نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و ششم، شماره سوم، ۱۳۹۸
۵۱-۶۹
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2019.15138.3029

ارزیابی حساسیت طرحواره‌های همرفت مدل RegCM4 در شبیه‌سازی بارش غرب ایران با استفاده از سری داده‌های CSIRO –MK36

سجاد ابراهیم‌زاده[۱] و *علی‌اکبر سبزی‌پرور[۲]

[۱]دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران،

[۲]استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۰۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۲۹

چکیده

سابقه و هدف: با در نظر گرفتن این نکته که مدل‌های گردش عمومی جو، وضعیت جریان‌های هوا و مشخصه‌های اصلی گردش جوی را در مقیاس کلان نشان می‌دهند و قادر به آشکارسازی رفتار اقلیم در مقیاس کوچک نیستند؛ و به‌خصوص در ارائه پیش‌بینی‌های مربوط به نزولات منطقه‌ای که تحت‌تأثیر فرایندهای ریز مقیاس قرار می‌گیرند، باید خروجی این مدل‌ها را به مقیاس منطقه‌ای تبدیل کرد. طرحواره‌های موجود در مدل‌های دینامیکی منطقه‌ای مانند RegCM، این امکان را فراهم می‌کنند که فیزیک پدیده‌های جوی کوچک مقیاس و زیر شبکه‌ای که مدل قادر به آشکارسازی آن‌ها نیست را بتوان شبیه‌سازی کرد. هدف از این مطالعه، بررسی حساسیت مدل منطقه‌ای RegCM4 به انتخاب طرحواره‌های مختلف همرفت می‌باشد تا در نهایت بتوان مدل مذکور را به‌صورت بهینه برای پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی پیکربندی کرد. به‌کارگیری طرحواره همرفت معرفی شده در کاهش وقت و هزینه شبیه‌سازی دقیق‌تر بارش در منطقه کوهستانی غرب کشور مفید می‌باشد.

مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر در منطقه غرب ایران شامل: استان‌های همدان، کردستان و کرمانشاه در مساحتی بالغ بر ۷۲۳۳۶ کیلومترمربع انجام شده است. منطقه منتخب در طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه قرار گرفته است. با توجه به دوره آماری مورد مطالعه و همپوشانی زمانی آمار بارش ثبت شده ایستگاه‌های هواشناسی، تعداد ۱۳ ایستگاه سینوپتیک شامل همدان، تویسرکان، نهاوند، ملایر، کرمانشاه، اسلام‌آباد غرب، سرپل ذهاب، کنگاور، سنندج، بانه، بیجار، مریوان و سقز در سطح سه استان مورد استفاده قرار گرفتند. مدل مذکور با شرایط اولیه و مرزی مشخص و ثابت برای چهار طرحواره شامل: امانوئل، کو، گرل A.S و گرل F.C. برای مدت ده سال اجرا شد. به‌منظور بررسی خطای خروجی‌های مدل، پارامتر بارش به‌عنوان مبنا انتخاب و مقادیر عددی شبیه‌سازی‌شده بارش توسط مدل، برای ۱۳ ایستگاه منتخب در سه استان همدان، کرمانشاه و کردستان، با کدنویسی در محیط NCL به‌صورت نقطه‌ای استخراج شدند.

* مسئول مکاتبه: swsabzi@basu.ac.ir

یافته‌ها: در هر سه استان جذر میانگین مربعات خطا در طرحواره امانوئل کم‌ترین مقدار را داراست و طرحواره گرل .A.S دارای بیش‌ترین مقدار در استان‌های کرمانشاه (۴۹/۸۴ میلی‌متر) و کردستان (۵۵/۳۵ میلی‌متر)، و برای استان همدان طرحواره کو بیش‌ترین مقدار خطا را داراست (۳۶/۱۳ میلی‌متر). در مورد خطای اریبی نیز، در استان‌های همدان و کردستان کم‌ترین مقدار خطای اریبی به طرحواره امانوئل اختصاص دارد (حدود ۱۸ میلی‌متر در هر دو استان) اما در استان کرمانشاه طرحواره کو کم‌ترین مقدار خطای اریبی را به خود اختصاص داده است (۲۴/۹۶). در فصل زمستان به‌جز طرحواره کو، سه طرحواره دیگر مقادیر بارش را بیش‌تر از مقادیر واقعی شبیه‌سازی کردند و طرحواره امانوئل بالاترین مقدار بیش‌برآورد را داشت (حدود ۶۳ میلی‌مترخطای اریبی). همچنین در این فصل، طرحواره گرل .F.C با متوسط ۱۳ میلی‌متر اختلاف نسبت به مقادیر واقعی، کم‌ترین مقدار خطا را نشان داد. در فصل بهار نیز طرحواره کو مقادیر بارش را برای تمام ایستگاه‌ها کم‌تر از مقادیر واقعی شبیه‌سازی کرد اما سه طرحواره دیگر مقادیر بارش را بیش‌تر از مقادیر واقعی شبیه‌سازی کردند و طرحواره امانوئل با متوسط خطای ۶۲ میلی‌متر، بهترین شبیه‌سازی را برای کل منطقه مطالعاتی نشان داد. در فصل تابستان هر چهار طرحواره مورد استفاده در اجرای مدل، مقادیر بارش را بیش‌تر از مقادیر واقعی شبیه‌سازی کردند و طرحواره‌های کو (۱/۲ میلی‌متر خطای اریبی) و گرل .A.S (۱۲۲ میلی‌متر خطای اریبی) به‌ترتیب بهترین و بدترین نتایج را برای کل منطقه نشان دادند. در فصل پاییز فقط طرحواره کو مقادیر بارش را کم‌تر از مقادیر واقعی شبیه‌سازی کرد و بهترین شبیه‌سازی آن مربوط به ایستگاه ملایر با ۹۹/۲ میلی‌متر خطا بود. سه طرحواره دیگر همانند فصول دیگر مقادیر بارش را بیش‌تر از مقادیر واقعی شبیه‌سازی کردند و طرحواره گرل .F.C با خطای اریبی متوسط ۶ میلی‌متر در سطح منطقه و کو با خطای اریبی متوسط ۱۴۳ میلی‌متر در سطح منطقه به‌ترتیب بهترین و بدترین نتایج را نشان دادند.

نتیجه‌گیری: در مقیاس سالانه طرحواره امانوئل در ۷۷ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای کمترین میانگین جذر مربعات خطا (با متوسط ۲۲/۸ میلی‌متر) و کم‌ترین خطای اریبی (با میانگین ۲۱/۱۸ میلی‌متر) است. در مقیاس سالانه برای هر سه استان، طرحواره امانوئل کمترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا را نشان می‌دهد (۱۸/۹۶، ۲۸/۹۵ و ۲۰/۶۹ میلی‌متر به‌ترتیب برای استان‌های همدان، کرمانشاه و کردستان). در مقیاس فصلی، طرحواره امانوئل برای فصل پاییز (۶۸/۷۶ میلی‌متر) و زمستان (۶۶/۸میلی‌متر) کم‌ترین جذر میانگین مربعات خطا را نشان می‌دهد. همچنین در فصل بهار(۵۴/۴ میلی‌متر) و تابستان (۴/۵۹ میلی‌متر) کم‌ترین مقادیر جذر میانگین مربعات خطا مربوط به طرحواره کو است. در نهایت به‌نظر می‌رسد طرحواره امانوئل برای منطقه غرب کشور با توجه به کم‌ترین میزان خطا در شبیه‌سازی بارش، مناسب است. به‌کارگیری طرحواره همرفت معرفی شده در کاهش وقت و هزینه شبیه‌سازی دقیق‌تر بارش در منطقه کوهستانی غرب کشور مفید می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، طرحواره‌های همرفت، مدل RegCM4، CSIRO –MK36

