

تأثیر تغییر اقلیم جهانی بر دمای فصلی و سالانه شهر اراک در دهه آتی ۲۰۴۰

جلال الدین شهباز^۱، زانیار فاتحی^{۲*} و کامران چپی^۱

^۱ گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

^۲ گروه عمران، مؤسسه آموزش عالی توسعه دانش، سنندج، ایران

سابقه و هدف: گرمایش جهانی مهم‌ترین چالشی است که انسان در قرن ۲۱ با آن روبه‌رو می‌باشد. گرم‌تر شدن هوا موجب افزایش تبخیر و تعرق خواهد شد که این افزایش موجب تشدید خشکسالی‌ها خواهد شد. یکی از اصلی‌ترین دلایل گرمایش جهانی نیز خود انسان است. انسان با تولید زیاد گازهای گلخانه‌ای موجب سرعت بخشیدن به تغییرات اقلیمی زمین شده است. به همین دلیل اطلاع از تغییرات دمای زمین در دهه‌های آتی همیشه مورد توجه قرار گرفته است. نتایج پژوهشگران نشان می‌دهد که تغییر اقلیم اثرات آشکار و قابل توجهی بر دما و بارش مناطق مختلف ایران در دهه‌های آتی دارد. با پیش‌بینی و تخمین میزان این تأثیرات می‌تواند با آمادگی کافی، هزینه کم و سرعت بیشتر میزان تأثیرات تغییر اقلیم را کاهش داد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش تأثیر تغییر اقلیم بر میانگین دمای حداکثر و حداقل سالانه و فصلی شهر اراک تحت سناریوهای انتشار RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 برای دهه آتی ۲۰۴۰ مورد بررسی قرار گرفت. برای استفاده از خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی در مقیاس‌های منطقه‌ای و محلی لازم است که آن‌ها با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی، ریزمقیاس شوند. در این تحقیق از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM برای ریزمقیاس نمودن خروجی‌های مدل گردش عمومی CanESM2 استفاده شد. این مدل در شبیه‌سازی میانگین دمای حداکثر و حداقل فصلی و سالانه در منطقه مورد مطالعه توانایی قابل قبولی داشت.

نتایج و بحث: بر اساس نتایج به‌دست آمده میانگین دمای حداکثر در فصل زمستان و بهار تحت هر سه سناریو RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 کاهش پیدا خواهد که این می‌تواند نشان دهد که دمای هوای روزانه در این فصل‌ها خنک‌تر خواهد بود. اما میانگین دمای حداکثر در فصل‌های تابستان و پاییز افزایش پیدا خواهد کرد که این می‌تواند نشان دهد که دمای هوای روزانه در این فصل‌ها گرم‌تر خواهد شد. میانگین دمای حداقل در زمستان و بهار تحت هر سه سناریو RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 کاهش و در فصل‌های تابستان افزایش پیدا خواهد کرد. این نتایج نشان می‌دهد در دهه آتی ۲۰۴۰ شهر اراک در فصل‌های زمستان و بهار دارای دمای هوای شبانه سردتر و در فصل‌های تابستان و بهار دمای هوای شبانه گرم‌تری دارد. با توجه به اینکه گرم‌تر شدن هوا موجب افزایش تقاضا برای آب و برق می‌شود و چون اراک شهری صنعتی و با آب و هوای خشک است می‌تواند در آینده با چالش‌های جدی کمبود آب و برق مواجه شود.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به‌دست آمده در این مطالعه در دهه ۲۰۴۰ شهر اراک زمستان و بهار سردتر و تابستان و پاییز گرم‌تری خواهد داشت. بیشترین تأثیر تغییر اقلیم بر دمای شهر اراک مربوط به میانگین دمای حداقل فصل پاییز است که تحت سناریوهای RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 میانگین دمای حداقل در فصل پاییز به ترتیب ۲۰۶/۸۸ و ۱۹۶/۳۷ و ۱۹۲/۲۷ درصد افزایش پیدا می‌کند. میانگین دمای حداکثر و حداقل سالانه تحت هر سه سناریو در دهه آتی ۲۰۴۰ افزایش پیدا می‌کند که بیشترین افزایش میانگین دمای حداکثر و حداقل سالانه به ترتیب مربوط به سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 می‌باشد که برابر با ۴/۱۴ و ۴/۳۸ درصد است.

* Corresponding Author: Email Address. Zaniar.f35@gmail.com

مقدمه

زمین در طول تاریخ همیشه تغییرات اقلیمی داشته است. در گذشته این تغییرات به صورت عصر یخبندان بوده و در قرن ۲۱ به صورت گرمایش جهانی می‌باشد. انسان همیشه به دنبال راهی بوده است که بتواند تغییرات اقلیم را پیش‌بینی و راهکارهایی در راستای مقابله با تغییرات پیدا کند. تغییر اقلیم به عنوان مهم‌ترین تهدید برای زندگی انسان و سلامت زمین می‌باشد. در قرن بیست و یکم تغییر اقلیم به عنوان یک چالش جهانی شناخته می‌شود. بارندگی و دما طی سال‌های متوالی از یک الگوی نسبتاً مشخص پیروی کرده‌اند که هر گونه تغییر در این الگوها به معنای تغییر در شرایط اقلیمی می‌باشد (Al-Mukhtar, 2018). بعد از انقلاب صنعتی فعالیت‌های انسان تأثیرات جدی بر روی اقلیم زمین داشته است. این فعالیت‌ها باعث شده است که میانگین دمای زمین ۱ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا بکند. همچنین پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۵۲ این افزایش به ۱/۵ درجه سانتی‌گراد برسد (IPCC, 2018). افزایش دمای میانگین موجب کاهش برف و پوشش‌های یخی، طولانی‌تر شدن فصول رشد، افزایش بارندگی‌هایی با شدت زیاد و همچنین زودرسی فصل بهار در نیمکره شمالی خواهد شد (Rosenzweig et al., 2018). در نتیجه این افزایش دما انسان باید آمادگی مواجه شدن با طیف گسترده‌ای از خطرات همانند خشکسالی، سیل و آتش‌سوزی را داشته باشد. اگر میانگین دمای زمین ۱/۵ تا ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کند میزان دوره بازگشت خشکسالی‌های سخت و تأثیر گذار بر بخش کشاورزی و سیلاب‌هایی با دوره بازگشت ۵۰ ساله به ترتیب ۲۴ تا ۶۱ و ۲/۴ تا ۵/۴ درصد افزایش پیدا می‌کند (Arnell et al., 2019). با توجه به این موضوع که تمامی پارامترهای اقلیمی همچون بارش، تبخیر و سایر موارد، نسبت به میزان تغییرات دما بسیار حساس می‌باشند بنابراین مطالعه و بررسی تغییرات دما امری لازم می‌باشد. جمعیت شهرنشینی در جهان تا سال ۲۰۵۰ به بیش از ۶۷ درصد خواهد رسید (IPCC, 2014). با توجه افزایش جمعیت و توسعه مناطق شهری، بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر روی این مناطق ضروری می‌باشد. چون که جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی زندگی شهروندان می‌تواند تحت تأثیر تغییرات دما قرار بگیرد. مطالعه و بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی در دوره‌های آتی می‌تواند به مدیران و سیاستمداران برای مقابله با این تغییرات کمک زیادی بکند. برای درک بهترین تغییرات آتی و مقابله با آن‌ها نیاز است که این تغییرات پیش‌بینی و شبیه‌سازی شوند. مدل‌های گردش عمومی جو (GCM*) اثر گازهای گلخانه‌ای را بر اساس سناریوهای مختلفی اقلیمی شبیه‌سازی می‌کنند. این مدل‌ها توانایی شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی آینده را دارند. عدم دقت کافی در مقیاس‌های کوچک و محلی از مهم‌ترین ضعف‌های این مدل‌ها می‌باشد که برای جبران این ضعف لازم است که از تکنیک ریزمقیاس‌نمایی استفاده شود. ریزمقیاس‌نمایی به معنای ایجاد ارتباط بین پیش‌بینی کننده‌های جوی بزرگ مقیاس و متغیرهای پیش‌بینی شونده محلی است. ریزمقیاس‌نمایی به دو گروه اصلی آماری و دینامیکی تقسیم می‌شوند. روش ریزمقیاس‌نمایی آماری مزایای بیشتری نسبت به روش ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی دارد که از مهمترین این مزایا می‌توان به ساده بودن، دسترسی ساده‌تر به داده‌های ورودی و کم‌تر بودن هزینه‌ها اشاره کرد. مدل SDSM یکی از پرکاربردترین و محبوب‌ترین مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری است (Fallah Ghalhari et al., 2019). با استفاده از مدل

