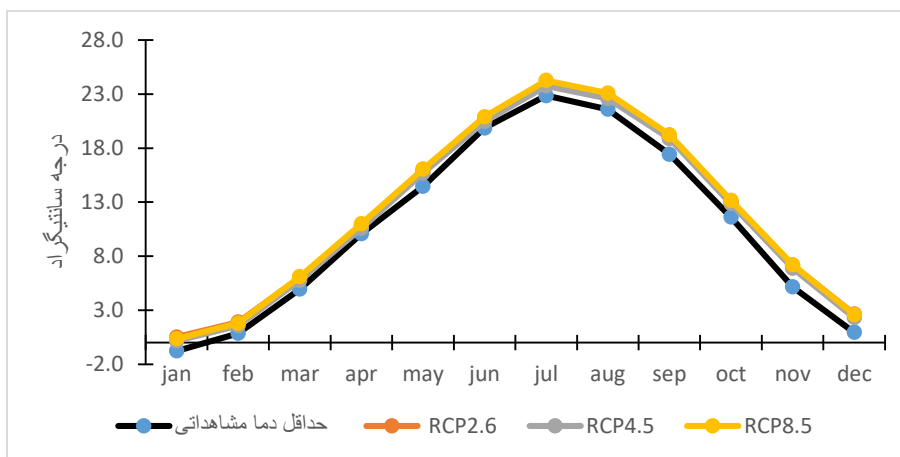
به صورت ماهانه نیز در دوره پایه بیشترین بارش در ماه ژانویه مشاهده شد که برابر با ۵۲/۸ میلیمتر است و کمترین میزان بارش نیز در ماه سپتامبر که ۲/۲ میلیمتر بوده است مشاهده می شود. در سناریوی RCP2.6 بالاترین میزان بارش ماهانه در ماه دسامبر بوده که برابر با ۶۸/۲ میلیمتر می باشد و کمترین میزان بارش ماهانه نیز مربوط به ماه ژوئن بوده و برابر با ۲/۹ میلیمتر است. در RCP8.5 و RCP4.5 نیز بالاترین میزان بارش ماهانه در ماه دسامبر بوده که به ترتیب برابر با ۶۵/۸ و ۶۲/۴ میلیمتر بوده و کمترین میزان بارش ماهانه در این دو سناریو نیز در ماه ژوئن مشاهده شده که به ترتیب برابر با ۲/۸ و ۲/۷ میلیمتر می باشد که نسبت به دوره پایه بیشترین افزایش بارش به صورت ماهانه در RCP2.6 مشاهده می شود و کمترین افزایش ماهانه نیز در RCP8.5 می باشد.



