Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 18:46 IRDT on Saturday May 17th 2025

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال نوزدهم، شماره‌ی ۶۸
زمستان ۱۳۹۸، صفحات ۱۱۰-۹۵

مهدی تقی لو[*1]
بهلول علیجانی[2]
حسین عساکره[3]

مطالعه کارایی مدل اقلیم منطقه ای (RegCM) در شبیه سازی دما و بارش برخی شهرهای منتخب ایران (مطالعه موردی : دوره ۲۰۱۵-۲۰۱۰)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۰۳

چکیده

در تحقیق حاضر با استفاده از مدل اقلیم منطقه‌ای (RegCM)، اقلیم ایران برای دوره زمانی شش ساله (۲۰۱۵-۲۰۱۰) شبیه‌سازی گردید. بدین منظور، از طرحواره Kiehl برای تابش، از طرحواره تبادل زیست‌کره-هواکره (BATS) برای سطح خشکی، از طرحواره Holstlag برای لایه مرزی سیاره‌ای و طرحواره Emanuel برای بارش همرفتی استفاده شده است. هشت ایستگاه هواشناسی از نقاط مختلف ایران از طریق نمونه‌گیری تصادفی به روش خوشه‌ای انتخاب گردید. در مرحله بعد داده‌های مربوط به دما و بارش روزانه از پایگاه داده‌های بازتحلیل ERA -Interim برای دوره زمانی مذکور استخراج گردید و سپس میانگین ماهانه مقادیر به‌دست آمد و با سری داده‌های حاصل از شبیه‌سازی مدل اقلیم منطقه‌ای (RegCM) مقایسه گردید. برای پارامتر (عنصر) دما، شبیه‌سازی با مدل، مقداری بالاتر (میانگین ۲ درجه سانتی‌گراد) از مقادیر باز تحلیل (ERA-Interim) را نشان داد. برای پارامتر بارش با توجه به ماهیت این کمیت (ناپیوسته بودن) مدل اقلیم منطقه‌ای نسبت به پارامتر دما دقت پایین‌تری داشت. مقادیر شبیه‌سازی شده بارش برای

[*]۱- دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه خوارزمی. (نویسنده مسئول). E-mail: taghiloo.mehdi@gmail.com
۲- گروه اقلیم‌شناسی، دانشگاه خوارزمی.
۳- گروه اقلیم‌شناسی، دانشگاه زنجان.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 18:46 IRDT on Saturday May 17th 2025

شهرهای پربارش مثل بندر انزلی پایین‌تر از مقادیر تجربی در حدود ۲۵۷ میلی‌متر (۱۵ درصد) و برای شهرهای کم-بارش مانند یزد و زاهدان، بالاتر از مقادیر باز تحلیل به‌ترتیب ۳۸ میلی‌متر (۵۷٪) و ۵۸ میلی‌متر (۷۲٪) و برای شهرهایی مثل زنجان این دو مقدار نزدیک به هم به‌دست آمد. مدل به‌خوبی ماه‌های پربارش و کم‌بارش را از همدیگر تفکیک نمود به‌طوری که همخوانی دو سری داده در اکثر ایستگاه‌ها کاملاً مشهود است. به‌طور کلی، مدل اقلیم منطقه‌ای به‌عنوان روشی مناسب در شبیه‌سازی داده‌های دما و بارش توصیه می‌گردد.

کلید واژه‌ها: بارش، تغییر اقلیم، دما، شبیه‌سازی، RegCM.

مقدمه

یافته‌ها نشان می‌دهند که از عصر صنعتی به این سو، دمای میانگین سطح زمین رو به افزایش است، سطح دریاها بالا می‌آیند و بارش و الگوهای آن تغییر می‌کنند. در مقیاس منطقه‌ای نیز، پیش‌بینی مخاطرات اقلیمی اهمیت به‌سزایی دارد. از جمله روش‌های امروزی در شبیه‌سازی اقلیم آینده، استفاده از مدل‌های دینامیکی می‌باشد. اقلیم هم مانند هوا در حال تغییر است و فقط در مدت زمان طولانی توزیع بهنجار پیدا می‌کند (Alijani & Kavyani, 2003: 5) در آغاز دهه ۱۹۸۰ گروهی از پژوهشگران از گرم شدن زمین خبر دادند. به‌تدریج که شواهد عینی و علمی بیش‌تر به‌دست آمد، زمزمه‌ها بلندتر شد و جوامع علمی مسأله گرمایش زمین را در بستر گسترده‌تر تغییر اقلیم بررسی کردند (Sobooti, 2011: 17). در این راستا استفاده از مدل‌هایی که توانایی شبیه‌سازی اقلیم آینده را دارا باشند، ضروری به نظر می‌رسد. مدل‌های جهانی در آشکارسازی رفتار اقلیم در مقیاس کوچک معایب زیادی دارند، به همین علت معمولاً خروجی این‌گونه مدل‌ها را به مقیاس کوچک‌تر و منطقه‌ای تبدیل می‌کنند تا با استفاده از آن‌ها فرآیندهای ریزمقیاس و منطقه‌ای را مطالعه و شبیه‌سازی نمایند. معمولاً دو روش آماری و دینامیکی در این‌گونه مطالعات به‌کار برده می‌شود. در روش آماری روابط بین رفتار اقلیم و خروجی مدل‌های جهانی در گذشته را به آینده تعمیم می‌دهند و برای منطقه‌ای خاص پیش‌بینی اقلیمی انجام می‌دهند. ولی در روش دینامیکی خروجی مدل جهانی به‌عنوان ورودی به خورد مدل اقلیم منطقه‌ای داده شده و مدل مذکور تحول زمانی اقلیم را از طریق حل معادلات حرکت به‌دست می‌آورد (Babaeian et al., 2004: 4). مدل‌سازی روشی تلفیقی است که می‌تواند شرایط اقلیمی را به شکل شماتیک نمایش داده و آن‌ها را در شرایط کنترل شده به تصویر درآورد (Asakereh, 2007: 102). مدل اقلیم منطقه‌ای از جمله مدل‌های دینامیکی می‌باشد که در دهه اخیر توسط پژوهشگران این عرصه در نقاط مختلف دنیا به کار گرفته شده است. Bates et al (1995: 1505) با مدل‌سازی بارش و دمای دو سال بخش‌هایی از آمریکا، به این نتیجه رسیدند که بارش حاصل از مدل در فصول سرد، با داده‌های تجربی همخوانی خوبی دارد، اما بارش فصول گرم بین ۱۰ تا ۵۰ درصد بالاتر از مقادیر دیدبانی شده برآورد می‌شود. دمای مدل‌سازی شده نیز اریبی مثبت نسبت به داده‌های تجربی را نشان داد. Francisco (2003) الگوی RegCM را بر روی فیلیپین اجرا کرد به‌طوری که داده‌های خروجی RegCM به مثابه داده‌های اولیه به یک الگوی هیدرولوژی وارد می‌شود و از خروجی این الگو در

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 18:46 IRDT on Saturday May 17th 2025

