

صص ۱۳۰-۱۱۵

پیش‌نگری دماهای بیشینه با استفاده از مدل‌های جهانی اقلیم تحت سناریوهای RCP و ریزمقیاس گردانی مدل‌های LARS-WG و SDSM در غرب کشور

محمد لطفی

دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران

غلامعلی کمالی*

دانشیار هواشناسی کشاورزی، گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران

امیر حسین مشکوتی

دانشیار هواشناسی کشاورزی، گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران

وحید ورشویان

استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۲۷

چکیده

افزایش دما و گرمایش جهانی از بزرگ‌ترین چالش‌هایی است که بشر در قرن بیست و یکم با آن مواجه است. بنابراین پیش‌نگری دماهای بیشینه جهت اطلاع از میزان تغییرات و در نتیجه ارائه تمهیدات لازم جهت سازگاری و تعدیل اثرات سوء ناشی از آن از اهمیت زیادی برخوردار است. لذا در این پژوهش به پیش‌نگری دماهای بیشینه در سه استان کردستان، کرمانشاه و ایلام در غرب کشور پرداخته شد. بدین منظور از داده‌های دو مدل جهانی HadGEM2 و CanESM2 تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 و همچنین دو مدل ریزمقیاس گردانی LARS-WG و SDSM بهره گرفته شد و تغییرات دماهای بیشینه به صورت ماهانه و سالانه در دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۸۹-۲۰۱۸) در ۱۷ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی قرار گرفت. جهت واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌های LARS-WG و SDSM از شاخص‌های MAE، MSE، RMSE و R^2 استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که هر دو مدل در شبیه‌سازی دماهای بیشینه منطقه مورد مطالعه از توانایی بالایی برخوردارند. با این وجود مدل SDSM از دقت بیشتری نسبت به مدل LARS-WG برخوردار است که کمترین و بیشترین دقت آن به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های بیجار و تازهاباد با RMSE برابر با ۰/۰۲ و ۰/۱۸ است. نتایج حاصل از پیش‌نگری دماهای بیشینه نیز نشان داد که بر اساس هر دو مدل مورد بررسی میزان دمای بیشینه در دوره آینده نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد که این میزان به طور متوسط مدل‌های مورد بررسی بین ۰/۸ تا ۱/۹ درجه سلسیوس در سطح منطقه مورد مطالعه خواهد بود. بیشترین میزان آن نیز بر اساس سناریوی RCP8.5 برآورد شده است. از نظر مکانی نیز بیشترین تغییرات مربوط به نواحی شمالی و شرقی منطقه مورد مطالعه و کمترین تغییرات مربوط به نواحی غربی منطقه مورد مطالعه است.

واژگان کلیدی: ایران، گرمایش جهانی، دمای بیشینه، SDSM، LARS-WG، RCP.

مقدمه

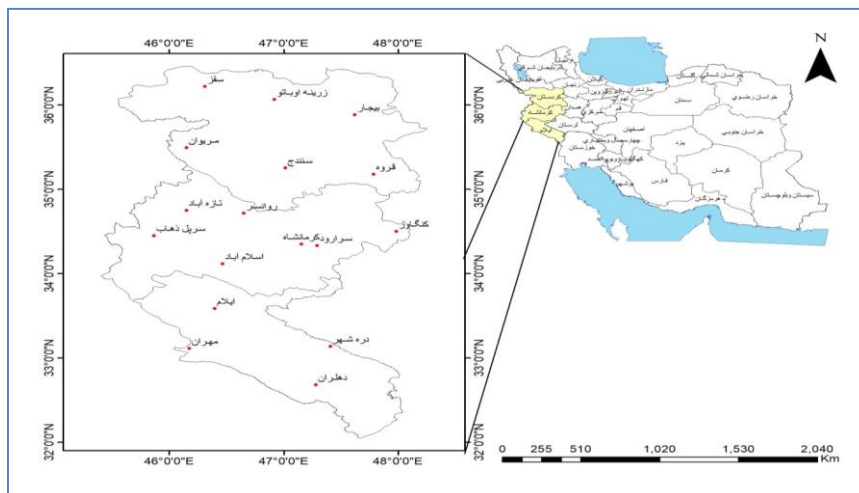
هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در سال ۲۰۰۱ گزارش داد که اقلیم در حال تغییر و گرمایش جهانی در حال وقوع است (Dracup and Vicuna, 2005) و تغییر اقلیم و پیامدهای ناشی از آن خصوصاً گرم شدن کره زمین به‌عنوان بزرگ‌ترین چالش قرن بیست و یکم شناخته شده است (صمدی و مساح بوانی، ۱۳۸۷). مطابق داده‌های ثبت شده اقلیمی، متوسط درجه حرارت سطح زمین تا پایان قرن بیستم حدود ۰/۶ سلسیوس افزایش پیدا است (IPCC, 2001) و در حال حاضر نیز پیش‌بینی‌ها برای قرن ۲۱، افزایش گرمای جهانی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای و هواپیزها را نشان می‌دهد، این افزایش گرما تا ۲/۵ درجه سلسیوس تا اواخر قرن حاضر می‌تواند در چرخه آب و به تبع آن عناصر اقلیمی تغییر ایجاد کند (عزیزی و روشن، ۱۳۸۷). در بین عناصر اقلیمی، دما و بارش به دلیل تأثیر گسترده بر سایر عوامل و به‌خصوص تأثیراتی که بر فعالیت‌های انسان‌ها دارند از اهمیت خاصی برخوردار است به‌طوری‌که تقریباً بیشترین نمود تغییرات اقلیمی در سطح کره زمین بر روی این دو پارامتر متمرکز شده است (طباطبایی و حسینی، ۱۳۸۲). از آنجا که افزایش این احتمال برای دوره‌های آتی می‌تواند آثار زیان‌باری را برای جوامع بشری در پی داشته باشد در سال‌های اخیر پژوهش در مورد این موضوع در سطح جهان مدنظر قرار گرفته است. مدل‌های جهانی اقلیم (GCMs) مهم‌ترین مدل‌های جفت شده عددی و ابزارهای قدرتمندی در ارزیابی تأثیرات تغییرات اقلیمی هستند (Fowler et al, 2007)، هر چند که این مدل‌ها در مقیاس فضایی جوی و قاره‌ای نتایج معنی‌داری را به نمایش می‌گذارند و بخش بزرگی از پیچیدگی سیستم کره زمین را ترکیب می‌کنند، اما ذاتاً قادر نیستند که دینامیک و اشکال با شبکه ریزتر از مقیاس محلی را به نمایش بگذارند (Sharman et al, 2007). لذا ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی در مقیاس محلی نیازمند رویکردی است تا شکاف موقتی و فضایی بین متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس و متغیرهای هواشناسی با مقیاس محلی را پر کند که در این مورد، رویکرد اساسی همان روش‌های ریزمقیاس گردانی هستند به دو دسته آماری و دینامیکی تقسیم می‌شوند (Willby et al 2002). روش‌های آماری دو وجه تمایز عمده با روش‌های دینامیکی دارد اول این که نیازمند رفتار مشاهداتی (گذشته) ایستگاه مورد مطالعه است و دوم اینکه مدل‌سازی در یک دوره حدود دو تا سه دهه در کسری از ثانیه انجام می‌شود. بنابراین معتبرترین ابزار جهت ریزمقیاس گردانی داده‌های GCM استفاده از روش‌های آماری است (شمسی‌پور، ۱۳۹۲: ۱۵۴). در میان روش‌های آماری نیز مدل‌های LARS-WG و SDSM از پرکاربردترین ابزارهای آماری ریزمقیاس گردانی می‌باشند که کاربرد بسیاری در مطالعات جوی، هیدرولوژیکی و زیست‌محیطی دارد (Wilby and Harris, 2006). در این راستا لئو و همکاران (۲۰۱۷) به پیش‌بینی تغییرات دما با استفاده از مدل SDSM در چین پرداختند. نتایج نشان داد که در دوره‌های آینده افزایش قابل توجه دما در بیشتر مناطق وجود دارد. دیمری و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی تغییرات احتمالی حداقل و حداکثر دما تحت سناریوهای مختلف در هیمالیا پرداختند. بر اساس نتایج حاصل دمای حداقل و حداکثر در این منطقه بین ۰/۵۴ - ۰/۲۳ درجه سلسیوس در هر دهه افزایش می‌یابد. نیلاوار و ویکار (۲۰۱۹) به پیش‌بینی تغییرات دما و بارش تحت دو سناریوی RCP در هند پرداختند. نتایج نشان داد که دما و بارش تحت هر دو

