

بررسی تغییرات اقلیمی حوضه کرخه با استفاده از ریزمقیاس نمایی دینامیکی

سیما رحیمی بندرآبادی^{۱*}، سعید جهانبخش اصل^۲ و بهروز ساری صراف^۳
^۱ استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و ^{۲،۳} استاد، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۱۶

چکیده

هر گونه تغییر در غلظت گازهای گلخانه‌ای باعث بر هم خوردن تعادل بین اجزا سیستم اقلیم می‌شود. اما تغییر در میزان غلظت این گازها و چگونگی اثرات آن‌ها در آینده نامعلوم می‌باشد. برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر سامانه‌های مختلف در آینده، ابتدا باید متغیرهای اقلیمی تحت تغییرات گازهای گلخانه‌ای (سناریوهای اقلیمی) شبیه‌سازی شوند. روش‌های مختلفی برای این کار وجود دارد که معتبرترین آن‌ها استفاده از مدل‌های اقلیمی می‌باشد. مدل‌های آب و هوایی جهانی (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 این‌رو، برای شناخت تغییرات به‌طور دقیق‌تر و در مقیاس‌های کوچک‌تر از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی استفاده می‌شود. یکی از مهمترین روش‌های ریزمقیاس‌نمایی روش‌های دینامیکی است که مبتنی بر بالابردن قدرت تفکیک و تجزیه هرچه بیشتر مدل‌های آب و هوایی سیاره‌ای هستند. در این مطالعه، به بررسی تغییرات آب و هوا در حوضه کرخه، به‌عنوان یکی از مهمترین حوضه‌های کشور از لحاظ آورد آبی و کشاورزی، در دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ پرداخته شد. برای این منظور، از مدل ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی PRECIS، برای برآورد بارش و دما تحت دو سناریوی A2 و B2 استفاده شده است. بررسی تغییرات آب و هوایی در حوضه کرخه نشان داد که تحت سناریوی A2، مقدار بارش حدود ۱۱ درصد و میانگین دمای کمینه و بیشینه، حدود پنج درجه افزایش خواهند داشت. برای سناریوی B2، مقدار بارش حدود هفت درصد و مقدار میانگین دمای کمینه و بیشینه، حدود سه درجه افزایش خواهند داشت؛ این در حالی است که تحت هر دو سناریو، بارش فصل پاییز برخلاف دوره پایه، بیشتر از بارش فصل زمستان خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: بارش و دما، تغییر آب و هوا، شبیه‌سازی، مدل آب و هوایی سیاره‌ای، مدل PRECIS

مقدمه

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

افزایش گازهای گلخانه‌ای تغییراتی را در تعادل آب و هوا کره زمین به‌وجود آورده است که تغییر آب و هوا نامیده می‌شود. افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌تواند علاوه بر تاثیر بر روی پارامترهای آب و هوایی سامانه‌های متأثر از این متغیرها نظیر منابع آب،

* مسئول مکاتبات: rahimi_si@yahoo.com

ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که مقادیر بارندگی و دما در منطقه افزایش خواهد یافت، به طوری که مقدار گرم شدن فصلی بین چهار تا شش درجه سانتی‌گراد و میزان افزایش بارندگی حدود شش تا ۱۴ درصد خواهد بود. نتایج همچنین، موید کاهش کلی مقدار آبدهی در سطح حوضه می‌باشد. این کاهش در ماه‌های فصل تابستان بین ۱۰ تا ۲۰ درصد خواهد بود. پراکنش مکانی تغییرات نیز در منطقه متفاوت می‌باشد، به طوری که آبدهی در شمال منطقه افزایش کمی نشان می‌دهد، در حالی که جنوب منطقه کاهش آبدهی را خواهد داشت.

Christensen و همکاران (۲۰۰۴) اثرات تغییر آب و هوا بر هیدرولوژی و منابع آب را در حوضه رودخانه کلرادو مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان می‌دهد که میانگین دمای سالانه در این حوضه حدود ۰/۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره کنترل افزایش خواهد داشت و دما در دوره‌های ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۸-۲۰۷۰ به ترتیب یک، ۱/۷ و ۲/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. میزان میانگین بارندگی سالانه نیز برای آب و هوای کنترل ۱۰ درصد کمتر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد شد. در حالی که برای سه دوره مقدار کاهش بارندگی به ترتیب برابر سه، شش و سه درصد خواهد بود. میزان کاهش رواناب نیز در مقایسه با مقادیر مشاهده‌ای برای اجرای کنترل حدود ۱۰ درصد و برای دوره‌های مختلف ۱۴، ۱۸ و ۱۷ درصد بود. مدیریت منابع آب در این مطالعه با استفاده از یک مدل مدیریت آب و با دبی‌های شبیه‌سازی شده مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این بررسی نیز نشان از کاهش ذخیره آبی حوضه در آینده دارند. از طرف دیگر، قدرت آب نیز (برای ژنراتورها) کاهش چشمگیری خواهد داشت.

Gasain و همکاران (۲۰۰۶) نیز اثرات تغییر آب و هوا بر هیدرولوژی حوزه‌های آبخیز کشور هند را مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور آن‌ها از خروجی مدل آب و هوایی HadRm2 و مدل هیدرولوژیکی SWAT استفاده نمودند. شبیه‌سازی‌ها برای ۴۰ سال (۲۰ سال برای کنترل (۲۰۰۰-۱۹۸۱) و ۲۰ سال برای سناریوهای آب و هوایی در آینده (۲۰۶۰-۲۰۴۱)) در ۲۰ زیرحوضه کشور هند انجام شد.

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^۱ 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 به شدت بر روی آب و هوای منطقه تأثیر می‌گذارند. از این‌رو، ضروریست تا این تغییرات به طور دقیق‌تر و در مقیاس‌های کوچک‌تر مورد بررسی قرار گیرند. برای رسیدن به این مهم، از ریزمقیاس‌نمایی^۲ استفاده می‌شود (Giorgi، ۱۹۹۰؛ Mearns و Giorgi، ۱۹۹۹؛ Wang و همکاران، ۲۰۰۴). برای ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های آب و هوایی روش‌های متعددی وجود دارد که روش‌های دینامیکی از مهمترین آن‌ها می‌باشد، هرچند دارای پیچیدگی و محاسبات بیشتری هستند. مدل‌های منطقه‌ای دینامیکی در مقایسه با مدل‌های ریزمقیاس‌شده با روش‌های دیگر، در بیان و توضیح فرایندهای کوچک مقیاس بسیار توانمند هستند، به همین خاطر، شبیه‌سازی‌های نزدیک به واقعیتی از رویدادهای حدی محلی و منطقه‌ای ارائه می‌کنند (Gerogi و Hewitson، ۲۰۰۱؛ Jones و همکاران، ۲۰۰۴). ضمن اینکه این روش نسبت به روش‌های ساده‌تر نظیر آماری نیاز به آمار و اطلاعات ایستگاهی کمتری دارد. به عبارت دیگر، در مناطقی مانند ایران که تراکم و طول مدت آمار برای روش‌های آماری کفایت لازم را ندارد، این روش‌ها می‌توانند مناسب‌تر باشند.

در مورد ارزیابی اثرات تغییر آب و هوا در آینده، مطالعات متعددی انجام شده است. Ston و همکاران (۲۰۰۱) تغییرات آبدهی حوضه میسوری را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از مدل آب و هوای منطقه‌ای Reg Cm و مدل هیدرولوژیکی SWAT استفاده نمودند. در پژوهش مذکور، اثرات تغییر آب و هوا با دو برابر کردن انتشار گاز دی‌اکسید کربن به عنوان سناریوی آب و هوایی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج

^۱ Global Climate Model (GCM)

^۲ Downscaling

تحلیل قرار گرفتند. 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 می‌باشد 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.

