نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هشتم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰

صفحات ۱۷ – ۳۲

بررسی تغییرات دما و بارش حوضه‌ی سیمره با استفاده از مدل‌های اقلیمی سری CMIP۵

سعید جهانبخش اصل؛ استاد گروه آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

علی‌محمد خورشیددوست؛ استاد گروه آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

محمدحسین عالی نژاد[1]؛ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

دریافت مقاله : ۱۳۹۸/۱۲/۰۲ پذیرش نهایی:۱۳۹۹/۰۶/۰۷

چکیده

دو پارامتر مهمی که در اقلیم هر منطقه بلاواسطه تاثیرگذار می‌باشند، دما و بارش می‌باشند که تغییرات آن‌ها در زمینه‌های مختلف از جمله کشاورزی، انرژی، گردشگری و ... تاثیرگذار است. هدف این مطالعه بررسی تغییرات دما و بارش در سه ایستگاه منتخب و شاخص حوضه آبریز سیمره می‌باشد. برای این منظور از مدل‌ها و سناریوهای گردش عمومی جو از سری مدل‌های CMIP۵ تحت دو سناریوی RCP۴۵ و RCP۸۵ که با مدل آماری LARS-WG ریزمقیاس شدند، استفاده شد. سپس برای بررسی عدم قطعیت مدل‌ها و سناریوها، از طریق مقایسه خروجی مدل‌ها در دوره آتی (۲۰۲۱–۲۰۴۰)، با دوره پایه (۲۰۱۰–۱۹۸۰)، به‌صورت ماهیانه توسط شاخص‌های آماری ضریب تعیین (R^2) و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)، بهترین مدل و سناریو برای تولید داده‌های دما و بارش دوره آتی انتخاب شد. در نتیجه برای تولید پارامتر دمای حداقل و حداکثر از مدل HADGEM-۲ تحت سناریوی PRC۴٫۵ و برای تولید پارامتر بارش از همان مدل تحت سناریوی PRC ۸٫۵ استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که بارش دوره آتی به طور متوسط در سطح حوضه حدود ۴/۵ ٪ کاهش خواهد یافت در حالی که دمای حداقل ۱/۵ درجه سانتیگراد و دمای حداکثر ۲/۱۷ درجه سانتیگراد افزایش خواهد یافت که بیشترین افزایش مربوط به ماه‌های گرم سال می‌باشد. نکته قابل توجه بر هم خوردن توزیع زمانی بارش و افزایش دما است که احتمالاً بیشتر از کاهش بارش تبعات منفی خواهد داشت.

واژه های کلیدی: تغییراقلیم، سناریوهای اقلیمی، عدم قطعیت، LARS-WG، سیمره.

[1] . نویسنده مسئول: Email: Aalineghad۶۳@yahoo.com

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.17]

مقدمه

مهمترین خصوصیت تغییر اقلیم در سطح جهان، افزایش معنادار دما و برهم خوردن توزیع زمانی بارش است که فاکتورهای محدود کننده‌ای برای توسعه پایدار هستند (Dang and Chen, ۲۰۱۸). گزارش‌های هیئت بین‌دولتی تغییرات آب و هوایی۱ (IPCC ۲۰۰۷, ۲۰۱۳)، حاکی از آن است که تغییرات اقلیمی که در سراسر جهان مشاهده می‌شوند، به احتمال خیلی زیاد ناشی از عوامل انسانی است. از بین متغییرهای هواشناسی دما و بارش دو متغیر مهم در تعیین آب و هوای یک منطقه می‌باشند و تغییرات آن‌ها نیز در سیستم‌های مختلف به طور مستقیم و غیرمستقیم تأثیرگذار هستند(جهانبخش و همکاران، ۱۳۹۸). حوضه سیمره به عنوان یکی از مهمترین زیرحوضه‌های کرخه محسوب می‌شود. هدف از این مطالعه تجزیه و تحلیل تأثیر تغییراقلیم بر روی بارش و دمای حوضه سیمره در افق ۲۰۳۰(۲۰۲۱-۲۰۴۰) می‌باشد. مطالعات در زمینه تغییر اقلیم عمدتاً روی این دو متغیر بارش و دما صورت گرفته است. چیو و همکاران (Chiew et al, ۱۹۹۵)، به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر روی رواناب و رطوبت خاک در ۲۸ حوضه از کشور استرالیا پرداختند. سمنوف و همکاران (Semenov et al, ۱۹۹۸)، عملکرد دو مولد[۲] معروف LARS-WG و WGEN را در ۱۸ ایستگاه واقع در ایالات متحده آمریکا، اروپا و آسیا مورد مقایسه قرار داده و عنوان کردند که مولد LARS-WG از عملکرد مناسب‌تری برخوردار است. کریستنسن و همکاران (Chiristians et al, ۲۰۰٤)، در مطالعه‌ای بر روی حوضه رودخانه کلرادو اثر تغییر اقلیم را بر روی دما، بارش و رواناب رودخانه در دوره پایه و سه دوره آتی بررسی نمودند. مینویل و همکاران (Minville et al, ۲۰۰۸)، با هدف بررسی عدم قطعیت در تأثیرات تغییر اقلیم در آب شناسی، بر روی حوضه‌ای در کبک کانادا از ۵ مدل گردش عمومی جو (GCM[۳]) و دو سناریوی تغییر اقلیم استفاده کردند. دارن و همکاران (Daren et al, ۲۰۱۳) اثرات تغییر اقلیم را بر حوضه دریاچه مونو در کالیفرنیا با استفاده از ۱۶ مدل جهانی گردش عمومی جو (GCMS) و با استفاده از دو سناریوی B_1 و A_2 بررسی کردند. ایشیدا (Ishida, ۲۰۱۷)، به بررسی اثرات تغییراقلیم در منطقه کالیفرنیای شمالی بر اساس برونداد مدل‌های MIROC[۵]، HadGEM۲-ES و CCSM٤ و سناریوهای RCP٤،٥ و RCP٨،٥ از سری سناریوهای واداشت تابشی چرداختند. نتایج آنها نشان از کاهش بارش در دوره آتی بود. مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رودخانه زاینده‌رود اصفهان پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان از کاهش بارندگی و افزایش دما برای اواسط و اواخر قرن داشت. بابائیان و همکاران (۱۳۸۸)، به ارزیابی تغییر اقلیم کشور با استفاده از ریز مقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G در دوره (۲۰۳۹-۲۰۱۰) پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها که بر روی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور انجام شد کاهش ۹ درصدی بارش در کل کشور، افزایش آستانه بارش‌های سنگین و خیلی سنگین به ترتیب ۱۳ و ۳۹ درصد و افزایش میانگین سالانه ۰/۵ درجه‌ای دما را پیش بینی کرد. ثانی‌خانی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی تأثیر تغییراقلیم را بر روی رواناب حوضه آجی‌چای در آذربایجان شرقی با استفاده از داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو (GCMS) و ریز مقیاس نمایی آن توسط مدل LARS-WG پرداختند. بابائیان و همکاران (۱۳۹۵) کارایی روش‌های پس‌پردازش آماری در بهبود پیش‌بینی ماهانه بارش مدل MRI-CGCM۳ را بررسی کردند. نتایج نشان داد که اعمال پس پردازش آماری بر روی برونداد مستقیم مدل موجب بهبود پیش بینی بارش ماهانه می شود. سلطانی محمدی و همکاران(۱۳۹۸)، در

