جغرافیا و توسعه - شماره ۱۰ - پاییز و زمستان ۱۳۸۶

صص : ۷۲- ۵۵

وصول مقاله : ۱۳۸۵/۱۲/۵

تأیید نهایی: ۱۳۸۶/۸/۱۹

شبیه‌سازی بارش ماههای سرد سال‌های ۱۳۷۶و ۱۳۷۹ با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3 [1]

ایمان بابائیان
دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه تبریز

مریم کریمیان
کارشناس ارشد فیزیک دانشگاه آزاد مشهد

راحله مدیریان
کارشناس ارشد فیزیک دانشگاه آزاد مشهد

دکتر مجید حبیبی نوخندان
عضو هیأت علمی پژوهشکده هواشناسی

چکیده

مدل‌های منطقه‌ای اقلیم نظیر RegCM3 قادر به شبیه سازی فرآیندهای گوناگون اقلیمی هستند. هدف از مدل‌سازی شناخت هرچه بیشتر تفاوت‌های بین رفتار مدل و اقلیم واقعی در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. برای این منظور بایستی با اجراهای مختلف، حساسیت مدل را نسبت به فرآیندهای فیزیکی و محاسباتی مطالعه و ارزیابی کرد، از آن جمله حساسیت مدل نسبت به تابش، همرفت، پوشش سطح زمین، دقت محاسباتی، دامنه و مرکزیت مدل.

هدف از این مقاله حساسیت‌سنجی مدل RegCM3 نسبت به طرحواره‌های مختلف بارش همرفتی است. در این مدل برای بارش‌های همرفتی سه طرحواره‌ی مختلف در نظر گرفته شده است که عبارتند از: ۱- طرحواره «گرل» ۲- طرحواره «کو – اصلاح شده» و ۳- طرحواره «امانوئل».

طرحواره «گرل» خود به دوگزینه‌ی مختلف «آراکاوا-شوبرت» یا A.S و «فریتش– چاپل» یا F.C تقسیم می‌گردد. دوره مورد مطالعه زمستان سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۷۹ در ایران می‌باشد. به منظور ارزیابی عملکرد مدل، خروجی‌های آن با داده‌های دیدبانی‌شده ۱۵۱ ایستگاه سینوپتیک کشور و داده‌های CRU مقایسه شدند.

بر اساس نتایج این تحقیق، بهترین طرحواره‌ها برای مناطق مختلف کشور عبارتند از: کو برای جنوب‌شرق کشور با خطای میانگین ۲۴٪-، کو برای شمال شرق کشور با ۱۶/۵٪ خطا، امانوئل برای مرکز کشور با ۸۵٪

1- Regional Climate Model Version 3

خطا، کو برای جنوب غرب کشور با ۲۰٪ خطا، امانوئل برای غرب کشور با ۱۰٪- خطا، گرل FC و کو برای شمال غرب با ۸۰٪ خطا و کو برای جنوب غرب خزر با ۱۶٪- درصد خطا می‌باشند. خطای شبیه‌سازی برای نواحی مرکزی و شمال غربی کشور به‌صورت منطقه‌ای قابل قبول نیست. اما تحلیل مقادیر میانگین دو سال بارش شبیه‌سازی شده در کل کشور حاکی از توانمندی‌های خوب طرحواره‌های گرل، با خطای تقریبی حدود ۲۰ درصد است.

کلیدواژه‌ها: مدل اقلیمیRegCM3، بارش زمستان ایران، طرحواره امانوئل، طرحواره کو، طرحواره گرل FC، داده‌های دیدبانی شده و CRU.

مقدمه

از آنجا که مدل‌های جهانی پیش‌بینی قادر به آشکارسازی رفتار اقلیم در مقیاس کوچک نیستند، لذا بایستی خروجی این گونه مدل‌ها را به مقیاس کوچکتر و منطقه‌ای تبدیل کرد تا بتوان با استفاده از آنها فرآیندهای کوچک مقیاس و منطقه‌ای را شناسایی، مطالعه و پیش‌بینی کرد. برای این منظور دو روش شناخته شده وجود دارد: ریزگردانی با استفاده از روش‌های آماری و دینامیکی. در روش اول روابط بین رفتار واقعی اقلیم و خروجی مدل‌های جهانی در گذشته را به آینده تعمیم داده و برای یک منطقه‌ی خاص پیش‌بینی اقلیمی صادر می‌شود. اما در روش دوم خروجی مدل جهانی به عنوان ورودی به مدل اقلیم منطقه‌ای خورانده شده و مدل مذکور تحول زمانی وضع هوا را از طریق حل معادلات حرکت به‌دست می‌آورد *(بابائیان و همکاران، ۲۰۰۴: ۱۲-۴)*. مدل‌های اقلیمی از زمان تکوین اولیه آنها در سال‌های آخر دهه ۱۹۸۰ تاکنون به نحو فزاینده‌ای در مطالعات و پیش‌بینی‌های اقلیمی به کار می‌روند.

مدل اقلیمی RegCM3[1] که در دامنه‌ی مکانی محدود و عموماً در مقیاس زمانی بیشتر از ماه مورد استفاده قرارمی‌گیرد، نسخه‌ی اصلاح شده مدل MM4[2] است که توسط محققین دانشگاه پنسیلوانیای آمریکا ابداع شده است *(جورجی و همکاران، ۱۹۹۹: ۶۳۵۲-۶۳۳۵)*. ساختار داخلی مدل RegCM3 طی دهه‌ی گذشته تحول زیادی پیدا کرده است.برخی از طرحواره‌های به‌کار رفته در نسخه‌ی فعلی مدل مانند طرحواره‌های پوشش سطحی، تابش، بارش‌های بزرگ مقیاس و همرفتی بطور کلی تغییر یافته‌اند تا قابلیت مدل‌سازی فرآیندهای اقلیمی به مدل افزوده گردد. به‌طوری که هم اکنون مدل اقلیمی RegCM3 از مدل هواشناسی MM4 کاملاً متمایز شده است *(ایران‌نژاد و همکاران ۱۳۸۳: ۲۳ و احمدی گیوی و همکاران۱۳۸۳: ۳۴)*.در تمامی مدل‌های اقلیمی از طرحواره‌های مختلف برای تبیین فرآیندهای فیزیکی، ترمودینامیکی و محاسباتی جو استفاده می‌شود، از جمله طرحواره بارش همرفتی. هر چند در ماههای سرد سال عمده بارش‌ها به شکل جبهه‌ای است، اما نقش بارش‌های همرفتی غیر قابل انکار بوده و از درجه‌ی اهمیت بسزایی برخوردار است.

