

M. Karimian  
I. Babaeian  
R. Modiryan

مریم کریمیان، گروه پژوهشی تغییر اقلیم، پژوهشکده اقلیم شناسی سازمان هواشناسی کشور  
ایمان بابائیان، گروه پژوهشی تغییر اقلیم، پژوهشکده اقلیم شناسی سازمان هواشناسی کشور  
راهله مدیریان، گروه پژوهشی تغییر اقلیم، پژوهشکده اقلیم شناسی سازمان هواشناسی کشور

E.mail: mkarimiyan59@yahoo.com

شماره مقاله: ۷۹۱

شماره صفحه پیاپی ۱۶۴۱۱-۱۶۴۳۰

## بررسی توانمندی مدل اقلیمی RegCM3<sup>۱</sup> در مدل سازی بارش و دمای استان خراسان

مطالعه موردی: زمستان های دوره ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰

### چکیده

در این مقاله، با استفاده از چهار طرحواره شکل گیری ابر، شامل گره FC، گره AS، امانوئل و کو، نسخه دارای قابلیت آشیانه سازی<sup>۲</sup> مدل اقلیمی RegCM3 ارزیابی گردید و توانمندی آن در شبیه سازی بارش و دمای فصلی و ماهانه خراسان تجزیه و تحلیل شد. بدین منظور ۴۰ آزمایش کنترلی با استفاده از داده های آنالیز مجدد NNRP1 برای فصول زمستان سال های ۱۹۹۱-۲۰۰۰ بر روی استان خراسان طراحی شد. خطای هر کدام از مدل سازی ها از طریق مقایسه با داده های بارش CMAP، دمای NCEP و داده های دیدبانی شده به دست آمد. به منظور برآورد توانمندی مدل، اریبی و خطای مطلق میانگین داده ها به صورت ماهانه و فصلی محاسبه شدند. نتایج نشان می دهند که در بین چهار طرحواره مورد بررسی، اریبی ماهانه و فصلی طرحواره های گره FC و گره AS، به ترتیب با مقادیر ۲/۱ و ۱- میلی متر در مقایسه با بارش دیدبانی شده، از سایرین کمتر است. در بخش مدل سازی دما، با مقایسه داده های مدل شده و دیدبانی، ملاحظه می شود که طرحواره امانوئل، به ترتیب با مقادیر ۰/۸- و ۰/۷ درجه سانتیگراد کمترین اریبی ماهانه و

---

1. Regional Climate Model Version 3.  
2. nesting

فصلی را نسبت به سایر طرحواره‌ها دارد؛ ضمن اینکه بیشترین آریبی مربوط به طرحواره‌های گرل است. نتایج این مطالعات می‌تواند در طراحی مدل اقلیمی برای پیش بینی فصلی کشورمان استفاده شود.

**واژه‌های کلیدی:** مدل اقلیمی RegCM3، طرحواره ابر، واسنجی، خراسان، زمستان.

### مقدمه

مدل‌های اقلیم منطقه‌ای برای ریز مقیاس نمایی دینامیکی سناریوهای اقلیمی و پیش بینی فصلی در نواحی مختلف کره زمین به کار گرفته می‌شوند. در چند سال اخیر، روش مدل‌سازی یکسویه<sup>۳</sup> در مطالعه اقلیم و اثرات تغییر اقلیم استفاده می‌شود. در این روش، خروجی مدل‌های GCM<sup>۴</sup> به‌عنوان شرایط مرزی و اولیه در مدل اقلیم منطقه‌ای RegCM3<sup>۵</sup> برای ریز مقیاس نمایی استفاده می‌شود. در این زمینه، مطالعات قابل توجهی در سطح کشور و سایر مراکز علمی جهان صورت گرفته که در ادامه به اختصار به مهمترین آنها اشاره می‌شود. احمدی گیوی و همکاران ساختار داخلی مدل RegCM، تأثیر کوهستان‌ها و کاربری اراضی بر مدل‌سازی اقلیم ایران و تأثیر طرحواره زیر شبکه‌ای BATS<sup>۶</sup> را با استفاده از اقلیم منطقه‌ای RegCM مطالعه کردند. براساس مطالعات ایشان، طرحواره SUB-BAST<sup>۷</sup> بیشترین تأثیر خود را در نواحی کوهستانی دارد و نتایج اجرای مدل در زمستان الگوی قابل قبولی را خصوصاً در ارتفاعات، برای دما نشان می‌دهد. نتایج مدل‌سازی فصل زمستان آریبی سردی را نسبت به مشاهدات نشان می‌دهد و پیش‌بینی حداقل دما در ارتفاعات شمال شرق ترکیه به نتایج مشاهده شده بسیار نزدیک است. وضعیت پیش‌بینی دما برای فصل تابستان در هر دو حالت اجرای مرجع و طرحواره زیر شبکه بهتر از نتایج فصل زمستان است. با پارامتره نمودن دما در طرحواره SUB-

3. One way nesting

4 General Circulation Model

5. Regional Climate Model version3

6. Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme

7.Sub grid scale Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme

BAST، میدان دمایی منطقه در اجرای زیر شبکه‌ای تا حدودی بهبود می‌یابد، ولی در مورد بارش این‌گونه نیست. با در نظر داشتن تاثیر بارش‌های فرارفتی در فصول گرم و ماهیت آنها و تأثیر مثبت بهبود ورودی‌های توپوگرافی به آن، در فصل تابستان انتظار مدل‌سازی بهتر بارش از اجرای حالت زیر شبکه‌ای وجود دارد، در حالی که طبیعت کم باران فصول گرم در منطقه امکان بررسی این نحوه اثر را دشوار می‌سازد (ایران نژاد و همکاران، ۱۳۸۳: ۲۳ و احمدی گیوی و همکاران، ۱۳۸۳: ۳۴).

