نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و چهارم، شماره ۷۲، بهار ۱۴۰۳

پیش‌بینی مقادیر دما و بارش طی دهه‌های آینده با به‌کارگیری مدل canESM2 در حوضه آبخیز اهرچای

دریافت مقاله: ۹۷/۸/۲۲ **پذیرش نهایی**: ۹۸/۱/۶

صفحات: ۶۴-۴۹

جعفر درخشی: دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل. ایران.
Email: J_derakhshi60@yahoo.com
بهروز سبحانی: استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران[۱].
Email: sobhani@uma.ac.ir
سعید جهانبخش: استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه تبریز، ایران
Email: ahanbakhshsaeed@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق پیش‌بینی مقادیر بارش و دما با کاربرد مدل‌های گردش عمومی جو در دوره‌های ۲۰۰۵-۱۹۶۴ موردبررسی قرارگرفته است. داده‌های اقلیمی شامل مقادیر روزانه مجموع بارش و دمای میانگین از سازمان هواشناسی کشور، تهیه گردیده است. با در نظر گرفتن سناریوهای تغییراقلیم RCP4.5, RCP2.6 و RCP8.5 برای دوره آینده ۲۱۰۰-۲۰۱۰ تحت مدل تغییراقلیم canESM2 تغییراقلیم حوضه اهرچای مورد ارزیابی قرار گرفت. به دلیل دقت پایین مدل‌های گردش عمومی از مدل کوچک‌مقیاس سازی SDSM4.2 استفاده و تغییرات پارامترهای اقلیمی بارش و دمای میانگین برای دوره‌های زمانی آینده شبیه‌سازی گردید. در این پژوهش برای واسنجی مدل SDSM، از بین ۲۶ پارامتر اقلیمی بزرگ‌مقیاس (NCEP) به‌طور متوسط ۳ پارامتر بیشترین همبستگی را با میانگین دما و ۵ پارامتر بیشترین همبستگی را با میانگین بارش در حوضه اهرچای دارند. نتایج حاصل از پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی نشان داد شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی میانگین دما با دقت بالاتری نسبت به مقادیر میانگین بارش انجام‌گرفته است. علت این امر، نرمال نبودن و غیرشرطی بودن داده‌های بارش می‌باشد. نتایج حاکی از آن است که میانگین دمای حوضه، در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ تحت سناریوی RCP8.5 نسبت به دوره مشاهداتی ۲۰۰۵-۱۹۶۴ با افزایش بیشتری نسبت به دوره‌های قبل روبروست و میزان بارش حوضه نیز طی دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ و تحت سناریوی RCP 2.6 بیشترین افزایش را در کل دوره‌های مطالعاتی نشان می‌دهد.

کلید واژگان: تغییراقلیم، مدل canSEM2، سناریوهای RCP، حوضه آبخیز اهرچای

۱. **نویسنده مسئول**: اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، گروه اقلیم‌شناسی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.113.6]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.49]

مقدمه

از اواخر قرن ۱۹، تقریباً در تمام نقاط جهان یک روند گرمایشی به وجود آمده است (هانس[1] و همکاران، ۲۰۱۰؛ لاوریمور[2] و همکاران، ۲۰۱۱). توافق گسترده‌ای مبنی بر اینکه تغییر آب‌وهوا منجر به تغییر در شدت، دامنه و مدت‌زمان وقایع حدی خواهد شد و باعث ایجاد اوضاع بی‌سابقه در هوا و وقایع اقلیمی می‌شود وجود دارد (فیلد[3] و همکاران،۲۰۱۲). مهم‌ترین ویژگی تغییراقلیم، افزایش معنی‌دار دما و توزیع ناموزون بارش است (ونگ[4] و همکاران، ۲۰۱۵). یکی از نشانه‌های بارز تغییراقلیم، پدیده‌های شدید آب‌وهوایی است. با توجه به روند تغییرات آب‌وهوا و گرمایش جهانی به وجود آمده احتمال بارش‌های سنگین و به‌تبع آن خطر سیل براثر سیستم زهکشی نادرست و عوامل فیزیکی و محیطی و ... افزایش‌یافته است (اسپرتو و همکاران، ۲۰۱۶: ۱۰۳۲[5]). طبق گزارش‌های IPCC تغییراقلیم باعث تغییرات هیدرولوژی در چند دهه‌ی اخیر در سطح جهان شده و به‌گونه‌ای که احتمال مواجهه با رخدادهای حداکثر اقلیمی مانند سیلاب افزایش‌یافته است. اثرات تغییراقلیم بر روی میزان و الگوهای باران‌های سیل‌آسا در مقیاس محلی هنوز تا حد زیادی ناشناخته و تحت تأثیر عوامل دیگر (مثل شهرنشینی) به‌سختی قابل‌تشخیص است (آی پی سی سی، ۲۰۱۴). روش‌های مختلفی جهت پیش‌بینی و شبیه‌سازی اقلیم آینده وجود دارد که جامع‌ترین این روش‌ها مدل‌های گردش عمومی جو هستند که به‌منظور شبیه‌سازی اقلیم حال حاضر کره زمین توسعه داده‌شده‌اند تا تغییرات اقلیم آینده کره زمین را پیش‌بینی کنند. پیش‌بینی مدل‌های گردش عمومی بر اساس افزایش گازهای گلخانه‌ای جو زمین شامل دی‌اکسید کربن، متان، اکسید نیتروژن، بخارآب و ذرات سولفات می‌باشد که در اثر فعالیت بشر تولید می‌شوند. این پیش‌بینی‌ها بر اساس سناریوهای مختلفی صورت می‌گیرد که هر یک بیانگر وضعیتی از تولید گازهای گلخانه‌ای و عوامل مؤثر بر کنترل تولید این گازها می‌باشد. هرکدام از سناریوها بر مبنای فرضیات مختلفی راجع به رشد جمعیت، توسعه اقتصادی، تحول فن‌آوری، سطح زندگی و گزینه‌های موجود تولید انرژی استوار می‌باشند که به آن‌ها سناریوی انتشار نیز اطلاق می‌شود (سادات آشفته، ۱۳۹۳). یکی از مشکلات عمده در استفاده از خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو (GCM)، بزرگ‌مقیاس بودن سلول‌های محاسباتی آن‌ها به لحاظ مکانی نسبت به منطقه موردمطالعه می‌باشد. روش‌های مختلفی جهت تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از سناریوهای اقلیمی مدل‌های GCM وجود دارد که به این روش‌ها، ریزمقیاس کردن گفته می‌شود (دشت بزرگی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۰۶).

در این پژوهش از مدل canESM2 که یک مدل GCM از سری CMIP5 که با قدرت تفکیک ۲/۸*۲/۸ درجه به‌وسیله مرکز تحقیقات مدل‌سازی آب‌وهوایی کانادا ارائه شده استفاده گردیده است.

اهمیت پدیده تغییراقلیم موجب توجه پژوهشگران مختلف در سراسر کره زمین شده است. از جمله می‌توان به مطالعات ذیل اشاره نمود. گنت و همکاران[6](۲۰۱۸) در پژوهشی با عنوان ریزمقیاس نمایی دما و بارش آینده در

1. Hansen et al
2. Lawrimore et al
3. Field et al
4. Wang et al
5. Sperotto et al
6. Getnet et al

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.113.6]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.49]

