

ارزیابی میزان حساسیت مدل RegCM4 به طرحواره‌های پارامترسازی همرفت در مدل‌سازی بارش‌های بهاره شمال‌غرب ایران: (مطالعه موردی سال ۲۰۰۴)

علی محمد خورشیددوست^۱، عباس مفیدی^{۲*}، علی‌اکبر رسولی^۱ و کامل آزر^۳

۱. استاد، گروه آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز، ایران

۲. استادیار، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۳. دانشجوی دکتری، گروه آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز، ایران

(دریافت: ۹۵/۶/۳، پذیرش نهایی: ۹۵/۱۱/۵)

چکیده

هدف از تحقیق حاضر، ارزیابی حساسیت مدل RegCM4 به طرحواره‌های بارش همرفتی در مدل‌سازی بارش‌های بهاره در محدوده خاورمیانه و شمال‌غرب ایران است. از مجموعه خروجی‌های حاصل از اجرای مدل، مقادیر بارش بزرگ مقیاس و مقادیر بارش همرفتی به‌عنوان متغیرهای اصلی جهت بررسی تأثیر انواع طرحواره‌های همرفتی شامل امانوئل، گرل و کو انتخاب شدند. ارزیابی خطای مدل‌سازی، از طریق مقایسه مقادیر بارش بزرگ مقیاس و بارش همرفتی برآورد شده توسط مدل با پنج دسته داده بارش راقومی شامل: داده‌های پرشین، آفرودیت، چیریس، آگمرا و ERA-Interim که از تفکیک افقی بالایی برخوردارند، به انجام رسید. نتایج بیانگر آن است که مدل RegCM4 حساسیت زیادی به انتخاب نوع طرحواره همرفت در مدل‌سازی بارش‌های بزرگ مقیاس و بارش همرفتی دارد و انتخاب یک طرحواره بارشی مناسب به منظور برآورد هرچه دقیق‌تر بارش‌های بهاره از ضروریات است. ارزیابی عملکرد طرحواره‌ها در برآورد بارش بزرگ مقیاس و همرفتی، نشان از برتری نسبی طرحواره کو به طرحواره‌های امانوئل و گرل دارد. مدل، اندازه بارش ماه‌های نزدیک به دوره سرد سال را بهتر از ماه‌های نزدیک به دوره گرم سال مدل‌سازی می‌کند. در واقع با نزدیک شدن به دوره گرم سال، مدل عدم قطعیت بیشتری می‌یابد. مقدار خطا و اربیی مقادیر بارش همرفتی نیز حاکی از آن است که هر سه طرحواره مدل در برآورد مقدار بارش همرفتی، هم در مقیاس بزرگ‌تر بر روی خاورمیانه و هم در مقیاس کوچک‌تر بر روی شمال‌غرب ایران از اربیی منفی برخوردار هستند.

واژه‌های کلیدی: بارش شبیه‌سازی شده، شمال‌غرب ایران، طرحواره‌های پارامترسازی همرفت، طرحواره کو، مدل RegCM4، نمودار تیلور.

۱. مقدمه

ایفا می‌کند. وارد کردن اثر همرفت کومه‌ای در مدل‌های راقومی، پارامترسازی همرفت نامیده می‌شود (مولیناری، ۱۹۹۳). طرحواره‌های همرفت به‌طور تجربی اثر این پدیده را در مقیاس شبکه‌ای مدل‌های اقلیمی و پیش‌بینی هوا بیان می‌کنند (کاتن و همکاران، ۲۰۱۱). طرحواره‌های پارامترسازی همرفت، همیشه یکی از منابع ایجاد خطا در مدل‌های اقلیمی منطقه محدود محسوب می‌شوند که تأثیری معنادار بر خروجی‌های مدل می‌گذارند (پال و همکاران، ۲۰۰۷). به‌طور کلی، هیچ‌یک از طرحواره‌های پارامترسازی همرفت نمی‌توانند به‌خوبی و به‌طور گسترده برای تمامی سامانه‌های جوی استفاده شوند، زیرا به‌عنوان مثال، فرایندهای همرفتی در نواحی حاره به شکل معناداری با فرایندهای موجود در عرض‌های میانه متفاوت هستند (علی و همکاران، ۲۰۱۵). مدل RegCM4 گزینه‌ها

به منظور به‌کارگیری مدل‌های اقلیمی منطقه محدود برای یک منطقه جدید، انتخاب حوزه مناسب، تفکیک افقی و عمودی ایده‌آل، داده‌های اولیه و داده‌های شرایط مرزی مناسب و انتخاب گزینه‌های مناسب از میان طرحواره‌های فیزیکی، از جمله مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو در فرایند مدل‌سازی راقومی محسوب می‌شود (پارک و همکاران، ۲۰۱۳). در یکی دو دهه اخیر تلاش‌های فراوانی به‌منظور توسعه و بهبود مدل‌های اقلیمی منطقه محدود و به‌حداقل رساندن چالش‌های مذکور صورت گرفته است، اما مشکلات و چالش‌ها هنوز به قوت خود باقی است. ابرها و فرایندهای فیزیکی مربوط به آن در بیشتر برهم‌کنش‌های فیزیکی مانند فرایندهای دینامیکی، ترمودینامیکی، هیدرولوژیکی، تابشی و فرایندهای سطحی نقش دارند و در بیشتر این برهم‌کنش‌ها همرفت کومه‌ای نقش اساسی

و انتخاب‌های متعددی را در رابطه با طرحواره‌های همرفتی و سطح زمین در اختیار قرار می‌دهد؛ به همین جهت یکی از مسائل بسیار مهم در اجرای مدل، انتخاب طرحواره همرفتی مناسب از بین طرحواره‌های موجود است. مطالعات زیادی در مناطق مختلف دنیا به منظور تأیید حساسیت طرحواره‌های همرفتی بر روی متغیرهای مدل‌سازی شده، به‌خصوص بارش صورت گرفته است. به عنوان مثال در آمریکا مطالعات گوچس و همکاران (۲۰۰۲)، لیانگ و همکاران (۲۰۰۷)، در اروپا، وانگ و سی من (۱۹۹۷)، زانیس و همکاران (۲۰۰۹) و در آفریقا، مطالعات داویس و همکاران (۲۰۰۹)، در جنوب شرق آسیا، دش و همکاران (۲۰۰۶) و چو و چن (۲۰۱۰) از این دست مطالعات محسوب می‌گردند. مطالعات انجام گرفته، هریک به‌نوعی اهمیت و تأثیر طرحواره‌های فیزیکی بر نتایج شبیه‌سازی و مدل‌سازی رقومی را آشکار می‌سازند؛ بنابراین به‌وضوح انتخاب هریک از طرحواره‌های بارشی، عملکرد مدل‌های اقلیمی منطقه محدود را از خود متأثر ساخته و آن را متفاوت خواهد کرد. در ادامه برخی از منابع مهم که در راستای تحقیق حاضر قرار دارند، بررسی و ارزیابی می‌شوند.

وانگ و سی من (۱۹۹۷) در مطالعه‌ای با استفاده از یک مدل میان‌مقیاس (MM5) به مقایسه طرحواره‌های پارامترسازی همرفت پرداختند. شبیه‌سازی با دو تفکیک افقی ۳۶ و ۱۲ کیلومتر برای ۶ رویداد بارندگی در فصل گرم و سرد انجام گرفت. نتایج بیانگر آن است که رخدادهای بارشی فصل سرد به‌شکل بهتر و دقیق‌تری در قیاس با رخدادهای فصل گرم شبیه‌سازی گردیده‌اند. همچنین اجرای مدل با تفکیک افقی ۱۲ کیلومتر، توانایی آن را در آشکارسازی رخدادهای بارشی بهبود بخشیده است. برخی خطاهای سیستماتیک باعث شد که دو طرحواره گرل (Grell) و کین- فریچ (Kain-Fritsch) برای نواحی دارای بارش سبک، بارش بیشتری را برآورد کنند. طرحواره بتس- میلر (Betts and Miller) توانایی خوبی در پوشش دادن نواحی با بارش سبک و مقدار

حداکثر بارش داشته است، اما این طرحواره در رخدادهای فصل گرم و در نواحی با بارش متوسط تا سنگین، مقادیر بیشتر از مقدار واقعی را برآورد کرده است. طرحواره آراکاوا- شوبرت (Arakawa and Schubert) نیز بیشترین ناتوانی را در پیش‌بینی رخدادهای بارش در فصل گرم داشته است. در مطالعه دیگری، گوچس و همکاران (۲۰۰۲) به مقایسه چگونگی تأثیر طرحواره‌های پارامترسازی کومولوس در شبیه‌سازی‌های مدل MM5/OSU از بارش‌های موسمی تابستانه آمریکای شمالی پرداختند. نتایج حکایت از آن دارد که به کارگیری طرحواره‌های مختلف پارامترسازی کومولوس، تفاوت درخور توجهی را در داده‌های خروجی مدل ایجاد می‌کند. در عین حال، آن‌ها به این نتیجه دست یافتند که طرحواره کین- فریچ نتایج واقعی‌تری را در سطح زمین و سطوح بالایی به دست می‌دهد. همچنین اوانس و همکاران (۲۰۰۴) در پژوهشی با به‌کارگیری مدل RegCM2، به شبیه‌سازی دما و بارش در منطقه خاورمیانه پرداختند. آن‌ها نتایج حاصل از مدل را با داده‌های بازتحلیل ECMWF-TOGA (هوو و همکاران، ۱۹۹۹) مقایسه کردند. یافته‌های تحقیق مبین آن است که مدل RegCM شرایط بارشی محدوده کوهستانی زاگرس و محدوده هلال خصیب را در قیاس با سایر مناطق خاورمیانه به شکل مطلوب‌تری آشکارسازی می‌کند. توانایی مدل در شبیه‌سازی صحیح مسیر توفان‌ها، فرایندهای متأثر از توپوگرافی و میزان ناپایداری جوی از مهم‌ترین دلایل موفقیت مدل در شبیه‌سازی مناسب چرخه فصلی بارش ذکر شده است. همچنین مدل RegCM2 در مقایسه با داده‌های بازتحلیل ECMWF-TOGA به نحو مطلوب‌تری تغییرات درون سالانه را در محدوده خاورمیانه به نمایش می‌گذارد. پژوهشگران همچنین بر این نکته تأکید دارند که به منظور مدل‌سازی موفقیت‌آمیز بارش، انتخاب تفکیک افقی مناسبی که مناطق بارشی را بر اساس فرایندهای بارشی حاکم در بازه فصلی و درون سالانه از هم متمایز کند، مورد نیاز است. در پژوهش دیگری، رحمان و همکاران

حوزه دیگر شرایط مرطوب‌تری را شبیه‌سازی کرده است. با لحاظ کردن شرایط مرطوب (GLEO wet)، طرحواره گرل بر روی خشکی و طرحواره امانوئل بر روی اقیانوس، اریبی مرطوب حدود ۳٪ را برای بارش و اریبی سرد حدود 0.26°C را برای دما در پی داشته است. طرحواره‌های یادشده، پس از اعتبارسنجی داده‌ها، به‌عنوان بهترین طرحواره‌ها جهت ریزگردانی داده‌های خروجی مجموعه مدل‌های CMIP5 در محدوده MENA به منظور مطالعات تغییر اقلیم معرفی گردیده‌اند.

در مرور سوابق تحقیق، پژوهش‌های مرتبط با مدل‌سازی رقومی بارش و ارزیابی طرحواره‌های بارشی در ایران بسیار کم‌تعداد است و تنها به چند کار پژوهشی محدود می‌شود. از جمله بابائیان و همکاران (۱۳۸۶) حساسیت مدل RegCM3 را به طرحواره‌های مختلف بارش همرفتی برای ماه‌های سرد سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۷۹ بررسی کردند. بر اساس نتایج پژوهش یادشده، مناسب‌ترین طرحواره جهت برآورد بارش در مناطق جنوب شرق، شمال شرق و جنوب غرب ایران و همچنین جنوب غرب دریای خزر، طرحواره کو است. در مقابل، طرحواره امانوئل برای مناطق مرکزی و غربی ایران و طرحواره‌های گرل و کو برای شمال غرب ایران کمترین خطا را در برخواهند داشت. ایران‌نژاد و همکاران (۱۳۸۸) نیز در پژوهشی با بهره‌گیری از نسخه سوم مدل اقلیمی RegCM به ارزیابی تأثیر طرحواره‌های مختلف پارامترسازی همرفت در شبیه‌سازی میدان‌های دما و بارش فصل زمستان در ایران پرداختند. یافته‌ها بیانگر آن است که مقادیر دما و بارش برآورد شده برای یک دوره سه‌ماهه (ژانویه تا مارس ۱۹۹۹) با استفاده از طرحواره‌های مختلف همرفت بسیار شبیه یکدیگر بوده و مدل RegCM میدان دما را در قیاس با بارش به شکل مطلوب‌تری شبیه‌سازی کرده است. آن‌ها با توجه به هزینه محاسباتی کمتر و ساختار ساده‌تر، طرحواره کو را برای مطالعه اقلیمی ایران توصیه می‌کنند. از دیگر پژوهش‌های مرتبط، می‌توان به پژوهش کریمیان و همکاران (۱۳۸۸) اشاره کرد. ایشان با استفاده از چهار