* General Circulation Model

ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM مطالعات متنوعی در سرتاسر جهان انجام شده است که در ادامه تعدادی از این مطالعات بیان می‌شود.

Gulacha and Mulungu (2016) با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM در حوضه رودخانه وامی‌روو اقدام به بررسی سناریوهای تغییر اقلیم برای بارش و دما نمودند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که میانگین بارش باران طی دهه‌های ۲۰۸۰-۲۰۵۰-۲۰۲۰ به ترتیب ۱۰۷ و ۳۲۸ و ۶۴۸ درصد تغییر خواهد کرد. (Khadka and Dinesh (2016) با استفاده از مدل SDSM و تحت سناریوهای RCP اقدام به بررسی دمای حوضه رودخانه مارسایندی ۴ در کشور نپال نمودند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که در دهه ۲۰۹۰ دمای حداکثر ۲/۲۹ و دمای حداقل ۲/۴۳ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا می‌کند. Liu et al. (2017) با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM و مجموعه داده‌های مدل گردش عمومی CMIP5 اقدام به بررسی تغییرات دما در ناحیه مونسونی چین نمودند. که نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که میانگین دمای منطقه مورد مطالعه در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰ افزایش پیدا می‌کند. (Fenta Mekonnen and Markus (2018) با استفاده از دو مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM و LARSWG اقدام به بررسی تغییرات دما در حوضه رودخانه نیل نمودند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که دمای حداکثر ۰/۴ تا ۴/۳ و دمای حداکثر ۰/۳ تا ۴/۱ تا سال ۲۱۰۰ افزایش پیدا خواهد کرد. (Asakereh et al. (2019) با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز برای دوره‌های آتی (۲۰۱۰-۲۰۳۹) و (۲۰۴۰-۲۰۶۹) و (۲۰۷۰-۲۰۹۹) تحت سه سناریوی RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 مورد مطالعه و ارزیابی قرار دادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که دمای منطقه بر اساس هر سه سناریو و برای هر سه دوره آتی افزایش پیدا خواهد کرد. (Phuong et al. (2020) با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM اقدام به پیش‌بینی تأثیر تغییر اقلیم بر داده‌های اقلیمی حوضه رودخانه وو جیا سو بون در کشور ویتنام نمودند. آن‌ها در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که در دهه ۲۰۸۰ دمای حداقل حدوداً ۱/۲۴ تا ۱/۹۶ درجه سانتی‌گراد و دمای حداکثر حدوداً ۲/۶۷ تا ۳/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا می‌کند. Shahoei et al. (2020) با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM اقدام به پیش‌بینی تأثیر تغییر اقلیم بر حوضه روانسر سنجابی استان کرمانشاه برای دوره آتی (۲۰۴۱-۲۱۰۰) تحت سه سناریوی RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 کردند. بر اساس تحقیق آن‌ها دمای حداکثر و حداقل سالانه در این حوضه برای دوره آتی (۲۰۴۱-۲۱۰۰) افزایش خواهد یافت. بیشترین مقادیر پیش‌بینی شده این متغیرها مربوط به سناریوی RCP8.5 می‌باشد. (Fatehi and Shahoei (2021) با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM اقدام به پیش‌بینی تأثیر تغییر اقلیم بر دمای حداقل و حداکثر شهر سنندج نمودند. با توجه به نتایج به‌دست آمده در تحقیق آن‌ها میانگین دمای حداقل ماهانه وقتی که زیر صفر است برای دوره‌های ۲۰۲۵-۲۰۵۰ و ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و تحت سه سناریو RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 کاهش پیدا می‌کند و زمانی که میانگین دمای هوای حداقل بیشتر از صفر است برای هر دو دوره آتی و تحت هر سه سناریو افزایش پیدا می‌کند. میانگین دمای حداکثر برای دوره‌های آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۰ و ۲۰۵۱-۲۰۷۵ و تحت هر سه سناریو افزایش پیدا می‌کند و این افزایش بیشتر مربوط به ماه‌های گرم سال است. (Fatehi and Shahoei (2021) اقدام به شبیه‌سازی تأثیر تغییر اقلیم بر میانگین دمای فصلی و سالانه شهر همدان نمودند. بر اساس تحقیق آن‌ها میانگین دمای حداکثر در دوره‌های آتی (۲۰۲۵-۲۰۵۰) و (۲۰۵۱-۲۰۷۵) و تحت سناریوهای RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 در فصل‌های بهار، تابستان و پاییز افزایش و در فصل زمستان کاهش پیدا می‌کند. Fatehi and

