

بیکربندی بهینه مدل RegCM3 برای شبیه‌سازی بارش و دما در فصل پاییز منطقه

خراسان در دوره ۲۰۰۰-۱۹۹۱

راهله مدیریان* - دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک، گروه فیزیک دانشگاه آزاد اسلامی مشهد
ایمان بابائیان - دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک، گروه فیزیک دانشگاه آزاد اسلامی مشهد
مریم کریمیان - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز

پذیرش مقاله: ۱۳۸۷/۱۲/۴ تأیید نهایی: ۱۳۸۸/۸/۲۵

چکیده

با توجه به اهمیت بارش‌های پاییزه و دما در تأمین منابع، و نیاز آبی محصولات کشاورزی و با هدف ارزیابی و واسنجی مدل اقلیمی RegCM3 برای دستیابی به مدل اقلیمی متناسب با شرایط اقلیمی استان به منظور انجام مطالعات و پیش‌بینی‌های اقلیمی، بارش و دمای فصول پاییز استان خراسان در یک دوره ده‌ساله به وسیله مدل مذکور شبیه‌سازی شد. در این مطالعه از مدل اقلیمی RegCM3 با قدرت تفکیک افقی ۱۵ کیلومتر و چهار طرح‌واره مختلف گرل FC، گرل AS، کو و امانوئل برای دوره ده‌ساله ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰ استفاده شد. نتایج مدل‌سازی بارش با داده‌های واقعی و CMAP و نتایج دمای مدل‌سازی شده با داده‌های دیده‌بانی شده ایستگاه‌های هواشناسی استان و داده‌های دمای مرکز NCEP مقایسه شدند و خطای مطلق میانگین و اریبی آنها محاسبه شدند. کمترین میانگین اریبی فصلی نسبت به بارش واقعی به میزان ۷/۱- میلی‌متر در طرح‌واره کو، و کمترین اریبی میانگین فصلی نسبت به داده‌های CMAP به میزان ۹/۳ میلی‌متر در طرح‌واره امانوئل مشاهده گردید. در مدل‌سازی دمای فصل پاییز، کمترین اریبی فصلی در مقایسه با داده‌های دیده‌بانی شده به میزان ۱/۱- درجه سانتی‌گراد در طرح‌واره گرل FC رخ داد. در مقایسه با داده‌های دمای مرکز NCEP نیز طرح‌واره گرل FC با اریبی سرد ۳/۴°C- دارای کمترین خطا بود. در تحلیلی کلی می‌توان گفت که طرح‌واره گرل AS توانمندی مناسبی برای مدل‌سازی بارش و دمای استان ندارد. نتایج این تحقیق می‌تواند در مراکز پیش‌بینی عملیاتی اقلیمی برای صدور پیش‌بینی‌های فصلی مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: مدل‌سازی اقلیمی، مدل RegCM، بارش، دما، پاییز، خراسان.

مقدمه

از دهه ۱۹۷۰ با کاربردی شدن روش‌های عددی در هواشناسی، تلاش‌ها برای دستیابی به مدل‌های گردش عمومی جو و مدل‌های منطقه‌ای شتاب بیشتری گرفتند و از آن هنگام مدل‌های مختلف با دیدگاه‌های هواشناسی و اقلیمی توسعه

یافتند. اولین مدل‌ها آنهایی بودند که وظیفه ارائه پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت وضع هوا را به عهده داشتند. آنها با به‌کارگیری معادلات بسط هوا، قوانین ترمودینامیک، بقای جرم و قانون عمومی گازها به صورت تفاضل محدود، پیش‌بینی‌های کمتر از یک هفته را ارائه دادند. از دهه ۱۹۸۰ مدل‌های اقلیمی برای ارائه پیش‌بینی‌های فصلی، شناسایی رفتار اقلیم منطقه‌ای، انجام مطالعات واسنجی مدل‌ها و ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو مورد استفاده قرار گرفتند.

مدل $RegCM3^1$ یکی از متداول‌ترین مدل‌های منطقه‌ای است که برای انجام مطالعات اقلیمی و ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو مورد استفاده قرار می‌گیرد. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه مدل‌سازی رفتار اقلیم مناطق مختلف کره زمین با استفاده از این مدل انجام شده است. در هر کدام از این مطالعات، جنبه‌های متفاوتی از فیزیک مدل بررسی شده است. آزادی و همکاران، تأثیرهای همرفت با فرض‌های مختلف مانند فرض گرل AS^2 و گرل FC^3 بر بارندگی را بررسی کردند. آنها دریافتند که به‌طور کلی پیش‌بینی بارش مدل بیش از مقادیر واقعی بوده و دارای اریبی^۴ مثبت است. اما در مقایسه با داده‌های CRU^5 ، بارش پیش‌بینی شده به‌وسیله مدل با فرض AS ، به واقعیت نزدیک‌تر است. همچنین مدل دارای قابلیت نسبتاً خوبی در شبیه‌سازی تأثیرات SST^6 بر روی مناطق ساحلی است (آزادی و دیگران، ۲۰۰۳).

بابایان و همکاران، حساسیت مدل $RegCM3$ را با طرح‌واره‌های بارش همرفتی مختلف بررسی کردند. آنها دو فصل زمستان کم‌بارش و پربارش را برای بررسی حساسیت مدل انتخاب کردند: زمستان ۱۳۷۶ به‌عنوان زمستان نسبتاً خشک و زمستان ۱۳۷۹ به‌عنوان فصل نسبتاً پربارش. در مطالعه آنها، تفاوت‌های اساسی بین بارش و دمای مدل با داده‌های واقعی و CRU آشکار گردید. براساس این مطالعه، طرح‌واره گرل با خطای تقریبی ۲۰ درصد، توانمندی خوبی برای پیش‌بینی بارش در کل کشور دارد (بابایان و همکاران، ۱۳۸۶، ۷۵-۷۲). مدیریان و همکاران با مطالعه موردی بارش‌های تابستانه سال ۱۹۹۵ نشان دادند که طرح‌واره امانوئل^۷ به‌خوبی از عهده شبیه‌سازی بارش‌های تابستانه جنوب شرق کشور برمی‌آید. همچنین مشخص شد که انتخاب صحیح مرکز اجرای مدل در افزایش توانایی شبیه‌سازی مدل دارای اهمیت بسزایی است. به‌طور مثال، هنگامی که مرکز اجرای مدل بر روی هیمالیا قرار گیرد، به‌خوبی می‌تواند پدیده‌های جوی همراه با پرفشار سیبری را شبیه‌سازی کند (بابایان و همکاران، ۱۳۸۶، ۴۲-۳۳ و مدیریان و همکاران، ۱۳۸۴، ۶۰-۵۶). سلطانزاده و همکاران نشان دادند که با حذف رشته‌کوه زاگرس در مدل $RegCM3$ ، میانگین بارش در مناطق مرکزی و شرق ایران افزایش می‌یابد، ولی میزان بارش در کل محدوده شبیه‌سازی شده تقریباً ثابت می‌ماند (سلطانزاده و همکاران، ۱۳۸۶، ۵۰-۳۱). جنکینز وضعیت دما و باد منطقه غرب آفریقا را در تابستان‌های سال ۱۹۸۸ و ۱۹۹۰ با استفاده از مدل $RegCM$ شبیه‌سازی کرد و با مقایسه آن با داده‌های مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مقیاس هوا^۸،

