

صص ۱۹-۳۷

بررسی تغییرات اقلیمی حوضه دز با استفاده از ریزمقیاس نمایی دینامیکی

سیما رحیمی بندر آبادی*

استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، تهران، ایران

مسعود گودرزی

دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، تهران، ایران

طیب رضیئی

استادیار هیات علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲

چکیده

در این مطالعه، به بررسی تغییر آب و هوا در حوضه دز، به عنوان یکی از مهم ترین حوضه های کشور از لحاظ آورد آبی و کشاورزی، پرداخته شده است. برای این منظور، از مدل ریزمقیاس نمایی دینامیکی PRECIS، برای برآورد بارش و دما در دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ و تحت دو سناریوی A2 و B2 استفاده شده است. نتایج نشان می دهد که مقدار بارندگی مشاهده ای طی دوره پایه، دارای روند منفی و دما دارای روند مثبت است. نتایج ارزیابی مدل PRECIS نشان می دهد که به طور کلی، این مدل می تواند برآورد مناسبی از بارش و دما در منطقه داشته باشد. بررسی تغییرات آب و هوایی در حوضه دز نشان داد که تحت سناریوی A2، مقدار بارش حدود ۲۲ درصد کاهش و میانگین دمای حداقل و حداکثر، حدود ۵ درجه افزایش خواهند داشت. برای سناریوی B2، مقدار بارش حدود ۳۳ درصد کاهش و مقدار میانگین دمای حداقل و حداکثر، حدود ۳ درجه افزایش خواهند داشت.

واژگان کلیدی: تغییر آب و هوا، مدل آب و هوایی سیاره ای، ریزمقیاس نمایی، مدل PRECIS، حوضه دز.

مقدمه

با توجه به آشکار شدن تغییرات اقلیمی در اکثر مناطق دنیا و اثر آن بر بخش های مختلف چرخه آب، آگاهی از تغییرات دما و بارش و چگونگی تأثیر آن بر منابع آب به منظور مدیریت صحیح منابع و برنامه ریزی برای آینده ضروری است. تغییرات اقلیمی حادث شده و عوارض ناشی از آن از قبیل تغییر در الگوهای کشت و به مخاطره افتادن منابع غذایی بشر، افزایش بیماری ها و تغییر در عوامل محیطی در آینده ای نه چندان دور را به دنبال خواهد داشت. به همین منظور شناسایی و آشکارسازی تغییرات اقلیمی و یافتن علل این تغییرات از قدم های اولیه بشمار می رود. بدیهی است پیدا کردن راهکارهای

رفع علل و به موازات آن ارائه بینش خوب از دستگاه‌های طبیعی- اجتماعی، اقتصادی و حساسیت آن به تغییر اقلیم از جمله فعالیت‌های لازم دیگر هست. یکی از مهم‌ترین ابزار برای شناخت این تغییرات و آشکارسازی آن‌ها، به کارگیری مدل‌های اقلیمی است. مدل‌های آب و هوایی سیاره‌ای، قادرند در مقیاس‌های بزرگ چند صد کیلومتری و یا بیشتر، تغییرات آب و هوایی را پیش‌بینی کنند. از آنجایی که مدل‌های آب و هوایی سیاره‌ای، قادر به ارزیابی دقیق این تغییرات کوچک مقیاس نیستند، از این‌رو ضروری است تا این تغییرات به‌طور دقیق‌تر و در مقیاس‌های کوچک‌تر بررسی شوند. برای رسیدن به این مهم، مدل‌های آب و هوایی منطقه‌ای توسعه یافته است که با آن‌ها می‌توان نتایج مدل‌های آب و هوایی سیاره‌ای را به مقیاس‌های کوچک دلخواه (سطوح منطقه‌ای و ملی) کوچک کرد (وانگ و همکاران ۲۰۰۴؛ جورجی و میرنس ۱۹۹۹ و جورجی ۱۹۹۰). این مدل‌ها، قادرند جزئیات جغرافیائی بیشتری از سطوح کوچک سطح زمین ارائه دهند و شبیه‌سازی‌های نزدیک به واقعیتی از رویدادهای حدی محلی و منطقه‌ای ارائه می‌نماید (جونز و همکاران ۲۰۰۴؛ جورجی و هویتسون ۲۰۰۱). در مورد ارزیابی اثرات تغییر آب و هوا در آینده مطالعات متعددی انجام شده است.

آلوس و مارنگو (۲۰۱۰) به ارزیابی دقت و توانایی مدل PRECIS برای شبیه‌سازی تغییرات 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 نماید هرچند که خطای سیستماتیک مدل ریزمقیاس کننده و همچنین داده‌های شرایط مرزی باعث ایجاد انحراف در نتایج می‌شوند. چو و همکاران (۲۰۱۰) یک مدل ریزمقیاس نمایی آماری را برای برآورد مقادیر درجه حرارت، تبخیر و بارش در یکی از حوضه‌های چین مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که الگوهای تغییرات متغیرهای اقلیمی می‌تواند با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی شود.

زاخاریس و همکاران (۲۰۱۰) 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 کردند. نتایج نشان می‌دهد که مدل توانسته است مقادیر میانگین دما و بارش را در حد قابل قبولی شبیه‌سازی نماید اما نتوانسته است تغییرات زمانی - مکانی پارامترها را به‌خوبی نشان دهد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که مقادیر بارندگی و دما بیش‌تر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد شده است.

نولان و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی تأثیرات تغییرات آب و هوایی بر میزان بارش ایرلند برای دوره ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۰ بر اساس سناریوهای انتشار متوسط تا زیاد پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که میزان بارش سالانه، بهار و تابستان کاهش قابل توجهی خواهد داشت (به ترتیب ۰ تا ۱۳٪ و ۳ تا ۲۰٪ برای سناریوهای متوسط و زیاد). فراوانی وقوع بارندگی‌های سنگین، افزایش حدود ۲۰ درصدی را در طول ماه‌های زمستان و پاییز نشان می‌دهد و همچنین تعداد دوره‌های خشک طولانی مدت در طول پاییز و تابستان افزایش می‌یابد. این دوره‌های خشک برای تابستان بیشترین مقدار را داشته و مقادیر آن از ۱۲ تا ۴۰ درصد برای هر دو سناریو انتشار است.

ژانگ و همکاران (۲۰۲۰) تغییرات دما و بارش حوضه دریاچه‌ای در کانادا را با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی PRECIS بررسی کردند. آن‌ها برای این مطالعه داده‌های بارش و دمای شش مدل GCM را برای دوره‌های ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹ و ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ ریزمقیاس نمودند. نتایج نشان می‌دهد که به‌طور کلی میانگین منطقه‌ای دمای سالانه برای دوره ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹ بین ۲/۱ تا ۴ درجه افزایش خواهد داشت. این در حالی است که افزایش دما برای دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ بین ۳/۳ تا ۶ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. بارش سالانه برای هر دو دوره در منطقه کاهش است؛ به‌طوری‌که در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ این کاهش حدود ۲/۹ تا ۲۱/۶ درصد و برای دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰ حدود ۲/۹ تا ۲۱/۶ درصد خواهد بود. این مطالعه همچنین اثرات سطوح گسترده آبی و عدم قطعیت ناشی از آن را در شبیه‌سازی‌های اقلیمی بررسی کرده است.

گولامادو و همکاران (۲۰۲۰) تأثیرات احتمالی سناریوهای پیش‌بینی شده تغییرات آب و هوایی بر جریان حوضه‌ای در مرکز آسیا (مشترک بین قرقیزستان و تاجیکستان) را برای دو دوره آینده (۲۰۲۲-۲۰۶۰ و ۲۰۶۱-۲۰۹۹) ارزیابی کردند. تغییرات آب و هوایی منطقه با استفاده از خروجی پنج مدل آب و هوای جهانی و تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 ارزیابی شد. جریان رودخانه با استفاده از مدل هیدرولوژیکی نیمه توزیعی SWAT شبیه‌سازی شده است. نتایج بیانگر افزایش قابل توجه دمای متوسط سالانه تا پایان قرن بیست و یکم بوده به‌طوری‌که از ۲/۲۵ تا ۴/۴۰ درجه سانتی‌گراد تحت RCP4.5 و از ۴/۴۰ تا ۶/۶۰ درجه سانتی‌گراد تحت RCP8.5 متغیر می‌باشد. نتایج هر سه مدل GCM تمایل کاهش میانگین سالانه بارندگی را نشان می‌دهد (از ۱/۷- تا ۱۶- درصد تحت سناریو RCP4.5 و از ۳/۴- تا ۲۹/۸- درصد تحت سناریو RCP8.5). نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل هیدرولوژیکی نیز تمایل افزایشی جریان متوسط سالانه را از ۱۷/۵٪ به ۵۲/۳ درصد تحت هر دو RCP و تا پایان سال ۲۰۹۹ می‌باشد و به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد که جریان فصلی آینده در منطقه مورد مطالعه به دلیل تغییرات احتمالی دما و بارش بسیار نامشخص است.