شکل ۱۴. مجموع بارش ماهانه ایستگاه ژئوفیزیک در دوره پایه و سه سناریوی تغییر اقلیم

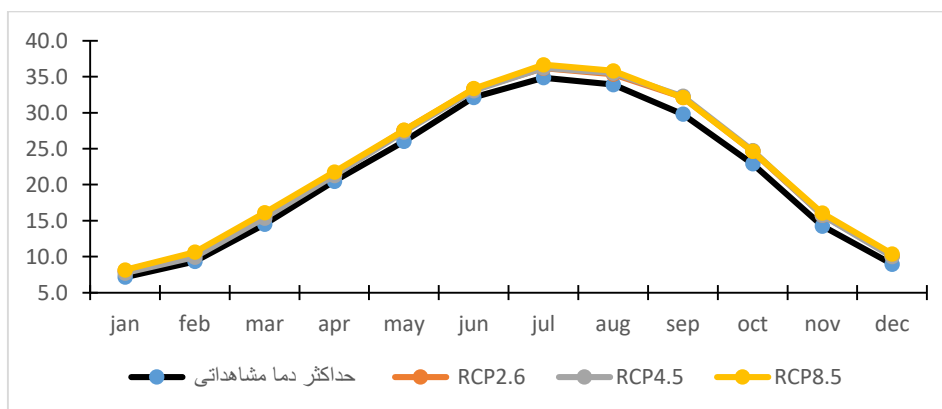
ایستگاه شمیرانات

در شکل ۱۵ میانگین دمای حداقل ماهانه برای ایستگاه سینوپتیک شمیرانات در دوره پایه و دوره شبیه سازی شده خروجی 6-LARS WG تحت سه خط سیر انتشار دی اکسید کربن RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود دمای دوره تغییر اقلیم در همه خط سیرهای بررسی شده بالاتر از دمای دوره پایه بوده است. همانطور که در نمودار شکل ۱۵ دیده می شود، بالاترین دمای حداقل مربوط به ماه جولای بود که برابر با ۲۲/۹ درجه سانتیگراد است و کمترین دمای حداقل در ماه ژانویه بوده که برابر با ۰/۸- درجه سانتیگراد می باشد. در RCP2.6 بالاترین دمای حداقل ماهانه در ماه جولای بوده که برابر با ۲۳/۹ درجه سانتیگراد می باشد و کمترین دمای ماهانه مربوط به ماه ژانویه بوده و برابر با ۰/۵ درجه سانتیگراد است در دو سناریوی RCP8.5 و RCP4.5 نیز کمترین دمای حداقل ماهانه در ماه ژانویه بوده که به ترتیب برابر با ۰/۲ و ۰/۴ درجه سانتیگراد بوده و بالاترین دمای حداقل ماهانه نیز در این دو سناریو در ماه جولای مشاهده شده که در هر دو سناریو به ترتیب برابر با ۲۳/۸ و ۲۴/۳ درجه سانتیگراد می باشد که نسبت به دوره پایه بیشترین افزایش دما در RCP8.5 مشاهده می شود و کمترین افزایش نیز در RCP4.5 می باشد.



شکل ۱۵. میانگین دمای حداقل ایستگاه شمیران در دوره پایه و سه سناریوی مشاهداتی

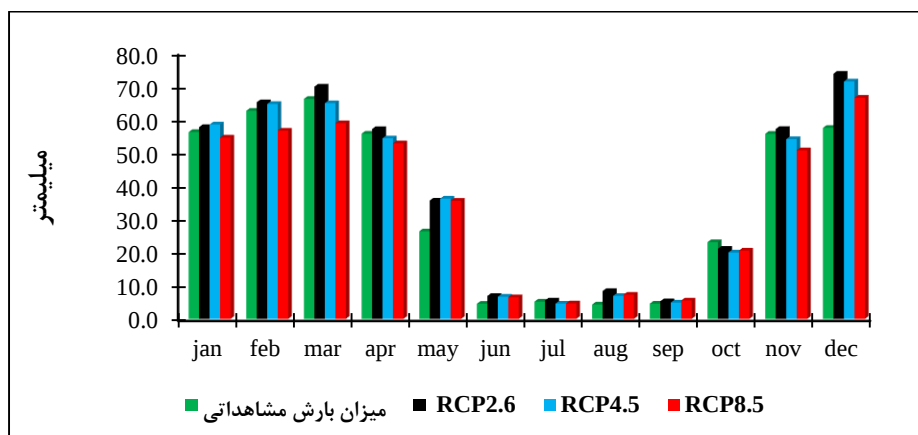
در شکل ۱۶ میانگین دمای حداکثر ماهانه برای ایستگاه سینوپتیک شمیرانات در دوره پایه و دوره شبیه سازی شده خروجی LARS-6 WG تحت سه خط سیر انتشار دی اکسید کربن RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود دمای دوره تغییر اقلیم در همه خط سیرهای بررسی شده بالاتر از دمای دوره پایه بوده است. همانطور که در نمودار شکل ۱۶ دیده می شود، بالاترین دمای در ماه جولای مشاهده شد که برابر با $34/9$ درجه سانتیگراد است. و کمترین دما در ماه ژانویه و برابر با $7/2$ درجه سانتیگراد می باشد. در RCP2.6 بالاترین دمای حداکثر ماهانه در ماه جولای بوده که برابر با $36/2$ درجه سانتیگراد می باشد و کمترین دمای ماهانه مربوط به ماه ژانویه بوده و برابر با $8/1$ درجه سانتیگراد است در RCP4.5 و RCP8.5 نیز کمترین دمای ماهانه در ماه ژانویه بوده که به ترتیب برابر با $8/7$ و $8/2$ درجه سانتیگراد بوده و بالاترین دمای ماهانه نیز در این دو سناریو نیز در ماه جولای مشاهده شده که در هر دو سناریو به ترتیب برابر با $36/2$ و $36/7$ درجه سانتیگراد می باشد که نسبت به دوره پایه بیشترین افزایش دما در RCP8.5 مشاهده می شود و کمترین افزایش نیز در دو سناریو دیگر می باشد.



