

## ارزیابی ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی برای مطالعه تغییرات اقلیمی در حوضه کرخه

سیما رحیمی بندرآبادی<sup>۱\*</sup>، سعید جهانبخش اصل<sup>۲</sup> و بهروز ساری صراف<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، <sup>۲</sup> استاد، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز و <sup>۳</sup> استاد، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۰۵

### چکیده

افزایش گازهای گلخانه‌ای تغییراتی را در تعادل آب و هوای کره زمین به وجود آورده است که تغییر آب و هوا نامیده می‌شود. افزایش گازهای گلخانه‌ای، می‌تواند علاوه بر تأثیر بر روی پارامترهای آب و هوایی، سامانه‌های متأثر از این متغیرها، نظیر منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، بهداشت و اقتصاد را نیز دگرگون سازد. برای بررسی اثرات تغییر آب و هوا بر سامانه‌های مختلف در آینده، ابتدا باید متغیرهای آب و هوایی تحت تغییرات گازهای گلخانه‌ای (سناریوهای آب و هوایی) شبیه‌سازی شوند. روش‌های مختلفی برای این کار وجود دارد که معتبرترین آن‌ها استفاده از مدل‌های آب و هوایی است. مدل‌های آب و هوایی سیاره‌ای (AOGCM)، قادر به شبیه‌سازی در سطوح بزرگ چند صد کیلومتری هستند و نمی‌توانند فرایندهای منطقه‌ای و کوچک مقیاس آب و هوا را شبیه‌سازی کنند. از این رو، ضروری است تا این تغییرات به‌طور دقیق‌تر و در مقیاس‌های کوچک‌تر بررسی شوند. برای رسیدن به این مهم، از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی استفاده می‌شود که یکی از مهمترین آن‌ها روش‌های دینامیکی است که مبتنی بر بالا بردن قدرت تفکیک و تجزیه هر چه بیشتر مدل‌های آب و هوایی سیاره‌ای هستند. این روش همچنین، برای کشورهایی مثل ایران که داده‌های مشاهده‌ای و ایستگاهی کافی و بلندمدت (مورد نیاز روش‌های ساده‌تر مثل ریزمقیاس‌نمایی آماری) ندارد، می‌تواند مناسب باشد. در این مطالعه، به ارزیابی مدل ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی PRECIS، برای برآورد بارش و دما پرداخته شده است. نتایج ارزیابی مدل PRECIS نشان داد که به‌طور کلی، این مدل می‌تواند برآورد مناسبی از بارش و دما در منطقه داشته باشد (میانگین درصد خطا در مورد بارندگی حدود ۴- درصد)، هر چند که در باره بارش‌های پاییزه و بهاره، به‌دلیل ماهیت محلی این بارش‌ها، مدل، چندان توانمند نبوده است. از طرف دیگر، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی‌های نقطه‌ای و منطقه‌ای به‌نظر می‌رسد که ارزیابی نقطه‌ای نمی‌تواند معیار مناسبی برای سطح یک منطقه باشد و بهتر است برای ارزیابی مدل‌های اقلیمی و بررسی تغییرات اقلیمی یک حوضه به‌صورت منطقه‌ای عمل شود.

**واژه‌های کلیدی:** تغییر آب و هوا، سد کرخه، گازهای گلخانه‌ای، مدل AOGCM، مدل PRECIS

### مقدمه

خورشید را در سطح کاهش داده، یا توزیع انرژی در اتمسفر زمین و آب‌ها را تغییر دهد، می‌تواند در آب و هوا نیز تأثیرگذار باشد. افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌تواند علاوه بر تأثیر بر روی پارامترهای آب و هوایی، سامانه‌های متأثر از این متغیرها نظیر منابع آب،

آب و هوا تأثیر عمیقی بر حیات در کره زمین دارد و در امور برنامه‌ریزی و مدیریت نقش عمده‌ای را ایفا می‌کند. به‌طور کلی، هر عاملی که تابش دریافتی از

\* مسئول مکاتبات: rahimi\_si@yahoo.com

استفاده در شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیکی، با تأکید بر توانایی برآورد بارش و دیگر پارامترهای مورد نیاز مدل‌های هیدرولوژیکی، مورد مقایسه قرار دادند. مقایسه‌ها بر اساس انحراف از آب و هوا شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل آب و هوای PC<sup>3</sup> و برای ۲۰ سال گذشته (۱۹۷۵ تا ۱۹۹۵) و همچنین، مقایسه شبیه‌سازی‌های انجام شده به‌وسیله مدل‌های مختلف برای آینده (۲۰۴۰-۲۰۶۰) است. از شش روش ریزمقیاس‌نمایی سه روش آماری و شامل درون‌یابی خطی (LI)، پراکنش مکانی (SD) و اصلاح انحراف و پراکنش مکانی (BCSD) بوده، سه روش دیگر دینامیکی ترکیب شده با این سه روش آماری است. به‌عبارت دیگر، یک‌بار سه روش آماری بر روی GCM و یک‌بار بر خروجی یک RCM<sup>4</sup> برای بالاتر بردن وضوح مکانی داده‌ها اجرا شدند. نتایج نشان می‌دهند که روش BCSD هم برای ریزمقیاس‌نمایی PRECIS و هم در ترکیب با RCM نسبت به بقیه روش‌ها با داده‌های مشاهده‌ای تطابق بهتری دارد. روش درون‌یابی خطی در ترکیب با RCM نتایج بهتری را نسبت به استفاده بر روی GCM‌ها دارد. اما در هر دو حالت انحراف غیر قابل قبولی را در شبیه‌سازی هیدرولوژی منطقه ایجاد می‌کند. روش SD با هر دو مدل آب و هوایی RCM و GCM نتایج مشابهی دارد و برای شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیکی نتایج قابل قبول نیستند. نتایج روش BCSD، که مناسب‌تر از بقیه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی تشخیص داده شد، در حالت ترکیب شده با RCM، هیدرولوژی را حساس‌تر به تغییر آب و هوا نشان می‌دهد.

Chu و همکاران (۲۰۱۰) یک مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری را برای برآورد مقادیر درجه حرارت، تبخیر و بارش در یکی از حوضه‌های چین مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که الگوهای تغییرات متغیرهای اقلیمی می‌توانند با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی شوند.

Alves و Marengo (۲۰۱۰) به ارزیابی دقت و توانایی مدل PRECIS برای شبیه‌سازی تغییرات

کشاورزی، محیط زیست، بهداشت و اقتصاد را نیز دگرگون سازد. برای بررسی اثرات تغییر آب و هوا بر سامانه‌های مختلف در آینده، ابتدا باید متغیرهای آب و هوایی تحت تغییرات گازهای گلخانه‌ای (سناریوهای آب و هوایی) شبیه‌سازی شوند. روش‌های مختلفی برای این کار وجود دارد که معتبرترین آن‌ها استفاده از مدل‌های آب و هوایی است (Houghton و همکاران، ۲۰۰۱). این مدل‌ها بر اساس رفتارهای گذشته چرخه عمومی جو بنا شده و قادرند روند تغییرات این چرخه را با دقت مناسبی پیش‌بینی کنند. مدل‌های آب و هوایی سیاره‌ای<sup>۱</sup> قادرند در مقیاس‌های بزرگ چند صد کیلومتری و یا بیشتر به پیش‌بینی تغییرات آب و هوایی بپردازند. در بسیاری از مناطق دنیا پدیده‌هایی با مقیاس کوچک عامل تغییرات آب و هوا بوده و به‌شدت بر روی آب و هوای منطقه تأثیر می‌گذارند. از این‌رو، ضروری است تا این تغییرات به‌طور دقیق‌تر و در مقیاس‌های کوچک‌تر مورد بررسی قرار گیرند. برای رسیدن به این مهم، از ریزمقیاس‌نمایی<sup>۲</sup> استفاده می‌شود (Wang و همکاران، ۲۰۰۴؛ Giorgi و Mearns، ۱۹۹۹؛ Giorgi، ۱۹۹۰). برای ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های آب و هوایی روش‌های متعددی وجود دارد که روش‌های دینامیکی از مهمترین آن‌ها می‌باشند، هر چند دارای پیچیدگی و محاسبات بیشتری هستند. مدل‌های منطقه‌ای دینامیکی در مقایسه با مدل‌های ریزمقیاس شده با روش‌های دیگر، در بیان و توضیح فرایندهای کوچک‌مقیاس بسیار توانمند هستند. به‌همین خاطر، شبیه‌سازی‌های نزدیک به واقعیتی از رویدادهای حدی محلی و منطقه‌ای ارائه می‌کنند (Jones و همکاران، ۲۰۰۴؛ Gerogi و Hewitson، ۲۰۰۱). ضمن این‌که این روش نسبت به روش‌های ساده‌تر نظیر آماری نیاز به آمار و اطلاعات ایستگاهی کمتری دارد. به‌عبارت دیگر، در مناطقی مانند ایران که تراکم و طول مدت آمار برای روش‌های آماری کفایت لازم را ندارد، این روش‌ها می‌توانند مناسب‌تر باشند.

در زمینه بررسی تغییرات آب و هوایی، Wood و همکاران (۲۰۰۴) شش روش ریزمقیاس‌نمایی را برای

<sup>3</sup> Parallel Climate Model

<sup>4</sup> Regional Climate Model

<sup>1</sup> Global Climate Model (GCM)

<sup>2</sup> Downscaling

باشند. به دلیل افزایش دما از میزان بارش‌های جامد نیز کاسته می‌شود. بررسی نتایج بر روی شمال شرق کشور حاکی از جابه‌جایی الگوی بارش به سمت انتهای فصل سرد می‌باشد.

