دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

ترکیب روش‌های تصحیح اریبیِ برونداد دما و بارش مدل‌های اقلیمی گزارش ششم در دشت همدان- بهار

فرناز ارشادفتح[۱]، علی شاهنظری[۲]، محمود رائینی سرجاز[۳] و یورن ایویند اولسون[۴]

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، (نویسنده مسوول: aliponh@yahoo.com)
۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۴- استاد، گروه آب و هواشناسی، دانشگاه آرهوس، ویبورگ، دانمارک
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۶
صفحه: ۷۵ تا ۸۵

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: استفاده از برونداد خام مدل‌های آب و هوایی منطقه‌ای در ارزیابی اثر تغییرات اقلیمی، به‌دلیل اریبی این داده‌ها چالش برانگیز است. براین اساس تصحیح اریبی این داده‌ها قبل از استفاده برای توسعه سناریوهای اقلیمی آینده ضروری است. هدف از این پژوهش ارزیابی عملکرد و معرفی ترکیب مناسب از روش‌های تصحیح اریبی فراسنجه‌های بارش و دمای کمینه و بیشینه‌ی شبیه‌سازی شده توسط سه مدل اقلیمی CMIP6 می‌باشد.

مواد و روش‌ها: عملکرد پنج روش مقیاس‌بندی خطی، مقیاس‌بندی واریانس، مقیاس‌بندی شدت بارش محلی، تبدیل توان و نگاشت توزیع برای تصحیح اریبی برونداد سه مدل اقلیمی با استفاده از آماره‌های میانگین مربع خطای ریشه (RMSE)، کارایی نش- ساتکلیف (NSE)، ضریب همبستگی (r) و آزمون t استیودنت در دوره‌ی تاریخی (۲۰۱۴-۱۹۹۰) مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه از میانگین برونداد سه مدل اقلیمیِ تصحیح اریبی شده توسط بهترین ترکیب از روش‌های مورد بررسی، برای پیش‌نگری فراسنجه‌ها تحت سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در دوره‌ی آتی (۲۰۷۵-۲۰۵۱) استفاده شد.

یافته‌ها: بررسی‌های آماری نشان داد روش‌های مقیاس‌بندی واریانس، مقیاس‌بندی شدت بارش محلی و تبدیل توان برای تصحیح اریبی داده‌های مورد بررسی در مقایسه با سایر روش‌ها از خطای بیشتری برخوردارند و در مقایسه با داده‌های خام تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵٪ ایجاد نکردند. دو روش مقیاس‌بندی خطی و نگاشت توزیع کمترین مقدار RMSE را در بازتولید فراسنجه‌های مورد بررسی به خود اختصاص دادند. ترکیب این دو روش برای پیش‌نگری داده‌ها نشان داد که میانگین بارش سالانه در منطقه‌ی همدان-بهار در آینده (۲۰۷۵-۲۰۵۱) تحت دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به‌ترتیب به‌مقدار ۲۸ و ۳۷ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین میانگین سالانه دمای بیشینه تحت دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به‌ترتیب به مقدار ۰/۷ و ۱/۴ و دمای کمینه به‌مقدار ۰/۹ و ۱/۵ درجه‌ی سلسیوس افزایش خواهد یافت. بیشترین کاهش فصلی بارش نسبت به دوره‌ی مشاهداتی در فصل بهار تحت سناریوی SSP5-8.5 و به مقدار ۱۹/۷۵ میلی‌متر برآورد شد. بیشترین افزایش فصلی دمای بیشینه و کمینه در مقایسه با دوره پایه به‌ترتیب در فصل زمستان (^{o}C۱/۶) و بهار (^{o}C۱/۷) تحت سناریوی SSP5-8.5 پیش‌نگری شد.

نتیجه‌گیری: دو روش مقیاس‌دهی خطی و نگاشت توزیع برای کاهش اریبی برونداد سه مدل‌های اقلیمی در منطقه همدان-بهار مناسب می‌باشند و با توجه به افزایش دما و کاهش بارش پیش‌نگری شده در این منطقه، این مطالعه می‌تواند اطلاعات مفیدی را برای برنامه‌ریزی در مورد ذخیره‌ی آب باران، تغذیه‌ی سفره‌های آب زیرزمینی، انتخاب محصول، دوره‌ی کاشت، تناوب زراعی و شیوه‌های مدیریت محصول برای سازگاری با تغییرات اقلیمی در اختیار برنامه‌ریزان منابع آب و کشاورزی قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، سناریوهای SSP، مقیاس‌بندی خطی، نگاشت توزیع، CMIP6

مقدمه

بر اساس گزارش کارگروه بین دولتی تغییرات اقلیم[۱] (IPCC)، میانگین جهانی دمای سطح بین سال‌های ۱۸۸۰ تا ۲۰۱۲ حدود ۰/۸۵ درجه سلسیوس و بین سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۲ تقریباً ۰/۷۲ درجه سلسیوس افزایش یافته است (۲،۵،۷). به‌طور دقیق‌تر، سه دهه گذشته (۲۰۲۰-۱۹۹۰) گرم‌ترین سال‌های ثبت شده برای سیاره زمین بوده است. از این رو، پیش‌آگاهی از وضعیت آب و هوای آینده برای کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیمی و افزایش سازگاری با این تغییرات ضروری است (۳۱).

مدل‌های جهانی اقلیمی[۲] (GCM) نقش مهمی در مطالعه و پیش‌نگری تغییرات اقلیمی زمین دارند (۶،۱۱). GCMها از دهه ۱۹۵۰ در حال توسعه هستند و به پیشرفت‌های چشم‌گیری رسیده‌اند. هم‌اکنون GCMهای گزارش ششم پروژه‌ی مقایسه مدل جفت شده[۳] (CMIP6) به‌عنوان پیشرفته‌ترین ابزار موجود برای مطالعات اقلیمی، انتشار یافته‌اند. با این حال، شبیه‌سازی‌های GCMها اغلب دارای اریبی قابل‌توجهی هستند و تفکیک‌پذیری مکانی کم آن‌ها از توانایی این ابزار برای بازتولید داده‌های اقلیمی در مقیاس محلی و منطقه‌ای به ویژه در مناطق کوهستانی می‌کاهد (۷). بنابراین، برای انجام پیش‌نگری‌های قابل اعتماد در مقیاس محلی، برونداد GCMها قبل از استفاده باید تصحیح اریبی شوند (۲۹).

تصحیح اریبی علم مقیاس‌بندی برونداد مدل‌های آب و هوایی برای منعکس کردن ویژگی‌های آماری آن‌ها مثل میانگین و واریانس داده‌ها در منطقه مورد مطالعه است (۱۵،۲۷). طیف گسترده‌ای از روش‌های آماریِ تصحیح اریبی شامل روش‌های ساده‌ی مقیاس‌بندی تا راهکارهای پیچیده‌ی نگاشت توزیع[۴] توسط بسیاری از محققان توسعه یافته است (۲۷). گودموندسون و همکاران (۹) روش‌های مختلف تصحیح اریبی را مقایسه کردند و دریافتند که این روش‌ها به‌طور قابل‌توجهی در عملکرد و مفروضاتِ اساسی متفاوت هستند. آن‌ها استفاده از تبدیل‌های ناپارامتریک را برای تصحیح اریبی آماری توصیه می‌کنند. ساچیندرا و همکاران (۲۱) عملکرد روش‌های نگاشت کمی فاصله[۵] (EDQM)، تصحیح سوگیری ماهانه و تصحیح اریبی تودرتو[۶] را در منطقه شمال غربی استرالیا ارزیابی کردند و روش EDQM را با توجه به توانایی آن در اصلاح توزیع تجمعی بارش انتخاب کردند. فنگ و

1- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)
2- General circulation models
3- Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6)
4- Distribution mapping
5- Equidistant quantile mapping (EDQM)
6- Nested bias-correction

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.7.4]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.75]

همکاران (۷) پنج روش اصلاحی برای بارش و سه روش برای دما را در منطقه شمال غربی چین مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که روش‌های تبدیل توان[1] و نگاشت کمی فاصله برای بارش و مقیاس‌بندی خطی[2]، مقیاس‌بندی واریانس[3] و نگاشت توزیع برای پیش‌نگری دما عملکرد خوبی داشتند. لو و همکاران (۱۴) دریافتند که رویکردهای ترجمه‌ی روزانه[4]، مقیاس‌بندی واریانس، نگاشت توزیع و نگاشت کمی تجربی[5] (EQM) به‌طور مؤثری اریبی دما را در حوضه رودخانه کایدو در غرب چین اصلاح می‌کنند. ورکو و همکاران (۳۰) در زیرحوضه‌ی جما در حوضه بالایی رودخانه نیل آبی در اتیوپی، روش‌های اصلاح اریبی را به‌کار بردند. نتایج بررسی ایشان نشان داد که روش‌های مقیاس‌بندی خطی، مقیاس‌بندی واریانس و نگاشت توزیع به‌طور مؤثری میانگین ماهانه دمای بیشینه و کمینه را تنظیم می‌کنند.

روش‌های تصحیح اریبی کیفیت مقادیر شبیه‌سازی شده را بهبود می‌بخشند، اما سطح موفقیت هر روش متفاوت است (۱۴،۳۰). مطالعات شرستا (۲۴)، مودبهاتکال و همکاران (۱۹)، اسمیتا و همکاران (۲۵) و مندز و همکاران (۱۶) نشان می‌دهد که عملکرد یک روش تصحیح اریبی به منطقه‌ی مورد مطالعه، متغیر اقلیمی شبیه‌سازی شده و کیفیت داده‌های مشاهداتی بستگی دارد. از این رو، ارزیابی عملکرد روش‌های تصحیح اریبی در هر مطالعه از اهمیت زیادی برخوردار است. از طرفی برخی از پژوهش‌گران مانند عبدو و همکاران (۱) و دیله و همکاران (۴) تنها از خروجی یک GCM استفاده کرده‌اند. در حالی‌که سناریوهای تغییرات اقلیمی بر اساس چندین GCM، ایجاد شده‌اند و برای افزایش قابلیت اطمینان پژوهش‌های اقلیمی بهتر است از برونداد چند GCM استفاده شود.

انتخاب روش‌های تصحیح اریبی مناسب برای تولید ورودی‌های قابل اعتماد برای تجزیه و تحلیل تأثیر تغییر اقلیم در یک منطقه از اهمیت زیادی برخوردار است. دشت همدان-بهار، یک منطقه‌ی خشک و نیمه‌خشک واقع در غرب ایران است، اقتصاد بیشتر ساکنان این منطقه به کشاورزی وابسته است و تغییرات اقلیمی می‌تواند به‌طور قابل توجهی منابع آب و تولید محصولات کشاورزی را در این ناحیه تحت تأثیر قرار دهد. هدف از مطالعه‌ی حاضر بررسی عملکرد روش‌های تصحیح اریبی موجود برای کاهش مقیاس برونداد مدل‌های اقلیمی گزارش ششم و معرفی بهترین ترکیب از روش‌های تصحیح اریبی برای بارش و دما در این منطقه کوهستانیِ نیمه‌خشک است. چهار روش تصحیح بارش و سه روش تصحیح دما با هدف اصلاح اریبی در این مطالعه گنجانده شده‌اند. براساس بررسی‌های انجام شده تاکنون در ایران ترکیبی از روش‌های تصحیح اریبیِ برونداد مدل‌های اقلیمی معرفی نشده است. این مطالعه می‌تواند مبنایی برای تصمیم‌گیری در حوضه‌ی آبخیز همدان- بهار و کاربرد راهکارهای سازگاری با تغییرات اقلیمی مبتنی بر منابع آب در این منطقه باشد.

مواد و روش‌ها

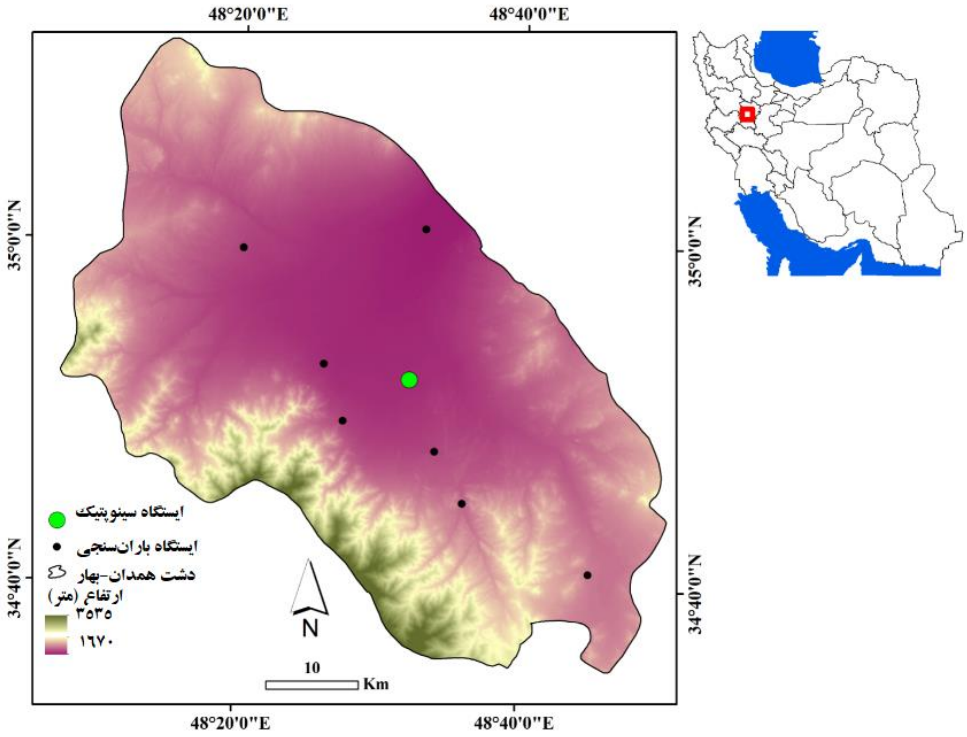
به‌منظور تصحیح اریبی فراسنجه‌های اقلیمی سه روش (مقیاس‌دهی خطی، مقیاس‌دهی واریانس و نگاشت توزیع) برای دمای کمینه و بیشینه و چهار روش (مقیاس‌دهی خطی، نگاشت توزیع، تبدیل توان و مقیاس‌دهی شدت بارش محلی[6]) برای بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های اقلیمی MIROC6، CMCC-ESM2 و NOR-ESM2-MM استفاده شد. انتخاب سه مدل اقلیمی براساس نتایج مستخرج از رساله دکتری نویسنده می‌باشد. روش‌های تصحیح اریبی را می‌توان به روش‌های مبتنی بر مقیاس‌بندی و مبتنی بر توزیع طبقه‌بندی کرد. روش‌های مبتنی بر مقیاس‌بندی، از عوامل مقیاس‌گذاری افزایشی یا ضربی برای تنظیم شبیه‌سازی‌های GCM استفاده می‌کنند (برای نمونه، روش تصحیح دلتا و مقیاس‌گذاری خطی). در حالی‌که، روش‌های مبتنی بر توزیع از راهکارهای نگاشت کمی استفاده می‌کنند که برخی از ویژگی‌های تابع توزیع احتمال را به‌صورت تجربی یا پارامتریک اصلاح می‌کنند. همه‌ی این روش‌ها سعی در بهبود سازگاری داده‌های مدل شده با داده‌های مشاهده‌ای دارند. توضیح اجمالی هر روش تصحیح اریبی در بخش بعدی ارائه شده است.