سناریو در آینده افزایش پیدا خواهد کرد. حیدری و همکاران (۲۰۲۰) به پیش‌بینی تغییرات دما و بارش با استفاده از مدل HadGEM2 و کاربست مدل LARS-WG در حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج نشان داد در دوره‌های آتی میزان بارش کاهش و میزان دما افزایش خواهد یافت. حسینی و احمدی (۱۳۹۵) به پیش‌بینی تغییرات دمای کمینه و بیشینه با استفاده از مدل LARS-WG در شهرستان سقز پرداختند. نتایج نشان داد که دما در تمامی ماه‌های سال در این منطقه افزایش خواهد یافت. نادری و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از مدل SDSM به بررسی تغییرات دما و بارش در حوضه آبخیز سیمره پرداختند. نتایج حاصل افزایش دما و کاهش بارش را نشان داد. هوشیار و همکاران (۱۳۹۷) به پیش‌بینی تغییرات دماهای حداکثر در ایستگاه سینوپتیک ارومیه با استفاده از مدل ریزمقیاس گردانی SDSM پرداختند. نتایج نشان داد که در دوره آتی دمای حداکثر 0.7 درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. عزیزی و همکاران (۱۳۹۸) به چشم‌انداز تغییرات دما در استان ایلام بر اساس مدل‌های CMIP5 پرداختند. نتایج حاکی از افزایش دماهای کمینه و بیشینه در ایستگاه‌های مورد مطالعه است. کثیری و همکاران (۱۳۹۹) به پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در سواحل جنوبی دریای خزر با استفاده از مدل جهانی CanESM2 و کاربست مدل ریزمقیاس گردانی SDSM پرداختند. نتایج نشان داد دمای حداقل و حداکثر در همه ادوار مورد بررسی و در هر دوره نسبت به دوره قبل افزایش خواهد یافت. لذا با توجه موضوع در این پژوهش به پیش‌بینی دماهای بیشینه در غرب کشور با استفاده از روش‌های ریزمقیاس گردانی آماری LARS-WG و SDSM و همچنین خروجی دو مدل GCM تحت سناریوهای واداشت تابشی پرداخته شد.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شامل سه استان کردستان، کرمانشاه و ایلام در غرب کشور است. جهت بررسی از داده‌های مشاهداتی دمای بیشینه، ۱۷ ایستگاه هواشناسی منتخب در سطح منطقه مورد مطالعه در طول دوره آماری ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ استفاده شد. موقعیت منطقه مطالعاتی و ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی در شکل (۱) و همچنین مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی در جدول (۱) آورده شده است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)
بیجار	سینوپتیک	۴۷.۶۲	۳۵.۸۹	۱۸۸۳.۴
دره شهر	سینوپتیک	۴۷.۴۱	۳۳.۱۴	۰.۳۶
دهلران	سینوپتیک	۴۷.۲۸	۳۲.۶۸	۲۳۲
قروه	سینوپتیک	۴۷.۷۹	۳۵.۱۸	۱۹۰۶
ایلام	سینوپتیک	۴۶.۴۰	۳۳.۵۹	۱۳۳۷
اسلام‌آباد غرب	سینوپتیک	۴۶.۴۷	۳۴.۱۲	۱۳۴۸.۸
کنگاور	سینوپتیک	۴۷.۹۸	۳۴.۵۰	۱۴۶۸
کرمانشاه	سینوپتیک	۴۷.۱۵	۳۴.۳۵	۱۳۱۸.۵
مریوان	سینوپتیک	۴۶.۱۵	۳۵.۵۰	۱۲۸۷
مهران	سینوپتیک	۴۶.۱۸	۳۳.۱۱	۱۵۰
روانسر	سینوپتیک	۴۶.۶۵	۳۴.۷۲	۱۳۸۰
سقز	سینوپتیک	۴۶.۳۱	۳۶.۲۲	۱۵۲۲.۸
سنندج	سینوپتیک	۴۷.۰۱	۳۵.۲۵	۱۳۷۳.۴
سرارود کرمانشاه	کشاورزی	۴۷.۲۹	۳۴.۳۳	۱۳۶۱.۷
سرپل ذهاب	سینوپتیک	۴۵.۸۷	۳۴.۴۵	۵۴۵
تازه‌آباد کرمانشاه	سینوپتیک	۴۶.۱۵	۳۴.۷۵	۱۲۲۶
زرینه اوباتو	سینوپتیک	۴۶.۹۲	۳۶.۰۷	۲۱۴۲.۶

مأخذ: نگارندگان

در این از پژوهش جهت بررسی عدم قطعیت و همچنین افزایش دقت در پیش‌نگری‌ها از دو روش ریزمقیاس گردانی آماری یعنی مدل‌های LARS-WG و SDSM استفاده شد که از پرکاربردترین ابزارهای آماری ریزمقیاس گردانی می‌باشند و کاربردهای بسیاری در مطالعات جوی، هیدرولوژیکی و زیست‌محیطی دارند (Wilby and Harris, 2006). که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته می‌شود.