Babaeian و همکاران (۲۰۱۲) با مدل منطقه‌ای PRECIS در دوره ۱۹۹۰-۱۹۷۶ برونداد مدل گردش عمومی جو HADAM3P را ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی کرده، داده‌های بارش ایران در مقیاس‌های زمانی ماهانه و فصلی، در دو حالت با و بدون چرخه سولفور، ارزیابی کردند. میانگین خطای شبیه‌سازی حدود ۵/۳ درصد برآورد شد که بیشترین میانگین خطای شبیه‌سازی در نواحی بارشی فارسی، هرمزی، خوزی و خزری، به ترتیب با ۲۴/۹، ۱۶/۹، ۱۲/۲ و ۱۰/۲ درصد و کمترین میانگین خطای شبیه‌سازی در نواحی بارشی کردی، آذری، میانه‌ی شمالی و خراسان شرقی با حدود یک درصد محاسبه شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مدل منطقه‌ای PRECIS توانمندی شبیه‌سازی بارش‌های کلی کشور را دارد. اما توانمندی آن در شبیه‌سازی بارش‌های ناحیه‌ای و همرفتی ضعیف است. بررسی منابع نشان می‌دهد که مطالعه اندکی در زمینه ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی در داخل کشور انجام شده است. عمده روش‌های به کار برده شده نیز روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری است که نیاز به تعداد زیاد ایستگاه و طول دوره آماری بلندمدت دارد که اغلب مناطق کشور فاقد چنین ایستگاه‌هایی می‌باشند. برای بررسی تغییرات اقلیمی دوره آتی در حوضه کرخه، به‌عنوان یکی از مهمترین حوضه‌ها در آرد آبی کشور، در مرحله اول بایستی دقت مدل ریزمقیاس‌نمایی مورد بررسی قرار گیرد. لذا در این پژوهش، مدل منطقه‌ای PRECIS مورد ارزیابی قرار گرفته است.

#### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد پژوهش:** منطقه مورد مطالعه، حوضه کرخه تا بالادست سد کرخه می‌باشد که بین طول‌های جغرافیایی  $46^{\circ} 4/5'$  و  $49^{\circ} 19'$  و عرض‌های  $53^{\circ} 32'$  تا  $35^{\circ} 8/8'$  قرار گرفته، دارای مساحتی حدود  $42542$  کیلومتر مربع است (شکل ۱). حوضه مورد مطالعه دارای دامنه ارتفاعی بین ۸۳ و ۳۵۹۸ متر

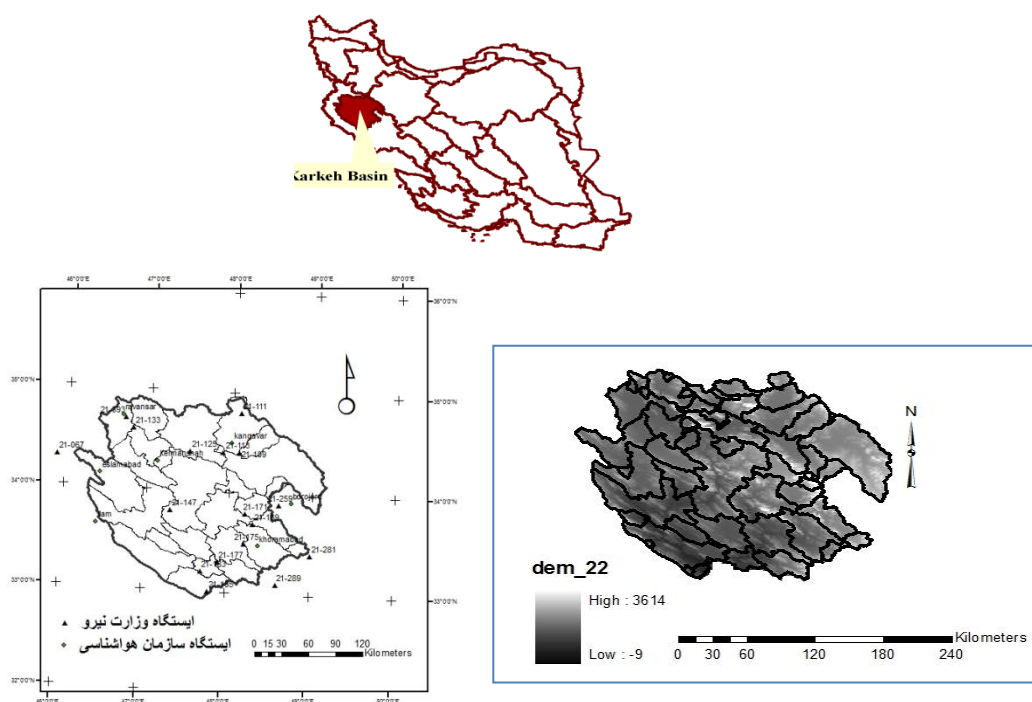
فصلی پارامترهای اقلیمی در آمریکای جنوبی پرداختند. آن‌ها میانگین فصلی مقادیر بارندگی، دما و جریان سطح بالا و پایین را طی دوره ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل توانسته است این پارامترها را شبیه‌سازی کند، هرچند که خطای سیستماتیک مدل ریزمقیاس‌کننده و همچنین، داده‌های شرایط مرزی باعث ایجاد انحراف در نتایج می‌شوند.

Zacharias و همکاران (۲۰۱۵) مدل منطقه‌ای PRECIS را برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تولید محصول گندم و برنج در منطقه حاره ارزیابی کردند. آن‌ها بارندگی و دما را طی دوره ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۰ را شبیه‌سازی و با داده‌های مشاهده‌ای مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که مدل توانسته است، مقادیر میانگین دما و بارش را در حد قابل قبولی شبیه‌سازی نماید، اما نتوانسته است تغییرات زمانی-مکانی پارامترها را به خوبی نشان دهد. همچنین، نتایج نشان داد که مقادیر بارندگی و دما بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد شده است.

Babaeian و همکاران (۲۰۱۰) به ارزیابی تغییر آب و هوا کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G پرداختند. آن‌ها برای ریزمقیاس‌نمایی از مدل‌های Weather Generator استفاده کردند. در مطالعه مذکور خروجی‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G با سناریوی A1 برای دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ ریز مقیاس شدند و نتایج آن بر روی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ حاکی از کاهش نه درصدی بارش در کل کشور، افزایش آستانه بارش‌های سنگین و خیلی سنگین به ترتیب ۱۳ و ۳۹ درصد و افزایش میانگین سالانه دما به میزان ۰/۵ درجه سانتی‌گراد است که بیشترین افزایش ماهانه دما مربوط به ماه‌های سرد سال است. استان‌های خراسان شمالی، آذربایجان غربی و شرقی با بیشترین افزایش دما در دهه ۲۰۲۰ مواجه خواهند بود. با توجه به کاهش بارش کشور و همچنین، افزایش آستانه بارش‌های حدی، به نظر می‌رسد که در دهه‌های آینده بارش‌ها به شکل سنگین و سیل‌آسا

ممکن است، جریان‌های همرفتی موجب بروز بارندگی در فصل بهار و ابتدای فصل تابستان شوند. میانگین بارندگی این منطقه ۵۳۹ میلی‌متر بوده، دامنه آن از ۳۱۰ میلی‌متر تا ۷۰۰ میلی‌متر در تغییر است. برای بررسی پارامترهای هواشناسی و ارزیابی‌ها از ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی سازمان هواشناسی و در صورت لزوم از برخی ایستگاه‌های باران‌سنجی وزارت نیرو که دارای آمار مناسب طی دوره پایه (سال‌های آماری ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۰) بودند، استفاده شد (شکل ۱).

می‌باشد (شکل ۱). مناطق کوهستانی این حوضه عمدتاً در بخش‌های شرقی حوضه واقع شده‌اند، در حالی‌که دشت‌ها در قسمت‌های غربی و جنوبی قرار دارند. به‌طور کلی حوضه آبخیز کرخه دارای آب و هوای گرم و خشک است، به‌جز مناطق کوهستانی شمال حوضه که دارای آب و هوای سرد و مرطوب است. جبهه‌های مدیترانه‌ای که در ارتباط با جریان‌های هوای غربی وارد کشور می‌شوند، بخش اصلی بارندگی‌های این منطقه را در آخر فصل پاییز و فصل زمستان تأمین می‌کنند. در مناطق کوهستانی نیز



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و نقشه راقومی ارتفاع

ریزمقیاس‌نمایی آماری و ۲) ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی وجود دارند که به روش‌های ریزمقیاس‌نمایی معروف هستند. ریزمقیاس‌نمایی آماری شامل توسعه روابط بین متغیرهای بزرگ مقیاس (پیش‌بینی کننده) و متغیرهای سطحی محلی (پیش‌بینی شده‌ها) است. اما انواع دیگری مانند رابطه بین پیش‌بینی کننده‌ها و پارامترهای توزیع آماری پیش‌بینی شده‌ها یا فراوانی مقادیر حدی پیش‌بینی شده‌ها نیز وجود دارند. از این دسته می‌توان به روش‌های طبقه‌بندی آب و هوایی، مولدهای هواشناسی و مدل‌های رگرسیونی و حتی درون‌یاب‌ها اشاره کرد. مدل‌های منطقه‌ای دینامیکی

**مدل اقلیمی:** مدل‌های آب و هوایی در پی شبیه‌سازی فرایندهایی هستند که آب و هوا را به‌وجود می‌آورند. در مدل‌سازی لازم است این فرایندها، شناسایی و اثرات تغییرات و روابط متقابل آن‌ها با یکدیگر پیش‌بینی شوند. شبیه‌سازی از طریق تعریف دستگاه آب و هوا بر اساس قوانین فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی انجام می‌شود. روابط ریاضی مدل‌ها معمولاً در شبکه‌های سه بعدی با مقیاس مکانی افقی ۲۵۰ تا ۶۰۰ کیلومتر، ۱۰ تا ۲۰ لایه در اتمسفر و ۳۰ لایه در اقیانوس حل می‌شوند. برای منطقه‌ای کردن مدل‌های آب و هوایی دو روش عمده (۱)

و Mearns, ۱۹۹۹). لذا برای این منظور بهتر است برای چند سال، مدل در محدوده‌های متفاوت اجرا شود و مناسب‌ترین منطقه انتخاب شود. تغییر ناهمواری، نوع پوشش سطح زمین و فرمت داده‌های خروجی را می‌توان در طول اجرای مدل تعیین کرد. بعد از انتخاب محدوده برای ارزیابی مدل، ابتدا مدل برای دوره گذشته (پایه) اجرا می‌شود. لذا داده‌های شرایط مرزی دوره پایه انتخاب می‌شوند. مدل PRECIS امکان استفاده از چند نوع داده برای این حالت را دارد که دوره‌های مختلفی را نیز در بر می‌گیرند. داده‌های مرزی مورد قبول مدل شامل Assimilated ERA15 (1979-1993) و ER40 (1957-2001) NCEP-R2 (1979-2004) و HadAM3P (1960-1990) هستند. در این مطالعه، از داده‌های HadAM3P برای ارزیابی مدل استفاده شده است که دوره ارزیابی نیز ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۰ خواهد بود.

