

صص ۷۱-۸۸

چشم‌انداز تغییرات دمای هوای دوره آینده بر اساس مدل‌های CMIP5 و سناریوهای واداشت تابشی RCP (مطالعه موردی: ایستگاه‌های منتخب استان ایلام)

قاسم عزیزی

دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران، ایران

محمد احمدی*

دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی شهری، واحد علوم تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

پرویز کردوانی

استاد گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۳

چکیده

تغییرات آب و هوایی یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در آینده است. در پژوهش حاضر چشم‌انداز تغییرات آب و هوایی دوره آینده بر اساس سناریوهای RCP در غالب گزارش پنجم IPCC و مدل‌های CMIP5 واکاوی شد؛ داده‌های دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۰ دوره پایه مشاهده‌ای و برون‌داد مدل‌های CMIP5 در خط سیرهای RCP8.5 و RCP4.5 برای دوره آینده استفاده گردید. برای انطباق دوره گذشته با آینده از معیارهای خطا سنجی استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل‌های CMIP5 انطباق نسبتاً بالایی با داده دوره پایه یا مشاهده‌ای نشان می‌دهند. همچنین مدل‌ها در شبیه‌سازی پارامتر دمای هوا از توانایی بالاتری نسبت به بارش برخوردارند. بر اساس سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 سناریوهای بدبینانه و حد و سطر، آثار تغییر اقلیم برای استان ایلام بر اساس ایستگاه‌های منتخب، به صورت افزایش دمای کمینه و بیشینه هوا خواهد بود. به طوری که بر اساس سناریوی بدبینانه مقدار دمای کمینه برای دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۹۰-۲۰۵۶) به ترتیب ۴/۲ و ۵/۵ و بر اساس سناریوی حد وسط RCP4.5، مقدار دمای کمینه ۳/۶ و ۴/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. میزان تغییرات دمای هوا در افق (۲۰۹۰-۲۰۵۶) بیشتر از آینده میانی خواهد بود. تغییر اقلیم موجب افزایش دمای هوا در مقیاس‌های زمانی مختلف در آینده خواهد شد؛ بنابراین اعمال برنامه‌های بلند مدت و سازگارانه برای کاهش آثار سوء تغییر اقلیم در منطقه حائز اهمیت می‌باشد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، دمای هوا، ایلام، CMIP5، RCP.

مقدمه

امروزه بشر با معضلات و تهدیدهای محیطی عمده‌ای مواجه است، یکی از این تهدیدهای عمده و حیاتی، تغییرات آب و هوایی است (رم، ۲۰۱۵؛ ونگ و همکاران، ۲۰۱۵). مهم‌ترین ویژگی تغییر اقلیم جهانی، افزایش معنی‌دار دما و توزیع

Email: Ahmadimohamad99@yahoo.com

* نویسنده مسول: ۰۹۱۸۸۴۴۴۵۴۲

1- Romm

2- Wang

ناموزون بارش است که فاکتورهای محدود کننده برای توسعه پایدار هستند (ونگ و همکاران، ۲۰۱۵). مهم‌ترین عامل بروز تغییر اقلیم، تجمع گازهای گلخانه‌ای در جو است. افزایش غلظت CO₂ موجب افزایش درجه حرارت هوا به میزان ۰/۶ درجه سلسیوس در قرن بیستم و پیش‌بینی شده که ادامه این روند باعث افزایش دمای هوا به میزان ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سلسیوس تا سال ۲۱۰۰ گردد (IPCC, 2001؛ کوچکی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۸؛ سعادت‌ی و همکاران، ۱۳۹۵: ۶۸). افزایش میانگین دمای سطح زمین بر اثر تولید گازهای گلخانه‌ای، سبب ایجاد پدیده‌ای به نام تغییر اقلیم شده است (یعقوب زاده، ۱۳۹۵: ۵۱۲). محسوس شدن آثار تغییر اقلیم در زندگی روزمره جوامع در نقاط مختلف دنیا، باعث افزایش توجه عمومی به مسئله تغییر اقلیم شده است (قهرمان و همکاران، ۱۳۹۵: ۶۳). بررسی‌های هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در گزارش پنجم به‌عنوان آخرین گزارش تغییر اقلیم نشان داد که میانگین دمای جهانی در دوره ۲۰۱۸ تا ۲۱۰۰ بر اساس سناریوی RCP4.5، ۰/۵ تا ۱/۸ درجه سانتی‌گراد و بر اساس سناریوی RCP8.5، ۰/۷ تا ۳/۷ نسبت به دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۶ افزایش خواهد یافت (ونگ و همکاران، ۲۰۱۵). افزایش میانگین دمای سطح زمین بر اثر تولید گازهای گلخانه‌ای سبب ایجاد پدیده‌ای به نام تغییر اقلیم شده است (یعقوب زاده، ۱۳۹۵: ۵۱۲). محسوس شدن آثار تغییر اقلیم در زندگی روزمره جوامع در نقاط مختلف دنیا، باعث افزایش توجه عمومی به مسئله تغییر اقلیم گردیده است (قهرمان و همکاران، ۱۳۹۵: ۶۳).

اهمیت پدیده تغییر اقلیم موجب توجه پژوهشگران مختلف در سراسر کره زمین شده است. احمدعلی پور^۳ و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای به ارزیابی مدل‌های GCM پروژه CMIP5 برای بررسی پیامدهای تغییر اقلیم پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل‌های CMIP5 از نتایج بهتری در شبیه‌سازی تغییر اقلیم آینده برخوردار می‌باشند. ماتوکمالی^۴ و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی پیامدهای تغییر اقلیم در آینده پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که بر اساس شش مدل GCM جفت شده با سه سناریو واداشت تابشی بر مبنای گزارش پنجم، دمای هوا تا آخر قرن حاضر افزایش خواهد یافت. شرتا^۵ و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر روی منابع آب برای بخش کشاورزی تحت سناریوهای واداشت تابشی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بر اساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5، دمای هوا به ترتیب ۴/۹ و ۲/۵ درجه سانتی‌گراد تا آخر قرن ۲۱ افزایش می‌یابد. محمود و شوافنگ^۶ (۲۰۱۶) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر اساس مدل‌های CMIP5 در حوضه آبریز رودخانه زیلوم مالزی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بر اساس خروجی مدل Had GEM2-ES، یکی از مدل‌های CMIP5، مقدار دمای هوا تا آخر قرن بیست و یکم ۴/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.