وو و همکاران (۲۰۲۱) الگو مکانی - زمانی تغییرات دما و بارش آینده چین را با استفاده از مدل اقلیمی منطقه‌ای PRECIS در دو وضوح افقی (۲۵ کیلومتر و ۵۰ کیلومتر) بررسی نمودند. نتایج نشان می‌دهد که عملکرد خوبی در شبیه‌سازی پارامترهای دما و بارش در منطقه دارد. همچنین نتایج بیانگر این است که دما و بارش سالانه در بیشتر مناطق چین با گذشت زمان، به‌ویژه در اواخر این قرن، به تدریج افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از R25 نشان می‌دهد که میانگین دما بر روی چین در اوایل قرن ۱،۳ (۱،۵) درجه سانتی‌گراد، در قرن وسط ۲،۷ (۳،۵) درجه سانتی‌گراد و در اواخر قرن (5.9) 3.5 درجه سانتی‌گراد تحت سناریو RCP4 افزایش می‌یابد. بیشتر مدل‌ها پیش‌بینی می‌کنند که دما در ماه‌های سرد (یعنی ژانویه تا مارس) افزایش بیشتری داشته باشد در حالی که منطقه جنوب شرقی تغییرات کوچک‌تری نسبت به سایر مناطق نشان می‌دهد. علاوه بر این، چین به‌طور کلی بارش بیشتری دریافت خواهد کرد، اما دامنه افزایش یافته در سناریوها و مدل‌های مختلف متفاوت است. تغییرات در ماه‌های اکتبر یا نوامبر نسبت به ماه‌های دیگر برای مناطق جنوب شرقی و مرکزی کوچک‌تر است در حالی که درصد تغییرات در شمال غربی منطقه بیشتر است که فشار کمبود آب در این منطقه خشک چین را کاهش می‌دهد.

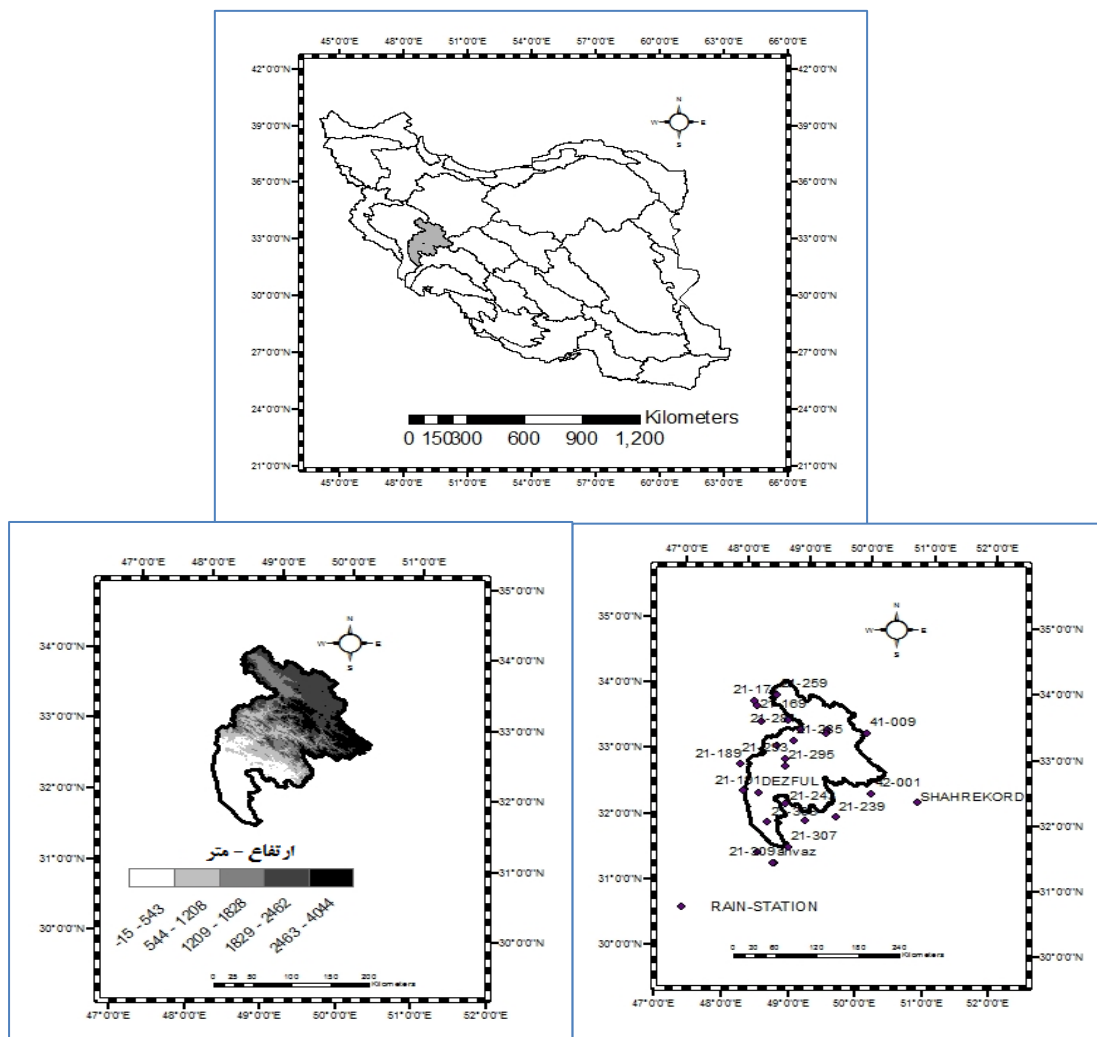
مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴) اثرات تغییر آب و هوا را بر جریان رودخانه زاینده رود با کمک مدل گردش عمومی HadCM2 و سناریوهای A2 و B2 در دوره‌های ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان‌دهنده کاهش بارندگی و افزایش دما تا سال ۲۱۰۰ است. همچنین نتایج بیانگر احتمال بالای کاهش رواناب در حوضه می‌باشد. بابائیان و همکاران (۱۳۸۸) به ارزیابی تغییر آب و هوا کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G پرداختند. آن‌ها برای ریزمقیاس نمایی از مدل‌های Weather Generator استفاده نمودند. در مطالعه مذکور خروجی‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G با سناریوی A1 برای دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ ریزمقیاس شدند و نتایج آن بر روی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ حاکی از کاهش ۹ درصدی بارش در کل کشور، افزایش آستانه بهابازارهای 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.

ظهربابی و همکاران (۱۳۸۹) به شناخت تغییر آب و هوا در حوضه کارون بزرگ با کمک مدل‌های آب و هوایی پرداختند. آن‌ها برای این کار از آمار دراز مدت (۱۰۰۰ ساله) دما و بارش حاصل از اجرای کنترل (ثابت ماندن گازهای گلخانه‌ای طی سال‌های آینده) مدل‌های آب و هوایی HadCM3 و CGCM3 استفاده نمودند. سپس بر اساس توزیع نرمال دو متغیره محدوده نوسانات درونی سالانه آب و هوایی منطقه مورد مطالعه را به صورت نمودارهای دو بعدی ترسیم کردند. به منظور آشکارسازی تغییر آب و هوا در دوره‌های گذشته در منطقه و نسبت‌دهی آن به گازهای گلخانه‌ای، مقادیر آنومالی سالانه دما و بارش مشاهداتی ایستگاه‌های مختلف نیز با محدوده نوسانات درونی منطقه مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهند که دما دارای روند افزایشی و بارندگی دارای روند کاهشی در حوضه کارون بزرگ است. به طوری که در تمامی قسمت‌های حوضه تقریباً سال‌های انتهایی دوره ۲۰۰۹-۱۹۷۱ در خارج از محدوده نوسانات درونی آب و هوا قرار گرفته و نشان‌دهنده تأثیر تغییر آب و هوا بر متغیرهای آب و هوایی طی این سال‌ها می‌باشد.

رحیمی و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی تغییرات اقلیمی حوضه کرخه تحت دو سناریوی A2 و B2، با استفاده از ریزمقیاس نمایی دینامیکی پرداختند. نتایج نشان داد که تحت سناریوی A2، مقدار بارش حدود ۱۱ درصد و میانگین دمای حداقل و حداکثر، حدود ۵ درجه افزایش خواهند داشت. برای سناریوی B2، مقدار بارش حدود ۷ درصد و مقدار میانگین دمای حداقل و حداکثر، حدود ۳ درجه افزایش خواهند داشت. بررسی منابع نشان می‌دهد که مطالعه اندکی در زمینه ریزمقیاس نمایی دینامیکی در داخل کشور انجام شده است. عمده روش‌های به‌کاربرده شده نیز روش‌های ریزمقیاس نمایی آماری است که نیاز به تعداد زیاد ایستگاه و طول دوره آماری بلند مدت دارد که اغلب مناطق کشور فاقد چنین ایستگاه‌هایی می‌باشند. لذا در این مقاله تغییرات اقلیمی (تغییرات بارش و دما) دوره آتی در حوضه دز، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین حوضه‌ها در آورد آبی کشور، با استفاده از مدل منطقه‌ای PRECIS بررسی شده است.

