

## اقلیم ایران، پیش‌نگری دما و بارش تا ۲۰۳۰ میلادی

یوسف ثبوتی<sup>۱،۲</sup>، رسول درویش زاده<sup>۱</sup>، امیر نقوی آزاد<sup>۱\*</sup>

### چکیده

نوشته حاضر ادامه نتایج پژوهشی است که از چند سال پیش در «پژوهشکده تغییر اقلیم و گرمایش زمین» دانشگاه تحصیلات تکمیلی در علوم پایه - زنجان شروع شده است. هدف از آن بکارگیری «مدل اقلیم منطقه‌ای RegCM» برای مطالعه اقلیم منطقه‌ای ایران و پیش‌نگری آن تا پایان سده ۲۱ است. تاکنون مدل سازی‌ها تا سال ۲۰۳۰ پایان یافته است. راستی‌آزمایی مدل سازی‌ها برای سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ انجام شد و نتایج با داده‌های تجربی CRU مقایسه گردید. خطای نسبی برای دمای بیشینه حدود ۰.۵٪ و برای دمای کمینه، دمای متوسط و بارش در حدود ۱۰٪ بدست آمد. طبق پیش‌نگری صورت گرفته طی ۱۶ سال آینده دمای متوسط به تدریج نزدیک به یک درجه افزایش می‌یابد و بارندگی ماهانه نزدیک به چهار میلی‌متر کاهش خواهد یافت. پیش‌نگری برای سال‌های بعد در حال انجام است.

واژگان کلیدی: مدل اقلیم منطقه‌ای (RegCM)، راستی‌آزمایی، پیش‌نگری اقلیم، دما، بارندگی.

\* عهده‌دار مکاتبات، تلفن: ۲۲۱۲ ۳۳۱۵ (۹۸+)، دورنگار: ۲۱۰۴ ۳۳۱۵ (۹۸+)، نشانی الکترونیکی: amirazad.iasbs@gmail.com  
۱. پژوهشکده تغییر اقلیم و گرمایش زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی در علوم پایه زنجان، ایران.  
۲. استاد، نشانی الکترونیکی: Sobuti@iasbs.ac.ir

## مقدمه

نتایج مدل سازی و ثبت هم‌دید برای کمیت‌های فشار، دمای متوسط، دمای کمینه و دمای بیشینه سازگاری خوبی داشتند. برای بارش در برخی موارد نتایج قابل قبول بود، اما در برخی دیگر همخوانی کمی بین مدل و اندازه‌گیری‌ها به چشم می‌خورد.

از نتیجه این مطالعات اولیه و چند کار مشابه دیگر [۳، ۴] اطمینان لازم از درستی و کارایی مدل حاصل شد. در گام بعدی برای اولین بار در کشور، مدل RegCM4.3 برای پیش‌نگری اقلیم منطقه‌ای ایران به کار گرفته شد. این کار ابتدا برای ماه آوریل ۲۰۱۳ و سپس ماه‌های می و ژوئن انجام شد. نتایج دمای پیش‌نگری شده با ثبت هم‌دید که بعداً بدست آمد به طور میانگین برای ۲۴ شهر بررسی شده خطایی کمتر از یک درجه سانتی‌گراد داشت. با دستیابی به این نتایج راه برای اجرای یک پیش‌نگری طولانی مدت باز شد.

## اجرای مدل برای سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰

در ادامه، آنچه را که تاکنون برای مطالعه اقلیم آینده ایران انجام شده توضیح داده خواهد شد. در حال حاضر نتایج اولیه پیش‌نگری تا سال ۲۰۳۰ بدست آمده‌اند و پیش‌نگری برای سال‌های بعد از آن نیز در حال انجام است. سال ۲۰۱۰ برای شروع مدل سازی‌ها و به منظور ارزیابی میزان درستی نتایج انتخاب شد.

مطالعه قبلی نشان داده بود که اجرای مدل با دقت مکانی  $20 \times 20$  کیلومتر مربع نتایج بهتری نسبت به دقت مکانی  $60 \times 60$  کیلومتر مربع در بر دارد. با وجود چندین برابر شدن زمان اجرای مدل با دقت مکانی  $20 \times 20$  کیلومتر مربع، به منظور رسیدن به جزئیات بیشتر و دقت بالاتر، از این دقت مکانی استفاده شد. منطقه مورد مطالعه علاوه بر ایران بخش‌هایی از کشورهای همسایه را نیز شامل می‌شود. جزئیات زیاد دیگری نیز در تنظیمات اجرای مدل سازی‌ها وجود دارد که چون در مقاله پیشین به آن‌ها پرداخته شده، از تکرار دوباره آن‌ها در اینجا چشم‌پوشی می‌شود.