پیش‌بینی سیل استفاده می‌گردد. Wang et al (2003) با استفاده از مدل RegCM بارش‌های سنگین سال ۱۹۹۸ کشور چین را شبیه‌سازی کردند. این پژوهش نشان داد مدل به درستی می‌تواند میانگین بارش ماهانه را شبیه‌سازی کند و همچنین توزیع شدت بارش‌های روزانه را نیز به‌خوبی پیش‌بینی نماید. Afzaal & Hussain (2006: 5) بارش‌های موسمی سال ۱۹۹۲ پاکستان را با الگوی RegCM3 شبیه‌سازی کردند. براساس نتایج، مجموع بارش شبیه‌سازی شده، ۵۱٪ بیش‌تر از داده‌های CRU؛ و ۷۱٪ بیش‌تر از داده‌های تجربی ایستگاهی بود اما الگوی بارش روی منطقه با الگوی واقعی همخوانی داشت. Elguindi & Giorgi (2006: 167) شبیه‌سازی‌هایی را با استفاده از الگوی RegCM4 برای دوره ۱۹۹۰–۱۹٤۸ به‌منظور بررسی واکنش سطح دریای خزر به تغییرات اقلیمی انجام دادند. آن‌ها تغییرات ارتفاع سطح دریای خزر را با استفاده از معادله ساده هیدرولوژی پیش‌بینی کردند. در این تحقیق مشخص شد که مدل، تغییرات مشاهده شده سطح دریای خزر با مقادیر الگو شده را به خوبی شبیه‌سازی کرده و همبستگی بین دو مقدار ۹۱٪ محاسبه شده است. Zong & Wang (2011: 386) به ارزیابی و تحلیل الگوی RegCM3 در شبیه‌سازی بارش تابستانه در حوضه رودخانه "هو آی هه" در چین پرداختند. نتایج نشان داد که RegCM3 الگوی بارش و تغییرات سالانه را به‌خوبی شبیه‌سازی می‌کند ولی برای تابستان ۲۰۰۳ مقدار بارش را کم‌تر برآورد کرده بود و برای توزیع مکانی بارش نیز مناسب نبود. Boroneant et al (2011) از مدل RegCM در شبیه‌سازی بارش فصلی مولداوی استفاده کردند. در این پژوهش برونداد الگو با داده‌های CRUTS2.1 و داده‌های مشاهداتی ایستگاهی را مقایسه کردند. نتایج حاصل نشان داد که این الگو به‌طور مشخص بارش سالانه را بیش از مقادیر تجربی مشاهده‌ای و داده‌های CRU شبیه‌سازی کرده است. از مطالعات دیگر می‌توان Gu et al (2012) و Syed et al (2013) را نام برد. Babaeian et al (2008: 55) با شبیه‌سازی ماه‌های سرد مهر و موم‌های ۱۳۷٦ و ۱۳۷۹ با استفاده از مدل اقلیم منطقه‌ای RegCM3 به حساسیت سنجی این مدل نسبت به سه طرحواره‌ی مختلف بارش همرفتی (طرحواره گرل، طرحواره کو–اصلاح شده و طرحواره امانوئل) پرداختند و نتیجه گرفتند که طرحواره گرل با خطای تقریبی حدود ۲۰ درصد توانمندی‌های خوبی نسبت به دو طرحواره دیگر دارد. Soltan zadeh et al (2007) به بررسی سه ماهه تأثیر رشته‌کوه‌های زاگرس بر جریان‌های میان مقیاس منطقه شرق زاگرس با استفاده از مدل اقلیم منطقه‌ای (RegCM) پرداختند، نتایج حاصل موفقیت مدل RegCM در نشان دادن نقش رشته کوه زاگرس در الگوهای تاوایی و همگرایی در سطوح پایین و همچنین بارش، خصوصا در نواحی غربی و بعضا مرکزی ایران را تبیین می‌کند. Iran nezhad et al (2009) به ارزیابی تأثیر روش‌های متفاوت پارامترسازی همرفت در شبیه‌سازی میدان‌های بارش و دما با استفاده از مدل اقلیم منطقه‌ای (RegCM) بر روی ایران پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که شبیه‌سازی دما و بارش با استفاده از طرحواره‌های مختلف همرفت در دوره مورد مطالعه در ایران بسیار شبیه یکدیگر

4- Climate Research Unit

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 18:46 IRDT on Saturday May 17th 2025

است و توان برآورد مدل RegCM برای میدان دما بالاتر از بارش است. مقادیر بارش مدل تفاوت بسیار زیادی از مشاهدات دارد، ولی مدت زمان توزیع جغرافیایی بارش را به خوبی شبیه‌سازی می‌کند. Abbasi et al (2012: 205) به ارزیابی تغییر اقلیم ایران در دهه‌های آینده (2025 تا 2100 میلادی) با استفاده از ریز مقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی پرداخته‌اند و نتایج اجرای مدل با داده‌های HadCM2[5] بیانگر کاهش ۲/۵ درصدی بارش کشور تا دهه‌ی ۲۱۰۰ است، در حالی که برای دوره‌ی مشابه در مدل ECHAM4 بارش‌های کشورمان ۱۹/۸ درصد افزایش می‌یابد. در هر دو مدل تمامی استان‌های کشور با افزایش دما در آینده مواجه‌اند و توزیع مکانی افزایش دما با هم مطابقت دارند. Sobooti & Naghavi Azad (2014) با استفاده از مدل اقلیم منطقه‌ای پارامترهای دما، بارش و فشار را برای دهه ۹۰ میلادی بر روی ایران شبیه‌سازی کردند و برای راستی آزمایی نتایج شبیه‌سازی را با داده‌های اخذ شده از سازمان هواشناسی برای ٢٤ ایستگاه سینوپتیک کشور مقایسه نمودند. نتایج حاصل نشان داد که مدل اقلیم منطقه‌ای دو پارامتر فشار و دما را با اختلاف بسیار کم از مقادیر تجربی شبیه‌سازی نموده است ولی در شبیه‌سازی بارش در بعضی از ایستگاه‌ها اختلاف زیادی مشاهده گردید. Bakhtiari et al (2015: 694) در تحقیقی بر روی منحنی‌های شدت-مدت و فراوانی بارش بابلسر در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از ریزمقیاس نمایی برونداد مدل گردش عمومی Had CM3 تحت سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 و مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منحنی‌های IDF[6] در دوره زمانی مذکور پرداختند، مقایسه شدت بارش پیش‌بینی شده توسط سناریوهای ذکر شده و محاسبه توسط توزیع گامبل برای دوره پایه نشان دهنده افزایش این مقدار در ایستگاه بابلسر طی دوره بوده است. Taghiloo et al (2016) با شبیه‌سازی الگوهای فشار و دمای ایران با مدل اقلیم منطقه‌ای (RegCM4.3) به این نتیجه رسیدند که میانگین دمای سالانه حاصل از شبیه‌سازی کم‌تر از ۲ درجه سانتی‌گراد با میانگین داده‌های تجربی پایگاه ECMWF اختلاف دارد و مقادیر حاصل از اجرای الگو در کل دوره بالاتر از میانگین‌های تجربی بوده است. در شبیه‌سازی کمیت فشار شرایط کاملا متفاوت بود و میانگین فشار حاصل از شبیه‌سازی مدل با میانگین داده‌های تجربی همخوانی بسیار بالایی داشت و تفاوت‌ها از حد چند ده پاسکال برای میانگین‌های سالانه تجاوز نمی‌کرد. از تحقیقات مشابه دیگری که در ایران انجام گرفته است می‌توان به Modirian et al (2009)، Babaie Fini et al (2015) و Naghavi Azad et al (2016) اشاره کرد. از مطالعات اخیر می‌توان به پژوهش Karkhaneh et al (2016) اشاره نمود که با استفاده از مدل اقلیم منطقه‌ای (RegCM) به شبیه‌سازی نقش دریای خزر بر وقوع بارش‌های منطقه‌ای در سواحل جنوبی آن پرداخته‌اند. نتایج حاصل که در دو حالت وجود دریای خزر و شرایط حذف دریا برای سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۵ اجرا شد، نشان داد که حذف دریای خزر سبب کاهش چشم‌گیر بارش به ویژه در مناطق جنوب‌غرب و غرب دریا می‌شود. Ghavidel Rahimi et al (2016) برای

5- Hadley Center Coupled Model, version 3
6- Intensity Duration Frequency

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 18:46 IRDT on Saturday May 17th 2025