منطقه مورد مطالعه

حوضه دز بین طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۲۱ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۷ دقیقه قرار دارد و مساحت آن بیش از ۲۱۷۲۰ کیلومتر مربع است (شکل ۱). ارتفاع در این حوضه بین ۱۵- متر تا ۴۰۰۰ متر می باشد. جبهه های مدیترانه ای که در ارتباط با جریان های هوای غربی وارد کشور می شوند، بخش اصلی بارندگی های این منطقه را در آخر فصل پاییز و فصل زمستان تأمین می کنند. در مناطق کوهستانی نیز، ممکن است جریان های همرفتی موجب بروز بارندگی در فصل بهار و ابتدای فصل تابستان شوند. میانگین بارش در حوضه دز حدود ۶۶۹ میلی متر می باشد که بین ۲۳۲/۷ تا ۱۲۷۹ میلی متر تغییر می کند. همان طور که در شکل نیز مشخص است بارش (عمدتاً در فصول پاییز و زمستان) در قسمت های غرب منطقه علیرغم داشتن ارتفاع کمتر، بیشتر از قسمت های کوهستانی شرق حوضه است. این به دلیل این است که قسمت غرب منطقه، محدوده تنگ پنج بختیاری، محل برخورد توده های هوایی است که از دو طرف حوضه وارد می گردند و در این محل تولید بارش نسبتاً بالایی می کنند. برای بررسی پارامترهای هواشناسی و ارزیابی ها از ایستگاه های سینوپتیک و کلیماتولوژی سازمان هواشناسی و در صورت لزوم از برخی ایستگاه های باران سنجی وزارت نیرو (تعداد ۳۰ ایستگاه) که دارای آمار مناسب طی دوره پایه (سال های آماری ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۰) بودند استفاده گردید (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و نقشه رقومی ارتفاع

داده‌ها و روش‌ها

مدل اقلیمی

مدل‌های اقلیمی فرآیندهای آب و هوا را شناسایی و اثرات تغییرات و روابط متقابل آن‌ها با یکدیگر را شبیه‌سازی و پیش‌بینی می‌کنند. روابط ریاضی مدل‌ها که بر اساس قوانین فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی استوار هستند، معمولاً در شبکه‌های سه بعدی با مقیاس مکانی افقی حدود ۱۰۰ تا ۶۰۰ کیلومتر مربع، ۱۰ تا ۲۰ لایه در اتمسفر و ۳۰ لایه در اقیانوس حل می‌شوند. برای منطقه‌ای کردن مدل‌های آب و هوایی دو روش عمده وجود دارد که به روش‌های ریزمقیاس نمایی معروف هستند: ریزمقیاس نمایی آماری و ریزمقیاس نمایی دینامیک. مدل PRECIS یک مدل اتمسفر - سطح با قدرت تفکیک بالا است. 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 می‌باشد. خروجی مدل نیز سری کامل متغیرهای هواشناسی بوده که می‌تواند در مقیاس‌های زمانی تعیین شده، استخراج گردد. 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 می‌باشد. اطلاعات شرایط مرزی سولفور نیز به صورت مقدار دی‌اکسید سولفور، سولفات و ذرات شیمیایی مرتبط با سولفور تعریف شده است. ساختار دینامیکی مدل منطقه‌ای PRECIS مشابه مدل جوی HadAM3P می‌باشد (جونز و همکاران ۲۰۰۴). جزئیات بیشتر این مدل در رحیمی و همکاران (۱۳۹۸) ارائه شده است.

سناریوهای انتشار

به‌طور کلی یک سناریو حاوی اطلاعاتی از وضعیت اقتصادی - اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در آینده است که به آن سناریو انتشار (Emission Scenario) گفته می‌شود (مجمع بین‌المللی تغییرات اقلیمی، ۲۰۰۷). در این مطالعه نیز با توجه به ویژگی‌های منطقه از سناریوهای A2 و B2 برای پیش‌بینی‌ها مورد استفاده قرار گرفت. در این زمینه شش گروه سناریو با توجه به پیش‌بینی تغییرات در بخش‌های جمعیت، توسعه‌های اجتماعی و اقتصادی و پیشرفت‌های تکنولوژی در آینده و مطابق با چهار گروه (A1, A2, B1, B2) ارائه شده‌اند. این سناریوها به‌طور خلاصه به صورت زیر می‌باشند: A1F1: تصور جهانی در آینده با رشد اقتصادی خیلی سریع و کاربرد شدید سوخت‌های فسیلی، A1T: رشد اقتصادی خیلی سریع و استفاده از منابع سوختی غیر فسیلی با ایجاد تکنولوژی‌های جدید، A1B: رشد اقتصادی خیلی سریع در آینده و استفاده از منابع سوخت فسیلی و غیر فسیلی به صورت متعادل تر، A2: رشد اقتصادی متوسط در آینده و نرخ آلودگی بیشتر از A1، B1: تصور جهانی همگرا با تغییر سریع در ساختارهای اقتصادی، اجتماعی، ایجاد تکنولوژی‌های جدید و کمترین نرخ رشد آلودگی، B2: تأکید بر راه‌حل‌های منطقه‌ای برای پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی. رشد اقتصادی متوسط بوده و نرخ رشد آلودگی کمتر از A2.

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 معیار آماری میانگین خطای انحراف^۱ برای ارزیابی‌ها استفاده می‌شود. پس از محاسبه مقادیر خطا و انحراف، هرچقدر این دو معیار به صفر نزدیک‌تر باشند، نشان‌دهنده اختلاف کمتر مقادیر برآورد شده نسبت به مقادیر مشاهده‌ای است.

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

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

بحث و یافته‌ها

برای استفاده از نتایج مدل PRECIS ابتدا لازم است مدل مورد ارزیابی قرار گیرد. برای این منظور ابتدا مدل برای دوره پایه (۱۹۶۰ تا ۱۹۹۰) اجرا شده و مقادیر بارش و دمای شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهده‌ای ایستگاه‌ها مورد مقایسه قرار گرفتند. برای برآورد خطا به صورت منطقه‌ای، نقشه توزیع مکانی مقادیر مشاهده‌ای و نقشه خروجی مدل، مقایسه گردید. برای این منظور، ابتدا توزیع مکانی بارندگی ماهانه ۲۵ ایستگاه هواشناسی با استفاده از مناسب‌ترین روش درون‌یابی برای هرماه (عمدتاً روش کریجینگ و برای برخی ماه‌ها روش عکس فاصله وزنی) و با وضوح متناسب با نقشه‌های خروجی مدل آب و هوایی، برآورد شد (شکل ۲). همان‌طور که در شکل نیز مشخص است بارش در فصول پاییز و زمستان در قسمت‌های غرب منطقه علیرغم داشتن ارتفاع کمتر، بیشتر از قسمت‌های کوهستانی شرق حوضه می‌باشد. این به دلیل این است که قسمت غرب منطقه، محدوده تنگ پنج بختیاری، محل برخورد توده‌های هوایی است که از دو طرف حوضه وارد می‌شوند و در این محل تولید بارش نسبتاً بالایی می‌کنند. در مرحله بعدی، نقشه‌های خروجی از مدل آب و هوایی PRECIS (شکل ۳) با نقشه‌های مقادیر مشاهده‌ای، مقایسه و ارزیابی شدند. نتایج نشان می‌دهد که به‌طور کلی توزیع مکانی اغلب ماه‌ها (به‌جز ماه‌های مارس و آوریل) تا حدودی از توزیع مکانی داده‌های مشاهده‌ای تبعیت می‌کند هرچند در مورد منطقه غربی حوضه که همان‌طور که گفته شد ویژگی بارشی خاصی در منطقه دارد، نتوانسته است به‌درستی تطابق داشته باشد؛ به عبارت دیگر ماکزیمم بارش خروجی مدل در فصل پاییز و زمستان منطبق با مناطق کوهستانی شرق منطقه و سپس با یک کشیدگی به سمت محدوده تنگ پنج بختیاری است. در حالی که ماکزیمم بارش داده‌های مشاهده‌ای در محدوده تنگ پنج

