

تغییرات پیش‌نگری شده دمای کمینه و بیشینه بر مبنای روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری دهه آتی (۲۰۲۱-۲۰۵۰) در ایستگاه خرم‌آباد

برومند صلاحی^۱، فاطمه وطن‌پرست قلعه جوق^{۲*}

^۱ استاد آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی -
^۲ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۹/۳۰ ، تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۱۹

چکیده

افزایش دما و وقوع گرمایش جهانی از مهم‌ترین پدیده‌هایی است که بر منابع مختلف و زندگی بشر اثرات زیانباری دارد. در این پژوهش عملکرد خروجی دو مدل جهانی CanESM2 و HadGEM2 تحت سه سناریو RCP ۲٫۶، RCP ۴٫۵ و RCP ۸٫۵ حاصل از مدل LARS-WG و SDSM جهت ارزیابی تغییرات دما برای دوره (۲۰۲۱-۲۰۵۰) ریزمقیاس شدند. داده‌های مورد استفاده دمای کمینه و بیشینه ایستگاه همدیدی خرم‌آباد برای دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۶۱) می‌باشد. جهت واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌ها نیز از شاخص‌های MSE، RMSE، MAE و R^2 استفاده شد و نتایج حاصل نشان داد که هر دو مدل در شبیه‌سازی دما از توانایی قابل قبولی برخوردار هستند. نتایج پیش‌نگری نشان‌دهنده افزایش دمای بیشینه و کمینه تحت هر سه سناریو RCP مدل HadGEM2 در دوره آتی نسبت به دوره پایه است. بیشترین میزان افزایش دمای بیشینه مربوط به ماه آوریل با ۳/۵ درصد و کمترین آن در ماه نوامبر برابر با ۱ درصد است و بیشترین تغییرات دمای کمینه نیز مربوط به ماه ژوئن با ۲/۴ درصد و کمترین آن مربوط به ماه‌های نوامبر و اکتبر با ۱/۳ درصد است. نتایج حاصل از برون‌داد مدل اقلیمی CanESM2 برای دهه آتی نشان می‌دهد که دمای بیشینه به‌جز ماه سپتامبر با ۱/۲ درصد کاهش در بقیه ماه‌ها نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد که بیشترین تغییرات مربوط به ماه‌های فوریه و مارس با ۳/۵ درصد است و دمای کمینه نیز به‌جز ماه نوامبر با ۰/۹ درصد کاهش در بقیه ماه‌ها افزایش خواهد یافت و تحلیل روند نشان‌دهنده افزایش دمای دهه آتی نسبت به دوره پایه است.

کلمات کلیدی: دما، ایستگاه همدیدی خرم‌آباد، مدل SDSM، مدل LARS-WG

مقدمه

یکی از مهم‌ترین مباحث بین‌المللی، تغییر اقلیم جهانی افزایش دمای کره زمین است. سازمان‌های بین‌المللی تلاش می‌کنند تا با همکاری کشورهای جهان سرعت افزایش دمای کره زمین را کندتر کنند. معاهده پاریس در سال ۲۰۱۶ کشورهای جهان را ملزم می‌کند تا با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، دمای کره زمین تا پایان قرن بیستم بیشتر از ۲ درجه سلسیوس افزایش نیابد (عارف و علیجانی، ۱۳۹۷). تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین، اثرات زیانباری بر منابع مختلف از جمله آب، جنگل، مرتع، اراضی کشاورزی، صنعت و در نهایت زندگی انسان دارد. اولین تأثیر تغییر اقلیم روی عناصر اتمسفری خصوصاً دما و بارش می‌باشد (آبکار و همکاران، ۱۳۹۲). شیوه‌های متنوعی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم وجود دارد که معتبرترین آن‌ها استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو یا GCM می‌باشد. استفاده از انواع مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری در شبیه‌سازی تغییر اقلیم رایج است (غریب‌دوست و همکاران، ۱۳۹۶). در سطح جهان و ایران مطالعاتی در زمینه ریزمقیاس‌نمایی آماری و شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی صورت گرفته است از جمله: توکی‌مات و همکاران (۲۰۱۹) به پیش‌بینی تغییرات بارندگی با استفاده از مدل SDSM برای سال (۲۰۳۰ - ۲۰۱۱) پرداخته‌اند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که میزان بارندگی در دهه آتی ۱۴ درصد کاهش می‌یابد و سناریوی RCP۸.۵ کمترین تغییرات بارندگی را نشان می‌دهد. نیلاوار و ویکار (۲۰۱۹) تأثیر تغییرات دما و بارش بر روی رودخانه پورنا در هند را با سناریوهای RCP برای دوره ۲۰۰۹ تا ۲۰۹۹ بررسی کردند و نتایج نشان داد که هر دو عنصر برای دهه‌های آتی افزایش می‌یابد. نتایج پژوهش حیدری و همکاران (۲۰۲۰) بر اساس خروجی سناریوهای RCP نشان‌دهنده کاهش ۴/۵ درصدی بارش در حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. چیم و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی تغییرات دما و بارش در منطقه کامبوج با استفاده از مدل گردش عمومی SDSM تحت سناریوی (RCP۲.۶، RCP۴.۵ و RCP۸.۵) پرداختند و نتایج پژوهش نشان داد که در دهه‌های آتی میزان بارش کاهش و

دما زیاد شده که خشکسالی را در پی خواهد داشت. احمدی و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی تأثیر متغیر دما و بارش بر عملکرد محصول ذرت در دشت قزوین بر اساس سه سناریو (RCP۲.۶، RCP۴.۵ و RCP۸.۵) مدل LARS-WG برای دوره پایه و دوره آتی (۲۰۱۵-۱۹۸۶) (۲۰۲۱-۲۰۱۰) پرداختند و نتایج نشان داد که مدل در شبیه‌سازی دمای کمینه و بیشینه دقت بیشتری نسبت به بارش دارد. جواهریان و همکاران (۲۰۲۱) به پیش‌بینی پارامترهای بارندگی، دمای کمینه و بیشینه در حوضه سد لار در دوره آماری (۱۹۹۵-۱۹۸۴) با مدل SDSM و سناریوهای RCP۲.۶، RCP۴.۵ و RCP۸.۵ پرداختند و مشخص شد که میزان دما ۱/۰۱ تا ۱/۱۲ درجه سلسیوس و بارندگی ۲۱/۲۳ میلی‌متر در دهه (۲۰۶۰ - ۲۰۲۰) افزایش می‌یابد. کوبولی و همکاران (۲۰۲۱) به پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در منطقه دانگارا در دوره آماری (۲۰۵۰-۲۰۲۱ و ۲۰۸۰-۲۰۵۱) تحت سه سناریو (RCP۲.۶، RCP۴.۵ و RCP۸.۵) مدل CanESM۲ پرداختند و نتایج نشان داد که دما و بارش در دهه‌های آتی افزایش می‌یابد. کاوونجه و همکاران (۲۰۲۲) تغییرات دمای کمینه، بیشینه و بارش در حوضه رودخانه شایر را با مدل LARS-WG برای دوره (۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱) بررسی کردند و نتایج نشان‌دهنده تغییرات و عدم قطعیت بیشتر بارش نسبت به دما می‌باشد. زید و واقد (۲۰۲۲) تغییرات دما و بارش در جنوب عراق را با مدل LARS-WG برای دهه آتی (۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۷۰-۲۰۵۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱) و دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) بررسی کردند و نتایج نشان داد که دما بین ۵/۹۱ تا ۵/۶۷ درجه سلسیوس تحت سناریو RCP۸.۵ و بین ۱/۴۱ تا ۱/۵۰ درجه سانتی‌گراد تحت سناریو RCP۴.۵ افزایش خواهد یافت. موابما و همکاران (۲۰۲۲) تغییرات دما و بارندگی را برای دوره (۲۰۵۰-۲۰۲۱) بر اساس دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۸۲) با سناریوهای (RCP۴.۵ و RCP۸.۵) مدل SDSM و LARS-WG در منطقه محافظت‌شده نگونرونگونرو^۱ تانزانیا بررسی نمودند و نتایج نشان‌دهنده افزایش دما و بارش برای دهه آتی می‌باشد. حیدری تاشه کبود و همکاران (۱۳۹۸) تغییرات بارش را با سه مدل EC-EARTH، MIROC۵ و HadGEM۲ بررسی کردند و