آدیس‌آبابا تحت شرایط تغییراقلیم از مدل canESM2 و CGCM3 و سناریوهای RCP4.5، RCP8.5 و A1B ، A2 با استفاده از مدل آماری SDSM به بررسی تغییرات آینده دمای حداکثر و حداقل و بارش پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که حداکثر دما در سناریو RCP4.5 حدود۰/۹ درجه تا سال ۲۰۲۰ و در سناریو A2 حدود ۲/۱ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۰۸۰ افزایش خواهد داشت. در دمای حداقل هم در سناریوهای فوق به ترتیب ۰/۳ و ۱ درجه در سال‌های مورداشاره افزایش خواهد داشت. حداکثر تغییر میزان بارش هم در سال ۲۰۸۰ بر اساس سناریوهای RCP8.5 و A2 در حدود ۱۱/۸ تا ۱۶/۶۲ درصد افزایش خواهد داشت. ویترهال و همکاران[1]، (۲۰۰۵) در پژوهشی در کشور چین و سوئد، تغییرات بارش را با استفاده از خروجی‌های مدل گردش عمومی NCAR، HARDAM3P و خروجی‌هایی NCEP با توجه به روش‌های کوچک‌مقیاس‌سازی آماری موردبررسی قرارداد. (چنگ و همکاران، ۲۰۰۸)[2]، متغیرهای هواشناسی مختلف را با استفاده از روش‌های کوچک‌مقیاس‌سازی آماری سناریوهای اقلیمی روزانه و ساعتی، سه مدل گردش عمومی در بخش‌های مرکزی-جنوبی کانادا را شبیه‌سازی نمودند و به این نتیجه رسیدند که روش‌های آماری دارای عملکرد خوبی در تولید متغیرهای هواشناسی در مقیاس ایستگاهی هستند. نتایج پژوهشی دیگر جهت ریزمقیاس نمایی داده‌های بارش، دما و تبخیر در تبریز از مدل SDSM نشان داد که این مدل عملکرد مناسبی در ریزمقیاس کردن داده‌ها دارد (دهقانی پور و همکاران، ۱۳۹۰). (چن و همکاران، ۲۰۱۲) دو مدل SDSM و ماشین بردار پشتیبان برای ریزمقیاس نمودن بارندگی در حوزه رودخانه هانجیانگ استفاده گردید و نتایج عملکرد بهتر مدل SDSM در مقایسه با ماشین بردار پشتیبان را نشان داد. (ژان باپتیست و همکاران، ۲۰۱۵)[3] اثرات تغییرات آب‌وهوایی و کاربری اراضی را در خصوص فرسایش و پایداری خاک برای دو دوره آب‌وهوایی و کاربری اراضی فعلی و پایان قرن بیست و یکم با سناریوی A1B برای بارش را بررسی نموده‌اند و نتیجه گرفته‌اند که میزان فرسایش و پایداری خاک به تغییرات کاربری اراضی نسبت به تغییرات بارش حساسیت بیشتری دارند. (شکلا و همکاران،۲۰۱۵)[4] از مدل SDSM برای ریزمقیاس نمایی پارامترهای بارش و دمای مدل گردش عمومی جو(GCM) استفاده نموده و نتایج آن حاکی از افزایش میانگین دما و بارش در دوره‌های آتی خواهد بود. دهقانی و همکاران (۱۳۹۶) در مقاله‌ای به‌منظور بررسی اثر اقلیم بر میزان آب قابل بارش در سواحل شمالی خلیج‌فارس اقدام به شبیه‌سازی آب قابل بارش برای دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۵۰ بر اساس سناریوی RCP4.5 و مدل Hadcm3 کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که سری زمانی سالانه آب قابل بارش منطقه روند افزایشی داشته است. احمدآبادی و صدیقی فر (۱۳۹۷) در پژوهشی به پیش‌بینی اثرات تغییراقلیم بر خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز کن بر اساس مدل ریزمقیاس نمایی آماری پرداخته و نتیجه گرفتند که در شرایط اقلیمی آینده برای دوره زمانی ۲۰۱۶-۲۰۴۵ کاهش بارندگی، افزایش دما و کاهش تبخیر و تعرق واقعی محتمل است. کریمی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی تغییرات دما و پیش‌بینی دمای حدی از مدل آماری – دینامیکی SDSM در استان گیلان و مازندران پرداخته و نتایج آن نشان داده که تغییرات از نوع روند افزایشی و

[1]. Wetter hall et al
[2]. Cheng et al
[3]. Jean-Baptiste et al
[4]. Shukla at al

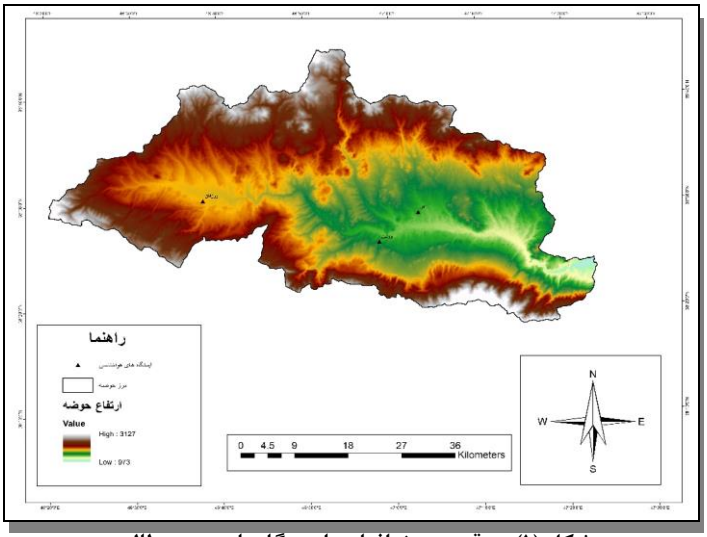
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.113.6]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.49]

ناگهانی خواهد بود و بیشترین تغییر در حداقل دمای ماهانه و سالانه در حدود ۰/۱ تا ۱/۷ درجه سانتی‌گراد به‌دست‌آمده است. همچنین افزایش دمای شبانه و کاهش تفاوت دمای فصل سرد و گرم را در پژوهش خود به دست آورده‌اند. زارعی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از مدل گردش عمومی جو canESM2 تحت سه سناریوی rcp2.6, 4.5,8.5 برای متغیرهای دما و بارش در استان چهارمحال و بختیاری استفاده کرده‌اند و نتیجه گرفته‌اند که: متوسط دما در مقیاس سالانه در هر سه سناریو ۱/۶ تا ۱/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. تغییرات مجموع بارندگی روزانه در سه سناریو افزایش بارندگی در فصول بها و تابستان و کاهش در فصل زمستان خواهد بود.

روش تحقیق

معرفی محدوده موردمطالعه

محدوده موردمطالعه در این پژوهش حوضه آبخیز اهر چای می‌باشد. حوضه آبخیز اهر چای با مساحت تقریبی ۲۳۰۰ کیلومترمربع بخشی از ناحیه ارسباران واقع در شمال آذربایجان‌شرقی می‌باشد. موقعیت این حوضه از ۳۸ درجه و ۱۸ دقیقه ۲۱ ثانیه تا ۳۸ درجه و ۴۴ دقیقه و ۲۸ ثانیه عرض شمالی و از ۴۶ درجه و ۲۰ دقیقه و ۱۹ ثانیه تا ۴۷ درجه ۲۳ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول شرقی گسترده شده است. رودخانه اهرچای با طول تقریبی ۱۱۵ کیلومتر، شاخه غربی شبکه زهکشی قره‌سو در شمال آذربایجان شرقی است که خود آن نیز جزئی از سیستم رود ارس می‌باشد. حوضه اهرچای دارای حداقل ارتفاع ۹۷۳ و حداکثر ۳۱۲۷ متر از سطح دریا می‌باشد که اختلاف ارتفاع آن ۲۱۹۰ متر می‌باشد و حدود ۳۵ درصد از مساحت حوضه در ارتفاع ۱۵۹۱ تا ۱۸۸۸ قرار دارد. اطلاعات هواشناسی سه ایستگاه موردمطالعه در داخل حوضه نشان می‌دهد که میانگین بارندگی سالانه بر اساس داده‌های ۲۸ ساله این ایستگاه‌ها در سطح حوضه ۳۰۳ میلی‌متر می‌باشد و میانگین کمینه و بیشینه درجه حرارت در سطح حوضه به ترتیب ۴/۰۴ و ۱۶/۴۱ درجه سانتی‌گراد ثبت گردیده است. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های موردمطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱). موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های موردمطالعه

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.113.6]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.49]

داده و روش کار

برای بررسی و ارزیابی تأثیرات تغییرات اقلیم در آینده نیازمند یک دوره مرجع به‌عنوان دوره پایه می‌باشیم. لذا سازمان جهانی هواشناسی پیشنهاد کرده است که به‌منظور هماهنگی در انتخاب دوره پایه در مطالعات مختلف تغییراقلیم و امکان مقایسه آن‌ها، دوره پایه دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ می‌باشد (IPCC، ۲۰۰۸).