1- Regional Climate Model Version 3
2- Mesoscale Model Version 4

پیشینه تحقیق

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه‌ی مدل‌سازی رفتار اقلیم مناطق مختلف جهان با استفاده از این مدل انجام شده است. در هر کدام ازاین مطالعات جنبه‌های متفاوتی از فیزیک مدل در نظر گرفته شده است. از آن جمله می‌توان به مقاله بتز و همکاران در رابطه با مدل‌سازی دو سال بارش و دمای بخش‌هایی از آمریکا اشاره کرد که مقایسه دمای مدل با مقادیر واقعی، دارای اریبی[۱] مثبت می‌باشد. نتایج آنها نشان می‌دهد که بارش حاصل از مدل در فصول سرد، با داده‌های واقعی همخوانی خوبی دارد، اما بارش دوره‌های گرم بین ۱۰ تا ۵۰ درصد بیش از مقادیر دیده‌بانی شده است *(بتز[۲] و همکاران، ۱۹۹۵: ۱۵۲۲-۱۵۰۵)*. جورجی و همکارانش (۱۹۹۷) حساسیت مدل RegCM3 را نسبت به ابعاد دامنه در فصول گرم سال‌های ۱۹۹۸ و ۱۹۹۹ بررسی کرده و نتیجه‌گیری نمودند که انتخاب دامنه‌ی کوچکتر می‌تواند پاسخ مناسب‌تری را ارایه نماید. وانگ و همکارانش با استفاده از این مدل بارش‌های سنگین سال ۱۹۹۸ را در کشور چین شبیه‌سازی کردند. در این مطالعه انتگرالگیری مدل از ۲۶ آوریل تا ۳۱ اوت با دقت مکانی °۰/۵ و در ناحیه‌ای محدود به ۵ تا ۴۵ درجه‌ی شمالی و ۹۰ تا ۱۴۰ شرقی انجام گرفت. مدل نه تنها تکوین زمانی بارش میانگین سطحی و ماهانه را به خوبی شبیه‌سازی کرد، بلکه توانست توزیع شدت بارش‌های روزانه را نیز به خوبی پیش‌بینی نماید *(وانگ[۳] و همکاران، ۲۰۰۳: ۱۷۳۸-۱۷۲۱)*. گوچز[۴] و همکارانش حساسیت مدل MM5 را در طرحواره‌های بارش همرفتی بررسی کردند. آنها تفاوت‌های اساسی بین بارش و دمای مدل را با داده‌های واقعی پیدا کرده و متوجه شدند که پیش‌بینی بارش طرحواره کین – فریتش عموماً بیشتر از واقعیت خواهد شد *(گوچز و همکاران، ۲۰۰۱: ۱۲۹۸-۱۲۸۲)*.

همچنین مقایسه‌ی الگوهای بارش تابستانه جنوب‌شرق کشورمان نشان می‌دهند که هماهنگی نسبی بین داده‌های مرکز CRU[۵] و خروجی مدل RegCM3 با طرحواره امانوئل وجود دارد *(مدیریان و همکاران، ۱۳۸۴: ۶۰-۵۶)*. در این مقاله ما به بررسی حساسیت مدل RegCM3 روی طرحواره‌های مختلف بارش‌های همرفتی خواهیم پرداخت. طرحواره‌هایی که در این مطالعه در نظر گرفته شده است عبارتند از: گرل[۶] با فرض FC[۷]، گرل با فرض As[۸]، امانوئل[۹] و کو[۱۰].

1-Warm Bias
2-Betes
3-Wang
4-Gochis
5-Climate Research Unit
6-Grell Scheme
7-Fritsch-chappel
8-Arakawa-schubert
9-Emanuel
10-Modified Kuo

منطقه و دوره‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در مستطیلی با مشخصات (N˚۱۵ و W˚۱۰) و (N˚۵۵ و E˚۸۰) قرار دارد که از لحاظ جغرافیایی کل منطقه خاورمیانه، بخش‌هایی از هند، روسیه و اروپا را در برمی‌گیرد؛ اما ارزیابی‌های انجام شده در این مقاله محدود به ایران می‌باشد. مقادیر بارش دیدبانی شده ۱۵۱ ایستگاه سینوپتیک کشور برای مطالعه و ارزیابی مدل RegCM3 انتخاب شده است. دوره‌ی مورد مطالعه زمستان سال‌های ۱۳۷۶ (شامل دسامبر سال ۱۹۹۶ و ژانویه و فوریه سال ۱۹۹۷)، به‌عنوان یک زمستان نسبتاً خشک و ماههای سرد سال ۱۳۷۹ (شامل دسامبر سال ۱۹۹۹ و ژانویه و فوریه سال ۲۰۰۰) به‌عنوان یک زمستان نسبتاً پربارش انتخاب گردیده است.

مواد و روش‌ها

اقلیم منطقه‌ای متأثر از یکسری عوارض جغرافیایی مانند کوهستان و بادهای محلی می‌باشد که امکان پرمایش آنها در مدل‌های جهانی میسر نیست. مدل‌های با قدرت تفکیک بالا به دلیل محدودیت‌های محاسباتی عملاً در مدل‌سازی‌های اقلیم جهانی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. لذا برای چیره شدن به این مشکل، مدل‌های اقلیم منطقه‌ای با قدرت تفکیک بالا ساخته شده‌اند که برای ناحیه و زمان محدود در حد ۵۰ کیلومتر 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. دو کاربرد عمده این مدل‌ها عبارتند از: شناسایی رفتار اقلیم منطقه‌ای و مطالعات تغییرات اقلیم دهه‌های آینده و ارزیابی اثرات آن در ناحیه‌ی مورد مطالعه.

الف- ویژگی‌های فیزیکی مدل RegCM3

نسخه‌ی اولیه مدل RegCM در مرکز تحقیقات جوی دانشگاه پنسلوانیا در سال ۱۹۸۰ تهیه شد *(گوچز و همکاران، ۲۰۰۱ : ۱۲۹۸-۱۲۸۲)*. بخش دینامیکی آن از مدل MM4 نشأت گرفته که به صورت تراکم پذیر، تفاضل محدود با تعادل هیدروستاتیک و سیستم مختصات سیگما می‌باشد. به مدل مذکور طرحواره انتگرال‌گیری نیمه‌ضمنی زمانی به همراه الگوریتمی برای کاهش اثرات پخش افقی در صورت وجود تغییرات شدید توپوگرافی اضافه شده است *(جورجی و همکاران،b ۱۹۹۳: ۲۸۱۳-۲۷۹۴و جورجی و همکاران،c ۱۹۹۳: ۲۸۳۲-۲۸۱۴)*. در نتیجه هسته دینامیکی مدل RegCM3 شبیه به نسخه هیدروستاتیکی مدل MM5 است. فیزیک مدل شامل طرحواره‌های تابش، مدل سطح زمین، لایه مرزی سیاره‌ای، بارش همرفتی، بارش بزرگ مقیاس، پرمایش[1] شار اقیانوسی، گرادیان فشار، مدل دریاچه و مدل Tracer می‌باشد.