## راستی‌آزمایی

با توجه به اینکه داده‌های تجربی قابل اعتماد در پایگاه‌های جهانی تا سال ۲۰۱۳ در دسترس هستند، راستی‌آزمایی مدل سازی‌ها برای سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ انجام شد. این داده‌ها را «بخش پژوهش اقلیمی» (CRU) دانشگاه East Anglia جمع‌آوری، آماده و در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهد.

یکی از کاربردهای مهم مدل‌های اقلیمی کمک به فهم بهتر سازوکار فرآیندهایی است که در اقلیم زمین یا بخشی از آن روی می‌دهند. اقلیم سامانه پیچیده‌ای است و فرآیندهای زیادی هستند که دانش کنونی ما قادر نیست به خوبی آن‌ها را توضیح دهد.

برای برخی از این فرآیندها الگوهای ارائه شده که به صورت پارامترهایی در مدل‌های اقلیمی گنجانده شده‌اند. در اجراهای متفاوت از یک مدل می‌توان این الگوها را بررسی کرد و از مقایسه نتایج خروجی مدل با داده‌های تجربی، درستی و کارایی الگوها را آزمود. همچنین با تغییر دادن پارامترهای مختلف می‌توان سازوکار فرآیندهای مورد مطالعه را بهتر درک کرد.

کاربرد مهم دیگر مدل‌ها، پیش‌نگری اقلیم آینده است. آگاهی داشتن از روند تغییرات در آینده کمک می‌کند که از نظر سازگاری<sup>۱</sup> با آن‌ها، و کاهش اثرات آنها<sup>۲</sup> اقدامات لازم را انجام دهیم. سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان می‌توانند در تدوین سیاست‌های کلان و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و میان‌مدت از نتایج این پیش‌نگری‌ها استفاده کنند. در نظر گرفتن مسائل زیست‌محیطی در کنار توجه به این موارد، گام موثری در راستای تحقق توسعه پایدار<sup>۳</sup> در کشورمان خواهد بود.

باید در نظر داشت که نتایج هر مدل سازی با خطا همراه است. اگرچه مدل‌های اقلیمی با افزایش دانش برهم‌کنش مولفه‌های مختلف اقلیم بر یکدیگر، و پیدایش رایانه‌های سریع و بزرگ پیشرفت‌های زیادی داشته‌اند [۱]، اما همچنان برخی سوگیری‌های سیستماتیک در آن‌ها دیده می‌شود. تعداد خیلی زیاد فرآیندها و پیچیدگی‌شان، محدودیت در بالا بردن دقت مکانی مدل سازی‌ها، و وقت‌گیر بودن اجرای آن‌ها از جمله مسائل پیش رو در این زمینه هستند. دستیابی به نتایج قابل اعتماد نیازمند مطالعات گسترده و طولانی است. این نوشته حاصل بخشی از پژوهشی است که از چند سال پیش در «پژوهشکده تغییر اقلیم و گرمایش زمین» دانشگاه تحصیلات تکمیلی در علوم پایه - زنجان شروع شده است. برخی از نتایج آن به صورت سخنرانی‌هایی در کنفرانس‌ها و سمینارهای داخلی و خارجی ارائه شده‌اند. نتایج مطالعات و پژوهش‌های اولیه در این خصوص پیشتر به طور مفصل در مقاله دیگری گزارش شده‌اند [۲].

در بخش قبلی پژوهش، اقلیم ایران و همسایگان آن با استفاده از «مدل اقلیم منطقه‌ای» (RegCM)<sup>۴</sup> برای دهه ۹۰ میلادی بازتولید شد. نتایج مدل سازی‌ها با داده‌های تجربی که از سازمان هواشناسی ایران تهیه گردید، مقایسه شدند.