داده‌های موردنیاز در این روش پژوهش به چند دسته تقسیم می‌شوند:

۱. داده‌های میانگین درجه حرارت و بارش روزانه ثبت‌شده در ایستگاه‌های اهر، وردین و ورزقان.
۲. خروجی ۲۶ پارامتر شبیه‌سازی‌شده NCEP برای دوره زمانی پایه (۲۰۰۵-۱۹۶۴)
۳. داده‌های شبیه‌سازی‌شده، خروجی مدل‌های جهانی اقلیم: داده‌های موردنیاز که شامل ۲۶ متغیر بزرگ‌مقیاس canESM2 با توجه به سناریوهای انتشار (RCP2.6, RCP4.5 و rcp8.5) برای دوره زمانی ۲۱۰۰-۱۹۶۱ به مختصات ایستگاه‌های موردمطالعه از سایت شبکه‌بندی تغییراقلیم کانادایی به دست می‌آید (IPCC).

در این پژوهش برای تغییرات اقلیمی از مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) و مدل ریزگردانی آماری SDSM اقدام به شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی گردید. از مزایای ریزگردانی آماری به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

۱) نیاز به محاسبات کمتر از ریزگردانی دینامیکی؛

۲) توانایی تولید سری‌های طولانی متغیرهای آب‌وهوایی در مکان‌های مشخص؛

۳) کاربرد آسان آن نسبت به ریزگردانی‌های دینامیکی

۴) امکان استفاده در شبیه‌سازی متغیرهای همانند دمای کمینه و بیشینه که به‌وسیله مدل‌های آب‌وهوایی سیاره‌ای صورت نمی‌گیرد (شمسی‌پور،۱۳۹۳).

سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای: هیئت بین‌الدول تغییراقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود (Fifth) از سناریوهای جدید RCP[1] به‌عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است. سناریوهای جدید انتشار دارای چهار خط سیر کلیدی با نام‌های RCP8.5, RCP6, RCP4.5 و RCP2.6 می‌باشند که بر اساس میزان واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند.

سناریوی RCP8.5: بدون اتخاذ هیچ‌گونه سیاست کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب‌وهوای کره زمین در خط سیر سناریوی انتشار RCP8.5 پیش خواهد رفت. به‌طوری‌که ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌گردد. در این هنگام غلظت دی‌اکسید کربن به ppm۱۰۰۰ رسیده و همچنان روند افزایش خواهد داشت.

سناریوی RCP4.5: در این سناریو واداشت تابشی ناشی از گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع ثابت می‌ماند.

سناریوی RCP2.6: این سناریو در برگیرنده کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. مطابق این سناریو واداشت تابشی در اواسط این قرن به حدود ۳/۱ رسیده و سپس کاهش‌یافته و به ۲/۶

[1]. Representative Concentration Pathways

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.113.6]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.49]

وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد. برای رسیدن به این سطح واداشت تابشی بایستی گازهای گلخانه‌ای به میزان قابل‌توجهی کاهش یابند.

مدل ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM): در این پژوهش در روش کوچک‌مقیاس‌سازی آماری از نرم‌افزار SDSM4.2 برای بررسی تغییرات دما و بارش در منطقه موردمطالعه استفاده شد. مدل کوچک‌مقیاس سازی SDSM از اولین ابزارهای کمکی برای ارزیابی تأثیرات تغییر محلی می‌باشد که توسط ویلبای و داوسون در سال ۲۰۰۲ در انگلستان توسعه یافت. این مدل بر اساس داده‌های روزانه‌ی اقلیم محلی (بارش، دما) و داده‌های بزرگ‌مقیاس ناحیه‌ای NCEP تنظیم می‌شود و پس‌ازآن با استفاده از متغیرهای بزرگ جوی ناشی شده از مدل‌های اقلیم جهانی، آب‌وهوای روزانه محلی برای دوره‌های پایه و آینده شبیه‌سازی می‌شوند. بر اساس نتایج پژوهشگرانی همچون جعفرزاده و همکاران (۱۳۹۵) و یوسفی و همکاران (۱۳۹۷) مدل SDSM را در شبیه‌سازی دما و بارش خوب ارزیابی کردند. با توجه به اینکه سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ از دوره‌های بهنجار اقلیمی برای مدل canESM2 و SDSM است. ولی داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های منطقه موردمطالعه از سال ۱۹۶۴ در دسترس بودند لذا از بازه ۱۹۶۴ تا ۲۰۰۵ استفاده گردیده است. این مدل برای ارزیابی ارتباط بین متغیرهای کوچک‌مقیاس جوی از داده‌های مستقل مشاهداتی استفاده می‌کند. این مدل ترکیبی از مدل مولدهای آب‌وهوا و مدل رگرسیون است (ویلبی و داسون، ۲۰۰۷)[1].

در مدل SDSM اقلیم محلی توسط اقلیم بزرگ‌مقیاس منطقه در فرم R=F(X) بیان می‌شود؛ که در اینجا R نشان‌دهنده متغیر اقلیم محلی است که ریزمقیاس شده است، X مجموعه‌ای از متغیرهای اقلیمی بزرگ‌مقیاس است و F یک تابع تعیین مشروط به X است که بر اساس آموزش و اعتبارسنجی داده‌های تاریخی به دست می‌آید. در این تحقیق در ابتدا به‌منظور واسنجی و صحت‌یابی مدل SDSM، متغیرهای بزرگ‌مقیاس به‌صورت روزانه در دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۴ (متغیرهای استخراج‌شده NCEP) به‌عنوان متغیرهای مستقل و بارندگی و میانگین دمای روزانه مشاهداتی منطقه در همین دوره، به‌عنوان متغیرهای وابسته به‌طور جداگانه وارد مدل شدند. برای واسنجی دما در مدل SDSM، در ابتدا لازم است تا از بین متغیرهای بزرگ‌مقیاس، متغیرهایی را که بیشترین ارتباط با دمای منطقه دارند انتخاب شوند. پس از تعیین متغیرهای بزرگ‌مقیاس مؤثر بر دمای ایستگاه‌های موردنظر، دوره‌های مختلفی از داده‌های مشاهداتی بزرگ‌مقیاس و دما در دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۴، برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل مورد آزمون قرار گرفتند. در نهایت دوره ۱۹۹۳-۱۹۶۴ برای واسنجی و دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۴ برای صحت‌سنجی مدل انتخاب گردید. پس از واسنجی مدل SDSM، با معرفی داده‌های بزرگ‌مقیاس NCEP در دوره ۱۹۹۳-۱۹۶۴ به مدل SDSM (واسنجی شده از مرحله قبل) مقادیر بارش روزانه مدل SDSM برای منطقه طرح ریزمقیاس گردید. نهایتاً با مقایسه داده‌های ریزمقیاس شده با داده‌های مشاهداتی در دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۴، توانایی مدل SDSM در تولید سناریو برای دوره‌های آتی مورد ارزیابی قرار گرفت.

برای واسنجی بارش در مدل SDSM نیز مراحل ذکرشده برای دما انجام شد. این متغیرها با استفاده از نمودارهای پراکنش و ضریب همبستگی جزئی استنتاج شدند. در مدل بارندگی نسبت به مدل دمایی متغیر

[1]. Wilby and Dawson

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.113.6]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.49]

بیشتری انتخاب‌شده است. این امر نشان از پیچیدگی پدیده بارندگی و تعداد عناصر مؤثر بر آن دارد. همچنین پس از آزمون دوره‌های مختلف برای واسنجی مدل SDSM، دوره ۱۹۹۳-۱۹۶۴ برای واسنجی و دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۴ برای صحت‌سنجی مناسب تشخیص داده شد. سرانجام با معرفی داده‌های بزرگ‌مقیاس NCEP در دوره ۱۹۹۳-۱۹۶۴ به مدل SDSM (واسنجی شده از مرحله قبل) مقادیر بارش روزانه منطقه طرح ریزمقیاس گردید. مقایسه داده‌های ریزمقیاس شده با داده‌های مشاهداتی بارش در دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۴، توانایی مدل SDSM در تولید سناریوی بارش روزانه را برای دوره آتی منعکس می‌کند. پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل SDSM برای دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۴ و ارزیابی مدل SDSM در ریزمقیاس کردن دما و بارش ایستگاه‌ها در دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۴، متغیرهای بزرگ‌مقیاس حاصل از مدل canSEM2 در دوره ۲۱۰۰-۲۰۱۰ به مدل SDSM معرفی‌شده و سری زمانی دما و بارش روزانه منطقه برای دوره آتی شبیه‌سازی گردید. در نهایت روند تغییرات دو متغیر دما و بارش ایستگاه‌ها در دوره‌های ۲۱۰۰-۲۰۱۰ با دوره مشاهداتی ۲۰۰۵-۱۹۶۴ مقایسه گردید.