دش و همکاران، مونسون تابستانه هند را با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3 شبیه‌سازی نمودند. آنها توانمندی مدل RegCM3 را برای مدل‌سازی چرخش‌های مونسونی منطقه هندوستان ارزیابی نمودند. در مطالعه آنان دوره زمانی آوریل تا سپتامبر سال‌های ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۶ و قدرت تفکیک افقی مدل ۵۵ کیلومتر در نظر گرفته شد. آنها باد لایه‌های ۸۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌بار، دما در سطح ۵۰۰ میلی‌بار، فشار سطح زمین و بارش مدل شده را ارزیابی کردند. برای ارزیابی‌های مورد نظر دو طرحواره همرفتی کو و شار جرمی در نظر گرفته شد. جریان‌های باد با داده‌های NCEP/NCAR<sup>۸</sup> و بارش با داده‌های واقعی مقایسه شدند. ارزیابی باد و دما نشان می‌دهد که استفاده از طرحواره گول نتایجی شبیه به داده‌های NCEP/NCAR را ارائه می‌دهد. همچنین، با همین طرحواره داده‌های مدل با واقعیت تطابق خوبی دارند. برای صحت‌سنجی نتایج مدل نسبت به تغییرات سطح زمین، مانند پوشش برف منطقه تبت، آزمایش‌هایی با استفاده از داده‌های ماهواره نیمبوس ۷ به‌عنوان شرایط مرزی و اولیه مدل صورت گرفت که نتایج حاکی از حساسیت بسیار زیاد مدل نسبت به عمق برف منطقه تبت است. براساس نتایج این پژوهش، اگر برفی به اندازه ۱۰ سانتی‌متر روی تبت وجود داشته باشد، چرخش‌های مونسونی و میزان بارش همراه آن به میزان ۳۰ درصد کمتر از مقادیر دیدبانی خواهد بود (Dash et al, 2006: 161-172). بابائیان و همکاران وضعیت بارش فصل زمستان سال‌های ۱۹۹۷ و ۲۰۰۰ به‌عنوان دو فصل تر و خشک را توسط مدل RegCM3 ارزیابی نمودند. برای این کار آنها

آزمایش‌هایی را در دو گروه مختلف با طرحواره‌های مختلف، شامل کو، گرل FC، گرل AS<sup>۱</sup> و امانوئل و همچنین با مراکز مختلف شامل ایران، مدیترانه، هند و هیمالیا برای دو فصل مختلف انجام دادند. چهار نکته حایز اهمیت در مطالعات آنها وجود دارد: اینکه هوشمندی خاصی در پیش‌بینی‌های مدل در خصوص سیستم‌های سینوپتیکی وجود دارد؛ به این معنی که اگر سامانه غالب فصل یک سیستم پرفشار سیبری باشد، در آن صورت جابه‌جایی شرقسوی مرکز مدل می‌تواند پاسخ مناسبی را ارائه نماید؛ دوم اینکه در ماه‌های دسامبر به دلیل حاکمیت پرفشار سیبری، جابه‌جایی مرکز مدل به سمت شرق پاسخ‌های آن را به واقعیت نزدیکتر می‌کند و در ماه فوریه به دلیل حاکمیت سیستم‌های غربی پاسخ‌های مدل با مرکزیت مدیترانه و ایران به واقعیت نزدیکتر است و به‌طور کلی، طرحواره‌های بارش همرفتی با اولویت Grell-AS, Grell-FC برای منطقه ما مناسب هستند، اما برای مدل سازی بارش همرفتی و مونسونی طرحواره امانوئل مناسب است و در نهایت اینکه در پیش‌بینی‌های حاشیه دریای خزر، الگوی بارش جابه‌جایی شرقسو دارد. با توجه به اقلیم و توپوگرافی پیچیده کشورمان، نویسندگان مقاله توصیه کرده‌اند که برای هر منطقه طرحواره و مرکزیت مناسب آن منطقه اعمال شود (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۶: ۵۵-۷۲ و بابائیان و همکاران، ۲۰۰۷: ۳۳-۴۲).

پال و همکاران در مقاله‌ای با عنوان «پیشرفت‌ها در آخرین نسخه مدل منطقه‌ای RegCM» قابلیت‌های جدید مدل مذکور را بیان کردند که مهمترین آنها امکان استفاده از خروجی مدل‌های GCM به عنوان داده‌های اولیه و ارائه کد موازی این مدل برای کوچک مقیاس نمودن و صدور پیش‌بینی اقلیمی است. همچنین، وجود کد موازی، موجب استفاده از مدل برای اجرا بر روی سیستم‌های موازی می‌شود که باعث افزایش قدرت پردازش و سرعت پیش‌بینی‌های فصلی می‌گردد (Pal et al, 2003).

---

9. Fritsch and chappell  
10. Arakawa and schubert

## مواد و روش‌ها

### – مدل اقلیم منطقه ای RegCM3

مدل مورد استفاده در این مقاله، نسخه سوم مدل اقلیم منطقه‌ای مرکز فیزیک نظری عبدالسلام (RegCM3) است. این مدل از معادلات هیدروستاتیک استفاده می‌کند و سیستم مختصات آن، همانند مدل هواشناسی میان مقیاس MM4، سیگما است (Anthes et al, 1987: 66 & Pal et al, 2006: 229-246). قدرت تفکیک قائم مدل شامل ۱۸ سطح است که ۷ سطح آن زیر لایه ۸۰۰ هکتو پاسکال قرار دارد. پرمایش<sup>۱۱</sup> تابش مدل مشابه مدل CCM3<sup>۱۲</sup> است (Kiehl et al, 1996: 152). مبادله انرژی، رطوبت، اندازه حرکت بین سطح زمین و اتمسفر با استفاده از مدل BATS1E محاسبه می‌شود (Dickinson et al, 1993: 72). RegCM3 از طرحواره لایه مرزی سیاره‌ای که توسط هالتسلاگ و همکارانش تدوین شده، استفاده می‌کند (Holtslag et al, 1990). بارش همرفتی با استفاده از یکی از چهار طرحواره گریل AS، گریل FC، کو اصلاح یافته و امانوئل محاسبه می‌شود (Grell, 1993: 764-787 و Arakawa and Schubert, 2003 Hogan et al, 1974: 674-701 و Betts, 1986: 667-691 و Rauscher et al, 2005: 229-246 و Rauscher et al, 2006: 2642-2656). طرحواره شار سطحی اقیانوس، BATS1E است که شار گرمای نهان روی اقیانوس در شرایط باد ضعیف یا قوی را تخمین می‌زند. بارش‌های زیر شبکه‌ای با طرحواره رطوبت زیر شبکه‌ای SUBEX بررسی می‌شوند (Pal et al, 2000: 29579-29594).

