

کارایی مدل اقلیمی RegCM4 در شبیه‌سازی بارش دوره سرد استان فارس

مطالعه موردی: دوره ۲۰۱۰-۱۹۹۰

فهیمة محمدی^۱، آذر زرین^{۲*} و ایمان باباییان^۳

۱. کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۲. استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۳. عضو هیئت علمی پژوهشکده اقلیم‌شناسی مشهد، ایران

(دریافت: ۹۳/۹/۱، پذیرش نهایی: ۹۴/۳/۱۲)

چکیده

هدف این پژوهش بررسی کارایی مدل اقلیمی RegCM4 در شبیه‌سازی بارش دوره سرد (سپتامبر تا فوریه) سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ در جنوب غرب ایران (استان فارس) از طریق ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی داده‌های دوباره تحلیل‌شده مراکز ملی پیش‌بینی محیطی مرکز ملی پژوهش جوی (NCEP/NCAR) با تفکیک افقی $2/5 \times 2/5$ درجه است. داده‌های شرایط مرزی از مرکز بین‌المللی فیزیک نظری و بارش دیدبانی ماهانه از اداره کل هواشناسی استان فارس اخذ شدند. با اجرای مدل منطقه‌ای RegCM4 داده‌های با تفکیک افقی $2/5 \times 2/5$ درجه به داده‌های 20×20 کیلومترمربع ریزمقیاس شدند. با هدف افزایش کارایی مدل RegCM4، برون‌داد با تفکیک افقی 20×20 کیلومترمربع با به‌کارگیری روش وایازش چندمتغیره، پس‌پردازش آماری شدند. دوسری داده‌های بارش تولیدشده به روش‌های مذکور با داده‌های بارش مشاهداتی ماهانه مقایسه شدند تا کارایی ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی و پس‌پردازش آماری روی برون‌داد مدل RegCM4 مطالعه شود. نتایج نشان دادند که در پاییز کارایی هر دو روش یکسان است و هیچ‌کدام از دو روش ارجحیتی بر یکدیگر ندارند، اما در زمستان کارایی روش دینامیکی بهتر از روش دینامیکی-آماري است و استفاده از پس‌پردازش آماری موجب افزایش کارایی مدل نمی‌شود. در صورتی که این مقایسه برای کل دوره سرد سال (پاییز و زمستان) انجام گیرد، پس‌پردازش آماری کارایی مدل را کاهش می‌دهد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با روش استفاده‌شده در پس‌پردازش آماری، تفاوت معناداری بین داده‌های ریزمقیاس‌شده با تفکیک افقی 20×20 کیلومترمربع و داده‌های پس‌پردازش‌شده به روش وایازش چندمتغیره وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی: استان فارس، بارش، پس‌پردازش آماری، ریزمقیاس‌نمایی، RegCM4

۱. مقدمه

شبکه مدل قرار می‌گیرند، باید خروجی آن‌ها را به مقیاس منطقه‌ای تبدیل کرد (کروری، ۲۰۰۸). با ریزمقیاس کردن خروجی مدل‌ها می‌توان فرایندهای کوچک‌مقیاس و منطقه‌ای را شناسایی و پیش‌بینی کرد (روان و ناظم‌السادات، ۱۳۹۰). پیش‌آگاهی از مقدار بارش مسئله‌ای تعیین‌کننده و دارای اهمیت در بهره‌برداری از سامانه‌های منابع آب، کشاورزی و غیره است. تصمیم‌گیرندگان منابع آب برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی به پیش‌بینی‌های مطمئنی نیاز دارند (احمدوند و همکاران، ۱۳۸۸). در این بین روش‌های پیش‌بینی مختلفی سعی در تعیین ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته داشته‌اند و مدل‌های مفهومی و آماری زیادی

مدل‌های گردش عمومی جو، تحول زمانی جو را با در نظر گرفتن حرکات جوی، تبادلات گرمایی و اندرکنش‌های یخ، اقیانوس و خشکی شبیه‌سازی می‌کنند. در این مدل‌ها ماهیت سه‌بعدی جو و اقیانوس لحاظ شده است و تلاش می‌شود همه فرایندهای اقلیمی که مهم دانسته شده‌اند، در مدل سهم شوند (هندرسون و گوفی، ۱۳۸۰). با توجه به این مهم که مدل‌های گردش عمومی وضعیت جریان‌های هوا و مشخصه‌های اصلی گردش جوی را در مقیاس کلان نشان می‌دهند، اما قادر به آشکارسازی رفتار اقلیم در مقیاس کوچک نیستند؛ به‌خصوص در ارائه پیش‌بینی‌های مربوط به نزولات منطقه‌ای که تحت تأثیر فرایندهای با مقیاس ریزتر از

هندوستان و آمریکای جنوبی (آمازون) بررسی کردند که بر اساس آن مدل RegCM توانسته نواحی با بارش بیشینه را در این ناحیه به خوبی مدل‌سازی کند. اسلام و همکاران (۲۰۰۷)، در پژوهشی با استفاده از مدل اقلیمی مقیاس منطقه‌ای RegCM3 به شبیه‌سازی فراسنج‌های هواشناسی در کشور بنگلادش پرداخته‌اند. نتایج شبیه‌سازی فراسنج بارندگی فصلی در مقایسه با ۲۹ ایستگاه نشان داده است که اجرای مدل با طرحواره گول FC بارش دوره پیش مونسون را، بیشتر و بارش دوره مونسون را، کمتر از مقدار واقعی تخمین زده است؛ در حالی که طرحواره گول AS (دوره ۲۰۰۰-۱۹۹۵) نتوانسته است شبیه‌سازی مناسبی داشته باشد. بنابراین طرحواره گول FC (سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۹۴، ۱۹۹۶ و ۱۹۹۹) بهتر از طرحواره دیگر، بارش را برآورد کرده است. باسیت و همکاران (۲۰۱۲)، با هدف شناسایی توانایی مدل میان‌مقیاس منطقه‌ای در پیش‌بینی رخدادهای شدید آب‌وهوایی با اشاره به بارش مونسونی منحصربه‌فرد دوره گرم بر فراز کوه‌های شمالی و نواحی جنوبی پاکستان به پارامتره کردن طرحواره‌های رشد ابر پرداختند. به‌طور کلی بارش مونسونی روی نواحی کوهستانی پاکستان از طریق طرحواره گول به‌طور رضایت‌بخشی قابل پیش‌بینی است. ادنی (۲۰۱۴)، در مطالعه‌ای در غرب آفریقا با عنوان حساسیت‌سنجی طرحواره‌های مختلف همرفتی مدل RegCM4 به‌منظور شبیه‌سازی بارش ماه‌های سپتامبر سال‌های ۱۹۸۹ و ۱۹۹۸ از روش مدل‌سازی آماری - دینامیکی استفاده کرده است. نتایج وی بیان‌کننده این است که طرحواره کو و گول بارش کمتری را در مقایسه با داده‌های مشاهداتی شبیه‌سازی کردند؛ در حالی که بارش تخمین زده‌شده توسط طرحواره امانوئل برای ماه سپتامبر سال‌های ۱۹۸۹ و ۱۹۹۸ بیشتر از مقدار مشاهداتی است. در یکی از اولین پژوهش‌های انجام‌گرفته توسط مدل RegCM روی بارش‌های ایران، میرزایی و همکاران (۱۳۸۳) مدل RegCM3 را جهت بررسی سهم خلیج فارس و دریای عمان در تأمین رطوبت بارش‌ها در زمستان ۲۰۰۳-۲۰۰۴