نتایج

واسنجی پارامتر اقلیمی دما و بارش با استفاده از مدل SDSM: همان‌طور که ذکر شد، دوره ۱۹۹۳-۱۹۶۴ به‌عنوان دوره واسنجی و ۲۰۰۵-۱۹۹۴ به‌عنوان دوره صحت‌سنجی برای ارزیابی انتخاب شد. پس از تعیین همبستگی و انتخاب بهترین متغیرهای بزرگ‌مقیاس با بیشترین همبستگی، مدل برای هر ایستگاه با توجه به ارتباط بین پارامتر اقلیمی مشاهداتی و بهترین متغیرهای بزرگ‌مقیاس کالیبره می‌شود و ضرایب عملکرد برای هرکدام از ایستگاه‌ها به دست می‌آید. در پژوهش حاضر ابتدا با استفاده از پارامترهای بزرگ‌مقیاس مشاهداتی NCEP و نرم‌افزار SDSM به انتخاب پیش‌بینی کننده‌های منتخب پارامترهای اقلیمی موردنیاز پرداخته شد. بدین منظور از بین ۲۶ پارامتر بزرگ‌مقیاس NCEP پارامترهای نهایی بزرگ‌مقیاس برای متغیرهای اقلیمی موردنظر انتخاب گردید که نتایج پیش‌بینی کننده‌های منتخب در جدول (۱) ارائه شده است. همچنین جدول (۲) ضرایب عملکرد حاصل از کالیبراسیون مدل SDSM را برای پارامتر اقلیمی دما و بارش را نشان می‌دهد.

جدول (۱). انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده بزرگ‌مقیاس برای پیش‌بینی پارامترهای محلی بارش و میانگین دما در ایستگاه اهر

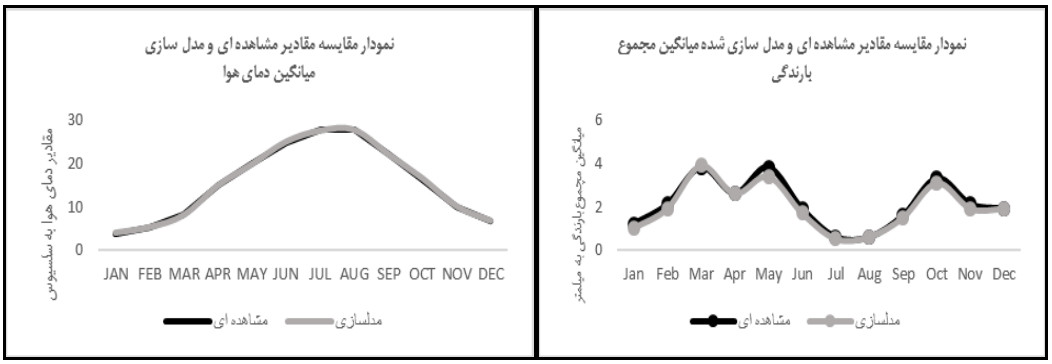
متغیر	پیش‌بینی کننده منتخب	همبستگی مطلق	همبستگی جزئی	PR	P-Value
بارش	Ncep mslpgl.dat	۰/۲۱۹	۰/۱۲۲	۰/۴۵	۰/۰
	Ncep p1-ugl.dat	/۰۹۱	۰/۰۸۷	۰/۴۲	۰/۰
	Ncep p1-zgl.dat	۰/۵۷۴	۰/۹۳۱	۰/۳۱	۰/۰۱
	Ncep p5-ugl.dat	۰/۶۲۵	۰/۳۱۶	۰/۲۶	۰/۰۰۵
	Ncep-s 850gl.dat	۰/۱۲۷	۰/۰۶۳	۰/۴۳	۰/۰
میانگین دما	Ncep p1-zhgl.dat	-۰/۳۸۴	-۰/۶۱۹	۰/۲۱	۰/۰
	Ncep p5-vgl.dat	۰/۱۸۵	۰/۱۶۶	۰/۰۶	۰/۰
	Ncep-p500gl.dat	۰/۷۲۶	۰/۷۹۴	۰/۱۲	۰/۰

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.113.6]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.49]

جدول (۲). ارزیابی مدل SDSM در مرحله واسنجی

ایستگاه‌ها	ضریب تبیین بارش	ضریب تبیین دما
اهر	۰/۳۰	۰/۹۲۵
ورزقان	۰/۲۶	۰/۸۴۹.
وردین	۰/۲۳	۰/۸۴۳

نتایج جدول (۲) نشان‌دهنده کارایی مدل SDSM در مرحله واسنجی دارد. این مدل پارامتر دما را به‌خوبی برای تمام ایستگاه‌ها مورد واسنجی قرار داده است. مقادیر پایین ضریب تبیین بارش در ایستگاه‌های وردین و ورزقان نشان از نواقص آماری زیاد این ایستگاه‌ها دارد. پس از واسنجی مدل SDSM در دوره ۱۹۹۳-۱۹۶۴، فایل کالیبره این مرحله (ارتباط بین داده‌های مشاهداتی و متغیرهای بزرگ‌مقیاس در دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۴) همراه با متغیرهای بزرگ‌مقیاس در دوره ۲۰۵۵-۱۹۹۴ به مدل SDSM داده شده و مدل داده‌های متغیرهای بزرگ‌مقیاس در دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۴ را برای ایستگاه مربوطه ریزمقیاس می‌کند. سپس مقادیر شبیه‌سازی‌شده (ریزمقیاس شده در دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۴) با مقادیر مشاهداتی مقایسه می‌شود. اشکال (۲ و ۳) نشان‌دهنده مقادیر شبیه‌سازی‌شده پارامترهای اقلیمی با مقادیر مشاهداتی در دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۴ برای ایستگاه اهر (به‌عنوان شاهد) می‌باشد.



اشکال (۲ و ۳). نمودار مقایسه مقادیر مشاهده‌شده و مدل‌سازی شده دما و بارش ایستگاه اهر

شبیه‌سازی بارش و دما تا سال ۲۱۰۰: در این بخش پس از ارزیابی دوره پایه (۱۹۹۳-۱۹۶۴) اقدام به شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی دما و بارش برای دوره‌های آتی شد. مدل را برای سه دوره ۳۰ ساله (۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰) و بر اساس مدل جهانی canESM2 تحت سناریو RCP4.5, RCP8.5, RCP2.6 برای سه ایستگاه اهر، ورزقان و وردین تولید و تغییرات مقادیر شبیه‌سازی‌شده در سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه موردبررسی قرار گرفت.