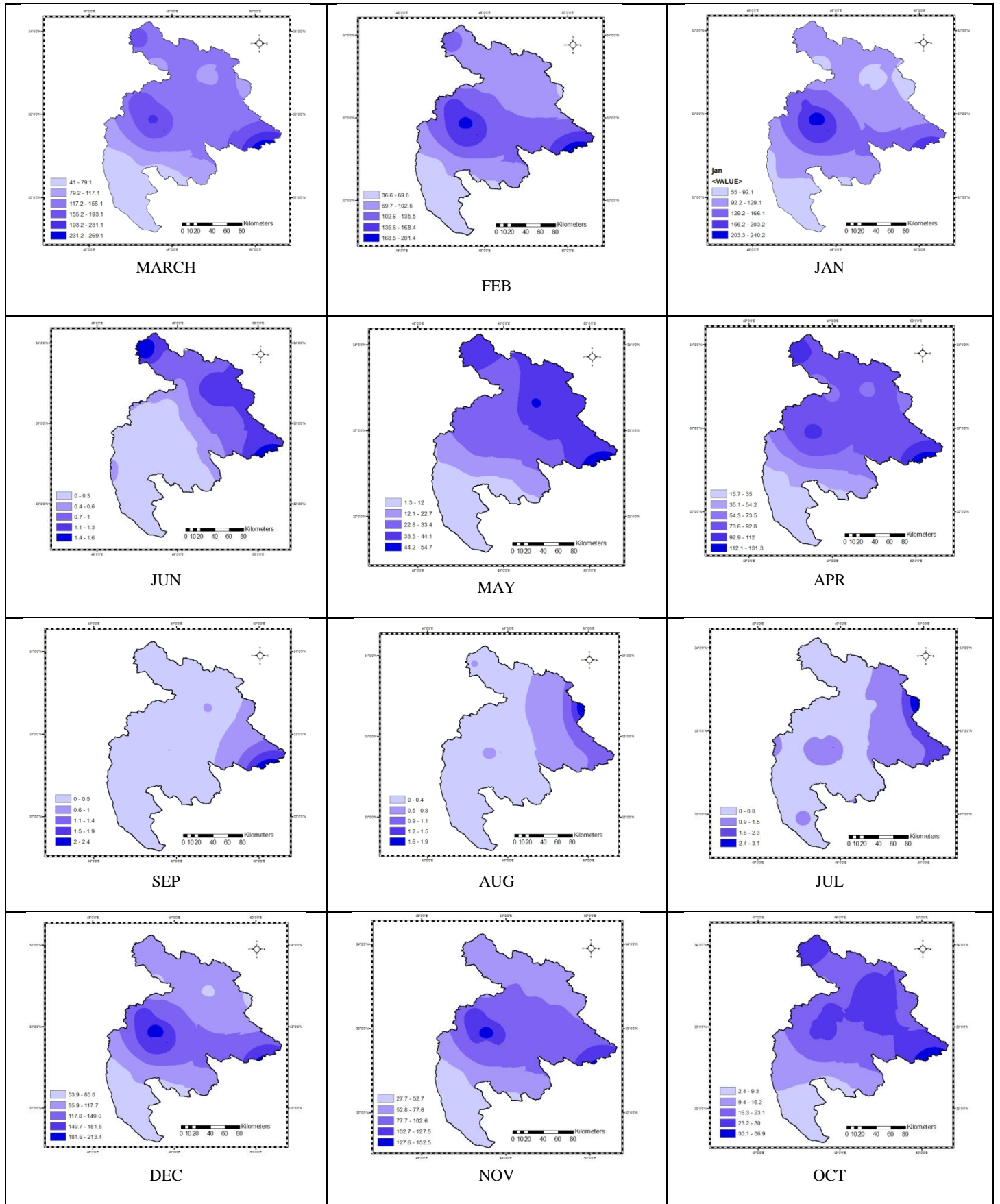
^۱ -Mean Bias Error

اتفاق می‌افتد. بررسی‌ها نشان می‌دهد خطای برآورد در ماه‌های ژانویه، فوریه و دسامبر در قسمت غرب منطقه بیشتر از سایر نقاط است (شکل ۴). در بقیه ماه‌ها خطا در مناطق کوهستانی شرق بیشتر می‌باشد. لذا به نظر می‌رسد که مدل ریزمقیاس نمایی در برآورد توزیع مکانی بارش همسانی ندارد و در برخی ماه‌ها نتوانسته است به دلیل شرایط خاص حوزه مناسب عمل کند. هرچند میانگین منطقه‌ای انحراف برآورد در کل حوضه دز کمتر از ۸ میلی‌متر (حدود ۲۰ درصد) است که برای کل حوضه قابل قبول می‌باشد. ولی باید برای برآورد بارش طی دوره آبی و بررسی تغییرات بارش طی دوره آبی به‌دقت مقادیر انحراف مخصوصاً برای قسمت غرب منطقه لحاظ گردد. لذا اصلاح و لحاظ کردن انحراف نباید به‌طور میانگین انجام شود بلکه اصلاحات باید برای هر پیکسل به‌طور جداگانه انجام گردد. در جدول (۱) نیز، پارامترهای آماری بارندگی منطقه‌ای مشاهده‌ای و بارندگی خروجی مدل همراه با مقدار انحراف مدل ارائه شده است. همان‌طور که در جدول نیز مشخص است بیشترین درصد انحراف به ترتیب مربوط به ماه‌های نوامبر، دسامبر و آوریل می‌باشد و کمترین مقدار انحراف در ماه‌های اکتبر و فوریه اتفاق افتاده است. مدل PRECIS بارش را در ماه‌های ژانویه، فوریه و اکتبر کمتر از مقادیر مشاهده‌ای و در بقیه ماه‌ها بیش از مقدار مشاهده‌ای برآورد کرده است.

جدول ۱: پارامترهای آماری میانگین منطقه‌ای مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی بارش (میلی‌متر)

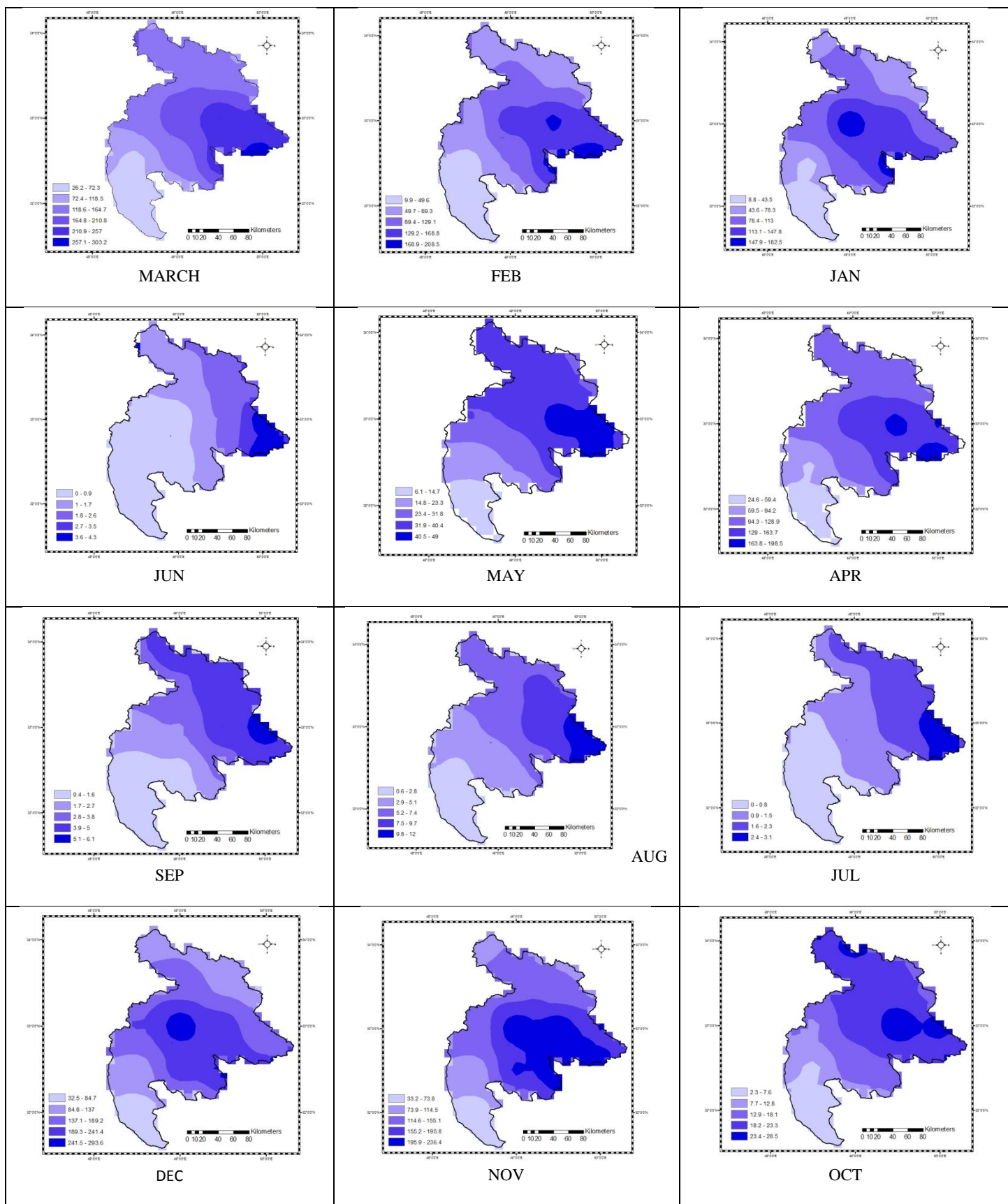
انحراف		داده‌های برآوردی مدل PRECIS				داده‌های مشاهده‌ای				ماه
%MBE	MBE	انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	
-۱۵	-۱۷/۲۹	۳۷/۰۶	۱۰۰	۲۰۰	۷۷/۸	۳۱/۱۸	۱۱۷/۲۹	۲۴۰/۲	۵۵/۰۲	JAN
-2	-2.34	۴۳/۸۲	۹۷/۴	۲۰۸/۵	۹/۸۹	۲۸/۸۶	۹۹/۷۵	۲۰۱/۳۵	۳۶/۶۴	FEB
۱۶	۱۹/۳۱	۵۸/۹۳	۱۴۱/۵	۲۸۵/۱	۲۶/۱۸	۳۷/۳۸	۱۲۲/۱۹	۲۶۹/۱۴	۴۱/۰۵	MAR
۳۴	۲۲/۶	۳۶/۰۷	۹۰	۱۷۸/۴۸	۲۴/۶۳	۳۲/۰۴	۶۷/۴	۱۳۱/۲۹	۱۵/۷۱	APR
۱۹	۴/۸۱	۹/۹	۳۰/۲	۴۹	۶/۱	۱۱/۸۱	۲۵/۳۹	۵۴/۷۵	۱/۳	MAY
۲۷	۰/۱۳	۰/۹۶	۰/۶۳	۱/۸۴	۰/۰۲	۰/۳۹	۰/۵	۱/۶	۰	JUN
۴۷	۰/۳۵	۱/۵۵	۱/۰۸	۲/۴۶	۰/۷	۰/۴	۰/۷۳	۳/۰۷	۰	JUL
۳۹	۰/۱۳	۲/۵۳	۰/۴۵	۱/۹۷	۰/۰۶	۰/۳۷	۰/۳۲	۱/۹۱	۰	AUG
۳۸	۰/۱۲	۱/۴۶	۰/۴۴	۳/۰۸	۰/۴۳	۳۲	۰/۳۲	۲/۳۸	۰	SEP
-۱۲	-۲/۲۰	۶/۱۴	۱۶/۷۸	۲۸/۵۳	۲/۳۵	۶/۶	۱۸/۹۷	۳۶/۸۸	۲/۴	OCT
۴۵	۳۳/۸۸	۴۸/۴۱	۱۱۰	۱۹۶/۴۲	۳۳/۲	۲۰/۶۹	۷۶/۱۲	۱۵۲/۵	۲۷/۷۱	NOV
۱۸	۲۰/۲۸	۵۲/۳	۱۳۰	۲۵۳/۶۳	32.52	۲۸/۱۳	۱۰۹/۷۲	۲۱۳/۴	۵۳/۹۳	DEC