تحلیل ساختار سینوپتیک موج گرمای جولای ۲۰۰۰ استان خوزستان از مدل RegCM4 استفاده نمودند. خروجی مدل نشان داد که در سطح زمین بر زاگرس کم‌فشار قوی و در ترازهای فوقانی جو یک پر ارتفاع دقیقاً منطبق بر آن مستقر شده و این پر ارتفاع سبب نزول بی دررو هوای خشک شده و گرمای شدیدی را ایجاد کرده است. نتیجه کلی این پژوهش نشان داد که مدل RegCM4 در شبیه‌سازی و ریزگردانی دما، چه در اجرای مرجع و چه در اجرای زیر شبکه‌ای موفق عمل کرده است. سوال اصلی که در این مطالعه مطرح می‌شود این است که آیا می‌توان از مدل اقلیم منطقه‌ای RegCM به‌عنوان الگویی کارآمد در ریزمقیاس نمایی برونداد مدل‌های گردش عمومی استفاده نمود؟ هدف کلی این تحقیق راستی آزمایی مدل اقلیم منطقه‌ای RegCM در برآورد مقادیر دما و بارش و همچنین صحت سنجی نمایش الگو و روند تغییرات این پارامترها بر روی ایران می‌باشد. فرضیه تحقیق نیز عبارت بود از: مدل اقلیم منطقه‌ای (RegCM) می‌تواند مدلی مناسب برای شبیه‌سازی مقادیر دما و بارش در مطالعات اقلیمی باشد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه در این تحقیق در مستطیلی با مختصات ۴۰-۲۴ درجه شمالی و ٦٤-٤۳ درجه شرقی قرار دارد که از نظر جغرافیایی شامل کشور ایران و قسمت‌هایی از کشورهای همسایه می‌باشد. برای مقایسه داده‌های دیدبانی شده تعداد هشت ایستگاه هواشناسی (بندر انزلی، بندر بوشهر، مشهد، تهران، یزد، زاهدان، زنجان و خرم‌آباد) از نقاط مختلف آب و هوایی ایران از طریق نمونه‌گیری خوشه‌ای انتخاب گردید که مختصات جغرافیایی آن‌ها در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 1- Geographical coordinates of the stations under study

ردیف	نام ایستگاه	ارتفاع (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیای (دقیقه درجه)
۱	بندر انزلی	-۲۳	۲۷ ٤۹	۲۹ ۳۷
۲	بوشهر	۹	٤۹ ٥۰	٥۸ ۲۸
۳	مشهد	۹۹۹	۳۸ ٥۹	١٦ ۳٦
٤	تهران	۱۱۹۰	۱۹ ٥۱	٤۱ ۳٥
٥	یزد	۱۲۳۷	۱۷ ٥٤	٥٤ ۳۱
٦	زاهدان	۱۳۷۰	٥۳ ٦۰	۲۸ ۲۹
۷	زنجان	١٦٦۳	۲۹ ٤۸	٤۱ ۳٦
۸	خرم‌آباد	۱۱٤۸	۱۷ ٤۸	٢٦ ۳۳

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 18:46 IRDT on Saturday May 17th 2025

مدل RegCM برای اجرا به داده‌های توپوگرافی، پوشش سطح زمین، دمای سطح دریا و شرایط اولیه و مرزی نیاز دارد (Babaeian et al., 2008: 55)، RegCM از داده‌های CLCC,GTOPO[۷] برای اطلاعات پوشش گیاهی و توپوگرافی استفاده می‌کند. برای انتخاب دمای سطح دریا (SST[۸]) دو گزینه وجود دارد: دمای سطح آب و یخ در مقیاس جهانی (GISST[۹]) که به‌صورت ماهانه و با دقت یک درجه از مرکز هادلی انگلیس قابل دریافت می‌باشد. برای انتخاب شرایط اولیه و مرزی سه نوع داده وجود دارد: ۱- داده‌های NNRP1، ۲- داده‌های NNRP2 ۳- داده‌های ECMWF. در این پژوهش از داده‌های ورودی مدل از داده‌های NNRP1 که توسط مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی (NCEP[۱۰])، با دقت ۲/۵ × ۲/۵ درجه برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ تهیه شده است، استفاده گردید. به‌منظور راستی آزمایی نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل RegCM با داده‌های تجربی، آمار روزانه پارامترهای دما و بارش با دقت مکانی ۲/۵ درجه برای دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ برای منطقه مورد مطالعه از پایگاه ثبت داده‌های باز تحلیل اقلیمی (ERA-Interim) استخراج گردید. داده‌های مدل به‌صورت سه ساعتی برای هر ماه در یک فایل جداگانه ذخیره شده است (تعداد ۲۴۰ عدد برای هر ماه) سپس میانگین هر کمیت برای تمامی ماه‌های دوره به‌دست آمد. برای مقادیر تجربی (ERA-Interim) که به‌صورت روزانه دریافت شده بودند میانگین‌های ماهانه به‌صورت جداگانه محاسبه گردید و سپس در محیط excel نمودارهای مربوط به هر دو کمیت رسم شد. در مرحله بعد میانگین سالانه برای بازه زمانی شش‌ساله محاسبه و نمودار تغییرات آن‌ها ترسیم شد. در گام بعدی نمودارهای توزیع دما و بارش سالانه برای کل منطقه استخراج گردید که نقشه‌های خروجی دما و بارش به‌ترتیب در شکل (۱ و ۳) در قسمت بحث آورده شده است.

- الگوی RegCM

الگوهای جهانی، اقلیم را برای تمام کره زمین شبیه‌سازی می‌کنند. برونداد آن‌ها پارامترهای هواشناسی است. نظر به بزرگی کره زمین و فراوانی پارامترهایی که در شکل دادن به اقلیم نقش بازی می‌کنند، داده‌های الگوی گردش عمومی تقریبی هستند. کاربرد عمده آن‌ها در شبیه‌سازی اقلیم‌های منطقه‌ای است. به‌طور کلی به‌منظور آشکارسازی الگوها در مقیاس منطقه‌ای، داده‌های الگوی گردش عمومی به مدل‌های اقلیم منطقه‌ای خورانده می‌شوند و سپس مدل‌های منطقه‌ای الگوهای ریزمقیاس شده را محاسبه می‌کنند. نسخه اول الگوی RegCM توسط دیکینسون و همکاران و جورجی در سال ۱۹۸۹ ارائه شد. نسخه دوم در سال ۱۹۹۳ توسط جورجی و همکاران و نسخه سوم در سال ۲۰۰۰ توسط پال و همکاران منتشر شد (Sobooti & Naghavi Azad, 2014). مدل RegCM که توسط «شبکه پژوهش

7- Global Digital Elevation Model
8- Sea Surface Temperature
9- Global Ice and Sea Surface Temperature
10- National Center for Environmental Prediction

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 18:46 IRDT on Saturday May 17th 2025

اقلیم منطقه‌ای»[11] مستقر در مرکز بین‌المللی فیزیک نظری عبدالسلام[12] در شهر تریست ایتالیا پشتیبانی می‌شود برای استفاده همگانی و به‌صورت متن باز، طراحی شده است. از سال ۲۰۰۷ تاکنون، الگو از نظر نرم‌افزار و استفاده از پارامترهای فیزیکی واقعی‌تر پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای داشته است و در نهایت به انتشار نسخه RegCM4.1 در سال۲۰۱۰ منجر شد. نسخه آزمایشی RegCM4.3 نیز در سال ۲۰۱۲ در اختیار کاربران قرار گرفت. نسخه اخیر توسط مجامع علمی زیادی به کار گرفته شده و کارایی و اجرای بهتری از خود نشان داده است. همان طور که اشاره شد مدل برای منطقه‌ای در محدوده ۴۰–۲۴ درجه شمالی و ٦٤–٤٣ درجه شرقی اجرا شد. دقت مکانی اجرای مدل ۲۰ کیلومتر بود که برای پوشش منطقه فوق شبکه‌ای ۱۱۸× ۱۱۸ تعریف شد. داده‌های خروجی مربوط به سطح زمین هر سه ساعت و داده‌های مربوط به تابش و جو هر شش ساعت ذخیره می‌شدند. برای اجرای مدل از داده‌های NNRP1 به‌عنوان شرایط اولیه و مرزی استفاده شد. در این پژوهش از طرحواره Kiehl برای تابش، از طرحواره تبادل زیست‌کره–هواکره (BATS) برای سطح خشکی، از طرحواره Holstlag برای لایه مرزی سیاره‌ای و طرحواره Emanuel برای بارش همرفتی استفاده شده است. بازه زمانی اجرای مدل ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ و سال ۲۰۰۹ spin-up مدل است.