Zohrabi و همکاران (۲۰۰۹) به شناخت تغییر آب و هوا در حوضه کارون بزرگ با کمک مدل‌های آب و هوایی پرداختند. آن‌ها برای این کار از آمار درازمدت (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 محدود 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 گرفتند. نتایج نشان می‌دهند که دما دارای روند افزایشی و بارندگی دارای روند کاهشی در حوضه کارون بزرگ می‌باشد. 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 تاثیر تغییر آب و هوا بر متغیرهای آب و هوایی طی این سال‌ها می‌باشد.

Abbaspour و همکاران (۲۰۰۹) اثرات تغییر آب و هوا بر منابع آب ایران را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها سناریوهای A2، B1 و A1B1 را برای دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۰ و ۲۰۷۰-۲۰۱۰ ارزیابی نمودند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که بارندگی در قسمت‌های شمالی و غربی کشور در همه سناریوهای مورد بررسی، افزایشی بوده است. این افزایش برای سناریو A2 و دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ چشمگیرتر می‌باشد. آن‌ها همچنین، بیان کردند که تحت سناریوی A2 و برای

شبیه‌سازی‌ها شامل داده‌های بارندگی، درجه حرارت (حداکثر و حداقل)، تابش خورشید، سرعت باد و رطوبت نسبی می‌باشد. آن‌ها با کمک داده‌های سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۸۱ و مقادیر مشاهده‌ای دبی مدل SWAT را واسنجی نموده و با استفاده از داده‌های سناریوهای آب و هوایی (۲۰۴۱-۲۰۶۰) اثرات تغییر آب و هوا را در حوضه‌های مختلف ارزیابی نمودند. نتایج تحلیل‌های اولیه نشان می‌دهند که تحت سناریوهای آب و هوایی شدت خشکسالی‌ها و سیلاب‌ها در قسمت‌های مختلف هند کاهش می‌یابد. هرچند، میزان رواناب در دسترس نیز در آینده کاهش نشان می‌دهد.

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 می‌دهد که مدل توانسته است، مقادیر میانگین دما و بارش را در حد قابل قبولی شبیه‌سازی نماید، اما نتوانسته تغییرات زمانی-مکانی پارامترها را به خوبی نشان دهد. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که مقادیر بارندگی و دما بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد شده است.

Morid و Massahbavani (۲۰۰۵) اثرات تغییر آب و هوا را بر جریان رودخانه زاینده‌رود 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 می‌باشد. همچنین، نتایج بیانگر احتمال بالای کاهش رواناب در حوضه می‌باشد.

Babaeian و همکاران (۲۰۱۰) به ارزیابی تغییر آب و هوای 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

منطقه را در آخر فصل پاییز و فصل زمستان تامین می‌کند. در مناطق کوهستانی نیز ممکن است، جریان‌های همرفتی موجب بروز بارندگی در فصل بهار و ابتدای فصل تابستان شوند. میانگین بارندگی این منطقه ۵۳۹ میلی‌متر بوده و دامنه آن از ۳۱۰ میلی‌متر تا ۷۰۰ میلی‌متر در تغییر می‌باشد. 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).

مدل اقلیمی: مدل‌های آب و هوایی در پی شبیه‌سازی فرایندهایی هستند که آب و هوا را به وجود 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 وجود دارد که به روش‌های ریزمقیاس نمایی معروف هستند، (۱) ریز مقیاس نمایی آماری و (۲) ریز مقیاس نمایی دینامیک.

مدل PERECIS 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 می‌باشد. 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، اجزای افقی باد، مقدار درجه حرارت و رطوبت هوا در نقاط گوشه‌های محدوده مدل می‌باشد. اطلاعات شرایط مرزی سیکل سولفور نیز به صورت

افق ۲۰۸۰، در قسمت وسیعی از کشور (مخصوصاً شمال و غرب کشور) منابع آب افزایش خواهد داشت، اما در قسمت‌های جنوبی و شرقی کاهش می‌یابد. ولی تحت سناریوی B2 منابع آب طی این دوره (۲۱۰۰-۲۰۷۰) کمتر از سناریوی A2 و یا در برخی مناطق نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت.

Farajzadeh (۲۰۱۳) اثرات تغییر آب و هوا بر آبدهی رودخانه شش‌پیر را تحلیل نمود. وی از ۱۸ مدل GCM و هشت سناریو برای ارزیابی افق‌های ۲۰۴۰، ۲۰۷۰ و ۲۱۰۰ استفاده کرد. نتایج نشان می‌دهد که دمای متوسط سالانه برای افق ۲۱۰۰ به‌طور میانگین ۴/۵ درجه افزایش و میزان بارش برای همین دوره به‌طور متوسط ۱۹ درصد افزایش خواهد داشت.

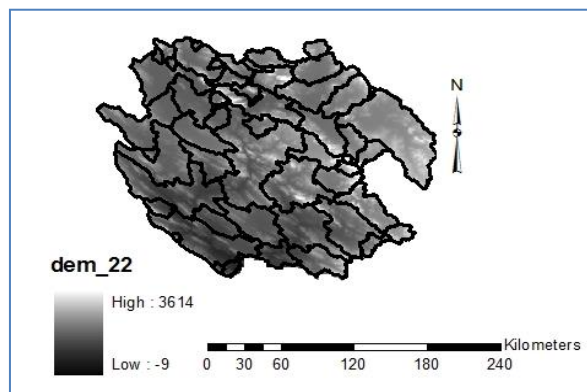
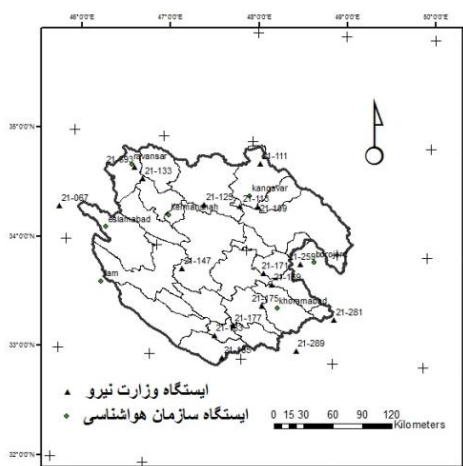
بررسی منابع نشان می‌دهد که مطالعه اندکی در زمینه ریزمقیاس نمایی دینامیکی در داخل کشور انجام شده است. عمده روش‌های به‌کار برده شده نیز روش‌های ریزمقیاس نمایی آماری می‌باشد که نیاز به تعداد زیاد ایستگاه و طول دوره آماری بلندمدت دارد که اغلب مناطق کشور فاقد چنین ایستگاه‌هایی می‌باشند. لذا، در این مقاله برای بررسی تغییرات اقلیمی دوره آتی در حوضه کرخه، به‌عنوان یکی از مهمترین حوضه‌ها در آورد آبی کشور، از مدل منطقه‌ای PRECIS استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: منطقه مورد مطالعه حوضه کرخه تا بالادست سد کرخه می‌باشد. این منطقه بین طول‌های جغرافیایی $46^{\circ} 45'$ و $49^{\circ} 19'$ و عرض‌های $32^{\circ} 53'$ و $35^{\circ} 8/8'$ قرار گرفته و دارای مساحتی حدود ۴۲۵۴۲ کیلومتر مربع می‌باشد (شکل ۱). ارتفاع حوضه مورد مطالعه بین ۸۳ و ۳۵۹۸ متر می‌باشد که مناطق کوهستانی این حوضه عمدتاً در بخش‌های شرقی حوضه واقع شده‌اند، در حالی که دشت‌ها در قسمت‌های غربی و جنوبی قرار دارند (شکل ۱). به‌طور کلی، حوزه 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

(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 می‌باشد (Simmons و Burridge, ۱۹۸۱).