**روش ارزیابی:** برای ارزیابی مدل داده‌های مشاهده‌ای با خروجی مدل برای دوره پایه (طبق استاندارد IPCC سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۰) مورد مقایسه قرار می‌گیرد. برای این منظور معیارها و روش‌های مختلفی وجود دارد. در این مطالعه از معیارهای آماری میانگین قدر مطلق خطا<sup>۱</sup> و میانگین خطای انحراف<sup>۲</sup> برای ارزیابی‌ها استفاده می‌شود. پس از محاسبه مقادیر خطا و انحراف، هر چقدر این دو معیار به صفر نزدیک‌تر باشند، نشان‌دهنده اختلاف کمتر مقادیر برآورد شده نسبت به مقادیر مشاهده‌ای است.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - Z(x_i)| \quad (1)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i)) \quad (2)$$

که در آن‌ها،  $Z^*(x_i)$  مقدار برآورد شده متغیر در  $x_i$  مقدار مشاهده‌ای متغیر (ایستگاه‌های هواشناسی) در  $x_i$  تعداد نقاط با متغیر مشاهده‌ای است. لازم به توضیح است که برای بدون بعد کردن این دو معیار در بیشتر موارد از درصد آن‌ها نسبت به میانگین مقادیر مشاهده‌ای استفاده شده است.

شامل حل عددی تمام معادلات اتمسفری حرکت، معادلات بیلان انرژی و جنبشی هستند. در این مدل‌ها از خروجی شبیه‌سازی شده مدل‌های سیاره‌ای به‌عنوان شرایط اولیه و مرزی وابسته به زمان استفاده می‌شود. با کمک این داده‌ها از مدل منطقه‌ای خروجی استخراج می‌شود.

مدل PRECIS: یک مدل اتمسفر-سطح با قدرت تفکیک بالا می‌باشد. اجزای این مدل شامل جریان دینامیک (شامل جریان‌های هواشناسی و ترمودینامیکی)، سیکل سولفور اتمسفر، ابر و بارندگی، مراحل تابش، پوشش سطح زمین و عمق خاک است. خروجی مدل نیز سری کامل متغیرهای هواشناسی می‌باشد که می‌تواند در مقیاس‌های زمانی تعیین شده استخراج شود. شرایط مرزی نیز شامل شرایط سطحی و جانبی می‌باشد. شرایط مرزی سطحی شامل دمای سطح آب و یخ منطقه و شرایط مرزی جانبی شامل اطلاعات دینامیکی اتمسفر نظیر فشار هوا، اجزا افقی باد، مقدار درجه حرارت و رطوبت هوا در نقاط گوشه‌های محدوده مدل است. اطلاعات شرایط مرزی سیکل سولفور نیز به‌صورت مقدار دی‌اکسید سولفور، سولفات و ذرات شیمیایی مرتبط با سولفور تعریف شده است. ساختار دینامیکی مدل منطقه‌ای PRECIS مشابه مدل جوی HadAM3P است (Jones و همکاران، ۲۰۰۴). این مدل مولفه جوی مدل گردش عمومی HadCM3 است (Gordon، ۲۰۰۰). قدرت تفکیک مکانی مدل نیز در دو سطح ۵۰ و ۲۵ کیلومتر با نه لایه در جو (از سطح زمین تا ۳۰ کیلومتری در استراتوسفر) و چهار لایه در عمق خاک است (Burridge و Simmons، ۱۹۸۱).

برای اجرای مدل، ابتدا ناحیه مورد نظر و قدرت تفکیک مکانی مدل انتخاب و پس از آن به‌ترتیب سناریو، زمان اجرا و پایان آن و متغیرهای پیش‌بینی به مدل معرفی می‌شوند. برای تعیین ناحیه مورد نظر بایستی محدوده را بزرگ‌تر از منطقه مورد مطالعه در نظر گرفت تا عوامل آب و هوایی خارج از منطقه که بر روی آب و هوای منطقه تأثیر می‌گذارند نیز در نظر گرفته شوند. از طرفی، محدوده نباید خیلی بزرگ در نظر گرفته شود تا حجم محاسبات را بالا ببرد (Giorgi)

<sup>1</sup> Mean absolute error

<sup>2</sup> Mean base error

بر روی ایستگاه (نقاط مشاهده‌ای) واقع شده است، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در روش دوم، روش منطقه‌ای، مقدار خطای برآورد به‌صورت متوسط منطقه‌ای محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است که در بیشتر مطالعات از روش نقطه‌ای استفاده می‌شود و با بررسی یک یا چند نقطه محدود نتایج به یک منطقه یا حوضه تعمیم داده می‌شود که می‌تواند نتایج نادرستی را در برداشته باشد. لذا در این پژوهش از هر دو روش استفاده شد و نتایج آن‌ها نیز مورد مقایسه قرار گرفت. بررسی نقاط شبکه خروجی مدل و ایستگاه‌های هواشناسی نشان می‌دهد که فقط دو ایستگاه خرم‌آباد و کرمانشاه (که دارای آمار ثبت شده از سال ۱۹۶۰ هستند) نزدیک‌ترین نقاط به شبکه خروجی مدل می‌باشند. به‌همین منظور از نزدیک‌ترین نقطه به ایستگاه خرم‌آباد (با مختصات ۳۳/۵ درجه شمالی و ۴۸/۵ درجه شرقی) و ایستگاه کرمانشاه (با مختصات ۳۴/۵ درجه شمالی و ۴۷ درجه شرقی) از نقاط شبکه مدل برای ارزیابی استفاده شد.

**نتایج ارزیابی مدل به‌صورت نقطه‌ای:** بررسی مقادیر بارش ماهانه ایستگاه خرم‌آباد با خروجی مدل در نزدیک‌ترین نقطه به این ایستگاه نشان می‌دهد که در همه ماه‌ها به‌جز ماه‌های ژوئن تا سپتامبر (ماه‌های تابستان) و ماه نوامبر مقدار بارش کمتر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد شده است. هر چند روند ماهانه بارندگی نسبتاً مناسب به‌نظر می‌رسد و ماه‌های پربارش و کم‌بارش برهم منطبق هستند. ضریب تغییرات مقادیر مشاهده‌ای برای ماه‌های پربارش کمتر از مقادیر برآوردی به‌وسیله مدل است. این در حالی است که بارندگی برآورد شده در ماه‌های خشک تغییرات کمتری دارند. در مورد مقدار میانه نیز به‌همین صورت می‌باشد. مقدار MAE و MBE برای میانگین بارندگی هر یک از ایستگاه‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که در جدول مشخص است، مقدار درصد خطا در ماه‌های خشک، بیشتر می‌باشد. بیشترین خطا مربوط به ماه نوامبر (۱۰۳ درصد) و کمترین خطا مربوط به ماه ژانویه (۶۷ درصد) است. این در حالی است که انحراف از میانگین ماه نوامبر بسیار کم (سه درصد) و بیشترین آن مربوط به ماه اکتبر (۶۳- درصد) می‌باشد. میانگین انحراف از معیار

## نتایج و بحث

در این مطالعه، مدل دینامیکی PRECIS با تفکیک افقی ۰/۴۴ درجه در شبکه‌هایی با ابعاد ۵۰ کیلومتر اجرا شد. برای اجرای مدل منطقه‌ای ابتدا باید چند پارامتر بهینه شود. اولین پارامتر، دامنه<sup>۱</sup> مورد نظر برای ریزمقیاس کردن مدل GCM است. این دامنه باید به نحوی انتخاب شود که دربرگیرنده تمامی فرایندهای داخل و خارج از منطقه که آب و هوای منطقه را کنترل می‌کنند، باشد. به این مفهوم که اگر ریزمقیاس‌نمایی فقط در محدوده منطقه مورد مطالعه (حوضه کرخه) صورت گیرد، تمامی سامانه‌های دخیل در آب و هوا منطقه در نظر گرفته نخواهد شد و مدل نمی‌تواند برآورد مناسبی از پارامترهای آب و هوایی منطقه داشته باشد. از طرف دیگر، اگر دامنه بزرگ در نظر گرفته شود نیز علاوه بر بالا بردن حجم محاسبات پدیده‌های نامرتبط با آب و هوا نیز در برآوردها دخالت داده می‌شوند. برای این منظور، برای سه سال (۱۹۶۱ تا ۱۹۶۴)، مدل با دو دامنه مختلف اجرا شد. در حالت اول ایران به‌صورت کامل در نظر گرفته شد. در حالت دوم از آنجایی که منطقه مورد مطالعه بیشتر تحت تأثیر جریانات مدیترانه‌ای می‌باشد، دامنه تا مدیترانه گسترده شد. نتایج برآورد مدل با داده‌های بارندگی مشاهده‌ای در این سال‌ها مورد مقایسه قرار گرفت (جدول ۱). نتایج نشان می‌دهند که مدل در حالت دوم برآورد مناسب‌تری داشته است. از طرف دیگر، برای تنظیم مدل و ایجاد سازگاری بین فرایندهای جوی و عمق زمین، لازم است دوره اجرای مدل چند ماه قبل از دوره مطالعه باشد تا تعادل بین رفتار اتمسفر و خشکی ایجاد شود. لذا با توجه به بررسی منابع و راهنمای استفاده از مدل PRECIS، یک سال (سال ۱۹۶۰) به‌عنوان Spin up در نظر گرفته شد. لذا در ارزیابی‌ها از داده‌های این سال استفاده نخواهد شد.

