نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال هفدهم، شماره ۴۷، زمستان ۹۶

بروندادمدل دینامیکیRegCM4 در شبیه سازی داده های فصلی و سالانه بارش - دما، در ناحیه شرق و شمال شرق ایران

دریافت مقاله: ۹۵/۶/۱۵ پذیرش نهایی: ۹۶/۱۱/۱۲

صفحات: ۲۱۰-۱۹۱

قاسم کیخسروی: استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.[۱]
Gh_keikhosravi@sbu.ac.ir

چکیده

این تحقیق به منظور شبیه‌سازی بارش با مدل دینامیکی RegCM4 در دو حالت با و بدون به‌کارگیری تکنیک پس‌پردازش آماری برونداد مستقیم مدل در شرق و شمال‌شرق ایران و دوره آماری ۲۰۱۱-۱۹۸۷ در مقاطع زمانی سالانه و فصلی انجام شده است. داده‌های مورد نیاز اجرای مدل دینامیکی RegCM4 از مرکزICTP دریافت گردید. به منظور اجرای مدل دینامیکی اصلی، آزمون تعیین طرحواره بارش همرفت و میزان تفکیک افقی برای سال ۲۰۰۷ انجام گردید. با استناد به آزمون مذکور طرحواره کو به نسبت دو طرحواره گرل و امانوئل، خطای کمتری را در مدل‌سازی بارش و دمای سطح زمین داشت. تفکیک افقی نیز ۳۰ کیلومتر انتخاب گردید. پس از اجرای اصلی مدل با طرحواره کو و تفکیک افقی ۳۰ کیلومتر، برونداد بارش و دما با استفاده از مدل میانگین متحرک (MA)پس‌پردازش گردید. بر اساس نتایج حاصله، در منطقه مورد مطالعه، در دوره راستی‌آزمایی ۲۰۱۱-۲۰۰۶ میانگین اریبی بارش سالانه خام مدل RegCM4 برابر ۸۵/۳ میلیمتر و پس پردازش شده ۶۱/۰۴ محاسبه شده است. بطور خلاصه در مقیاس زمانی سالانه در ۷۵ درصد ایستگاه‌های مطالعاتی انجام پس‌پردازش موثر واقع شده و روش MA را کاراتر معرفی نموده‌اند. در مقیاس فصلی متوسط اریبی بارش خطای محدوده در فصل زمستان برابر ۵۴/۹۹ میلیمتر، فصل بهار ۲۷/۱۱ میلیمتر، فصل تابستان ۳/۶- و در فصل پاییز ۷/۲۱ میلیمتر می باشد. شبیه سازی داده های دمای دومتری در ایستگاه‌های هواشناسی با استفاده از مدل RegCM و نیز اعمال MA در شمال شرق ایران کارایی بالایی را نشان داد. میانگین اریبی دمای سالانه خام مدل RegCM4 برابر ۲/۷۸- درجه سانتیگراد بود که پس از اعمال پس‌پردازش به ۰/۰۵- کاهش یافت. در تمامی ایستگاهها دمای سالانه مدل شده با داده های مشاهداتی کمتر از ۰/۱ درجه سانتیگراد اختلاف دارد. در مقیاس فصلی متوسط اریبی خطای محدوده در فصل زمستان برابر ۴/۱- درجه، فصل بهار ۴/۰۹- درجه، فصل تابستان ۱/۸- درجه و در فصل پاییز ۱/۵- درجه سانتیگراد می باشد. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که استفاده از پس‌پردازش آماری بهبود قابل ملاحظه‌ای روی نتایج مدل دارد.

کلید واژگان: بارش، دما، مدل RegCM، پس‌پردازش، شرق و شمال شرق ایران.

---

۱. **مسئول مقاله:** تهران، اوین، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، گروه اقلیم شناسی. ۰۹۱۹۲۲۵۱۴۹۴

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.2.4]

مقدمه

از دهه ۱۹۷۰ با کاربردی شدن روش های عددی در هواشناسی،تلاش ها برای دستیابی به مدل های گردش عمومی جو و مدل های منطقه ای شتاب بیشتری گرفتند و از آن هنگام مدل های مختلف با دیدگاه های هواشناسی و اقلیمی توسعه یافتند. مدل های آب و هوائی سیاره ای، پاسخ گردش عمومی به نیروهای بزرگ مقیاس را شبیه سازی می کنند. وضوح بسیار ضعیف این مدل ها در رابطه با فرایندهای آب و هوای محلی و منطقه ای باعث شکل گیری و گسترش مدل های منطقه ای شدند. مدل گردش عمومی، کل کره زمین را حوزه مورد مطالعه خود قرار می دهد و از آن جا که مدل های جهانی قادر به آشکارسازی رفتار اقلیم در مقیاس کوچک نیستند، با استفاده از مدل های منطقه ای می توان فرایندهای کوچک مقیاس را شناسائی، مطالعه و پیش بینی کرد. کاربست مدل های دینامیکی، امکان مطالعه ی دقیق تر پدیده های جوی میان مقیاس و مقیاس منطقه ای را در مناطق مختلف جهان فراهم نموده است. این مدل ها به عنوان ابزاری کارآمد، درک فرایندهای دینامیکی حاکم بر وقوع پدیده های جوی و اقلیمی را آسان تر ساخته اند. مدل های دینامیکی منطقه محدود، به ویژه زمانی که برای پدیده های دور از دسترس و یا پدیده هایی واقع در مناطق فاقد داده و یا فاقد مشاهدات منظم مورد استفاده قرار می گیرند. ارزش و اعتبار خاصی می یابند. یکی از مدل های منطقه ای که در سال های اخیر مورد استفاده بسیاری از محققان قرار گرفته، مدل دینامیکیRegCM4 می باشد. مدل آب و هوائی منطقه ای RegCM برای مدل سازی ها و پیش بینی های بلند مدت منطقه ای طراحی شده است و نسخه اولیه مدل NCAR RegCM در مرکز ملی پژوهش های جوی دانشگاه پنسیلوانیا در سال ۱۹۸۰ تهیه شد(حجازی زاده و طولابی نژاد، ۱۳۹۵: ۱۳۷). بخش دینامیکی این مدل از MM4 نشات گرفته است. یکی از مسائل اساسی درکاربرد مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) برای ارزیابی اثرات منطقه‌ای، تفکیک مکانی پایین است که لازم است با استفاده از مدل‌های دینامیکی منطقه‌ای مانند WRF و RegCMیا مدل‌های آماری مانند CLIMGEN,SDSM,LARS-WG ریزگردانی شوند. وجود خطای سیستماتیک در برونداد مدل‌های مذکور ضرورت انجام پس‌پردازش را می‌طلبد. در رابطه با مدل RegCM تحقیقات متعددی انجام شده است، که بطور غالب در بحث های آب و هواشناختی و شبیه سازی آب و هوای منطقه ای و امکان سنجی پیش بینی فصلی، اثر عوارض سطحی کوه و دریا در ویژگی های دینامیک و سامانه های جو انجام شده اند. به عنوان نخستین پژوهش باید به پژوهش دیکنسون و جیورجی اشاره کرد که در سال ۱۹۸۰ نسخه نخستین RegCMرا از روی مدل عددی MM4 به دست آوردند. برای استفاده مدل MM4 در پژوهش های اقلیمی، تعدادی طرحواره فیزیکی پارامتره کردن مرتبط با انتقال تابش و فیزیک سطح در نخستین نسخه از مدل منطقه ای RegCM1 به کار گرفته شد. وانگ و همکاران با استفاده از مدل RegCM بارش‌های سنگین سال ۱۹۹۸ را در کشور چین شبیه‌سازی کرده‌اند. مدل نه تنها تکوین زمانی بارش میانگین سطحی و ماهانه را به خوبی شبیه‌سازی کرده بلکه توانست توزیع شدت بارش‌های روزانه را نیز به خوبی پیش‌بینی نماید(وانگ و همکاران ،۱۹:۲۰۰۲). جنکینز وضعیت دما و باد منطقه غرب افریقا را در تابستان های سال ۱۹۸۸ و ۱۹۹۰ با استفاده از مدل RegCM شبیه سازی کرد و با مقایسه آن با داده های مرکز اروپایی پیش بینی میان مقیاس هوا، به وجود اریبی گرم بر روی خشکی و اریبی سرد بر روی مناطق گینه و ساحل پی برد. گه در صورت استفاده از طرح واره گرل مقدار آن بیشتر می شود(جنکینز،۱۹۹۷:۱۲۷۲-۱۲۵۵). سلطانزداه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.2.4]