1. Regional Climate Model Version 3
2. Grell-AS (Arakawa-schubert)
3. Grell-FC (Fritsch-Chappel)
4. Bias
5. Climate Research Unit
6. Sea Surface Temperature
7. Emanuel
8. European Center for Medium-range Weather Forecast

(ECMWF) به وجود آریبی گرم بر روی خشکی و آریبی سرد بر روی مناطق گینه و ساحل پی‌برد - که در صورت استفاده از طرح‌واره گرل مقدار آن بیشتر می‌شد. در مطالعه مذکور، سرعت باد در تروپوسفر و لایه‌های بالایی مدل، دارای بیشترین انحراف مثبت بود. او همچنین دریافت که بر روی منطقه صحرا جریان‌های باد قوی مداری در نزدیک سطح زمین وجود دارد که بادهای شبیه‌سازی شده شرقی مدل، حدود ۲ متر بر ثانیه از مقادیر دیده‌بانی شده بیشتر بودند. در همین ناحیه، باد غربی سطوح فوقانی، به میزان ۲ متر بر ثانیه از باد واقعی بیشتر شده بود (Jenkins, 1997, 1255-1272). فرانسیسکو و همکاران با اجرای مدل RegCM بر روی فیلیپین، سامانه پیش‌آگاهی سیل را در این کشور ایجاد کردند. در این سامانه، داده‌های شرایط مرزی از یک مدل جهانی دریافت شده بودند و در مدل منطقه‌ای RegCM از آن استفاده شد. سپس داده‌های خروجی RegCM به‌عنوان داده‌های اولیه به یک مدل هیدرولوژی خورانده شد. پس از اجرای این مدل هیدرولوژی، پیش‌بینی‌های مربوط به جریان رواناب و سیلاب در حوضه‌های مختلف ارائه گردید (Francisco, 2003).

الگاندی^۱ و جورجی شبیه‌سازی‌هایی را با استفاده از مدل RegCM برای دوره ۱۹۹۰-۱۹۴۸ به‌منظور بررسی واکنش سطح دریای خزر به تغییرات اقلیمی انجام دادند. آنها تغییرات ارتفاع سطح دریای خزر را با استفاده از یک معادله ساده هیدرولوژی پیش‌بینی کردند. در این مطالعه مشخص شد که مدل به خوبی از عهده شبیه‌سازی تغییرات مشاهده‌شده سطح دریای خزر در مقیاس‌های میان‌سالانه تا دهه‌ای برمی‌آید و ضریب همبستگی بین تغییرات واقعی ارتفاع سطح دریای خزر با مقادیر مدل شده ۰/۹۱ به‌دست آمد (Elguindi & Giorgi, 2006, 167-181).

پال^۲ و همکاران (2007) توانمندی مدل اقلیمی RegCM را در شبیه‌سازی بارش و دمای دوره ۲۰۰۰-۱۹۸۷ در دو منطقه هندوستان و امریکای جنوبی (آمازون) که دارای بارش‌های سنگین مونسونی هستند، مورد بررسی قرار دادند. آنها خروجی بارش و دمای مدل را به ترتیب با داده‌های شبکه‌ای آنالیز پیش‌بینی‌های CPC^۳ (CMAP) و طرح ECMWF برای ۴۰ سال^۴ (ERA-40) مقایسه کردند. آنها دریافتند که به‌کارگیری طرح‌واره گرل در منطقه امریکای جنوبی موجب آریبی منفی بارش به میزان ۱۰ درصد در مقایسه با داده‌های CMAP می‌گردد، اما مدل می‌تواند الگوهای بارش این منطقه شامل هسته‌های بارشی بیشینه و کمینه را به خوبی مدل‌سازی کند. در این منطقه، دمای مدل‌سازی تا ۲ درجه سانتی‌گراد دارای آریبی مثبت بود. با به‌کارگیری طرح‌واره MIT توانمندی مدل در شبیه‌سازی بارش‌ها بهبود یافت. در شبه‌جزیره هندوستان، با وجود اینکه اکثر مدل‌های گردش عمومی جو نتوانسته‌اند الگوهای بارش این منطقه را مدل‌سازی کنند، مدل RegCM به خوبی توانسته است نواحی با بارش بیشینه را در این ناحیه مدل‌سازی کند. این مدل دمای میانگین دمای منطقه را با ۲ درجه سانتی‌گراد آریبی مثبت شبیه‌سازی کرد (Pal et al., 2007, 1396-1409).

ونگ و همکاران (Wang et al., 2002) بارش‌های سیل‌آسای تابستان سال ۱۹۹۸ چین را با استفاده از مدل RegCM شبیه‌سازی کردند و به مقایسه نتایج با آن داده‌های دیده‌بانی شده پرداختند. بیشترین خطای شبیه‌سازی بارش در طی سه ماه مه، ژوئن و ژوئیه مربوط به ماه مه با ۴۴ درصد آریبی مثبت در جنوب چین، ۲۰ درصد در حوضه رودخانه

1. Elguindi

2. Pal

3. CPC Merged Analysis of Precipitation

4. ECMWF Reanalysis Project-40 years

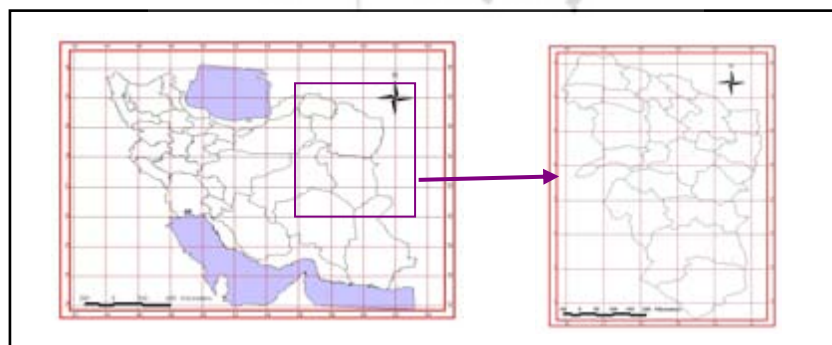
یانگ‌تسه و ۶۴ درصد در شمال چین محاسبه شد. همچنین مدل توانست روندهای دمای بیشینه و کمینه را در سه منطقه مذکور شبیه‌سازی کند، اما نتایج تا دو درجه سانتی‌گراد دارای اریبی منفی (سرد) بود (Wang et al., 2002, 1721).

