

# مقایسه‌ی عملکرد مدل‌های LARS و RegCM4 در شبیه‌سازی و پس پردازش داده‌های سالانه دما و بارش خراسان بزرگ

محمود احمدی<sup>۱</sup>      حسن لشکری<sup>۲</sup>  
قاسم کیخسروی<sup>۳</sup>      مجید آزادی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۰۳/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۰۶/۲۷

\*\*\*\*\*

## چکیده

این تحقیق به منظور شبیه‌سازی بارش و دما با مدل دینامیکی RegCM4 و LARS در دو حالت با و بدون به‌کارگیری تکنیک پس‌پردازش آماری برونداد مستقیم مدل در شمال‌شرق ایران (خراسان بزرگ) و دوره آماری ۲۰۱۱-۱۹۸۷ در مقطع زمانی سالانه انجام شده است. بر اساس نتایج حاصله، در مدل LARS در منطقه مورد مطالعه، در دوره راستی‌آزمایی ۲۰۱۳-۲۰۰۷ میانگین اریبی بارش سالانه خام مدل برابر ۵۳/۶۳ میلیمتر و پس‌پردازش شده ۱۱/۲۵- می‌باشد. بطور خلاصه در مقیاس زمانی سالانه در ۸۴ درصد ایستگاه‌های مطالعاتی انجام پس‌پردازش مؤثر واقع شده و میزان خطای اریبی را در بیشتر ایستگاه‌ها، بشدت کاسته است. بر اساس نتایج حاصله از مدل RegCM4، در دوره راستی‌آزمایی ۲۰۱۱-۲۰۰۶ میانگین اریبی بارش سالانه خام مدل RegCM4 برابر ۸۵/۳ میلیمتر و پس‌پردازش شده ۶۱/۰۴ محاسبه شده است. لذا مقادیر خطا در بیشتر ایستگاه‌ها قبل و بعد از پردازش بسیار بالا و نتایج مدل قابل قبول نیست. بطور خلاصه در مقیاس زمانی سالانه در ۷۵ درصد ایستگاه‌های مطالعاتی انجام پس‌پردازش مؤثر واقع شده است. بنابراین قدر مطلق خطای اریبی پس‌پردازش متوسط بارش سالانه مدل LARS برابر با ۱۳/۶ و مدل RegCM4 برابر با ۶۱ می‌باشد. میانگین اریبی دمای سالانه خام مدل LARS برابر ۰/۰۹۶ درجه سانتیگراد و پس‌پردازش شده ۰/۴۳۲- است. این در عمل بزرگتر از اریبی بدون پس‌پردازش شده است، لذا عمل پس‌پردازش در تمامی ایستگاه‌ها مؤثر واقع نشده و فقط در ۴۶ درصد ایستگاه‌ها خوب تعریف می‌شود. شبیه‌سازی داده‌های دمای دومتری در ایستگاه‌های هواشناسی با استفاده از مدل RegCM4 و نیز اعمال MA 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 داده‌های مشاهداتی کمتر از ۰/۱ درجه سانتیگراد اختلاف دارد. بنابراین در شبیه‌سازی داده‌های بارش سالانه مدل LARS تا حتی بهتر از مدل RegCM4 جوابگو می‌باشد. و در شبیه‌سازی داده‌های دمای سالانه مدل دینامیکی RegCM4، واقعیت خیلی بهتری از منطقه نسبت به مدل آماری LARS، از خود نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: خراسان بزرگ، پس‌پردازش، مدل دینامیکی RegCM4، مدل آماری LARS

\*\*\*\*\*

۱- استادیار اقلیم‌شناسی دانشگاه شهید بهشتی 44ahmadi@gmail.com

۲- دانشیار اقلیم‌شناسی دانشگاه شهید بهشتی dr\_lashkari61@yahoo.com

۳- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه شهید بهشتی ms167023@yahoo.com

۴- دانشیار هواشناسی پژوهشکده هواشناسی، تهران azadi@hotmail.com

## مقدمه

۱- طرح واره کو - آنتس: در این طرح واره همگرایی رطوبت در ستون قائم به عنوان واداشت بزرگ مقیاس فرض می‌شود و زمانی که این مقدار از حد گذشت، همرفت آغاز می‌شود.

۲- طرح واره گول: در طرح واره گول دو جریان پایای بالارو و پایین رو درون ابر در نظر گرفته شده و فرض می‌شود که هیچ اختلاطی بین ابر و محیط آن به جز در قله ابر و پایه ابر رخ نمی‌دهد. به عبارت دیگر، شار قائم ماده با ارتفاع تغییر نمی‌کند. محل وقوع جریان‌های بالارو و پایین رو به ترتیب با استفاده از نقاط بیشینه و کمینه انرژی ایستایی مرطوب<sup>۱</sup> به دست می‌آید.

۳- طرح واره امانوئل: در این روش سطح صعود یا نزول بسته به هوا با یافتن سطحی که در آن دمای پتانسیل ابر با دمای محیط برابر است، مشخص می‌شود. این طرح واره ی معادله برآورد شارش جرم به همراه نرخ جرین‌های ورودی و خروجی دارد که از طریق نیروی شناوری مشخص می‌شود. در طرح واره امانوئل تبدیل آب ابر به بارش بر مبنای فرایندهای کاتوره‌ای صورت می‌گیرد. استفاده از این فرایندها موجب درک بهتر فرایند تبدیل قطرات آب موجود در ابر به بارش می‌گردد. (Hogan, 2003: 667-691)

در مدل‌های آماری علاوه بر داده‌های یک مدل گردش عمومی جو، داده‌های دیده بانی شده نیز جهت کشف ارتباط آماری بین داده‌های مدل گردش عمومی جو در گذشته و داده‌های دیده بانی مورد نیاز است. روش آماری ریز مقیاس کردن در مقایسه با روش‌های دینامیکی، خصوصاً در مواقعی که هزینه کم تر و ارزیابی سریع تر عوامل مؤثر بر تغییرات آب و هوایی مورد نیاز باشد، از مزیت‌ها و قابلیت‌های بیشتری برخوردار است. (Semenov and Brooks, 1999: 137-148)

لذا در این تحقیق سعی بر آن است ضمن راستی آزمایی و مقایسه شبیه سازی داده‌های بارش و دما، کارایی مدل

از دهه ۱۹۷۰ با کاربردی شدن روش‌های عددی در هواشناسی، تلاش‌ها برای دستیابی به مدل‌های گردش عمومی جو و مدل‌های منطقه‌ای شتاب بیشتری گرفتند و از آن هنگام مدل‌های مختلف با دیدگاه‌های هواشناسی و اقلیمی توسعه یافتند. با تدوین سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط هیأت بین الدول تغییر اقلیم، مدل‌های گردش عمومی جو با فرضیات مختلف انتشار مانند A1, A2, B1, B2... توسعه یافته‌اند تا وضعیت اقلیمی دهه‌های آتی را مشخص کنند. در مطالعات ارزیابی تأثیر اقلیم در سطوح منطقه‌ای، یکی از مشکلات اصلی در استفاده از مدل‌های موجود، وسعت محدوده برآورد متغیرها در این مدل‌هاست که با توجه به تغییرات توپوگرافی و اقلیم در این محدوده، نمی‌توان از نتایج، مستقیماً در مقیاس ایستگاهی استفاده نمود. به عبارت دیگر مدل شرایط توپوگرافی و پوشش سطح زمین در محدوده مورد بحث کاملاً متفاوت می‌باشد. برای رفع این نقیصه، روش‌های مختلفی جهت تولید سناریوهای اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای ایجاد شده‌اند، که به آن‌ها ریز مقیاس کردن (Down-Scaling) گفته می‌شود. روش‌های ریز مقیاس کردن به دو بخش عمده تقسیم می‌شوند: (۱) آماری (۲) دینامیکی. با استفاده از روش‌های مختلف ریز مقیاس کردن می‌توان تغییرات اقلیمی را در آینده مورد بررسی قرار داد. (Dubrovsky, 1996: 12)