شکل ۱۶. میانگین دمای حداکثر ایستگاه شمیران در دوره پایه و سه سناریوی مشاهداتی

در شکل ۱۷ بارش ماهانه برای ایستگاه سینوپتیک شمیرانات در دوره پایه و دوره شبیه سازی شده خروجی LARS-WG 6 تحت سه خط سیر انتشار دی اکسید کربن RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود بارش دوره تغییر اقلیم در همه خط سیرهای بررسی شده بالاتر از بارش دوره پایه بوده است. بیشترین افزایش مجموع بارش مربوط به خط سیر انتشار RCP4.5 است که $25/1$ میلیمتر بارش نسبت به دوره پایه افزایش داشته است و در سناریوی RCP8.5 نسبت به دوره پایه بارش روند کاهشی داشته و میزان $1/7$ میلیمتر کاهش یافته است. همانطور که در نمودار شکل ۱۷ مشاهده می گردد بالاترین بارش ماهانه در دوره پایه مربوط به ماه مارس است که برابر با $66/1$ میلیمتر است و کمترین میزان بارش نیز در ماه آگوست که $4/3$ میلیمتر بوده است مشاهده

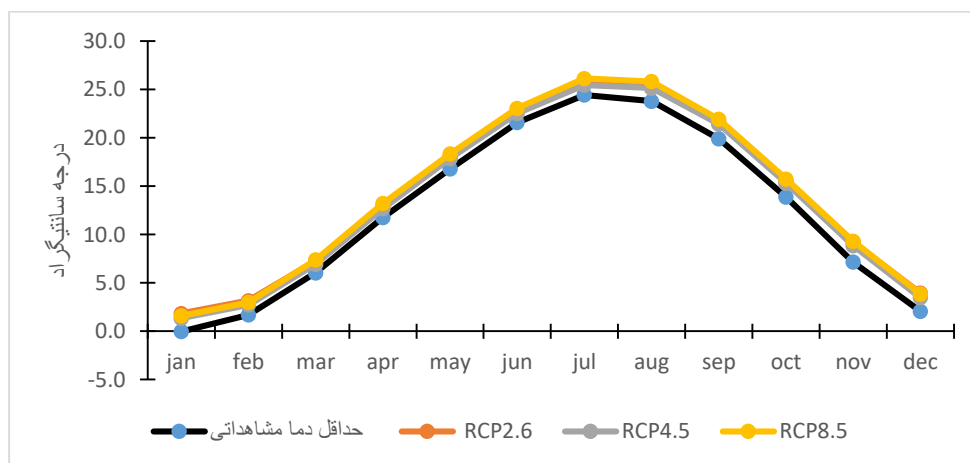
می شود. در سناریوی RCP2.6 بالاترین میزان بارش ماهانه در ماه دسامبر بوده که برابر با $7/7$ میلیمتر می باشد و کمترین میزان بارش ماهانه نیز مربوط به ماه سپتامبر بوده و برابر با $3/5$ میلیمتر است. در دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نیز بالاترین میزان بارش ماهانه در ماه دسامبر بوده که به ترتیب برابر با $4/71$ و $5/66$ میلیمتر بوده و کمترین میزان بارش ماهانه در این دو سناریو نیز در ماه سپتامبر مشاهده شده که به ترتیب برابر با $9/4$ و $5/5$ میلیمتر می باشد که نسبت به دوره پایه بیشترین افزایش بارش به صورت ماهانه در RCP2.6 مشاهده می شود و کمترین افزایش ماهانه نیز در RCP8.5 می باشد.