1. Adaptation  
2. Mitigation  
3. Sustainable development

4. Regional Climate Model  
5. Climatic Research Unit

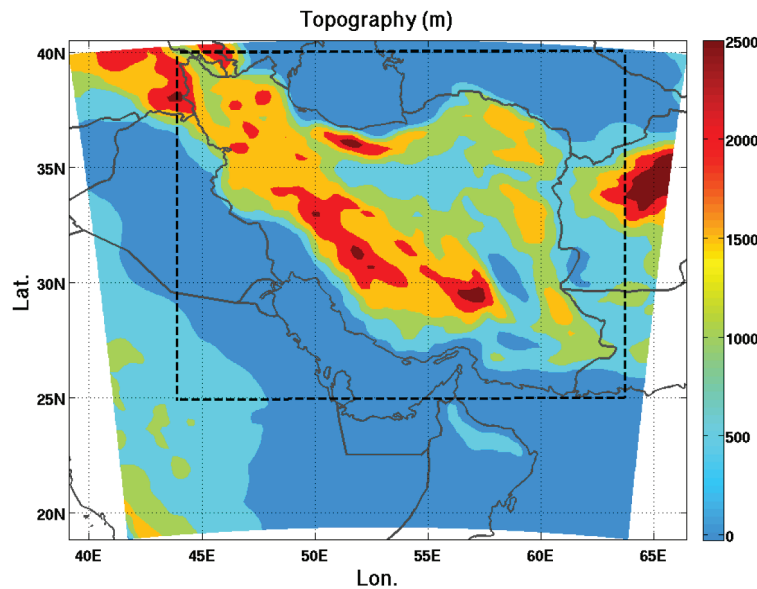
داده‌های تجربی و فایل‌های خروجی مدل از نوع netcdf و با پسوند nc هستند. نرم‌افزار متلب ابزارهای جانبی مخصوصی برای مدیریت آن‌ها دارد که ابتکار عمل زیادی به کاربر می‌دهد، اما شاید ایرادش آن باشد که فرآیند تحلیل نتایج را پیچیده می‌کند. تعداد زیاد و حجم بالای فایل‌ها باعث می‌شود فراخوانی و بارگذاری داده‌ها در متلب بسیار زمان‌بر باشد. در این برنامه‌ها ابتدا داده‌های مربوط به هر کمیت برای منطقه مورد مطالعه جدا شد و میانگین‌ها زمانی حساب شد. پس از آن بر روی منطقه مشخص شده در شکل ۱ میانگین گرفته شد. در پایان اختلاف مقدار میانگین داده‌های تجربی و نتایج مدل سازی، محاسبه شد و خطاهای مطلق و نسبی بدست آمدند. نتایج این مقایسه در جدول ۱ جمع‌بندی شده است.

نمودارهای توزیع میانگین دمای کمینه، دمای بیشینه و دمای متوسط مدل سازی شده و اندازه‌گیری شده برای بازه سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ به ترتیب در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است. شکل سمت چپ مربوط به داده‌های تجربی CRU و شکل سمت راست مربوط به نتایج مدل RegCM است. نوار رنگی کنار شکل دما را بر حسب درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد. رنگ‌های آبی معرف دماهای پایین و رنگ‌های قرمز معرف دماهای بالاست. از شکل به وضوح پیداست که نتایج مدل سازی با داده‌های تجربی همخوانی بسیار خوبی دارد. الگوی دمایی هوای سرد در مناطق مرتفع و کوهستانی، و هوای گرم در مناطق کم‌ارتفاع و هموار به خوبی مدل سازی شده است و توافق قابل قبولی با اندازه‌گیری‌ها دارد.

داده‌های این موسسه به دلیل استفاده از داده‌های خام با کیفیت و روش‌های بازتحلیل دقیق، از معتبرترین داده‌های در دسترس هستند و بسیاری از پژوهشگران و محققان در سراسر جهان به طور گسترده از آن‌ها بهره می‌برند. در تهیه آن‌ها از داده‌های ایستگاه‌های همدیدی زمینی و داده‌های ماهواره‌ای استفاده می‌شود. برای مناطقی که داده خام وجود ندارد با بهترین روش‌های آماری، درون‌یابی و داده‌های تقریبی تولید می‌شود. این داده‌ها برای کل زمین تهیه می‌شوند و در نتیجه حجمشان بالاست. به همین دلیل زمان بازتحلیل و آماده‌سازی آن‌ها برای انتشار، طولانی است.

محدودیت دیگر آن‌ها دقت مکانی‌شان است. این داده‌ها تنها با دقت مکانی ۵/۰ درجه موجود هستند و این مساله کار مقایسه با مدل سازی‌ها را در برخی مواقع مشکل می‌کند. از بین چند کمیت محدود که در دسترس و قابل دانلود بودند، چهار کمیت دمای کمینه، دمای بیشینه، دمای متوسط، و بارندگی برای راستی‌آزمایی مدل سازی‌ها مطالعه شدند.

شکل ۱ توپوگرافی منطقه را نشان می‌دهد. رنگ‌ها بیانگر ارتفاع از سطح دریا بر حسب متر هستند. میانگین‌گیری‌ها بر روی بخشی از منطقه انجام شد که در شکل با خط‌چین مشخص شده است. این منطقه بین عرض‌های جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۴ تا ۶۴ درجه شرقی واقع شده است. دلیل این کار در بخش عوامل خطا توضیح داده خواهد شد. برای انجام محاسبات ریاضی بر روی داده‌ها، برنامه‌هایی در نرم‌افزار متلب نوشته شد.