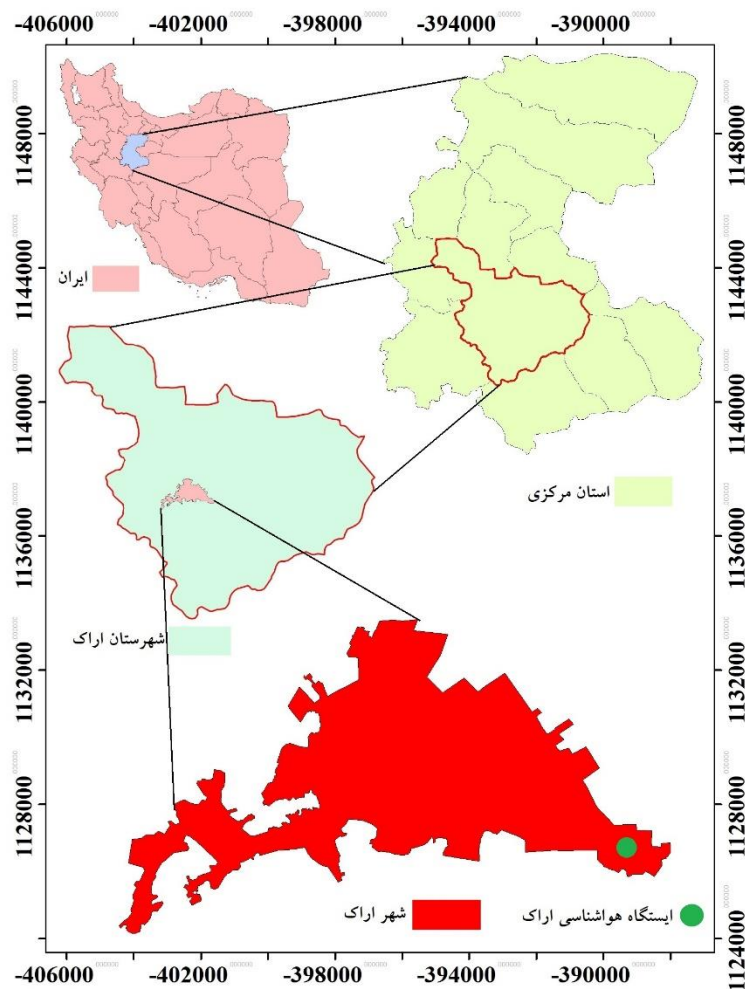
Shahoei (2021) اقدام به بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر دمای حداکثر و حداقل سالانه و فصلی شهرستان ارومیه در دهه آتی ۲۰۳۰ نمودند. آن‌ها در این تحقیق دریافتند که میانگین دمای حداقل در دهه آتی ۲۰۳۰ تحت سناریوهای RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 در فصل‌های زمستان و بهار کاهش و در فصل‌های تابستان و پاییز افزایش پیدا خواهد کرد. میانگین دمای حداقل سالانه برای دهه آتی ۲۰۳۰ تحت هر سه سناریو RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 کاهش پیدا میکند. میانگین دمای حداکثر در دهه آتی ۲۰۳۰ تحت سناریوهای RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 در فصل‌های زمستان و بهار کاهش و در فصل تابستان و پاییز افزایش پیدا می‌کند. میانگین دمای حداکثر سالانه برای دهه آتی ۲۰۳۰ تحت هر سه سناریو RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 افزایش پیدا می‌کند. (Fatehi et al. (2021) با استفاده از مدل SDSM و تحت سه سناریو RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 اقدام به ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی حوزه آبریز دریاچه ارومیه در استان کردستان نمودند. طبق تحقیق آن‌ها در سه دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۰ و ۲۰۵۱-۲۰۷۵ و ۲۰۷۶-۲۰۹۹ و تحت هر سه سناریوی انتشار میانگین مجموع بارش ماهانه افزایش پیدا می‌کند. همچنین میانگین دمای حداکثر نیز برای بیشتر ماه‌های سال افزایش پیدا می‌کند و میانگین دمای حداقل در ماه‌های سرد کاهش و در ماه‌های گرم سال افزایش پیدا می‌کند تغییر اقلیم بر شهرهایی با آب و هوای خشک و یا شهرهای صنعتی که نیاز به آب زیادی دارند تاثیر بیشتری نسبت به سایر شهرها دارد. شهر اراک اگرچه شهر صنعتی می‌باشد اما دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و هر نوع تغییری در دمای این شهر می‌تواند به طور مستقیم بر میزان عرضه و تقاضای آب تاثیر گذار باشد. با روند رو به رشد دما در جهان و مخصوصا در مناطق خشک و نیمه‌خشک امکان دارد این شهر در دهه‌های آتی با تنش آبی مواجه شود بنابراین لازم است که تغییرات دمایی این شهر برای دهه‌های آتی مورد بررسی و ارزیابی قرار بگیرند. هدف این پژوهش پیش‌بینی تاثیر تغییر اقلیم بر میانگین دمای حداکثر و حداقل سالانه و فصلی شهر اراک تحت سناریوهای انتشار RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 برای دهه آتی ۲۰۴۰ می‌باشد. برای اینکه بتوان درک و فهم درستی از اثرات تغییر اقلیم بر مناطق شهری داشت لازم است که این تغییرات پیش‌بینی و شبیه‌سازی شوند. در این صورت می‌توان تصمیمات و سیاست‌های درست را برای مقابله و یا کاهش خطرهای اقتصادی و اجتماعی این تغییرات اتخاذ نمود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شهر اراک مرکز استان مرکزی می‌باشد. اراک نسبت به سایر شهرهای ایران شهر جوانی می‌باشد اما به دلیل موقعیت جغرافیایی و صنعتی بودن یکی از کلان‌شهرهای مهم در مرکز ایران محسوب می‌شود. جمعیت این شهر بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ بیش از ۵۲۰ هزار نفر است. ارتفاع متوسط این شهرستان ۱۷۰۰ متر از سطح دریا است. از میان شهر اراک تنها یک رود عبور می‌کند که این رود فصلی بوده و در تابستان خشک می‌شود. شهر اراک دارای زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک است. تالاب میقان، دشت فراهان و کوه‌های پیرامون اراک در آب و هوای این شهر اثر کرده و ویژگی‌های خاصی به آن بخشیده‌اند. ابرها و جریان‌های غربی در پاییز و زمستان بیشتر رطوبت خود را در کوه‌های غرب منطقه از دست می‌دهند و در زمستان جبهه سردی هوای اراک را اشغال

می‌کند. اقلیم شهر اراک بر اساس طبقه‌بندی دمارتن نیمه خشک و براساس طبقه‌بندی آمبروزه خشک و سرد می‌باشد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی شهر اراک و ایستگاه سینوپتیک مورد استفاده را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه هواشناسی شهر اراک

Fig 1- The location of the study area and meteorological station of Arak city

ایستگاه هواشناسی اراک اولین ایستگاه هواشناسی استان مرکزی است که در سال ۱۳۲۷ افتتاح شد که از نوع سینوپتیک اصلی می‌باشد. به دلیل جابه‌جایی‌های متعدد، این ایستگاه در بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۲۰ دارای داده برداری نسبتاً منظم است. داده‌های دمای حداکثر و حداقل روزانه از سازمان هواشناسی شهر اراک دریافت شد. ایستگاه سینوپتیک اراک در طول جغرافیایی ۴۹/۴۶ و عرض جغرافیایی ۳۴/۰۶ و ارتفاع ۱۷۰۳ متر از سطح دریا قرار دارد. بنابراین برای ریزمقیاس‌نمایی دمای

حداکثر و حداقل از یک دوره ۲۰ ساله ۱۹۸۵-۲۰۰۵ استفاده شد. چونکه متغیر بزرگ مقیاس NCEP برای دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۵ می‌باشد به همین دلیل دوره ۱۹۸۵-۲۰۰۵ برای ریزمقیاس نمایی استفاده شد.