ویژگی‌های اقلیمی کشور بنگلادش را با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3 بررسی کردند. نتایج مدل‌سازی بارش در مقیاس فصلی بیانگر آن است که طرحواره گرل FC بارش دوره پیش‌مونسون را بیش از مقادیر واقعی و دوره مونسون را کمتر از مقدار واقعی برآورد کرده است. در مقابل، طرحواره گرل AS، شبیه‌سازی مناسبی نداشته است. آدنی (۲۰۱۴) نیز در پژوهشی با عنوان «حساسیت‌سنجی طرحواره‌های مختلف همرفتی» از مدل RegCM4 به منظور مدل‌سازی بارش در غرب آفریقا استفاده کرده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که تمامی طرحواره‌های همرفتی، نوعی خطا دارند. در این تحقیق، طرحواره‌های کو و گرل، بارش کمتری را در مقایسه با داده‌های مشاهداتی برآورد کرده‌اند، در حالی که بارش برآوردشده به وسیله طرحواره امانوئل برای سپتامبر ۱۹۸۹ و ۱۹۹۸ بیشتر از مقادیر مشاهداتی بوده است. در پژوهش دیگری، علی و همکاران (۲۰۱۵) با بهره‌گیری از ۵ نوع طرحواره پارامترسازی همرفت و مقایسه آن‌ها با هم، درصد تعیین مناسب‌ترین طرحواره بارشی برای منطقه جنوب و شرق آسیا برآمده‌اند. نتایج آن‌ها نشان داد که تمامی طرحواره‌ها به‌شدت از تغییرات مکانی و تغییرات فصلی ویژگی‌های اقلیمی در منطقه متأثر می‌گردند. به‌عنوان یک نتیجه کلی، طرحواره Tiedtke با کمترین مقدار RMSE بهترین نتایج را در ارتباط با بارش و دما نشان داده است. همچنین نتایج پژوهش یادشده بیانگر آن است که مناسب‌ترین طرحواره برای مطالعه بارش‌های جنوب آسیا طرحواره گرل است. از سوی دیگر، المزروبی و همکاران (۲۰۱۵) با بهره‌گیری از مدل RegCM4 درصد تعیین مناسب‌ترین طرحواره همرفتی برای محدوده خاورمیانه-شمال آفریقا (اصطلاحاً MENA) برآمدند. آن‌ها برای اجرای مدل از داده‌های شرایط مرزی ERA-Interim استفاده نمودند و جهت تعیین مناسب‌ترین طرحواره همرفتی، تعداد ۱۱ زیر حوزه را در داخل منطقه ارزیابی کردند. یافته‌ها بیانگر آن است که مدل برای ۷ زیر حوزه، شرایط خشک‌تر و برای ۴ زیر

طرحواره شکل‌گیری ابر شامل گول FC، گول AS، امانوئل و کو، نسخه دارای قابلیت آشیانه‌سازی مدل اقلیمی RegCM3 را ارزیابی کردند. نتایج بیانگر آن است که اریبی ماهانه و فصلی طرحواره‌های گول FC و گول AS در قیاس با سایر طرحواره‌ها کمتر است. اخیراً در پژوهش دیگری، قهرمان و همکاران (۱۳۹۴) با بهره‌گیری از برونداد مدل RegCM4 در صدد تعیین مناسب‌ترین روش پس‌پردازش آماری برای داده‌های بارش حاصل از مدل در محدوده شمال‌غرب ایران برآمدند. به منظور اجرای مدل، آزمون‌های لازم جهت تعیین طرحواره همرفت و تفکیک افقی مناسب انجام گرفت که با استناد به آن، طرحواره کو در مقایسه با دو طرحواره گول و امانوئل خطای کمتری در برآورد بارش داشته است. همچنین در پژوهش دیگری، محمدی و همکاران (۱۳۹۴) در صدد شبیه‌سازی بارش‌های دوره سرد برای استان فارس برآمدند. در این تحقیق، مدل RegCM4 برای یک دوره بیست و سه‌ساله به اجرا درآمد. با آزمون طرحواره‌های بارش همرفتی و با توجه به اعتبارسنجی نتایج، طرحواره گول، مناسب‌ترین طرحواره بارشی و تفکیک افقی ۲۰ کیلومتر، مناسب‌ترین قدرت تفکیک، برای اجرای مدل در نظر گرفته شد. از دیگر پژوهش‌های قابل ذکر، می‌توان به شبیه‌سازی نقش دریای خزر در بارش‌های سواحل جنوبی این دریا اشاره کرد که توسط کارخانه و همکاران (۱۳۹۵) به انجام رسیده است. در پژوهش یادشده، مدل RegCM4 در پیوند با یک مدل دریاچه با تفکیک افقی ۲۰ کیلومتر برای یک دوره چندساله در شرایط مرجع و شرایط حذف دریای خزر به اجرا درآمد. نتایج تحقیق نشان داد که مدل قادر است به‌خوبی روند بارش‌های ماهانه را در منطقه خزری شبیه‌سازی کند؛ اگرچه در برآورد مقادیر واقعی بارش، برای ماه‌های بهاری اریبی مثبت نشان داده است.

در مطالعه اقلیم‌شناسی بارش ایران زمین، بارش‌های بهاره شمال غرب کشور یکی از نمودهای عینی تنوع اقلیمی محسوب می‌گردند. بنابر مطالعات موجود، تمایز اصلی و

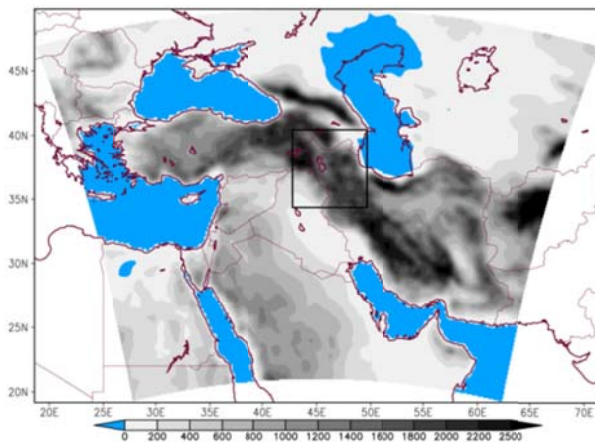
برجسته بارش‌های بهاره شمال غرب ایران در حاکمیت پدیده همرفت و سازوکار وقوع بارش همرفتی در این تیپ بارشی است (علیجانی، ۱۳۸۷؛ مسعودیان، ۱۳۹۰). از سویی تجزیه و تحلیل بارش‌های همرفتی با روش‌های متداول از جمله استفاده از نقشه‌های هوا و کاربری روش‌ها و مفاهیم مقیاس همدید سبب پنهان‌ماندن برخی خصوصیات مهم این گونه بارش‌ها گردیده است. در سال‌های اخیر به‌کارگیری مدل‌های رقومی منطقه محدود نقش بسزایی در آشکارسازی جنبه‌های کمتر شناخته‌شده پدیده همرفت و به‌طورکلی سازوکار وقوع بارش‌های همرفتی در مناطق مختلف جهان داشته است (قرایلو و همکاران، ۱۳۸۹). در همین راستا، در مطالعه حاضر برای نخستین بار، بارش‌های بهاره شمال غرب ایران در یک مدل اقلیمی منطقه محدود که توانایی آشکارسازی پدیده‌های همرفتی را در فیزیک خود داراست، شبیه‌سازی می‌گردد. بر این اساس، هدف اصلی تحقیق حاضر، ارزیابی حساسیت مدل RegCM4 به نوع طرحواره بارش همرفتی در مدل‌سازی بارش‌های بهاره در محدوده خاورمیانه و شمال غرب ایران است.

۲. داده‌ها و روش پژوهش

در این تحقیق به منظور مدل‌سازی بارش‌های بهاره شمال غرب ایران، انواع مختلف طرحواره‌های بارش همرفتی در مدل RegCM4 بررسی و ارزیابی شد. مدل یادشده یک مدل اقلیمی منطقه محدود، غیرهیدروستاتیک و با سامانه لانه‌گزینی یک‌طرفه محسوب می‌شود که به منظور ریزگردانی دینامیکی در مقیاس منطقه‌ای از آن استفاده می‌شود (پال و همکاران، ۲۰۰۷؛ جیورجی و همکاران، ۲۰۱۲). بدین منظور با یکسان نگاه‌داشتن شرایط منطقه، شرایط مرزی اولیه و ثانویه و همه اجزای مدل، فقط با تغییر نوع طرحواره همرفت، مدل سه بار اجرا شد. سه اجرا با استفاده از سه طرحواره پارامترسازی همرفت برای بارش‌های بهاره (مارس، آوریل، می و ژوئن) سال ۲۰۰۴ به انجام رسید. انتخاب بارش‌های بهاره سال ۲۰۰۴ بر

افقی ۲۰ کیلومتر (حداکثر تفکیک افقی که در این مدل برای اجرا انتخاب می‌شود) اجرا شد، زیرا هیدروستاتیک بودن مدل RegCM4 اجازه اجرا با تفکیک افقی بیشتر از ۲۰ کیلومتر را نمی‌دهد (الیگوندی و همکاران، ۲۰۱۳). مضاف بر این، تحقیقات قبلی حاکی از آن است که مناسب‌ترین تفکیک افقی جهت مطالعه بارش در ایران، تفکیک افقی ۲۰ کیلومتر است (محمدی، ۱۳۹۲؛ کارخانه و همکاران، ۱۳۹۵). محدوده اجرای مدل، علاوه بر کوهستان‌های مرتفع خاورمیانه، پهنه‌های آبی دریای خزر، دریای سیاه، خلیج فارس، دریای عمان، شرق دریای مدیترانه و نیمه شمالی دریای سرخ را پوشش می‌دهد. بارش این محدوده از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت است. به منظور کاهش خطاها و عدم دخالت اریبی حاصل از مناطق حاشیه‌ای، از ارزیابی ۳ درجه طول و ۳ درجه عرض جغرافیایی، از چهار طرف محدوده مطالعاتی، صرف نظر شد. همچنین جهت تمرکز ارزیابی بر روی منطقه شمال‌غرب ایران و عدم دخالت اریبی سایر مناطق اقلیمی با سازوکار بارشی متفاوت، محدوده کوچک‌تری نیز در داخل محدوده خاورمیانه تعریف شد که در برگیرنده شمال‌غرب ایران، ارمنستان، بخشی از آذربایجان، شرق ترکیه و قفقاز است (مربع مشخص شده در شکل ۱). شکل ۱، دو محدوده مطالعاتی و جزئیات توپوگرافی در سه اجرای مدل با تفکیک افقی ۲۰ کیلومتر را نشان می‌دهد.

اساس معیارهایی چون مجموع بارش فصلی، مقدار فعالیت همرفتی گزارش شده در ایستگاه‌های هواشناسی شمال‌غرب کشور و فراوانی وقوع روزهای بارش‌های سنگین، متوسط و سبک، همراه با دوره‌های تداوم مختلف صورت گرفته است. برای مطالعه حاضر یک دوره پایدارسازی (spin-up) یک ماهه برای مدل در نظر گرفته شد که بدین ترتیب، مدل در هر اجرا از ابتدای ماه فوریه به اجرا در آمد. تعداد شبکه‌ها در راستای طول جغرافیایی ۱۹۲ شبکه و در راستای عرض جغرافیایی ۱۶۰ شبکه با تفکیک افقی ۲۰ کیلومتر انتخاب شدند. نقطه مرکزی محدوده مورد نظر با طول جغرافیایی ۴۵ درجه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه انتخاب شد که منطبق بر جنوب‌غربی منطقه مورد مطالعه است. محدوده انتخاب شده برای مدل‌سازی، تقریباً کل خاورمیانه را در بر می‌گیرد (شکل ۱). به کارگیری مدل RegCM4 در محدوده‌ای بزرگ‌تر از شمال‌غرب ایران بدین منظور صورت گرفت که تأثیر کوهستان‌های اطراف، همچنین تأثیرات سامانه‌های گردش جو در مقیاس منطقه‌ای و منابع رطوبتی دوردست از جمله دریا‌های سیاه، مدیترانه، سرخ، خلیج فارس و دریای خزر بر بارش‌های شمال‌غرب ایران به‌خوبی آشکار گردد. مدل‌های اقلیم منطقه‌ای، زمانی که خروجی آن‌ها می‌بایست برای مطالعات میان‌مقیاس تا مقیاس همدید استفاده شود، عمدتاً با تفکیک افقی بالا به اجرا در می‌آیند. در این تحقیق مدل RegCM4 با تفکیک



شکل ۱. محدوده و جزئیات توپوگرافی (به متر) در سه اجرای مدل با تفکیک افقی ۲۰ کیلومتر به همراه زیر محدوده شمال‌غرب ایران.

۳. اندازه‌گیری، مشاهده و محاسبه

AVHRR از آوریل ۱۹۹۲ تا مارس ۱۹۹۳ به دست آمده‌اند. همچنین از داده‌های دمای سطح آب دریا (SST) دریافت شده از اداره ملی جو و اقیانوس آمریکا (NOAA)، به صورت هفتگی و با تفکیک افقی ۱ درجه به عنوان داده‌های ورودی استفاده شد. جدول ۱ مشخصات پیکربندی مدل برای اجرا در تحقیق حاضر را نشان می‌دهد.