مقدمه

با در نظر گرفتن این نکته که مدل‌های گردش عمومی جو، وضعیت جریان‌های هوا و مشخصه‌های اصلی گردش جوی را در مقیاس کلان نشان می‌دهند، و قادر به آشکارسازی رفتار اقلیم در مقیاس کوچک نیستند و به‌خصوص در ارائه پیش‌بینی‌های مربوط به بارش‌های منطقه‌ای که تحت‌تأثیر فرایندهای ریزمقیاس قرار می‌گیرند، باید خروجی این مدل‌ها را به مقیاس

منطقه‌ای تبدیل کرد (۱۵). ریزمقیاس نمایی در حالت کلی شامل دو روش است: آماری و دینامیکی. با استفاده از روش‌های مختلف ریزمقیاس نمایی می‌توان تغییرات اقلیمی را در آینده مورد بررسی قرار داد (۷). مدل‌های دینامیکی منطقه‌ای دارای دقت مکانی مناسبی برای ارزیابی اقلیمی بوده و همچنین فرآیندهای ریزمقیاس جوی و اقلیمی تا حد ممکن لحاظ می‌شوند. طرحواره‌های موجود در مدل‌های دینامیکی مانند RegCM، این امکان را فراهم می‌کنند که فیزیک پدیده‌های جوی کوچک مقیاس و زیرشبکه‌ای که مدل قادر به آشکارسازی آن‌ها نیست را بتوان شبیه سازی کرد (۳). در زمینه استفاده از مدل RegCM و بررسی جنبه‌های فیزیکی این مدل، تاکنون مطالعات مختلفی در مناطق مختلف ایران و جهان صورت گرفته است. پال و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعه‌ای به بررسی قابلیت مدل RegCM در شبیه‌سازی بارش و دمای مناطق هندوستان و آمریکای جنوبی در دوره ۲۰۰۰-۱۹۸۷ پرداختند که نتایج آن‌ها نشان‌دهنده توانمندی مدل در مدل‌سازی مناسب بارش در این نواحی بود (۱۹). باسیت و همکاران (۲۰۱۲)، به‌منظور شناسایی توانایی مدل میان مقیاس منطقه‌ای در پیش‌بینی رخدادهای شدید آب و هوایی با توجه به بارش مونسونی منحصر به فرد دوره گرم بر فراز کوه‌های شمالی و نواحی جنوبی پاکستان به پارامتره کردن طرحواره‌های رشد ابر پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که به‌طورکلی بارش مونسونی بر روی نواحی کوهستانی پاکستان از طریق طرحواره گرل به‌طور رضایت‌بخشی قابل پیش‌بینی می باشد (٦). ادنی (۲۰۱٤)، به بررسی حساسیت طرحواره‌های مختلف همرفتی مدل RegCM4 به‌منظور شبیه‌سازی بارش ماه‌های سپتامبر سال‌های ۱۹۸۹ و ۱۹۹۸ در غرب آفریقا پرداخت. نتایج این مطالعه نشان داد که طرحواره کو و گرل بارش کم‌تری در مقایسه با داده‌های مشاهداتی شبیه‌سازی کردند در حالی‌که مقادیر بارش شبیه‌سازی شده توسط طرحواره امانوئل بیش‌تر از مقادیر مشاهداتی بود (۱). بابائیان و همکاران (۱۳۸٦) با هدف بررسی حساسیت مدل RegCM3 به طرحواره‌های مختلف بارش همرفتی، به مطالعه بارش‌های فصل سرد سال‌های ۱۳۷٦ و ۱۳۷۹ پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بهترین طرحواره برای مناطق جنوب‌غرب، جنوب‌شرق و شمال‌شرق کشور طرحواره کو، برای غرب و مرکز کشور طرحواره امانوئل و برای شمال‌غرب کشور طرحواره گرل FC و کو می‌باشند (۵). ایران‌نژاد و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی نقش روش‌های متفاوت پارامترسازی همرفت در شبیه‌سازی میدان‌های دما و بارش زمستانی با مدل RegCM3 برای یک دوره سه ماهه ژانویه تا مارس ۱۹۹۹ بر روی ایران پرداختند. در این مطالعه 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 صورت گرفت که نتایج نشان داد که شبیه‌سازی‌ها با استفاده از طرحواره‌های مختلف همرفت در ایران بسیار شبیه یکدیگر می‌باشد و مقادیر بارش مدل با مشاهدات تفاوت بسیار زیاد دارد (١٤). احمدی و همکاران (۱۳۹٤) به مقایسه عملکرد مدل‌های LARS و RegCM4 در شبیه‌سازی و پس‌پردازش داده‌های سالانه دما و بارش خراسان بزرگ پرداختند. نتایج نشان داد که به‌طورکلی در مقیاس زمانی سالانه در ٨٤ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه انجام پس پردازش مؤثر واقع شده و میزان خطای اریبی را در بیش‌تر ایستگاه‌ها به‌شدت کاسته است (۳). محمدی و همکاران (۱۳۹٤) به بررسی کارایی مدل اقلیمی RegCM4 در شبیه‌سازی بارش دوره سرد استان فارس در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ پرداختند. در این پژوهش با هدف افزایش کارایی