مدل ریزمقیاس گردانی SDSM

مدل SDSM ترکیبی از روش مولدهای هواشناسی آماری و توابع تغییر شکل یافته است که اولین بار توسط ویلی و همکاران (۲۰۰۲) تحت عنوان نسخه ۲/۱ جهت طراحی و توسعه داده شد. در این بررسی از مدل SDSM جهت ریزمقیاس گردانی داده‌های مدل جهانی CanESM2 تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد. چرا که تا زمان انجام این پژوهش فقط داده‌های روزانه این مدل جهانی جهت اجرا مدل SDSM در دسترس بوده است. مدل CanESM2 چهارمین نسل از مدل‌های آب‌وهوایی است که توسط مرکز مدل‌سازی و تحلیل آب‌وهوای کانادا (CCCma) زیر نظر سازمان محیط‌زیست این کشور توسعه یافته است. در این مدل کل زمین به صورت $۶۴ * ۱۲۸$ سلول شبکه‌بندی شده است که دارای شبکه‌ای با ابعاد ۱ در ۱ درجه طول و عرض جغرافیایی می‌باشد. جهت کالیبره کردن مدل SDSM، از داده‌های دمای بیشینه ایستگاه‌های هواشناسی و داده‌های NCEP در دوره پایه (۱۹۸۹-۲۰۱۸) استفاده شد که به ترتیب از سازمان هواشناسی کشوری و سایت تغییر اقلیم کانادا دریافت گردید. متغیرهای NCEP شامل ۲۶ متغیر اتمسفری می‌باشند که از بین آن‌ها متغیرهای مناسب انتخاب می‌شوند. برای انتخاب پیش‌بینی کننده‌ها، نرم‌افزار SDSM بین سری مشاهداتی روزانه منطقه و متغیرهای NCEP رابطه‌ای با حداکثر ضریب همبستگی برقرار نموده و سپس با استفاده از پارامترهای به دست آمده از این رابطه، با به‌کارگیری متغیرهای بزرگ‌مقیاس حاصل از مدل CanESM2 و سناریوهای مختلف در دوره آتی، سری زمانی پارامتر مورد نظر را در منطقه تولید می‌کند (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۵). پس از انتخاب بهترین پیش‌بینی کننده‌ها از مجموع متغیرهای NCEP عملیات پیش‌بینی برای دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) صورت گرفت. پس از تولید داده‌های روزانه از خروجی حاصل میانگین‌گیری شده و میانگین ماهانه و دوره‌ای پارامتر مورد بررسی در دوره آتی محاسبه می‌شود. سپس تغییرات آن‌ها نسبت به دوره پایه محاسبه شده و نمودارهای تغییرات ماهانه و سالانه دماهای بیشینه ترسیم و تحلیل می‌گردد.

مدل ریزمقیاس گردانی LARS-WG

این مدل یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا با استفاده از توزیع نیمه تجربی است که توانایی بالایی در پیش‌بینی تغییرات اقلیمی دارد (Semonov and Stratonovitch, 2010). این مدل ابتدا توسط راسکو و همکاران (۱۹۹۱) ارائه شد و سپس توسط سمونوف و همکاران (۱۹۹۸) بازنگری شد. دلیل اصلی تولید این مدل غلبه بر نقاط ضعف زنجیره مارکوف بود. نسخه ۶ این مدل (LARS-WG6) در سال ۲۰۱۸ جهت ریزمقیاس گردانی مدل‌های گزارش پنجم (CIMP5) به‌روز و منتشر گردید. در مدل LARS-WG6 چون نتایج مدل CanESM2 در ورودی‌های این مدل خورنده نشده است. از داده‌های مدل جهانی HadGEM2 تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد. مدل HadGEM2 از نوع مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی-اقیانوسی است که در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس طراحی و توسعه یافته است که دارای شبکه‌ای به ابعاد $۱/۲۵$ درجه عرض جغرافیایی

در ۱/۸۷۵ درجه طول جغرافیایی است که داده‌های آن‌ها از سال ۱۹۶۱ تا ۲۱۰۰ موجود است (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۷۵). روش کار به این صورت است که مدل، داده‌های دیده‌بانی شده دوره پایه را دریافت کرده، با بررسی آن‌ها مشخصه‌های آماری داده‌ها استخراج می‌شوند سپس به منظور صحت‌سنجی و اطمینان از توانمندی مدل، برای دوره آماری پایه مدل را اجرا نموده تا یک سری داده‌های مصنوعی در دوره پایه مجدداً ایجاد شود. سپس این خروجی‌ها را به منظور ارزیابی عملکرد مدل در بازسازی داده‌ها، با مشخصات آماری مشاهداتی مقایسه می‌شوند. تطابق مشخصات آماری داده‌های مشاهداتی و داده‌های بازتولیدی، نشان می‌دهد که مدل، سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای انتخابی و خروجی مدل‌های اقلیمی GCM را به داده‌های دوره پایه اعمال و تغییرات را شبیه‌سازی می‌کند. لازم به ذکر است ورودی‌ها و خروجی‌های این مدل به صورت ایستگاهی است (آقاشاهی و همکاران، ۱۳۹۱: ۷).

جهت واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌های ریزمقیاس گردانی SDSM و LARS-WG از شاخص‌های MAE، RMSE و R^2 استفاده شد. ضریب تعیین (R^2) معیاری بدون بعد است که بهترین مقدار آن برابر یک است. رابطه (۱) نحوه محاسبه آن را نشان می‌دهد (صداقت‌کردار و همکاران، ۱۳۸۷).

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

میانگین مربعات خطا (MSE) مقدار آن از صفر در عملکرد عالی تا بی‌نهایت تغییر کند. که به صورت رابطه (۲) تعریف می‌گردد (کارآموز و همکاران، ۱۳۸۵).

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

مجزور میانگین مربعات خطا (RMSE) به عنوان قیاسی برای نشان دادن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری به کار می‌رود این معیار که به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود به عنوان مرسوم‌ترین شاخص خطا سنجی به کار می‌رود (لین و همکاران، ۲۰۰۶).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_o - X_s)^2}{N}} \quad (3)$$

میانگین مطلق خطا (MAE) نیز برای مقایسه عبارت به عبارت خطای نسبی مقادیر شبیه‌سازی شده با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده به کار می‌رود که به صورت رابطه (۴) تعریف می‌گردد (هو و همکاران، ۲۰۰۱).

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |X_o - X_s|}{N} \quad (4)$$

در روابط فوق X_o داده‌های مشاهداتی، X_s داده‌های شبیه‌سازی شده و N تعداد داده‌ها است.