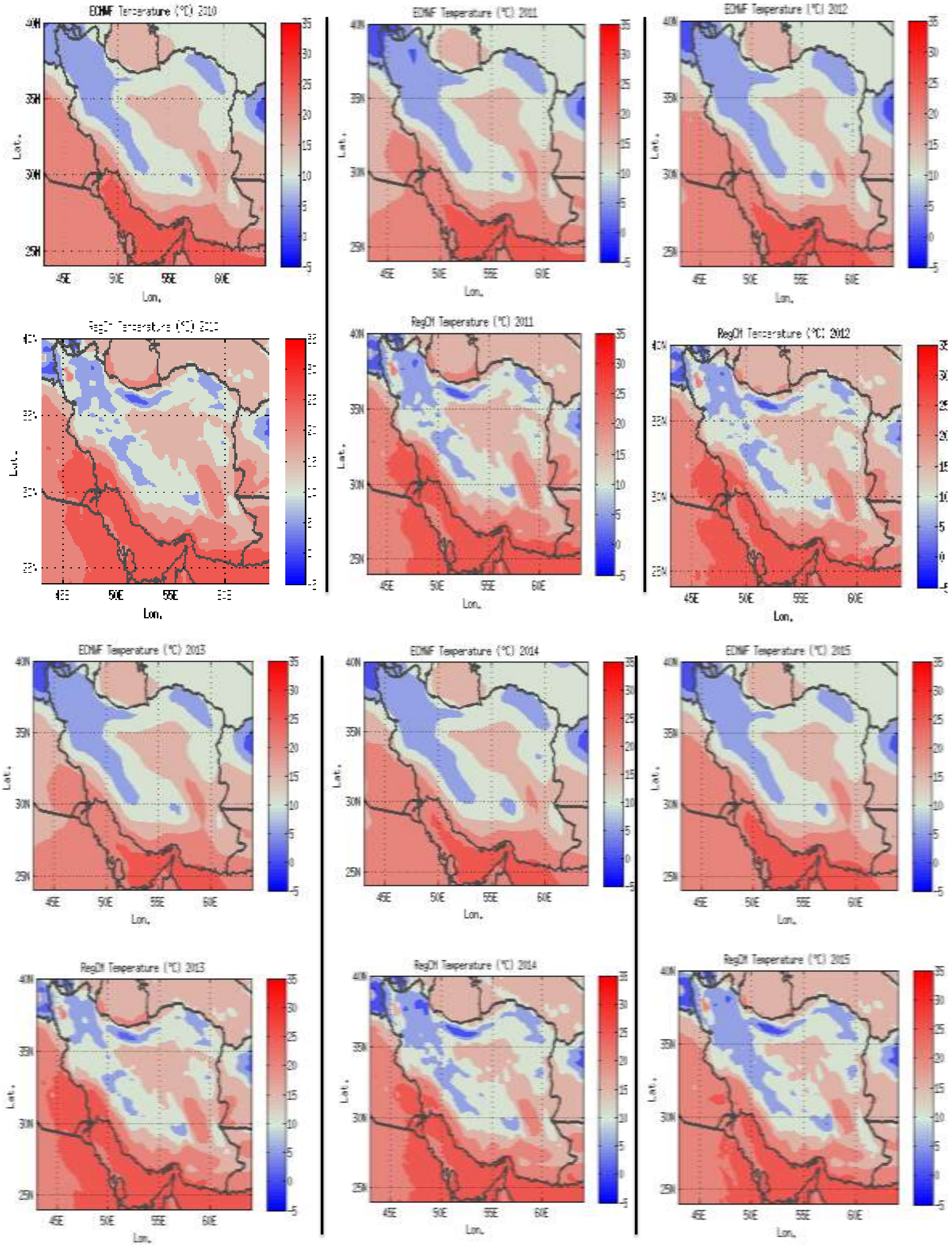
یافته‌ها و بحث

شبیه‌سازی دما:

مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی پارامتر دما با مقادیر تجربی (ERA-Interim) نشان می‌دهد که مدل اقلیم منطقه‌ای در برآورد این پارامتر دقت قابل قبولی دارد. همان‌طور که در جدول (۲) و شکل (۲) مشاهده می‌گردد، سه الگوی متفاوت در شبیه‌سازی دما به‌دست آمد. به‌طوری که برای ایستگاه‌های مشهد، تهران و زنجان، دمای شبیه‌سازی شده در اکثر ماه‌ها مطابق با داده‌های تجربی می‌باشد ولی در فصل تابستان، مدل دما را اندکی بالاتر از مقدار تجربی شبیه‌سازی نموده است که این اختلاف در ایستگاه مشهد برای تابستان به حدود ۵ درجه و در ایستگاه تهران و زنجان، کم‌تر از ۳ درجه می‌رسد. الگوی دوم شامل ایستگاه‌های یزد، خرم‌آباد و زاهدان می‌شود. در این سه ایستگاه، در تمامی ماه‌های سال، نمودار شبیه‌سازی شده با نمودار تجربی مطابقت کامل دارد، به استثنای ماه نوامبر و دسامبر در ایستگاه یزد. در الگوی سوم که شامل دو ایستگاه ساحلی بندر انزلی و بندر بوشهر می‌شود، مدل در تمامی ماه‌های سال اندکی بالاتر (۲ درجه سانتی‌گراد) از مقادیر تجربی، شبیه‌سازی نموده است که به نظر می‌رسد این اختلاف در اثر خطای مدل می‌باشد. البته برای فصل گرم در ایستگاه بوشهر، این دو نمودار منطبق‌تر بودند.

11- Regional Climate Research NETwork (http://users.ictp.it/RegCNET)
12- Abdus Salam International Center for Theoretical Physics (http://ictp.it)

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 18:46 IRDT on Saturday May 17th 2025



شکل ۱: مقایسه نقشه‌های توزیع میانگین دمای شبیه‌سازی شده مدل RegCM4.3 و پایگاه داده‌های باز تحلیل ERA-Interim برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵

Figure 1: Comparison of mean temperature distribution maps simulated by RegCM4.3 and ERA-Interim reanalysis databases for the period 2010 to 2015

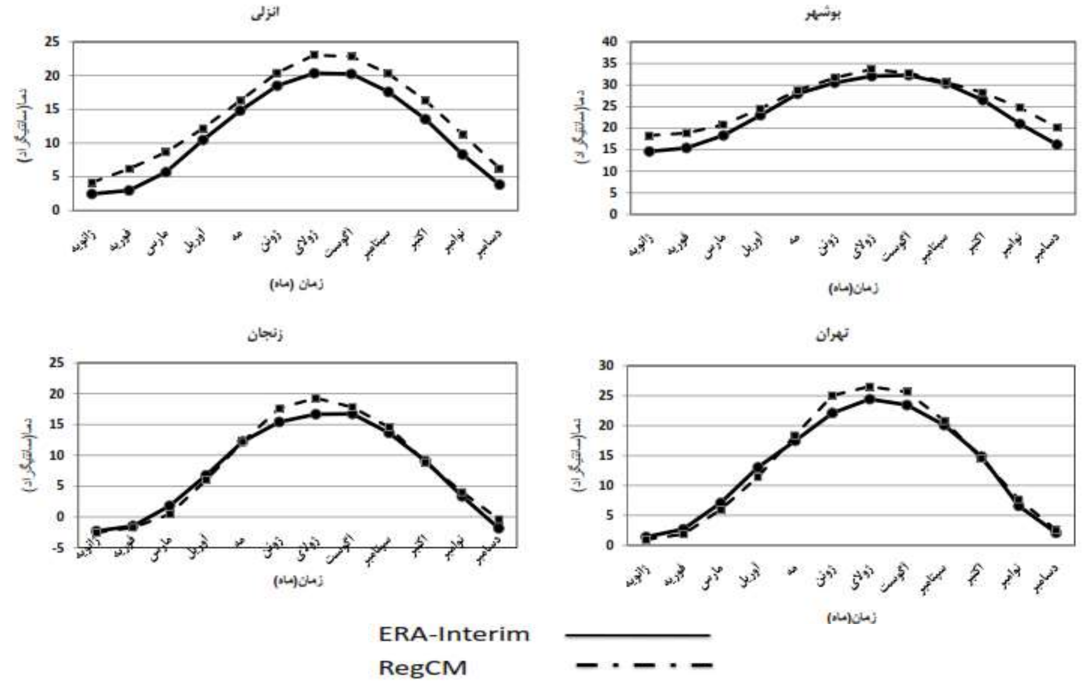
Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 18:46 IRDT on Saturday May 17th 2025

میزان همبستگی در تمامی ایستگاه‌ها بالای ۹۸ درصد می‌باشد. بالاترین اریبی (۲/٤ درجه) در ایستگاه مشهد و بندر انزلی و پایین‌ترین اریبی برای ایستگاه زاهدان (۰/۱ درجه) به‌دست آمد. در این پژوهش، برای برآورد خطای مدل از شاخص ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده گردید. مقدار این شاخص به جز ایستگاه مشهد (۰/٥٦ درجه سانتی‌گراد) در تمامی ایستگاه‌ها کم‌تر از ۰/٥ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد که خطای قابل قبولی می‌باشد. پایین‌ترین مقدار این شاخص، در ایستگاه زاهدان با ۰/۲۲ درجه سانتی‌گراد محاسبه گردید (شکل ۲ و جدول ۲).