### – داده‌های ورودی

مدل RegCM3 برای اجرا، به داده‌های توپوگرافی، پوشش سطح زمین، دمای سطح دریا و شرایط اولیه و مرزی نیاز دارد. RegCM3 از داده‌های GLCC<sup>۱۳</sup> و GTOPO<sup>۱۴</sup>

11. Parameterization

12. Community Climate Model version3

13. Global Land Cover Characterization

برای اطلاعات پوشش گیاهی و توپوگرافی استفاده می‌کند. داده‌های GLCC با استفاده از سنجنده AVHRR<sup>۱۵</sup> از آوریل ۱۹۹۲ تا مارس ۱۹۹۳ موجود است و بر اساس نوع پوشش گیاهی و سطح زمین، توسط طرحواره BATS تعیین می‌شود. برای انتخاب دمای سطح دریا (SST)<sup>۱۶</sup> دو گزینه وجود دارد: دمای سطح آب و یخ در مقیاس جهانی (GISST)<sup>۱۷</sup> به صورت ماهانه و با دقت یک درجه از مرکز هادلی انگلیس و داده‌های OISST<sup>۱۸</sup> به صورت هفتگی و با دقت یک درجه (در طول و عرض جغرافیایی) از مرکز NOAA<sup>۱۹</sup> قابل دریافت هستند (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<sup>۲۰</sup>؛ (۲) داده‌های NNRP1<sup>۲۱</sup>؛ (۳) داده‌های NNRP2. در این مطالعه از داده‌های NNRP1 که توسط مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی NCEP، با دقت ۲/۵ درجه برای دوره ۱۹۴۸ تا ۲۰۰۱ تهیه شده است، استفاده می‌شود (سازمان ملی هواشناسی و اقیانوس شناسی آمریکا، ۲۰۰۵: بانک اطلاعات). بارش خروجی مدل با داده‌های واقعی بارش و CMAP که با دقت ۲/۵ درجه و به صورت میانگین ماهانه موجود است، مقایسه می‌شود.

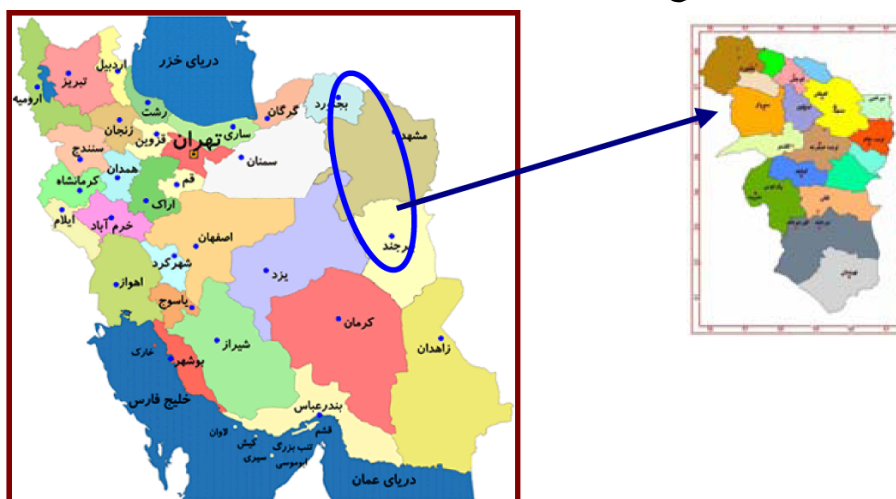
#### - دوره و ناحیه شبیه سازی

با توجه به اهمیت صدور پیش‌بینی فصلی بارش و دما در کشور، افزایش توانمندی مدل‌های اقلیمی و کالیبره کردن آنها، موجب ارتقای عمده در صحت این نوع پیش‌بینی‌ها می‌گردد. بدین منظور، برای ارزیابی مدل، ۴۰ آزمایش کنترلی برای سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۹۱ بر روی استان خراسان قدیم، شامل استان‌های: خراسان شمالی، رضوی و جنوبی

- 
14. Global Topography
  15. Advanced Very High Resolution Radiometer
  16. Sea Surface Temperature
  17. Global Ice and Sea Surface Temperature.
  18. Optimum Interpolation Sea Surface Temperature.
  19. National Oceanic and Atmospheric Administration.
  20. European Center for Medium-range Weather Forecasts.
  21. NCEP/NCAR Reanalysis Project.

بررسی توانمندی مدل اقلیمی RegCM3 در مدل‌سازی بارش و دمای استان خراسان ۱۷۳

فعلی طراحی شد. انتخاب زمستان با توجه به سهم قابل توجه بارش‌های این فصل در بارش‌های سالانه است. ناحیه مورد مطالعه محدود به عرض جغرافیایی ۳۱/۵ تا ۳۸ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ تا ۶۱ درجه شرقی است. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی ناحیه مورد مطالعه و ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در آن دیده می‌شود. دوره مدل‌سازی ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه است. مرکز مدل در نقطه  $(35^{\circ}N, 57^{\circ}E)$  قرار دارد. گام مکانی مدل، ۱۵ کیلومتر و گام زمانی آن ۴۵ ثانیه انتخاب شده است. تعداد نقاط شبکه در راستای غربی - شرقی، ۶۰ نقطه و در راستای جنوبی - شمالی، ۷۰ نقطه در نظر گرفته شد. مقادیر واقعی بارش و دما از ۱۵ ایستگاه سینوپتیک مشهد، سبزوار، بیرجند، بجنورد، بشرویه، فردوس، قاین، قوچان، گل‌مکان، گناباد، کاشمر، نیشابور، سرخس، تربت حیدریه، خوربیرجند دریافت شده است. برای شبیه‌سازی بارش و دما، چهار طرحواره مختلف گول با فرض آراکاوا - شوبرت (AS)، گول بافرض فریتز - چاپل (FC)، امانوئل (EM) و کو (KUO) لحاظ گردیدند. در هر اجرای فصلی، هشت فایل خروجی از مدل RegCM3 به دست آمد که چهار فایل مربوط به طرحواره‌های مختلف بارش و چهار فایل دیگر مربوط به طرحواره‌های مختلف دما بودند. همچنین برای هر فصل یک فایل داده واقعی وجود دارد که در مجموع ده فایل داده را شامل می‌شود.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ناحیه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه

## تحلیل نتایج شبیه سازی

### - بارش

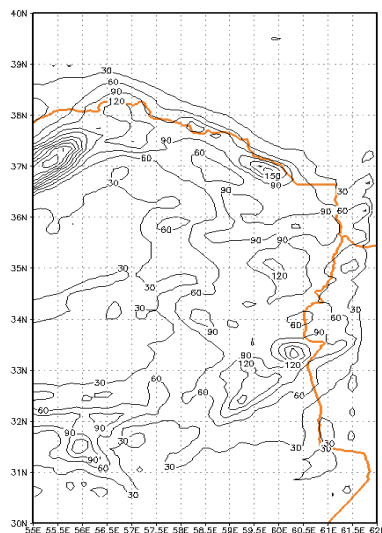
بارش فصلی زمستان دوره ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰ به تفکیک ماه و فصل توسط مدل RegCM3 شبیه سازی شد و توسط فرمول (۱) اریبی ماهانه و فصلی و توسط فرمول (۲) خطای مطلق میانگین آن به طور مجزا برای چهار طرحواره گرل- آراکاوا- شوبرت، گرل- فریتز - چاپل، امانوئل و کو از طریق مقایسه با داده‌های واقعی محاسبه گردیدند.