برای پیش‌آگاهی و پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی استفاده شده است (فتاحی و همکاران، ۱۳۸۷). اقلیم‌شناسان حوزه مطالعه، برای شناسایی و بررسی فرایندهای پیش‌بینی اقلیمی از جمله پیش‌بینی فصلی، با تکیه بر روش‌ها و تکنیک‌هایی با دقت بالا و کم‌هزینه در مدت زمان کوتاه، به دنبال روش‌هایی با کمترین درصد خطا هستند. تحقیقات مدل‌سازی در مقیاس منطقه‌ای نشان می‌دهد که ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی و آماری، خروجی مدل‌های جهانی را بهبود می‌بخشد (هیوتسن و کرین، ۲۰۰۵). یکی از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی پرونداد مدل‌های گردش عمومی جو، به‌کارگیری مدل‌های دینامیکی منطقه‌ای است. وانگ و همکاران (۲۰۰۲)، با استفاده از مدل RegCM بارش‌های سنگین سال ۱۹۹۸ را در کشور چین شبیه‌سازی کرده‌اند. در این مطالعه انتگرال‌گیری مدل از ۲۶ آوریل تا ۳۱ اوت با دقت مکانی ۰/۵ درجه و در ناحیه‌ای محدود به ۵ تا ۴۵ درجه شمالی و ۹۰ تا ۱۴۰ درجه شرقی انجام گرفت. مدل علاوه بر شبیه‌سازی تکوین زمانی بارش میانگین سطحی و ماهانه، توزیع شدت بارش‌های روزانه را نیز به خوبی پیش‌بینی کرد. فرانسیسکو (۲۰۰۳)، با اجرای مدل RegCM روی فیلیپین، سامانه پیش‌آگاهی بارش 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 به‌عنوان داده‌های اولیه به یک مدل هیدرولوژی خورانده شد. پس از اجرای این مدل، پیش‌بینی‌های مربوط به جریان بارش‌های سنگین منجر به رواناب و سیلاب در حوضه‌های مختلف، ارائه گردید. پال و همکاران (۲۰۰۳)، مهم‌ترین قابلیت مدل منطقه‌ای RegCM را امکان استفاده از خروجی مدل‌های گردش جهانی به‌عنوان داده‌های اولیه و ارائه کد موازی این مدل برای ریزمقیاس‌کردن و صدور پیش‌بینی اقلیمی دانستند. پال و همکاران (۲۰۰۷)، توانمندی مدل اقلیمی RegCM را در شبیه‌سازی بارش و دمای دوره ۱۹۸۷-۲۰۰۰ مناطق

بارش‌های سواحل جنوبی آن بررسی کردند. نتایج این بررسی نشان داد که مدل RegCM4 قادر است به خوبی روند بارش‌های ماهانه را در منطقه خزری شبیه‌سازی کند؛ اگرچه در برآورد مقادیر واقعی بارش اریبی مثبت را برای ماه‌های بهاری نشان می‌دهد. نتایج مطالعه قهرمان و همکاران نشان داد که اعمال پس‌پردازش به روش وایزش چندمتغیره می‌تواند نتایج مدل RegCM3 را بهبود دهد و مقادیر تبخیرتغرق مدل را به مقدار محاسبه‌شده از معادله پنمن مانیتث نزدیک کند. بر اساس یافته‌های آن‌ها میانگین تبخیرتغرق سالانه در ایستگاه مشهد در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ به ۱۰۷۵ میلی‌متر خواهد رسید که حدود ۱۶ درصد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد (قهرمان و همکاران، ۱۳۹۳).

معتبرترین ابزار برای شبیه‌سازی شرایط اقلیمی آینده، به‌کارگیری ریزمقیاس‌نمایی بر روی مدل‌های بزرگ مقیاس گردش عمومی جو است. از طرفی یکی از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی برون‌داد مدل‌های گردش عمومی جو، به‌کارگیری مدل‌های دینامیکی منطقه‌ای است. مسئله پیچیدگی بارش از یک سو و زمان‌بر و پرهزینه‌بودن کار با مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی از سوی دیگر، باعث شده است توانمندی این مدل‌ها کمتر مورد توجه قرار گیرد؛ بنابراین در این پژوهش سعی می‌شود تا برای اولین بار توانمندی مدل دینامیکی RegCM4 در شبیه‌سازی بارش دوره سرد استان فارس با به‌کارگیری تکنیک پس‌پردازش آماری بررسی شود.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. منطقه مورد مطالعه

حوزه جغرافیایی پژوهش حاضر، منطقه خاورمیانه با تأکید بر نتایج استان فارس است. این استان با وسعتی بیش از ۱۲۲ هزار کیلومتر مربع در نیمه جنوبی ایران، ۱/۸ درصد از مساحت این کشور را به خود اختصاص داده است و در بین طول‌های جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۷ درجه

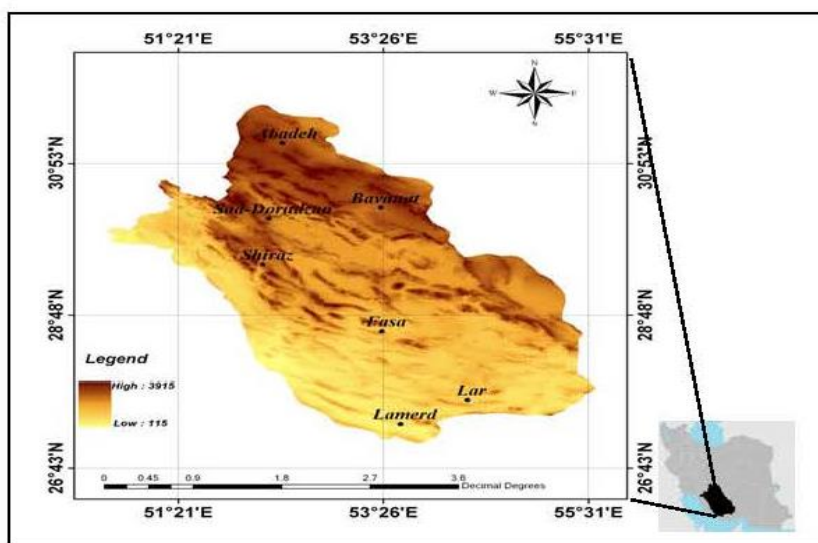
به خدمت گرفتند. این بررسی نشان داد که مدل به خوبی قادر به پیش‌بینی مکانی و زمانی بارندگی روی منطقه مورد مطالعه است. در پژوهش دیگر بابائیان و همکاران (۱۳۸۶)، با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3 بارش ماه‌های سرد سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۷۹ را شبیه‌سازی کرده‌اند. در این پژوهش هدف حساسیت‌سنجی مدل RegCM در مقایسه با طرحواره‌های مختلف بارش همرفتی است که بر همین اساس نتایج تحقیق بیان کرده است که بهترین طرحواره‌ها برای جنوب غرب، جنوب شرق و شمال‌شرق کشور، طرحواره کو و برای غرب و مرکز کشور، طرحواره امانوئل است و طرحواره‌های گزل و FC و کو برای شمال غرب کشور مناسب هستند. تحلیل مقادیر میانگین دو سال بارش شبیه‌سازی‌شده در کل کشور حاکی از توانمندی‌های خوب طرحواره گزل، با خطای تقریبی ۲۰ درصد است. ایران‌نژاد و همکاران (۱۳۸۸)، نقش روش‌های متفاوت پارامترسازی همرفت در شبیه‌سازی میدان‌های دما و بارش زمستانی را با مدل RegCM3 برای یک دوره سه‌ماهه (ژانویه تا مارس ۱۹۹۹) روی ایران بررسی کردند. چهار اجرای متفاوت با شرایط مرزی یکسان ولی هر بار با استفاده از یکی از طرحواره‌های آراکاوا-شوبرت، فریچ-چپل، بتس-میلر و کو-آنتس نشان داد که نتیجه شبیه‌سازی‌ها با استفاده از طرحواره‌های مختلف همرفت در ایران بسیار شبیه یکدیگر است و مقادیر بارش مدل با مشاهدات تفاوت بسیار زیاد دارد. کریمیان و همکاران (۱۳۸۸)، با استفاده از چهار طرحواره شکل‌گیری ابر شامل گزل FC و گزل AS، امانوئل و کو، نسخه دارای قابلیت آشیانه‌سازی مدل اقلیمی RegCM3 را ارزیابی کرد. نتایج وی بیان می‌کند که اریبی ماهانه و فصلی طرحواره‌های گزل FC و گزل AS به ترتیب با مقادیر ۲/۱ و ۱- میلی‌متر، در مقایسه با بارش دیدبانی شده از سایرین کمتر است؛ در نتیجه از این مدل می‌توان در طراحی مدل‌های اقلیمی پیش‌بینی در کشورمان استفاده کرد. مفیدی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از مدل RegCM نقش دریای خزر را در

و ۲ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی واقع شده است. در پژوهش حاضر با توجه به دوره آماری و آمار در دسترس داده‌های ایستگاهی، مطالعات روی هفت ایستگاه سینوپتیک استان فارس که از پراکندگی نسبی در سطح استان برخوردارند، انجام گرفته است (شکل ۱).