اونول و همکاران (۲۰۰۹) نیز توانمندی مدل RegCM3 را بر روی کشورهای منطقه مدیترانه با به‌کارگیری طرح‌واره بارش کو^۱ سنجیدند. آنها دریافتند که میانگین دمای سالانه مدل شده به وسیله RegCM3 حدود ۲°C از داده‌های جهانی مقادیر واقعی دمای جهانی به صورت شبکه‌ای^۲ (CRU) بیشتر است. با توجه به اینکه بیشتر بارش‌های این منطقه در فصل زمستان و در طول سواحل و مناطق کوهستانی رخ می‌دهد، مقادیر بارش فصلی مدل، به‌ویژه در زمستان، در مناطق فوق دارای اریبی مثبت است. نتایج نشان می‌دهد که با توجه به رژیم بارشی، توپوگرافی و اقلیم منطقه، طرح‌واره کو نسبت به سایر طرح‌واره‌ها بارش کمتری را مدل می‌کند (Onol, 2009, 1944-1961).

در پژوهش حاضر، با توجه به نقش مهم بارش‌های پاییزه در تأمین منابع آب کشاورزی، صنعتی و شرب و همچنین به منظور شناسایی رفتار مدل اقلیمی RegCM3 و واسنجی آن برای مقاصد پیش‌بینی فصلی، بارش و دمای فصول پاییز دوره ۲۰۰۰-۱۹۹۱ با استفاده از مدل مذکور بر روی خراسان مدل‌سازی شد.

منطقه مورد مطالعه

ناحیه مورد مطالعه، منطقه خراسان شامل استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی است که محدود به عرض جغرافیایی ۳۱/۵ تا ۳۸ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ تا ۶۱ درجه شرقی می‌گردد. منطقه خراسان (شامل استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی) دارای شرایط اقلیمی نیمه‌مرطوب تا نیمه‌خشک و گاه خشک است و زمستان‌های سرد و طولانی و تابستان‌های متعادل دارد. بیشینه بارندگی آن در ارتفاعات هزارمسجد، کپه‌داغ، آلاداغ و بینالود مشاهده می‌شود، که میانگین سالانه آن به حدود ۴۰۰ میلی‌متر می‌رسد. در این منطقه هر سال بارش‌های شدیدی اتفاق می‌افتد، که منجر به جاری شدن سیل و وارد آمدن خسارت جانی و مالی فراوانی می‌شود. فصول پاییز و زمستان منشأ بارش‌های سامانه‌های کم‌فشار مدیترانه‌ای، کم‌فشار اروپای شرقی، کم‌فشار سودانی و الگوی بارش‌زای همراه با گسترش پرفشار سبیری بر روی دریای خزرند (حسین‌زاده، ۱۳۸۴، ۳۹-۳۳).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ناحیه مورد مطالعه شامل استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی

1. Kuo

2. Climate Research Unit

مواد و روش‌ها

مدل اقلیم منطقه‌ای RegCM3

در پژوهش حاضر، برای مدل‌سازی بارش و دمای پاییز کشور، از مدل اقلیمی RegCM3 استفاده شده است که جورجی و دیگران (1993, 2794-2813) آن را ارائه کردند و سپس جورجی و شلد (1999, 6353-6375) و پال (2000, 29579-29594) به شرح و بسط آن پرداختند. هسته دینامیکی مدل RegCM3 نشأت گرفته از معادلات هیدروستاتیکی با سامانه مختصات سیگماست. معادلات مورد استفاده در این مدل چنین است: معادلات اندازه حرکت افقی، معادلات پیوستگی و تغییرات فشار (σ) ، معادله ترمودینامیک، معادلات امگا (ω) و معادله هیدروستاتیک. معادلات اندازه حرکت افقی مورد استفاده در مدل مطابق فرمول‌های (۱) و (۲) است.

$$\frac{\partial p^* u}{\partial t} = -m^2 \left(\frac{\partial p^* u u / m}{\partial x} + \frac{\partial p^* v u / m}{\partial y} \right) - \frac{\partial p^* u \sigma}{\partial \sigma} - m p^* \left[\frac{R T_V}{(P^* + P_t / \sigma)} \frac{\partial p^*}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial x} \right] + f p^* v + F_H u + F_V u \quad (۱)$$

رابطه (۲)

$$\frac{\partial p^* v}{\partial t} = -m^2 \left(\frac{\partial p^* u v / m}{\partial x} + \frac{\partial p^* v v / m}{\partial y} \right) - \frac{\partial p^* v \sigma}{\partial \sigma} - m p^* \left[\frac{R T_V}{(P^* + P_t / \sigma)} \frac{\partial p^*}{\partial y} + \frac{\partial \phi}{\partial y} \right] - f p^* u + F_H v + F_V v$$

که در آن u و v به ترتیب مؤلفه‌های سرعت در جهت x و y ، T_v دمای مجازی، ϕ ارتفاع ژئوپتانسیل، f پارامتر کوریولیس، R ثابت گازها برای هوای خشک و m فاکتور مقیاس نقشه برای هر یک از سامانه‌های تصویر مرکاتور، لامبرت یا استریوگرافیک قطبی است. F_V و F_H تأثیرات افقی و عمودی انتشار را نشان می‌دهند. $P^* = P_s - P_t$ و $\dot{\sigma} = \frac{d\sigma}{dt}$ است، که در آن P_s ، P_t و σ به ترتیب فشار در بالاترین لایه، فشار سطح زمین و مختصه فشاری بی‌بعد است. توضیحات کاملی از سایر معادلات مورد استفاده در مدل در مقاله جورجی و همکاران آمده است.

این مدل از طرح‌واره بیوسفر - اتمسفر^۱ (BATS) برای مدل‌سازی فرایندهای سطحی استفاده می‌کند و طرح‌واره لایه مرزی آن براساس مفهوم پخش غیرمحل به‌وسیله هولسلاگ (1990, 1561-1575) ارائه شده است. مدل برای محاسبه تابش از طرح‌واره تابش مدل CCM3^۲ (Kiehl, 1996) استفاده می‌کند. تابش ابر برحسب درصد ابرناکی و میزان آب موجود در آن برآورد می‌گردد (Hsie, 1984, 1255-1272). بارش‌های همرفتی از طرح‌واره‌های شارش جرمی گریل (Grell, 1993, 764-787) با دو فرضیه AS و FC و همچنین از طرح‌واره‌های امانوئل و کو برای مدل‌سازی تشکیل ابر استفاده می‌کند.

در طرح‌واره گریل دو جریان همرفتی غالب برای ابر در نظر گرفته می‌شود: جریان صعودی و جریان نزولی. به جز جریان‌های مذکور، در هیچ جهتی بین ابر و هوای محیط اختلاطی رخ نمی‌دهد. شارش جرم نسبت به ارتفاع ثابت است و

1. Biosphere Atmosphere Transfer Scheme
2. Community Climate Model Version 3

در طول لبه‌های ابر نفوذ و خروج جریان هوا رخ نمی‌دهد. طرح‌واره گزل زمانی فعال می‌شود که بسته‌های صعود کرده، رطوبت لازم برای همرفت را به دست آورد (Grell, et al., 1994 & Giorgi, et al., 1989, 2325-2347).