برای ارزیابی مدل ریزمقیاس‌نمایی، در این مطالعه از دو روش استفاده شده است. روش نقطه‌ای که سری زمانی مقادیر برآورد شده به‌وسیله مدل در نقاطی که

<sup>1</sup> Domain

برآوردهای مدل دارد. لذا با توجه به مقادیر خطا و انحراف به نظر می‌رسد که مدل به جز در ماه‌های اکتبر و نوامبر، برآورد نسبتاً مناسبی برای ایستگاه خرم‌آباد داشته است.

برای همه ماه‌ها حدود ۲۰٪ درصد است. لازم به ذکر است به دلیل این‌که در برآورد مدل‌های آب و هوایی، روند داده‌های برآورد شده، اهمیت دارد و نه دقت برآورد در تک تک سال‌ها، مقدار MBE اهمیت بیشتری برای ارزیابی و نتیجه‌گیری در مورد

جدول ۱- مقایسه دامنه‌های مختلف برای مدل PRECIS (مقدار خطا و انحراف به میلی‌متر)

دامنه	MBE	MAE
حالت اول	-۱۱/۸	۲۰
حالت دوم	-۱/۵	۱۰/۴

(جدول ۲). همچنین، در بیشتر ماه‌ها مدل کمتر از حد برآورد کرده است. بررسی مقدار MAE نشان می‌دهد که بیشترین خطا (۹۷ درصد) مربوط به ماه نوامبر و کمترین مقدار آن ماه ژانویه (۶۶ درصد) می‌باشد. ضمن این‌که مقدار MBE و MAE بارش سالانه (به ترتیب ۷- و ۴۷ درصد) نسبت به بیشتر ماه‌ها کمتر است. به‌طور کلی، در دو ایستگاه مقادیر انحراف برآورد تقریباً مشابه است، هر چند در ایستگاه خرم‌آباد مقدار بارش در ماه‌های بیشتری از سال کمتر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد شده‌اند. همچنین، در این ایستگاه به‌طور میانگین بارش نسبت به ایستگاه کرمانشاه کمتر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد شده است.

در ایستگاه کرمانشاه، بارندگی در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، می و اکتبر بیشتر و در بقیه ماه‌ها کمتر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد شده است. در مورد مقدار میانه نیز به همین صورت می‌باشد. ضریب تغییرات مشابه با مقادیر مشاهده‌ای در ماه‌های خشک سال بیشتر از سایر ماه‌ها می‌باشد. هر چند که تغییرات بارش برآوردی در ماه‌های پر بارش، بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای و در ماه‌های خشک، کمتر از بارش مشاهده‌ای می‌باشد. بررسی مقادیر MBE و MAE برای ایستگاه کرمانشاه نشان می‌دهد که مقدار انحراف بین یک تا ۵۳ درصد است که کمترین آن مربوط به ماه دسامبر و بیشترین آن مربوط به ماه اکتبر می‌باشد

جدول ۲- مقادیر انحراف و خطای بارندگی ماهانه ایستگاه‌های منتخب

ماه	JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY	JUNE	JULY	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.	ANNUAL
MAE	۵۷/۱	۵۴/۵	۶۴/۴	۶۰/۱	۳۰/۷	۰/۶	۲/۹	۲/۶	۲/۶	۲۰/۶	۵۷/۷	۷۷/۵	۲۱۰/۳
MBE	-۳۹/۲	-۳۵/۸	-۲۲/۶	-۲۱/۳	-۲۰/۲	-۰/۱	۲/۹	۲/۶	-۰/۳	-۱۴/۴	۱/۸	-۶/۷	-۱۵۱/۴
MAE	۴۴/۵	۵۷/۳	۸۱/۵	۷۲/۱	۲۷/۴	-۰/۷	۳/۵	۲/۱	۲/۳	۲۸/۹	۵۶/۹	۷۷/۸	۲۲۷
MBE	-۲۰/۵	-۳/۶	-۷/۴	۸/۰	-۸/۳	-۰/۴	۳/۵	۱/۸	-۰/۳	-۱۵/۸	۸/۴	۱/۰	-۳۳/۷

دمای بیشینه همه ماه‌ها مشابه دمای بیشینه ایستگاه می‌باشد. به‌عبارت دیگر، بیشینه دما در ماه ژوئیه و کمینه آن در ماه ژانویه رخ داده است. مقادیر دمای کمینه نشان می‌دهند که مدل منطقه را سردتر برآورد کرده است. این روند در مورد میانه نیز صادق است. بررسی میانگین دمای بیشینه در ایستگاه کرمانشاه نشان می‌دهد که برخلاف ایستگاه خرم‌آباد در این ایستگاه در بیشتر ماه‌ها (به جز ژانویه، فوریه و دسامبر) مقدار دمای بیشینه بیشتر برآورد شده است که این روند در مورد میانه نیز صادق است. ضریب

برای ارزیابی مدل در برآورد دما، به روش نقطه‌ای پارامترهای آماری دمای کمینه و بیشینه ایستگاه‌ها و خروجی مدل PRECIS بررسی شد. بررسی ایستگاه خرم‌آباد نشان می‌دهد که میانگین و میانه دمای بیشینه در همه ماه‌ها به جز ماه‌های گرم سال، از مقدار مشاهده‌ای کمتر برآورد شده است. ضریب تغییرات دمای بیشینه در همه ماه‌ها به جز ماه‌های ژوئیه و اکتبر بیشتر از مقدار مشاهده‌ای می‌باشد. لازم به ذکر است که مدل توانسته است توزیع زمانی بیشینه دما را مشابه مقادیر مشاهده‌ای برآورد کند، به‌طوری‌که روند

مدل آب و هوایی، در بیشتر ماه‌ها (به‌جز ماه‌های گرم) کمتر از مقادیر مشاهده‌ای می‌باشد. مقدار انحراف از میانگین بین ۰/۰۱ درجه سانتی‌گراد برای ماه سپتامبر تا پنج درجه سانتی‌گراد برای ماه ژوئن است. مقدار MAE نیز بین سه تا ۴۷ درصد می‌باشد که به‌ترتیب مربوط به ماه‌های سپتامبر و ژوئن می‌باشد. دمای کمینه در تمامی ماه‌ها کمتر از مقدار دمای مشاهده‌ای ایستگاه خرم‌آباد برآورد شده است، هر چند که در ماه‌های گرم اختلاف دما کمتر از ماه‌های سرد سال می‌باشد. کمترین درصد خطا و انحراف نسبت به میانگین مشاهده‌ای برای ماه ژوئیه و بیشترین آن‌ها مربوط به ماه ژانویه است. هر چند که از لحاظ عددی MAE از ۲/۵- تا ۸/۶- و MAE از سه تا ۸/۶ تغییر می‌کنند.

تغییرات نیز به جز ماه‌های ژانویه و فوریه بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای می‌باشد. این در حالیست که روند پارامترهای آماری مقادیر برآورد شده با مقادیر مشاهده‌ای مشابه است، که این نشان از برآورد مناسب مدل دارد. کمینه دمای شبیه‌سازی شده در محل ایستگاه کرمانشاه در ماه‌های سرد سال کمتر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد شده است و دما را سردتر نشان می‌دهد. این در حالیست که مقدار اختلاف دما در این ایستگاه کمتر از ایستگاه خرم‌آباد می‌باشد. میانه نیز روند مشابه با میانگین دارد.

برای بررسی بیشتر مقادیر MAE و MBE دمای کمینه و بیشینه در ایستگاه خرم‌آباد محاسبه شد که در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که در جدول نیز مشخص است، دمای بیشینه برآورد شده به‌وسیله

جدول ۳- مقادیر خطا و انحراف مدل PRECIS در برآورد دمای کمینه و بیشینه ایستگاه خرم‌آباد

ANN UAL	DEC.	NOV.	OCT.	SEP.	AUG.	JULY	JUNE	MAY	APR.	MAR.	FEB.	JAN.		
-۱/۰	-۳/۹	-۳/۱	-۰/۷	۰/۰	۱/۹	۳/۲	۲/۸	۰/۵	-۰/۹	-۲/۰	-۱/۴	-۴/۹	MBE	دمای
۱/۴	۳/۹	۳/۷	۱/۶	۱/۲	۲/۴	۳/۲	۳/۰	۲/۹	۳/۱	۲/۷	۱/۴	۵/۱	MAE	حداکثر
-۶/۲	-۸/۶	-۷/۰	-۵/۴	-۳/۵	-۲/۸	-۳/۰	-۲/۵	-۵/۷	-۶/۴	-۸/۱	-۸/۱	-۸/۴	MBE	دمای حداقل
۶/۲	۸/۶	۷/۰	۵/۴	۳/۵	۳/۱	۳/۴	۳/۳	۵/۸	۶/۱	۸/۱	۸/۱	۸/۴	MAE	

می‌کنند. مقایسه نتایج دو ایستگاه نشان می‌دهد که دمای برآورد شده به‌وسیله مدل در هر ایستگاه، رفتار متفاوتی دارد، به‌طوری که مقدار دمای بیشینه در ایستگاه کرمانشاه فقط در سه ماه سرد سال کمتر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد شده است. در حالی که در ایستگاه خرم‌آباد در بیشتر ماه‌ها برآورد کمتر از مقادیر مشاهده‌ای می‌باشد. لذا در مجموع در ایستگاه کرمانشاه مقدار دمای بیشینه بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای و در ایستگاه خرم‌آباد کمتر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد شده است. از طرف دیگر دمای کمینه در هر دو ایستگاه تقریباً در تمامی ماه‌ها کمتر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد شده است. لذا به‌نظر می‌رسد تعمیم نتایج هر یک از ایستگاه‌ها به نقاط دیگر حوضه می‌تواند اشکالاتی را موجب شود.