منطقه مورد مطالعه

دشت همدان-بهار با مساحت ۲۴۶۰ کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقهی شرقی و عرض‌های ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵ دقیقه شمالی در غرب ایران قرار گرفته است (شکل ۱). میانگین ارتفاع حوضه از سطح دریا ۲۰۳۸ متر است. براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن آب و هوای این منطقه نیمه‌خشک با میانگین کمینه و بیشینه دمای سالانه به‌ترتیب ۲/۸ و ۱۹/۲ درجه سلسیوس و بارندگی بلندمدت سالانه‌ی ۳۴۵ میلی‌متر است (۱۲)

1- Power transformation
2- Linear scaling
3- Variance scaling
4- Daily Translation
5- Empirical quantile mapping
6- Local intensity scaling

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.7.4]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.75]



شکل ۱- دشت همدان بهار و ایستگاه‌های هواشناسی
Figure 1. Hamedan-Bahar plain and meteorological stations

داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه داده‌های بارش و دمای بیشینه و کمینه روزانه ثبت شده توسط سازمان هواشناسی ایران در طول دوره آماری (۲۰۱۴-۱۹۹۰) برای ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه مورد مطالعه (جدول ۱) به عنوان مرجع داده‌های مشاهداتی استفاده شد (۱۲). داده‌های روزانه بارش و دمای بیشینه و کمینه از سه مدل اقلیمی CMCC-ESM2، NOR-ESM2-MM و MIROC6 برای دوره تاریخی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ و برای دوره آینده‌ی میانی (۲۰۷۵-۲۰۵۱) از تارنمای برنامه تحقیقات جهانی آب و هوا ESGF(https://esgf-node.llnl.gov/ search/cmip6) برداشت شد. این مجموعه داده بخشی از مجموعه مدل‌های CMIP6 می‌باشد. داده‌های تاریخی شبیه‌سازی شده توسط GCM از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ برای ارزیابی عملکرد هر روش تصحیح اریبی استفاده می‌شود. انتخاب GCMها از مجموعه مدل‌های CMIP6 براساس کامل بودن داده‌های تاریخی و سناریوهای مورد نیاز و عدم مطالعه آن‌ها در منطقه‌ی مورد نظر توسط سایر پژوهش‌گران بود. جدول ۲ اطلاعات خلاصه‌ای را در مورد GCMها ارائه می‌دهد.

روش مقیاس‌دهی خطی

مقیاس‌دهی خطی یکی از رایج‌ترین روش‌های تصحیح اریبی است که در بسیاری از مطالعات مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۰،۲۴،۲۷). از مزایای این روش می‌توان به دقت بالا، سهولت و حفظ کیفیت داده‌ها پس از تصحیح اریبی اشاره کرد (۲۷). در این روش مقدار میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده با میانگین داده‌های مشاهده‌ای اصلاح می‌شود. روش مقیاس‌دهی خطی بارندگی و دمای شبیه‌سازی شده را به‌ترتیب با استفاده از عوامل ضرب و جمع تصحیح می‌کند (۱۳). عوامل تصحیح با مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در دوره تاریخی ایجاد می‌شوند و اریبی‌ها را در میانگین تصحیح می‌کند.

در روش مقیاس‌دهی خطی داده‌های بارش و دما به‌ترتیب با استفاده از معادلات (۱) تا (۴) تصحیح اریبی می‌شوند:

$$T^{*}_{his}(d) = T_{his}(d) + [\mu_m(T_{obs}(d)) - \mu_m(T_{his}(d))] \quad (۱)$$

$$T^{*}_{sce}(d) = T_{sim}(d) + [\mu_m(T_{obs}(d)) - \mu_m(T_{his}(d))] \quad (۲)$$

$$P^{*}_{his}(d) = P_{his}(d) \times \left[\frac{\mu_m(P_{obs}(d))}{\mu_m(P_{his}(d))}\right] \quad (۳)$$

$$P^{*}_{sce}(d) = P_{sim}(d) \times \left[\frac{\mu_m(P_{obs}(d))}{\mu_m(P_{his}(d))}\right] \quad (۴)$$

در این معادلات T و P به‌ترتیب نشان‌دهنده دما و بارش، μ_m: میانگین ماهانه، *: داده تصحیح اریبی شده، his و sce به‌ترتیب داده‌های تاریخی و آینده شبیه‌سازی شده توسط GCM، obs داده مشاهداتی در روز مورد نظر (d) است (۱۴).

نگاشت توزیع

در این روش از تطبیق توابع توزیع داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های شبیه‌سازی شده، برای تصحیح میانگین، انحراف معیار و چندک استفاده می‌شود (۲۷). پیش‌فرض این روش این است که برونداد مدل‌های اقلیمی (در دوره تاریخی و آینده) و داده‌های مشاهده‌ای از فراوانی توزیع خاصی پیروی می‌کنند (۲۸). بر این اساس، توزیع گاوسی (توزیع نرمال) برای توزیع دما استفاده می‌شود. توزیع گاما با پارامتر شکل α

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.7.4]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.75]

و پارامتر مقیاس β اغلب برای توزیع احتمال بارش مناسب در نظر گرفته می‌شود (۲۷). توضیحات کامل‌تر در مورد توابع گاما و گاوسی در مطالعه توئستچبین و سیبرت (۲۷) آمده است. داده‌های تاریخی و آینده با استفاده از معادله‌های ۵ و ۶ تصحیح می‌شوند. در این معادلات μ میانگین و σ انحراف معیار است. اندیس‌های obs، his و sce به‌ترتیب به مقادیر مشاهده شده و تاریخی و آینده برای ماه و روز مورد نظر اشاره دارند.

$$T^{*}_{his/sce}(d) = F_N^{-1}(F_N(T_{his/sce}(d)|\mu_{his,m}, \sigma^2_{his,m}) |\mu_{obs,m}, \sigma^2_{obs,m} \quad (۵)$$

$$P^{*}_{his/\quad}(d) = F_N^{-1}(F^{sce}_N(P_{his/sce}(d)|\alpha_{his,m}, \beta_{his,m} |\alpha_{obs,m}, \beta_{obs,m} \quad (۶)$$

مقیاس‌دهی شدت محلی بارش

هدف از اجرای این روش، تصحیح همزمان شدت و فراوانی بارش است. در ابتدا، آستانه‌ی شدت بارندگی (Pthres,m) برای هر ماه تأیید می‌شود (۲۳). بر این اساس، تعداد روزهای مرطوب در بارش شبیه‌سازی شده که از این آستانه فراتر می‌روند، با تعداد روزهایی که بارش مشاهده شده برای آن‌ها تعیین شده است، هماهنگ می‌شود. این رویکرد قادر است اثر نم را به‌طور مؤثری حذف کند زیرا اغلب تعداد روزهای بارانی خیلی زیادی در خروجی‌های GCMها گنجانده شده است (۸). سپس یک ضریب مقیاس‌دهی (S_m) (معادله ۷) محاسبه می‌شود تا از برابری مقادیر میانگین بارندگی داده‌های اصلاح‌شده با داده‌های مشاهداتی اطمینان ایجاد شود. داده‌های تصحیح شده تاریخی و آینده از معادله ۸ محاسبه می‌شوند.

$$S_m = \frac{\mu(P_{obs,m,d} \,|P_{obs,m,d}>0)}{\mu(P_{his,m,d} \,|P_{his,m,d}>P_{thres,m})} \quad (۷)$$

$$P^{*}_{his/sce,m,d} = \begin{cases} P_{his/sce,m,d} \times S_m, & P_{his,m,d} > P_{thres,m} \\ 0, & P_{his\,m\,d} < P_{thres\,m} \end{cases} \quad (۸)$$

در این معادلات μ میانگین و اندیس‌های obs، his و sce به‌ترتیب به مقادیر مشاهده شده و تاریخی و آینده برای ماه و روز مورد نظر و * به داده‌ی تصحیح اریبی شده، اشاره دارند.