۳-۱. ارزیابی نتایج مدل

به‌طور رایج، نخستین گام در ارزیابی خروجی مدل‌ها، مقایسه خروجی مدل با داده‌های مشاهداتی است تا مشخص شود رفتار پدیده ریزگردانی شده/شبه‌سازی شده در مدل چقدر با رفتار داده‌های مشاهداتی شباهت دارد. معمولاً، نقشه‌ها و نمودارها که امکان آشکارسازی رفتار پدیده و الگوهای ظاهر شده را به شکل تطبیقی بین داده‌های مدل و داده‌های مشاهداتی فراهم می‌آورند، به عنوان شواهدی از دقت ارائه می‌شوند. برای مدل‌های با متغیرهای متعدد و چندبعدی (مدل‌های جفت‌شده اقیانوس و جو و مدل‌های اقلیمی)، مقایسه بصری مؤلفه‌های شبه‌سازی شده و مشاهده شده، حتی اگر بخش کوچکی از خروجی مدل با دقت بررسی شود، غیرعملی می‌شود. پس ضروری است بر روی برخی جنبه‌های محدود سیستم فیزیکی که با استفاده از خلاصه‌های آماری برای تطابق بین مدل و رفتار مشاهداتی کمی‌سازی شده‌اند، تمرکز کنیم (تیلور، ۲۰۰۱).

جهت به‌کارگیری داده‌های شرایط مرزی ثانویه و آغازین از داده‌های ERA-interim با تفکیک افقی ۱/۵ درجه و گام زمانی ۶ ساعته استفاده شد. داده‌های ERA-interim از مجموع داده‌های باز تحلیل محسوب می‌شوند که توسط مرکز اروپایی برای پیش‌بینی‌های میان‌مدت (ECMWF) تولید گردیده و در چند سال گذشته به‌طور گسترده‌ای در مدل‌های رقومی استفاده شده است (علی و همکاران، ۲۰۱۵). این داده‌ها به‌خوبی اندازه‌گیری‌های جو بالا و پایین را به‌صورت جهانی پوشش داده و در عین حال، در مقایسه با سایر داده‌های بازتحلیل، بسیار قابل اعتماد هستند (لین و همکاران، ۲۰۱۴)؛ به‌خصوص در نیمکره شمالی از همگن‌سازی بسیار بالایی برخوردارند که این امر به واسطه بهره‌گیری از ترکیب گسترده‌ای از داده‌های مشاهداتی و سنسج از دوری امکان‌پذیر شده است (دی و همکاران، ۲۰۱۱). این داده‌ها شامل: ارتفاع ژئوپتانسیل، مؤلفه مداری و نصف‌النهاری باد، دمای هوا و سرعت قائم برای ۶۷ تراز فشاری، فشار سطحی و رطوبت نسبی برای ۸ تراز هستند. همچنین از داده‌های GLCC (Global Land Cover Characterization) برای داده‌های توپوگرافی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی، بافت خاک، عمق آب دریاها و دریاچه‌ها با تفکیک افقی ۳۰ ثانیه، تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) به منظور استفاده از داده‌های پوشش سطحی استفاده شد. داده‌های GLCC از ماهواره NOAA سنجنده

جدول ۱. پیکربندی اجزاء و طرحواره‌های مدل RegCM4-1.

Domain	MEADLE EAST framework 20.0, km horizontal resolution Central Lat. and Lon. 35.00 °N, 45.00°E 160 (Lat.) × 192 (Lon.)	Cumulus parameterization scheme	Simplified Kuo (Anthes et al. 1987) Grell (Grell, 1993) Emanuel (1991)
		Planetary boundary layer scheme	Holtslag (Holtslag et al., 1990)
Map projection	Lambert conformal	Land surface model	BATS (Dickinson et al. 1993)
Simulation period	2004020100 -2004063000 (6month)	Vertical layers	23 sigma
Sea Surface Temperature	OI_WK	Resolved scale precipitation	SUBEX (Pal et al. 2000)
Boundary data	ERA-Interim (EIN15)	Radiative transfer	Modified CCM3 (Kiehl et al. 1996)

(Mean Error) یا اریبی (Bias) که اختلاف بین مقادیر مشاهده‌شده و برآوردشده را نشان می‌دهد و خطای برآورد متوسط را اندازه می‌گیرد، به شرح رابطه ۵ استفاده شد:

$$ME = \frac{1}{n} + \sum_{i=1}^n (f_i - r_i) \quad (5)$$

نحوه ارزیابی از طریق این شاخص بدین صورت است که مقادیر خطای میانگین (ME) نزدیک‌تر به صفر، نشان از دقت آماری بیشتر روش مورد نظر دارد. در این تحقیق، مقدار بارش کل و مقدار بارش همرفتی برآوردشده توسط مدل در دو مقیاس زمانی ماهانه و فصلی، در رابطه با چهار دسته از داده‌های شبکه‌ای بارش شامل: داده‌های آفرودیت (APHRODITE)، آگمرا (AgMMERA)، چیرپس (CHIRPS) و پرشین (PERSIAN CDR) ارزیابی شد. تمامی داده‌های فوق یا به‌طور کامل از داده‌های بارش مشاهداتی سطحی یا داده‌های سنجنده‌های ماهواره‌ای یا ترکیبی از این دو نوع داده تهیه گردیده‌اند؛ به همین جهت در بسیاری از تحقیقات از این سری داده‌ها، برای مقایسه فضایی بین داده‌های مدل و داده‌های مشاهداتی استفاده شده است. در کنار داده‌های فوق، جهت مقایسه بارش‌های همرفتی از داده‌های بازتحلیل ERA-Interim استفاده شده است. از چهار پایگاه نخست به منظور ارزیابی مقدار بارش بزرگ مقیاس و از داده‌های بازتحلیل ERA-Interim، به منظور ارزیابی و دقت‌سنجی مقدار بارش همرفتی استفاده شد. داده‌های بارش شبکه‌ای مورد استفاده، ترکیبی از الگوریتم‌های برآورد بارندگی از اطلاعات سنجش از دور و ماهواره‌ای، داده‌های زمینی و داده‌های شبکه دیدبانی باران‌سنج، با تفکیک افقی ۰/۲۵ درجه است. داده‌های آفرودیت از جمله داده‌های بارش شبکه‌ای روزانه است که تحت عنوان پروژه گردآوری داده‌های مشاهداتی بارش با تفکیک افقی بالا در راستای ارزیابی منابع آبی در آسیا، با بهره‌گیری از داده‌های بارش ایستگاهی جمع‌آوری‌شده از تمامی کشورهای قاره آسیا برای یک دوره ۵۸ ساله (۱۹۵۰ تا ۲۰۰۷) تولید شده است (یاتاگای

نمودار تبلور این امکان را فراهم می‌آورد تا درجه تطابق بین رفتار مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده ارزیابی شود. در این نمودار، ضریب همبستگی و ریشه دوم مربع خطا (RMSE) اختلاف بین دو پارامتر و انحراف معیار بین دو الگو، همگی با استفاده از نقاط بر روی نموداری دوبعدی نشان داده می‌شوند. با قرارگیری آماره‌های فوق در یک نمودار و به شکل دیداری، امکان بررسی درجه تطابق الگوها با سهولت بیشتری فراهم می‌گردد. این دیاگرام به‌طور ویژه‌ای در ارزیابی خروجی مدل‌ها و سنجش عملکرد کلی آن‌ها مفید است. اگر f به عنوان مقدار متغیر برآوردشده در مدل‌سازی، r مقدار متغیر اندازه‌گیری‌شده یا مشاهداتی و n تعداد شبکه‌های استفاده‌شده در برآورد باشد، ضریب همبستگی (R)، مجذور میانگین خطا (E^2)، انحراف معیار متغیر مدل‌سازی شده (σ_f) و انحراف معیار متغیر اندازه‌گیری شده و مشاهداتی (σ_r) به صورت رابطه‌های ۱ تا ۴ تعریف می‌شوند (تیلور، ۲۰۰۱):

$$R = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - \bar{f})(r_n - \bar{r})}{\sigma_f \sigma_r} \quad (1)$$

$$E^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left[(f_n - \bar{f})(r_n - \bar{r}) \right]^2 \quad (2)$$

$$\sigma_f^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - \bar{f})^2 \quad (3)$$

$$\sigma_r^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (r_n - \bar{r})^2 \quad (4)$$

روش ارزیابی در این نمودار به این صورت خواهد بود: الگویی که از نظر موقعیت مکانی (همبستگی، انحراف معیار و ریشه مربعات خطا) بیشترین نزدیکی را با الگوی مشاهداتی و مرجع داشته باشد، به‌عنوان بهترین الگو یا مدل انتخاب خواهد شد. با توجه به توضیحات فوق، در این تحقیق از نمودار تبلور جهت تعیین وضعیت خروجی‌های مدل و انتخاب مناسب‌ترین طرحواره بارشی بهره گرفته شد. همچنین از شاخص آماری خطای میانگین

شبکه‌ای پرشین از روش شبکه عصبی مصنوعی برای ترکیب داده‌های هفت ماهواره مدارقوسی ارتفاع پایین با داده‌هایی که به‌طور پیوسته از پنج ماهواره زمین آهنگ نمونه‌گیری می‌شوند، استفاده می‌کند (سروشیان و همکاران، ۲۰۰۵). الگوریتم مورد استفاده برای تهیه این داده در دانشگاه کالیفرنیا توسعه یافته است (عاشوری و همکاران، ۲۰۱۵).

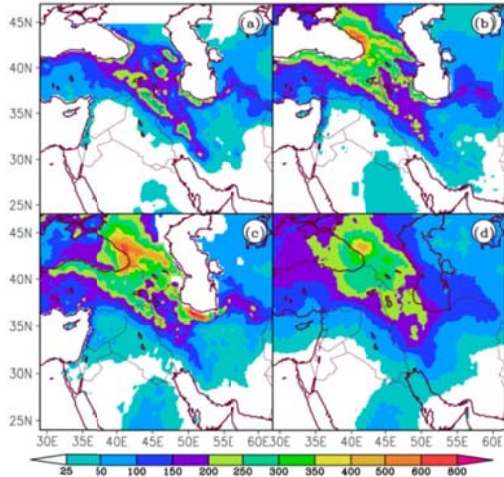
۴. نتایج و بحث

در این بخش از تحقیق ابتدا مقادیر بارش شبکه‌بندی‌شده حاصل از به‌کارگیری داده‌های مشاهداتی از منطقه خاورمیانه و شمال غرب ایران ارائه می‌شود. سپس نتایج شبیه‌سازی سه طرحواره پارامترسازی همرفت بر روی مقدار بارش بزرگ‌مقیاس و مقدار بارش همرفتی بهاره سال ۲۰۰۴ بررسی خواهد شد. پس از آن با ارزیابی داده‌های مشاهداتی و بازتحلیل و تحلیل‌های آماری، بهترین طرحواره بارش هم برای محدوده خاورمیانه و هم برای محدوده کوچک‌تر شمال‌غرب ایران انتخاب خواهد شد.

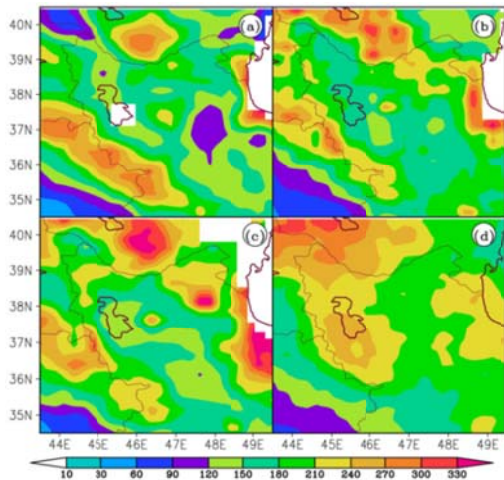
۴-۱. شبیه‌سازی بارش‌های بزرگ‌مقیاس و همرفتی بارش بزرگ‌مقیاس: شکل ۲ مجموع بارش فصلی (مارس، آوریل، مه و ژوئن ۲۰۰۴) محدوده مورد مطالعه برای چهار دسته بارش شبکه‌بندی‌شده شامل داده‌های پایه مشاهداتی آفرودیت، داده‌های ماهواره‌ای پرشین و داده‌های ترکیبی آگمرا و چیرپس را نشان می‌دهد. نقشه‌ها بیانگر آن است که مقادیر بارش پهنه‌ای نشان داده شده توسط چهار پایگاه داده از تطابق کلی برخوردارند. بیشینه مقدار بارش چهار ماهه در محدوده‌ای بین دریای خزر و دریای سیاه منطبق بر قفقاز رخ داده است. بیشترین مقادیر بارش فصلی توسط داده چیرپس در حاشیه شرقی دریای سیاه و سواحل جنوبی خزر نشان داده شده و کمترین مقادیر نیز مربوط به داده‌های آفرودیت است (شکل ۲-الف). از طرفی در تمامی داده‌های یادشده،