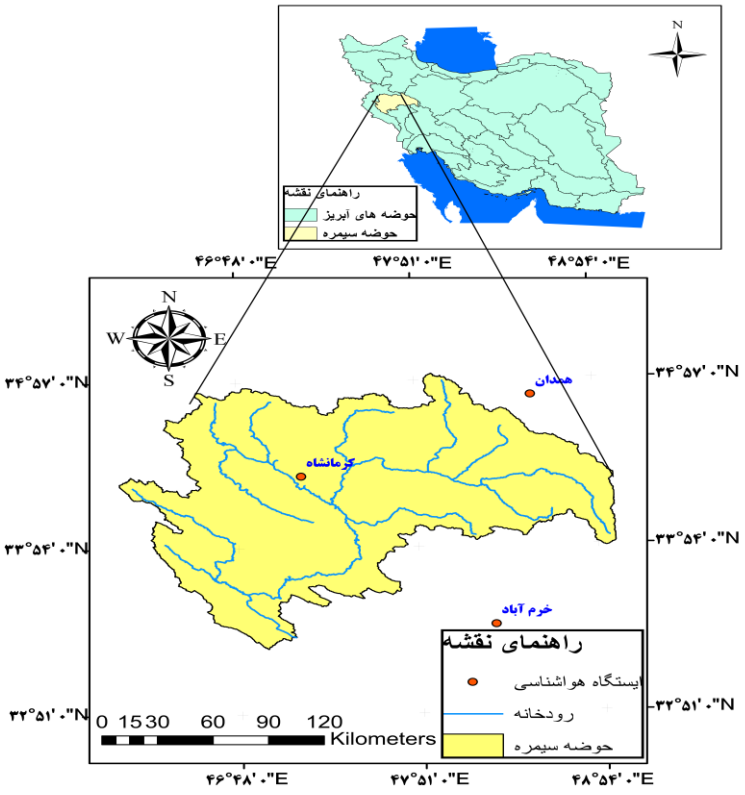
۱- Intergovernmental Panel of Climate Change
٤- Generator
۷- General Circulation Mode

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.17]

مطالعه‌ای به مقایسه تاثیر تغییراقلیم بر دما و بارش استان اصفهان بر اساس گزارشهای چهارم و پنجم IPCC پرداختند. نتایج حاکی از دقت بالاتر مدل‌های گزارش پنجم در مقایسه با گزارش چهارم بود.

داده‌ها و روش کار

حوضه آبریز سیمره بزرگترین و مهم‌ترین زیرحوضه‌ی کرخه است که بخش‌هایی از استان‌های کرمانشاه، لرستان و ایلام را در بر می‌گیرد. طول بزرگترین رودخانه در سطح حوضه تا محل سد مخزنی سیمره حدود ۴۷۵ کیلومتر، و مساحت حوضه ۲۶۷۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد. مختصات جغرافیایی حوضه از ″۳ ′۱۶ °۳۳ تا ″۲۹ ′۵۹ °۳۴ عرض شمالی و ″۹ ′۶ °۴۶ تا ″۵ ′۰ °۴۹ طول شرقی، حداقل ارتفاع حوضه ۶۹۸ متر در محل خروجی سد و حداکثر ارتفاع آن ۳۶۳۸ متر در ارتفاعات غربی بروجرد می‌باشد. شکل ۱ موقعیت حوضه ابریز سیمره در میان حوضه‌های آبریز کشور را نشان می‌دهد. اطلاعات مورد استفاده در این مطالعه از اداره کل هواشناسی کشور دریافت شد. برای این مطالعه از سه ایستگاه سینوپتیک که دارای بیشترین دوره آماری بود و پراکندگی مناسبی در سطح حوضه داشتند، استفاده شد.. در جدول ۱ مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مذکور ارائه شده است.



شکل ۱. موقعیت حوضه سیمره در میان حوضه‌های آبریز کشور.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.17]

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه.

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی		عرض جغرافیایی		ارتفاع (متر)
		دقیقه	درجه	دقیقه	درجه	
کرمانشاه	سینوپتیک	۲۸	۳۴	۱۲	۴۷	۱۳۲۲
همدان	سینوپتیک	۵۱	۳۴	۳۲	۴۸	۱۷۴۰
خرم‌آباد	سینوپتیک	۲۶	۳۳	۱۷	۴۸	۱۱۵۵

- **مدل ریز مقیاس نمایی LARS-WG**

مدل ریز مقیاس نمایی LARS-WG توسط راسکو و همکاران (Racsko et al, ۱۹۹۱) و سیمنوف و بارو (Semenov and Barrow, ۱۹۹۷) ارائه گردید.. LARS-WG یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هواست که برای تولید مقادیر بارش، تابش، درجه حرارت‌های حداکثر و حداقل روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط آب و هوای پایه و آینده به کار می‌رود (بابائیان و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۳۸).

در این مطالعه از مدل مذکور برای تولید داده‌های بارش و دمای حوضه سیمره در دوره آتی (۲۰۴۰-۲۰۲۱) استفاده شده است. شرح بیشتر این مدل در منابع بابائیان و کوان (Babaeian and Kwon, ۲۰۰٤) و همچنین سمنوف و همکاران (Semenov et al, ۱۹۹۸) بطور کامل ارائه شده است.

- **انتخاب بهترین مدل GCM برای منطقه مورد مطالعه**

مدل‌های GCM ارائه شده در سری CMIP۵ در مقایسه با سری CMIP۳ از کیفیت مکانی بالاتری برخوردار هستند (Marengo et al, ۲۰۱٤). لذا در این پژوهش ۵ مدل GCM ارائه شده گزارش پنجم که توانایی مناسبی در پیش‌بینی پارامترهای دما و بارش را دارند انتخاب و ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌ها توسط مدل LARS-WG انجام شد(سمنوف و همکاران، ۲۰۱۳: ۲) و چون در این مطالعه از تأثیر منابع عدم قطعیت شده است لذا ابتدا از میان مدل‌ها تعداد پنج مورد انتخاب شد.

جدول۲. مشخصات مدل‌های به کاررفته در این مطالعه (Semenov and Stratonovitch. ۲۰۱۵, ۱۲۷).

ردیف	نام مدل	کشور سازنده	تفکیک مکانی (درجه)	منبع
۱	EC-EARTH	اروپا	۱/۱۲۵*۱/۱۲۵	Hazelger et al.(۲۰۱۲)
۲	GFDL-CM۳	آمریکا	۲/۵*۲/۷۵	Taylor et al. ۲۰۱۱
۳	HADGEM۲-ES	انگلستان	۱/۸۸*۱/۲۵	Collins et al. (۲۰۱۱)
۴	MIROC۵	ژاپن	۲/۷۷*۲/۸۱	Watanabe et al. (۲۰۱۱)
۵	MPI-ESM-MR	آلمان	۱/۸۵*۱/۸۸	Brovkin et al. (۲۰۱۳)

برای انتخاب بهترین مدل GCM از مدل‌های ذکر شده ابتدا داده‌های دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعات آفتابی بصورت روزانه در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) به مدل وارد شد و برای ۵ مدل مذکور و تحت دو سناریوی RCP٤۵ و RCP۸۵ برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ داده تولید شد. داده‌های تولید شده در ۱۰۰ سری تصادفی بوده و

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.17]

میانگین متغیرهای مورد نیاز (دمای حداقل، دمای حداکثر و بارندگی) به صورت ماهانه در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ استخراج شد. سپس به منظور بررسی عملکرد مدل‌ها و مقایسه نتایج، از معیارهای خطای جذر میانگین مربعات (RMSE[۱]) و ضریب تعیین (R^2) استفاده شد. روابط زیر نحوه محاسبه این معیارها را نشان دهند.