شکل ۱۷. مجموع بارش ماهانه ایستگاه شمیران در دوره پایه و سه سناریوی تغییر اقلیم

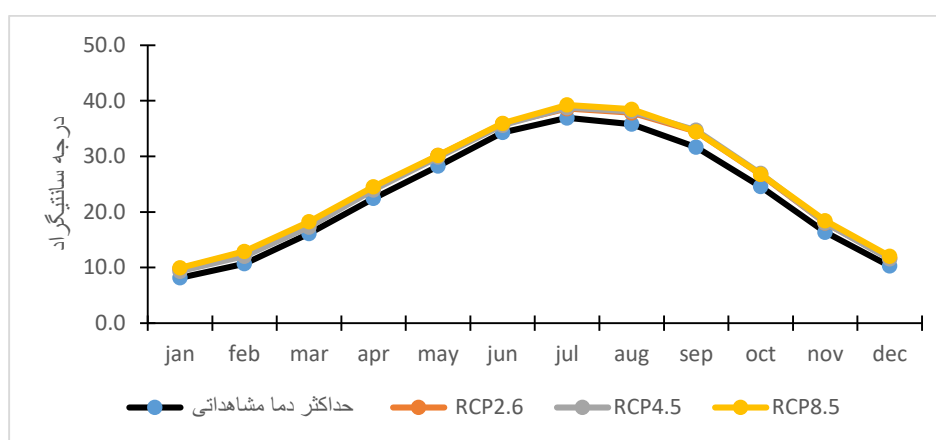
ایستگاه مهرآباد

در شکل ۱۸ میانگین دمای حداقل ماهانه برای ایستگاه سینوپتیک مهرآباد در دوره پایه و دوره شبیه سازی شده خروجی LARS-WG 6 تحت سه خط سیر انتشار دی اکسید کربن RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود دمای دوره تغییر اقلیم در همه خط سیرهای بررسی شده بالاتر از دمای دوره پایه بوده است همانطور که در نمودار شکل ۱۸ دیده می شود در دوره پایه بالاترین دمای حداقل مربوط به ماه جولای است که برابر با $4/24$ درجه سانتیگراد است و کمترین دمای حداقل در ماه ژانویه و برابر با 0 درجه سانتیگراد می باشد. در سناریوی RCP2.6 بالاترین دمای حداقل ماهانه در ماه جولای بوده که برابر با $7/25$ درجه سانتیگراد می باشد و کمترین دمای ماهانه مربوط به ماه ژانویه بوده و برابر با $8/1$ درجه سانتیگراد است در دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نیز کمترین دمای ماهانه در ماه ژانویه بوده که به ترتیب برابر با $3/1$ و $6/1$ درجه سانتیگراد بوده و بالاترین دمای ماهانه نیز در این دو سناریو نیز در ماه جولای مشاهده شده که در هر دو سناریو به ترتیب برابر با $5/25$ و $1/26$ درجه سانتیگراد می باشد که نسبت به دوره پایه بیشترین افزایش دما در سناریوی RCP8.5 مشاهده می شود و کمترین افزایش نیز در سناریوی RCP4.5 می باشد.



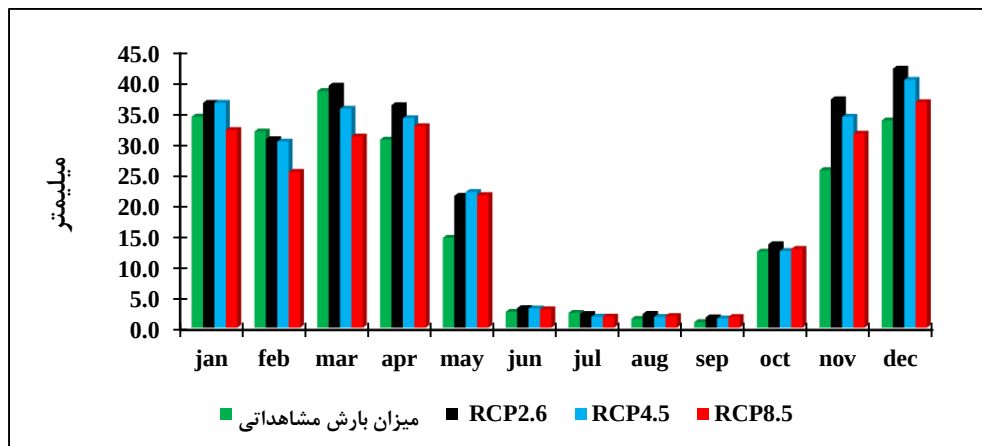
شکل ۱۸. میانگین دمای حداقل ایستگاه مهرآباد در دوره پایه و سه سناریوی مشاهداتی