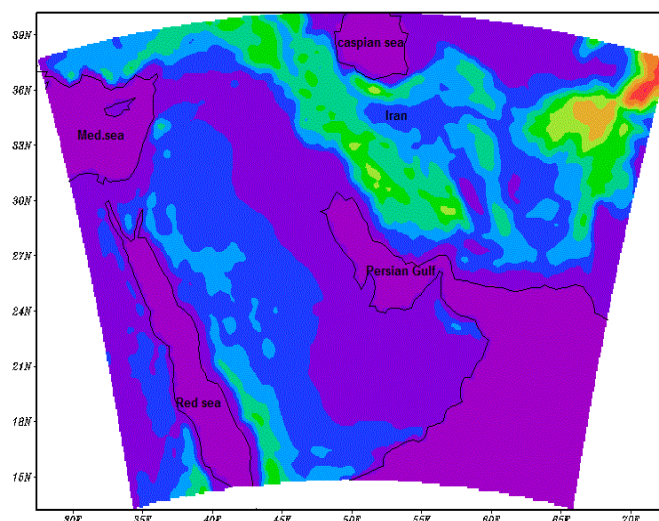
۲.۲. مدل‌سازی دینامیکی بارش

به منظور امکان‌سنجی و مطالعه کارایی مدل دینامیکی RegCM در پیش‌بینی بارش استان فارس، از نسخه مدل RegCM4.1.1 استفاده شده است. اولین نسخه مدل RegCM (گاهی با نام NCAR RegCM نیز شناخته می‌شود) از نسخه چهارم مدل منطقه‌ای (NCAR-PSU) یا MM4 در اواخر دهه ۱۹۸۰ استخراج شده است (دیکسون و همکاران، ۱۹۹۳ و جورجی و بیتز، ۱۹۸۹). هسته دینامیکی مدل از MM4 که مدلی تراکم‌پذیر، تفاضل‌متناهی، با تعادل هیدروستاتیک است، استخراج شد (الگاندی و همکاران، ۲۰۱۰). این مدل همانند مدل‌های هواشناسی میان‌مقیاس در سیستم مختصات قائم سیگما (σ) است که قدرت تفکیک قائم مدل شامل ۱۸ سطح است که ۷ سطح آن زیر لایه ۸۰۰ هکتوپاسکال قرار دارد (انتس و همکاران، ۱۹۸۷). داده‌های موردنیاز در اجرای مدل منطقه‌ای اقلیمی RegCM4 از مرکز (International Centre for Theoretical Physics)ICTP با فرمت NetCDF، شامل سه دسته داده‌های وضع جوی NNRP1 در مقیاس ۶ ساعته با تفکیک افقی $2/5 \times 2/5$ درجه از پایگاه داده‌های دوباره واکاوی‌شده مرکز ملی پیش‌بینی محیطی آمریکا (NCEP/NCAR)، داده‌های میانگین هفتگی دمای آب سطح دریا با شبکه‌بندی ۱ درجه از سازمان ملی اقیانوس و جو آمریکا برای دوره ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۰ دریافت شدند. همچنین داده‌های سطح زمین، شامل سه دسته داده‌های توپوگرافی، کاربری اراضی و نوع خاک با دقت ۳۰ ثانیه از سازمان زمین‌شناسی ایالت متحده آمریکا تهیه شد. دسته دوم از داده‌ها شامل دیدبانی مجموع بارش ماهانه ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان فارس

است که از سازمان هواشناسی این استان دریافت شد. به دلیل محدودیت آمار موجود در ایستگاه‌های استان فارس، تنها هفت ایستگاه در دوره آماری ۱۹۸۸-۲۰۱۰ مطالعه و بررسی شده‌اند. مدل RegCM4 از طرحواره‌های فیزیکی گوناگونی استفاده می‌کند که در این میان طرحواره‌های بارش همرفتی، نقش مهمی در مدل‌سازی بارش دارند. بنابراین به منظور انتخاب طرحواره بارشی مناسب، مدل برای یک دوره آزمایشی از تاریخ ۱۵ اوت ۱۹۹۶ تا ۱ ژوئن ۱۹۹۷ به صورت مجزا با هر سه طرحواره کو، امانوئل و گرل موجود در کد RegCM4، با شرایط یکسان از داده‌های مرزی و اولیه به اجرا گذاشته شد. نتایج نشان داد که طرحواره گرل در مقایسه با دو طرحواره کو و امانوئل دارای کمترین خطا ($-1/63$) در شبیه‌سازی بارش است؛ بنابراین به عنوان طرحواره اصلی انتخاب شد. مدل با گام زمانی شش ساعته، قدرت تفکیک 20×20 کیلومتر مربع، تعداد نقاط شبکه ۱۴۸ در عرض و ۱۹۸ در طول جغرافیایی، در دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ با دو سال دوره پایدارسازی (Spin up) (۱۹۸۸-۱۹۸۹) اجرا شد. ۱۴ سال اول (۲۰۰۳-۱۹۹۰) به عنوان دوره آموزشی جهت استفاده در مرحله پس‌پردازش آماری استفاده شده است. با مقایسه بارش خروجی مدل در این دوره با داده‌های واقعی بارش، ابتدا درصد خطای مدل در مقایسه با دیدبانی برآورد شد. با بهره‌گیری از روش پس‌پردازش آماری به روش وایزش چندمتغیره (Multiple Linear Regression Method) (MLRM)، معادلات پس‌پردازش ماهانه استخراج شدند. داده‌های بارش پس‌پردازش شده در دوره واسنجی با داده‌های بارش دیدبانی مقایسه شدند. با استفاده از شاخص‌های آماری، ضریب وایزش و مقدار خطای نسبی، معادلات طراحی‌شده ماهانه که به صورت روابط تجربی به دست آمده‌اند، در راستی آزمایشی پیش‌بینی بارش در هفت سال انتهایی (۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰) آزمون و ارزیابی شدند. محدوده جغرافیایی اجراشده در مدل از طول شرقی ۳۰ تا ۷۰ و عرض شمالی ۱۵ تا ۳۰ است (شکل ۲).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک مورد مطالعه در استان فارس.



شکل ۲. محدوده اجرا شده در مدل RegCM4

RegCM4 به منظور ریزمقیاس‌نمایی آماری در مطالعه حاضر استفاده شده است، وایازش چندمتغیره است. وایازش چندمتغیره روشی برای ساختن معادله مدل از سری داده‌های گذشته است. این روش ارتباط بین متغیرهای مدل شده و مشاهداتی را بیان می‌کند که شکل کلی آن به صورت رابطه (۱) است:

$$y_t = \alpha + \beta_1 x_{1t} + \beta_2 x_{2t} + \beta_3 x_{3t} + \dots + \beta_n x_{nt} \quad (1)$$

که در آن، y_t متغیر وابسته یا پیش‌بینی‌شونده و x_{nt} متغیرهای مستقل یا پیش‌بینی‌کننده‌ها هستند.

۳.۲. پس‌پردازش خروجی‌های مدل

یکی از مجموع روش‌های مطرح در مدل‌سازی پیش‌بینی فصلی، روش‌های آماری است. آمار علم احتمالات و عدم قطعیت‌هاست. عدم قطعیت در رفتارهای جوی و اقلیمی آن را به علم آمار مرتبط ساخته است. استخراج اطلاعات محلی از پرونداد مدل‌های گردش عمومی با کمک مدل‌های آماری برازش‌شده به داده‌های مشاهداتی ریزمقیاس‌نمایی آماری نامیده می‌شود (زوریتا و استورچ، ۱۹۹۸). روشی که در پس‌پردازش خروجی مدل

چندمتغیره خطی، برای تبدیل داده‌های شبکه‌ای به ایستگاهی استفاده شده است. بررسی‌ها در سه دوره زمانی پاییز (سپتامبر-نوامبر)، زمستان (دسامبر-فوریه) و دوره سرد سال (سپتامبر تا فوریه) انجام گرفته است. بررسی توانمندی مدل RegCM4 در پیش‌بینی بارش‌های پاییزه استان فارس نشان می‌دهد که در سه ایستگاه شیراز-لامرد و سد درودزن از مجموع هفت ایستگاه مورد مطالعه، عدم به‌کارگیری روش پس‌پردازش آماری و استفاده مستقیم از برون‌داد مدل RegCM4 پاسخ بهتری در مقایسه با روش دینامیکی-آماري دارد و در سه ایستگاه لار-آباد و بوانات نیز به‌کارگیری روش دینامیکی-آماري بر خروجی خام مدل دینامیکی ارجحیت داشته است. در ایستگاه فسا، هیچ‌یک از دو حالت یادشده ارجحیتی به یکدیگر ندارند (شکل ۳ و جدول ۱). در شکل ۳ افزایش شدید بارش‌های پاییز ۱۹۹۷ در ایستگاه‌های مورد مطالعه در مقایسه با سایر سال‌ها، مربوط به وقوع الینوی شدید با ناهنجاری دمایی بیش از ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و تأثیر مثبت آن بر بارش‌های پاییزه این منطقه است (ناظم‌السادات و قاسمی، ۲۰۰۴). الگوهای فضایی بارش نشان می‌دهند که در این فصل پیش‌بینی با استفاده از پس‌پردازش آماری، در مقایسه با داده‌های دیدبانی و داده‌های خام مدل اقلیمی عملکرد ضعیفی در توزیع فضایی بارش دارد. با وجود این، شباهت و نزدیکی مقادیر الگوهای فضایی بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل مذکور در مقایسه با مقادیر بارش دیدبانی شده، عملکرد بهتر بارش پس‌پردازش نشده مدل RegCM4 را در مقایسه با مقادیر بارش پس‌پردازش شده فصل پائیز نشان می‌دهد (شکل ۴). در بررسی کارایی روش پس‌پردازش آماری و برون‌داد مستقیم مدل RegCM4 در فصل پاییز باید به این نکات نیز توجه کرد: ۱. در ابتدای فصل پاییز که شروع گذر از دوره گرما و ورود به دوره سرماست، به دلیل استیلای گرمای فصل گرم، سهم بارش‌های همرفتی و ناگهانی بیشتر از زمستان است که خود عاملی برای بروز خطا در پیش‌بینی است؛ ۲. نسبت بارش پاییز به بارش کل