عباسی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی تغییر اقلیم ایران در دهه‌های آینده (۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ میلادی) با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های گردش عمومی جو پرداختند. نتایج با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی با مدل MAGICC-

3- Ahmad Alipour

4- Mathukumalli

5- Shrestha

6- Mahmood & Shaofeng

SCENGEN، نشان داد که تمامی استان‌های کشور در آینده با افزایش دما مواجه خواهند شد. سبحانی و همکاران (۱۳۹۴) کارایی مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری SDSM و LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که بر اساس هر دو مدل مورد مطالعه، فرا سنج دمای هوا در آینده افزایش خواهد یافت. طائی سمیرمی و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای به پیش‌بینی تغییرات برخی از متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل ریزمقیاس سازی LARS-WG و خروجی‌های مدل HADCM3 تحت سناریوهای مختلف پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در دوره (۲۰۸۰-۲۰۹۹) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۷۱)، افزایش دمای کمینه و بیشینه خواهد داد. بر اساس سناریوی بدبینانه، میانگین سالانه دمای بیشینه و کمینه ۴/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. حمیدیان پور و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی تغییرات دما و بارش جنوب شرق ایران بر اساس ریزمقیاس نمایی مدل‌های گردش عمومی جو تا ۲۰۹۹ پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که دمای هوا در آینده افزایش خواهد یافت و رفتاری یکنواخت نسبت به بارش خواهد داشت. دلقندی و مؤذن‌زاده (۱۳۹۵) به بررسی تغییرات زمانی-مکانی بارش و دمای ایران تحت شرایط تغییر اقلیم با در نظر گرفتن عدم قطعیت بر اساس سناریوهای انتشار پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که دمای هوا در ایران تا ۴/۵ درجه سانتی‌گراد تحت سناریوهای انتشار افزایش خواهد یافت. دولابیان (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش مناطق مختلف کشور را بر اساس سناریوهای RCP بررسی نمودند. در این مطالعه با بررسی خروجی ۲۵ مدل گردش عمومی جو از سری مدل‌های CMIP5 نشان داد که سیر صعودی دما در تمامی مناطق مورد مطالعه وجود دارد.

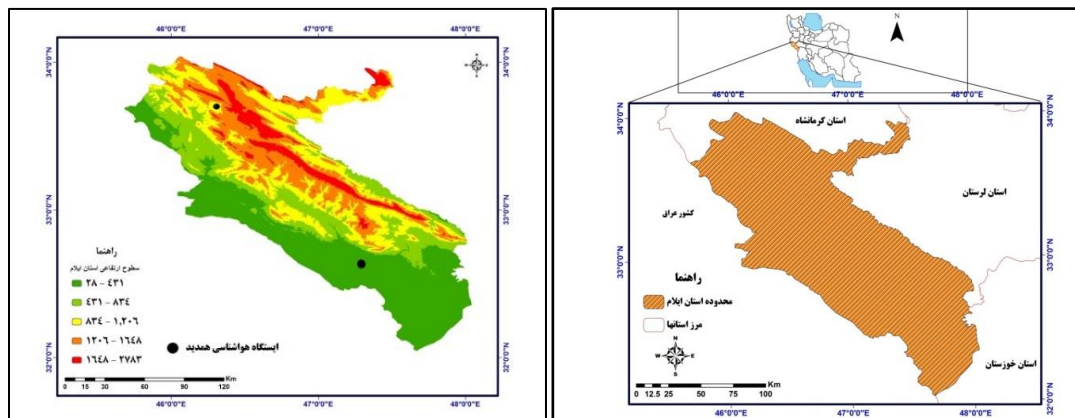
تغییر اقلیم در آینده یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی محسوب می‌شود. پیش‌نگری بلند مدت متغیرهای اقلیمی برای اطلاع از میزان تغییرات و در نتیجه در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای تخفیف اثرات سوء ناشی از تغییر اقلیم مورد توجه متخصصان مختلف از جمله متخصصان علوم محیطی قرار گرفته است. انجام پژوهش‌های مرتبط با تغییر اقلیم برای آمادگی هر چه بیشتر جهت سازگاری با این پدیده و نیز کاهش هزینه‌های خسارت‌بار ناشی از این تغییرات بسیار ضروری است. مطالعات نشان داد که تغییرات اقلیم در آینده به صورت افزایش دمای هوا آشکار خواهد شد. لذا پژوهش حاضر در نظر دارد، چشم‌انداز تغییرات دمای هوای دوره آینده را در سطح ایستگاه‌های منتخب استان ایلام، بر اساس سناریوهای واداشت تابشی RCP را مورد بررسی قرار بدهد.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان ایلام با ۲۰۰۷۷ کیلومتر مربع مساحت، حدود ۱/۴ درصد کل مساحت کل کشور را در بر می‌گیرد. این استان بین محدوده ۳۱ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ در جنوب غربی کشور واقع شده است. این استان از سمت جنوب با استان

خوزستان، از شرق با استان لرستان و از شمال با استان کرمانشاه همسایه است. از طرف غرب و جنوب غربی بیش از ۴۲۵ کیلومتر مرز مشترک با کشور عراق دارد (احمدی، ۱۳۸۹: ۵۶). شکل (۱) موقعیت استان ایلام را نشان می‌دهد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی استان ایلام و ایستگاه‌های مورد مطالعه

داده‌های پژوهش

در این پژوهش از داده مشاهده‌ای بر اساس ایستگاه‌های هواشناسی و داده شبیه‌سازی شده برون‌داد مدل‌های گردش کلی جو استفاده شده است. داده مشاهده‌ای یا داده واقعی دوره پایه که از سال ۱۳۹۸ تا ۲۰۰۵ را در بر می‌گیرد، از سازمان هواشناسی کشور تهیه و تنظیم گردید. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۱) مشخص شده است. شکل (۱) نیز موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. که دو ایستگاه نماینده سکونتگاه‌های مناطق معتدل، سرد سیر، مناطق گرم و خشک مشخص شده است.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی همدید مورد مطالعه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی E	عرض جغرافیایی N	ارتفاع از سطح دریا m
ایلام	۴۶ ۳۹	۳۳ ۵۸	۱۳۳۷
دهلران	۴۷ ۲۸	۳۲ ۶۸	۲۳۲

مأخذ: نگارندگان

در ابتدا وضعیت دمایی منطقه بر اساس داده مشاهده‌ای بررسی شد. در ادامه برای دستیابی به داده تغییر اقلیم دوره آینده، از برون‌داد مدل‌های شبیه‌سازی کننده اقلیم دوره آینده از سری مدل‌های CMIP5 استفاده گردید. داده دوره آینده به صورت ریزمقیاس شده از طریق پایگاه داده ریزمقیاس شده Mark SIMGCM برای ایستگاه‌های مورد مطالعه تنظیم گردید. پایگاه داده ریزمقیاس شده مذکور، به عنوان یک ابزار مبتنی بر وب، با استفاده از مدل تصادفی مرتبه سوم مارکوف داده‌های دمای کمینه و بیشینه، بارش و تابش آفتاب به صورت روزانه و ماهانه روزانه در اختیار قرار می‌دهد (جونز و تورنتون، ۲۰۱۳؛ نوری و همکاران، ۲۰۱۷؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۹).

در این پایگاه یک برنامه فورترن جهت دار توسعه داده شده تا برونداد ریزمقیاس نمایی در اختیار کاربر قرار بگیرد. این پایگاه بر اساس ۱۷ مدل AOGCM از سری مدل‌های CMIP5 بر اساس آخرین گزارش تغییر اقلیم (گزارش پنجم) تحت عنوان سناریوهای واداشت تابشی (RCP) اجرا می‌شود. این پایگاه و نرم‌افزار با توجه به اینکه مبتنی بر وب است برای کلیه نقاط کره زمین به راحتی قابل دسترس است. مدل‌هایی که در این نرم‌افزار تعبیه شده، از تفکیک مکانی نسبتاً بالاتری برخوردار می‌باشند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۹).