مقیاس‌دهی واریانس

روش سه مرحله‌ای مقیاس‌دهی واریانس می‌تواند میانگین و واریانس دما را تصحیح کند. در این روش نتایج تصحیح شده توسط رویکرد مقیاس‌دهی خطی تا رسیدن به میانگین ماهانه‌ی صفر نرمال می‌شوند.

$$T_{his,m,d} = T_{LS,his,m,d} - \mu(T_{LS,his,m,d}) \quad (۹)$$

سپس انحراف معیار (σ) سری زمانی نرمال شده استفاده می‌شود. انحراف معیار سری‌های زمانی نرمال‌شده (σ) براساس نسبت بین سری‌های مشاهده‌شده و مقیاس‌شده تصحیح می‌شود (معادله ۱۰).

$$\sigma_{his,m,d} = T_{his,m,d} \times \frac{\sigma_m(T_{obs,m,d})}{\sigma_m(T_{his,m,d})} \quad (۱۰)$$

در نهایت، دما بر اساس میانگین (μ) و انحراف معیار (σ) تصحیح شده مجموعه داده‌های تاریخی و آینده تصحیح می‌شود (معادله ۱۱)

$$T^{*}_{his,m,d} = \sigma_{his,m,d} + \mu(T_{LS,his,m,d}) \quad (۱۱)$$

تبدیل توان

تبدیل توان یک روش تصحیح غیرخطی با شکل نمایی X^b است که برای تنظیم واریانس سری‌های زمانی بارش استفاده می‌شود (۱۳، ۲۷). پارامتر b با یکسان‌سازی ضریب تغییرات (CV) شبیه‌سازی‌های اصلاح شده X^b و ضریب تغییرات مقادیر مشاهده شده، برآورد می‌شود. برای بدست آوردن پارامتر b برای ماه m از معادله زیر استفاده شد:

$$f(b_m) = CV_m(X_{obs}(d)) - CV_m(X^{b_m}_{sim}(d)) \quad (۱۲)$$

که در آن اندیس‌های obs و sim، به‌ترتیب به مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده اشاره دارند. متغیر d مربوط به بارندگی روزانه است. و CV نسبت بین انحراف معیار (σ) و میانگین (μ) است. در مرحله بعد، مقادیر تصحیح شده بارندگی (X^*) با استفاده از معادله زیر به دست می‌آید:

$$X^{*}_{sim,m}(d) = X^{b_m}_{sim}(d) \times \frac{\mu_m(X_{obs}(d))}{\mu_m(X^{b_m}_{sim}(d))} \quad (۱۳)$$

معیارهای ارزیابی

پس از بررسی نرمال بودن فراسنجه‌ها، برای ارزیابی هر روش تصحیح اریبی آماره‌های خطای ریشه میانگین مربع[1] (RMSE)، کارایی نش-ساتکلیف[2] (NSE)، ضریب همبستگی[3] (r) و آزمون t استیودنت در دوره تاریخی (۲۰۱۴-۱۹۹۰) محاسبه شدند. این شاخص‌های عملکرد به‌طور گسترده توسط بسیاری از پژوهش‌گران استفاده می‌شود (۱۶،۲۰). دامنه‌ی تغییرات RMSE از ۰ تا ∞+ متغیر است و برای بررسی دقت مقادیر شبیه‌سازی شده در مقایسه با مقادیر مشاهده شده استفاده می‌شود. مقدار RMSE نزدیک به ۰ نشان دهنده دقت برآورد بالاتر است. ضریب همبستگی، قدرت رابطه خطی بین داده‌ی شبیه‌سازی شده و مقادیر مشاهده شده را نشان می‌دهد. مقدار r از ۱- تا ۱ متغیر است و مقدار ۱، همبستگی مثبت و کامل را نشان می‌دهد. مقادیر NSE از ∞- تا ۱ متغیر است. مدلی که به‌طور کامل شبیه‌سازی می‌شود مقدار NSE برابر با ۱ می‌دهد. مقدار NSE کمتر از صفر (NSE<0) نشان می‌دهد که شبیه‌سازی‌ها دقت چندانی ندارند.

1- Root mean square error 2- Nash Sutcliffeefficiency 3 - Correlation coefficient

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.7.4]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.75]

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در مطالعه

Table 1. Details of stations used in the study

نام ایستگاه Station Name	نوع ایستگاه Station Type	ارتفاع جغرافیایی (متر) Altitude (m)	طول جغرافیایی (درجه) Longitude (°)	عرض جغرافیایی (درجه) Latitude (°)	سال تأسیس Establishment Year
کوشک‌آباد Koshkabad	باران‌سنجی Rain Gauge	1684	48.55	35.01	1353
فرودگاه Airport	همدیدی Synoptic	1740	48.53	34.86	1354
بهار Bahar	باران‌سنجی Rain Gauge	1770	48.43	34.88	1340
شورین Sheverin	باران‌سنجی Rain Gauge	1830	48.56	34.8	1353
مریانج Marianaj	باران‌سنجی Rain Gauge	1841	48.45	34.82	1353
آق‌کهریز Aghkahriz	باران‌سنجی Rain Gauge	1844	48.33	34.99	1377
سد اکباتان Ekbatan Dam	باران‌سنجی Rain Gauge	1940	48.6	34.75	1358
گنبد Gonbad	باران‌سنجی Rain Gauge	2050	48.75	34.68	13453

جدول ۲- مشخصات GCMهای مورد استفاده

Table 2. Detailed description of GCMs used in this study

نام مدل Model name	نام مؤسسه/کشور Institution/Country	قدرت تفکیک مکانی Resolution
CMCC-ESM2	Euro-Mediterranean Centre on Climate Change coupled climate model, Italy	0.94 ×1.25°
NOR-ESM2-MM	Norwegian Climate Center, Norway	0.94 ×1.25°
MIROC6	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Kanagawa, Japan	1.40 ×1.40°

نتایج و بحث

ارزیابی روش‌های تصحیح اریبی

در این مطالعه نخست عملکرد روش‌های تصحیح اریبی در میانگین برونداد مدل‌های اقلیمی دوره تاریخی (۲۰۱۴-۱۹۹۰)، با استفاده از آماره‌های ارزیابی نام‌برده در بالا بررسی شد. نتایج مربوط به عملکرد این روش‌ها در تصحیح داده‌های دمای بیشینه و کمینه در ایستگاه همدیدی موجود در منطقه در جدول ۳ و نتایج مربوط به عملکرد هر روش در تصحیح اریبی داده‌های میانگین بارش کل ایستگاه‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۳- میانگین آماره‌های ارزیابی عملکرد روش‌های تصحیح اریبی بر برونداد سه مدل اقلیمی برای فراسنجه دمای بیشینه و کمینه در منطقه مطالعاتی همدان- بهار

Table 3. The average of performance statistics of bias correction methods for three GCMs for maximum and minim temperature in Hamedan-Bahar study area