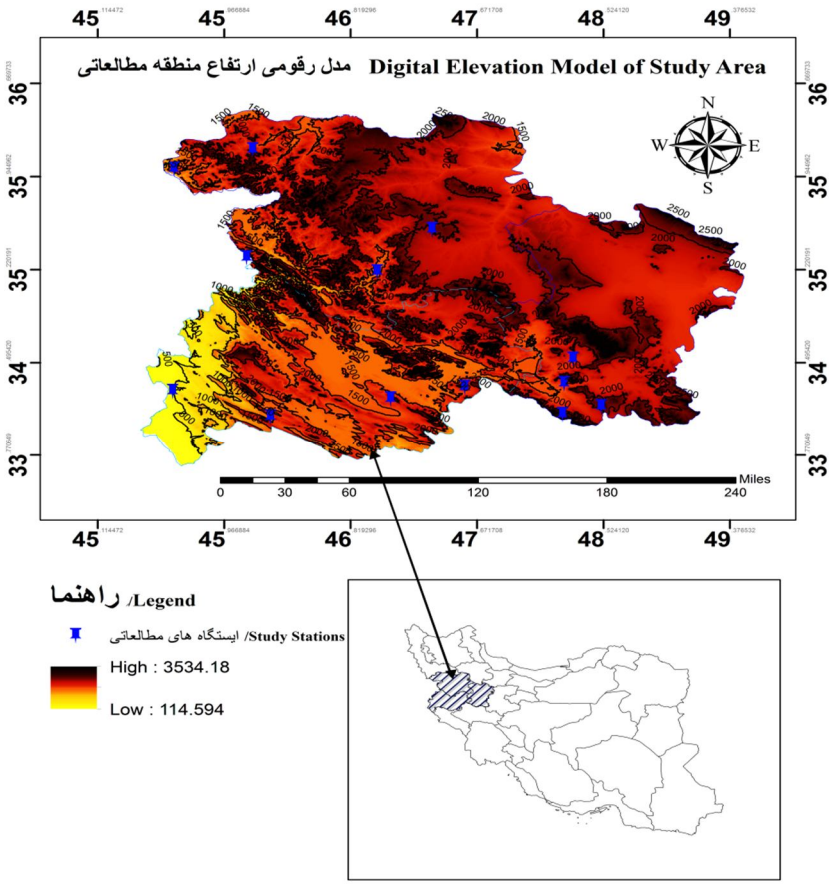
مدل، دو روش دینامیکی و دینامیکی- آماری مورد بررسی قرار گرفتند که در روش دوم، خروجی‌های حاصله با به‌کارگیری روش رگرسیون چندمتغیره، پس‌پردازش آماری شدند. نتایج مطالعه نشان داد که در پاییز کارایی هر دو روش یکسان است و هیچ‌کدام از دو روش ارجحیتی بر یکدیگر ندارند، اما در زمستان کارایی روش دینامیکی بهتر از روش دینامیکی- آماری است و استفاده از پس‌پردازش آماری موجب افزایش کارایی مدل نمی‌شود (۱۸). فرانسیسکو و همکاران (۲۰۰۳)، مدل RegCM را برای ایجاد سامانه پیش‌آگاهی سیل را در کشور فیلیپین اجرا کردند. در این مطالعه، داده‌های شرایط مرزی از یک مدل جهانی دریافت شده و در مدل منطقه‌ای RegCM از آن‌ها استفاده شد. سپس داده‌های خروجی RegCM به‌عنوان ورودی یه یک مدل هیدرولوژی خورانده شدند. پس از اجرای این مدل هیدرولوژی، پیش‌بینی‌های مربوط به جریان رواناب و سیلاب در حوضه‌های مختلف ارائه گردید (۱۰). افضل و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از مدل RegCM بارش مونسون سال ۱۹۹۲ پاکستان را شبیه‌سازی کردند. شرایط اولیه و مرزی مورد استفاده در این پژوهش داده‌های ERA40 با قدرت تفکیک افقی ۶۰ کیلومتر بود. نتایج این پژوهش نشان داد که طرحواره گرل FC بارش را ۳۹ درصد بیش‌تر از طرحواره گرل AS برآورد نمود. ضمن این‌که مجموع بارش شبیه‌سازی‌شده ۵۱ درصد بیش از داده‌هایCRU و ۷۱ درصد بیش از داده‌های مشاهداتی بود اما الگوی بارش روی منطقه با الگوی واقعی همخوانی داشت (۲). کیخسروی (۱۳۹۶)، به بررسی خروجی‌های دما و بارش مدل RegCM4 در دو حالت با و بدون پس‌پردازش خروجی‌های مدل در شرق و شمال‌شرق ایران طی دوره آماری ۲۰۱۱-۱۹۸۷ در مقاطع زمانی فصلی و سالانه پرداخت. بر اساس نتایج حاصله، در دوره راستی‌آزمایی ۲۰۱۱-۲۰۰۶، میانگین اریبی بارش سالانه خام مدل برابر ۸۵/۳ میلی‌متر و پس‌پردازش شده برابر ۶۱/۰۴ میلی‌متر مشاهده شد (۱۶). فرانکو و همکاران (۲۰۱۳)، دما و بارش شبیه‌سازی شده با مدل RegCM4 را مورد ارزیابی قرار دادند. محدوده انتخابی آن‌ها مکزیک، دوره اجرای مدل ۲۰۰۸-۱۹۸۲ و قدرت تفکیک افقی ۵۰ کیلومتر بود. نتایج بررسی‌های ایشان بیانگر برآورد زیاد بارش توسط مدل در مناطق کوهستانی بود (۱۱). با توجه به منابع موجود و مطالعات پیشین و این‌که مدل RegCM4 برای منطقه غرب به‌صورت اختصاصی اجرا نشده است، هدف این پژوهش این است که آیا مدل اقلیمی RegCM4 با استفاده از سری داده‌های CSIRO قادر به شبیه‌سازی بارش در منطقه غرب ایران است و همچنین پیکربندی بهینه مدل برای این منطقه کدام است.

مواد و روش‌ها

اقلیم هر منطقه از یکسری عوامل مانند عوارض جغرافیایی منطقه و بادهای محلی تأثیر می‌پذیرد که امکان پارامترسازی این عوامل در مدل‌های جهانی میسر نیست. مدلسازی‌های اقلیم جهانی عموماً با قدرت تفکیک مکانی پایین انجام می‌شود و خروجی‌های آن‌ها برای مطالعات منطقه‌ای با تفکیک مکانی بالا قابل استفاده نیستند. به‌منظور برطرف کردن این مشکل، مدل‌های اقلیم منطقه‌ای با قدرت تفکیک بالا ساخته شده‌اند که برای ناحیه و زمان محدود در حد ۵۰ کیلومتر و کم‌تر و برای مدت ۲۰ سال اجرا می‌شوند. این مدل‌ها ورودی شرایط اقلیمی مرز ناحیه مورد مطالعه و دمای سطح دریا را از یک مدل جهانی دریافت می‌کنند و خروجی‌ها را برای منطقه مورد مطالعه با تفکیک مکانی بالاتری ارائه می‌دهند. دو کاربرد عمده این مدل‌ها عبارتند از: شناسایی رفتار

اقلیم منطقه‌ای و مطالعات تغییرات اقلیم دهه‌های آینده و ارزیابی اثرات آن در ناحیه مورد مطالعه (۵).

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها: منطقه مطالعاتی پژوهش حاضر واقع در غرب ایران شامل: استان‌های همدان، کردستان و کرمانشاه می‌باشد (شکل ۱). استان همدان با وسعتی بالغ بر ۱۹۴۹۳ کیلومترمربع در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه قرار دارد. استان کردستان در مجاورت استان همدان با مساحت ۲۸۲۰۳ کیلومترمربع در طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه و همچنین استان کرمانشاه در غرب استان همدان، با مساحت ۲۴۶۴۰ کیلومترمربع در طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه قرار گرفته است. با توجه به دوره آماری مورد مطالعه و همپوشانی زمانی آمار بارش ثبت شده ایستگاه‌های هواشناسی، تعداد ۱۳ ایستگاه سینوپتیک شامل همدان، تویسرکان، نهاوند، ملایر، کرمانشاه، اسلام‌آباد غرب، سرپل ذهاب، کنگاور، سنندج، بانه، بیجار، مریوان و سقز در سطح سه استان مورد استفاده قرار گرفتند. در شکل ۱ مدل رقومی ارتفاع منطقه مورد مطالعه و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح منطقه ارائه شده است.



شکل ۱- نقشه رقومی ارتفاع منطقه مطالعاتی شامل استان‌های همدان، کرمانشاه و کردستان.

Figure 1. Digital Elevation Model of the study area including Hamedan, Kermanshah and Kurdistan provinces.

ویژگی‌های فیزیکی مدل اقلیمی منطقه‌ای RegCM: مدل منطقه‌ای آب و هوایی RegCM، برای مدل‌سازی‌ها و پیش‌بینی‌های بلندمدت منطقه‌ای طراحی شده است و در واقع شکل تکامل‌یافته مدل عددی MM4 و MM5 است. نسخه اولیه مدل RegCM در مرکز ملی پژوهش‌های جوی NCAR در دانشگاه پنسیلوانیا در سال ۱۹۸۰ تهیه شد (۱۲). بخش دینامیکی این مدل از MM4 نشات گرفته که به‌صورت تراکم‌پذیر، تفاضل محدود با تعادل هیدروستاتیک و سیستم مختصات سیگما می‌باشد (۵). هسته دینامیکی مدل از MM4 که مدلی تراکم‌پذیر، تفاضل متناهی، با تعادل هیدروستاتیک است، استخراج شد (۸). این مدل همانند مدل‌های هواشناسی میان مقیاس 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 (٤). ساختار داخلی این مدل طی دهه گذشته تحول زیادی پیدا کرده است. برخی طرحواره‌های به‌کار رفته در نسخه فعلی مدل مانند طرحواره‌های پوشش سطحی، تابش، بارش‌های بزرگ مقیاس و همرفتی به‌طورکلی تغییر یافته‌اند تا قابلیت مدل‌سازی فرآیندهای اقلیمی به مدل افزوده گردد. مدل RegCM4 از طرحواره‌های فیزیکی گوناگونی استفاده می‌کند که در این میان طرحواره‌های بارش همرفتی، نقش مهمی در مدل‌سازی بارش دارند (۱۸). از جمله این طرحواره‌ها که در قسمت مشخصات فیزیکی مدل قابل انتخاب و ویرایش هستند و تحت عنوان طرحواره همرفت بارش بررسی می‌شوند، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- طرحواره کو- آنتس: در این طرحواره همگرایی رطوبت در ستون قائم به‌عنوان واداشت بزرگ مقیاس فرض می‌شود و زمانی که این مقدار از حد گذشت، همرفت آغاز می‌شود (٤).