پیش‌بینی‌کننده‌ها خروجی‌های مدل RegCM4 هستند که می‌توانند رطوبت نسبی، باد مداری، باد نصف‌النهاری و امگا در سطح ترازهای ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، نسبت اختلاط بخار آب (Vapour mixing ratio)، دمای سطح ۲ متری، بارش (بر حسب میلی‌متر در روز) و فشار (بر حسب هکتوپاسکال) باشند. به‌استثنای بارش حاصل از مدل که مجموع آن در ماه محاسبه شده است، برای سایر پیش‌بینی‌کننده‌ها مقدار میانگین آن‌ها با به‌کارگیری نرم‌افزار گردس Grid Analysis and Display System (GrADS) محاسبه و در معادلات استفاده شد. پیش‌بینی‌کننده‌های نهایی دارای همبستگی معنادار با بارش دیدبانی، در مرحله پس‌پردازش استفاده شدند. پس‌پردازش آماری بر روی بارش با استفاده از برون‌داد مدل دینامیکی برای دوره آموزشی ۱۹۹۰ - ۲۰۰۳ (دوره واسنجی) با استفاده از رابطه (۲) صورت گرفت:

$$tpr_{pp} = \alpha + A_1x_1 + A_2x_2 + A_3x_3 \quad (2)$$

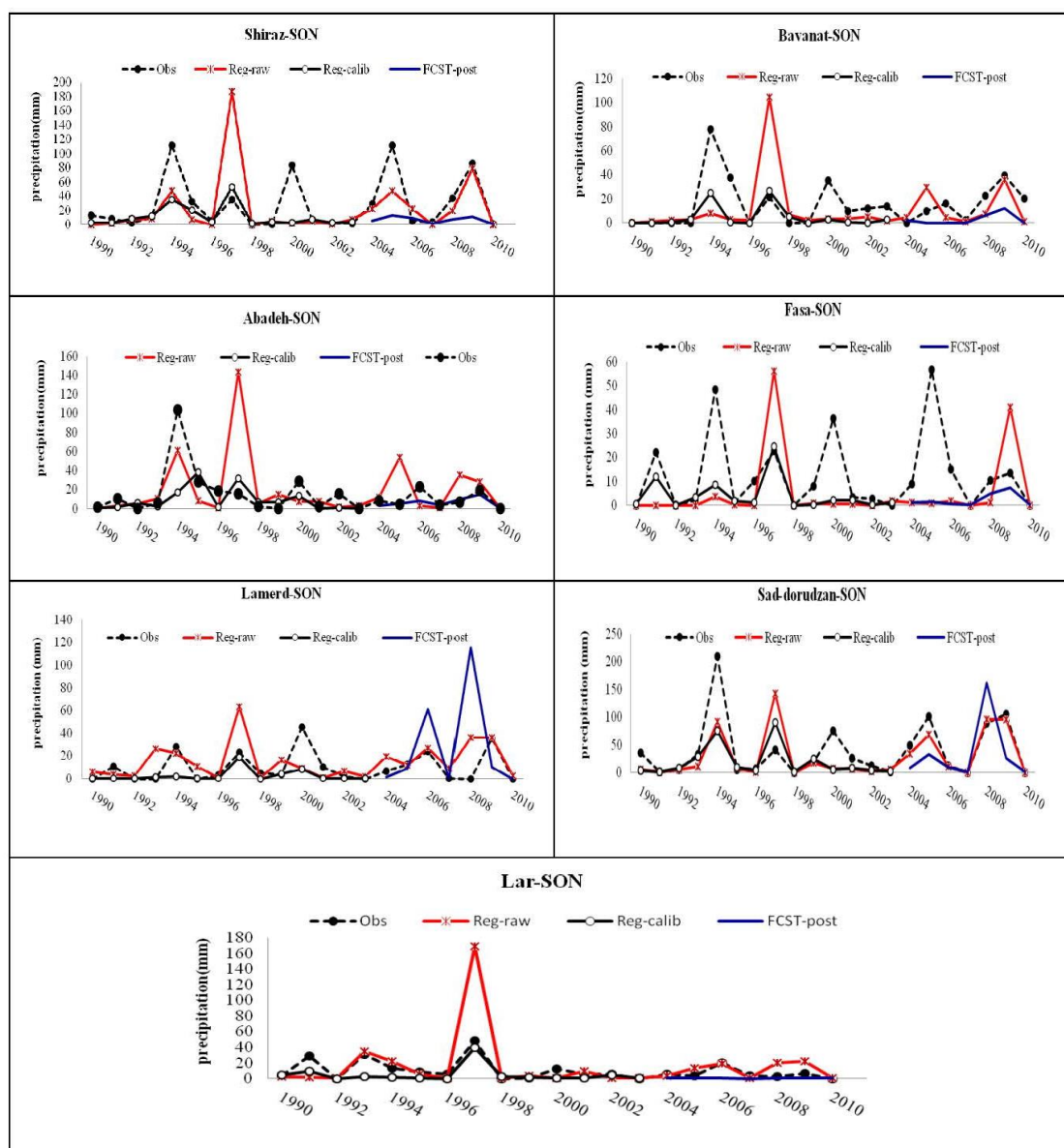
که در آن، α عرض از مبدأ، tpr_{pp} بارش پس‌پردازش شده بر حسب میلی‌متر، A_1 ، A_2 ، A_3 ضریب زاویه و ایازش خطی بارش برآوردشده و X_1 ، X_2 ، X_3 به ترتیب متغیر پیش‌بینی‌کننده اول، دوم و سوم هستند. با به‌دست آمدن ضرایب زاویه و ایازش خطی که ضرایب برای توصیف ارتباط بین خروجی‌های مدل و مقدار بارش دیدبانی شده هستند، مقادیر بارش برای ۱۴ سال اول دوره آزمایش، مدل‌سازی شده است. با استفاده از ضرایب به‌دست آمده و معادله ۲ پیش‌بینی هفت سال دوره صحت‌سنجی نیز انجام گرفته است. به منظور بررسی دقت و برآورد خطای پیش‌بینی در مقایسه با بارش دیدبانی شده، از شاخص‌های آماری همبستگی، خطای میانگین، میانگین خطای اریبی، میانگین خطای نسبی، انحراف از معیار و خطای طبقه‌بندی بارش استفاده شد.

۳. تحلیل نتایج

با هدف افزایش صحت مدل‌سازی از روش رگرسیون

برخلاف مدل‌های عددی پیش‌بینی کوتاه‌مدت وضع هوا، به دلیل ساده‌سازی‌هایی که در مدل‌های اقلیمی انجام می‌گیرد، برخی پدیده‌های هواشناسی در مقیاس زمانی و مکانی نیز کمتر در طراحی مدل‌های اقلیمی مورد توجه قرار می‌گیرند. این ضعف در بارش‌های سراسری در مقایسه با همرفتی کمتر است.