مأخذ: نگارندگان



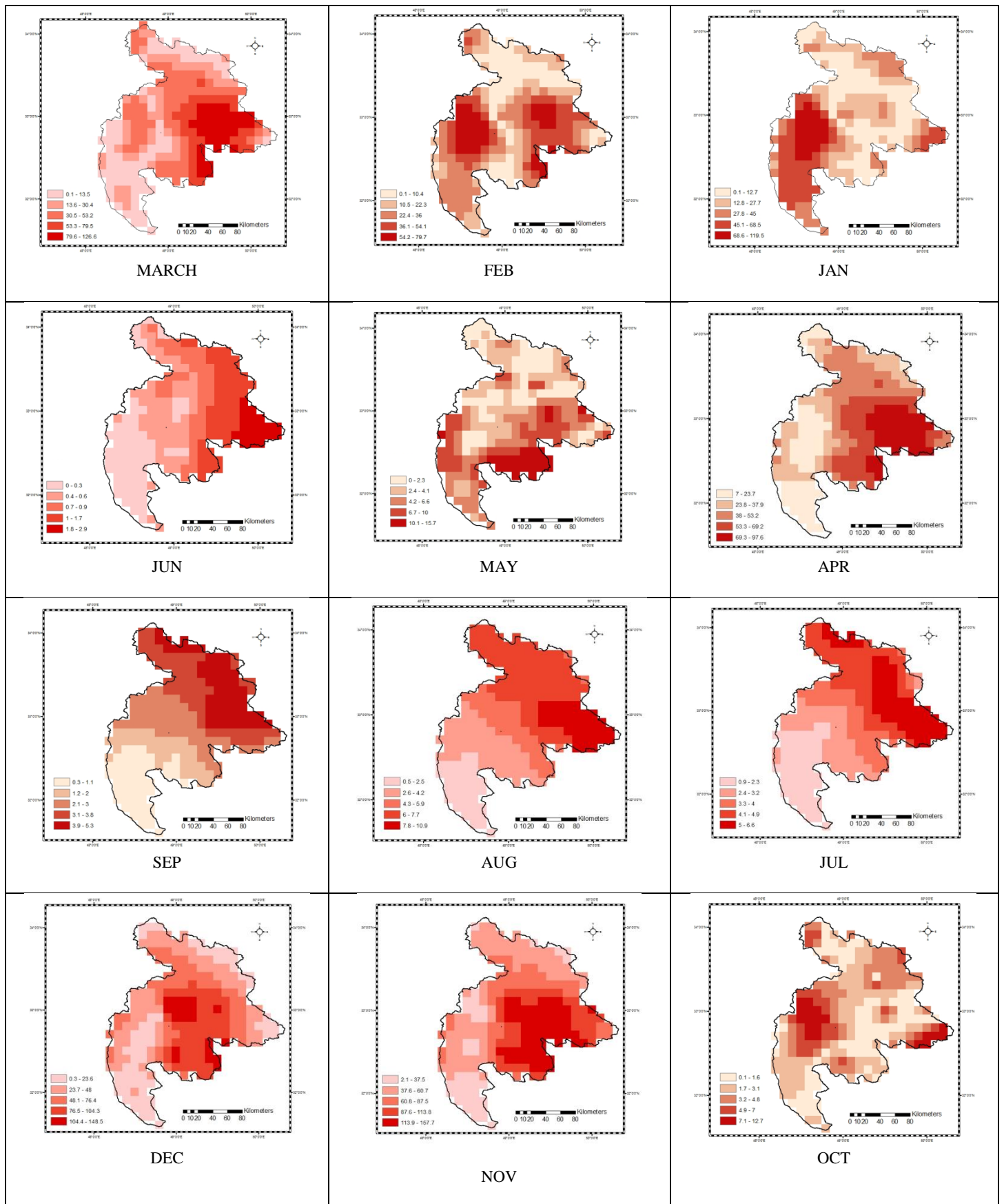
مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: توزیع مکانی بارندگی ماهانه مشاهده‌ای حوضه دز (میلی‌متر)



ماخذ: نگارندگان

شکل ۳: توزیع مکانی بارندگی ماهانه برآوردی حوضه دز (میلی‌متر)

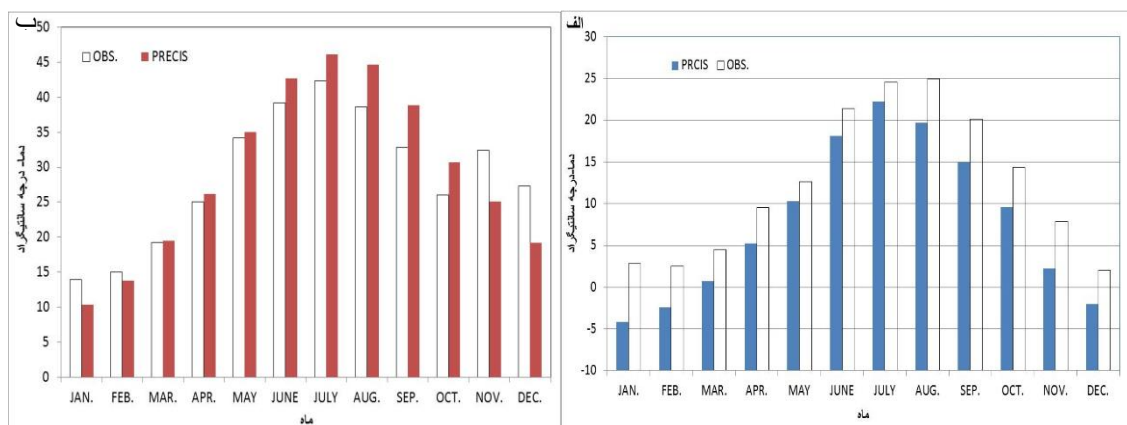


مأخذ: نگارندگان

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

برای ارزیابی منطقه‌ای دما، توزیع مکانی دمای حداکثر و حداقل مشاهداتی با مقادیر خروجی مدل PRECIS مقایسه شد. شکل (۵)، نمودار میانگین منطقه‌ای دمای حداکثر مشاهده‌ای و برآوردی توسط مدل را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل نیز مشخص است میانگین دمای حداکثر برآورد شده در ماه‌های سرد سال کمتر از مقادیر مشاهده‌ای و برای بقیه ماه‌ها بیش از مقادیر مشاهده‌ای برآورد شده است. این در حالی است که روند ماهانه دمای حداکثر به درستی بیان شده است. انحراف برآورد دمای حداکثر بین ۰/۲۴ درجه سانتی‌گراد (مربوط به ماه مارس) و ۷ درجه سانتی‌گراد (مربوط به ماه دسامبر) می‌باشد. به‌طور میانگین مدل PRECIS دمای حداکثر را در حوضه دز حدود ۰/۵ درجه بیش از حد برآورد نموده است. مورد سایر پارامترهای آماری دما نیز وضعیت مشابه است.

برای ارزیابی مدل در زمینه برآورد دمای حداقل در حوضه دز نیز میانگین منطقه‌ای مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر برآورد شده توسط مدل مورد مقایسه قرار گرفتند. همان‌طور که در شکل (۵) نیز می‌دهد میانگین منطقه‌ای دمای حداقل در همه ماه‌ها کمتر برآورد گردیده است. مقدار خطای برآورد میانگین دمای حداقل توسط مدل PRECIS در حوضه دز، بین ۷- درجه سانتی‌گراد تا ۲- درجه سانتی‌گراد تغییر می‌کند. این در حالی است که میانگین ماهانه انحراف حدود ۴- درجه می‌باشد.