و همکاران نشان دادند که با حذف رشته کوه زاگرس در مدل RegCM3 میانگین بارش در مناطق مرکزی و شرق ایران افزایش می یابد، ولی میزان بارش در کل محدوده شبیه سازی شده تقریباً ثابت می ماند (سلطانزاده و همکاران،۱۳۸۶:۵۰-۳۱). فرانسیسکو و همکاران، با اجرای مدل RegCM بر روی فیلیپین، سامانه پیش آگاهی سیل را در این کشور ایجاد کردند. در این سامانه، داده‌های شرایط مرزی از یک مدل جهانی دریافت شده بودند و در مدل منطقه‌ای RegCM از آن استفاده شد. سپس داده‌های خروجی RegCM به عنوان داده‌های اولیه یه یک مدل هیدرولوژی تزریق شد. پس از اجرای این مدل هیدرولوژی، پیش‌بینی‌های مربوط به جریان رواناب و سیلاب در حوضه‌های مختلف ارائه گردید.(فرانسیسکو و همکاران، ۲۰۰۳:۱۷۵-۱۶۳). بابائیان و همکاران، با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3 بارش ماه‌های سرد سال های ۱۳۷۶ و ۱۳۷۹ را شبیه‌سازی کرده‌اند. در این پژوهش هدف حساسیت‌سنجی مدل RegCM3 نسبت به طرحواره‌های مختلف بارش همرفتی می‌باشد که بر همین اساس نتایج تحقیق بیان کرده است که بهترین طرحواره‌ها برای جنوب غرب، جنوب شرق و شمال شرق کشور طرحواره کو و برای غرب و مرکز کشور طرحواره امانوئل و طرحواره‌های گرلFC و کو برای شمال‌غرب کشور مناسب هستند. با توجه به اینکه خطای شبیه‌سازی برای نواحی مرکزی و شمال‌غربی کشور بصورت منطقه‌ای قابل قبول نبوده است، اما تحلیل مقادیر میانگین دو سال بارش شبیه‌سازی شده در کل کشور حاکی از توانمندی‌های خوب طرحواره گرل، با خطای تقریبی ۲۰ درصد است(بابائیان و همکاران،۱۳۸۶: ۷۲-۵۵). افضل و همکاران بارش مونسون سال ۱۹۹۲ پاکستان را با مدل RegCM3 شبیه‌سازی نمودند. شرایط اولیه و مرزی مورد استفاده در تحقیق ایشان داده‌هایERA40 و قدرت تفکیک افقی ۶۰ کیلومتر در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که طرحواره گرلFC بارش را ۳۹ درصد بیشتر از طرحواره گرل AS برآورد نمود ضمن اینکه مجموع بارش شبیه‌سازی شده ۵۱ درصد بیش از داده‌های CRU و ۷۱ درصد بیش از داده‌های مشاهداتی بود لیکن الگوی بارش روی منطقه با الگوی واقعی همخوانی داشت(افضل و همکاران،۲۰۰۶:۵). الگوئندی و جورجی ، شبیه‌سازی هایی را با استفاده از مدل RegCM4 برای دوره ۱۹۹۰-۱۹۴۸ به منظور بررسی واکنش سطح دریای خزر به تغییرات اقلیمی انجام دادند. آنها تغییرات ارتفاع سطح دریای خزر را با استفاده از یک معادله ساده هیدرولوژی پیش‌بینی کردند. در این مطالعه مشخص شد که مدل به خوبی از عهده شبیه‌سازی تغییرات مشاهده سطح دریای خزر با مقادیر مدل شده برآمده است بطوریکه همبستگی بین دو مقدار یاد شده ۰/۹۱ به دست آمد(الگوئندی و جورجی،۲۰۰۶:۱۸۱-۱۶۷). پال و همکاران ، توانمندی مدل اقلیمی RegCM را در شبیه‌سازی بارش و دمای دوره ۲۰۰۰-۱۹۸۷ در دو منطقه هندوستان و آمریکای جنوبی(آمازون) که دارای بارش‌های سنگین مونسونی هستند مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها دریافتند که بکارگیری طرحواره گرل در منطقه آمریکای جنوبی موجب اریبی خشک (منفی) بارش به میزان ۱۰ درصد در مقایسه با داده‌های CMAP می‌گردد. در شبه جزیره هندوستان، باوجود اینکه اکثر مدل‌های گردش عمومی جو نتوانستند الگوهای بارش این منطقه را بخوبی مدل‌سازی کنند، مدل RegCM توانست نواحی با بارش بیشینه را در این ناحیه مدل‌سازی کند(پال و همکاران ،۲۰۰۷: 1396-1409). اسلام و همکاران، در پژوهشی با استفاده از مدل اقلیمی مقیاس منطقه‌ای RegCM3 به شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در بنگلادش پرداختند. مدل با قدرت تفکیک افقی ۰/۵۴ × ۰/۵۴ درجه و با دو طرحواره گرل AS و گرل FC اجرا شد. نتایج شبیه‌سازی بارندگی فصلی نشان داد که طرحواره گرل FC بارش دوره پیش مونسون را بیش از مقادیر

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.2.4]

واقعی و دوره مونسون را کمتر از مقدار واقعی تخمین زده است؛ در حالی که طرحواره گرل AS نتواسته است شبیه‌سازی مناسبی داشته باشد، بنابراین طرحواره گرل FC بهتر از طرحواره گرل AS بارش را تخمین زده است(اسلام و همکاران، ۹:۲۰۰۷-۱). شمیدلی و همکاران،جهت ریزمقیاس‌نمایی بارش روزانه، ۶ مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDM) را با سه مدل اقلیمی منطقه‌ای(RCM) در منطقه‌ای با توپوگرافی پیچیده مورد مقایسه قرار دادند. زمان انتخاب شده، زمان حال و آینده (۲۱۰۰-۲۰۷۰) بود. نتایج نشان داد در فصل زمستان و در توپوگرافی‌های پیچیده مدل‌های RCM به‌طور معنی‌داری نسبت به SDM عملکرد بهتری دارند. در فصل تابستان، بر روی نقاط مسطح اختلافات کوچک‌تر بود. نتایج سناریوی A2 نشان داد که متوسط بارش در زمستان در نقاط شمالی حدود عرض ۴۵ درجه تمایل به افزایش داشته و تغییرات ناچیز یا معکوسی در نواحی جنوبی وجود دارد و به طور کلی بین مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی همخوانی خوبی دیده شد. در تابستان به‌طور کلی بین RCMها اختلاف کمتر بود اما بین SDMها و بین RCMها و SDMها اختلاف شدید بود(شمیدلی و همکاران،۱۱۲:۲۰۰۷). آزادی و همکاران ، از فیلتر کالمن برای کاهش خطای سیستماتیک برونداد مدل MM5 برای دمای بیشینه و کمینه در دو متری سطح زمین استفاده نمودند. ایشان فیلتر کالمن را برای ۱۱۷ ایستگاه در کشور و به مدت ۱۲۰ روز اعمال نمودند. بررسی آماری روی نتایج نشان داد که فیلتر کالمن برای روزهایی که خطای مدل زیاد یا متوسط بود می‌تواند پیش‌بینی مدل را تا حد قابل قبولی اصلاح کند، اما برای روزهایی که خطای مدل کم بود، کاربست فیلتر تاثیر چندانی درتصحیح خطا نداشت(آزادی و همکاران، ۶۵:۱۳۸۷-۶۱). آزادی و همکاران، برونداد مدل WRF (که برای دوره ۶ ماهه اول نوامبر ۲۰۰۸ تا ۳۰ آوریل ۲۰۰۹ و گام افقی ۱۵ و ۴۵ کیلومتر اجرا شده بود) برای بارندگی‌های ۲۴ ساعته را با دو روش بهترین برآوردکننده سیستماتیک (BES) و میانگین لغزان (MA) و برای ۲۰۵ ایستگاه هواشناسی تصحیح و پس‌پردازش نمودند. ایشان داده‌های سه ماه اول را برای آموزش و بقیه داده‌ها را برای آزمون روش استفاده کردند. برای نشان دادن بهبود نتایج، شاخص‌های آماری مانند درجه موازنه جرم، میانگین مطلق خطا و امتیاز مهارتی متناظر با آن برای پیش‌بینی‌های خام و پیش‌بینی‌های بهبود یافته محاسبه و مقایسه شد. نتایج نشان دادکه هر دو روش پس‌پردازش مورد استفاده، برونداد مستقیم مدل را بهبود می‌بخشند به گونه‌ای که در روش MA، میانگین مطلق خطا برای ایستگاههای مختلف ۴۰-۵ درصد و به‌طور میانگین در حدود ۲۰ درصد و در روش BES به‌طور میانگین در حدود ۱۵ درصد بهبود یافته است .همچنین درجه موازنه جرم در حدود ۱۰ درصد بهبود یافته است(آزادی و همکاران،۱۳۸۹ :۹۵-۹۱). اونول و همکاران توانمندی مدلRegCM3 را بر روی کشورهای منطقه مدیترانه با به کارگیری طرح واره بارش کو سنجیدند. آنها دریافتند که میانگین دمای سالانه مدل شده حدود ۲ درجه سانتیگراد از داده های جهانی مقادیر واقعی دمای جهانی بصورت شبکه ای بیشتر است. با توجه به اینکه بیشتر بارش های این منطقه در فصل زمستان و در طول سواحل و مناطق کوهستانی رخ می دهد، مقادیر بارش فصلی مدل به ویژه در زمستان ، در مناطق فوق دارای اریبی مثبت است. نتایج نشان می دهد طرح واره کو نسبت به سایر طرح واره ها بارش کمتری را مدل می کند (اونول و همکاران، ۱۹۶۱:۲۰۰۹-۱۹۴۴). زانگ و همکاران، به ارزیابی و تحلیل مدل RegCM3 در شبیه‌سازی بارش تابستانه در حوضه رودخانه هوایه در چین پرداختند. دوره مورد مطالعه آنها ۲۰۰۱-۱۹۸۲ و سال مرطوب ۲۰۰۳ بود. مقایسه مقدار و توزیع بارش با مقادیر مشاهداتی نشان داد که RegCM3 قادر است که الگوی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.2.4]