نتایج و بحث

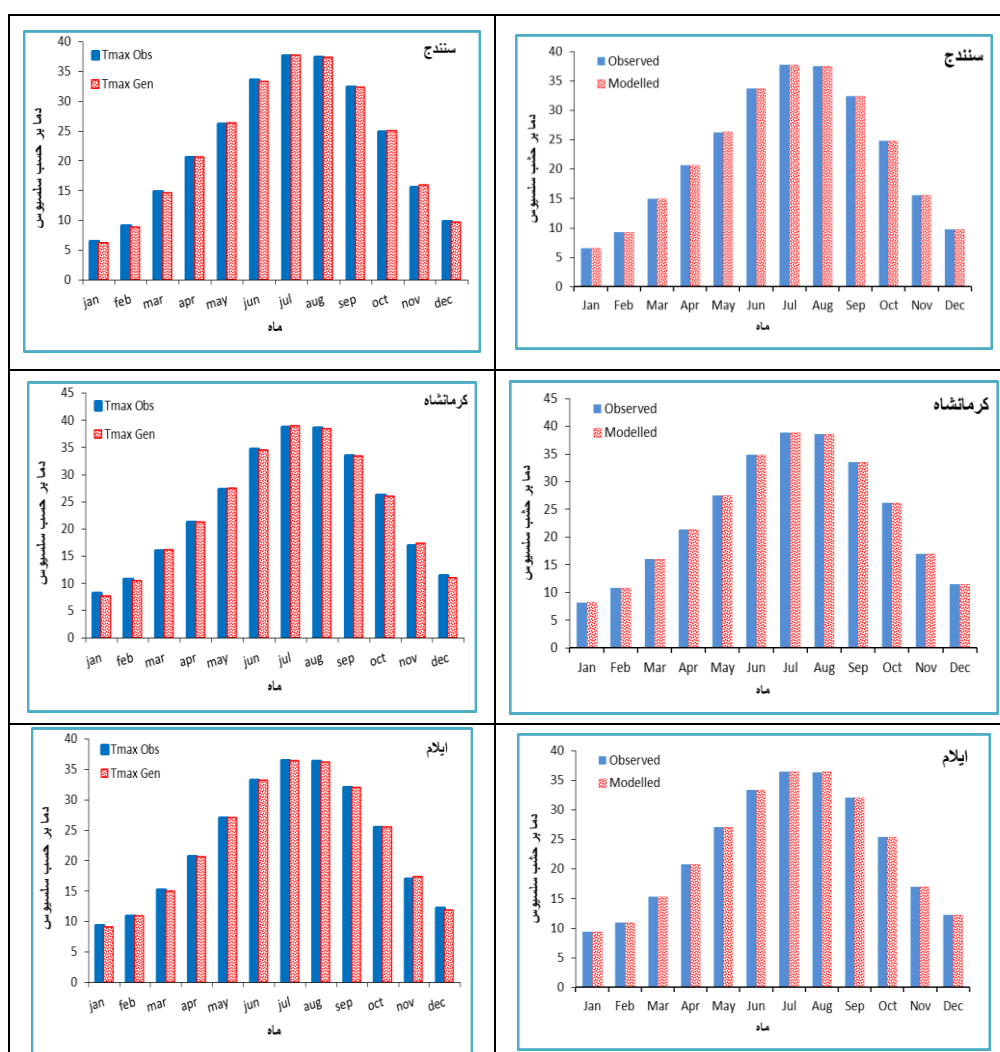
به منظور واسنجی مدل LARS-WG، ابتدا مدل برای دوره آماری پایه (۱۹۸۹-۲۰۱۸) اجرا شد. سپس دمای بیشینه شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهداتی ایستگاهی مقایسه گردید. همچنین به منظور واسنجی و صحت‌سنجی مدل ریزمقیاس گردانی SDSM، به ارزیابی پارامترهای شبیه‌سازی شده با استفاده از متغیرهای NCEP و داده‌های واقعی برای دوره آماری پایه پرداخته شد. بر اساس نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین متغیرهای NCEP و داده‌های مشاهداتی، متغیرهای متوسط دما در ارتفاع دو متری، ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال و متوسط فشار در سطح دریا به ترتیب بیشترین ارتباط را با دمای بیشینه در منطقه مورد مطالعه دارند. نتایج ارزیابی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دمای بیشینه توسط هر دو مدل ریزمقیاس گردانی با استفاده شاخص‌های آماری مختلف در جدول (۲) آورده شده است. نتایج حاصل نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی آن‌ها با خطای بحرانی ۰/۰۵ وجود ندارد و مقادیر همبستگی پیروان بین داده‌های شبیه‌سازی شده و واقعی در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ قابل قبول است. نتایج حاصل از مقایسه هر دو مدل ریزمقیاس گردانی با استفاده از شاخص‌های خطاسنجی نشان می‌دهد که هر دو مدل از دقت بالایی در زمینه شبیه‌سازی دماهای بیشینه برخوردارند. با این وجود مدل SDSM با توجه به معیارهای خطاسنجی، عملکرد بهتری نسبت به مدل LARS-WG از خود نشان داده است. بیشترین و کمترین دقت مدل LARS-WG به ترتیب مربوط به ایستگاه قروه با RMSE برابر با ۰/۱۸ و ایستگاه تازه‌آباد کرمانشاه با RMSE برابر با ۰/۳۶ است. در صورتی که کمترین و بیشترین مقدار RMSE در مدل SDSM به ترتیب برابر با ۰/۰۲ و ۰/۱۸ و در ایستگاه‌های بیجار و تازه‌آباد است. (جدول ۲).

جدول ۲: ارزیابی عملکرد مدل‌های ریزمقیاس گردانی مورد بررسی در شبیه‌سازی دماهای بیشینه

ایستگاه	RMSE		MSE		MAE		R ²	
	SDSM	LARS	SDSM	LARS	SDSM	LARS	SDSM	LARS
بیجار	۰/۰۲	۰/۲۱	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۱۸	۰/۹۹	۰/۹۹
دره شهر	۰/۱۲	۰/۳۳	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۲۷	۰/۹۹	۰/۹۹
دهلران	۰/۰۳	۰/۲	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۱۵	۰/۹۹	۰/۹۹
قروه	۰/۰۳	۰/۱۸	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۹۹	۰/۹۹
ایلام	۰/۰۳	۰/۲	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۹۹	۰/۹۹
اسلام‌آباد	۰/۰۳	۰/۱۹	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۹۹	۰/۹۹
کنگاور	۰/۰۳	۰/۲۱	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۱۷	۰/۹۹	۰/۹۹
کرمانشاه	۰/۰۳	۰/۲۵	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۲۱	۰/۹۹	۰/۹۹
مریوان	۰/۰۴	۰/۲۲	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۱۶	۰/۹۹	۰/۹۹
مهران	۰/۱۴	۰/۱۹	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۹۹	۰/۹۹
روانسر	۰/۰۳	۰/۳۲	۰/۰۰	۰/۱	۰/۰۲	۰/۲۵	۰/۹۹	۰/۹۹
سقز	۰/۰۳	۰/۲۹	۰/۰۰	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۲۲	۰/۹۹	۰/۹۹
سنندج	۰/۰۳	۰/۲	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۹۹	۰/۹۹
سرا رود	۰/۰۸	۰/۲۵	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۲۲	۰/۹۹	۰/۹۹
سرپل ذهاب	۰/۰۳	۰/۲۳	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۱۹	۰/۹۹	۰/۹۹
تازه‌آباد	۰/۱۸	۰/۳۶	۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۳۲	۰/۹۹	۰/۹۹
زرینه اوباتو	۰/۰۲	۰/۲۴	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۱۸	۰/۹۹	۰/۹۹