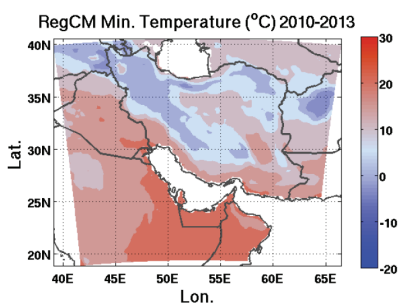
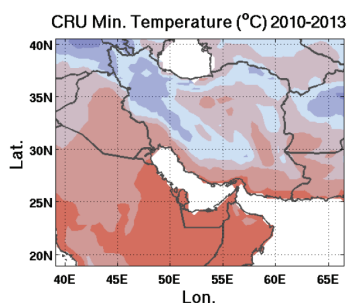
شکل ۱. توپوگرافی منطقه. خط‌چین‌ها ناحیه‌ای که میانگین‌گیری‌ها بر روی آن‌ها انجام شده است را نشان می‌دهد.

جدول ۱. میانگین دمای کمینه، دمای بیشینه، دمای متوسط، و بارندگی برای سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ برای منطقه مشخص شده در شکل ۱ و مقدار اندازه‌گیری شده آن‌ها، خطای مطلق و خطای نسبی هر یک.

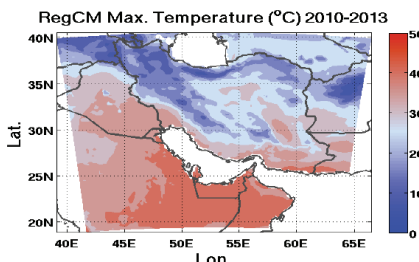
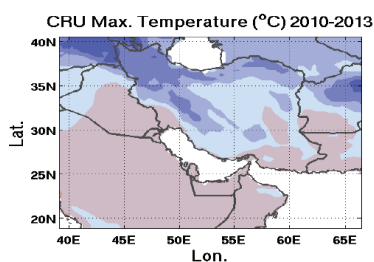
بارندگی (mm)	دمای متوسط (°C)	دمای بیشینه (°C)	دمای کمینه (°C)	
۱۲/۳۴	۱۷/۳۶	۲۷/۹۹	۱۱/۲۳	مقدار مدل سازی شده (MCgeR)
۱۳/۹۵	۱۹/۶۲	۲۶/۶۰	۱۲/۷۰	مقدار اندازه‌گیری شده (URC)
۱/۶۱	۲/۲۶	۱/۳۹	۱/۴۷	خطای مطلق
۱۱/۵۶	۱۱/۵۴	۵/۲۴	۱۱/۵۹	خطای نسبی (%)

کرده است. میانگین دمای متوسط مدل سازی شده و اندازه‌گیری شده به ترتیب تقریباً ۴/۱۷ و ۷/۱۹ درجه سانتی‌گراد بدست آمد و این یعنی دمای متوسط در مدل نسبت به واقعیت حدود ۲/۲ درجه گرم‌تر است. از آنجایی که برای دماهای کمینه و بیشینه این اختلاف کمتر از ۲ درجه بود، شاید بیانگر آن باشد که مدل در محاسبه کمینه‌ها و بیشینه‌ها بهتر عمل می‌کند. با وجود این هنگامی که خطاهای نسبی بررسی شوند، خطای نسبی دمای متوسط در حدود ۵/۱۱ بدست می‌آید که بسیار نزدیک به خطای نسبی دمای کمینه و تنها کمی بیشتر از خطای نسبی دمای بیشینه است. این مقدار خطاها از نظر مدل سازی‌های اقلیم منطقه‌ای نتایج خوبی به حساب می‌آیند و ما را از عملکرد درست مدل مطمئن می‌کنند.

میانگین دمای کمینه مدل سازی شده و اندازه‌گیری شده برای سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ و برای منطقه‌ای که در شکل ۱ مشخص شده، به ترتیب تقریباً ۲/۱۱ و ۷/۱۲ درجه سانتی‌گراد بدست آمده که اختلاف این دو در حدود ۵/۱ درجه است؛ یعنی مدل به طور میانگین دمای کمینه را تقریباً ۵/۱ درجه سانتی‌گراد خنک‌تر مدل سازی می‌کند. بدین ترتیب خطای نسبی آن اندکی بیش از ۱۱ درصد خواهد بود. میانگین دمای بیشینه مدل سازی شده و اندازه‌گیری شده به ترتیب تقریباً برابر ۲۸ و ۲۶/۲۶ درجه سانتی‌گراد و اختلاف آن‌ها در حدود ۱/۴ درجه است. خطای نسبی آن هم در حدود ۵ درصد است. در کل مدل دمای بیشینه را کمی بیش از ۱ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر از اندازه‌گیری‌های ثبت شده، مدل سازی



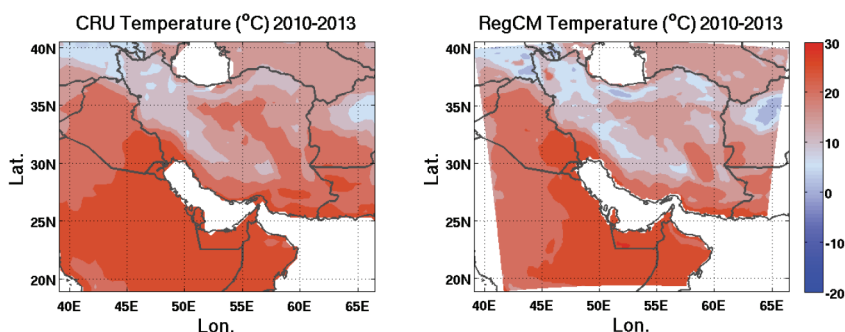
شکل ۲. توزیع میانگین دمای کمینه مدل سازی شده (راست) و اندازه‌گیری شده (چپ) در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳.