جدول ۲- میانگین دمای سالانه شبیه‌سازی شده و باز تحلیل و شاخص‌های ارزیابی مدل RegCM 4.3

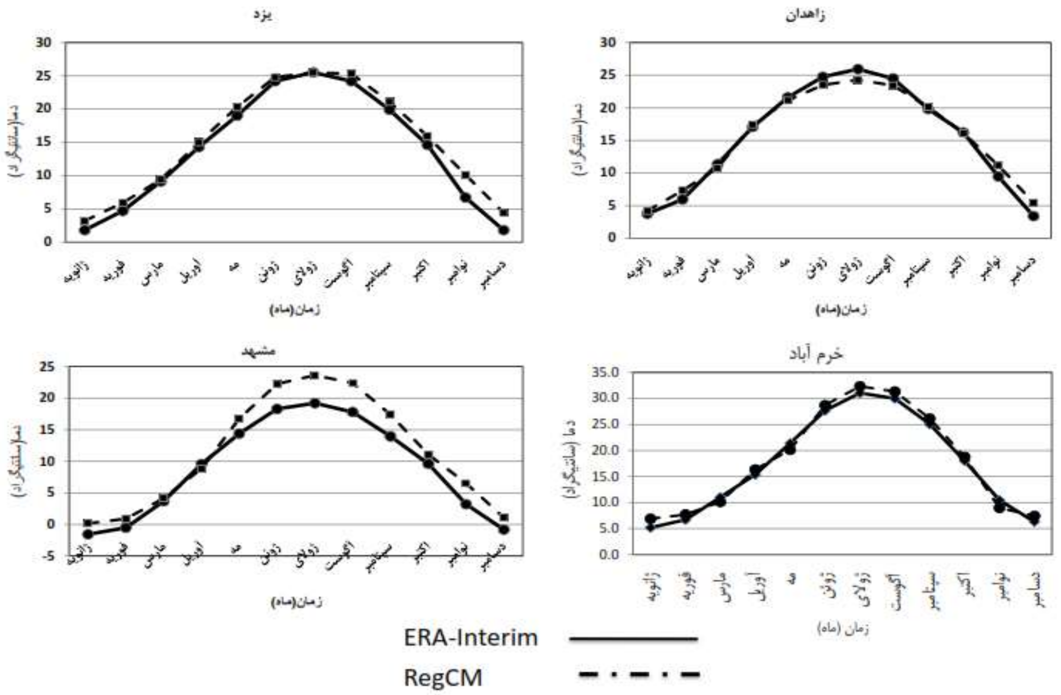
Table 2- Simulated annual mean and reanalysis temperature and RegCM4.3 model evaluation indices

ایستگاه	میانگین دما تجربی (ºC)	میانگین دمای شبیه‌سازی (ºC)	اریبی (bias) (ºC)	همبستگی (corr)	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) (ºC)
بندر انزلی	۱۱/٦	۱٤	۲/٤	۰/۹۹	۰/٤۹
بندر بوشهر	۲٤	۲٦	۲	۰/۹۹	۰/٤۸
مشهد	۸/۹	۱۱/۳	۲/٤	۰/۹۸	۰/٥٦
تهران	۱۳	۱۳/٥	۰/٥	۰/۹۹	۰/۲۹
یزد	۱۳/۸	۱٥/۱	۱/۳	۰/۹۹	۰/۳۰
زاهدان	۱٥/۳	۱٥/٤	۰/۱	۰/۹۹	۰/۲۲
زنجان	۷/٥	۸	۰/٥	۰/۹۹	۰/۲٥
خرم‌آباد	۱۷/۳	۱۷/۹	۰/٦	۰/۹۹	۰/۲۳



شکل ۲: نمودار میانگین دمای ماهانه تجربی (سانتی‌گراد) و شبیه‌سازی شده در ایستگاه‌های منتخب در بازه زمانی ۲۰۱٥-۲۰۱۰

Figure 2: The graph of experimental monthly average temperature (° C) and simulated in selected stations in the period 2010-2015



ادامه شکل ۲: نمودار میانگین دمای ماهانه تجربی (سانتی‌گراد) و شبیه‌سازی شده در ایستگاه‌های منتخب در بازه زمانی ۲۰۱۵-۲۰۱۰

Continue Figure 2: The graph of experimental monthly average temperature (° C) and simulated in selected stations in the period 2010-2015