نتیجه گرفتند که به‌جز مدل HadGEM2 در بقیه مدل‌ها مقدار بارش در شمال غرب کشور کاهش می‌یابد. فلاح قالمیری و همکاران (۱۳۹۸) به ارزیابی تغییر اقلیم ایستگاه بجنورد طی دوره آماری (۲۰۵۰-۲۰۱۶) با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس نمایی LARS-WG و SDSM پرداخته‌اند و نتیجه گرفتند که دمای کمینه در مدل LARS-WG افزایش و در مدل SDSM دمای کمینه و بیشینه نسبت به دوره پایه روند کاهشی دارند. یعقوب زاده و همکاران (۱۳۹۸) به ارزیابی مدل‌های GCM برای تعیین متغیرهای هواشناسی ایستگاه بیرجند در دوره‌های آتی پرداخته‌اند و نتایج پژوهش نشان داد که بارش برای طولانی‌مدت و دمای کمینه و بیشینه برای دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۰ نتایج رضایت‌بخش ارائه می‌دهند. بهزادی کریمی و همکاران (۱۳۹۹) به پیش‌بینی دما و بارش دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۹۶) و دوره آتی (۲۰۸۰-۲۰۲۱) در حوضه آبریز کارون پرداخته‌اند و نتایج پژوهش افزایش دمای کمینه و بیشینه و کاهش بارش در دهه آتی را نشان می‌دهد. جعفری‌گدنه و همکاران (۱۳۹۹) تغییرات دما و بارش شهرستان کرمان را با استفاده از LARS-WG6 برای دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۶۱) و دوره آتی (۲۰۵۰-۲۰۲۰) بررسی کردند و نتایج مبین افزایش دما و کاهش بارش برای دهه‌های آتی می‌باشد. رزاق زاده و همکاران (۱۳۹۹) با دو مدل (Can-ESM2, BNU-ESM) و (GCM) به شبیه‌سازی بارش در دوره‌های پایه (۲۰۱۷-۱۹۵۱) در شهر تبریز پرداخته‌اند نتایج مدل نشان داد که بارش در دوره آتی (۲۰۶۰-۲۰۲۰) در سناریوی RCP8.5 و RCP4.5 کاهش می‌یابد. لطفی و همکاران (۱۳۹۹) تغییرات دمای کمینه را تحت سناریوهای RCP در غرب کشور برای دوره پایه (۲۰۱۸-۱۹۸۹) و آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۱) بررسی کردند و نتایج نشان داد که دمای کمینه در دوره آینده نسبت به دوره پایه بین ۰/۶ تا ۱/۵ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد. لطفی و همکاران (۱۳۹۹) تغییرات بارش در غرب کشور را با استفاده از مدل SDSM و سناریوهای واداشت تابشی برای دوره پایه (۱۹۸۹-۲۰۱۵) و آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۱) بررسی کردند و نتایج در ماه‌های اکتبر تا دسامبر و ژانویه تا آوریل افزایش بارندگی را نشان می‌دهد. زرفشانی و جهانگیری (۱۴۰۰) دما و بارش استان اصفهان را بر اساس مدل‌های ریزمقیاس کاهی

SDSM و LARS-WG از سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۲۸ بررسی نمودند و نتایج کار نشان داد که دما افزایش تدریجی داشته و مقادیر بارش نیز برای سال‌های ۱۴۰۵ و ۱۴۰۶ افزایش خواهد یافت. عطایی و همکاران (۱۴۰۰) به پیش‌نگری تغییرات دما و بارش حوضه کشف رود با استفاده از دو روش مقیاس کاهی آماری SDSM و BCSD در دوره آماری (۲۰۰۵-۱۹۸۴) و دوره آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۱) پرداخته‌اند و نتایج بیانگر افزایش میانگین دما در تمامی فصول برای دوره آتی است و تغییرات بارش نیز نوسان زیادی را نشان می‌دهد. کثیری و همکاران (۱۴۰۰) سناریوهای (RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5) مدل LARS-WG6 را برای پیش‌بینی مقادیر بارش دوره (۲۰۵۰-۲۰۲۱، ۲۰۸۰-۲۰۵۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱) و برحسب دوره پایه (۲۰۱۸-۱۹۸۹) در سواحل جنوبی دریای خزر به کار بردند و نتایج نشان‌دهنده کاهش بارش به میزان ۰/۲ درصد برای دوره اول و افزایش ۵/۴ تا ۱۰/۷ درصدی برای دو دوره بعدی می‌باشد. لطفی و همکاران (۱۴۰۰) تغییرات دمای بیشینه در سه استان کردستان، کرمانشاه و ایلام در دوره آتی (۲۰۵۰-۲۰۲۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۸-۱۹۸۹) را تحت سناریوهای RCP مدل LARS-WG و SDSM به کار گرفتند و نتایج نشان داد که هر دو مدل از دقت بالایی برخوردارند و مقدار دمای بیشینه در دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. از نتایج مطالعات فوق دریافت می‌شود که مدل SDSM و LARS-WG به‌منظور برآورد تغییر اقلیم آینده در مناطق مختلفی از جهان به‌کاررفته است و دارای دقت قابل قبولی در ریزمقیاس نمایی داده‌های اقلیمی بوده است. باوجوداین، با توجه به متفاوت بودن ویژگی‌های هر مکان، لازم است کارایی ریزگردان‌ها در ریزگردانی متغیرهای اقلیمی آن ارزیابی‌شده و برای برآورد و ترسیم دورنمای متغیرها مورداستفاده قرار گیرند. بررسی تغییرات افزایشی و کاهشی دما در سال‌های آینده می‌تواند راهگشای معضلاتی همچون امواج گرمایی، یخبندان و تخریب‌های زیست‌محیطی باشد. لذا با توجه به این موضوع در این پژوهش به پیش‌نگری دمای کمینه و بیشینه در ایستگاه همدیدی خرم‌آباد با استفاده از مدل‌های مقیاس کاهی SDSM و LARS-WG و همچنین خروجی دو مدل GCM تحت سناریوهای واداشت تابشی

میانگین ماهانه دمای کمینه و بیشینه منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

در این پژوهش جهت ارزیابی تغییرات دمای کمینه و بیشینه روزانه خروجی دو مدل CanESM۲ و مدل HadGEM۲ تحت سه سناریوی RCP۲.۶، RCP۴.۵ و RCP۸.۵ با استفاده از دو مدل LARS-WG و SDSM در ایستگاه خرم‌آباد ریزگردانی شده است. داده‌های روزانه دمای کمینه و دمای بیشینه برای دوره آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۱) در این دو مدل ریزمقیاس نمایی، پیش‌نگری و با دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۶۱) مورد مقایسه قرار گرفت.