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

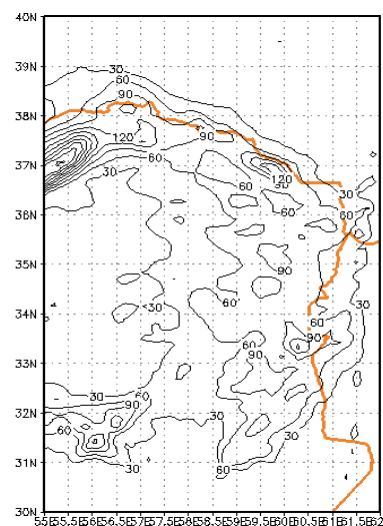
$$\text{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|P_m - P_o|}{n}}{n} \quad (2)$$

که در آن  $P_m$  مقدار بارش مدل و  $P_o$  مقدار بارش دیدبانی است. در شکل (۲) به عنوان نمونه مدل سازی بارش ماهانه زمستان سال ۱۹۹۱ در محدوده استان خراسان، با استفاده از چهار طرحواره مختلف بارش همرفتی آورده شده است. برای سال‌های باقی مانده شامل ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۰ نیز محاسبات مشابهی انجام شده است.

۹۱، گرل AS

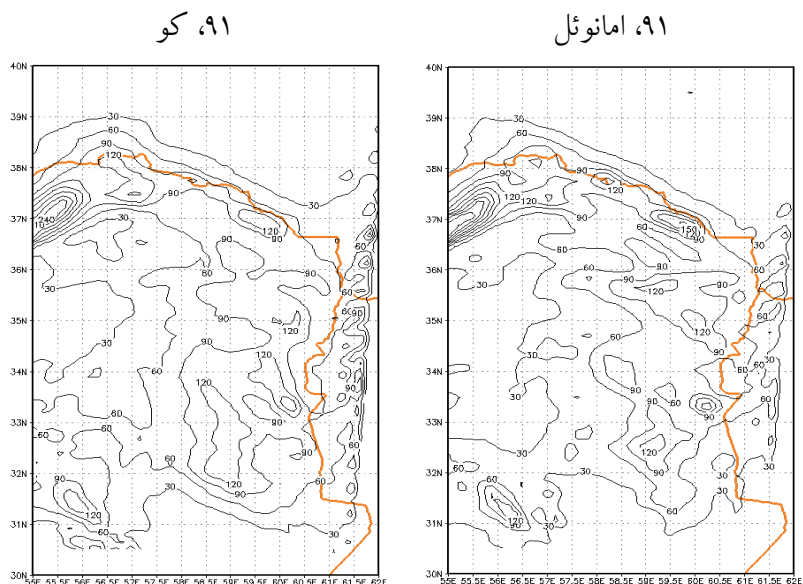


۹۱، گرل FC

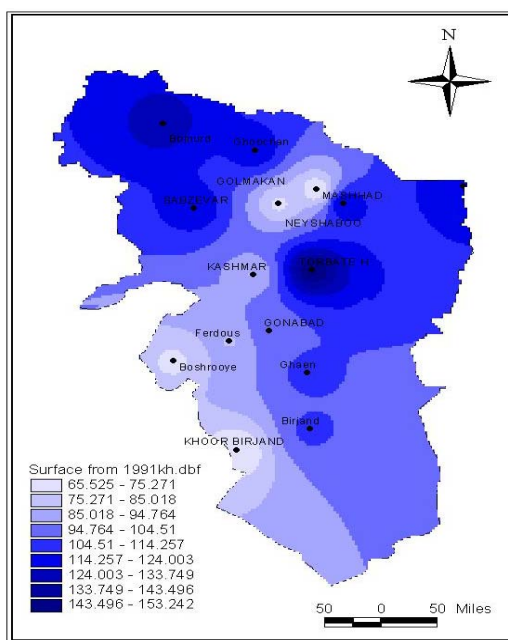




بررسی توانمندی مدل اقلیمی RegCM3 در مدل‌سازی بارش و دمای استان خراسان ۱۷۵



دیدبانی شده



شکل ۲. شبیه‌سازی بارش فصل زمستان توسط مدل RegCM3 با طرحواره‌های

مختلف به همراه بارش دیدبانی سال ۱۹۹۱

در جدول (۱) میزان اریبی و خطای مطلق میانگین بارش‌های مدل شده توسط RegCM3 نسبت به داده‌های واقعی آورده شده است. ملاحظه می‌شود در دوره ده ساله مذکور کمترین اریبی ماهانه و فصلی به ترتیب ۱/۶- و ۴/۸- میلی متر مربوط به طرحواره فریتز-چاپل است که در این میان، بهترین پاسخ مدل‌سازی مربوط به سال ۱۹۹۸ است. براساس این جدول، بیشترین خطای مدل‌سازی مربوط به طرحواره گرل AS به ترتیب با اریبی ماهانه و فصلی ۴۲/۱- و ۱۲۶/۲- میلی متر در سال ۱۹۹۳ است.

جدول ۱. مقایسه اریبی ماهانه و فصلی (زمستان) بارش حاصل از مدل RegCM3 با داده‌های دیدبانی شده استان خراسان (میلی متر)

سال	دیدبانی	آراکاو-شوبرت		امانوئل		فریتز-چاپل		کو	
		فصلی	ماهانه	فصلی	ماهانه	فصلی	ماهانه	فصلی	ماهانه
۱۹۹۱	۱۰۰/۴	-۳۸/۳	-۱۲/۸	-۳۶/۱	-۱۲/۰	-۴۳/۲	-۱۴/۴	-۸/۴	-۲۵/۲
۱۹۹۲	۱۰۹/۱	-۸۷/۹	-۲۹/۳	-۹۰/۵	-۳۰/۲	-۸۷/۷	-۲۹/۲	-۲۸/۹	-۸۶/۸
۱۹۹۳	۱۳۵/۳	-۴۲/۱	-۱۲۶/۲	-۷/۰	-۲۱/۰	-۲۸/۹	-۹/۶	۷/۸	۲۳/۵
۱۹۹۴	۴۱/۹	-۱۲/۵	۳۷/۶	۱۵/۸	۱۵/۸	۴۲/۴	۱۴/۱	۱۸/۳	۵۴/۹
۱۹۹۵	۷۴/۰	۵/۷	۱۷/۰	۷/۳	۲۱/۸	۱۰/۱	۳/۴	۲۶/۲	۷۸/۷
۱۹۹۶	۷۰/۰	۱۸/۰	۵۴/۰	۲۴/۸	۷۴/۴	۴۹/۴	۱۶/۵	۴۰/۷	۱۲۲/۱
۱۹۹۷	۳۸/۸	۸/۰	۲۳/۹	۱۰/۸	۳۲/۳	۲۷/۱	۹/۰	۱۳/۵	۴۰/۴
۱۹۹۸	۱۴۸/۳	۱/۸	۵/۵	۱۲/۹	۳۸/۸	-۴/۸	-۱/۶	۲۰/۹	۶۲/۷
۱۹۹۹	۷۶/۶	۱۹/۶	۵۸/۸	۲۵/۷	۷۷/۲	۵۶/۳	۱۸/۸	۴۱/۴	۱۲۴/۱
۲۰۰۰	۵۵/۵	۱۴/۵	۴۳/۵	۱۶/۵	۴۹/۵	۴۱/۶	۱۳/۹	۱۹/۱	۵۷/۳
میانگین	۸۵/۰	-۲/۸	-۱	۶/۶	۱۹/۴	۱۵/۱	۲/۱	۱۵/۱	۴۵/۲