بررسی تغییرات بارش: در این پژوهش از سه ایستگاه مطالعاتی استفاده گردیده اما به‌منظور جلوگیری از گستردگی مطالب ایستگاه اهر به‌عنوان ایستگاه نمونه جهت بررسی انتخاب گردیده است. جدول (۳) تغییرات بارش ایستگاه اهر را تحت سناریوهای RCP برای سه دوره نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. با توجه به جدول مشاهده می‌کنیم که بارش در سناریوی RCP8.5 در تمام دوره‌ها کاهش بارندگی را نشان می‌دهد. به‌طوری‌که

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.113.6]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.49]

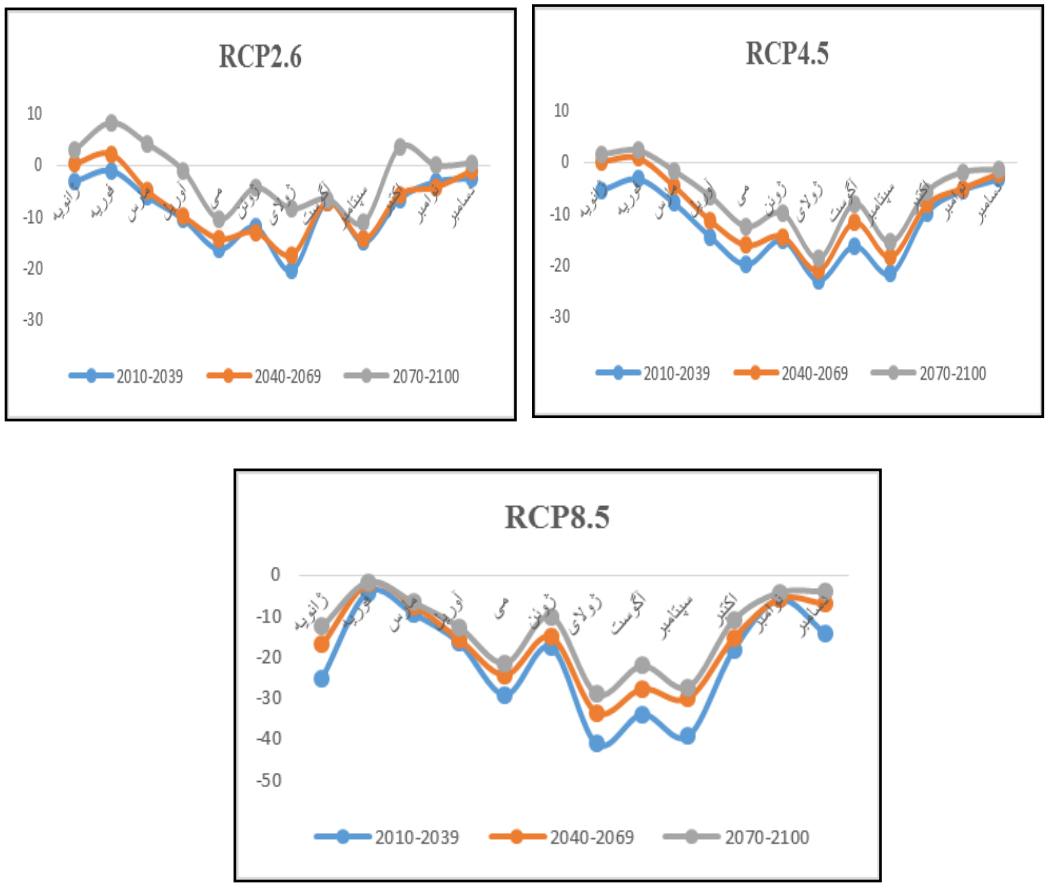
میانگین بارش در تمامی فصول روند کاهشی دارد که کمترین این میزان کاهش مربوط به فصل پائیز با رقم ۹/۵۵- میلی‌متر بعد از آن مربوط به فصل زمستان با رقم ۹/۶۴- بوده است. در سناریوهای RCP2.6 برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ تمامی ماه‌ها و فصول کاهش بارندگی است. برای دوره ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹ فقط دو ماه ژانویه و فوریه بارندگی افزایش می‌یابد ولی برای دوره ۲۰۷۰ تا ۲۰۹۹ افزایش در ۶ ماه خواهد بود و همچنین فصول زمستان و پاییز نیز افزایش بارندگی را تجربه خواهند کرد. بیشترین میزان افزایش برای ماه فوریه با رقم ۸/۳۲ میلی‌متر شبیه‌سازی‌شده است. در سناریوی RCP4.5 هم برای دوره اول برای تمامی ماه‌ها و فصول کاهش بارنگی و برای دو دوره بعدی برای ماه‌های ژانویه و فوریه افزایش نسبی بارندگی و تنها در فصل زمستان برای دوره ۲۰۷۰ تا ۲۰۹۹ افزایش خیلی کم بارندگی خواهد داشت. نتایج فصلی برای سناریوی RCP2.6 به این ترتیب هست که زمستان افزایش بارندگی و بقیه فصول دارای کاهش بارندگی که کمترین میزان آن مربوط به فصل پائیز با رقم ۲/۲۷- میلی‌متر می‌باشد و برای سناریوی RCP4.5 برای تمام فصول کاهش بارندگی شبیه‌سازی‌شده است. برای دو ایستگاه ورزقان و وردین نیز که مقادیر به‌صورت جدول و نمودار نمایش داده نشده اما نتایج بررسی تغییرات بارش در ایستگاه‌های ورزقان و وردین تحت سه سناریوی RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره‌های ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ نشان داد که در هر دو ایستگاه ورزقان و وردین، برای دوره‌های ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ شاهد کاهش بارش می‌باشند که البته این کاهش بارش طی دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ کمتر بوده و در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ با افزایش نسبی بارش همراه خواهد بود.

جدول (۳). تغییرات بارش ایستگاه اهر طی دوره‌های پیش‌بینی‌شده نسبت به دوره پایه ۲۰۰۵-۱۹۶۴

سناریو	RCP2.6			RCP4.5			RCP8.5		
دوره	۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹	۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹	۲۰۷۰ تا ۲۰۹۹	۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹	۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹	۲۰۷۰ تا ۲۰۹۹	۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹	۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹	۲۰۷۰ تا ۲۰۹۹
ژانویه	-۳/۱۵	۰/۳۱	۳/۰۵	-۵/۵۱	۰/۱۳	۱/۵۵	-۲۵/۱۴	-۱۷/۰۲	-۱۲/۶۰
فوریه	-۱/۰۹	۲/۱۷	۸/۳۲	-۳/۳۳	۰/۷۷	۲/۲۸	-۴/۲۴	-۲/۱۶	-۱/۷۸
مارس	-۶/۱۳	-۵/۰۲	۴/۲۲	-۸/۰۱	-۴/۷۰	-۱/۶۶	-۹/۵۱	-۷/۵۱	-۶/۶
آوریل	-۱۰/۵	-۹/۹۶	-۱/۰۱	-۱۴/۵۵	-۱۱/۴۱	-۶/۶۲	-۱۶/۶	-۱۵/۷۳	-۱۲/۷۷
می	-۱۶/۴۳	-۱۴/۳۶	-۱۰/۵۲	-۲۰/۰۰	-۱۶/۲۱	-۱۲/۵۵	-۲۹/۲۰۰۱	-۲۴/۳۷	-۲۱/۵۶
ژوئن	-۱۲/۰۲	-۱۳/۰۱	-۴/۳۷	-۱۵/۱۹	-۱۴/۴۹	-۹/۹۱	-۱۷/۵۷	-۱۵/۱۰	-۱۰/۱۱
ژولای	-۲۰/۵۰	-۱۷/۵۲	-۸/۴۳	-۲۳/۰۲	-۲۱/۱۵	-۱۸/۸۳	-۴۱/۲۱	-۳۳/۵۷	-۲۹/۰۰
آگوست	-۷/۲۰	-۷/۲۲	-۶/۵۶	-۱۶/۳۹	-۱۱/۷۳	-۸/۰۷	-۳۴/۰۰	-۲۷/۷۶	-۲۲/۱۳
سپتامبر	-۱۵/۰۲	-۱۴/۴۷	-۱۱/۲۰	-۲۱/۷۷	-۱۸/۸۰	-۱۵/۶۱	-۳۹/۳۳	-۳۰/۱۱	-۲۷/۳۳
اکتبر	-۶/۶۱	-۵/۷۲	۳/۵	-۹/۹۲	-۸/۳۱	-۵/۷۶	-۱۸/۲۱	-۱۵/۴۰	-۱۱/۰۱
نوامبر	-۳/۲۱	-۴/۳۲	۰/۰۵	-۵/۵	-۵/۱۱	-۱/۹۴	-۶/۰۳	-۵/۸۸	-۴/۳۴
دسامبر	-۲/۵۵	-۱/۱۱	۰/۴۳	-۳/۳۴	-۲/۲۰	-۱/۴۴	-۱۴/۳۲	-۷/۰۸	-۴/۰۵
زمستان	-۲/۷۳	-۰/۸۴	۵/۱۹	-۵/۶۱	-۱/۲۰	۰/۷۲	-۱۲/۹۶	-۸/۸۹	-۷/۰۷
بهار	-۱۲/۹۸	-۱۲/۴۴	-۵/۲۹	-۱۶/۸۳	-۱۴/۰۰	-۹/۶۹	-۲۱/۱۳	-۱۸/۳۴	-۱۴/۵۱
تابستان	-۱۴/۲۴	-۱۳/۰۴	-۸/۷۳	-۲۰/۳۹	-۱۷/۱۷	-۱۶/۰۵	-۳۸/۱۷	-۳۰/۴۰	-۱۹/۴۸
پاییز	-۴/۱۳	-۳/۷۱	۱/۰۳	-۶/۲۴	-۵/۲۰	-۹/۰۴	-۱۲/۸۴	-۹/۴۲	-۶/۴۱
سالانه	-۸/۵۱	-۷/۴۹	-۱/۹۴	-۱۲/۲۶	-۹/۳۹	-۸/۵۱	-۲۱/۲۷	-۱۶/۷۶	-۱۱/۸۶