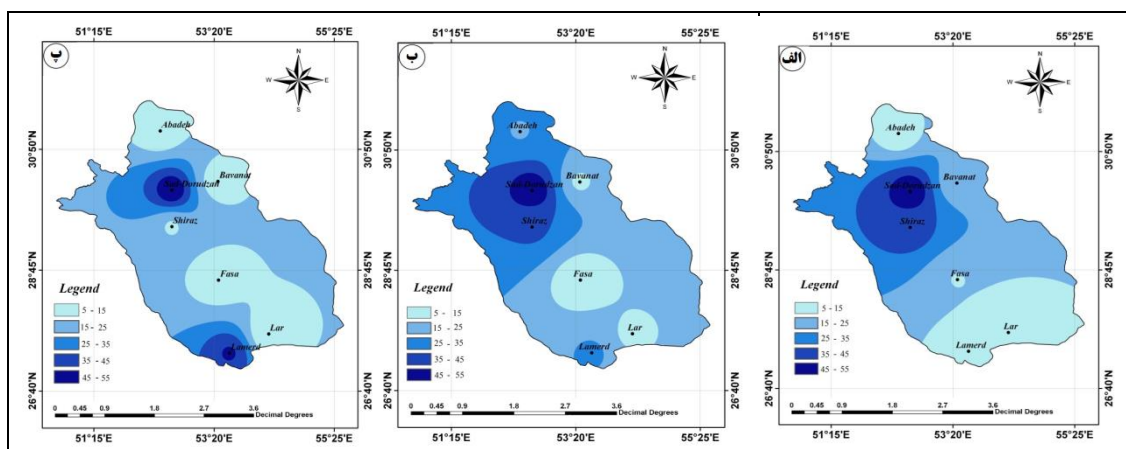
سال در مقایسه با زمستان کمتر است؛ بنابراین افت و خیزها و خطای نسبی بارش در این فصل در مقایسه با زمستان بیشتر خواهد بود؛ ۳. در فصل سرد سامانه رودباد جنب قطبی به عرض‌های پایین گسترش می‌یابد و نسبت بارش‌های از نوع سراسری به همرفتی بیشتر می‌شود و بنابراین خطای شبیه‌سازی بارش نیز کمتر می‌شود.



شکل ۳. نمودار مدل‌سازی بارش فصل پاییز ایستگاه‌های استان فارس با استفاده از مدل منطقه‌ای RegCM4 خط مشکی منقطع با دایره توپر: بارش دیدبانی، خط پیوسته مشکی با دایره توخالی: دوره ۱۹۹۰-۲۰۰۳، خط پیوسته قرمز ستاره‌دار: برون‌داد پس پردازش نشده مدل و خط پیوسته آبی ساده: دوره راستی‌آزمایی ۲۰۰۴-۲۰۱۰.

جدول ۱. بررسی کارایی مدل دینامیکی و روش دینامیکی-آماری در پیش‌بینی بارش فصل پاییز.

ایستگاه	اریبی (میلی‌متر)	خطای نسبی (درصد)	صحت طبقه‌ای (درصد)	نسبت انحراف معیار (مشاهداتی / مدل)	خطای مربعات (میلی‌متر)	همبستگی
شیراز	*دینامیکی	-۱۱/۸	-۳۰	۷۸/۶	۰/۶۴	۱۸/۷
	دینامیکی-آماری	-۳۲	-۸۰	۶۰/۷	۰/۱	۳۴/۸۱
بوانات	دینامیکی	-۳/۹۳	-۲۵	۵۰	۱/۰۷	۹/۰۵
	*دینامیکی-آماری	-۱۲/۷۹	-۸۱	۷۸/۶	۰/۳۴	۱۱/۲۹
آباده	دینامیکی	۹/۷۰	۱۰	۵۳/۶	۲/۴۷	۱۶/۵۳
	*دینامیکی-آماری	-۸/۰۴	-۸۰	۷۵	۰/۱	۷/۸۱
فسا	دینامیکی	-۸/۴۰	-۵۶	۶۰/۷	۰/۷۹	۱۷/۳۱
	دینامیکی-آماری	-۱۲/۷۰	-۸۵	۶۴/۳	۰/۱۴	۱۵/۵۴
لامرد	*دینامیکی	۹/۱۲	۰/۸۱	۶۴/۳	۰/۹۵	۱۰/۵۴
	دینامیکی-آماری	۱۶/۹۳	۱/۵۰	۸۵/۷	۳/۱۸	۳۳/۱۱
دروذن	*دینامیکی	-۷/۵۹	-۰/۱	۱۰۰	۰/۹	۱۰/۱۰
	دینامیکی-آماری	-۱۶/۹۵	-۰/۳	۸۵/۷	۱/۲۱	۳۵/۸۷
لار	دینامیکی	۵/۲۵	۰/۸۴	۶۷/۹	۱/۴۲	۶/۷۵
	*دینامیکی-آماری	-۵/۶۴	-۰/۹۰	۸۵/۷	۰/۰۵	۵/۸۸



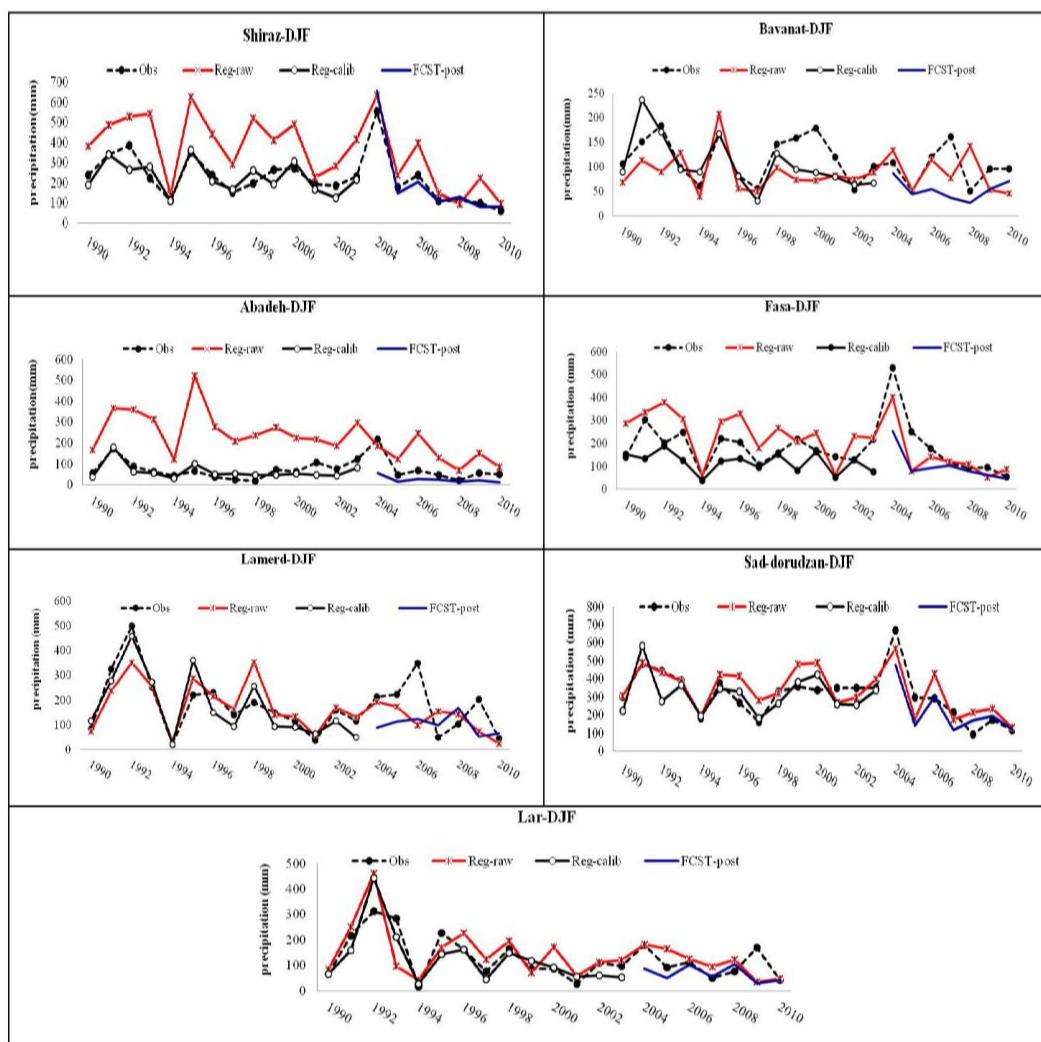
شکل ۴. میانگین بارش فصل پاییز (دوره ۲۰۱۰ - ۲۰۰۴) ایستگاه‌های مطالعه‌شده استان فارس؛ شکل (۴-الف)، الگوی فضایی بارش دیدبانی شده، شکل (۴-ب) الگوی فضایی بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل RegCM4 (بدون پس‌پردازش آماری) و شکل (۴-ب) الگوی فضایی بارش پیش‌بینی شده با اعمال پس‌پردازش آماری.