در شکل ۱۹ میانگین دمای حداکثر ماهانه برای ایستگاه سینوپتیک مهرآباد در دوره پایه و دوره شبیه سازی شده خروجی LARS-6 WG تحت سه خط سیر انتشار دی اکسید کربن RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود دمای دوره تغییر اقلیم در همه خط سیرهای بررسی شده بالاتر از دمای دوره پایه بوده است. همانطور که در نمودار شکل ۱۹ دیده می شود، بیشترین دمای حداکثر در دوره پایه مربوط به ماه جولای است که برابر با ۳۶/۹ درجه سانتیگراد است. و کمترین دمای حداکثر در ماه ژانویه و برابر با ۸/۲ درجه سانتیگراد می باشد. در RCP2.6 بالاترین دمای حداکثر ماهانه در ماه جولای بوده که برابر با ۳۸/۶ درجه سانتیگراد می باشد و کمترین دمای ماهانه مربوط به ماه ژانویه بوده و برابر با ۹/۳ و ۹/۹ درجه سانتیگراد بوده و بالاترین دمای ماهانه نیز در این دو سناریو نیز در ماه جولای مشاهده شده که در هر دو سناریو به ترتیب برابر با ۳۸/۸ و ۳۹/۳ درجه سانتیگراد می باشد که نسبت به دوره پایه بیشترین افزایش دما در RCP8.5 مشاهده می شود و کمترین افزایش نیز در RCP4.5 می باشد.



شکل ۱۹. میانگین دمای حداکثر ایستگاه مهرآباد در دوره پایه و سه سناریوی مشاهداتی

در شکل ۲۰ بارش ماهانه برای ایستگاه سینوپتیک مهرآباد در دوره پایه و دوره شبیه سازی شده خروجی LARS-WG 6 تحت سه خط سیر انتشار دی اکسید کربن RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود بارش دوره تغییر اقلیم در همه خط سیرهای بررسی شده بالاتر از بارش دوره پایه بوده است. بیشترین افزایش مجموع بارش ماهانه مربوط به خط سیر انتشار RCP2.6 است که ۳۷/۴ میلیمتر بارش نسبت به دوره پایه افزایش داشته است. در مقیاس ماهانه نیز در دوره پایه بیشترین بارش در ماه مارس مشاهده شد که برابر با ۳۸/۵ میلیمتر است. و کمترین میزان بارش نیز در ماه سپتامبر که ۰/۹ میلیمتر بوده است مشاهده می شود. در RCP2.6 بالاترین میزان بارش ماهانه در ماه دسامبر بوده که برابر با ۴۲/۲ میلیمتر می باشد و کمترین میزان بارش ماهانه نیز مربوط به ماه سپتامبر بوده و برابر با ۱/۷ میلیمتر است. در RCP4.5 و RCP8.5 نیز بالاترین میزان بارش ماهانه در ماه دسامبر بوده که به ترتیب برابر با ۴۰/۳ و ۳۶/۷ میلیمتر بوده و کمترین میزان بارش ماهانه در این دو سناریو نیز در ماه سپتامبر مشاهده شده که به ترتیب برابر با ۱/۵ و ۱/۸ میلیمتر می باشد که نسبت به دوره پایه بیشترین افزایش بارش به صورت ماهانه در RCP2.6 مشاهده می شود و کمترین افزایش ماهانه نیز در RCP8.5 می باشد.



شکل ۲۰. مجموع بارش ماهانه ایستگاه مهرآباد در دوره پایه و سه سناریوی تغییر اقلیم

نتیجه گیری

این تحقیق با هدف پیش یابی روند تغییرات اقلیمی با استفاده از عناصر دما و بارش در استان تهران نگارش شد. نتایج حاصل از بررسی روند سری زمانی دما و بارش سه ایستگاه مورد بررسی شهر تهران، با استفاده از آزمون تحلیل روند من کندال، نشان داد که در مورد هیچ کدام از فاکتورهای اقلیمی در سه ایستگاه مورد بررسی، تغییر معنی داری در سطح اطمینان ۰/۹۵ ($Pvalue = 0.05$) رخ نداده است. اما جهش ها و نوسانات سالانه زیادی در سری زمانی دما و بارش ایستگاه ها مشاهده شد.