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.113.6]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.49]

نتایج فصلی این دو ایستگاه هم مانند ایستگاه اهر با افزایش بارش در زمستان و اوایل بهار و کاهش در سایر فصول همراه می‌باشد. بیشترین کاهش بارش در این دو ایستگاه نیز از ماه می تا سپتامبر می‌باشد و بیشترین میزان افزایش بارش نیز در ماه‌های فوریه و دسامبر رخ خواهد داد. بر اساس سناریوها، بیشترین کاهش بارش تحت سناریو RCP8.5 طی دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ رخ داده است و بیشترین افزایش بارش نیز بر اساس سناریو RCP2.6 طی دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ مشاهده گردیده است. اشکال (۴)، (۵) و (۶) تغییرات بارش ایستگاه اهر را نشان می‌دهد.



اشکال(۴ تا ۶). تغییرات بارش ایستگاه اهر طی دوره‌های مختلف موردمطالعه تحت سناریوهای RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5

بررسی تغییرات میانگین دما: در جدول (۴) مقادیر تغییرات میانگین ماهانه دمای ایستگاه اهر به‌عنوان ایستگاه نمونه، برای دوره پایه و سه دوره آینده نشان داده شده است. تغییرات میانگین دمای ایستگاه اهر در کلیه ماه‌ها به‌غیراز نوامبر و دسامبر در دوره‌های آینده افزایش خواهد داشت. در دوره ۲۰۳۹ - ۲۰۱۰ این افزایش دما کمتر از دو دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ مشاهده می‌شود؛ اما به‌طورکلی برای هر سه دوره در ایستگاه

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.113.6]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.49]

اهر با افزایش میانگین دما همراه می‌باشد. در دوره اول و تحت سناریوی RCP2.6 شاهد کمترین افزایش میانگین دما می‌باشیم و بیشترین افزایش میانگین دمای ایستگاه اهر نیز در دوره آخر و تحت سناریوی RCP8.5 رخ خواهد داد؛ اما به‌طورکلی افزایش میانگین دما در تمام فصل‌ها مشاهده می‌شود. فصل پائیز کمترین افزایش دما در سه دوره موردمطالعه برای همه سناریوها به میزان متوسط ۰/۵۶ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت و بیشترین افزایش مربوط به فصل تابستان در هر سه دوره با رقم متوسط ۳/۷ درجه برای همه سناریوها خواهد بود. بعد از تابستان بیشترین افزایش برای فصل زمستان با رقم ۱/۷ درجه می‌باشد. فصل بهار هم افزایش ۰/۹۴ را خواهد داشت. ملاحظه می‌شود فصل گرم نسبت به دوره پایه گرم‌تر و فصل سرد به سمت سردی خواهد رفت.

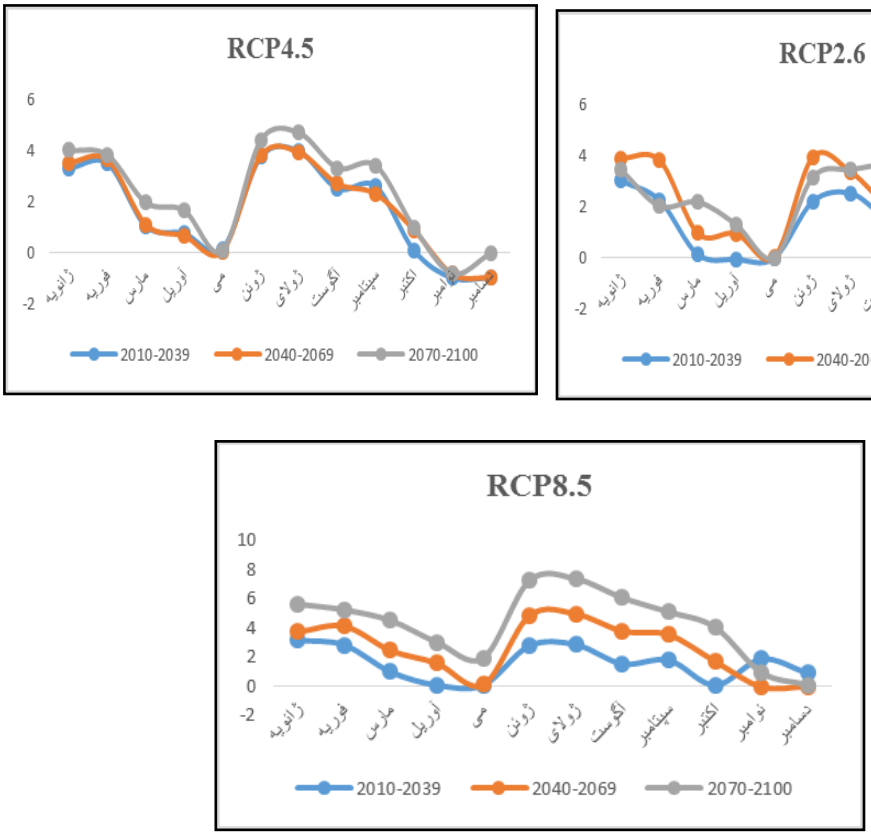
جدول (۴). تغییرات میانگین دمای ایستگاه اهر طی دوره‌های پیش‌بینی‌شده نسبت به دوره پایه ۲۰۰۵-۱۹۶۴

سناریو	RCP2.6			RCP4.5			RCP8.5		
دوره	۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹	۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹	۲۰۷۰ تا ۲۰۹۹	۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹	۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹	۲۰۷۰ تا ۲۰۹۹	۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹	۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹	۲۰۷۰ تا ۲۰۹۹
ژانویه	۳/۰۲	۳/۹۱	۳/۴۵	۳/۳۱	۳/۵۴	۴/۰۳	۳/۱۴	۳/۷۱	۵/۶۱
فوریه	۲/۲۶	۳/۸۳	۲/۰۳	۳/۵۱	۳/۶۵	۳/۸۴	۲/۸۱	۴/۱۰	۵/۲۱
مارس	۰/۱۳	۰/۹۶	۲/۱۹	۱/۰۵	۱/۱۱	۱/۹۷	۰/۹۶	۲/۴۳	۴/۵۰
آوریل	۰/۰۶	۰/۹۵	۱/۳۰۱۲	۰/۷۶	۰/۶۶	۱/۶۷	۰/۰۵	۱/۵۵	۳/۰۱
می	-۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۱۶	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۸	۱/۹۲
ژوئن	۲/۲۱	۳/۹۵	۳/۱۶	۳/۷۶	۳/۸۱	۴/۴۲	۲/۷۶	۴/۸۳	۷/۲۵
ژولای	۲/۵۳	۳/۳۶	۳/۴۷	۳/۹۸	۳/۹۴	۴/۷۱	۲/۸۳	۴/۹۴	۷/۳۵
آگوست	۱/۶۳	۲/۰۳	۳/۵۱	۲/۵۲	۲/۷۱	۳/۳۳	۱/۵۱	۳/۷۶	۶/۰۵
سپتامبر	۲/۵۳	۱/۸۵	۲/۰۳	۲/۶۱	۲/۳۱	۳/۴۳	۱/۷۶	۳/۵۱	۵/۰۸
اکتبر	۰/۳۵	۰/۰۶۳	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۸۹	۰/۹۹	۰/۰۴	۱/۶۸	۴/۰۳
نوامبر	-۱/۳۴	-۰/۶۵	-۱/۳۳	-۰/۹۹	-۰/۸۴	-۰/۸۲	۱/۸۴	-۰/۰۷	۰/۹۱۵۲
دسامبر	-۰/۸۳	-۰/۶۱	-۱/۳۲	-۰/۹۸	-۰/۹۹	-۰/۰۲	۰/۸۷	-۰/۰۴	۰/۰۷
زمستان	۰/۸۲	۱/۰۳	۱/۴۱	۱/۸۶	۱/۹۴	۲/۰۳	۰/۹۱	۲/۰۸	۳/۶۲
بهار	۰/۰۹	۰/۲۶	۰/۹۶	۰/۵۵	۰/۴۳	۱/۱۱	۰/۷۶	۱/۲۴	۳/۱۴
تابستان	۲/۶۲	۲/۵۲	۳/۰۲	۳/۶۱	۳/۷۳	۴/۱۵	۲/۳۱	۴/۵۱	۶/۸۴
پاییز	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۴۵	۰/۰۱	۱/۱۵	۳/۱۷
سالانه	۰/۶۸	۰/۸۹	۱/۵۳	۱/۱۶	۱/۵۰	۱/۹۸	۰/۶۴	۳/۲۶	۴/۲۱