در طرح‌واره کو، همرفت زمانی آغاز می‌شود که در یک ستون، همگرایی رطوبتی M از آستانه مشخصی بیشتر شود و ژرف‌سنجی عمودی، ناپایداری همرفتی را نشان دهد. کسر همگرایی رطوبت β ، ستون را مرطوب می‌کند و باقی‌مانده آن برطبق رابطه (۳) به بارش P^{cu} تبدیل می‌شود.

$$P^{cu} = M(1 - \beta) \quad \text{رابطه (۳)}$$

β کسری از میانگین رطوبت نسبی \overline{RH} در ژرف‌سنجی قائم است (Giorgi, 1991, 1171-1206). طرح‌واره کو برخلاف طرح‌واره گزل، علاوه بر دو جریان صعودی و نزولی، نفوذ و خروج جریان هوا در طول لبه‌های ابر را نیز در نظر می‌گیرد.

طرح‌واره امانوئل، یک معادله 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 فرایندهای کاتوره‌ای است. استفاده از این فرایندها موجب درک بهتر فرایند خردفیزیک تبدیل قطره‌های آب موجود در ابر به بارش می‌گردد (Betts, Hogan, et al., 2003, 667-691).

مدل RegCM دارای چهارگزینه مختلف سامانه تصویر شامل لامبرت^۱، استریوگرافی قطبی^۲، مرکاتور نرمال^۳ و مرکاتور چرخشی^۴ است، که در آن فاکتور مقیاس نقشه به صورت فاصله نقاط در شبکه محاسباتی به فاصله آنها در زمین تعریف می‌شود.

داده‌ها و دوره مورد مطالعه

به منظور ارزیابی توانمندی مدل RegCM3 و استفاده از آن در پیش‌بینی‌های فصلی و آزمون طرح‌واره‌های همرفتی مختلف برای مدل‌سازی بارش و دمای خراسان با هدف پیکربندی بهینه این مدل، یک دوره ده‌ساله شامل سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰ میلادی انتخاب گردید. مطالعات بر روی مدل‌سازی بارش فصل پاییز شامل ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر، متمرکز گردیدند.

داده‌های مورد استفاده واقعی، آمار ۱۵ ایستگاه سینوپتیک شامل مشهد، سبزوار، بیرجند، بجنورد، بشرویه، فردوس، قاین، قوچان، گلمکان، گناباد، کاشمر، خور، بیرجند، نیشابور، سرخس و تربت حیدریه در فاصله زمانی سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰ به صورت میانگین ماهانه بارش و دما را در برمی‌گیرند (سازمان هواشناسی کشور). داده‌های شرایط مرزی مدل RegCM3 شامل دما، ارتفاع ژئوپتانسیلی، سرعت قائم، فشار سطح زمین، فشار سطح متوسط دریا، رطوبت نسبی، سمت و سرعت باد، از گروه فیزیک هوا و اقلیم مرکز بین‌المللی فیزیک نظری عبدالسلام واقع در ICTP ایتالیا دریافت گردیدند.

1. Lambert Conformal
2. Polar Sterographic
3. Mercator Normal
4. Rotated Mercator

داده‌های دمای سطح متوسط دریا درون‌یابی بهینه دمای سطح دریا^۱ (OISST) و داده‌های پستی و بلندی^۲ و پوشش سطح زمین (GLCC 10MIN-BATS GTOPO30-10MIN) از سازمان اداره ملی جو و اقیانوس^۳ (NOAA) دریافت گردیدند. برای بررسی توانمندی مدل RegCM3 در شبیه‌سازی بارش و دما، نتایج حاصل از مدل علاوه بر مقایسه با داده‌های واقعی، به ترتیب با داده‌های آنالیز پیش‌بینی‌های (CMAP)CPC و مرکز ملی پیش‌بینی محیطی^۴ (NCEP) مقایسه شدند. داده‌های CMAP بارش جهانی هستند که مرکز پیش‌بینی اقلیمی^۵ (CPC) با تلفیق داده‌های واقعی بارش با داده‌های حاصل از برآورد بارش از طریق ماهواره‌ها و سایر سنجنده‌ها آنها را به دست آورده است و از داده‌های مرجع برای بررسی صحت مدل‌سازی و پیش‌بینی‌های بارش به‌شمار می‌آیند.

مدل با مرکزیت ۳۵°N و ۵۷°E، گام مکانی ۱۵ کیلومتر و گام زمانی ۴۵ ثانیه اجرا شد. برای شبیه‌سازی بارش و دمای پاییز، چهار طرح‌واره^۶ مختلف لحاظ گردیدند که شامل گرل با فرض آراکاوا - شوپرت (AS)، گرل با فرض فریتز - چاپل (FC)، امانوئل (EM) و کو (KU) هستند.

یافته‌های تحقیق

بارش

بارش فصول پاییز دوره ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰ به تفکیک ماه و فصل با استفاده از مدل RegCM3 شبیه‌سازی شد و از طریق رابطه (۴) اریبی فصلی آنها به‌طور مجزا برای چهار طرح‌واره^۶ گرل AS، گرل FC، امانوئل و کو نسبت به داده‌های واقعی و CMAP محاسبه گردید. همچنین با استفاده از رابطه (۵) خطای هر کدام از خروجی‌های مدل نسبت به داده‌های بارش واقعی و CMAP محاسبه شدند.

$$\text{Bias} = \sum_{i=1}^n \frac{P_m - P_o}{n} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\text{MAE} = \sum_{i=1}^n \frac{|P_m - P_o|}{n} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن P_m مقدار بارش مدل شده و P_o مقدار بارش دیده‌بانی شده و n تعداد مشاهده‌هاست. در جدول ۱ بارش دیده‌بانی شده استان و اریبی بارش‌های مدل شده به‌وسیله^۶ RegCM3 نسبت به داده‌های دیده‌بانی آورده شده است. میانگین بارش‌های ده‌ساله^۷ مدل نشان می‌دهند که RegCM3 به‌طور کلی دارای اریبی خشک در پیش‌بینی بارش است. لذا بارش‌ها را کمتر از مقدار واقعی پیش‌بینی می‌کند. در سال‌هایی که بارش میانگین استان کمتر از نرمال بوده است، تمامی طرح‌واره‌ها دارای اریبی خشک بارش هستند؛ اما در سال‌هایی که بارش بیش از نرمال، در برخی از طرح‌واره‌ها اریبی تر نیز دیده می‌شود. در دوره^۸ ده‌ساله^۹ مذکور کمترین اریبی ۱/۴- میلی‌متر مربوط به طرح‌واره کو در سال ۱۹۹۹ است.