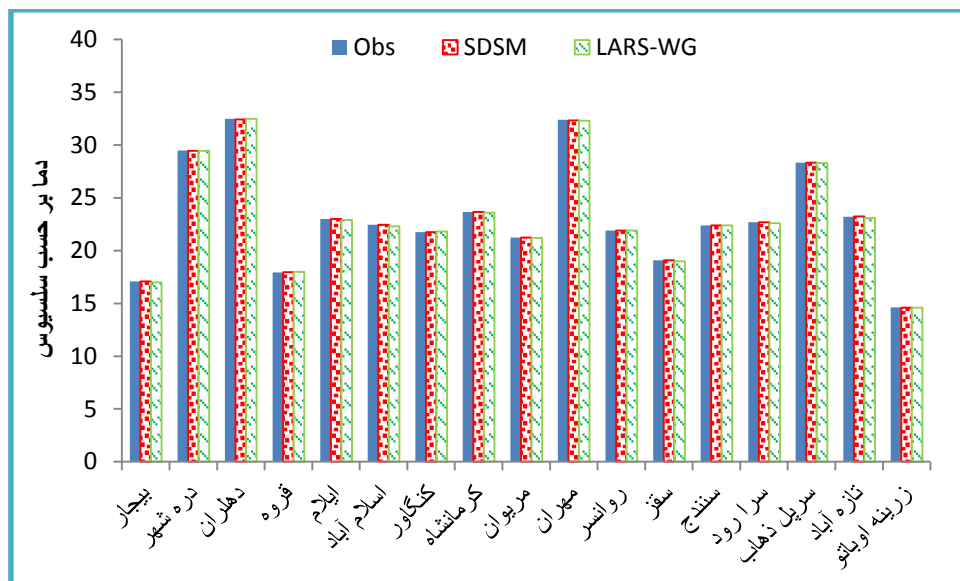
ماخذ: نگارندگان

جهت نمایش بهتر و اطمینان از صحت پیش‌بینی و همچنین بررسی عدم قطعیت در مدل‌های مورد بررسی به مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی به صورت ماهانه و سالانه در طول دوره مورد بررسی در ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از نمودارهای مقایسه‌ای پرداخته شد. در این بخش به دلیل تعداد زیاد ایستگاه‌های مورد مطالعه فقط ایستگاه‌های مراکز استانی منطقه مورد مطالعه (ایلام، سنندج و کرمانشاه) جهت نمایش آورده شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که دقت مدل‌های ریزمقیاس گردانی در ایستگاه‌ها و ماه‌های مختلف متفاوت است و با وجود دقت بالایی هر دو مدل مورد بررسی، در بیشتر ماه‌ها و همچنین به صورت سالانه در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه، مدل SDSM موفق‌تر از مدل LARS-WG عمل نموده است (شکل‌های ۲ و ۳).



مأخذ: نگارندگان

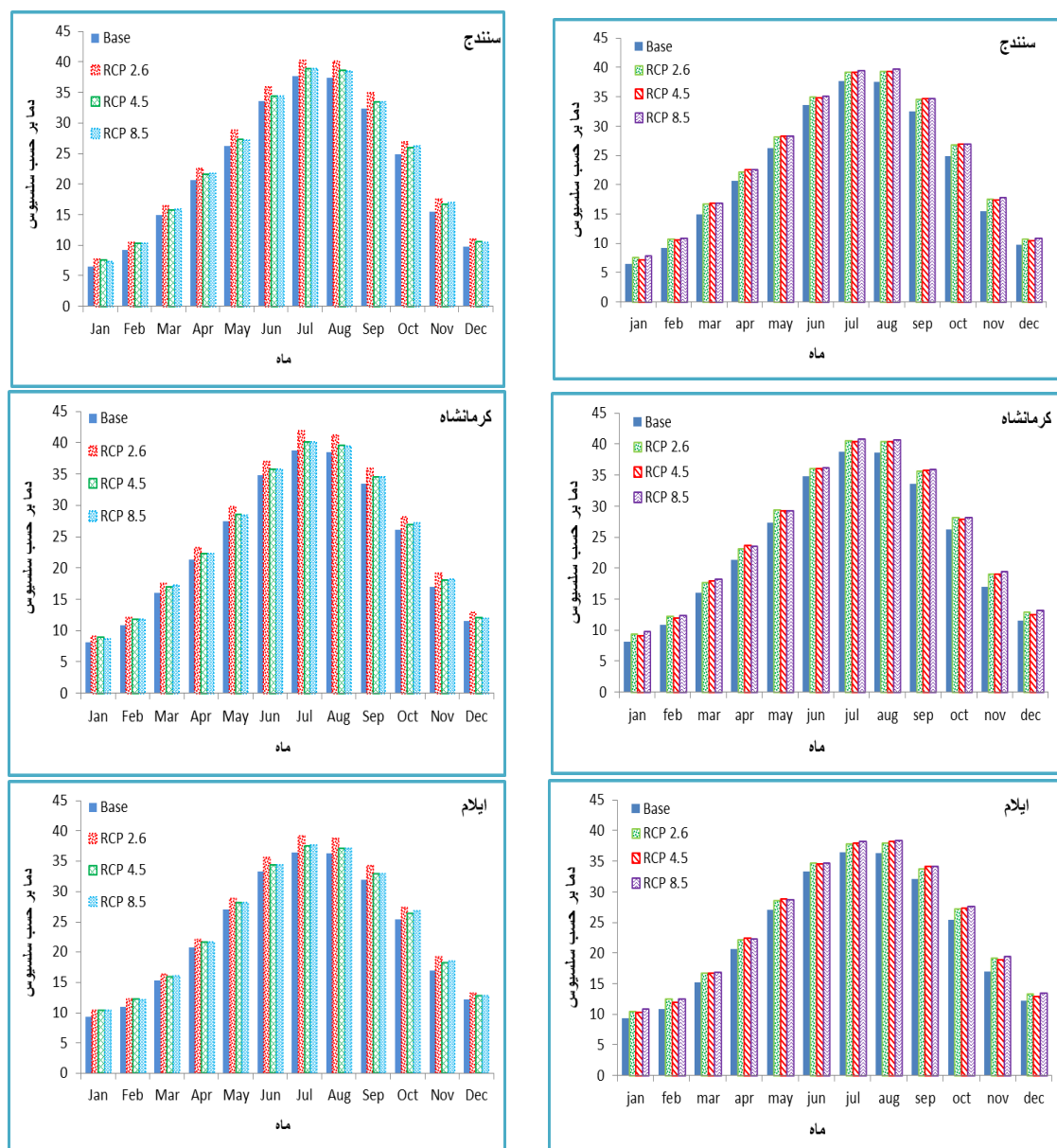
شکل ۲: مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دمای بیشینه به صورت ماهانه توسط مدل‌های SDSM (ستون سمت راست) و LARS-WG (ستون سمت چپ)



مأخذ: نگارندگان

شکل ۳: مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دمای بیشینه به صورت سالانه توسط مدل‌های ریزمقیاس گردانی مورد بررسی

نتایج حاصل از پیش‌نگری تغییرات ماهانه دمای بیشینه بر اساس مدل‌های مورد بررسی در ایستگاه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد که میزان دمای بیشینه بر اساس هر دو روش ریزمقیاس گردانی در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه و بر طبق هر سه سناریوی مورد بررسی در تمامی ماه‌های سال نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت و انتظار می‌رود در دوره آینده میزان دما افزایش یابد. بیشترین تغییرات ماهانه نیز بر اساس سناریوهای مورد بررسی مربوط به سناریوی RCP 8.5 و سپس RCP 2.6 است. همچنین شدت تغییرات در ماه‌های سرد سال بیشتر از ماه‌های گرم سال است. در این بخش نیز به دلیل تعداد زیاد ایستگاه‌های مورد مطالعه فقط ایستگاه‌های مراکز استانی منطقه مورد مطالعه (ایلام، سنندج و کرمانشاه) بر اساس دو مدل ریزمقیاس گردانی مورد بررسی جهت نمایش آورده شده است (شکل ۴).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۴: پیش‌بینی تغییرات ماهانه دمای بیشینه بر اساس مدل LARS-WG (سمت راست) و SDSM (سمت چپ)