۲- طرحواره گرل: در این طرحواره دو جریان پایای بالارو و پایین‌رو در ابر در نظر گرفته شده و فرض می‌شود که هیچ اختلاطی بین ابر و محیط آن به‌جز در قله و کف ابر رخ نمی‌دهد. به‌عبارت دیگر، شار قائم ماده با ارتفاع تغییر نمی‌کند. محل وقوع جریانات بالارو و پایین‌رو به‌ترتیب با استفاده از نقاط بیشینه و کمینه انرژی ایستایی مرطوب[1] به‌دست می‌آید (۳).

۳- طرحواره امانوئل: در این روش سطح صعود یا نزول بسته هوا با یافتن سطحی که در آن دمای پتانسیل ابر با دمای محیط برابر است، مشخص می‌شود. در طرحواره امانوئل تبدیل آب ابر به بارش بر مبنای فرآیندهای کاتوره‌ای صورت می‌گیرد. در نظر گرفتن این فرآیندها به درک بهتر فرآیند تبدیل قطرات موجود در ابر به بارش کمک می‌کند (۱۳). بنابراین به‌منظور انتخاب طرحواره بارشی مناسب، مدل برای یک دوره آزمایشی ۱۰ ساله ۲۰۰٦ تا ۲۰۱۵ به‌صورت مجزا با هر سه طرحواره کو، امانوئل و گرل (هر دو طرحواره آراکوآ- شوبرتز و فریتچ- چمپل) موجود در کد RegCM4، با شرایط یکسان از داده‌های مرزی و اولیه به اجرا گذاشته شد.

داده‌ها و نسخه مورد استفاده: مدل برای اجرا به یک سری ورودی شامل داده‌های توپوگرافی، پوشش سطح زمین، دمای سطح دریا و شرایط اولیه و مرزی نیاز دارد. داده‌های سطح زمین شامل سه دسته داده‌های توپوگرافی (GTOPO)، کاربری اراضی (GLCC) و نوع خاک بودند که این داده‌ها با دقت ۳۰ ثانیه از سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا[2] تهیه شدند. برای داده‌های مربوط به شرایط اولیه و مرزی از سری داده‌های (CSIRO -MK36) که توسط سازمان تحقیقات علمی و صنعتی کشورهای مشترک المنافع

1- Moist Static Energy
2- United States Geological Survey

(CSIRO[1]) تهیه شده است، استفاده شد. برای انتخاب دمای سطح دریا (SST) از داده‌های tos_Omon_CSIRO-Mk3-6- استفاده شد که تمام این سری داده‌ها از مرکز ICTP[2] با فرمت NetCDF قابل بارگیری و استفاده است (وب سایت http://clima-dods.ictp.it). همچنین در این پژوهش به‌منظور بررسی کارایی مدل RegCM در شبیه‌سازی بارش، از نسخه RegCM-4.4.5.11 این مدل استفاده شد. در نهایت داده‌های دیدبانی شده بارش ماهانه ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. با توجه به در دسترس بودن داده‌های مورد نیاز، دوره مطالعه در این پژوهش از ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶ که همپوشانی مناسبی بین ایستگاه‌ها وجود داشت، انتخاب شد.

پس از تعیین محدوده موردنظر، نقطه مرکزی محدوده، سال‌های مورد نظر و معرفی سری داده‌های مورد استفاده در فایل متنی مدل (namelist)، مدل با شرایط مرزی و اولیه یکسان برای هر چهار طرحواره ذکر شده اجرا شد. سپس مقادیر بارش شبیه‌سازی شده ماهانه توسط مدل برای ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌صورت نقطه‌ای توسط کد نوشته شده در NCL، استخراج شد. سپس به مقایسه تغییرات و مقادیر بارش استخراج شده از مدل با مقادیر مشاهداتی پرداخته شد.

شاخص‌های ارزیابی خطا: به‌منظور بررسی دقت مدل در شبیه‌سازی بارش از شاخص‌های آماری میانگین خطای اریبی[3] (رابطه ۱) و جذر میانگین مربعات خطا[4] (رابطه ۲) استفاده شد.

$$MBE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(P_{mi} - P_{oi}) \qquad (۱)$$

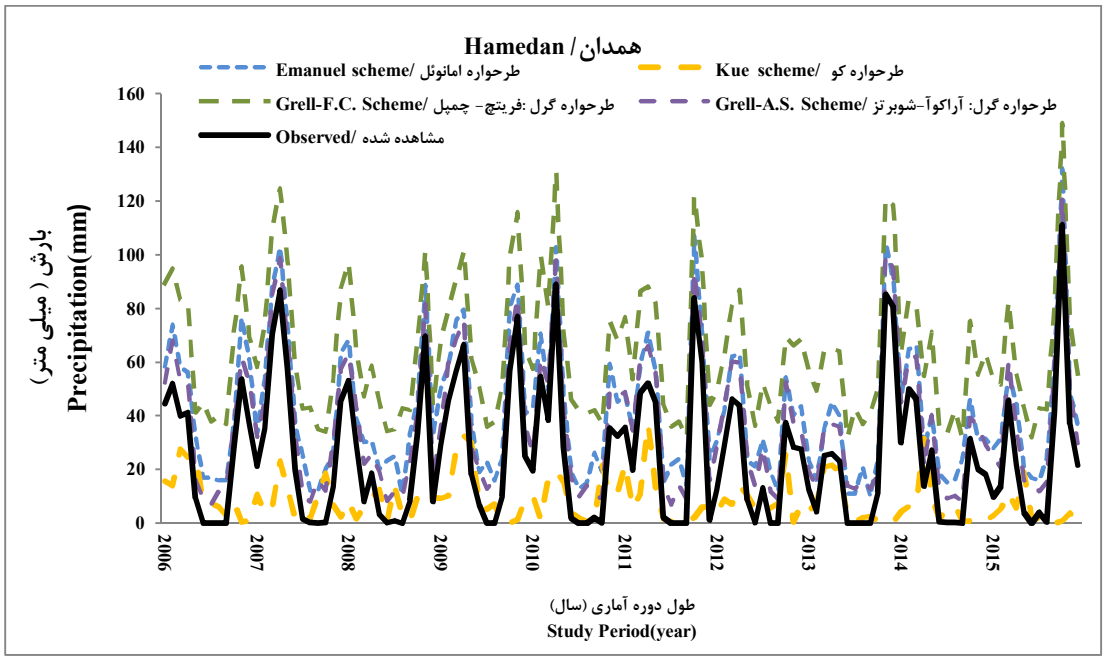
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(P_{mi} - P_{oi})^2} \qquad (۲)$$

که در آن، P_{mi} مقدار بارش مدل شده، P_{oi} مقدار بارش دیده‌بانی‌شده و n تعداد مشاهده‌ها است.

نتایج و بحث

در شکل ۲، روند تغییرات بارش ماهانه برای هر چهار طرحواره با مقادیر مشاهداتی برای ایستگاه همدان، به‌عنوان نمونه ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، سه طرحواره امانوئل، گرل .F.C و گرل .A.S تغییرات بارش ماهانه در ایستگاه همدان را به خوبی مدل کرده‌اند و نمودار تغییرات آن‌ها به‌خوبی تغییرات مشاهده شده را دنبال می‌کند. اما طرحواره کو این تغییرات را با اختلاف بیش‌تری شبیه‌سازی کرده است. ضمن این‌که سه طرحواره نخست در شبیه‌سازی بارش نسبت به مقادیر مشاهداتی بیش‌برآورد داشته‌اند طرحواره کو مقادیر بارش را پایین‌تر از مقادیر واقعی شبیه‌سازی کرده است. همان‌طور که در شکل مشخص است طرحواره گرل .F.C با بیش‌ترین اختلاف و گرل .A.C با کم‌ترین اختلاف تغییرات بارش را شبیه‌سازی کرده است.

1- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization
2- International Centre for Theoretical Physics
3- Mean Bias Error
4- Root Mean Squared Error



شکل ۲- مقایسه روند زمانی تغییرات بارش ماهانه مقادیر مشاهده‌ای، طرحواره امانوئل، طرحواره کو، طرحواره گرل F.C. و طرحواره گرل A.S. (ایستگاه همدان).

Figure 2. Comparison of monthly rainfall time series for the observed values, Emanuel Scheme, KUO, Scheme, Grell F.C. And Grell A.S. Scheme (Hamedan Station).

در جدول ۱ مقادیر میانگین خطای اریبی از مقادیر مشاهده شده و همچنین جذر میانگین مربعات خطا برای هر سیزده ایستگاه مورد مطالعه ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ایستگاه همدان کم‌ترین خطای اریبی مربوط به طرحواره گرل A.S. بود (۱۱/٤ میلی‌متر) و این طرحواره دارای کم‌ترین جذر میانگین مربعات خطا می‌باشد (در حدود ۱۲/۰۱ میلی‌متر). اما در مقیاس منطقه‌ای (جدول ۲) برای استان همدان طرحواره امانوئل کم‌ترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا (۱۸/۹٦ میلی‌متر) را نشان داد و خطای اریبی آن ۱۸/۳۳ میلی‌متر به‌دست آمد. در استان کرمانشاه و کردستان نیز مقادیر جذر میانگین مربعات خطا به‌ترتیب با مقادیر ۲۸/۹ و ۲۰/٦۹ به‌صورت میانگین منطقه‌ای، مربوط به طرحواره امانوئل می‌باشد. با توجه به جدول ۲ که در آن مقادیر خطای اریبی و جذر میانگین مربعات خطا به‌صورت میانگین منطقه‌ای ارائه شده است (میانگین‌گیری بین ایستگاه برای هر استان)، در هر سه استان جذر میانگین مربعات خطا در طرحواره امانوئل کم‌ترین مقدار را داراست و طرحواره گرل A.S. دارای بیش‌ترین مقدار در استان‌های کرمانشاه (٤۹/۸٤ میلی‌متر) و کردستان (۵۵/۳۵ میلی‌متر) و برای استان همدان طرحواره کو بیش‌ترین مقدار را داراست (۳٦/۱۳ میلی‌متر) هر چند تفاوت عددی آن با طرحواره‌های گرل ناچیز (۳۵/۵٤ میلی‌متر) است. در مورد خطای اریبی نیز، با توجه به جدول ۲، در استان‌های همدان و کردستان کم‌ترین مقدار خطای اریبی به طرحواره امانوئل اختصاص دارد (حدود ۱۸ میلی‌متر در هر دو استان) اما در استان کرمانشاه طرحواره کو کم‌ترین مقدار خطای اریبی را به خود اختصاص داده است (۲٤/۹٦) که البته با طرحواره امانوئل تنها ۲ میلی‌متر اختلاف دارد.

جدول ۱- مقادیر عددی جذر میانگین مربعات خطا و میانگین خطای اریبی ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Table 1. Root Mean Square Error (RMSE) and Mean Bias Error (MBE) for the study sites.

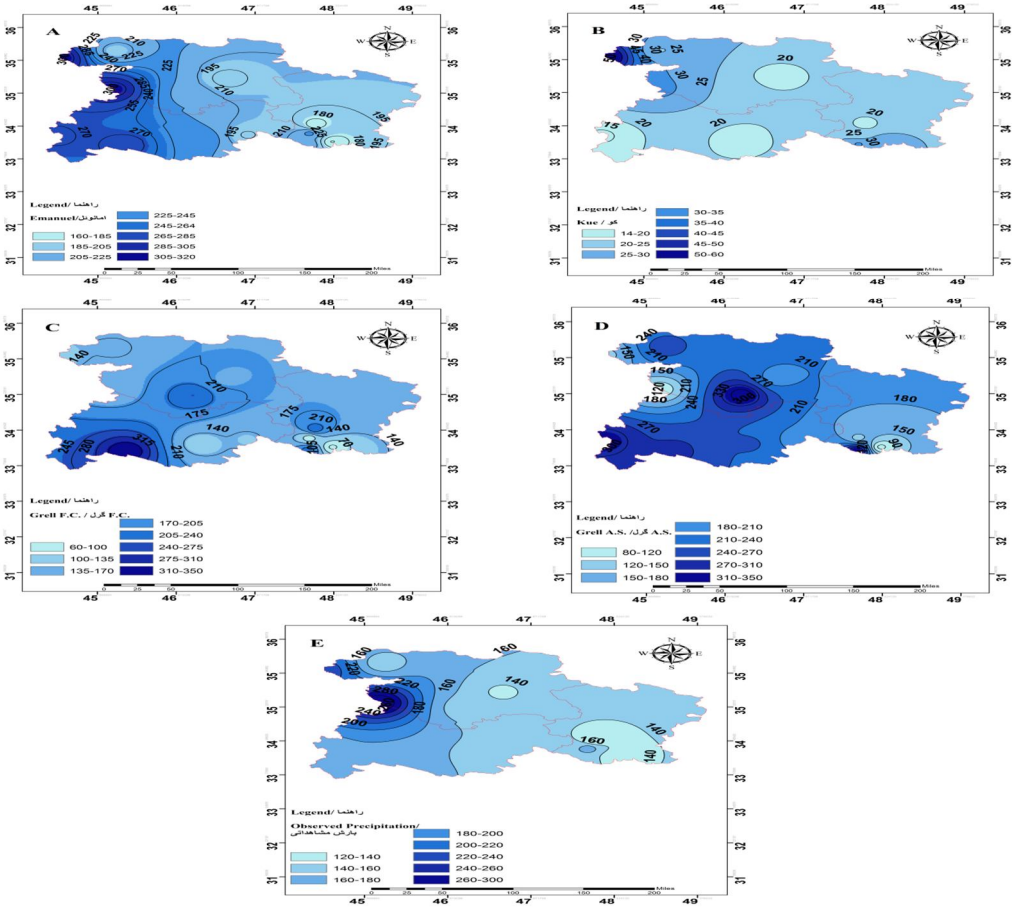
	جذر میانگین مربعات خطا Root Mean Square Error (mm)				میانگین خطای اریبی Root Mean Square Error (mm)			
	طرحواره امانوئل Emanuel Scheme	طرحواره کو Kue Scheme	طرحواره گرل: فیچر- چمپل Grell F.C. Scheme	طرحواره گرل: آراکوآ- شوبرتز Grell. A.S. Scheme	طرحواره امانوئل Emanuel Scheme	طرحواره کو Kue Scheme	طرحواره گرل: فیچر- چمپل Grell F.C. Scheme	طرحواره گرل: آراکوآ- شوبرتز Grell. A.S. Scheme
Hamedan/ همدان	17.14	29.73	38.92	12.01	16.59	-16.55	38.75	11.64
Nahavand/ نهاوند	26.13	38.24	38.25	57.81	25.50	-20.82	33.00	53.04
Toyserkan/ تویسرکان	19.62	43.43	36.21	40.67	18.55	-26.81	-18.69	19.90
malayer/ ملایر	12.95	33.12	28.81	28.50	12.71	-18.52	-16.20	-0.34
Kermanshah/ کرمانشاه	27.56	41.68	35.11	62.67	27.03	-24.60	8.67	52.36
Eslamabad/ اسلام‌آباد	35.35	48.98	58.62	38.00	35.15	-27.43	58.14	35.30
Sarpolzohab/ سرپل‌ذهاب	38.22	47.21	24.28	51.34	34.32	-26.69	23.83	50.69
kangavar/ کنگاور	14.52	37.72	37.07	47.38	10.79	-21.15	12.88	35.97
Sanandaj/ سنندج	22.79	36.42	33.70	67.03	22.28	-20.47	27.37	63.77
Baneh/ بانه	29.25	63.76	53.86	52.91	28.45	-37.30	-15.80	-9.14
Bijar/ بیجار	18.98	34.57	40.35	17.37	16.96	-21.23	28.64	16.21
Marivan/ مریوان	13.39	91.19	73.32	79.35	7.30	-57.78	-19.98	-35.06
Saghez/ سقز	19.04	40.89	33.21	60.11	17.07	-26.11	11.00	51.28

جدول ۲- میانگین منطقه‌ای جذر میانگین مربعات خطا و میانگین خطای اریبی (میلی‌متر).