1. Optimum Interpolation Sea Surface Temperature
2. Topography
3. National Oceanic and Atmospheric Administration
4. National Center for Environmental Prediction
5. Climate Prediction Center

بدترین پاسخ مدل‌سازی در طی سال‌های مورد مطالعه در طرح‌واره گزل AS با اریبی فصلی ۲۰۹/۹- در سال ۱۹۹۳ دیده می‌شود.

جدول ۱. مقایسه اریبی فصلی بارش مدل‌شده به وسیله RegCM3 با داده‌های دیده‌بانی‌شده خراسان (میلی‌متر)

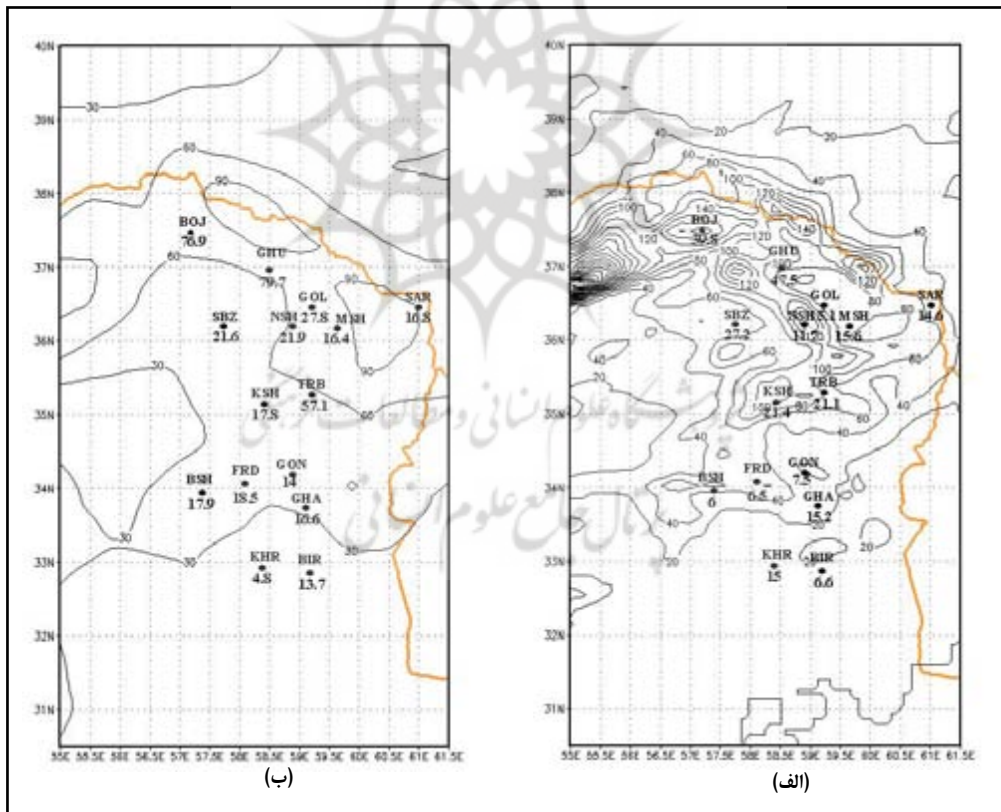
سال	بارش دیده‌بانی شده	آراکاو-شوبرت	امانوئل	فریتز-چاپل	کو
۱۹۹۱	۱۴۹/۲	-۱۴۸/۷	-۳۹/۱	-۳۹/۵	-۳۹/۱
۱۹۹۲	۶۵/۳	-۶۴/۱	-۳۹/۵	-۳۸/۵	-۳۷/۱
۱۹۹۳	۲۶۰/۸	-۲۰۹/۹	۱۹/۲	۱۶/۵	۲۰/۲
۱۹۹۴	۵۰۵/۶	۲۷/۴	۲۸/۲	۲۸/۵	۳۸/۵
۱۹۹۵	۲۲۴/۴	-۱۹/۷	-۲۴/۲	-۱۷/۳	-۱۲/۴
۱۹۹۶	۲۳۳/۹	-۱۶/۷	-۱۶/۲	-۱۲/۵	-۱۲/۳
۱۹۹۷	۷۵۲/۵	-۸/۲	۲/۲	-۳/۲	۱۸/۰
۱۹۹۸	۶۸/۹	-۳۵/۶	-۳۳/۲	-۳۴/۴	-۳۲/۹
۱۹۹۹	۴۲۱/۵	۶/۸	۵/۵	۸/۳	-۱/۴
۲۰۰۰	۵۹۵/۱	-۱۶/۴	-۱۳/۸	-۱۳/۲	-۱۳/۶
میانگین	۳۲۷/۷	-۵۱/۸	-۱۱/۱	-۱۰/۴	-۷/۱

در شکل ۲ بهترین (ب) و بدترین (الف) پاسخ مدل‌سازی بارش فصل پاییز به ترتیب مربوط به پاییز ۱۹۹۹ و ۱۹۹۳ آورده شده است. خطوط ممتد، مقادیر بارش مدل شده را نشان می‌دهند و مقادیر پلات شده در زیر نام ایستگاه بارش واقعی را نشان می‌دهند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در حالی که بیشترین بارش واقعی پاییز ۱۹۹۳ در شکل ۲-الف در حد ۵۰ میلی‌متر در شمال استان است، مدل آن را تا ۱۶۰ میلی‌متر برآورد کرده است. در شکل ۲-ب بارش واقعی و مدل‌شده سال ۱۹۹۳ دیده می‌شود. مدل مذکور توانسته است منطقه هم‌بارش بیشینه شمال استان را به خوبی مدل کند. اگرچه مدل نتوانسته است پیک (اوج) بارش منطقه تربت حیدریه را مدل کند، اما گسترش منطقه پرباران شمالی به سمت تربت حیدریه را به خوبی نشان می‌دهد. علاوه بر مقایسه داده‌های مدل RegCM3 با داده‌های واقعی، آنها با داده‌های CMAP نیز مقایسه شدند. نتایج این مقایسه نشان می‌دهد که در دوره ده‌ساله مورد مطالعه، کمترین اریبی فصلی به میزان ۰/۲- میلی‌متر در طرح‌واره امانوئل در سال ۱۹۹۵ رخ داده است. بیشینه اریبی این دوره مربوط به طرح‌واره کو با اریبی فصلی ۷۲ میلی‌متر در سال ۱۹۹۴ بوده است (جدول ۲).

خطای مطلق میانگین داده‌های مدل‌سازی بارش نسبت به مقادیر دیده‌بانی محاسبه شد، کمترین خطای مطلق میانگین ماهانه در دوره ده‌ساله ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰، مربوط به طرح‌واره گزل AS به میزان ۳/۲ میلی‌متر در سال ۱۹۹۷ است. در طی همین مدت، کمترین خطای فصلی مربوط به طرح‌واره کو به میزان ۱/۴ میلی‌متر در سال ۱۹۹۹ است. به‌طور کلی از دیدگاه کمترین خطای مطلق میانگین، مطلوب‌ترین پاسخ مدل‌سازی بارش در طرح‌واره گزل FC و از دیدگاه کمترین اریبی، طرح‌واره کو از سایر طرح‌واره‌ها مناسب‌تر است. مقایسه داده‌های مدل‌شده با داده‌های CMAP نشان می‌دهد که طرح‌واره امانوئل کمترین اریبی را دارد.