مقدار دی‌اکسید سولفور، سولفات و ذرات شیمیایی مرتبط با سولفور تعریف شده است. ساختار دینامیکی مدل منطقه‌ای PRECIS مشابه مدل جوی HadAM3P می‌باشد (Jones و همکاران, ۲۰۰۴). این مدل مولفه جوی مدل گردش عمومی HadCM3 است



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

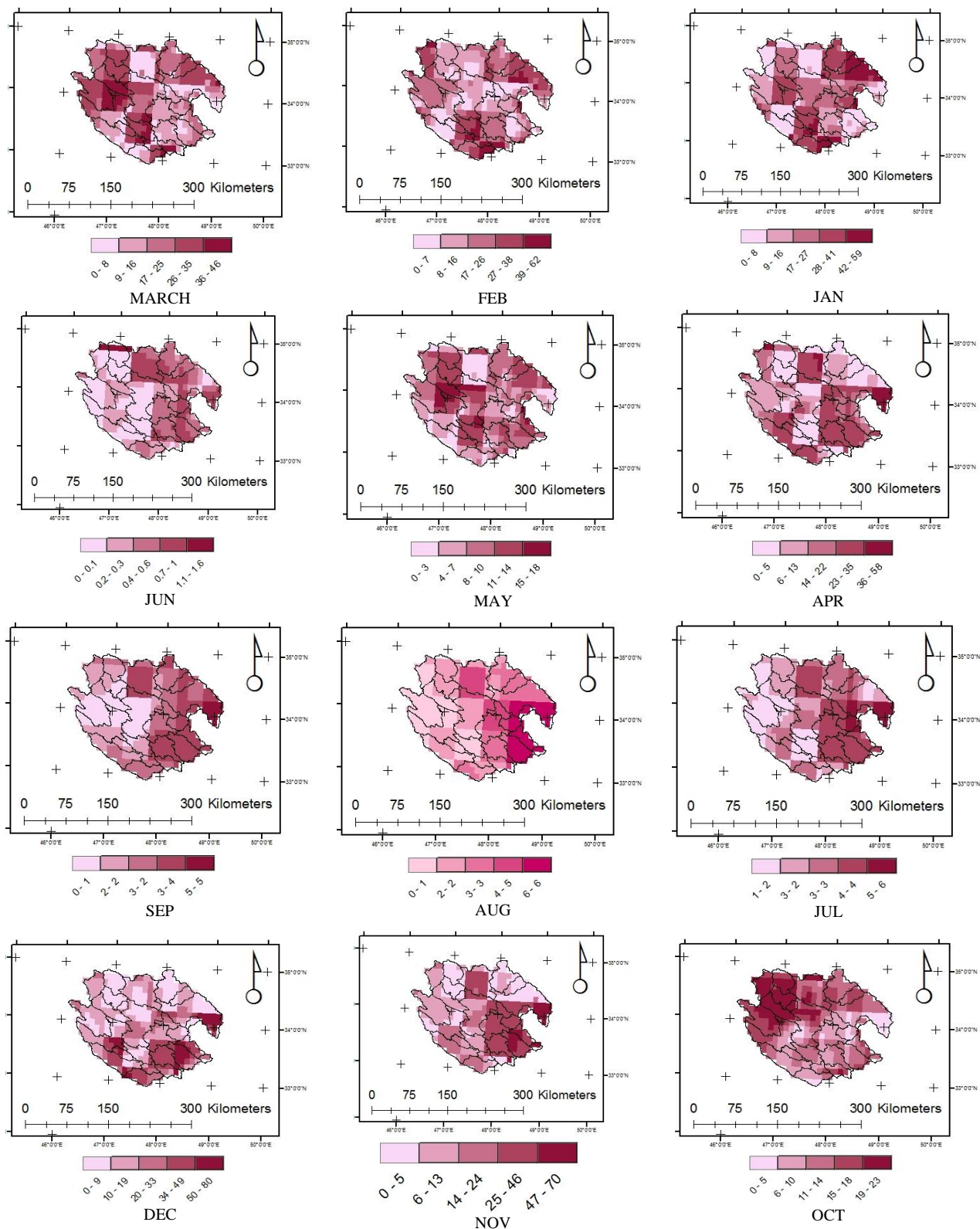
مدل برای دوره پایه (۱۹۶۰ تا ۱۹۹۰) اجرا شده و مقادیر بارش و دمای شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهده‌ای ایستگاه‌ها مورد مقایسه قرار گرفتند. ارزیابی مدل PRECIS نشان می‌دهد که به‌طور کلی توانسته برآورد مناسبی از بارش در منطقه را نشان بدهد. هر چند که در مورد بارش‌های پاییزه و بهاره، به‌دلیل ماهیت محلی آن‌ها، مدل چندان توانمند نبوده است. بررسی نقشه‌های خطا (شکل ۲) بیانگر این است که به‌طور کلی، 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 و تغییرات بارندگی در آن‌ها بیشتر بوده و خطای برآورد نیز بیشتر شده است. در حالی که قسمت‌های غربی بیشتر حالت دشتی داشته و تغییرات بارندگی نیز نوسان کمتری دارند، در نتیجه برآورد مناسب‌تری داشته‌اند. لذا، به نظر می‌رسد که برآوردهای حاصل از مدل آب و هوایی با فیزیوگرافی منطقه نیز تا حدودی مطابقت دارد.

سناریوهای انتشار: هر گونه تغییر در غلظت گازهای گلخانه‌ای باعث بر هم خوردن تعادل بین اجزا سیستم آب و هوا می‌شود. اما تغییر در میزان غلظت این گازها و چگونگی اثرات آن‌ها در آینده نامعلوم می‌باشد. لذا، تغییرات غلظت گازهای گلخانه‌ای به‌وسیله فعالیت‌های بشر به‌صورت کاملاً غیر قطعی و تحت سناریوهای مختلف ارائه شده است. به‌طور کلی، یک سناریو حاوی اطلاعاتی از وضعیت اقتصادی-اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در آینده می‌باشد که به آن سناریوی انتشار^۱ گفته می‌شود (IPCC, ۲۰۰۷). در این مطالعه نیز با توجه به ویژگی‌های منطقه از سناریوهای A2 و B2 برای پیش‌بینی‌ها استفاده شده است. A2 رشد اقتصادی متوسط در آینده و نرخ آلودگی بیشتر از یک و B2 تاکید بر راه‌حل‌های منطقه‌ای برای پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی. رشد اقتصادی متوسط بوده و نرخ رشد آلودگی کمتر از A2 دارد.