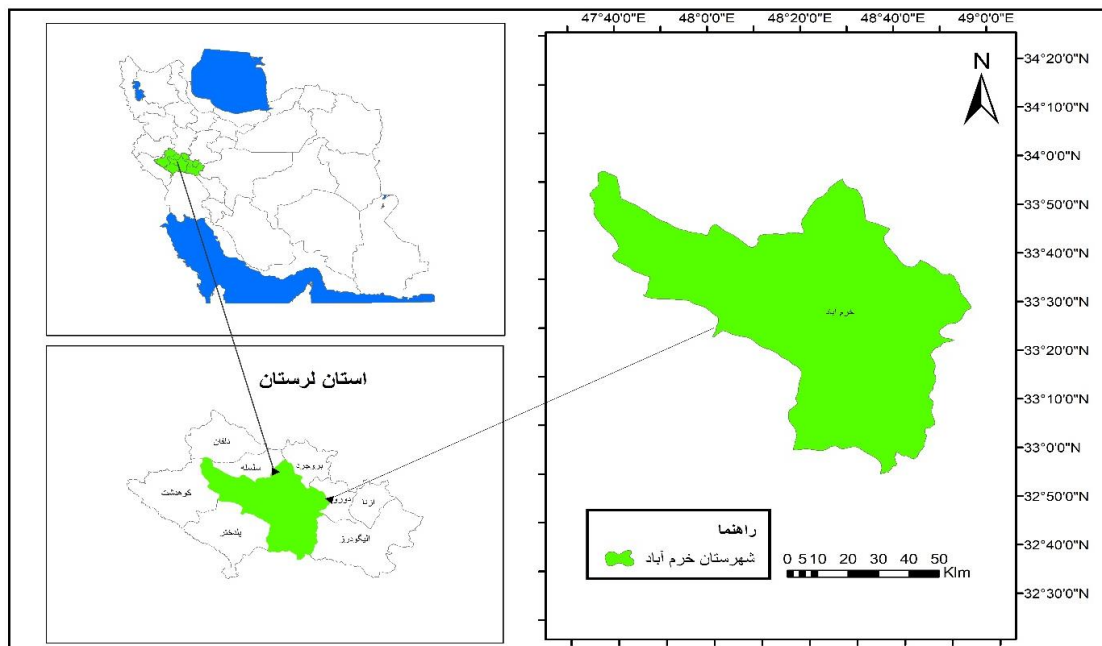
الف: مدل ریزمقیاس کاهی SDSM

مدل SDSM ترکیبی از مولد تصادفی آب‌وهوا و روش‌های آماری رگرسیونی است (عساکره و اکبر زاده، ۱۳۹۶). مراحل کار شامل: انتخاب بهترین متغیر پیش‌بینی کننده و فرایند تولید داده‌های آب و هوایی در چهار مرحله واسنجی مدل، صحت سنجی مدل، خروجی گرافیکی مدل و تولید سناریوهای اقلیمی است. به‌منظور کالیبره نمودن و واسنجی مدل SDSM داده‌های دوره آماری به دو دوره تقسیم شدند از دوره (۱۹۹۰-

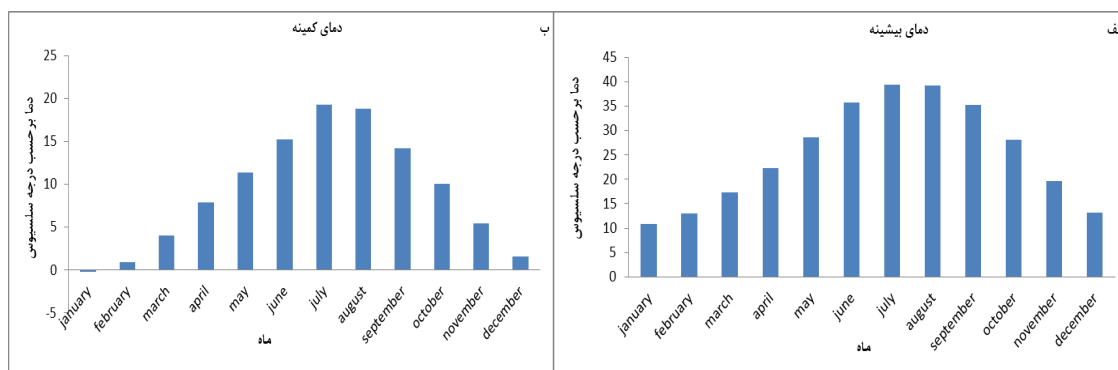
پرداخته شد. هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود از سناریوهای جدید با نام RCP استفاده نموده است. سناریوهای RCP شامل یک سناریوی کاهش‌ی سخت‌گیرانه (RCP۲.۶)، دو سناریوی حد واسط (RCP۴.۵، RCP۶.۰) و یک سناریوی بدبینانه (RCP ۸.۵) با تولید گازهای گلخانه‌ای بسیار بالا می‌باشند (هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۱۳). این سناریوها در سال ۲۰۱۴ توسط یک کمیته علمی و زیر نظر هیأت بین‌الدول تغییرات اقلیمی به وجود آمده‌اند. این سناریوها بر اساس مشخصات متفاوت سطح فناوری، وضعیت اجتماعی، اقتصادی و خط‌مشی‌ها در آینده استوار هستند (حسین‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۹).

مواد و روش‌ها

شهرستان خرم‌آباد در مرکز استان لرستان در ارتفاع ۱۱۴۷/۸ متر از سطح دریا و بین ۳۳ درجه و ۴۳ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته و از نظر اقلیمی دارای سه نوع آب‌وهوای مدیترانه‌ای، آب‌وهوای سرد کوهستانی و آب‌وهوای نیمه صحرائی گرم است. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی و شکل (۲)



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه همدیدی خرم‌آباد



شکل ۲. توزیع ماهانه دمای کمینه و بیشینه در ایستگاه خرم‌آباد در طول دوره آماری (۲۰۱۰-۱۹۶۱)

نمایی مدل‌های گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (CMIP۵) منتشر گردید و از داده‌های مدل‌های جهانی HadGEM۲ تحت سه سناریو RCP۲.۶، RCP۴.۵ و RCP۸.۵ استفاده می‌کند. روش کار شامل سه مرحله (کالیبره کردن، ارزیابی کردن و تولید داده) برای دوره آینده است. به‌منظور کالیبره کردن و اطمینان از صحت مدل، ابتدا یک سناریوی حالت پایه برای دوره آماری پایه اجرا گردید؛ سپس خروجی‌های مدل با داده‌های دوره مشاهداتی مقایسه گردید.

ج: ارزیابی عملکرد مدل‌ها

جهت ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG و SDSM از معیارهای خطا سنجی زیر استفاده شده است: ضریب تعیین R^2 معیاری بدون بعد است که بهترین مقدار آن برابر با یک در نظر گرفته می‌شود (معادله ۱). مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق خطا که نشان‌دهنده میزان خطای مدل می‌باشد که بهترین مقدار آن‌ها برابر صفر است و از طریق معادله‌های (۲ و ۳) محاسبه می‌شوند (صداقت کردار و فتاحی، ۱۳۸۷).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N X_o X_s}{\sqrt{\sum_{i=1}^N X_o^2 \sum_{i=1}^N X_s^2}} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_o - x_s)^2}{N}} \quad (2)$$

(۱۹۶۱) و متغیرهای NCEP^{v2} که شامل ۲۶ متغیر اتمسفری می‌باشند و بر مبنای بیشترین همبستگی انجام می‌گیرند برای کالیبره نمودن مدل استفاده شد. از بین این متغیرها جهت باد و رطوبت نسبی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال و میانگین دما در ارتفاع ۲ متری برای دمای بیشینه و جهت باد در سطح زمین و ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال برای دمای کمینه به‌عنوان مناسب‌ترین متغیر با بیشترین ضریب تأثیر نسبت به متغیرهای دیگر در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال انتخاب شدند. به‌منظور حصول اطمینان از این‌که مدل توانایی شبیه‌سازی داده‌ها را خارج از محدوده زمانی کالیبراسیون دارد، به ارزیابی مدل نیاز بود. بدین منظور داده‌ها برای دوره آماری (۲۰۱۰-۱۹۹۱) صحت سنجی شدند؛ بنابراین با مقایسه داده‌های مشاهداتی و داده‌های شبیه‌سازی شده، کارایی مدل برای ایستگاه خرم‌آباد مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله بعد، متغیرهای دمای کمینه و بیشینه برای ایستگاه مورد نظر تحت سناریوهای گزارش پنجم برای دوره (۲۰۲۱-۲۰۵۰) تولید و تغییرات مقادیر شبیه‌سازی شده در سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه مورد بررسی قرار گرفت.