1-Parametrization

در این مطالعه تأثیر طرحواره‌های مختلف همرفت در میزان بارش همرفتی در مدل بررسی شده است *(الگوندی[1] و همکاران، ۲۰۰۳؛ جورجی، ۱۹۸۹ : ۱۱۴۴-۱۱۲۷)*. بارش‌های همرفتی با استفاده از یکی از چهار طرحواره گرلAS، گرلFC، کو اصلاح یافته و امانوئل محاسبه می‌شود.

طرحواره گرل

در طرحواره گرل دو جریان همرفتی غالب برای ابر در نظر گرفته می‌شود: صعودی و نزولی. به استثنای جریان‌های مذکور، در هیچ جهتی بین ابر و هوای محیط اختلاطی رخ نمی‌دهد. شار جرم نسبت به ارتفاع ثابت است و در طول لبه‌های ابر نفوذ و خروج جریان هوا رخ نمی‌دهد. سطح اولیه صعود و نزول به ترتیب با سطوح بیشینه و کمینه انرژی پتانسیل استاتیکی رطوبت مشخص می‌شوند.

طرحواره گرل زمانی فعال می‌شود که بسته هوای صعود کرده رطوبت لازم برای همرفت را به‌دست آورد. اختلاف اساسی بین دو فرض گرل FC و گرل AS در این است که فرض گرل AS شارش‌های همرفتی و بارش را به تغییرات در حالت اتمسفر مرتبط می‌سازد، در حالی‌که در گرل FC شارش‌های همرفتی به میزان ناپایداری در اتمسفر مربوط می‌شود. در نهایت این دو روش به یک تعادل آماری بین همرفت و فرآیندهای بزرگ مقیاس می‌رسند. اختلاف‌های جزیی در فرضیات این دو طرحواره موجب تفاوت‌های مهمی در میزان بارش مدل می‌گردد *(گرل و همکاران ۱۹۹۴، جورجی و همکاران ۱۹۸۹ :۲۳۴۷-۲۳۲۵)*.

طرحواره کو-اصلاح شده

در روش کو همرفت زمانی آغاز می‌شود که همگرایی رطوبتی M در یک ستون از آستانه‌ی مشخصی بیشتر شود و ژرفسنجی عمودی ناپایداری همرفتی را نشان دهد. در این حالت رطوبت هوا به‌میزان $M\beta$ در ستون همگرایی حفظ می‌شود و باقی‌مانده‌ی آن بر طبق رابطه (۱) به بارش همرفتی P^{cu} تبدیل شده و به سطح زمین می‌ریزد.

$$p^{cu} = M\,(1-\beta) \qquad (۱)$$

β کسری از میانگین رطوبت نسبی $\overline{RH}$ در ژرفسنجی قائم هوا می‌باشد. گرمای نهانی که از تراکم بخار آب در بین قله و کف ابر به وجود می‌آید، در لایه‌های فوقانی ابر توزیع می‌شود. برای حذف نقاط بحرانی در شبکه‌ی عددی یک جمله پخش افقی که موجب توزیع مجدد رطوبت شده و از آزادسازی ناگهانی گرمای نهان پیشگیری می‌نماید، به مدل اضافه شده است *(جورجی و همکاران، ۱۹۹۱: ۱۲۰۶-۱۱۷۱؛ گرل، ۱۹۹۳ :۷۸۷-۷۶۴)*.

2- Elguindi

طرحواره امانوئل

طرحواره همرفتی امانوئل، توسط امانوئل و زیوکویچ-روتمن[1] درسال ۱۹۹۹ ارایه شد. ویژگی‌های اصلی این طرحواره که برای اولین بار توسط امانوئل در سال ۱۹۹۱ پرمایش شد، عبارتند از: شارش رطوبت همرفتی به داخل ابر، توانایی ایجاد همرفت عمیق، لحاظ درون‌شارش در ابرهای همرفتی، لحاظ جرم هوای نزولی اشباع شده که گاهی سرعت آن با سرعت هوای صعودی در ابرهای کومولوس قابل مقایسه می‌گردد. حرکات نزولی هوای غیر اشباع عامل مهمی برای پایداری لایه‌ی مرزی است.

در این روش سطح صعود یا نزول بسته‌ی هوا با یافتن سطحی که در آن دمای پتانسیل ابر با دمای محیط برابر است، مشخص می‌شود. این طرحواره، یک معادله‌ی پیش‌بینی شارش جرم به همراه نرخ جریان‌های ورودی و خروجی دارد که از این طریق نیروی شناوری مشخص می‌شود. در طرحواره امانوئل تبدیل آب ابر به بارش بر مبنای فرآیندهای کاتوره‌ای صورت می‌گیرد. استفاده از این فرآیندها موجب درک بهتر فرآیند تبدیل قطرات آب موجود در ابر به بارش می‌گردد *(هوگان[2]، ۲۰۰۳؛ بتز، ۱۹۸۶ : ۶۹۱-۶۶۷)*.

ب- داده‌ها

مدل RegCM3 برای اجرا، به داده های توپوگرافی، پوشش سطح زمین، دمای سطح دریا و شرایط اولیه و مرزی نیاز دارد. RegCM3 از داده‌های GLCC و GTOPO برای اطلاعات پوشش گیاهی و توپوگرافی استفاده می‌کند. داده‌های GLCC با استفاده از سنجنده AVHRR از آوریل ۱۹۹۲ تا مارس ۱۹۹۳ به دست آمده است و بر اساس نوع پوشش گیاهی و سطح زمین، توسط BATS[3] تعیین می‌شود.

برای انتخاب دمای سطح دریا (SST) دو گزینه وجود دارد: دمای سطح آب و یخ در مقیاس جهانی (GISST)[4] که به صورت ماهانه و با دقت یک درجه از مرکز هادلی انگلیس قابل دریافت می‌باشد و OISST[5] که به صورت هفتگی و با دقت یک درجه (در طول و عرض جغرافیایی) از مرکز NOAA[6] قابل دریافت است (وب سایت ICTP/RegCM). در این مطالعه از داده‌های OISST استفاده شده است. برای انتخاب شرایط اولیه و مرزی سه گزینه وجود دارد: ۱- داده‌های ECMWF[7] ۲- داده‌های NNRP1[8] ۳- داده‌های NNRP2.

1- Zivkoic- Rothman
2- Hogan
3- Biosphere Atmosphere Transfer Scheme
4-Global Ice and Sea Surface Temperature
5- Optimum Interpolation Sea Surface Temperature
6-National Oceanic and Atmospheric Administration
7- European Center for Medium-range Weather Forecasts
8-NCEP/NCAR Reanalysis Project

در این شبیه‌سازی از داده‌های NNRP1 که توسط مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی NCEP[1]، با دقت ۲/۵ درجه برای دوره ۱۹۴۸ تا ۲۰۰۱ تهیه شده است، استفاده می‌شود *(سازمان ملی هواشناسی و اقیانوس‌شناسی آمریکا، ۲۰۰۵: بانک اطلاعات)*. به منظور واسنجی و ارزیابی خطای مدل‌سازی، آمار روزانه ۱۵۱ ایستگاه سینوپتیک کشور مورد استفاده قرار گرفت.