نتایج و بحث

برای استفاده از نتایج مدل PRECIS، ابتدا لازم است، مدل مورد ارزیابی قرار گیرد. برای این منظور، ابتدا

¹ Emission scenario



شکل ۲- نقشه توزیع مکانی قدر مطلق اختلاف مقادیر بارندگی مشاهده‌ای و برآوردی (میلی‌متر)

سانتی‌گراد برای ماه اکتبر می‌باشد. مقدار MAE نیز بین سه تا ۱۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که به ترتیب مربوط به ماه‌های ژانویه و اکتبر می‌باشد. بررسی دمای حداقل در منطقه نشان می‌دهد که به جز ماه‌های سرد

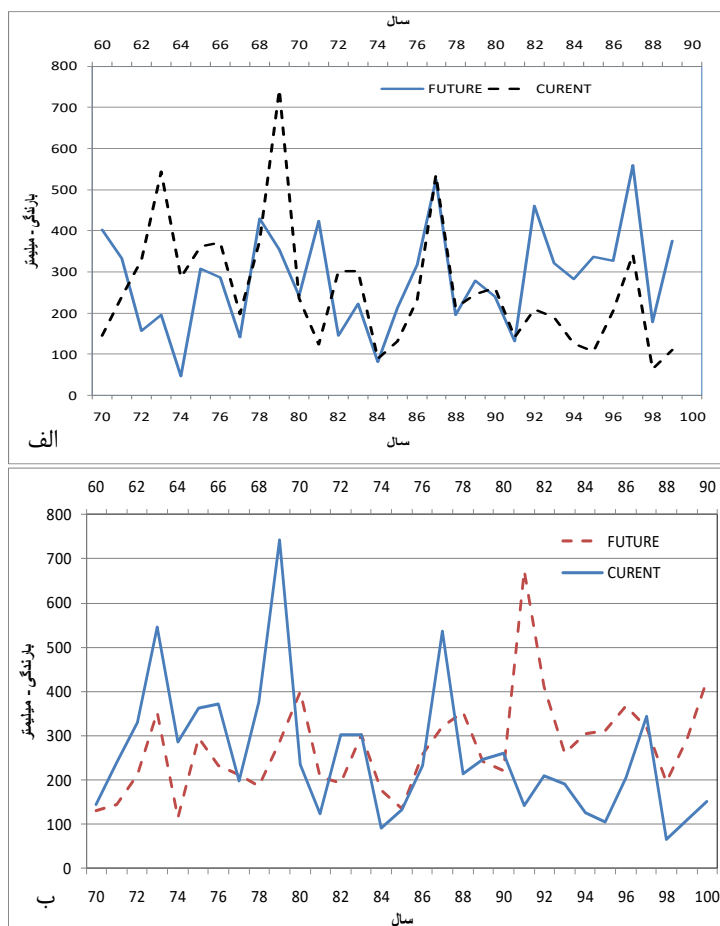
بررسی‌ها نشان می‌دهند که دمای حداکثر برآورد شده به وسیله مدل آب و هوایی در تمام ماه‌ها بیش از مقادیر مشاهده‌ای بوده و مقدار انحراف از میانگین بین ۰/۶ درجه سانتی‌گراد برای ماه ژانویه تا سه درجه

برای هر یک از سناریوها به‌طور جداگانه انجام شد. نتایج بررسی هر یک از سناریوها به تفکیک ارائه شده است.

سناریوی A2: سری زمانی میانگین منطقه‌ای بارش سالانه برای دوره حاضر و دوره آتی تحت سناریوی A2 در شکل ۳ ارائه شده است. همان‌طور که در شکل نیز مشخص است، برای دهه ۲۰۷۰ تا ۲۰۸۰ بارندگی کاهش داشته و برای دوره میانی (۲۰۸۰ تا ۲۰۹۰) بارندگی بدون تغییر و برای دهه سوم (۲۰۹۰ تا ۲۱۰۰) بارندگی افزایش یافته است. هرچند میانگین بارش سالانه تحت سناریوی A2 به‌طور کلی، اندکی (حدود ۲/۵ میلی‌متر) افزایش داشته است.

سال، دمای حداقل در بقیه ماه‌ها بیش از مقدار مشاهده‌ای برآورد شده است. به‌طوری که کمترین درصد خطا و انحراف نسبت به میانگین مشاهده‌ای برای ماه دسامبر و بیشترین آن‌ها مربوط به ماه سپتامبر می‌باشد. هر چند که از لحاظ عددی MBE از ۰/۱- تا ۶/۴- و MAE از یک تا ۶/۱ تغییر می‌کنند.

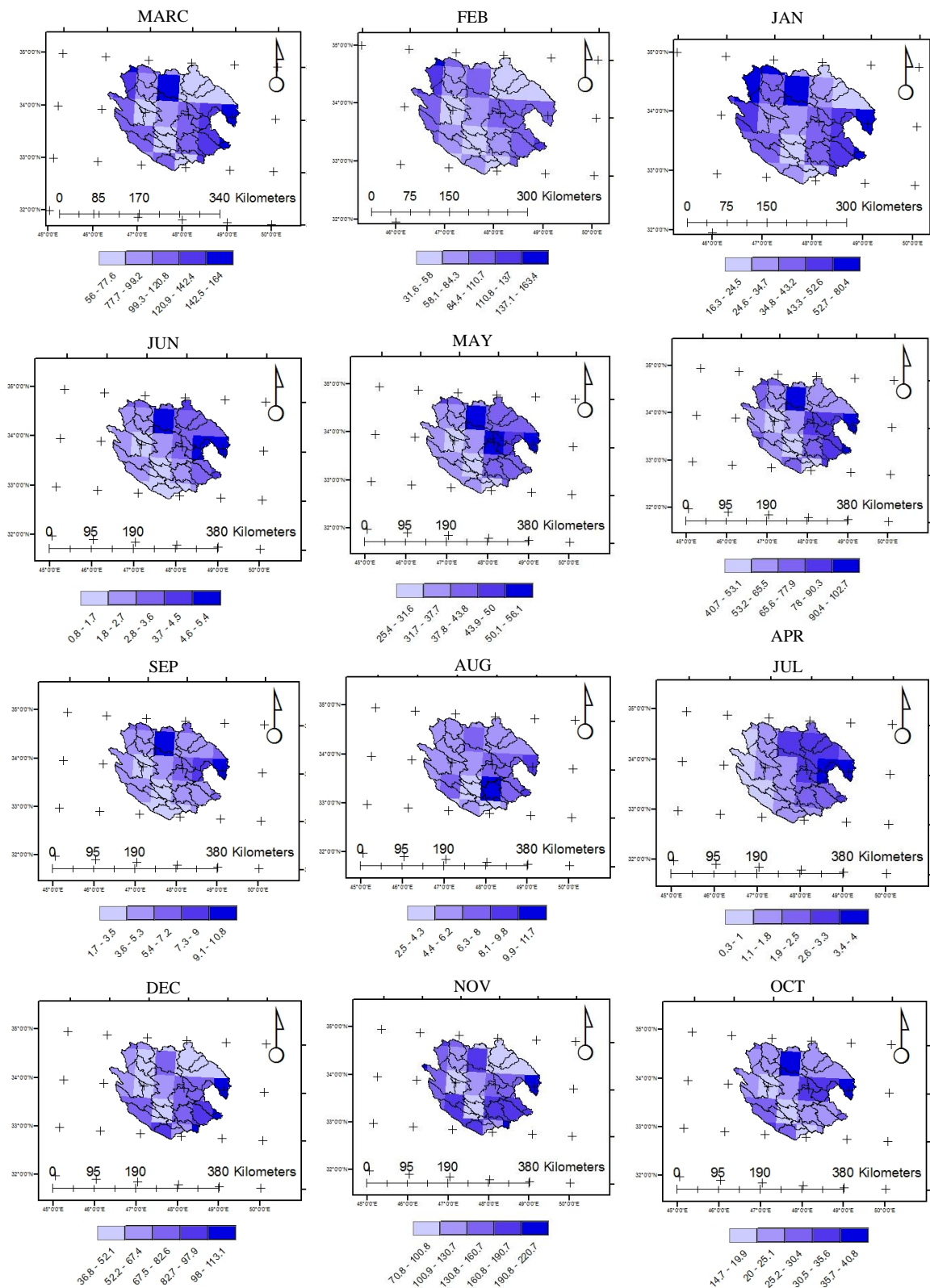
بعد از ارزیابی مدل طی دوره پایه، مدل آب و هوایی برای دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ (افق ۲۰۸۰) و تحت دو سناریوی آب و هوایی A2 و B2 اجرا شد. برای ارزیابی تغییرات بارش طی دوره آتی، مقادیر بارندگی دوره پایه با مقادیر برآورد شده به‌وسیله مدل برای دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ مورد مقایسه قرار گرفت. این‌کار



شکل ۳- سری زمانی میانگین منطقه‌ای بارش سالانه طی دوره پایه و شبیه‌سازی شده (۲۰۷۰-۲۱۰۰) برای حوضه کرخه، الف) سناریوی A2 و ب) سناریوی B2

بارندگی دوره پایه مورد مقایسه قرار گرفت. شکل ۴، توزیع مکانی میانگین بارندگی ماهانه طی دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ را برای سناریوی A2 نشان می‌دهد.