در ادامه به منظور شبیه‌سازی داده دوره آینده از برونداد سه مدل پیشنهادی جوی اقیانوسی جفت شده AOGCM پیشنهادی (HadGEM2-ES, BCC-CSM1.1 و GFDL-CM3) از سری مدل‌های CMIP5 (پروژه بین‌مقایسه‌ای مدل‌های جفت شده) با تفکیک مکانی مناسب استفاده شد. برای ارزیابی عملکرد مدل‌های شبیه‌سازی کننده از دمای هوا در مقایسه با دوره پایه بر اساس شاخص‌های آماری اعتبارسنجی یا خطا سنجی انجام شده است. این شاخص‌ها در MAE، MBE، RMSE و R^2 را شامل می‌شوند. روش‌های مختلف بر اساس روش ارزیابی متقابل، مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. در این شاخص‌های داده برونداد این مدل‌ها برای مؤلفه دمای هوا با داده دوره تاریخی (۲۰۰۵-۱۹۸۰) مقایسه و انطباق داده شد و خطای شبیه‌سازی آن‌ها بر اساس این شاخص‌های خطا سنجی مشخص گردید. این معیارها از طریق معادله‌های ۱ تا ۴ محاسبه می‌شوند.

روش‌های مختلف بر اساس روش ارزیابی متقابل، مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. آمارها یا معیارهای خطا سنجی یا اعتبارسنجی، جزو متداول‌ترین معیارها محسوب می‌شوند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۹). این معیارها از طریق معادله‌های ۱ تا ۴ محاسبه می‌شوند.

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

$$MBE = \frac{\sum_i^n |P_i - O_i|}{n} \quad (2)$$

$$MBE = \frac{\sum_i^n (P_i - O_i)}{n} \quad (3)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})\right)^2}{\sum (P_i - \bar{P})^2 \sum (O_i - \bar{O})^2} \quad (4)$$

در معادله‌های فوق، P_i مقدار برآورد شده و O_i مقدار اندازه‌گیری شده، \bar{P} میانگین مقادیر برآورد شده، \bar{O} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و n برابر تعداد مقایسه‌ها می‌باشد. مقدار آماری RMSE همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقدار مثبت آماره MBE نشان‌دهنده این است که مدل میزان بارش را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است. مقدار R^2 از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۹).

نتایج و بحث

نتایج اعتبار سنجی مدل‌های شبیه‌سازی کننده برای مؤلفه دمای هوا بر اساس معیارهای ارزیابی

نتایج ارزیابی عملکرد و مقایسه مدل‌های پیشنهاد شده گردش کلی برای مؤلفه دمای هوا در دوره آینده نسبت به دوره مشاهده‌ای (۲۰۰۵-۱۹۸۰) بر اساس معیارهای ارزیابی در جدول (۲) مشخص شده است. نتایج نشان داد که مدل‌های پیشنهاد شده از انطباق نسبتاً بالایی با داده مشاهده‌ای تاریخی برخوردار می‌باشند، اما مدل HadGEM2-ES از انطباق بالاتری برخوردار است. نتایج مطالعات (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷) نیز مدل مذکور را برای شبیه‌سازی دمای دوره آینده حائز اهمیت دانستند.

جدول ۲: نتایج عملکرد معیارهای ارزیابی برای پنج مدل گردش کلی در مؤلفه بارش نسبت به دوره تاریخی (۱۹۸۰-۲۰۰۵)

معیارهای ارزیابی					مدل‌های AOGCM
RMSE	MBE	MAE	R2	R	
۹/۹۹	۱۱/۰۵	۱۵/۷	-۰/۵۰	-۰/۷۰	BCC-CSM1.1
۸/۷۱	۱۲/۴۹	۱۳/۴۰	-۰/۵۴	-۰/۷۴	HadGEM2-ES
۱۲/۱۲	۱۴/۷۲	۱۸/۵	-۰/۴۹	-۰/۷۱	GFDL-CM3

مأخذ: نگارندگان

ارزیابی عملکرد داده شبیه‌سازی شده بر اساس سناریوهای واداشت تابشی

نتایج ارزیابی عملکرد مدل HadGEM2.ES از دما و بارش دوره آینده در مقایسه با دوره پایه در جدول‌های (۳ و ۴) مشخص شده است. نتایج نشان داد که برون‌داد مدل مذکور از شبیه‌سازی دمای کمینه و بیشینه دوره آینده بر اساس سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 در ایستگاه‌های مورد مطالعه، به‌طور متوسط از ضریب همبستگی ۰/۹۹ و ضریب تعیین ۰/۹۸ برخوردار می‌باشد.

نتایج مقدار شاخص‌های میانگین قدر مطلق خطاها (MAE)، میانگین مربع خطاها (MBE) و ریشه میانگین مربع خطاها (RMSE) در پارامتر دمای کمینه و بیشینه بسیار کمتر از پارامتر بارش مشاهده می‌شود. در واقع نتایج شبیه‌سازی مدل HadGEM2.ES برای کمینه و بیشینه دما در سطح بالا و تقریباً یکسان بوده است. شبیه‌سازی بارش در تمام ایستگاه‌ها خیلی متغیرتر از پارامتر دما مشاهده شد.

جدول ۳: نتایج بررسی عملکرد مدل HadGEM2-ES در شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) بر اساس سناریوی RCP8.5 با استفاده از شاخص‌های خطا سنجی

RMSE	MBE	MAE	R2	R	پارامتر اقلیمی	ایستگاه هواشناسی
۲/۳۱	۵/۳۲	۲/۰۲	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای کمینه	ایلام
۳/۶۷	۱۳/۴۸	۳/۳۱	۰/۹۷	۰/۹۸	دمای بیشینه	
۶/۰۹	۳۷/۰۵	۴/۷۹	۰/۹۰	۰/۹۵	بارش	
۱/۷۷	۳/۱۲	۱/۶۸	۰/۹۹	۰/۹۹	دمای کمینه	دهلران
۴/۴۱	۱۹/۴۳	۴/۲۵	۰/۹۸	۰/۹۹	دمای بیشینه	
۱۲/۷۱	۳۱/۴۹	۱۲/۴۰	۰/۵۳	۰/۷۳	بارش	

مأخذ: نگارندگان

جدول ۴: بررسی عملکرد مدل HadGEM2-ES در شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) بر اساس سناریوی RCP4.5 با استفاده از شاخص‌های خطا سنجی