مأخذ: نگارندگان

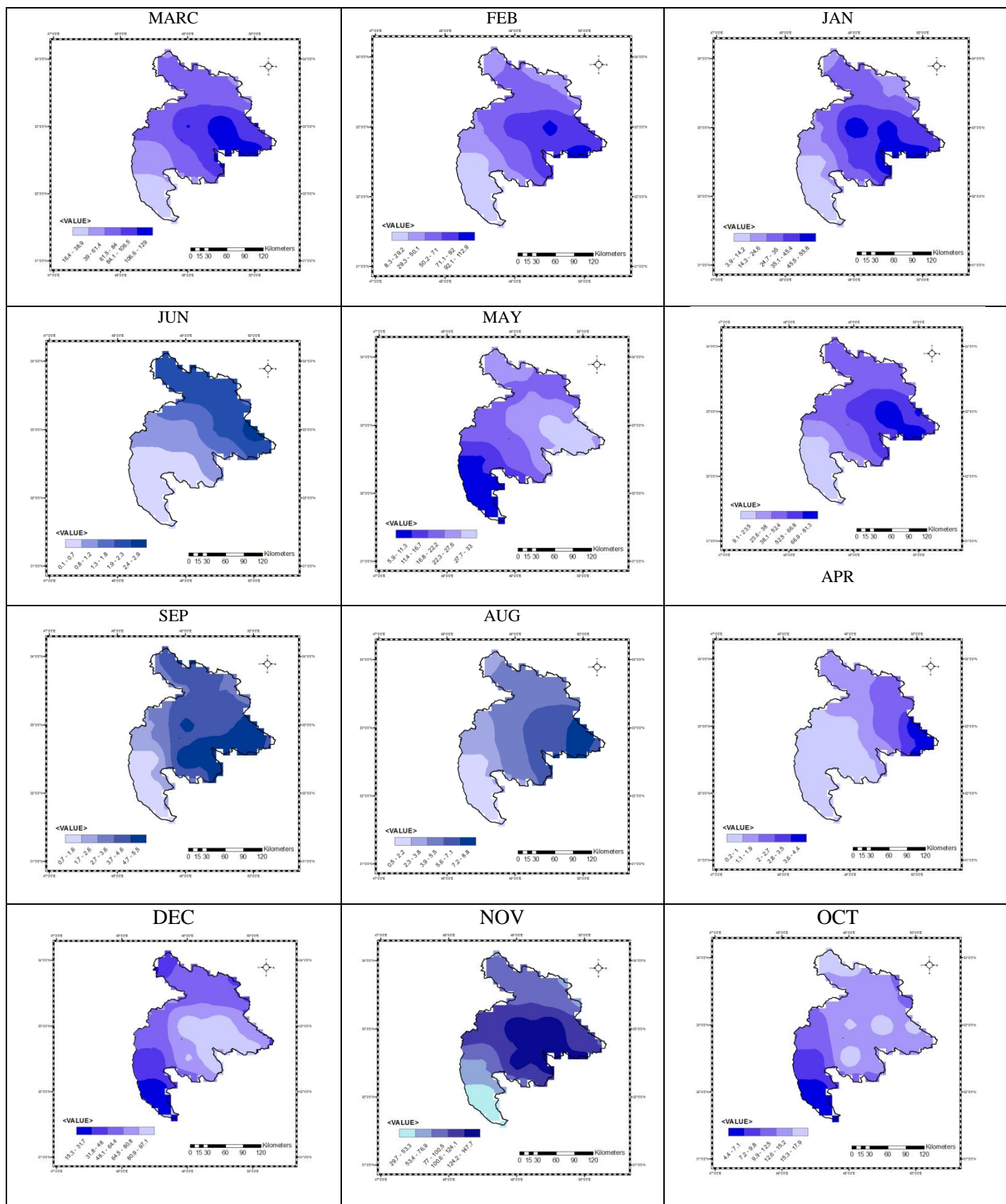
شکل ۵: مقایسه میانگین مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی دما در حوضه دز: الف) دمای حداقل (ب) دمای حداکثر

تغییرات بارش در حوضه دز

بعد از ارزیابی مدل طی دوره پایه، مدل آب و هوایی برای دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ (افق ۲۰۸۰) و تحت دو سناریوی آب و هوایی A2 و B2 اجرا شد. برای بررسی منطقه‌ای بارش حوضه دز تحت سناریو A2، ابتدا نقشه‌های توزیع مکانی بارش طی دوره آتی استخراج و با نقشه‌های بارندگی دوره پایه، مقایسه شد. شکل (۶)، توزیع مکانی میانگین بارندگی ماهانه طی دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ را برای سناریوی A2 نشان می‌دهد؛ مقایسه این نقشه‌ها با نقشه‌های دوره پایه، نشان می‌دهد تغییرات مکانی بارش در آینده نیز، مشابه زمان پایه است. بررسی منطقه‌ای بارش ماهانه شبیه‌سازی شده، تحت این سناریو، بیانگر

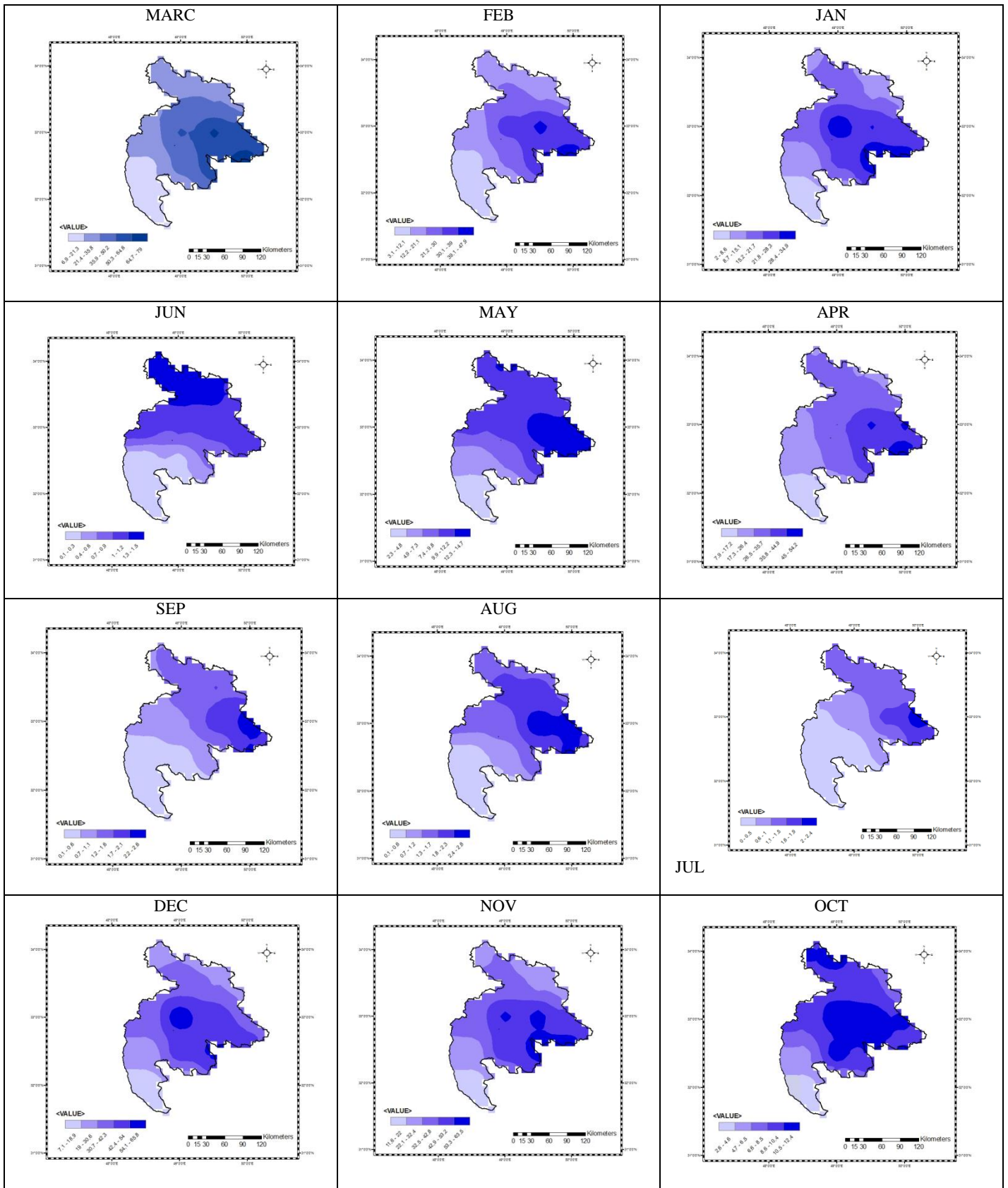
تغییرات ناهمگن بارش در ماه‌های مختلف است هرچند میانگین بارندگی منطقه‌ای تقریباً در همه ماه‌ها طی دوره آتی، کمتر از دوره پایه می‌باشد. این کاهش به‌طور میانگین، حدود ۵۲ میلی‌متر (۲۲ درصد نسبت به دوره پایه) خواهد بود. بیشترین کاهش بارندگی، مربوط به ماه دسامبر (۸۸ میلی‌متر) و کمترین کاهش مربوط به ماه آگوست می‌باشد؛ بارندگی در دو ماه سپتامبر و ژوئن اندکی افزایش نشان داده است. بررسی بارش فصول تحت سناریو A2، نشان می‌دهد بارش در همه فصول کاهش خواهد داشت؛ به‌طوری‌که در تابستان حدود ۸ درصد، در پاییز حدود ۲۹ درصد، در زمستان حدود ۳۹ درصد و در بهار این کاهش حدود ۱۳ درصد خواهد بود. بررسی نتایج نشان می‌دهد؛ توزیع فصلی بارش چندان تغییر نخواهد کرد و مانند بارش مشاهده‌ای در دوره حاضر بیشترین بارش مربوط به فصل زمستان و سپس به ترتیب فصول پاییز، بهار و تابستان خواهد بود. هرچند اختلاف درصد بارش فصل زمستان و پاییز نسبت به دوره مشاهداتی، حدود ۳ درصد کاهش خواهد داشت؛ به‌عبارت‌دیگر بارش فصل پاییز کمتر از فصل زمستان کاهش خواهد یافت.