مقادیر مدل‌سازی با داده‌های CMAP هم مقایسه شدند که در جدول (۲) میزان اریبی بارش‌های مدل نسبت به داده‌های CMAP آورده شده است. ملاحظه می‌شود در دوره ده ساله مذکور، کمترین اریبی فصلی به میزان ۸ میلی متر مربوط به طرحواره آراکاو-ا-

بررسی توانمندی مدل اقلیمی RegCM3 در مدل‌سازی بارش و دمای استان خراسان ۱۷۷

شوبرت در سال ۱۹۹۳ و بیشترین خطای مدل‌سازی در طی سال‌های مورد مطالعه مربوط به طرحواره کو با اریبی فصلی به میزان ۲۰۹/۹ میلی‌متر است.

در جدول (۳)، خطای مطلق میانگین داده‌های مدل‌سازی نسبت به داده‌های دیدبانی آورده شده است. کمترین خطای مطلق میانگین ماهانه مربوط به طرحواره گول AS به میزان ۷/۷ میلی‌متر در سال ۱۹۹۵ است. در طی همین مدت، کمترین خطای فصلی مربوط به طرحواره گول FC به میزان ۴/۸ میلی‌متر است. بیشترین خطای مدل‌سازی در طی سال‌های مورد مطالعه، مربوط به طرحواره آراکاوا-شوبرت با خطای مطلق میانگین فصلی ۱۲۶/۲ و ماهانه ۴۲/۱ در سال ۱۹۹۳ است. به‌طور کلی، کمترین خطای مطلق ماهانه و فصلی در کل دوره مورد مطالعه مربوط به طرحواره گول FC به ترتیب با ۱۵/۸ و ۳۹/۱ میلی‌متر است.

جدول ۲. مقایسه اریبی فصلی (زمستان) بارش حاصل از مدل RegCM3 با داده‌های CMAP استان

خراسان (میلی‌متر)

سال	آراکاوا-شوبرت	فریتز-چاپل	امانوئل	کو
۱۹۹۱	۱۵/۹	۱۱/۰	۱۸/۱	۲۹/۰
۱۹۹۲	۲۰/۴	۲۰/۶	۱۷/۸	۲۱/۶
۱۹۹۳	۸/۰	۱۰۵/۳	۱۱۳/۲	۱۵۷/۷
۱۹۹۴	۷۹/۰	۸۳/۷	۸۸/۸	۹۶/۳
۱۹۹۵	۹۰/۴	۸۳/۵	۹۵/۱	۱۵۲/۰
۱۹۹۶	۱۲۳/۱	۱۱۸/۶	۱۴۳/۵	۱۹۱/۳
۱۹۹۷	۶۲/۵	۶۵/۷	۷۰/۹	۷۹/۰
۱۹۹۸	۱۵۲/۷	۱۴۲/۴	۱۸۶/۰	۲۰۹/۹
۱۹۹۹	۱۳۴/۶	۱۳۲/۱	۱۵۳/۰	۱۹۹/۸
۲۰۰۰	۹۹/۰	۹۷/۱	۱۰۵/۰	۱۱۲/۸
میانگین	۷۸/۶	۷۷/۷	۹۹/۲	۱۲۵/۰

در جدول (۴) میزان خطای مطلق میانگین بارش‌های مدل شده نسبت به داده‌های CMAP آورده شده است. ملاحظه می‌شود در دوره ده ساله مذکور، کمترین اریبی فصلی

به میزان ۸ میلی متر در طرحواره آراکاوا-شوبرت در سال ۱۹۹۳ انجام شده است. براساس این جدول، بیشترین خطای مدل سازی در طی سال های مورد مطالعه مربوط به طرحواره کو با اریبی فصلی ۲۰۹/۹ میلی متر در سال ۱۹۹۸ است.

### - دما

همانند بارش، دمای میانگین زمستان سال های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰ توسط مدل RegCM3 شبیه سازی شد. در هر سال، چهار بار مدل RegCM3 با طرحواره های مختلف گره AS، گره FC، امانوئل و کو اجرا گردید. سپس مقادیر به دست آمده با داده های واقعی استان خراسان در ماه های مشابه مقایسه گردیدند و اریبی و خطای مطلق آنها محاسبه شد. نهایتاً داده های بارش NCEP نیز با داده های واقعی مقایسه شدند. در شکل (۳) به عنوان نمونه دمای مدل شده برای سال ۱۹۹۱ به تفکیک طرحواره های مختلف آورده شده است. میدان های دما برای سال های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۰ نیز مدل سازی شد.

جدول ۳. مقایسه خطای مطلق میانگین ماهانه و فصلی (زمستان) بارش مدل RegCM3 با داده های دیدبانی استان خراسان ( میلی متر)