ارجحیتی به یکدیگر ندارند (شکل ۵، جدول ۲). مقایسه الگوهای فضایی بارش دیدبانی در شکل ۶-الف و بارش شبیه‌سازی شده بدون پس‌پردازش آماری در شکل ۶-ب در فصل زمستان دوره مذکور، نشان‌دهنده عدم تطابق یا شباهت اندک میان آنهاست. به طوری که در الگوی بارش دیدبانی در دوره پیش‌بینی فصل زمستان، نواحی مرکزی ایستگاه

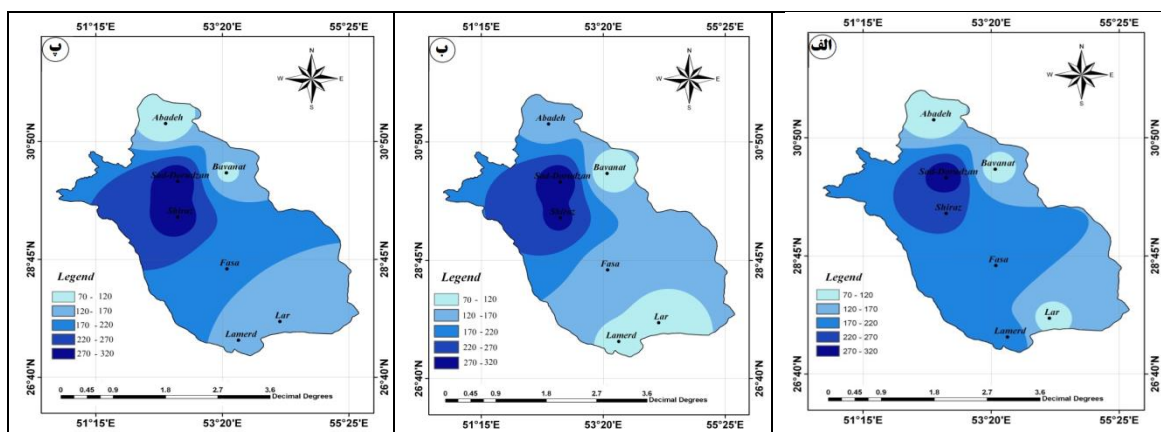
نتایج تحلیل فصل زمستان بیان می‌کند که در چهار ایستگاه استان فارس بوانات، لامرد، لار و سد درودزن، خروجی بارش مدل بدون اعمال پس‌پردازش پاسخ بهتری در مقایسه با مقادیر بارش پس‌پردازش شده دارد. در مورد شیراز و آباده، پس‌پردازش آماری (روش دینامیکی-آماری) موفق‌تر عمل کرده است و در مورد ایستگاه فسا هیچ‌یک از دو حالت یادشده

مورد (بوانات، فسا، لامرد، لار و سد درودزن) مدل دینامیکی و در دو مورد (شیراز و آباده) روش دینامیکی- آماری، عملکرد بهتری در پیش‌بینی بارش دوره سرد استان فارس داشته‌اند (شکل ۷، جدول ۳). در دوره سرد بارش، تقریباً هر سه الگوی بارشی رسم‌شده روند مشخصی از توزیع بارش را نشان می‌دهند (شکل ۸). مقایسه الگوهای بارش دیدبانی با دو الگوی بارش خروجی مدل RegCM4 و الگوی بارش پس‌پردازش‌شده در مجموع ایستگاه‌های استان فارس، نشان‌دهنده عملکرد بهتر بارش خروجی مدل در مقایسه با بارش پس‌پردازش‌شده است.

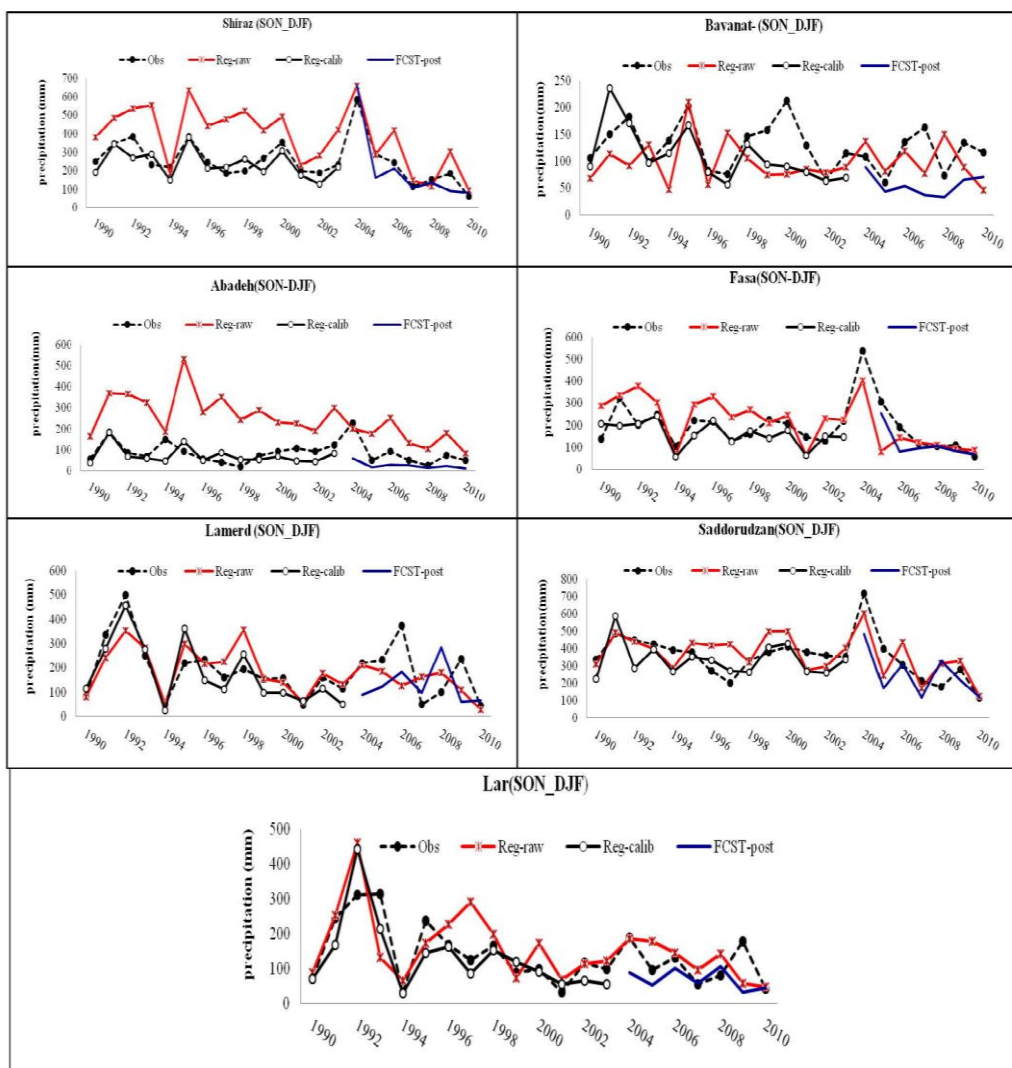
فسا و جنوب غربی استان نیز الگوهای حداکثری بارش را تجربه کردند؛ در حالی که در الگوهای شبیه‌سازی بارش توسط مدل RegCM4 و پس‌پردازش آماری چنین حالتی مشاهده نمی‌شود. مقایسه و بررسی الگوهای فضایی بارش پس‌پردازش‌شده دوره پیش‌بینی در شکل ۶-پ با داده‌های دیدبانی در شکل ۶-الف و داده‌های خام مدل در شکل ۶-ب مشابهت تقریبی خوبی را با مدل نشان می‌دهد. در مطالعه دوره سرد، سنجش توانایی مدل بر اساس مجموع فصول پاییز (سپتامبر تا نوامبر) و زمستان (دسامبر تا فوریه) در نظر گرفته شده است. نتایج دوره سرد نشان داد که از هفت ایستگاه بررسی‌شده در پنج



شکل ۵. نمودار مدل‌سازی بارش فصل زمستان ایستگاه‌های استان فارس با استفاده از مدل منطقه‌ای RegCM4. خط منقطع مشکی با دایره توپر: بارش دیدبانی؛ خط پیوسته مشکی با دایره توخالی: دوره واسنجی ۱۹۹۰-۲۰۰۳؛ خط پیوسته قرمز ستاره‌دار: برونداد پس‌پردازش‌نشده مدل و خط پیوسته آبی ساده: دوره راستی‌آزمایی ۲۰۰۴-۲۰۱۰.



شکل ۶. میانگین بارش فصل زمستان دوره (۲۰۱۰-۲۰۰۴) ایستگاه‌های مطالعه‌شده استان فارس. شکل (الف): الگوی فضایی بارش دیدبانی شده؛ شکل (ب): الگوی فضایی بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل RegCM4 بدون اعمال پس پردازش آماری؛ شکل (ج): الگوی فضایی بارش پیش‌بینی شده با اعمال پس پردازش آماری.