و همکاران، ۲۰۱۲). پایگاه داده آگمرا، مجموعه‌ای از داده‌های اقلیمی روزانه با تفکیک افقی بالا برای یک دوره آماری ۳۱ ساله (۲۰۱۰-۱۹۸۰) است که توسط سازمان فضایی ملی ایالات متحده آمریکا و دانشگاه کلمبیا در سال ۲۰۱۴ به عنوان بخشی از پروژه AgMIP، برای بررسی تأثیر تغییرات و وردایی‌های اقلیمی بر بخش کشاورزی تهیه شده است. این مجموعه داده، حاصل بازتحلیل داده‌های ماهواره‌ای (MERRA، PERSIANN و CMORPH) و داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های همدید در جهان است (رووین و همکاران، ۲۰۱۵). چیرپس از جدیدترین داده‌های بارش شبکه‌ای روزانه با تفکیک افقی بسیار بالا، با دوره زمانی طولانی به شمار می‌رود که اخیراً توسط سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا (USGS) با همکاری وزارت کشور و گروه مخاطرات اقلیمی دانشگاه کالیفرنیا-سانتا باربارا تهیه شده است. این داده‌ها به‌صورت جهانی، خشکی‌های عرض‌های بین ۵۰ درجه شمالی تا ۵۰ درجه جنوبی را پوشش می‌دهد. داده‌های چیرپس در دو تفکیک افقی ۰/۰۵ و ۰/۲۵ درجه از ۱۹۸۱ موجود است و با یک تأخیر زمانی اندک به‌روزرسانی می‌گردد. چیرپس از ترکیب داده‌های بارش حاصل از سنجنده‌های مادون قرمز از مرکز ملی پیش‌بینی اقلیمی (CPC) با تفکیک افقی ۴ کیلومتر، داده‌های شبکه ایستگاهی مرکز ملی داده‌های اقلیمی (NCDC) با تفکیک افقی ۸ کیلومتر، داده‌های نسخه هفتم TRMM با تفکیک افقی ۰/۲۵ درجه و داده‌های شبکه باران‌سنجی جهانی حاصل می‌گردد (فانگ و همکاران، ۲۰۱۵). این داده‌ها در قالب یک برنامه جهانی با هدف پیش‌آگاهی از وضعیت قحطی و خشکسالی تولید گردیده است. پیشرفت‌های اخیر فناوری‌های سنجش از دور، پتانسیل جدیدی برای برآورد بهتر و دقیق‌تر بارندگی در نواحی‌ای که اندازه‌گیری‌ها و دیدبانی‌های زمینی محدود هستند، ایجاد کرده است. الگوریتم برآورد بارش با اطلاعات سنجش از دور با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی با نام اختصاری پرشین (PERSIANN) یکی از آنهاست. داده‌های

شبکه‌ای دارند. طرحواره امانوئل پهنه کوچکی از استان اردبیل منطبق بر ارتفاعات سیلان را تا ۱۲۰۰ میلی‌متر برآورد کرده است (شکل ۳-ب).



الف) محدوده خاورمیانه



ب) محدوده شمال غرب ایران

شکل ۲. مجموع بارش فصل بهار سال ۲۰۰۴ برای چهار دسته بارش شبکه‌بندی شده: (a) آفرو دیت، (b) آگمرا، (c) چیرپس و (d) پرشین.

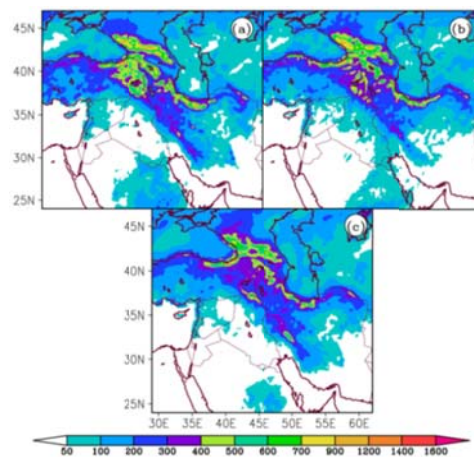
هریک از داده‌های شبکه‌ای مورد استفاده در این تحقیق به دلیل استفاده از روش و الگوریتمی متفاوت برای تعیین مقدار بارش، از عدم قطعیتی متفاوت در مقایسه با دیگر داده‌ها برخوردار است که این امر خود باعث عدم همخوانی آن‌ها با هم و در عین حال، سبب ایجاد مشکل در مقایسه آن‌ها با خروجی‌های مدل می‌شود. به منظور

بیشینه مقادیر بارش در محدوده شمال غرب ایران، بین ۳۰۰ تا ۳۳۰ میلی‌متر است که از تطابق نسبی داده‌های شبکه‌بندی شده پایه ایستگاهی و ماهواره‌ای در ارائه مقادیر بیشینه بارش فصلی در این محدوده نشان دارد (شکل ۲-ب). از نظر توزیع فضایی، داده‌های آفرو دیت، آگمرا و چیرپس در مقایسه با داده‌های پرشین، جزئیات بیشتری از بارش را نشان می‌دهند. بر اساس داده‌های شبکه‌بندی شده، منطقه شمال غرب ایران در مقایسه با بقیه مناطق کشور بیشینه بارش بهاره خود را به صورت پهنه‌های پراکنده دریافت می‌کند. برای رسیدن به درکی کامل‌تر، مجموع بارش‌های ماهانه نیز به تفکیک برای ماه‌های مارس، آوریل، مه و ژوئن سال ۲۰۰۴ بررسی شد، اما به دلیل کاهش حجم مقاله از آوردن آن‌ها صرف نظر شد. در کل می‌توان گفت، الگوی کلی توزیع بارش در چهار داده بارش شبکه‌ای به کار گرفته شده در این تحقیق شبیه به هم هستند و فقط مراکز بیشینه بارش تفاوت کمی با هم دارند. شکل ۳ نیز مجموع بارش فصلی برآورد شده توسط سه طرحواره مدل را نشان می‌دهد. در مقایسه با هر یک از داده‌های بارش شبکه‌ای (شکل ۲-الف) مشخص می‌شود که از نظر توزیع فضایی، تطابق نسبی بسیاری بین مقدار بارش برآورد شده توسط مدل و مقدار بارش مشاهداتی وجود دارد. در واقع پهنه‌های بیشینه و کمینه دریافت بارش منطبق برهم هستند. از نظر برآورد مقدار بارش، بین بارش برآورد شده توسط مدل و بارش داده‌های شبکه‌ای تفاوت وجود دارد. بیشترین برآورد مدل از مجموع بارش فصلی، به طرحواره کو مربوط است که در پهنه کوچکی از سواحل دریای سیاه به وقوع پیوسته و مقدار آن به ۱۶۰۰ میلی‌متر بالغ می‌گردد (شکل ۳-الف). بیشترین برآورد مربوط به دو طرحواره امانوئل و گرل نیز به ترتیب ۱۳۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌متر منطبق بر همان پهنه است. اما بررسی نقشه‌ها برای محدوده کوچک‌تر شمال غرب ایران حاکی از آن است که طرحواره کو با بیشینه بارش ۵۵۰ میلی‌متر و طرحواره گرل با بیشینه ۶۵۰ میلی‌متر، در مقایسه با طرحواره امانوئل، تطابق بیشتری با داده‌های

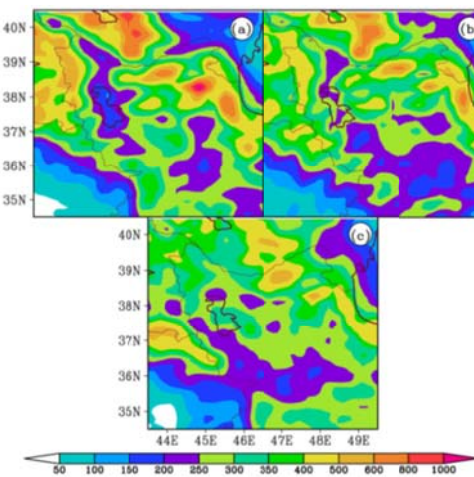
بهاری سال ۲۰۰۴ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، پهنه سواحل جنوبی خزر و کوه‌های البرز با دریافت بیشینه بارش ۲۰۰ میلی‌متر در ماه آوریل به عنوان پربارش‌ترین منطقه بارشی در محدوده مورد مطالعه قابل تشخیص است. پهنه مذکور گستردگی فضایی زیادی ندارد و وسیع‌ترین پهنه‌ای که بارش‌های بیشتر از ۱۲۰ میلی‌متر در ماه را دریافت کرده است، نه در این ماه بلکه مربوط به ماه ژوئن و منطقه شرق دریای سیاه است. در منطقه مورد مطالعه، ماه ژوئن کمترین بارش و ماه‌های آوریل و مه بیشترین بارش را دریافت کرده‌اند. بخش اعظم پهنه بارشی در ماه مارس مربوط به بارش‌های کمتر از ۲۰ و ۳۰ میلی‌متر است. این در حالی است که در ماه‌های آوریل و مه مقادیر بیشتر بارش، در گستره جغرافیایی بزرگ‌تری، به وقوع می‌پیوندد. شکل ۴-ب مجموع بارش ماهانه‌های مارس تا ژوئن برآوردشده توسط طرحواره امانوئل را نشان می‌دهد. توزیع فضایی بارندگی ماهانه در این طرحواره بیانگر آن است که پربارش‌ترین پهنه در همه ماه‌ها، محدوده بین دریای خزر و دریای سیاه در راستای رشته کوه‌های قفقاز بزرگ و قفقاز کوچک است. در عین حال، پهنه‌هایی از سواحل جنوبی دریای خزر در ماه‌های مارس تا ماه مه مقادیر بارش زیادی را تجربه می‌کنند. بیشینه بارش برآورد شده در طرحواره امانوئل برای خاورمیانه منطبق بر پهنه‌های ذکر شده، ۴۵۰ میلی‌متر در ماه مارس، ۴۰۰ میلی‌متر در ماه آوریل و ۶۰۰ میلی‌متر در ماه مه و ۵۵۰ میلی‌متر در ماه ژوئن است. در محدوده کوچک‌تر شمال غرب ایران (شکل‌ها نشان داده نشده‌اند)، بیشینه بارش در ماه مارس ۲۴۰ میلی‌متر، ماه آوریل ۳۶۰ میلی‌متر، ماه مه ۶۰۰ میلی‌متر (منطبق بر ارتفاعات سبلان) و در ماه ژوئن ۲۷۰ میلی‌متر برآورد شده است.

توزیع فضایی مجموع بارش ماهانه در طرحواره گرل مبین آن است که پربارش‌ترین پهنه‌ها همانند طرحواره امانوئل منطبق بر منطقه قفقاز، بین دریای خزر و دریای سیاه هستند (شکل ۴-ج). در این طرحواره، سواحل جنوبی خزر فقط در ماه مارس مقادیر بارش درخور توجهی را تجربه

کاهش عدم قطعیت‌ها و به دست آوردن یک داده پایه با کمترین خطا، از یک گروه از داده‌های مشاهداتی که مقایسه‌پذیر با هم باشند، متوسط‌گیری می‌شود. در این تحقیق به منظور فراهم کردن درکی بهتر از مقدار بارش حاصل از داده‌های شبکه‌ای و همچنین کاهش خطاهای احتمالی هر یک از آن‌ها، میانگینی (Ensemble) از مجموع بارش ماهانه داده‌های شبکه‌بندی‌شده (آفروودیت، آگمرا، چیرپس و پرشین) برای مقایسه با برآوردهای مدل تهیه شد.



الف) محدوده خاورمیانه



ب) محدوده شمال غرب ایران

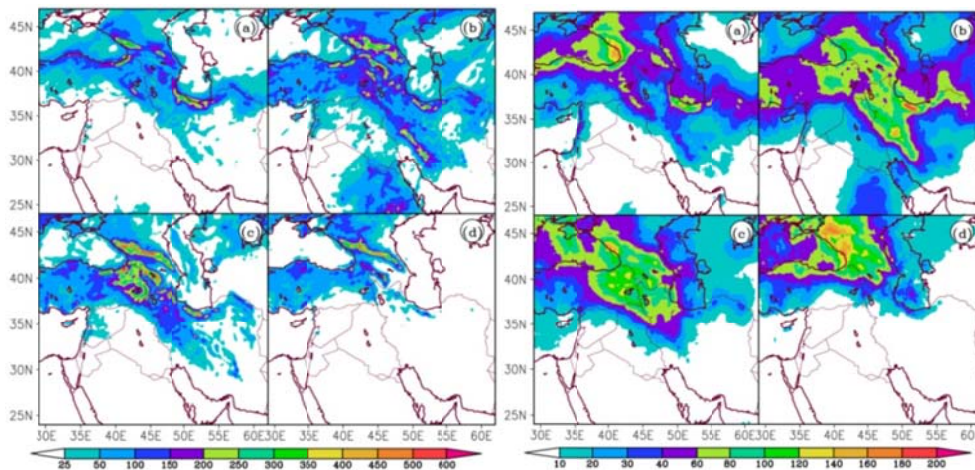
شکل ۳. مجموع بارش فصل بهار سال ۲۰۰۴ برآوردشده توسط سه طرحواره مدل: (a) امانوئل، (b) گرل، (c) کو.

براین اساس، شکل ۴-الف مقادیر مجموع بارش ماهانه حاصل از چهار داده بارش شبکه‌بندی‌شده برای ماه‌های

بارش ماهانه برآوردشده توسط طرحواره کو، نشان می‌دهد که همانند دو طرحواره قبل، ماه مه با بیشینه ۶۰۰ میلی‌متر بر روی قفقاز، پربارش‌ترین ماه در فصل بهار در منطقه خاورمیانه به شمار می‌رود (شکل ۴-د). این در حالی است که بیشینه بارش این ماه برای محدوده شمال‌غرب ایران ۳۰۰ میلی‌متر است؛ بدین ترتیب، طرحواره کو در مقایسه با دو طرحواره امانوئل و گرل، بارش کمتری را برآورد کرده است.