همچنین نتایج حاصل از تحلیل پارامترهای اقلیمی دمای حداقل، حداکثر و بارش در منطقه مورد بررسی نشان داد که، دمای حداقل و حداکثر در سال ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه سال های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۸ در هر سه خط سیر انتشار دی اکسیدکربن، RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5، به صورت معنی داری در هر سه ایستگاه شمیرانات، ژئوفیزیک و مهرآباد افزایش خواهد یافت. در مورد بارش نیز در سال ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه سال های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۸ در هر سه خط سیر انتشار دی اکسید کربن RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 میزان بارش به صورت معنی داری در هر دو ایستگاه ژئوفیزیک و مهرآباد کاهش خواهد یافت. در ایستگاه شمیرانات و در سناریوی RCP8.5 نسبت به دوره پایه بارش روند کاهشی داشته و میزان ۱/۷ میلیمتر کاهش یافته است. بنابر نتایج بدست آمده از شبیه سازی صورت گرفته در دوره مطالعاتی شرایط اقلیمی ایستگاه های مطالعاتی در دوره آینده نسبت به شرایط کنونی تغییراتی را خواهد داشت و این بدان معنی است که به هر حال تغییرات اقلیمی تأثیرات مخرب خود را هر چه بیشتر در تهران در سال های نه چندان دور نشان خواهد داد و این کلانشهر با این چالش در حال مواجه است و باید از هم اکنون به چاره اندیشی پرداخت.

همچنین نتایج نشان می دهد اقلیم تهران نسبت به چند دهه ساله گذشته تغییر کرده است. نتایج این پژوهش که با استفاده از آمار ایستگاه هواشناسی مهرآباد، شمیرانات و ژئوفیزیک در دوره آماری ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۸ استفاده شده است، از آن حکایت دارد که اقلیم تهران در این دوره گرم تر شده است. براساس این مطالعه، دمای متوسط سالانه تهران ۱۷/۵ درجه سلسیوس بوده است. همچنین نتایج این بررسی نشان می دهد دما در زمستان بیش از دماهای تابستان افزایش داشته است. بررسی بارش طی دوره ۳۰ ساله مذکور نشان می دهد بارندگی شهر تهران در این دوره تغییر محسوسی نداشته است. اما با توجه به معادله خشکی که برایندی از میزان بارش و دمای هوا است، اقلیم تهران در دوره مورد مطالعه خشک تر شده است.