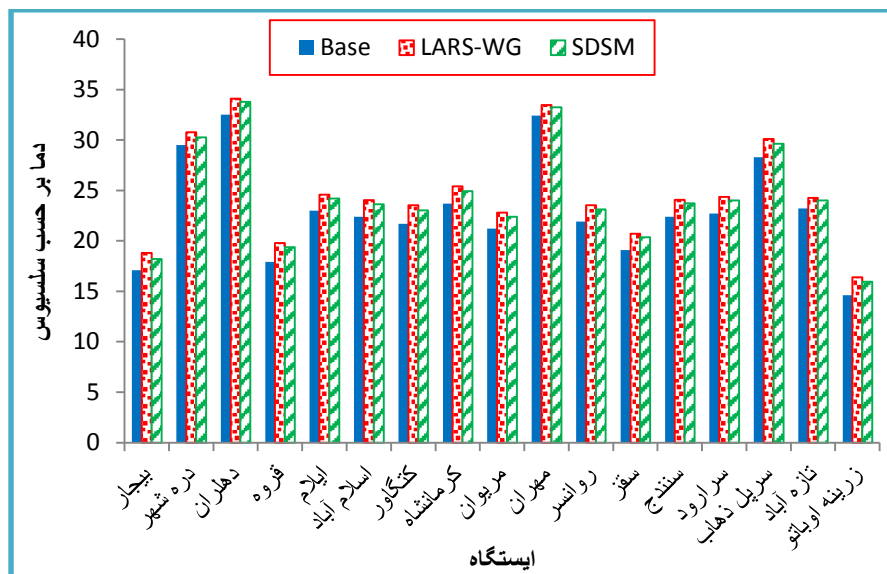
جهت نمایش بهتر از وضعیت تغییرات دمای بیشینه در منطقه مورد مطالعه، میزان دمای بیشینه طی دوره آماری پایه و آینده به تفکیک سناریوها و ایستگاه‌های مختلف در جدول (۳) آورده شد. بر اساس نتایج حاصل دمای بیشینه بر طبق هر سه سناریوی مورد بررسی در تمام ایستگاه‌های مطالعاتی نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. بیشترین تغییرات نیز بر اساس سناریوی RCP 8.5 برآورد شده است.

جدول ۳: تغییرات دمای بیشینه در دوره آینده نسبت به دوره پایه بر اساس سناریوها و مدل‌های مختلف

SDSM			LARS-WG			دوره پایه	ایستگاه	ردیف
RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 2.6			
۱۸/۱	۱۸/۱	۱۸/۴	۱۹	۱۸/۷	۱۸/۷	۱۷/۱	بیجار	۱
۳۰/۳	۳۰/۳	۳۰/۲	۳۰/۹	۳۰/۷	۳۰/۷	۲۹/۵	دره شهر	۲
۳۳/۶	۳۳/۵	۳۴/۲	۳۴/۲	۳۴	۳۴/۱	۳۲/۵	دهلران	۳
۱۹	۱۹/۱	۲۰	۲۰	۱۹/۷	۱۹/۷	۱۷/۹	قروه	۴
۲۴	۲۳/۹	۲۴/۷	۲۴/۷	۲۴/۵	۲۴/۵	۲۳	ایلام	۵
۲۳/۳	۲۳/۳	۲۴/۳	۲۴/۲	۲۳/۹	۲۴	۲۲/۴	اسلام‌آباد	۶
۲۲/۷	۲۲/۷	۲۳/۷	۲۳/۷	۲۳/۴	۲۳/۵	۲۱/۷	کنگاور	۷
۲۴/۶	۲۴/۶	۲۵/۶	۲۵/۶	۲۵/۳	۲۵/۳	۲۳/۷	کرمانشاه	۸
۲۲/۱	۲۲/۱	۲۳	۲۳	۲۲/۷	۲۲/۷	۲۱/۲	مریوان	۹
۳۳/۱	۳۳	۳۳/۶	۳۳/۶	۳۳/۴	۳۳/۴	۳۲/۴	مهران	۱۰
۲۲/۸	۲۲/۸	۲۳/۸	۲۳/۷	۲۳/۴	۲۳/۵	۲۱/۹	روانسر	۱۱
۲۰	۲۰/۱	۲۱	۲۰/۹	۲۰/۶	۲۰/۶	۱۹/۱	سقز	۱۲
۲۳/۴	۲۳/۴	۲۴/۴	۲۴/۲	۲۴	۲۴	۲۲/۴	سنندج	۱۳
۲۳/۷	۲۳/۷	۲۴/۶	۲۴/۵	۲۴/۳	۲۴/۳	۲۲/۷	سرارود	۱۴
۲۹/۳	۲۹/۳	۳۰/۳	۳۰/۳	۳۰	۳۰	۲۸/۳	سرپل ذهاب	۱۵
۲۳/۸	۲۳/۸	۲۴/۴	۲۴/۴	۲۴/۲	۲۴/۲	۲۳/۲	تازه‌آباد کرمانشاه	۱۶
۱۵/۷	۱۵/۶	۱۶/۵	۱۶/۶	۱۶/۳	۱۶/۳	۱۴/۶	زرینه اوباتو	۱۷