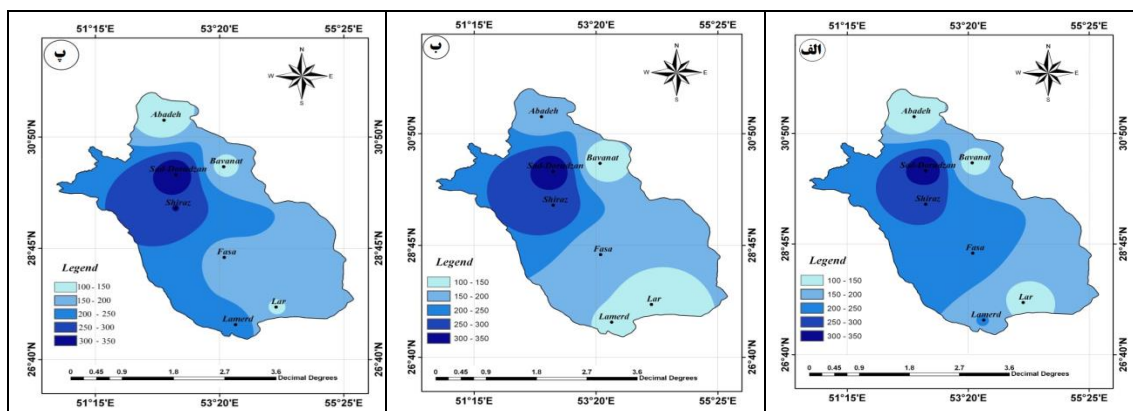
شکل ۷. نمودار مدل‌سازی بارش دوره سرد ایستگاه‌های استان فارس با استفاده از مدل منطقه‌ای RegCM4 خط منقطع مشکی با دایره توپر: بارش دیدبانی؛ خط پیوسته مشکی با دایره توخالی: دوره واسنجی ۱۹۹۰-۲۰۰۳؛ خط پیوسته قرمز ستاره‌دار: برونداد پس پردازش نشده مدل و خط پیوسته آبی ساده: دوره راستی آزمایی ۲۰۱۰-۲۰۰۴.

جدول ۲. بررسی کارایی مدل دینامیکی و روش دینامیکی-آماري در پیش‌بینی بارش فصل زمستان.

ایستگاه	ارویی (میلی‌متر)	خطای نسبی (درصد)	صحت طبقه‌ای (درصد)	نسبت انحراف معیار (مدل / مشاهداتی)	خطای مربعات (میلی‌متر)	همبستگی
شیراز	دینامیکی	۶۷/۹۹	۳۵	۱۰۰	۶۱/۹۸	۰/۹۵
	*دینامیکی-آماري	۶/۵۷	۳	۹۶/۴	۳۱	۰/۹۸
بوانات	*دینامیکی	-۸/۹۹	-۹	۵۳/۶	۳۸/۳۵	-۰/۰۳
	دینامیکی-آماري	-۴۴/۰۳	-۴۵	۶۷/۹	۴۰/۷۵	۰/۲۰
آباده	دینامیکی	۶۹/۲۱	۹۰	۸۵	۳۹/۶۴	۰/۵
	*دینامیکی-آماري	۴۷/۹۰	۶۰	۸۲	۴۷/۷۶	۰/۹۶
فسا	دینامیکی	-۴۶/۱۲	-۲۵	۷۸/۶	۵۹/۶۰	۰/۹۰
	دینامیکی-آماري	-۸۵/۱۲	-۴۵	۷۵	۸۹/۹۳	۰/۹۳
لامرد	*دینامیکی	-۴۵/۶۶	-۲۷	۶۰/۷	۸۲/۳۴	۰/۲
	دینامیکی-آماري	-۶۶/۹۴	-۴۰	۴۲/۹	۸۷/۹۸	۰/۰۸
درودزن	*دینامیکی	۹/۹۹	۰/۰۴	۸۹/۳	۶۷/۳۶	۰/۸۵
	دینامیکی-آماري	-۴۸/۲۵	-۰/۱۸	۹۲/۹	۷۴/۰۷	۰/۸۸
لار	*دینامیکی	۶/۲۲	۶	۷۱/۴	۴۴/۴۲	۰/۲۵
	دینامیکی-آماري	-۳۶/۱۳	-۳۵	۶۴/۳	۴۷/۳۳	۰/۰۶

جدول ۳. بررسی کارایی مدل دینامیکی و روش دینامیکی-آماري در پیش‌بینی بارش دوره سرد.

ایستگاه	ارویی (میلی‌متر)	خطای نسبی (درصد)	صحت طبقه‌ای (درصد)	نسبت انحراف معیار (مدل / مشاهداتی)	خطای مربعات (میلی‌متر)	همبستگی
شیراز	دینامیکی	۵۶/۲۰	۲۴	۹۲/۲	۶۲/۰۴	۰/۹۳
	*دینامیکی-آماري	۲۵	-۱۱	۸۹/۳	۴۸/۸۰	۰/۹۴
بوانات	*دینامیکی	-۱۲	-۱۱	۴۶/۴	۳۹/۴۸	-۰/۲۸
	دینامیکی-آماري	-۵۶	-۵۰	۶۷/۹	۴۷/۵۹	۰/۱۴
آباده	دینامیکی	۷۸/۹۱	۹۶	۷۰	۶۸/۶۰	۰/۵۳
	*دینامیکی-آماري	-۵۵/۹۴	-۶۸	۷۸/۵	۵۲/۰۹	۰/۹۶
فسا	*دینامیکی	-۵۴/۵۳	-۲۷	۷۰	۷۲/۲۸	۰/۸۵
	دینامیکی-آماري	-۸۸/۱۸	-۴۳	۶۵	۱۴۷	۰/۸۷
لامرد	*دینامیکی	-۳۶/۵۴	-۲۰	۵۰	۸۴/۱۳	۰/۲۲
	دینامیکی-آماري	-۵۰/۰۱	-۲۸	۳۹/۳	۹۷/۱۲	۰/۰۸
درودزن	*دینامیکی	۲/۴۱	۱	۹۴/۶۵	۷۳/۴۶	۰/۸۲
	دینامیکی-آماري	-۶۵/۲۰	-۲۱	۸۹	۹۹/۹۱	۰/۷۳
لار	*دینامیکی	۱۱/۴۷	۰/۱۰	۷۰	۴۳/۵۱	۰/۳۳
	دینامیکی-آماري	-۴۷/۷۷	-۰/۳۸	۷۵	۵۰	۰/۱۱



شکل ۸. میانگین بارش دوره سرد (۲۰۱۰-۲۰۰۴) ایستگاه‌های مطالعه‌شده استان فارس. شکل (الف): الگوی فضایی بارش دیدبانی‌شده؛ شکل (ب-ا): الگوی فضایی بارش شبیه‌سازی‌شده مدل RegCM4 بدون اعمال پس‌پردازش آماری؛ شکل (پ-ا): الگوی فضایی بارش پیش‌بینی‌شده با اعمال پس‌پردازش آماری.

۴. نتیجه‌گیری

یکدیگر برتری نداشته باشند. در روش دینامیکی-آماری صحت طبقه‌ای بارش فصل پاییز در مقایسه با روش دینامیکی در حدود ۷۰ درصد است (پنج مورد از مجموع هفت ایستگاه)؛ به طوری که در فصل زمستان این مقدار حدود ۱۴ درصد (یک مورد از مجموع هفت ایستگاه) و این در حالی است که مقادیر صحت طبقه‌ای پیش‌بینی بارش بدون اجرای پس‌پردازش آماری در فصل زمستان حدود ۸۰ درصد است. در کل دوره سرد، مقادیر صحت طبقه‌ای بارش روش دینامیکی حدود ۶۰ درصد است که بالاتر از روش دینامیکی-آماری است. بنابراین روش دینامیکی در این وضعیت نتایج مساعدتری در مقایسه با روش دینامیکی-آماری داشته است. در مجموع می‌توان گفت در ۵۷/۱ درصد موارد، روش دینامیکی و در ۳۳/۳ درصد، روش دینامیکی-آماری توانایی بهتری در مدل‌سازی بارش دوره سرد ایستگاه‌های استان فارس را داشته‌اند. در ۹/۵ درصد موارد هیچ‌یک از روش‌های فوق ارجحیتی به یکدیگر ندارند. بنابراین در مطالعه حاضر که با تفکیک مکانی 20×20 کیلومتر مربع انجام گرفته است، برونداد بارش مدل منطقه‌ای RegCM4 بدون اجرای پس‌پردازش آماری بر روی آن در مقایسه با هنگامی که روی بارش پس‌پردازش آماری اجرا می‌شود، نتایج بهتری دارد. نتایج این تحقیق با یافته‌های هیوتسن و