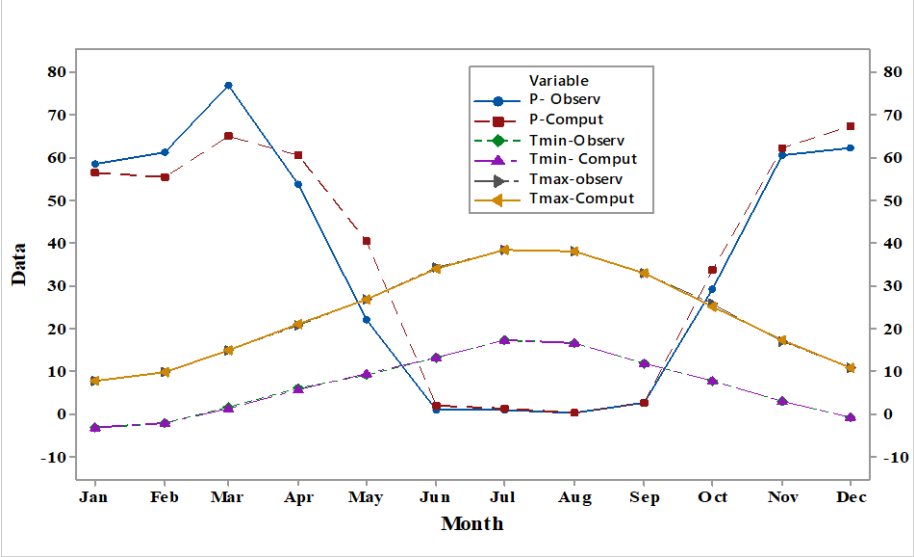
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_i^n (P_i - Q_i)^2}{n}} \qquad (۴)$$

$$R^2 = \left[\frac{\frac{1}{n}\sum_1^n (P_i - \overline{P_1})(Q_i - \overline{Q_1})}{\sigma P_i * \sigma Q_i}\right]^2 \qquad (۵)$$

که در این معادله Pi: داده‌های دوره مشاهداتی، $\overline{P_1}$: میانگین داده‌های دوره مشاهداتی، Oi: داده‌های تولید شده برای دوره آتی، $\overline{Q_1}$: میانگین داده‌های تولید شده برای دوره آتی، n: تعداد داده‌ها و σ : انحراف معیار داده‌ها است.

شرح و تفسیر نتایج

برای اطمینان از توانایی مدل در تولید داده در دوره آتی باید داده‌های محاسباتی توسط مدل و داده‌های مشاهداتی در ایستگاه‌های مورد مطالعه با هم مقایسه شوند.. شکل ۲ نتایج مقایسه داده‌های محاسباتی و مشاهداتی دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و تابش را در ایستگاه های سینوپتیک کرمانشاه برای دوره پایه نشان می‌دهد. بر اساس این شکل توانمندی مدل LARS-WG در مدل‌سازی پارامترهای ذکر شده در این ایستگاه کاملاً با داده‌های دیدبانی شده مطابقت دارد. همچنین توانمندی مدل در مدل‌سازی بارش بسیار خوب و قابل قبول می‌باشد، با این وجود بیشترین خطای مدل‌سازی مربوط به بارش ماه مارس است. نتایج این مدل روی ایستگاه‌های دیگر نیز همانند ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه کاملا منطبق بر داده‌های دیده‌بانی بود(شکل ۲ جهت نمونه در اینجا آورده شده است).



شکل ۲. مقایسه داده‌های مشاهداتی (O) و محاسباتی (G) در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه در دوره پایه.

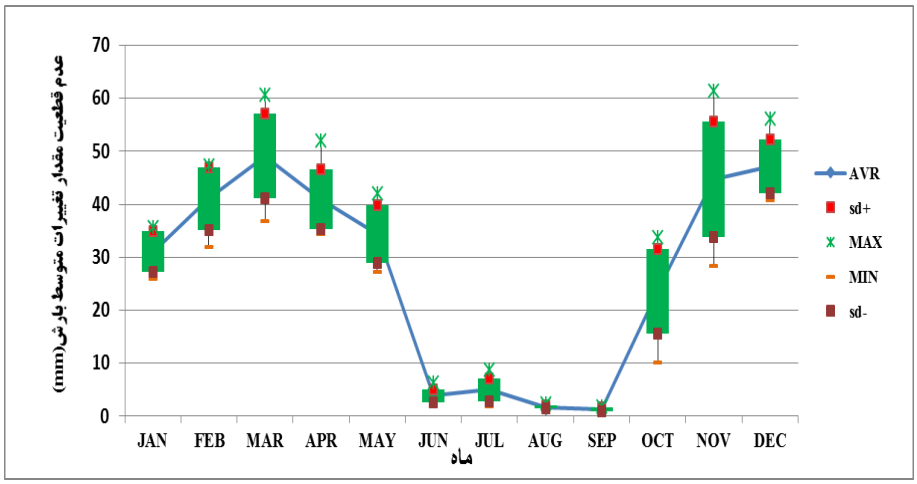
۱- Root Mean Square Error

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.17]

- **بررسی محدوده عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو**

استفاده از چندین مدل گردش عمومی جو برای تأکید بر عدم قطعیت در پیش‌بینی آب و هوا، به علت تفاوت‌های ساختاری در مدل‌های جهانی آب و هوا و همچنین عدم اطمینان در تغییرات شرایط اولیه مدل‌ها می‌باشد(سمنوف و همکاران، ۲۰۱۰: ۱). برای بررسی محدوده عدم قطعیت مدل‌ها ابتدا خروجی مدل‌ها در متغیرهای بارش، دمای حداقل و حداکثر به صورت میانگین ماهانه تولید شد. سپس اختلاف متغیرهای مذکور برای هر مدل با میانگین دوره پایه محاسبه و تغییرات آنها بصورت نمودار جعبه‌ای[۱] ترسیم گردید. شکل‌های ۳ الی ۵ محدوده عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو برای تغییرات متغیرهای بارش ایستگاه‌های همدان، خرم‌آباد و کرمانشاه را نشان می‌دهند. در این نمودارها حداقل، چارک اول، میانگین، چارک سوم و حداکثر تغییرات متغیربارش ایستگاه‌های مذکور ترسیم شده‌اند. همان‌طور که از این نمودارها مشهود است، میزان تغییرات متغیر بارش زیاد است. شکل ۳ نشان می‌دهد که تمامی مدل‌ها بارش ماه‌های ژانویه، مارس و آوریل را با کاهش پیش‌بینی کرده‌اند. بیشترین تغییرات مربوط به بارش ماه می و کمترین آن مربوط به ماه اوت است. درایستگاه خرم‌آباد نیز بیشترین تغییرات مربوز به ماه‌های مارس و نوامبر است در صورتیکه تغییرات بارش ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر در ایستگاه کرمانشاه از سایر ماه‌ها بیشتر می‌باشد. به طور کلی با نگاهی به اشکال ۳ الی ۵ می‌توان دریافت که تقریبا تمامی مدل‌ها برای ماه‌های سرد سال که عمده بارش را دریافت میکنند، کاهش را پیش‌بینی کرده‌اند ولی محدوده عدم قطعیت آنها زیاد است. در مورد متغیرهای دمای حداقل و حداکثر تمامی مدل‌ها با افزایش پیش‌بینی کرده‌اند. میزان این افزایش درفصل تابستان برای هر دو متغیر بیشتر از سایر زمان‌هاست. محدوده عدم قطعیت برای متغیرهای دما به صورت محسوسی کمتر از بارش می‌باشد و این به این معنی است که تمامی مدل‌ها دما را به خوبی پیش‌بینی کرده‌اند که در اینجا به علت محدودیت فضا از آوردن اشکال مربوط به نمودار جعبه‌ای دما خودداری می‌گردد.