مدل‌های دینامیکی منطقه‌ای دارای دقت فضایی مناسبی برای ارزیابی اقلیمی بوده و همچنین فرایندهای ریز مقیاس جوی و اقلیمی تا حد ممکن لحاظ می‌شوند. کاربست مدل‌های دینامیکی، امکان مطالعه ی دقیق تر پدیده‌های جوی میان مقیاس و مقیاس منطقه‌ای را در مناطق مختلف جهان فراهم نموده است. مدل‌های دینامیکی با وجود طرح واره‌ها قادر هستند در درون مدل بزرگی مانند RegCM4 فیزیک پدیده‌های جوی کوچک مقیاس و زیر شبکه‌ای را که مدل قادر به آشکارسازی آن‌ها نیست، شبیه سازی کنند. از این قبیل طرح واره‌ها می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد.

منطقه‌ای (RCM) در منطقه‌ای با توپوگرافی پیچیده مورد مقایسه قرار دادند. زمان انتخاب شده، زمان حال و آینده (۲۰۷۰-۲۱۰۰) 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 به‌طور 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 (Schmidli et al., 2007:112) پال و همکاران، توانمندی مدل اقلیمی RegCM را در شبیه‌سازی بارش و دمای دوره ۱۹۸۷-۲۰۰۰ در دو منطقه هندوستان و آمریکای جنوبی (آمازون) که دارای بارش‌های سنگین مونسونی هستند مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها دریافتند که بکارگیری طرحواره گول 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 (Pal et al., 2007:1396-1409). الگوئندی و جورجی، شبیه‌سازی‌هایی 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. (Elguindi and Giorgi, 2006: 167-181) فرانسیسکو و همکاران، با اجرای مدل RegCM بر روی

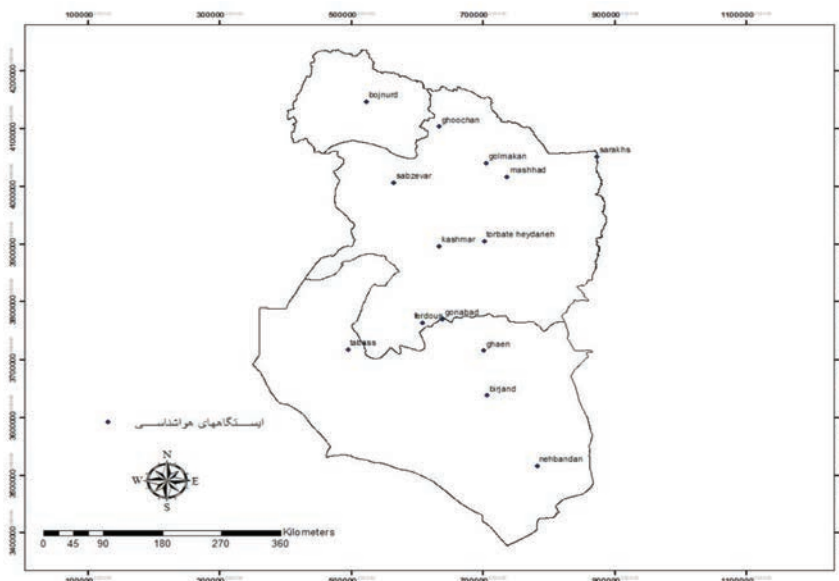
را در تولید داده‌های هواشناسی برای آینده، با استفاده از مدل‌های آماری و دینامیکی جو برآورد نماید. در رابطه با مدل RegCM4 و LARS تحقیقات متعددی انجام شده است، که بطور غالب در بحث‌های آب و هواشناختی و شبیه‌سازی آب و هوای منطقه‌ای و امکان‌سنجی پیش‌بینی فصلی و روزانه می‌باشد.

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 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. (Zong and Wang, 2011:368-394)

زمنف و استراتونویچ در ۴ منطقه اروپا با استفاده از ۱۵ مدل گردش عمومی جو و تحت چهار سناریوی انتشار و توسط مدل ریزمقیاس آماری LARS5 به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تنش گرما در مرحله گلدهی گندم پرداختند. نظر آن‌ها بر این است که استفاده از گروه چند مدلی AR4 اجازه می‌دهد تا بررسی محدوده عدم قطعیت در اثرات تغییرات اقلیمی ناشی از عدم قطعیت در برآوردهای اقلیمی امکان‌پذیر باشد. (Semenov and Stratonovitch, 2010:1-14) روی و همکاران تأثیرات تغییر اقلیم و تنش رطوبتی را بر محصولات کشاورزی در جنوب غربی بنگلادش مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها تغییر اقلیم را تا سال ۲۰۷۵ تعیین نمودند. بر اساس نتایج حاصله متوسط دما برای سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۷۵ بترتیب ۰/۸۸ و ۲/۴۲ درجه سانتی‌گراد افزوده می‌شوند. افزایش دما در ماه‌های زمستان بیش از سایر ماه‌های سال خواهد بود. بر اساس نتایج آنها افزایش در میانگین بارش سالانه برای سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۷۵ به ترتیب برابر ۲ و ۱۰/۱ درصد بود. (Roy et al., 2009:1-8)

شمیدلی و همکاران، جهت ریزمقیاس‌نمایی بارش روزانه، ۶ مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDM) را با سه مدل اقلیمی

نگاره ۱: موقعیت ایستگاه‌های  
هواشناسی در خراسان بزرگ



خشکی و آریبی سرد بر روی مناطق گینه و ساحل پی برد. که در صورت استفاده از طرح واره گرل مقدار آن بیشتر می‌شود (Jenkins, 1997: 1255-1272).

**روش تحقیق**

پژوهش حاضر در حوزه جغرافیایی استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی و خراسان جنوبی انجام شده است، که محدوده عرض جغرافیایی ۳۱/۵ تا ۳۸ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ تا ۶۱ درجه شرقی را در بر می‌گیرد. در این مقاله با توجه به دوره آماری و آمار در دسترس داده‌های آب و هواشناسی، مطالعات بر روی ۱۴ ایستگاه سینوپتیک (بجنورد، قوچان، گلچکان، مشهد، سرخس، سبزوار، کاشمر، فردوس، گناباد، بیرجند، طبس، قائن، نهبندان، تربت حیدریه) استان‌های مذکور با طول دوره آماری ۲۵ ساله (۲۰۱۱-۱۹۸۷) انجام شده است (نگاره ۱).