نتایج حاصل از مطالعه و بررسی تغییرات میانگین دمای دو ایستگاه ورزقان و وردین نیز طی دوره‌های موردمطالعه و بر اساس سناریوهای مشخص‌شده در پژوهش نشان داد که افزایش میانگین دما در این دو ایستگاه در همه ماه‌ها به‌جز نوامبر و دسامبر افزایش را نشان می‌دهد؛ و این افزایش دما در ایستگاه وردین بیشتر از ایستگاه ورزقان می‌باشد همچنین مانند ایستگاه اهر در دوره ۲۰۳۹ - ۲۰۱۰ شاهد افزایش دمای کمتری نسبت به دو دوره دیگر می‌باشیم و به‌طورکلی برای هر سه دوره و تحت هر سه سناریو در ایستگاه‌های ورزقان و وردین نیز شاهد افزایش دما خواهیم بود. بر اساس نتایج این دو ایستگاه کمترین افزایش میانگین دما در دوره اول و تحت سناریو RCP2.6 و بیشترین افزایش نیز در دوره آخر و تحت سناریوی RCP8.5 رخ خواهد

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.113.6]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.49]

داد. اشکال (۷ تا ۹) تغییرات دمای ایستگاه اهر را طی دوره‌های مختلف مطالعاتی تحت سناریوهای RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 نشان می‌دهد.



اشکال (۷ تا ۹). تغییرات میانگین دمای ایستگاه اهر طی دوره‌های مختلف موردمطالعه تحت سناریوهای RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5

نتیجه‌گیری

این مقاله با تحلیل زمانی- مکانی شاخص‌های حدی دما و بارش در سناریوهای RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 بر اساس داده‌های مشاهده‌شده و مدل canESM2 تغییرات دما و بارش حوضه آبخیز اهرچای شامل ایستگاه‌های اهر، ورزقان و وردین را شبیه‌سازی نموده است. نتایج به‌دست‌آمده از واسنجی مدل SDSM نشان داد که در کلیه ایستگاه‌های موردمطالعه، داده‌های میانگین دما همبستگی بهتری با داده‌های مشاهداتی را نسبت به داده‌های بارش داشته‌اند که علت آن تغییرپذیری بالای داده‌های بارش نسبت به داده‌های میانگین دما می‌باشد همچنین بارش یک متغیر گسسته می‌باشد که عوامل مختلفی در ایجاد آن نقش دارند و از طرف دیگر نیز دما دارای توزیع احتمالی نرمالی است. البته این موضوع در مطالعات بسیاری تأیید گردیده که همبستگی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.113.6]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.49]

داده‌های دما نسبت به بارش بیشتر می‌باشد، از جمله این مطالعات می‌توان به چیما و همکاران (۲۰۱۱)[1] همچنین عساکره و اکبرزاده (۱۳۹۶) اشاره نمود. نتایج پیش‌بینی مقادیر دما و بارش برای ایستگاه‌های موردمطالعه در این پژوهش نشان داد که تغییرات متوسط بارش سالانه برای همه دوره‌های موردمطالعه دارای روند کاهشی بوده و میزان کاهش برای سناریوی RCP2.6 برابر با ۵/۹۸- میلی‌متر برای RCP4.5 برابر با ۱۰/۵۵- میلی‌متر و برای RCP8.5 برابر با ۱۶/۶۳- میلی‌متر خواهد بود. میانگین مجموع بارش سالانه ایستگاه اهر در دوره ۱۹۶۴ تا ۲۰۰۵ یعنی دوره پایه برابر با ۳۰۷/۴۴ میلی‌متر می‌باشد. طی دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با کاهش بارش و در دوره‌های به‌تدریج با افزایش بارش همراه خواهد بود همچنین از نظر توزیع بارش، ماه‌های اواخر زمستان و اوایل بهار دارای بیشترین میزان بارش و بین ماه‌های می تا اکتبر نیز به‌طورکلی بیشترین کاهش بارندگی را خواهد داشت. همچنین بر اساس نتایج نشان داد سناریو RCP2.6 بیشترین افزایش بارش را نشان می‌دهد و سناریو RCP8.5 با بیشترین کاهش بارش روبرو است.

بر اساس نتایج تغییرات میانگین دما در سه ایستگاه موردمطالعه حوضه اهرچای طی دوره‌های موردمطالعه، دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ با بیشترین افزایش دما و دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با کمترین افزایش دما همراه می‌باشند همچنین از نظر توزیع ماهانه تغییرات دما در ایستگاه‌های موردمطالعه برای دوره‌های پیش‌بینی‌شده نشان می‌دهد که در همه ماه‌ها جز ماه دسامبر و تا حدودی در ماه نوامبر شاهد افزایش دما خواهیم بود؛ و سناریوی RCP2.6 دارای کمترین افزایش دما و سناریو RCP8.5 نیز داری بیشترین افزایش دما خواهد بود. دمای سالانه برای هر سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب برابر با ۱/۰۳، ۱/۵۴ و ۲/۷ درجه سانتی‌گراد برای هر سه دوره به‌طور متوسط افزایش خواهد یافت. متوسط میانگین دمای هوای سالانه در دوره پایه یعنی از سال ۱۹۶۴ تا ۲۰۰۵ در ایستگاه اهر برابر با ۱۰/۶ درجه سانتی‌گراد است. بر اساس سناریوهای فوق میانگین دمای هوای سالانه به ترتیب ۱۱/۶۳، ۱۲/۱۴ و ۱۳/۳ تا سال ۲۰۹۹ افزایش خواهد یافت.

عارف و علیجانی (۱۳۹۷) با استفاده از مدل HADCM3 و سناریوهای RCP با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی SDSM برای حوضه آبخیز یزد - اردکان برای یک دوره ۳۰ ساله آتی افزایش دما ۰/۵ درجه سانتی‌گراد و کاهش بارندگی ۸/۸ تا ۱۶/۸ درصد نسبت به دوره پایه پیش‌بینی کرده‌اند. عزیزی و همکاران (۱۳۹۸) بر اساس سناریوهای RCP مقدار دما برای دهه‌های آینده استان ایلام افزایش ۳/۶ تا ۵/۵ درجه سانتی‌گراد را به دست آورده‌اند. رضایی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از سناریوهای RCP و SDSM برای دوره گرم سال در ایران افزایش دمای ۵ درجه را برآورد نموده‌اند که برای ۷۰ درصد ایران در ۳۰ سال آینده دمای بالای ۴۰ درجه تجربه خواهند کرد. با توجه به نتایج سایر پژوهشگران و این تحقیق ملاحظه می‌شود که روند دما در سال‌های آتی نه فقط در حوضه اهر چای بلکه در کل ایران رو به افزایش خواهد بود.