ب: مدل ریزمقیاس کاهی LARS-WG

مدل LARS-WG یکی از پرکاربردترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی هواست که در مقادیر بارش، دماهای بیشینه و کمینه روزانه در یک ایستگاه را تولید می‌کند (شمسی‌پور، ۱۳۹۲). نسخه ۶ این مدل در سال ۲۰۱۸ جهت ریزمقیاس

می‌شود:

$$U(t) = \frac{[t_i - E(t_i)]}{\sqrt{\text{var}(t_i)}} \quad (۶)$$

که در آن N تعداد کل سال‌های آماری، tg برابر با سطح احتمال معنی‌دار بودن آزمون و آماره من - کندال می‌باشد که tg برابر مقدار بحرانی نمره نرمال یا استاندارد (Z) است و با سطح احتمال آزمون ۹۵ درصد برابر ۱/۹۶ می‌باشد. جهت شناسایی روندهای جزئی و کوتاه‌مدت، نقاط جهش و نقاط شروع روند سری زمانی از نمودار سری زمانی برحسب مقادیر $U(t)$ و t (U رابطه ۷) استفاده می‌گردد:

$$U(t) = \frac{[t_i - E(t_i)]}{\sqrt{\text{var}(t_i)}} \quad (۷)$$

وقتی مقدار $U(t)$ معنی‌دار است که روند افزایشی یا کاهشی در آن مشاهده شود و دیگر مؤلفه موردنیاز مقدار U است که معادل عکس U می‌باشد (عزیزی و روشنی، ۱۳۸۶) و با معادله (۸) محاسبه می‌شود:

$$U'_i = -U(t'_i) \quad (۸)$$

نتایج و بحث

نتایج آزمون من کندال دمای کمینه دمای بیشینه آنالیز روند مطابق جدول ۱ نشان می‌دهد با توجه به اینکه مقدار p -value کمتر از سطح معنی‌داری ۰/۰۵ است فرض صفر (عدم وجود روند) رد شده و فرض یک (وجود روند) پذیرفته می‌شود و روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است. همچنان که از شکل (۳) پیداست، نمودارهای مؤلفه U و

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |x_o - x_s|}{N} \quad (۳)$$

که در آن‌ها x_o مقادیر مشاهداتی، x_s مقادیر شبیه‌سازی‌شده و N تعداد داده‌ها می‌باشد. میانگین مربعات خطا که برای محاسبه آن از معادله (۴) استفاده می‌شود و می‌تواند از صفر در عملکرد عالی تا بی‌نهایت تغییر کند (کارآموز و همکاران، ۱۳۸۵).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (obs - Sim)^2 \quad (۴)$$

در معادله (۴)، Obs و Sim به ترتیب مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده دما در دوره پایه و n تعداد کل داده‌های مشاهداتی می‌باشد.

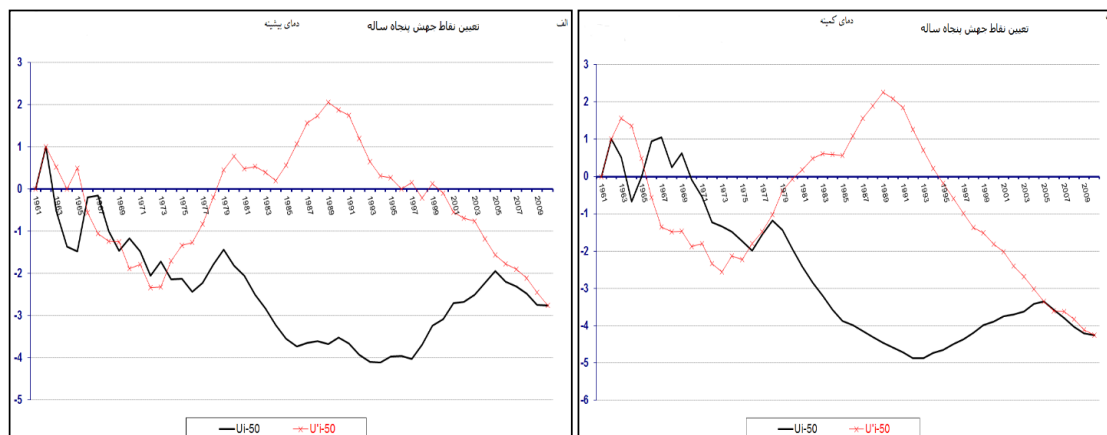
د: بررسی روند داده‌ها با آزمون من کندال

در آزمون من کندال از روش Yue and Wang برای حذف خودهمبستگی و تعیین جهت روند استفاده شد. فرض H_0 این آزمون بر تصادفی بودن و وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش H_1 دلالت بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد (مرتضوی و همکاران، ۱۳۹۷). برای تعیین تصادفی بودن داده‌ها از آزمون زیر استفاده می‌شود:

$$T = \frac{4P}{N(N-1)} \quad (۵)$$

T آماره کندال، P برابر با مجموع تعداد رتبه‌های بزرگ‌تر از ردیف ni که بعداز آن قرار می‌گیرد. برای سنجش معنی‌دار بودن آماره T از رابطه (۶) استفاده

alpha	p-value(Two-tailed)	Kendall's tau	پارامتر
۰/۰۵	۰/۰۰۲	۰/۸۸	دمای بیشینه
۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۹۳	دمای کمینه



شکل ۳. نمودارهای تغییرات مؤلفه U و \bar{U} دمای کمینه و بیشینه ایستگاه خرم‌آباد در طول دوره آماری (۱۹۶۱-۲۰۱۰)

جدول ۲. مقایسه نتایج آزمون‌های آماری بر روی مقایسه دمای کمینه و بیشینه مشاهداتی و شبیه‌سازی توسط مدل ریزمقیاس گردانی LARS-WG

ماه	دمای بیشینه				دمای کمینه			
	T- test	p- value	F-test	p- value	T- test	p- value	F-test	p- value
ژانویه	۰/۴۵۰	۰/۶۵۳	۱/۷۸۲	۰/۷۵۹	۰/۳۴۷	۰/۷۲۹	۱/۶۸۱	۰/۷۴۰
فوریه	۰/۲۰۲	۰/۸۴۰	۱/۶۹۹	۰/۶۸۲	۰/۳۵۰	۰/۷۲۷	۱/۵۴۸	۰/۹۴۸
مارس	۰/۶۴۸	۰/۴۹۵	۱/۹۳۹	۰/۹۱۸	-۰/۸۲۸	۰/۴۱۰	۲/۱۲۷	۰/۴۱۴
آوریل	-۰/۰۴۸	۰/۹۶۱	۱/۳۳۷	۰/۱۹۳	۰/۰۹۶	۰/۹۲۴	۱/۱۲۵	۰/۰۴۸
می	-۱/۴۲۶	۰/۱۵۷	۱/۹۶۰	۰/۸۳۷	-۱/۵۰۳	۰/۱۳۶	۱/۳۳۱	۰/۹۴۹
ژوئن	۲/۴۹۴	۰/۰۱۴	۲/۹۹۴	۰/۱۴۵	-۰/۱۷۷	۰/۸۶۰	۲/۹۹۹	۰/۶۷۷
ژوئیه	۰/۱۴۶	۰/۸۸۴	۱/۸۷۵	۰/۱۴۱	-۰/۳۳۴	۰/۷۳۹	۲/۰۱۵	۰/۲۰۲
اوت	۰/۴۴۵	۰/۶۵۷	۲/۸۲۳	۰/۲۵۳	-۰/۳۸۷	۰/۷۰۰	۳/۰۱۲	۰/۴۱۹
سپتامبر	۰/۵۰۸	۰/۶۱۲	۲/۵۴۹	۰/۳۳۴	-۰/۷۶۸	۰/۴۴۴	۲/۷۹۷	۰/۶۲۳
اکتبر	۱/۴۲۶	۰/۱۵۷	۱/۳۹۲	۰/۱۱۱	۰/۳۶۹	۰/۷۱۳	۱/۲۲۷	۰/۲۷۸
نوامبر	۰/۲۹۵	۰/۷۶۸	۱/۹۷۴	۰/۱۸۹	-۰/۶۹۵	۰/۴۸۹	۱/۱۱۱	۰/۴۴۷
دسامبر	۰/۰۷۲	۰/۹۴۳	۱/۰۷۴	۰/۳۳۰	-۰/۳۰۸	-۰/۳۰۸	۱/۰۱۲	۰/۰۰۰

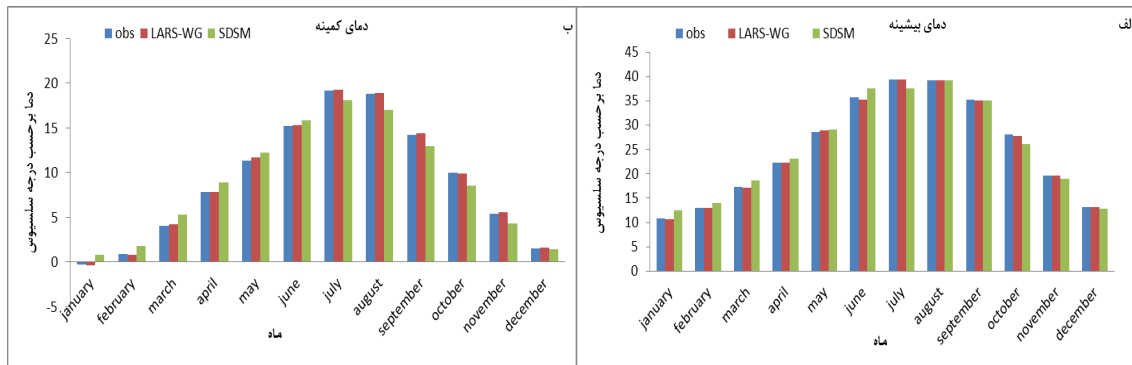
روند کاهش معنی‌داری را نسبت به شبیه‌سازی در این سری از مشاهدات نشان می‌دهد و از سال ۱۹۸۰ به بعد تغییرات بارز مشاهده می‌شود.