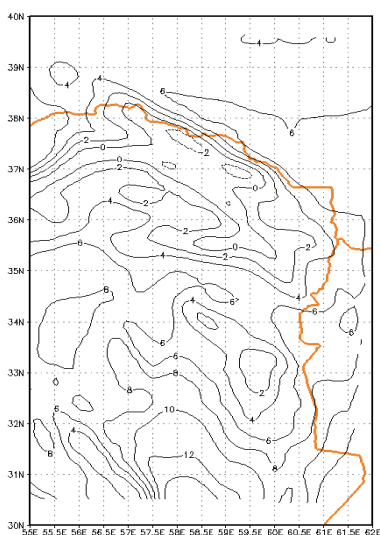
سال	دیدبانی	آراکاوا-شوبرت		امانوئل		فریتز-چاپل		کو	
		فصلی	ماهانه	فصلی	ماهانه	فصلی	ماهانه	فصلی	ماهانه
۱۹۹۱	۱۰۰/۴	۱۲/۹	۳۸/۳	۱۲/۲	۳۶/۱	۱۴/۴	۴۳/۲	۱۲/۳	۲۵/۲
۱۹۹۲	۱۰۹/۱	۲۹/۳	۸۷/۹	۳۰/۲	۹۰/۵	۲۹/۲	۸۷/۷	۲۸/۹	۸۶/۸
۱۹۹۳	۱۳۵/۳	۴۲/۱	۱۲۶/۲	۲۳/۰	۲۱/۰	۲۰/۱	۲۸/۹	۳۸/۰	۲۳/۵
۱۹۹۴	۴۱/۹	۱۲/۵	۳۷/۶	۱۵/۸	۴۷/۵	۱۴/۳	۴۲/۴	۱۸/۳	۵۴/۹
۱۹۹۵	۷۴/۰	۷/۷	۱۷/۰	۸/۱	۲۱/۸	۸/۷	۱۰/۱	۲۶/۲	۷۸/۷
۱۹۹۶	۷۰/۰	۱۸/۰	۵۴/۰	۲۴/۸	۷۴/۴	۱۶/۵	۴۹/۴	۴۰/۷	۱۲۲/۱
۱۹۹۷	۳۸/۸	۸/۰	۲۳/۹	۱۰/۸	۳۲/۳	۹/۰	۲۷/۱	۱۳/۵	۴۰/۴
۱۹۹۸	۱۴۸/۳	۱۰/۱	۵/۵	۱۲/۹	۳۸/۸	۱۲/۴	۴/۸	۲۰/۹	۶۲/۷
۱۹۹۹	۷۶/۶	۲۱/۱	۵۸/۸	۲۵/۷	۷۷/۲	۱۹/۶	۵۶/۳	۴۱/۴	۱۲۴/۱
۲۰۰۰	۵۵/۵	۱۴/۵	۴۳/۵	۱۶/۵	۴۹/۵	۱۳/۹	۴۱/۶	۱۹/۱	۵۷/۳
میانگین	۸۵/۰	۱۷/۷	۴۹/۴	۱۸/۱	۴۹	۱۵/۸	۳۹/۱	۲۵/۹	۶۷/۶

بررسی توانمندی مدل اقلیمی RegCM3 در مدل‌سازی بارش و دمای استان خراسان ۱۷۹

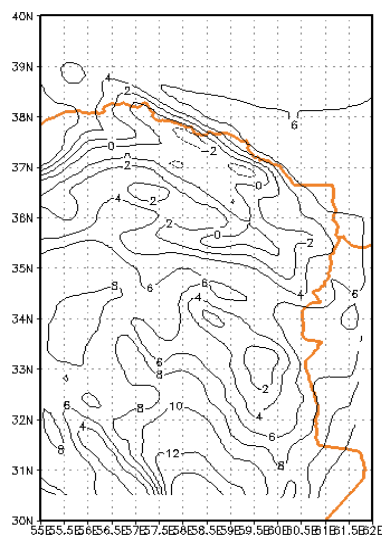
جدول ۴- مقایسه خطای مطلق میانگین (زمستان) بارش مدل RegCM3 با داده‌های CMAP استان خراسان ( میلی متر)

سال	آراکاوا- شوبرت	فریتز-چاپل	امانوئل	کو
۱۹۹۱	۱۵/۹	۱۱/۰	۱۸/۱	۲۹/۰
۱۹۹۲	۲۰/۴	۲۰/۶	۱۷/۸	۲۱/۶
۱۹۹۳	۸/۰	۱۰۵/۳	۱۱۳/۲	۱۵۷/۷
۱۹۹۴	۷۹/۰	۸۳/۷	۸۸/۸	۹۶/۳
۱۹۹۵	۹۰/۴	۸۳/۵	۹۵/۱	۱۵۲/۰
۱۹۹۶	۱۲۳/۱	۱۱۸/۶	۱۴۳/۵	۱۹۱/۳
۱۹۹۷	۶۲/۵	۶۵/۷	۷۰/۹	۷۹/۰
۱۹۹۸	۱۵۲/۷	۱۴۲/۴	۱۸۶/۰	۲۰۹/۹
۱۹۹۹	۱۳۴/۶	۱۳۲/۱	۱۵۳/۰	۱۹۹/۸
۲۰۰۰	۹۹/۰	۹۷/۱	۱۰۵/۰	۱۱۲/۸
میانگین	۷۸/۶	۸۶	۹۹	۱۲۴/۹

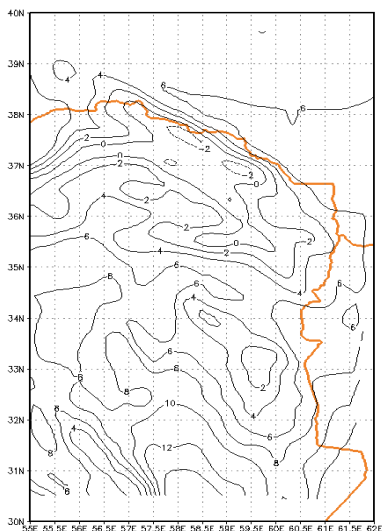
۹۱، گره AS



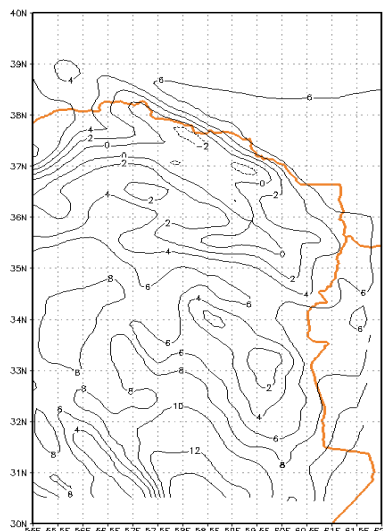
۹۱، گره FC



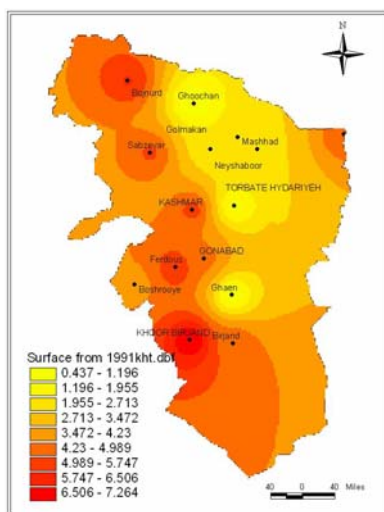
۹۱، کو



۹۱، امانوئل



دیدبانی شده



شکل ۳. شبیه سازی دمای فصل زمستان توسط مدل RegCM3 با طرحواره‌های

مختلف، به همراه مقادیر دیدبانی سال ۱۹۹۱

اریبی و خطای مطلق میانگین دما به روشی مشابه بارش و به تفکیک ماه و فصل با استفاده از فرمول‌های (۱) و (۲) و با جایگزینی مقادیر دما به جای بارش برای تمامی ماه‌ها و فصول دوره مورد مطالعه محاسبه شدند.