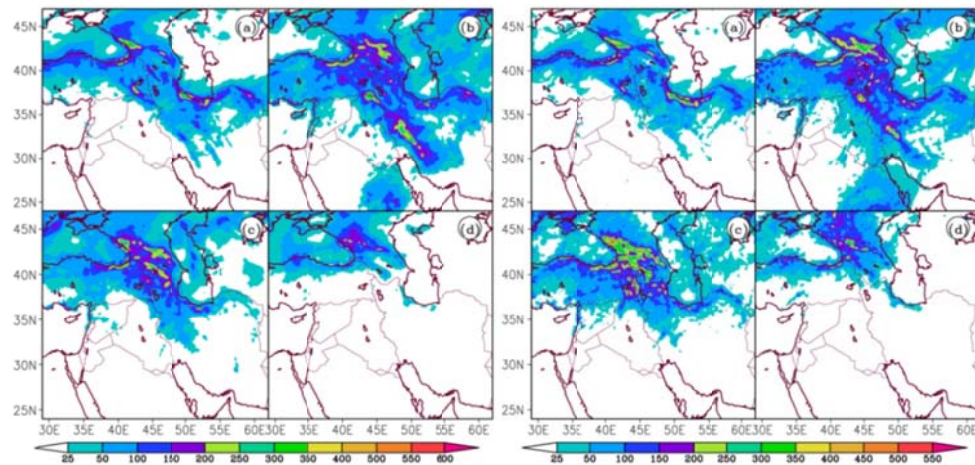
می‌کنند. به‌طور کلی، طرحواره گرل در تمامی ماه‌ها، به غیر از ماه مه، در مقایسه با طرحواره امانوئل بیشینه بارش کمتری را هم در محدوده خاورمیانه و هم در محدوده شمال‌غرب ایران برآورد کرده است. علاوه بر این، نتایج بیانگر آن است که شدیدترین و فراگیرترین بارش‌ها در هر دو محدوده خاورمیانه و شمال‌غرب ایران در ماه مه رخ داده است.

در طرحواره گرل، مقدار بیشینه بارش برآوردشده در ماه مه به ۶۰۰ میلی‌متر در شمال‌غرب ایران می‌رسد. مجموع



(ب) طرحواره امانوئل

(الف) میانگین بارش ماهانه از داده‌های شبکه‌بندی‌شده



(د) طرحواره کو

(ج) طرحواره گرل

شکل ۴. مجموع بارش ماهانه برآوردشده برای داده‌های بارش شبکه‌بندی‌شده و طرح‌های مدل برای ماه‌های مارس تا ژوئن سال ۲۰۰۴ (به ترتیب a تا d). (الف) میانگین چهار داده بارش شبکه‌بندی‌شده، (ب) طرحواره امانوئل، (ج) طرحواره گرل، (د) طرحواره کو.

در عین حال، طرحواره کو، ماه آوریل مرطوب‌تری را در منطقه خاورمیانه در مقایسه با دو طرحواره گزل و امانوئل رقم زده است، به طوری که در این طرحواره بخش‌هایی از زاگرس مرکزی نیز مقادیر زیادی از بارش را تجربه کرده‌اند. این مقدار برای محدوده شمال غرب ایران ۲۴۰ میلی‌متر است که حد واسط طرحواره گزل و امانوئل به حساب می‌آید. در طرحواره کو، کمترین مقدار بارش ماهانه برآورد شده برای محدوده شمال غرب ایران مربوط به ماه ژوئن است؛ به طوری که بیشینه بارش برآورد شده برای این ماه در شمال غرب ایران ۴۰ میلی‌متر است. این مقدار بارش در مقایسه با طرحواره امانوئل که برابر با ۲۷۰ میلی‌متر و طرحواره گزل که برابر با ۷۰ میلی‌متر بارش داشته‌اند، به طور محسوسی کمتر است.

بارش همرفتی: یکی از خروجی‌های مدل اقلیمی RegCM4، مقادیر بارش همرفتی برآورد شده توسط طرحواره‌های پارامترسازی همرفت است که از طریق وارد کردن اثر همرفت کومه‌ای در مدل به دست می‌آید. به منظور ارزیابی مقادیر بارش همرفتی مدل از داده‌های بازتحلیل ERA-Interim بهره گرفته شد. شکل‌های ۵-۵ الف و ۵-ب، مجموع بارش همرفتی فصل بهار را با استفاده از داده‌های بازتحلیل ERA-Interim و طرحواره‌های مدل برای خاورمیانه و شمال غرب ایران نشان می‌دهند. با توجه به شکل‌ها، می‌توان گفت که پهنه بیشینه و کمینه بارش‌های همرفتی، بر بیشینه و کمینه بارش بزرگ مقیاس منطبق است. هم در داده بازتحلیل و هم در سه طرحواره مدل، بیشینه بارش همرفتی در منطقه خاورمیانه بر منطقه قفقاز و ناحیه بین دریای خزر و دریای سیاه انطباق دارد. در داده‌های ERA-Interim، بیشینه بارش همرفتی بهاره در شمال شرق ترکیه به ۹۰۰ میلی‌متر می‌رسد. در طرحواره‌های امانوئل و کو، مقادیر بارش همرفتی برآورد شده برای فصل بهار کمی بیشتر است، به طوری که در محدوده کوه‌های قفقاز شمالی به ترتیب مقادیر بیشینه بارش همرفتی ۱۲۰۰ و ۱۳۰۰ میلی‌متر مشاهده می‌گردد. در طرحواره گزل، بیشینه بارش همرفتی برآورد

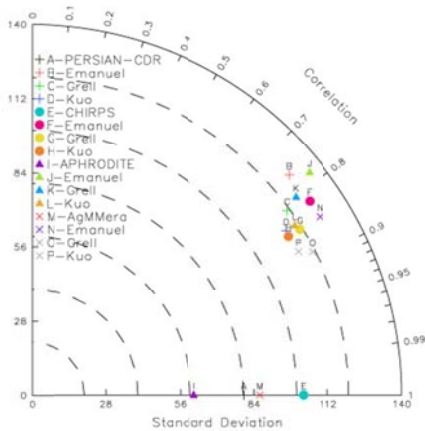
شده برای منطقه خاورمیانه در مقایسه با داده‌های بازتحلیل و دو طرحواره دیگر کمتر است و مقدار بیشینه بارش در این طرحواره به ۵۵۰ میلی‌متر می‌رسد. در طرحواره‌های امانوئل و گزل، پهنه‌هایی از سواحل جنوبی خزر، البرز، شمال غرب ایران و زاگرس مرکزی دارای هسته‌هایی از بارش همرفتی هستند. در محدوده شمال غرب ایران، پهنه بیشینه بارش همرفتی در داده‌های بازتحلیل به صورت نواری در جهت شمال غرب-جنوب شرق کشیده شده است (شکل ۵-ب)؛ بیشینه یاد شده به مقدار ۷۰۰ میلی‌متر به شکل پهنه کوچکی بر بخشی از شهرستان ماکو انطباق یافته است. در مقابل، بیشینه بارش همرفتی در طرحواره امانوئل، به مقدار ۱۲۰۰ میلی‌متر، بر ارتفاعات سبلان منطبق است. به طور کلی طرحواره امانوئل فعالیت همرفت و بارش‌های همرفتی بیشتری را در قیاس با دو طرحواره دیگر در پی داشته است.

در بررسی بارش‌های همرفتی در مقیاس ماهانه، این نتیجه کلی حاصل شد که بیشترین بارش همرفتی برآورد شده توسط طرحواره‌ها در درجه اول مربوط به ماه آوریل و سپس ماه مه است. همچنین، طرحواره گزل تا حدودی در مقایسه با دو طرحواره دیگر از برآورد بارش همرفتی در بیشتر ماه‌ها ناتوان بوده است.

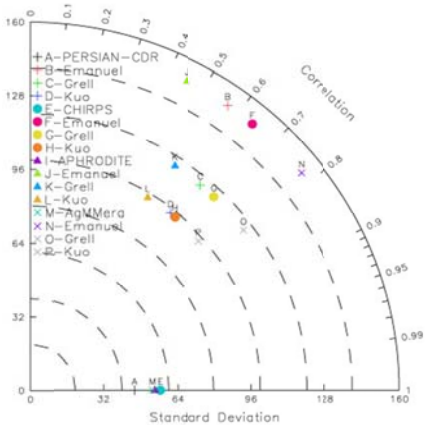
۴-۲. ارزیابی و انتخاب طرحواره همرفت

در این بخش از تحقیق به منظور ارزیابی طرحواره‌ها و انتخاب مناسب‌ترین طرحواره بارش همرفتی، کمیت‌های آماری ضریب همبستگی، انحراف استاندارد، میانگین ریشه مربعات خطا (RMSE) و متوسط خطا (ME) یا اریبی برآورد بارش محاسبه شدند. کمیت‌های مذکور برای ارزیابی هر یک از طرحواره‌ها در بازه زمانی ماهانه و فصلی، برای دو متغیر بارش بزرگ مقیاس و بارش همرفتی در ارتباط با هر یک از داده‌های بارش شبکه‌بندی شده و بازتحلیل استفاده شد. نتایج محاسبات به تفکیک، هم برای محدوده بزرگ‌تر خاورمیانه و هم برای محدوده شمال غرب ایران در قالب نمودار تیلور و جدول‌های ۲ و ۳

چیرپس، طرحواره گرل و کو از ضریب همبستگی یکسانی برخوردار هستند، اما از آنجا که مقدار انحراف معیار و میانگین ریشه مربعات خطای (RMSE) طرحواره کو کمتر است، طرحواره کو در اولویت قرار می‌گیرد. برای داده آگمرا، اولویت اول به طرحواره گرل و اولویت دوم به طرحواره کو اختصاص یافته است. ارزیابی عملکرد طرحواره‌ها برای برآورد مجموع بارش فصلی در محدوده کوچک‌تر شمال غرب ایران (شکل ۶-ب)، نتایج مشابه محدوده بزرگ‌تر خاورمیانه را نشان می‌دهد (شکل ۶-الف)؛ با این تفاوت که برای پایگاه داده چیرپس اولویت اول به طرحواره گرل اختصاص می‌یابد.



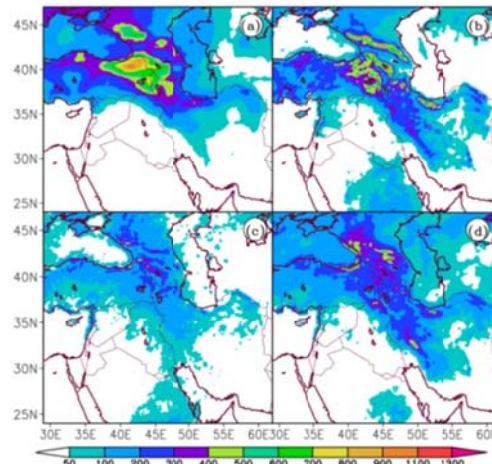
الف) محدوده خاورمیانه



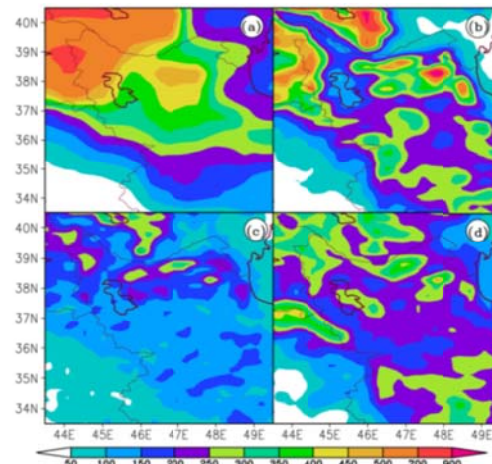
ب) محدوده شمال غرب ایران

شکل ۶. نمودار تیلور روابط بین مجموع بارش فصل بهار (مارس، آوریل، مه و ژوئن) در چهار داده بارش شبکه‌بندی شده و بارش برآورد شده در سه طرحواره مدل را نشان می‌دهد. الف) محدوده خاورمیانه و ب) محدوده شمال غرب ایران.

ارائه شد. به دلیل محدودیت صفحات مقاله، از ارائه توضیحات مربوط به ارزیابی جداگانه هریک از طرحواره‌ها و چهار داده بارش شبکه‌بندی شده صرف‌نظر شده و تنها نتایج مربوط به میانگین بارش‌ها ارائه می‌شود.