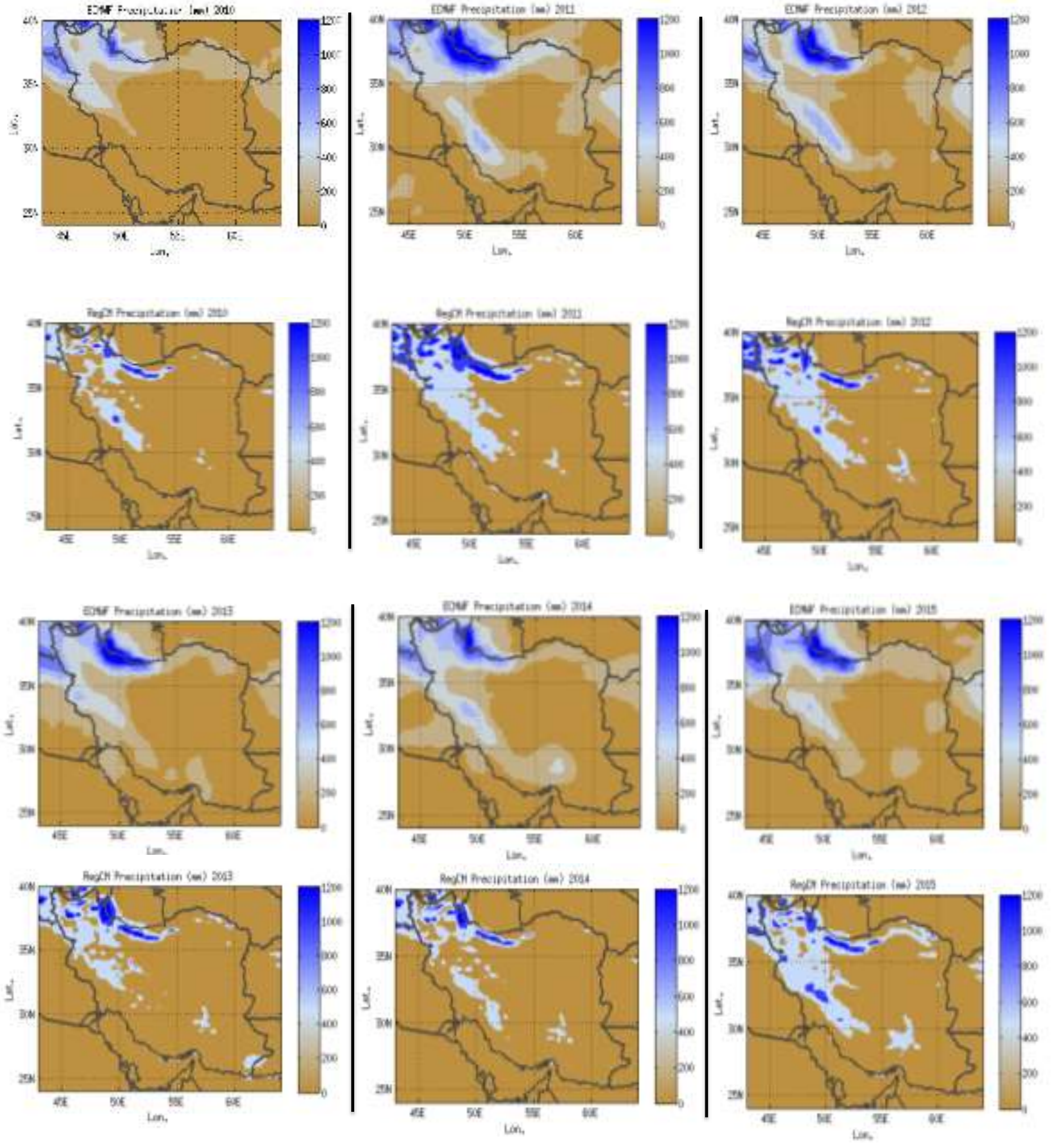
- شبیه‌سازی بارش

در بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی بارش در ایستگاه‌های منتخب همانند پارامتر دما، سه الگو به‌دست آمد. الگوی اول شامل ایستگاه‌های زنجان، بوشهر و خرم‌آباد می‌شود. در هر سه ایستگاه با توجه به جدول (۳) و شکل (٤) داده‌های شبیه‌سازی شده با مقادیر تجربی مطابقت قابل توجهی را نشان می‌دهد به‌طوری که در ایستگاه‌های مذکور در بیش‌تر ماه‌های سال اختلاف دو سری داده به کم‌تر از ۳ میلی‌متر می‌رسد. اختلاف میانگین بارش سالانه در این الگو برای ایستگاه زنجان، با اریبی منفی ۲ میلی‌متر، برای ایستگاه بندر بوشهر ۱۱ و برای ایستگاه خرم‌آباد ۱۹ میلی‌متر به‌دست آمد. الگوی دوم شامل ایستگاه‌های تهران، یزد، زاهدان و مشهد می‌باشد. نتایج حاصل از تحلیل آماری داده‌های بارش در ایستگاه‌های مذکور با توجه به جدول (۳) و شکل (٤) نشان می‌دهد که مدل بارش فصول سرد را (به استثنای ماه ژانویه در تهران و ماه فوریه در مشهد) بالاتر از مقادیر تجربی، شبیه‌سازی نموده است. این مقدار برای فصل تابستان با داده‌های تجربی مطابقت بالایی دارد. بررسی نمودار بارش و شاخص‌های آماری برای ایستگاه بندر انزلی با دو الگوی قبلی تفاوت آشکاری دارد به‌طوری که مدل در این ایستگاه هفت ماه از سال را پایین‌تر و پنج ماه از سال را بالاتر از داده‌های تجربی شبیه‌سازی نموده است. بارش در بعضی ماه‌ها بسیار بالاتر از مقادیر تجربی (اکتبر و نوامبر) و در بعضی ماه‌ها (دسامبر) بسیار پایین‌تر از داده‌های تجربی برآورد شده است. در این ایستگاه، برخلاف ایستگاه‌های دیگر مدل میانگین بارش سالانه را در طی دوره ۱۵ درصد کم‌تر از مقادیر تجربی برآورد نموده است. نتایج حاصل از تحلیل آماری بارش دو سری داده (داده‌های ماهانه) در تمامی ایستگاه‌های

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 18:46 IRDT on Saturday May 17th 2025

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 18:46 IRDT on Saturday May 17th 2025

مطالعاتی، همبستگی بالایی را نشان می‌دهد (کم‌ترین ۷۰٪ برای بندر انزلی و بیش‌ترین ۹۷٪ برای یزد). بالاترین اریبی (منفی ۲۵۷ میلی‌متر) در ایستگاه بندر انزلی و پایین‌ترین اریبی برای ایستگاه زنجان (منفی ۲ میلی‌متر) به دست آمد. بالاترین و پایین‌ترین مقدار شاخص ریشه میانگین مربعات خطا به‌ترتیب برای بندر انزلی ۳/۷۵ میلی‌متر و یزد ۰/۷۸ میلی‌متر محاسبه گردید که خطای قابل قبولی می‌باشد (شکل ٤ و جدول ۳).



شکل ۳: مقایسه نقشه‌های توزیع بارش سالانه شبیه‌سازی شده مدل RegCM4.3 و پایگاه داده‌های باز تحلیل ERA-Interim برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵

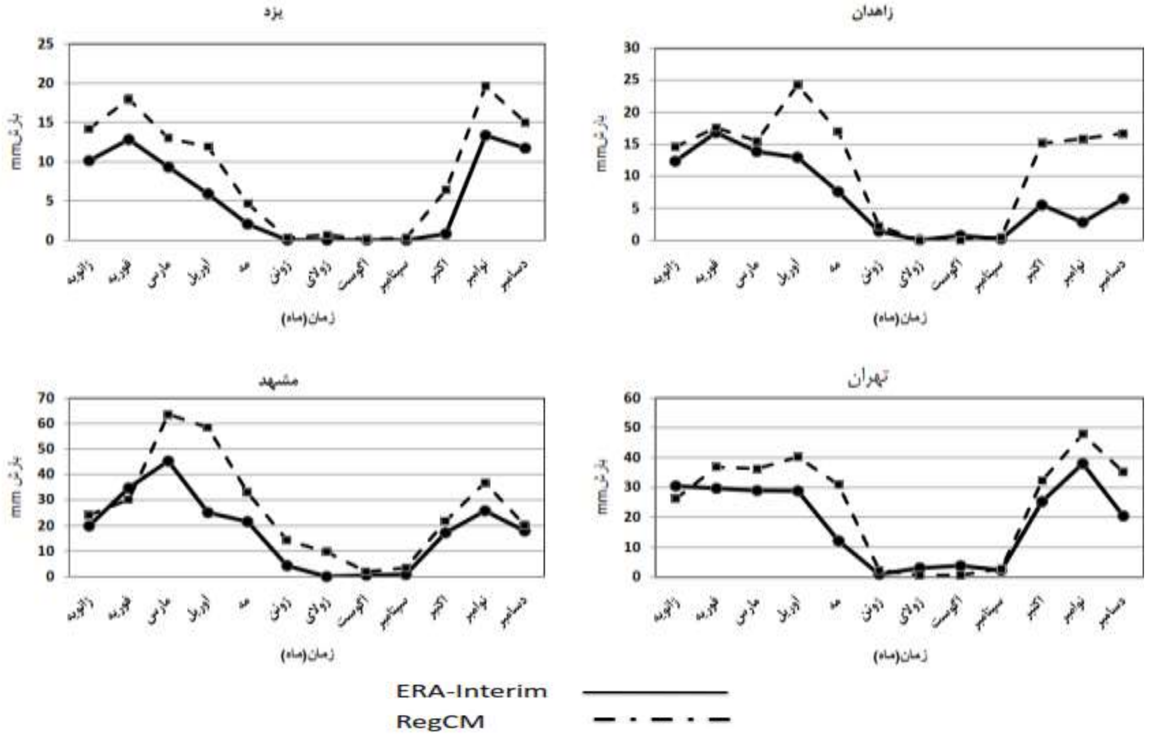
Figure 3: Comparison of simulated annual rainfall distribution maps by RegCM4.3 model and ERA-Interim reassessment databases for the period 2010 to 2015

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 18:46 IRDT on Saturday May 17th 2025

جدول ۳- میانگین بارش سالانه شبیه‌سازی شده و باز تحلیل و شاخص‌های ارزیابی مدل RegCM 4.3

Table 3- Simulated Annual Precipitation and Reanalysis and RegCM4.3 Model Evaluation Indicators