در جدول (۵) اریبی ماهانه و فصلی (زمستان) دمای مدل شده با داده‌های دیدبانی مقایسه شد، که کمترین بایاس ماهانه و فصلی به میزان  $0/2-$  درجه سانتیگراد در طرحواره امانوئل طی سال ۱۹۹۴ و بیشترین بایاس در سال ۱۹۹۲ در طرحواره‌های گِرل رخ داده است. به‌طور کلی، در سال ۱۹۹۲ توانمندی تمامی طرحواره‌ها به‌شدت ضعیف است و نتایج حاکی از توانمندی بسیار خوب طرحواره امانوئل در مدل‌سازی دمای میانگین ماهانه و فصلی است؛ به‌طوری که میانگین اریبی ماهانه و فصلی آن به ترتیب با  $0/8-$  و  $0/7-$  سانتی‌گراد، کمترین مقدار را در میان چهار طرحواره مورد استفاده دارد.

جدول ۵. مقایسه اریبی ماهانه و فصلی (زمستان) دمای مدل شده توسط RegCM3 با داده‌های دیدبانی شده استان خراسان (درجه سانتیگراد)

سال	میانگین دمای واقعی ( $C^0$ )	آراکاوا-شوبرت		امانوئل		فریتز-چاپل		کو	
		فصلی	ماهانه	فصلی	ماهانه	فصلی	ماهانه	فصلی	ماهانه
۱۹۹۱	۴/۱	۰/۳	۰/۳	۰/۵	۰/۵	۰/۳	۰/۳	۰/۴	۰/۴
۱۹۹۲	۴/۹	-۳/۸	-۳/۸	-۳/۳	-۳/۳	-۳/۸	-۳/۸	-۳/۶	-۳/۶
۱۹۹۳	۴/۶	-۱/۵	-۱/۵	-۱/۱	-۱/۱	-۱/۵	-۱/۵	-۱/۵	-۱/۵
۱۹۹۴	۵/۲	-۰/۵	-۰/۵	-۰/۲	-۰/۲	-۰/۵	-۰/۵	-۰/۴	-۰/۴
۱۹۹۵	۵/۷	-۰/۷	-۰/۷	-۰/۶	-۰/۶	-۰/۷	-۰/۷	-۰/۸	-۰/۸
۱۹۹۶	۴/۴	-۰/۸	-۰/۸	-۰/۵	-۰/۵	-۰/۸	-۰/۸	-۰/۷	-۰/۷
۱۹۹۷	۶/۰	-۰/۹	-۰/۹	-۰/۷	-۰/۷	-۱/۰	-۱/۰	-۰/۸	-۰/۸
۱۹۹۸	۴/۷	-۱/۰	-۱/۰	-۰/۸	-۰/۸	-۱/۰	-۱/۰	-۰/۹	-۰/۹
۱۹۹۹	۸/۰	-۰/۸	-۰/۸	-۰/۶	-۰/۶	-۰/۹	-۰/۹	-۰/۵	-۰/۵
۲۰۰۰	۵/۹	-۰/۸	-۰/۸	-۰/۵	-۰/۵	-۰/۸	-۰/۸	-۰/۷	-۰/۷
میانگین	۵/۴	-۱/۱	-۱/۱	-۰/۷	-۰/۸	-۱/۱	-۱/۱	-۱/۰	-۰/۸

در جدول (۶) اریبی دمای مدل شده نسبت به داده‌های NCEP آورده شده است. ملاحظه می‌شود که در دوره ده ساله مذکور، در سال ۱۹۹۱ همه طرحواره‌ها دارای

کمترین مقدار بایاس بوده‌اند. در این میان، طرحواره آراکاوا-شوبرت با بایاسی به میزان ۰/۱ درجه سانتیگراد، بهترین پاسخ را در بین طرحواره‌های مورد مطالعه دارد، اما در کل دوره مدل‌سازی کمترین اریبی در طرحواره امانوئل به مقدار ۱/۶- درجه سانتی گراد دیده می‌شود.

در جدول (۷) خطای مطلق میانگین ماهانه و فصلی دمای مدل شده نسبت به داده‌های واقعی آورده شده است. ملاحظه می‌گردد که کمترین خطای مطلق ماهانه و فصلی در طی دوره ده ساله مورد مطالعه مربوط به طرحواره امانوئل به ترتیب به میزان ۰/۳ و ۰/۲ درجه سانتیگراد، متعلق به سال ۱۹۹۴ است. اما بیشترین خطای شبیه‌سازی در این دوره آماری، سال ۱۹۹۲ است که در آن برای همه طرحواره‌ها، خطای مطلق میانگین ماهانه و فصلی حداکثر مقدار خود را داشته و حتی با مقدار دمای واقعی قابل مقایسه است. همچنین میانگین ده ساله خطای مطلق در طرحواره امانوئل نسبت به سایر طرحواره‌ها کمتر است.

جدول ۶. مقایسه اریبی فصلی (زمستان) دمای مدل شده توسط RegCM3 با داده‌های NCEP

استان خراسان (درجه سانتی گراد)

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



بررسی توانمندی مدل اقلیمی RegCM3 در مدل‌سازی بارش و دمای استان خراسان ۱۸۳

جدول ۷. مقایسه خطای مطلق میانگین ماهانه و فصلی (زمستان) دمای مدل شده توسط RegCM3 با مقادیر واقعی استان خراسان (درجه سانتیگراد)

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

در جدول (۸) میزان خطای مطلق میانگین فصلی دمای مدل شده توسط RegCM3 نسبت به داده‌های NCEP آورده شده است. ملاحظه می‌شود که در دوره ده ساله مذکور، کمترین خطای مطلق میانگین فصلی به مقدار ۰/۱ درجه سانتی‌گراد مربوط به طرحواره آراکاو-شوبرت در سال ۱۹۹۱ است. براساس این جدول، بیشترین خطای مدل‌سازی در طی سال‌های مورد مطالعه، مربوط به طرحواره فریتز-چاپل به میزان ۵/۲ درجه سانتیگراد در سال ۱۹۹۲ است. به‌طور کلی، در طی دوره مورد بررسی، کمترین خطای مطلق میانگین مربوط به طرحواره امانوئل و بیشترین خطا مربوط به طرحواره فریتز-چاپل است.