الف) محدوده خاورمیانه

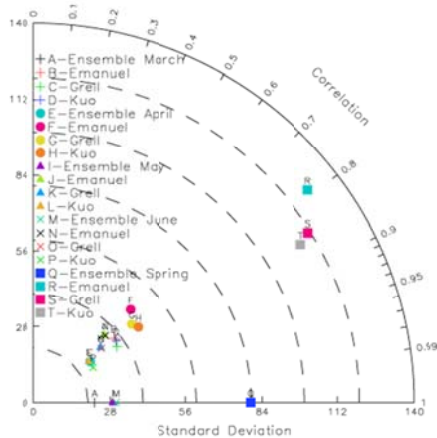


ب) محدوده شمال غرب ایران

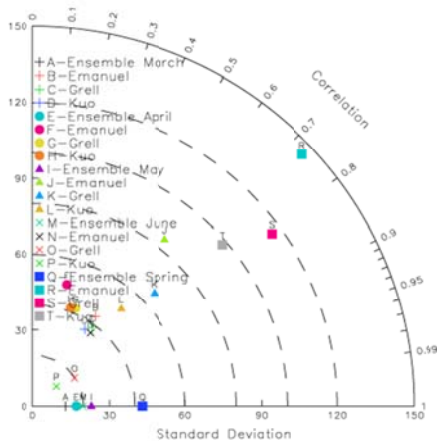
شکل ۵. مجموع بارش همرفتی فصل بهار در سال ۲۰۰۴؛ الف) محدوده خاورمیانه، ب) شمال غرب ایران. در هر دو شکل: (a) ERA-Interim، (b) طرحواره امانوئل، (c) طرحواره گرل و (d) طرحواره کو.

بر اساس شکل ۶-الف که روابط آماری بین طرحواره‌ها و پایگاه‌های بارشی در منطقه خاورمیانه را نشان می‌دهد، می‌توان گفت ارزیابی عملکرد طرحواره‌ها در ارتباط با دو پایگاه داده بارش پرشین و آفرودیت، نشان از برتری طرحواره کو به دو طرحواره دیگر دارد. در ارتباط با داده

دورتر از داده‌های بارش میانگین است که نشان از برتری نسبی طرحواره کو دارد. ارزیابی به دست آمده برای طرحواره مذکور در ماه مه نیز با مقدار ۱۵/۶ میلی‌متر، کمترین مقدار را به خود اختصاص داده است. ارزیابی عملکرد مجموع بارش فصلی سه طرحواره مذکور نیز بیانگر آن است که طرحواره کو و گرل نتایجی نزدیک به هم را ارائه می‌دهند. همبستگی طرحواره گرل با میانگین داده‌های شبکه‌بندی شده نشان از برتری جزئی آن در مقایسه با طرحواره کو دارد، اما مقدار RMSE و مقدار ارزیابی طرحواره کو کمتر است و انحراف معیار کمتری نیز دارد که از برتری نسبی طرحواره کو حکایت دارد.



الف) محدوده خاورمیانه



ب) محدوده شمال غرب ایران

شکل ۷. نمودار تیلور روابط آماری بین مجموع بارش فصل بهار (ماه‌ها و فصل بهار) برآورد شده توسط سه طرحواره مدل و میانگین چهار داده بارش شبکه‌بندی شده را نشان می‌دهد؛ الف) محدوده خاورمیانه و ب) محدوده شمال غرب ایران.

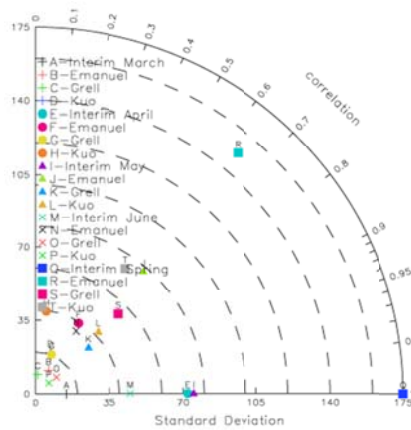
محاسبه مقادیر میانگین از مجموعه داده‌های بارش شبکه‌بندی شده، جدا از آنکه کمک زیادی به کاهش خطاها و کاهش مقدار عدم قطعیت در هر یک از آنها دارد، ارزیابی عملکرد طرحواره‌های مختلف مدل را نیز آسان می‌سازد. شکل ۷، روابط آماری بین سه طرحواره مدل برای هر یک از ماه‌های مارس، آوریل، مه، ژوئن و مجموع بارش فصل بهار و میانگین چهار پایگاه داده بارش را برای محدوده بزرگ‌تر خاورمیانه و محدوده کوچک‌تر شمال غرب ایران نشان می‌دهد. ارزیابی عملکرد سه طرحواره بارشی در منطقه خاورمیانه (شکل ۷-الف)، بیانگر آن است که به غیر از ماه مارس که طرحواره گرل با اختلاف جزئی از دو طرحواره دیگر عملکرد بهتری دارد، در سایر موارد (ماه‌های آوریل، مه، ژوئن و همچنین فصل بهار) طرحواره کو نتایج و عملکرد بهتری را در مقایسه با دو طرحواره دیگر از خود به نمایش می‌گذارد. مقدار RMSE برای هر یک از طرحواره‌ها در فصل بهار و ماه‌های مختلف آن در ارتباط با مقادیر میانگین بارش شبکه‌بندی شده، در جدول ۲ آورده شده است. نتایج مبین آن است که به جز ماه مارس، در بقیه ماه‌ها مقدار RMSE در طرحواره کو از دو طرحواره گرل و امانوئل کمتر است که نشان از برتری این طرحواره دارد. مقادیر ارزیابی به دست آمده نیز حکایت از آن دارد که مدل با اجرای طرحواره کو عملکرد بهتری در ماه‌های آوریل، مه و فصل بهار داشته است (جدول ۳). در ماه ژوئن کمترین مقدار ارزیابی مربوط به طرحواره امانوئل و در ماه مارس مربوط به طرحواره گرل است. اما عملکرد سه طرحواره مذکور در ارتباط با داده‌های بارش میانگین (شکل ۷-ب)، در محدوده کوچک‌تر شمال غرب، نتایج متفاوتی را در مقایسه با منطقه خاورمیانه نشان می‌دهد. در ماه مارس، آوریل و ژوئن طرحواره کو با اختلافی ناچیز، عملکرد بهتری در برآورد مقدار بارش بزرگ مقیاس نشان داده است. در ماه مه، هر چند همبستگی طرحواره گرل با میانگین داده‌های مشاهداتی کمی بیشتر از طرحواره کو است، اما مقدار RMSE بیشتری دارد و انحراف معیار آن

مضاف بر این، ارزیابی عملکرد بارش همرفتی مدل برای ماه مه نیز تفاوت‌هایی جزئی بین دو طرحواره کو و گرل نشان می‌دهد. در مقابل، ارزیابی عملکرد طرحواره‌ها در برآورد بارش همرفتی در منطقه کوچک‌تر شمال غرب کشور، در قیاس با عملکرد طرحواره‌ها در منطقه بزرگ‌تر خاورمیانه، نتایج متفاوتی را آشکار ساخته است. در ماه مارس و آوریل طرحواره امانوئل با بیشترین ضریب همبستگی و کمترین RMSE به‌عنوان مناسب‌ترین طرحواره نمود یافته است. در ماه مه و ژوئن، طرحواره کو و گرل با اختلاف نه‌چندان زیاد در مقدار ضریب همبستگی و RMSE، نتایجی نزدیک به هم را نشان داده‌اند. در عین حال، برای مجموع بارش همرفتی شمال غرب ایران در فصل بهار، طرحواره امانوئل با کمترین مقدار RMSE، مناسب‌تر از سایر طرحواره‌ها ظاهر شده است.

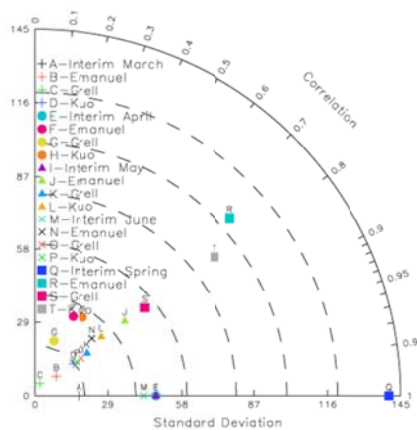
پس از بررسی بارش‌های بزرگ‌مقیاس، مقادیر بارش همرفتی ارزیابی شد و روابط آماری بین طرحواره‌های مدل و داده‌های بارش همرفتی بازتحلیل ERA-Interim به تفکیک برای ماه‌های مارس، آوریل، مه، ژوئن و مجموع بارش فصل بهار بررسی گردید (شکل ۸). از بررسی کلی روابط بین طرحواره‌ها و داده‌های بارش ERA-Interim، می‌توان چنین نتیجه گرفت که برای برآورد مقادیر بارش همرفتی در ماه‌های مارس، آوریل، ژوئن و همچنین مجموع بارش همرفتی فصل بهار در منطقه خاورمیانه، استفاده از طرحواره کو نتایج مناسب‌تری را در پی خواهد داشت. مقادیر RMSE به‌دست‌آمده بین برآوردهای مدل و داده‌های بارش ERA-Interim (جدول ۲) و مقادیر اربیی (جدول ۳) این نتیجه را تأیید می‌کند. در واقع، مقادیر خطای کمتر طرحواره کو در مقایسه با دو طرحواره دیگر، برتری نسبی طرحواره مذکور را تأیید می‌کند.

جدول ۲. برآورد مقدار RMSE برای بارش بزرگ‌مقیاس ماهانه و فصلی، بین سه طرحواره مدل و میانگین داده‌های شبکه‌بندی شده (Ensemble). همچنین برآورد مقدار RMSE برای بارش همرفتی ماهانه و فصلی بین طرحواره‌ها و داده‌های بازتحلیل ERA-Interim.

منطقه	طرحواره	بارش بزرگ مقیاس Ensemble					بارش همرفتی ERA-Interim				
		مارس	آوریل	مه	ژوئن	بهار	مارس	آوریل	مه	ژوئن	بهار
خاورمیانه	امانوئل	25.0	39.4	42.9	24.7	85.4	13.6	45.1	32.5	31	95.7
	گرل	23.8	33.9	34.6	16.7	71.1	20.8	47.5	33.5	30.3	113
	کو	24.4	33.2	27.3	16.2	62.7	13.1	42.3	32	31.6	90.6
شمال غرب	امانوئل	52	61	84.7	29.3	168	17.3	85	66.7	40	176
	گرل	44	62.1	57	12.3	132.8	31.2	105	86.5	41.5	248.2
	کو	46.4	58.7	43	17.8	116.6	21.5	88.8	75	47	195

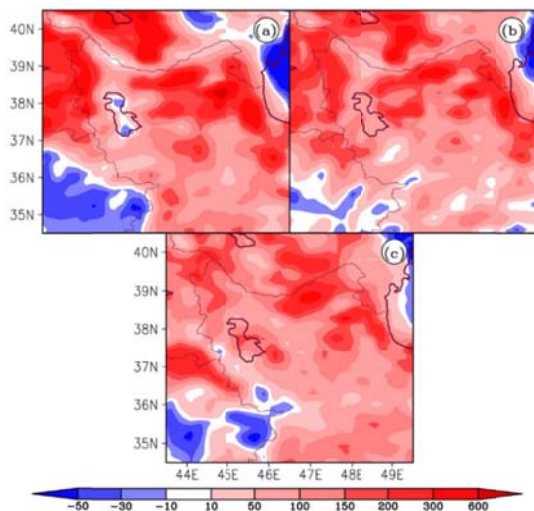


ب) منطقه شمال غرب ایران

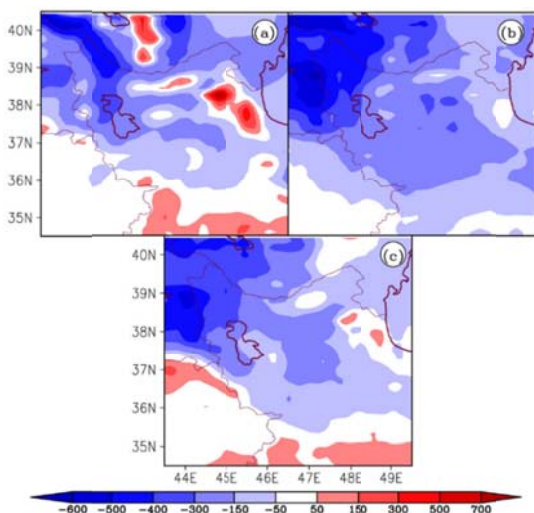


الف) منطقه خاورمیانه

شکل ۸. نمودار تیلور روابط آماری بین مجموع بارش همرفتی فصل بهار (ماه‌ها و فصل بهار) برآوردشده توسط سه طرحواره مدل و داده‌های بازتحلیل ERA-Interim را نشان می‌دهد؛ الف) محدوده خاورمیانه و ب) محدوده شمال غرب ایران.



الف) بارش بزرگ مقیاس



ب) بارش همرفتی

شکل ۹. اختلاف بارش برای فصل بهار (مارس، آوریل، مه و ژوئن) بین سه طرحواره مدل و میانگین بارش داده‌های شبکه‌بندی‌شده برای محدوده شمال غرب ایران؛ الف) بارش‌های بزرگ مقیاس و ب) بارش‌های همرفتی، ا) امانونل، ب) گرل، c) کو.

بخش اعظم بارش بیش برآورد شده در هر سه طرحواره، منطبق بر ارتفاعات است و بیانگر آن است که برآورد بارش مدل به شدت از توپوگرافی متأثر می‌گردد. بیشینه اریبی مثبت بارش‌های بزرگ مقیاس بهاره در محدوده شمال غرب ایران، در طرحواره امانونل مشاهده می‌گردد که این بیشینه بر ارتفاعات سبلان، قوشه‌داغ و

نمود متفاوت طرحواره‌های بارش همرفتی در دو منطقه خاورمیانه و محدوده شمال غرب ایران می‌تواند ناشی از تأثیر اندازه محدوده انتخابی، تفاوت در سازوکار وقوع بارش در دو محدوده یادشده و موقعیت مرزهای جانبی در عملکرد مدل‌های اقلیم منطقه‌ای باشد.