روش تصحیح اریبی Bias correction method	RMSE		NSE		r		p-value	
	دمای بیشینه Tmax	دمای کمینه Tmin	دمای بیشینه Tmax	دمای کمینه Tmin	دمای بیشینه Tmax	دمای کمینه Tmin	دمای بیشینه Tmax	دمای کمینه Tmin
نگاشت توزیع Distribution Mapping	3.24	3.21	0.92	0.84	0.95	0.91	0.74	0.71
مقیاس‌دهی خطی Linear Scaling	4.85	4.66	0.82	0.66	0.91	0.82	0.73	0.81
مقیاس‌دهی واریانس Variance Scaling	7.75	6.93	0.57	0.45	0.77	0.68	0.04	0.01

جدول ۴- میانگین آماره‌های ارزیابی عملکرد روش‌های تصحیح اریبی بر برونداد سه مدل اقلیمی برای فراسنجه بارش در منطقه مطالعاتی همدان- بهار

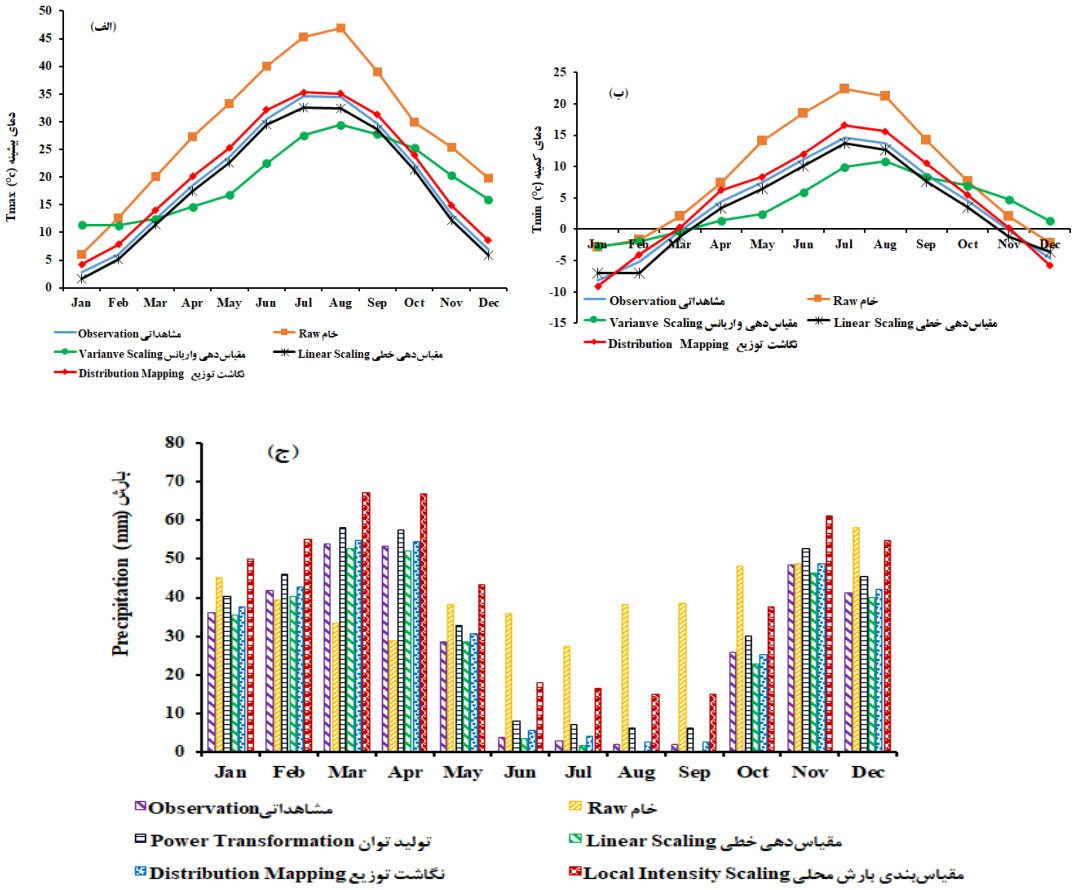
Table 4. The average of performance statistics of bias correction methods for 3 GCMs for precipitation in Hamedan Bahar study area

روش تصحیح اریبی Bias correction method	RMSE	NSE	R	p-value
مقیاس‌دهی خطی Linear Scaling	3.85	0.6	0.81	0.98
نگاشت توزیع Distribution Mapping	4.16	0.54	0.85	0.49
تبدیل توان Power Transportation	8.25	0.46	0.62	0.03
مقیاس‌دهی شدت بارش محلی Local Intensity Scaling of Precipitation	7.07	0.43	0.57	0.02

شکل ۲ نتایج میانگین ماهانه تصحیح شده همه فراسنجه مورد بررسی را در دوره تاریخی در مقابل میانگین ماهانه داده‌های مشاهداتی و خام نشان می‌دهد. براساس یافته‌ها (جدول‌های ۳ و ۴)، کمترین مقدار RMSE برای فراسنجه‌های دمای بیشینه و کمینه (۳/۲ و ۳/۲) مربوط به روش نگاشت توزیع و برای بارش (۳/۸۵)، مربوط به روش

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.7.4]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.75]

مقیاس‌دهی خطی بود. در مورد هر سه فراسنجه مورد بررسی مقدار آماره NSE در روش‌های نگاشت توزیع و مقیاس‌دهی خطی بالاتر از ۰/۵ بود که حاکی از رضایت‌بخش بودن عملکرد این روش‌ها است (موریاسینی و همکاران، ۲۰۰۷). ضریب هبستگی در فراسنجه‌های دمای بیشینه و کمینه بیشترین مقدار را روش نگاشت توزیع (۰/۹۵ و ۰/۹۱) و کمترین مقدار را روش مقیاس‌دهی واریانس (۰/۷۷ و ۰/۶۷) به خود اختصاص داد. همچنین این آماره برای بارش در روش نگاشت توزیع بیشترین (۰/۸۵) و در روش مقیاس‌دهی شدت بارش محلی کمترین مقدار (۰/۵۷) را دارد. مقادیر p-value در آزمون t استیودنت، نشان می‌دهد که استفاده از روش مقیاس‌دهی واریانس برای تصحیح اریبی فراسنجه‌های دمای بیشینه و کمینه و روش‌های تبدیل توان و مقیاس‌دهی شدت بارش محلی در تصحیح داده‌های بارش تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی ایجاد نکرده است (p-value> ۰/۰۵) (جدول ۴). با توجه به آماره‌های مورد استفاده، دو روش نگاشت توزیع و مقیاس‌دهی خطی به عنوان روش‌های برتر انتخاب شدند و میانگین داده‌های تصحیح شده توسط این دو روش برای پیش‌نگری فراسنجه‌های بارش و دمای کمینه و بیشنه در دوره‌ی ۲۵ ساله آینده (۲۰۷۵-۲۰۵۱) تحت دو سناریوی میانه (SSP2-4.5) و بدبینانه (SSP5-8.5) مورد استفاده قرار گرفتند (شکل‌های ۳ تا ۵). روش مقیاس‌بندی خطی قادر است میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی را تنظیم کند اما در تنظیم انحراف معیار، فراوانی و شدت دما تأثیری ندارد. از طرفی، روش نگاشت توزیع قابلیت تنظیم میانگین، انحراف معیار، فرکانس و شدت داده‌های بارش و دما را دارد، در نتیجه ترکیب این دو روش می‌تواند نقاط ضعف هر یک از روش‌ها را برطرف نماید.



شکل ۲- مقایسه روش‌های مختلف تصحیح اریبی با داده‌های مشاهداتی و داده‌های خام برای فراسنجه‌های (الف): دمای بیشینه، (ب): دمای کمینه و (ج): بارش

Figure 2. Comparison of different bias correction methods with observational data and raw data for (a): maximum temperature, (b): minimum temperature and (c): precipitation.