Table 2. Regional averages of Root Mean Squared Errors and Mean Bias Errors (mm).

	جذر میانگین مربعات خطا Root Mean Square Error (mm)				میانگین قدرمطلق خطای اریبی Mean Absolute Bias Error (mm)			
	طرحواره امانوئل Emanuel Scheme	طرحواره کو Kue Scheme	طرحواره گرل: فیچر- چمپل Grell F.C. Scheme	طرحواره گرل: آراکوآ- شوبرتز Grell. A.S. Scheme	طرحواره امانوئل Emanuel Scheme	طرحواره کو Kue Scheme	طرحواره گرل: فیچر- چمپل Grell F.C. Scheme	طرحواره گرل: آراکوآ- شوبرتز Grell. A.S. Scheme
استان همدان/ Hamedan Province	18.96	36.13	35.54	34.74	18.33	20.67	26.66	21.23
استان کرمانشاه/ Kermanshah Province	28.95	43.89	38.77	49.84	26.8	24.96	25.88	43.58
استان کردستان/ Kordestan Province	20.69	53.36	46.88	55.35	18.41	32.57	20.55	35.09

بارش‌های فصلی: به‌منظور بررسی حساسیت مدل در شبیه‌سازی بارش‌های فصلی، خروجی‌های بارش حاصل از اجرای مدل برای هر چهار فصل سال با مقادیر مشاهده شده مقایسه شدند. در شکل ۳ نقشه پهنه‌بندی بارش فصل پاییز به‌عنوان نمونه ارائه شده است همچنین مقادیر میانگین خطای اریبی برای چهار فصل سال در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است، در ارتباط با تشخیص هسته‌های بارش، طرحواره امانوئل شبیه‌سازی بهتری داشت و مشابه نقشه بارش مشاهداتی، مرکز پربارش را در غرب منطقه مطالعاتی در مرز دو استان کردستان و کرمانشاه شبیه‌سازی کرد. همچنین هسته کم‌بارش در مرکز و جنوب استان همدان شبیه‌سازی شد که هر چند وسعت آن بیش‌تر از مقادیر واقعی ارائه شده در نقشه بارش مشاهداتی است اما حدود جغرافیایی آن با مقادیر واقعی مطابقت داشت. سه طرحواره دیگر در تشخیص وسعت، مقدار و موقعیت جغرافیایی هسته‌های بارش نتایج مطلوبی ارائه ندادند. در فصل زمستان به‌جز طرحواره کو، سه طرحواره دیگر مقادیر بارش را بیش‌تر از مقادیر واقعی شبیه‌سازی کردند و طرحواره امانوئل بالاترین مقدار بیش‌برآورد را داشت (حدود ۶۳ میلی‌متر خطای اریبی). همچنین در این فصل، طرحواره گرل .F.C با متوسط ۱۳ میلی‌متر اختلاف نسبت به مقادیر واقعی، کم‌ترین مقدار خطا را نشان داد. مقادیر خطای اریبی این مدل برای سه ایستگاه کرمانشاه (۷/۵ میلی‌متر) کنگاور (۲ میلی‌متر) و سقز (۱۳/۵ میلی‌متر) کم‌ترین مقدار بود.



شکل ۳- پهنه‌بندی متوسط بارش فصل پاییز طرحواره امانوئل (A)، کو (B)، گرل .F.C (C)، گرل .A.C (D) و بارش مشاهداتی (E) در منطقه مطالعاتی.

Figure 3. Zoning of mean autumn precipitation for Emanuel (A), Kue (B), Grell F.C. (C), Grell A.C. (D) Schemes and the observed (E) maps for the study area.

در فصل بهار نیز طرحواره کو مقادیر بارش را برای تمام ایستگاه‌ها کم‌تر از مقادیر واقعی شبیه سازی کرد اما سه طرحواره دیگر مقادیر بارش را بیش‌تر از مقادیر واقعی شبیه‌سازی کردند و طرحواره امانوئل با متوسط خطای ٦٢ میلی‌متر، بهترین شبیه سازی را برای کل منطقه مطالعاتی نشان داد. در این فصل بهترین نتایج برای ایستگاه‌های ملایر تحت طرحواره گرل .F.C (٦/٩ میلی‌متر خطای اریبی)، بانه تحت طرحواره گرل .A.S (٢/٢٧ میلی‌متر خطای اریبی) و مریوان تحت طرحواره گرل .F.C (١٤/٩ میلی‌متر خطای اریبی) به‌دست آمد. همچنین بیش‌ترین مقادیر خطا مربوط به ایستگاه‌های کرمانشاه تحت طرحواره گرل .A.S (١٨٦/٤ میلی‌متر خطای اریبی)، سرپل‌ذهاب تحت طرحواره امانوئل (٩٩/٤ میلی‌متر خطای اریبی) و مریوان تحت طرحواره کو (٩٧/٥ میلی‌متر خطای اریبی) به‌دست آمد. در فصل تابستان هر چهار طرحواره مورد استفاده در اجرای مدل، مقادیر بارش را بیش‌تر از مقادیر واقعی شبیه‌سازی کردند و طرحواره‌های کو (١/٢ میلی‌متر خطای اریبی) و گرل .A.S (١٢٢ میلی‌متر خطای اریبی) به‌ترتیب بهترین و بدترین نتایج را برای کل منطقه نشان دادند. همچنین بیش‌ترین اختلاف مقادیر شبیه‌سازی‌شده نسبت به مقادیر واقعی در ایستگاه‌های کرمانشاه (٢٣٣ میلی‌متر خطا)، سقز (٢٢٥ میلی‌متر خطا) و کنگاور (١٧٢ میلی‌متر خطا) تحت طرحواره گرل .A.S مشاهده شد. در فصل پاییز فقط طرحواره کو مقادیر بارش را کم‌تر از مقادیر واقعی شبیه‌سازی کرد و بهترین شبیه‌سازی آن مربوط به ایستگاه ملایر با ٩٩/٢ میلی‌متر خطا بود. سه طرحواره دیگر همانند فصول دیگر مقادیر بارش را بیش‌تر از مقادیر واقعی شبیه‌سازی کردند و طرحواره گرل .F.C با خطای اریبی متوسط ٦ میلی‌متر در سطح منطقه و کو با خطای اریبی متوسط ١٤٣ میلی‌متر در سطح منطقه به‌ترتیب بهترین و بدترین نتایج را نشان دادند. همچنین ایستگاه‌های مریوان با ٢٦٩ میلی‌متر خطای اریبی تحت طرحواره کو و سقز با ١١ میلی‌متر خطای اریبی تحت طرحواره گرل F.C بدترین و بهترین نتایج شبیه‌سازی را نشان دادند.

در جدول ٤ مقادیر میانگین خطای اریبی و جذر میانگین مربعات خطا برای چهار فصل سال برای کل منطقه مطالعاتی ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در فصل پاییز طرحواره امانوئل با ٦٨/٧٦ میلی‌متر کم‌ترین مقدار RMSE را نشان داد و اریبی این طرحواره ٦٣/٥ میلی‌متر حاصل شد. برای فصل زمستان هم طرحواره امانوئل با متوسط ٦٦/٨ میلی‌متر کم‌ترین مقدار RMSE را نشان داد. اما برای فصول بهار و تابستان طرحواره کو به‌ترتیب با مقادیر ٥٤/٤ و ٤/٥٩ کم‌ترین مقدار خطا را نتیجه داد.

جدول ۳- میانگین خطای اریبی ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Table 3. Mean Bias Error (MBE) for the study sites.