ج- شبیه‌سازی

با توجه به اینکه در کشورمان بارش فصل زمستان درصد قابل توجهی از بارش‌های کل سال را در برمی‌گیرد، لذا افزایش توانمندی مدل‌های اقلیمی در مدل‌سازی و پیش‌بینی بارش‌های زمستانه، موجب ارتقاء عمده در صحت پیش‌بینی‌های فصلی کشور می‌گردد، لذا در این مطالعه دو فصل با بارش‌های حدی شامل زمستان ۱۳۷۶ به عنوان یک فصل نسبتاً خشک و زمستان ۱۳۷۹ به عنوان یک فصل نسبتاً پربارش برای مطالعه و واسنجی مدل اقلیمی RegCM3 انتخاب گردید. معمولاً عدم توانایی مدل‌ها، مربوط به پیش‌بینی مقادیر حدی بارش می‌باشد، لذا در صورتی‌که بتوان مدل‌ها را برای بارش‌های حدی واسنجی کرد، در آن صورت بطور معمول برای فصول با بارش نرمال شامل بهار، پاییز و تابستان نیز توانمندی مدل افزایش می‌یابد. بر این اساس نقش طرحواره‌های مختلف بارش زمستانه برای مطالعه و واسنجی مدل RegCM3 انتخاب گردید. لذا مدل با چهار طرحواره گرل با فرض FC، گرل با فرض As، امانوئل و کو اجرا شده است. مرکز دامنه‌ی مدل در نقطه‌ای به طول۵۳ درجه شرقی و عرض ۳۳ درجه شمالی قرار دارد. گام مکانی و زمانی در شبیه‌سازی به ترتیب ۷۵ کیلومتر و ۱۵۰ ثانیه می‌باشد که شامل ۵۰ نقطه شبکه‌ای در جهت شمال- جنوب و ۸۰ نقطه در جهت شرق- غرب می‌شود. به منظور ارزیابی توانایی مدل، خروجی‌های آنبا داده‌های دیده‌بانی شده ایستگاههای کشور و داده‌های مرکز CRU در انگلیس مقایسه شده است.

د- روش بررسی خطاها

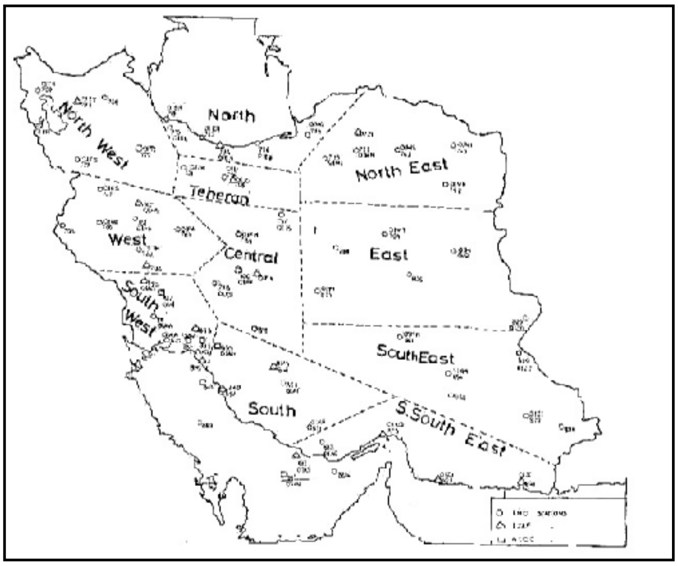
میانگین درصد خطا و اریبی داده‌های مدل در مقایسه با مقادیر دیدبانی شده ایستگاههای سینوپتیک کشور با استفاده از دو فرمول ۲ و ۳ و به صورت میانگین منطقه‌ای محاسبه شدند:

$$\mathbf{MBE} = \sum (P_i - O_i) / n \qquad (۲)$$

$$\mathbf{MPE} = \left(\sum \left(\frac{O_i - P_i}{O_i}\right) \times 100\right) / n \qquad (۳)$$

1- National Center for Environmental Prediction

که در آن P_i مقادیر مدل شده و O_i مقادیر واقعی ۱۵۱ ایستگاه سینوپتیک کشور می‌باشد. شکل ۱ تقسیمات منطقه‌ای کشور را از دیدگاه هواشناسی نشان می‌دهد. این نقشه هر روزه در سازمان‌هواشناسی‌کشور برای صدور پیش‌بینی‌ها و پیش‌آگاهی‌های منطقه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۱ : نقشه منطقه‌ای ایران

تحلیل خروجی مدل RegCM3

در جدول ۱ آزمایش‌های طراحی شده برای مدل‌سازی بارش ماههای سرد سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۷۹ دیده می‌شود.

جدول ۱: طراحی آزمایش‌ها برای تحقیق اثر طرحواره‌های مختلف بارش همرفتی در مدل‌سازی بارش‌های فصلی

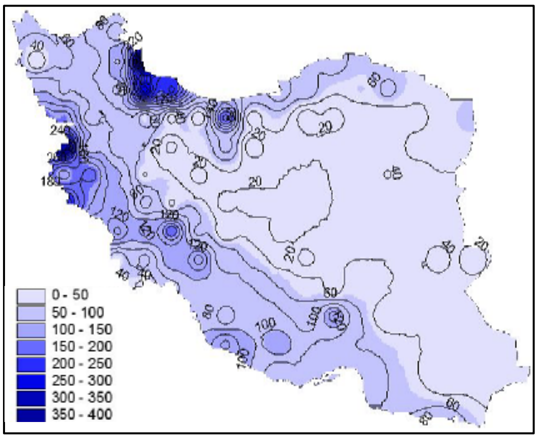
نام آزمایش	CU-1	CU-2	CU-3	CU-4
طرحواره بارش همرفتی	KUO	Grell-FC	Grell-AS	Emanuel
مرکز مدل	ایران	ایران	ایران	ایران
طول و عرض جغرافیایی مرکز	۳۳°N و ۵۳°E	۳۳°N و ۵۳°E	۳۳°N و ۵۳°E	۳۳°N و ۵۳°E

هدف اصلی این مقاله، مدل‌سازی و واسنجی مدل RegCM3 با استفاده از طرحواره‌های مختلف بارش‌های همرفتی است. لذا آزمایش‌های جدول(۱) با مرکزیت ایران و با طرحواره‌های کو، گرل FC، گرل AS و امانوئل انجام شده است.