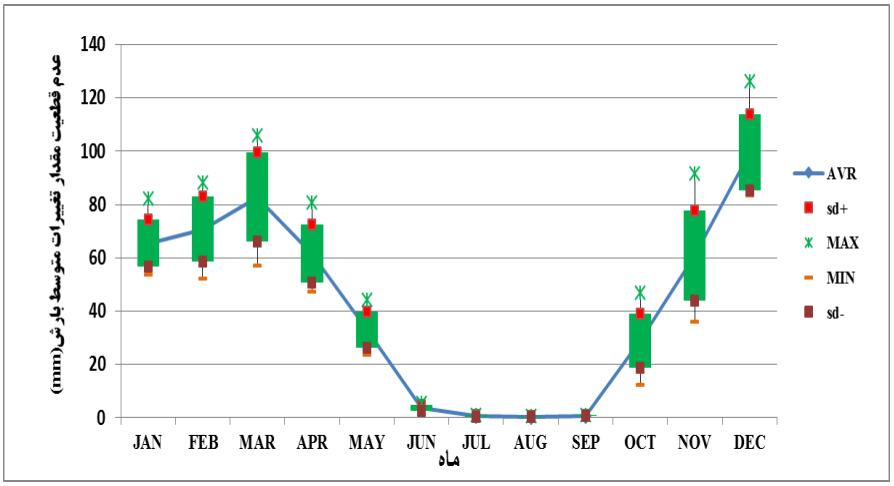


شکل۳. نمودار جعبه‌ای تغییرات میانگین مجموع بارش ماهانه برای پنج مدل مورد مطالعه ایستگاه سینوپتیک همدان.

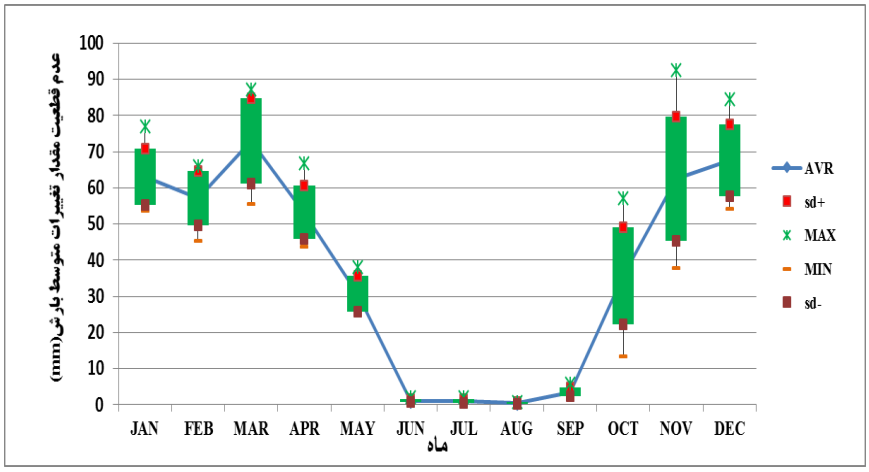
۱ -Boxplot

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.17]



شکل۴. نمودار جعبه‌ای تغییرات میانگین مجموع بارش ماهانه برای پنج مدل مورد مطالعه ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد.



شکل ۵. نمودار جعبه‌ای تغییرات میانگین مجموع بارش ماهانه برای پنج مدل مورد مطالعه ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه.

- **انتخاب مناسب‌ترین مدل AOGCM**

با مقایسه داده‌های مشاهداتی و تولید شده شامل میانگین ماهانه بارش، دمای حداقل و حداکثر توسط پنج مدل مذکور با شاخص‌های ذکر شده در سه ایستگاه منتخب، بهترین مدل و سناریو برای تولید داه ها در دوره آتی مشخص شد. نتایج این مقایسه طبق شاخص‌های ارائه شده در روابط شماره ۴ و ۵ در جداول شماره ۳ الی ۵ نشان داده شده‌اند لازم به ذکر است شاخص‌های ارائه شده در جداول ۳ الی ۵ میانگین شاخص‌های مذکور در سه ایستگاه منتخب می-باشد. نتیجه این بررسی نشان داد که از بین مدل‌های موجود، مدلHADGEM۲-ES تحت سناریوی RCP ۴,۵، بهترین نتیجه را برای بارش و نیز HADGEM۲-ES تحت سناریوی RCP ۸,۵، بهترین نتیجه را برای دمای حداقل و حداکثر پیش‌بینی کرده‌اند.

جدول ۳. نتایج مقایسه بارش مدل‌های گردش عمومی جو با دوره پایه.

R	مدل	بارش RCP۴۵		بارش RCP۸۵	
		R^2	RMSE	R^2	RMSE
۱	EC-EARTH	۰/۹۳۵	۵/۴۵	۰/۹۳۳	۵/۳۸
۲	GFDL-CM۳	۰/۹۷	۳/۵	۰/۹۵	۴/۱۵

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.17]

۳	HADGEM۲-ES	۰/۹۷۶	۳/۳۹	۰/۹۸۶	۳/۰۵
۴	MIROC۵	۰/۹۴۴	۴/۷۹	۰/۹۷	۳/۶
۵	MPI-ESM-MR	۰/۸۷۶	۷/۲	۰/۹۴۶	۴/۳۶

جدول۴. نتایج مقایسه دمای حداقل مدل‌های گردش عمومی جو با دوره پایه.

R	مدل	دمای حداقل RCP۴۵		دمای حداقل RCP۸	
		R۲	RMSE	R۲	RMSE
۱	EC-EARTH	۰/۹۹۹۶	۰/۸۸	۰/۹۹۵۶	۰/۸۲
۲	GFDL-CM۳	۰/۹۹۸۶	۰/۹۱	۰/۹۹۹۸	۱/۰۹
۳	HADGEM۲-ES	۰/۹۹۸	۰/۸۷۳	۰/۹۹۶۹	۱/۰۵
۴	MIROC۵	۰/۹۹۹۵	۱/۱۲	۰/۹۹۹۵	۰/۸۷
۵	MPI-ESM-MR	۰/۹۹۹۶	۰/۹۳۳	۰/۹۹۹۸	۰/۸۱۵

جدول۵. نتایج مقایسه دمای حداکثر مدل‌های گردش عمومی جو با دوره پایه.