مأخذ: نگارندگان

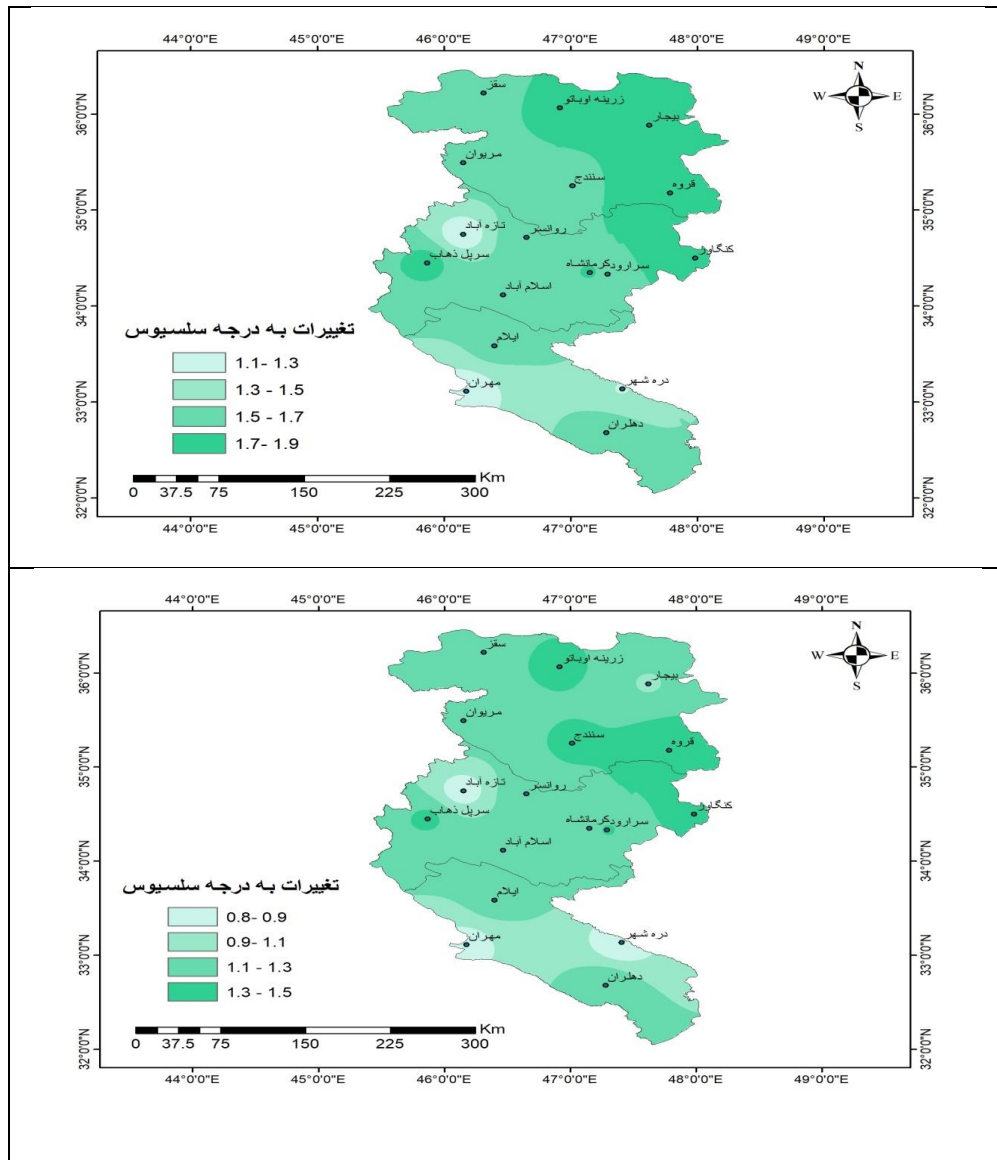
بررسی تغییرات بلندمدت دمای بیشینه در ایستگاه‌های مطالعاتی بر اساس متوسط سناریوهای مورد بررسی نشان می‌دهد که دمای بیشینه بر اساس هر دو مدل مورد بررسی در تمام ایستگاه‌های مطالعاتی نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. بر اساس مدل LARS-WG بیشترین و کمترین تغییرات دمای بیشینه در منطقه مورد مطالعه بر اساس متوسط سناریوهای مورد بررسی به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های قروه و مهران با $1/9$ و $1/1$ درجه سلسیوس افزایش نسبت به دوره پایه است. بر اساس مدل SDSM نیز بیشترین و کمترین تغییرات دمای بیشینه به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های قروه با $1/5$ درجه سلسیوس و ایستگاه‌های مهران، دره شهر و تازه‌آباد هرکدام با $0/8$ درجه سلسیوس افزایش نسبت به دوره پایه می‌باشد (شکل ۵).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۵: متوسط دمای بیشینه دوره پایه و آینده بر اساس ریزمقیاس گردانی مدل‌های SDSM و LARS-WG

جهت نمایش بهتر وضعیت تغییرات دمای بیشینه در منطقه مورد مطالعه، میزان تغییرات دمای بیشینه در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۸-۱۹۸۹) بر اساس مدل‌های مورد بررسی در محیط Arc GIS با استفاده از روش معکوس وزنی فاصله (IDW) درونیابی شد. نتایج حاصل نشان داد میزان دمای بیشینه در کل منطقه مورد مطالعه افزایش در دوره مورد پیش‌بینی قابل ملاحظه‌ای را خواهد داشت. بیشترین تغییرات آن نیز بر اساس هر دو مدل ریزمقیاس گردانی مورد بررسی مربوط به نواحی شمالی و شرقی منطقه مورد مطالعه خواهد بود و کمترین تغییرات مربوط به نواحی غربی منطقه مورد مطالعه است. بر اساس مدل LARS-WG میزان این تغییرات در منطقه مورد مطالعه بین ۱/۱ تا ۱/۹ درجه سلسیوس و بر اساس مدل SDSM نیز بین ۰/۸ تا ۱/۵ درجه سلسیوس خواهد بود. از نظر مقایسه بین مدل‌های مورد بررسی نیز بیشترین تغییرات بر اساس مدل LARS-WG برآورد شده است و مدل SDSM تغییرات به نسبت کمتری را نشان می‌دهد (شکل ۶).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۶: تغییرات دما بیشینه در دوره آینده نسبت به دوره پایه بر اساس مدل‌های LARS-WG (بالا) و SDSM (پایین)

نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین مسائل اقلیمی و زیست‌محیطی است که در سال‌های اخیر با توجه مطرح‌شدن گرمایش جهانی و بحران در منابع آبی و تغییر اکوسیستم‌ها و همچنین مشکلات اجتماعی و اقتصادی ناشی از این تغییرات، توجه بسیاری از محافل جهانی را به خود جلب کرده است. به همین منظور در این پژوهش با استفاده از خروجی مدل‌های جهانی CanESM2 و HadGEM2 تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 و دو مدل ریزمقیاس‌گردانی آماری LARS-WG و SDSM، تغییرات دماهای بیشینه در دوره (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به دوره (۱۹۸۹-۲۰۱۸) در غرب کشور مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که مدل‌های ریزمقیاس‌گردانی مورد بررسی از کار آبی

بالایی جهت شبیه‌سازی تغییرات دمایی در منطقه مورد مطالعه برخوردارند. همچنین بر اساس نتایج حاصل از خروجی مدل‌های جهانی و سناریوهای مختلف میزان دمای بیشینه در دوره آبی نسبت به دوره پایه در منطقه مورد مطالعه افزایش خواهد یافت. بر اساس مدل LARS-WG میزان این افزایش در منطقه مورد مطالعه بین ۱/۱ تا ۱/۹ درجه سلسیوس و بر اساس مدل SDSM بین ۰/۸ تا ۱/۵ درجه سلسیوس خواهد بود که با این توصیف دمای بیشینه در سطح منطقه بین ۰/۸ تا ۱/۹ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. بیشترین تغییرات آن نیز از نظر مکانی مربوط به نواحی شمالی و شرقی منطقه مورد مطالعه خواهد بود. بیشترین و کمترین تغییرات نیز به ترتیب بر اساس سناریوهای RCP8.5 و RCP2.6 برآورد شده است که ناشی از ویژگی‌های است که هر کدام از این سناریوها به نمایش می‌گذارند. نتایج حاصل از این پژوهش مطالعات حسینی و احمدی (۱۳۹۵) در سقز، هوشیار و همکاران (۱۳۹۷) در ارومیه، عزیزی و همکاران (۱۳۹۸) در ایلام و کثیری و همکاران (۱۳۹۹) در سواحل جنوبی دریای خزر مبنی بر دقت بالای مدل‌های مورد بررسی و افزایش دما در مناطق مورد مطالعه را مورد تأیید قرار می‌دهد. در مجموع بر اساس نتایج حاصل از خروجی مدل‌های جهانی و سناریوهای مختلف و در منطقه مورد مطالعه میزان دمای بیشینه نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت که این امر می‌تواند افزایش تبخیر و تعرق، کاهش بارش‌های برفی و افزایش بارش‌های رگباری و سیل‌آسا را به دنبال داشته باشد که این امر هم می‌تواند موجب کاهش ذخیره و تأمین منابع برفی و آبی منطقه و نیز افزایش خسارات ناشی از وقوع بارش‌های رگباری و نیز شسته شدن خاک‌های حاصلخیز را به دنبال داشته باشد. لذا با توجه به این‌که به دنبال تغییرات دمایی، شرایط اقلیم کشاورزی و همچنین وضعیت منابع آبی و طبیعی منطقه نیز دچار تغییر می‌گردند. لازم است برنامه‌ریزان و مسئولین بخش‌های مربوطه راهکارهای لازم برای تعدیل خسارات ناشی از گرمایش و یا سازگاری با شرایط آب‌وهوایی جدید را اتخاذ نمایند.