پیش‌نگری دما و بارش آینده

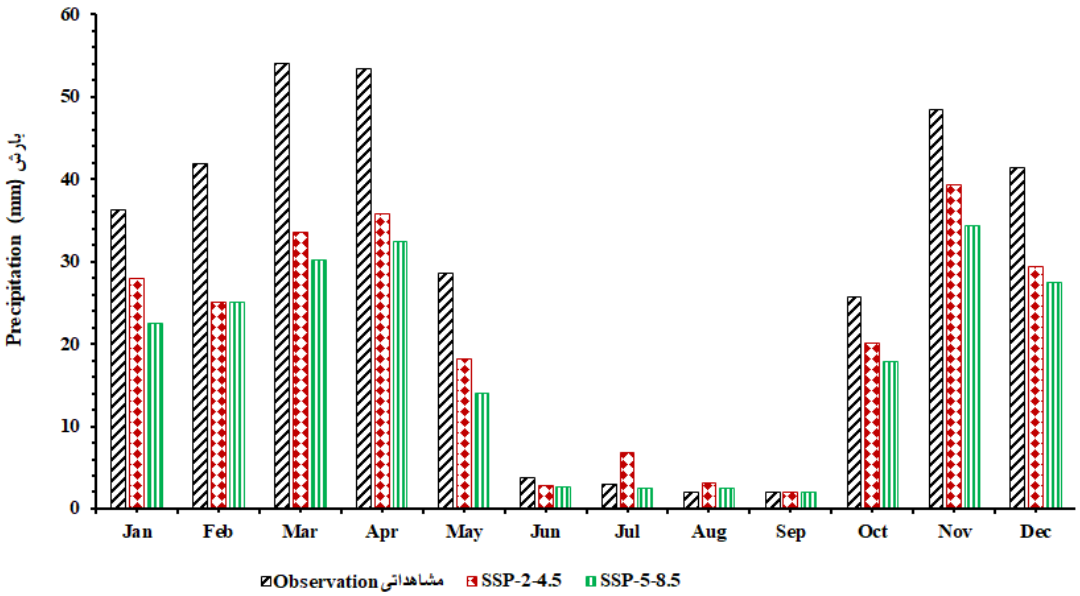
میانگین برونداد سه مدل اقلیمی پس از تصحیح اریبی با استفاده از ترکیب روش‌های نگاشت توزیع و مقیاس‌بندی خطی برای پیش‌نگری فراسنجه‌های بارش و دمای کمینه و بیشینه در طول دوره‌ی آینده (۲۰۷۵-۲۰۵۱) به کار رفت. بارندگی و دمای پیش‌نگری شده تحت دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 با داده‌های مشاهداتی مقایسه شدند (شکل‌های ۳، ۴ و ۵). براساس یافته‌ها، میانگین بارش سالانه

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.7.4]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.75]

در منطقه مطالعاتی در آینده تحت دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به‌ترتیب به مقدار ۲۸ و ۳۷ درصد کاهش خواهد یافت. تحت سناریوی SSP2-4.5، بارش در همه ماه‌های سال به غیر از جولای، آگوست و سپتامبر کاهش خواهد یافت، و تحت سناریوی SSP5-8.5، به غیر از ماه آگوست که به مقدار ناچیزی (۰/۵ میلی‌متر) افزایش را نشان می‌دهد، همه ماه‌ها کاهش بارش را تجربه خواهند کرد. تحت سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 بیشترین کاهش بارش به‌ترتیب به مقدار ۳۷ و ۴۴ درصد در ماه مارس ثبت شد. همچنین بیشترین کاهش فصلی بارش به‌ترتیب در فصل بهار تحت سناریوهای SSP5-8.5 و به مقدار ۱۹/۷۵ میلی‌متر برآورد شد.

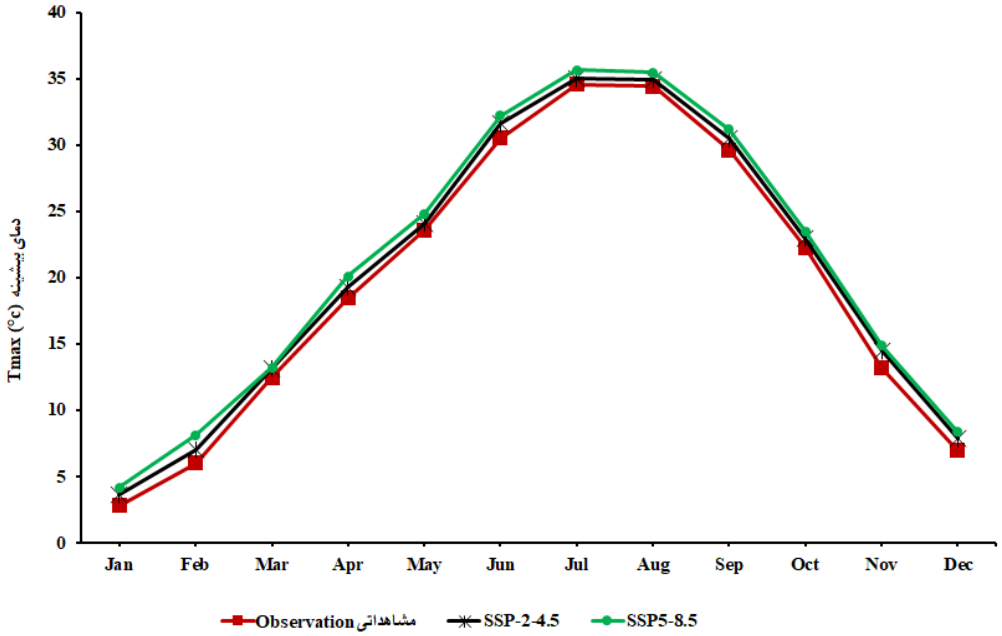
براساس یافته‌ها، میانگین دمای بیشینه و کمینه‌ی سالانه در این منطقه مطالعاتی در آینده تحت دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به‌ترتیب به مقدار ۰/۷ و ۱/۴ و ۰/۹ و ۱/۵ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. دو فراسنجه دمای مورد بررسی تحت هر دو سناریو در همه ماه‌های سال روند افزایشی خواهند داشت. بیشترین افزایش دمای بیشینه (۲/۱ °C) در ماه فوریه و دمای کمینه در ماه مارس (۱/۹ °C) تحت سناریوی SSP5-8.5 رخ خواهد داد. کمترین افزایش دمای بیشینه و کمینه به‌ترتیب در ماه‌های جولای و سپتامبر به مقدار ۰/۴ °C تحت سناریوی SSP2-4.5 ثبت شد. همچنین بیشترین افزایش فصلی دمای بیشینه در فصل زمستان تحت سناریوی SSP5-8.5 به مقدار ۱/۶ °C رخ می‌دهد. در مورد دمای کمینه بیشترین افزایش میانگین دمای فصلی در فصل بهار و تحت سناریوی SSP5-8.5 به مقدار ۱/۷°C رخ می‌دهد.