برای بررسی منطقه‌ای بارش حوضه دز تحت سناریو B2، نیز ابتدا نقشه‌های توزیع مکانی بارش طی دوره آتی استخراج و با نقشه‌های بارندگی دوره پایه، مقایسه گردید. شکل (۷)، توزیع مکانی میانگین بارندگی ماهانه طی دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ را برای این سناریو نشان می‌دهد. بررسی نقشه‌ها با نقشه‌های دوره پایه، نشان می‌دهد تغییرات مکانی بارش در آینده نیز، مشابه زمان پایه است. میانگین بارندگی منطقه‌ای تقریباً در همه ماه‌ها طی دوره آتی، کمتر از دوره پایه می‌باشد. این کاهش به‌طور میانگین، حدود ۲۳ میلی‌متر (۳۳ درصد نسبت به دوره پایه) خواهد بود. بیشترین کاهش بارندگی، مربوط به ماه ژانویه و دسامبر (۵۵ درصد) و کمترین کاهش مربوط به ماه سپتامبر می‌باشد؛ بارندگی در ماه اکتبر افزایش نشان داده است. بررسی بارش فصول نشان می‌دهد بارش در همه فصول کاهش خواهد داشت؛ به‌طوری‌که در تابستان حدود ۳۳ درصد، در پاییز حدود ۲۸ درصد، در زمستان حدود ۵۰ درصد و در بهار این کاهش حدود ۴۱ درصد خواهد بود. لذا با توجه به کاهش ۵۰ درصدی بارش در زمستان به نظر می‌رسد که حوزه دز به لحاظ ریزش برف دچار کاهش و در نتیجه کاهش ذخایر برفی خواهد بود. از طرف دیگر بارش تابستانه نیز کاهش چشمگیری دارد که منجر به کاهش جریان‌های تابستانه می‌گردد. بررسی نتایج نشان می‌دهد؛ توزیع فصلی بارش نیز دچار تغییر اندکی خواهد شد. به‌طوری‌که بیشترین درصد بارش تحت سناریو B2 مربوط به پاییز (۱۳/۵ درصد) و پس از آن زمستان (۱۲/۹ درصد) و سپس بهار و تابستان خواهد بود. درحالی‌که طی دوره حاضر بیشترین بارش مربوط به فصل زمستان (۱۷ درصد) و سپس به ترتیب فصول پاییز، بهار و تابستان خواهد بود. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که بارش منطقه‌ای در هر دو سناریو طی دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ کاهش خواهد داشت، هرچند تحت سناریو B2 حدود ۱۰ درصد نسبت به سناریو A2 بارش کمتر خواهد بود. توزیع زمانی بارش حداکثر و حداقل ماهانه نیز در هر سناریو متفاوت می‌باشد. بیشترین کاهش بارش در هر دو سناریو مربوط به فصل زمستان و کمترین کاهش بارش در سناریو A2 مربوط به فصل تابستان و در سناریو B2 مربوط به فصل پاییز است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۶: توزیع مکانی بارندگی ماهانه تحت سناریوی A2 و برای افق ۲۰۸۰ (میلی‌متر)

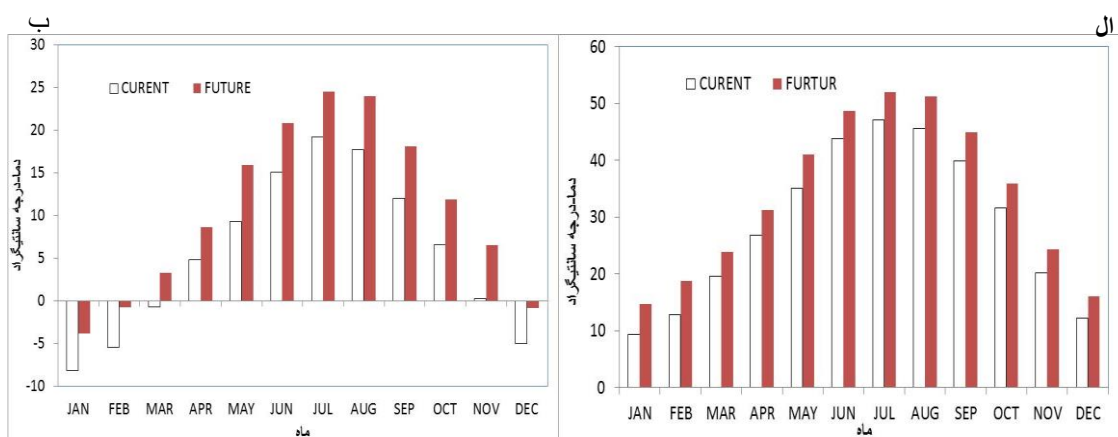


مأخذ: نگارندگان

شکل ۷: توزیع مکانی بارندگی ماهانه تحت سناریوی B2 و برای افق ۲۰۸۰ (میلی‌متر)

تغییرات دما در حوضه دز

برای ارزیابی تغییرات دما طی دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ در حوضه دز، مقادیر دمای حداقل و حداکثر طی دوره پایه با مقادیر شبیه‌سازی شده تحت سناریوهای A2 و B2، به‌صورت منطقه‌ای بررسی گردید. بررسی سری زمانی میانگین منطقه‌ای دمای حداکثر سالانه حوضه دز تحت سناریو A2 نشان می‌دهد که، میانگین منطقه‌ای دمای حداکثر طی همه سال‌ها نسبت به دوره پایه افزایش یافته است. همچنین مقایسه روند سری داده‌ها طی دوره پایه و دوره آتی، نشان‌دهنده افزایش روند مثبت داده‌ها طی دوره آتی است؛ به‌عبارت‌دیگر، گرم شدن دما از سال ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰، نسبت به دوره پایه، شیب بیشتری دارد. بررسی دمای حداکثر ماهانه به‌صورت منطقه‌ای نیز، بیانگر افزایش دمای حداکثر در همه ماه‌ها طی این سناریو می‌باشد (شکل ۸). این افزایش، از ۳/۹ درجه مربوط به ماه دسامبر تا ۶ درجه در ماه فوریه است. میانگین افزایش دمای حداکثر ماهانه در منطقه نیز، حدود ۵ درجه است. همان‌طور که در شکل (۸) دیده می‌شود، روند دمای حداکثر، طی دوره آتی، مشابه دوره پایه است و ماه‌های گرم و سرد، در هر دو دوره، یکسان هستند؛ به‌عبارت‌دیگر، جابجایی دمایی وجود نخواهد داشت. بررسی فصلی دمای حداکثر نشان می‌دهد بیشترین افزایش دما نسبت به دوره پایه، مربوط به فصل زمستان و سپس به ترتیب مربوط به فصول پاییز، بهار و تابستان می‌باشد. لذا با توجه به کاهش بارش در فصل زمستان و افزایش دما در این فصل، به نظر می‌رسد حوضه دز از نظر ذخایر برفی و در نتیجه منابع آب در دوره آتی دچار مسائل قابل توجهی خواهد بود. مقایسه انحراف معیار دمای حداکثر، طی دوره پایه و آینده نیز، بیانگر این است که به‌جز ماه‌های ژانویه و فوریه، تغییرات دما حول میانگین تقریباً مشابه است.



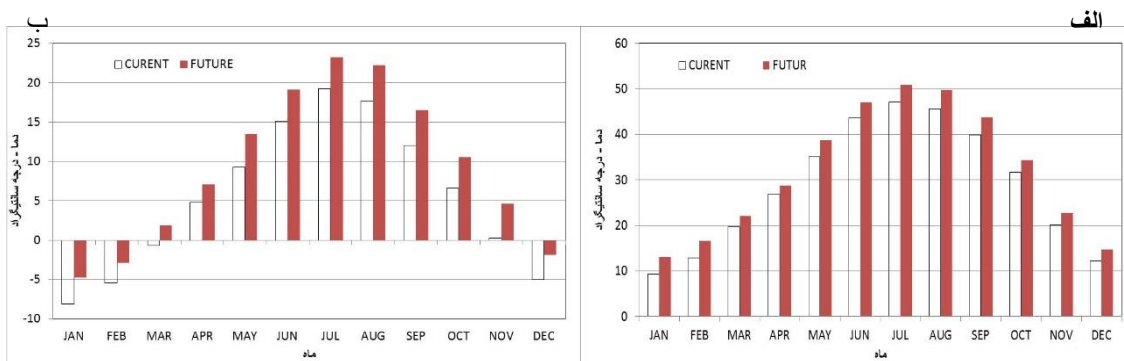
مأخذ: نگارندگان

شکل ۸: میانگین دمای ماهانه طی دوره پایه و دوره آتی تحت سناریو A2: الف) دمای حداکثر (ب) دمای حداقل

بررسی تغییرات دمای حداقل طی دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ تحت سناریو A2 برای حوضه دز، نسبت به دوره پایه بیانگر افزایش دمای حداقل در سرتاسر حوضه و در همه ماه‌ها و سال‌ها می‌باشد. این افزایش، از ۳/۸ درجه مربوط به ماه آوریل تا ۶ درجه در ماه مه است. میانگین افزایش دمای حداقل ماهانه در منطقه نیز، حدود ۵/۲ درجه است (شکل ۸). هرچند

روند تغییرات زمانی دما در ماه‌های مختلف مشابه دوره پایه می‌باشد و شیفت زمانی دما وجود نخواهد داشت. بررسی تغییرات فصلی میانگین دمای حداقل در حوضه کرخه تحت این سناریو نیز، بیشترین افزایش دما را در ماه‌های زمستان و سپس به ترتیب بهار، پاییز و تابستان نشان می‌دهد. لذا افزایش دما در فصل زمستان بارش‌ها را به سمت بهابازارهای مایع هدایت می‌کند که خود باعث تأثیر زیاد بر منابع آب حوضه دز، خواهد بود. لذا به نظر می‌رسد یکی از اثرات مهم تغییر اقلیم بر حوضه دز تحت سناریو A2، مسئله کمبود آب و مدیریت آن خواهد بود. چرا که با افزایش دمای حداقل و حداکثر، بارش جامد کاهش یافته، تبخیر و تعرق افزایش خواهد داشت و از طرف دیگر کاهش بارندگی میزان آب دریافتی حوزه را کاهش خواهد داد.