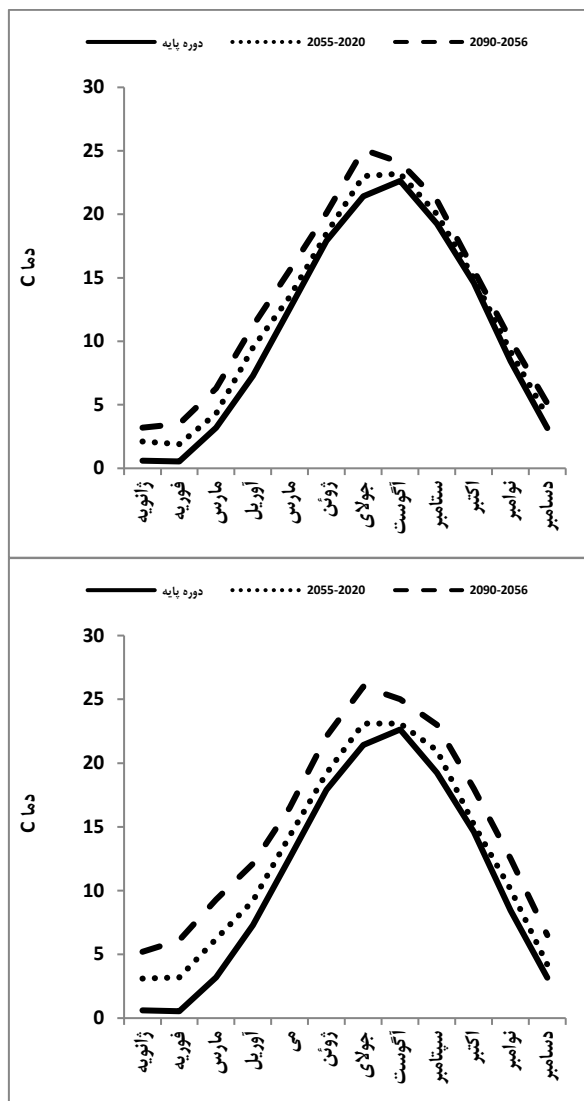
RMSE	MBE	MAE	R ²	R	پارامتر اقلیمی	ایستگاه هواشناسی
۴/۷۵	۲۲/۵۲	۴/۵۵	/۹۹	۰/۹۹	دمای کمینه	ایلام
۶/۲۲	۳۸/۷۰	۶/۰۶	-۰/۹۸	۰/۹۹	دمای بیشینه	
۷/۶۳	۵۸/۲۸	۵/۵۶	-۰/۸۹	۰/۹۴	بارش	
۴/۱۷	۱۷/۳۶	۴/۰۹	-۰/۹۹	۰/۹۹	دمای کمینه	دهلران
۵/۹۰	۳۴/۸۳	۵/۷۵	-۰/۹۹	۰/۹۹	دمای بیشینه	
۲۰/۵۸	۴۲/۷۳	۱۳/۲۰	-۰/۵۰	۰/۷۱	بارش	

مأخذ: نگارندگان

بررسی تغییرات اقلیمی در دوره آینده

تغییرات دمای کمینه

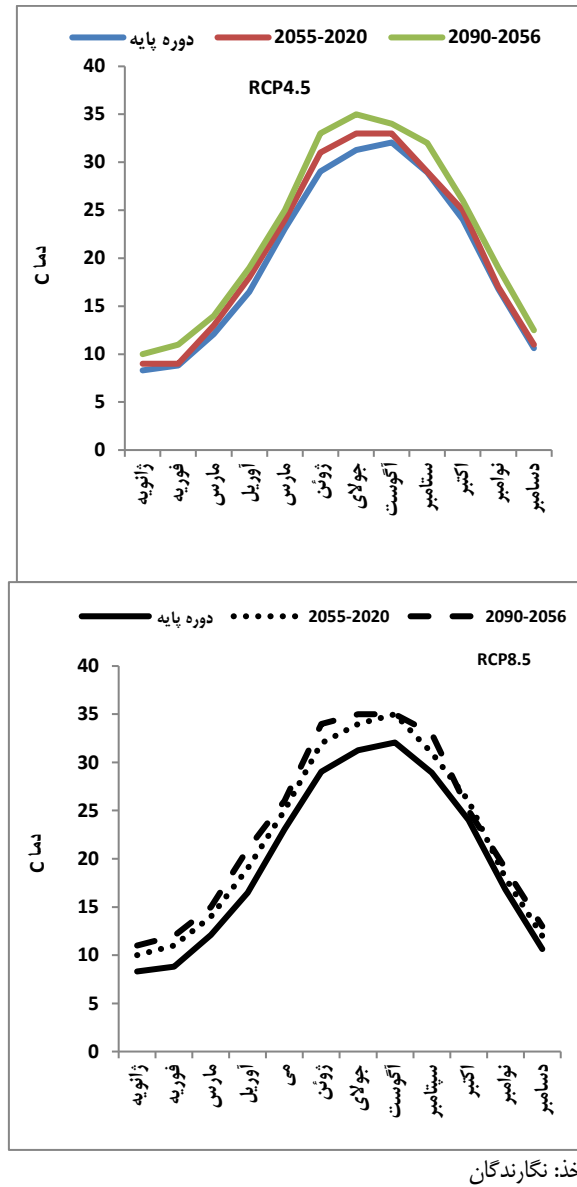
تغییرات دمای کمینه یکی از مهم‌ترین نمایه‌های اقلیمی برای ردیابی اثرات تغییر اقلیم محسوب می‌شود. نتایج تغییرات دمای کمینه بر اساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 برای ایستگاه ایلام به‌عنوان نماینده منطقه نسبتاً سرد و کوهستانی در شکل (۲) مشخص شده است. نتایج نشان داد که بر اساس هر دو سناریوی بدبینانه و حد و سط، دمای کمینه در دوره آینده تا افق ۲۰۹۰ افزایش خواهد یافت. بر اساس سناریوی RCP8.5 برای دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۹۰-۲۰۵۶) میزان تغییرات دما به ترتیب برابر با ۴/۲ و ۵/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت. بر اساس سناریوی RCP4.5 برای دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۹۰-۲۰۵۶) میزان تغییرات دما به ترتیب برابر با ۳/۶ و ۴/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: تغییرات دمای کمینه ایستگاه ایلام در دوره آینده بر اساس سناریو RCP4.5 و RCP8.5

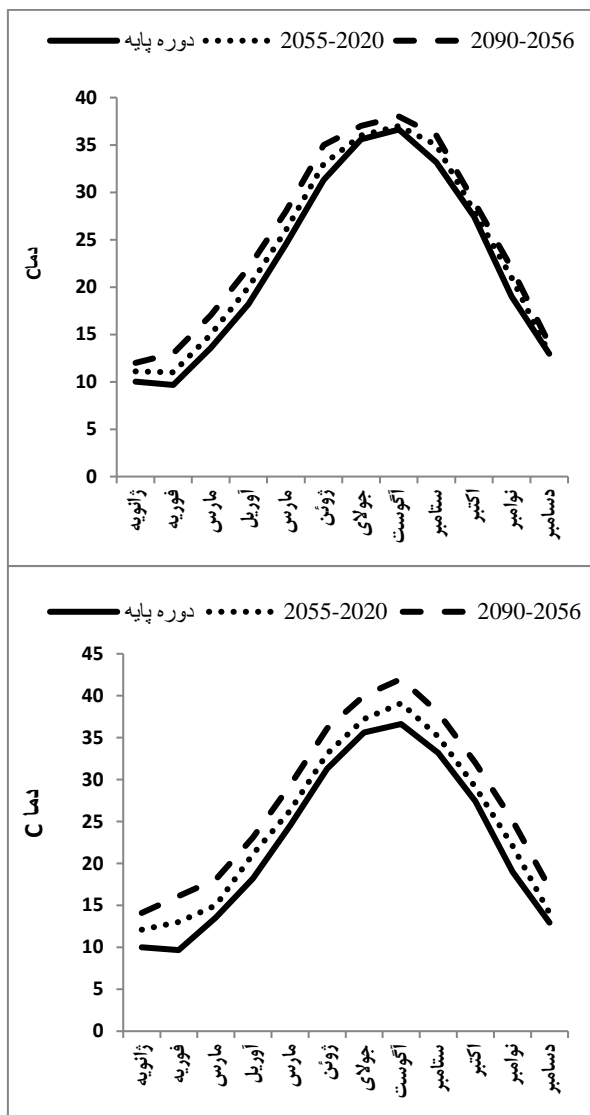
تغییرات دمای کمینه در ایستگاه دهلران به‌عنوان نماینده مناطق کم باران با شرایط بیابانی در شکل (۳) مشخص شده است. نتایج نشان داد که بر اساس هر دو سناریو مذکور مقدار دمای کمینه در منطقه دهلران نیز تا افق ۲۰۹۰ در دوره آینده افزایش خواهد داشت. بر اساس سناریو RCP8.5 به‌عنوان سناریو بدبینانه مقدار دمای کمینه برای دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب ۴/۳ و ۵/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت. بر اساس سناریوی حد وسط RCP4.5 مقدار دمای کمینه برای دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب ۳/۵ و ۴/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت.