مدل گردش عمومی جو (GCM) و مدل ریزمقیاس‌نمایی (SDSM)

در این پژوهش برای برآورد پارامترهای هواشناسی از خروجی مدل CanESM2 که جز سری مدل‌های CMIP5 و گزارش پنجم هیأت بین‌الدول (IPCC) استفاده شد. دسترسی آسان به خروجی‌های این مدل و انجام مطالعات زیاد در کشورهای مختلف از مهم‌ترین دلایل استفاده از آن در این تحقیق می‌باشد. همچنین از متغیرهای بزرگ مقیاس NCEP برای بررسی توانایی مدل در شبیه‌سازی استفاده شد. به این دلیل که نمی‌توان از خروجی این مدل برای ایستگاه مورد نظر استفاده کرد پس خروجی‌های بدست آمده برای کاربرد در مقیاس محلی ریزمقیاس شدند. به دلیل کارایی زیاد مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM، از این مدل برای ریزمقیاس نمودن داده‌های بزرگ مقیاس استفاده شد. ویلبی و همکاران* (۲۰۰۲) در سال ۲۰۰۲ این مدل را به عنوان یک ابزار ترکیبی از رگرسیون خطی چندگانه و تولید داده‌های تصادفی هواشناسی توسعه دادند. داده‌های روزانه هواشناسی ایستگاه مورد نظر به عنوان ورودی مدل SDSM استفاده می‌شود سپس مدل با استفاده از این داده‌ها، خروجی مدل GCM را در هفت مرحله ریزمقیاس می‌نماید. این هفت مرحله به ترتیب شامل کنترل کیفی و تبدیل داده‌ها، بررسی و انتخاب متغیر پیش‌بینی کننده، برازش مدل، تولید داده‌های هواشناسی، تحلیل نمودارها و تولید سناریو می‌باشند.

سناریوهای انتشار

در سناریوهای انتشار جنبه‌های مختلف تغییرات انرژی، توسعه اقتصادی، رشد جمعیت، کاربری اراضی و مسائل زیست محیطی از دیدگاه جهانی و منطقه‌ای دیده شده است. هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) در تدوین گزارش پنجم ارزیابی (AR5) خود سناریوهای جدید RCP را پیشنهاد داد. این سناریوهای پیشنهادی در چهار حالت RCP2.6, RCP4.5, RCP6, RCP8.5 هستند. RCP های ۴/۵، ۶، ۸/۵ تقریباً با سناریوهای A2, A1B, B1 مطابقت دارند سناریوهای انتشار RCP بر اساس میزان واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند (IPCC, ۲۰۱۴). در این تحقیق از سه سناریوی RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 استفاده شد.

سناریو انتشار RCP2.6: در این سناریو میزان استفاده از انرژی‌های نو بیشتر و میزان استفاده از سوخت‌های فسیلی بجز زغال سنگ کمتر از سایر سناریوها می‌باشد. بر اساس این سناریو میزان واداشت تابشی در سال ۲۱۰۰ به ۲/۶ وات بر متر مربع می‌رسد (IPCC, ۲۰۱۴).

* Wilby et al

سناریو انتشار RCP4.5: در این سناریو نرخ رشد جمعیت نسبت به سناریوی RCP2.6 کمتر تخمین زده شده است. بر اساس این سناریو میزان واداشت تابشی قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر متر مربع ثابت می‌ماند (IPCC, ۲۰۱۴).

سناریو انتشار RCP8.5: همچنین در این سناریو به دلیل افزایش جمعیت میزان تولید ناخالص کشورهای توسعه یافته پایین است. در این سناریو هیچ‌گونه سیاست کاهش آثار و پیامدهای اقلیمی در نظر گرفته نشده است. طبق سناریوی RCP8.5 میزان غلظت دی‌اکسید کربن به 1000 ppm رسیده و همچنان روند افزایشی خواهد داشت، همچنین تا سال ۲۱۰۰ میزان واداشت تابشی نیز به ۸/۵ وات بر متر مربع خواهد رسید (IPCC, ۲۰۱۴).

نتایج و بحث

در این تحقیق ابتدا توانایی مدل SDSM در شبیه‌سازی دمای حداقل و حداکثر مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این کار از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک اراک در یک دوره مشاهداتی ۲۰ ساله (۱۹۸۵-۲۰۰۵) استفاده شد. نتایج بدست آمده برای تایید توانایی مدل SDSM در شبیه‌سازی دمای حداقل و حداکثر شهر اراک در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- توانایی مدل SDSM در شبیه‌سازی میانگین دمای حداقل و حداکثر فصلی و سالانه در دوره مشاهداتی ۱۹۸۵-

۲۰۰۵

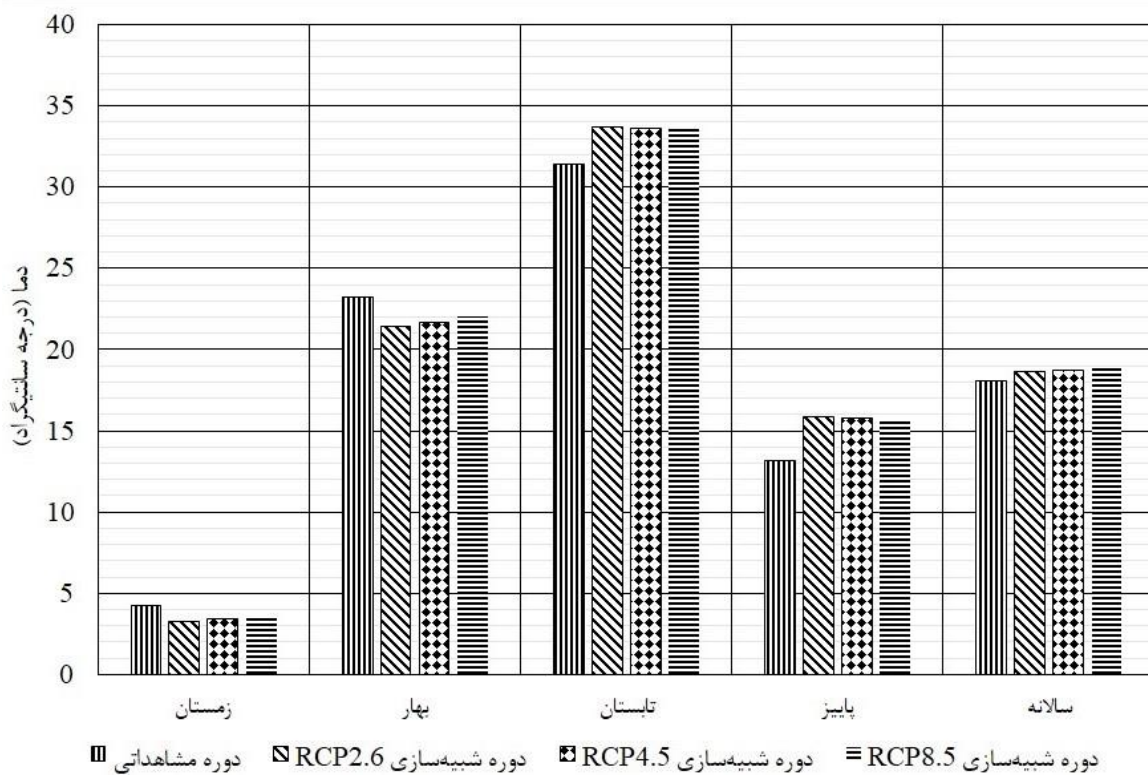
Table 1. Ability of SDSM model to simulate the mean of seasonal and annual minimum and maximum temperatures in the observation period 1985-2005