از طرف دیگر، روند بارش سالانه طی دوره آتی برخلاف روند کاهش دوره پایه افزایشی خواهد بود. برای بررسی بارش ماهانه، ابتدا نقشه‌های توزیع مکانی بارش طی دوره آتی استخراج شد و با نقشه‌های



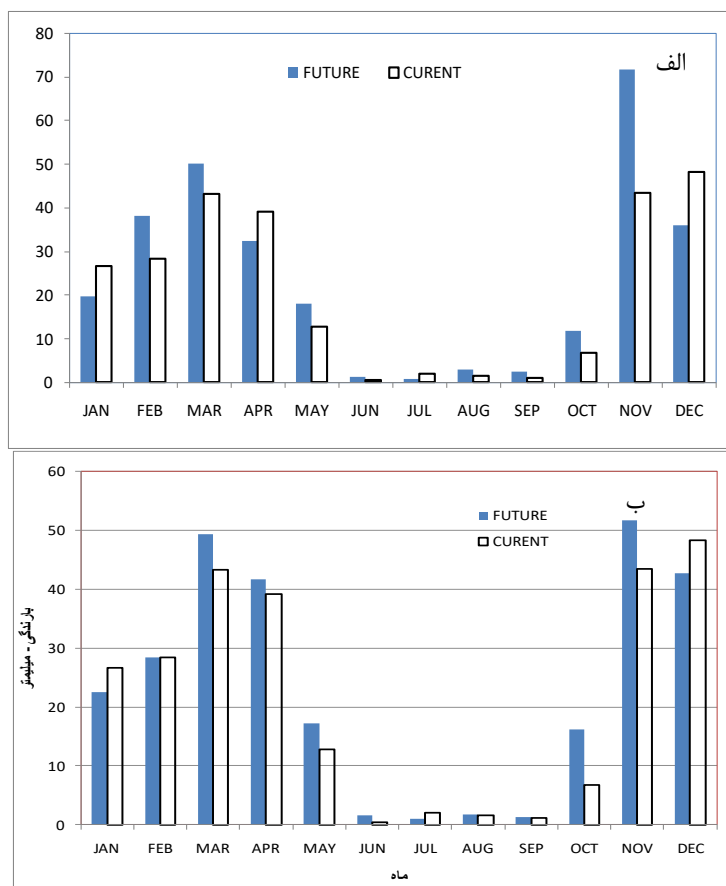
شکل ۴- توزیع مکانی بارندگی ماهانه تحت سناریوی A2 و برای افق ۲۰۸۰ (میلی‌متر)

شبیه‌سازی شده تحت این سناریو بیانگر تغییرات ناهمگن بارش در ماه‌های مختلف می‌باشد (شکل ۵). به‌طوری‌که بیشترین افزایش بارندگی مربوط به ماه

مقایسه این نقشه‌ها با نقشه‌های دوره پایه نشان می‌دهد که توزیع مکانی بارش در آینده و دوره پایه مشابه می‌باشد. بررسی منطقه‌ای بارش ماهانه

بارندگی منطقه‌ای در اکثر ماه‌ها بیش از دوره کنونی برآورد شده است، هرچند که این افزایش به‌طور میانگین حدود ۲/۵ میلی‌متر خواهد بود.

نوامبر (۲۸ میلی‌متر) و بیشترین کاهش بارندگی مربوط به ماه دسامبر (۱۲- میلی‌متر) می‌باشد. همان‌طور که در شکل نیز مشخص است، میانگین



شکل ۵- میانگین منطقه‌ای بارش ماهانه حوضه کرخه طی دوره پایه و شبیه‌سازی شده تحت سناریوهای مختلف، الف) سناریوی A2 و ب) سناریوی B2

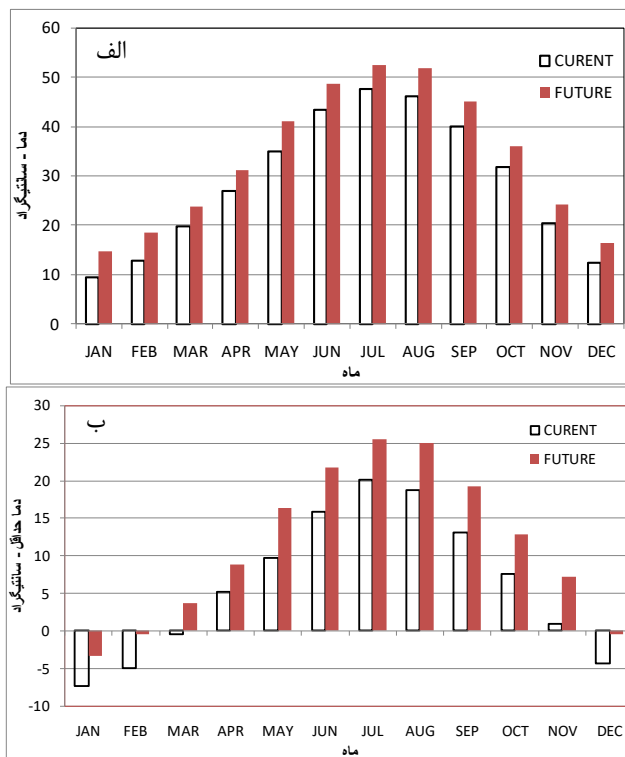
سهم بارش بهار، اما حدود دو درصد کاهش خواهد یافت. بنابراین، به نظر می‌رسد که هرچند مقدار بارندگی تغییر چندانی در دوره آبی نخواهد داشت، اما الگوی زمانی بارش تغییر خواهد یافت. به طوری که سهم بارش های تابستانه و پاییزه افزایش خواهند یافت که با توجه به اینکه بارش‌های پاییزه بیشتر به صورت باران بوده می‌تواند روی ذخایر منابع آب ناشی از برف زمستانه تاثیر بگذارد.

برای بررسی تغییرات دمای حوضه کرخه دو پارامتر دمای حداکثر و حداقل مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بیانگر افزایش دمای حداکثر در همه ماه‌ها تحت سناریوی A2 می‌باشد (شکل ۶). این افزایش از ۳/۷ درجه مربوط به ماه نوامبر تا شش درجه در ماه مه می‌باشد. میانگین افزایش دمای حداکثر ماهانه در

بررسی بارش فصول نشان می‌دهد که بارش به‌جز در فصل بهار که اندکی کاهش است (حدود دو درصد)، در بقیه ماه‌ها افزایش خواهد داشت. به طوری که در تابستان حدود ۳۴ درصد، در پاییز حدود ۲۱ درصد و در زمستان این افزایش حدود ۹/۵ درصد خواهد بود. لازم به ذکر است که نتایج نشان از تغییر توزیع فصلی بارش تحت این سناریو دارند. به طوری که در دوره آبی بیشترین درصد بارش فصلی مربوط به پاییز و بعد از آن زمستان خواهد بود (بارش پاییزه چهار درصد بیشتر از زمستان خواهد بود). در حالی که در زمان حاضر بارندگی فصول زمستان و پاییز نزدیک به هم اما با درصد بیشتر برای فصل زمستان می‌باشد. افزایش بارش تابستانه همچنان سهم بارش این فصل را (که حدود دو درصد می‌باشد) تغییری نداده است.