LARS یک مدل ریز مقیاس‌نمایی آماری می‌باشد که مولد مصنوعی داده‌های آب و هواشناسی در یک مکان واحد تحت شرایط اقلیم حال و آینده بکار می‌رود. در تحقیق حاضر از مدل گردش عمومی هوا HadCM3 همراه داده‌های سناریو AIB جهت شبیه‌سازی و برآورد استفاده شده است. HadCM3 از نوع مدل‌های گردش عمومی جفت

فیلیپین، سامانه پیش‌آگاهی 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 به یک مدل هیدرولوژی خوراندند. پس از اجرای این مدل هیدرولوژی، پیش‌بینی‌های مربوط به جریان رواناب و سیلاب در حوضه‌های مختلف ارائه گردید (Francisco et al., 2003: 163-175).

وانگ و همکاران با استفاده از مدل 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 (Wang et al., 2002: 19).

ماوروماتیس و هانس با مقایسه مدل‌های WM.WM2.LARS نشان دادند که مدل LARS در سطح اطمینان قابل قبول تری (۹۵ درصد) اقدام به تولید داده نموده است.

(Mavromatis and Hansen, 2001: 283-296)

جنکینز وضعیت دما و باد منطقه غرب آفریقا را در تابستان‌های سال ۱۹۸۸ و ۱۹۹۰ با استفاده از مدل RegCM شبیه‌سازی کرد و در مقایسه آن با داده‌های مرکز اروپایی بر آورد میان مقیاس هوا، به وجود آریبی گرم بر روی

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 SAIP انتخاب و مدل با طرحواره‌های مختلف در سال مذکور اجرا شد بدین منظور با تهیه فایل اسکریپت متنی<sup>۶</sup> 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 و 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 طرحواره گریل، کو و امانوئل موجود در کد ۱,۱,۱ RegCM4، با شرایط یکسان از داده‌های 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، در مدل وارد شد.

جهت پس‌پردازش برون‌داد مدل LARS و RegCM4، از روش میانگین متحرک (MA) استفاده شد. در روش MA از شاخص درجه موازنه جرم (DMB7) استفاده می‌گردد. شاخص مذکور بر اساس رابطه ۱ محاسبه و مقادیر بارش اصلاحی طبق رابطه ۲ (Mccoller and Stull, 2008:9) محاسبه می‌شود.

$$DMB_n = \frac{\sum_{k=1}^n X_k^p}{\sum_{k=1}^n X_k^o}, \quad (1)$$

$$QPF = \frac{DMO}{DMB_n}, \quad (2)$$

$DMB_n$  شاخص درجه موازنه جرم باطول پنجره n (۵ سال RegCM4 و ۲۰ سال LARS)، مجموع بارش

شده جوی-اقیانوسی (AOGCM) است که مخفف Hadley Coupled Atmosphere-Ocean General Circulation Model بوده و در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس طراحی و توسعه یافته است. توصیف این مدل توسط گوردن و همکاران (Gordon et al., 2000:147-168) و پوپ و همکاران (Pope et al., 2000:123-146) انجام شده است. HadCM3 از دو مؤلفه جوی و اقیانوسی به نام‌های HadAM3 (مدل جوی) و HadOM3 (مدل اقیانوسی) که دارای یک مدل یخ-دریا نیز می‌باشد، تشکیل شده است.

مدل گردش عمومی HadAM3 دارای قدرت تفکیک افقی ۲/۵ در ۳/۷۵ درجه عرض و طول جغرافیایی می‌باشد که معادل ۹۶ در ۷۳ نقطه شبکه‌ای در کل کره زمین می‌باشد. در سیستم طیفی، قدرت تفکیک آن T42 می‌باشد که معادل شبکه‌هایی با ابعاد ۴۱۷ کیلومتر در ۲۷۸ کیلومتر (در استوا) در سطح افقی می‌باشد. در عرض ۴۵ درجه ابعاد شبکه یاد شده به ۲۹۵ کیلومتر در ۲۷۸ کیلومتر تقلیل می‌یابد. تعداد لایه‌های این مدل در راستای قائم جو ۱۹ و در عمق خاک ۴ لایه است. گام زمانی مدل ۳۰ دقیقه می‌باشد.

داده‌های مورد نیاز در اجرای مدل منطقه‌ای اقلیمی RegCM4 از مرکز ICTP<sup>۱</sup> با فرمت NetCDF شامل سه دسته داده‌های وضع جوئی NNRP1 در مقیاس روزانه (۶ ساعته) با شبکه بندی افقی ۲/۵×۲/۵ درجه از پایگاه داده‌های بازتحلیل مرکز ملی پیش‌بینی محیطی آمریکا<sup>۲</sup>، داده‌های سطح دریا (SST) با شبکه بندی یک درجه از نوع (OISST) از سازمان ملی اقیانوس و جو آمریکا<sup>۳</sup> و داده‌های سطح زمین (SURFACE) که شامل سه نوع داده‌های توپوگرافی (GTOPO)، داده‌های پوشش گیاهی یا کاربری اراضی (GLCC) و داده نوع خاک (GLZB) با دقت ۳۰ ثانیه از سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا<sup>۴</sup>، برای دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۱ دریافت شدند. دسته دیگر از داده‌ها شامل مقادیر متغیر بارش و دما جهت بررسی توانمندی

1 Atmospheric-Ocean General Circulation Model

2- International Centre for Theoretical Physics

3- NCEP/NCAR

4- National Oceanic and Atmospheric Administration

5- United States Geological Survey

6- 1 Namelist

7- Degree of Mass Balance

پس پردازش در پیش‌بینی بارش و دمای سالانه، (به عنوان نمونه چند ایستگاه انتخابی را) نمایش می‌دهد.

میانگین بارش ۲۵ ساله مدل نشان می‌دهد که RegCM4 دارای اریبی‌های خشک و تر در برآورد بارش است. لذا بارش را در بعضی از سال‌ها کمتر از مقدار واقعی و در برخی از سال‌ها بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند. بنابراین اعمال عمل پس پردازش بر روی اینگونه از داده‌ها، بخوبی جوابگو با بارش‌های مشاهداتی نمی‌باشد. همانطور که در نگاره‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود؛ اعمال عمل پس پردازش در دوره راستی آزمایی مقدار خطای اریبی را تا حدی کاهش داده است. اما بطور کلی وجود اریبی‌های خشک و تر در دوره آماری، توانایی عمل پس پردازش را کم کرده است و تنها در بعضی از سال‌ها هم‌تراز با بارش واقعی می‌باشد. پس پردازش بهبود قابل قبولی انجام نداده است. پس در این مورد نه مدل نتایج قابل قبولی دارد نه پس پردازش مدل.

بنابراین بطور کلی در بیشتر سال‌هایی که بارش میانگین منطقه کمتر از نرمال بوده است، طرح واره کو دارای اریبی خشک بارش هست و در سال‌های با بارش بیش از نرمال، در طرح واره، اریبی تر نیز دیده می‌شود.

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 مقطع 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

مدل در زمان  $n$  و  $\sum_{k=1}^n X_k^o$  مجموع بارش مشاهداتی است.  $QPF^1$  میزان بارش تصحیح شده مدل و  $DMO^2$  برون‌داد مستقیم مدل می‌باشد.