الف- تحلیل توانمندی مدل برای شبیه‌سازی بارش زمستان سال ۱۳۷۶

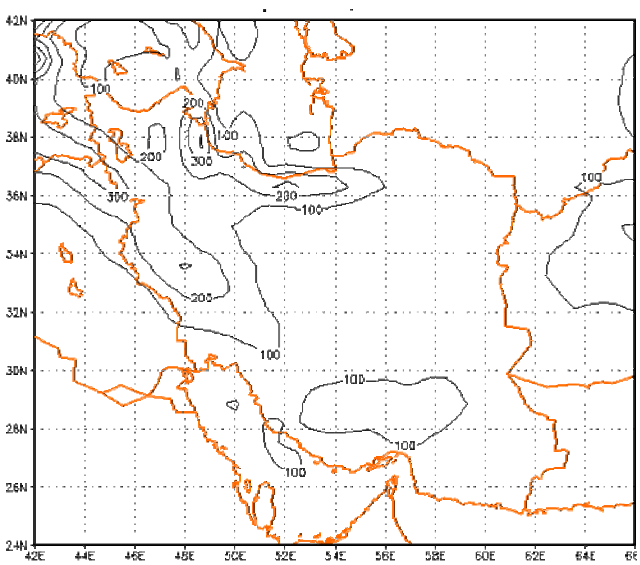
به منظور بررسی توانمندی مدل، بارش‌های دریافتی از ۱۵۱ ایستگاه سینوپتیک کشور در دوره‌ی مورد مطالعه به روش کرجینگ بر روی کشور میانیابی شدند (شکل ۲) با داده‌های حاصل از مدل RegCM3 که با دقت مکانی ۷۵ کیلومتر محاسبه شده‌اند، به‌صورت منطقه‌ای (شکل۱) مقایسه شدند. بارش زمستان سال۱۳۷۶ دارای دو بیشینه‌ی عمده در سواحل جنوبی دریای خزر به میزان۲۶۰ میلی‌متر و در منطقه کردستان به میزان ۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد. در استان خراسان‌شمالی و رضوی بارش‌ها بیش از ۴۰ میلی‌متر و در استان‌های گلستان، سیستان و بلوچستان، کرمان و هرمزگان بارش بیش از ۶۰ میلی‌متر است. در مناطق جنوب غرب نیز بارش بین ۸۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر متغیّر است (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۴: بانک اطلاعات اقلیمی). بجز طرحواره کو، در سایر طرحواره‌ها بارش‌های پیش‌بینی شده برای نیمه‌ی جنوبی کشور با داده‌های واقعی همخوانی ندارد. پیش‌بینی‌های طرحواره کو هم برای بارش منطقه کرمان غیر واقعی است.

با مقایسه‌ی نتایج طرحواره‌های مختلف مشخص می‌گردد که بارش‌های حاشیه دریای خزر توسط طرحواره گرل FC به خوبی مدل شده است، اما این طرحواره قادر به مدل‌سازی بارش منطقه جنوب غرب کشور شامل استان‌های خوزستان وایلام نیست. در شکل ۲ بارش‌های واقعی رخ داده در سطح کشور برای زمستان سال ۱۳۷۶ ملاحظه می‌شود.



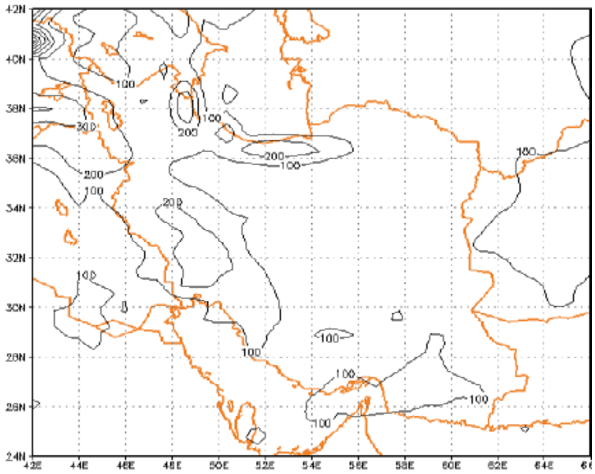
شکل ۲: بارش‌های واقعی زمستان سال ۱۳۷۶، بر اساس اطلاعات دریافتی از ۱۵۱ ایستگاه سینوپتیک کشور

در اشکال (۳) تا (۶) بارش‌های مدل شده توسط RegCM3 برای فصل زمستان سال ۱۳۷۶ دیده می‌شود. برای بررسی و ارزیابی خطای هر کدام از اجراها از روش آماری استفاده شده است. میانگین درصد خطا[1] و اریبی[2] بارش‌های مدل نسبت به مقادیر دیدبانی شده ایستگاههای سینوپتیک کشور برای ماههای مختلف هر دو سال مورد مطالعه، با استفاده از معادلات ۲ و ۳ محاسبه شده است. نتایج این محاسبات در جداول ۲ و ۳ آورده شده است. بر این اساس بیشترین و کمترین خطای فصل زمستان ۱۳۷۶ به ترتیب مربوط به طرحواره‌های کو با ۴۱/۹ درصد و گرل AS با ۲۱ درصد می‌باشد. بیشینه خطای سال ۱۳۷۹ مربوط به امانوئل با ۲۴/۵ درصد و کمترین آن مربوط به کو به میزان کمتر از یک درصد می‌باشد. در هردو فصل مورد بررسی کمترین خطای منطقه‌ای مربوط به مناطق شمال‌شرق، شرق و مرکز کشور با میانگین ۲۳ درصد و بیشترین آن در مناطق شمال‌غرب و جنوب‌غرب کشور با میانگین ۵۵ درصد رخ داده است *(بابائیان و همکاران، ۱۳۸۴ : ۱۵۲-۹۲)*.



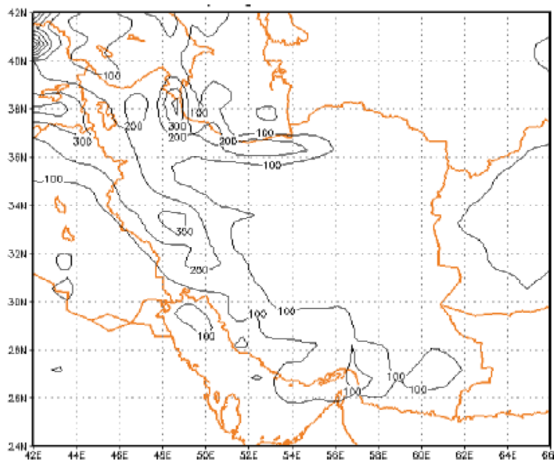
شکل ۳: همانند سازی بارش زمستان ۱۳۷۶ با مدل RegCM3 و طرحواره همرفتی کو

1- Mean Percentage Error (MPE)
2-Mean Bias Error (MBE)