ارزیابی تغییرات سالانه دمای حداکثر تحت سناریو B2 و برای دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰، نشان می‌دهد که میانگین منطقه‌ای دمای حداکثر در تمامی سال‌ها افزایش خواهند داشت. بررسی دمای حداکثر ماهانه به صورت منطقه‌ای، افزایش دمای حداکثر را در همه ماه‌ها را نشان می‌دهد (شکل ۹). این افزایش از ۱/۸ درجه مربوط به ماه آوریل تا ۴/۲ درجه در ماه اوت است. میانگین افزایش دمای حداکثر ماهانه در منطقه نیز حدود ۳ درجه است. توزیع زمانی دمای حداکثر طی دوره آتی نیز، مشابه دوره پایه است. بررسی فصلی دمای حداکثر طی سناریوی B2، نشان می‌دهد افزایش دما در فصول مختلف متفاوت است؛ به طوری که افزایش دمای حداکثر تحت سناریو B2، در فصل پاییز ۲/۶ درجه، بهار ۳ درجه، زمستان ۳/۳ درجه و تابستان ۴ درجه است.



مآخذ: نگارندگان

شکل ۹: میانگین دمای ماهانه طی دوره پایه و دوره آتی تحت سناریو B2: الف) دمای حداکثر ب) دمای حداقل

در مورد تغییرات میانگین دمای حداقل تحت سناریو B2 نیز مانند بقیه پارامترهای دما عمل شد. در شکل (۹) میانگین منطقه‌ای دمای حداکثر ماهانه را در دوره پایه و دوره آتی مورد مقایسه قرار گرفته است. همان طور که در شکل نیز مشخص است طی دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ همه ماه‌ها با افزایش دمای حداقل روبرو خواهند بود. بیشترین افزایش دمای حداقل مربوط به ماه سپتامبر (۵/۶ درجه سانتی‌گراد) و کمترین افزایش مربوط به ماه آوریل (حدود ۲/۲ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. میانگین افزایش دمای حداقل ماهانه برای حوضه دز برابر ۳/۶ درجه سانتی‌گراد است که نسبت به دمای حداکثر افزایش بیشتری

دارد. به‌طور کلی پارامترهای دما در حوضه دز در سناریو B2 نسبت به سناریو A2 (با افزایش ۵ درجه نسبت به دوره پایه) افزایش کمتری خواهند داشت. بررسی فصلی دما نیز بیانگر افزایش دمای حداقل در فصل تابستان حدود ۲/۸ درجه سانتی‌گراد، پاییز حدود ۴، بهار ۳/۵ و زمستان حدود ۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در مجموع بررسی نتایج نشان می‌دهد شیب افزایشی دمای حداکثر سالانه در سناریوی A2 و سناریوی B2 طی دوره آتی، تقریباً یکسان می‌باشد. این در حالی است که افزایش دمای حداکثر ماهانه در سناریوی A2 حدود ۲ درجه بیشتر از سناریو B2 است. در مورد میانگین دمای حداقل، شیب افزایشی این پارامتر در سناریوی A2 بیشتر از B2 است. افزایش دمای حداقل نیز در سناریوی A2، ۵ درجه و در سناریوی B2، ۳/۵ درجه است.

نتیجه‌گیری

ارزیابی مدل PRECIS به‌صورت منطقه‌ای نشان می‌دهد که به‌طور کلی مدل توانسته است برآورد مناسبی از بارش در منطقه را نشان بدهد (میانگین در صد انحراف کمتر از ۲۰ درصد). هرچند مدل در برآورد توزیع مکانی بارش همسانی ندارد و در برخی ماه‌ها نتوانسته است به دلیل شرایط خاص حوزه مناسب عمل کند. بررسی داده‌های شبیه‌سازی شده برای دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ بیانگر این است که میانگین منطقه‌ای بارش در حوضه دز تحت سناریو A2 حدود ۲۲ درصد و تحت سناریو B2 حدود ۳۳ درصد طی دوره آتی کاهش خواهد داشت. از طرف دیگر دمای حداقل و حداکثر حوضه دز تحت سناریو A2 حدود ۵ درجه افزایش برای دوره آتی نشان می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی دمای حداقل برای حوضه دز تحت سناریو B2، بیانگر کاهش ۳/۶ درجه سانتی‌گراد است. این در حالی است که دمای حداکثر در این حوضه ۳ درجه افزایش خواهد داشت.

منابع

- ۱- باباییان، ا. نجفی نیک، ز. عباسی، ف. حبیبی نوخندان، م. ادب، ح؛ و ش. ملیوسی. (۱۳۸۸): ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۱۰-۲۰۹۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G. جغرافیا و توسعه، ۷، شماره ۴، صص ۱۵۲-۱۳۵.
- ۲- رحیمی، س. جهانبخش اصل، س؛ و ب. ساری صراف. ۱۴۰۰. بررسی تغییرات اقلیمی حوضه کرخه با استفاده از ریزمقیاس نمایی دینامیکی. مجله علوم و مهندسی آب‌خیزداری، ۱۳، شماره ۳، صص ۵۷۴-۵۶۳.
- ۳- ظهراپی، ن. مساح بوانی، ع. تلوری، ع؛ و ح. صدقی. (۱۳۸۹): آشکارسازی تغییر اقلیم در حوضه آبریز کارون بزرگ. چهارمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، تهران.
- ۴- مساح بوانی، ع؛ و س. مرید. (۱۳۸۴): تأثیر تغییر اقلیم بر محصولات کشاورزی. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ج ۱: ۴۷-۴۰.

- 5- Alves, L.M And J. Marengo. (2010): Assessment Of Regional Seasonal Predictability Using The PRECIS Regional Climate Modeling System Over South America. *Theor Appl Climatol*,100:337–350
- 6- Chu, J. T. Xia, J. Xu, C. Y. Singh, V.P. (2010): *Statistical Downscaling Of Daily Mean Temperature, Pan Evaporation And Precipitation For Climate Change Scenarios In Haihe River, China*. *Theor Appl Climatol*, 99, 149-161.
- 7- Giorgi, F. And Hewitson, B. (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.
- 8- Giorgi, F. (1990): On The Simulation Of Regional Climate Using A Limited Area Model Nested In A General Circulation Model. *J Climatol*, 3:941–963
- 9- Giorgi, F. Mearns, L.O. (1999): Introduction To Special Section: Regional Climate Modeling Revisited. *J Geophys Res*, 104(D6):6335–6352
- 10- Gulakhmadov, Aminjon, Xi Chen, Nekruz Gulahmadov, Tie Liu, Muhammad N. Anjum, And Muhammad Rizwan. (2020): "Simulation Of The Potential Impacts Of Projected Climate Change On Streamflow In The Vakhsh River Basin In Central Asia Under CMIP5 RCP Scenarios" *Water*, 12, No. 5: 1426.
- 11- IPCC, Climate Change (2007): *The Science Of Climate Change*, Contribution Of Working Group I To The 2nd Assessment Report Of Intergovernmental Panel On Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge And New York.
- 12- Jones R.G. Noguer M. Hassell D.C. Hudson D. Wilson S.S. Jenkins G.J. Mitchell J.F.B. (2004): *Generating High Resolution Climate Change Scenarios Using PRECIS*. Met Office Hadley Centre, Exeter, UK.
- 13- Nolan, P. O'Sullivan, J. & McGrath, R. (2017): Impacts Of Climate Change On Mid-Twenty-First-Century Rainfall In Ireland: A High-Resolution Regional Climate Model Ensemble Approach International. *Journal Of Climatology*, 37(12): 4347–4363.
- 14- Wang B. Kang I.S. Li, J.Y. (2004): Ensemble Simulation Of Asian-Australian Monsoon Variability By 11 Agcms. *J Climate*, 17:803–818
- 15- Wu, Y. Guo, J. Lin, H. Bai, J. And Wang, X. (2021): Spatiotemporal Patterns Of Future Temperature And Precipitation Over China Projected By PRECIS Under Rcps. *Atmospheric Research*, 249, P.105303.
- 16- 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.
- 17- Zhang, L, Zhao, Y, Hein-Griggs, D, Janes, T, Tucker, S, Ciborowski, JJH (2020): Climate Change Projections Of Temperature And Precipitation For The Great Lakes Basin Using The PRECIS Regional Climate Model. *J Great Lakes Res* 46:255–266.