سرد در هر دو دوره یکسان هستند، به عبارت دیگر، شیفت دمایی ایجاد نخواهد شد.

منطقه نیز حدود پنج درجه می باشد. همان طور که در شکل ۶ نیز مشخص است، روند دمایی حداکثر طی دوره آبی مشابه دوره پایه می باشد و ماه های گرم و



شکل ۶- میانگین منطقه ای دمای ماهانه طی دوره پایه و شبیه سازی شده تحت سناریوی A2 برای حوضه کرخه، الف) حداکثر دما و ب) حداقل دما

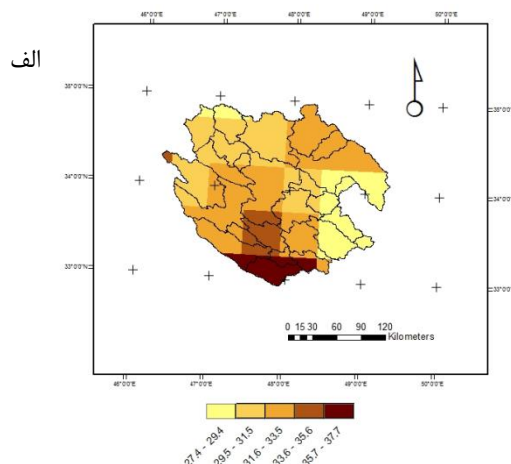
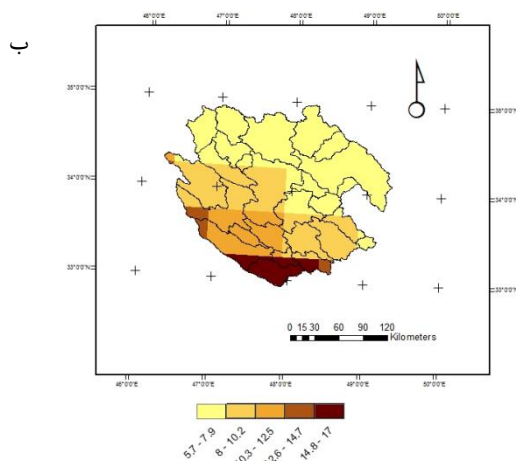
حداکثر سالانه در آینده نیز تا حدودی مشابه زمان پایه می باشد. به طوری که مناطق سرد در قسمت های غربی و مناطق گرم در قسمت های جنوبی حوضه قرار گرفته اند.

بررسی تغییرات دمایی حداقل نشان می دهد که میانگین منطقه ای دمای حداقل نیز افزایش دما را طی همه سال ها نشان می دهد. ضمن آنکه مقایسه روند سری داده ها طی دوره پایه و دوره آبی، نشان دهنده افزایش شیب روند مثبت دمایی حداقل تحت سناریوی A2 می باشد. توزیع مکانی میانگین دمای حداقل سالانه در شکل ۷ ارائه شده است. مقایسه این نقشه با نقشه دوره پایه نشان دهنده مشابهت توزیع مکانی دمای حداقل سالانه در افق ۲۰۸۰ با دوره پایه می باشد. به عبارت دیگر، موقعیت مناطق گرم و سرد حوضه تفاوت چندانی نخواهد داشت. بررسی میانگین دمای حداقل ماهانه نیز بیانگر افزایش دمای حداقل در

بررسی فصلی دمای حداکثر نشان می دهد که تقریباً در سه فصل زمستان، بهار و تابستان افزایش دما مشابه و حدود پنج درجه می باشد. اما افزایش دما در فصل پاییز کمتر از بقیه ماه ها (حدود چهار درجه) می باشد. مقایسه انحراف معیار دمای حداکثر طی دوره پایه و آینده نیز بیانگر این است که به جز ماه های ژانویه و فوریه تغییرات دما حول میانگین تقریباً مشابه می باشد. بررسی سری زمانی میانگین منطقه ای دمای حداکثر سالانه برای دوره حاضر و دوره آبی نشان می دهد که میانگین منطقه ای دمای حداکثر نیز افزایش دما را طی همه سال ها نشان می دهد. ضمن آنکه مقایسه روند سری داده ها طی دوره پایه و دوره آبی نشان دهنده افزایش روند مثبت دمایی حداکثر طی دوره آبی می باشد. توزیع مکانی میانگین دمای حداکثر سالانه در شکل ۷ ارائه شده است. مقایسه این نقشه با نقشه دوره پایه نشان می دهد که توزیع مکانی دمای

مقایسه فصلی دمای حداقل طی دو دوره پایه و آتی نشان می‌دهد که دو فصل بهار و پاییز افزایش دما مشابه و حدود پنج درجه می‌باشد. اما افزایش دما در فصل زمستان کمتر از بقیه ماهها (حدود چهار درجه) و در فصل تابستان بیشتر از بقیه ماهها (شش درجه) می‌باشد. مقایسه انحراف معیار دمای حداقل طی دوره پایه و آینده نیز بیانگر این است که تغییرات دما حول میانگین تقریباً مشابه می‌باشد.

همه ماهها می‌باشد (شکل ۶). این افزایش از ۳/۷ درجه مربوط به ماه آوریل تا ۶/۷ درجه در ماه مه می‌باشد. میانگین افزایش دمای حداقل ماهانه در منطقه نیز حدود پنج درجه می‌باشد. از طرف دیگر، روند دمای حداقل طی دوره آتی مشابه دوره پایه می‌باشد و ماههای گرم و سرد در هر دو دوره یکسان هستند. به عبارت دیگر، شیفت زمانی دما وجود ندارد و گرم‌ترین ماه ژوئیه و سردترین آن ژانویه خواهد بود که در دوره پایه نیز وضع به همین صورت می‌باشد.



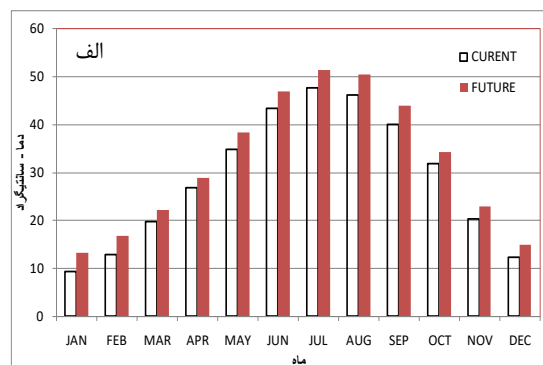
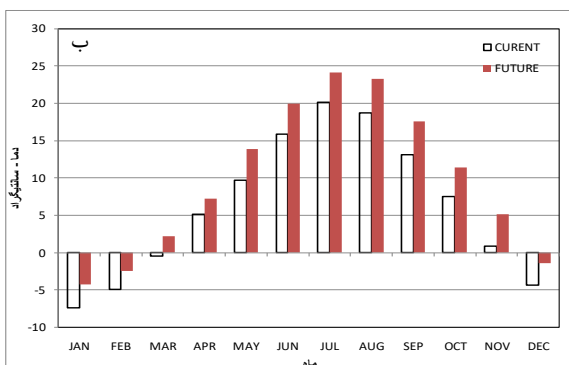
شکل ۷- توزیع مکانی میانگین دمای حداکثر سالانه تحت سناریوی A2، (الف) دمای حداکثر و (ب) دمای حداقل