منابع

- احمدآبادی علی و صدیقی فر. (۱۳۹۷). پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز کن بر اساس مدل ریزمقیاس نمایی آماری، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸ (۵۱): ۱۱۴-۱۰۳.
- حجازی زاده زهرا، زارعی شریفه، صیاد وحیده. (۱۴۰۲). بررسی چشم انداز تغییرات شاخص های حدی دما و بارش در استان کردستان بر اساس سناریوهای واداشت تابشی (RCP)، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۳ (۶۹): ۱۴-۱.
- حجازی زاده، زهرا؛ طولابی نژاد، میثم. (۱۳۹۷). شبیه‌سازی اقلیمی، با تأکید بر مدل اقلیم منطقه‌ای RegCM4، تهران، نشر آکادمیک- انجمن جغرافیایی ایران، چاپ دوم.
- خوشحال دستجردی، جواد، و قویدل رحیمی، یوسف. (۱۳۸۷). کاربرد آزمون ناپارامتری من-کندال در برآورد تغییرات دمای. فضای جغرافیایی، ۸ (۲۲)، ۳۸-۲۱.
- دشت بزرگی آمنه؛ علیجانی بهلول؛ جعفرپور زین العابدین و شکبیا علیرضا. (۱۳۹۴). شبیه‌سازی شاخص‌های حدی دمای استان خوزستان بر اساس سناریوهای RCP. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۶ (۱): ۱۲۳-۱۰۵.
- دهقانی پور امیرحسین؛ حسن‌زاده محمدجواد؛ عطاری جلال و عراقی نژاد جواد. (۱۳۹۰). ارزیابی توانمندی مدل SDSM در ریزمقیاس نمایی بارش، دما و تبخیر (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک تبریز)، یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر.
- دهقانی، طیبه؛ سلیقه محمد و علیجانی بهلول. (۱۳۹۶). اثر تغییر اقلیم بر میزان آب قابل بارش در سواحل شمالی خلیج فارس، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸ (۴۹): ۷۵-۹۱.
- زارعی، آذین؛ اسدی، اسماعیل؛ ابراهیمی، عطاله؛ جعفری، محمد و ملکیان، آرش. (۱۳۹۷). بررسی تغییرات پارامترهای بارش و دما تحت سناریوهای اقلیمی در استان چهارمحال و بختیاری، نشریه علمی پژوهشی مرتع، ۱۲ (۴): ۴۳۶-۴۲۶.
- سادات آشفته، پریسا (۱۳۹۳). تغییر اقلیم و آب: ابزارها و رویکردها انتشارات جاودان خرد، چاپ اول، ۱-۲.
- کریمی مصطفی؛ ستوده فاطمه و رفعتی سمیه. (۱۳۹۷). تحلیل روند تغییرات و پیش‌بینی پارامترهای حدی دمای سواحل جنوبی دریای خزر، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸ (۴۸): ۷۹-۹۳.
- ناصرزاده، محمد حسین؛ طولابی نژاد، میثم. (۱۳۹۸). مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات مکانی هسته‌های بارشی در ایران. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹ (۵۵): ۱۱۷-۱۳۳.
- Chen, Hua., Chong-Yu Xu., Shenglian, Guo., (2012), **Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff**, Journal of Hydrology 434-435: pp.36-45.
- Cheng, C. S., li, G., li, Q., Auld, H., (2008), **Statistical downscaling of hourly and daily climate scenarios for various meteorological variables in South-central Canada**, Theoretical and Applied Climatology, Volume 91:129-147.
- Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D.J., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.K., Allen, S.K., Tignor, M., Midgley, P.M., IPCC, 2012. **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 582 pp.
- Getnet, Feyissa., Gete, Zeleke., Woldeamlak Bewket., Ephrem., Gebremariam., (2018)., **Downscaling of Future Temperature and Precipitation Extremes in Addis Ababa under Climate Change.**, Climate, 6, 58; doi:10.3390/cli6030058
- Hansen, J.W., Ruedy, R., Sato, M., Lo, K., 2010. **Global surface temperature change**. Rev. Geophys. 48 (4), RG4004.
- Lawrimore, J.H., Menne, M.J., Gleason, B.E., Williams, C.N., Wuertz, D.B., Vose, R.S., Rennie, J., 2011. **An overview of the global historical climatology network monthly mean temperature data set**, version 3. J. Geophys. Res.-Atmos. 116. http://dx.doi.org/10.

- Semenov M.A.; Brooks R.J. Barrow E.M. and C.W. Richardson. 1998. **Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates**. Climate Research 10(2):95–107.
- Semenov, M.; Stratonovitch, P. (2010). **Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts**, CLIMATE RESEARCH. 41: 1–14.
- Semenov, M.A.; Barrow, E. M. (2002). **LARS-WG A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies**, User Manual, Version 5.0: 28.
- Shukla, R., Deo, R., Khare, D., (2015), **Statistical Downscaling of Climate Change Scenarios of Rainfall and Temperature over Indira Sagar Canal Command area in Madhya Pradesh, India**, IEEE 14th International Conference on Machine Learning and Applications, pp. 313-317.
- Sperotto, A., Torresan, S., Gallina, V., Coppola, E., Critto, A., Marcomini, A., (2016), **A multi-disciplinary approach to evaluate pluvial floods risk under changing climate: The case study of the municipality of Venice (Italy)**, Sci Total Environ; 562:1031-1043.
- Wang, B. Liu, D.L. Asseng, S. Macadam, I and Yu, Q. (2015): **Impact of Climate Change on Wheat floe Ring time in Saetern Australia**. Agriculture and Forest Meteorology 209-210:11-21.
- 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.