به منظور واسنجی و اطمینان از صحت مدل LARS-WG ابتدا مدل برای دوره آماری پایه اجرا گردید. مقادیر شبیه‌سازی با استفاده از آزمون‌های T و F با داده‌های مشاهداتی مقایسه گردید. بر اساس نتایج اختلاف معنی‌داری بین مقادیر مدل‌سازی شده و مشاهداتی آن‌ها با خطای بحرانی ۰/۰۵ در بیشتر ماه‌های سال به جز ماه ژوئن در میانگین دمای بیشینه و ماه دسامبر در دمای کمینه برحسب مقادیر واریانس جدول (۲) وجود ندارد.

\bar{U} مربوط به دمای بیشینه در داخل محدوده بحرانی ($\pm 1/96$) همدیگر را در سال ۱۹۶۶ قطع کرده‌اند این وضعیت بیانگر آغاز تغییر ناگهانی در این سال‌ها در داده‌های دمای بیشینه می‌باشد به طوری که در سال‌های ۱۹۷۴ و ۲۰۰۸ این خطوط در خارج از محدوده بحرانی $\pm 1/96$ همدیگر را قطع کرده که روند کاهشی دمای پایه نسبت به شبیه‌سازی را نشان می‌دهد همچنین از سال ۱۹۸۳ تا سال ۲۰۰۲ تغییرات بارزی مشاهده می‌شود. بررسی نمودار دمای کمینه نیز نشان می‌دهد که دو مؤلفه \bar{U} و \bar{U} در سال ۱۹۶۶ باهم تلاقی پیدا کرده و یک تغییر چشمگیر آغاز شده است و در سال‌های ۱۹۷۶ و ۲۰۰۴ این خطوط در خارج از محدوده بحرانی همدیگر را قطع کرده‌اند که

جدول ۳. ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG و SDSM

مدل	پارامتر	RMSE	MSE	MAE	R ²
LARS-WG	دمای بیشینه	۷/۹	۱۰/۹	۴/۷	۰/۹۱
	دمای کمینه	۷/۵	۵/۲	۲/۷	۰/۹۴
SDSM	دمای بیشینه	۷/۷	۶/۵	۲/۳	۰/۹۴
	دمای کمینه	۷/۱	۵/۰	۲/۲	۰/۹۵



شکل ۴. مقادیر مدل شده و مقادیر مشاهده‌ای متغیر دمای کمینه و بیشینه ایستگاه خرم‌آباد

پس از ارزیابی مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی و اطمینان از عملکرد مناسب دو مدل، پیش‌نگری دمای کمینه و بیشینه بر اساس برونداد مدل HadGEM2 (ریزمقیاس شده توسط مدل LARS-WG) و مدل CanESM2 (ریزمقیاس شده توسط مدل SDSM) تحت سه سناریو RCP4.5، RCP2.6 و RCP8.5 برای پیش‌نگری دمای کمینه و بیشینه در دوره آماری پرداخته شد. نتایج حاصل از بررسی داده‌های میانگین ماهانه دوره پایه و شبیه‌سازی شده آتی در ایستگاه خرم‌آباد تحت تمامی سناریوهای RCP مدل HadGEM2 نشان می‌دهد که میزان دمای بیشینه تحت هر سه سناریوی مورد بررسی در دوره آینده نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت (شکل الف-۵). بیشترین میزان تغییرات آن بر اساس هر سه سناریوی RCP مربوط به ماه آوریل و می به ترتیب به میزان ۳/۳ و ۳/۵ درصد و کمترین آن مربوط به ماه نوامبر با میزان ۱ درصد است. همچنین شدت تغییرات در ماه‌های گرم سال بیشتر از ماه‌های سرد سال است (شکل ب-۵).

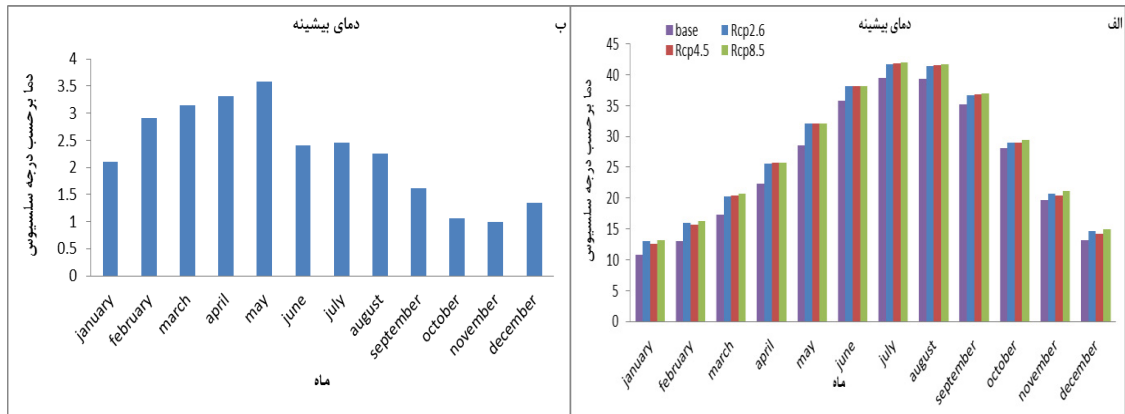
با در نظر گرفتن نتایج (شکل الف-۶)، میزان دمای بیشینه در دهه آتی بر اساس خروجی مدل SDSM تحت تمامی سناریوهای RCP در تمامی ماه‌ها به‌جز ماه سپتامبر

هم‌چنین نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد دو مدل با شاخص خطا سنجی حاکی از دقت بیشتر مدل‌های SDSM و LARS-WG در شبیه‌سازی دمای کمینه نسبت به دمای بیشینه می‌باشد و به‌طور کلی هر دو نرم‌افزار از توانایی قابل قبولی در پیش‌بینی فراسنج دما در ایستگاه خرم‌آباد برخوردار هستند (جدول ۳).