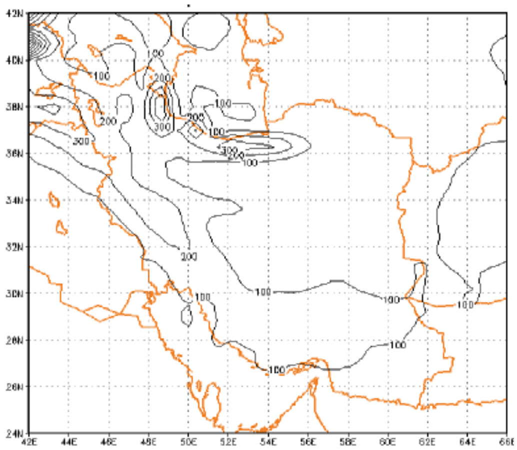


شکل ۴: همانند شکل ۳ اما با استفاده از طرحواره گرل FC

میزان خطا و اریبی کلی بارش ماههای زمستان سال ۱۳۷۶ محاسبه شدند. بر این اساس کمترین خطا و اریبی مربوط به طرحواره گرل AS با ۲۱درصد خطا و اریبی منفی ۴۷میلی‌متر می‌باشد. عمده خطا و اریبی منفی در بارش‌های کل کشور ناشی از ناتوانی مدل در شبیه‌سازی بارش‌های شمال غرب کشور بوده است. به نظر می‌رسد این ضعف ناشی از مکانیسم متفاوت بارش‌های این ناحیه نسبت به بخش‌های مختلف کشور باشد، در عین حال بایستی پارامترهای فیزیکی و ترمودینامیکی هر کدام از طرحواره‌ها آنقدر تغییر داده شود تا بارش این ناحیه نیز با مدل هماهنگ گردد. بنابراین به‌نظر می‌رسد مناسبترین طرحواره برای شبیه‌سازی بارش زمستان ۱۳۷۶، به عنوان زمستان نسبتاً خشک، طرحواره گرل AS باشد.



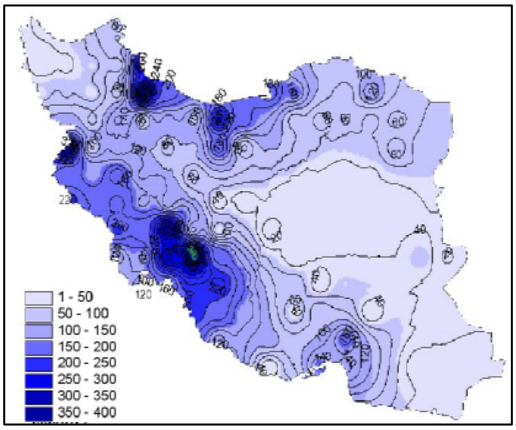
شکل ۵ : همانندسازی بارش زمستان ۱۳۷۶ با مدل RegCM3
و طرحواره گرل AS



شکل ۶: همانند شکل ۳ اما با استفاده از طرحواره امانوئل

ب- تحلیل توانمندی مدل برای شبیه سازی بارش زمستان سال ۱۳۷۹

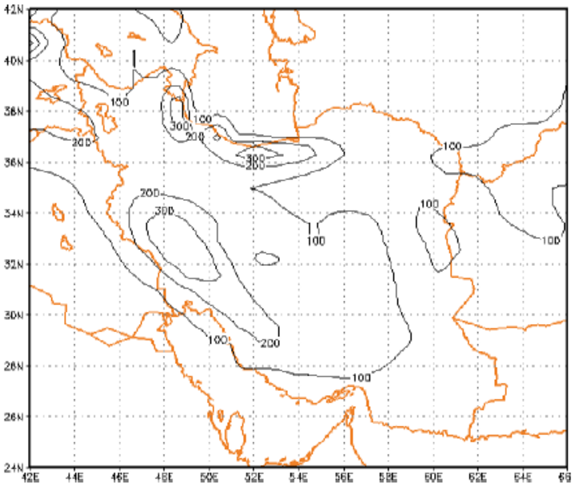
کمترین بارش ثبت شده در فصل زمستان سال ۱۳۷۹ مربوط به بخش‌هایی از استان‌های یزد و کرمان می‌باشد. سه منطقه پربارش کشور در این فصل عبارتند از: استان فارس به میزان بیش از ۳۶۰ میلی‌متر، سواحل غربی خزر ۳۴۰ میلی‌متر و غرب کشور با ۳۰۰ میلی‌متر (شکل ۷) *(سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۴: بانک اطلاعات اقلیمی)*.



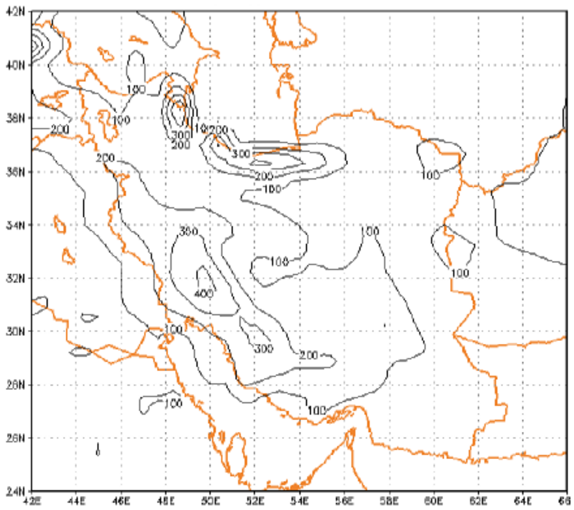
شکل ۷: بارش‌های واقعی زمستان سال ۱۳۷۹ بر اساس اطلاعات دریافتی از ۱۵۱ ایستگاه سینوپتیک کشور

استفاده از طرحواره‌های امانوئل و کو به‌دلیل عدم‌توانایی آنان برای مدل‌سازی بیشینه بارش استان فارس و جنوب‌شرقی کشور، مناسب نمی‌باشد. پاسخ طرحواره‌های گرل FC و گرل AS

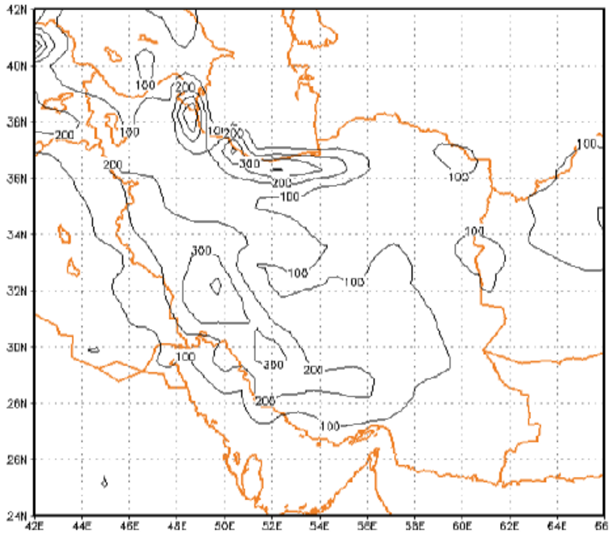
برای مدل‌سازی بارش‌های حاشیه دریای خزر مشابه هم و نسبتاً قابل قبول است.ضعف عمده‌ی دو طرحواره‌ی مذکور در مدل‌سازی بارش سواحل خزر، جابجایی شرق سوی بیشینه بارش این ناحیه است. تقریباً دو طرحواره گرل FC و گرل AS به یک اندازه در مدل‌سازی بارش‌های غرب‌کشور نقص دارند، اما پیش‌بینی طرحواره گرل FC برای بارش‌های مرکز کشور از طرحواره گرل AS مناسب‌تر است (شکل‌های ۸ تا ۱۱).