مبنای کار برای مدل RegCM4 تقسیم داده‌ها به صورت ۸۰ و ۲۰ درصد بوده و داده‌ها به صورت انتخابی نه به صورت تصادفی انتخاب شدند. لذا سال‌های ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۱ برای آموزش و ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۱ (بخاطر در دست بودن داده‌های NNRPI تا سال ۲۰۱۱) برای تست در نظر گرفته شد.

برای مدل LARS مبنای کار تقسیم داده‌ها به صورت ۷۵ و ۲۵ درصد بوده، لذا سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۶ برای آموزش و ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ 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<sup>۳</sup> (رابطه ۳) استفاده شد. (Wallach et al, 2006)

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - o_i), \quad (3)$$

در فرمول مذکور  $O_i$  بارش مشاهداتی،  $P_i$  بارش مدل و  $n$  تعداد داده‌هاست. هر چه مقادیر RMSE به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان دهنده شبیه‌سازی بهتر مدل می‌باشد.

## نتایج و بحث

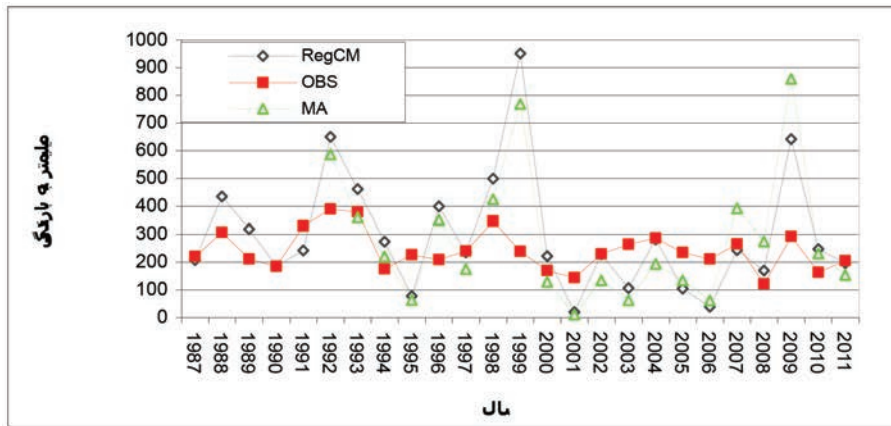
**الف) شبیه‌سازی داده‌های بارش و دما بوسیله RegCM4**  
همانطور که ذکر گردید پس از اجرای مدل RegCM4 متغیر بارش و دما، با نوشتن اسکریپت در نرم افزار GrADS به صورت سالانه استخراج گردید. لازم به توضیح است ۸۰ درصد داده‌ها در هر مقطع زمانی برای راستی‌آزمایی و ۲۰ درصد برای آموزش مدل مذکور به کار رفت. و از طریق رابطه شماره (۴) اریبی سالانه آنها برای طرح واره کو نسبت به داده‌های مشاهداتی محاسبه گردید.

نگاره‌های ۲ تا ۵ کارایی مدل RegCM4 را قبل و بعد از

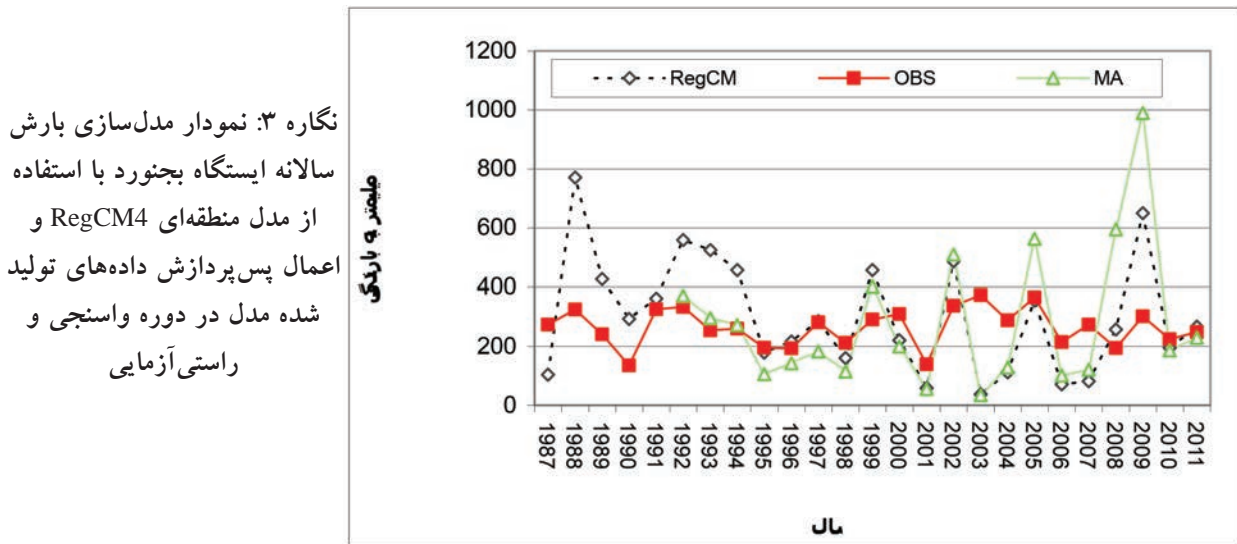
1- Quantitative Precipitation Forecast

2- Direct Model Output

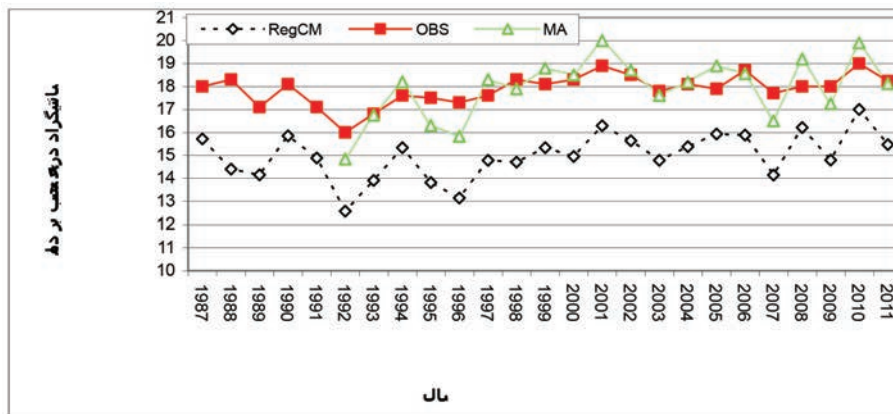
3- Mean Bias Error



نگاره ۲: نمودار مدل‌سازی بارش سالانه ایستگاه مشهد با استفاده از مدل منطقه‌ای RegCM4 و اعمال پس‌پردازش داده‌های تولید شده مدل در دوره واسنجی و راستی‌آزمایی



نگاره ۳: نمودار مدل‌سازی بارش سالانه ایستگاه بجنورد با استفاده از مدل منطقه‌ای RegCM4 و اعمال پس‌پردازش داده‌های تولید شده مدل در دوره واسنجی و راستی‌آزمایی



نگاره ۴: نمودار مدل‌سازی دمای سالانه ایستگاه کاشمر با استفاده از مدل منطقه‌ای RegCM4 و اعمال پس‌پردازش داده‌های تولید شده مدل در دوره واسنجی و راستی‌آزمایی

لذا مقادیر خطا در بیشتر ایستگاه‌ها قبل و بعد از پردازش

بسیار بالا و نتایج مدل قابل قبول نیست.