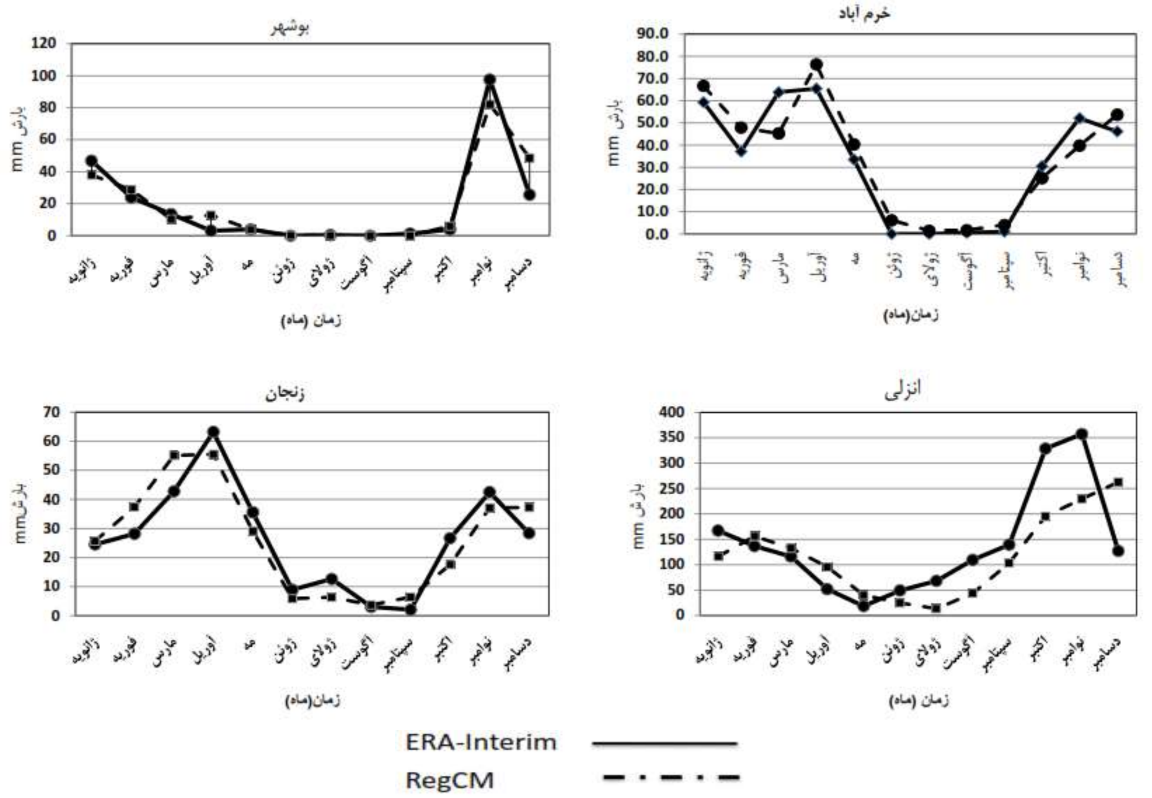
ایستگاه	میانگین بارش تجربی (mm)	میانگین بارش شبیه‌سازی (mm)	اریبی (bias) (mm)	درصد اریبی (bias%)	همبستگی (corr)	ریشه میانگین مربعات خطا (mm) (RMSE)
بندر انزلی	۱٦۷۳	۱٤۱٦	−۲٥۷	−۱٥	./۷۰	۳/۷٥
بندر بوشهر	۲۲۰	۲۳۱	۱۱	٤/۹٦	./۹٥	۱/۸۱
مشهد	۲۱۳	۳۱۷	۱۰٤	٤۸/۹۹	./۸۸	۲/٥٦
تهران	۲۲٤	۲۹۲	٦۸	۳۰/۳۸	./۹۲	۱/۸۱
یزد	٦٦	۱۰٤	۳۸	٥۷/٤٥	./۹۷	./۷۸
زاهدان	۸۱	۱۳۹	٥۸	۷۲/۷۷	./۷۸	۱/٤۱
زنجان	۳۱۸	۳۱٦	−۲	−۰/٦۰	۰/۹۲	۱/٤۱
خرم‌آباد	۳۸۹	٤۰۸	۱۹	٤/۹۳	۰/۹٤	۱/۸۰



شکل ٤: نمودار میانگین بارش ماهانه تجربی (میلی‌متر) و شبیه‌سازی شده در ایستگاه‌های منتخب در بازه زمانی ۲۰۱۵-۲۰۱۰

Figure 4: Average monthly rainfall graph experimental (mm) and simulated in selected stations in the period 2010-2015

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 18:46 IRDT on Saturday May 17th 2025



ادامه شکل ٤: نمودار میانگین بارش ماهانه تجربی (میلی‌متر) و شبیه‌سازی شده در ایستگاه‌های منتخب در بازه زمانی ۲۰۱۵-۲۰۱۰

Continue Figure 4: Average monthly rainfall graph experimental (mm) and simulated in selected stations in the period 2010-2015

نتیجه‌گیری

مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق با مطالعات مشابه در بسیاری از موارد همخوانی داشته و در بعضی موارد نیز با یافته‌های دیگران مغایرت دارد. این اختلاف نظر می‌تواند حاصل از مواردی چون، منطقه مورد مطالعه، بازه زمانی، پایگاه اخذ داده‌های تجربی و قدرت تفکیک مکانی و غیره باشد. تحقیق حاضر نتایج حاصل از Afzaal & Hussain (2006: 5)، Boroneant et al (2011) مبنی بر این‌که الگوی RegCM بارش سالانه را بیش از مقادیر تجربی شبیه‌سازی می‌کند تأیید می‌کند. Afzaal & Hussain (2006: 5), Zong & Wang (2011: 386)، عملکرد مدل RegCM را در شبیه‌سازی الگوی بارش و تغییرات سالانه آن مثبت ارزیابی نمودند. نتایج پژوهش حاضر نیز نشان می‌دهد مدل الگوی بارش را به‌خوبی شبیه‌سازی می‌کند و در نمایش روند تغییرات سالانه به‌جز ایستگاه مشهد، زاهدان و یزد در بقیه ایستگاه‌ها مطابقت قابل قبول است. گزارش مطالعه Iran nezhad et al (2009) از این حیث که مدل اقلیم منطقه‌ای در برآورد پارامتر دما بهتر از بارش عمل می‌کند با مطالعه حاضر همخوانی بالایی دارد. داده‌های حاصل از پژوهش Sobooti & Naghavi Azad (2014) که به شبیه‌سازی پارامترهای دما، بارش و فشار بر روی ایران با مدل اقلیم منطقه‌ای پرداخته بودند با نتایج مطالعه حاضر مطابقت بالایی دارد. شایان ذکر است که Taghiloo

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 18:46 IRDT on Saturday May 17th 2025

et al (2016) نیز یافته‌هایی مشابه با تحقیق حاضر در شبیه‌سازی دمای ایران داشته‌اند. مطالعه حاضر با نتایج تحقیق Karkhaneh et al (2016) که به بررسی نقش دریای خزر بر وقوع بارش‌های سواحل جنوبی آن با استفاده از مدل اقلیم منطقه‌ای پرداخته بودند همخوانی دارد، ایشان با اعتبارسنجی بارش‌های شبیه‌سازی شده اگرچه اریب‌های منفی و مثبت کوچکی را مشاهده نمودند به این نتیجه رسیدند که مدل RegCM توانسته است روند و مقدار بارش‌های ماهانه را به‌خوبی شبیه‌سازی نماید. نتایج حاصل از شبیه‌سازی دما در مطالعه حاضر با پژوهش Ghavidel Rahimi et al (2016) که بر روی موج‌های گرمایی انجام شده است نیز مطابقت بالایی نشان داد.

این مطالعه نشان داد که شبیه‌سازی به روش اقلیم منطقه‌ای RegCM می‌تواند روش مناسبی برای برآورد پارامترهای بارش و دما باشد. می‌توان گفت فرضیه تحقیق با توجه به نتایج حاصله قابل قبول است. شایان ذکر است که در شبیه‌سازی داده‌های دما، همسو با پژوهش (Bates et al (1995: 1505 مدل RegCM علیرغم برآورد مقادیر اندکی بالاتر از داده‌های تجربی در اکثر ماه‌ها، به خاطر هماهنگ بودن با داده‌های تجربی، کارآیی بالایی می‌تواند داشته باشد. برای پارامتر بارش اگرچه برآورد مدل در بعضی ایستگاه‌ها با داده‌های ثبت شده ایستگاهی تفاوت چشم‌گیری دارد (بندر انزلی ۲۵۷ میلی‌متر کم‌تر از میانگین ثبت شده) از حیث این‌که مدل می‌تواند الگوی بارش (سال‌ها و ماه‌های پر بارش و کم بارش) و همچنین روند تغییرات سالانه را به‌خوبی برآورد کند حائز اهمیت است. البته همان‌طور که در مبحث یافته‌های پژوهش نیز ذکر شد برآورد مقدار بارش در اکثر ایستگاه‌ها (ایستگاه زنجان اختلاف برآورد ۲ میلی‌متر) به مقادیر باز تحلیل نزدیک است. جداول (۲ و ۳) میانگین دما و بارش سالانه باز تحلیل و شبیه‌سازی شده و شاخص‌های ارزیابی مدل RegCM 4.3 را برای هشت ایستگاه منتخب نمایش می‌دهد. همچنین شاخص ریشه میانگین مربعات خطا در تمامی ایستگاه‌ها بین ۰/۲۲ تا ۰/۵۶ درجه سانتی‌گراد متغیر بود که به همراه ضریب همبستگی بالای ۰/۹۸ مجددا دقت بالای مدل را در شبیه‌سازی دما تایید نمود.