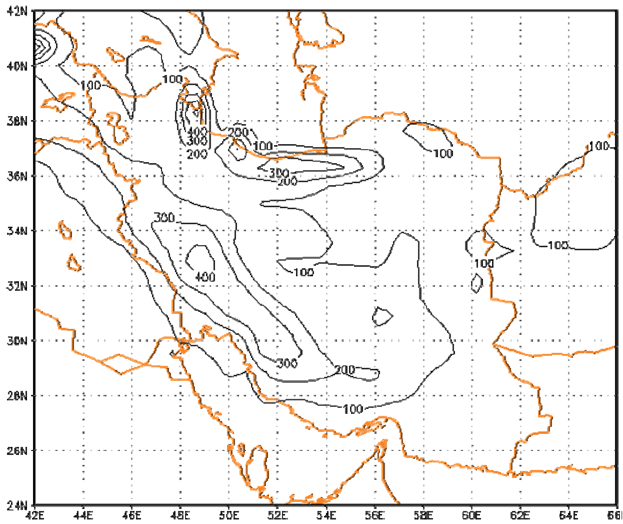
شکل ۸:همانند سازی بارش فصل زمستان ۱۳۷۹ توسط مدل RegCM3 با استفاده از طرحواره بارش همرفتی کو



شکل ۹: همانندشکل ۸ اما با استفاده از طرحواره گرل FC



شکل ۱۰: همانند شکل ۸ اما با استفاده از طرحواره گرل AS



شکل ۱۱: همانندشکل ۸ اما با استفاده از طرحواره امانوئل

جدول ۲ : میزان بارش، خطا و اریبی آزمایش‌های مختلف مدل RegCM3 و داده‌های CRU نسبت به داده‌های واقعی در نواحی منتخب کشور (زمستان سال ۱۳۷۶)

آزمایش		نام آزمایش	میزان بارش(میلی متر)							میانگین	میانگین درصد خطا (MPE)	اریبی (میلی‌متر) (MBE)
			جنوب غرب خزر	شمال غرب	غرب	جنوب غرب	مرکز	شمال شرق	جنوب شرق			
طرحواره‌های بارش همرفتی	Kuo	CU-1	۲۴۰	۱۶۰	۲۶۰	۱۰۰	۴۰	۴۰	۶۰	۱۲۸/۵۷	۴۱/۹	-۹۲/۸۵
	Grell-FC	CU-2	۳۰۰	۱۶۰	۲۰۰	۲۰۰	۶۰	۵۵	۹۰	۱۵۲/۱۴	۳۱/۲۸	-۶۹/۲۸
	Grell-AS	CU-3	۳۲۰	۱۲۰	۲۲۰	۱۸۰	۷۰	۵۰	۷۰	۱۷۴/۲۸	۲۱/۲۸	-۴۷/۱۴
	Emanuel	CU-4	۳۴۰	۱۸۰	۲۴۰	۱۴۰	۶۰	۷۰	۱۰۰	۱۶۱/۴۲	۲۷/۰۹	-۶۰
داده‌های CRU		CRU	۶۰	۸۰	۱۰۰	۶۰	۴۰	۴۰	۶۰	۶۲/۸۵	۷۱/۶۱	-۱۵۸/۵۷
داده‌های واقعی		OBS	۲۴۰	۸۰۰	۳۰۰	۸۰	۴۰	۴۰	۵۰	۲۲۱/۴۲		

جدول ۳ : میزان بارش، خطا و اریبی آزمایش‌های مختلف مدل RegCM3 و داده‌های CRU نسبت به داده‌های واقعی در نواحی منتخب کشور برای بارش (زمستان سال ۱۳۷۹)

آزمایش		نام آزمایش	میزان بارش(میلی متر)							میانگین	میانگین درصد خطا (MPE)	اریبی (میلی‌متر) (MBE)
			جنوب غرب خزر	شمال غرب	غرب	جنوب غرب	مرکز	شمال شرق	جنوب شرق			
طرحواره‌های بارش همرفتی	Kuo	CU-1	۱۷۰	۱۲۰	۱۸۰	۱۲۰	۱۴۰	۸۰	۴۰	۱۲۱/۴۲	۰/۵۸	-۰/۷۲
	Grell-FC	CU-2	۱۴۰	۱۲۰	۱۹۰	۱۴۰	۱۲۰	۸۰	۳۵	۱۱۷/۸۵	۳/۵۱	-۴/۲۹
	Grell-AS	CU-3	۳۰۰	۱۲۰	۲۰۰	۲۰۰	۱۲۰	۸۰	۴۰	۱۵۱/۴۲	۲۳/۹۷	۲۹/۲۸
	Emanuel	CU-4	۲۷۰	۱۵۰	۲۳۰	۱۷۰	۱۱۰	۹۰	۴۵	۱۵۲/۱۴	۲۴/۵۶	۳۰
داده‌های CRU		CRU	۸۰	۷۰	۱۶۰	۸۰	۶۰	۴۰	۲۰	۷۲/۸۵	۴۰/۳۵	-۴۹/۲۹
داده‌های واقعی		OBS	۲۵۰	۶۰	۲۴۰	۱۴۰	۵۰	۶۰	۵۵	۱۲۲/۱۴		

نتیجه‌گیری

به منظور بررسی توانمندی مدل RegCM3، آزمایش‌هایی طراحی شدند که در مرکز مدل روی ایران قرار گرفت و طرحواره‌های مختلف بارش همرفتی تغییر کردند. نتایج مهم بدین شرح می‌باشد:

- با بررسی میانگین خطا و اریبی مدل، بطورکلی طرحواره کو توانمندی لازم برای مدل‌سازی بارش‌های جنوب کشور را دارد، اما برای مناطق جنوب شرق پاسخ‌های طرحواره امانوئل مناسبتر است. طرحواره کو برای مدل‌سازی بارش سایر نقاط کشور با ضعف نسبی مواجه است.
- طرحواره گرل FC توانسته است بارش‌های ماههای سرد سال ۱۳۷۶ و ۱۳۷۹ واقع در حاشیه خزر را مدل نماید، اما بخوبی قادر به مدل سازی بارش‌های غرب کشور نیست.
- در زمستان سال ۱۳۷۶، با توجه به حاکمیت نسبی پرفشار سیبری و وجود جریان‌های شرقی در سطح زمین، جابجایی مرکزیت مدل به سمت هیمالیا می‌تواند بارش‌های کشور را بخوبی مدل نماید، اما استفاده از همین طرحواره با مرکزیت ایران پاسخ قابل قبولی را ارایه نمی‌دهد.
- در زمستان سال ۱۳۷۹، با توجه به حاکمیت نسبی سیستم‌های غربی، طرحواره گرل FC با مرکزیت ایران پاسخ‌های مناسب‌تری نسبت به سایر طرحواره‌ها دارد.
- دو طرحواره‌ی گرل FC و گرل AS به یک اندازه در مدل‌سازی بارش‌های غرب کشور نقص دارند، اما پیش‌بینی طرحواره گرلFC برای بارش‌های مرکز کشور از گرل AS مناسب‌تر است.