شکل ۳: تغییرات دمای کمینه ایستگاه دهلران در دوره آینده بر اساس سناریوی RCP4.5 و RCP8.5

تغییرات دمای بیشینه

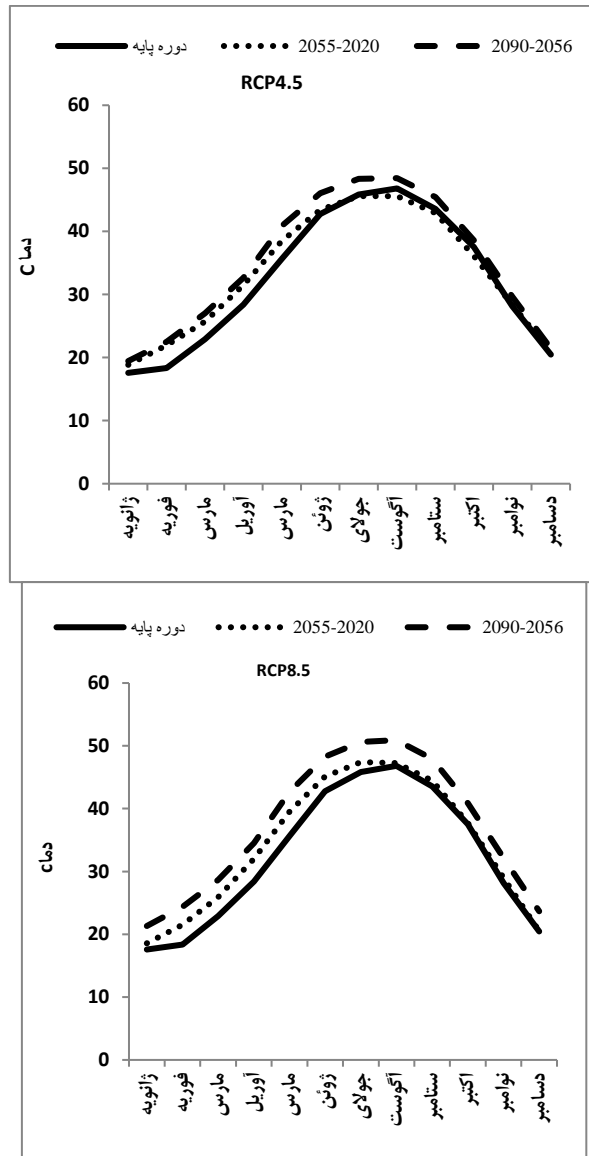
دمای بیشینه یکی دیگر از نمایه عمده برای ردیابی تغییر اقلیم در هر منطقه محسوب می‌شود. نتایج تغییرات دمای بیشینه بر اساس سناریوهای مذکور برای ایستگاه ایلام در شکل (۴) مشخص شده است. نتایج نشان داد که بر اساس هر دو سناریو بدبینانه و خوش‌بینانه مقدار دمای بیشینه در دهه‌های آتی نسبت به دوره گذشته یا دوره پایه افزایش خواهد داشت. بر اساس سناریو RCP8.5 مقدار تغییرات دمای بیشینه برای دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب ۳/۹ و ۵/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت. بر اساس سناریو RCP4.5 مقدار تغییرات دمای بیشینه برای دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب ۲/۹ و ۳/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۴: تغییرات دمای بیشینه ایستگاه ایلام در دوره آینده بر اساس سناریو RCP4.5 و RCP8.5

نتایج تغییرات دمای بیشینه بر اساس سناریوهای مذکور برای ایستگاه دهلران در شکل (۵) مشخص شده است. نتایج نشان داد که بر اساس هر دو سناریو بدینانه و خوش‌بینانه مقدار دمای بیشینه در دهه‌های آتی نسبت به دوره گذشته یا دوره پایه افزایش خواهد داشت. بر اساس سناریوی RCP8.5 مقدار تغییرات دمای بیشینه برای دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب ۳/۹ و ۵/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت. بر اساس سناریوی RCP4.5 مقدار تغییرات دمای بیشینه برای دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب ۲/۹ و ۳/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت.



مأخذ: نگارندگان

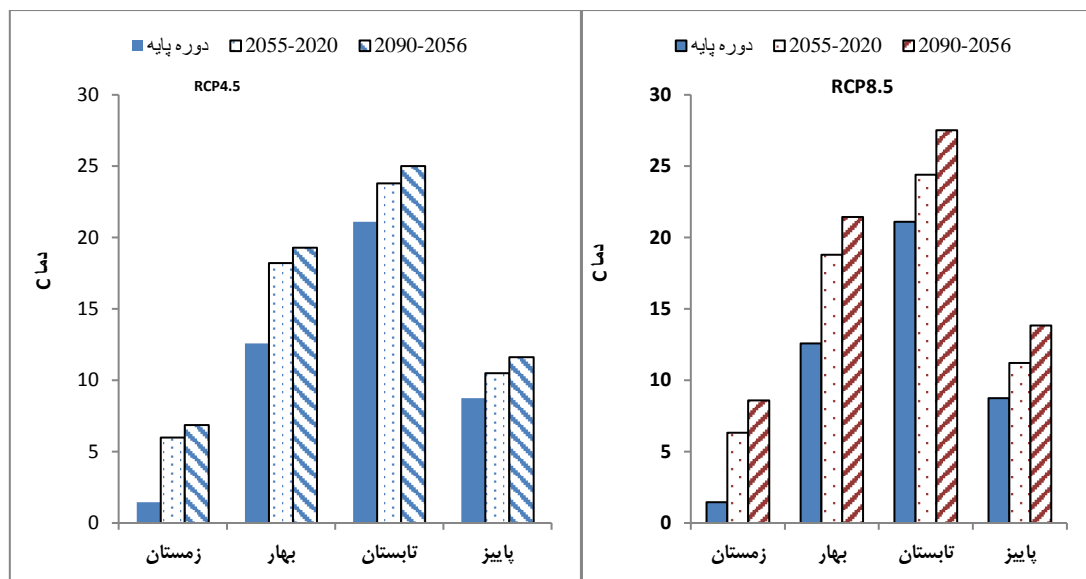
شکل ۵: تغییرات دمای بیشینه ایستگاه دهلران بر اساس سناریوی RCP4.5 و RCP8.5

تغییرات دمای فصلی

یکی از نمودهای تغییر اقلیم در تغییرات دمای فصلی قابل ردیابی می باشد. در این راستا بر اساس دمای شبیه سازی شده برای دوره آینده میزان تغییرات دمای فصلی بر اساس سناریوهای واداشت تابشی مورد مطالعه مشخص شده است. نتایج تغییرات دمای فصلی ایستگاه ایلام بر اساس سناریوهای RCP8.5 در شکل (۶) مشخص شده است. نتایج نشان داد که بر اساس هر دو سناریوی مورد مطالعه مقدار دمای فصلی در تمام فصول سال در دوره آینده افزایش خواهد یافت. به طوری که بر اساس سناریو RCP8.5 برای فصل زمستان در دوره (۲۰۵۵-۲۰۲۰) و (۲۰۹۰-۲۰۵۶) مقدار تغییرات دما به ترتیب ۴/۸ و ۷/۱ درجه سانتی گراد خواهد بود. بر اساس همین سناریوی برای فصل بهار در دوره (۲۰۵۵-۲۰۲۰) و (۲۰۹۰-۲۰۵۶) مقدار تغییرات دما به ترتیب ۶/۲ و ۸/۸ درجه سانتی گراد خواهد بود. برای فصل تابستان در دوره (۲۰۵۵-۲۰۲۰)

(۲۰۲) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب $3/2$ و $6/7$ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. برای فصل پاییز در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب $2/4$ و 5 درجه سانتی‌گراد خواهد بود. به‌طور متوسط در بین تمام فصول بر اساس سناریو مذکور میزان دمای فصلی در دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) $4/2$ و $6/8$ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.