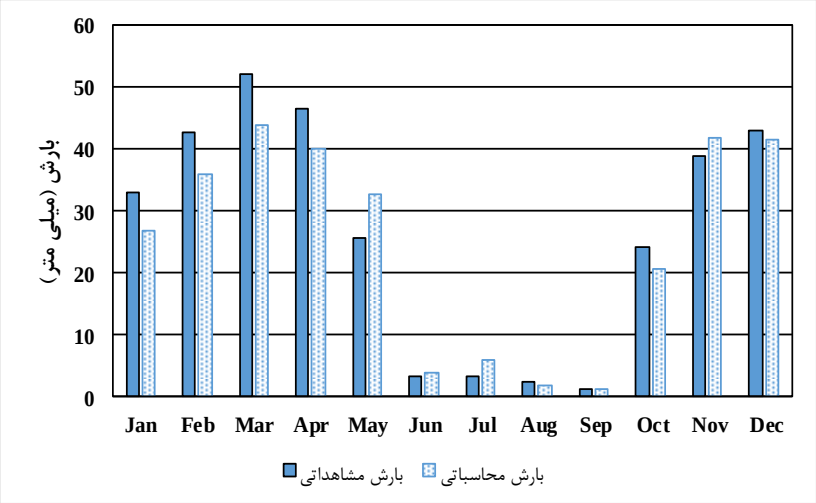
R	مدل	دمای حداکثر RCP۴۵		دمایحداکثر RCP۸۵	
		R۲	RMSE	R۲	RMSE
۱	EC-EARTH	۰/۹۹۹۵	۰/۸۵	۰/۹۹۹۴	۰/۸۲
۲	GFDL-CM۳	۰/۹۹۹۴	۰/۸۳	۰/۹۹۹۵	۰/۹۹
۳	HADGEM۲-ES	۰/۹۹۹۶	۰/۸۱	۰/۹۹۹۷	۱/۰۳
۴	MIROC۵	۰/۹۹۹۲	۱/۱	۰/۹۹۹۶	۰/۸۴
۵	MPI-ESM-MR	۰/۹۹۹۵	۰/۸۵	۰/۹۹۹۳	۰/۸۱

- **بررسی متغیر بارش در دوره آتی (۲۰۴۰-۲۰۲۱)**

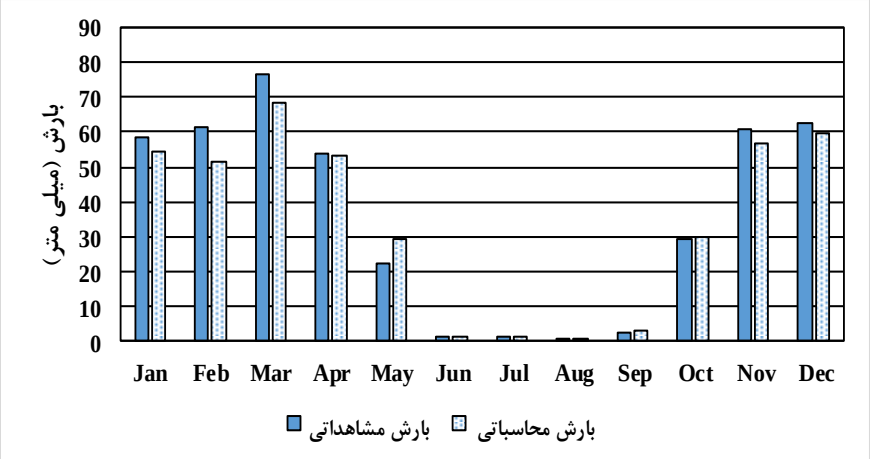
بارش دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ با مدل HADGEM۲-ES و تحت سناریوی PRC ۸،۵ تولید شد. شکل شماره ۶ الی ۸ مقایسه میانگین مجموع بارش ماهانه در دوره پایه و آتی را در ایستگاه‌های همدان، کرمانشاه و خرم‌آباد نشان می‌دهد. در ایستگاه همدان بارش از ماه ژانویه تا ماه می نسبت به سایر ماه‌ها از کاهش بیشتری برخوردار است که این موضوع می‌تواند بر روی کاهش پوشش برفی در ایستگاه سردسیر همدان تاثیرگذار باشد. در ایستگاه همدان بارش ماه‌های ژوئن تا جولای با شیب ملایم افزایشی است که تاثیر معناداری در بارش سالانه ندارد. در کل بارش سالیانه ایستگاه همدان برای دوره آتی بیشتر از ۵ درصد کاهش می‌یابد. بارش ماهای ژانویه، فوریه و آوریل در ایستگاه کرمانشاه نیز روندی کاهشی دارد. این روند کاهشی به‌جز ماه‌های گرم سال در سایر ماه‌های سال نیز با شیب ملایم‌تری کاهش خواهد یافت. در کل بارش ایستگاه کرمانشاه برای دوره آتی نسبت به دوره پایه حدود ۴ درصد کاهش خواهد یافت. بارش در ایستگاه خرم‌آباد بارش ماه‌های می و دسامبر افزایشی خواهد بود در حالی که بارش سایر مه‌های سال روندی کاهشی خواهد داشت. در کل بارش در ایستگاه خرم‌آباد حدود ۲ درصد نسبت به دوره پایه کاهش خواهد داشت. با توجه به بررسی متغییر بارش در سه ایستگاه در مجاورت حوضه آبریز سیمره، که از ایستگاه‌های سرد و خشک (همدان)، گرم و خشک

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.17]

(کرمانشاه و خرم‌آباد) مورد بررسی واقع شدند، می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین کاهش بارش مربوط به ایستگاه همدان و کمترین کاهش مربوط به ایستگاه خرم‌آباد می‌باشد.



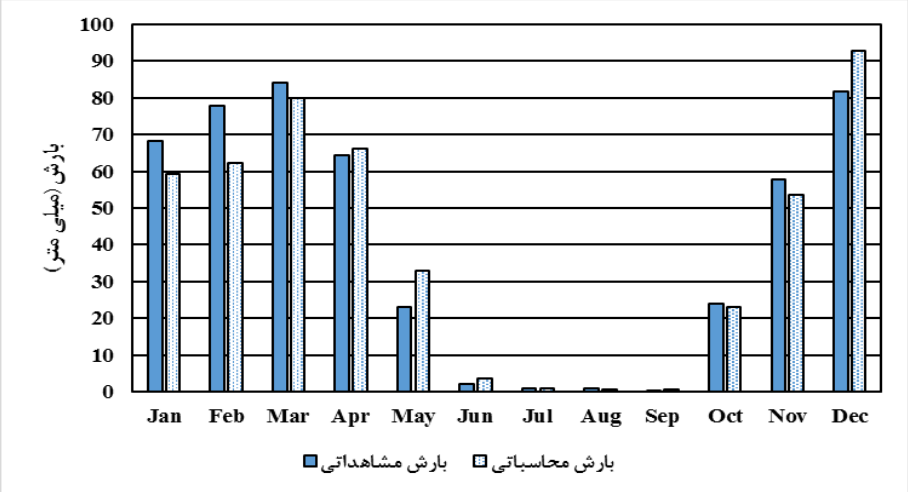
شکل ۶. مقایسه میانگین بارش تجمعی ماهانه مشاهداتی دوره پایه با محاسباتی در دوره آتی در ایستگاه همدان.



شکل ۷. مقایسه میانگین بارش تجمعی ماهانه مشاهداتی دوره پایه با محاسباتی در دوره آتی در ایستگاه کرمانشاه.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.17]

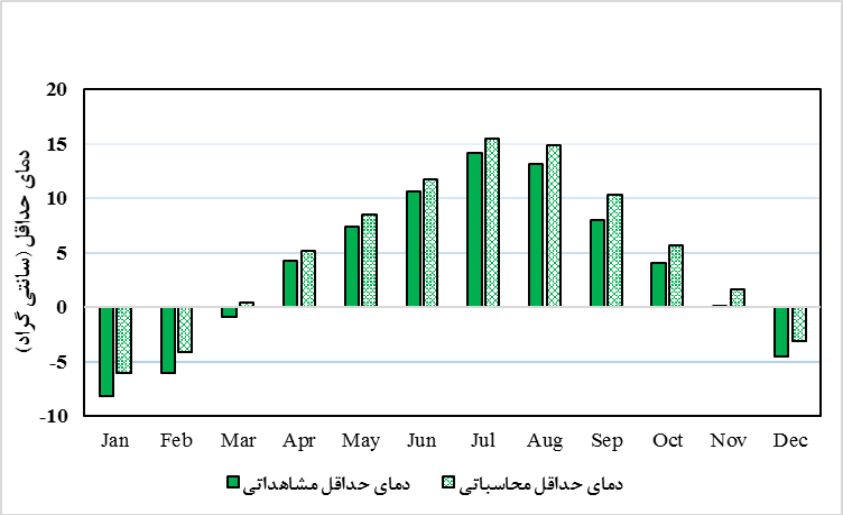


شکل ۸. مقایسه میانگین بارش تجمعی ماهانه مشاهداتی دوره پایه با محاسباتی در دوره آتی در ایستگاه خرم‌آباد.