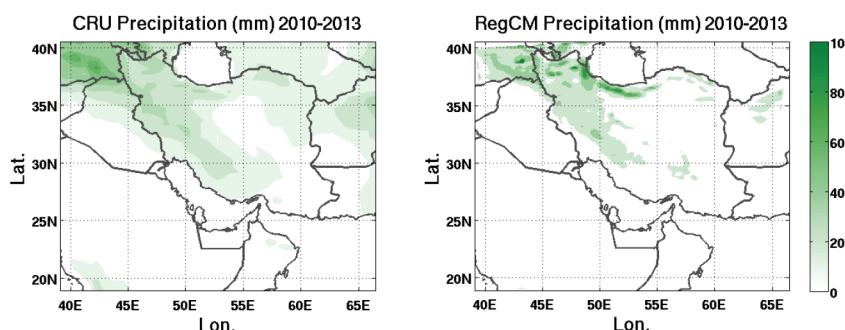
شکل ۳. توزیع میانگین دمای بیشینه مدل سازی شده (راست) و اندازه‌گیری شده (چپ) در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳.

مناطق مرطوب بارش به مدت زیاد ادامه پیدا کند. البته این یک حدس اولیه است که صحت آن را می‌توان با آزمون‌های حساسیت‌سنجی سنجد. با وجود این اختلاف‌ها، جدول ۱ نشان می‌دهد که میانگین بارش ماهانه مدل سازی شده و اندازه‌گیری شده به ترتیب تقریباً ۳/۱۲ و ۹/۱۳ میلی‌متر بدست آمده است. اختلاف این دو ۶/۱ میلی‌متر و خطای نسبی در حدود ۵/۱۱ درصد خواهد بود. بنابراین در مورد بارش هم می‌توان به نتایج مدل سازی‌ها اعتماد کرد.

نمودارهای توزیع میانگین ماهانه بارندگی مدل سازی شده و اندازه‌گیری شده بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ در شکل ۵ نشان داده شده است. شکل سمت چپ مربوط به داده‌های تجربی CRU و شکل سمت راست مربوط به نتایج مدل RegCM است. نوار رنگی میزان بارش ماهانه را بر حسب میلی‌متر نشان می‌دهد. رنگ‌های سبز معرف بارندگی‌های زیاد است و هر چه به سمت رنگ‌های روشن‌تر می‌رویم از میزان آن کاسته می‌شود.



شکل ۴. توزیع میانگین دمای متوسط مدل سازی شده (راست) و اندازه‌گیری شده (چپ) در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳.



شکل ۵. توزیع میانگین بارش ماهانه مدل سازی شده (راست) و اندازه‌گیری شده (چپ) در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳.

### عوامل خطا

جواب‌های معادلات دیفرانسیل که به روش عددی بدست می‌آیند در نزدیکی مرزهای سیستم همواره کمی خطا دارند. این اتفاق برای جواب‌های معادله‌های بکار رفته در مدل اقلیم منطقه‌ای نیز روی می‌دهد و به دلیل مسائل مربوط به شرایط مرزی، داده‌های نزدیک به مرز دامنه در نتایج مدل سازی ایجاد خطا می‌کند. از این رو نواری به ضخامت چند ده کیلومتر از لبه‌های دامنه بریده و از میانگین‌گیری‌ها کنار گذاشته می‌شود که در شکل ۱ توضیح داده شد. یکی دیگر از

همان‌طور که از شکل پیداست شدت رنگ سبز در نتایج مدل سازی بیشتر است. از سوی دیگر مناطق با رنگ سفید سطح بیشتری پوشانده‌اند. نتیجه‌ای که می‌توان گرفت این است که مدل برای مناطق پر بارش (مانند حاشیه دریای خزر) بارندگی بیشتر از واقعیت و برای مناطق با بارش متوسط یا کم (مانند مناطقی در شمال شرق یا جنوب غرب) بارندگی کمتری نسبت به واقعیت محاسبه کرده است. علت این اتفاق پیچیده است و نیاز به مطالعه گسترده دارد. در اجراهای کنونی به نظر می‌رسد که بارش به سختی شروع می‌شود اما زمان بارندگی طولانی است. این باعث شده که در مناطق خشک بارش شروع نشود، اما در

دریاها) به طور دقیق غیر ممکن است که باعث خطا می‌شود. تا جایی که امکانات به ما اجازه می‌داد، همه این موارد هنگام میانگین‌گیری‌ها لحاظ شدند تا خطا به کمترین میزان خود برسد.