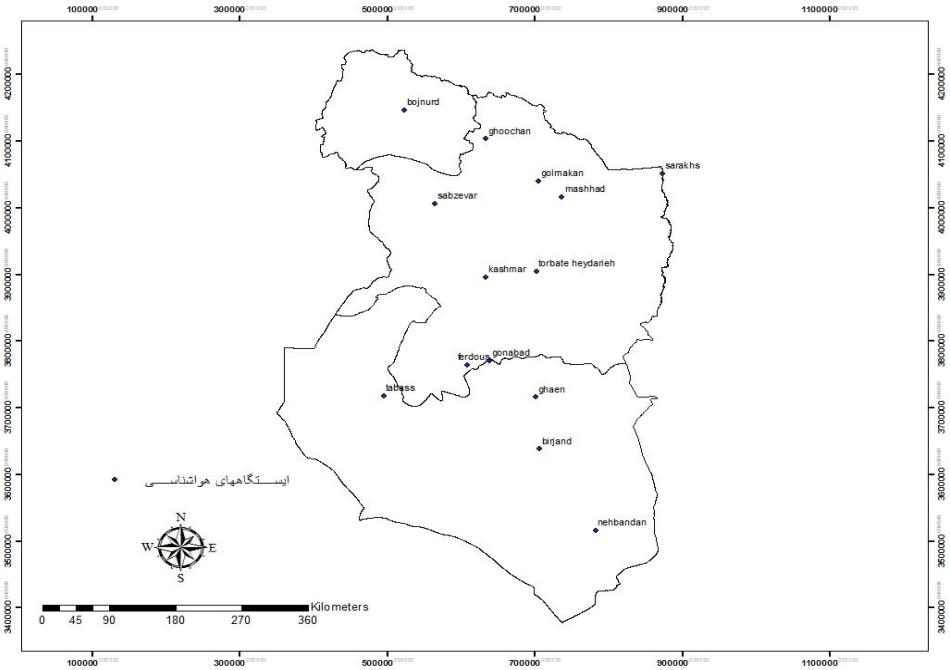
بارش و تغییرات سالانه آن را شبیه‌سازی کند. اما شبیه‌سازی مدل برای تابستان ۲۰۰۳ برای توزیع مکانی بارش مناسب نبود و مقدار بارش را دست‌پایین برآورد نمود(زانگ و همکاران، ۲۰۱۱ :۳۹۴-۳۶۸). پِیت بارش ماهانه در غرب آفریقا را با یک مدل اقلیمی منطقه‌ای شبیه‌سازی و با بارش دیده‌بانی مقایسه کرد. نتیجه حاکی از پیش‌بینی دست‌پایین مدل و عدم دستیابی به برخی جزئیات چرخه فصلی بارش در Sub-Saharan آفریقای غربی بود. او از مدل آماری (همبستگی خطی چندگانه) به منظور تعدیل داده‌های شبیه‌سازی به ویژگی بارش مشاهداتی، با کمک متغیرهای شبیه‌سازی شده سطحی مانند دما، فشار سطح دریا و مولفه‌های باد استفاده نمود. نتایج، بهبود اساسی در ناکارایی مدل اقلیم منطقه‌ای را نشان داد(پِیت، ۲۰۱۱:1336-1321). ناندوزی و همکاران، مدل‌های RCM،UK و PRECIS را جهت شبیه‌سازی بارش و دمای اوگاندا به کار بردند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که مدل‌های مذکور، سیگنال‌های جریان‌های بزرگ‌مقیاس که بارش و دما را در اوگاندا تحت تاثیر قرار می‌دهند به طور نسبتاً خوبی به‌دست می‌گیرند و شبیه‌سازی بارش و دما توسطRCMs نسبت به GCMs بهبود یافت. الگوهای بارش و دما در سه فصل مورد مطالعه، اختلاف داشتند بطوریکه در فصل بارندگی (ماه‌های مارس تا می) دما ۰/۹ درجه سانتیگراد و بارش ۰/۲ میلیمتر در روز فراپیش‌بینی داشت. برای سپتامبر تا نوامبر روند معکوس برای دو پارامتر دما و بارش وجود داشت به طوریکه افزایش دما افزایش همان۰/۹ درجه سانتیگراد قبلی و بارش ۰/۷ میلیمتر در روز کاهش داشت. در فصول خشک (ژوئن تا اوت) هم دما و هم بارش به ترتیب ۰/۳ درجه سانتیگراد و ۰/۴ میلیمتر در روز کاهش داشت(ناندوزی و همکاران، ۲۰۱۲: ۲۲۵-۲۱۳). فرانکو و همکاران، دما و بارش شبیه‌سازی با مدل RegCM4 شده را مورد ارزیابی قرار دادند. محدوده انتخابی آنها مکزیک، دوره اجرای مدل ۲۰۰۸-۱۹۸۲ و قدرت تفکیک افقی ۵۰ کیلومتر انتخاب شد. نتایج بررسی‌های ایشان حاکی از برآورد زیاد بارش توسط مدل در مناطق کوهستانی بود(فرانکو و همکاران، ۲۰۱۳:۶۴۷-۶۲۹) .

روش تحقیق

پژوهش حاضر در حوزه جغرافیای خاورمیانه- آسیای شرقی، در شمال شرق و شرق کشور ایران بر روی استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضویی و خراسان جنوبی انجام شده است. که محدوده به عرض جغرافیایی ۳۱/۵ تا ۳۸ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ تا ۶۱ درجه شرقی را در بر می گیرد. در پژوهش حاضر با توجه به دوره آماری و آمار در دسترس داده‌های آب و هواشناسی، مطالعات بر روی ۱۴ ایستگاه سینوپتیک(بجنورد، قوچان،گلمکان،مشهد،سرخس،سبزوار،کاشمر،فردوس،گناباد،بیرجند،طبس،قائن،نهبندان،تربت حیدریه) استان‌های مذکور انجام شده است.شکل (۱).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.2.4]



شکل(۱). موقعیت ایستگاههای هواشناسی در خراسان بزرگ

داده‌های مورد نیاز در اجرای مدل منطقه‌ای اقلیمی RegCM4 از مرکزICTP[2] با فرمت NetCDF شامل سه دسته داده‌های وضع جوی NNRP1 در مقیاس روزانه (۶ ساعته) با شبکه بندی افقی ۲/۵×۲/۵ درجه از پایگاه داده‌های بازتحلیل مرکزملی پیش‌بینی محیطی آمریکا[3]، داده‌های سطح دریا(SST) با شبکه بندی یک درجه از نوع (OISST) از سازمان ملی اقیانوس و جو آمریکا[4]وداده‌های سطح زمین (SURFACE) که شامل سه نوع داده‌های توپوگرافی (GTOPO)، داده‌های پوشش گیاهی یا کاربری اراضی (GLCC) وداده نوع خاک (GLZB) با دقت ۳۰ ثانیه از سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا[5]، برای دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۱ دریافت شدند. دسته دیگر از داده‌ها شامل مقادیر متغیر بارش و دما جهت بررسی توانمندی مدل اقلیمی منطقه‌ای و انجام پس‌پردازش در ایستگاه‌های سینوپتیک که از سازمان هواشناسی کشور (IRIMO) دریافت گردید. . به منظور تعیین طرحواره مناسب بارش، سالی با بارش نرمال در بین دوره شبیه‌سازی(سال ۲۰۰۷) با استفاده از مدل SAIPانتخاب و مدل با طرحواره‌های مختلف در سال مذکور اجرا شد بدین منظور با تهیه فایل اسکریپت متنی[6] اطلاعات اجرایی مدل از جمله فاصله نقاط شبکه بر حسب کیلومتر، طول و عرض جغرافیایی مرکز مدل و محدوده انتخابی مدل بر حسب درجه، تاریخ شروع و پایان شبیه‌سازی، نوع داده‌های ورودی و داده‌های بازتحلیل، گام زمانی مدل و نوع طرحواره اجرایی ویرایش گردید. بنابراین در اجرای اولیه، مدل به مدت یکسال از تاریخ ۱۷ دسامبر ۲۰۰۶ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۰۷، با قدرت تفکیک ۳۰ کیلومتر ، به صورت مجزا با هر سه

[1] International Centre for Theoretical Physics
[2] NCEP/NCAR
[3] National Oceanic and Atmospheric Administration
[4] United States Geological Survey
[1] Namelist

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.2.4]

طرحواره گرل، کو و امانوئل موجود در کد RegCM4.1.1 با شرایط یکسان از داده های مرزی و اولیه به اجرا گذاشته شد. بر این اساس طرحواره کو با کمترین خطا در مقایسه با میزان بارش مشاهداتی ۱۴ ایستگاه سینوپتیک منطقه به عنوان طرحواره اصلی، قدرت تفکیک مکانی ۳۰×۳۰ کیلومترمربع، تعداد نقاط شبکه ۱۵۲ در عرض (iy) و ۱۶۸ در طول جغرافیایی(jx) در طول دوره آماری ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۱ اجرا گردید. برونداد مدل شامل داده‌های اتمسفری (ATM)، پوشش سطحی(SRF) و تابشی (RAD) با فرمت NetCDF بوده که هر کدام حاوی تعداد زیادی از متغیرهای هواشناسی هستند .جهت پس‌پردازش برونداد مدل، از روش میانگین متحرک (MA) استفاده شد.

در روش MA کـه از شـاخص درجـه موازنـه جـرم (DMB[۷])اسـتفاده می‌گـردد تعیـین مناسـب‌ترین دوره زمـانی گذشـته (طـول پنجـره) بـا اهمیـت اسـت. شـاخص مـذکور بـر اسـاس رابطـه(۱)تعیـین و مقـادیر بارش اصلاحی طبق رابطه ۲() (مک کالر و استول[۸]، ۲۰۰۸) محاسبه می‌گردد.

$$DMB_n = \frac{\sum_{k=1}^{n} X_k^p}{\sum_{k=1}^{n} X_k^o}, \qquad \text{رابطه(۱)}$$

$$QPF = \frac{DMO}{DMB_n}, \qquad \text{رابطه(۲)}$$

DMB_n شـاخص درجـه موازنـه جـرم بـا طـول پنجـره n ، $\sum_{k=1}^{n} X_k^p$ مجمـوع بـارش مـدل در زمـان n و $\sum_{k=1}^{n} X_k^o$ مجمـوع بـارش مشـاهداتی اسـت. [۹] QPF میـزان بـارش تصـحیح شـده مـدل و[۱۰] DMO برونـداد مسـتقیم مـدل می‌باشـد. لـذا مناسـب‌ترین طـول پنجـره (دوره زمـانی گذشـته) از جهـت کمتـر بودن میانگین اریبی مقادیر پس‌پردازش‌شده انتخاب گردید.

مبنای کار در این تحقیق تقسیم داده‌ها به صورت ۸۰ و ۲۰ درصد بوده و داده‌ها به صورت انتخابی نه به صورت تصادفی انتخاب شدند. لذا سال‌های ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۱برای آموزش و ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۱ برای تست در نظر گرفته شد. به منظور بررسی دقت و برآورد میزان خطای پیش‌بینی در مقایسه با بارش و دمای دیدبانی، از شاخص آماری میانگین خطای اریبی[۱۱]، (رابطه)۳ استفاده شد. (والاچ و همکاران،۲۰۰۶)

$$MBE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(p_i - o_i), \qquad \text{رابطه(۳)}$$

o_i بارش مشاهداتی، p_i بارش مدل و n تعداد داده‌هاست.