در مجموع اگر بخواهیم تحلیل کلی از نتایج این مطالعه را ارایه نماییم، چند نکته حایز اهمیت وجود دارد: در ماه‌های دسامبر به‌دلیل حاکمیت پرفشار سیبری جابجایی مرکز مدل به سمت شمال شرق پاسخ‌های مدل را به واقعیت نزدیکتر می‌کند و متقابلاً در ماه فوریه به دلیل حاکمیت سیستم‌های غربی، جابجایی مرکز مدل به سمت مدیترانه، موجب افزایش صحت پیش‌بینی مدل می‌گردد.

در حقیقت جابجایی مرکز مدل به‌سوی مرکز سیستم سینوپتیکی غالب دوره موجب تحلیل دقیق‌تر فرآیندهای فیزیکی، ترمودینامیکی و محاسباتی سامانه غالب شده و لذا اثرات آن، از جمله میزان بارش، با دقت بیشتری آشکارسازی و مدل می‌گردد و نهایتاً از میزان خطای آزمایش‌های شبیه‌سازی می‌کاهد. در نهایت طرحواره‌های بارش همرفتی با اولویت گرلFC و گرلAS برای منطقه ما مناسب هستند، اما برای مدل‌سازی بارش همرفتی و مونسونی طرحواره امانوئل به سایر طرحواره‌ها ترجیح داده می‌شود و در نهایت اینکه در پیش‌بینی‌های حاشیه‌ی دریای خزر، الگوی بارش دارای جابجایی شرقسو است. با توجه به اقلیم‌و توپوگرافی پیچیده کشورمان توصیه می‌شود برای هر منطقه طرحواره و مرکزیت مناسب آن منطقه در نظر گرفته شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله از پروژه « ارزیابی و اجرای مدل اقلیمی RegCM3 بر روی ایران» استخراج شده است، لذا از سازمان هواشناسی کشور، پژوهشکده اقلیم‌شناسی و اداره کل هواشناسی خراسان رضوی و همچنین‌آقایان ابراهیم میرزایی، حسام‌حسن‌پور و خانم لیلی‌خزانه‌داری برای همکاری در این پروژه قدردانی می‌گردد.

منابع و مآخذ

۱- احمدی‌گیوی، فرهنگ؛ سلطانزاده، ایمان؛ ایرانژاد، پرویز؛ پازوکی، روزبه (۱۳۸۳): *بررسی تأثیر کوهستان‌ها و کاربری اراضی اقلیم منطقه ایران بااستفاده از مدل منطقه‌ای- بررسی تأثیر طرحواره زیر شبکه‌ای BATS در مدل منطقه‌ای RegCM*. مقاله نامه همایش پیش‌بینی عددی وضع هوا.

۲- ایرانژاد، پرویز؛ پازوکی، روزبه؛ احمدی گیوی، فرهنگ؛ سلطانزاده، ایمان (۱۳۸۳): *بررسی تأثیر کوهستان‌ها و کاربری اراضی اقلیم منطقه ایران با استفاده از مدل منطقه‌ای. بررسی ساختار داخلی مدل RegCM*. مقاله نامه همایش پیش‌بینی عددی وضع هوا.

۳- بابابیان، ایمان؛ کریمیان، مریم؛ مدیریان، راهله (۱۳۸۴): *اجراء و ارزیابی مدل منطقه‌ای اقلیمی RegCM3 بر روی ایران- مطالعه موردی زمستان سال‌های ۱۹۹۷ و ۲۰۰۰*. پروژه خاتمه یافته پژوهشکده اقلیم‌شناسی.

۴- مدیریان، راحله؛ کریمیان، مریم؛ بابابیان، ایمان (۱۳۸۴)، *شبیه‌سازی بارش‌های مونسونی جنوب شرق ایران با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3*. مقاله نامه همایش پیش‌بینی وضع هوا.

۵- سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۴: بانک اطلاعات اقلیمی.

6- Babaeian, I.,et al. (2004): Climate change assessment over Korea using stochastic weather data. Technical report, Climate Research Lab. /Korea Meteorological Administration.

7- Bates, G. T., Hostetler, S. W. Giorgi, F. (1995): Two-Year Simulation of Great Lake Region with a Coupled Modeling System. Monthly Weather Review.

8- Betts, A. (1986): A new convective adjustment scheme. Part I: Observational and theoretical basis.

9- Elguindi, N. et al. (2003): RegCM Version 3.0 User's Guide, Physics of Weather and Climate Group, International Center for Theoretical Physics.

10- Giorgi, F. (1989): Two-dimensional simulations of possible mesoscale effects of nuclear war fires, Journal of Geophysical Research.

11- Giorgi, F., and Marinuoci, M. (1991): Validation of a regional atmospheric model over Europe: Sensitivity of wintertime and summertime simulation to selected physics parameterizations and lower boundary conditions, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.

12- Giorgi, F., Bates, G. (1989): The climatological skill of a regional model over complex terrain, Monthly Weather Review.

13- Giorgi, F., Marinucci, M. , Betes, G. (1993b): Development of a second generation regional climate model (regcm2) i: Boundary layer and radiative transfer processes, Monthly Weather Review.

14- Giorgi, F.et al. (1993c): Development of a second generation regional climate model (regcm2) ii: Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions, Monthly Weather Review.
15- Giorgi, F.,Mearns, L. O.(1999): Introduction to special section: Regional climate modeling revisted, J. Geophy. Res.
16- Grell, G. A., Dudhia, J., Stauffer, D. R.(1994a): A description of the fifth-generation penn state/ncar mesoscale model (mm5), Technical report, National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, June 1994.
17- Grell, G. (1993): Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations, Monthly Weather Review.
18- Gochis, D. J., Shuttleworth, W. J., Yang, Z. L. (2001): Sensitivity of the Modeled North American Monsoon Regional Climate to Convective Parameterization. Monthly Weather Review.
19- Hogan, T.F., Goerss, J.S. (2003): A Brief Description of the Emanuel Convection Parameterization in NOGAPS and ITS Impact.
20- ICTP/RegCM3 Homepage http://www.ictp.trieste.it/~pubregcm/.
21- Wang, Y., Sen, O. L., Wang, B. (2003): A Highly Resolved Regional Climate Model (IPRC-RegCM) and Its Simulation of the 1998 Severe Precipitation Event over China. Part I: Model Description and Verification of Simulation. Journal of Climate.
22- National Center and Atmospheric Adminstration, (2005): Ftp server: ftp://ftp.cdc.noaa.gov