مدل‌سازی‌های اقلیمی از جمله سنگین‌ترین و وقت‌گیرترین محاسبات رایانه‌ای هستند. علاوه بر محدودیت در دسترسی به داده‌های مورد نیاز، مشکل اساسی دیگر نبود سخت‌افزار مناسب است که بتوان بر روی آن مدل را با تنظیمات اولیه متفاوت اجرا کرد تا آنچه که با منطقه مورد مطالعه سازگاری بهتری دارد را تشخیص داد.

امروزه در اروپا برای بالا بردن دقت مدل‌سازی‌های اقلیمی، شبکه‌ای از ایستگاه‌های اقلیمی و هواشناسی نصب و راه‌اندازی می‌شوند که موقعیت جغرافیایی آن‌ها تا حد ممکن منطبق با نقاطی است که در شبکه‌بندی مدل‌سازی‌هایشان استفاده می‌کنند. خطاهای ناشی از شرایط اولیه، ناهمخوانی دقت مکانی خروجی‌های مدل و داده‌های تجربی، و عدم تطابق نقاط ناحیه مورد مطالعه و مرزهای آن با واقعیت، با استفاده از داده‌های این ایستگاه‌ها به شدت کاهش می‌یابد. البته در این راستا نمی‌توان امیدوار بود در آینده نزدیک در منطقه خودمان اقدام چندانی صورت گیرد؛ ولی نکات این چنینی کمک می‌کند تا شرایط را بهتر بسنجیم و از امکانات موجود خوب استفاده کنیم و در مسیری که در آغاز آن هستیم برای بالا بردن دقت مدل‌سازی‌ها و کاهش خطاهای آن تلاش کنیم.

عوامل خطا از آنجا ناشی می‌شود که منطقه مدل‌سازی بر حسب کیلومتر شبکه‌بندی شده است اما داده‌های تجربی برای آن بر حسب درجه. این باعث می‌شود که شکل‌های حاصل از مدل‌سازی هنگام نمایش در دستگاه طول و عرض جغرافیایی از شکل طبیعی خارج شود و کج به نظر برسد.

لبه‌های پایین دامنه در این تصاویر کمی جمع شده و لبه‌های بالا کمی پهن شده هستند. لبه‌های منطقه مورد مطالعه در خروجی‌های مدل و داده‌های تجربی بر هم منطبق نیستند و این در هنگام میانگین‌گیری بر روی کل منطقه ایجاد خطا می‌کند. با بریدن نوار مرزی و کنار گذاشتن آن این مشکل نیز حل می‌شود.

معمولاً برای مناطقی که از ایستگاه‌های ثبت هم‌دید فاصله زیادی دارند، و یا بر روی دریاها، برای داده‌های تجربی مقدار درستی ثبت نشده است، در حالی که در مدل‌سازی برای تمام نقاط (چه خشکی و چه دریا) داده داریم. برای اینکه در ذخیره‌سازی فایل‌های مربوط به داده‌های تجربی مشکل کمتری پیش بیاید برای نقاطی که برای آن‌ها داده خام وجود ندارد مقداری غیر واقعی در نظر می‌گیرند که به آن «مقدار از دست رفته<sup>۲</sup>» گفته می‌شود. هنگام میانگین‌گیری چنین نقاطی را باید از داده‌های تجربی و مدل‌سازی کنار گذاشت. باز هم به دلیل دقت مکانی‌های نامساوی و نوع شبکه‌بندی‌های متفاوت این دو، انطباق خطوط ساحلی (به منظور حذف داده‌های غیر واقعی روی

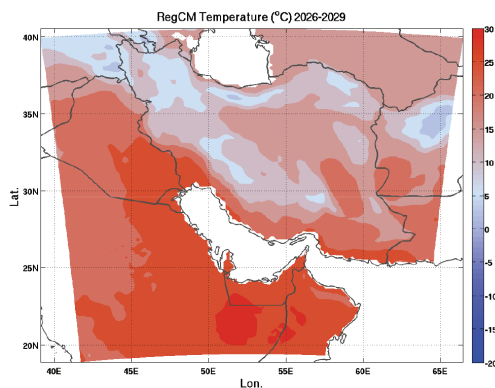
جدول ۲. میانگین‌های ۴ ساله دمای کمینه، دمای بیشینه، دمای متوسط، و بارندگی در سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۹ و برای منطقه مشخص شده در شکل ۱.