جدول ۲. مقایسه اریبی فصلی بارش مدل شده به وسیله RegCM3 با داده‌های CMAP خراسان (میلی‌متر)

سال	آراکاو-شوبرت	فریتز-چاپل	امانویل	کو
۱۹۹۱	-۳/۵	-۹/۹	-۳/۳	-۴/۰
۱۹۹۲	-۱/۲	-۲/۵	-۱/۰	-۰/۷
۱۹۹۳	۳۰/۸	۶۹/۱	۵/۰	۵۲/۶
۱۹۹۴	۴۵/۸	۴۶/۲	۳۹/۷	۷۲/۲
۱۹۹۵	۰/۸	-۶/۸	-۰/۲	۶/۶
۱۹۹۶	۱۶/۶	۱۵/۰	۱۶/۴	۲۲/۴
۱۹۹۷	۱۹/۰	۲۹/۳	۱۹/۸	۵۳/۱
۱۹۹۸	-۵/۲	-۴/۷	-۴/۹	-۳/۴
۱۹۹۹	۲۵/۶	۲۳/۴	۲۶/۲	۲۸/۹
۲۰۰۰	-۶/۱	-۴/۴	-۴/۸	۲/۶
میانگین	۱۲/۴	۱۵/۳	۹/۳	۲۳/۱



شکل ۲. مقایسه بارش مدل شده به وسیله مدل RegCM3 (خطوط ممتد) با بارش‌های واقعی (مقادیر پلات شده در زیر هر ایستگاه) (الف) بدترین پاسخ مدل مربوط به پاییز ۱۹۹۳ با طرح‌واره گرل AS. (ب) بهترین پاسخ مدل شده مربوط به پاییز ۱۹۹۹ با طرح‌واره کو. نام ایستگاه‌ها به اختصار با کد سه حرفی نشان داده شده است (مشهد: MSH، نیشابور: NSH، سبزوار: SBZ، بجنورد: BOJ، بیرجند BIR و ...)

دما

دمای میانگین ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰ با استفاده از مدل RegCM3 شبیه‌سازی شدند. در هر سال، چهار بار مدل RegCM3 با طرح‌واره‌های مختلف گرل AS، گرل FC، امانوئل و کو اجرا گردید. سپس مقادیر به‌دست آمده با داده‌های واقعی خراسان در ماه‌های مورد مطالعه مقایسه شد و اریبی و خطای مطلق آنها محاسبه گردید. همچنین آنها با داده‌های دمای مرکز NCEP نیز مقایسه شد، که نتایج آنها در ادامه آورده می‌شود.

برای بررسی توانمندی مدل در شبیه‌سازی دما، در ابتدا داده‌ها با مقادیر دیده‌بانی شده مقایسه شدند و میزان اریبی فصلی مطابق رابطه (۳) محاسبه شد (جدول ۳). ملاحظه می‌شود که مدل‌سازی دما در مقایسه با بارش بسیار بهتر است. هر چند کمترین اریبی فصلی به میزان $0/1-$ درجه سانتی‌گراد در سال ۱۹۹۹ در طرح‌واره امانوئل رخ داده است، اما به‌طور کلی طرح‌واره گرل FC و طرح‌واره امانوئل با میانگین اریبی فصلی $1/1-$ درجه سانتی‌گراد، بهترین پاسخ را در بین چهار طرح‌واره مورد بررسی دارند. بررسی میانگین‌های پیش‌بینی شده نشان می‌دهد که پیش‌بینی مدل دارای بایاس سرد است. اریبی دمای مدل‌سازی شده نسبت به داده‌های واقعی و همچنین دمای مرکز NCEP محاسبه شد. در دوره ده‌ساله مذکور، کمترین اریبی فصلی به میزان $3/3-$ سانتی‌گراد در طرح‌واره گرل FC در سال ۱۹۹۴ دیده شد و بدترین پاسخ مدل‌سازی در طی سال‌های مورد مطالعه در طرح‌واره‌های کو و امانوئل با اریبی فصلی مشابه $7/12-$ میلی‌متر در سال ۱۹۹۱ رخ داد (جدول ۴).

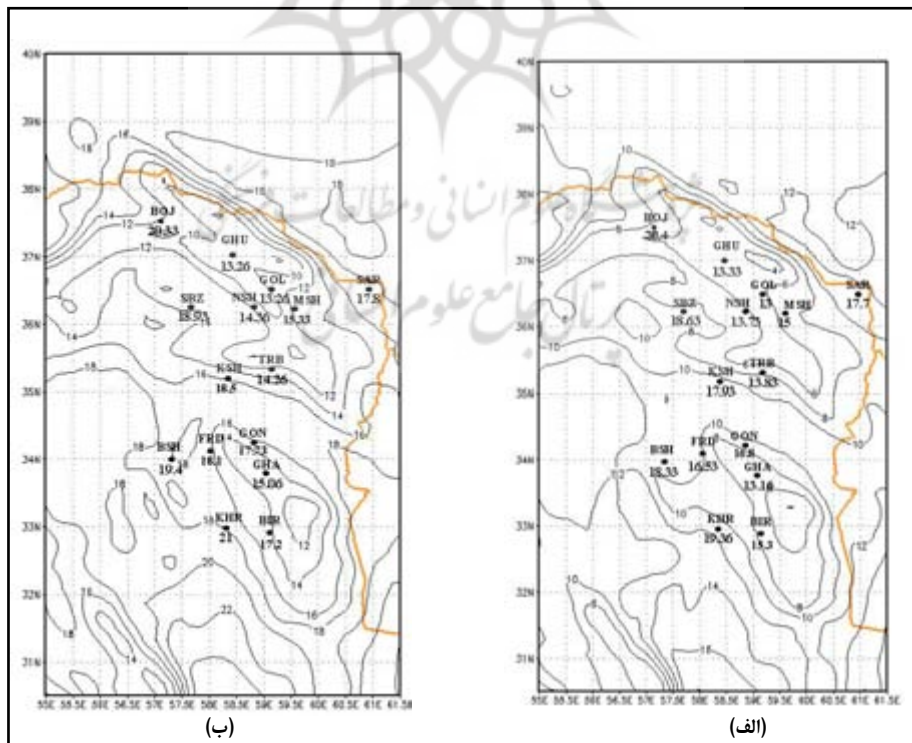
جدول ۳. مقایسه اریبی فصلی دمای مدل‌شده داده‌های RegCM3 با داده‌های دیده‌بانی شده (درجه سانتی‌گراد)