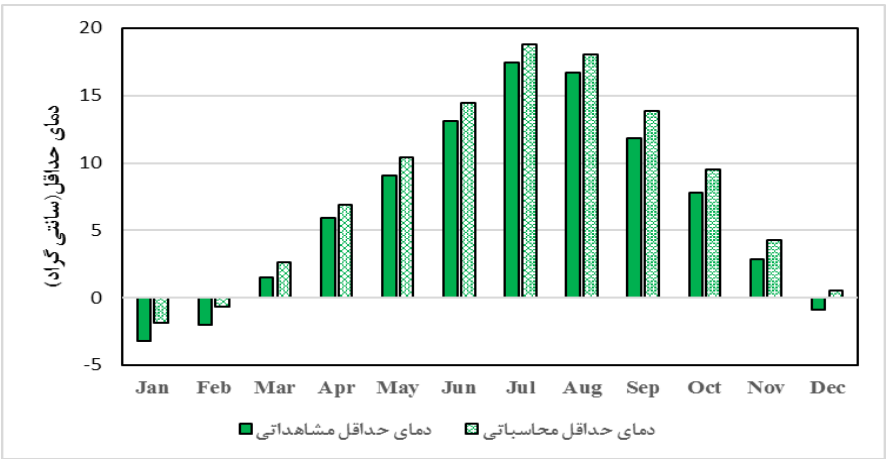
- **بررسی متغیر دما در دوره آتی (۲۰۴۰-۲۰۲۱)**
  - **دمای حداقل**

برای تولید داده‌های دمای حداقل از مدل HADGEM۲-ES و سناریوی PRC٤،٥ استفاده شد. شکل شماره ۹ الی ۱۱ مقایسه میانگین دمای حداقل ماهانه دوره پایه را با دوره آتی و همچنین تغییرات آن را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد، همانطور که از اشکال می‌توان فهمید در تمامی ماه‌ها این متغیر با افزایش پیش‌بینی شده است. بیشترین افزایش مربوط به ماه سپتامبر در تمامی ایستگاه‌ها می‌باشد که افزایشی بیش از ۲ درجه را داده است و کمترین افزایش نیز مربوط به ماه آوریل می‌باشد. در کل کمترین کاهش‌ها مربوط به ماه‌های سرد سال و بیشترین افزایش‌ها مربوط به ماه‌های گرم سال است و این بدین معنی است که شب‌های تابستانی گرمتری قابل پیش‌بینی می‌باشد. تغییرات دمای حداقل در دوره سرد سال قابل توجه است به عنوان مثال در ایستگاه همدان دمای حداقل ماه مارس که در دوره مشاهده‌ای زیر صفر درجه است، بالای صفر درجه در دوره آتی پیش‌بینی شده است، همچنین ماه دسامبر نیز برای ایستگاه کرمانشاه دارای وضعیتی مشابه می‌باشد. در ایستگاه خرم‌آباد نیز تنها ماه زیر صفر درجه برای دمای حداقل ماه ژانویه می‌باشد که در دوره آتی دمای بالاتر از صفر درجه پیش‌بینی شده است. از آنجایی‌که دمای صفر درجه مبنایی برای ذوب برف می‌باشد، افزایش دمای حداقل به بالاتر از صفر درجه سانتیگراد می‌تواند تاثیر بسیار زیادی بر روی ذوب زود هنگام پوشش برفی در این مناطق داشته باشد و دوره زمانی دبی اوج را با شدت بیشتر و زودتر انجام شود(جهانبخش و همکاران، ۱۳۹۸). با توجه به اینکه همبستگی دمای خاک و دمای حداقل نسبت به سایر مولفه‌های دما بیشتر است و دمای خاک یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های خاک به شمار می‌آید که به طور مستقیم و غیرمستقیم بر فعالیت‌های گیاهی اثر گذاشته و در پاره‌ای از موارد اهمیت بیشتری نسبت به دمای هوا در رشد گیاهان دارد. بنابراین میتوان نتیجه گرفت که افزایش دمای حداقل می‌تواند بر روی فعالیت‌های گیاهی تاثیرگذار باشد.

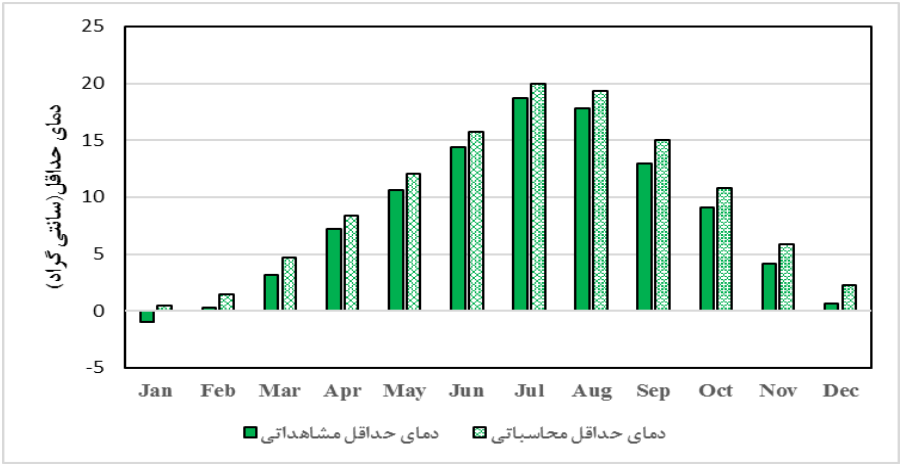
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.17]



شکل ۹. مقایسه میانگین دمای حداقل ماهانه مشاهداتی دوره پایه با محاسباتی در دوره آتی در ایستگاه همدان.



شکل ۱۰. مقایسه میانگین دمای حداقل ماهانه مشاهداتی دوره پایه با محاسباتی در دوره آتی در ایستگاه کرمانشاه.