جدول ۸. مقایسه خطای مطلق (زمستان) دمای مدل شده توسط RegCM3 با داده‌های NCEP استان خراسان (میلی متر)

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

### جمع بندی

به منظور طراحی و کالیبره کردن مدل اقلیمی مناسب با شرایط اقلیمی کشورمان برای مطالعات اقلیمی و پیش بینی‌های فصلی، در گام اول بارش و دمای زمستان‌های دوره ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰ شمال شرق کشور توسط مدل اقلیمی RegCM3 با به کارگیری چهار طرحواره مختلف تشکیل ابر مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل گردید و اریبی و خطای مطلق میانگین هر کدام از طرحواره‌ها محاسبه شد. در بین چهار طرحواره مورد بررسی، اریبی ماهانه و فصلی طرحواره‌های گرل FC و گرل AS نسبت به بارش دیدبانی شده، به ترتیب با ۲/۱ و ۱- میلی‌متر از سایر طرحواره‌ها کمتر است. این در حالی است که بیشترین اریبی متعلق به طرحواره کو با ۴۵/۲ میلی‌متر در مدل‌سازی بارش فصلی است. مقایسه مقادیر مدل با داده‌های CMAP نیز توانمندی خوب دو طرحواره گرل FC و

گرل AS را در مدل‌سازی بارش تایید می‌کند. علاوه بر این، طرحواره گرل FC دارای کمترین خطای مطلق و طرحواره کو دارای بیشترین خطای مطلق است. بنابراین، برای مدل‌سازی و پیش‌بینی بارش، طرحواره گرل FC توصیه می‌گردد.

در بخش مدل‌سازی دما، با مقایسه داده‌های مدل شده و دیدبانی ملاحظه می‌شود که طرحواره امانوئل کمترین خطای مطلق میانگین و اریبی ماهانه و فصلی را نسبت به سایر طرحواره‌ها دارد؛ ضمن اینکه بیشترین اریبی مربوط به طرحواره‌های گرل است. مقایسه داده‌های مدل با داده‌های حاصل از NCEP نتایج کم و بیش مشابهی دارند. این در حالی است که بیشترین خطاها متعلق به طرحواره‌های گرل و در مرتبه بعدی طرحواره کو است. بنابراین، برای مدل‌سازی و پیش‌بینی دما، استفاده از طرحواره امانوئل مناسبتر است. با توجه به وجود اقلیم متفاوت در استان، به نظر می‌رسد تفکیک آن به مناطق اقلیمی و توپوگرافی‌های مختلف، ارزیابی مجزای مدل‌های اقلیمی و انتخاب طرحواره مناسب برای هر منطقه، می‌تواند موجب افزایش توانمندی و صحت مدل برای ارائه پیش‌بینی‌های فصلی و مدل‌سازی‌های اقلیمی گردد.

## قدردانی

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 اجرا شده است. لذا نویسندگان مقاله از مسئولان مراکز مذکور تشکر و قدردانی می‌نمایند.

## مراجع

- ۱- احمدی گیوی، ف؛ سلطان زاده، ا؛ ایران نژاد، پ؛ و پازوکی، ر. (۱۳۸۳). بررسی تاثیر کوهستان‌ها و کاربری اراضی اقلیم منطقه ایران با استفاده از مدل اقلیمی منطقه‌ای: ۲- بررسی تاثیر طرحواره زیر شبکه‌ای BATS در مدل منطقه‌ای RegCM، مقاله نامه همایش پیش‌بینی عددی وضع هوا، ۳۴.

- ۲- ایران نژاد، پ؛ پازوکی، ر؛ احمدی گیوی، ف؛ سلطان زاده، ا. (۱۳۸۳). بررسی تاثیر کوهستان‌ها و کاربری اراضی اقلیم منطقه ایران با استفاده از مدل اقلیمی منطقه‌ای: ۱- بررسی اجمالی ساختار داخلی مدل RegCM، مقاله نامه همایش پیش‌بینی عددی وضع هوا، ۲۳.
- ۳- بابائیان، ا؛ ر. مدیریان، ر؛ و کریمیان، م. (۱۳۸۶). شبیه سازی بارش ماه‌های سرد سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۷۹ با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3. *مجله جغرافیا و توسعه*، شماره پیاپی ۱۰، صص: ۵۵-۷۲.

- 4- Anthes RA, Hsie EY, Kuo YH (1987): Description of the Penn State University NCAR Mesoscale Model Version 4 MM4 NCAR Tech Note, NCAR=TN-282STR, 66 pp.
- 5- Arakawa A, Schubert WH (1974): Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large scale environment, Part I. *J Atmos Sci* 31: 674-701.
- 6- Babaeian I., Modirian R. & Karimian M (2007): Sensitivity Analysis of Different Convection Schemes and Center Domains for Numerical Simulation of Winter Precipitation over Iran. *JAST Vol.4, No.2: 33-42.*
- 7- Betts, A. (1986): A new convective adjustment scheme. Part I: Observation and theoretical basis, 112: 667-691.
- 7- Dash, S., K., ET. Al. (2006): Simulation of Indian summer monsoon circulation and rainfall using RegCM3, *Theoretical and applied climatology*, Vol 86, 161-172.
- 9- Dickinson RE, Henderson-Sellers A, and Kennedy PJ (1993): Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme, BATS: version 1E as coupled to the NCAR Community Climate Model. NCAR Technical Note No NCAR=TN-387STR, Boulder, CO, 72 pp.
- 10- Grell GA (1993): Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. *Mon Wea Rev* 121: 764-787.
- 11- Holtslag, A., de Bruijn, E. & Pan, H.-L (1990): A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting, *Monthly Weather Review*.
- 12- Hogan, T.F., Goerss, J.S (2003): A Brief Description of the Emanuel Convection Parameterization in NOGAPS and ITS Impact.
- 13- ICTP/RegCM3 Homepage <http://www.ictp.trieste.it/~pubregcm/>
- 14- Karimin, M., Modirian, R., Babaeian, I., Mirzaei, E (2006): Using RegCM3 for Modeling 1995 summer rainfall of Iran, Focusing on Southeastern regions, 3rd ICTP Workshop on the Theory and Use of Regional Climate Models, Trieste Italy.
- 15- Kiehl JT, Bonan GB, Boville BA, Briegleb BP, Williamson DL, Rasch PJ (1996): Description of the NCAR Community Climate Model (CCM3). NCAR Technical Note NCAR TN-420STR, 152 pp.
- 16- Rauscher, S. et al (2005): Domain choice in an experimental nested modeling prediction system for South America. *Theoretical and Applied Climatology*, spring, 229-246.
- 17- Rauscher, S. et al (2006): Regional Climate Model-Simulated Timing and Character of Seasonal Rains in South America. *Monthly Weather Review*, VOL 135, 2642-2657.
- 18- Pal JS et al (2006): The ICTP RegCM3 and RegCM3: Regional climate modeling for the developing world. *Bull Amer Meteor Soc*.
- 19- Pal JS, Small EE, Eltahir EAB (2000): Simulation of regional-scale water and energy budgets: Representation of subgrid cloud and precipitation processes within RegCM. *J Geophys Res* 105: 29579-29594.
- 20- Pal J., Giorgi F., Bi X., Elguindi N., Eltahir E., Francisco R. (2003): Developments in the Latest Version of the RegCM, ICTP Workshop on the Theory and Use of Regional Climate Models, Trieste Italy.