به‌طوری که بر اساس سناریوی RCP4.5 برای فصل زمستان در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب $3/8$ و $4/1$ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. بر اساس همین سناریوی برای فصل بهار در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب $3/2$ و $4/8$ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. برای فصل تابستان در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب $1/2$ و $3/7$ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. برای فصل پاییز در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب $1/4$ و 3 درجه سانتی‌گراد خواهد بود. به‌طور متوسط در بین تمام فصول بر اساس سناریو مذکور میزان دمای فصلی در دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) $2/2$ و $4/8$ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.

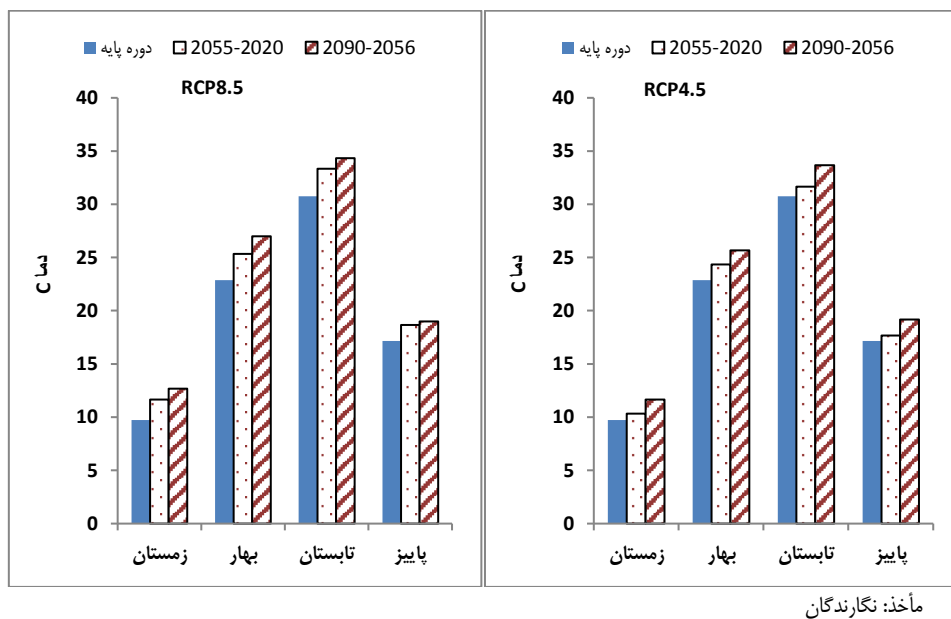


مأخذ: نگارندگان

شکل ۶: تغییرات دمای کمینه فصلی ایستگاه ایلام در دوره آینده بر اساس سناریو RCP4.5 و RCP8.5

نتایج تغییرات دمای فصلی ایستگاه دهلران بر اساس سناریوهای RCP8.5 در شکل (۷) مشخص شده است. نتایج نشان داد که بر اساس هر دو سناریوی مورد مطالعه مقدار دمای فصلی در تمام فصول سال در دوره آینده افزایش خواهد یافت. به‌طوری که بر اساس سناریو RCP8.5 برای فصل زمستان در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب $4/7$ و $7/3$ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. بر اساس همین سناریو برای فصل بهار در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب $6/3$ و $8/6$ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. برای فصل تابستان در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵)

(۲۰۲) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب $3/2$ و $6/7$ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. برای فصل پاییز در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب $2/4$ و 5 درجه سانتی‌گراد خواهد بود. به طور متوسط در بین تمام فصول بر اساس سناریو مذکور میزان دمای فصلی در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) $4/2$ و $6/8$ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت؛ به طوری که بر اساس سناریو RCP4.5 برای فصل زمستان در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب $3/8$ و $4/1$ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. بر اساس همین سناریوی برای فصل بهار در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب $3/2$ و $4/8$ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. برای فصل تابستان در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب $1/2$ و $3/7$ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. برای فصل پاییز در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب $1/4$ و 3 درجه سانتی‌گراد خواهد بود. به طور متوسط در بین تمام فصول بر اساس سناریو مذکور میزان دمای فصلی در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) $2/2$ و $4/8$ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.

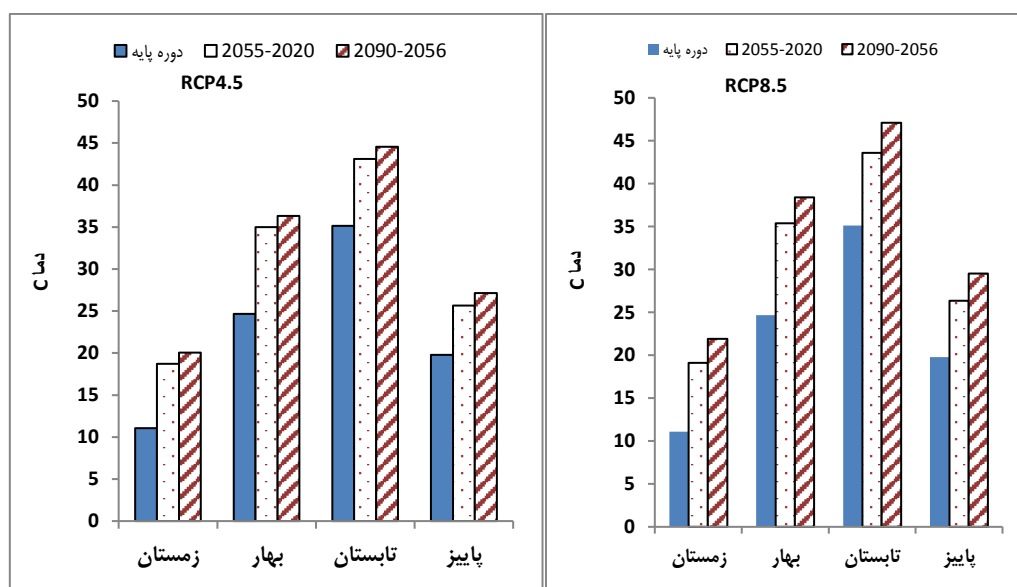


شکل ۷: تغییرات دمای کمینه فصلی ایستگاه دهلران در دوره آینده بر اساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5

نتایج تغییرات دمای فصلی ایستگاه ایلام بر اساس سناریوهای RCP8.5 در شکل (۸) مشخص شده است. نتایج نشان داد که بر اساس هر دو سناریوی مورد مطالعه مقدار دمای فصلی در تمام فصول سال در دوره آینده افزایش خواهد یافت. به طوری که بر اساس سناریو RCP8.5 برای فصل زمستان در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب 8 و $10/8$ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. بر اساس همین سناریو برای فصل بهار در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب 10 و $13/7$ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. برای فصل تابستان در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب $4/4$ و $11/9$ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. برای فصل پاییز در دوره

(۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب ۶/۵ و ۹/۷ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. به‌طور متوسط در بین تمام فصول بر اساس سناریو مذکور میزان دمای فصلی در دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) ۸/۴ و ۱۱ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.