بازه زمانی	دمای کمینه (°C)	دمای بیشینه (°C)	دمای متوسط (°C)	بارندگی (mm)
۲۰۱۴ - ۲۰۱۷	۱۰/۸۷	۲۴/۲۹	۱۷/۰۸	۱۶/۶۴
۲۰۱۸ - ۲۰۲۱	۱۰/۶۴	۲۴/۴۲	۱۷/۰۱	۱۳/۱۲
۲۰۲۲ - ۲۰۲۵	۱۱/۶۶	۲۵/۲۴	۱۷/۹۶	۱۴/۶۱
۲۰۲۶ - ۲۰۲۹	۱۱/۵۸	۲۵/۳۲	۱۷/۹۳	۱۲/۷۵

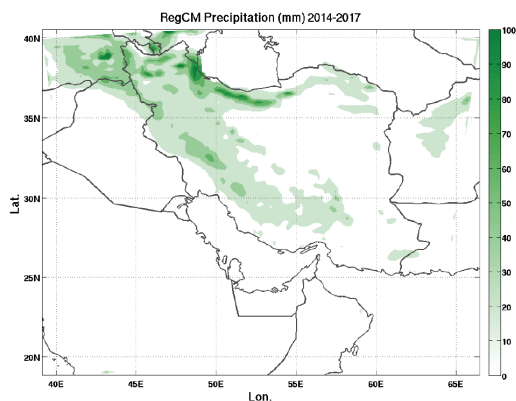
1. Missing value

## پیش‌نگری

درجه افزایش پیدا می‌کند و در ۴ ساله چهارم هم بسیار نزدیک به هم هستند. با توجه به جدول ۲ میانگین‌های دمای بیشینه برای بازه‌های ۴ ساله تقریباً ۳/۲۴، ۴/۲۴ و ۲/۲۵ و ۳/۲۵ درجه بدست آمده‌اند که روند تدریجی گرم‌تر شدن هوا به خوبی نشان می‌دهد. از اینکه میانگین‌های دماهای کمینه، بیشینه و متوسط حدود ۱ درجه افزایش نشان می‌دهند در مجموع می‌توان این گونه نتیجه گرفت که طبق پیش‌نگری‌ها طی چند دهه آینده با گرم‌تر شدن هوا پیش رو خواهیم بود.



شکل ۷. میانگین دمای متوسط پیش‌نگری شده برای سال‌های ۲۰۲۶ تا ۲۰۲۹.

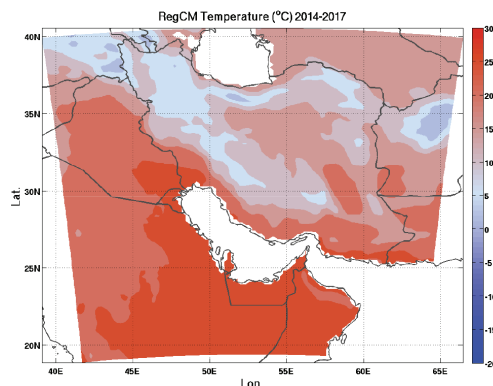


شکل ۸. میانگین بارش ماهانه پیش‌نگری شده برای سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷.

میانگین بارش ماهانه پیش‌نگری شده برای سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ و ۲۰۲۶ تا ۲۰۲۹ در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده‌اند. نوار رنگی میزان بارش ماهانه را بر حسب میلی‌متر نشان می‌دهد. رنگ‌های سبز معرف بارش زیاد و رنگ‌های سفید و روشن‌تر معرف بارش کم هستند. همان‌طور که از شکل‌ها پیداست شدت رنگ سبز در نمودار ۴ ساله اول نسبت به آخر کمتر می‌شود که بدین معناست که میزان بارش ماهانه

پیش‌نگری اقلیم منطقه‌ای ایران تا سال ۲۰۳۰ با توجه به نتایج بخش قبل و اطمینان از عملکرد درست مدل انجام شد. برای این کار پس از دانلود و آماده‌سازی داده‌های مورد نیاز، مدل اجرا و در پایان خروجی‌ها تحلیل شدند. از آنجایی که بازتولید اقلیم گذشته برای بازه ۴ ساله ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ انجام شده بود، نتایج سال‌های بعد از آن نیز به صورت میانگین‌های ۴ ساله محاسبه شدند. میانگین‌ها بر روی منطقه مشخص شده در شکل ۱ گرفته شد و حاصل آن در جدول ۲ آمده است. مطالعه بر روی کمیت‌های دمای کمینه، دمای بیشینه، دمای متوسط، بارش انجام شد و برای نمونه نمودارهای دمای متوسط و بارش ارائه شده‌اند.