همان‌طور که در جدول (۳) میانگین بارش سالانه شبیه‌سازی شده و بازتحلیل و شاخص‌های ارزیابی مدل RegCM 4.3 نشان داده شده است، ضریب همبستگی به استثنای ایستگاه بندر انزلی، در تمامی ایستگاه‌ها بالای ۹۰٪ به‌دست آمده است که نشان‌دهنده هماهنگی شبیه‌سازی بارش با مقادیر بازتحلیل است. درصد اریبی در ایستگاه‌های خرم‌آباد، زنجان و بوشهر کم‌تر از ۵ درصد بود درحالی‌که برای ایستگاه‌های مشهد، یزد و زاهدان این شاخص درصد بالایی را نشان داد. شاخص ریشه میانگین مربعات خطا در تمامی ایستگاه‌ها کم‌تر از ٤ میلی‌متر به‌دست آمده است که نشان می‌دهد مدل به‌خوبی توانسته پارامتر بارش را شبیه‌سازی نماید.

به‌طور کلی پیشنهاد می‌گردد برای افزایش کارآیی مدل RegCM 4.3 از داده‌های ورودی متعدد با گام‌های زمانی مختلف به همراه دوره آماری بیش‌تر و همچنین قدرت تفکیک مکانی متفاوت با طرحواره‌های موجود استفاده و نتایج با یکدیگر مقایسه گردد تا منطقی‌ترین پیش‌بینی‌های اقلیمی از میان آن‌ها انتخاب گردد.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 18:46 IRDT on Saturday May 17th 2025

References

- Abbasi, F., Babaian, I., Malboosi, Sh., Asmari, M., Gholi Mokhtari. L., (2012), "Assessment of climate change in the coming decades (2025 to 2100 AD) downscaling data using general circulation models", ***Journal of Geographical research.*** 104: 205-230. [In Persian].

- Afzaal, M., Hussain, A., (2006), "Numerical Simulation of Summer Monsoon Precipitation of 1992 Over Pakistan", ***Pakistan Journal of Meteorology***, 3 (5): 55-67.

- Alijani, B., Kavyani, M. R., (2003), "Fundamentals of climatology", Samt publications. 9th press, Tehran. [In Persian].

- Alijani, B., Roshani, A., Parak, F., Heydari, R., (2012), "The extreme variability trend of temperature using indicators of climate change in Iran", ***Journal of Geography and environmental Hazards***, 2: 17-28. [In Persian].

- Asakereh, H., (2007), "Climate Change", Zanajan University publications, 1st press, Zanjan. [In Persian].

- Babaeian, I., Kwon, W. T., Im, E., (2004), "Climate change assessment over Korea using stochastic weather data", ***Technical report, Climate Research Lab, Korea Meteorological Administration.***

- Babaian, I., NajafiNik, Z., Zabolabbasi, F., Habibi Nokhandan, M., Adab, H., Malboosi, Sh., (2010) "Assessment of climate change in the period of 2030-2010 AD using downscaling data from general circulation models", ***Geography and Development Iranian Journal***, 16: 135-152. [In Persian].

- Babaian, I., Karimaian, M., Modirian, R., Habibi Nokhandan, M., (2008), "Simulated rainfall of cold months 1376 and 1379 using climate model RegCM3", ***Geography and Development Iranian journal***, 10: 55-72. [In Persian].

- Babaie Fini, O., ghasemi, E., Fattahi, E., (2015), "The effect of climate change on extreme precipitation indices trend in Iran", ***Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards.*** 3: 85-103. [In Persian].

- Bakhtiari, B., Poormoosavi, Sh., Sayyari. N., (2015), "The effect of climate change on the frequency-term- severity curves of precipitation in Babolsar during the period 2030-2011", ***Iranian Journal of Irrigation and Drainage***, 4: 694-704. [In Persian].

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

- Boroneant, C., Potop, V., Caian, M., (2011), "Validation of RegCM precipitation simulation over Republic of Moldova, Application for Standard Precipitation Indices calculated for the period 1960-1997", ***Source and Limit of Social Development, International Scientific Conference***, 6th - 9th September, 2011, Topolcianky, Slovakia.

- Elguindi, N., Giorgi, F., (2006), "Simulating Multi-decadal Variability of Caspian Sea Level Changes Using Regional Climate Model Outputs", ***Climate Dynamics***, 26: 167-181.

- Francisco, R., (2003), "Some Experiments in Running the RegCM over the Philippines", ***ICTP Workshop on the Theory and Use of Regional Climate Models***, Trieste Italy.

- Ghavidel, Y., Zerafati, H., Farajzadeh, M., (2016), "Application of RegCM4 Model to Synoptic Structure Analysis of July Heat Wave, Khuzestan Province", ***The Journal of Spatial Planning***, 20 (3): 269-286. [In Persian].

- Gu, H., Wang, G., Yu, Z., Mei, R., (2012), "Assessing future climate changes and extreme indicators in east and south asia using the RegCM4 regional climate model", ***Climate Change***, 301-317.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 18:46 IRDT on Saturday May 17th 2025

- Hejazi Zadeh, Z., Fattahi, E., Massah Bavani, A., Naserzadeh, M., (2012), "Assess the impact of climate change on flood hydrograph in future periods, case study: Water basin Bakhtiari", ***Journal of Geography***, 34: 5-24. [In Persian].
- Iran nezhad, P., Ahmadi Givi, F., Pazoki, R., (2009), "The role of different convective parameterization methods in simulating precipitation and air temperature fields using regional climate model (RegCM3) in Iran", ***Journal of the Earth and Space Physics***, 35 (1): 101-120. [In Persian].
- Karkhaneh, M., Mofidi, A., Zarrin, A., (2016), "Simulating the role of Caspian Sea on the occurrence of regional scale precipitation over southern coast of Caspian Sea", ***Geography and Territorial Spatial Arrangement***, 18: 153-168. [In Persian].
- Modirian, R., Babaian, I., Karimaian, M., (2009), "RegCM3 optimal configuration model to simulate the temperature and precipitation in autumn Khorasan region in the period 1991-2000", ***Physical Geography Research Quarterly***, 70: 107-120. [In Persian].
- Naghaviazad, A., Mousavi, S. V., Taghiloo, M., (2016), "Investigating and comparing different driving models data for SAS CORDEX to improve downscaling the climate of Iran". ***3rd regional conference on climate change and global warming***, 8-9 March, 2016, Fars province, Iran.
- Sobooti, Y., (2011), "Warmed earth, what has the climate of the 21st century to offer", 1st press. GhitaShenasi, Tehran. [In Persian].
- Sobooti, Y., Naghavi Azad., (2014), "Predicting Iran's regional climate", ***Journal of the Science Cultivation***, 2: 124-129. [In Persian].
- Soltan Zadeh, A., Iran nezhad., Ahmadi Ghivi, P., (2007), "Quarterly impact study of Zagros mountains on middle-scale Zagros area flows using regional climate model (RegCM)", ***Journal of the Earth and Space Physics***, 33 (1): 31-50. [In Persian].
- Syed, F. S., Iqbal, W., Syed, A. A. B., Rasul, G., (2013), "Uncertainties in the regional climate models simulations of South-Asian summer monsoon and climate change", ***Climate Dynamics***, 2079-2097.
- Taghiloo, M., Naghavi Azad, A., Moosavi, S. V., Alijani, B., (2016), "Assess the impact of climate change on temperature and pressure Iran using regional climate model (RegCM) ", ***3rd regional conference on climate change and global warming***, 8-9 March. 2016. Fars province, Iran. [In Persian].
- 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***, 16 (11): 1721-1738.
- Zong, P., Wang, H., (2011), "Evaluation and analysis of RegCM3 simulated summer rainfall over the Huaihe river of China", ***Acta Meteorologica Sinica***, 25 (3): 386-394.