سال ۲۰۹۰ حدود سه میلی‌متر خواهد بود. از طرف دیگر، بارش سالانه طی دوره آتی روندی افزایشی خواهد داشت، این در حالی است که این روند طی دوره پایه کاهشی می‌باشد. بررسی منطقه‌ای بارش ماهانه شبیه‌سازی شده تحت سناریوی B2 نیز بیانگر تغییرات ناهمگن بارش در ماههای مختلف می‌باشد (شکل ۵). همان‌طور که در شکل نیز مشخص است، میانگین بارندگی منطقه‌ای در اکثر ماهها بیش از دوره کنونی برآورد شده است، هر چند که این افزایش به‌طور میانگین حدود ۱/۵ میلی‌متر خواهد بود. بیشترین افزایش بارندگی مربوط به ماه اکتبر (نه میلی‌متر) و بیشترین کاهش بارندگی مربوط به ماه دسامبر (۵/۶- میلی‌متر) می‌باشد. بارندگی در ماههای ژانویه، فوریه، ژوئیه و دسامبر نیز کاهش یافته است. بررسی بارش فصول نشان می‌دهد که بارش به‌جز در فصل تابستان که کاهش خواهد یافت (حدود ۱۳

سناریوی B2: برای بررسی تغییرات بارندگی سالانه تحت سناریوی B2 سری زمانی میانگین منطقه‌ای بارش سالانه برای دوره حاضر و دوره آتی رسم شد (شکل ۳). همان‌طور که در شکل نیز مشخص است، برای دهه ۲۰۷۰ تا ۲۰۹۰ بارندگی کاهش داشته و برای دوره ۲۰۹۰ تا ۲۱۰۰ بارندگی افزایش یافته است. میانگین بارش سالانه تحت سناریوی B2 به‌طور کلی، حدود ۲۰ میلی‌متر (حدود هفت درصد) افزایش داشته است. این افزایش، بیشتر تحت تاثیر سال ۲۰۹۱ می‌باشد. به‌طوری‌که در این ماه حدود سه برابر میانگین سالانه دوره آتی بارش برآورد شده است. لذا، بررسی بارندگی تا سال ۲۰۹۰ نشان می‌دهد که بارندگی حدود ۶۱/۵ میلی‌متر (۲۴ درصد) کاهش خواهد داشت و طی سالهای ۲۰۹۱ تا ۲۱۰۰، بارندگی حدود ۱۵۳ میلی‌متر افزایش خواهد داشت. افزایش بارندگی طی دوره آتی بدون در نظر گرفتن

داشت. لذا، در این سناریو نیز بحث کاهش ذخایر برفی با توجه به کم شدن بارش زمستانه مطرح می‌باشد. برای ارزیابی تغییرات دما، سری زمانی میانگین منطقه‌ای دمای حداکثر سالانه برای دوره حاضر و دوره آتی تحت سناریوی B2 بررسی شد. نتایج بیانگر افزایش میانگین منطقه‌ای دمای حداکثر طی همه سال‌ها می‌باشد. بررسی روند سری داده‌ها طی دوره آتی تحت سناریوی B2 نشان می‌دهد که روند داده‌ها بر خلاف پایه که افزایشی بوده در دوره آتی شیب منفی اندکی دارد (۰/۱-) و یا به عبارت دیگر، دما از ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ روند افزایشی نخواهد داشت. بررسی دمای حداکثر ماهانه به صورت منطقه‌ای نیز بیانگر افزایش دمای حداکثر در همه ماه‌ها می‌باشد (شکل ۸). این افزایش از ۱/۹ درجه مربوط به ماه مه تا ۴/۲ درجه در ماه اوت می‌باشد. میانگین افزایش دمای حداکثر ماهانه در منطقه نیز حدود سه درجه می‌باشد. توزیع زمانی دمای حداکثر طی دوره آتی نیز مشابه دوره پایه می‌باشد.

درصد)، در بقیه ماه‌ها افزایش خواهد داشت. به طوری که در فصل بهار حدود ۱۵ درصد، در فصل پاییز حدود ۱۲ درصد و در فصل زمستان این افزایش حدود دو درصد خواهد بود. لازم به ذکر است که برآوردها تحت این سناریو نیز نشان از تغییر توزیع فصلی بارش دارند، به طوری که در دوره آتی بیشترین درصد بارش فصلی مربوط به فصل پاییز و بعد از آن فصل زمستان خواهد بود (بارش پاییزه چهار درصد بیشتر از فصل زمستان خواهد بود). در صورتی که در زمان حاضر بارندگی فصول زمستان و پاییز نزدیک به هم اما با درصد بیشتر زمستان می‌باشد. کاهش بارش تابستانه همچنان سهم بارش این فصل را (که حدود دو درصد می‌باشد) تغییری نداده است. سهم بارش بهار نیز حدود دو درصد افزایش خواهد یافت. بنابراین، به نظر می‌رسد که هر چند مقدار بارندگی تغییر چندانی در دوره آتی نخواهد داشت، اما الگوی زمانی بارش تغییر خواهد یافت، به طوری که سهم بارش‌های پاییزه و بهار افزایش و بارش زمستانه (دو درصد) کاهش خواهند



شکل ۸- میانگین منطقه‌ای دمای ماهانه طی دوره پایه و شبیه‌سازی شده تحت سناریوی B2 برای حوضه کرخه، الف) حداکثر دما و ب) حداقل دما

ارزیابی منطقه‌ای دمای حداقل سالانه نشان می‌دهد که میانگین منطقه‌ای دمای حداقل تحت سناریوی B2 حدود ۳/۵ درجه افزایش داشته است. ضمن آنکه مقایسه روند سری داده‌ها طی دوره پایه و دوره آتی نشان‌دهنده افزایش روند مثبت داده‌ها طی دوره آتی می‌باشد. این در حالی است که دمای حداکثر طی دوره آتی تحت این سناریو ثابت بوده و روندی نشان نمی‌دهد. مقایسه توزیع مکانی دمای حداقل ماهانه مشاهده‌ای و برآوردی به وسیله مدل PRECIS نشان

بررسی فصلی دمای حداکثر طی سناریوی B2 نشان می‌دهد که افزایش دما در فصول مختلف متفاوت است. به طوری که افزایش دمای حداکثر در فصل پاییز ۲/۵ درجه، بهار سه درجه، زمستان ۳/۴ درجه و تابستان چهار درجه می‌باشد. لذا، افزایش دمای فصل تابستان بیشتر از بقیه ماه‌ها می‌باشد. مقایسه انحراف معیار دمای حداکثر طی دوره پایه و آینده نیز بیانگر اینست که به جز ماه‌های ژانویه و فوریه تغییرات دما حول میانگین تقریباً مشابه می‌باشد. نتایج

در ماه‌های مختلف است. میانگین بارندگی منطقه‌ای در اکثر ماه‌ها بیش از دوره کنونی برآورد شده است، هر چند این افزایش، به‌طور میانگین، حدود هفت درصد خواهد بود.

- تحت سناریوی A2 مقدار بارش سالانه از سال ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ سه دوره کاهش، ثابت و افزایشی را نشان می‌دهد، در حالی که مقدار بارندگی تحت سناریوی B2 تا سال ۲۰۹۰ روند کاهش (با شیب نسبتاً زیاد) و پس از آن بارندگی با شیب زیادی روند افزایشی دارد.

- بارش فصل پاییزه در هر دو سناریو نسبت به بارش زمستانه افزایش نشان می‌دهد. در سناریوی A2 بارش بهاره کمتر و در سناریوی B2 بارش تابستانه کاهش نشان می‌دهد.