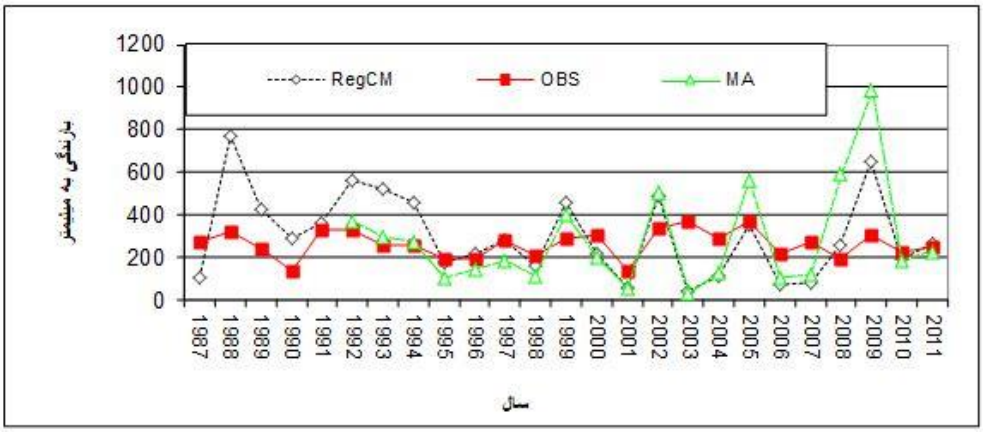
7 Degree of Mass Balance
8 Mccoller and Stull
9 Quantitative Precipitation Forecast
10 Direct Model Output
1 Mean Bias Error

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.2.4]

نتایج

همانطور کـه ذکـر گردیـد پـس از اجـرای مـدل RegCM4، متغییـر بـارش و دمـا ، بـا نوشـتن اسـکریپت در نـرم افـزار GrADS بـه صـورت ماهانـه اسـتخراج گردیـد. مقـاطع زمـانی مـورد مطالعـه بـرای این‌منظـور فصلی و سالانه بـود. لـازم بـه توضـیح اسـت ۸۰ درصـد داده‌هـا در هـر مقطـع زمـانی بـرای راسـتی آزمـایی و ۲۰ درصد بـرای آمـوزش مـدل مـذکور بـه کـار رفـت. و از طریـق رابطـه شـماره (۳) اریبـی سـالانه و فصـلی آنهـا بـرای طـرح واره کـو نسـبت بـه داده هـای مشـاهداتی محاسـبه گردیـد. اشـکال(۲ تـا ۵)کـارایی مـدل RegCM4 را قبـل و بعـد از پس‌پـردازش در پیش‌بینـی بـارش سـالانه ، (بـه عنـوان نمونـه چنـد ایسـتگاه انتخابی را) نمایش می‌دهد.

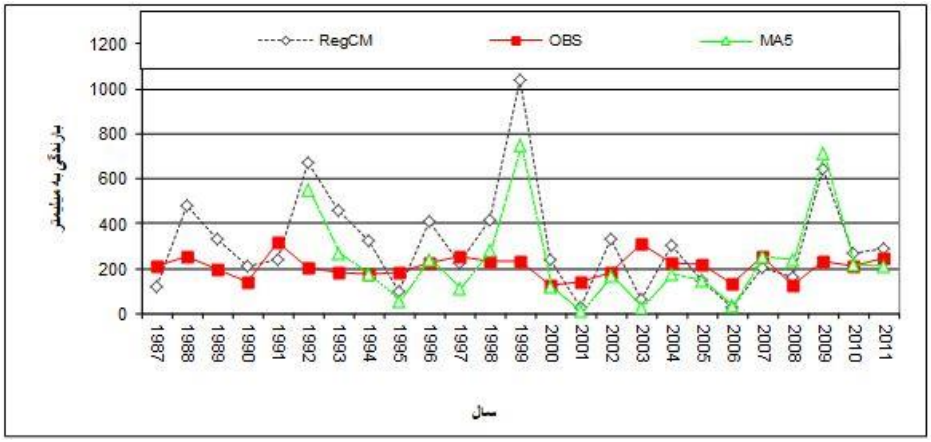
میـانگین بـارش ۲۵ سـاله مـدل نشـان مـی دهـد کـه RegCM ، دارای اریبـی هـای خشـک و تـر در پـیش بینی بارش است. لـذا بـارش را در بعضـی از سـال هـا کمتـر از مقـدار واقعـی و در برخـی از سـال هـا بیشـتر از مقـدار واقعـی پـیش بینـی مـی کنـد. بنـابراین اعمـال عمـل پـس پـردازش بـر روی اینگونـه از داده هـا، بخوبی جوابگو بـا بـارش هـای مشـاهداتی نمـی باشـد. همـانطور کـه از اشـکال(۱ تـا ۴) مشـاهده مـی شـود. اعمال عمل پس پـردازش در دوره راسـتی آزمـایی مقـدار خطـای اریبـی را تـا حـدی کـاهش داده اسـت. امـا بطـور کلـی بـه علـت وجـود اریبـی هـای خشـک و تـر در دوره آمـاری ، توانـایی عمـل پـس پـردازش را کـم کـرده اسـت.و تنهـا در بعضـی از سـال هـا همتـراز بـا بـارش واقعـی مـی باشـد. پـس بطـور کلـی در بیشـتر سـال هـایی کـه بـارش میـانگین منطقـه کمتـر از نرمـال بـوده اسـت، طـرح واره کـو دارای اریبـی خشـک بارش هست و در سال های با بارش بیش از نرمال، در طرح واره، اریبی تر نیز دیده می شود.



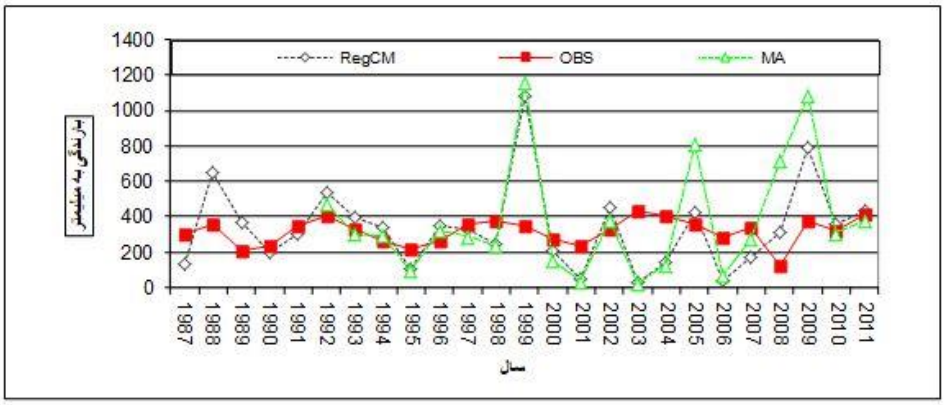
شکل(۲). نمودار مدل‌سازی بارش سالانه ایستگاه بجنورد با استفاده از مدل منطقه‌ای RegCM4 و اعمال پس‌پردازش در دوره واسنجی و راستی‌آزمایی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

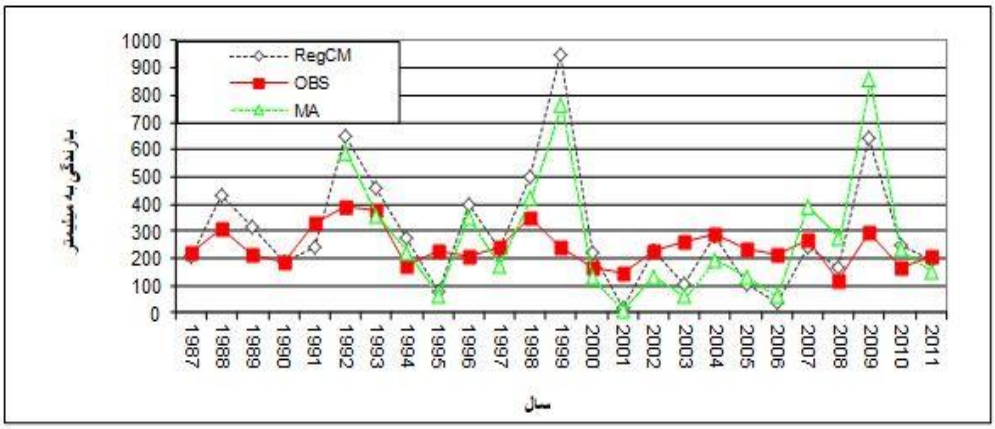
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.2.4]



شکل (۳). نمودار مدل‌سازی بارش سالانه ایستگاه گلمکان با استفاده از مدل منطقه‌ای RegCM4 و اعمال پس‌پردازش در دوره واسنجی و راستی‌آزمایی



شکل (۴).نمودار مدل‌سازی بارش سالانه ایستگاه قوچان با استفاده از مدل منطقه‌ای RegCM4 و اعمال پس‌پردازش در دوره واسنجی و راستی‌آزمایی



شکل (۵). نمودار مدل‌سازی بارش سالانه ایستگاه مشهد با استفاده از مدل منطقه‌ای RegCM4 و اعمال پس‌پردازش در دوره واسنجی و راستی‌آزمایی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.2.4]

در جدول(۱) مقادیر سنجه‌های مورد استفاده جهت راستی‌آزمایی مدل RegCM4 در مقایسه با داده‌های دیده‌بانی، قبل و بعد از فرآیند پس‌پردازش برای همه ایستگاه‌ها و مقاطع زمانی ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود از دیدگاه شاخص میانگین اریبی انجام پس‌پردازش بر روی بارش سالانه ایستگاههای بجنورد منجر به کاهش این دو سنجه از ۱۶/۹ میلیمتر به ۱۵/۳ میلیمتر، ایستگاه گلمکان از ۱۱۳/۷ میلیمتر به ۳۳/۶ میلیمتر، تربت حیدریه از ۱۴۱/۷ میلیمتر به ۵۲/۴ میلیمتر، سبزوار از ۳۹/۶ به ۲۰/۱ میلیمتر، سرخس از ۱۰۳/۵ به ۵۵/۹ میلیمتر، طبس از ۱۵۳/۱ به ۶۳/۳ میلیمتر، فردوس از ۱۴۱/۴ به ۶۵/۵ میلیمتر، کاشمر از ۹۷/۵ به ۴۷/۳ میلیمتر، گناباد از ۱۳۱ به ۵۵/۵ میلیمتر و ایستگاه مشهد از ۶۲/۴ به ۳۹/۳ میلیمتر با روش MA در مقایسه با برونداد خام مدل شده است.