سالانه	پاییز	تابستان	بهار	زمستان		
Annual	Autumn	Summer	Spring	Winter		
18.08	13.15	31.42	23.23	4.21	مشاهداتی observed	میانگین دمای حداکثر (°C) Mean Maximum Temperature
18.07	13.147	31.43	23.22	4.19	شبیه‌سازی simulation	
-0.01	-0.003	0.01	-0.01	-0.02	خطا Error	
3.30	0.61	10.85	6.43	-4.89	مشاهداتی observed	میانگین دمای حداقل (°C) Mean Minimum Temperature
3.29	0.607	10.84	6.42	-4.88	شبیه‌سازی simulation	
-0.01	-0.003	-0.01	-0.01	-0.01	خطا Error	

شبیه‌سازی دما در سطح اعتماد ۰/۰۵ معنی‌دار است. بر اساس جدول (۱) بیشترین خطای شبیه‌سازی میانگین دمای حداکثر فصلی مربوط به فصل زمستان که برابر با ۰/۰۲- درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین خطا مربوط به فصل پاییز که برابر با ۰/۰۳- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. میزان خطای میانگین دمای حداقل فصلی در سه فصل زمستان، بهار و تابستان یکسان است که برابر با ۰/۰۱- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین کم‌ترین خطای شبیه‌سازی میانگین دمای حداقل فصلی مربوط به فصل پاییز است که برابر با ۰/۰۳- درجه سانتی‌گراد است. میزان خطای شبیه‌سازی میانگین دمای حداکثر و حداقل سالانه برابر با ۰/۰۱- درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

دمای حداکثر

بر اساس نتایج به‌دست آمده در جدول (۱) مدل SDSM توانایی خوبی در شبیه‌سازی دمای حداکثر در منطقه مورد مطالعه را دارد. در دوره مشاهداتی (۱۹۸۵-۲۰۰۵) بیشترین و کم‌ترین میانگین دمای حداکثر ثبت شده در منطقه مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۴۱/۹۳ و ۱۰/۰۶- درجه سانتی‌گراد است. در این پژوهش تغییرات میانگین دمای حداکثر فصلی و سالانه برای دهه آتی ۲۰۴۰ و تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 مورد ارزیابی قرار گرفت که در شکل (۲) میزان این تغییرات بر حسب درجه سانتی‌گراد و جدول (۲) درصد این تغییرات تحت هر سه سناریوی انتشار نشان داده شده است.



شکل ۲- میزان تغییرات میانگین دمای حداکثر فصلی و سالانه در دهه آتی ۲۰۴۰ تحت سه سناریو انتشار RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۸۵-۲۰۰۵) بر حسب درجه سانتیگراد در شهر اراک

Fig. 2- The rate of changes in the average seasonal and annual maximum temperature in the 2040s under three emission scenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 compared to the observation period (1985-2005) in degrees Celsius in Arak city

در شهر اراک دمای فصل زمستان به دلیل سرمای زیاد غالباً تأثیر زیادی بر دمای فصل بهار می‌گذارد و این امر سبب می‌شود که فصل بهار در اراک خنک باشد. همچنین فصل تابستان نیز به دلیل گرمای زیادی که دارد سبب گرم‌تر شدن فصل پاییز می‌گردد. به عبارتی دمای فصل‌های بهار و پاییز به ترتیب متأثر از فصل‌های زمستان و تابستان هستند. لذا هر تغییری در دمای فصل‌های زمستان و تابستان می‌تواند بر دمای بهار و پاییز تأثیرگذار باشد. در این تحقیق نیز میانگین دمای حداکثر فصل زمستان در دهه آتی ۲۰۴۰ کاهش پیدا کرده است و به دلیل تأثیری که بر فصل بهار دارد دمای این فصل نیز کاهش پیدا می‌کند. همچنین به دلیل افزایش میانگین دمای حداکثر فصل تابستان، دمای فصل پاییز نیز افزایش پیدا خواهد کرد.

جدول ۲- درصد تغییرات میانگین دمای حداکثر فصلی و سالانه در دهه آتی ۲۰۴۰ تحت سه سناریو انتشار RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۸۵-۲۰۰۵) در شهر اراک

Table 2. Percentage of changes in the mean seasonal and annual maximum temperature in the 2040s under three emission scenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 compared to the observation period (1985-2005) in Arak city

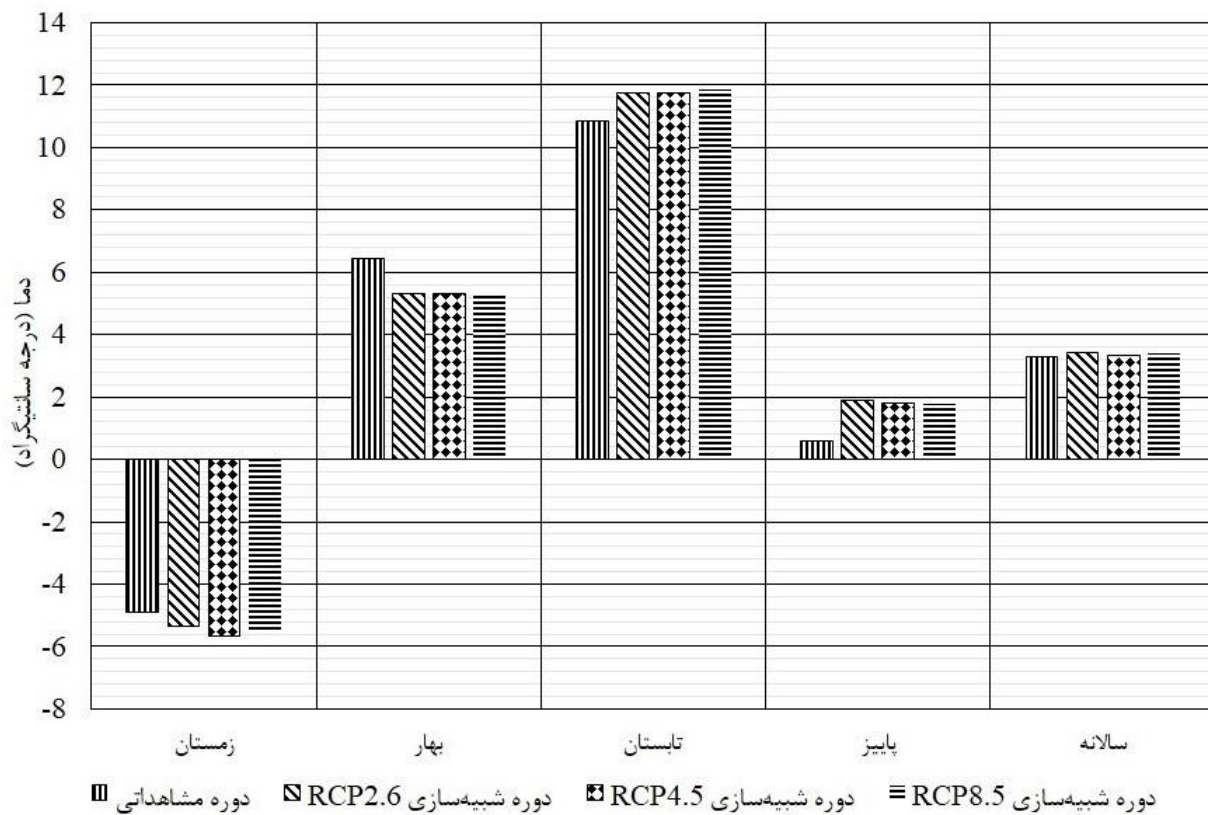
سالانه Annual	پاییز Autumn	تابستان Summer	بهار Spring	زمستان Winter		
18.08	13.15	31.42	23.23	4.21	-	دوره مشاهداتی (۱۹۸۵-۲۰۰۵) Observation period (1985-2005)
3.16	20.62	7.26	-7.62	-22.37	RCP2.6	
3.48	20.12	6.91	-6.59	-18.30	RCP4.5	دوره شبیه‌سازی (دهه ۲۰۴۰) Simulation period (2040s)
4.14	19.94	7.35	-5.17	-17.63	RCP8.5	