در این زمینه سانداراام و راداکریشنان (۲۶) در پژوهشی به ارزیابی روش‌های مختلف آماری تصحیح اریبی دمای بیشینه و کمینه شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های گزارش پنجم در منطقه تانجاور پرداختند. بنابر گزارش ایشان اگرچه همه روش‌های تصحیح اریبی، شبیه‌سازی‌های خام مدل‌های اقلیمی را تا حد زیادی بهبود بخشیدند، با این حال، روش نگاشت توزیع به‌دلیل تصحیح میانگین، انحراف معیار و چندک‌ها عملکرد مناسب‌تری را نشان داد. در پژوهش دیگری داس و همکاران (۳) به بررسی چهار روش تصحیح اریبی دما و بارش شبیه‌سازی شده تحت مدل‌های گزارش پنجم در شرق آفریقا پرداختند. بر اساس گزارش ایشان اثربخشی روش نگاشت توزیع در تصحیح ضریب تغییرات و انحراف معیار بارندگی و دما نسبت به روش‌های عامل تغییر دلتا، مقیاس‌دهی واریانس و مقیاس‌دهی شدت بارش محلی و مقیاس‌دهی خطی مناسب‌تر بود. همچنین پژوهش‌های انجام شده توسط سایر پژوهش‌گران در زمینه بررسی اثرات تغییر اقلیم بر فراسنجه‌های دما و بارش با استفاده از سناریوهای گزارش‌های سوم و پنجم نیز کاهش بارش و افزایش دمای سالانه را در منطقه مورد مطالعه نشان داد (۱۷،۲۲).

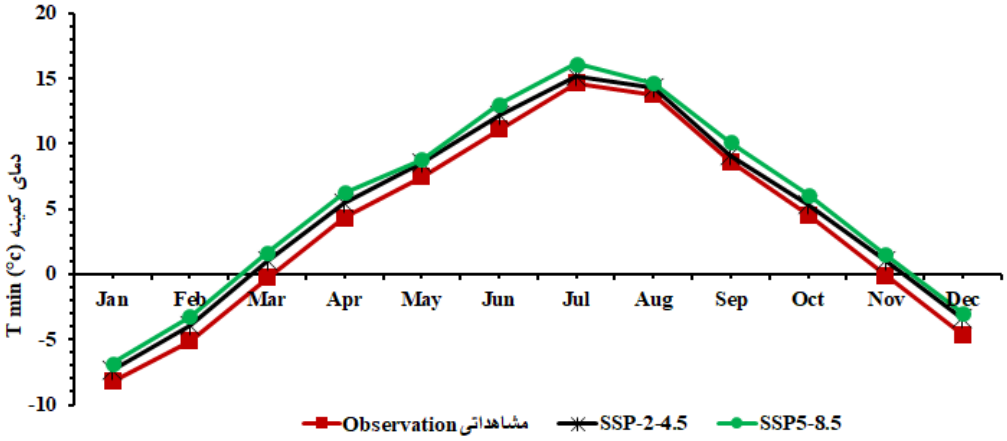


شکل ۳- بارش پیش‌نگری شده تحت سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در طول دوره (۲۰۵۱-۲۰۷۵) در دشت همدان - بهار
Figure 3. The predicted precipitation under the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios during the period (2075-2051) in Hamadan-Bahar Plain

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.7.4]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.75]



شکل ۴- دمای بیشینه پیش‌نگری شده تحت سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در طول دوره (۲۰۵۱-۲۰۷۵) در دشت همدان – بهار
Figure 4. The predicted maximum temperature under the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios during the period (2075-2051) in Hamadan-Bahar Plain



شکل ۵- دمای کمینه پیش‌نگری شده تحت سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در طول دوره (۲۰۵۱-۲۰۷۵) در دشت همدان – بهار
Figure 5. The predicted minimum temperature under SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios during the period (2075-2051) in Hamadan-Bahar Plain

به‌طور کلی اگرچه امروزه مدل‌های پیشرفته آب و هوایی توانایی زیادی در توصیف شرایط اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای دارند، اما همچنان دارای خطا می‌باشند. تصحیح اریبی برای به دست آوردن داده‌های آب و هوایی قابل اعتماد از GCMها ضروری است. با این حال، باید در نظر داشت که همه روش‌های تصحیح اریبی لزوماً توانایی یکسانی ندارند. پرداختن به این موضوع به ویژه در مناطق کوهستانی، بسیار مهم است، زیرا شبیه‌سازی متغیرهای آب و هوایی برای GCMها در این مناطق کاری چالش برانگیز می‌باشد. این مطالعه با هدف مقایسه عملکرد پنج روش تصحیح اریبی و کمّی کردن قابلیت‌های آن‌ها در تصحیح اریبی متغیرهای بارندگی و دمای شبیه‌سازی شده از مجموعه‌ی مدل‌های CMIP6 در منطقه همدان- بهار در غرب کشور انجام شد. تحلیل کلی یافته‌ها نشان داد که در تصحیح اریبی فراسنجه‌های دما و بارش روش‌های مقیاس‌دهی خطی و نگاشت توزیع از عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌های مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه برخوردار بودند. ترکیب این روش‌ها قابلیت تنظیم همزمان میانگین، انحراف معیار،

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.7.4]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.75]

فراوانی و شدت بارش را ایجاد نمود. همچنین پیش‌نگری آینده فراسنجه‌های اقلیمی نشان‌دهنده افزایش دما و کاهش بارش در منطقه است. از آنجایی که کشاورزی بخش مهمی از فعالیت‌های این منطقه را به خود اختصاص می‌دهد افزایش دما و کاهش بارش بر انتخاب محصول، دوره کاشت، وسعت سطح زیرکشت، تناوب زراعی، شیوه‌های مدیریت محصول و تولید کشاورزی تأثیر خواهد داشت. بنابراین، این مطالعه اطلاعات مفیدی را در اختیار برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران منابع آب و کشاورزی قرار می‌دهد تا راهکارهای مناسبی را برای برداشت آب باران، تغذیه سفره‌های زیرزمینی، جنگل‌کاری، تولید ارقام گیاهی مقاوم و تشویق فعالیت‌های کم کربن برای کاهش اثرات آتی تغییرات اقلیمی به کار گیرند.