همانند بارش، دمای سالانه و فصلی سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۱ توسط مدل RegCM4 با استفاده از طرح واره کو شبیه‌سازی شد. سپس مقادیر بدست آمده با داده‌های دیده

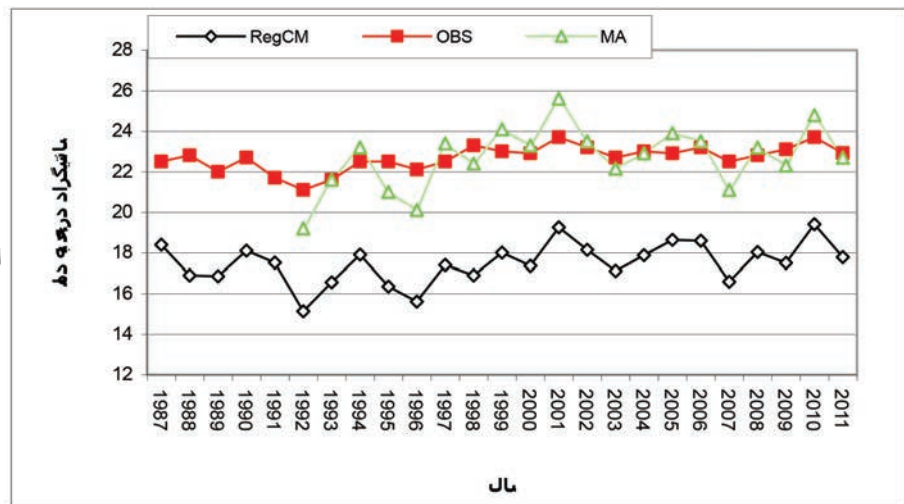
برونداد خام مدل شده است.

در بین ایستگاه‌ها، ایستگاه‌های بیرجند، قائن، قوچان و نهبندان نتیجه اعمال پس‌پردازش رضایت بخش نبوده و موجب افزایش خطای اریبی شده‌اند و برونداد خام مدل دینامیکی به مقادیر مشاهداتی نزدیکتر می‌باشد.

جدول ۱: سنج‌های آماری قبل و بعد از پس پردازش بارش سالانه شبیه‌سازی شده توسط مدل RegCM4 در دوره راستی آزمایی (۲۰۱۱-۱۹۹۲)

ایستگاه سینوپتیک	میانگین اریبی مدل RegCM (میلیمتر)	میانگین اریبی پس پردازش MA (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
ترت 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	۲۵۷/۸
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

نگاره ۵: نمودار مدل‌سازی دمای سالانه ایستگاه طبس با استفاده از مدل منطقه‌ای RegCM4 و اعمال پس پردازش داده‌های تولید شده مدل در دوره واسنجی و راستی آزمایی



نگاره‌های ۴ و ۵ کارایی مدل RegCM4 را قبل و بعد از پس پردازش در پیش‌بینی دمای سالانه، (به عنوان نمونه چند ایستگاه انتخابی) نمایش می‌دهد. نکته قابل توجه هماهنگی افت و خیزهای برون‌داد خام مدل RegCM4 با داده‌های 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

بانی شده منطقه در ماه‌های مشابه مقایسه گردیدند و اریبی آنها برای مقادیر فصلی و سالانه محاسبه شد. برای داده‌های سالانه بعد از محاسبه اریبی، مبادرت به پس پردازش داده‌های 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.



## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (پژوهش)

مقایسه عملکرد مدل‌های LARS و RegCM4 ... / ۱۶۵

سنجه از ۲/۹- به ۰ درجه، ایستگاه بجنورد از ۰/۸۹- به ۰/۰۷- درجه، بیرجند از ۲/۲- به ۰/۱۱- درجه، تربت حیدریه از ۱/۲- به ۰/۰۶- درجه، سبزوار از ۴/۵- به ۰/۰۶- درجه، سرخس از ۰/۷۶- 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 داده‌های 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 داده‌های مشاهداتی کمتر از ۰/۱ درجه سانتیگراد اختلاف دارد.

ب) شبیه سازی داده‌های بارش و دما بوسیله LARS، همانطور که ذکر گردید پس از اجرای مدل LARS،

است و در بیش از ۹۹/۹ درصد از موارد، داده‌های دمای سالانه و فصلی را در تمامی ایستگاه‌ها، ۱ تا ۳ درجه کمتر از مقدار واقعی برآورد کرده است. این بر خلاف داده‌های بارش بود که در بعضی از سال‌ها کمتر از مقدار واقعی و در برخی از سال‌ها بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند.

بنابراین اعمال عمل پس پردازش بر روی اینگونه از داده‌ها، بخوبی جوابگو با دماهای مشاهداتی می‌باشد.

همانطور که در نگاره‌های ۴ و ۵ مشاهده می‌شود، اعمال عمل پس پردازش در دوره راستی آزمایی مقدار خطای اریبی را به مقدار زیادی کاهش داده است و نتایج را به داده‌های مشاهداتی هم‌تراز کرده است.

در جدول (۲) مقادیر سنجه‌های مورد استفاده جهت راستی آزمایی مدل RegCM4 در مقایسه با داده‌های دیده‌بانی، قبل و بعد از فرآیند پس پردازش برای همه ایستگاه‌ها و مقطع زمانی ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود از دیدگاه شاخص میانگین اریبی انجام پس پردازش بر روی دمای سالانه ایستگاه‌های کاشمر منجر به کاهش این دو

جدول ۲: سنجه‌های آماری قبل و بعد از پس پردازش دمای سالانه شبیه‌سازی شده توسط مدل RegCM4 در دوره

راستی آزمایی (۲۰۱۱-۱۹۹۲)

ایستگاه سینوپتیک	میانگین اریبی مدل RegCM (درجه سانتیگراد)	میانگین اریبی پس پردازش MA (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	۱۶/۲۶	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 ۳: سنجه‌های آماری قبل و بعد از پس‌پردازش بارش سالانه شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS در دوره راستی‌آزمایی (۲۰۱۳-۲۰۰۹)