به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که سناریوی RCP2.6 خوش‌بینانه و سناریوی RCP8.5 بدبینانه حالت دما و بارش را برای حوضه اهرچای نشان می‌دهد و در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ دارای کمترین افزایش دما و بیشترین کاهش بارش خواهد بود و دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ نیز دارای بیشترین افزایش دما و کمترین میزان بارش

[1]. Cheema & other

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.113.6]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.49]

خواهد بود در نتیجه در بدبینانه‌ترین حالت هرچه به پایان قرن ۲۱ نزدیک می‌شویم در حوضه آبخیز اهرچای شاهد افزایش دما و کاهش بارش خواهیم بود که آن را می‌توان از پیامدهای گرمایش جهانی دانست.

منابع

احمدآبادی علی و صدیقی فر.(۱۳۹۷). **پیش‌بینی اثرات تغییراقلیم بر خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز کن بر اساس مدل ریزمقیاس نمایی آماری**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸(۵۱): ۱۰۳-۱۱۴.

جعفرزاده، احمد؛ خاشعی سیوکی، عباس و شهیدی علی (۱۳۹۵)، **ارزیابی دو روش ریزمقیاس نمایی آماری LARS-WG و SDSM در برآورد تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی مطالعه موردی: دشت بیرجند**، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک، ۲۳(۴): ۳۲۲-۳۰۹.

دشت بزرگی آمنه؛ علیجانی بهلول؛ جعفرپور زین العابدین و شکیبا علیرضا. (۱۳۹۴). **شبیه‌سازی شاخص‌های حدی دمای استان خوزستان بر اساس سناریوهای RCP**، جغرافیا و مخاطرات محیطی، (۱۶): ۱۲۳-۱۰۵.

دهقانی طیبه؛ سلیقه محمد و علیجانی بهلول. (۱۳۹۶). **اثر تغییراقلیم بر میزان آب قابل بارش در سواحل شمالی خلیج‌فارس**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸(۴۹): ۹۱-۷۵.

دهقانی پور امیرحسین؛ حسن‌زاده محمدجواد؛ عطاری جلال و عراقی نژاد جواد. (۱۳۹۰). **ارزیابی توانمندی مدل SDSMدر ریز مقیاس نمایی بارش ، دما و تبخیر (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک تبریز)**، یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر.

رضایی، فرشته؛ احمدی، محمود و شکیبا، علیرضا (۱۳۹۸)، **شبیه‌سازی آستانه دمایی موج گرما طی دوره گرم سال در ایران بر اساس سناریوهای RCP در بازه زمانی (۲۰۴۵-۲۰۱۶)**، پژوهش‌های دانش زمین، ۱۰(۳۹): ۲۳۱-۲۴۷.

زارعی، آذین؛ اسدی، اسماعیل؛ ابراهیمی، عطاله؛ جعفری، محمد و ملکیان، آرش (۱۳۹۷). **بررسی تغییرات پارامترهای بارش و دما تحت سناریوهای اقلیمی در استان چهارمحال و بختیاری**، نشریه علمی پژوهشی مرتع، ۱۲(۴): ۴۳۶-۴۲۶.

سادات آشفته،پریسا (۱۳۹۳). **تغییراقلیم و آب: ابزارها و رویکردها** انتشارات جاودان خرد، چاپ اول، ۲-۱.

شمسی‌پور علی‌اکبر.(۱۳۹۳). **مدل‌سازی آب‌وهوایی؛ نظریه و روش**، مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم، ۱۶۰.

عارف، محمدرضا و علیجانی، بهلول (۱۳۹۷)، **بررسی تغییرات دما و بارش حوضه آبخیز یزد – اردکان با SDSM تحت شرایط تغییراقلیم**، دو فصلنامه علمی پژوهشی خشک بوم، ۸(۱): ۱۰۱-۸۹.

عزیزی، قاسم؛ احمدی، محمد و کردوانی، پرویز (۱۳۹۸)، **چشم‌انداز تغییرات دمای هوای دوره آینده بر اساس مدل‌های CMIP5 و سناریوهای واداشت تابشی RCP (مطالعه موردی: ایستگاه‌های منتخب استان ایلام)**، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، ۱۲(۴۳): ۸۸-۷۱.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.113.6]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.49]

عساکره حسین و اکبرزاده یونس. (۱۳۹۶). **شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره (۲۰۱۰-۲۱۰۰) با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM) و خروجی مدل CanESM2**، جغرافیا و مخاطرات محیطی، (۲۱): ۱۷۴-۱۵۳.

کریمی مصطفی؛ ستوده فاطمه و رفعتی سمیه. (۱۳۹۷). **تحلیل روند تغییرات و پیش‌بینی پارامترهای حدی دمای سواحل جنوبی دریای خزر**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸(۴۸): ۹۳-۷۹.

یوسفی، حسن؛ امینی، لیلی؛ قاسمی، لیلا و امرایی، نسیبه.(۱۳۹۷)، **بررسی کارایی مدل ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM) در شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک کرج)**، اکوهیدرولوژی، ۵(۳): ۹۶۸-۹۵۷.

1029/2011jd016187.

Cheema, S. B., Rasul, G., Ali, G., & Kazmi, D. H., (2011), **A comparison of minimum temperature trends with model projections**. Pakistan Hournal of Meteorology, 8(15): 39-52.

Chen, Hua., Chong-Yu Xu., Shenglian, Guo., (2012), **Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff**, Journal of Hydrology 434–435: pp,36–45.

Cheng, C. S., li, G., li, Q., Auld, H., (2008), **Statistical downscaling of hourly and daily climate scenarios for various meteorological variables in South-central Canada**, Theoretical and Applied Climatology, Volume 91:129–147.

Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D.J., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.K., Allen, S.K., Tignor, M.,Midgley, P.M., IPCC, 2012. **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 582 pp.

Getnet, Feyissa., Gete, Zeleke., Woldeamlak Bewket., Ephrem., Gebremariam., (2018)., **Downscaling of Future Temperature and Precipitation Extremes in Addis Ababa under Climate Change.,** Climate, 6, 58; doi:10.3390/cli6030058

Hansen, J.W., Ruedy, R., Sato, M., Lo, K., 2010. **Global surface temperature change**. Rev. Geophys. 48 (4), RG4004.

Jean-Baptiste, P., Fr_ed_eric, D., Alain, C., Benoît, D., Florent, M., Damien, R., Yves Le, B., (2015), **A method for modeling the effects of climate and land use changes on erosion and sustainability of soil in a Mediterranean watershed (Languedoc, France)**, Journal of Environmental Management 150, 57e 68.

Lawrimore, J.H., Menne, M.J., Gleason, B.E., Williams, C.N.,Wuertz, D.B., Vose, R.S., Rennie, J., 2011. **An overview of the global historical climatology network monthly mean temperature data set,** version 3. J. Geophys. Res.-Atmos. 116. http://dx.doi.org/10.

Shukla, R., Deo, R., Khare, D., (2015), **Statistical Downscaling of Climate Change Scenarios of Rainfall and Temperature over Indira Sagar Canal Command area in Madhya Pradesh, India,** IEEE 14th International Conference on Machine Learning and Applications, pp. 313-317.

Sperotto, A., Torresan, S., Gallina, V., Coppola, E., Critto, A., Marcomini, A., (2016), **A multi-disciplinary approach to evaluate pluvial floods risk under changing climate: The case study of the municipality of Venice (Italy),** Sci Total Environ; 562:1031-1043.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.113.6]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.49]

Wang, B. Liu, D.L. Asseng, S. Macadam, I and Yu, Q. (2015): **Impact of Climate Change on Wheat floe Ring time in Saetern Australia**. Agriculture and Forest Meteorology 209-210:11-21.

Wetter hall, F., (2005), **Statistical Downscaling of Precipitation from Large –scal Atmospheric Circulation –Comparison of methods and Climate Region**, Msc dissertation, Faculty of Sceince and Technology, UPPSALA University.

Wilby, Robert L., Dawson, Christian W., (2007), **User Manual SDSM: Version 2.2-A Decision Support Tool for the Assessments Climate Impact**, 1-94: www.sdsm.org.uk.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.113.6]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.49]