در این پژوهش هدف بررسی توانایی مدل دینامیکی RegCM4 در مدل‌سازی بارش فصول پاییز، زمستان و مجموع دوره سرد استان فارس، با اعمال و بدون اعمال پس‌پردازش آماری روی داده‌های بارش در مقیاس مکانی 20×20 کیلومتر مربع است. در فصل پاییز در ۴۳ درصد ایستگاه‌ها، هر دو روش عملکرد قابل قبول و یکسانی داشته‌اند و در حدود ۱۴ درصد از موارد هیچ‌کدام از دو حالت فوق ارجحیتی بر یکدیگر ندارند. در فصل زمستان، تعداد ایستگاه‌هایی که با اجرانشدن پس‌پردازش آماری، عملکرد بیشتری در مقایسه با اجرای پس‌پردازش آماری داشته‌اند، بیشتر است؛ به طوری که در چهار مورد از هفت ایستگاه اجرانشدن پس‌پردازش بر اجرای پس‌پردازش آماری برتری داشته است (۵۷ درصد موارد)؛ در حالی که تعداد ایستگاه‌هایی که در آنها اجرای پس‌پردازش آماری برتری دارد، دو مورد (۲۹ درصد) است. یک ایستگاه نیز (۱۴ درصد) ارجحیت خاصی در به کارگیری دو روش فوق ندارد. در دوره سرد بارشی تعداد ایستگاه‌های سازگار با روش دینامیکی پنج مورد (۷۱ درصد) و روش دینامیکی-آماری دو مورد (۲۹ درصد) است. در بررسی مدل‌سازی بارش دوره سرد موردی یافت نشده است که هیچ‌یک از دو روش بر

- طبیعی، ۸۰، ۴۴-۵۰.
- قهرمان، ن.، بابائیان، ا. و موسوی، م.، ۱۳۹۳، بررسی مهارت مدل RegCM در برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در اقلیم گذشته و دوره ۲۰۲۱-۲۰۳۵، مطالعه موردی: ایستگاه مشهد، م. ژئوفیزیک ایران، ۴، ۴۹-۶۴.
- کریمیان، م.، مدیریان، ر. و بابائیان، ا.، ۱۳۸۸، بررسی توانمندی مدل RegCM3 در مدل‌سازی بارش و دمای استان خراسان، مطالعه موردی: زمستان‌های دوره ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۹۷، ۱۶۸-۱۸۶.
- مفیدی، ع.، کارخانه، م. و زرین، آ.، ۱۳۹۲، شبیه‌سازی نقش دریای خزر در وقوع بارش‌های منطقه‌ای با استفاده از مدل اقلیمی مقیاس منطقه‌ای RegCM پیوندخورده با مدل دریاچه، نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان.
- میرزایی، ا.، آزادی، م. و محب‌الحجه، ع.، ۱۳۸۳، مطالعه کمی اثر خلیج فارس و دریای عمان در تغذیه رطوبتی سامانه‌های همیدی در ایران با استفاده از مدل منطقه‌ای اقلیمی RegCM، نهمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها، دانشگاه شیراز.
- هندرسون-سلرز، ا.، و مک گوئی، ک.، ۱۳۸۰، نخستین گام در مدل‌سازی اقلیمی، ترجمه مسعودیان، ا. و غیور، ح.، انتشارات دانشگاه اصفهان، ایران.
- Adeniyi, M., 2014, Sensitivity of different convection schemes in RegCM4 for simulation of precipitation during the Septembers of 1989 and 1998 over West Africa, *Theoretical and Applied Climatology*, 115, 305-322, DOI 10.1007/s00704-013-0881-5.
- Anthes, R. A., Hsie, E. Y. and Kuo, Y. H., 1987, Description of the Penn State University NCAR Mesoscale model MM4 NCAR tech note, NCAR=TN-282, STR, PP: 66.
- Basit, A., Shoaib, R., Irfan, N. and Avila, R., 2012, Simulation of Monsoon precipitation over South-Asia using RegCM3, International Scholarly Research Network
- کرین (۲۰۰۵) مبنی بر اینکه اجرای مدل‌سازی دینامیکی موجب بهبود برون‌داد مدل‌های جهانی می‌شود، مطابقت دارد.
- مراجع
- احمدوند، م.، ناظم‌السادات، س. م.، کامکار حقیقی، ع. و شریف‌زاده، م.، ۱۳۸۸، پذیرش پیش‌بینی‌های بلند مدت بارش: مورد مطالعه گندمکاران استان فارس، م. علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، ۲، ۱-۱۵.
- ایران‌نژاد، پ.، احمدی گیوی، ف. و پازوکی، ر.، ۱۳۸۸، نقش روش‌های متفاوت پارامترسازی همرفت در شبیه‌سازی میدان‌های دما و بارش زمستانی با مدل منطقه‌ای - اقلیمی RegCM در منطقه ایران، م. فیزیک زمین و فضا، ۳۵(۱)، ۱۰۱-۱۲۰.
- بابائیان، ا.، مدیریان، ر.، کریمیان، م. و حبیبی نوخندان، م.، ۱۳۸۶، شبیه‌سازی بارش ماه‌های سرد سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۷۹ با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3، م. جغرافیا و توسعه، ۱۰، ۵۵-۷۲.
- روان، و. و ناظم‌السادات، س. م.، ۱۳۹۰، پیش‌بینی نوسان‌های دما و بارش در پهنه مرکزی استان فارس برای دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰، م. مهندسی منابع آب، ۴، ۵۱-۶۲.
- فتاحی، ا.، دلاور، م. و صداقت کردار، ع.، ۱۳۸۷، پیش‌بینی بلند مدت بارش با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، م. پژوهش و سازندگی در منابع (ISRN) *Meteorology*, 201, 1-14.
- Dickinson, R., Sellers, A. and Kennedy, P. J., 1993, Biosphere-atmosphere transfer scheme (BATS) version 1e as coupled to the near community climate model, Tech. rep., National Center for Atmospheric Research.
- Elguindi, N., Giorgi, F., Nagarajan, B., Pal, J., Solmon, F., Rauscher, S. and Zakey, A., 2010, RegCM Version 4.0 User's guide, The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP).
- Francisco, R., 2003, Some experiments in running the RegCM over the Philippines, ICTP Workshop on the theory and use of regional climate models, Trieste Italy.

- Giorgi, F. and Bates, G., 1989, The climatological skill of a regional model over complex terrain, *Monthly Weather Review*, 117, 2325-2347.
- Hewitson, B. C., Crane, R. G., 2005, Consensus between GCM climate change projections with empirical downscaling: precipitation downscaling over South Africa, *Journal of Climatology*, 26, 1315-1337.
- Islam, N. and Rahman, M., Uddin Ahmed, A. and Romee, A., 2007, Comparison of RegCM3 simulated meteorological parameters in Bangladesh: Part I- preliminary result for rainfall, *Sri Lankan Journal of Physics*, 8, 1-9.
- Karori, M., 2008, Downscaling NCC CGCM output for seasonal precipitation prediction over ISLAMABAD- PAKISTAN, *Pakistan Journal of Meteorology*, 4, 59-72.
- Nazemosadat, M. J. and Ghasemi, A. R., 2004, Quantifying the ENSO-related shifts in the intensity and probability of drought and wet periods in Iran, *J. Climate*, 17, 4005-4018.
- Pal, J., Giorgi, F., Bi, X., Elguindi, N., Eltahir, E. and Francisco, R., 2003, Developments in the latest version of the RegCM, ICTP workshop on the theory and use of regional climate models, Trieste Italy.
- Pal, J., Giorgi, F., Bi, X., Elguindi, N., Salmon, F., Gao, X., Rauscher, S., Francisco, R., Zakey, A., Winter, J., Ashfagh, M., Syed, F. S., Bell, J., Diffenbaugh, J. K., Konare, A., Martinez, D., Rocha, R., Sloan, L. and Steiner, A., 2007, Regional climate modeling for the developing world, the ICTP and RegCNET, *Bulletin of American Meteorological Society*, 1396-1409.
- Zorita, E. and Storch, V., 1998, The analog method as a simple statistical downscaling technique: comparison with more complicated methods, *Journal of Climate*, 12, 2474-2489.
- Wang, Y., Sen, O. L. and Wang, B., 2002, A highly resolved regional climate model and its simulation of the 1998 severe precipitation event over China, Part 1: model description and verification of simulation, *Journal of Climate*, 19, 1721-1728.