ایستگاه	اریبی دوره شبیه‌سازی شده	اریبی دوره پس پردازش شده	متوسط بارش دیده بانی	متوسط بارش مدل	متوسط بارش پس پردازش شده
فردوس	۲۶	-۹/۲۷	۱۰۹/۸	۱۳۵/۸	۱۰۰/۵۲
قوچان	-۲۰/۷۶	-۴۷/۸۶	۳۴۳/۵۸	۳۲۲/۸۲	۲۹۵/۷۲
قائن	۷۰/۶۴	-۶/۳۲	۱۴۳/۷۲	۲۱۴/۳۶	۱۳۷/۴
بیرجند	۱۳/۷	-۱۶/۵۳	۱۴۵/۱۶	۱۵۸/۸۶	۱۲۸/۶۲
بجنورد	۱۰۳/۷۸	۱۶/۹۳	۲۳۲/۷۶	۳۳۶/۵۴	۲۴۹/۶۹
گناباد	۷۹/۵۲	-۹/۷۸	۱۰۷/۴۶	۱۸۶/۹۸	۹۷/۶۷
سرخس	۳۸/۴	-۱۱/۲۸	۱۸۴/۴	۲۲۲/۸	۱۷۳/۱۱۶
سبزوار	۴۴	-۱۳/۷۵	۱۸۷/۷۶	۲۳۱/۷۶	۱۷۴/۰۱
تربت حیدریه	۱۰۱/۹۶	-۳۰/۷۶	۲۴۸/۶	۳۵۰/۵۶	۲۱۷/۸۴
نهبندان	۹۹/۴۷	۶/۸۱	۹۰/۲۲	۱۸۹/۷	۹۷/۰۴
کاشمر	۱۷/۳۸	-۲۸/۸۶	۱۷۸/۹۷	۱۹۶/۳۶	۱۵۰/۱۱۸
طبس	۳۹/۷۶	۵/۰۵	۶۱/۳۷	۱۰۱/۱۴	۶۶/۴۳
مشهد	۸۳/۴۲	-۰/۶۷۲	۲۳۴/۵۶	۳۱۷/۹۸	۲۳۳/۸۸

متغیر بارش و دما، با نوشتن اسکریپت به صورت سالانه استخراج گردید. لازم به توضیح است ۷۵ درصد داده‌ها در هر مقطع زمانی برای راستی‌آزمایی و ۲۵ درصد برای آموزش مدل مذکور به کار رفت. و از طریق رابطه شماره (۳) نسبت مقدار شباهت داده‌های مدل نسبت به داده‌های مشاهداتی محاسبه گردید. از دیدگاه شاخص میانگین اریبی انجام پس‌پردازش بر روی بارش سالانه ایستگاه‌های مشهد، نهبندان، طبس، فردوس، گناباد و قائن بیشترین همگونی را از خود نشان می‌دهند.

نگاره‌های ۶ و ۷ کارایی مدل LARS را قبل و بعد از پس‌پردازش در پیش‌بینی بارش سالانه و فصلی، (به عنوان نمونه چند ایستگاه انتخابی را) نمایش می‌دهد.

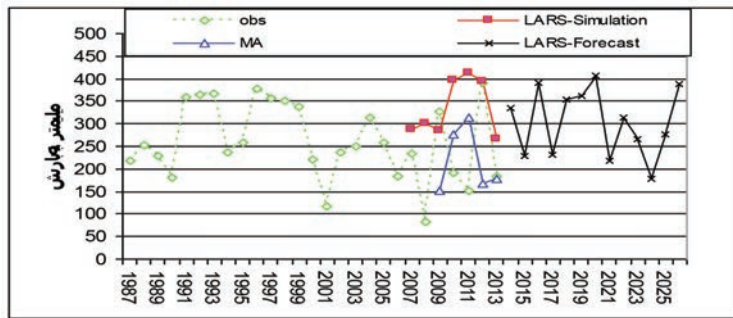
میانگین بارش ۵ ساله مدل نشان می‌دهد که LARS، دارای اریبی‌های خشک و تر در برآورد بارش است. لذا بارش را در بعضی از سال‌ها کمتر از مقدار واقعی و در برخی از سال‌ها بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند. بنابراین اعمال عمل پس‌پردازش بر روی اینگونه از داده‌ها،

بخوبی جوابگو با بارش‌های مشاهداتی نمی‌باشد. در جدول (۳) مقادیر سنجه‌های مورد استفاده جهت راستی‌آزمایی مدل LARS در مقایسه با داده‌های دیده‌بانی، قبل و بعد از فرآیند پس‌پردازش برای همه ایستگاه‌ها و مقطع زمانی ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود از دیدگاه شاخص میانگین اریبی انجام پس‌پردازش بر روی بارش سالانه ایستگاه‌های فردوس منجر به کاهش این دو سنجه از ۲۶ میلیمتر به ۹/۲۷- میلیمتر، ایستگاه قائن از ۷۰/۶۴ میلیمتر به ۶/۳۲- میلیمتر، بجنورد از ۱۰۳/۷۸ میلیمتر به ۱۶/۹۳ میلیمتر، گناباد از ۷۹/۵۲ به ۹/۷۸- میلیمتر، سرخس از ۳۸/۴ به ۱۱/۲۸- میلیمتر، سبزوار از ۴۴ به ۱۳/۷۵- میلیمتر، تربت حیدریه از ۱۰۱/۹۶ به ۳۰/۷۶- میلیمتر، نهبندان از ۹۹/۴۷ به ۶/۸۱ میلیمتر، طبس از ۳۹/۷۶ به ۵/۰۵ میلیمتر و ایستگاه مشهد از ۸۳/۴ به ۰/۶۷۲- میلیمتر با روش MA در مقایسه با برون‌داد خام مدل شده است.

در بین ایستگاه‌ها، ایستگاه‌های بیرجند، کاشمر و قوچان نتیجه اعمال پس‌پردازش رضایت بخش نبوده و موجب

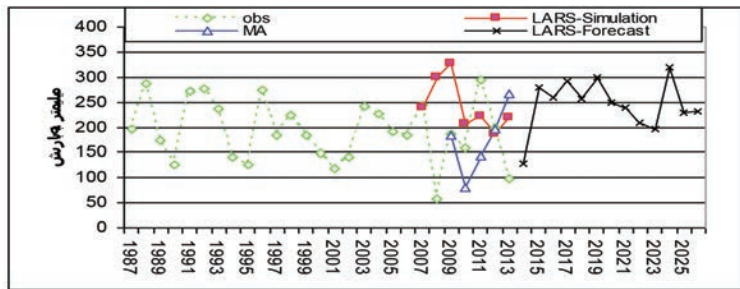
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ( زمستان )

مقایسه عملکرد مدل های LARS و RegCM4 ... / ۱۶۷



نگاره ۶: نمودار مدل سازی بارش سالانه ایستگاه تربت حیدریه با استفاده از مدل LARS و اعمال پس پردازش داده های تولید شده مدل در دوره واسنجی و راستی آزمایی

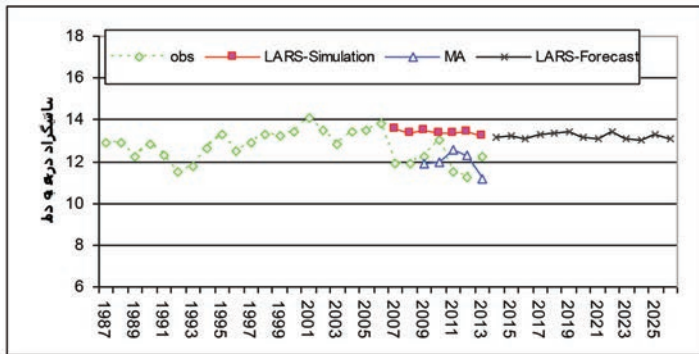
نگاره ۷: نمودار مدل سازی بارش سالانه ایستگاه سبزوآر با استفاده از مدل LARS و اعمال پس پردازش داده های تولید شده مدل در دوره واسنجی و راستی آزمایی