	میانگین خطای اریبی Mean Bias Error (mm)							
	پاییز (Fall)				زمستان (Winter)			
	طرحواره امانوئل Emanuel Scheme	طرحواره کو Kue Scheme	طرحواره گرل: فیچر- چمپل Grell F.C. Scheme	طرحواره گرل: آراکوآ- شوبرتز Grell. A.S. Scheme	طرحواره امانوئل Emanuel Scheme	طرحواره کو Kue Scheme	طرحواره گرل: فیچر- چمپل Grell F.C. Scheme	طرحواره گرل: آراکوآ- شوبرتز Grell. A.S. Scheme
Hamedan/ همدان	-50.30	99.00	-115.11	-33.50	-46.90	72.90	-116.50	-36.4
Nahavand/ نهاوند	-75.50	115.36	-81.50	-183.30	-74.80	108.64	-105.40	-172.80
toyserkan/ تویسرکان	-59.10	149.55	85.45	30.35	-54.70	117.29	64.79	4.89
malayer/ ملایر	-39.90	96.38	60.68	42.58	-37.60	81.49	42.49	28.49
Kermanshah/ کرمانشاه	-80.40	140.13	41.93	-87.06	-77.30	108.01	7.51	-121.38
Eslamabad/ اسلام‌آباد	-107.20	151.91	-173.00	-107.10	-104.80	143.40	-174.00	-113.70
Sarpolzohab/ سرپل‌ذهاب	-108.10	150.07	-75.40	-160.00	-98.20	118.86	-68.20	-150.80
kangavar/ کنگاور	-39.87	130.81	21.51	-45.68	-32.10	90.83	-1.21	-79.86
Sanandaj/ سنندج	-67.40	122.50	-93.13	-199.53	-65.80	80.01	-90.6	-202.40
Baneh/ بانه	-83.30	174.14	108.54	87.84	-86.60	194.73	126.43	103.53
Bijar/ بیجار	-51.00	119.39	-29.10	-59.80	-55.40	76.77	-69.12	-44.70
Marivan/ مریوان	-11.54	269.51	157.31	200.01	-23.80	321.40	206.80	256.40
Saghez/ سقز	-52.00	112.16	11.76	-106.93	-52.40	126.01	13.51	-110.58

ادامه جدول ۳-

Continue Table 3.

	میانگین خطای اریبی Mean Bias Error (mm)							
	بهار (Spring)				تابستان (Summer)			
	طرحواره امانوئل Emanuel Scheme	طرحواره کو Kue Scheme	طرحواره گرل: فیجر- چمپل Grell F.C. Scheme	طرحواره گرل: آراکوآ- شوبرتز Grell. A.S. Scheme	طرحواره امانوئل Emanuel Scheme	طرحواره کو Kue Scheme	طرحواره گرل: فیجر- چمپل Grell F.C. Scheme	طرحواره گرل: آراکوآ- شوبرتز Grell. A.S. Scheme
Hamedan/ همدان	-49.60	29.62	-117.50	-35.40	-52.30	-2.90	-115.90	-34.40
Nahavand/ نهاوند	-79.40	36.20	-113.90	-138.30	-76.40	-10.31	-95.30	-142.10
toyserkan/ تویسرکان	-48.00	59.32	-10.97	-52.37	-60.80	-4.38	-58.88	-125.68
malayer/ ملایر	-38.00	46.53	6.93	-5.96	-37.10	-2.15	-35.65	-60.95
Kermanshah/ کرمانشاه	-82.30	45.51	-54.08	-186.48	-84.40	1.60	-99.49	-233.39
Eslamabad/ اسلام‌آباد	-104.00	31.04	-173.30	-104.70	-105.90	2.87	-177.40	-98.10
Sarpolzohab/ سرپل‌ذهاب	-99.40	50.65	-71.10	-150.30	-106.20	0.75	-71.30	-147.20
kangavar/ کنگاور	-32.40	36.74	-63.15	-133.36	-25.17	-4.52	-112.02	-172.82
Sanandaj/ سنندج	-67.40	45.36	-86.90	-196.90	-66.80	-2.20	-57.90	-166.50
Baneh/ بانه	-87.00	73.02	11.92	-2.27	-84.60	5.81	-57.18	-79.38
Bijar/ بیجار	-48.60	57.10	-92.79	-46.20	-48.60	1.51	-152.68	-43.90
Marivan/ مریوان	-21.58	97.59	-14.90	30.09	-30.72	4.86	-109.43	-65.73
Saghez/ سقز	-50.60	59.04	-52.56	-172.86	-49.90	6.21	-104.78	-225.08

جدول ٤- مقادیر عددی جذر میانگین مربعات خطا و میانگین خطای اریبی بارش فصلی ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Table 4. The RMSE and MBE values for seasonal precipitation of the study sites.

	جذر میانگین مربعات خطا Root Mean Square Error (mm)				میانگین خطای اریبی Mean Bias Error (mm)			
	طرحواره امانوئل Emanuel Scheme	طرحواره کو Kue Scheme	طرحواره گرل: فیچر- چمپل Grell F.C. Scheme	طرحواره گرل: آراکوآ- شوبرتز Grell. A.S. Scheme	طرحواره امانوئل Emanuel Scheme	طرحواره کو Kue Scheme	طرحواره گرل: فیچر- چمپل Grell F.C. Scheme	طرحواره گرل: آراکوآ- شوبرتز Grell. A.S. Scheme
Fall/ پاییز	68.76	147.87	94.01	119.85	63.50	-141.61	6.15	47.85
Winter/ زمستان	66.80	141.80	102.80	130.20	62.30	-126.11	12.5	49.17
Spring/ بهار	67.10	54.40	82.38	117.98	62.11	-51.31	64.02	91.92
Summer/ تابستان	68.67	4.59	103.45	137.96	63.70	1.20	95.99	122.71

نتیجه‌گیری

به‌منظور بررسی حساسیت مدل منطقه‌ای RegCM4 به انتخاب طرحواره‌های مختلف همرفت، مدل مذکور برای هر چهار طرحواره امانوئل، کو، گرل A.S و گرل F.C. برای مدت ده سال برای ۱۳ ایستگاه منتخب در سه استان همدان، کرمانشاه و کردستان، اجرا شد. نتایج حاصله نشان داد که در مقیاس سالانه طرحواره امانوئل در حدود ۷۷ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای کم‌ترین میانگین جذر مربعات خطا (با متوسط ۲۲/۸ میلی‌متر) و کم‌ترین خطای اریبی (با میانگین ۲۱/۱۸ میلی‌متر) بود. در مقیاس سالانه برای هر سه استان، طرحواره امانوئل کم‌ترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا را نشان داد (۱۸/۹۶، ۲۸/۹۵ و ۲۰/۶۹ میلی‌متر به‌ترتیب برای استان‌های همدان، کرمانشاه و کردستان). همچنین طرحواره گرل A.S. برای دو استان کرمانشاه (۴۹/۸۴ میلی‌متر) و کردستان (۵۵/۳۵ میلی‌متر) دارای بیش‌ترین جذر میانگین مربعات خطا و همچنین میانگین قدرمطلق خطای اریبی بود. در مقیاس فصلی، طرحواره امانوئل برای فصل پاییز (۶۸/۷۶ میلی‌متر) و زمستان (۶۶/۸ میلی‌متر) کم‌ترین جذر میانگین مربعات خطا را نشان داد. این نتیجه با نتایج بابائیان و همکاران (۵)، که در پژوهشی که به‌منظور شبیه‌سازی بارش ماه‌های سرد سال انجام دادند و طرحواره امانوئل را با خطای ۱۰٪- برای منطقه غرب مناسب دانستند موافقت داشت. همچنین در فصل بهار (۵۴/۴ میلی‌متر) و تابستان (۴/۵۹ میلی‌متر) کم‌ترین مقادیر جذر میانگین مربعات خطا مربوط به طرحواره کو بود. در نهایت به‌منظور بررسی‌های دقیق‌تر کارایی مدل RegCM4 پیشنهاد می‌شود مدل برای سال‌های آماری طولانی‌تر و همچنین تعداد ایستگاه‌های بیش‌تر اجرا شود. همچنین اجرای مدل با خروجی‌های دیگر GCM_s مانند HadGEM و همچنین مقایسه دو طرحواره BATS و CLM به مطالعه دقیق‌تر مدل و پیکربندی مناسب برای منطقه غرب کمک خواهد کرد.