**نتایج ارزیابی مدل به‌صورت منطقه‌ای:** برای برآورد خطا به‌صورت منطقه‌ای، نقشه توزیع مکانی مقادیر مشاهده‌ای و نقشه خروجی مدل مورد مقایسه قرار

مقادیر MAE و MBE دمای کمینه و بیشینه در محل ایستگاه کرمانشاه در جدول ۴ ارائه شده است. همان‌طور که در جدول نیز مشخص است، دمای بیشینه برآورد شده به‌وسیله مدل آب و هوایی در بیشتر ماه‌ها (به‌جز ماه‌های گرم) بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای بوده، مقدار انحراف از میانگین بین ۰/۱ درجه سانتی‌گراد برای ماه دسامبر تا نه درجه سانتی‌گراد برای ماه ژوئیه می‌باشد که کمترین (۱/۳ درصد) و بیشترین درصد (۲۴ درصد) انحراف نیز مربوط به ماه‌های دسامبر و ژوئن است. مقدار MAE نیز بین ۱۶ تا ۶۷ درصد می‌باشد که به‌ترتیب مربوط به ماه‌های ژانویه و سپتامبر می‌باشد. در مورد دمای کمینه در بیشتر ماه‌ها دما کمتر برآورد شده است. به‌طوری که کمترین درصد خطا و انحراف نسبت به میانگین مشاهده‌ای برای ماه اوت و بیشترین آن‌ها مربوط به ماه ژانویه است، هر چند که از لحاظ عددی MAE از ۶/۸ تا ۰/۲- تا ۷/۱- و MAE از یک تا ۶/۸ تغییر



را برآورد کند. در جدول ۵ پارامترهای آماری بارندگی منطقه‌ای مشاهده‌ای و بارندگی خروجی مدل مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. برای بررسی و برآورد خطای مدل PRECIS به روش منطقه‌ای، اختلاف نقشه‌های مشاهده‌ای و برآوردی و مقادیر MBE و MAE منطقه‌ای محاسبه شد. شکل ۴ نقشه اختلاف مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول ۵ مشخص است، مقدار انحراف میانگین در همه ماه‌ها کمتر از ۲۰ میلی‌متر و مقدار خطا (MAE) بین ۰/۴ تا ۲۲ میلی‌متر می‌باشد. بیشترین خطا و انحراف با توجه به مقادیر مشاهده‌ای به‌جز ماه‌های تابستان مربوط به ماه اکتبر (با حدود ۴۸ درصد) و سپس نوامبر (با حدود ۳۰ درصد) می‌باشد.

گرفت. برای این منظور ابتدا توزیع مکانی بارندگی ماهانه ۲۸ ایستگاه هواشناسی با استفاده از مناسب‌ترین روش درونیابی برای هر ماه و با وضوح متناسب با نقشه‌های خروجی مدل آب و هوایی، برآورد شد (شکل ۲). سپس نقشه‌های خروجی از مدل آب و هوایی PRECIS (شکل ۳) با این نقشه‌ها مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند. مقایسه نقشه‌های توزیع مکانی بارندگی مشاهده‌ای و برآوردی (شکل‌های ۲ و ۳) نشان می‌دهد که توزیع و پراکندگی بارش در همه ماه‌ها به‌جز سپتامبر مشابه می‌باشد، همچنین به لحاظ قرارگیری محل‌های بیشینه و کمینه بارندگی نیز، در همه ماه‌ها، مشابه می‌باشند. به‌عبارت دیگر، مدل توانسته است، توزیع مکانی مشابه با مقادیر مشاهداتی

جدول ۴- مقادیر خطا و انحراف مدل PRECIS در برآورد دمای کمینه و بیشینه ایستگاه کرمانشاه (°C)

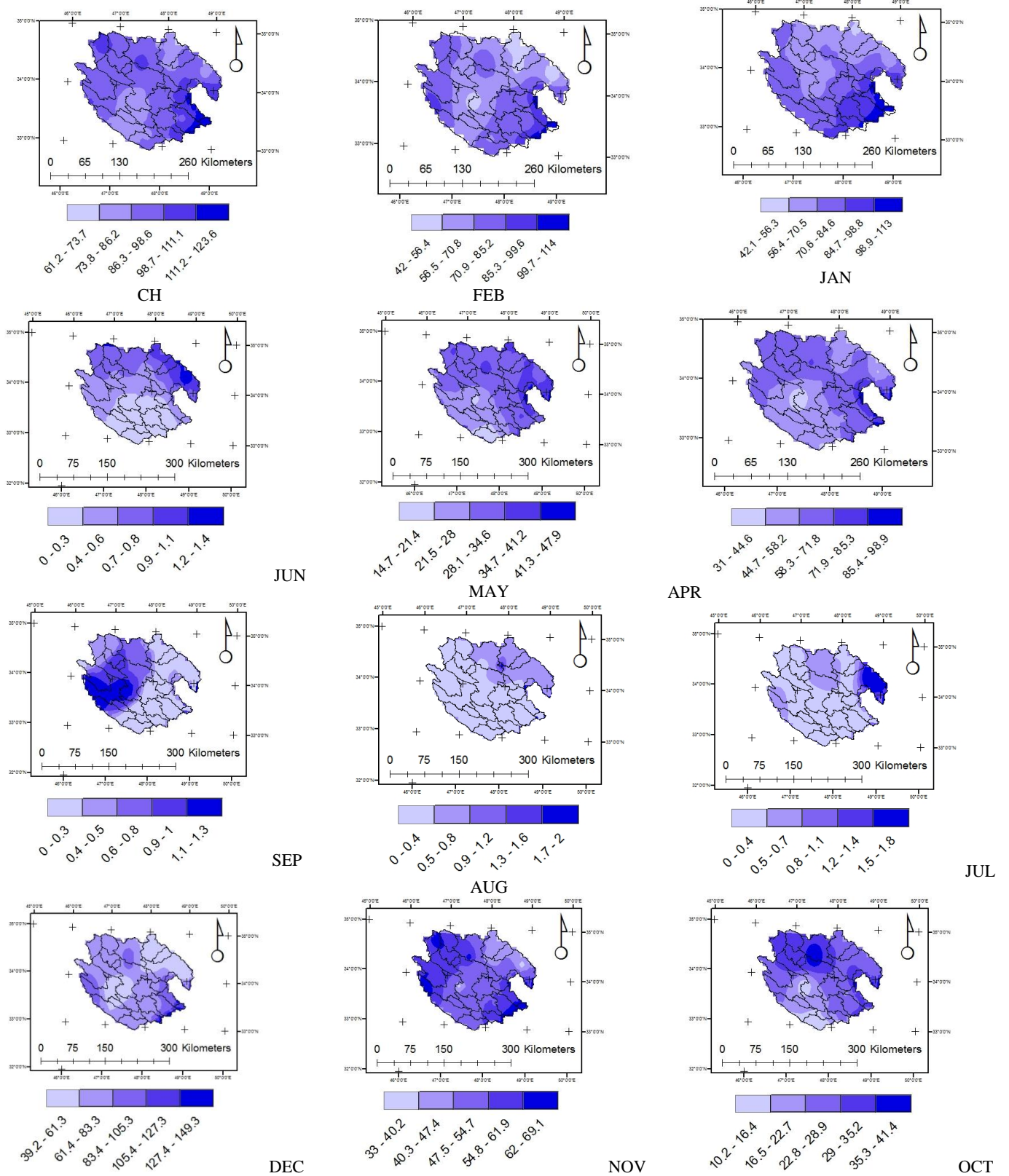
ANN UAL	DEC.	NOV.	OCT.	SEP.	AUG.	JULY	JUNE	MAY	APR.	MAR.	FEB.	JAN.		
۳/۷	-۰/۱	۱/۰	۴/۳	۵/۵	۷/۹	۸/۹	۸/۲	۵/۵	۳/۷	۱/۵	-۰/۴	-۱/۳	MBE	دمای بیشینه
۳/۶	۲/۵	۲/۸	۴/۳	۵/۵	۷/۹	۸/۹	۸/۲	۶/۰	۴/۱	۳/۶	۴/۵	۴/۴	MAE	
-۳/۸	-۶/۵	-۴/۹	-۳/۰	-۱/۲	-۰/۲	۰/۴	۰/۵	-۳/۶	-۴/۸	-۶/۰	-۶/۳	-۷/۱	MBE	دمای کمینه
۳/۶	۶/۵	۵/۰	۳/۲	۱/۶	۱/۰	۱/۲	۱/۴	۳/۵	۴/۵	۵/۹	۶/۱	۶/۸	MAE	

بررسی نقشه‌های خطا بیانگر این است که به‌طورکلی خطای برآورد در قسمت‌های شرقی بیشتر از قسمت‌های غربی منطقه می‌باشد. هر چند در ماه‌های اکتبر و مارس بیشترین خطا در قسمت‌های غربی ایجاد شده است. چرا که قسمت‌های شرقی منطقه مورد مطالعه کوهستانی بوده، تغییرات بارندگی در آن‌ها بیشتر است، لذا خطای برآورد نیز بیشتر شده است. در حالی که قسمت‌های غربی بیشتر حالت دشتی داشته، تغییرات بارندگی نیز نوسان کمتری دارند، در نتیجه برآورد مناسب‌تری داشته‌اند. لذا به‌نظر می‌رسد که برآوردهای حاصل از مدل آب و هوایی با فیزیوگرافی منطقه نیز تا حدودی مطابقت دارد. در مورد بارش ماه‌های مارس و اکتبر نیز به‌دلیل وقوع بارش‌های محلی در قسمت‌های کوهستانی غرب منطقه در این ماه‌ها، مدل نتوانسته است آن‌ها را به‌خوبی برآورد کند. به‌عنوان نتیجه، با توجه به طبیعت مدل‌های آب و هوایی که فقط یک راهنمای عمومی از شرایط آب و هوایی دارند و این‌که تخمین