منابع

- ۱- آقا شاهی، محسن، مجتبی اردستانی، نیک سخن، محمدحسین، طهماسبی، بهشته. (۱۳۹۱): معرفی و مقایسه مدل‌های LARS-WG و SDSM به منظور ریزمقیاس سازی پارامترهای زیست‌محیطی در مطالعات تغییر اقلیم. ششمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست. تهران.
- ۲- حسینی، سید اسعد، احمدی، حمزه. (۱۳۹۵): چشم‌انداز تغییرات دما با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی‌های مدل HadCM3. نشریه هواشناسی کشاورزی، ش ۱، صص ۶۸-۷۳.
- ۳- صداقت کردار، علی، فتاحی، ابراهیم، (۱۳۸۷): شاخص‌های پیش‌آگاهی خشک‌سالی در ایران، مجله جغرافیا و توسعه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ج ۶، ش ۱۱، صص ۷۶-۵۹.
- ۴- صمدی، سیده زهرا، مساح‌بوانی، علیرضا. (۱۳۸۷): معرفی روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و SDSM به منظور کوچک‌مقیاس کردن آماری داده‌های دما و بارندگی، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز، ۹ ص.

- ۵- طباطبایی، سید علی، حسینی، مهرداد. (۱۳۸۲): بررسی تغییر اقلیم در شهر سمنان بر اساس پارامترهای بارش ماهیانه و متوسط دمای ماهیانه، سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم اصفهان.
- ۶- عزیزی، قاسم، احمدی، محمد، کردوانی، پرویز. (۱۳۹۸): چشم‌انداز تغییرات دمای هوا دوره آینده بر اساس مدل‌های CMIP5 و سناریوهای واداشت تابشی (مطالعه موردی: ایستگاه‌های منتخب استان ایلام)، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال ۱۲، ش ۴۳، صص ۷۱-۸۸.
- ۷- عزیزی، قاسم، روشن، محمود. (۱۳۸۷): مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من-کندال، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۳، صص ۲۸-۱۳.
- ۸- کارآموز، محمد، رضانی، فرید، رضوی، سامان. (۱۳۸۵): پیش‌بینی بلند مدت بارش با استفاده از سیگنال‌های هواشناسی: کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی. هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، تهران.
- ۹- کثیری، مریم، گودرزی، مسعود، جانباز قبادی، غلامرضا، متولی، صدرالدین. (۱۳۹۹): چشم‌انداز آینده تغییرات دما و بارش در سواحل جنوبی دریای خزر. جغرافیای طبیعی، دوره ۱۳، ش ۴۷، صص ۱-۱۵.
- ۱۰- گودرزی، مسعود، حسینی، سید اسعد، مسگری، ابراهیم. (۱۳۹۴): مدل‌های آب و هواشناسی، چاپ اول، انتشارات آذر کلک، زنجان.
- ۱۱- نادری، سهراب، گودرزی، مسعود، قدمی دهنو، محمد. (۱۳۹۶): اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی در حوزه سیمره، علوم و مهندسی آب‌خیزداری، سال یازدهم، ش ۳۹، صص ۷۶-۶۹.
- ۱۲- هوشیار، محمود، سبحانی، بهروز، حسینی، سید اسعد. (۱۳۹۷): چشم‌انداز تغییرات دماهای حداکثر ارومیه با استفاده از ریزگردانی آماری خروجی مدل CanESM2، جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۲، ش ۶۳، صص ۳۲۵-۳۰۵.

- 13- Dimri., A.P., Kumar, D., Choudhary, A., Maharana, P. (2018): Future Changes Over The Himalayas: Maximum And Minimum Temperature, Global And Planetary Change, (162), 212-234.
- 14- Dracup, J.A. & Vicuna, S. (2005): An Overview Of Hydrology And Water Resources Studies On Climate Change: The California Experience. Proc. World Water And Environmental Resources Congress 2005: Impacts Of Global Climate Change.
- 15- Fowler, H J., Blenkinsop, S., Tebaldi, C. (2007): Linking Climate Change Modelling To Impacts Studies: Recent Advances In Downscaling Techniques For Hydrological Modeling. International Journal Of Climatology, 27: 1547-1578.
- 16- Heydari, Sh., Hosseini, S.A., Heydari, A. (2020): Investigating The Effects Of Climate Change On Stream Flows Of Urmia Lake Basin In Iran, Modeling Earth Systems And Environment, 1: 329-339.
- 17- Hu, T.S., Lam, K.C., Ng, S.T. (2001): River Flow Time Series Prediction With A Range Dependent Neural Network. Hydrological Science Journal, 46: 729-745.
- 18- IPCC. (2001): In: Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H., Dicken, D.J. (Eds.), Special Report On The Regional Impacts Of Climate Change, An Assessment Of Vulnerability. Cambridge University Press, UK.
- 19- Lin, J.Y., Cheng, C. T., Chau, K.W. (2006): Using Support Vector Machines For Long-Term Discharge Prediction. Hydrological Science Journal, 51: 599-612.
- 20- Liu, J., Chen, S., Li, L., Lij. (2017): Statistical Downscaling And Projection Of Future Air Temperature Changes In Yunnan Province, China, Advances In Meteorology, 2017: 1-11.
- 21- Nilawar, A P., Waikar, M L. (2019): Impacts Of Climate Change On Stream Flow 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
- 22- Racsco, P., L. Szeidl And M. Semenov. (1991): A Serial Approach To Local Stochastic Weather Models. Ecological Modeling, 57. 27-41.

- 23- Semenov, M., Brooks, R., Barrow, E., Richardson, C. (1998): Comparison Of The WGEN And LARS-WG Stochastic Weather Generators For Diverse Climates. *Climate Resarche*, 10: 95-107.
- 24- Semenov, M. A., Stratonovitch, P. 2010. Use Of Multi-Model Ensembles From Global Climate Models For Assessment Of Climate Change Impacts. *Climate Research*. 41: 1-14.
- 25- Sharma, D., Gupta, A. D., Babel, M. S. (2007): Spatial Disaggregation Of Bias-Corrected GCM Precipitation For Improved Hydrologic Simulation: Ping River Basin, Thailand. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11: 1373-1390, DOI: 10.5194/Hess-11-1373-2007.
- 26- Wilby R.L., Dawson C.W, Barrow E.M. (2002): SDSM- A Decision Support Tool For The Assessment Of Regional Climate Change Impacts, *Environmental Modeling & Software*, 17: 147-159.
- 27- Wilby R.L., Harris. I. (2006): A Frame Work For Assessing Uncertainties In Climate Change Impacts: Low Flow Scenarios For The River Thames, UK. *Water Resour. Res.* 42:10 P.