سال	دیده‌بانی شده	آراکوا-شوبرت	امانوئل	فریتز-چاپل	کو
۱۹۹۱	۱۶/۲	-۴/۶	-۵/۲	-۵/۴	-۵/۴
۱۹۹۲	۱۶/۱	-۴/۷	-۵/۳	-۴/۷	-۵/۰
۱۹۹۳	۹/۲	۰/۱	۰/۵	۰/۲	۰/۱
۱۹۹۴	۱۳/۴	-۰/۳	۰/۲	-۰/۳	-۰/۶
۱۹۹۵	۱۲/۱	-۰/۶	-۰/۲	-۰/۵	-۰/۸
۱۹۹۶	۹/۱	-۰/۷	-۰/۶	-۰/۷	-۱/۰
۱۹۹۷	۹/۷	۰/۴	۰/۶	۰/۴	-۲/۲
۱۹۹۸	۱۲/۹	-۰/۶	-۰/۴	-۰/۶	-۰/۷
۱۹۹۹	۹/۸	-۰/۶	-۰/۱	۲/۳	-۲/۰
۲۰۰۰	۸/۹	-۰/۷	-۰/۶	-۲/۰	-۰/۴
میانگین	۱۱/۷	-۱/۲	-۱/۱	-۱/۱	-۱/۸

جدول ۴. مقایسه اریبی فصلی دمای مدل شده به وسیله RegCM3 با داده‌های NCEP خراسان (میلی‌متر)

سال	آراکاو-شوبرت	فریتز-چاپل	امانوئل	کو
۱۹۹۱	-۱۲/۰	-۱۲/۵	-۱۲/۷	-۱۲/۷
۱۹۹۲	-۱۰/۲	-۱۰/۷	-۱۰/۲	-۱۰/۴
۱۹۹۳	-۹/۱	-۸/۷	-۹/۰	-۹/۱
۱۹۹۴	-۴/۸	-۴/۳	-۴/۸	-۵/۱
۱۹۹۵	-۷/۶	-۷/۲	-۷/۶	-۷/۸
۱۹۹۶	-۱۰/۰	-۹/۹	-۹/۹	-۱۰/۲
۱۹۹۷	-۷/۰	-۶/۸	-۷/۰	-۹/۷
۱۹۹۸	-۷/۷	-۷/۴	-۷/۷	-۷/۸
۱۹۹۹	-۸/۰	-۷/۵	-۵/۱	-۹/۴
۲۰۰۰	-۹/۴	-۹/۳	-۱۰/۷	-۹/۱
میانگین	-۸/۶	-۸/۴	-۸/۵	-۹/۱

خطای مطلق میانگین ماهانه و فصلی دمای مدل شده نسبت به داده‌های واقعی محاسبه گردید (در جدول نیامده است). کمترین خطای مطلق ماهانه و فصلی در طی دوره ده‌ساله مورد مطالعه، به ترتیب مربوط به طرح‌واره‌های امانوئل به میزان ۰/۲ و طرح‌واره کو به میزان ۲ درجه سانتی‌گراد بوده است. در سرتاسر دوره ده‌ساله، کمترین خطای مطلق میانگین در طرح‌واره گرل AS به ترتیب با خطای مطلق میانگین ۱/۵ و ۵/۵ درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۳. مقایسه بارش مدل شده به وسیله مدل RegCM3 (خطوط ممتد) با بارش‌های واقعی (مقادیر پلات شده در زیر هر ایستگاه) (الف) بدترین پاسخ مدل مربوط به پاییز ۱۹۹۱ با طرح‌واره کو. (ب) بهترین پاسخ مدل شده مربوط به پاییز ۱۹۹۹ با طرح‌واره امانوئل. نام ایستگاه‌ها به اختصار با کد سه حرفی نشان داده شده است (مشهد: MSH، نیشابور NSH، سبزوار: SBZ، بجنورد: BOJ، بیرجند: BIR و ...)

در شکل ۳ بهترین و بدترین پاسخ در مدل‌سازی دما، به ترتیب مربوط به پاییز ۱۹۹۹ و ۱۹۹۱ آورده شده است. فصل پاییز ۱۹۹۱ با اریبی تقریبی 5°C (شکل ۲- الف) دارای بیشترین اریبی بوده است. با وجود خطای زیاد، مدل توانسته است هسته‌های سرد دمایی را روی شهرستان‌های قوچان، مشهد، تربت حیدریه و قائن به‌خوبی مدل‌سازی کند. در شکل ۳- ب دمای واقعی و مدل‌سازی شده نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که مدل علاوه بر اینکه توانسته است هسته‌های سرد واقع بر روی مناطق شمال مرکزی استان و شهرستان قائن را به‌خوبی مدل‌سازی کند، از لحاظ مقدار دمای پیش‌بینی شده نیز دارای کمترین اریبی در طول سال‌های مدل‌سازی است.

بنابراین در ارزیابی کلی توانمندی مدل RegCM3 در مدل‌سازی دما، می‌توان گفت طرح‌واره گول FC کمترین اریبی را نسبت به داده‌های واقعی و داده‌های مرکز NCEP دارد، اما کمترین خطای مطلق میانگین در طرح‌واره گول AS دیده می‌شود. بنابراین استفاده از طرح‌واره‌های گول برای مدل‌سازی دما مناسب‌تر است.

نتیجه‌گیری

در مدل‌سازی بارش، کمترین میانگین اریبی فصلی در طرح‌واره کو به میزان $7/1$ میلی‌متر و بیشترین آن در طرح‌واره گول AS به میزان $51/8$ میلی‌متر طی ده سال مدل‌سازی مشاهده گردید - که با یافته‌های اونول و همکاران (2009) هماهنگی دارد. کمترین خطای مطلق میانگین در طرح‌واره گول FC، $21/3$ میلی‌متر و بیشترین آن $55/4$ میلی‌متر مدل شده است. مقایسه داده‌های مدل با داده‌های CMAP نشان می‌دهد که طرح‌واره امانوئل دارای کمترین اریبی و طرح‌واره کو دارای بیشترین اریبی در بین چهار طرح‌واره مورد مطالعه است. بنابراین به‌طور کلی کمترین خطای مطلق میانگین بارش نسبت به داده‌های واقعی در طرح‌واره گول FC و کمترین اریبی در طرح‌واره کو رخ می‌دهد. اما در مقایسه با داده‌های CMAP، کمترین اریبی در طرح‌واره امانوئل ملاحظه می‌گردد. در مدل‌سازی دمای فصل پاییز، کمترین اریبی فصلی به میزان $1/1$ - درجه سانتی‌گراد در طرح‌واره گول FC رخ می‌دهد. این در حالی است که کمترین خطای مطلق میانگین در کل دوره ده‌ساله مربوط به طرح‌واره گول AS است. همچنین در مقایسه با داده‌های مرکز NCEP کمترین اریبی در طرح‌واره گول FC دیده می‌شود. نکته حائز اهمیت در مدل‌سازی دما، وجود الگوهای کم‌وبیش مشابه در تمام الگوهای فصلی و پیش‌بینی دماست. به عبارت ساده، در پیش‌بینی‌های مدل RegCM الگوی توزیع دوره آماری دما تا حدودی ثابت می‌ماند.