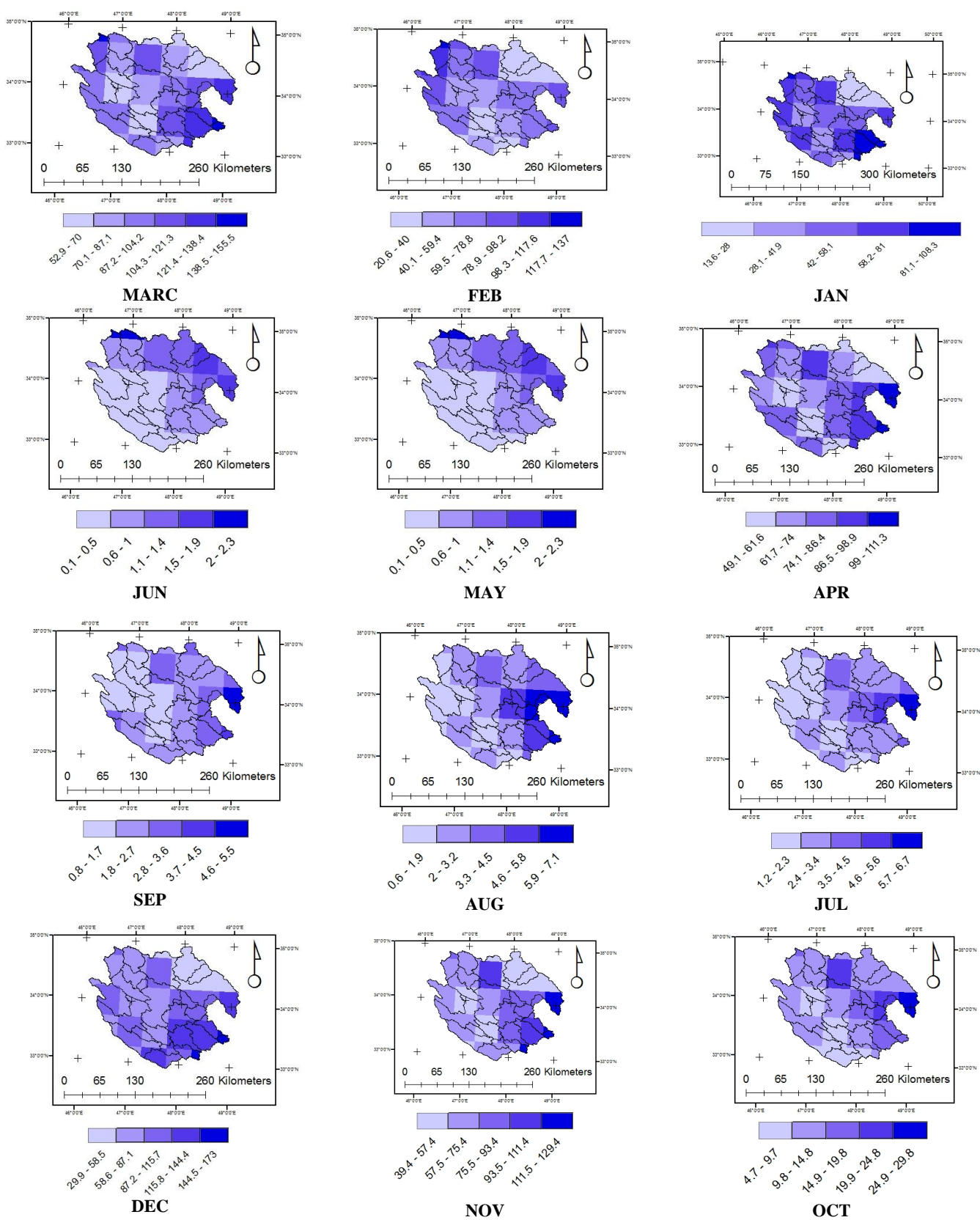
نتایج بررسی نقطه‌ای و منطقه‌ای بارش نشان می‌دهد که بیشترین خطای برآورد مربوط به ماه‌های اکتبر و نوامبر (در هر دو معیار) می‌باشد. خطای بالای این دو ماه می‌تواند به این دلیل باشد که در حوضه کرخه بارش این ماه‌ها عمدتاً محلی و اروگرافیک می‌باشد و مدل نتوانسته است به‌خوبی این بارش‌ها را شبیه‌سازی کند. لذا به‌نظر می‌رسد که مدل PRECIS در برآورد بارش‌های محلی چندان توانمند نیست.

بررسی نتایج ارزیابی منطقه‌ای و نقطه‌ای بارش نشان می‌دهد که مقدار بارندگی منطقه‌ای بر خلاف ایستگاه‌ها در ماه‌های سرد سال بیشتر برآورد شده است. ضمن این‌که میانگین انحراف به‌صورت منطقه‌ای نشان می‌دهد که در مجموع بارش برآوردی و مشاهده‌ای تقریباً مشابه هستند (میانگین انحراف حدود ۱/۵ میلی‌متر) در حالی‌که در ایستگاه خرم‌آباد میانگین انحراف حدود ۱۲/۷- میلی‌متر و در ایستگاه کرمانشاه این مقدار برابر ۲/۷- میلی‌متر است.

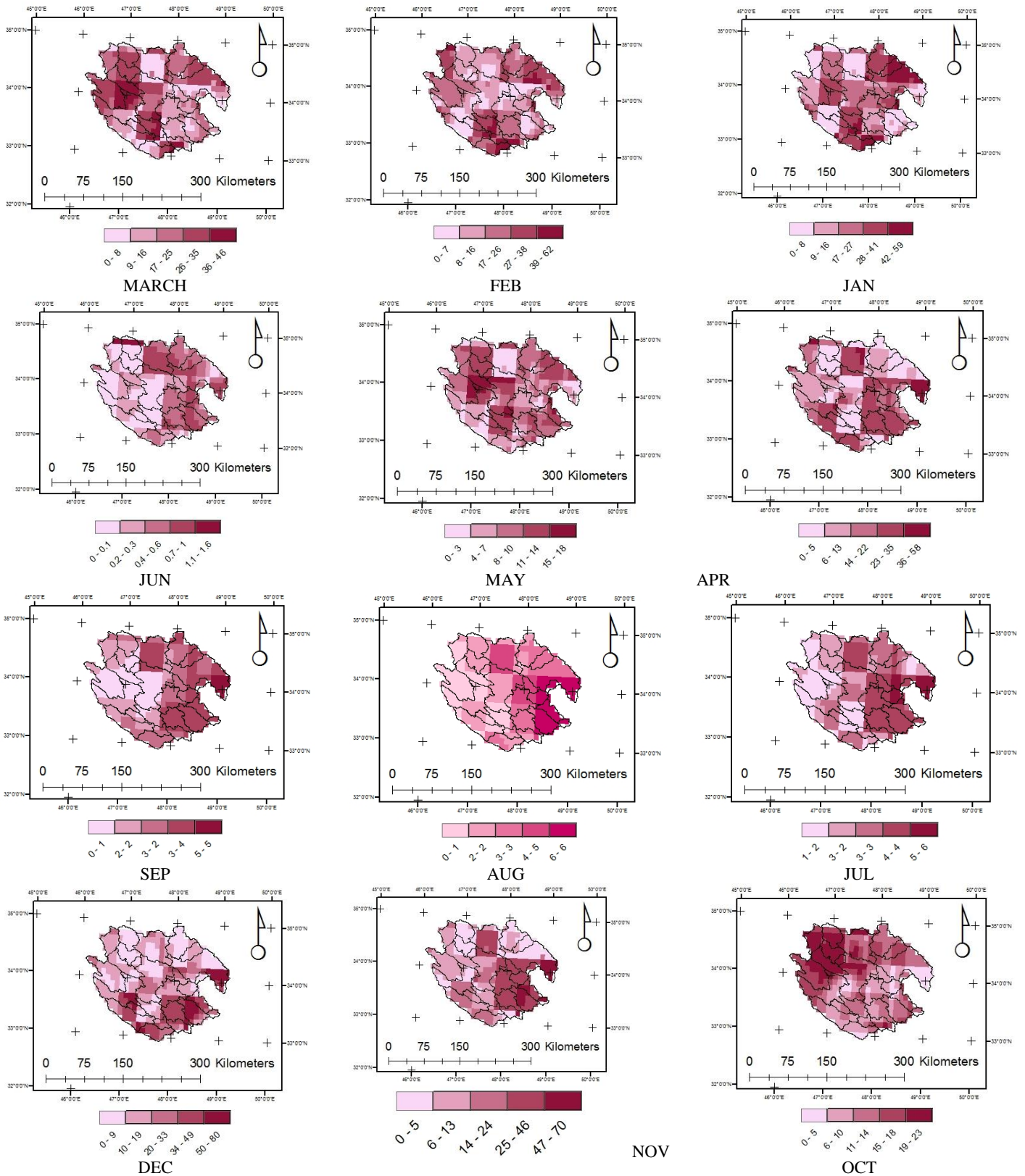
دقیق جزو ذات آن‌ها نیست، به نظر می‌رسد که مدل آب و هوایی منطقه‌ای PRECIS توانسته است برآورد نسبتاً مناسبی از بارش منطقه کرخه داشته باشد.