در بین ایستگاهها، ایستگاههای بیرجند، قائن، قوچان و نهبندان نتیجه اعمال پس پردازش رضایت بخش نبوده و موجب افزایش خطای اریبی شده اند و برونداد خام مدل دینامیکی به مقادیر مشاهداتی نزدیکتر می باشد. لذا اعمال پس‌پردازش در این ۴ ایستگاه یاد شده ، موجب وخیم‌تر شدن شرایط و کاهش بیشتر مقادیر شبیه‌سازی شده است.

با توجه به شکل (۶) مشاهده می شود مدل RegCM توانسته است،منطقه همبارش شمال شرق ایران را با چند درصد افزایش بخوبی مدلسازی کند. با توجه به نقشه بارش مشاهداتی، بخوبی نمایان است که منطقه همبارش بیشینه شمال منطقه، بر اساس دو نقشه یکسان است. لذا در هر دو نقشه مناطق بیشینه بارش سالانه در ایستگاههای قوچان، تربت حیدریه و بجنورد مشاهده می شود. اما در نقشه پس پردازش منطقه، بیشینه بارش علاوه بر ایستگاههای یاد شده ایستگاه بیرجند نیز به آن افزوده شده است. این در عمل با نقشه مشاهداتی در تضاد می باشد. لذا می توان نتیجه گرفت که اعمال عمل پس پردازش برای شبیه سازی و پیش بینی داده های بارش، نسبت به خود مدل RegCM در برخی از ایستگاههای منطقه از واقعیت کمتری برخوردار می باشد.

بر اساس جدول (۲)کمترین خطا میانگین اریبی فصلی، در فصل زمستان متعلق به ایستگاههای قوچان و نهبندان به ترتیب با ۳/۴ و ۱۵/۲ میلیمتر، در فصل بهار ایستگاههای نهبندان و بیرجند با ۹/۳۸ و ۱۰/۲ میلیمتر، در فصل تابستان ایستگاههای طبس، گناباد،فردوس،نهبندان و بیرجند با اریبی منفی کمتر از ۱- میلیمتر، در فصل پاییز ایستگاههای کاشمر،بیرجند و مشهد به ترتیب با اریبی۵/۳، ۵/۷ و ۷/۲ میلیمتر مشاهده می شود. بطور کلی فصل های زمستان و بهار ، کلیه ایستگاهها با اریبی تر و فصل تابستان با اریبی خشک مواجه می باشند. در فصل پاییز هر دو اریبی خشک و تر در بین ایستگاهها مشاهده می شود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.2.4]

جدول (۱). سنجه‌های آماری قبل و بعد از پس‌پردازش بارش سالانه شبیه‌سازی شده توسط مدلRegCM4 در دوره راستی‌آزمایی(۲۰۱۱-۱۹۹۲)

ایستگاه سینوپتیک	میانگین اریبی مدلRegCM (میلیمتر)	میانگین اریبی پس پردازشMA(میلیمتر)	بارش مشاهداتی	بارش مدل RegCM	بارش مدل پس پردازش MA
بجنورد	۱۶.۹	۱۵.۳	۲۶۴.۲۵	۲۸۱.۱۹	۲۷۹.۵۷
گلمکان	۱۱۳.۷	۳۳.۶	۲۰۵.۲	۳۱۸.۸	۲۳۸.۸
بیرجند	۸۴.۴	۲۰۸.۳	۱۵۲.۲	۲۳۶.۶	۳۶۰.۵
تربت حیدریه	۱۴۱.۷	۵۲.۴	۲۶۰.۵	۴۰۲.۳	۳۱۳
سبزوار	۳۹.۶	۲۰.۱	۱۹۱.۸	۲۳۱.۴	۲۱۱.۹
سرخس	۱۰۳.۵	۵۵.۹	۱۹۰.۱	۲۹۳.۶	۲۴۶
طبس	۱۵۳.۱	۳۶.۳	۸۰.۳	۲۳۳.۴	۱۱۶.۶
فردوس	۱۴۱.۴	۶۵.۵	۱۳۰.۲	۲۷۱.۵	۱۹۵.۷
قائن	۶۷.۸	۹۹.۹	۱۵۷.۹۶	۲۲۵.۷۶	۲۵۷.۸۸
قوچان	۱۶.۴	۵۱.۸	۳۲۲.۴	۳۳۸.۸	۳۷۴.۱
کاشمر	۹۷.۵	۴۷.۳	۱۹۲.۷	۲۹۰.۲	۲۴۰
گناباد	۱۳۱	۵۵.۵	۱۲۹.۶	۲۶۰.۷	۱۸۵.۲
مشهد	۶۲.۴	۳۹.۳	۲۳۹.۷	۳۰۲.۱	۲۷۹
نهبندان	۲۲.۵	۷۳.۴	۱۲۰.۱	۱۴۲.۶	۱۹۳.۵

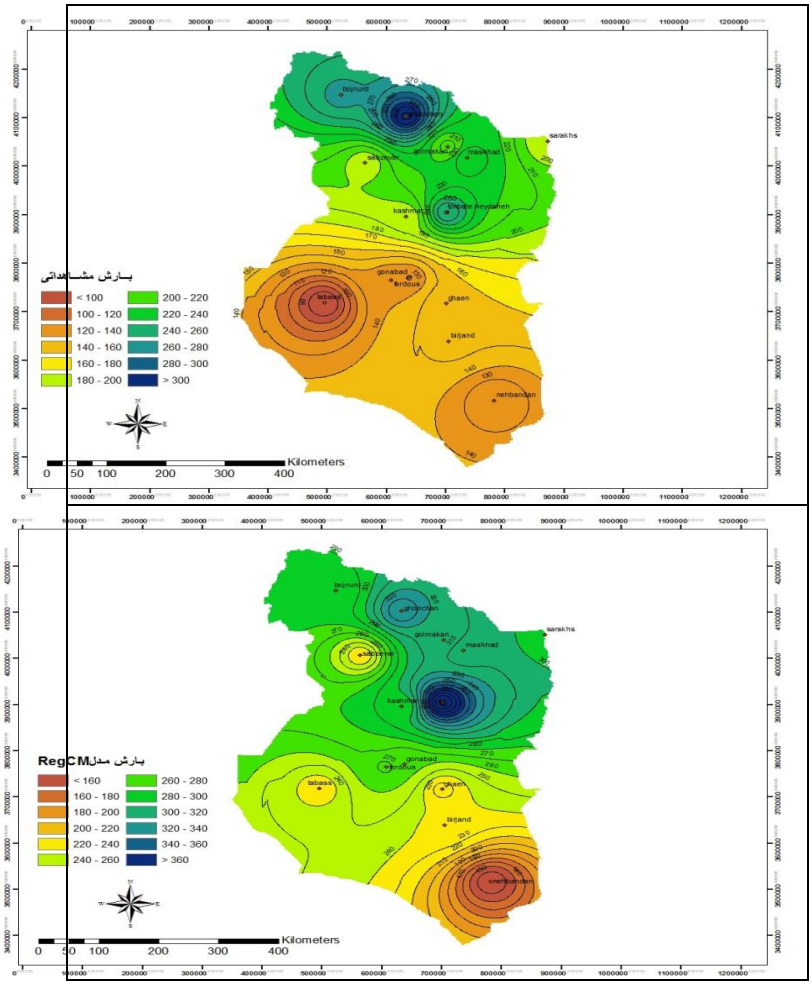
جدول (۲). محاسبه اریبی بارش فصلی(۲۰۱۱-۱۹۸۷)

ایستگاه سینوپتیک	میانگین اریبی مدلRegCM (میلیمتر) فصل زمستان	میانگین اریبی مدلRegCM (میلیمتر) فصل بهار	میانگین اریبی مدلRegCM (میلیمتر) فصل تابستان	میانگین اریبی مدلRegCM (میلیمتر) فصل پاییز
سبزوار	۲۸.۹۳	۱۶.۵۶	-۳.۲۵	۱۰.۵۳
نهبندان	۱۵.۲۶	۹.۳۸	-۰.۶۲	-۱۰.۵۵
بجنورد	۲۵.۳۳	۱۹.۸	-۲۱.۸۸	۱۶.۵۵
گلمکان	۵۱.۳۶	۴۱.۹۴	-۲.۸۵	۱۰.۶۶
تربت حیدریه	۹۳.۸	۳۶.۷۴	-۳.۳۱	۱۱.۹۴
قوچان	۳.۴۳	۴۶.۶۶	-۷.۶۹	-۲۱.۲
مشهد	۲۳.۳۷	۲۹.۶۳	-۵.۰۳	۷.۲۳
کاشمر	۸۱.۳	۲۱.۵۹	-۱.۹۸	۵.۳۸
گناباد	۸۰.۷۳	۳۶.۲	-۰.۵۱	۱۴.۲۶
فردوس	۸۱.۰۷	۳۳.۹۹	-۰.۴۸۴	۲۴.۴

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

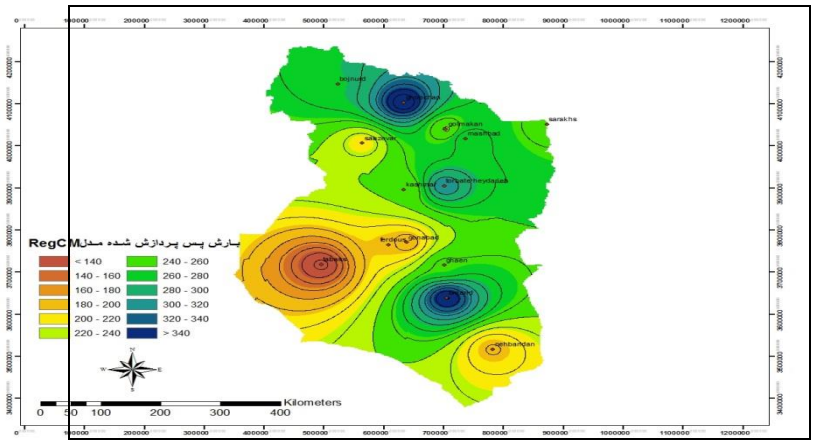
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.2.4]