با توجه به شکل (۲) و جدول (۲) میانگین دمای حداکثر در فصل‌های زمستان و بهار در دهه آتی ۲۰۴۰ تحت هر سه سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 کاهش پیدا خواهد کرد. بیشترین و کم‌ترین تغییر به ترتیب مربوط به سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 است که میانگین دمای حداکثر به ترتیب ۲۲/۳۷ و ۱۷/۶۳ درصد کاهش پیدا خواهد کرد. بیشترین تغییر در فصل بهار مربوط به سناریو RCP2.6 می‌باشد که میانگین دمای حداکثر ۷/۶۲ درصد کاهش پیدا خواهد کرد. همچنین کم‌ترین

تغییر مربوط به سناریو RCP8.5 است که میانگین دمای حداکثر ۵/۱۷ درصد کاهش پیدا می‌کند. در فصل تابستان و پاییز تحت هر سه سناریو میانگین دمای حداکثر افزایش پیدا می‌کند. بر اساس سناریو RCP2.6 استفاده از انرژی‌های نو در دهه‌های آتی افزایش می‌یابد و تولید گازهای گلخانه‌ای کاهش پیدا خواهد کرد و همین امر موجب می‌شود که میانگین دمای حداکثر در فصل‌های زمستان و بهار در دهه آتی ۲۰۴۰ بیشترین کاهش را داشته‌باشد. همچنین سناریو RCP8.5 یک سناریو بدبینانه می‌باشد که بر اساس این سناریو تولید گازهای گلخانه‌ای به همین صورت فعلی ادامه پیدا می‌کند که بر اساس این سناریو میانگین دمای حداکثر در فصل‌های زمستان و بهار در دهه آتی ۲۰۴۰ کم‌ترین کاهش دما را دارد. در فصل تابستان بیشترین تغییر مربوط به سناریو RCP8.5 است که میانگین دمای حداکثر ۷/۳۵ درصد افزایش پیدا می‌کند. همچنین کم‌ترین تغییر در فصل تابستان مربوط به سناریو RCP4.5 است که میانگین دمای حداکثر ۶/۹۱ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. در فصل پاییز بیشترین و کم‌ترین تغییر به ترتیب مربوط به سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 می‌باشد که میانگین دمای حداکثر به ترتیب تحت این دو سناریو ۲۰/۶۲ و ۱۹/۹۴ درصد افزایش پیدا می‌کند. میانگین دمای سالانه نیز تحت هر سه سناریو انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در دهه آتی ۲۰۴۰ افزایش پیدا می‌کند. بیشترین و کم‌ترین تغییر به ترتیب مربوط به سناریوهای RCP8.5 و RCP2.6 است که میانگین دمای حداکثر به ترتیب ۴/۱۴ و ۳/۱۶ درصد افزایش پیدا خواهد کرد.

دمای حداقل

بر اساس نتایج به‌دست آمده در جدول (۱) مدل SDSM توانایی خوبی در شبیه‌سازی دمای حداقل در منطقه مورد مطالعه را دارد. در دوره مشاهداتی (۱۹۸۵-۲۰۰۵) بیشترین و کم‌ترین میانگین دمای حداقل ثبت شده در منطقه مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۲۱/۱۴ و ۳۰/۶۴- درجه سانتی‌گراد است. در این پژوهش تغییرات میانگین دمای حداقل فصلی و سالانه برای دهه آتی ۲۰۴۰ و تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 مورد ارزیابی قرار گرفت که در شکل (۲) میزان این تغییرات بر حسب درجه سانتی‌گراد و جدول (۲) درصد این تغییرات تحت هر سه سناریوی انتشار نشان داده شده است.



شکل ۳- میزان تغییرات میانگین دمای حداقل فصلی و سالانه در دهه آتی ۲۰۴۰ تحت سه سناریو انتشار RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۸۵-۲۰۰۵) بر حسب درجه سانتیگراد در شهر اراک

Fig. 3- The rate of changes in the mean seasonal and annual maximum temperature in the 2040s under three emission scenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 compared to the observation period (1985-2005) in degrees Celsius in Arak city

در شکل (۳) میانگین دمای حداقل در فصل زمستان زیر صفر می‌باشد به همین دلیل جهت نمودار در این شکل به طرف پایین می‌باشد همچنین در سایر فصل‌ها میانگین دمای حداقل بیشتر از صفر است بنابراین جهت نمودار به طرف بالا می‌باشد. در فصل زمستان میانگین دمای حداقل در دهه آتی ۲۰۴۰ کاهش پیدا می‌کند و با توجه به طولانی بودن فصل سرما در اراک، فصل بهار نیز از فصل زمستان تأثیر می‌پذیرد بنابراین میانگین دمای حداقل در فصل بهار نیز کاهش پیدا خواهد کرد. میانگین دمای حداقل در فصل تابستان در دهه آتی ۲۰۴۰ افزایش پیدا می‌کند بنابراین فصل پاییز نیز از فصل تابستان تأثیر می‌پذیرد و میانگین دمای حداقل در این فصل نیز افزایش پیدا می‌کند. از دیگر دلایل کاهش یا افزایش دمای حداقل می‌توان به کاهش یا افزایش میانگین دمای حداکثر اشاره کرد. چون اگر میانگین دمای حداکثر کاهش یا افزایش پیدا کند بنابراین روزها خنک‌تر یا گرم‌تر خواهند شد بنابراین میانگین دمای حداقل در شب نیز کاهش یا افزایش پیدا خواهد کرد.