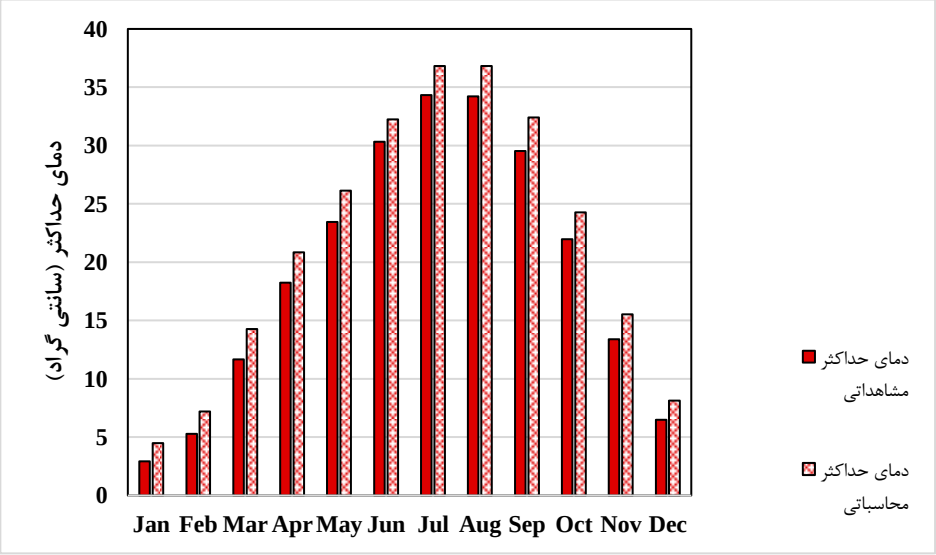
شکل ۱۱. مقایسه میانگین دمای حداقل ماهانه مشاهداتی دوره پایه با محاسباتی در دوره آتی در ایستگاه خرم‌آباد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

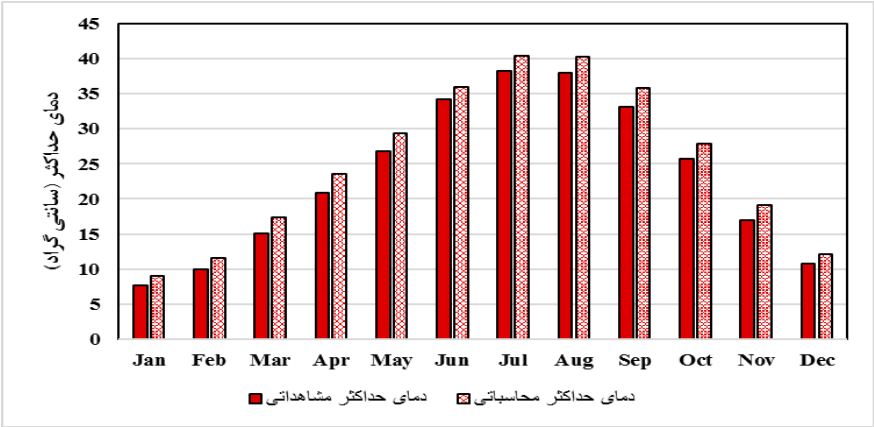
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.17]

- **دمای حداکثر**

برای تولید متغیر میانگین دمای حداکثر از مدل HADGEM۲-ES تحت سناریوی RCP ٤،٥ استفاده شد. شکل شماره ۱۲ الی ۱۴ مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه در طول دوره پایه و دوره آتی را نشان می‌دهد. مطابق با این جدول این متغیر در تمامی ماه‌ها و ایستگاه‌های مورد مطالعه با افزایش پیش‌بینی شده است. بیشترین افزایش این متغیر مربوط به ماه سپتامبر در تمامی ایستگاه‌ها است و کمترین کاهش در تمامی ایستگاه‌ها مربوط به ماه دسامبر می‌باشد. در کل ماه‌های گرم سال در مقایسه با ماه‌های سرد سال به طور نسبی از افزایش بیشتری برخوردار خواهند بود و این به معنی روزهای گرم‌تر در ماه‌های گرم می‌باشد. میزان افزایش دمای حداکثر در ایستگاه همدان ۲/۲۸ درجه سانتی‌گراد، در ایستگاه کرمانشاه افزایش ۲/۰۸ درجه سانتی‌گراد و در ایستگاه خرم‌آباد افزایش ۲/۱۴ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد.



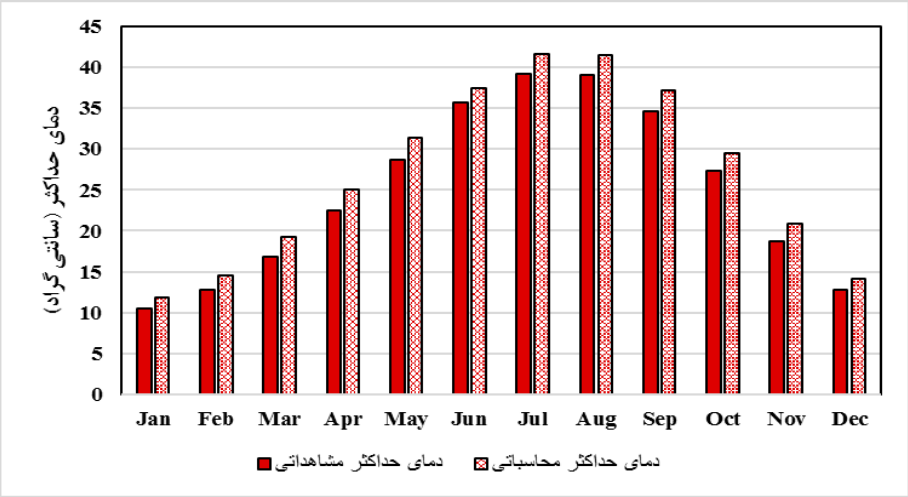
شکل ۱۲. مقایسه میانگین دمای حداکثر ماهانه مشاهداتی دوره پایه با محاسباتی در دوره آتی در ایستگاه همدان.



شکل ۱۳. مقایسه میانگین دمای حداکثر ماهانه مشاهداتی دوره پایه با محاسباتی در دوره آتی در ایستگاه کرمانشاه.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.17]



شکل ۱۴. مقایسه میانگین دمای حداکثر ماهانه مشاهداتی دوره پایه با محاسباتی در دوره آتی در ایستگاه خرم‌آباد.

نتایج مقایسه سالانه بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر در دوره پایه و دوره آتی تحت مدل‌ها و سناریوهای منتخب نشان می‌دهد مجموع بارش سالیانه دوره آتی در ایستگاه همدان با کاهش ۶/۵ درصد، در ایستگاه کرمانشاه با کاهش ۵ درصد و برای ایستگاه خرم آباد با کاهش ۲ درصدی پیش‌بینی شده است. تغییرات دمای حداقل سالیانه برای ایستگاه همدان افزایش ۱/۵۳ درجه سانتی‌گراد، ایستگاه کرمانشاه افزایش ۱/۴ درجه سانتی‌گراد و برای ایستگاه خرم‌آباد افزایش ۱/۵ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. مقایسه دمای حداکثر برای ایستگاه همدان افزایش ۲/۲۸ درجه سانتی‌گراد، برای ایستگاه کرمانشاه افزایش ۲/۰۸ درجه سانتی‌گراد و برای ایستگاه خرم‌آباد افزایش ۲/۱۴ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. نکته قابل توجه بر هم خوردن توزیع زمانی بارش و افزایش دما است که احتمالاً بیشتر از کاهش بارش تبعات منفی خواهد داشت.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که بعلت دامنه زیاد تغییرات خروجی مدل‌ها و سناریوهای مختلف، در نظر نگرفتن عدم قطعیت مدل‌ها و سناریوها می‌تواند تأثیر زیادی در نتایج مطالعات داشته باشد. همچنین در این مطالعه مشخص شد که مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG توانایی زیادی در مدل‌سازی داده‌های بارش و دمای دوره پایه در منطقه مورد مطالعه را داشته است. در بررسی عدم قطعیت ناشی از مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای موجود، نتایج نشان داد که براساس معیارهای خطای جذر میانگین مربعات و ضریب تعیین بر خروجی مدل‌های سری CMIP۵، خروجی مدل گردش کلی ES.HadGEM۲ در تصویرسازی تغییر اقلیم دوره آینده از توانایی و خطای شبیه سازی کمتری نسبت به دوره مشاهده‌ای یا پایه برخوردار می‌باشد. عموماً مدل‌های گردش کلی در شبیه‌سازی یا تصویرسازی پارامتر دمای هوا از توانمندی بالاتری نسبت به بارش برخوردارند. در کل بهترین مدل برای پیش‌بینی بارش در منطقه مورد مطالعه مدل HADGEM۲-ES تحت سناریوی RCP ۸،۵ ، بهترین مدل برای برآورد دما مدل HADGEM۲-ES تحت سناریوی RCP ٤،٥ می‌باشد. نتایج حاصل از این تحقیق نیز استفاده از مدل HADGEM۲-ES را به عنوان بهترین مدل برای برآورد بارش و دما در منطقه مورد مطالعه مورد تأکید قرار داد. همچنین با توجه به این‌که در این حوضه بارش کاهش و دما افزایش خواهد یافت. نتایج این پژوهش با پژوهش بابائیان