منابع

1. Abdo, K.S., B.M. Fiseha, T.H. Rientjes, A.S. Gieske and A.T. Haile. 2009. Assessment of climate change impacts on the hydrology of Gilgel Abay catchment in Lake Tana Basin Ethiopia. Hydrological Processes, 23: 3661-3669.
2. Bekele, D., T. Alamirew, A. Kebede, G. Zeleke and A.M. Melesse. 2019. Modeling climate change impact on the hydrology of keleta watershed in the Awash River Basin, Ethiopia. Environmental Modeling & Assessment, 24: 95-107.
3. Das, P., Z. Zhang and H. Ren. 2022. Evaluation of four bias correction methods and random forest model for climate change projection in the Mara River Basin, East Africa. Journal of Water and Climate Change, 13(4): 1900-1919.
4. Dile, Y.T., R. Berndtsson and S.G. Setegn. 2013. Hydrological response to climate change for Gilgel Abay River, in the Lake Tana Basin – upper Blue Nile Basin of Ethiopia. Plos One, 8: 12-17.
5. Donyaii, A., A. Sarraf and H. Ahmadi. 2021. Operation of Golestan Dam Reservoir in Climate Change Conditions Using an Improved Multi-Objective Whale Optimization Algorithm. Journal of Watershed Management Research, 12(23): 238-250 (In Persian).
6. Edwards, P.N. 2011. History of climate modeling. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 2: 128-139.
7. Fang, G.H., J. Yang, Y.N. Chen and C. Zammit. 2015. Comparing bias correction methods in downscaling meteorological variables for a hydrologic impact study in an arid area in China. Hydrology and Earth System Sciences, 19: 2547-2559.
8. Fowler, H.J. S. Blenkinsop and C. Tebaldi. 2007. Linking climate change modelling to impactsstudies: recent advances in downscaling techniques for hydrological. Inernational Journal of Climatology, 27: 1547-1578.
9. Gudmundsson, L., J.B. Bremnes, J.E. Haugen and T. Engen-Skaugen. 2012. Technical note: downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations-A comparison of methods. Hydrology and Earth System Sciences, 16: 3383-3390.
10. Ines, A.V.M. and J.W. Hansen. 2006. Bias correction of daily GCM rainfall for crop simulation studies. Agricultural and Forest Meteorology, 138: 44-53.
11. IPCC 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change
12. Iran Meteorological Organization (IRIMO), 2019. http://www.irimo.ir/.
13. Lenderink, G., A. Buishand and W. Van Deursen. 2007. Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. Hydrology and Earth System Sciences, 11: 1145-1159.
14. Luo, M., T. Liu, F. Meng, Y. Duan, A. Bao, A. Frank and P. De Maeyer. 2019. Spatiotemporal characteristics of future changes in precipitation and temperature in Central Asia. International Journal of Climatology. 39(3): 1571-1588.
15. Maraun, D. 2016. Bias correcting climate change simulations - a critical review. Current Climate Change Reports, 2: 211-220.
16. Mendez, M., B. Maathuis, D. Hein-Griggs and L.F. Alvarado-Gamboa. 2020. Performance evaluation of bias correction methods for climate change monthly precipitation projections over Costa Rica. Water, 12(2): 482. https://doi.org/10.3390/w12020482
17. Moezzi, F., G.R. Yavari, S.H. Mousavi and M. Bagheri. 2020. Assessing the effects of climate change on agriculture in the Hamadan-Bahar plain with emphasis on water productivity and food security. Journal of Economics and Agricultural Development, 34(3): 323-305 (In Persian).
18. Moriasi, D.N., J.G. Arnold, M.W. Van Liew, R.L. Bingner, R.D. Harmel and T.L. Veith. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 50(3): 885-900.
19. Mudbhatkal, A., R.V. Raikar, B. Venkatesh and A. Mahesha. 2017. Impacts of climate change on Varied River-flow regimes of southern India. Journal of Hydrological Engineering, 22: 1-13.
20. Nyunt, C.T., T. Koike and A. Yamamoto. 2016. Statistical bias correction for climate change impact on the basin scale precipitation in Sri Lanka, Philippines. Japan and Tunisia. Hydrology and Earth System Sciences. Discuss, https://doi.org/10.5194/hess-2016-14.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.7.4]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.75]

21. Sachindra, D.A., F. Huang, A. Barton and B.J. Perera. 2014. Statistical downscaling of general circulation model outputs to precipitation-part 2: Bias-correction and future projections. International Journal of Climatology, 34: 3282- 3303.
22. Salami, H., A. Masah Bavani and H.R. Naseri, 2015. Probabilistic prediction of the effects of climate change on the alluvial aquifer of Hamadan-Bahar plain. Water and Irrigation Management, 5(1): 41-27 (In Persian).
23. Schmidli, J. F. Christoph and P.L. Vidale. 2006. Downscaling from GCM precipitation: A benchmark for dynamical and statistical downscaling methods. International Journal of Climatology, 26: 679-689.
24. Shrestha, M. 2017. Bias correction of climate models for hydrological modelling – are simple methods still useful? Meteorological Application, 24: 531-539.
25. Smitha, P.S., B. Narasimhan, K.P. Sudheer and H. Annamalai. 2018. An improved bias correction method of daily rainfall data using a sliding window technique forclimate change impactassessment. Journal of Hydrology, 556: 100-118.
26. Sundaram, G. and S. Radhakrishnan. 2022. Assessment of various bias correction methods and future projection of minimum and maximum temperatures using regional climate model over Thanjavur district. Arabian Journal of Geosciences, 15:1162. https://doi.org/10.1007/s12517-022-10403-z
27. Teutschbein, C. and J. Seibert. 2012. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: review and evaluation of different methods. Journal of Hydrology, 456-457: 12- 29.
28. Themeßl, M.J., A. Gobiet and G. Heinrich. 2012. Empirical-statistical downscaling and error correction of regional climate models and its impact on the climate change signal. Climatic Change, 112: 449-468.
29. Wilby, R.L. and T.M. Wigley. 1997. Downscaling general circulation model output: are view of methods and limitations methods and limitations. Progress in Physical Geography, 21: 530-548.
30. Worku, G., E. Teferi, A. Bantider and Y.T. Dile. 2018. Observed changes in extremes of daily rainfall and temperature in Jemma Sub-Basin, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. Dynamics of Atmospheres and Oceans, 135: 839- 854.
31. Zabardast Rostami, H., M. Raeini Sarjaz and M.A. Gholami Sefidkouhi. 2021. Assessment of Climate Change Effects on River Flow of Gelevard Dam Basin. Journal of Watershed Management Research, 12(24): 205-216 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.7.4]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.75]

Combining Bias Correction Methods for Simulated Temperature and Precipitation by CMIP6 Models in Hamedan-Bahar Plain

Farnaz ErshadFath[1], Ali Shahnazari[2], Mahmoud Raeini Sarjaz[3] and Jorgen Eivind Olesen[4]

1- Student in Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Sari University of Agriculture and Natural Sciences, Sari, Iran
2- Professor, Department of Water Engineering, Sari University of Agriculture and Natural Sciences, Sari, Iran, (Corresponding author: aliponh@yahoo.com)
3- Professor, Department of Water Engineering, Sari University of Agriculture and Natural Sciences, Sari, Iran
4- Professor, Department of Agroecology, Aarhus University, Viborg, Denmark
Received: 11 Agusut, 2022 Accepted: 28 September, 2022

Extended Abstract

Introduction and Objective: Applying the raw data of regional climate models in assessing the impact of climate change is not advisable due to possible biases. Therefore, correcting the bias of these data is necessary before using them for climate scenarios of the future. The aim of this study is to evaluate the performance and introduce the best combination of bias correction methods for precipitation and minimum and maximum temperature simulated by three CMIP6 climate models.

Material and Methods: Five bias correction methods including linear scaling, variance scaling, local intensity scaling, power transformation and distribution mapping were investigated using root mean square error (RMSE), Nash-Sutcliffe efficiency (NSE), correlation coefficient (r) and Student's t test for the historical period (1990-2014). Afterward, the combination of the best bias correction methods was used to project precipitation and temperature under SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios in the future period (2051-2075).

Results: Based on the results, three methods of variance scaling, local intensity scaling and power transformation for correcting the bias of the investigated data had weaker performances compared to the other methods. Two methods of linear scaling and distribution mapping had the lowest RMSE and highest r and NSE. Projecting the future climate using the combination of these two selected methods showed that the average annual precipitation in the Hamedan-Bahar region will decrease by 28 and 37 percent under scenarios of SSP2-4.5 and SSP5-8.5, respectively. Furthermore, the annual average of the maximum and minimum temperature will increase by 0.7, 0.9 under scenarios of SSP2-4.5 and 1.4 and 1.5 °C, under scenarios of SSP5-8.5, respectively. In addition, the highest seasonal decrease in precipitation (19.8 mm) compared to the baseline period will occur in the spring under the SSP5-8.5 scenario. Moreover, the highest seasonal increase of maximum and minimum temperature compared to the baseline period was projected in winter (1.6°C) and spring (1.7°C), respectively, under the SSP5-8.5 scenario.

Conclusion: Two methods of linear scaling and distribution mapping are suitable for reducing the bias of the CMIP6 models in the Hamedan-Bahar plain. Also, considering the projected increase in temperature and decrease in precipitation in this region, this study can provide useful information for policy-makers of water resources and agriculture to decide about the rainwater harvesting, recharging of aquifers, crop selection, cultivating period, crop rotation and management methods to reduce the impact of future climate change.

Keywords: Bias correction, CMIP6, Climate change, Distribution mapping, Linear scaling, SSPs scenarios

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.7.4]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.75]