میانگین دمای متوسط پیش‌نگری شده برای سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ و ۲۰۲۶ تا ۲۰۲۹ به ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده‌اند. نوار رنگی بیانگر دما برحسب درجه سانتی‌گراد است و از رنگ‌های آبی به سمت رنگ‌های قرمز دما بیشتر می‌شود. همان‌طور که از شکل‌ها پیداست شدت رنگ قرمز در نمودار ۴ ساله آخر نسبت به اول بیشتر است که بدین معناست که میانگین دمای متوسط بیشتر می‌شود. البته در ۴ ساله سوم (یعنی سال‌های ۲۰۲۲ تا ۲۰۲۵) دمای متوسط اندکی نسبت به ۴ ساله چهارم بیشتر می‌شود ولی روند کلی افزایشی است که به خوبی از جدول ۲ پیداست. میانگین‌ها برای این بازه‌های ۴ ساله به ترتیب تقریباً برابر ۱/۱۷، ۰/۱۷، ۰/۱۸ و ۹/۱۷ درجه سانتی‌گراد هستند. ابتدا با یک کاهش جزئی، سپس با افزایشی نزدیک به یک درجه و در پایان باز هم با یک کاهش جزئی روبرو هستیم.

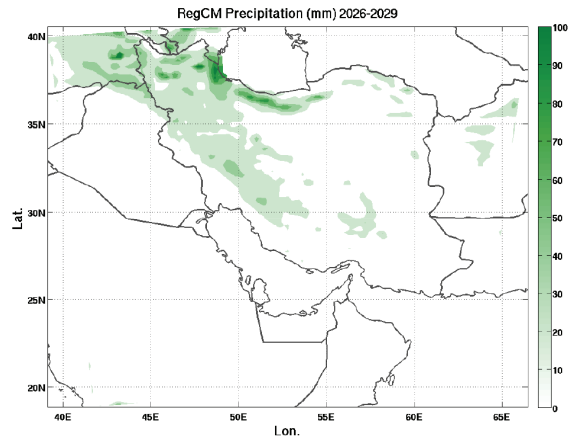


شکل ۶. میانگین دمای متوسط پیش‌نگری شده برای سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷.

تغییرات میانگین دمای کمینه و دمای بیشینه نیز تا اندازه زیادی مانند دمای متوسط است. طبق جدول ۲ برای دمای کمینه میانگین‌های ۴ ساله تقریباً ۹/۱۰، ۶/۱۰، ۶/۱۱ و ۶/۱۱ درجه هستند. اگرچه ۴ ساله دوم اندکی خنک‌تر از ۴ ساله اول است، اما در ۴ ساله سوم بیش از ۱

## منابع و مأخذ

- [۱]. ثبوتی ی. (۱۳۹۰). "زمین گرم"، انتشارات گیتاشناسی، ایران، صص ۱۳۹.
- [۲]. ثبوتی ی.، نقوی آزاد ا. (۱۳۹۳). "پیش‌نگری اقلیم منطقه‌ای ایران"، فصلنامه نشاء علم، سال چهارم، شماره دوم، صص ۱۲۴-۱۲۹.
- [۳]. بابائیان ا.، مدیریان ر.، کریمیان م.، حبیبی نوخندان م. (۱۳۸۶). "شبیه‌سازی ماه‌های سرد سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۷۹ با استفاده از مدل اقلیمی RegCM۳"، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۰، صص ۵۵-۷۲.
- [۴]. کریمیان م.، بابائیان ا.، مدیریان ر. (۱۳۸۹). "بررسی توانمندی مدل اقلیمی RegCM۳ در مدل‌سازی و بارش و دمای استان خراسان، مطالعه موردی: زمستان‌های دوره ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰"، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۹۷، صص ۱۶۵-۱۸۶.



شکل ۹. میانگین دمای متوسط پیش‌نگری شده برای سال‌های ۲۰۲۶ تا ۲۰۲۹.

کاهش خواهد یافت. البته ابتدا با یک کاهش زیاد، سپس افزایش و باز هم کاهش بیشتر روبرو هستیم، ولی روند کلی کاهشی است. داده‌های جدول ۲ این مطلب را دقیق‌تر بیان می‌کنند. میانگین‌ها برای این بازه‌های ۴ ساله به ترتیب ۶/۱۶، ۱/۱۳، ۲/۱۴ و ۷/۱۲ میلی‌متر هستند که کاهش نزدیک به ۴ میلی‌متر در میانگین ماهانه بارندگی را پیش‌بینی می‌کند و می‌توان این گونه نتیجه گرفت که از نظر بارندگی در دهه‌های آینده با کاهش بارش روبرو خواهیم بود.

## سپاسگزاری

در پایان لازم است از صندوق حمایت از پژوهشگران بابت کمک‌های مالی در انجام بخشی از این پژوهش تشکر کرد. همچنین باید از سازمان هواشناسی کشور که داده‌های ایستگاه‌های ثبت همدیدی را در اختیارمان قرار دادند، تقدیر نمود.