نتایج تغییرات دمای فصلی ایستگاه ایلام بر اساس سناریوهای RCP4.5 در شکل (۸) مشخص شده است. نتایج نشان داد که بر اساس هر دو سناریو مورد مطالعه مقدار دمای فصلی در تمام فصول سال در دوره آینده افزایش خواهد یافت. به‌طوری که بر اساس سناریو RCP8.5 برای فصل زمستان در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب ۶ و ۸ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. بر اساس همین سناریو برای فصل بهار در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب ۷ و ۹ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. برای فصل تابستان در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب ۶/۴ و ۹/۵ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. برای فصل پاییز در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب ۴/۵ و ۸/۷ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. به‌طور متوسط در بین تمام فصول بر اساس سناریوی مذکور میزان دمای فصلی در دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) ۷ و ۹ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.



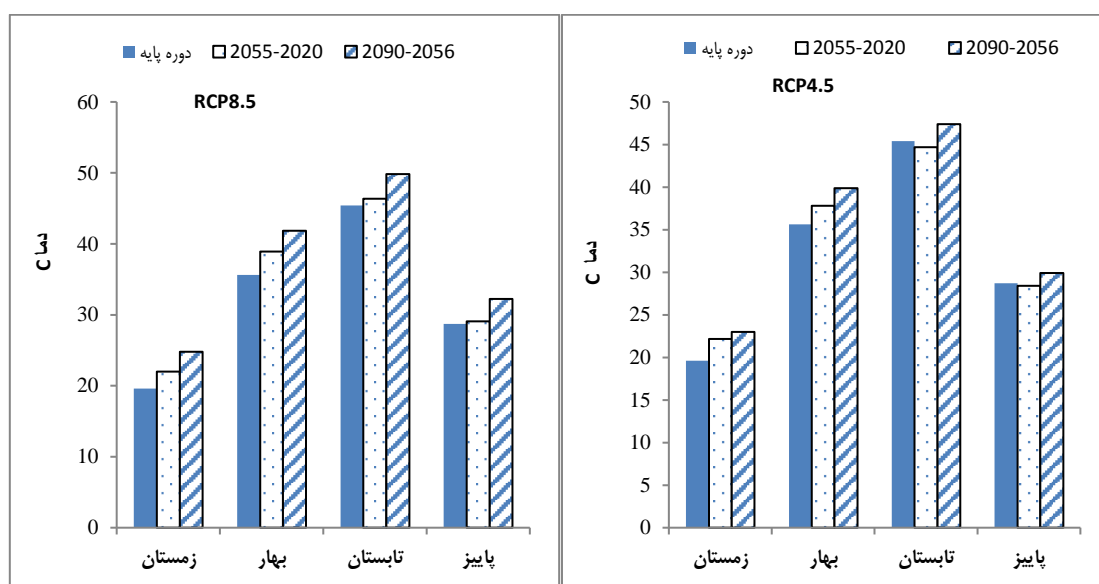
مأخذ: نگارندگان

شکل ۸: تغییرات دمای بیشینه فصلی ایستگاه ایلام بر اساس سناریو RCP4.5 و RCP8.5

نتایج تغییرات دمای فصلی ایستگاه دهلران بر اساس سناریوهای RCP8.5 در شکل (۹) مشخص شده است. نتایج نشان داد که بر اساس هر دو سناریو مورد مطالعه مقدار دمای فصلی در تمام فصول سال در دوره آینده افزایش خواهد یافت. به‌طوری که بر اساس سناریو RCP8.5 برای فصل زمستان در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب ۸ و ۱۰/۸ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. بر اساس همین سناریو برای فصل بهار در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و

(۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب ۱۰ و ۱۳/۷ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. برای فصل تابستان در دوره (۲۰۵۵-۲۰۲) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب ۸/۴ و ۱۱/۹ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. برای فصل پاییز در دوره (۲۰۵۵-۲۰۲) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب ۶/۵ و ۹/۷ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. به طور متوسط در بین تمام فصول بر اساس سناریو مذکور میزان دمای فصلی در دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) ۸/۴ و ۱۱ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.

نتایج تغییرات دمای فصلی ایستگاه دهلران بر اساس سناریوهای RCP4.5 در شکل (۹) مشخص شده است. نتایج نشان داد که بر اساس هر دو سناریو مورد مطالعه مقدار دمای فصلی در تمام فصول سال در دوره آینده افزایش خواهد یافت. به طوری که بر اساس سناریو RCP8.5 برای فصل زمستان در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب ۶ و ۸ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. بر اساس همین سناریو برای فصل بهار در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب ۷ و ۹ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. برای فصل تابستان در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب ۶/۴ و ۹/۵ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. برای فصل پاییز در دوره (۲۰۲-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار تغییرات دما به ترتیب ۴/۵ و ۸/۷ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. به طور متوسط در بین تمام فصول بر اساس سناریو مذکور میزان دمای فصلی در دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) ۷ و ۹ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۹: تغییرات دمای بیشینه فصلی ایستگاه دهلران بر اساس سناریو RCP4.5 و RCP8.5

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر تغییرات آب و هوایی دوره آینده بر اساس مؤلفه دمای هوا، بر اساس سناریوهای RCP در قالب گزارش پنجم IPCC و استفاده از مدل‌های CMIP5 واکاوی شد. نتایج نشان داد که بر اساس معیارهای ارزیابی، مدل

HadGEM2-ES از انطباق بالاتری با داده مشاهداتی برخوردار است. مدل جدید تغییر اقلیم در شبیه‌سازی پارامتر دمای هوا از توانمندی بالاتری نسبت به بارش برخوردار می‌باشد. مقایسه داده دوره آینده نسبت به دوره مشاهده‌ای نشان داد که بر اساس سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 به‌عنوان سناریوهای بدبینانه و حد وسط، آثار تغییر اقلیم برای استان ایلام بر اساس ایستگاه‌های منتخب، به صورت افزایش دمای کمینه و بیشینه هوا خواهد بود. به طوری که بر اساس سناریوی بدبینانه مقدار دمای کمینه برای دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۹۰-۲۰۵۶) به ترتیب ۴/۲ و ۵/۵ و بر اساس سناریوی خوش‌بینانه RCP4.5، مقدار دمای کمینه ۳/۶ و ۴/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. میزان تغییرات دمای هوا در آینده دور (۲۰۹۰-۲۰۵۶) بیشتر از آینده میانی خواهد بود. تغییر اقلیم موجب افزایش دمای هوا در مقیاس‌های زمانی مختلف در آینده خواهد شد. پیامد این افزایش دمای هوا، موجب کاهش رطوبت خاک، افزایش تبخیر-تعرق پتانسیل، افزایش خشکی محیط و گسترش آفات خواهد شد؛ بنابراین اعمال برنامه‌های بلند مدت و سازگارانه برای کاهش آثار سوء تغییر اقلیم در منطقه حائز اهمیت است.