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.17]

و همکاران(۱۳۸۸)، که در اکثر ایستگاه‌ها کاهش بارش حدود ۹ درصد و افزایش دما را پیش‌بینی کرده بود انطباق دارد. همچنین با مطالعه سلطانی محمدی و همکاران (۱۳۹۸)، در معرفی مدل HADGEM۲-ES به عنوان بهترین مدل منطبق است. همچنین با توجه به این‌که در این حوضه بارش کاهش و دما افزایش خواهد یافت. بنابراین، تأمین آب مورد نیاز بخش‌های مختلف شرب، صنعت و کشاورزی با مشکل مواجه خواهد شد. بدون تردید جهت برطرف کردن این کمبود به ناچار سیستم کشاورزی منطقه لازم است از سنتی به مدرن (سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی) تغییر یابد و همچنین اصلاح نژاد گونه‌های کشاورزی و تولید گونه‌های مقاوم در برابر افزایش دما، راه حل مناسبی برای مقابله با تاثیر تغییراقلیم می‌باشد. یکی از مشکلات دیگر افزایش دما در فصل تابستان، احتمال بروز آتش سوزی در مراتع و جنگلهای حوضه می‌باشد. هر چند که مهمترین راهکار برای مقابله با مسائل و مشکلات تغییر اقلیم، اقدامات جهانی علیه انتشار گازهای گلخانه‌ای است، اما اقدامات محلی نیز می‌تواند از شدت خسارات بکاهد .

منابع

بابائیان، ایمان. نجفی نیک، زهرا. زابل عباسی، فاطمه. حبیبی نوخندان، مجید. ادب، حامد و ملبوسی، شراره. ۱۳۸۸. ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریز مقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO--G، *جغرافیا و توسعه*، **۱۶**: ۱۳۵-۱۵۲.

سلطانی محمدی، عقیل. ملائی‌نیا، محمودرضا و عجم‌زاده، علی. ۱۳۹۸. بررسی تاثیر تغییراقلیم بر دما و بارش بر اساس گزارش-های چهارم و پنجم هیات بین‌المللی تغییراقلیم(مطالعه موردی: استان اصفهان). *علوم و مهندسی آبیاری*. **۲**: ۱۶-۱.

ثانی خانی، هادی. دین پژوه، یعقوب. پوریوسف، سعید. زمانزادقویدل، سروین. صولتی، بهاره.۱۳۹۲. بررسی اثرات تغییراقلیم بر رواناب حوضه های آبریز(مطالعه موردی: حوضه آبریز آجی چای در استان آذربایجان شرقی). *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع غذایی)*، **۶**: ۱۲۳۴-۱۲۳۵ .

جهانبخش, سعید, دین پژوه, یعقوب, عالی نژاد, محمدحسین. ۱۳۹۸. تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب ناشی از ذوب برف (مطالعه موردی: حوضه آبریز شهرچای ارومیه) .*نشریه جغرافیا و برنامه ریزی* **.۲۳**: ۱۰۷-۹۱.

مساح بوانی، علیرضا و مرید، سعید. ۱۳۸۴. اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده رود اصفهان. *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*. **۴**: ۲۷-۱۷.

Babaeian, I. and Kwon, W.T. ۲۰۰٤. Application of Weather Generator Technique for Climate Change Assessment over Korea. *Meteorological Research Institute of lma, crl Final project Repor*t. pp ۹۸.

Chong – Yu Xu. ۱۹۹۹. Climate Change and Hydrologic Models: A Review of Existing Gaps and Recent Research. *Water Resources Management*, Volume ۱۳T pp: ۳٦۹-۳۸۲.

Chiew, F H S. Whetton, P H. McMahon, T A. and Pittock, A B. ۱۹۹٥. Simulation of the Impacts of Climate Change on Runoff and Soil Moisture in Australian Catchments. *Journal of Hydrology*. **۲**: ۸۷-۱۲۹.

Christensen, N. S. A. W. Wood et al. ۲۰۰٤. The Effects of Climate Change on the Hydrology and Water Resources of the Colorado River Basin. *Climatic Change*, ٦۲(**۳**): ۳۳۷-۳٦۳.

Dang, Z. and Chen, Y., ۲۰۱۸, Vulnerability assessment of spring wheat production to climate change in the Inner Mongolia region of China. *Ecological Indicators*, **۸٥**: ٦۷-۷۸.

Mo, x, g., Xia, J., ۲۰۱۷, Impacts of climate change on agricultural water resources and adaptation on the north China plain. *Advances in Climate change Research*, ۸(**۲**): ۹۳-۹۸.

Daren, L. Ficklin iris, T. Stewart. Edwin p .Maurer. ۲۰۱۳. Effects of projected Climate Change on the Hydrology in the Mono Basin T California. *Climate Chang*. ۱۱٦: ۱۱۱–۱۳۱.

Ishida, K., Gorguner, M., Ercan, A., Trinh, T. and Kavvas, M. L. ۲۰۱۷. Trend analysis of watershed-scale precipitation over Northern California by means of dynamically downscaled CMIP٥future climate projections, *Science of the Total Environment* **٥۹۲**: ۱۲–۲٤.

IPCC .۲۰۰۷. General Guidelines on the Use of Sceeario Data for Claimate Impact and Adaption Assessment , *Cambridge University Press , Uk*.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.17]

IPCC .۲۰۱۳. Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, and G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley(eds.)]. *Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.*

Marengo, J. A., Chou, S. C., Torres, R. R., Giarolla, A., Alves, L. M., &Lyra, A. ۲۰۱٤. Climate change in central and South America: Recent trends, future projections, and impacts on regional agriculture. *Working Paper* No ۷۳.

Minville, M. Brissette, F. Lecote, R. ۲۰۰۸. Uncertainty of the Impact of Climate Chang on the Hydrology of a Nordic Watershed. *Journal of Hydrology*. ۳۵۸: ۷۰-۸۳.

Racsko, P. Szeidl, L and Semenov, M. A. ۱۹۹۱. Serial approach to local Stochastic Weather Models. *Ecological Modeling*. **۵۷**: ۲۷–۴۱.

Semenov, M A. and Barrow, E M. ۱۹۹۷. Use of a stochastic weather Generator in the Development of Climate Change Scenarios. *Climate Change*. **۳۵**: ۳۹۷–۴۱۴.

Semenov, M A. Brooks, R G. Barrow, E M & Richardson, C W. ۱۹۹۸. Comparison of the WGEN and LARS-WG Stochastic Weather Generators for Diverse Climates. *Climate Research*. ۱۱: ۱۳۷–۱٤۸.

Semenov, M A and Stratonovitch, P. ۲۰۱۵. Adapting Wheat ideotypes for climate change: accounting for uncertainties in CMIP۵ climate projections. *CLIMATE RESEARCH*. ٦۵:۱۲۳-۱۳۹.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.17]

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.17]