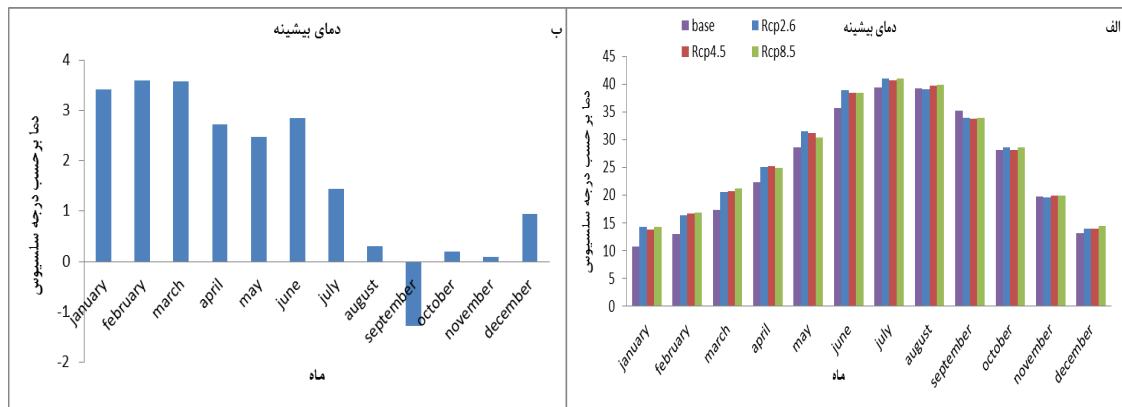
جهت نمایش بهتر و همچنین اطمینان از صحت پیش‌بینی به مقایسه مقادیر دمای کمینه و بیشینه تولیدشده توسط مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی و مقادیر مشاهداتی با استفاده از نمودارهای مقایسه‌ای در دوره پایه پرداخته شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود

داده‌های مشاهداتی و تولیدشده توسط مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی تا حد زیادی به یکدیگر نزدیک‌اند که نشان‌دهنده دقت و صحت مدل‌ها جهت پیش‌بینی می‌باشد. لازم به ذکر است که داده‌های دمای بیشینه تولیدشده توسط مدل SDSM در ماه‌های ژانویه و ژوئن نسبت به دوره مشاهداتی بین ۱/۷ تا ۱/۹ درجه سلسیوس بیشتر و دمای کمینه نیز در ماه‌های اوت و اکتبر بین ۱/۸ تا ۱/۴ درجه سلسیوس کمتر برآورد شده است (شکل ۴).

تغییرات پیش‌نگری شده دمای کمینه و بیشینه بر مبنای روش‌های (ریزمقیاس) ...



شکل ۵. الف) تغییرات دمای بیشینه ایستگاه خرم‌آباد در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به دوره پایه مدل LARS-WG (ب) درصد تغییرات برحسب میانگین سه سناریو



شکل ۶. الف) تغییرات دمای بیشینه ایستگاه خرم‌آباد در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به دوره پایه مدل SDSM (ب) درصد تغییرات برحسب میانگین سه سناریو

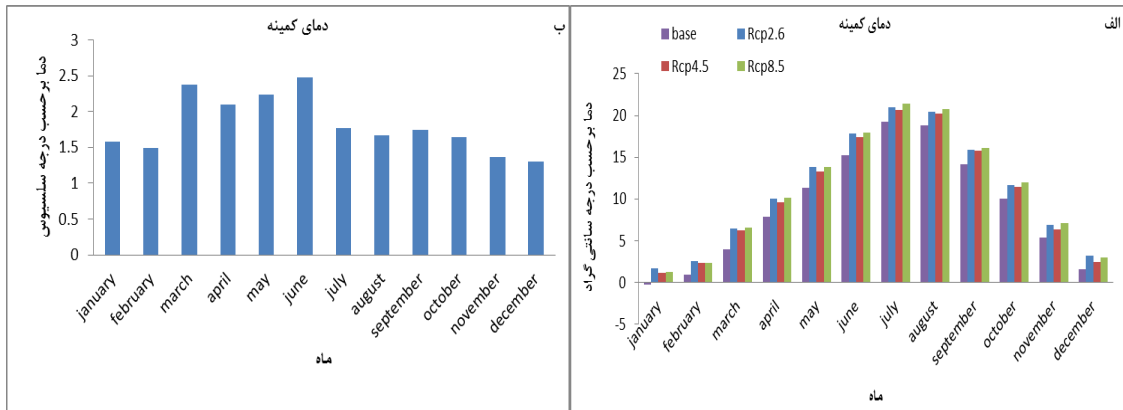
کمترین میزان تغییرات نیز مربوط به ماه‌های نوامبر و اکتبر با ۱/۳ درصد مشاهده می‌شود (شکل ب-۷).

شکل (۸) میانگین کمینه ماهانه داده‌های همانندسازی شده با سناریوهای RCP مدل SDSM در برابر مشاهدات را نشان می‌دهد. میانگین‌های ماهانه در سطح ایستگاه به جز ماه نوامبر نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت. بیشترین میزان افزایش متعلق به ماه‌های ژوئن و مارس با ۲/۵ درصد می‌باشد. همین‌طور کمترین میزان افزایش مربوط به ماه دسامبر با ۰/۵ درصد و برای ماه نوامبر به صورت منفی و برابر با ۰/۹- درصد مشاهده می‌شود.

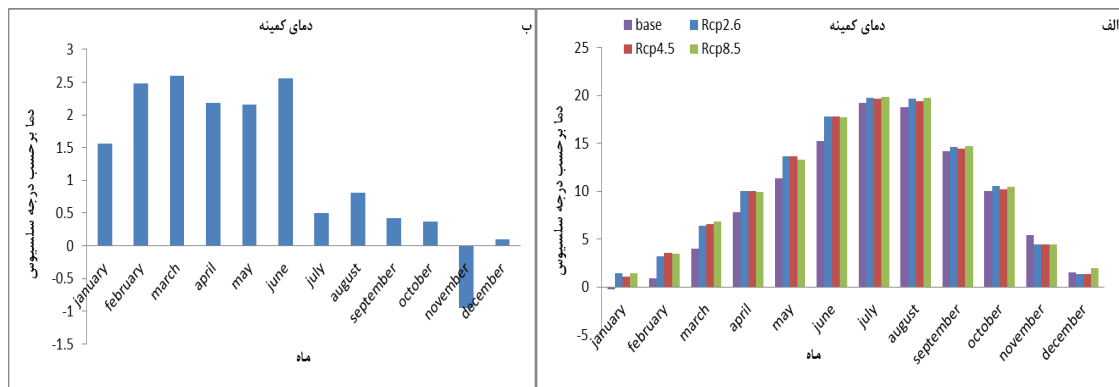
نتایج شکل (۹) نشان می‌دهد شیب رگرسیون خطی و معنی‌داری آن برای دوره آماری شبیه‌سازی شده (۲۰۵۰-

نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت که این افزایش در سناریوی بدبینانه RCP۸.۵ بیشتر از دو سناریوی خوش‌بینانه و متوسط است. بیشترین میزان تغییرات منفی آن بر اساس سناریوهای RCP مربوط به ماه سپتامبر برابر با ۱/۲- درصد و بیشترین تغییرات مثبت آن مربوط به ماه فوریه و مارس با ۳/۵ درصد است (شکل ب-۶).

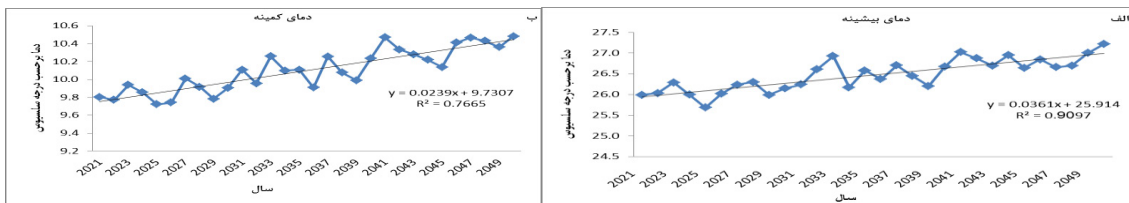
نتایج حاصل از پیش‌نگری تغییرات میانگین ماهانه دمای کمینه تحت سناریو RCP۲.۶، RCP۴.۵ و RCP۸.۵ مدل HadGEM۲ بیانگر آن است که در دهه‌های آتی میزان کمینه دما در تمامی ماه‌ها نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت (شکل الف-۷). بیشترین تغییرات بر اساس سناریوها به ترتیب مربوط به ماه ژوئن و مارس با ۲/۴ و ۲/۳ درصد است.