- مقایسه سناریوهای مختلف بیانگر این است که افزایش بارش به‌صورت منطقه‌ای در هر دو سناریو تقریباً یکسان است. افزایش بارندگی ماهانه تحت سناریوی B2 کمتر از سناریوی A2 (حدود یک میلی‌متر) است. از طرف دیگر، توزیع زمانی بارش در این دو سناریو متفاوت است.

- میانگین دمای حداقل و حداکثر تحت سناریوی A2، در همه ماه‌ها به‌طور متوسط پنج درجه افزایش نشان می‌دهد؛ همچنین، هر دو این پارامترها، طی دوره آتی روندی افزایشی نیز خواهند داشت. افزایش میانگین دمای حداکثر در پاییز، کمتر از سایر فصول است؛ درحالی‌که این افزایش برای میانگین دمای حداقل در زمستان، کمتر از بقیه فصول خواهد بود.

- تحت سناریوی B2، میانگین دمای حداقل و حداکثر، حدود سه درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است، هر چند دمای حداکثر طی دوره آتی تقریباً فاقد روند می‌باشد، در حالی‌که روند دمای حداقل، طی دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ همچنان افزایشی است.

می‌دهد که میانگین منطقه‌ای دمای حداقل در همه ماه‌ها افزایش یافته است (شکل ۸). این افزایش از دو درجه مربوط به ماه آوریل تا ۴/۵ درجه در ماه اوت می‌باشد. میانگین افزایش دمای حداقل ماهانه در منطقه نیز حدود ۳/۵ درجه می‌باشد. ارزیابی فصلی دمای حداقل طی دو دوره پایه و آتی نشان می‌دهد که در فصول بهار و پاییز افزایش دما مشابه و حدود ۳/۵ درجه می‌باشد. اما افزایش دما در فصل زمستان کمتر از بقیه ماه‌ها (حدود ۲/۷ درجه) و در تابستان بیشتر از بقیه ماه‌ها (چهار درجه) می‌باشد. مقایسه انحراف معیار دمای حداقل طی دوره پایه و آینده نیز بیانگر تغییرات مشابه دما حول میانگین برای هر دو دوره می‌باشد. به‌طور خلاصه می‌توان گفت که تحت سناریوی B2 میانگین دمای حداقل و حداکثر حدود سه درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. هر چند روند دمای حداکثر طی دوره آتی اندکی منفی می‌باشد، یعنی دمای حداکثر تمایل به کاهش یافتن دارد، در حالی‌که روند دمای حداقل طی دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ همچنان افزایشی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

بررسی‌های انجام شده در این مقاله، نتایج زیر را بیان می‌کند.

- ارزیابی سناریوی A2، طی دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰، نشان می‌دهد که میانگین بارندگی در اکثر ماه‌ها بیش از دوره کنونی برآورد شده است، هر چند این افزایش، به‌طور میانگین حدود ۱۱ درصد خواهد بود؛ بیشترین افزایش بارندگی مربوط به ماه نوامبر (۲۸ میلی‌متر) است. همچنین، تحت سناریوی A2، هماهنگی یکسانی در شبیه‌سازی بارندگی در ماه‌های مختلف دیده نمی‌شود.

- بررسی منطقه‌ای بارش شبیه‌سازی شده تحت سناریوی B2 نیز، بیانگر تغییرات ناهمگن بارش

منابع مورد استفاده

1. Abbaspour, K.C., M. Faramarzi, S. Seyed Ghasemi and H. Yang. 2009. Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. *Water Resources Research*, 45: 26-38.
2. Babaeian, I., Z. Nagafineik, Z. Zabolabasi, M. Habeibe, H. Adab and S. Malbisei. 2010. Climate change assessment over Iran during 2010-2039 by using statistical downscaling of ECHO-G Model. *Geography and Development Iranian Journal*, 7(16): 135-152 (in Persian).

3. Christensen, N.S., A.W. Wood, N. Voisin, D.P. Lettenmaier and R.N. Palmer. 2004. The effects of climate change on the hydrology and water resources of the Colorado River Basin. *Climate Change*, 62: 337-363.
4. Farajzadeh, M. 2013. Climate change effects on river discharge, case study: Sheshpir River. 24(1): 17-32
5. Gasain, A.K., S. Rao and D. Basuray. 2006. Climate impact assessment on hydrology of Indian river basin. *Current Science*, 90(3): 346-353.
6. Giorgi, 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.
7. Giorgi, 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
8. Giorgi, F. and L.O. Mearns. 1999. Introduction to special section: regional climate modeling revisited. *Journal of Geophysical Research*, 104(D6): 6335–6352.
9. Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden and D. Xioaosu. 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.
10. IPCC. 2007. Technical summary in climate change: impacts, adaptations and climate change. Cambridge University Press, Cambridge and New York, 572 pages.
11. 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.
12. Massahbavani, A.R. and S. Morid. 2005. Impacts of climate change on water resources and food production: a case study of Zayandeh Rood Basin. *Iranian Water Resources Association*, 1(1): 40-47.
13. Rahimi Bondarabadi, S., S. Jahanbakhsh Asl and B. Sari Saraf. 2016. Evaluation of a dynamical downscaling climate model for assessment of climate change in Karkheh Basin. *Watershed Engineering and Management*, 11(3): 633-649 (in Persian).
14. 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.
15. Stone, M.C., R.H. Hotchkiss, C.M. Hubbard and T.A. Fontaine. 2001. Impacts of climate change on Missouri River Basin water yield. *Journal of the American Water Resources Association*, 37(5): 1119-1129.
16. Wang, B., I.S. Kang and J.Y. Li. 2004. Ensemble simulation of Asian-Australian monsoon variability by 11 AGCMs. *Climate*, 17: 803–818.
17. 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.
18. Zohrabi, N., A. Massah bavani, A. Telvari and H. Sedghi. 2009. Determining the temporal trend in annual maximum flood series in the large Karoun River (Iran). 4th Regional Conference on Climate Change, Tehran.

A study on climate change in Karkheh River Basin using dynamic downscaling model

Sima Rahimi Bondarabadi^{*1}, Saeed Jahanbakhsh² and Behrouz Sari Sarraf³

¹ Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran ^{2 and 3} Professor, Faculty of Geography and Planning, University of Tabriz, Iran

Received: 05 April 2018

Accepted: 16 August 2018

Abstract

Any change in the concentration of greenhouse gases will upset the balance between the components of the climate system. But, the change in the concentration of these gases and how they will affect in the future is unknown. To study the effects of climate change on different systems in the future, climate variables must first be simulated under changes in greenhouse gases (climate scenarios). There are several ways to do this, the most reliable of which is the use of climatic models. AOGCMs can simulate climate parameters globally in large scale, while these may not be suitable for small scales. One of the most important downscaling methods is dynamic methods that are based on increasing the resolution and analysis of planetary climate models. Here, in this research, climate change status in Karkheh River Basin where a major basin for water and agricultural yields is studied. For this purpose, the PRECIS model was used. PRECIS is an exponential dynamics downscaling model used to estimate the temperature and precipitation rates for the period of 2070 to 2100 under A2 and B2 scenarios. According to the results of climate change assessment under scenario A2, precipitation would increase up to 11% and up to five degree centigrade would rise in average maximum and minimum temperature while concerning B2 scenario, an increase in precipitation up to 7% and a rise in temperature rise up to three degree centigrade are estimated. However, under both the scenarios, despite, the fall's precipitation is higher than the winter's precipitation.

Keywords: Climate change, Planetary climate model, Precipitation and temperature, PRECIS model, Simulation

* Corresponding author: rahimi_si@yahoo.com