جدول ۴: سنجش های آماری قبل و بعد از پس پردازش دمای سالانه شبیه سازی شده توسط مدل LARS در دوره راستی آزمایی (۲۰۰۹-۲۰۱۳)

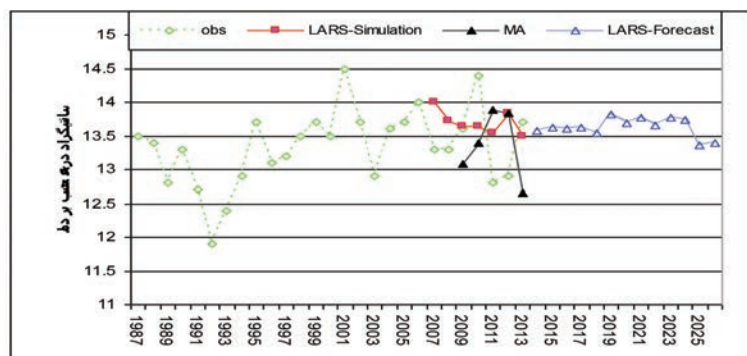
ایستگاه	اریبی دوره شبیه سازی شده	اریبی دوره پس پردازش شده	متوسط دمای دیده بانی	متوسط دمای اریبی	متوسط دمای پس پردازش شده
فردوس	-۰/۳۴۶	-۰/۱۶۲	۱۸/۱۱	۱۷/۷۶	۱۷/۹۴
قوچان	۱/۳۳	-۰/۰۴۷	۱۲/۰۳	۱۳/۳۷	۱۱/۹۸
بجنورد	۰/۱۵	-۰/۱۰	۱۳/۴۸	۱۳/۶۳	۱۳/۳۷
سبزوآر	۰/۳۸	-۰/۳۴	۱۸/۲۹	۱۸/۶۸	۱۷/۹۵
سرخس	-۰/۱۸۷	-۰/۲۷۳	۱۸/۶۵	۱۸/۴۶	۱۸/۳۷
قائن	۰/۹۶۳	-۰/۳۱۱	۱۵/۴۲	۱۴/۸۴	۱۵/۱۱
مشهد	-۰/۲۳۴	-۰/۲۴۶	۱۵/۹۵	۱۵/۷۲	۱۵/۷۱
گناباد	-۰/۳۳۳	-۰/۱۶۳	۱۸/۰۴	۱۷/۷۱	۱۷/۸۸
کاشمر	۰/۰۴۸	-۰/۱۰۷	۱۸/۲۷	۱۸/۳۲	۱۸/۱۶
تربت حیدریه	-۰/۰۹۴	-۰/۱۲۸	۱۴/۶۷	۱۴/۵۸	۱۴/۵۴
طبس	-۰/۱۷۷	-۰/۲۱۲	۲۳/۲	۲۳/۰۷	۲۳/۰۴
نهبندان	-۰/۲۰۷	-۰/۱۷۴	۲۰/۵۴	۲۰/۳۳	۲۰/۳۷
بیرجند	-۰/۰۴	-۳/۳۶	۱۶/۹۷	۱۶/۹۳	۱۳/۶۱

افزایش خطای اریبی شده اند و برون داد خام مدل LARS به مقادیر مشاهداتی نزدیکتر می باشد. لذا اعمال پس پردازش در این ۴ ایستگاه یاد شده، موجب وخیم تر شدن شرایط و کاهش بیشتر مقادیر شبیه سازی شده است. همانطور که در نگاره های ۶ و ۷ مشاهده می شود، اعمال عمل پس پردازش در دوره راستی آزمایی مقدار خطای اریبی را تا حدی کاهش داده است. اما بطور کلی به علت وجود اریبی های خشک و تر در دوره آماری، توانایی عمل پس پردازش را کم کرده است و تنها در بعضی از سال ها همتراز با بارش واقعی می باشد.



نگاره ۸: نمودار مدل سازی دمای سالانه ایستگاه قوچان با استفاده از مدل LARS و اعمال پس پردازش داده های تولید شده مدل در دوره واسنجی و راستی آزمایی

نگاره ۹: نمودار مدل سازی دمای سالانه ایستگاه بجنورد با استفاده از مدل LARS و اعمال پس پردازش داده های تولید شده مدل در دوره واسنجی و راستی آزمایی



مقاطع زمانی ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می شود از دیدگاه شاخص میانگین اریبی انجام پس پردازش بر روی دمای سالانه ایستگاه های فردوس منجر به کاهش این دو سنجه از  $0/34-$  به  $0/162-$  درجه، ایستگاه قوچان از  $1/33$  به  $0/047-$  درجه، سبزوار از  $0/38$  به  $0/34-$  درجه، قائن از  $0/963$  به  $0/311-$  درجه، گناباد از  $0/333-$  به  $0/163-$  درجه، و ایستگاه نهبندان از  $0/207-$  به  $0/174-$  درجه سانتیگراد با روش MA در مقایسه با برونداد خام مدل شده است. لذا عمل پس پردازش در ۵۰ درصد ایستگاه ها مؤثر واقع شده و در ۵۰ درصد ایستگاه ها موجب وخیم تر شدن شرایط شده است.

نگاره های ۸ و ۹ کارایی مدل RegCM4 را قبل و بعد از پس پردازش در پیش بینی دمای سالانه، (به عنوان نمونه چند ایستگاه انتخابی) نمایش می دهد. همانند بارش سالانه، به علت وجود اریبی های خشک و تر در متوسط دماهای سالانه، توانایی عمل پس پردازش تا حتی کم می باشد و تنها در بعضی از سال ها همتر از با دمای واقعی می باشد. در سناریوی AIB، ایستگاه های بیرجند، تربت حیدریه،

براساس سناریوی AIB عقیده بر این است که در آینده، میزان سوخت های فسیلی با حفظ تعادل مورد استفاده قرار می گیرد و همچنین در کنار آنها از سوخت غیر فسیلی نیز استفاده می گردد.

متوسط بارش سالانه در دوره پیش بینی (۲۰۰۷ تا ۲۰۲۶) در ایستگاه های بجنورد، فردوس، گناباد، قوچان، سبزوار، سرخس و تربت حیدریه روند کاهشی را دنبال می کنند. همانند بارش، دمای سالانه و فصلی سال های ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۶ توسط مدل LARS با استفاده از سناریوی AIB شبیه سازی شد. برای داده های سالانه مبادرت به پس پردازش داده های مشاهداتی و مدل LARS با روش میانگین متحرک (MA) از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ شد. از دیدگاه شاخص میانگین اریبی انجام پس پردازش بر روی دمای سالانه ایستگاه های بجنورد، نهبندان، قوچان، فردوس، گناباد و قائن بیشترین همگونی را از خود نشان می دهند.

در جدول (۴) مقادیر سنجه های مورد استفاده جهت راستی آزمایی مدل LARS در مقایسه با داده های دیده بانی، قبل و بعد از فرآیند پس پردازش برای همه ایستگاه ها و

شبیه‌سازی داده‌های 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  $2/78$  - درجه سانتیگراد بود که پس از اعمال پس‌پردازش به  $0/05$  - کاهش یافت. در تمامی ایستگاه‌ها دمای سالانه مدل شده با داده‌های مشاهداتی کمتر از  $0/1$  درجه سانتیگراد اختلاف دارد.