شکل ۷. الف) تغییرات دمای کمینه ایستگاه خرم‌آباد در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به دوره پایه مدل LARS-WG (ب) درصد تغییرات برحسب میانگین سه سناریو



شکل ۸. الف) تغییرات دمای کمینه ایستگاه خرم‌آباد در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به دوره پایه مدل SDSM (ب) درصد تغییرات برحسب میانگین سه سناریو



شکل ۹. نمودار خط روند میانگین دمای کمینه و بیشینه ایستگاه خرم‌آباد بر مبنای مدل SDSM دوره آماری (۲۰۲۱-۲۰۵۰)

سلسیوس پیش‌بینی شده است و مثبت بودن ضریب γ بیانگر افزایش دما می‌باشد و شیب خط رگرسیونی روند افزایشی را به همراه دارد. تغییرات میانگین دمای کمینه نیز به صورت مثبت بوده و کمترین مقدار آن مربوط به سال ۲۰۲۵ با ۹/۷ درجه سلسیوس و بیشترین آن با ۱۰/۵ درجه سلسیوس برای سال ۲۰۴۱ می‌باشد. مقایسه روند دمای کمینه و بیشینه دوره پایه

(۲۰۲۱) با معنی‌داری به دست آمده از آماره من کندانل برای دوره آماری پایه نشان از هماهنگی روش رگرسیونی و روش من کندانل از نظر وجود روند دارد. مطابق شکل بیشترین میزان افزایش برحسب میانگین سه سناریوی RCP برای بیشینه دمای ماهانه دوره آینده در سال ۲۰۵۰ با ۲۷/۲ درجه سلسیوس و کمترین آن برای سال ۲۰۲۵ با ۲۵/۷ درجه

با دوره مشاهداتی نشان می‌دهد که هر دو پارامتر روند افزایشی در دهه‌های آتی نسبت به دوره پایه خواهند داشت.

جمع‌بندی

پیش‌نگری تغییرات دما برای اطلاع از میزان تغییرات آن در آینده و در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای تعدیل اثرات سوء ناشی از تغییرات اقلیمی از اهمیت زیادی برخوردار است. به همین منظور در این پژوهش به بررسی تغییرات بلندمدت دمای کمینه و بیشینه در ایستگاه خرم‌آباد دوره زمانی (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۶۱) پرداخته شده است. نتایج ارزیابی دقت مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی در شبیه‌سازی پارامتر دما بر اساس مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق خطا (RMSE)، (MAE)، میانگین مربعات خطا (MSE) و R^2 در ایستگاه خرم‌آباد نشان داد که انطباق زیادی بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی وجود داشته است و هر دو مدل عملکرد نسبتاً بهتری دارند و مدل SDSM نسبت به مدل LARS-WG از نوسان بیشتری برخوردار است. مقایسه مقادیر پیش‌نگری شده دمای کمینه و بیشینه تحت تمامی سناریوهای RCP مدل HadGEM2 در دوره آینده با دوره پایه نشان‌دهنده افزایش دمای بیشینه در دوره آتی نسبت به دوره پایه در ایستگاه خرم‌آباد می‌باشد به طوری که در تحت سناریو RCP8.5 دمای بیشینه حدود ۳/۵ درصد بیشترین افزایش را نسبت به دوره پایه برای ماه می نشان می‌دهد و تغییرات دمای کمینه به صورت افزایشی بوده و بیشترین میزان افزایش دمای کمینه نیز مربوط به ماه ژوئن با ۲/۴ درصد می‌باشد و بیشترین میزان کاهش با ۱/۳ درصد مربوط به ماه نوامبر و دسامبر می‌باشد. نتایج حاصل از پیش‌نگری مدل SDSM برای دهه‌های آتی (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نیز نشان می‌دهد که دمای بیشینه به جز ماه سپتامبر نسبت به دوره پایه افزایش و دمای کمینه در ماه نوامبر کاهش و در بقیه ماه‌ها افزایش می‌یابد. به طور کلی آنالیز روند تغییرات دما نشان داد که اقلیم ایستگاه مورد پژوهش در حال تغییر بوده و روند افزایش دما و گرم شدن نسبی را سپری خواهد کرد. نتایج حاصل از آزمون گرافیکی من - کندال دوره پایه نشان می‌دهد که سری‌های مربوط به دمای کمینه و بیشینه دارای

روند کاهشی و معنی‌دار هستند. نتایج این کار از لحاظ عملکرد مدل‌ها با پژوهش حاجری و هم‌کاران (۱۳۹۸)، زرفشانی و جهانگیر (۱۳۹۹)، جعفری گدنه و همکاران (۱۳۹۹)، لطفی و همکاران (۱۳۹۹) و لطفی و همکاران (۱۴۰۰) همسو است.

مراجع

- آبکار، ع.ج.، حبیب نژاد، م.، سلیمانی، ک. و نقوی، ه.، ۱۳۹۲، بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، م. مهندسی آبیاری و آب ایران، دوره ۴، ۱۴، ۱۷-۱.
- بهزادی کریمی، ح.، مظفری، غ.، مزیدی، ا. و امیدوار، ک.، ۱۳۹۹، پیش‌نگری و پهنه‌بندی فراسنج‌های اقلیمی حوضه آبریز کارون در دوره‌های آتی با استفاده از ریزگردانی خروجی مدل HadGM2-ES، م. هواشناسی و علوم جو، جلد ۳، ۴، ۳۷۴-۳۴۹.
- صداقت کردار، ع. و فتاحی، ا.، ۱۳۸۷، شاخص‌های پیش‌آگاهی خشکسالی در ایران، م. جغرافیا و توسعه، ۱۱، ۷۶-۵۹.
- حاجری، ز.، زند، م.، کرم پور، م.، تقوی گودرزی، س. و فخرآبادی، ا.، ۱۳۹۸، پیش‌بینی پارامترهای دما و بارش ماهانه و فصلی با استفاده از مدل SDSM (مطالعه موردی: خرم‌آباد)، دومین همایش بین‌المللی افق‌های نوین در علوم پایه و فنی و مهندسی، تهران.
- حیدری تاشه کیود، ا. و موفیدی، ع.، ۱۳۹۸، چشم‌انداز تغییرات بارش در شمال غرب ایران با استفاده از مدل‌های کلی گردش جو تحت سناریوهای اقلیمی، م. جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۸، ۲۹، ۱۵۱-۱۳۳.
- جعفری‌مذهب، م.، سلاجقه، ع. و حقیقی، پ.، ۱۳۹۹، پیش‌بینی مقایسه‌ای بارش و دمای شهرستان کرمان با استفاده از مدل‌های LARS-WG6، م. آکو هیدرولوژی، دوره ۷، ۲، ۵۳۸-۵۲۹.
- حسین‌آبادی، س.، یعقوب زاده، م.، امیرآبادی زاده، م. و فروزان مهر، م.، ۱۳۹۹، ارزیابی خشکسالی هواشناسی در دوره‌های آتی به کمک داده‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم (مطالعه موردی: شهرستان‌های زابل و شیراز)، م. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره ۱۰، ۴۰، ۸۷-۷۵.
- رزاق زاده، ز.، نورانی، و. و بهفر، ن.، ۱۳۹۹، ترکیب روش استخراج مشخصه با ریزمقیاس‌نمایی آماری مبتنی بر ترکیب مدل‌های هوش مصنوعی، ن. مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۱، ۶، ۱۷-۱.
- زرفشانی، آ. و جهانگیر، م.، ۱۴۰۰، پیش‌بینی مقادیر دما و بارش استان اصفهان بر اساس دو مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG و SDSM و روش شبکه عصبی مصنوعی، م. آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۱۵، ۱، ۴۹-۳۸.
- شمسی‌پور، ع.ا.، ۱۳۹۲، مدل‌سازی آب و هوایی نظریه و روش، مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، تهران، ۲۸۷.
- عارف، م.ج. و علیجانی، ب.، ۱۳۹۷، بررسی تغییرات دما و بارش حوضه آبخیز یزد - اردکان با SDSM تحت شرایط تغییر اقلیم آینده، ف. علمی - پژوهشی خشک بوم، جلد ۸، ۱، ۱۰۱-۸۹.
- عساکره، ح. و اکبرزاده، ی.، ۱۳۹۶، شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره (۲۱۰۰-۲۰۱۰) با استفاده از ریزمقیاس‌آماری (SDSM) و خروجی مدل Can ESM2، م. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۲۱، ۱۷۴-۱۵۳.
- عزیزی، ق. و روشنی، م.، ۱۳۸۷، مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من - کندال، م. پژوهش‌های جغرافیایی، ۶۴، ۲۸-۱۳.