طبس	۱۲۰.۴۷	۲۷.۸۲	-۰.۰۳۶	۱۲.۷۴
بیرجند	۶۰.۷۱	۱۰.۲۶	-۰.۷۹	۵.۷۵
سرخس	۷۹.۱۴	۱۸.۲۴	-۱.۲۶	۱۳.۲۹
قائن	۲۴.۹	۳۰.۷۷	-۰.۶۷۴	-۰.۰۴۴



[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.2.4]



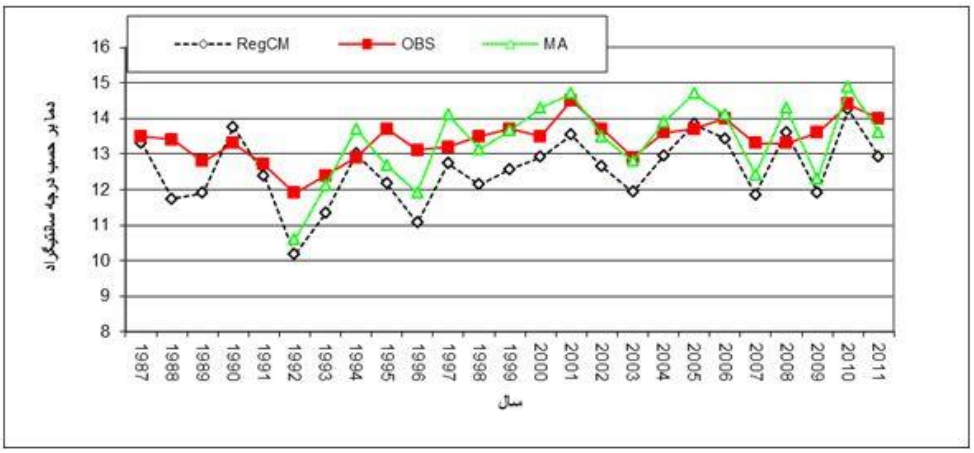
شکل (۶). مقایسه بارش سالانه مشاهداتی با بارش مدل شده RegCM و بارش پس پردازش شده MA-RegCM

همانند بارش، دمای سالانه و فصلی سال های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۱ توسط مدل RegCM4 با استفاده از طرحواره شبیه سازی شد. سپس مقادیر بدست آمده با داده های دیده بانی شده منطقه در ماههای مشابه مقایسه گردیدند و اریبی آنها برای مقادیر فصلی و سالانه محاسبه شد. برای دادهای سالانه بعد از محاسبه اریبی ، مبادرت به پس پردازش داده های مشاهداتی و مدل RegCM4 با روش میانگین متحرک (MA) شد. همچنین ۸۰ درصد داده‌ها در هر مقطع زمانی برای راستی آزمایی و ۲۰ درصد برای آموزش مدل مذکور به کار گرفته شدند.

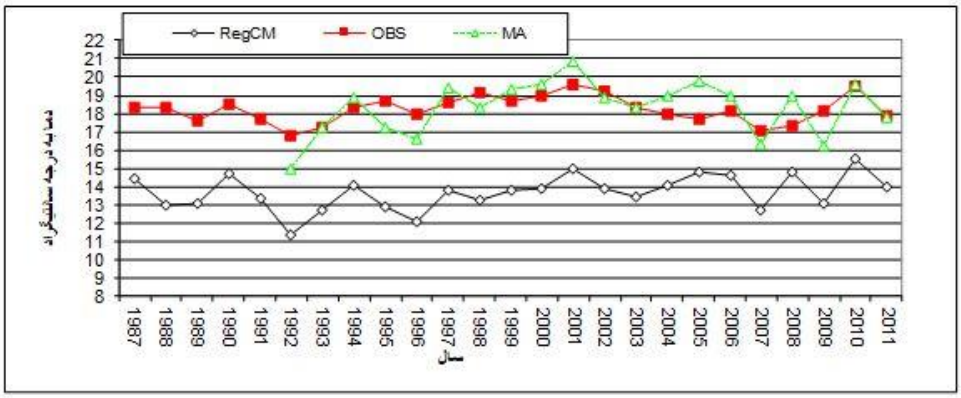
اشکال (۷ تا ۱۰) کارایی مدل RegCM4 را قبل و بعد از پس‌پردازش در پیش‌بینی دمای سالانه (به عنوان نمونه چند ایستگاه انتخابی) نمایش می‌دهد. نکته قابل توجه هماهنگی افت و خیزهای برونداد خام مدل RegCM4 باداده‌های مشاهداتی در اکثر سال‌ها و فصول می‌باشد؛ به طوریکه در اغلب زمان‌هایی که داده‌های دیدبانی در اوج بوده برونداد خام مدل RegCM4 نیز در اوج بوده است. و در بیش از ۹۹/۹ درصد از موارد، داده های دمای سالانه و فصلی را در تمامی ایستگاهها، ۱ تا ۳ درجه کمتر از مقدار واقعی پیش بینی کرده است و این بر خلاف داده ای بارش بود که در بعضی از سال ها کمتر از مقدار واقعی و در برخی از سال ها بیشتر از مقدار واقعی پیش بینی می کند. بنابراین اعمال عمل پس پردازش بر روی اینگونه از داده ها، بخوبی جوابگو با دماهای مشاهداتی می باشد. همانطور که از اشکال ۵ تا ۸ مشاهده می شود. اعمال عمل پس پردازش در دوره راستی آزمایی مقدار خطای اریبی را به مقدار زیادی کاهش و نتایج را با داده های مشاهداتی همتراز کرده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

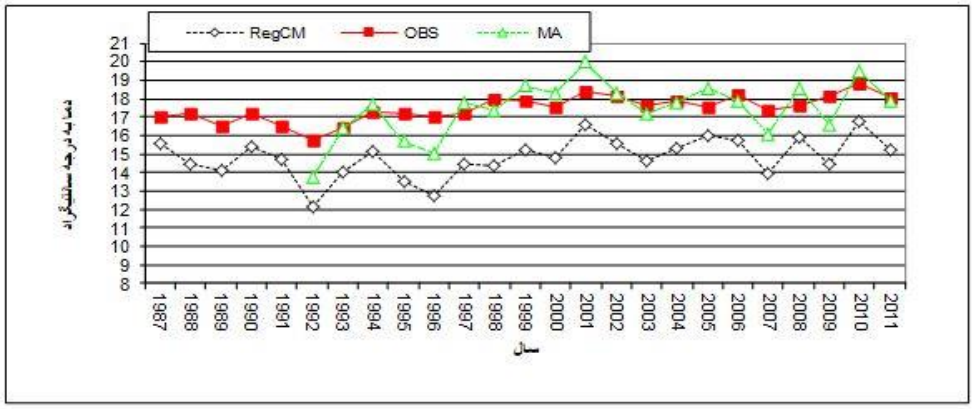
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.2.4]



شکل (۷). نمودار مدل‌سازی دمای سالانه ایستگاه بجنورد با استفاده از مدل منطقه‌ای RegCM4 و اعمال پس‌پردازش در دوره واسنجی و راستی‌آزمایی



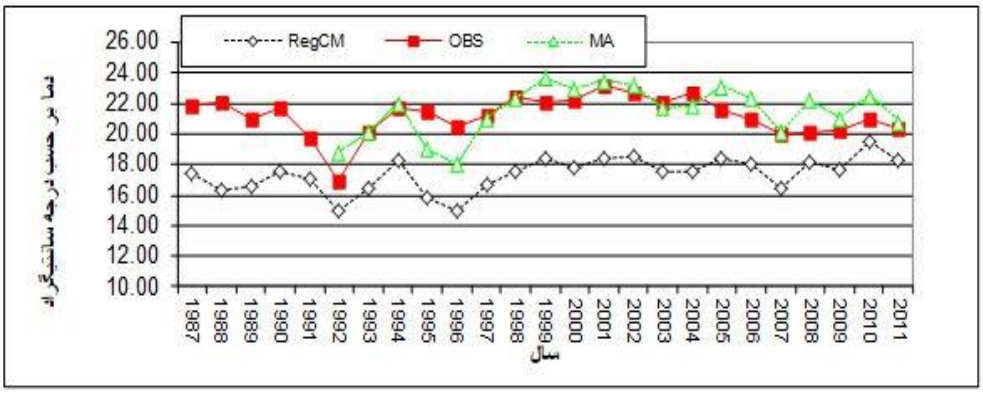
شکل (۸). نمودار مدل‌سازی دمای سالانه ایستگاه سبزوار با استفاده از مدل منطقه‌ای RegCM4 و اعمال پس‌پردازش در دوره واسنجی و راستی‌آزمایی



شکل (۹). نمودار مدل‌سازی دمای سالانه ایستگاه فردوس با استفاده از مدل منطقه‌ای RegCM4 و اعمال پس‌پردازش در دوره واسنجی و راستی‌آزمایی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.2.4]



شکل (۱۰). نمودار مدل‌سازی دمای سالانه ایستگاه نهبندان با استفاده از مدل منطقه‌ای RegCM4 و اعمال پس‌پردازش در دوره واسنجی و راستی‌آزمایی

در جدول(۳) مقادیر سنجه‌های مورد استفاده جهت راستی‌آزمایی مدل RegCM4 در مقایسه با داده‌های دیده‌بانی، قبل و بعد از فرآیند پس‌پردازش برای همه ایستگاه‌ها و مقاطع زمانی ارائه شده است. از دیدگاه شاخص میانگین اریبی انجام پس‌پردازش بر روی دمای سالانه ایستگاههای کاشمر منجر به کاهش این دو سنجه از ۲/۹- به ۰ درجه ، ایستگاه بجنورد از ۰/۸۹- به ۰/۰۷- درجه، بیرجند از ۲/۲- به ۰/۰۱۱- درجه، تربت حیدریه از ۱/۲- به ۰/۰۶- درجه، سبزوار از ۴/۵- به ۰/۰۶- درجه، سرخس از۰/۷۶- به ۰/۰۸- درجه، طبس از ۵/۲- به ۰/۰۶- درجه، فردوس از ۲/۷- به ۰/۱۲- درجه، قائن از ۱/۷- به ۰/۲-درجه ، قوچان از ۲/۵- به ۰/۰۷-، گلمکان از ۳/۰۷- به ۰/۱۷- درجه، گناباد از ۲/۹۴- به ۰/۱۱- درجه، مشهد از ۴/۳۱- به ۰/۱۲- و ایستگاه نهبندان از ۳/۷- به ۰/۳۱ درجه سانتیگراد با روش MA در مقایسه با برونداد خام مدل شده است. بنابراین شبیه سازی داده های دمای ایستگاهها با استفاده از مدل RegCM و MA در شمال شرق ایران کارایی بالایی را نشان میدهد و در تمامی ایستگاهها دمای سالانه مدل شده با داده های مشاهداتی کمتر از ۰/۱ درجه سانتیگراد اختلاف دارد.