جدول ۳- درصد تغییرات میانگین دمای حداقل فصلی و سالانه در دهه آتی ۲۰۴۰ تحت سه سناریو انتشار RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۸۵-۲۰۰۵) در شهر اراک

Table 3. Percentage of changes in the mean seasonal and annual minimum temperature in the 2040s under three emission scenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 compared to the observation period (1985-2005) in Arak

سالانه Annual	پاییز Autumn	تابستان Summer	بهار Spring	زمستان Winter		
۳/۳۰	۰/۶۱	۱۰/۸۵	۶/۴۳	-۴/۸۹	-	دوره مشاهداتی (۱۹۸۵-۲۰۰۵) Observation period (1985-2005)
۴/۳۸	۲۰۶/۸۸	۸/۳۳	-۱۷/۰۸	-۱۰/۲۶	RCP2.6	
۱/۴۰	۱۹۶/۳۷	۸/۱۶	-۱۷/۱۳	-۱۶/۶۶	RCP4.5	دوره شبیه‌سازی (دهه ۲۰۴۰) Simulation period (2040s)
۲/۷۰	۱۹۲/۲۷	۹/۳۴	-۱۷/۵۰	-۱۴/۷۶	RCP8.5	

با توجه به شکل (۳) و جدول (۳) در دهه آتی ۲۰۴۰ و تحت هر سه سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 میانگین دمای حداقل در فصل‌های زمستان و بهار کاهش پیدا می‌کند. بیشترین و کم‌ترین تغییر در فصل زمستان به ترتیب مربوط به سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 است که تحت این سناریوها میانگین دمای حداقل به ترتیب ۱۶/۶۶ و ۱۴/۷۶ درصد کاهش پیدا خواهد کرد. در فصل بهار بیشترین تغییر مربوط به سناریو RCP8.5 است که تحت این سناریو میانگین دمای حداقل ۱۷/۵۰ درصد کاهش پیدا خواهد کرد. کم‌ترین تغییر در فصل بهار مربوط به سناریو RCP2.6 است که تحت این سناریو میانگین دمای حداقل ۱۷/۰۸ درصد کاهش پیدا می‌کند. در دهه آتی ۲۰۴۰ و تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 میانگین دمای حداقل در فصل‌های تابستان و پاییز نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۸۵-۲۰۰۵) افزایش پیدا خواهد کرد. بیشترین و کم‌ترین تغییر در فصل تابستان به ترتیب مربوط به سناریوهای RCP8.5 و RCP2.6 است که تحت این سناریوها میانگین دمای حداقل به ترتیب ۹/۳۴ و ۸/۳۳ درصد افزایش پیدا می‌کند. میانگین دمای حداقل فصل پاییز نسبت به سایر فصل‌ها بیشترین تغییر را دارد. در فصل پاییز بیشترین تغییر مربوط به سناریو RCP2.6 است که تحت این سناریو میانگین دمای حداقل ۲۰۶/۸۸ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. کم‌ترین تغییر در این فصل مربوط به سناریو RCP8.5 است که میانگین دمای حداقل ۱۹۲/۲۷ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. میانگین دمای حداقل سالانه در دهه آتی ۲۰۴۰ و تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۸۵-۲۰۰۵) افزایش پیدا خواهد کرد. بیشترین و کم‌ترین تغییر در میانگین دمای حداقل سالانه به ترتیب مربوط به سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 است که تحت این سناریوها به ترتیب میانگین دمای حداقل ۴/۳۸ و ۲/۷۰ درصد افزایش پیدا خواهد کرد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه تأثیر تغییر اقلیم جهانی بر میانگین دمای حداقل و حداکثر فصلی و سالانه شهر اراک در دهه آتی ۲۰۴۰ تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار از مدل گردش عمومی CanESM2 استفاده شد و برای ریزمقیاس نمودن خروجی‌های این مدل از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM استفاده شد. نتایج به‌دست آمده در این مطالعه نشان داد که:

۱- میانگین دمای حداکثر در فصل‌های زمستان و بهار در دهه آتی ۲۰۴۰ تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۸۵-۲۰۰۵) کاهش پیدا خواهد کرد.

۲- میانگین دمای حداکثر در فصل‌های تابستان و پاییز در دهه آتی ۲۰۴۰ تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۸۵-۲۰۰۵) افزایش پیدا خواهد کرد.

۳- میانگین دمای حداقل در فصل‌های زمستان و بهار در دهه آتی ۲۰۴۰ تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۸۵-۲۰۰۵) کاهش پیدا خواهد کرد.

۴- میانگین دمای حداقل در فصل‌های زمستان و بهار در دهه آتی ۲۰۴۰ تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۸۵-۲۰۰۵) افزایش پیدا خواهد کرد.

۵- میانگین دمای حداکثر و حداقل سالانه در دهه آتی ۲۰۴۰ تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۸۵-۲۰۰۵) افزایش پیدا خواهد کرد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده در این مطالعه در دهه ۲۰۴۰ شهر اراک زمستان و بهار سردتر و تابستان و پاییز گرم‌تری خواهد داشت. بر اساس مطالعه‌ای مشابه که (Fatehi and shahoei (2021 بر تغییرات میانگین دمای حداقل فصلی و سالانه شهر همدان انجام دادند به این نتیجه رسیدند که میانگین دمای حداقل در دوره‌های آتی (۲۰۲۵-۲۰۵۰) و (۲۰۵۱-۲۰۷۵) و تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 در فصل‌های زمستان و بهار کاهش و در فصل تابستان و پاییز افزایش پیدا می‌کند. در مطالعه دیگری (Al-Mukhtar and Qasim (2019 اقدام به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر میانگین دمای حداکثر و حداقل ۱۲ ایستگاه هواشناسی در دهه‌های آتی ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ در کشور عراق نمودند که بر اساس مطالعه آن‌ها در همه ایستگاه‌ها و در هر سه دهه آتی میانگین دمای حداکثر و حداقل تحت هر سه سناریو RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 افزایش پیدا خواهد کرد. بیشترین تأثیر تغییر اقلیم بر دمای شهر اراک مربوط به میانگین دمای حداقل فصل پاییز است که دارای بیشترین افزایش دما خواهد بود. هر نوع تغییری بر دمای مناطق شهری می‌تواند تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم زیادی بر زندگی ساکنان آن داشته باشد. با توجه به آب و هوای خشک و نیمه‌خشک شهر اراک این شهر می‌تواند در برابر تأثیرات تغییر اقلیم حساس‌تر از سایر شهرها باشد. چون تغییر اقلیم در مکان‌های مختلف تأثیرات متفاوتی دارد بنابراین لازم است که آمادگی برخورد برخورد با این افزایش و کاهش دما را داشته و اقداماتی را در جهت سازگاری و انطباق مجموعه شهری با این تغییرات اعمال نمایند. از جمله اقداماتی که می‌توان در شهر اراک انجام داد استفاده از تکنولوژی‌هایی نظیر سلول‌های

خورشیدی و خودروهای الکتریکی در بافت شهری می‌باشد. همچنین مسئولان می‌توانند برای کاهش استفاده مردم از وسایل نقلیه شخصی حمل و نقل عمومی را گسترش و نوسازی نمایند.