به‌منظور ارائه مقادیر متوسط خطا یا اریبی مدل (Bias)، در برآورد بارش بزرگ‌مقیاس و بارش همرفتی، مقادیر متوسط اریبی هم به صورت فضایی و هم به صورت منطقه‌ای در مقیاس‌های زمانی ماهانه و فصلی و برای دو محدوده خاورمیانه و شمال غرب ایران محاسبه شد. در این رابطه، به جهت محدودیت صفحات مقاله، از ارائه توضیحات و اشکال مجزا برای ماه‌ها، همچنین اشکال مربوط به محدوده خاورمیانه، صرف‌نظر شده و تنها توضیحات و اشکال مربوط به محدوده کوچک‌تر شمال غرب ایران ارائه می‌گردد. شکل ۹-الف مقادیر متوسط اریبی بارش بزرگ‌مقیاس فصل بهار را برای سه طرحواره در محدوده شمال غرب ایران نشان می‌دهد. با توجه به شکل، در هر سه طرحواره پهنه‌های دارای مقادیر اریبی مثبت (بیش برآورد)، از بارش‌های بزرگ مقیاس فصل بهار، به‌طور قابل توجهی بیشتر و گسترده‌تر از پهنه‌های دارای مقادیر اریبی منفی (کم برآورد) هستند. تنها برآورد مدل با اریب منفی مربوط به ماه ژوئن است، به طوری که در این ماه، دو طرحواره (کو و گرل) از طرحواره‌های موجود، مقادیر اریبی منفی را در برآورد بارش‌های بزرگ‌مقیاس از خود نشان داده‌اند (جدول ۳). در واقع می‌توان گفت، مدل در مقایسه با میانگین داده‌های بارش مشاهداتی، مجموع بارش بهاری بیشتری را برای فصل بهار برآورد کرده است. چنین نتیجه‌ای برای محدوده بزرگ‌تر خاورمیانه نیز صادق است (شکل نشان داده نشده است). میانگین بیش برآورد مدل در منطقه خاورمیانه برابر با ۱۸/۶ میلی‌متر و در منطقه شمال غرب ایران برابر با ۹۲/۴ میلی‌متر است (جدول ۳).

شد. بر اساس شکل ۹-ب، می‌توان گفت هر سه طرحواره در برآورد مقدار بارش همرفتی فصلی، هم در منطقه خاورمیانه (نشان داده نشده است) و هم در منطقه شمال غرب ایران، اریبی منفی دارند. به عبارتی، تمامی طرحواره‌های مدل، در قیاس با بارش همرفتی ERA-Interim، بارش کمتری را برآورد کرده‌اند. در مقیاس فصلی، کمترین اریبی منفی در محدوده خاورمیانه مربوط به طرحواره کو با مقدار ۱۹- میلی‌متر است (جدول ۳). با وجود این کمترین اریبی منفی در مقیاس فصلی در منطقه شمال غرب ایران، به طرحواره امانوئل تعلق دارد (جدول ۳)، هرچند که در این طرحواره، ارتفاعات سبلان، قوشه‌داغ و قره‌داغ بیشترین اریبی مثبت بارش فصلی را نیز در قیاس با دو طرحواره دیگر تجربه کرده‌اند (شکل ۹-ب). نتایج کلی بیانگر آن است که هم در منطقه خاورمیانه و هم در منطقه شمال غرب ایران طرحواره کو کمترین اریبی را در ماه‌های مارس و آوریل دارد. این در حالی است که در ماه‌های مه و ژوئن در هر دو منطقه، طرحواره امانوئل کمترین اریبی را نشان داده است. مدل در برآورد مجموع بارش همرفتی فصل بهار کمترین اریبی را در اجرا با طرحواره کو برای منطقه خاورمیانه و در اجرا با طرحواره امانوئل برای منطقه شمال غرب ایران نشان داده است (جدول ۳).

قره‌داغ انطباق یافته است (شکل ۹-الف). در این رابطه، طرحواره کو در قیاس با دو طرحواره دیگر، شرایط میانگینی از برآورد را نشان داده است. نکته قابل ذکر در بررسی خطاها، مقدار زیاد خطا و عدم تطابق نسبتاً زیاد بارش‌های برآوردشده مدل و بارش مشاهداتی در مناطق مرتفع کوهستانی شمال غرب ایران است. به نظر می‌رسد این عدم تطابق بیش از آن که بر ناتوانی طرحواره‌های بارشی دلالت کند، از وجود نقض در داده‌های بارش شبکه‌بندی‌شده پایه ایستگاهی (آفرودیت، آگمرا و چیریس) برای مناطق مرتفع کوهستانی چون شمال غرب ایران حکایت دارد (ایران‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۸). به عبارتی، به نظر می‌رسد در انواع داده‌های بارش شبکه‌بندی‌شده استفاده‌شده در این تحقیق، به‌کارگیری روش‌های درون‌یابی و هموارسازی، نقش درخور توجهی در تولید اطلاعات برای شبکه‌های مربوط به نقاط کوهستانی مرتفع شمال غرب ایران داشته است. چنین ناهمخوانی‌ای بین مدل و داده‌های بارش شبکه‌بندی‌شده، در منتهی‌الیه جنوب غربی محدوده مورد مطالعه، یعنی حاشیه غربی شمال غرب و نواحی کوهستانی شرق ترکیه نیز مشاهده می‌شود.

علاوه بر بارش‌های بزرگ مقیاس، مقادیر متوسط اریبی بارش‌های همرفتی بهار نیز برای سه طرحواره، ارزیابی

جدول ۳. برآورد مقدار اریبی (Bias) بارش بزرگ مقیاس و همرفتی ماهانه و فصلی در سه طرحواره مدل نسبت به میانگین بارش پایه مشاهداتی.

منطقه	طرحواره	بارش بزرگ مقیاس					بارش همرفتی				
		مارس	آوریل	مه	ژوئن	بهار	مارس	آوریل	مه	ژوئن	بهار
خاورمیانه	امانوئل	4.7	17.1	11.7	-1.9	27	-6.7	-1.8	-4.5	-7.4	-20.5
	گول	2.9	14.1	10.1	-2.7	20.5	-13.2	-12.9	-11.8	-9.7	-47.7
	کو	5.2	13.1	6.8	-5.6	18.6	-2.2	0.8	-6.6	-11	-19
شمال غرب	امانوئل	36.5	37.5	44.7	5.5	114.6	-10.1	-58.6	-24.7	-6.6	-100.2
	گول	29.7	48.7	26.3	-5	102	-26.4	-81.1	-69.3	-20	-197.8
	کو	34.5	44	15.6	-12.4	92.4	3.8	-43	-55	-26	-120

۵. نتیجه گیری

هدف از مطالعه حاضر، بررسی حساسیت مدل RegCM4 به نوع طرحواره بارش همرفتی در راستای مدل‌سازی بارش‌های بهاره در محدوده خاورمیانه و شمال غرب ایران بوده است. نتایج بیانگر آن است که مدل RegCM4 حساسیت زیادی به انتخاب نوع طرحواره همرفت در برآورد بارش بزرگ‌مقیاس و بارش همرفتی دارد و انتخاب طرحواره بارشی مناسب می‌تواند تأثیر درخور توجهی بر نتایج حاصل از مدل‌سازی داشته باشد. با بهره‌گیری از سه طرحواره بارش همرفتی برای برآورد مقادیر بارش‌های بهاره در سال ۲۰۰۴، مشخص شد که از نظر توزیع فضایی، تطابق نسبی زیادی بین مقادیر بارش برآورد شده و مقادیر بارش پایه مشاهداتی وجود دارد. در واقع می‌توان گفت، اگرچه بارش برآوردی مدل از بارش مشاهداتی به‌طور محسوسی بیشتر است، اما خروجی‌های مدل الگوی خوبی از توزیع فضایی بارش را به ما می‌دهد. یافته‌ها مبین آن است که خروجی‌های مدل توانسته است پهنه‌های بیشینه بارش همرفتی را در منطقه خاورمیانه و محدوده شمال غرب ایران به‌خوبی آشکار سازد. به‌طور کلی، بیشترین بارش همرفتی برآورد شده توسط طرحواره‌ها مربوط به ماه آوریل و سپس ماه مه است. در اغلب ماه‌های مورد مطالعه، طرحواره گول در قیاس با دو طرحواره دیگر در برآورد بارش، ناکارآمدتر عمل کرده است. نتایج تحقیق بیانگر آن است که مدل RegCM4 مقادیر بارش ماه‌های نزدیک به دوره سرد سال را بهتر از ماه‌های نزدیک به دوره گرم سال برآورد می‌کند. در واقع با نزدیک شدن به دوره گرم سال، مدل عدم قطعیت بیشتری می‌یابد.

ارزیابی عملکرد طرحواره‌ها در برآورد بارش همرفتی در منطقه کوچک‌تر شمال غرب ایران، نتایجی متفاوت از ارزیابی طرحواره‌ها در منطقه بزرگ‌تر خاورمیانه به دست داده است. نمود متفاوت طرحواره‌های بارش همرفتی در دو منطقه خاورمیانه و شمال غرب ایران می‌تواند ناشی از تأثیر اندازه محدوده انتخابی، تفاوت در سازوکار وقوع

بارش در دو محدوده یادشده و موقعیت مرزهای جانبی در عملکرد مدل‌های اقلیم منطقه‌ای باشد. نتایج بررسی همچنین حکایت از آن دارد که مدل در مقایسه با میانگین داده‌های بارش پایه مشاهداتی، مجموع بارش بزرگ‌مقیاس بیشتری را برای فصل بهار برآورد کرده است. از نظر فضایی، بیشترین مقادیر بارش بیش برآورد شده در هر سه طرحواره، بر ارتفاعات منطقه منطبق بوده است. این امر حکایت از آن دارد که بارش‌های بهاره شمال غرب ایران به‌شدت از توپوگرافی متأثر می‌شوند. همچنین یافته‌ها مبین آن است که بیشینه اریبی مثبت بارش‌های بزرگ‌مقیاس بهاره در محدوده شمال غرب ایران، در طرحواره امانوئل به وقوع پیوسته است. ارزیابی مقدار خطا در بارش همرفتی نیز نشان‌دهنده آن است که هر سه طرحواره مدل، در برآورد مقدار بارش همرفتی، هم برای منطقه خاورمیانه و هم برای محدوده شمال غرب ایران از اریبی منفی برخوردار بوده و در مقایسه با بارش همرفتی ERA-Interim، بارش کمتری را برآورد کرده‌اند. نتیجه کلی آن که در ارزیابی عملکرد سه طرحواره مدل برای منطقه خاورمیانه، به غیر از ماه مارس، در سه ماه آوریل، مه، ژوئن و همچنین در فصل بهار، طرحواره کو از نتایج و عملکرد بهتری در قیاس با دو طرحواره دیگر برخوردار بوده است. با توجه به برتری نسبی عملکرد طرحواره کو به دو طرحواره دیگر، طرحواره مذکور به عنوان مناسب‌ترین طرحواره بارشی مدل RegCM جهت مدل‌سازی بارش‌های بزرگ‌مقیاس و همرفتی در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود. لازم به ذکر است که نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیق ایران‌نژاد و همکاران (۱۳۸۸) و قهرمان و همکاران (۱۳۹۴)، در انتخاب طرحواره پارامترسازی همرفت بر روی ایران و منطقه شمال غرب کشور هم‌خوانی دارد.

تشکر و قدردانی

بخشی از محاسبات این تحقیق در مرکز محاسبات سنگین دانشگاه فردوسی مشهد انجام گرفت که بدین وسیله تشکر می‌شود.