بر اساس جدول (۴)کمترین خطا میانگین اریبی فصلی، در فصل زمستان متعلق به ایستگاههای سرخس و بجنورد به ترتیب با ۲/۴- و ۲/۹- درج سانتیگراد، در فصل بهار ایستگاههای بجنورد، سرخس و سرخس به ترتیب با ۱/۲۷- ، ۱/۸- و ۲/۶- درج سانتیگراد، در فصل تابستان ایستگاههای بیرجند،سرخس، قائن، قوچان، کاشمرو گلمکان با اریبی منفی کمتر از ۱/۵- درجه و ایستگاه بجنورد با اریبی مثبت ۱/۱ درجه سانتیگراد، در فصل پاییز ایستگاههای بجنورد،بیرجند، سرخس و قائن به ترتیب با اریبی۰/۰۶۸- ، ۰/۷۳- ، ۰/۴۸ و ۰/۱۷۵- درجه سانتیگراد مشاهده می شود. بنابراین در تمامی فصول ، برونداد خام مدل دینامیکی در پیش‌بینی و شبیه سازی دما به مقادیر مشاهداتی نزدیکتر بود و با اعمال عمل پس پردازش فصلی، میانگین اریبی را بطور چشمگیری کاهش خواهد داد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.2.4]

جدول (۳). سنجه‌های آماری قبل و بعد از پس‌پردازش دمای سالانه شبیه‌سازی شده توسط مدلRegCM4 در دوره راستی‌آزمایی(۲۰۱۱-۱۹۹۲)

ایستگاه سینوپتیک	میانگین اریبی مدلRegCM (درجه سانتیگراد)	میانگین اریبی پس پردازشMA(درجه سانتیگراد)	دمای مشاهداتی	دمای مدل RegCM	دمای مدل پس پردازش MA
بجنورد	-۰.۸۹۴	-۰.۰۷۳	۱۳.۴۴	۱۲.۵۵	۱۳.۳۷
بیرجند	-۲.۲۱	۰.۰۱۲۵	۱۶.۶۲	۱۴.۴	۱۶.۶۱
تربت حیدریه	-۱.۲۸	-۰.۰۶	۱۴.۲۵	۱۲.۹۶	۱۴.۱۹
سبزوار	-۴.۵۸	-۰.۰۶	۱۸.۲۶	۱۳.۶۸	۱۸.۳۲
سرخس	-۰.۷۶	-۰.۰۸	۱۸.۱۶	۱۷.۴	۱۸.۰۷
طبس	-۵.۲۵	-۰.۰۶	۲۲.۷۶	۱۷.۵۱	۲۲.۷
فردوس	-۲.۷۶	-۰.۱۲	۱۷.۵۹	۱۴.۸۴	۱۷.۴۷
قائن	-۱.۷۶	-۰.۲	۱۴.۶۷	۱۲.۹	۱۴.۴۶
قوچان	-۲.۵۳	۰.۰۷	۱۲.۸۱	۱۰.۲۸	۱۲.۸۸
کاشمر	-۲.۹۲	۰	۱۷.۹۲	۱۵	۱۷.۹۲
گلمکان	-۳.۰۷	-۰.۱۷	۱۳.۶۸	۱۰.۶۱	۱۳.۵۱
گناباد	-۲.۹۴	-۰.۱۱	۱۷.۵۵	۱۴.۶۲	۱۷.۴۴
مشهد	-۴.۳۱	-۰.۱۲	۱۵.۵	۱۱.۱۹	۱۵.۳۹
نهبندان	-۳.۷۲	۰.۳۱	۲۱.۱۹	۱۷.۴۷	۲۱.۵

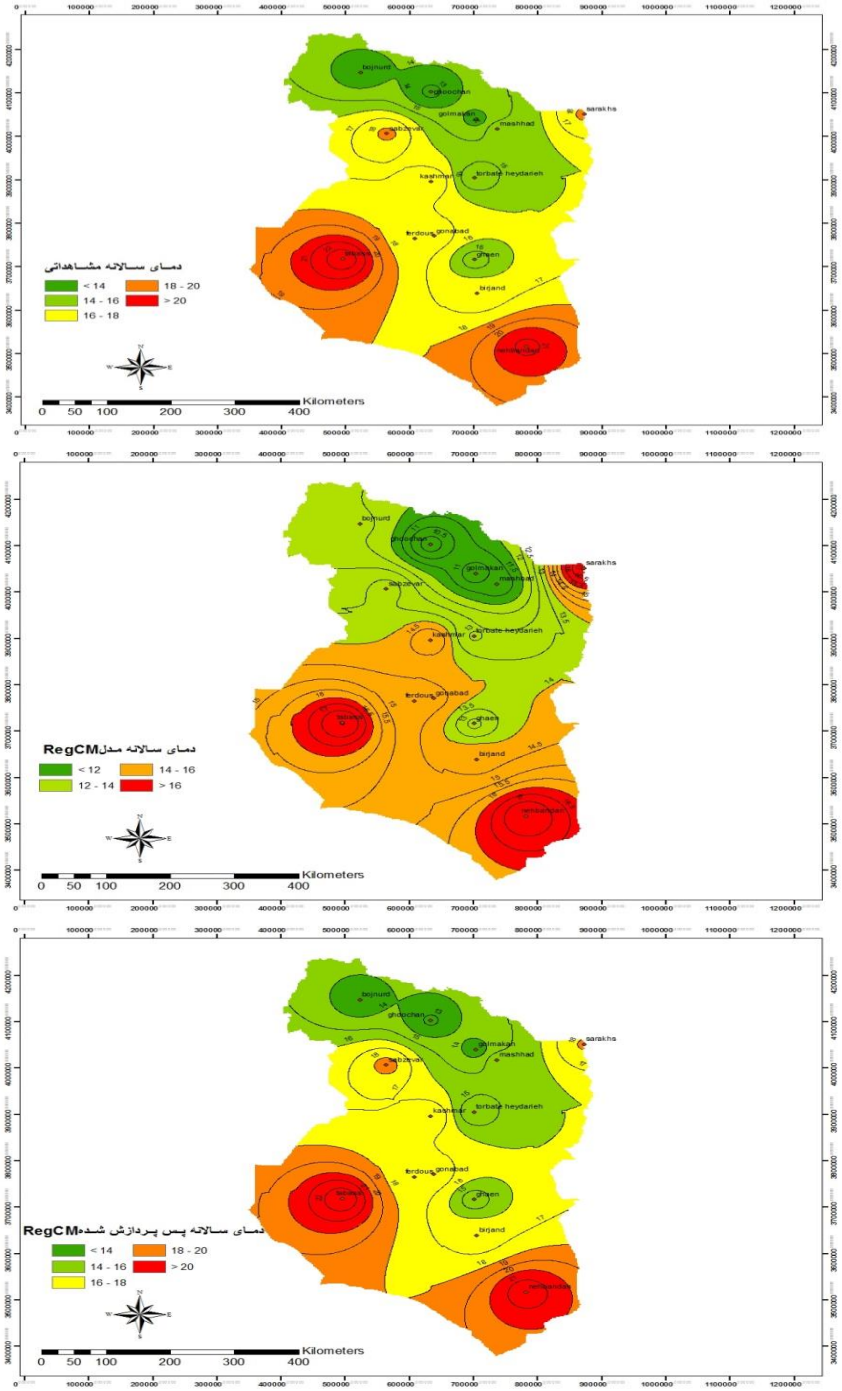
جدول (۴). محاسبه اریبی دمای فصلی(۲۰۱۱-۱۹۸۷)

ایستگاه سینوپتیک	میانگین اریبی مدلRegCM فصل زمستان (درجه سانتیگراد)	میانگین اریبی مدلRegCM فصل بهار (درجه سانتیگراد)	میانگین اریبی مدلRegCM فصل تابستان (درجه سانتیگراد)	میانگین اریبی مدلRegCM فصل پاییز (درجه سانتیگراد)
بجنورد	-۲.۹۴	-۱.۲۷	۱.۱۴	-۰.۰۶۸
بیرجند	-۳.۳۵	-۳.۵۱	-۰.۹	-۰.۷۳
تربت حیدریه	-۵.۲	-۵.۳	-۳.۳	-۲.۴۸
سبزوار	-۵.۷	-۵.۸	-۳.۳	-۳.۱
سرخس	-۲.۴۶	-۱.۸۱	-۱.۳۲	۰.۴۸
طبس	-۵.۴۷	-۶.۴۴	-۵.۱۶	-۳.۵۸
فردوس	-۳.۸۸	-۳.۷۳	-۱.۵۸	-۱.۲۳
قائن	-۳.۱۵	-۲.۶	۰.۰۳۹	-۰.۱۷۵
قوچان	-۴.۰۱	-۳.۵	-۱.۰۳	-۱.۱۹
کاشمر	-۴.۳۹	-۴.۰۵	-۱.۰۴	-۱.۹۹
گلمکان	-۴.۶۹	-۳.۹۸	-۱.۴۱	-۱.۶۵
گناباد	-۳.۶۹	-۴.۵	-۱.۸۲	-۱.۰۴
مشهد	-۵.۲۳	-۵.۳۱	-۳.۳۵	-۲.۴۸

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.2.4]

نهبندان	-۴.۰۴	-۵.۵	-۳.۴۳	-۲.۳۴



شکل (۱۱). مقایسه دمای سالانه مشاهداتی با دمای مدل شده RegCM و دمای پس پردازش شده MA-RegCM

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.2.4]

با توجه به شکل (۱۱) مشاهده می شود مدل RegCM توانسته است،منطقه همدما خراسان را بخوبی مدلسازی کند. با توجه به نقشه دمای مشاهداتی، بخوبی نمایان است که منطقه همدمای کمینه(شمال خراسان) و بیشینه منطقه(جنوب خراسان)، بر اساس سه نقشه یکسان است. این شباهت در نقشه پس پردازش شده دو چندان می شود، بطوریکه متوسط دمای سالانه دیده بانی شده ایستگاه بجنورد ۱۳/۴۴ درجه است که در مدل پس پردازش شده ۱۳/۳۷ درجه سانتیگراد رسیده است. یا در دمای بیشینه منطقه در ایستگاه طبس دمای پس پردازش شده و مشاهداتی، هر دو ۲۲/۷ درجه سانتیگراد می باشد.