منابع

1. 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.
2. Afzaal, M., and Hussain, A. 2006, Numerical Simulation of Summer Monsoon Precipitation of 1992 Over Pakistan. Pak. J. Meteorol.
3. Ahmadi, M., Lashkari. H., Keikhosroyi, Gh., and Azadi, M. 2014. Comparison of LARS_WG and RegCM4 models in simulation and post-processing of annual temperature and rain fall data in Great Khorasan.Scientific-Research. Quarterly of Geographical Data (SEPEHR). 25: 98. 157-170. (In Persian)
4. 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, 66p.
5. Babaeian, I., Karimian, M., Modirian, R., and Habibi-Nokhandan, M. 2007. Simulation of 1997 and 2000 Cold months Precipitations by Using Regional Climate Model (RegCM3). Geograph. Dev. Iran. J. 5: 10. 55-77. (In Persian)
6. Basit, A., Shoaib, R., Irfan, N., and Avila, R., 2012. Simulation of Monsoon Precipitation over South-Asia Using RegCM3, International Scholarly Research Network (ISRN) Meteorology, 201: 1-14.
7. Dubrovsky, M. 1996. Validation of the stochastic Weather Generator Met & ROLL, Meteorogickeo Zpravy, 49: 12q - 1380.
8. Elguindi, N., and Giorgi, F. 2006. Simulating Multi-decadal Variability of Caspian Sea Level Changes Using Regional Climate Model Outputs, Climate Dynamics, 26: 167-181.

9.Francisco, R.V. 2003. Some Experiments in Running the RegCM over the Philippines, ICTP Workshop on the Theory and Use of Regional Climate Models, Trieste Italy. Pp: 561-571.
10.Franco, R., and Coppola, E. 2013. Assessment of RegCM4 simulated Interannual variability and daily-scale statistics of temperature and precipitation over Mexico, Clim. Dyn. (2014), 42: 629-647.
11.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.
12.Hogan, T.F., and Goerss, J.S. 2003. A Brief Description of the Emanuel Convection Parameterization, in NOGAPS and ITS Impact.
13.Irannezhad, P., Ahmadi Givi, F., and Pazuki, R. 2009. The role of different convection Parameterization methods in simulating temperature and winter rainfall fields with RegCM regional-climatic model in Iran. J. Earth Space Physic. 35: 4. 101-120.
14.Karori, M. 2008. Downscaling NCC CGCM output for seasonal precipitation predication over Islamabad-Pakistan, Pak. J. Meteorol. 4: 59-72.
15.Keikhosravi, Gh. 2018. Simulation and post-procession of temperature and precipitation elements, using output of RegCM4 dynamic model in Great Khorasan. 17: 47. 191-211. (In Persian)
16.Modirian, R., Babaeian, I., and Karimian, M. 2010. The Optimum Configuration of RegCM3 Model for Simulation of Precipitation and Temperature at Autumn Seasonal over Khorasan Region in 1991-2000. 41: 70. 107-120. (In Persian)
17.Mohammadi, F., Zarin, A., and Babaeiyan, I. 2015. Ability of RegCM4 climate model to simulate precipitation in cold period of Fars, Case study: 1990-2010 period. J. Earth Space Physic. 41: 3. 511-524. (In Persian)
18.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.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 26(3), 2019
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2019.15138.3029

Sensitivity analysis of convective RegCM4 schemes in simulation of precipitation in west Iran by using CSIRO-MK36 dataset

S. Ebrahimzadeh[1] and *A.A. Sabziparvar[2]

[1]Ph.D. Student of Agrometeorology, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran,
[2]Professor, Dept. of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
Received: 05.26.2018; Accepted: 01.19.2019

Abstract

Background and Objectives: Considering that General Circulation Models(GCMs) exhibit the state of airflows and main atmospheric characteristics of macro-scale, and are not capable of detecting small-scale climate behavior, and especially in predictions of regional precipitation that might affected by small-scale processes should convert these models to regional scale. The schemes in dynamic models such as RegCM allow the simulation of small-scale atmospheric physics and the sub-network that the model is not able to detect. The aim of this study is to investigate the sensitivity of the Regional Climate Model (RegCM4) for selection of different convection schemes, to make the model optimally configured for prediction of climatic parameters.

Materials and Methods: The present study was carried out in west of Iran including: Hamedan, Kurdistan and Kermanshah provinces in an area of 72336 square kilometers. The selected region is located 45 degrees, 20 minutes to 49 degrees and 36 minutes longitude East, and 33 degrees, 37 minutes to 36 degrees and 30 minutes latitude North. Regarding the studied period and the overlapping of recorded rainfall data in the meteorological stations, 13 synoptic stations including Hamedan, Toyserkan, Nahavand, Malayer, Kermanshah, Islamabad, Sarpol-e-Zahab, Kangavar, Sanandaj, Baneh, Bijar, Marivan and Saqez in three provinces were used. RegCM4 model has been run for 10 years by definite and constant boundary conditions for all four schemes including Grell, Kuo and Emanuel. Grell scheme itself has been divided into two different schemes of Arakawa-Schubert (AS) and Fritch-Chapel (FC). In order to investigate errors of model outcomes, simulated and observed rainfall for the 13 selected stations in Hamedan, Kermanshah and Kurdistan provinces were extracted using coding in the NCL environment.

Results: In all three provinces, Emanuel Scheme has the lowest value for RMSE, and Grell A.S. Schema has the highest amount of RMSE in the provinces of Kermanshah (49.84 mm) and Kurdistan (55.35 mm), and for the Hamedan province, the Kue Scheme has the highest value (36.13 mm). In case of Bias Error, in Hamedan and Kurdistan provinces the least amount of error is devoted to the Emanuel Scheme (about 18 mm in both provinces), but in Kermanshah province, KUE scheme has the lowest value of the Bias Error (24.96 mm). In winter, except the KUE scheme, the three other schemes simulated the rainfall values more than real values, and Emmanuel scheme had the highest over-estimated (about 63 mm). Also, in this season, Grell F.C. with an average of 13 mm, the difference from the actual values, showed the lowest error. In spring, Kue Scheme also simulated rainfall values for all stations less than actual values, but the other three schemes simulated the rainfall values more than real values, and the Emanuel

* Corresponding Author; Email: swsabzi@basu.ac.ir

Scheme with an average of 62 mm error was the best for the whole study area. In summer, all schemes simulated rainfall values more than real values, and KUE (1.2 mm bias error) and Grell A.S. (122 mm bias error) showed the best and worst performances for the whole region, respectively. In autumn, only the Kue scheme simulated the rainfall values less than actual values, and the best simulation was for Malayer station with a 99.2 mm error. The other three schemes, like the other sSeason, simulated rainfall values more than real values, and Grell F.C. with an average 6 mm error in the region and Kue with an average of 143 mm bias error in the region, showed the best and worst results, respectively.

Conclusion: On an annual scale, for all three provinces, Emanuel Scheme showed the least RMSE values (18.96, 28.95 and 20.69 mm for Hamedan, Kermanshah, and Kurdistan provinces, respectively). In addition, Grell A.S. Scheme has highest RMSE and MBE errors for Kermanshah (49.84 mm) and Kurdistan (55.35 mm). On seasonal scale, Emanuel scheme shows the lowest RMSE for the autumn (68.76 mm) and winter (66.8 mm). However, for spring and summer seasons, the lowest RMSE errors (54.4 mm and 4.59 mm, respectively) are attributed to the Ku scheme. Implementing the selected convective scheme is helpful in reducing the time and cost and generating more accurate seasonal simulation of precipitation in west of Iran.

Keywords: Climate change, Convection schemes, CSIRO-MK36, RegCM4