- Systems and Environment, 1, 329-339.
- Chim K., Tunncliffe J., Shamseldin A. and Chan K., 2020, Identifying future climate change and drought detection using CanESM2 in the upper Siem Reap River, Cambodia, Dynamics of Atmospheres and Oceans, Available, 101182.
- IPCC, 2013, Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. and Midgley, P.M., contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge.
- Kavwenje, Sh., Zhao, L., Chen, L. and Chaima, E., 2022, Projected temperature and precipitation changes using the LARS-WG statistical downscaling model in the Shire River Basin, Malawi, international journal of Climatology, 42(1), 400-415.
- Javaherian M.R., Ebrahimi H. and Aminnejad B., 2021, Prediction of changes in climatic parameters using CanESM2 model based on Rcp scenarios(case study):Lar dam basin, Ain Shams Engineering Journal, 12(1), 445-454.
- Kobuliev M.J., Liu T., obudinKobuliev Z., Chen X., Gulakhmadov A.J. and Bao A., 2021, Effect of future climate change on the water footprint of major crops in southern Tajikistan, Regional Sustainability, 2(1), 60-72.
- Mwabumba, M., Yadav, B., Rwiza, M., Larbi, I., QuarcooDotse, S., ManobaLimantol, A., Sarpong, S. and Kwawuvi, D., 2022, Rainfall and temperature changes under different climate scenarios at the watersheds surrounding the Ngorongoro Conservation Area in Tanzania, Environmental Challenges, 1-39.
- Nilawar, A P., and Waikar, M L., 2019, Impacts of climate change on streamflow and sediment concentration under RCP 4.5 and 8.5: A case study in Purna river basin, India, Science of The Total Environment, 2, 2685-2696.
- Tukimat, N.A., Syukri, N.A. and Malek, A.A., 2019, Projection the long-term ungauged rainfall using integrated Statistical Downscaling Model and Geographic Information System (SDSM-GIS) model, Heliyon, 5(9), 1-8.
- Zaid, M.M. and Waqed, H.H., 2022, Climate change and the projection of future temperature and precipitation in southern Iraq using a LARS-WG model, Modeling Earth Systems and Environment, ۱-۱۴.
- عطایی، ه.، کوهی، م.، میریان، ر. و بذرافشان، ب.، ۱۴۰۰، تغییرات پیش‌نگری در دما و بارش حوضه کشف رود بر مبنای روش‌های مقیاس - کاهی دینامیکی و آماری، م. مخاطرات محیط طبیعی، ۲۰، ۲۰۲-۱۸۲.
- غریب‌دوست، م.، قربانی، م.ع. و حسینی زاده، ع.، ۱۳۹۶، تأثیر تغییر اقلیم بر بارش- رواناب حوضه آبریز صوفی جای، م. علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۴۰، ۲، ۱۰۱-۸۹.
- فلاح قاله‌ری، غ.ع.، یوسفی، ح.، حسین زاده، ا.، علیم‌رادی، م.ر. و ریحانی، ا.، ۱۳۹۸، ارزیابی تغییر اقلیم ایستگاه بجنورد طی دوره ۲۰۵۰ - ۲۰۱۶ بجنورد با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس نمایی LARS-WG و SDSM، م. آکو هیدرولوژی، دوره ۶، ۱، ۱۰۹-۹۹.
- کارآموز، ا.، رضانی، ف. و رضوی، س.، ۱۳۸۵، پیش‌بینی بلندمدت بارش با استفاده از سیگنال‌های هواشناسی: کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی، هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، تهران.
- کشیری، م.، گودرزی، م.، جانباز قبادی، غ.ر. و متولی، ص.، ۱۴۰۰، پیش‌نگری تغییرات بارش در سواحل جنوبی دریای خزر تا پایان قرن ۲۱ با استفاده از سناریوهای مختلف واداشت تابشی، م. آمایش جغرافیایی فضا، ۴۰، ۱۱۸-۱۰۳.
- لطفی، م.، کمالی، غ.، مشکوتی، ا. و ورشایان، و.، ۱۴۰۰، پیش‌نگری دماهای پیشینه با استفاده از مدل‌های جهانی اقلیم تحت سناریوهای RCP و ریزمقیاس گردانی مدل‌های LARS-WG و SDSM در غرب کشور، م. جغرافیای طبیعی، سال ۱۳، ۵۱، ۱۱۵-۱۳۰.
- لطفی، م.، کمالی، غ.، مشکوتی، ا. و ورشایان، و.، ۱۳۹۹، مقیاس کاهی آماری پرونداد دمای کمینه مدل‌های اقلیمی تحت سناریوهای RCP در غرب ایران؛ م. هواشناسی کشاورزی، جلد ۸، ۱۳-۳.
- لطفی، م.، کمالی، غ.، مشکوتی، ا. و ورشایان، و.، ۱۳۹۹، پیش‌نگری تغییرات بارش در غرب کشور با استفاده از مدل ریزمقیاس گردانی SDSM و سناریوهای واداشت تابشی، م. هواشناسی و علوم جو، جلد ۳۳، ۱، ۴۴-۳۳.
- مرتضوی، س.م.، مبین، م.ح.، مختاری، م.ح.، اکرامی، م. و رفیعی ساردوتی، ا.، ۱۳۹۷، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای بارش و دما بر اساس سناریوهای واداشت تابشی RCP (مطالعه موردی: شرق استان مازندران)، م. هواشناسی و علوم جو، جلد ۱، ۴.
- یعقوب‌زاده، م.، خاشعی‌سیوکی، ع.، رضانی، ی. و حسینی، س.ع.، ۱۳۹۸، ارزیابی بهترین دوره پایه انتخابی مدل‌های GCM برای تعیین متغیرهای هواشناسی ایستگاه بیرجند در دوره‌های آتی، م. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال ۴، ۶، ۱۷۶ - ۱۶۳.
- Ahmadi, M., RamezaniEtedali, H. and Elbeltagi, A., 2021, Evaluation of the effect of climate change on maize water footprint under RCPs scenarios in Qazvin plain, Iran, Agricultural Water Management, 245.
- Heydari, Sh., Hosseini, S.A., and Heydari, A., 2020, Investigating the effects of climate change on stream flows of Urmia Lake basin in Iran, Modeling Earth

Predicted changes of minimum and maximum temperatures based on statistical microscale methods of the next decade (2050-2021) at Khorramabad station

Bromand salah¹, Fatemeh vatanparast ghaleh jouq^{2*}

¹ Full Professor in Climatology, Faculty of Social Sciences, University of mohagheh ardabili

² PhD student of Climatology, Faculty of Social Sciences, University of mohagheh ardabili

*Corresponding Author Email: f.vatanparast.g72@gmail.com

Received: 10 December 2020 , accepted: 09 March 2021

ABSTRACT

Rising temperatures and global warming are the most important phenomena that have detrimental effects on various resources and human life. In this study, the output performance of two global models CanESM2 and HadGEM2 under three scenarios RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 from LARS-WG and SDSM models were microscale to evaluate temperature changes for the period (2021-2050). The data used are the minimum and maximum temperature of Khorramabad synoptic station for the base period (1961-2010). MAE, RMSE, MSE and R2 indices were used for calibration and validation of the models and the results showed that both models have an acceptable ability in temperature simulation. The results of the forecast show an increase in the maximum and minimum temperatures under all three RCP scenarios of the HadGEM2 model in the next period compared to the base period. The highest increase in maximum temperature is related to April with 3/5% and the lowest in November is equal to 1 % and the highest change in minimum temperature is related to June with 2/4% and the lowest is related to November and October with 3/1 percent. The results of the output of the CanESM2 climate model for the next decade show that the maximum temperature, except for September, decreases by 1/2 percent in the other months compared to the base period, with the largest changes in February and March by 3/5 percent and the minimum temperature. Except for November, it will increase by 0/9 % in other and Trend analysis indicates an increase in base period temperature.

Keywords: Temperature, Khorramabad synoptic station, SDSM model, LARS-WG model

HOW TO CITE THIS ARTICLE

salahi, B.; Vatanparast ghaleh jouq, F. (2021). Predicted changes of minimum and maximum temperatures based on statistical microscale methods of the next decade (2050-2021) at Khorramabad station. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 4(1): 75-86

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