نتایج مطالعه حاضر از نظر افزایش دمای کمینه و بیشینه برای دوره آینده و همچنین اهمیت سری مدل‌های CMIP5 بر اساس گزارش پنجم تغییر اقلیم بر اساس برونداد پایگاه Marksim GCM، با نتایج مطالعات احمدی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت و همخوانی دارد. همچنین در تأیید مطالعات حمیدیان پور و همکاران (۱۳۹۵) و دولابیان (۱۳۹۶) مبنی توانمندی مدل‌های جوی - اقیانوسی و مدل‌های CMIP5 در شبیه‌سازی دمای هوا نسبت به پارامتر بارش می‌باشد.

منابع

- ۱- احمدی، حمزه، فلاح قالهری، غلام عباس، باعقیده، محمد، امیری، محمد اسماعیل. (۱۳۹۷): بررسی اثرات تغییر اقلیم بر الگوی انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سیب در ایران در دوره آینده. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۵ (۲): ۵۴-۳۵.
- ۲- احمدی، حمزه، (۱۳۸۹): بررسی شرایط آگروکلیمایی کشت سیب‌زمینی در سطح ایستگاه‌های منتخب استان ایلام، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی. استاد راهنما، اکبر شائمی، دانشگاه پیام نور مرکز اصفهان، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا.
- ۳- حمیدیان پور، محسن، باعقیده، محمد و عباسی نیا، محسن، (۱۳۹۵): ارزیابی تغییرات دما و بارش جنوب شرق ایران با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های مختلف گردش عمومی جو در دوره ۲۰۹۹-۲۰۱۱. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۸ (۱): ۱۲۳-۱۰۷.
- ۴- دلقندی، مهدی، مؤذن‌زاده، روزبه (۱۳۹۵): بررسی تغییرات مکانی - زمانی بارش و دمای ایران تحت شرایط تغییر اقلیم با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار. اکوهیدرولوژی، ۳ (۳): ۳۳۱-۳۲۱.
- ۵- دولابیان، شهاب، (۱۳۹۶): بررسی اثر تغییر اقلیم بر بارش و دمای مناطق مختلف کشور ایران بر اساس سناریوهای RCP. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.

- ۶- سبحانی، بهروز، اصلاحی، مهدی و بابائیان، ایمان، (۱۳۹۴): کارایی الگوهای ریزمقیاس نمایی آماری SDSM و LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در حوضه دریاچه ارومیه. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۷ (۴): ۵۱۶-۴۹۹.
- ۷- سعادت، زهرا، دلبری، معصومه، پناهی، مهدی، امیری، ابراهیم، رحیمیان، محمدحسین، قدسی، مسعود، (۱۳۹۵): ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر طول دوره رشد و تبخیر- تعرق گندم با استفاده از مدل CRES-Wheat (مطالعه موردی: مشهد). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۶ (۳): ۶۷-۷۹.
- ۸- طائی سمیرمی، سیاوش، مرادی، حمیدرضا و خداقلی، مرتضی، (۱۳۹۴): پیش‌بینی تغییرات برخی از متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل ریز مقیاس سازی LARS-WG و خروجی‌های مدل HADCM3 تحت سناریوهای مختلف. نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۲ (۱): ۱۴۵-۱۵۶.
- ۹- عباسی، فاطمه، بابائیان، ایمان، ملبوسی، شراره، اثمیری، مرتضی، گلی مختاری، لیلا، (۱۳۹۱): ارزیابی تغییر اقلیم ایران در دهه‌های آینده (۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ میلادی) با استفاده از ریز مقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو. تحقیقات جغرافیایی، ۲۷ (۱): ۲۳۰-۲۰۵.
- ۱۰- قهرمان، نوذر، بابائیان، ایمان و طباطبایی، سید محمدرضا، (۱۳۹۵): بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی و طول دوره رشد گیاه نیشکر تحت سناریوهای واداشت تابشی. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۶ (۱): ۶۳-۷۳.
- ۱۱- کوچکی، علیرضا؛ نصیری محلاتی، مهدی؛ تبریزی، لیلی؛ خیرخواه، محمد و میرزایی تالار پشتی، رضا، (۱۳۸۹): اثر تغییر اقلیم بر بوم نظام‌های کشاورزی. چاپ اول، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۱۲- یعقوب زاده، مصطفی، احمدی، محسن، برومند نسب، سعید و حقایقی مقدم، سید ابوالقاسم، (۱۳۹۵): اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات تبخیر- تعرق در طی دوره رشد گیاهان مزارع آبی و دیم با استفاده از مدل‌های جفت شده. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۰ (۴): ۵۲۳-۵۱۲.

- 13- Ahmad Alipour, A. Rana, A. Moradkhani, H. Sharma, A. (2017): Multi-Criteria Evaluation of CMIP5 GCMs For Climate Change Impact Analysis. Theoretical and Applied Climatology, 128(1-2): 71-87.
- 14- IPCC. (2001): Special Report on Emission Scenarios. N. Nakicenovic, R. Swart (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- 15- Mahmood, R. Shao Feng, J. I. A. (2016): An Extended Linear Scaling Method For Downscaling Temperature and Its Implication in The Jhelum River Basin, Pakistan, and India, Using CMIP5 GCMs. Theoretical and Applied Climatology, 1-10.
- 16- Mathukumalli, S. R. Dammu, M. Sengottaiyan, V. Ongolu, S. Biradar, A. K. Kondru, V. R. & Cherukumalli, S. R. (2016): Prediction of Helicoverpa Armiger A Hubner on Pigeon Pea During Future Climate Change Periods Using Maksim Multi Model Data. Agricultural and Forest Meteorology, 228: 130-138.
- 17- Romm, J. (2015): Climate Change, What Everyone Needs to Know. Oxford, University Press.
- 18- Shrestha, S. Bach, T.V. Pandey, V.P. (2015): Climate Change Impacts on Groundwater Resources in Mekong Delta Under Representative Concentration Pathways (RCPs) Scenarios. Environmental Science & Policy 61: 1-13.
- 19- Wang, B. Liu, D.L. Asseng, S. Macadam, I and Yu, Q. (2015): Impact of Climate Change on Wheat floe Ring time in Saetern Australia. Agriculture and Forest Meteorology 209-210:11-21.
- 20- Jones, P. G. P. K. Thornton. (2013): Generating Downscaled Weather Data From a Suite of climate Models for Agricultural Modelling Qpplications. Agricultural Systems, 114: 1-5. doi.org/10.1016/j.agry.2012.08.002.
- 21- Zhang, X.Y. Gong, T.L. Zhao, R. Arimoto, Y.Q. Wang, Y.Q. Zhou, Z.J. (2003): Sources of Asian Dust and Role of Climate Change Versus Desertification in Asian Dust Emission, Geophysical Research Lettrs, 30(24): 122-135.

- 22- Nouri, M. M. Homae, M. Bannayan, G. Hoogenboom. (2017): Towards Shifting Planting Date As an Adaptation Practice for Rainfed Wheat Response to Climate Change. *Agricultural Water Management*, 186: 108-119. doi.org/10.1016/j.agwat.2017.03.004.
- 23- Shi, Y. Shen, Y. Li, D. Ding, Y. Zhang, G. Hu, R. (2007): Recent and Future Climate Change in Northwest Chin. *Climate Change*, 80(3-4):397-393.