بنابراین، از دیدگاه کمترین اریبی می‌توان گفت توانمندی طرح‌واره کو برای شبیه‌سازی بارش و طرح‌واره گول FC برای شبیه‌سازی دمای فصل پاییز مناسب‌اند، و از دیدگاه کمترین خطای مطلق میانگین، برای مدل‌سازی بارش، طرح‌واره گول FC و برای مدل‌سازی دما، طرح‌واره گول AS مناسب‌اند. سرانجام اینکه در هر دو زمینه پیش‌بینی‌های بارش و دما، مدل در آغاز دوره پیش‌بینی دارای بیشترین خطا و اریبی است، که ناشی از در نظر نگرفتن زمان سازگاری و تنظیم^۱ مدل است. زمان تنظیم، مدت زمان لازم برای تنظیم داده‌های شرایط مرزی و اولیه مدل، متناسب با شرایط اقلیمی منطقه

است. علاوه بر خطای مذکور، با توجه به شرایط اقلیمی و توپوگرافی، مناطق مختلف کره زمین با طرح‌واره‌های بارشی مختلفی هماهنگ و سازگارند، که چند نمونه از آنها در بخش مقدمه آورده شد. از این رو لازم است پژوهشگران کشورمان با مدل‌سازی بارش مناطق اقلیمی مختلف کشور، مناسب‌ترین طرح‌واره‌ها را برای هر منطقه مشخص سازند. از جمله مطالعات از این دست می‌توان به کار تحقیقی اونول و همکاران (2009) و مدیریان و همکاران (۱۳۸۴) اشاره کرد. در دو پژوهش یاد شده، با توجه به تفاوت‌های موجود بین رژیم بارشی حوضه مدیترانه و جنوب شرق کشورمان، برای هر کدام از دو منطقه مذکور طرح‌واره بارشی متفاوتی (به ترتیب طرح‌واره کو و امانوئل) مورد استفاده قرار گرفته است.

سپاس‌گزاری

این مقاله از پروژه «بررسی و شبیه‌سازی بارش‌های فصلی خراسان با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3 در دوره ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰» استخراج شده، که با حمایت مالی پژوهشکده اقلیم‌شناسی، مرکز ملی اقلیم و اداره کل هواشناسی خراسان رضوی به اجرا درآمده است. نویسندگان مقاله بدین وسیله مراتب تشکر و قدردانی خود را از مسئولان مراکز مذکور به عمل می‌آورند.

منابع

- Azadi, M., Singh G.P., and Mohandas, S., 2003, **Impact of SST in the REGCM on the Spring Rainfall over Middle East Asia**, ICTP Workshop on the Theory and Use of Regional Climate Models, Trieste Italy.
- Babaeian I., Modirian, R. & Karimian, M., 2007, **Sensitivity Analysis of Different Convection Schemes and Center Domains for Numerical Simulation of Winter Precipitation over Iran**, Journal of Aerospace Science and Technology Vol. 4, No. 2. PP. 33-42.
- Betts, A., 1986, **A New Convective Adjustment Scheme**, Part I: Observational and Theoretical Basis, 112, 667-691.
- Elguindi, N., Giorgi, F., 2006, **Simulating Multi-decadal Variability of Caspian Sea Level Changes Using Regional Climate Model Outputs**, Climate Dynamics, Vol. 26, PP. 167-181.
- 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.
- Giorgi, F., Bates, G., 1989, **The Climatological Skill of a Regional Model Over Complex Terrain**, Monthly Weather Review, 2325-2347.
- Giorgi, F., and Marinucci, 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, 1171-1206.
- Giorgi, F., Marinucci, M. & Betes, G., 1993a, **Development of a Second Generation Regional Climate Model (regcm2) i: Boundary Layer and Radiative Transfer Processes**,

- Monthly Weather Review 121, PP. 2794-2813.
- Giorgi, F., Marinucci, M. & Betes, G. & DeCanio, G., 1993b, **Development of a Second Generation Regional Climate Model (regcm2) ii: Convective Processes and Assimilation of Lateral Boundary Conditions**, Monthly Weather Review 121, PP. 2814-2832.
- Giorgi, F., Shields C., 1999, **Tests of Precipitation Parameterizations (Regcm) Over the Continental United States**, J Geophys Res 104(D6), PP. 6353-6375.
- 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.
- Grell, G., 1993, **Prognostic Evaluation of Assumption Used by Cumulus Parameterization**, Monthly Weather Review 121, PP. 764-787.
- Holtlag, A., de Bruijn, E. & Pan, H.-L., 1990, **A High Resolution Air Mass Transformation Model for Short-range Weather Forecasting**, Monthly Weather Rev 118, PP. 1561-1575.
- Hogan, T.F., Goerss, J.S., 2003, **A Brief Description of the Emanuel Convection Parameterization**, in NOGAPS and ITS Impact.
- Hsie, E., Anthes, R. and Keyser, D., 1984, **Numerical Simulation of Frontogenesis in a Moist Atmosphere**, Journal of Atmospheric Sciences, PP. 2581-2594.
- Jenkins G.S., 1997, **The 1988 and 1990 Summer Season Simulation for West Africa Using a Regional Climate Model**, Journal of Climate, Vol. 10, PP. 1255-1272.
- Kiehl, J., Hack, J., Bonan, G., Boville, B., Breigleb, B., Williamson, D. & Rasch, P., 1996, **Description of the Ncar Community Climate Model (ccm3)**, Technical report, NCAR/TN-420+STR, National Center for Atmospheric Research.
- Pal, J., Small, E. & Eltahir, E., 2000, **Simulation of Regional-scale Water and Energy Budgets: Representation of Subgrid Cloud and Precipitation Processes Within Regcm**, Journal of Geophysical Research-Atmospheres 105, PP. 29579-29594.
- Pal J., Giorgi F., Bi X., Elguindi N., Salmon F., Gao X., Rauscher S. A., Francisco R., Zakey A., Winter J., Ashfagh M., Syed F. S., Bell J., Diffenbaugh, J. K., Konare A., Martinez D., Rocha R. P., Sloan L. and Steiner A., 2007, **Regional Climate Modeling for the Developing World, the ICTP and RegCNET**, Bulletin of American meteorological society, Nov. 2007, PP 1396 - 1409.
- Wang Y., Sen O.L., Wang B., 2002, **A Highly Resolved Regional Climate Model and its Simulation of the 1998 Sever Precipitation Event over China, Part 1: Model Description and Verification of Simulation**, Jurnal of Climate, Vol. 19, PP. 1721.

<http://users.ictp.it/~pubregcm/RegCM3/globedat.htm>