منابع

- Al-Mukhtar, M., 2018. Integrated approach to forecast future suspended sediment load by means of SWAT and artificial intelligence models, a case study. *Freiberg Online Geosciences*. (51), 52-77.
- Al-Mukhtar, M., Qasim, M., 2019. Future predictions of precipitation and temperature in Iraq using the statistical downscaling model. *Arabian Journal of Geosciences*. 12(2), 25.
- Arnell, N.W., Lowe, J.A., Challinor, A.J., Osborn, T.J., 2019. Global and regional impacts of climate change at different levels of global temperature increase. *Climatic Change*. 155(3), 377-391.
- Asakereh, H., Shahbaee Kotenaee, A., Foroumadi, M., 2019. Evaluating Changes and Forecasting Minimum Temperature in the West of Mazandaran Province Using Statistical Downscaling Model SDSM. *JWSS-Isfahan University of Technology*. 23(1), 101-119. (In Persian)
- Fallah Ghalhari, G.A., Yousefi, H., Hosseinzadeh, A., Alimardani, M., Reyhani, E., 2019. Assessment of Climate Change in Bojnourd Station in 2016-2050 using Downscaling Models LARS WG and SDSM. *Iranian journal of Ecohydrology*. 6(1), 99-109. (In Persian)
- Fatehi, Z., Shahoei S.V., 2021. Investigating the effect of climate change on the maximum and minimum annual and seasonal temperatures of Urmia city in the 2030s. first International Conference on Architecture, Civil Engineering, Environment and Agriculture, 14th March, Amsterdam, Netherlands. <https://civilica.com/doc/1170313>. (In Persian)
- Fatehi, Z., Shahoei, S.V., 2021. Predicting the Impact of Climate Change on Temperature in Sanandaj City. *Environment and Water Engineering*. 7(1), 170-182. (In Persian with English abstract)
- Fatehi, Z., Shahoei, S.V., 2021. Simulation of the effect of global climate change on the maximum and minimum annual and seasonal temperatures of Hamadan city. 5th International Conference on Applied Research in Agriculture, National Resources and Environment, 18th February, Hamedan, Iran. <https://civilica.com/doc/1168561>. (In Persian)
- Fatehi, Z., Shahoei, S.V., Fahiminezhad, E., 2021. Runoff Simulation of Urmia Lake catchment in Kurdistan province for the next period 2025-2099 under RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 release scenarios. Eighth National Conference on Water Resource Management, 15th-16th February Mashhad Iran. <https://civilica.com/doc/1171857>. (In Persian)
- Fenta Mekonnen, D., Disse, M., 2018. Analyzing the future climate change of Upper Blue Nile River basin using statistical downscaling techniques. *Hydrology and Earth System Sciences*. 22(4), 2391-2408.
- Gulacha, MM., Mulungu, DM., 2017. Generation of climate change scenarios for precipitation and temperature at local scales using SDSM in Wami-Ruvu River Basin Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 100, 62-72.

IPCC., 2014. Climate Change 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri RK, Meyer LA, Ed.] Geneva, Switzerland.

IPCC., 2018. Global Warming of 1.5 °C; An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty; Masson-Delmotte VP, Zhai HO, Pörtner D, Roberts J, Skea PR, Shukla A, Pirani W, Moufouma Okia C, Péan R, Pidcock S, Eds.; IPCC: Geneva, Switzerland. 2018. In Press.

Khadka, D., Pathak, D., 2016. Climate change projection for the Marsyangdi river basin, Nepal using statistical downscaling of GCM and its implications in Geo disasters. *Geo Environmental Disasters*. 3(1), 1-15.

Liu, P., Xu, Z., Li, X., 2017. Projection of climate change scenarios in different temperature zones in the eastern monsoon region, China. *Water*. 9(5), 305.

Phuong, D.N.D., Duong, T.Q., Liem, N.D., Tram, V.N.Q., Cuong, D.K., Loi, N.K., 2020. Projections of future climate change in the Vu Gia Thu Bon River Basin, Vietnam by using statistical downscaling model (SDSM). *Water*. 12(3), 755.

Rosenzweig, C., Karoly, D., Vicarelli, M., Neofotis, P., Wu, Q., Casassa, G., ... Imeson, A., 2008. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature*. 453(7193), 353-357.

Shahoei, S.V., Fahiminezhad, E., Fatehi, Z., 2020. Impact of Global Climate Change on Climate Data in Ravansar Sanjabi Basin, Kermanshah Province. *Environment and Water Engineering*. 6(1), 45-57. (In Persian with English abstract).

Wilby, R.L., Dawson, C.W., Barrow, E.M., 2002. SDSM—a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*. 17(2), 145-157.

Impact of global climate change on temperature seasonal and annual of Arak city in the 2040s

Jalalaldin Shahbaz,¹ Zaniar Fatehi^{2*} and Kamran Chapi¹

¹ Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

² Department of Civil Engineering, Tose Danesh Institute of Higher Education, Sanandaj, Iran

Introduction: Global warming is the most important challenge facing man in the 21st century. Warmer weather will increase evapotranspiration, which will exacerbate droughts. One of the main causes of global warming is man himself. Humans have accelerated the Earth's climate change by producing large amounts of greenhouse gases. For this reason, information about changes in the earth's temperature in the next decades has always been considered. The results of the researchers show that climate change has obvious and significant effects on temperature and rainfall in different parts of Iran in the next decades. By predicting and estimating the extent of these effects, climate change impacts can be mitigated with adequate preparedness, low cost, and greater speed.

Material and methods: In this study, the effect of climate change on the mean maximum and minimum annual and seasonal temperatures in Arak under the emission scenarios of RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 for the 2040s was investigated. To use the output of General Circulation Models at regional and local scales is that they are using downscaling models, are downscaled. In this study, Statistical Downscaling Model (SDSM) to downscale output of General Circulation Models CanESM2 were used. This model had an acceptable ability to simulate the average maximum and minimum seasonal and annual temperatures in the study area.

Results and discussion: According to the obtained results, the mean maximum temperature in winter and spring will decrease under all three scenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5, which can indicate that the daily temperature will be cooler in these seasons. However, the mean maximum temperature will increase in summer and autumn, which may indicate that the daily temperature will be warmer in these seasons. The mean minimum temperature in winter and spring under all three scenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 will decrease and increase in summer seasons. These results show that in the 2040s, the city of Arak has colder night temperatures in winter and spring and warmer temperatures in summer and spring. Due to the fact that warmer weather increases the demand for water and electricity, and because Arak is an industrial city with a dry climate, it can face serious challenges of water and electricity shortage in the future.

Conclusion: According to the results obtained in this study, in the 2040s, Arak will have colder winters and springs, and warmer summers and autumns. The highest effect of climate change on the temperature of Arak is related to the average minimum temperature in autumn, which under the scenarios of RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5, the average minimum temperature in autumn increased by 206.88, 196.37 and 192.27 percent, respectively. The mean annual maximum and minimum temperature under all three scenarios will increase in the 2040s. The highest increase in the mean annual maximum and minimum temperature is related to RCP8.5 and RCP2.6 scenarios, respectively, which they are equal to 4.14 and 4.38.

Keywords: Climate Change, SDSM Model, GCM Model, Seasonal Temperature, Annual Temperature.

* Corresponding Author: *Email Address.* Zaniar.f35@gmail.com