در باب مقایسه متوسط دمای سالانه بین دو مدل می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که:

۱- مقدار خطای اریبی بدون پس‌پردازش شده در مدل LARS ( $0/096$  درجه سانتیگراد)، کمتر از RegCM4 ( $2/78$  - درجه سانتیگراد)، است.

۲- عمل پس‌پردازش بر روی داده‌های مدل LARS، معکوس جواب داده و مقدار خطای اریبی ( $0/432$  -)، را بیشتر از زمان بدون پس‌پردازش شده ( $0/096$ )، نشان می‌دهد.

۳- عمل پس‌پردازش بر روی داده‌های مدل RegCM4، میانگین خطای اریبی را بشدت کاهش داده است (از  $2/78$  - درجه سانتیگراد به  $0/05$  - درجه سانتیگراد یافته است).

۴- با توجه به نمودارهای شماره (۹ و ۸)، مدل LARS بر روی شبیه‌سازی دماهای سالانه، هیچگونه نوسان‌های دمایی را نشان نمی‌دهد. همه اعداد در حول و حوش متوسط دمای سالانه، دوره آماری را برآورد می‌کند. این رفتار در تمامی ایستگاه‌ها مشاهده می‌شود. لذا در نوسان‌های دمایی قادر به شبیه‌سازی و برآورد نمی‌باشد.

۵- نکته قابل توجه هماهنگی افت و خیزهای برونداد خام مدل و پس‌پردازش شده RegCM4 با داده‌های مشاهداتی در تمام سال‌ها می‌باشد (نمودارهای شماره ۵ و ۴)، به طوری که در اغلب زمان‌هایی که داده‌های دیدبانی در اوج بوده برونداد خام مدل RegCM4 نیز در اوج بوده است. این برخلاف داده‌های بارش در هر دو مدل و داده‌های دما در مدل LARS می‌باشد که در بعضی از سال‌ها کمتر از مقدار واقعی و در برخی از سال‌ها بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند.

سبزوار، فردوس، قائن، قوچان، کاشمر، مشهد و نهبندان در فصل پاییز در دوره آینده شاهد افزایش دما می‌باشیم.

## نتیجه‌گیری

براساس نتایج حاصله، در مدل LARS در منطقه مورد مطالعه، در دوره راستی‌آزمایی  $2013-2007$  میانگین اریبی بارش سالانه خام مدل برابر  $53/63$  میلیمتر و پس‌پردازش شده  $11/25$  - می‌باشد. بطور خلاصه در مقیاس زمانی سالانه در  $84$  درصد ایستگاه‌های مطالعاتی انجام پس‌پردازش مؤثر واقع شده و میزان خطای اریبی را در بیشتر ایستگاه‌ها، بشدت کاسته است. براساس مدل گردش عمومی HadAM و سناریوی AIB متوسط بارش سالانه در دوره پیش‌بینی ( $2007$  تا  $2026$ ) در ایستگاه‌های بجنورد، فردوس، گناباد، قوچان، سبزوار، سرخس و تربت حیدریه روند کاهشی را دنبال می‌کنند.

بر اساس نتایج حاصله از مدل RegCM4، در منطقه مورد مطالعه، در دوره راستی‌آزمایی  $2011-2006$  میانگین اریبی بارش سالانه خام مدل RegCM4 برابر  $85/3$  میلیمتر و پس‌پردازش شده  $61/04$  محاسبه شده است. بطور خلاصه در مقیاس زمانی سالانه در  $75$  درصد ایستگاه‌های مطالعاتی انجام پس‌پردازش مؤثر واقع شده و روش MA را کارا تر معرفی نموده‌اند. بنابراین قدر مطلق خطای اریبی پس‌پردازش متوسط بارش سالانه مدل LARS برابر با  $13/6$  و مدل RegCM4 برابر با  $61$  می‌باشد.

میانگین اریبی دمای سالانه خام مدل LARS برابر  $0/096$  درجه سانتیگراد و پس‌پردازش شده  $0/432$  - است. این در عمل بزرگتر از اریبی بدون پس‌پردازش شده است، لذا عمل پس‌پردازش در تمامی ایستگاه‌ها مؤثر واقع نشده و فقط در  $46$  درصد ایستگاه‌ها، خوب تعریف می‌شود. در سناریوی AIB، در ایستگاه‌های بیرجند، تربت حیدریه، سبزوار، فردوس، قائن، قوچان، کاشمر، مشهد و نهبندان در فصل پاییز در دوره آینده شاهد افزایش دما ( $0/03$  درجه سانتیگراد) می‌باشیم.

8- Mccoller D. and Stull R.(2008) Hydrometeorological Accuracy Enhancement via Postprocessing of Numerical Weather Forecasts in Complex Terrain. American Meteorological Society.:131-144.

9- Pope, V.D., Gallani, M.L., Rowntree, P.R. and Stratton, R.A., (2000): The impact of new physical parametrizations in the Hadley Centre climate model -- HadAM3. *Climate Dynamics*, 16, 123-146.

10-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.,Difffenbaugh,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.

11- Roy K., Rahman M., and Kuman U. (2009). Future climate change and moisture stress: Impact on crop agriculture in south-western Bangladesh. *Climate Change and Development Perspective*. 1(1):1-8.

12- Semenov,M., Stratonovitch,P. (2010). Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts, *CLIMATE RESEARCH*. 41: 1-14.

13- Semenov M.A. & Brooks R.J. (1999), Spatial interpolation of the LARSWG stochastic weather generator in great Britain. *Climate Research* 11, 137-148.

14- 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.

15- Wallach, D., Makowski, D. and Jones, J.W., (2006). Working with dynamic crop models. Evaluation, analysis, parameterization and applications. First Edition.

16-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.

17- 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.

بنابراین اعمال عمل پس پردازش بر روی اینگونه از داده ها، بخوبی جوابگو با دماهای مشاهداتی می باشد.

۶- بنابراین در شبیه سازی داده های بارش سالانه هر دو مدل قادر به شبیه سازی کامل نمی باشند. با این وجود مدل LARS بهتر از مدل RegCM4 جوابگو می باشد. در شبیه سازی داده های دمای سالانه مدل دینامیکی RegCM4، واقعیت خیلی بهتری از منطقه نسبت به مدل آماری LARS، از خود نشان می دهد.

### منابع و مآخذ

1- Dubrovsky, M., 1996: Validation of the stochastic Weather Generator Met&ROLL, *Meteorologickeo Zpravy*, Vol49, pp. 12q – 1380.

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

3- 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.175-163.

4- Gordon C, Cooper C, Senior C.A, Banks H, Gregory J.M, Johns T.C, Mitchell J.F.B, Wood R.A, (2000), The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Clim. Dynam.* 16, 147-168.

5- Hogan, T.F., Goerss, J.S. (2003): A Brief Description of the Emanuel Convection Parameterization in NOGAPS and ITS Impact

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

7- Mavromatis, Th., and Hansen, J.W. (2001). Inter annual variability characteristics and simulated crop response of four stochastic weather generators. *Agricultural and forest meteorology*, 109: 283-296.