لذا می توان نتیجه گرفت که اعمال عمل پس پردازش برای شبیه سازی و پیش بینی داده های دما، نسبت به خود مدل RegCM واقعیت بیشتری را از منطقه به نمایش می گذارد. و کاربرد مدل های دینامیکی از قبیل RegCM4 به علت وجود طرحواره مختلف و تولید انواع داده های جوی و هیدرولوژی و ...، در چنین مطالعاتی به شدت حساس می شود. و از نتایج چنین تحقیقاتی می توان در مراکز پیش بینی عملیاتی اقلیمی برای صدور پیش بینی های سالانه، فصلی، ماهانه و روزانه ، سود جست.

نتیجه گیری

مدل های اقلیمی منطقه ای از جمله مدل های عددی مرکز بین المللی مطالعات فیزیک نظری است که در سال های اخیر، در حکم ابزار اساسی در مطالعات اقلیم منطقه ای، مورد توجه بسیاری از محققین علوم جو قرار گرفته است. هسته دینامیکی مدل RegCM4 نشات گرفته از معادلات هیدروستاتیکی با سامانه مختصات سیکماست. از معادلاتی همچون معادلات اندازه حرکت افقی، معادلات پیوستگی و تغییرات فشار، معادله ترمودینامیک، معادلات امگا و معادله هیدرو ستاتیک استفاده می کند. با توجه به شرایط اقلیمی و توپوگرافی، مناطق مختلف کره زمین با طرحواره‌های بارش مختلفی سازگارند. به همین خاطر ، طرحواره های بارشی کو،امانوئل و گرل در سال ۲۰۰۷ که بعنوان یک سال نرمال از نظر بارش مشاهداتی بود، اجراء گردید. که در این میان طرحواره کو کمترین خطای اریبی را در مقدار بارش نشان داد. بنابراین از دیدگاه کمترین اریبی می توان گفت توانمندی طرحواره کو برای شبیه سازی بارش سالانه و فصلی مناسب می باشد. میانگین بارش ۲۵ ساله مدل نشان می دهد که RegCM ، دارای اریبی های خشک و تر در پیش بینی بارش است. لذا بارش را در بعضی از سال ها کمتر از مقدار واقعی و در برخی از سال ها بیشتر از مقدار واقعی پیش بینی می کند. اعمال عمل پس پردازش در دوره راستی آزمایی مقدار خطای اریبی را در بیشتر ایستگاهها کاهش داده است. بر اساس نتایج حاصله، در منطقه مورد مطالعه، در دوره راستی‌آزمایی ۲۰۱۱-۲۰۰۶ میانگین اریبی بارش سالانه خام مدل RegCM4 برابر ۸۵/۳ میلیمتر و پس پردازش شده ۶۱/۰۴ محاسبه شده است. این در حالی است که ایستگاه طبس بالاترین خطا (اریبی‌تر) و قوچان و بجنورد کمترین خطا و دارای اریبی تر برابر ۱۶/۶ بوده است. به طور خلاصه در مقیاس زمانی سالانه در ۷۵ درصد ایستگاه‌های مطالعاتی انجام پس‌پردازش موثر واقع شده و روش MA را کاراتر معرفی نموده‌اند. کمترین متوسط میانگین اریبی خطا بعد از اعمال روش پس‌پردازش MA در ایستگاه بجنورد به ۱۵/۳ میلیمتر رسیده است. در مقیاس فصلی متوسط اریبی خطای

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.2.4]

محدوده در فصل زمستان برابر ۵۴/۹۹ میلیمتر، فصل بهار ۲۷/۱۱ میلیمتر، فصل تابستان ۳/۶- و در فصل پاییز ۷/۲۱ میلیمتر می باشد. در بین فصول، فصل زمستان و بهار با اریبی تر، فصل تابستان با اریبی خشک و فصل پاییز دارای هر دو اریبی تر و خشک در بین ایستگاهها می باشد. شبیه سازی داده های دمای ایستگاهها با استفاده از مدل RegCM و MA در شمال شرق ایران کارایی بالایی را نشان میدهد و در تمامی ایستگاهها دمای سالانه مدل شده با داده های مشاهداتی کمتر از ۰/۱ درجه سانتیگراد اختلاف دارد. نکته قابل توجه هماهنگی افت و خیزهای برونداد خام مدل RegCM4 و مدل پس پردازش شده با داده‌های مشاهداتی در اکثر سال‌ها و فصول می‌باشد؛ به طوریکه در اغلب زمان‌هایی که داده‌های دیده بانی در اوج بوده برونداد خام و پس پردازش شده مدل RegCM4 نیز در اوج بوده است. در تمامی فصول ، برونداد خام مدل دینامیکی در پیش‌بینی و شبیه سازی دما به مقادیر مشاهداتی نزدیکتر بود و با اعمال عمل پس پردازش فصلی، میانگین اریبی را بطور چشمگیری کاهش خواهد داد.

منابع

آزادی، مجید؛ جعفری، س؛ میرزایی، ا؛ و عربلی، پ، (۱۳۸۷). **پس‌پردازش برونداد مدل میان‌مقیاس MM5 برای دمای بیشینه و کمینه با استفاده از فیلتر کالمن**. مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۴ (۱) ، ۶۵-۶۱.

آزادی، مجید؛ شیرغلامی، محمدرضا؛ حجام، سعید. ،(۱۳۸۹). **پس‌پردازش برونداد مدل WRF برای بارندگی در ایران**. مجموعه مقالات چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران،۲۳-۲۱ اردیبهشت، موسسه ژئوفیزیک،ص۹۴-۹۱.

بابائیان،ایمان؛ مدیریان، راحله؛ کریمیان، مهرناز؛ حبیبی نوخندان،مجید، (۱۳۸۶)، **شبیه سازی بارش ماه های سرد سال های ۱۳۷۶ و۱۳۷۹ با استفاده از مدل اقلیمیRegCM3**، مجله جغرافیا و توسعه، **۱۰**: ۷۲ -۵۵ .

سلطانزاده، احسان؛ احمدی گیوی، فرهنگ؛ ایرانژاد،پرویز .(۱۳۸۶). **بررسی سه ماه تاثیر رشته کوه های زاگرس بر جریان های میان مقیاس منطقه شرق زاگرس با استفاده از مدل منطقه ای RegCM**، مجله فیزیک زمین و فضا، **۳۳(۱)**: ۵۰-۳۱.

حجازی زاده، زهرا. طولابی نژاد، میثم، (۱۳۹۵)، **شبیه سازی اقلیمی با تاکید بر اقلیم مدل منطقه ای RegCM4**، انتشارات آکادمیک انجمن جغرافیایی ایران.

Afzaal,M.and Hussain, A., (2006), **Numerical Simulation of Summer Monsoon Precipitation of 1992 Over Pakistan**. Pakistan Journal of Meteorology. 3(5).

Elguindi,N.,Giorgi,F., (2006), **Simulating Multi-decadal Variability of Caspian Sea Level Changes Using Regional Climate Model Outputs,Climate Dynamics**, **26**, 167-181.

Francisco,R.,V., (2003),**Some Experiments in Running the RegCM over the Philippines,ICTP Workshop on the Theory and Use of Regional Climate Models**, Trieste Italy.۱۶۳-۱۷۵.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.2.4]

Franco,R. and Coppola, E., (2013), **Assessment of RegCM4 simulated inter-annual variability and daily-scale statistics of temperature and precipitation over Mexico**, Clim Dyn (2014), **42**,:629-647.

Islam,N.,Rahman1,M., (2007), Uddin Ahmed,A.,Romee, A., **Comparison of RegCM3 simulated meteorological parameters in Bangladesh**, Part I-preliminary result for rainfall,Sri Lankan Journal of Physics, **8**: 1-9.

Nandozi, C.S. and et al, (2012). **Reginal Climate Model Performance and of seasonal rainfall and surface tempreture of Uganda**. African Crop Science Journal. **20**, 213-225.

Paeth, H., (2011), **Postprocessing of simulated precipitation for impact research in West Africa**. Part I: model output statistics for monthly data;.,**36(7),:**1321-1336.

Pal,J.,Giorgi,F.,BiX.,Elguindi,N.,Salmon,F.,Gao X., Rauscher S. A., Francisco,R.,ZakeyA.,Winter,J.,Ashfagh,M.,Syed,F.,S.,Bell,J.,Diffenbaugh,J.,K.,Konare,A.,Martinez,D.,Rocha,R.,Sloan,L.,Steiner,A.,(2007),Regional **Climate modeling for the Developing World, the ICTP and RegCNET,Bulletin of American meteorological society**, 1396-1409.

Schmidli, J. and et al, (2007) **Statistical and dynamical downscaling of precipitation. An evaluation and comparison of scenarios for the european Alps**. Journal of Geophysical Reserch,112.

Wang,Y.,Sen,O.L.,Wang,B.,(2002),**A Highly Resolved Regional Climate Model and its Simulation of the 1998 Sever Precipitation Event over China**, Part 1: Model Description and Verification of Simulation, Jurnal of Climate,p 19, 1721.

Jenkins G.S., (1997), **The 1988 and 1990 Summer Season Simulation for West Africa Using a Regional Climate Model**, Journal of Climate, **10**: 1255-1272.

Zong, P. and Wang, H., (2011). **Ealuation and analysis of RegCM3 simulated summer rainfall over the Huaihe river of China. Acta Meteorologica Sinica**. **25**:386-394.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.2.4]