مراجع

- جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۳، ۳۸۵-۳۹۸.
- کارخانه، م. مفیدی، ع. و زرین، آ.، ۱۳۹۵، شبیه سازی نقش دریای خزر بر وقوع بارش‌های منطقه‌ای در سواحل جنوبی دریای خزر، جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای، ۱۸، ۱۶۸-۱۵۳.
- کریمیان، م.، مدیریان، ر. و بابائیان، ا.، ۱۳۸۸، بررسی توانمندی مدل RegCM3 در مدل سازی بارش و دمای استان خراسان، مطالعه موردی: زمستان‌های دوره ۲۰۰۰-۱۹۹۱، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۹۷، ۱۸۶-۱۶۸.
- محمدی، ف.، ۱۳۹۲، امکان سنجی پیش بینی فصلی بارش دوره سرد سال در استان فارس، پایان نامه کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای دانشگاه فردوسی مشهد، آذرماه ۱۳۹۲، ۱۳۸ صفحه.
- محمدی، ف.، زرین، آ. و بابائیان، ا.، ۱۳۹۴، کارایی مدل اقلیمی RegCM4 در شبیه سازی بارش دوره سرد استان فارس، مطالعه موردی: دوره ۲۰۱۰-۱۹۹۰، فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۱، شماره ۳، ۵۲۴-۵۱۱.
- مسعودیان، س.، ا.، ۱۳۹۰، آب و هوای ایران، چاپ اول، انتشارات دانشگاه اصفهان.
- Adeniyi, M. O., 2014, Sensitivity of different convection schemes in RegCM4 for simulation of precipitation during the Septembers of 1989 and 1998 over West Africa, *Theor. Appl. Climatol.*, 115(1-2), 305-322.
- Ali, S., Dan, L., Fu, C. and Yang, G., 2015, Performance of convective parameterization schemes in Asia using RegCM: Simulations in three typical regions for the period 1998-2002, *Adv. Atmos. Sci.*, 32(5), 715-730.
- Almazroui, M., lam, M. N., Al-Khalaf, A. K. and Saeed, F., 2015, Best convective parameterization scheme within RegCM4 to downscale CMIP5 multi-model data for the CORDEX-MENA/Arab domain, *Theor. Appl. Climatol.*, 124(3), 807-823.
- Anthes, R. A., Hsie, E. Y. and Kuo, Y. H., 1987, Description of the Penn State/ NCAR Mesoscale Model, Version 4 (MM4). Technical note (No. PB-87-190633/ XAB; NCAR/TN-282-STR), National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO (USA).
- Ashouri, H., Hsu, K.-L., Sorooshian, S., Braithwaite, D. K., Knapp, K. R., Cecil, L. D., Nelson, B. R. and Prat, O. P., 2015, PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multi-satellite observations for hydrological and climate studies, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 96(1), 69-83, doi:10.1175/BAMS-D-13-00068.1.
- Chow, K. C. and Chan, J. C., 2010, A Dual-scheme approach of cumulus parameterization for simulating the Asian summer monsoon, *Meteorol. Appl.*, 17(3), 287-297.
- Cotton, W. R., Bryan, G. and Van den Heever, S. C., 2011, *Storm and Cloud Dynamics*, Vol. 99, Academic press, Second Edition, 820p.
- Dash, S. K., Shekhar, M. S. and Singh, G. P., 2006, Simulation of Indian summer monsoon circulation and rainfall using RegCM3, *Theor. Appl. Climatol.*, 86(1-4), 161-172.
- Davis, N., Bowden, J., Semazzi, F., Xie, L. and Onol, B., 2009, Customization of RegCM3 regional climate model for eastern Africa and a tropical Indian Ocean domain, *J. Climate*, 22(13), 3595-3616.
- Dee, D. P. and 35 Co-Authors, 2011, The ERA-Interim reanalysis: Configuration and
- 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، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۵، شماره ۱، ۱۲۰-۱۰۱.
- بابائیان، ا.، کریمیان، م.، مدیریان، ر. و حبیبی نوخندان، م.، ۱۳۸۶، شبیه‌سازی بارش ماه‌های سرد سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۷۹ با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3. جغرافیا و توسعه، شماره ۱۰، ۷۲-۵۵.
- علیچانی، ب.، ۱۳۸۷، آب و هوای ایران، چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.
- قرایلو، م.، مزرعه‌فراهانی، م. و علی‌اکبری بیدختی، ع.، ۱۳۸۹، بررسی طرحواره‌های پارامترسازی همرفت کومه‌ای در مدل‌های بزرگ و میان‌مقیاس، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۶، شماره ۱، ۱۹۲-۱۷۱.
- قهرمان، ن.، بابائیان، ا.، آزادی، م. و لوک‌زاده، ص.، ۱۳۹۴، پس‌پردازش آماری برون‌داد بارش مدل RegCM4 روی شمال‌غرب ایران. پژوهش‌های

- performance of the data assimilation system, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 137(656), 553-597.
- Dickinson, R. E., Kennedy, P. J. and Henderson-Sellers, A., 1993, Biosphere-atmosphere transfer scheme (BATS) version 1e as coupled to the NCAR community climate model, National Center for Atmospheric Research, Climate and Global Dynamics Division.
- Elguindi, N., Bi, X., Giorgi, F., Nagarajan, B., Pal, J., Solmon, F. and Giuliani, G., 2013, Regional Climate Model RegCM User Manual Version 4.4, The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Strada Costiera, Trieste, Italy, October 2013, 54p.
- Emanuel, K. A., 1991, A scheme for representing cumulus convection in large-scale models, *J. Atmos. Sci.*, 48(21), 2313-2329.
- Evans, J. P., Smith, R. B. and Oglesby, R. J., 2004, Middle East climate simulation and dominant precipitation processes, *Int. J. Climatol.*, 24(13), 1671-1694.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S. and Michaelsen, J., 2015, The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes, *Scientific data*, 2:150066, doi: 10.1038/sdata.2015.66.
- Gochis, D. J., Shuttleworth, W. J. and Yang, Z. L., 2002, Sensitivity of the modeled North American monsoon regional climate to convective parameterization, *Mon. Wea. Rev.*, 130(5), 1282-1298.
- Giorgi, F., Coppola, E., Solmon, F., Mariotti, L., Sylla, B. M. and Bi, X. Q., 2012, RegCM4: model description and illustrative basic performance over selected CORDEX domains, *Clim. Res.*, 52, 7-29.
- Grell, G. A., 1993, Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations, *Mon. Wea. Rev.*, 121(3), 764-787.
- Holtzlag, A. A. M., de Bruijn, E. I. F. and Pan, H. L., 1990, A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting, *Mon. Wea. Rev.*, 118, 1561-1575.
- Hwu, W., Sorooshian, S., Gao, X. and Famiglietti, J. S., 1999, Intercomparisons of ECMWF ERA and TOGA data with observations for the 1993 Great Flood, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 104(D16), 19367-19382.
- Liang, X. Z., Xu, M., Kunkel, K. E., Grell, G. A. and Kain, J. S., 2007, Regional climate model simulation of US-Mexico summer precipitation using the optimal ensemble of two cumulus parameterizations, *J. Climate*, 20(20), 5201-5207.
- Lin, R., Zhou, T. and Qian, Y., 2014, Evaluation of global monsoon precipitation changes based on five reanalysis datasets, *J. Climate*, 27(3), 1271-1289.
- Molinari, J., 1993, An Overview of Cumulus Parameterization in Mesoscale Models. In: The representation of cumulus convection in numerical models, Edited by: K.A., Emanuel and D.J., Reymond, American Meteorological Society, Meteorological Monographs, 24 (46), 155-158.
- Pal, J. S., Eltahir, E. A. and Small, E. E., 2000, Simulation of regional-scale water and energy budgets- Representation of subgrid cloud and precipitation processes within RegCM, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 105(D24), 29579-29594.
- Pal, J. S., Giorgi, F., Bi, X., Elguindi, N., Solmon, F., Gao, X. and Ashfaq, M., 2007, Regional climate modeling for the developing world: the ICTP RegCM3 and RegCNET, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 88(9), 1395.
- Park, J. -H., Oh, S. -G. and Suh, M. -S., 2013, Impacts of boundary conditions on the precipitation simulation of RegCM4 in the CORDEX East Asia domain, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 1652-1667, doi:10.1002/ jgrd. 50159.
- Rahman, M. M., Islam, M. N., Ahmed, A. U. and Afroz, R., 2007, Comparison of RegCM3 simulated meteorological parameters in Bangladesh: Part I—preliminary result for rainfall, *SriLankan J. Phys.*, 8, 1-9.
- Ruane, A. C., Goldberg, R. and Chryssanthacopoulos, J., 2015, Climate forcing datasets for agricultural modeling: Merged products for gap-filling and historical climate series estimation, *Agr. Forest. Meteorol.*, 200, 233-248.
- Sorooshian, S., Hsu, K. L., Imam, B. and Hong, Y., 2005, Global precipitation estimation from satellite image using artificial neural networks, *J. Appl. Meteorol.*, 36, 1176-1190.
- Taylor, K. E., 2001, Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 106(D7), 7183-7192.
- Wang, W. and Seaman, N. L., 1997, A comparison study of convective parameterization schemes in a mesoscale model, *Mon. Wea. Rev.*, 125(2), 252-278.
- Yatagai, A., Kamiguchi, K., Arakawa, O., Hamada, A., Yasutomi, N. and Kitoh, A., 2012, APHRODITE: Constructing a long-term daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93(9), 1401-1415.
- Zanis, P., Douvis, C., Kapsomenakis, I., Kioutsoukis, I., Melas, D. and Pal, J. S., 2009, A sensitivity study of the Regional

Climate Model (RegCM3) to the convective scheme with emphasis in central eastern and southeastern Europe, Theor. Appl. Climatol., 97(3-4), 327-337.

Evaluating the sensitivity of RegCM4 model to types of Convection Parameterization Schemes on the modeling of springtime precipitation in the North West of Iran: (Case Study: Spring 2004)

Khorshiddoust, A. M.¹, Mofidi, A.^{2*}, Rasuly, A. A.¹ and Azarm, K.³

1. Professor, Department of Climatology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2. Assistant Professor, Department of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3. Ph.D. Student, Department of Climatology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

(Received: 24 Aug 2016, Accepted: 24 Jan 2017)

Summary

In order to implement Limited Area Models (LAMs) for a new area, an appropriate domain size, an ideal horizontal and vertical resolution, an appropriate Initial and lateral boundary conditions, and an appropriate Convection Parameterization Schemes (CPSs) are the most important challenges that should be considered. RegCM4 model provides several options, in relation to convection and land surface schemes. Therefore, one of the very important issues is the choice of an appropriate CPS in the model. In fact, precipitation is the most challenging variable which should be considered in numerical modeling. In this regard, using different CPSs could have a significant impact on precipitation characteristics such as intensity, frequency, and spatiotemporal variations. Various studies have been done to evaluate the sensitivity of convective schemes on the simulated variables, particularly precipitation. Suffice to say that all of the studies reveal the importance and impact of CPSs on the simulation results.

In this study, the Regional Climate Model version 4 (RegCM4.1) was used to evaluate types of CPSs to simulation of springtime precipitation in the North West of Iran (NWI). For this purpose, all conditions such as domain size, vertical and horizontal resolution, initial and lateral boundary conditions have been set uniformly and three experiments were conducted with three CPSs with a 20km horizontal resolution for the Spring 2004 (March, April, May and June) as a typical Spring season. One-month spin-up was considered for the simulation and then at each simulation the model was run at the beginning of February 2004. In order to analyze the effects of the boundary conditions (BCs) on the model simulations, the ERA-interim data with a horizontal resolution of $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$ were employed to provide the lateral boundary conditions for RegCM4. Various types of data were used to evaluate the RegCM4 performance for large-scale and convective precipitation. The monthly and seasonal precipitation of APHRODITE, AgMMERA, CHIRPS and PERSIANN CDR gridded data were used for validation of large-scale precipitation. ERA-Interim data with a horizontal resolution of $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ spanning 4 months from March to June 2004 were used for validation and evaluation of convective precipitation over two different domains, i.e. the Middle East (ME) and NWI. For evaluation of most appropriate CPS, quantity correlation coefficient, standard deviation, and root mean square error (RMSE) has been demonstrated using Taylor diagrams, and also the bias or average error of precipitation estimation has been calculated.

The results show that overall precipitation patterns demonstrated by four Satellite / Rain gauge based gridded precipitation data are coincided to each other. The maximum amount of precipitation in the area has occurred between the Caspian Sea and the Black Sea in accordance with the North Caucasus. The highest amount of seasonal rainfall by the CHIRPS data is demonstrated in the eastern edge of the Black Sea and the southern coast of the Caspian Sea and the lowest amount in the same regions are related to the APHRODITE data. In terms of spatial distribution, AgMMERA and CHIRPS show more details of precipitation occurrence in compared to PERSIANN CDR and APHRODITE data is estimating total precipitation of four months with three Convective schemes, it becomes clear that, there is a high relative agreement between simulated and observed precipitation, in terms of spatial distribution. The highest estimates of total precipitation are related to *Kuo* scheme which occurs in a small region of the Black Sea coast and the total amount is up to 1600 mm. Evaluation of CPSs in the estimating of convective precipitation has revealed that they have different simulations on the smaller domain of NWI than to larger domain (i.e. ME). Generally, *Emanuel* scheme has simulated the large-scale precipitation with highest overestimates while the *Kuo* Scheme has simulated more balanced conditions of the precipitation. Calculation of the error and bias for convective precipitation amounts revealed that all three schemes had a negative bias in simulating of convective precipitation both for ME and NWI. Generally, the model has simulated an underestimation of convective precipitation in comparison with observations. Results also indicate that the RegCM4 model is not very sensitive to the type of CPS to simulate large scale and convective precipitation in the two first months of Spring (i.e. March and April), while the model is more sensitive to simulate the precipitation for May and June. Evaluating the CPSs performance in the simulation of large-scale and convective precipitation indicates that the *Kuo* scheme has a relative superiority in comparison to *Emanuel* and *Grell* schemes. Also, the model simulation with *Kuo* scheme over the larger domain (i.e. ME) and *Emanuel* scheme in the smaller domain (i.e. NWI), have the least bias in simulating the total spring convective precipitation. Due to the relatively higher performance of the *Kuo* Scheme compared to others, this scheme was chosen as the most appropriate way to simulate the large scale and convective precipitation of the Spring over the study area.

Keywords: Convection Parameterization Schemes (CPSs), *Kuo* Scheme, Simulated precipitation, North West of Iran, RegCM4, Taylor Diagram.