شکل ۲- توزیع مکانی بارندگی ماهانه مشاهده‌ای (میلی‌متر)



شکل ۳- توزیع مکانی بارندگی ماهانه برآوردی (میلی‌متر)



شکل ۴- نقشه توزیع مکانی قدر مطلق اختلاف مقادیر بارندگی مشاهده‌ای و برآوردی (میلی‌متر)

جدول ۵- پارامترهای آماری بارندگی منطقه‌ای و مقدار خطای مدل آب و هوایی

خطا		مدل PRECIS						مشاهده‌ای					MONTH
MAE	MBE	%CV	STD	MEAN	MAX	MIN	%CV	STD	MEAN	MAX	MIN		
۲۲/۰	۲۰/۶	۳۸/۶	۲۱/۲	۵۵/۰	۱۰۸/۳	۱۳/۶	۱۴/۳	۱۰/۸	۷۵/۵	۱۱۳/۰	۴۲/۱	JAN	
۱۸/۷	۱۰/۴	۳۷/۵	۲۲/۹	۶۰/۹	۱۳۷/۰	۲۰/۶	۱۵/۱	۱۰/۸	۷۱/۴	۱۱۴/۰	۴۲/۰	FEB	
۲۰/۶	۱۹/۷	۲۵/۲	۲۳/۲	۹۲/۲	۱۵۵/۵	۵۲/۹	۸/۷	۸/۱	۹۲/۸	۱۲۳/۶	۶۱/۲	MAR	
۱۵/۷	-۱۴/۵	۲۹/۱	۲۰/۶	۷۰/۹	۱۲۹/۴	۳۹/۴	۱۳/۵	۷/۹	۵۸/۷	۹۸/۹	۳۱/۰	APR	
۰/۴	۸/۰	۲۶/۹	۶/۰	۲۲/۲	۳۴/۵	۱۰/۶	۱۶/۱	۴/۹	۳۰/۱	۴۷/۹	۱۴/۷	MAY	
۰/۴	-۰/۳	۶۶/۱	۰/۵	۰/۸	۲/۳	۰/۱	۶۱/۶	۰/۳	۰/۵	۱/۴	۰/۰	JUN	
۲/۵	-۲/۵	۳۷/۹	۱/۱	۲/۹	۶/۷	۱/۲	۱۱۷/۵	۰/۴	۰/۳	۱/۸	۰/۰	JUL	
۲/۷	-۲/۷	۲۵/۵	۱/۶	۳/۰	۷/۱	۰/۶	۵۸/۴	۰/۲	۰/۴	۲/۰	۰/۰	AUG	
۱/۸	-۱/۷	۴۳/۱	۱/۰	۲/۲	۵/۵	۰/۸	۸۷/۶	۰/۴	۰/۵	۱/۳	۰/۰	SEP	
۱۲/۷	۱۲/۶	۳۹/۷	۵/۵	۱۳/۸	۲۹/۸	۴/۷	۲۲/۰	۵/۸	۲۶/۴	۴۱/۴	۱۰/۲	OCT	
۱۸/۷	-۱۶/۵	۲۹/۱	۲۰/۶	۷۰/۹	۱۲۹/۴	۳۹/۴	۱۰/۲	۵/۵	۵۴/۱	۶۹/۱	۳۳/۰	NOV	
۲۰/۶	-۱۴/۱	۳۳/۴	۲۸/۴	۸۵/۰	۱۷۳/۰	۲۹/۹	۲۲/۷	۱۶/۰	۷۰/۵	۱۴۹/۳	۳۹/۲	DEC	

تغییرات دمای بیشینه در ماه‌های سرد (نوامبر، دسامبر و ژانویه) بیشتر و در بقیه ماه‌ها کمتر از مقدار مشاهده‌ای است. لازم به ذکر است که مدل توانسته است، توزیع زمانی بیشینه دما را مشابه مقادیر مشاهده‌ای برآورد کند به طوری که روند دمای بیشینه همه ماه‌ها مشابه دمای بیشینه ایستگاه می‌باشد. به عبارت دیگر، بیشینه دما در ماه ژوئیه و کمینه آن در ماه ژانویه رخ داده است.

برای بررسی بیشتر مدل مقادیر MAE و MBE منطقه‌ای دمای بیشینه نیز محاسبه شد که در جدول ۶ ارائه شده است. همان‌طور که در جدول نیز مشخص است، دمای بیشینه برآورد شده به وسیله مدل آب و هوایی در تمام ماه‌ها بیش از مقادیر مشاهده‌ای بوده، مقدار انحراف از میانگین بین ۰/۶ درجه سانتی‌گراد برای ماه ژانویه تا سه درجه سانتی‌گراد برای ماه اکتبر می‌باشد. مقدار MAE نیز بین سه تا ۱۳ درجه سانتی‌گراد است که به ترتیب مربوط به ماه‌های ژانویه و اکتبر می‌باشد.

برای ارزیابی منطقه‌ای دما نیز ابتدا نقشه توزیع مکانی دمای بیشینه و کمینه مشاهده‌ای با استفاده از مناسب‌ترین روش برآورد شد. سپس با نقشه‌های خروجی مدل PRECIS مقایسه شد. شکل ۵، توزیع مکانی دمای بیشینه مشاهده‌ای و شکل ۶، توزیع مکانی دمای بیشینه برآوردی مدل را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل نیز مشخص است، توزیع مکانی میانگین دمای بیشینه برآوردی به وسیله مدل تقریباً مشابه دمای مشاهده‌ای می‌باشد. به طوری که مناطق سرد در قسمت‌های شرقی و مناطق گرم‌تر در محدوده جنوبی منطقه قرار گرفته‌اند.

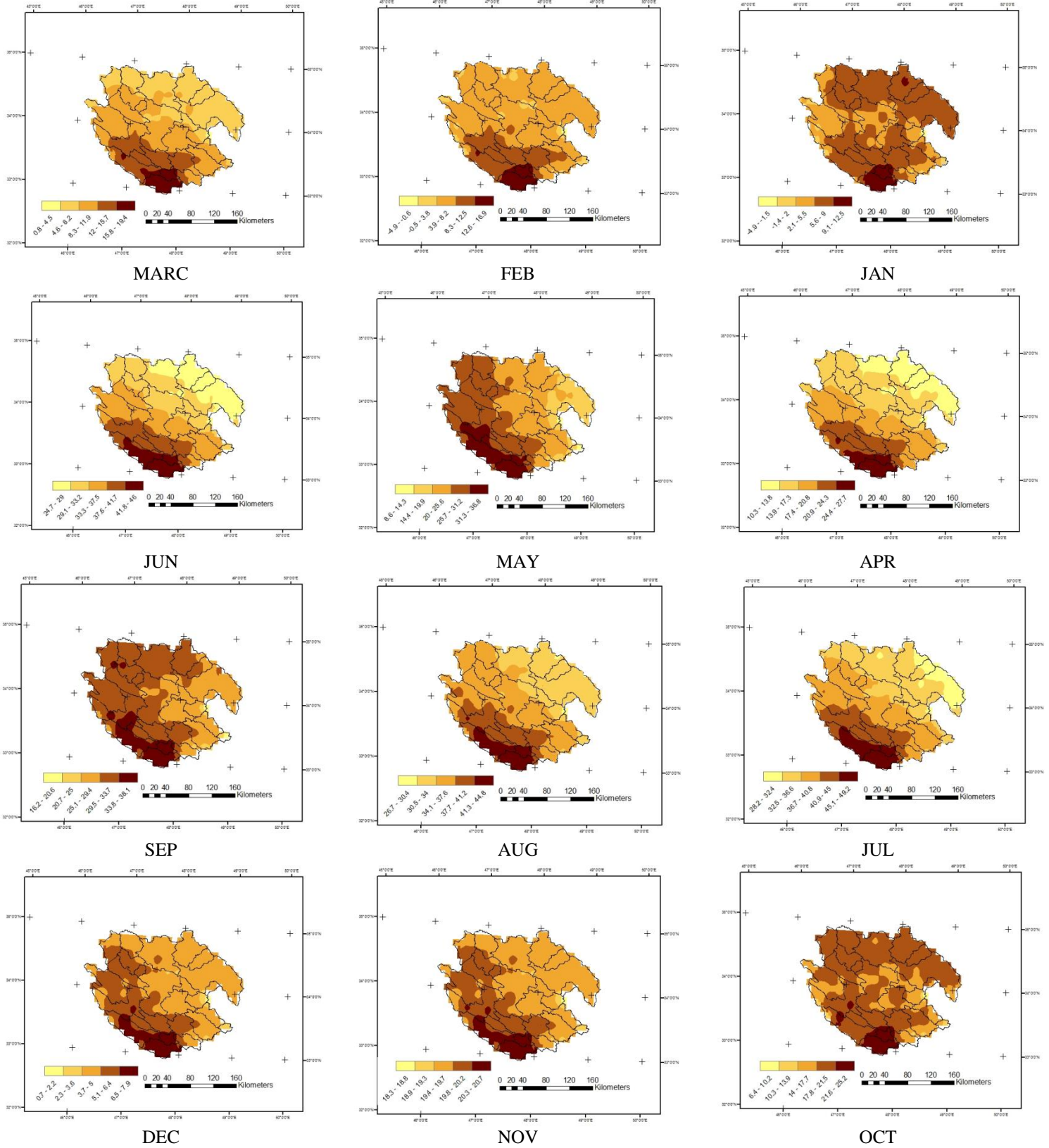
بررسی‌ها نشان می‌دهند که مدل دمای بیشینه را در همه ماه‌ها بیشتر از میانگین منطقه‌ای مقدار مشاهده‌ای برآورد کرده است. در مورد میانه نیز وضعیت به همین صورت می‌باشد و مقدار میانه دمای بیشینه برآوردی در همه ماه‌ها بیش از مقدار مشاهده‌ای می‌باشد. ضریب چولگی نیز به جز ماه اکتبر در همه ماه‌ها بیشتر برآورد شده است. هر چند ضریب

جدول ۶- مقادیر خطا و انحراف مدل PRECIS در برآورد دمای کمینه و بیشینه (°C)

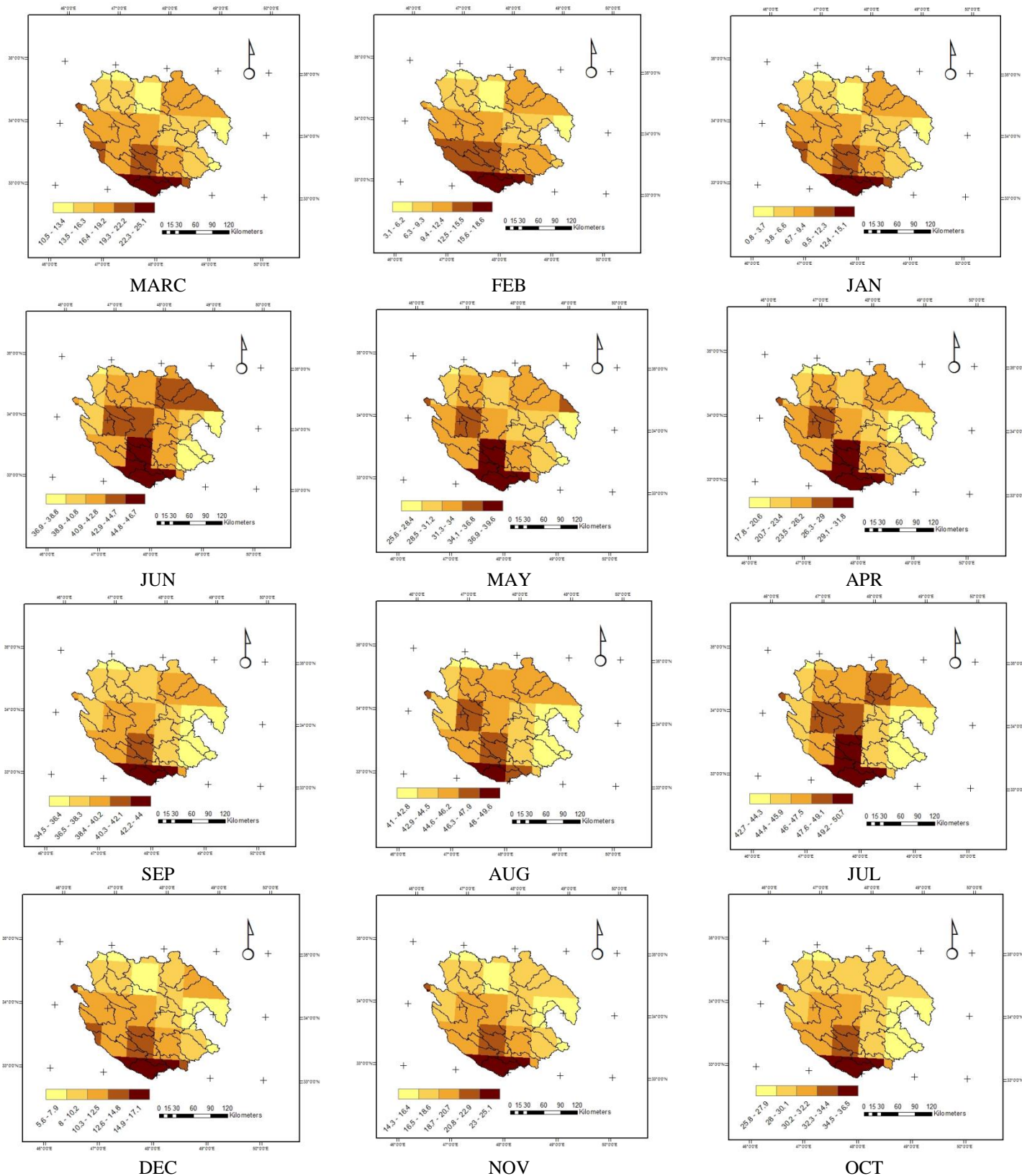
ANN UAL	DEC.	NOV.	OCT.	SEP.	AUG.	JULY	JUNE	MAY	APR.	MAR.	FEB.	JAN.	MBE
۶/۱	۰/۵	۰/۸	۳/۱	۱/۷	۲/۰	۱/۷	۱/۸	۱/۹	۱/۸	۲/۰	۱/۲	۰/۶	دمای حداکثر

۷/۴	۲/۵	۳/۶	۱۳/۱	۹/۴	۱۰/۲	۹/۷	۹/۴	۹/۵	۹/۳	۹/۹	۵/۸	۳/۱	MAE
۱۱/۱	-۰/۱	۰/۵	۳/۱	۶/۴	۲/۹	۴/۱	۱/۸	۴/۷	۴/۲	-۱/۲	-۰/۳	-۲/۵	MBE
۸/۲	۱/۱	۰/۴	۳/۲	۶/۱	۱/۰	۶/۱	۲/۰	۳/۵	۴/۵	۱/۵	۰/۸	۳/۰	MAE

دمای حداقل



شکل ۵- توزیع مکانی دمای حداقل ماهانه مشاهده‌ای (درجه سانتی‌گراد)



شکل ۶- توزیع مکانی دمای بیشینه ماهانه برآوردی (درجه سانتی‌گراد)

دمای کمینه از نوامبر تا مارس (ماه‌های سرد سال) کمتر و در بقیه ماه‌ها بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای

بررسی مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی دمای کمینه به صورت منطقه‌ای نشان می‌دهد که میانگین و میان

منطقه‌ای نیز گاهاً تفاوت‌هایی را نشان می‌دهند.

۳- ارزیابی مدل PRECIS به‌صورت نقطه‌ای و منطقه‌ای نشان می‌دهد که به‌طور کلی مدل توانسته است برآورد مناسبی از بارش در منطقه را نشان دهد (میانگین درصد انحراف منطقه‌ای برابر ۴- درصد). هر چند که در مورد بارش‌های پاییزه و بهاره، به‌دلیل ماهیت محلی آن‌ها، مدل چندان توانمند نبوده است.

۴- مقایسه نتایج ارزیابی مدل به‌صورت نقطه‌ای و منطقه‌ای در مورد بارش نشان می‌دهد که نتایج ارزیابی منطقه‌ای با نتایج ارزیابی به‌صورت ایستگاهی، اندکی متفاوت است. از طرف دیگر، نتایج دو ایستگاه نیز تفاوت‌هایی با یکدیگر دارند. لذا تعمیم نتایج نقطه‌ای به یک منطقه می‌تواند اشکالاتی را ایجاد کند.

۵- مدل PRECIS توزیع زمانی و مکانی بارندگی و دما را متناسب با مقادیر مشاهده‌ای برآورد کرده است.

۶- با توجه به نتایج به‌دست آمده از ارزیابی‌های نقطه‌ای و منطقه‌ای به‌نظر می‌رسد که ارزیابی نقطه‌ای نمی‌تواند معیار مناسبی برای سطح یک منطقه باشد و بهتر است برای ارزیابی مدل‌های اقلیمی و بررسی تغییرات اقلیمی یک حوضه، به‌صورت منطقه‌ای عمل شود.

برآورد شده است. انحراف معیار نیز به‌جز ماه‌های اوت، اکتبر و نوامبر و ژانویه در بقیه ماه‌ها کمتر از مقادیر مشاهده‌ای می‌باشد. بررسی مقادیر MAE و MBE دمای کمینه منطقه‌ای نشان می‌دهد که به‌جز ماه‌های سرد سال دمای کمینه در بقیه ماه‌ها بیش از مقدار مشاهده‌ای برآورد شده است (جدول ۶). به‌طوری‌که کمترین درصد خطا و انحراف نسبت به میانگین مشاهده‌ای برای ماه دسامبر و بیشترین آن‌ها مربوط به ماه سپتامبر است. هر چند که از لحاظ عددی MBE از ۰/۱- تا ۶/۴- و MAE از یک تا ۶/۱ تغییر می‌کنند.

### نتیجه‌گیری

۱- نتایج ارزیابی منطقه‌ای دمای بیشینه و کمینه نشان می‌دهد که مدل PRECIS هر دو پارامتر را بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد کرده است. این در حالی است که بررسی ایستگاهی دمای کمینه نشان می‌دهد که در هر دو ایستگاه دمای کمینه کمتر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد شده است.

۲- بررسی نقطه‌ای هر دو پارامتر دما نشان داد که برای دو ایستگاه، نتایج خروجی مدل در برخی موارد متفاوت است، ضمن این‌که نتایج ایستگاهی و

### منابع مورد استفاده

- Alves, L.M. and J. Marengo. 2010. Assessment of regional seasonal predictability using the PRECIS regional climate modeling system over South America. *Theoretical and Applied Climatology*, 100: 337-350
- Babaeian, I., Z. Nagafineik, Z. Zabolabasi, M. Habeibei, H. Adab and S. Malbisei. 2010. Climate change assessment over Iran during 2010-2039 using statistical downscaling of ECHO-G model. *Geography and Development Iranian Journal*, 7(16): 135-152 (in Persian).
- Babaeian, I., R. Modirian, M. Karimian and Sh. Malbusi. 2012. Capability of PRECIS regional climate model for modeling regional precipitations of Iran. *Physical Geography Research*, (43): 125-140.
- Chu, J.T., J. Xia, C.Y. Xu and V.P. Singh. 2010. Statistical downscaling of daily mean temperature, pan evaporation and precipitation for climate change scenarios in Haihe River, China. *Theoretical and Applied Climatology*, 99: 149-161.
- Georgi, F. and B. Hewitson. 2001. Regional climate information-evaluation and projections. In *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Georgi, F. 1990. On the simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model. *International Journal of Climatology*, 3: 941-963.
- Georgi, F., L.O. Mearns. 1999. Introduction to special section: regional climate modeling revisited. *Journal of Geophysical Research*, 104(D6): 6335-6352.
- Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden and D. Xiaoosu. 2001. *Climate change 2001: the scientific basis, contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.



9. Jones, R.G., M. Noguer, D.C. Hassell, D. Hudson, S.S. Wilson, G.J. Jenkins and J.F.B. Mitchell. 2004. Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS. Met Office Hadley Centre, Exeter, UK.
10. Simmons A.J. and D.M. Burridge. 1981. An energy and angular-momentum conserving vertical finite difference scheme and hybrid vertical coordinates. *Monthly Weather Review*, 109: 758-766.
11. Wang, B., I.S. Kang and J.Y. Li. 2004. Ensemble simulation of Asian-Australian monsoon variability by 11 AGCMs. *Journal of Climate*, 17: 803-818.
12. Wood, A.W., L.R. Leung, V. Sridhar and D.P. Lettenmaier. 2004. Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs. *Climate Change*, 62: 189-216.
13. Zacharias, M., S.N. Kumar, S.D. Singh, D.N. Swaroopa Rani and P.K. Aggarwal. 2015. Evaluation of a regional climate model for impact assessment of climate change on crop productivity in the tropics. *Current Science*, 108(6): 119-1126.